



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Ahmet YAVUZDOĞAN tarafından hazırlanan

EGE DENİZİNDE BAĞIL DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN KAPULA FONKSİYONLARI İLE İNCELENMESİ

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA

Üye : Prof. Dr. Ömer YILDIRIM

Üye : Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve yaptığım tez çalışmasında bana her zaman fikirleri, tecrübeleri ve ilgisiyle destek olan ve yol gösteren çok kıymetli saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI 'ya çok teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca her zaman bana sevgilerini sunan, çalışmalarım süresince benden desteklerini esirgemeyen sevgili aileme şükranlarımı sunarım. Ayrıca fikirleri ile bize daima örnek olan değerli hocam Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA 'ya teşekkür ederim.

Ahmet YAVUZDOĞAN

Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ege Denizi’nde Bağıl Deniz Seviyesi Değişimlerinin Kapula Fonksiyonları ile İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI ‘nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdığimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

11/06/2019

Ahmet YAVUZDOĞAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Çalışması.....	2
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı	5
1.4. Deniz Seviyesi Ölçüm Yöntemleri	7
1.5. Deniz Seviyesi Değişiminin Nedenleri.....	10
1.6. Kapula Teorisi	12
1.6.1. Kapula Fonksiyonlarının Uygulama Alanları	14
1.6.2. Arşimedyen Kapula Fonksiyonları	15
1.7. Bağımlılıkların Ölçümü ve Modellenmesi.....	15
1.7.1 Bağımlılık, Sıra Sayıları ve Sıra Uzayı.....	16
1.7.2. Bağımlılık Katsayıları.....	16
1.7.3. Kuyruk Bağımlılığı.....	21
1.8. Kapula Fonksiyonları ile Bağımlılık Modelleme	21
1.8.1. Rasgele Değişkenler ve Dağılım Fonksiyonları	22
1.8.2. Çeşitli Dağılım Fonksiyonları	24
1.8.3. Deneysel Kapula.....	28
1.8.4. Bağımlılık Modellemede Kullanılan Arşimedyen Kapula Fonksiyonları	29
1.8.5. Kapula Parametresi Tahmin Yöntemleri.....	34
1.8.6. Uyum İyiliği Testi.....	37
1.9. Kapula Fonksiyonları ile Verilerin Simülasyonu	38

1.9.1.	Arşimedyeen Kapula Fonksiyonlarının Koşullu Dağılımlarının Hesaplanması.....	39
1.9.2.	Rastgele Verilerin Üretilmesi ve Veri Alanına Dönüştürülmesi.....	39
1.10.	Arşimedyeen Kapula Fonksiyonları ile Trend Analizi.....	40
1.11.	Regresyon Analizi.....	41
1.12.	Trend Modellerinin Karşılaştırılması.....	46
1.12.1.	Trend Modellerinin Karşılaştırılması İçin Tanımlayıcı İstatistikler.....	46
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	49
2.1.	Ege Denizi Kıyılarındaki Uzun Dönemli Deniz Seviyesi Değişimlerinin Kapula Fonksiyonları ile İncelenmesi.....	49
2.1.1.	Verilerin Kalite Kontrolü.....	50
2.1.2.	Deneysel Birikimli Dağılımların Teorik Dağılım Fonksiyonlarına Uydurulması.....	50
2.1.3.	Verilerin Sıra Uzayına Dönüştürülmesi.....	54
2.1.4.	Verilerin Deneysel Kapulalarının Hesaplanması.....	56
2.1.5.	Kapula Parametresinin Hesaplanması ve Uyum İyiliği Testi.....	57
2.1.6.	Bağımlılık Modellerinin Doğruluk Analizi.....	60
2.1.7.	Mareograf İstasyonlarında Modellenen Kapula Bağımlılık Yapılarının Yorumlanması.....	63
2.2.	Meteorolojik Parametreler ve Deniz Seviyesi Değişimi Arasındaki İlişkinin Kapula Fonksiyonları ile İncelenmesi.....	65
2.2.1.	Verilerin Sıra Uzayına Dönüştürülmesi.....	66
2.2.2.	Deneysel Kapulaların Hesaplanması.....	68
2.2.3.	Kapula Parametresinin Hesaplanması ve Uyum İyiliği Testi.....	69
2.2.4.	Kapula Bağımlılık Modellerinin İncelenmesi.....	70
2.3.	Deniz Seviyesi ve Deniz Yüzey Sıcaklıkları Arasındaki İlişkinin Kapula Fonksiyonları ile İncelenmesi.....	72
2.3.1.	Deneysel Kapulanın Hesaplanması.....	72
2.3.2.	Kapula Parametresinin Hesaplanması ve Uyum İyiliği Testi.....	73
2.3.3.	Kapula Bağımlılık Modellerinin İncelenmesi.....	74
2.4.	Deniz Seviyesi Değişimlerinde Kapula Temelli Trend Analizleri.....	75
2.4.1.	Ege Denizi'nde Bağlı Deniz Seviyesi Değişimlerinde Kapula Temelli Trend Analizleri.....	75
2.4.2.	Ege Denizi'nde Bağlı Deniz Seviyesi Değişimlerinde İki Dönemli Kapula Temelli Trend Analizleri.....	78

2.5.	Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde İki Dönemli Kapula Temelli Trend Analizleri.....	83
2.5.1.	Deneysel Birikimli Dağılım Fonksiyonlarının Teorik Dağılım Fonksiyonlarına Uydurulması	83
2.5.2.	Birinci ve İkinci Dönemlere Ait Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Kapula Parametre Tahmini ve Uyum İyiliği Testi	84
2.5.3.	Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Değerlerinin Hesaplanması.....	85
2.6.	Kapula Temelli Trend Modellerinin Regresyon Modelleri ile Karşılaştırılması ..	88
2.6.1.	Tüm Dönem Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Regresyon Modelleri ve Kapula Temelli Trend Modellerinin Karşılaştırılması.....	88
2.6.2.	Deniz Seviyesi Zaman Serilerinin İki Dönemli Regresyon Modelleri ve Kapula Temelli Trend Modellerinin Karşılaştırılması.....	93
2.6.3.	Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinin İki Dönemli Regresyon Modelleri ve Kapula Temelli Trend Modellerinin Karşılaştırılması.....	98
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	104
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112
5.	KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

EGE DENİZİ'NDE BAĞIL DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN KAPULA FONKSİYONLARI İLE İNCELENMESİ

Ahmet YAVUZDOĞAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI
2019, 118 Sayfa

Günümüzde deniz seviyesi değişimleri birçok bilim dalı tarafından araştırılmaktadır. Bu çalışmada hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkileri gösterebilen, doğrusal korelasyon yöntemlerinin sahip olduğu bazı dezavantajları barındırmayan kapula fonksiyonları kullanılarak Ege Denizi'ndeki deniz seviyesi değişimleri araştırılmıştır. Deniz seviyesi değişimlerinin, deniz yüzey sıcaklıkları ve meteorolojik faktörler ile ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca Arşimedyen kapula fonksiyonlarına dayanan yeni bir trend analiz yöntemi sunulmuştur. Kapula temelli trend analiz yöntemi deniz seviyesi ve deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerine uygulanmıştır. Kapula temelli trendler, regresyon analizi ile karşılaştırılarak kapula temelli trend analizinin verimliliği incelenmiştir. Kullanılan deniz seviyesi verileri Ege Denizi'nde bulunan Türkiye ve Yunanistan'a ait mareograf istasyonlarından elde edilmiştir. Deniz yüzey sıcaklığı verileri NASA tarafından sunulan yüksek çözünürlüklü radyometre verileridir. Meteorolojik veriler ise Harita Genel Müdürlüğü tarafından sunulan verilerdir.

Anahtar Kelimeler: Ege Denizi, Deniz Seviyesi, Korelasyon, Kapula, Deniz Yüzey Sıcaklığı, Zaman Serisi, Trend Analizi, Regresyon, Mareograf, Arşimedyen, Bağımlılık Modelleme, İklim Değişikliği, Jeodezi.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF RELATIVE SEA LEVEL CHANGES IN THE AEGEAN SEA BY
COPULA FUNCTIONS

Ahmet YAVUZDOĞAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatic Engineer Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Emine TANIR KAYIKÇI
2019, 118 Pages

Nowadays, sea level changes are being investigated by many disciplines. In this study, sea level changes in Aegean Sea have been investigated by using copula functions which can show both linear and nonlinear relations and do not have some disadvantages of linear correlation methods. The relationship between sea level changes, sea surface temperatures and meteorological factors were investigated. In addition a new trend analysis method based on Archimedean copula functions is presented. The copula-based trend analysis was applied to sea level and sea surface temperature time series. Copula-based trends were compared with the regression analysis and the efficiency of the copula-based trend analysis was examined. Sea level data were obtained from tide gauges in the Aegean Sea belonging to Greece and Turkey. Sea surface temperature data are high resolution radiometer data provided by NASA. Meteorological data are provided by the General Directorate of Mapping Turkey.

Key Words: Aegean Sea, Sea Level, Correlation, Copula, Sea Surface Temperature, Time Series, Trend Analysis, Regression, Tide Gauge, Archimedean, Dependency Modelling, Climate Change, Geodesy.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Deniz kıyılarına yerleştirilen mira	7
Şekil 2. Analog deniz seviyesi ölçüm sistemi	8
Şekil 3. Radar deniz seviyesi ölçüm sistemi	8
Şekil 4. Radar altimetre ölçüm tekniği (Nadzir, 2017)	9
Şekil 5. Marjinal Dağılım, Kapula Fonksiyonu ve Çok Değişkenli Dağılım Modeli.....	13
Şekil 6. İki Değişkenli Durumda Marjinal Dağılım Fonksiyonları ve Ortak Dağılım (Modiri, 2015).....	14
Şekil 7. Farklı korelasyonlardaki sıra uzayları	16
Şekil 8. Pearson, Kendall ve Spearman korelasyon katsayıları arasındaki ilişki	20
Şekil 9. Kapula fonksiyonları ile bağımlılık modelleme algoritması	22
Şekil 10. Sırasıyla Rayleigh ve Normal dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonları.....	23
Şekil 11. Ortalaması 50, standart sapması 10 olan normal dağılıma ait birikimli dağılım fonksiyonu	24
Şekil 12. Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımı (URL 1)	26
Şekil 13. Logistik Dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu ve birikimli dağılım fonksiyon grafikleri (Wikimedia, 2016).....	27
Şekil 14. Weibull dağılımına ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyon grafikleri	28
Şekil 15. Normal dağılımda sıra uzayı ve deneysel Kapula.....	29
Şekil 16. $\theta = 5$ İçin Teorik Clayton Kapula Fonksiyonu	30
Şekil 17. $\theta = 10$ için teorik Frank Kapula Fonksiyonu	31
Şekil 18. $\theta = 5$ İçin Teorik Gumbel Kapula Fonksiyonu	32
Şekil 19. Kapula Temelli Trend Analizi İşlem Adımları	41
Şekil 20. Çalışmada Kullanılan Mareograf İstasyonları	49
Şekil 21. Örnek RLR verisine ait datum bilgisi (Menteş Mareograf İstasyonu).....	50
Şekil 22. Deneysel Dağılımların Teorik Dağılım Fonksiyonlarına Uydurulması	51
Şekil 23. İstasyonlardaki Verilerin Sıra Uzayına Dönüştürülmesi	55
Şekil 24. Deneysel Kapulaya Uydurulan Teorik Kapula Fonksiyonları.....	56
Şekil 25. Deneysel Kapulaya Uydurulan Teorik Kapula Fonksiyonları.....	59

Şekil 26. Orijinal Zaman Serisi ve Modelden Elde Edilen Zaman Serisi	60
Şekil 27. Teorik Kapula Fonksiyonlarına Ait Yoğunluk Grafikleri	63
Şekil 28. Bodrum İstasyonunda Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Faktörlerin Sıra Uzayı ...	67
Şekil 29. Menteş İstasyonunda Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Faktörlerin Sıra Uzayı ...	67
Şekil 30. Bodrum İstasyonunda Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Faktörlerin Deneysel Kapulaları.....	68
Şekil 31. Menteş İstasyonunda Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Faktörlerin Deneysel Kapulaları.....	68
Şekil 32. Bodrum İstasyonu Teorik Kapula Yoğunluk Grafikleri.....	70
Şekil 33. Menteş İstasyonu Teorik Kapula Yoğunluk Grafikleri.....	71
Şekil 34. Deniz Seviyesi – Deniz Yüzey Sıcaklığı Deneysel Kapulalar	72
Şekil 35. Teorik Kapula Fonksiyonlarına Ait Yoğunluk Grafikleri	74
Şekil 36. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Analizleri.....	75
Şekil 37. İki Dönemli Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Analizleri	81
Şekil 38. Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Analizi	86
Şekil 39. Kapula Temelli Trendler ve Regresyon Eğrileri.....	91
Şekil 40. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Regresyon Eğrileri ve Kapula Temelli Trendler.....	95
Şekil 41 Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Regresyon Doğruları ve Kapula Temelli Trendler.....	100

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Değişkenler ve Sıra Sayıları	18
Tablo 2. Değişkenler ve Uyumluluk	19
Tablo 3. Arşimedyen Kapula Fonksiyonlarına ait formüller	33
Tablo 4. Kendall Tau katsayısı ve Kapula parametresi arasındaki ilişki	36
Tablo 5. Spearman'ın Rho katsayısı ve Kapula parametresi arasındaki ilişki	36
Tablo 6. Değişkenlere ait birikimli dağılım ve teorik dağılım fonksiyonları arasındaki karesel ortalama hata miktarları.....	53
Tablo 7. Kapula Parametreleri ve Uyum İyiliği Sonuçları.....	57
Tablo 8. Mareograf Zaman Serisi ile Kapula Bağımlılık Modeli Arasındaki Korelasyonlar.....	62
Tablo 9. Mareograf Zaman Serisi İle Kapula Bağımlılık Modelinden Elde Edilen Zaman Serisi Arasındaki Ortalama Hata Miktarları	63
Tablo 10. Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Parametreler Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayıları.....	66
Tablo 11. Kapula Parametreleri ve Uyum İyiliği Testi.....	69
Tablo 12. Kapula Parametreleri ve En Uygun Teorik Kapula Fonksiyonları	73
Tablo 13. Değişkenlerin marjinal dağılımlarının teorik bir dağılıma uydurulması.....	78
Tablo 14. Birinci ve İkinci Dönem Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Kapula Parametreleri ve Uyum İyiliği Testi.....	80
Tablo 15. Yıllık Deniz Seviyesi Değişim Hızları	83
Tablo 16. Deneysel Birikimli Dağılım Fonksiyonlarının Teorik Dağılım Fonksiyonlarına Uydurulması	84
Tablo 17. Birinci ve İkinci Dönem Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Kapula Parametreleri ve Uyum İyiliği Testi.....	85
Tablo 18. Yıllık Deniz Yüzey Sıcaklığı Anomalisi Değişim Hızları	88
Tablo 19. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Birinci Derece Doğrusal Regresyon Analizi Sonuçları.....	89
Tablo 20. Birinci Derece Regresyon Katsayılarının Anlamlılığı Testi.....	89
Tablo 21. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Birinci Derece Doğrusal Regresyon Analizi Sonuçları.....	90
Tablo 22. İkinci Derece Regresyon Katsayılarının Anlamlılığı Testi	90
Tablo 23. Kapula Temelli Trendler ile Regresyon Modellerin Karşılaştırılması.....	93

Tablo 24. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinin İki Dönemli Doğrusal Regresyon Katsayıları.....	94
Tablo 25. Birinci Dönem Doğrusal Regresyon Katsayıları Anlamlılık Testi	94
Tablo 26. İkinci Dönem Doğrusal Regresyon Katsayıları Anlamlılık Testi.....	95
Tablo 27. Birinci Dönem Doğrusal Regresyon ve Kapula Temelli Trendlerin Karşılaştırılması	97
Tablo 28. İkinci Dönem Doğrusal Regresyon ve Kapula Temelli Trendlerin Karşılaştırılması	98
Tablo 29. Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinin İki Dönemli Doğrusal Regresyon Katsayıları.....	99
Tablo 30. 1. Dönem Deniz Yüzey Sıcaklığı Regresyon Katsayıları Anlamlılık Sonuçları .	99
Tablo 31. 2. Dönem Deniz Yüzey Sıcaklığı Regresyon Katsayıları Anlamlılık Sonuçları.....	100
Tablo 32. Birinci Dönem Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Doğrusal Regresyon Doğruları ve Kapula Temelli Trendlerin Karşılaştırılması	102
Tablo 33. İkinci Dönem Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Doğrusal Regresyon Doğruları ve Kapula Temelli Trendlerin Karşılaştırılması	103

SEMBOLLER DİZİNİ

ASL	Absolute Sea Level
CDF	Cumulative Distribution Function
EKK	En Küçük Kareler Yöntemi
GNSS	Global Navigation Satallite System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JPL	Jet Propulsion Laboratory
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
NERC	Natural Environment Research Council
NOC	National Oceanography Centre
PDF	Probability Density Function
PODAAC	Physical Oceanography Distributed Active Archive Center
PSMSL	Permanent Service For Mean Sea Level
RLR	Revised Local Referance
RMSE	Root Mean Square Error
RSL	Relative Sea Level
TUDES	Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi
Uİ	Uyum İyiliği Testi
VLM	Vertical Land Motion

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde iklim değişikliği doğal yaşamı tehdit eden başlıca unsurlardan biridir. Atmosferdeki sera gazı miktarının artması sebebiyle sıcaklıklar gittikçe artmakta ve artan sıcaklıklar yeryüzünde deniz ve okyanus sularının genişmesine, buzulların erimesine ve yağış rejimlerinin düzensizleşmesine sebep olmaktadır (Demir, 2018). Deniz ve okyanus sularındaki artışlar ise kıyılardaki doğal yaşam alanlarını tehdit etmekte, taşkınlara, kıyılara yakın arazilerin sular altında kalmasına ve kıyı ekosisteminin bozulmasına sebep olmaktadır. Bunun dışında deniz seviyesi değişimleri sahil şeritlerinde aşınmalara, tatlı su kaynaklarına tuzlu suların karışmasına da sebep olmaktadır. Dünya nüfusunun büyük bir kısmının kıyı yerleşim alanlarında yaşadığı düşünüldüğünde deniz seviyesi değişimlerinin insan hayatı için ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılabilir. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change) raporuna göre, okyanusların 2100 yılına kadar 28 ila 98 cm arasında yükseleceği tahmin edilmektedir. Bu artış hızı gerçekleşirse dünya kıyılarındaki birçok şehir sular altında kalacaktır (Church vd., 2013). Deniz seviyesi verileri, klimatoloji ve kıyı mühendisliği açısından önemli olmasının yanı sıra düşey kontrol ağlarının datumu açısından Jeodezi 'de büyük önem arz etmektedir. Ortalama deniz seviyesi uzun yıllar boyunca değişmeyen bir yüzey olarak kabul edilmiş ve düşey kontrol ağlarının datumu olarak kullanılmıştır. Ancak geçen yüzyılda global deniz ve okyanus seviyesindeki yüksek artış hızları ve ilerleyen dönemlerde de deniz seviyesinde beklenen artışlar, deniz seviyesinin beklenildiği gibi değişmeyen bir yüzey olmadığını ortaya çıkarmıştır (Hannah, 1989). Böylece jeodezik düşey kontrol ağlarının datumunun güncellenmesi sorunu da ortaya çıkmaktadır.

Deniz Seviyesi değerleri birçok faktörden dolayı sürekli değişmektedir. Bu faktörler kısa, orta veya uzun vadede deniz seviyesi üzerinde değişimlere neden olurlar. Deniz seviyesi değişimleri incelenirken bu faktörlerin etkileri iyi derecede araştırılıp ortaya çıkarılmalıdır. Günümüzde deniz seviyesi değişimlerini izlemek için hem yersel hem de

uyduların kullanıldığı ölçüm teknikleri mevcuttur.

Uzun yıllar boyunca deniz seviyesi ölçümleri bazı yersel ölçüm yöntemleri ile deniz ve okyanus kıyılarından ölçülmüştür. Bu yöntemler ilk zamanlarda deniz kenarına yerleştirilen miralar yardımıyla yapılmaktaydı (Şekil 1). Daha sonra kıyılara kurulan mareograf istasyonları ile farklı ölçüm yöntemleri de kullanılmıştır (Gürdal, 2002). Mareograf istasyonlarında temel ölçüm tekniği karadaki sabit bir noktaya göre deniz seviyesi değerlerinin kaydedilmesi esasına dayanır.

1.2. Literatür Çalışması

Literatürde deniz seviyesi değişimleri ile ilgili çalışmalar global ve bölgesel ölçekte yapılan çalışmalar olarak iki gruba ayrılabilir. Bu bölümdeki literatür çalışmaları özetlerinde ilk olarak global çalışmalara daha sonra ülkemizde daha çok Ege ve Akdeniz’de olmak üzere deniz seviyesi izleme için yapılmış bölgesel ölçekteki çalışmalara yer verilecektir. Global deniz seviyesi izleme çalışmalarında;

- (Douglas, 1997), global deniz seviyesinin yaklaşık olarak 1897-1997 yılları arasında 18 cm arttığı,
- (Church vd., 2004), mareograf istasyonları kullanılarak 1950-2000 yılları arasında yapılan 50 yıllık deniz seviyesi gözlemleri ile global deniz seviyesi değişiminin yıllık 1.8 mm olduğu,
- (Cazenave, 2017), Uydu bazlı radar altimetre tekniği ile ölçülen 1997-2017 yılları arasındaki global deniz seviyesi değişiminin 7.5 cm , deniz seviyesi artış hızının yaklaşık olarak 0.08 mm/yıl^2 pozitif bir ivmeye sahip olduğu, deniz seviyesi artışlarının % 42 artan deniz suyu sıcaklığından kaynaklı ısıl genişlemeye, % 44 buzulların erimesine ve % 14 diğer etkenlere bağlı olduğu,
- (Mengel vd., 2016) global ölçekte deniz seviyesi artış hızlarının pozitif bir ivmeye sahip olmasının nedeninin global ısınmadan kaynaklanan deniz suyu genişmesi ve kara yerleşimli buz tabakalarının erimesine bağlı olduğu,
- (Legeais vd., 2018), 1993-2015 yılları arası global deniz seviyesi artış hızının $3.3 \pm 0.5 \text{ mm/yıl}$ olduğu,
- (Nerem vd., 2018) ise radar altimetre verileri kullanarak 1993 – 2015 yılları arasında yaptığı çalışma ile global deniz seviyesi artışının $3 \pm 0.4 \text{ mm/yıl}$ olduğunu ve bu artış hızının $0.084 \pm 0.025 \text{ mm/yıl}^2$ pozitif ivmeye sahip

olduğunu ve eğer bu artış hızı devam ederse 2100 yılına kadar yıllık deniz seviyesi artış hızının 2 katına çıkacağı,

- (Hay vd., 2015) çalışmasında radar altimetre ile elde edilen 1993-2015 yılları arasındaki global deniz seviyesi değişiminin 3 ± 0.7 mm/yıl olduğu,
- (Jevrejeva vd., 2014) 1993-2009 yılları arasında global deniz seviyesi değişiminin 3.1 ± 0.4 mm/yıl olduğu,
- (Church ve White, 2011) 1993-2009 yılları arasında global deniz seviyesi değişimi 2.8 ± 0.5 mm/yıl olduğu,

sonuçları elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmalardan, global deniz seviyesinin 1900'lü yıllardan itibaren arttığı, 20. Yüzyıldan 21. Yüzyıla kadar deniz seviyesi artış hızının 1-2 mm/yıl seviyesinde olduğu ancak 1997' den günümüze kadar deniz seviyesi artış hızının 3-3.3 mm/yıl seviyelerine ulaştığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, global ölçekte deniz seviyesinin artmakta olduğu ve bu artış hızının da yine pozitif bir ivmeye sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda deniz seviyesi artış hızlarının nedeni olarak büyük oranda sıcaklık artışlarına bağlı deniz suyu genişmesi ve buzulların erimesi gösterilmektedir.

Bölgesel deniz seviyesi değişimleri ise bazı nedenlerden dolayı global deniz seviyesi değişimlerinden farklılık gösterebilmektedir. Çalışma bölgemiz olan Ege Denizi literatürde genellikle Akdeniz içerisinde bir bölge olarak çalışılmaktadır. Ege Denizi ve Akdeniz ile ilgili çalışmalarda,

- (Tsimplis ve Baker, 2000), Akdeniz'de bulunan mareograf istasyonlarından elde edilen deniz seviyesi değerlerini 1910-1960 arasında ve 1960-1990 arasında olmak üzere iki bölümde incelenmiş ve Akdeniz'de deniz seviyesinin 1910-1960 yılları arasında yıllık 1.2-1.5 milimetre deniz seviyesi artış hızına sahip olduğunu, 1960-1990 arasında ise deniz seviyesinin yıllık -1.3 mm hız ile azaldığını, bu değişimlerin sebebinin 1960-1990 yılları arasında deniz suyu sıcaklığının azalmasına bağlı olduğunu,
- (Cazenave vd., 2001; Cazenave vd., 2002), 1993-1999 yılı arasındaki radar altimetre verileri ile Akdeniz bölgesinde deniz seviyesi değişimleri incelenmiş Hem Ege hem de Akdeniz'in genelinde deniz seviyesi değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiş ve bu artışın deniz yüzey sıcaklıkları ile ilişkisi araştırılmıştır. Deniz seviyesi değişimleri ve deniz yüzey sıcaklıkları arasında yüksek bir korelasyonun olduğu, değişimlerin sebebinin deniz yüzey sıcaklıklarındaki değişimler olabileceği,

- (Tsimplis ve Rixen, 2002), 1960 yılı ile 1993 yılı arasındaki Akdeniz’de meydana gelen deniz seviyesi azalmasının nedeni araştırılmış ve azalmanın nedeni olarak deniz suyu sıcaklığındaki azalma sebebiyle deniz suyu yoğunluğunun üst kısımlarda azalması gösterilmiştir. 1993 yılından itibaren ise deniz suyu sıcaklıklarında tekrar artış olduğu ve üst deniz suyu yoğunluğunun arttığı böylece deniz seviyesinin 1993’ten itibaren artışa geçtiği,
- (Tsimplis ve Spencer, 1997), Akdeniz’de 8 mareograf istasyonundan 30 yıldan fazla uzunluğa sahip ölçümleri kullanarak deniz seviyesi hızlarını yıllık -0.7 ila 2.2 mm arasında değiştiğini,
- (Vigo vd., 2005), Akdeniz’i Ege Denizi de dahil birçok farklı bölgeye bölerek deniz seviyesi değişimlerini 1993-1999 ve 1999-2003 yılları arasında radar altimetre ve mareograf verileri kullanarak araştırmıştır. Ege Denizi’nde radar altimetre ile elde edilen deniz seviyesi değişim hızı 1993-1999 yılları arasında 16 mm/yıl iken, 1999-2003 yılları arasında -0.6 mm/yıl olduğu belirlenmiştir. Elde edilen hızları doğrulamak amacıyla Ege Denizi’ndeki 4 mareograf istasyonu verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlardan elde edilen deniz seviyesi değişim hızları 1993-1999 dönemi için; 6 mm/yıl, 16mm/yıl, 7 mm/yıl, 11 mm/yıl, 26mm/yıl olarak, 1999-2003 dönemi için 21 mm/yıl, -19 mm/yıl, 3 mm/yıl, -4 mm/yıl ve -8 mm/yıl olduğu,
- (Yıldız vd., 2003), 1984-2002 yılları arası Akdeniz kıyısında TUDES ağına bağlı Antalya – 2, Ege kıyısında Menteş ve Bodrum mareograf verileri ile deniz seviyesi değişimleri araştırılmıştır. Antalya istasyonunda elde edilen deniz seviyesi değişim hızı 8.7 ± 0.8 mm/yıl, Menteş istasyonunda elde edilen deniz seviyesi değişim hızı 6.8 ± 0.9 mm/yıl, Bodrum istasyonunda elde edilen deniz seviyesi değişim hızı ise 3.3 ± 1.1 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Yüksek deniz seviyesi değişim hızlarının nedeninin araştırılması amacıyla mareograf istasyonlarında GPS ölçümleri gerçekleştirilmiş ve Antalya mareograf istasyonunda 1.4 ± 0.1 mm/yıl düşey hareket bulunmuş ve yüksek deniz seviyesi değişim hızının bu nedenden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bodrum ve Menteş istasyonlarında ise anlamlı bir düşey hareket bulunamamış bu durumun Bodrum istasyonundan elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu ancak Menteş istasyonunda elde edilen yüksek deniz seviyesi değişimini açıklamakta yetersiz kaldığı,

- (Demir vd., 2005), Akdeniz ve Ege Denizi kıyısında bulunan TUDES ağına bağlı 5 mareograf istasyonundan elde edilen 1985-2004 yılları arasındaki deniz seviyesi verileri analizinden, Antalya mareograf istasyonunda deniz seviyesi değişiminin 7.4 ± 0.6 mm/yıl, Bodrum mareograf istasyonunda 4.3 ± 0.8 mm/yıl, Menteş mareograf istasyonunda 3.8 ± 0.6 mm/yıl olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda mareograf istasyonlarında yapılan GPS ölçümleri de değerlendirilerek bağıl deniz seviyesi değişimlerinin nedenleri araştırılmıştır. 1992-2003 arasında mareograf istasyonlarında yapılan GPS kampanyalarından elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda Antalya mareograf istasyonunda -5.7 ± 0.6 mm/yıl, Menteş mareograf istasyonunda ise -2.27 ± 0.46 mm/yıl düşey hareket olduğu, Bodrum istasyonunda ise anlamlı bir düşey hareket olmadığı, sonuçları elde edilmiştir.

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Deniz seviyesi izleme ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda genellikle doğrusal korelasyona dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak doğrusal korelasyon yöntemleri ilişkilerin doğrusal olduğunu ve hata terimlerinin dağılımının normal olduğunu varsaymaktadır ve ancak bu koşullar altında bağımlılıkları modellemek için uygundur. Yüksek kuyruk dağılımına sahip verilerde değişkenlerin varyansları sonsuza yakınsamakta ve korelasyon katsayıları tanımlanamamaktadır. Bununla beraber deniz seviyesi değişimleri ile ilgili veriler ve hataları genellikle normal dağılımda olmadığından doğrusal korelasyon yöntemlerinin uygulanması doğru değildir. Bu tez çalışmasında, değişkenlerin ve hatalarının dağılımlarından etkilenmeyen, lokal (kuyruk) bağımlılıklarını yansıtan hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilen ve değişkenler arasındaki bağımlılık bilgisini tamamen içeren yeni bir korelasyon tekniği olan Kapula fonksiyonları Ege Denizi'ndeki bağıl deniz seviyesi değişimleri, meteorolojik faktörlerin deniz seviyeleri üzerindeki etkileri, deniz seviyesi ve deniz yüzey sıcaklığı ilişkisi ile araştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca Kapula fonksiyonları her ne kadar değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve miktarını gösterse de geleceğe yönelik yapılacak tahmin çalışmalarında oldukça karmaşık bir yapı sunmaktadır. Bu nedenle zaman serilerinde sıklıkla kullanılan trend analizlerinin Kapula fonksiyonları ile yapılması amacıyla Arşimedyen Kapula bağımlılık modelleri kullanılarak trend olasılıklarının simülasyonuna dayanan yeni bir

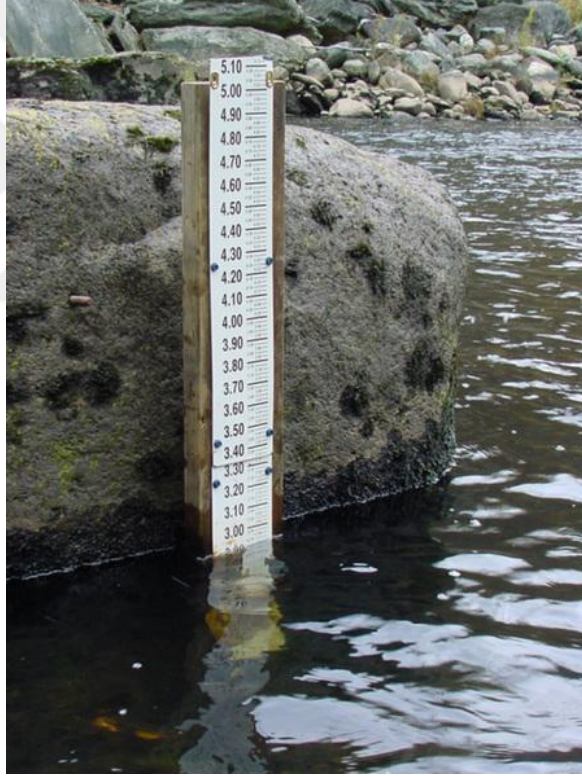
Kapula temelli trend analiz yöntemi sunulmuştur. Literatürde daha önce Gauss (Normal) Kapula fonksiyonları ile yapılan trend analizleri olsa da Arşimedyen Kapula fonksiyonları kullanılarak yapılan herhangi bir trend analizi mevcut değildir. Tez çalışması kapsamında bütün analizler MATLAB ortamında yazılan betikler (Script) ile yapılmıştır. Tez çalışmasında yapılan;

- 1. Uygulamada; Ege Denizi'nde 8 mareograf istasyonundan elde edilen deniz seviyesi verileri kullanılarak Ege Denizi'ndeki bağıl deniz seviyesi değişimleri Kapula fonksiyonları ile incelenmiştir. İstasyonlardaki bağımlılık yapıları Kapula fonksiyonları ile modellenerek doğruluk analizleri yapılmıştır.
- 2. Uygulamada; Ege Denizi'nde bulunan Menteş ve Bodrum İstasyonlarında kaydedilen aylık ortalamalı deniz seviyesi, hava sıcaklığı, hava basıncı, hava nemi ve rüzgar hızı arasındaki ilişkiler Kapula fonksiyonları ile incelenerek meteorolojik verilerin deniz seviyeleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.
- 3. Uygulamada; Ege Denizi'nde bulunan 8 mareograf istasyonundan elde edilen deniz seviyesi ve mareograf istasyon bölgelerindeki deniz yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkiler Kapula fonksiyonları kullanılarak incelenmiştir. Böylece deniz yüzey sıcaklıklarının deniz seviyesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.
- 4. Uygulamada; Arşimedyen Kapula fonksiyonları ile trend analiz yöntemi Ege denizinde bulunan 5 mareograf istasyonundan elde edilen deniz seviyesi zaman serilerinde uygulanmıştır. Ardından yapılan trend analizlerinin sonuçlarını daha iyi inceleyebilmek için 5 mareograf istasyonunda deniz seviyesi değişim anomalileri 1990-1998 (1.Dönem) ve 1999-2008 (2. Dönem) olmak üzere iki farklı dönemde Kapula temelli trend analizi ile incelenmiştir. Her döneme ait bağımlılık modelleri oluşturulmuş ve Kapula temelli trend analizleri yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır.
- 5. Uygulamada; Dördüncü uygulamada deniz seviyesi değişim anomalilerindeki eğilimlerin nedenlerini araştırmak amacıyla deniz yüzey sıcaklıkları zaman serileri 1990-1998 (1. Dönem) ve 1999-2008 (2. Dönem) olmak üzere iki farklı dönemde Kapula temelli trend analizi ile incelenmiştir.
- 6. Uygulamada; Kapula temelli trend analiz yönteminin verimliliği ve kullanılabilirliğini ölçmek amacıyla dördüncü ve beşinci uygulamalarda yapılan Kapula temelli trend analizleri birinci ve ikinci dereceden regresyon analizleri ile karşılaştırılmıştır.

1.4. Deniz Seviyesi Ölçüm Yöntemleri

Mareograf istasyonlarında kullanılan bazı ölçüm yöntemleri;

- Analog deniz seviyesi ölçüm sistemi (Şekil 2)
 - Dinlendirme kuyulu deniz seviyesi ölçüm sistemi
 - Şamandıralı deniz seviyesi ölçüm sistemi
 - Akustik deniz seviyesi ölçüm sistemi
 - Radar deniz seviyesi ölçüm sistemi (Şekil 3)
 - Hava kabarcıklı deniz seviyesi ölçüm sistemi
- olarak sayılabilir (Simav, 2007).



Şekil 1. Deniz kıyılarına yerleştirilen mira



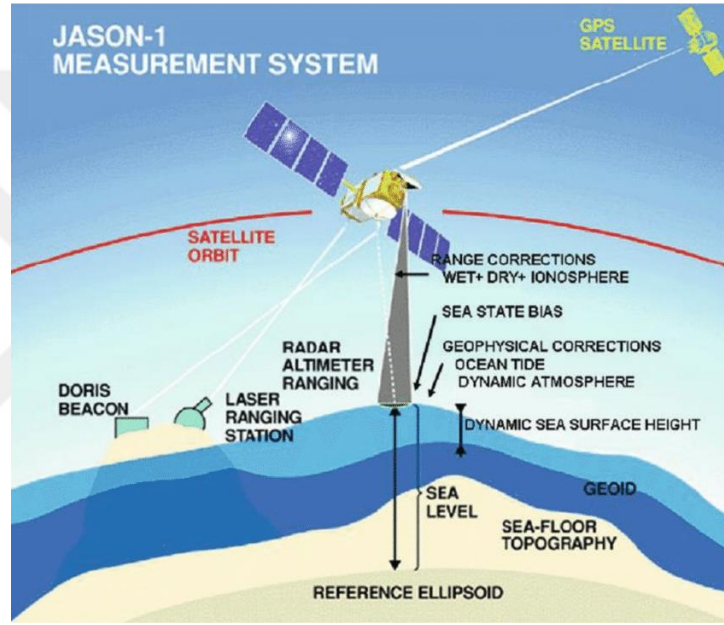
Şekil 2. Analog deniz seviyesi ölçüm sistemi



Şekil 3. Radar deniz seviyesi ölçüm sistemi

Deniz seviyesinin mareograf istasyonlarından ölçülebilmemesinin yanı sıra 1970'li yıllardan itibaren uyduların yaygınlaşması ve radar ölçüm tekniklerinin gelişmesi sonucunda radar altimetre tekniği ile deniz seviyesi değişimleri ölçülebilmektedir. Radar altimetre ile deniz seviyesi değişimleri yer merkezli referans sistemi üzerinde hem yerel hem de global ölçekte belirlenebilmektedir (Simav, 2007). Bununla beraber radar altimetre tekniği deniz ve okyanus yüzey topografyası, sterik deniz seviyesi belirleme çalışmalarında da büyük katkılar sağlanmaktadır. Radar altimetre tekniğinden önce deniz seviyesi değişimlerinin sadece kıyılardan izlenebildiği, açık deniz ve okyanuslardaki değişimler hakkında oşinografi gemilerinden yapılan ölçümler haricinde bilgi elde edilemediği açıktır. Bu nedenlerden dolayı radar altimetre tekniği deniz seviyesi belirleme ve izleme

çalışmalarına büyük katkılar sunmuştur. Radar altimetre ile deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesi ise temel olarak yüzeye gönderilen radar dalgasının, yüzeyden yansırarak alıcıya ulaşması arasındaki sürenin belirlenmesi ve bu sürenin ışık hızı ile çarpılması sonucu alıcının yüzeye göre bağıl konumunun hesaplanmasıdır. Ardından yüksek duyarlılıklı uydu konum bilgileri bu bilgiler ile karşılaştırılarak yüzeyde meydana gelen değişimler hesaplanabilmektedir (Şekil 4). Deniz seviyesi değişimleri Mutlak Deniz Seviyesi Değişimi ve Bağıl Deniz Seviyesi Değişimi olarak iki farklı şekilde izlenmektedir.



Şekil 4. Radar altimetre ölçüm tekniği (Nadzir, 2017)

1.4.1. Mutlak Deniz Seviyesi Değişimi (Absolute Sea Level Change)

Deniz seviyesi değişimlerinin yer merkezli bir referans sisteminde ölçülerek, düşey yönlü kara hareketi ve tektonik hareketlerin bozucu etkilerden arındırıldıktan sonra elde edilen gerçek deniz seviyesi değişimi sinyalidir.

1.4.2. Bağıl Deniz Seviyesi Değişimi (Relative Sea Level Change)

Ölçülen deniz seviyesi değişim değerlerinin plaka hareketleri, deformasyonlar ve tektonik hareketler gibi kara hareketlerini de içermesi sonucunda elde edilen değişim

sinyalidir.

Mutlak deniz seviyesi ve bağıl deniz seviyesi değişimi arasındaki ilişki,

$$RSL = VLM + ASL \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Burada RSL (Relative Sea Level) bağıl deniz seviyesini, VLM (Vertical Land Motion) düşey yönlü kara hareketini, ASL (Absolute Sea Level) ise Mutlak deniz seviyesi değerini göstermektedir. Mareograf istasyonlarından elde edilen deniz seviyesi değişimleri karadaki bir röper noktasında göre ölçülmektedir. Röper noktasında meydana gelecek düşey yönlü hareketler deniz seviyesi ölçüm değerlerine de yansımakta ve mutlak deniz seviyesi değişim değerlerini bozucu bir etki yapmaktadır. Mareograf istasyonlarında elde edilen bağıl deniz seviyesi değişimlerini kara hareketlerinden ayırtmak amacıyla mareograf istasyonlarında GNSS, nivelman ve gravite ölçüleri gerçekleştirilmektedir. Radar altimetre ile elde edilen deniz seviyesi ölçümleri ise herhangi bir yeryüzü noktasına göre ölçülmediğinden düşey yönlü kara hareketlerini içermezler. Doğrudan yer merkezli bir referans sisteminde ölçüldüğü için gerçek (mutlak) deniz seviyesi değişimlerini gösterirler.

1.5. Deniz Seviyesi Değişiminin Nedenleri

Deniz seviyesini değiştiren faktörler

- Gel – Git Etkileri
- Meteorolojik Etkiler
- Oşinografik Etkiler
- İklim Değişikliği ve Buzulların Erimesi
- Nehir Akışları
- Düşey Kabuk Hareketleri ve Denizaltı Depremler

olarak bilinmektedir (Simav, 2007).

Gel – Git Etkileri: Temel olarak gel-git etkisi bir kütle çekim etkisi olarak tanımlanabilir. Dünya üzerinde çekim etkisine neden olan ay ve güneş nedeniyle deniz seviyesinde değişimler meydana gelir. Bu değişimler kısa vadeli veya uzun vadeli olabilir. Kısa vadeli etkiler genellikle saatlik veya günlük etkilerdir. Uzun vadeli etkiler ise aylık, yıllık veya birkaç yıllık olabilir (Simav, 2007). Deniz seviyesi üzerinde gel-git etkisi en fazla Ekvator

kısımlarında görülmekte olup genel olarak etkisi yaklaşık yarım metre civarındadır (Gürdal, 2002). Ancak bu etki bazen çok daha etkili bir şekilde de ortaya çıkabilmektedir. Örneğin Kanada'nın atlas okyanusu kıyılarında 12.9 metre büyüklüklere varan çekim etkileri gözlemlenmiştir (Gürdal, 2002). Gel-git etkileri oldukça periyodik bir şekilde ortaya çıktığından modellenmesi ve etkilerinin incelenmesi oldukça kolaydır.

Meteorolojik Etkiler: Deniz seviyesini etkileyen meteorolojik faktörler atmosfer basıncı, hava sıcaklığı, rüzgarlar olarak sayılabilir. Bu etkiler düzenli bir periyotta olmadıklarından etkilerini belirlemek ve modellemek güçtür. Atmosfer basıncı deniz seviyesi üzerinde negatif yönlü bir etkiye sahiptir. Yaklaşık olarak 1 milibarlık atmosfer basıncı artışı deniz seviyesi üzerinde 1 santimetre azalmaya sebep olur ki bu etkiye 'ters barometrik etki' adı verilir (Gürdal, 2002). Hava sıcaklığı ise deniz seviyesi değişimi için pozitif yönlü bir etki yapmaktadır. Hava sıcaklıklarının artması deniz suyu sıcaklığını artırır ve deniz suyunda genişlemeye sebep olur. Bu genişleme sonucu deniz seviyesi artar. Rüzgarlar ise deniz suyunun sürüklenmesine sebep olduklarından deniz seviyesini değiştirirler. Etkileri kısa dönemli (saatlik, günlük) olarak ortaya çıkmaktadır. Bu etki düzensiz ve periyodik olmadığından genellikle aritmetik ortalama ile etkileri giderilir (Simav, 2007).

Oşinografik Etkiler: Deniz suyu tuzluluğu deniz seviyesini etkileyen bir diğer faktördür. Burada tuzluluk ile deniz seviyesi arasında negatif yönde bir ilişki mevcuttur. Tuzluluk seviyesindeki artış deniz suyunun yoğunluğunu artırır. Deniz suyunun yoğunluğunun artması sonucu deniz seviyesi azalır.

İklim Değişikliği ve Buzulların Erimesi: İklim değişikliği atmosferdeki sera gazı miktarının artmasıyla kendini göstermeye başlamıştır. Sera gazı etkisi (Green House Effect) atmosferin ısınmasına, buzulların erimesine dolayısı ile deniz seviyesinin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle sera gazı etkisinin en iyi gözlemlenebildiği yerlerden biri de deniz seviyesindeki artış miktarlarıdır. Deniz seviyesinin global ölçekte artmakta olduğu ve artış hızının da pozitif yönde ivmeye sahip olduğu hükümetler arası iklim değişikliği paneli raporunda belirtilmektedir (Solomon vd., 2007). Bu artış hızlarının nedeni olarak büyük ölçekte iklim değişikliği gösterilmektedir (Meehl vd., 2007).

Nehir Akışları: Deniz seviyesi ile nehir akışları arasında pozitif bir ilişki mevcuttur. Artan nehir ve akarsu akışları deniz seviyesi üzerinde artışa sebep olur (Cazenave vd., 2001).

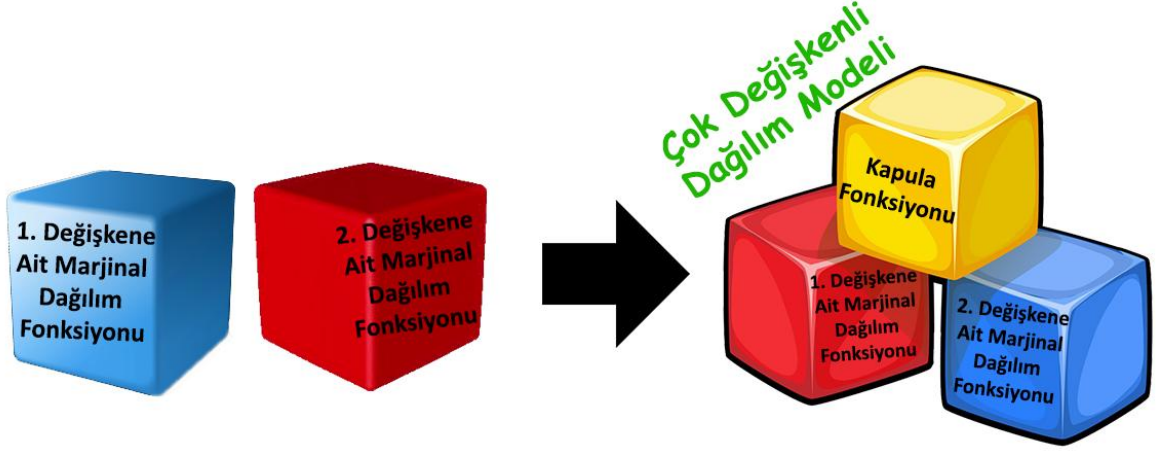
Düşey Kabuk Hareketleri ve Denizaltı Depremler: Düşey kabuk hareketleri deniz seviyesi üzerinde etkili olan bir başka faktördür. Bu etkiler deniz seviyesi değerleri üzerinde bozucu bir etki yaparak gerçek değerini ortaya çıkmasını engeller. Bu nedenle etkileri iyi derecede

ölçülerek modellenmeli ve bu etkiler giderilerek deniz seviyesi belirlenmelidir. Denizaltı depremler ise Tsunami olarak adlandırılır (Gürdal, 2002). Bu depremler kıyılarda yıkıcı hasarlara sebep olabileceği gibi aniden ortaya çıkan yüksek dalgalanmalara ve metrelerce deniz seviyesi değişimlerine sebep olabilirler.

Global ölçekte okyanus ve deniz seviyesi değişimlerinin birçok nedeni olsa da değişimin büyük çoğunluğu buzulların erimesi ve okyanus sularındaki genişmeden kaynaklanan seviye artışlarıdır (Tapley vd., 1993). Ancak bölgesel ölçekte ve kıyılarda farklı nedenlerle deniz seviyesi değişimleri farklılık gösterir. Bu farklılıklar düşey kara hareketleri, yerel gravite, deniz suyu yoğunluğu, bölgesel farklılık gösteren meteorolojik faktörler, kıyasal akıntılar ve gel-git nedeniyle oluşmaktadır.

1.6. Kapula Teorisi

Kapula kelimesi Latince bir kelimedir. İlişki ve bağ anlamlarına gelmektedir (Nelsen, 2007). İlk defa Fréchet tarafından sorulan, iki rasgele değişkene ait marjinal dağılımların bilindiği bir durumda çok değişkenli dağılımın nasıl oluşacağı sorusu Kapula teorisinin çıkış noktasını oluşturmuştur. Bu sorunun cevabı olarak 1959 yılında Abe Sklar tarafından Sklar Teoremi ortaya atılmış ve Kapula kavramı ilk defa Sklar Teoremi ile literatürde yer bulmuştur. Sklar'a göre Kapula fonksiyonları, çok değişkenli dağılımları kendi tek değişkenli marjinal dağılım fonksiyonlarına bağlayan fonksiyonlardır (Sklar, 1959) (Şekil 5). Bu tanım değişkenler arasındaki ilişkilerde Kapula fonksiyonlarının üstlendiği rolü açıklamaktadır. Bilindiği üzere doğrusal korelasyonlar sadece doğrusal dönüşümler altında değişmez iken Kapula fonksiyonları çok değişkenli dağılımları marjinal dağılımlarından ayırabilmesi özelliği nedeniyle artan monoton dönüşümler altında değişmezdir. Bunun gibi doğrusal korelasyon yöntemine göre birçok üstünlüğü nedeniyle Kapula fonksiyonlarının kullanımı ve uygulama alanları giderek genişlemektedir. 1959 yılında literatüre girmesine rağmen Kapula fonksiyonları bugün bile gelişmeye devam etmektedir.



Şekil 5. Marjinal Dağılım, Kapula Fonksiyonu ve Çok Değişkenli Dağılım Modeli

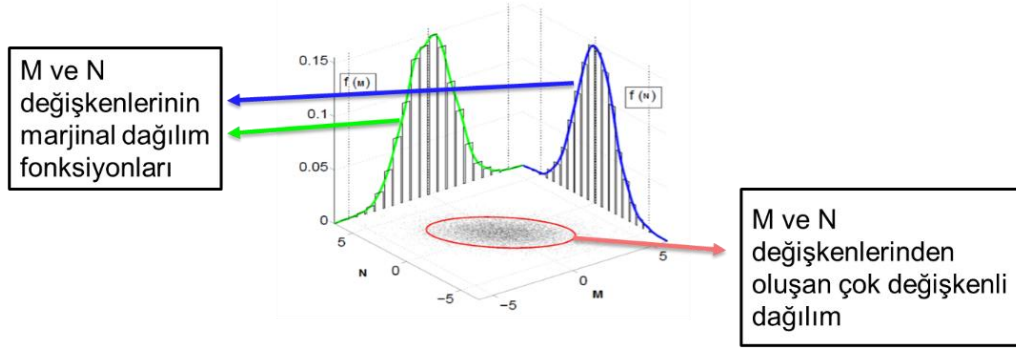
1.6.1. Kapula Fonksiyonlarının Tanımı

Sklar'a göre Kapula Fonksiyonları çok değişkenli dağılımları kendi tek değişkenli marjinal dağılım fonksiyonlarına bağlayan fonksiyonlardır. (Nelsen, 2007)' de verilen bir başka tanıma göre ise Kapula Fonksiyonları marjinal dağılımların (0,1) arasında tekdüze (Uniform) olarak dağıldığı çok değişkenli dağılım fonksiyonlarıdır.

Sklar Teoremi,

$$H(x, y) = C(F(x), G(y)) \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $F(x)$ ve $G(y)$ x ve y değişkenlerine ait marjinal dağılım fonksiyonları, $H(x, y)$ ise marjinalleri $F(x)$ ve $G(y)$ olan ortak dağılım fonksiyonudur. C ise $F(x)$ ve $G(y)$ marjinallerini $H(x, y)$ ortak dağılımına bağlayan fonksiyondur (Şekil 6).



Şekil 6. İki Değişkenli Durumda Marjinal Dağılım Fonksiyonları ve Ortak Dağılım (Modiri, 2015)

$C: [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$ olarak tanımlanan fonksiyonu eğer ;

$$C(u, 1) = u \text{ ve } C(1, v) = v \quad (3)$$

$$C(u, 0) = C(0, v) = 0 \quad (4)$$

özelliklerini sağlıyorsa Kapula fonksiyonu olarak kabul edilir (Genest ve Rivest, 1993). Ayrıca bir fonksiyonun Kapula fonksiyonu olarak kabul edilebilmesi için artan ve devamlı bir yapıda olması gerekmektedir.

1.6.2. Kapula Fonksiyonlarının Uygulama Alanları

Kapula fonksiyonları biyomedikal (Wang ve Wells, 2000), Hidroloji (Bárdossy ve Li, 2008), Klimatoloji (Vogl vd., 2012), Ekonomi ve Finans (Najjari, 2014), Hidro-jeodezi (Modiri, 2015), jeodezi (Modiri vd., 2016; Modiri vd., 2018) gibi birçok alanda kullanılan fonksiyonlardır. Günümüzde Kapula fonksiyonları;

- Çok değişkenli bağımlılık yapılarının incelenmesinde
- Stokastik Modelleme çalışmalarında
- Parametrik olmayan bağımlılık ölçülerinin geliştirilmesinde
- Yeni çok değişkenli dağılımların elde edilmesinde

kullanılmaktadır (Özbakış, 2006).

1.6.3. Arşimedyen Kapula Fonksiyonları

Arşimedyen Kapula yaklaşımı ilk defa (Kimberling, 1974) tarafından önerilerek literatüre girmiştir. Arşimedyen Kapula fonksiyonları bir üretici fonksiyon aracılığıyla kolaylıkla türetilen ve bazı önemli özelliklere sahip olması nedeniyle bağımlılık modelleme uygulamalarında oldukça sık kullanılan fonksiyonlardır. Arşimedyen Kapula fonksiyonlarının uygulamalarda sıklıkla tercih edilmesinin sebepleri olarak;

- Üretici bir fonksiyon aracılığıyla kolaylıkla inşa edilebilmesi,
- Hem pozitif hem de negatif bağımlılıkları modelleyebilmesi,
- Lokal bağımlılıkları yansıtılabilmeleri

gösterilebilir. İki değişkenli bir Arşimedyen Kapula fonksiyonu

$$C(u, v) = \varphi^{-1}[\varphi(u) + \varphi(v), \theta] \quad (5)$$

gibi inşa edilebilir (Nelsen, 2007). Burada θ Kapula Parametresi (Birliktelik Parametresi), φ ise aşağıdaki özelliklere sahip Kapulaya ait üretici fonksiyondur (Nelsen, 2007).

- $\varphi(1) = 0$
- Her $u \in (0,1)$ için $\varphi(u) < 0$, yani φ azalandır.
- Her $u \in (0,1)$ için $\varphi(u) < 0$, yani dışbükey bir fonksiyondur.

Arşimedyen üretici fonksiyonlarının özellikleri dışında Arşimedyen fonksiyonlarına ait bazı matematiksel özellikler de vardır. C üretici fonksiyonu φ olan bir Arşimedyen Kapula fonksiyonu olarak kabul edilirse;

- $\forall (u, v) \in [0,1]$ olmak üzere $C(u, v) = C(v, u)$ olur. (Simetri Özelliği)
- $\forall (u, v, w) \in [0,1]$ olmak üzere $C(C(u, v), w) = C(u, C(v, w))$ (Birleşme özelliği)
- c sıfırdan büyük bir sabit olmak üzere $c \cdot \varphi$ C 'nin üretici fonksiyonudur (Özbakış, 2006).

1.7. Bağımlılıkların Ölçümü ve Modellenmesi

Değişkenler arasındaki bağımlılıkların ölçülmesi ve modellenmesi birçok bilim dalında kullanılmaktadır. Bu bağımlılıklar bir rasgele değişkenin zaman içerisinde değişimini gösteren zamana karşı bağımlılıklar olabileceği gibi, iki farklı değişkenin birbirine göre değişimini gösteren bağımlılıklar da olabilir. Bağımlılıkların ölçülmesi için

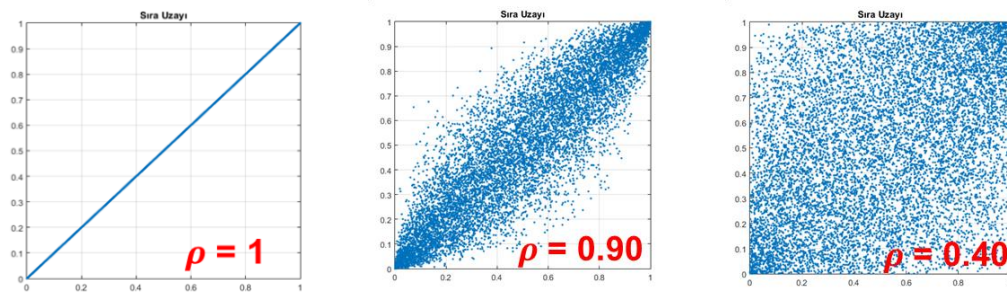
kullanılan birçok farklı yöntem olsa da bu yöntemlerin kullanımı için değişkenlerin özellikleri ve yöntemin temelden gelen varsayımlarını değişkenlerin sağlayıp sağlamadığı dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde gerçek ilişkiler ortaya çıkarılamaz.

1.7.1 Bağımlılık, Sıra Sayıları ve Sıra Uzayı

İki rasgele değişken arasındaki ilişkide herhangi bir değişkene ait değerler büyürken, diğer değişkene ait değerler de büyüyorsa veya herhangi bir değişkene ait değerler küçülürken, diğer değişkene ait değerler de küçülüyorsa bu değişkenler uyumludur (concordant) denir. Aynı şekilde herhangi bir değişkene ait değerler büyürken, diğer değişkene ait değerler küçülüyorsa bu değişkenler uyumsuzdur (discordant) denir. Örneğin (X_i, Y_i) ve (X_j, Y_j) herhangi bir değişkenden alınan değerler olsun.

- $X_i < X_j$ iken $Y_i < Y_j$ ise veya $X_j < X_i$ iken $Y_j < Y_i$ ise bu değişkenler uyumludur.
- $X_i < X_j$ iken $Y_j < Y_i$ veya $X_j < X_i$ iken $X_i < X_j$ değişkenler uyumsuzdur (Alhan, 2008).

Sıra sayılarının kullanıldığı sıra uzayı değişkenler arasındaki ilişkileri izlemek için sıklıkla kullanılmaktadır. İki değişkene ait değerler küçükten büyüğe doğru sıralanarak, bir dağılım grafiğinde gözlemlenirse değişkenler arasındaki ilişki kolaylıkla görülebilir (Şekil 7).



Şekil 7. Farklı Korelasyonlardaki Sıra Uzayları

1.7.2. Bağımlılık Katsayıları

Bu bölümde parametrik ve parametrik olmayan bazı bağımlılık ölçütleri hakkında bilgiler verilecektir.

1.7.2.1. Pearson Korelasyon Katsayısı

Parametrik bağımlılık ölçütlerinden biri olan Pearson korelasyon katsayısı, değişkenler arasındaki doğrusal bağımlılığı ölçmektedir. Değişkenlerin ve hatalarının normal dağılımda olduğunu varsayar. Hesaplanması oldukça kolay olduğundan uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. x ve y vektörleri sıfırdan farklı ve sonlu varyansa sahip olmak üzere Pearson korelasyon katsayısı,

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır. Burada r Pearson korelasyon katsayısıdır. Genelleştirilerek yazılacak olursa,

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (7)$$

olarak ifade edilebilir. σ_{xy} değişkenler arasındaki kovaryansı, σ_x ve σ_y ise sırasıyla x ve y değişkenlerine ait ortalama hatayı göstermektedir. Pearson korelasyon katsayısının değeri -1 ile 1 arasında değişebilir. Burada -1 negatif tam bağımlılık, 1 ise pozitif tam bağımlılığı gösterir. 0 ise bağımsızlık durumunu göstermektedir. Doğrusal dönüşümler altında sabittir. Rasgele değişkenlerin ortak dağılımları eliptik bir dağılıma uyuyorsa bağımlılığın doğru bir ölçütü olarak Pearson korelasyon katsayısı kullanılabilir (Alhan, 2008). Diğer durumlarda ise yanıltıcı olabilir.

1.7.2.2. Spearman'ın Rho Katsayısı

Normal dağılıma sahip olmayan rasgele değişkenler arasında doğrusal ilişki yoksa veya değişkenlerin varyansları bilinmiyorsa parametrik olmayan bağımlılık ölçütlerinin kullanılması önerilir (Alhan, 2008). Parametrik olmayan bağımlılık yöntemlerinden biri de Spearman'ın Rho katsayısıdır. Bu katsayı hesaplanırken sıra sayıları kullanılmaktadır. Spearman'ın Rho katsayısı,

$$\rho_n = \frac{12}{n \cdot (n + 1) \cdot (n - 1)} \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_i - 3 \cdot \frac{n + 1}{n - 1} \quad (8)$$

şeklinde tanımlanır. Burada n veri adedini, R_i ve S_i ise değişkenlerin sıra sayılarını göstermektedir (Küçükten büyüğe doğru). Pearson korelasyonu ile aynı aralıklara sahiptir. -1 negatif yönde tam bağımlılık, 1 pozitif yönde tam bağımlılık, 0 ise bağımsızlık durumunu göstermektedir. Örneğin X değişkenine ait değerler $X=\{7.5,3,9,6.2,5.4,11.3,12\}$ ve $Y=\{12.4,5.1,9,7.7,8.2,15.4,16.3\}$ olsun. Değişkenler ve sıra sayıları (Tablo 1)'de verilmiştir.

Tablo 1. Değişkenler ve Sıra Sayıları

R_i	X	Y	S_i
4	7.5	12.4	5
1	3	5.1	1
5	9	9	4
3	6.2	7.7	2
2	5.4	8.2	3
6	11.3	15.4	6
7	12	16.3	7

X ve Y değişkenlerinin sıra sayılarına dönüştürüldükten sonraki sıra uzayı $R_i=\{4,1,5,3,2,6,7\}$ $S_i=\{5,1,4,2,3,6,7\}$ olur. Bu değişkenler için Spearman'ın Rho katsayısı (2.2)'den 0.9286 olarak hesaplanır. Pearson korelasyon katsayısı ile aynı aralıklarda olmasına rağmen Spearman'ın Rho katsayısının, doğrusal korelasyon katsayısına göre bazı üstünlükleri mevcuttur. Örneğin Spearman'ın Rho katsayısının ± 1 ' e eşit olması yani pozitif veya negatif tam bağımlılık durumu iki değişken arasında fonksiyonel bir bağımlılık mevcutsa ortaya çıkar. Ancak Pearson korelasyon katsayısında bu durum değişkenler ancak birbirinin doğrusal fonksiyonuysa ortaya çıkmaktadır. Bu durum doğrusal korelasyon açısından son derece kısıtlayıcıdır (Genest ve Favre, 2007; Alhan, 2008). Bunlara ek olarak, Pearson korelasyon katsayısı Cauchy dağılımı gibi ağır kuyruklu

ve sonlu olmayan varyans değerlerine sahip dağılımlarda tanımlanamazken, Spearman'ın Rho katsayısı için böyle bir durum söz konusu değildir.

1.7.2.3. Kendall Tau Katsayısı

Bir diğer parametrik olmayan bağımlılık ölçütü Kendall Tau katsayısıdır. Bu katsayıda tıpkı Spearman'ın Rho katsayısı gibi sıra sayılarına dayanmaktadır. C uyumlu çiftlerin sayısını (Concordant), D ise uyumsuz çiftlerin (Discordant) sayısını göstermek üzere Kendall Tau katsayısı,

$$\tau = \frac{C - D}{C + D} \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır. Burada çiftler $(X_i - X_j) \cdot (Y_i - Y_j) > 0$ ise uyumlu, $(X_i - X_j) \cdot (Y_i - Y_j) < 0$ ise uyumsuz olarak kabul edilir (Özbakış, 2006). Tablo 1' deki örneğe bakacak olursak;

Tablo 2. Değişkenler ve Uyumluluk

R_i	X	Y	S_i	Uyumlu Çift Sayısı	Uyumsuz Çift Sayısı
4	7.5	12.4	5	5	1
1	3	5.1	1	6	0
5	9	9	4	5	1
3	6.2	7.7	2	5	1
2	5.4	8.2	3	5	1
6	11.3	15.4	6	6	0
7	12	16.3	7	6	0
TOPLAM				38	4

Tablo 2' de görüldüğü gibi 38 adet uyumlu, 4 adet uyumsuz çift bulunmaktadır. Öyleyse Kendall Tau katsayısı (2.3)'ten 0.8095 olarak hesaplanır. Uyumluluk ve uyumsuzluk kavramları doğrudan sıra sayıları ile ilişkili olduğundan Kendall Tau katsayısının da sıra sayılarına dayanan bir yöntem olduğu açıktır.

Spearman'ın Rho katsayısı ve Kendall Tau katsayısı ilk defa (Schweizer ve Wolff, 1981) tarafından Kapula fonksiyonları kullanılarak ifade edilmiştir. Spearman'ın Rho katsayısı ve Kapula fonksiyonu arasındaki ilişki,

$$12 \int_{[0,1]^2} C(u, v) du dv - 3 \quad (10)$$

şeklinde yazılır. Kendall Tau katsayısı ve Kapula fonksiyonu arasındaki ilişki,

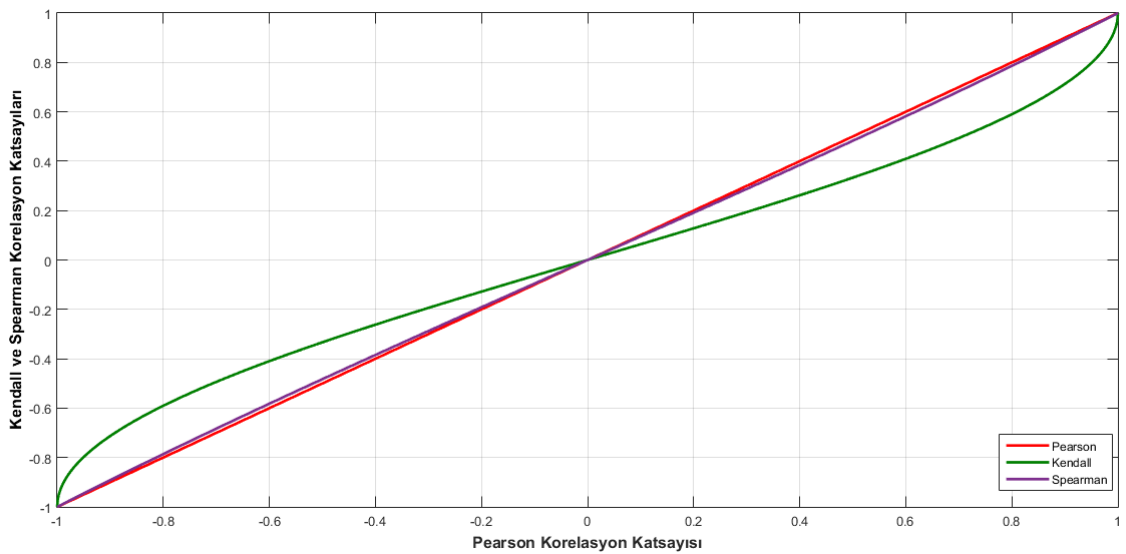
$$4 \iint_{I^2} C(u, v) dC(u, v) - 1 \quad (11)$$

şeklinde ifade edilir. İki değişkenli durumda Spearman'ın Rho, Kendall Tau ve Pearson katsayıları arasındaki ilişki,

$$\tau = \frac{2}{\pi} \arcsin(\rho) \text{ veya } \rho = \sin\left(\tau \cdot \frac{\pi}{2}\right) \quad (12)$$

$$\rho_n = \frac{6}{\pi} \arcsin\left(\frac{\rho}{2}\right) \text{ veya } \rho = 2 \sin\left(\rho_n \frac{\pi}{6}\right) \quad (13)$$

şeklinde tanımlanır (Karagül, 2013) (Şekil 8).



Şekil 8. Pearson, Kendall ve Spearman korelasyon katsayıları arasındaki ilişki

Burada anlatılan bağımlılık ölçütleri en çok kullanılan bağımlılık ölçütleridir. Bu ölçütler dışında Gini bağımlılık katsayısı, Blomqvist katsayısı, Schweizer-Wolff bağımlılık katsayısı gibi birçok bağımlılık ölçütleri mevcuttur.

1.7.3. Kuyruk Bağımlılığı

Kuyruk bağımlılığı aslında bir pozitif kadran bağımlılık olup, değişkene ait ekstrem kısımlardaki bağımlılıkların tespit edilmesinde kullanılır. İki değişkenli dağılımlarda sol-alt ve sağ-üst bölgelerdeki bağımlılığı ölçer (Karagül, 2013). Genellikle finans alanında, risk analizinde kullanılmaktadır. Üst kuyruk bağımlılığı,

$$\lambda_U = \lim_{u \rightarrow 1} P\{X_1 > F_1^{-1}(u) | X_2 > F_2^{-1}(u) > 0\} \quad (14)$$

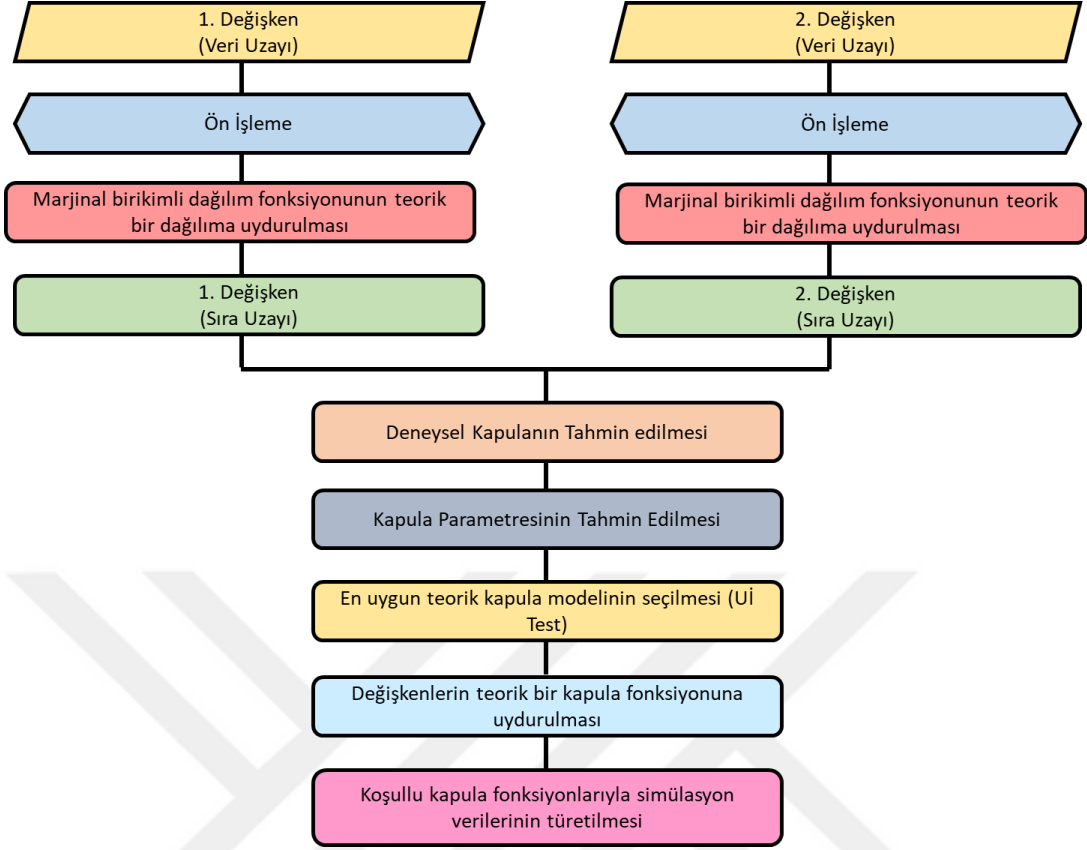
olarak ifade edilir (Alhan, 2008). Burada F_1^{-1} ve F_2^{-1} , X_1 ve X_2 değişkenlerinin ters dağılım fonksiyonu, λ_U ise üst kuyruğa ait bağımlılık katsayısıdır. Eğer (14)'de limit varsa üst kuyruk bağımlılığı mevcuttur, limit yok ise üst kuyruk bağımsızdır (Karagül, 2013). Aynı şekilde alt kuyruk bağımlılığı için gerekli formül,

$$\lambda_L = \lim_{u \rightarrow 0} P\{X_1 > F_1^{-1}(u) | X_2 > F_2^{-1}(u)\} \quad (15)$$

şeklinde kurulur (Alhan, 2008).

1.8. Kapula Fonksiyonları İle Bağımlılık Modelleme

Çok değişkenli dağılıma ait bağımlılıkların modellenmesi 2 temel adımdan oluşur. İlk olarak rastgele değişkenlere ait marjinal dağılımlar modellenmelidir. Bir sonraki aşama ise bu marjinal dağılımlar arasındaki bağımlılık yapısına en uygun teorik Kapula fonksiyonunun seçilip, Kapula fonksiyonuna ait parametrelerin hesaplanmasıdır. Böylece marjinal dağılımları ve Kapula fonksiyonu matematiksel olarak bilinen çok değişkenli dağılım modellenmiş olur. Değişkenler arasındaki bağımlılık yapılarının modellenmesi ve simülasyonu için kullanılan algoritma şeması verilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Kapula fonksiyonları ile bağımlılık modelleme algoritması

Kullanılan algoritma yapısında “*En uygun teorik Kapula modelinin seçilmesi (UI Test)*” adımı en uygun teorik Kapula fonksiyonunun seçimi için yapılan *Uyum İyiliği Testini* (Goodness of Fit Test) ifade etmektedir.

1.8.1. Rasgele Değişkenler ve Dağılım Fonksiyonları

Alacağı değer belli bir deneyin sonucuna bağlı olan değişkenlere rasgele değişkenler denir (Wooldridge, 2000).

1.8.1.1. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Probability Density Function - PDF)

Sürekli bir rasgele değişken X için olasılık yoğunluk fonksiyonu, belli bir değere sahip olma olasılığını açıklayan fonksiyondur. $f_X(x)$ ile gösterilir (Şekil 9). Sürekli bir

rasgele değişkenin (a, b) aralığında olma olasılığı, olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirli integrali ile,

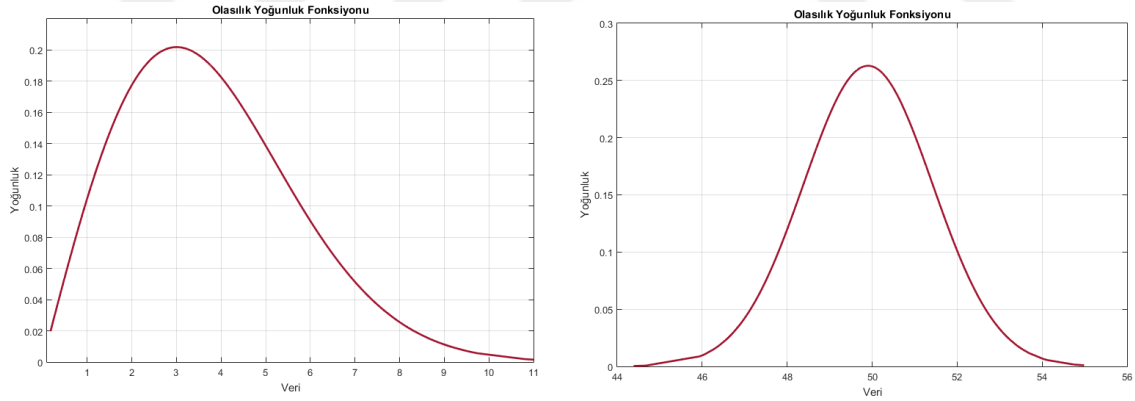
$$P(a < X < b) = \int_a^b f_X(x) dx \quad (16)$$

şeklinde hesaplanır. Olasılık yoğunluk fonksiyonuna ait bazı özellikler şunlardır;

- $f_X(x)$ olasılık değerlerini gösterdiğinden her zaman pozitif değere sahiptir. $\forall X \in (-\infty, \infty)$ için $f_X(x) \geq 0$ olur (Chan ve Tong, 1985).
- $f_X(x) \in (-\infty, \infty)$ için olasılık yoğunluk fonksiyonunun altında kalan alan 1'e eşittir. (King, 2008) Matematiksel notasyon ile,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_X(x) dx = 1 \quad (17)$$

şeklinde ifade edilir. Bazı dağılım fonksiyonları gösterilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Sırasıyla Rayleigh ve Normal dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonları

1.8.1.2. Birikimli Dağılım Fonksiyonu (Cumulative Distribution Function - CDF)

Birikimli dağılım fonksiyonu X rasgele değişkeni için

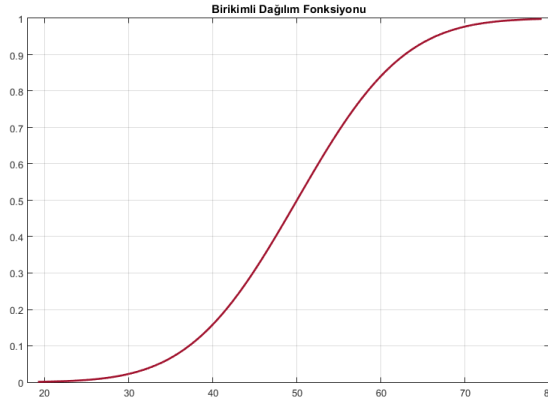
$$f_X(x) = \Pr[X < x] \quad (18)$$

olarak tanımlanır (Şekil 11). Burada Pr, olasılık değerini göstermektedir. Matematiksel notasyon ile birikimli dağılım fonksiyonu X rasgele değişkeni için,

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(x)dx \quad (19)$$

olarak tanımlanır (Kottegoda ve Rosso, 2008). Birikimli dağılım fonksiyonuna ait bazı özellikler şunlardır;

- Her rasgele X değişkeninin birikimli dağılım fonksiyonu 0 ile 1 arasındadır. Yani $X \in (-\infty, \infty)$ için $0 \leq F(X) \leq 1$ olarak yazılabilir.
- $F(-\infty) = 0$ ve $F(\infty) = 1$
- Eğer $X_1 > X_2$ ise $F(X_1) > F(X_2)$ olur.



Şekil 11. Ortalaması 50, standart sapması 10 olan normal dağılıma ait birikimli dağılım fonksiyonu

1.8.2. Çeşitli Dağılım Fonksiyonları

Kapula fonksiyonları ile bağımlılık modellenirken değişkenlere ait deneysel birikimli dağılımlar, özellikleri bilinen teorik birikimli dağılım fonksiyonuna uydurulur. Bu amaçla bu çalışmada kullanılan dağılım fonksiyonları açıklanmıştır.

1.8.2.1. Normal Dağılım

μ ortalama ve σ^2 varyansa sahip bir X değişkeni için normal dağılım veya Gauss dağılımı,

$$F(x|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (20)$$

olarak tanımlanan istatistiksel bir olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Burada μ değişkene ait ortalamayı, σ ise standart sapmayı göstermektedir (Şekil 9). Normal dağılıma ait birikimli dağılım fonksiyonu

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right] \quad (21)$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (22)$$

olarak ifade edilir (Şekil 11). (21)'de bulunan erf fonksiyonu "*Hata Fonksiyonu (Error Function)*" olarak adlandırılır ve (22) eşitliği ile hesaplanır.

1.8.2.2. Genelleştirilmiş Ekstrem Dağılım

Genelleştirilmiş ekstrem dağılım, ekstrem değer teorisi ve Gumbel, Fréchet, Weibull dağılım ailelerinin birleştirilmesiyle oluşan bir ekstrem değer dağılımıdır. Sıklıkla çok büyük veya çok küçük değerlere sahip ölçüm veya gözlemleri yansıtan rassal değişkenleri modellemek amacıyla kullanılır (Modiri, 2015). Genelleştirilmiş ekstrem dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x|k, \rho, \sigma) = \left(\frac{1}{\sigma} \exp \left(- \left(1 + k \frac{(x - \mu)^{-1/k}}{\sigma} \right) \right) \right) \left(1 + k \frac{(x - \mu)^{-1/k}}{\sigma} \right) \quad (23)$$

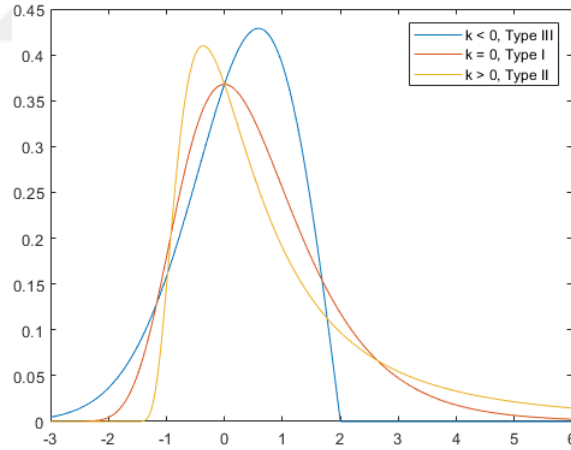
şeklinde ifade edilir (Şekil 12). (23)'de verilen dağılım modelinde 3 parametre bulunur. Bu parametreler μ konum parametresi, σ ölçek parametresi, k şekil parametresidir. Şekil parametresinin aldığı değere göre 3 farklı formda genelleştirilmiş ekstrem dağılım mevcuttur.

Dağılıma ait şekil parametresi değeri,

$k = 0$ ise Tip I,

$k > 0$ ise Tip II,

$k < 0$ ise Tip III olarak adlandırılır (Şekil 12).



Şekil 12. Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımı (URL 1)

1.8.2.3. Logistik Dağılım

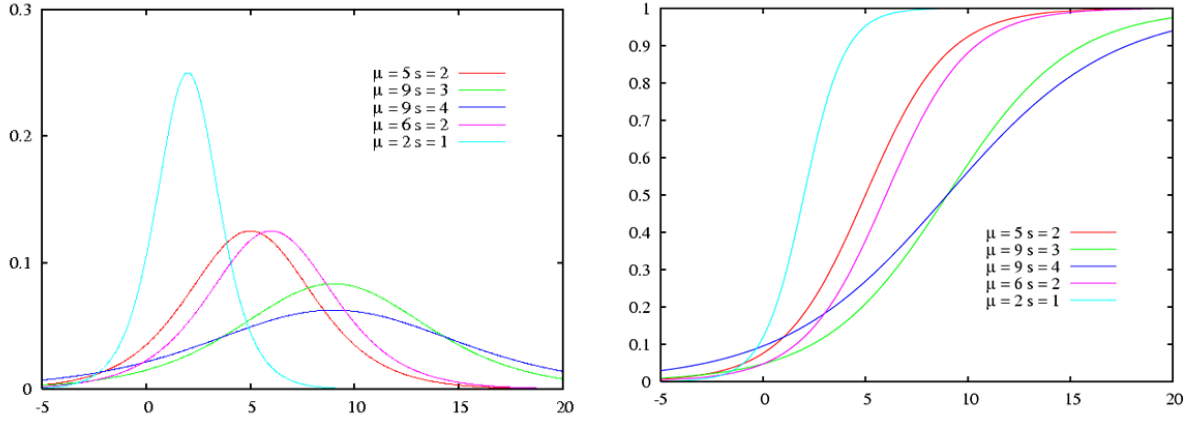
Sürekli bir dağılım fonksiyonu olan logistik dağılım, aslında Tukey-Lambda dağılımının özel bir formudur. Logistik dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x; \mu, s) = \frac{e^{-\frac{x-\mu}{s}}}{s \left(1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}\right)^2} \quad (24)$$

şeklinde hesaplanır. (3.8)'de μ ortalamayı, s ise ölçek parametresini göstermektedir. Şekil olarak normal dağılıma oldukça benzeyen bu dağılım ağır kuyruklardan dolayı biraz daha basıktır (Şekil 13). Bu dağılıma ait birikimli dağılım fonksiyonu ise,

$$F(x; \mu, s) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}} \quad (25)$$

şeklinde hesaplanır.



Şekil 13. Logistik Dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu ve birikimli dağılım fonksiyon grafikleri (Wikimedia, 2016)

1.8.2.4. Weibull Dağılımı

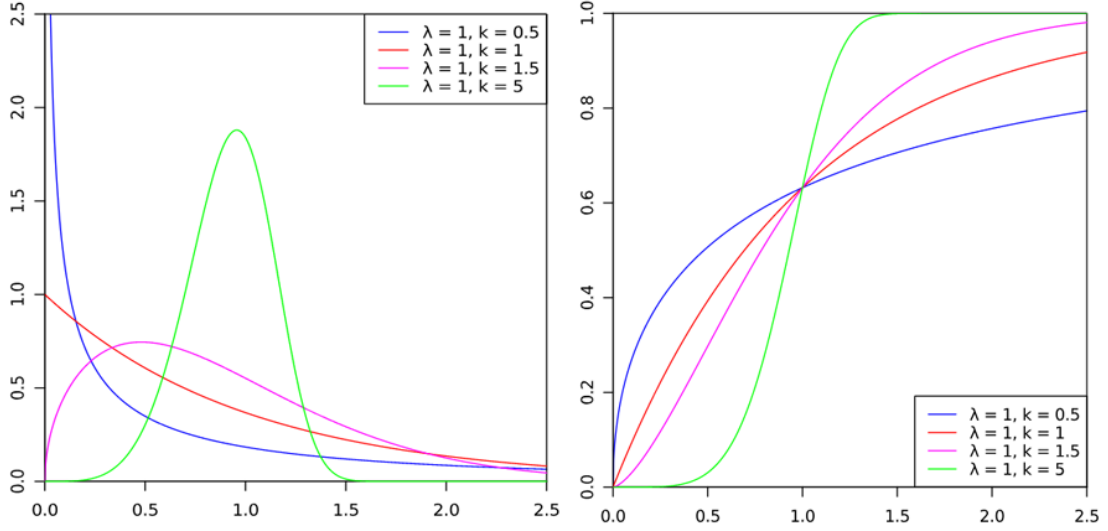
Weibull dağılımı oldukça esnek, sürekli bir olasılık dağılımıdır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x; k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} \quad (26)$$

şeklinde hesaplanır. Burada λ ölçek parametresini, k ise şekil parametresini göstermektedir. Weibull dağılımındaki parametreler değiştirilerek dağılımın, üstel dağılım, normal dağılım ve Rayleigh dağılımı davranışlarını sergilemesi sağlanabilir (Şekil 14). Örneğin $k=2$ için Weibull dağılımı Rayleigh dağılımına, $k=1$ için ise üstel dağılıma benzer. Weibull dağılımına ait birikimli dağılım fonksiyonu,

$$F(x; k, \lambda) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} \quad (27)$$

şeklinde hesaplanır.



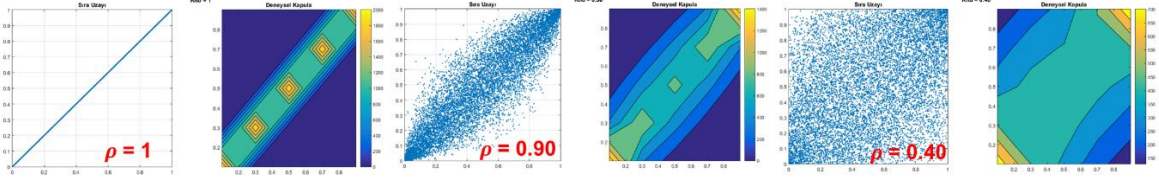
Şekil 14. Weibull dağılımına ait olasılık yoğunluk ve birikimli dağılım fonksiyon grafikleri

1.8.3. Deneysel Kapula

Deneysel veya ampirik Kapula veri setinin tüm bağımlılık yapısını yansıttığı varsayılan bilinmeyen teorik Kapula dağılımları için bir tahmin edici fonksiyondur (Genest ve Rivest, 1993; Laux vd., 2011). Deneysel Kapula,

$$C_e(u, v) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{1} \left(\frac{r_i}{n+1} \leq u, \frac{s_i}{n+1} \leq v \right) \quad (28)$$

formülü ile hesaplanır. Burada **1** başlatıcı fonksiyondur. Eğer koşul doğrusa 1, yanlış ise 0' a eşittir. r_i ve s_i verilerin sıralarının çiftlerini göstermektedir. n ise veri sayısıdır. Deneysel Kapula çok değişkenli dağılımda, değişkenlerin sıra uzayının yoğunluğunu göstermektedir (Şekil 14).



Şekil 15. Normal dağılımda sıra uzayı ve deneysel Kapula

1.8.4. Bağımlılık Modellemede Kullanılan Arşimedyen Kapula Fonksiyonları

Bu çalışmada Kapula fonksiyonları ile bağımlılık modellenirken Arşimedyen Kapula ailesine ait Frank, Clayton, Gumbel Kapula fonksiyonları kullanılmıştır. Bağımlılık modellemede oldukça yaygın olarak kullanılan bu teorik Kapula fonksiyonları hem kuyruk bağımlılıklarını modelleyebilmekte hem de geniş parametre uzayı sayesinde pozitif ve negatif bağımlılıkları yansıtabilmektedir. Ayrıca parametrik olmayan Kendall Tau ve Spearman Rho katsayıları ile ilişkilendirilebilmektedir. Bu çalışmada yukarıdaki özelliklerinden dolayı Frank, Clayton ve Gumbel Kapula fonksiyonları kullanılmıştır.

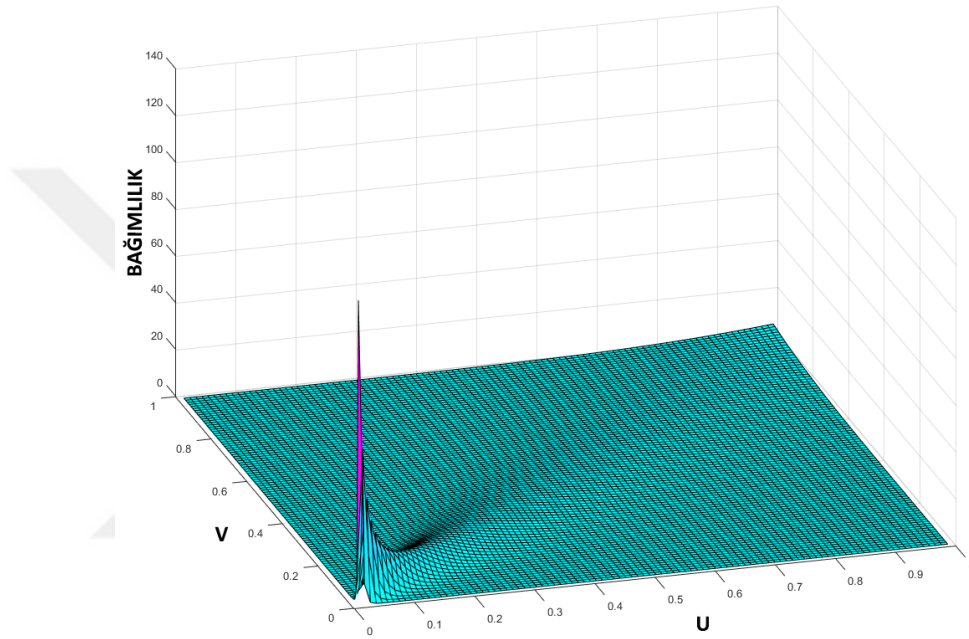
1.8.4.1. Clayton Kapula Fonksiyonu

Asimetrik bir Arşimedyen Kapula olan Clayton Kapula fonksiyonu pozitif bağımlılıkları ve alt kuyruktaki yerel bağımlılıkları yansıtabilmektedir (Şekil 16). Değişkenler küçük değerlerde yüksek korelasyona sahipse bağımlılıkları Clayton Kapula ile modellemek uygundur (Topçu, 2013). Clayton Kapula fonksiyonuna ait üretici fonksiyon ve Kapula formülü sırasıyla,

$$\varphi(t) = -\ln\left(\frac{\theta^t - 1}{\theta - 1}\right) \quad (29)$$

$$C_{\theta}(u, v) = \frac{1}{\theta} \ln \left(1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v})}{e^{-\theta} - 1} \right) \quad (30)$$

Formülleri kullanılarak elde edilir (Joe, 1997). θ Kapula parametresi olup $[-1, \infty)$ aralığındadır. $\theta = 0$ durumunda değişkenler bağımsızdır.



Şekil 16. $\theta = 5$ İçin Teorik Clayton Kapula Fonksiyonu

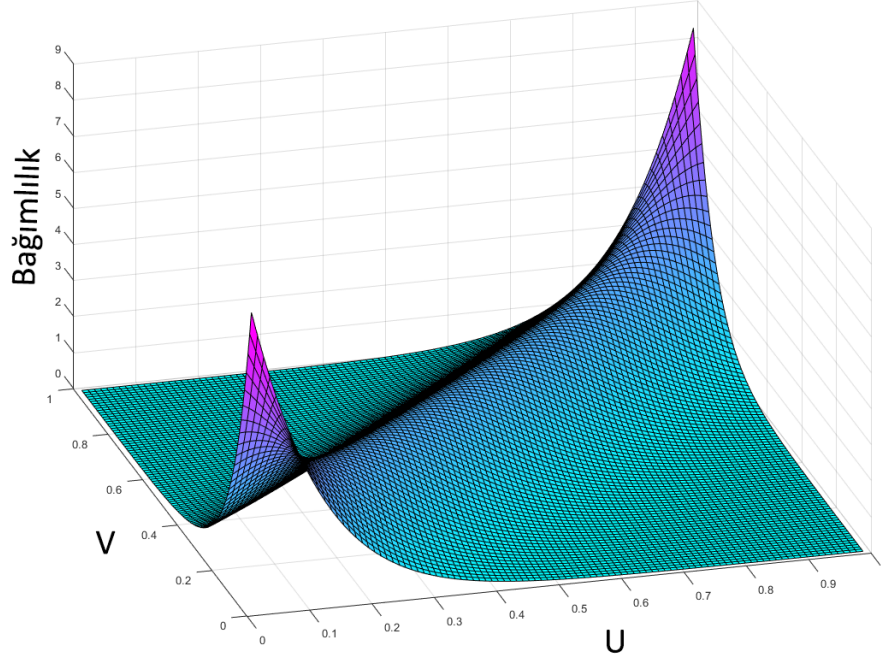
1.8.4.2. Frank Kapula Fonksiyonu

Frank Kapula fonksiyonu her iki kuyrukta da simetrik bir yapıya sahiptir. Kapula parametresi geniş bir aralığa sahip olmasının yanı sıra aynı zamanda pozitif ve negatif ilişkileri modelleyebilmektedir (Şekil 17). Frank Kapula fonksiyonuna ait üretici fonksiyonu ve Kapula formülü sırasıyla,

$$\varphi(t) = -\ln \left(\frac{\theta^t - 1}{\theta - 1} \right) \quad (31)$$

$$C_{\theta}(u, v) = \frac{1}{\theta} \ln \left(1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v})}{e^{-\theta} - 1} \right) \quad (32)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. θ Kapula parametresi $(-\infty, \infty)$ aralığındadır. 0 ise tam bağımsızlık durumunu göstermektedir.



Şekil 17. $\theta = 10$ için teorik Frank Kapula Fonksiyonu

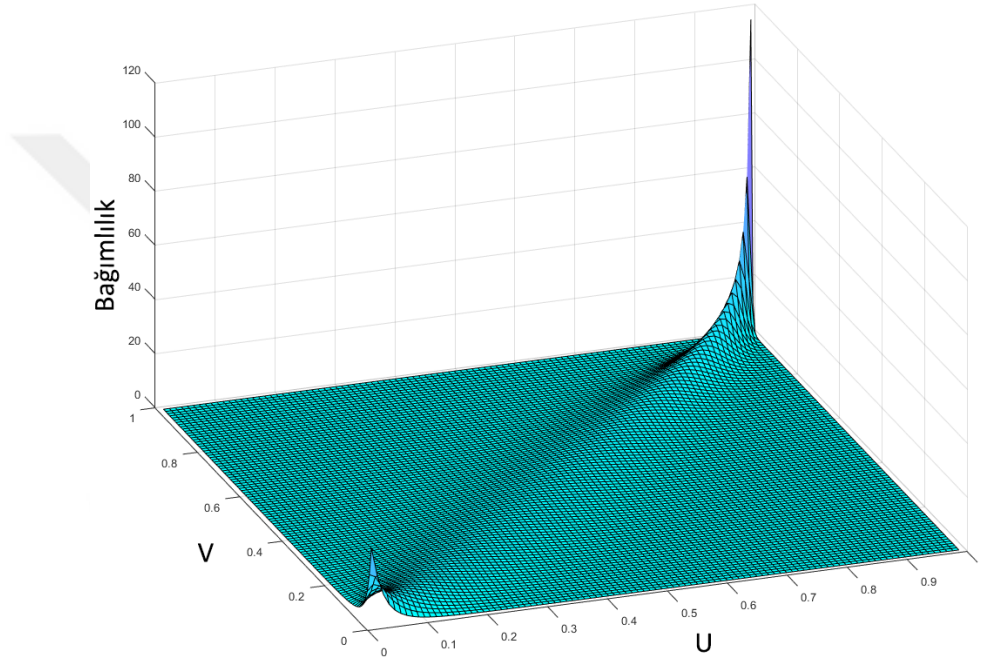
1.8.4.3. Gumbel Kapula Fonksiyonu

Asimetrik Arşimedyen bir Kapula olan Gumbel Kapula fonksiyonu kuyruk bağımlılığını yorumlamada kullanışlıdır. Gumbel Kapula fonksiyonu, büyük değerleri yüksek korelasyon yapısına sahip gözlemleri modellemek için uygundur. Üst kuyruktaki yerel bağımlılıkları ve pozitif yöndeki bağımlılıkları yansıtır. Gumbel Kapula fonksiyonuna ait üretici fonksiyon ve Kapula formülü sırasıyla,

$$\varphi(t) = (-\ln t)^{\theta} \quad (33)$$

$$C_{\theta}(u, v) = e^{-((- \ln(u)^{\theta}) + (- \ln(v)^{\theta}))^{1/\theta}} \quad (34)$$

şeklinde ifade edilir. θ Kapula parametresi $[1, \infty)$ aralığındadır. , $\theta = 1$ durumu bağımsızlığı gösterir ve $\theta \rightarrow \infty$ durumu ise güçlü pozitif bağımlılığı göstermektedir (Şekil 18).



Şekil 18. $\theta = 5$ İçin Teorik Gumbel Kapula Fonksiyonu

Bağımlılık modellemede en çok kullanılan Arşimedyen Kapula fonksiyonları ve bunlara ait üreticiler ve Kapula parametresi aralıkları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Arşimedyen Kapula Fonksiyonlarına ait formüller

Kapula Fonksiyonu	Üretici Fonksiyon	Kapula Parametre Aralığı	Kapula Formülü
Clayton	$\varphi(t) = \frac{1}{\theta} (t^{-\theta} - 1)$	$-1 \leq \theta$	$C_{\theta}(u, v) = m \frac{x}{a} [(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1), 0]^{(-\frac{1}{\theta})}$
Frank	$\varphi(t) = -\eta \left(\frac{\theta^t - 1}{\theta - 1} \right)$	$-\infty < \theta < \infty$	$C_{\theta}(u, v) = \frac{1}{\theta} \eta \left(1 + \frac{(e^{-\frac{u}{\theta}} - 1)(e^{-\frac{v}{\theta}})}{e^{-\theta} - 1} \right)$
Gumbel	$\varphi(t) = (-\eta t)^{\theta}$	$1 \leq \theta$	$C_{\theta}(u, v) = e^{-((-\eta (u)^{\theta}) + (-\eta (v)^{\theta}))^{1/\theta}}$

1.8.5. Kapula Parametresi Tahmin Yöntemleri

Kapula parametresi her Kapula fonksiyonu için farklı değer aralıklarına sahip olan ve değişkenler arasındaki bağımlılığı gösteren bir katsayıdır. Bu katsayı hem bağımlılığın yönünü hem de bağımlılığın miktarını göstermesi açısından önemlidir. Ayrıca Kapula üretici fonksiyonlarda ve Kapula formüllerinde de yer alır. Bu parametrenin tahmini için parametrik ve parametrik olmayan tahmin yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler;

- Parametrik Yöntemler
 - En Çok Olabilirlik Yöntemi (Maximum Likelihood Estimation)
 - Marjinallere İlişkin Çıkarsama Yöntemi (Inference for Margins Estimation)
- Yarı Parametrik Yöntemler
 - Sözde En Çok Olabilirlik Yöntemi (Psydo Maximum Likelihood Estimation)
- Parametrik Olmayan Yöntemler
 - Kendall Tau Katsayısına Dayanan Yöntem (Moments Method)
 - Spearman'ın Rho Katsayısına Dayanan Yöntem (Moments Method)

olarak özetlenebilir.

1.8.5.1. Maksimum Olabilirlik Yöntemi

Maksimum olabilirlik yöntemi parametrik bir Kapula parametresi tahmin yöntemi olup, bu yöntemle tahmin edilen çok değişkenli dağılıma ait marjinal dağılımların parametreleri ve Kapulaya ait parametreler aynı anda tahmin edilir (Alhan, 2008). İlk olarak değişkenlere ait bağımlılık yapısını tanımlayacak Kapula fonksiyonu $C(u, v)$ olsun. Kapula fonksiyonuna ait yoğunluk fonksiyonu,

$$c(u, v) = \frac{\partial C(u, v)}{\partial u \partial v} \quad (35)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $c(u, v)$ ilgili Kapulaya ait Kapula yoğunluk fonksiyonudur. Örnek veri setimiz $X = \{x_{1t}, x_{2t}, x_{3t}, \dots, x_{nt}\}_{t=1}^T$ olsun. Bu durumda log-olabilirlik fonksiyonu,

$$l(\theta) = \sum_{i=1}^T \log\{c(F_1(x_{1t}), F_2(x_{2t}) \dots F_n(x_{nt}))\} + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \log f_j(x_{jt}) \quad (36)$$

olarak tanımlanır.(36)'da T veri boyutunu, F marjinal dağılım fonksiyonunu, θ ise marjinal dağılımlara ve Kapula fonksiyonuna ait parametreler vektörünü ifade etmektedir. Eğer, marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonları ve Kapula fonksiyonu biliniyorsa, (36)'da verilen log-olabilirlik fonksiyonu yazılabilir ve maksimum olabilirlik yönteminden Kapula parametresi,

$$\hat{\theta}_{MLE} = \max(l(\theta)) \quad (37)$$

olarak tahmin edilir (Bingöl, 2012).

1.8.5.2. Momentler Tahmin Yöntemi

Kapula parametresinin tahmini için kullanılan parametrik olmayan momentler tahmin yöntemi ilk olarak (Genest ve Rivest, 1993) çalışmasında önerilmiştir. Bu yöntem Arşimedyen Kapula fonksiyonları ile parametrik olmayan bağımlılık ölçütleri (Spearman'ın Rho ve Kendall Tau Katsayıları) arasındaki ilişkileri kullanmaktadır. Bu yöntemin diğer tahmin yöntemlerine göre bazı avantajları mevcuttur. Hesap yükünün az olması, marjinal dağılımların bilinmesini gerektirmemesi gibi avantajları sebebiyle uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Kendall Tau Katsayısına Dayanan Yöntem

Kendall Rho ve Kapula fonksiyonları arasındaki ilişkiden elde edilen bu tahmin yöntemi bir diğer parametrik olmayan yöntem olan Spearman'ın Rho katsayısına dayanan yöntemle göre daha basit matematiksel ifadeler içermektedir. Kendall Tau katsayısı ve Kapula parametresi arasındaki ilişki Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kendall Tau katsayısı ve Kapula parametresi arasındaki ilişki

Kapula Fonksiyonu	Parametre Aralığı	Kendall Tau Cinsinden Kapula parametresi	Kapula Parametresi cinsinden Kendall Tau
Clayton	$\theta \in [0, \infty)$	$\frac{\theta}{\theta + 2}$	$\frac{2\tau}{1 - \tau}$
Frank	$\theta \in (-\infty, \infty)$	$1 - \frac{4}{\theta} [1 - D_1(\theta)]$	$\frac{4(1 - D_1(\theta))}{1 - \tau}$
Gumbel	$\theta \in [1, \infty)$	$\frac{\theta - 1}{\theta}$	$\frac{1}{1 - \tau}$

$n > 0$ olmak üzere $D_{-1}(\theta)$ debye fonksiyonu,

$$D_n(x) = \frac{n}{x^n} \int_0^x \frac{t^n}{e^t - 1} dt \quad (38)$$

şeklinde tanımlanır.

Spearman'ın Rho Katsayısına Dayanan Yöntem

Bu yöntem Kendall Tau katsayısına dayanan yöntemle benzerlik gösterse de Spearman'ın Rho katsayısının barındırdığı bazı matematiksel zorluklar ve formüllerin çok karmaşık olması nedeniyle daha az tercih edilmektedir. Spearman'ın Rho katsayısı ve Kapula parametresi arasındaki ilişki Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Spearman'ın Rho katsayısı ve Kapula parametresi arasındaki ilişki

Kapula Fonksiyonu	Parametre Aralığı	Kapula Parametresi cinsinden Spearman Rho Katsayısı
Clayton	$\theta \in [0, \infty)$	Karmaşık
Frank	$\theta \in (-\infty, \infty)$	$1 - \frac{12 \cdot [D_2(-\theta) - D_1(-\theta)]}{\theta}$
Gumbel	$\theta \in [1, \infty)$	Kapalı fonksiyon olarak ifadesi yoktur.

1.8.6. Uyum İyiliği Testi

Uyum İyiliği Testi değişkenler arasındaki bağımlılığı modelleyecek en uygun Kapula fonksiyonunun seçilmesi amacıyla kullanılan bir testtir. Bu test Arşimedyen Kapula fonksiyonlarının çok boyutlu dağılımları tek boyutlu olarak ifade edebilmesi özelliğiyle oldukça kolay bir şekilde uygulanabilir. Temel mantık deneysel Kapula fonksiyonunun değişkenler arasındaki bağımlılık yapısını tamamen içerdiği bilgisidir. Böylece deneysel Kapula fonksiyonuna en yakın teorik Kapula fonksiyonu değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi modelleyecek Kapula fonksiyonu olarak seçilir. Uyum iyiliği testine ilişkin adımlar

- Kapula parametresinin elde edilmesi
- Sözde gözlemlerin (w) elde edilmesi
- Deneysel Kapula fonksiyonunun 1 boyutta elde edilmesi ($K_n(z)$)
- Teorik Kapula fonksiyonunun 1 boyutta elde edilmesi ($K_\emptyset(z)$)
- $K_n(z)$ ve $K_\emptyset(z)$ arasındaki farkın hesaplanması

olarak sayılabilir (Topçu, 2013).

Kapula parametresinin elde edilmesinin ardından ilk adım deneysel Kapulanın 1 boyutlu karşılığının ($K_n(z)$) elde edilmesidir. Değişkenlere ait değerler sıra uzayında normlandırılarak sözde gözlem değerleri (w) elde edilir. Sözde gözlem değerleri,

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n [I\{X_j \leq X_i \& Y_j \leq Y_i\}]}{n + 1} \quad (39)$$

formülü ile elde edilir. Sözde gözlemler değişkenlere ait dağılım fonksiyonu değerleri ile karşılaştırılarak,

$$K_n(z) = \frac{\sum_{j=1}^n I[\{Z_j \leq z\}]}{n + 1} \quad (40)$$

$K_n(z)$ elde edilir. Burada I identity matris, yani z değerlerinin Z_j değerlerinden küçük olduğunda 1 olmadığında 0 değerini alan matristir. $K_\emptyset(z)$ ise,

$$K_{\phi}(z) = z - \frac{\phi(z)}{\phi'(z)} \quad (41)$$

formülü ile elde edilir. Burada ϕ Kapula üretici fonksiyonu ϕ' ise Kapula üretici fonksiyonun türevini göstermektedir. Deneysel ve teorik Kapula fonksiyonunun 1 boyutta elde edilmesinin ardından deneysel Kapula ile teorik Kapula fonksiyonu arasındaki kare uzaklık olan Cramer – Von Mises metriği,

$$V = \sum [K_{\phi}(z) - K_n(z)]^2 \quad (42)$$

ile bulunur (Topçu, 2013). En küçük V değerine sahip aday Kapula fonksiyonu en uygun Kapula fonksiyonu olarak seçilir.

1.9. Kapula Fonksiyonları ile Verilerin Simülasyonu

Simülasyon veya Monte Carlo uygulamaları Kapula teorisinin önemli bir parçasıdır (Nelsen, 2007). Simülasyon oluşturulan bir modelden yola çıkılarak gözleme gitme işlemidir. Dolayısıyla, araştırılmak istenen gerçek sisteme benzeyen bir model oluşturarak, bu sistem modeli üzerinde örnekleme yoluyla deneyler yapılmasıdır (Alhan, 2008). Aşağıda simülasyon verilerini uygun teorik Kapuladan üretmek için gerekli adımlar verilmiştir. Bu adımlar aynı zamanda bu çalışmanın algoritmasını da göstermektedir (Laux vd., 2011; Vogl vd., 2012).

1. Giriş verileri x ve y' ye ait marjinal dağılımların hesaplanması (F(x) ve F(y))
2. Verilere ait hesaplanan marjinal dağılımlar kullanılarak verilerin sıra uzayına dönüştürülmesi (u_i ve v_i)
3. Sıra uzayındaki veriler kullanılarak deneysel Kapulanın hesaplanması
4. Kapula parametresinin belirlenmesi
5. Uyum İyiliği Testi ile en uygun teorik Kapula fonksiyonunun seçilmesi
6. Hesaplanan Kapula parametresi ve teorik Kapula fonksiyonu yardımıyla verilerin bir teorik Kapulaya uydurulması
7. Koşullu Kapula dağılımının hesaplanması

8. Koşullu Kapula dağılımından aynı bağımlılık yapısına sahip rastgele verilerin türetilmesi
9. Simülasyon verilerinin veri alanına aktarımı için ters marjinal fonksiyonlarının kullanılması

1.9.1. Arşimedyen Kapula Fonksiyonlarının Koşullu Dağılımlarının Hesaplanması

Simülasyon çalışması için öncelikle Kapula fonksiyonlarına ait koşullu birikimli dağılımlar hesaplanmalıdır. Bu dağılımlara ait formüller sırasıyla Clayton, Frank, Gumbel Kapula fonksiyonları için sırasıyla,,

$$C_{V=v}^{Clayton}(u, v) = u^{-\theta-1}(-1 + u^{-\theta} + v^{-\theta})^{\left(\frac{-1}{\theta}-1\right)} \quad (43)$$

$$C_{V=v}^{Frank}(u, v) = \frac{e^{-u\theta}(-1 + e^{-v\theta})}{(-1 + e^{-\theta}) \left(1 + \frac{(-1 + e^{-u\theta})(-1 + e^{-v\theta})}{-1 + e^{-\theta}}\right)} \quad (44)$$

$$C_{V=v}^{Gumbel}(u, v) = \frac{(-\ln u)^{\theta-1}(\ln v)^{(\theta-\ln v^{\theta})\left(\frac{1}{\theta}-1\right)}}{ue^{(-\ln u)^{(\theta+\ln v^{\theta})\left(\frac{1}{\theta}\right)}} \quad (45)$$

şeklinde yazılır (Joe, 1997).

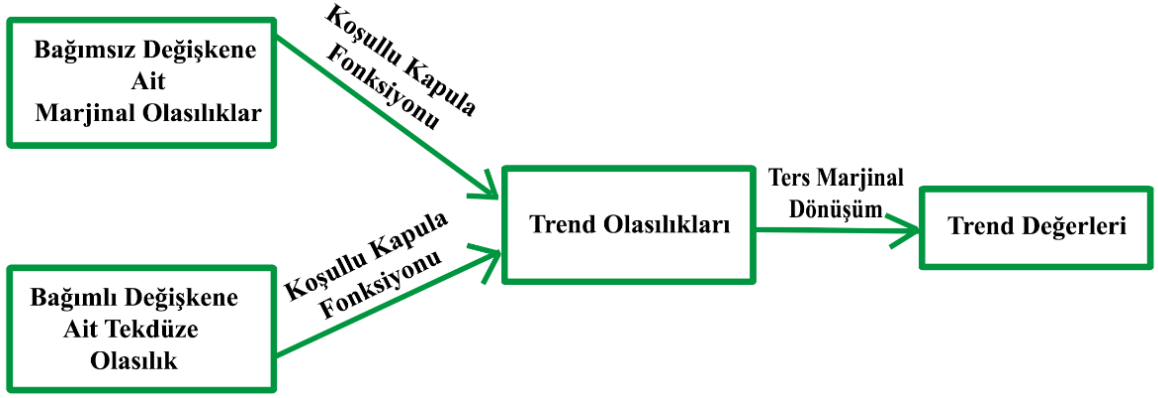
1.9.2. Rastgele Verilerin Üretilmesi ve Veri Alanına Dönüştürülmesi

Koşullu Kapula fonksiyonları ile elde edilen birikimli dağılımlar, daha önceden modellenen marjinal dağılım fonksiyonlarının ters birikimli dağılım fonksiyonları ile (inverse CDF) veri alanına dönüştürülür. Böylece modellenmiş olan ortak dağılım fonksiyonu ile aynı bağımlılık yapısında bir ortak dağılım elde edilir.

1.10. Arşimedyen Kapula Fonksiyonları ile Trend Analizi

Zamana bağlı bir değişken hakkında elde edilen gözlem değerlerinin, uzun zaman aralığında artma veya azalma yönünde gösterdiği eğilime “*trend*” denir (Beşel ve Kayıkçı, 2016). Trend değerlerinin serinin yaklaşık olarak ortalama değerlerini yansıttığı düşünülebilir. Kapula temelli bağımlılık modelleri değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve miktarını Kapula parametresi değerleri ile gösterirler. Ancak bu modeller karmaşık bir yapıda olduklarından verilerin trendini anlamak için yeterli değildirler. Bu nedenle trende ait değerlerin koşullu Kapula fonksiyonları kullanılarak üretilmesi gerekir. Koşullu Kapula fonksiyonları aslında Bayes teoremine dayanmaktadır ve değişkenlere ait dağılımların (olasılıkların) bilinmesini gerektirmektedir. Verilere ait dağılımlar herhangi teorik bir dağılım tarafından modellenirse bile geleceğe yönelik değerlerin hangi dağılıma yakınsayacağı tam olarak bilinemeyebilir. Bu nedenle trend analizi yapılırken değişkenlere ait marjinal dağılımların etkisi giderilerek ortalama değerler elde edilmelidir. Trend analizi için koşullu Kapula fonksiyonunda kullanılacak veri olasılıklarının tekdüze (Uniform) olarak seçilmesi yani her bir bağımsız değişkene karşılık gelen bağımlı değişken olasılıklarının eşit olması gereklidir. Zaman serilerinde bağımsız değişkene ait marjinal dağılım, değişkenin yapısı gereği zaten tekdüzedir. Ancak bağımlı değişkene ait dağılım da tekdüze olmalıdır. Burada verilerin olasılık değeri 0.5 olarak seçilebilir. Çünkü veri olasılıkları 0 ve 1 arasında değişmekte ve 0.5 olasılık uzayının ortasında yer almakta ve ortalama değerlerin olasılığını göstermektedir.

Özet olarak trend analizi için koşullu Kapula fonksiyonlarında bağımsız değişkene ait modellenmiş teorik dağılım olasılıkları ve bağımlı değişken için ise tekdüze 0.5 olasılıkta bir dağılım kullanılır. Böylece marjinal dağılımların etkisi giderilerek trend değerleri olasılık uzayında elde edilir. Bu değerler daha önce modellenen marjinal dağılımların ters fonksiyonları kullanılarak veri uzayına dönüştürülür (Şekil 19).



Şekil 19. Kapula Temelli Trend Analizi İşlem Adımları

1.11. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek amacıyla uygulanan bir analiz metodudur. Değişkenler arasındaki ilişki bir doğru denklemi, polinom eğrisi veya daha yüksek dereceli bir eğri denklemi ile temsil edilebilir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon modelinin gerçek gözlem değerleri ile arasındaki farkı minimum yapmayı amaçlayan En Küçük Kareler (EKK) Yöntemi kullanılır. Regresyon analizi sonucunda bulunan regresyon denkleminin ait katsayıların anlamlılıkları Parametre Anlamlılık testleriyle test edilir. Eğer uygulanan regresyon modeline ait katsayılar anlamlı bir ilişkinin varlığını gösterirse bir üst dereceden regresyon analizi yapılabilir.

1.11.1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi

Regresyon analizinde ilk olarak değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığı sorgulanır. Değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren doğru denklemi;

$$Y_i + v_i = a_0 + a_1 X_i \quad (46)$$

şeklinde ifade edilir. Burada a_0 katsayısı doğrunun y ekseninde kestiği noktayı ve a_1 katsayısı ise doğrunun eğimini göstermektedir. v_i regresyon modeline ait düzeltme değerleri, X_i bağımsız değişken, Y_i ise bağımlı değişken değerini göstermektedir.

Regresyon denkleminde eğimi gösteren a_1 katsayısı aynı zamanda Pearson Korelasyon katsayısının bilgisini içermektedir. a_1 Katsayısı değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü göstermektedir. EKK'e göre doğrusal regresyon katsayıları hesaplanmadan önce katsayılar matrisinde oluşabilecek kondisyon bozukluğunu önlemek için ilk olarak bağımsız ve bağımlı değişkene öteleme ve normlandırma işlemleri uygulanır. Ötelenmiş değişken değerleri,

$$Y_{ort} = \frac{[Y]}{n} \quad (47)$$

$$X_{ort} = \frac{[X]}{n} \quad (48)$$

$$X' = X - X_{ort}$$

$$Y' = Y - Y_{ort}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Normlandırılmış değişken değerleri,

$$c_x = \sqrt{X'^2} \quad (49)$$

$$c_y = \sqrt{Y'^2} \quad (50)$$

$$X'' = \frac{X'}{c_x}$$

$$Y'' = \frac{Y'}{c_y}$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Daha sonra EKK'e göre regresyon katsayılarının hesaplanması için regresyon modeli,

$$Y + V = Ax \quad (51)$$

olarak kurulur. Y matrisi bağımlı değişken değerlerini gösteren vektör matrisi,

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (52)$$

İlk sütunu 1 ikinci sütunu bağımsız değişkenleri gösteren A katsayılar matrisi,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_1 \\ 1 & X_2 \\ & \vdots \\ 1 & X_n \end{bmatrix} \quad (53)$$

Regresyon denklemindeki katsayıları gösteren bilinmeyenler vektör matrisi,

$$x = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} \quad (54)$$

Regresyon denklemine ait düzeltmeler vektör matrisi,

$$V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (55)$$

Eşitliklerindeki gibi ifade edilir. x bilinmeyen vektör matrisi,

$$x = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (56)$$

Denklemleri ile bulunur. Böylece regresyon modeli elde edilmiş olur. Burada v düzeltmeler vektörü,

$$v_i = Y_{model} - Y_{ölçü} \quad (57)$$

Denklemleri ile hesaplanır. m_0 regresyon modelinin ortalama hatası olmak üzere regresyon denklemindeki düzeltme değerlerinin $N \sim (0, m_0^2 Y_n)$ şeklinde normal dağılımında olduğu varsayılır. Ayrıca regresyon modelinde kullanılan ölçülerin de $Y \sim N(Ax, m_0^2, Y_n)$ şeklinde normal dağılımında olduğu varsayılır. Regresyon modeline ait ortalama hata miktarı,

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n - u}} \quad (58)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bilinmeyen katsayılar için ters ağırlık matrisi Q_{xx} ,

$$Q_{xx} = (A^T A)^{-1} \quad (59)$$

eşitliği ile hesaplanır. Regresyon denklemindeki a_0 ve a_1 katsayılarına ait ortalama hata miktarı,

$$\begin{aligned} m_{a_0} &= m_0 \sqrt{q_{a_0 a_0}} \\ m_{a_1} &= m_0 \sqrt{q_{a_1 a_1}} \end{aligned} \quad (60)$$

eşitlikleri ile bulunur. Burada $q_{a_0 a_0}$ ve $q_{a_1 a_1}$ sırasıyla Q_{xx} matrisinin 1. ve 2. köşegen elemanlarıdır. Elde edilen regresyon modelindeki katsayıların anlamlılığı için hipotez testleri kurulur. Sıfır hipotezi H_0 ilgili regresyon katsayısının anlamsız olduğunu, Seçenek hipotezi H_s ilgili regresyon katsayısının anlamlı olduğunu göstermek üzere test büyüklüğü,

$$\begin{aligned} T_0 &= \frac{|a_0|}{m_{a_0}} \\ T_1 &= \frac{|a_1|}{m_{a_1}} \end{aligned} \quad (61)$$

eşitliği ile elde edilir. T testi için gerekli tablo değeri α yanılma olasılığında n-u serbestlik derecesinde T tablosundan,

$$t = t_{n-u, 1-\frac{\alpha}{2}} \quad (62)$$

olarak elde edilir. Test büyüklüğü ve tablo değerlerinin karşılaştırılması ile,

$$T < t \text{ ise } H_0 \text{ hipotezi kabul edilir.} \quad (63)$$

$T > t$ ise H_1 hipotezi kabul edilir.

1.11.2. İkinci Derece Regresyon Analizi

Eğer yapılan doğrusal regresyon analizi sonucunda değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunursa ikinci dereceden regresyon analizi uygulanabilir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren eğri denklemi,

$$Y + V = a_0 + a_1X + a_2X^2 \quad (64)$$

şeklinde kurulur. Öteleme ve normlandırma işlemleri (47),(48),(49) ve (50)'de verildiği gibi yapılır. EKK'e göre regresyon katsayılarının hesaplanması için regresyon modeli (51)'deki gibi kurulur. Y matrisi bağımlı değişken değerlerini gösteren vektör matris (52)'deki gibidir. A katsayılar matrisi,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & X_1^2 \\ 1 & X_2 & X_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_n & X_n^2 \end{bmatrix} \quad (65)$$

şeklinde kurulur. Regresyon denklemindeki katsayıları gösteren bilinmeyenler vektör matrisi,

$$x = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (66)$$

olarak elde edilir. Regresyon denklemine ait düzeltmeler vektör matrisi (55)'de verildiği gibi kurulmalıdır. x bilinmeyen vektör matrisi (56)'daki gibi elde edilir. Regresyon modeline ait ortalama hata miktarı ve Bilinmeyen katsayılar a ait ters ağırlık matrisi Q_{xx} (58) ve (59)'da verildiği gibi hesaplanır. Regresyon denklemindeki a_0 ve a_1 katsayılarına ait ortalama hata miktarı,

$$\begin{aligned} m_{a_0} &= m_0 \sqrt{q_{a_0 a_0}} \\ m_{a_1} &= m_0 \sqrt{q_{a_1 a_1}} \end{aligned} \quad (67)$$

$$m_{a_2} = m_0 \sqrt{q_{a_2 a_2}}$$

gibi hesaplanır. Burada $q_{a_0 a_0}$, $q_{a_1 a_1}$ ve $q_{a_2 a_2}$ sırasıyla Q_{xx} matrisinin 1., 2. ve 3. köşegen elemanlarıdır. Sıfır hipotezi H_0 ilgili regresyon katsayısının anlamsız olduğunu, seçenek hipotezi H_5 ilgili regresyon katsayısının anlamlı olduğunu göstermek üzere test büyüklüğü,

(68)

$$T_0 = \frac{|a_0|}{m_{a_0}}$$

$$T_1 = \frac{|a_1|}{m_{a_1}}$$

$$T_2 = \frac{|a_2|}{m_{a_2}}$$

olarak elde edilir. Test büyüklüğü ve tablo değerlerinin karşılaştırılması ile,

$T < t$ ise H_0 hipotezi kabul edilir.

(69)

$T > t$ ise H_1 hipotezi kabul edilir.

1.12. Trend Modellerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde tez kapsamında uygulanan trend modellerinin karşılaştırılmasında kullanılacak bazı tanımlayıcı istatistikler hakkında bilgiler verilecektir.

1.12.1. Trend Modellerinin Karşılaştırılması İçin Tanımlayıcı İstatistikler

Kapula temelli trend modelleri ile regresyon modellerinin karşılaştırılmasında kullanılacak istatistikler Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error – RMSE), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Deviation – MAE), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error - MAPE) olarak seçilmiştir.

1.12.2. Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error – RMSE)

RMSE, gerçek seri değerleri ($x_{ölçü}$) ve trend modelinden elde edilen değerleri (x_{model}) arasındaki farkların ($l = x_{model} - x_{ölçü}$) karesel ortalama hatasıdır. Bu farklar, trend eğrisinin gerçek değerlerin ne kadar uzağından geçtiğinin ölçütüdür. RMSE değerleri 0 ile $+\infty$ arasında değişir. RMSE değeri 0'a ne kadar yakınsa trend eğrisi de o kadar gerçek değerlere yakındır. Yani RMSE 0 değerini aldığı anda trend modeli verilerin tam olarak üstünden geçmektedir. RMSE değerinin trend analizlerinde olabildiğince küçük olması istenir ancak 0'a eşit olması trend eğrisini oluşturan değerlerin gerçek değerlerle birebir aynı olması anlamına geleceğinden Over-Fitting (Aşırı Uyum) hatasını ortaya çıkarır. Bu durumda trend modeli gerçek verinin içerdiği bilginin aynısını içerdiğinden kullanıcıya yeni bir bilgi sunamaz. RMSE' hesabı için, farkların ortalaması (x) ve ortalamalara ait düzeltmeler ($v_i, i = 1,2,3, \dots n$)

$$x = \frac{[l]}{n} \quad (70)$$

$$v_i = x - l_i \quad (71)$$

olarak elde edilir. Burada n veri uzunluğunu göstermektedir. Buradan da RMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{[vv]}{n}} \quad (72)$$

şeklinde hesaplanır.

1.12.3. Mutlak Hatalar Ortalaması (Mean Absolute Error – MAE)

Kolay yorumlanabilmesi nedeniyle regresyon ve zaman serisi analizlerinde sıklıkla kullanılan MAE metriği hataların yönlerini dikkate almadan hataların ortalama miktarını sunar. MAE değeri 0 ile $+\infty$ arasında değişir. 0'a yakın değerler trend modelinde hata miktarının az olduğunu gösterir. MAE,

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |v_j| \quad (73)$$

şeklinde hesaplanır.

1.12.4. Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error – MAPE)

Zaman serisi ile trend modeli arasındaki hatayı yüzde olarak ölçen bir hata metriği olan MAPE zaman serisi analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca formülasyon gereği paydasında gerçek değerleri barındırdığından, gerçek değerlerin içerisinde 0 varsa hata metriği hesaplanamaz. MAPE,

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_i^n \frac{|v_j|}{|x_{ölçüj}|} \quad (74)$$

eşitliği ile elde edilir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Ege Denizi Kıyılarındaki Uzun Dönemli Deniz Seviyesi Değişimlerinin Kapula Fonksiyonları ile İncelenmesi

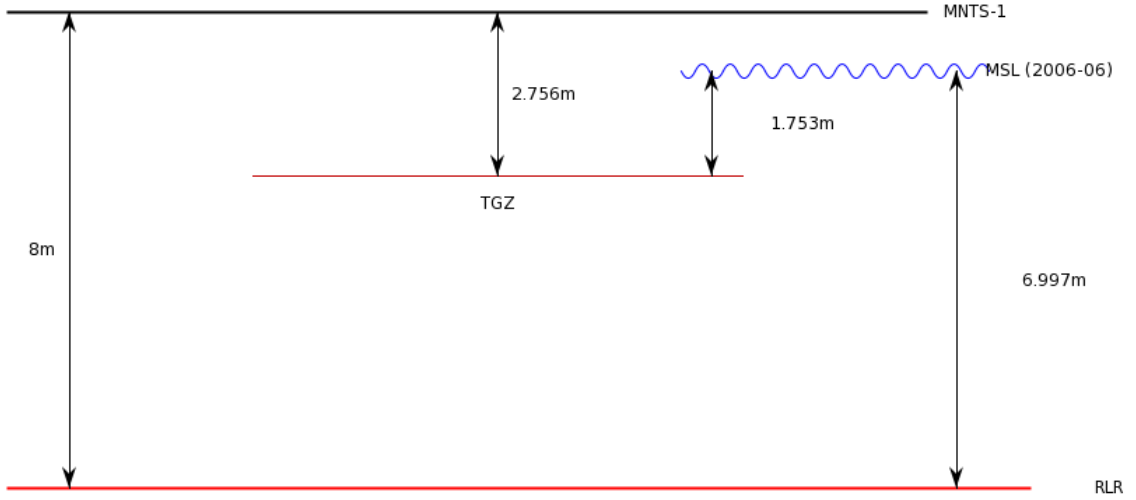
Bu bölümde, Ege Denizi'nde bulunan 8 mareograf istasyonunda (Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Mentès, Bodrum, Leros, Siros, Khalkis North) (Şekil 20) 1990 – 2008 yılları arasında kaydedilen aylık ortalama deniz seviyesi verileri ile Ege Denizi'nin uzun dönemli deniz seviyesi değişimleri Kapula fonksiyonları kullanılarak araştırılmıştır. Deniz seviyesi ve zaman arasındaki ilişki modellenmiş, bu modele uygun simülasyon verileri veri uzayında üretilerek yorumlanmıştır. İlgili veriler Natural Environment Research Council-NERC (Doğal Çevre Araştırma Konseyine) bağlı National Oceanography Centre – NOC (İngiltere Ulusal Oşinografi Merkezi) bünyesinde çalışan Permanent Service For Mean Sea Level – PSMSL (Sürekli Deniz Seviyesi İzleme Servisi) web sitesi (psmsl.org) adresinden temin edilmiştir. PSMSL, deniz seviyesi verilerini global ölçekte toplayan, analiz eden ve yorumlayan uluslararası bir servistir.



Şekil 20. Çalışmada Kullanılan Mareograf İstasyonları

2.1.1. Verilerin Kalite Kontrolü

Deniz seviyesi verileri güvenilir bir bilimsel analizde kullanılmadan önce mutlaka kalite kontrol işlemleri uygulanmalı, zaman ve datum kayıklığı hataları giderilmelidir (Yıldız vd., 2003). Bu amaçla Sürekli Deniz Seviyesi İzleme Servisi (PSMSL) tarafından tüm istasyonlardan yetkililer aracılığıyla elde edilen ham veriler ilk olarak 'Metrik veri' adıyla sisteme girilmektedir. Ardından verilerin zaman serilerinde kullanılabilmesi için verilerin belirli bir datuma indirgenmesi gerekmektedir. Bu indirgeme ise veri sağlayıcısının gönderdiği mareograf datum bilgileri ile PSMSL tarafından gerçekleştirilir. Böylece referanslandırılan veriler 'REVISED LOCAL REFERENCE' (veya 'RLR') adıyla sisteme girilir (Şekil 21). Metrik veri tipinden RLR veri tipine dönüştürülen bu veriler zaman serisi analizlerinde kullanılabilir hale gelir. Bu çalışmada kullanılan veriler ise RLR veri tipinde olup zaman serisi analizi için uygundur.

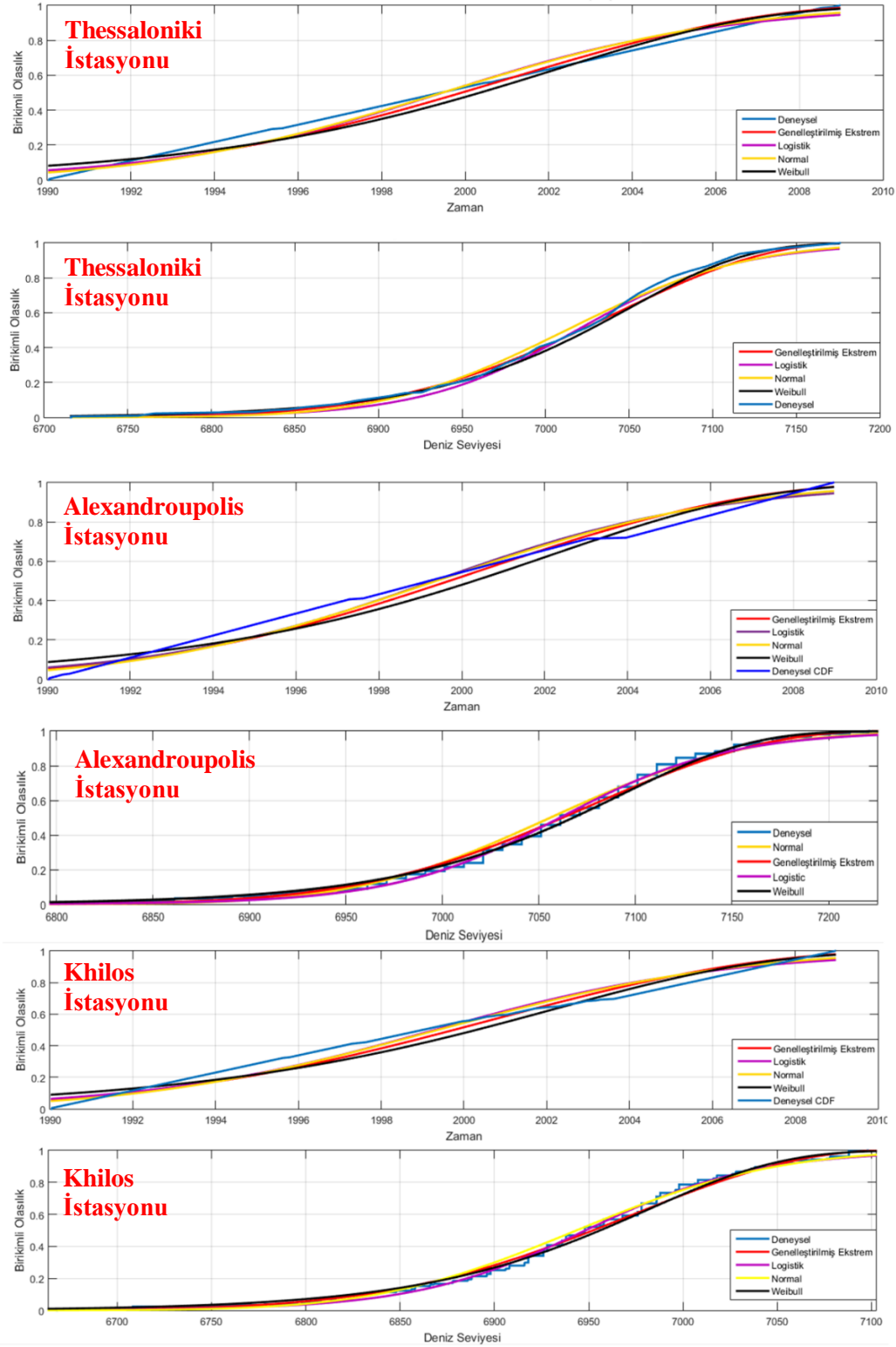


Şekil 21. Örnek RLR verisine ait datum bilgisi (Menteş Mareograf İstasyonu)

2.1.2. Deneysel Birikimli Dağılımların Teorik Dağılım Fonksiyonlarına Uydurulması

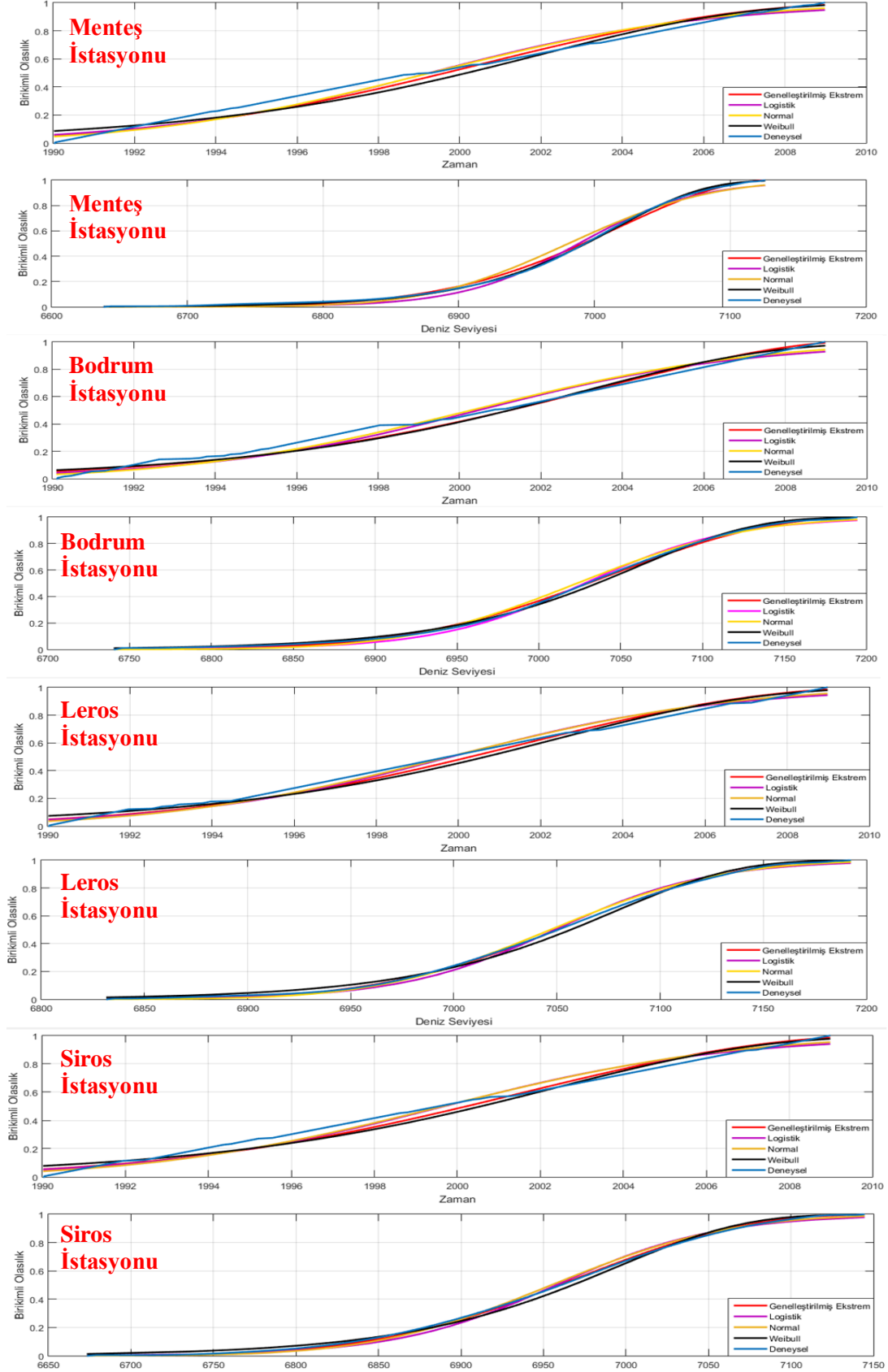
Deniz Seviyesi ve Zaman verilerine ait deneysel birikimli dağılımlar (Empirical CDF) bir teorik dağılıma uydurulur. Bu amaçla verilerin deneysel birikimli dağılımlarını modellemek için Normal Dağılım (Normal Distribution), Logistik Dağılım (Logistic

Distribution), Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımı (Generalized Extreme Value Distribution) ve Weibull dağılımı kullanılmıştır (Şekil 22).

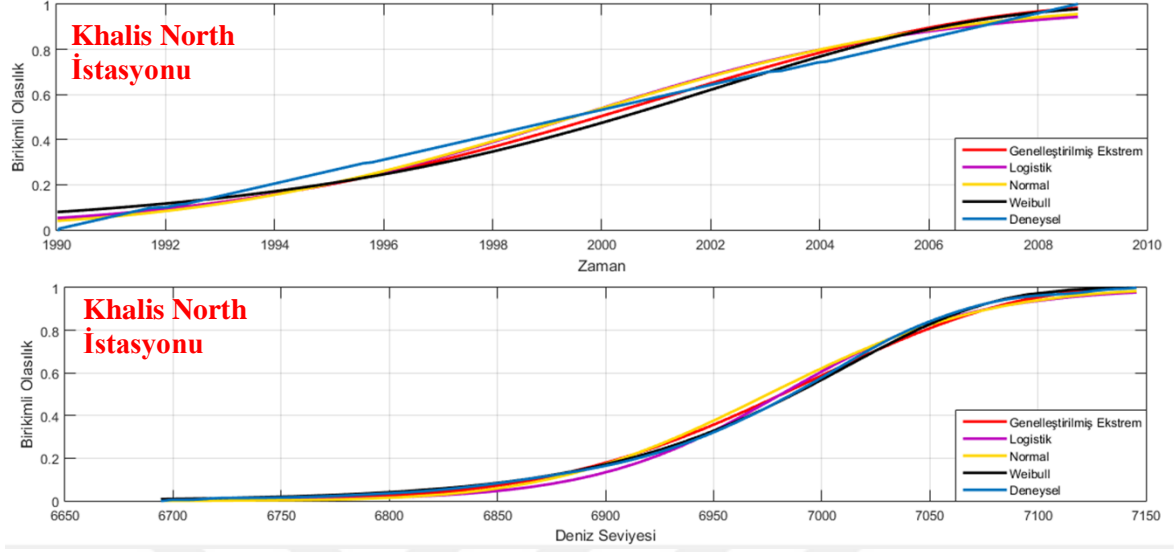


Şekil 22. Deneysel Dağılımların Teorik Dağılım Fonksiyonlarına Uydurulması

Şekil 22'nin devamı



Şekil 22'nin devamı



Değişkenlere ait birikimli dağılımlar teorik bir dağılım fonksiyonuna uydurulurken en iyi uyum sağlayan dağılım fonksiyonu seçilmelidir. Bu amaçla değişkenlerin birikimli dağılım fonksiyonları ve teorik dağılım fonksiyonu arasındaki farkı en küçük yapan dağılım en uygun teorik dağılım fonksiyonu olarak seçilmiştir. Tablo 6'da zaman verileri en iyi normal dağılımla, deniz seviyesi verileri ise en iyi genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımı ile uyum sağlamaktadır. Bu nedenle zaman verileri normal dağılıma, deniz seviyesi verileri ise genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımına uydurulmuştur.

Tablo 6. Değişkenlere ait birikimli dağılım ve teorik dağılım fonksiyonları arasındaki karesel ortalama hata miktarları

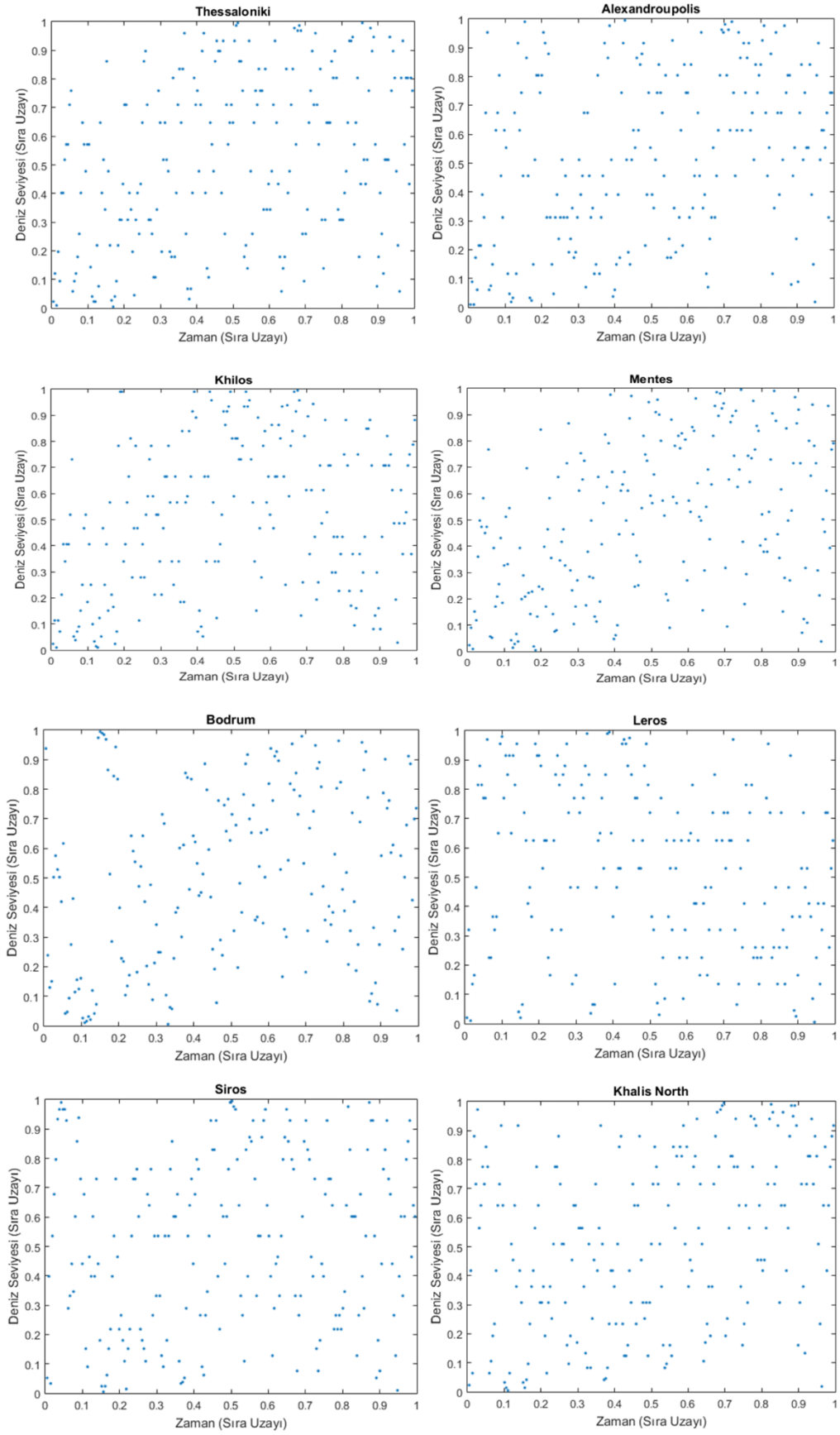
İstasyon Adı	Dağılımlar	RMSE Zaman	RMSE Deniz Seviyesi
Thessaloniki	Genelleştirilmiş Ekstrem	0.046	0.046
	Logistik	0.048	0.048
	Normal	0.048	0.048
	Weibull	0.047	0.047
Alexandroupolis	Genelleştirilmiş Ekstrem	0.040	0.046
	Logistik	0.036	0.048
	Normal	0.035	0.048
	Weibull	0.055	0.047
Khilos	Genelleştirilmiş Ekstrem	0.050	0.046
	Logistik	0.043	0.047
	Normal	0.042	0.047

Tablo 6'nın devamı

	Weibull	0.061	0.046
Menteş	Genelleştirilmiş Ekstrem	0.039	0.047
	Logistik	0.040	0.048
	Normal	0.038	0.049
	Weibull	0.047	0.048
Bodrum	Genelleştirilmiş Ekstrem	0.025	0.046
	Logistik	0.035	0.048
	Normal	0.037	0.047
	Weibull	0.029	0.047
Leros	Genelleştirilmiş Ekstrem	0.021	0.047
	Logistik	0.020	0.048
	Normal	0.018	0.047
	Weibull	0.031	0.046
Siros	Genelleştirilmiş Ekstrem	0.035	0.047
	Logistik	0.036	0.048
	Normal	0.033	0.048
	Weibull	0.041	0.046
Khalkis North	Genelleştirilmiş Ekstrem	0.033	0.045
	Logistik	0.031	0.047
	Normal	0.029	0.048
	Weibull	0.042	0.047

2.1.3. Verilerin Sıra Uzayına Dönüştürülmesi

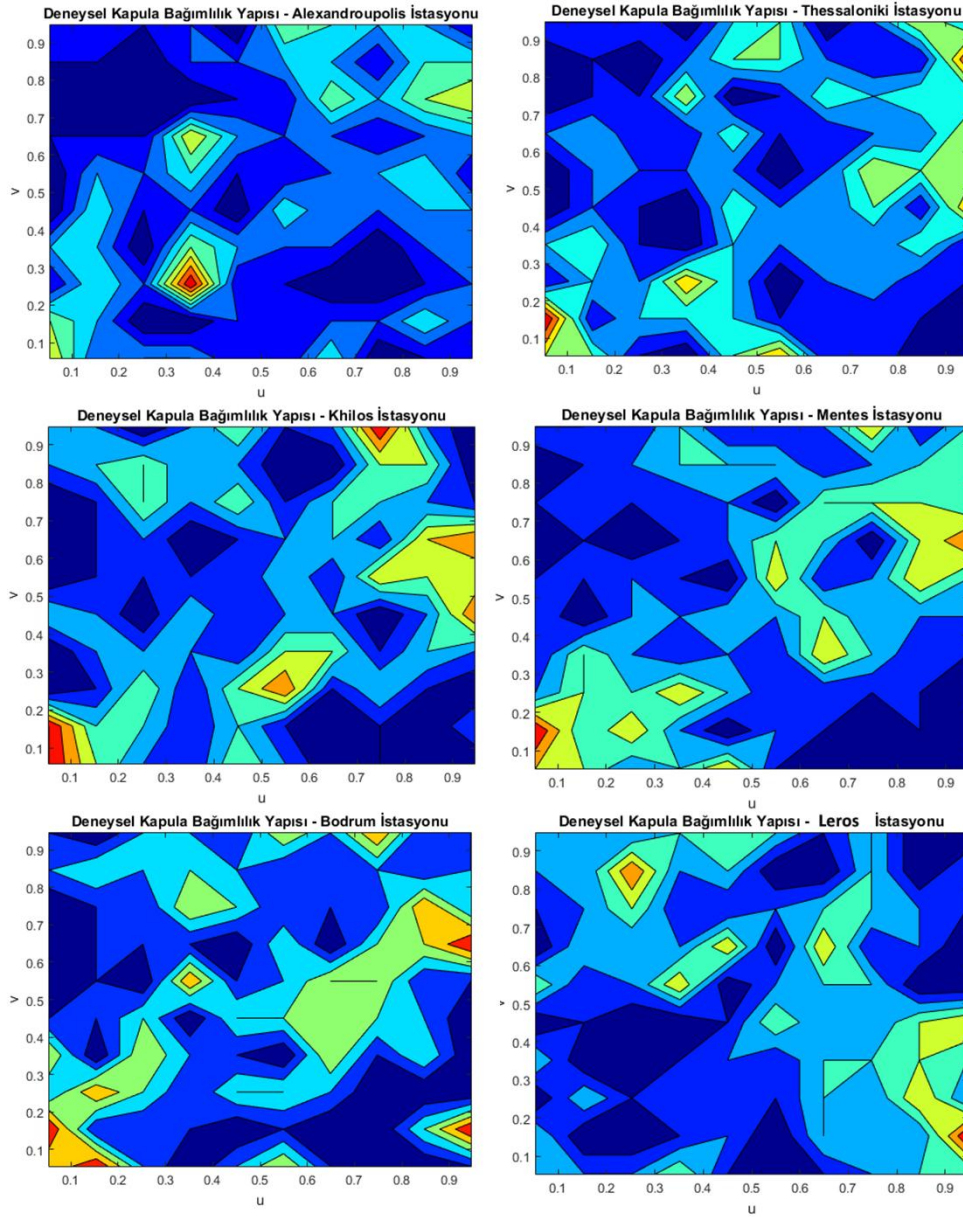
Kapula fonksiyonları esasında veriler arasındaki ilişkiyi sıra sayılarını kullanarak modeller. Bu sebeple, deneysel Kapula hesabında da kullanılacak olan sıra sayıları $[0,1]$ aralığında ölçeklenerek her istasyondaki zaman ve deniz seviyesi verileri için hesaplanmıştır. Veriler sıra uzayına dönüştürülürken hem zaman hem de deniz seviyesi verileri küçükten büyüğe doğru sıra numaralarına dönüştürülmüş, $[0,1]$ aralığında ölçeklenmesi amacıyla n veri sayısı olmak üzere $(n + 1)$ 'e bölünmüştür (Şekil 23).



Şekil 23. İstasyonlardaki Verilerin Sıra Uzayına Dönüştürülmesi

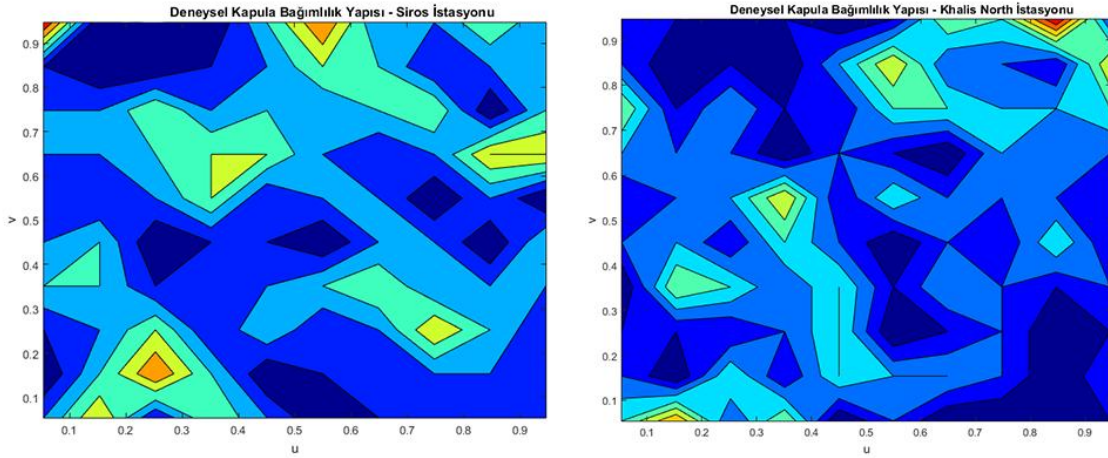
2.1.4. Verilerin Deneysel Kapulalarının Hesaplanması

Deneysel Kapula fonksiyonu her istasyondaki veriler (28) eşitliğinden hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel Kapulalar verilerin bağımlılığının tamamını yansıttığı kabul edilen ve Kapula parametresinin elde edilmesinde kullanılan tahmin edici fonksiyondur. İstasyonlardaki zaman ve deniz seviyesi arasındaki ilişkiyi gösteren deneysel Kapulalar (Şekil 24)'de verilmiştir.



Şekil 24. Deneysel Kapulaya Uydurulan Teorik Kapula Fonksiyonları

Şekil 24' ün devamı



2.1.5. Kapula Parametresinin Hesaplanması ve Uyum İyiliği Testi

İstasyonlardaki Deniz Seviyesi – Zaman değişkenlerinin oluşturduğu çok değişkenli dağılımda teorik Kapula fonksiyonlarının belirlenebilmesi için ilk adım olan Kapula parametrelerinin doğru tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Çalışmada Arşimedyen Kapula fonksiyonlarına ait Kapula parametreleri Maksimum Olabilirlik Yöntemi ile belirlenmiştir. Bulunan Kapula parametreleri ile Arşimedyen Kapula fonksiyonları yardımıyla deneysel Kapulaya en yakın teorik Kapula fonksiyonu, en uygun Kapula fonksiyonu olarak seçilmiş ve tablo üzerinde kırmızı renk ile işaretlenmiştir (Tablo 7.)

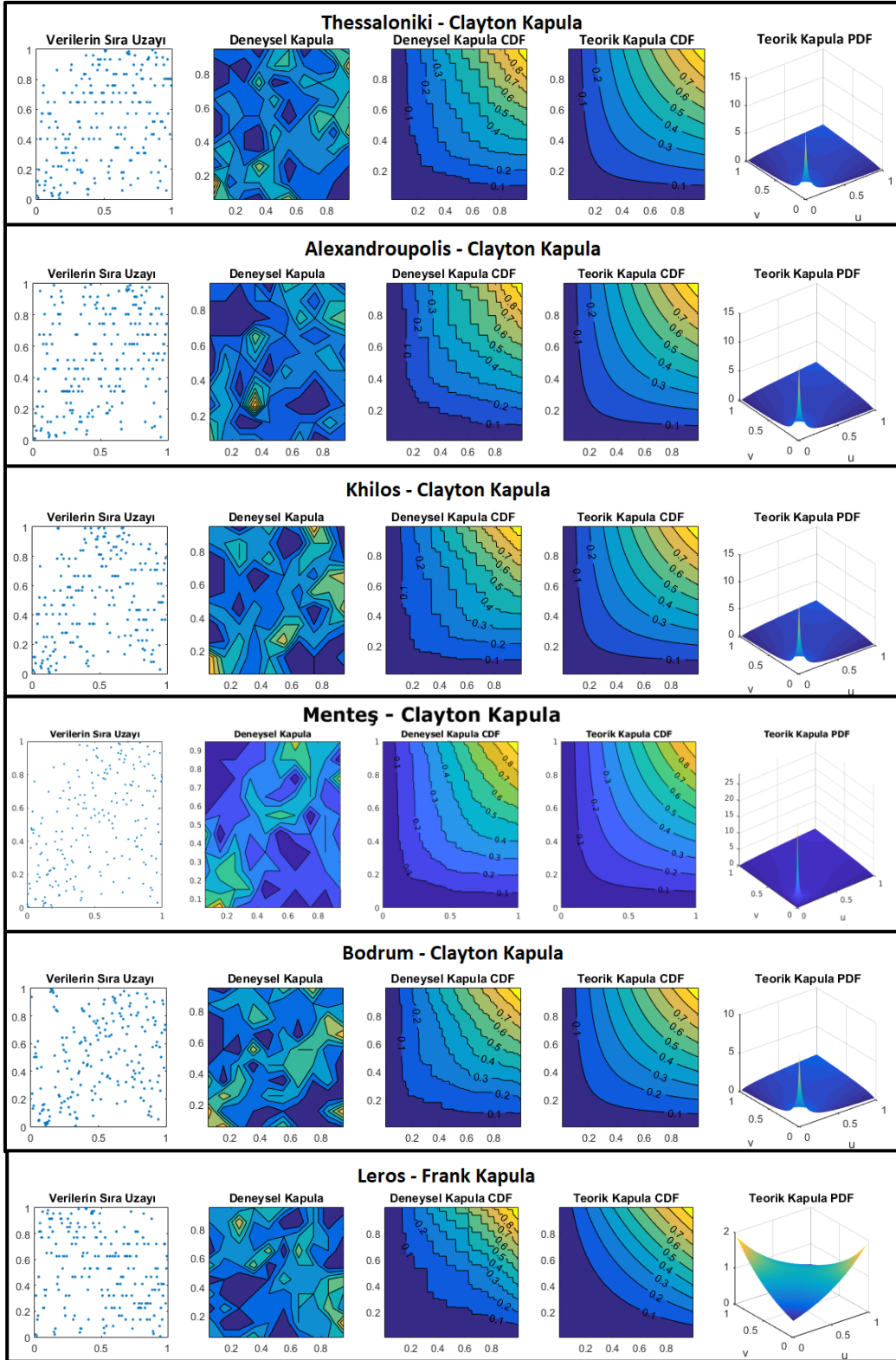
Tablo 7. Kapula Parametreleri ve Uyum İyiliği Sonuçları

İstasyon Adı	Kapula Fonksiyonu	Kapula Parametresi	Cramer Metriği	Von Mises
Thessaloniki	Frank	1.8813	0.1168	
	Clayton	0.5990	0.0696	
	Gumbel	1.1679	0.2125	
Alexandroupolis	Frank	1.8953	0.1120	
	Clayton	0.6378	0.0812	
	Gumbel	1.1317	0.2283	

Tablo 7'nin devamı

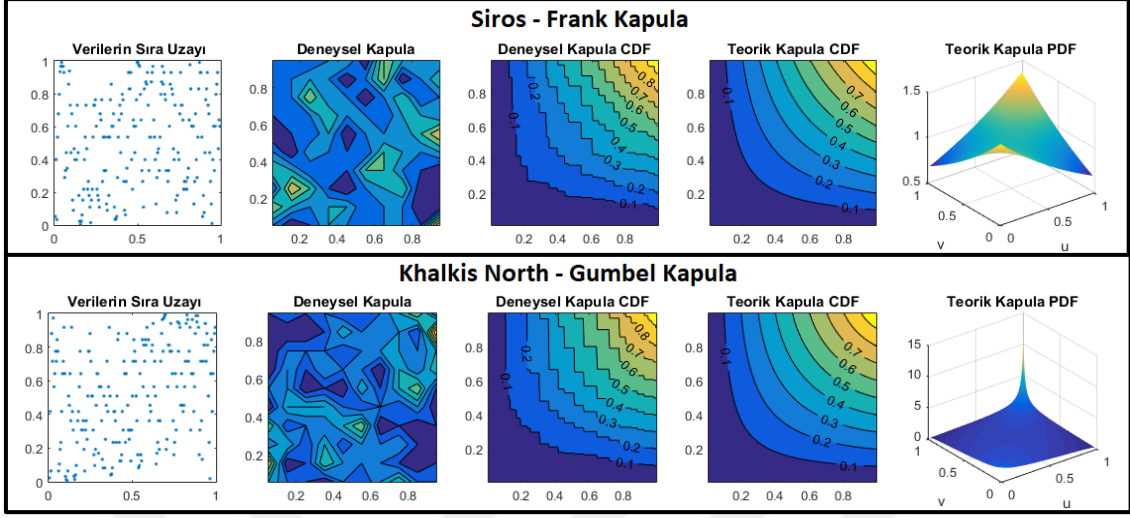
Khilos	Frank	1.4037	0.2984
	Clayton	0.6283	0.1118
	Gumbel	1.0452	0.5809
Mentes	Frank	2.5190	0.1098
	Clayton	0.6753	0.0989
	Gumbel	1.2433	0.3504
Bodrum	Frank	1.6277	0.1327
	Clayton	0.6022	0.0439
	Gumbel	1.0831	0.2837
Leros	Frank	-1.6038	0.2030
	Clayton	0.0152	1.0250
	Gumbel	1.0000*	0.9743
Siros	Frank	0.6840	0.0751
	Clayton	0.1915	0.0766
	Gumbel	1.0265	0.0991
Khalkis North	Frank	2.1813	0.1218
	Clayton	0.5355	0.2383
	Gumbel	1.2145	0.0644

İstasyonlardaki deniz seviyesi – zaman değişkenlerinin oluşturduğu ortak dağılımlar için değişkenlere ait deneysel dağılımların modellenmesi, Kapula parametrelerinin elde edilmesi ve en uygun Kapula fonksiyonlarının seçiminin ardından deniz seviyesi zaman serilerinde bağımlılıklar tamamen modellenmiştir. Deniz seviyesi – zaman arasındaki bağımlılık modeline ait Kapula fonksiyonlarının birikimli dağılım fonksiyonları ve Kapula fonksiyonundaki bağımlılık miktarını gösteren olasılık yoğunluk fonksiyonları verilmiştir (Şekil 25).



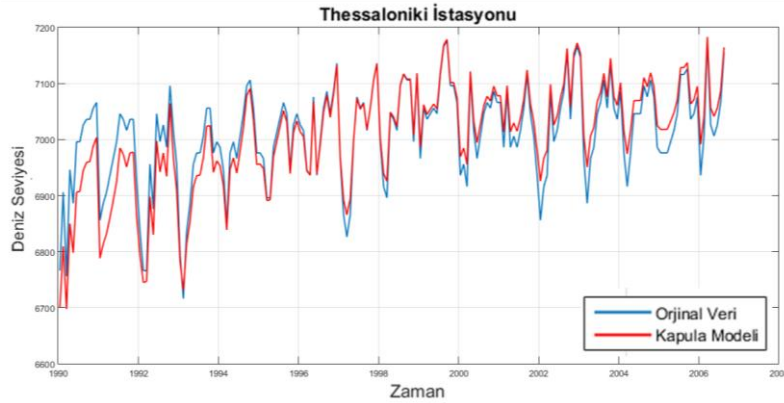
Şekil 25. Deneysel Kapulaya Uydurulan Teorik Kapula Fonksiyonları

Şekil 25 'in devamı



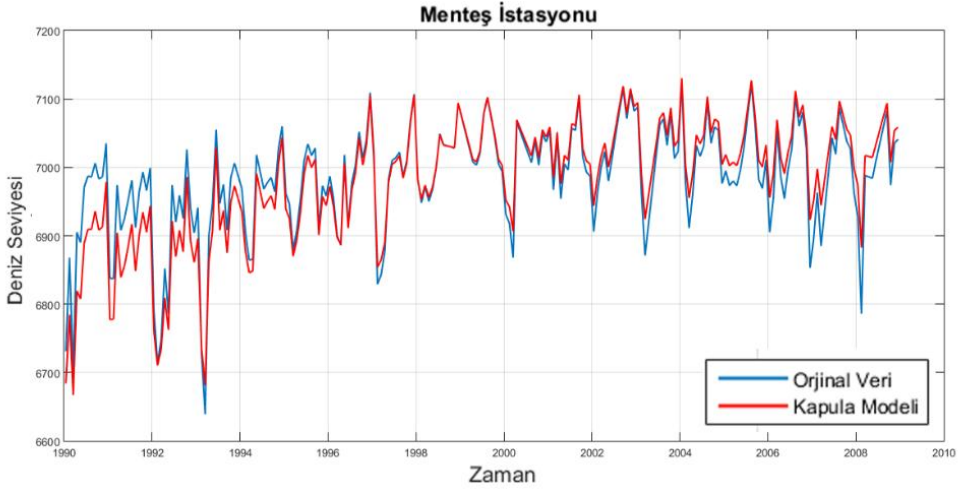
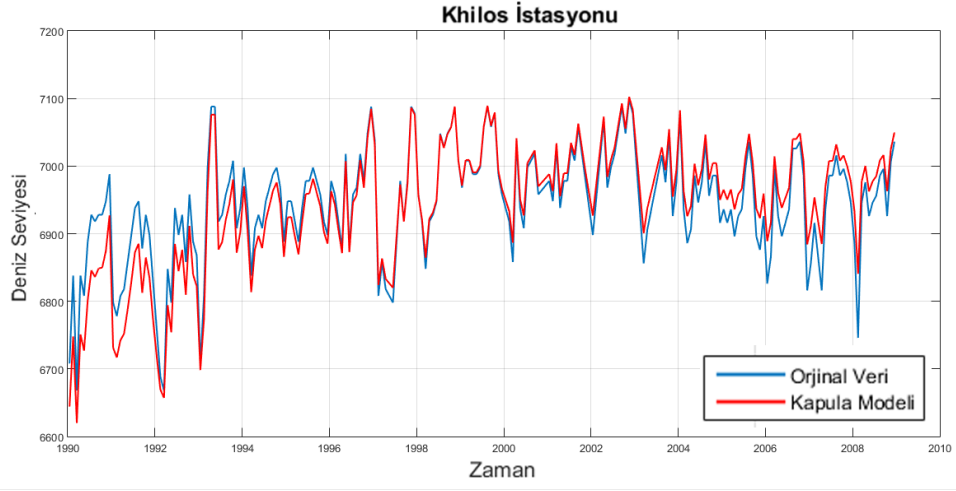
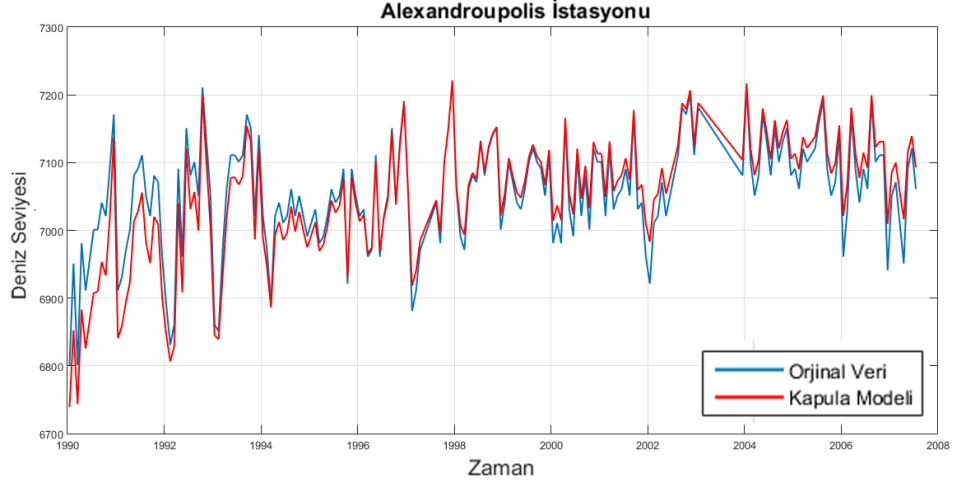
2.1.6. Bağımlılık Modellerinin Doğruluk Analizi

Bağımlılık modellerinin doğruluk analizlerinin yapılması için mareograf istasyonlarından elde edilen deniz seviyesi zaman serilerinde belirlenen teorik Kapula fonksiyonlarının koşullu dağılımları kullanılarak 39, 40 ve 41 numaralı formüller ile aynı bağımlılık yapısına sahip veriler olasılık uzayında üretilmiştir. Bu veriler modellenen marjinal dağılımlara ait ters birikimli dağılım formülleri ile veri uzayına dönüştürülmüştür. Bağımlılık modelinden üretilen zaman serisi ve mareograf istasyonundan alınan orijinal zaman serisi arasındaki ortalama hatalar ve korelasyonlar incelenmiştir (Şekil 26).

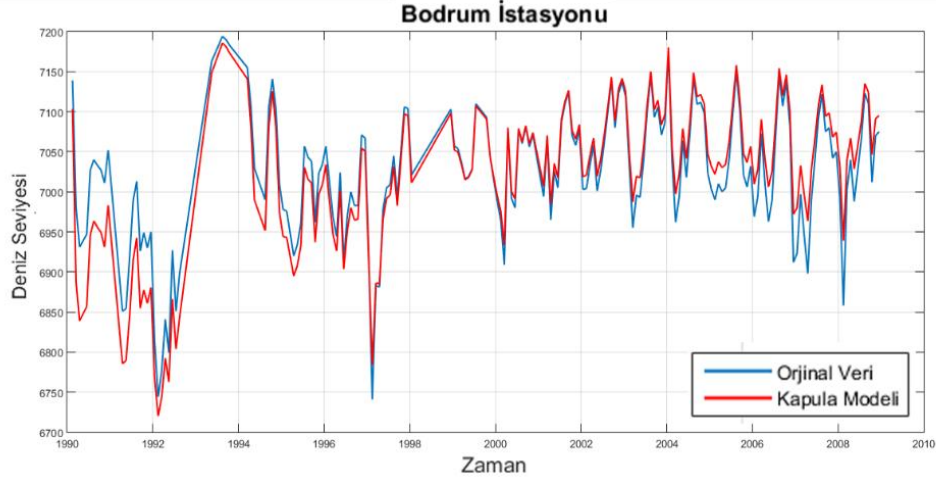


Şekil 26. Orijinal Zaman Serisi ve Modelden Elde Edilen Zaman Serisi

Şekil 26'nın devamı



Şekil 26'nın devamı



Kapula bağımlılık modelinden türetilen deniz seviyesi zaman serisi ile mareograf istasyonundan elde edilen zaman serisi arasındaki doğrusal korelasyonlar Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Mareograf Zaman Serisi ile Kapula Bağımlılık Modeli Arasındaki Korelasyonlar

İstasyon	Korelasyon
Thessaloniki	0.95
Alexandroupolis	0.95
Khilos	0.95
Mentes	0.96
Bodrum	0.96
Leros	0.98
Siros	0.99
Khalis North	0.97

Mareograf istasyonlarından elde edilen zaman serileri ve bağımlılık modelinden elde edilen zaman serileri arasındaki ortalama hata miktarları Tablo 9'da verilmiştir.

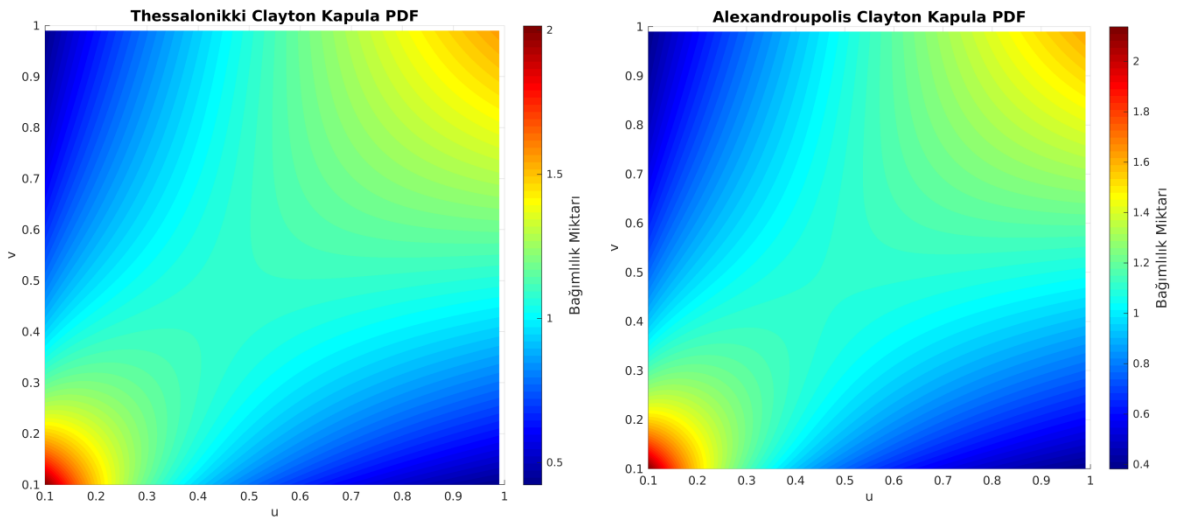
Tablo 9. Mareograf Zaman Serisi İle Kapula Bağımlılık Modelinden Elde Edilen Zaman Serisi Arasındaki Ortalama Hata Miktarları

İstasyon	Ortalama Hata (cm)
Thessaloniki	3.03
Alexandroupolis	3.01
Khilos	3.16
Mentes	2.53
Bodrum	2.78
Leros	1.22
Siros	0.74
Khalis North	2.33

Bağımlılık modelinden üretilen zaman serileri ile mareograf istasyonlarından elde edilen zaman serileri incelendiğinde, zaman serileri arasındaki düşük ortalama hata miktarları ve yüksek korelasyon değerleri Kapula temelli bağımlılık modellerinin ilişkileri oldukça iyi derecede yakaladığını göstermektedir.

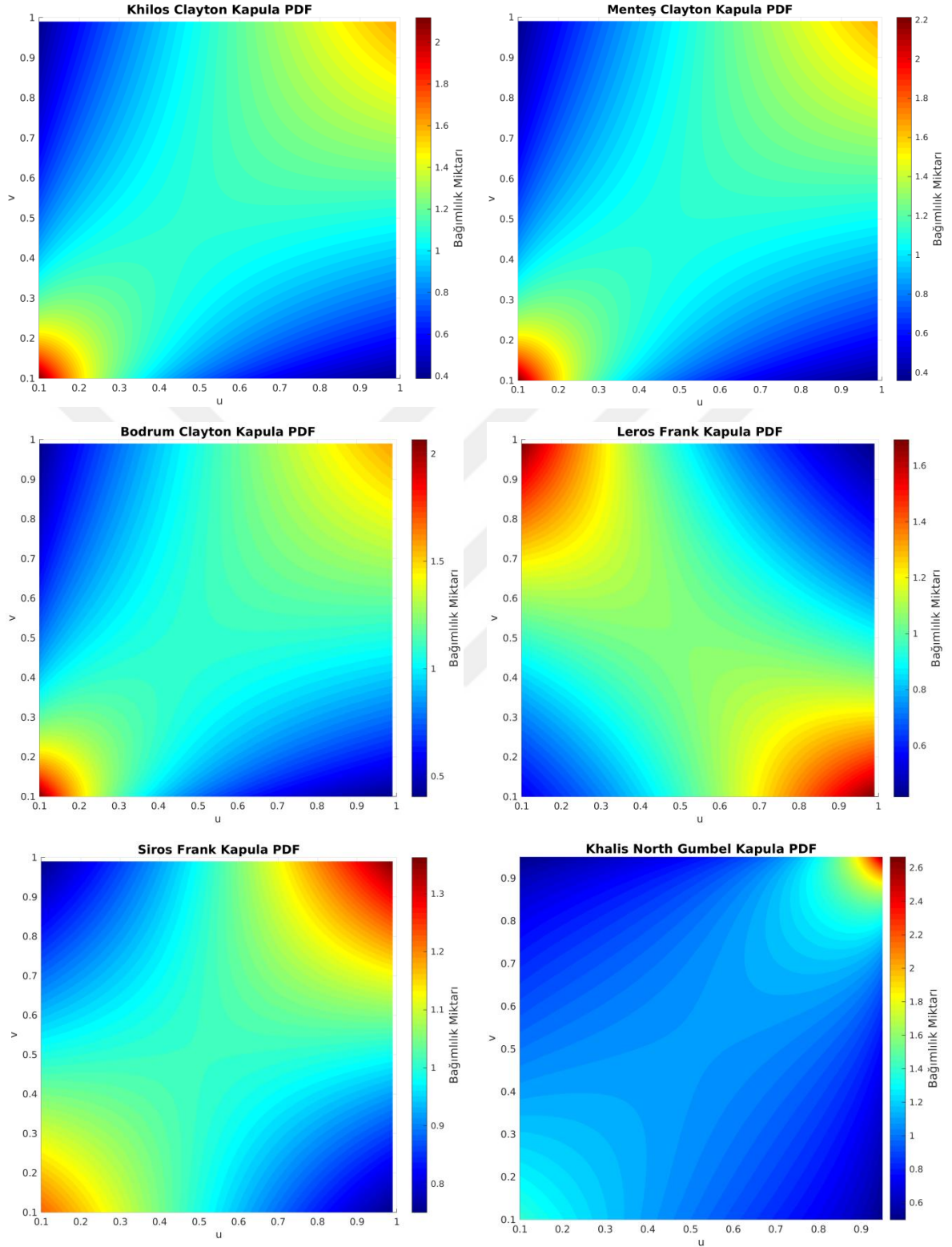
2.1.7. Mareograf İstasyonlarında Modellenen Kapula Bağımlılık Yapılarının Yorumlanması

İstasyonlarda modellenen teorik Kapula fonksiyonlarına ait yoğunluk grafikleri (PDF) ile modellenmiş bağımlılık yapıları incelenmiştir. İstasyonlardaki teorik Kapula fonksiyonlarına ait yoğunluk grafikleri Şekil 27’de verilmiştir.



Şekil 27. Teorik Kapula Fonksiyonlarına Ait Yoğunluk Grafikleri

Şekil 27'nin devamı



Şekil 27 incelendiğinde istasyonlardaki deniz seviyesi zaman serilerinde Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos ve Bodrum istasyonlarında 0.5 ile 2 arasında değişen bir

bağımlılık yapısının mevcut olduğu görülmüştür. Bu istasyonlarda Clayton Kapula fonksiyon yapısı gereği küçük değerlerde büyük değerlere göre daha yüksek pozitif korelasyonlar mevcuttur. Bu istasyonların bağımlılık yapılarının birbirine oldukça yakın olduğu söylenebilir. Menteş istasyonunda ise 0.4 ile 2.2 arasında değişen daha güçlü bir bağımlılık yapısı bulunmuştur. Böylece Menteş İstasyonundaki deniz seviyesi zaman serisi Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos ve Bodrum istasyonlarına göre daha güçlü bir bağımlılık yapısına sahip olduğu söylenebilir. Yani Menteş istasyonunda diğer Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos ve Bodrum istasyonlarına göre daha yüksek deniz seviyesi artışı mevcuttur. Menteş istasyonunda da deniz seviyesi zaman serisinin küçük değerlerinde daha yüksek pozitif korelasyonların olduğu görülmektedir. Leros istasyonunda diğer tüm istasyonlarda bulunan pozitif bağımlılık yapılarının aksine negatif yönde bir bağımlılık yapısı bulunmuştur. Leros istasyonundaki deniz seviyesi zaman serisi için bağımlılık yapısı negatif yönde 0.6 ila 1.6 arasında değişmektedir. Siros istasyonunda 0.8 ila 1.3 arasında değişen doğrusallığın oldukça düşük olduğu pozitif yönde oldukça zayıf bir bağımlılık yapısı bulunmuştur. Khalis North istasyonunda ise 0.6 ila 2.6 arasında değişen pozitif yönde güçlü bir bağımlılık yapısı bulunmuş olup bu bağımlılık yapısında büyük değerlerde küçük değerlere göre daha yüksek pozitif korelasyonların olduğu görülmüştür.

2.2. Meteorolojik Parametreler ve Deniz Seviyesi Değişimi Arasındaki İlişkinin Kapula Fonksiyonları ile İncelenmesi

Meteorolojik parametreler, deniz seviyesi değişimlerini pozitif ve negatif yönde etkileyebilen parametrelerdir. Meteorolojik parametrelerin deniz seviyesi değişimleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bu çalışmada Ege kıyısında bulunan 2 mareograf istasyonundan (Menteş ve Bodrum) elde edilen deniz seviyesi değişimleri ve bu istasyonlara ait meteorolojik parametreler (Hava Sıcaklığı, Hava Basıncı, Nem, Rüzgar Hızı) arasındaki ilişkiler Kapula fonksiyonları kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan istasyonlardaki deniz seviyesi ve meteorolojik parametreler Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) kapsamında Harita Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan internet adresinden elde edilmiştir (URL-1). Ege Denizi'nde bulunan Menteş ve Bodrum istasyonundan elde edilen deniz seviyesi verileri aylık ortalamalı olup, Menteş istasyonu için veriler 1999 – 2011 yılları arasını, Bodrum istasyonu için ise 1999 – 2017 yılları arasını kapsamaktadır. Deniz seviyesi ve meteorolojik parametreler arasındaki

ilişkiler ilk olarak Pearson korelasyon katsayısı ile incelenmiş ardından Kapula fonksiyonlarıyla bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Menteş ve Bodrum istasyonlarında deniz seviyesi ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkinin yönü ve miktarını gösteren Pearson doğrusal korelasyon katsayısı değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

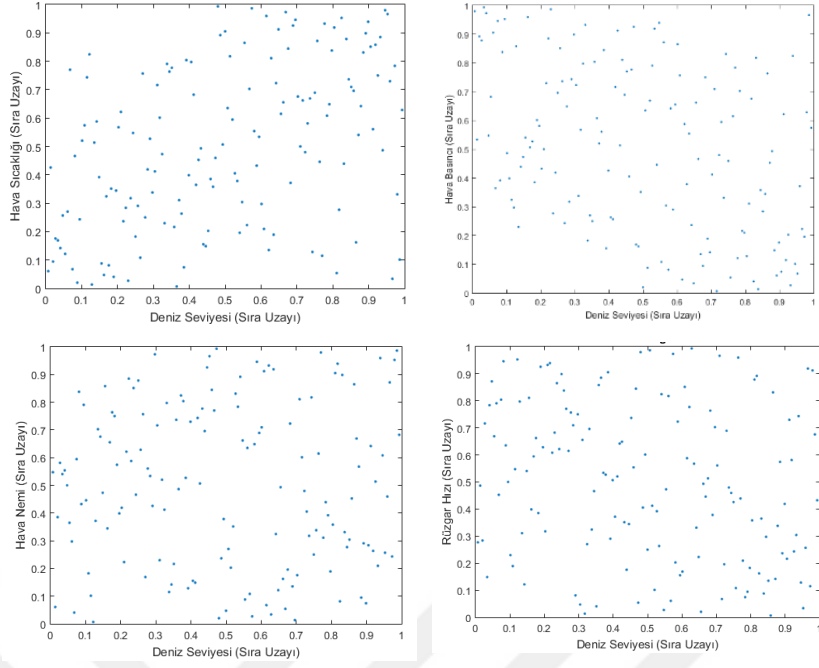
Tablo 10. Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Parametreler Arasındaki Pearson Korelasyon Katsayıları

İstasyon Adı	Meteorolojik Parametreler	Doğrusal Korelasyon Katsayısı
Bodrum	Hava Sıcaklığı	0.4143
	Hava Basıncı	-0.3818
	Hava Nemi	0.0462
	Rüzgar Hızı	-0.0594
Menteş	Hava Sıcaklığı	0.4334
	Hava Basıncı	-0.5472
	Hava Nemi	0,3286
	Rüzgar Hızı	-0.1571

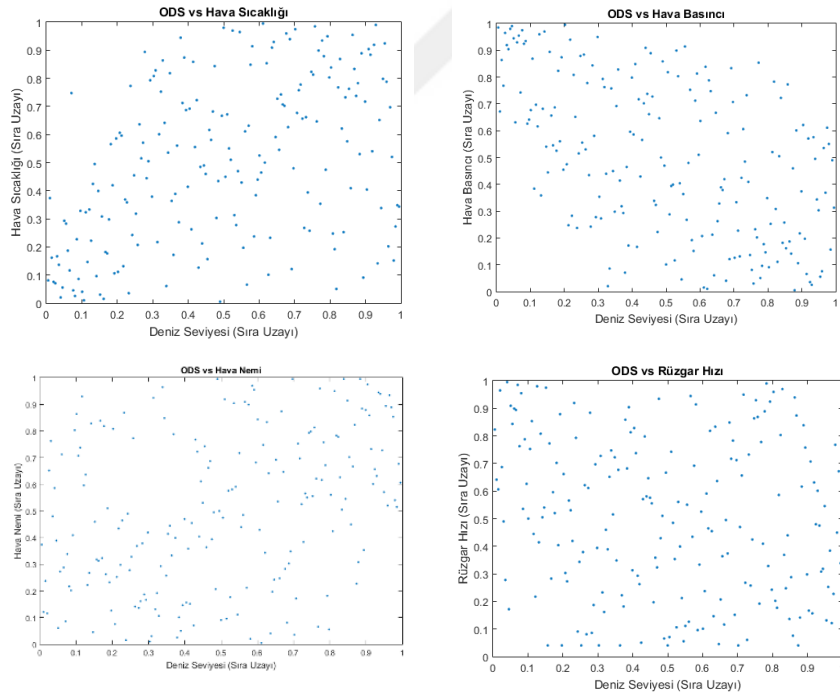
Tablo 10'da görüldüğü gibi deniz seviyesi üzerinde hava sıcaklığı pozitif bir etki yapmakta ve deniz seviyesini arttırmaktadır. Yine hava basıncının deniz seviyesini düşüren bir etki yaptığı da görülmektedir. Hava nemi Menteş istasyonunda deniz seviyesini arttıran bir etki yapmakta ancak Bodrum istasyonunda deniz seviyesi üzerinde önemli bir etkiye neden olmamaktadır. Rüzgar hızı ise Menteş istasyonunda deniz seviyesini düşüren bir etki göstermekte ancak Bodrum istasyonunda önemli bir etkiye sebep olmamaktadır.

2.2.1. Verilerin Sıra Uzayına Dönüştürülmesi

Deniz seviyesi değişimleri ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkilerin Kapula fonksiyonları ile incelenmesi amacıyla ilk olarak değişkenlere ait dağılımlar Genelleştirilmiş Ekstrem Dağılımı, Normal Dağılım, Logistik Dağılım ve Weibull Dağılımı kullanılarak teorik bir dağılım fonksiyonuna uydurulmuştur. Ardından deneysel Kapulanın hesaplanabilmesi için değişkenler sıra uzayına dönüştürülmüştür (Şekil 28 ve Şekil 29).



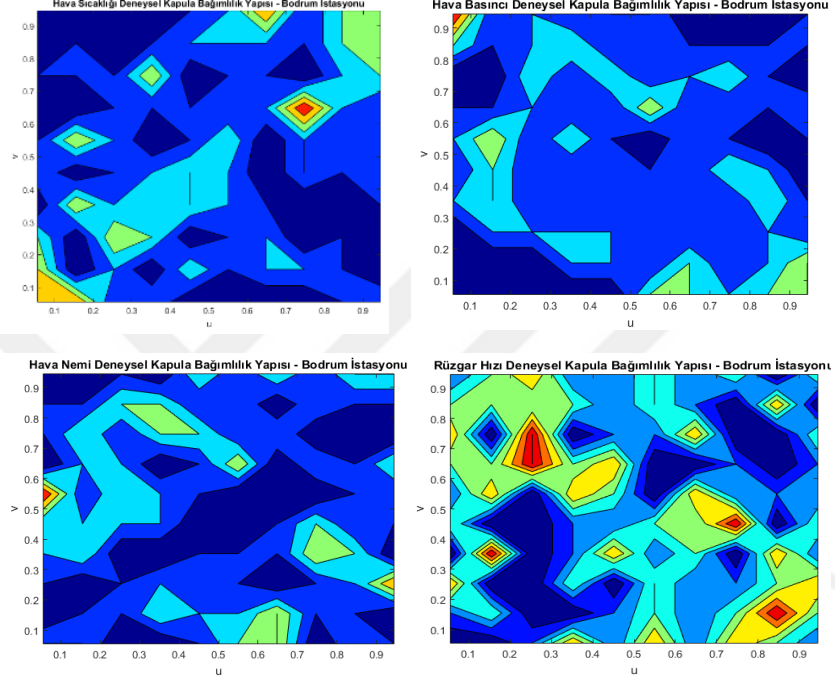
Şekil 28. Bodrum İstasyonunda Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Faktörlerin Sıra Uzayı



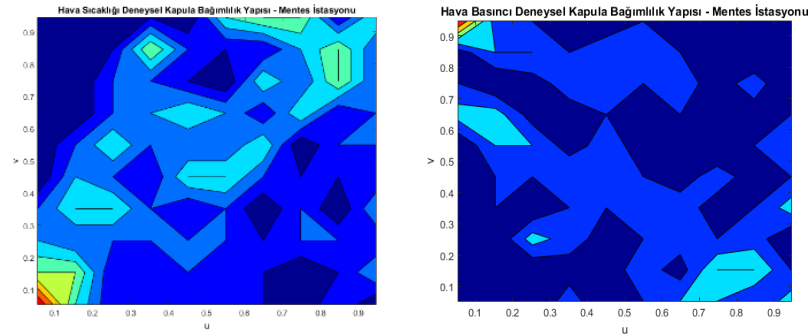
Şekil 29. Menteş İstasyonunda Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Faktörlerin Sıra Uzayı

2.2.2. Deneysel Kapuların Hesaplanması

Değişkenler arasındaki bağımlılık yapısına en uygun Kapula fonksiyonunun seçiminde kullanılacak bağımlılık yapısının tamamını içeren deneysel Kapular hesaplanmıştır (Şekil 30 ve Şekil 31).

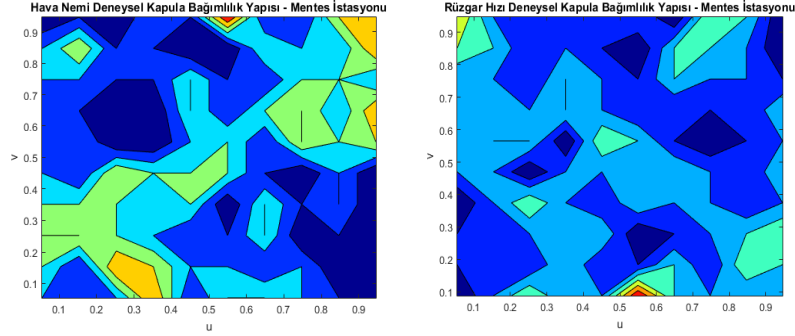


Şekil 30. Bodrum İstasyonunda Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Faktörlerin Deneysel Kapuları



Şekil 31. Menteş İstasyonunda Deniz Seviyesi ve Meteorolojik Faktörlerin Deneysel Kapuları

Şekil 31'in devamı



2.2.3. Kapula Parametresinin Hesaplanması ve Uyum İyiliği Testi

Deniz seviyesi ve meteorolojik parametreler arasındaki bağımlılık yapılarında Kapula parametreleri maksimum olabilirlik yöntemine göre hesaplanmış ve bağımlılık yapılarına en uygun teorik Kapula fonksiyonları Cramer – Von Mises metriği kullanılarak seçilmiştir. Deniz seviyesi ve meteorolojik parametreler arasındaki Kapula parametreleri Tablo 11'de verilmiştir.

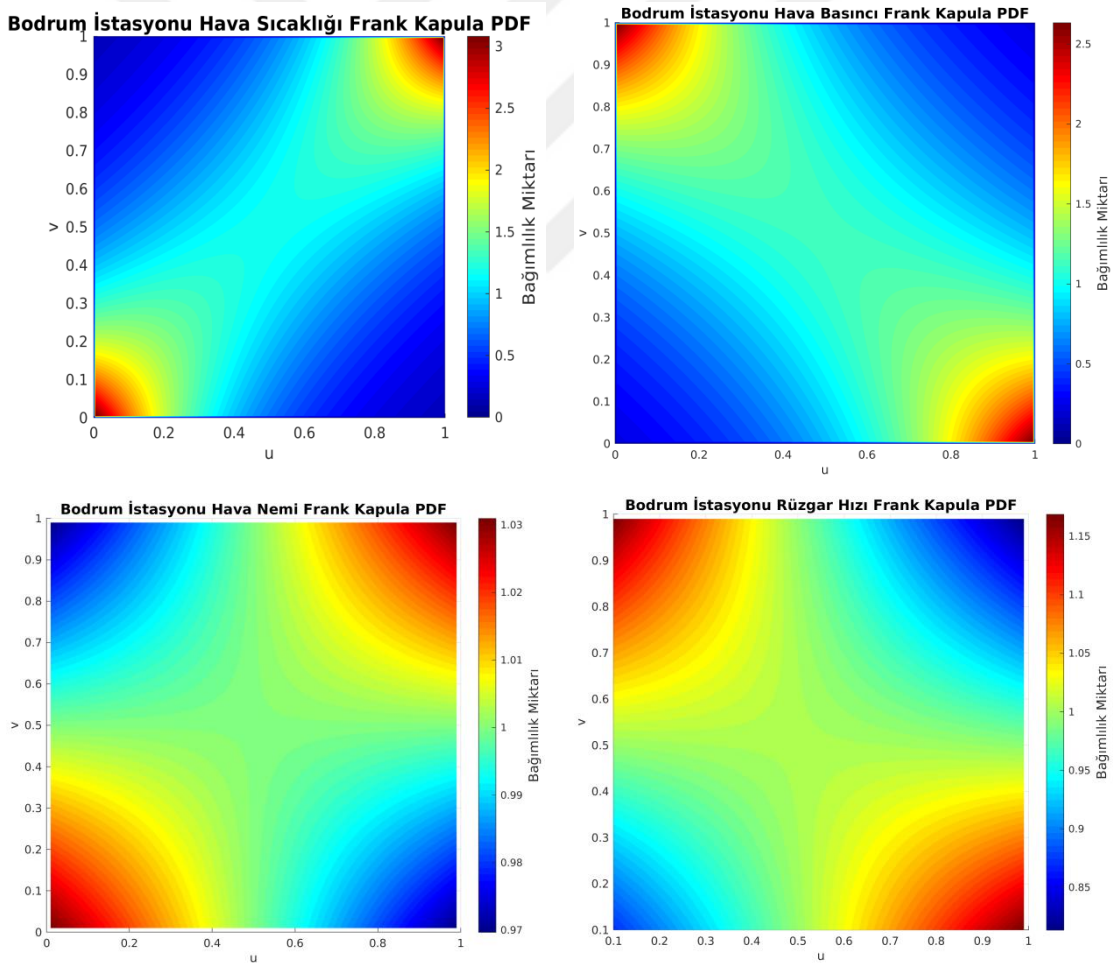
Tablo 11. Kapula Parametreleri ve Uyum İyiliği Testi

İstasyon Adı	Kapula Fonksiyonu	Kapula Parametresi	Cramer Von Mises Metriği
Bodrum İstasyonu Hava Sıcaklığı	Frank	3.0180	0.0321
	Clayton	0.6088	0.1847
	Gumbel	1.3674	0.1049
Bodrum İstasyonu Hava Nemi	Frank	0.0638	0.0207
	Clayton	0.0061	0.0221
	Gumbel	1.0512	0.0514
Bodrum İstasyonu Hava Basıncı	Frank	-2.4685	0.0571
	Clayton	-	-
	Gumbel	-	-
Bodrum İstasyonu Rüzgar Hızı	Frank	-0.4151	0.0476
	Clayton	-	-
	Gumbel	-	-
Menteş İstasyonu Hava Sıcaklığı	Frank	3.0263	0.0635
	Clayton	0.7444	0.1788
	Gumbel	1.3358	0.3709
Menteş İstasyonu Hava Nemi	Frank	2.1063	0.1121
	Clayton	0.2981	0.4437
	Gumbel	1.2282	0.1884
Menteş İstasyonu Hava Basıncı	Frank	-3,5532	0.0868
	Clayton	-	-
	Gumbel	-	-
Menteş İstasyonu Rüzgar Hızı	Frank	-1.0347	0.0606
	Clayton	-	-
	Gumbel	-	-

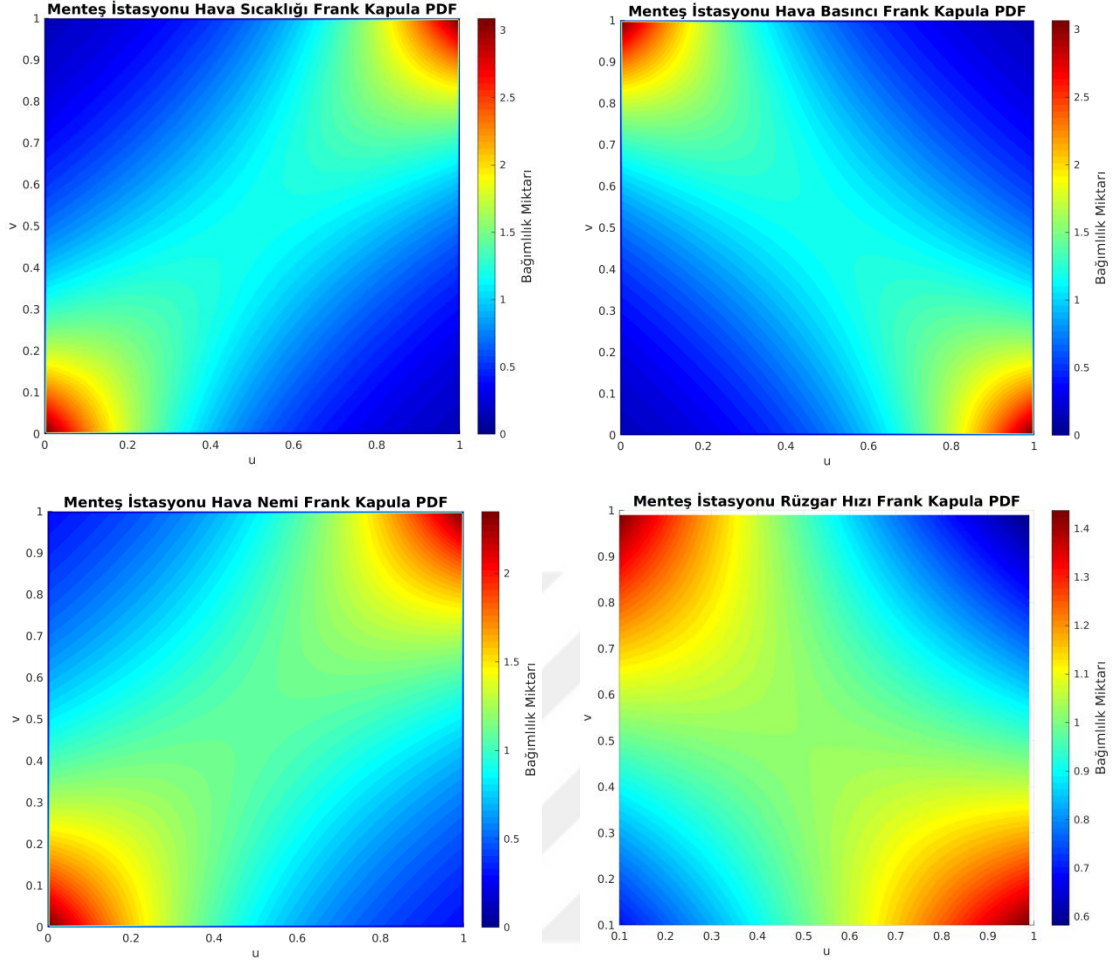
Tablo 11’de görüldüğü gibi deniz seviyesi ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkilerde Frank Kapula fonksiyonu tüm parametreler için en uygun Kapula fonksiyonu olarak seçilmiştir.

2.2.4. Kapula Bağımlılık Modellerinin İncelenmesi

Meteorolojik parametreler ve deniz seviyesi arasındaki teorik Kapula fonksiyonunun seçimi ve Kapula parametrelerinin bulunmasının ardından değişkenler arasındaki bağımlılık yapıları Kapula yoğunluk grafikleri üzerinden incelenmiştir. Deniz seviyesi ve meteorolojik parametrelere ait Kapula yoğunluk grafikleri (PDF) Şekil 32 ve Şekil 33’de verilmiştir.



Şekil 32. Bodrum İstasyonu Teorik Kapula Yoğunluk Grafikleri



Şekil 33. Menteş İstasyonu Teorik Kapula Yoğunluk Grafikleri

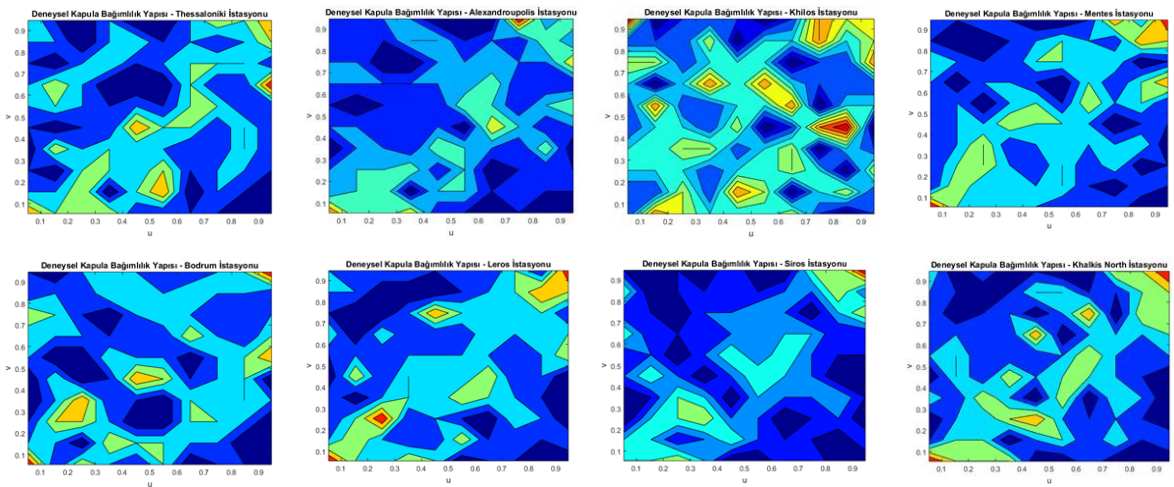
Şekil 32 ve Şekil 33 incelendiğinde; deniz seviyesi ve hava sıcaklığı arasında 0 ile 3 arasında değişen pozitif yönde güçlü bir bağımlılık yapısının mevcut olduğu, deniz seviyesi ve hava basıncı arasında Bodrum istasyonunda 0 ile 3 arasında değişen, Menteş istasyonunda 0 ile 2.5 arasında değişen negatif yönde güçlü bir bağımlılık yapısının olduğu görülmektedir. Deniz seviyesi ve hava nemi arasında Bodrum istasyonunda 0.97 ile 1.02 arasında değişen oldukça zayıf pozitif bir bağımlılık, Menteş istasyonunda ise 0 ile 2 arasında değişen pozitif yönde daha güçlü bir bağımlılık yapısı bulunmuştur. Deniz seviyesi ve rüzgar hızı arasında Bodrum istasyonunda 0.85 ile 1.15 arasında oldukça zayıf negatif bir bağımlılık, Menteş istasyonunda 0.6 ile 1.4 arasında değişen negatif yönde bir bağımlılık bulunmuştur.

2.3. Deniz Seviyesi ve Deniz YüzeY Sıcaklıkları Arasındaki İlişkinin Kapula Fonksiyonları ile İncelenmesi

Deniz Seviyesini önemli ölçüde etkileyen faktörlerden biri de deniz yüzeY sıcaklıklarıdır. Deniz yüzeY sıcaklıklarında meydana gelen artışlar deniz sularının genişmesine, dolayısıyla deniz seviyelerinde artışlara yol açmaktadır. Bu uygulamada Ege Denizi'nde bulunan 8 Mareograf istasyonundan alınan (Thessalonikki, Alexandroupolis, Khilos, Menteş, Bodrum, Leros, Siros ve Khalis North) deniz seviyesi verileri ile bu istasyonların bulunduğu bölgelerden elde edilen deniz yüzeY sıcaklığı verileri arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla Kapula fonksiyonları kullanılmıştır. Deniz yüzeY sıcaklığı verileri NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) Physical Oceanography Distributed Active Archive Center – PO.DAAC (Fiziksel Oşinografi Aktif Arşiv Merkezi)'den sağlanmıştır. Kullanılan deniz yüzeY sıcaklığı verileri, Advanced Very High Resolution Radiometer-AVHRR (Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre) ve yersel deniz yüzeY sıcaklığı gözlemlerinin birleşiminden elde edilen verilerdir.

2.3.1. Deneysel Kapulanın Hesaplanması

Deniz seviyesi ve deniz yüzeY sıcaklığı arasındaki ilişkinin Kapula fonksiyonları ile araştırılması amacıyla ilk olarak deniz seviyesi ve deniz yüzeY sıcaklıklarına ait veriler sıra uzayına dönüştürülmüştür. Ardından sıra uzayına dönüştürülen veriler kullanılarak deneysel Kapular hesaplanmıştır (Şekil 34).



Şekil 34. Deniz Seviyesi – Deniz YüzeY Sıcaklığı Deneysel Kapular

2.3.2. Kapula Parametresinin Hesaplanması ve Uyum İyiliği Testi

Deniz seviyesi ve deniz yüzey sıcaklığı ilişkisine ait Kapula parametreleri Clayton, Frank, Gumbel Arşimedyen Kapula fonksiyonları için Maksimum Olabilirlik yöntemine göre hesaplanmıştır. Değişkenlerin bağımlılık yapısına en uygun teorik Kapula fonksiyonu Cramer – Von Mises metriği kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 12).

Tablo 12. Kapula Parametreleri ve En Uygun Teorik Kapula Fonksiyonları

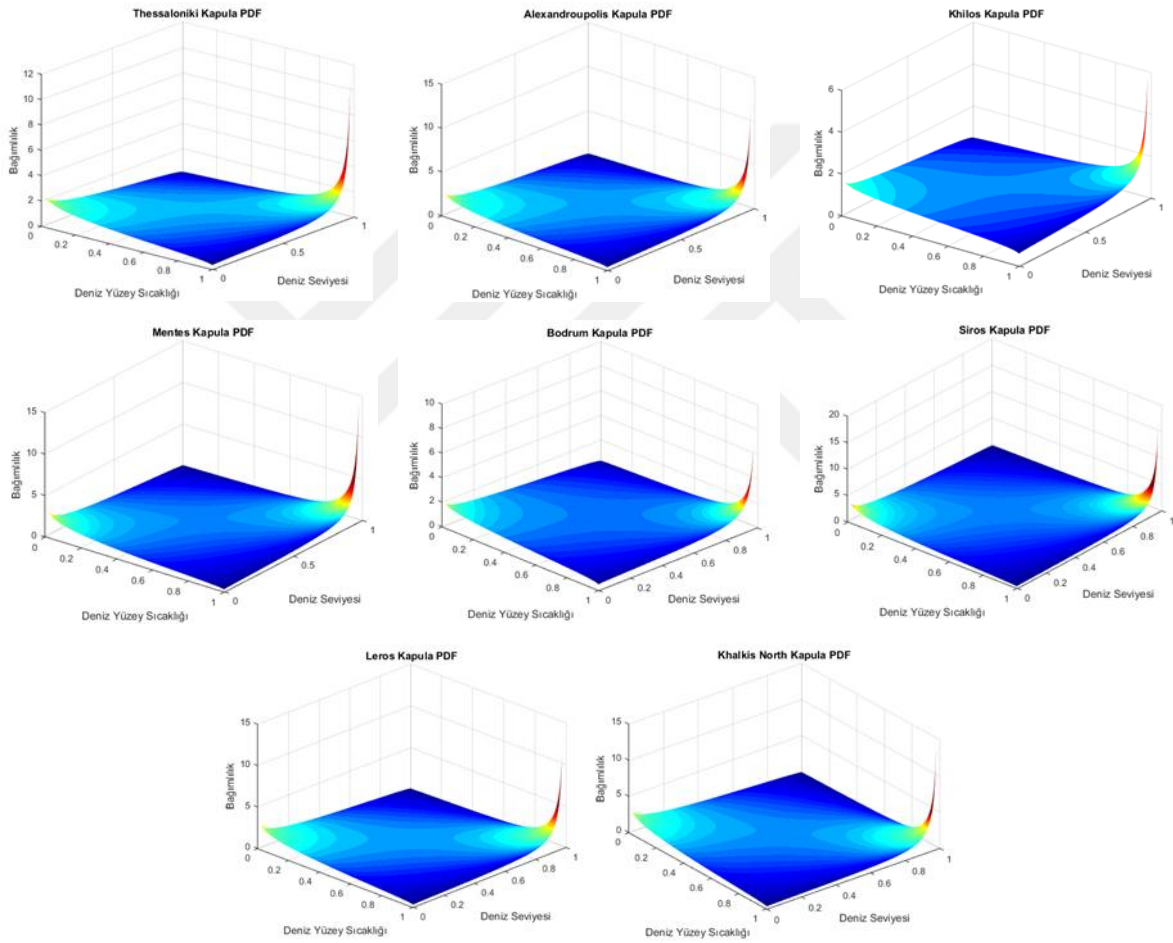
İstasyon Adı	Kapula Fonksiyonu	Kapula Parametresi	Cramer Von Mises Metriği
Thessaloniki	Frank	2.0684	0.0564
	Clayton	0.5363	0.1342
	Gumbel	1.2073	0.0280
Alexandroupolis	Frank	2.2159	0.0803
	Clayton	0.4900	0.0870
	Gumbel	1.2589	0.0473
Khilos	Frank	0.8192	0.0572
	Clayton	0.0752	0.1026
	Gumbel	1.1056	0.0418
Mentes	Frank	2.4106	0.0509
	Clayton	0.4989	0.1942
	Gumbel	1.3193	0.0262
Bodrum	Frank	1.4294	0.0866
	Clayton	0.3561	0.0813
	Gumbel	1.1587	0.0797
Leros	Frank	2.3750	0.0340
	Clayton	0.5088	0.1586
	Gumbel	1.2996	0.0327
Siros	Frank	2.7260	0.1206
	Clayton	0.5649	0.2964
	Gumbel	1.3827	0.0475
Khalkis North	Frank	2.4313	0.0515
	Clayton	0.5602	0.1550
	Gumbel	1.3156	0.0256

Tablo 12’de görüldüğü gibi deniz seviyesi ve deniz yüzey sıcaklığı ilişkisinde tüm istasyonlarda bağımlılıklar en iyi Gumbel Kapula fonksiyonu ile temsil edilebilmektedir. Bu ilişkide Gumbel Kapula fonksiyonunun üst kuyruk bağımlılığını yansıttığı

unutulmamalıdır. Yani deniz seviyesi ve deniz yüzey sıcaklığı ilişkisinde büyük değerlerde daha yüksek pozitif korelasyonlar görülmektedir.

2.3.3. Kapula Bağımlılık Modellerinin İncelenmesi

Elde edilen teorik Kapula fonksiyonlarına ait yoğunluk grafikleri (PDF) çizdirilerek incelenmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. Teorik Kapula Fonksiyonlarına Ait Yoğunluk Grafikleri

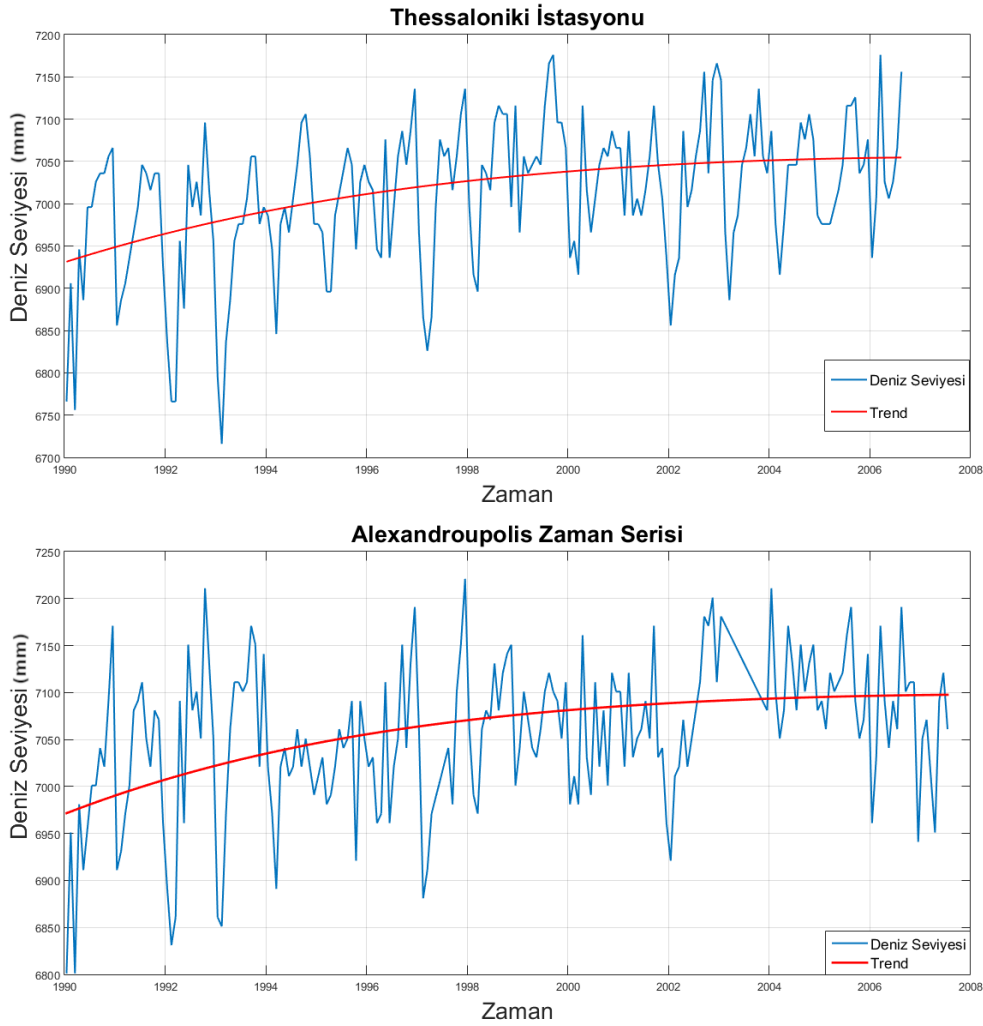
Şekil 35'te görüldüğü gibi tüm istasyon bölgelerinde deniz yüzey sıcaklığı ile deniz seviyesi arasında pozitif yönde güçlü bir bağımlılık bulunmuştur. Bu bağımlılıkta üst kuyrukta yüksek korelasyonlar görülmektedir. Yani deniz yüzey sıcaklığı arttıkça deniz suundaki genişleme miktarı da artmaktadır. Yüksek sıcaklık değerlerindeki artışlarda daha

yüksek deniz suyu genişmesi olurken düşük sıcaklıklarda meydana gelen deniz yüzey sıcaklığı artışları daha düşük genişleme miktarlarına sebep olmaktadır.

2.4. Deniz Seviyesi Değişimlerinde Kapula Temelli Trend Analizleri

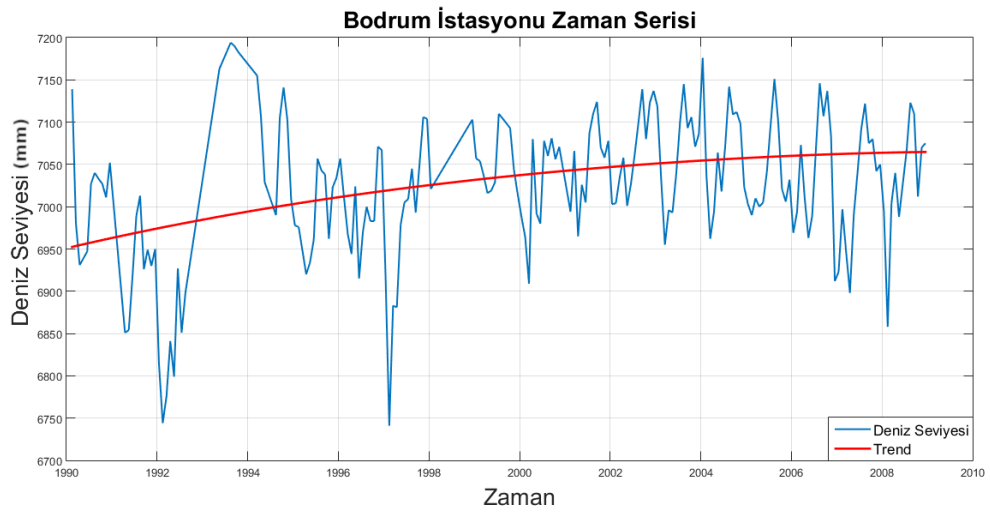
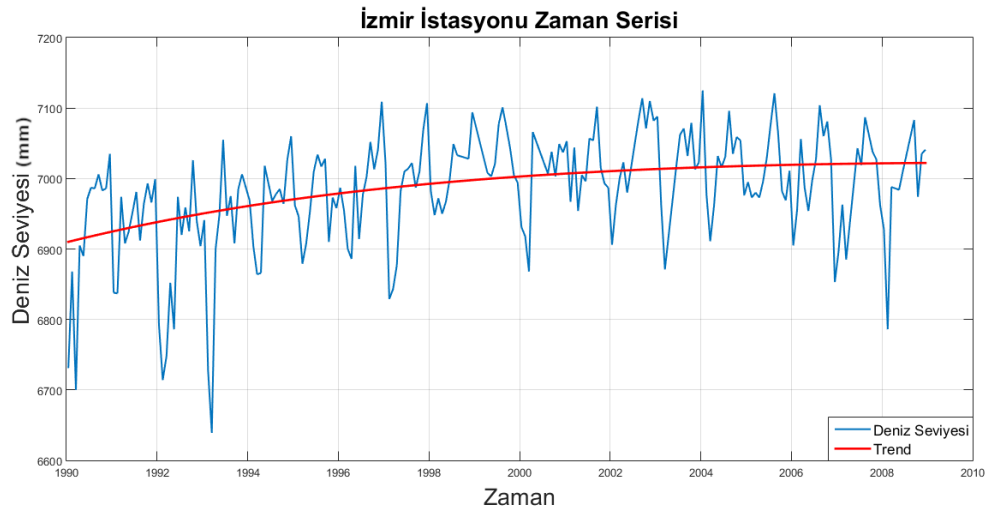
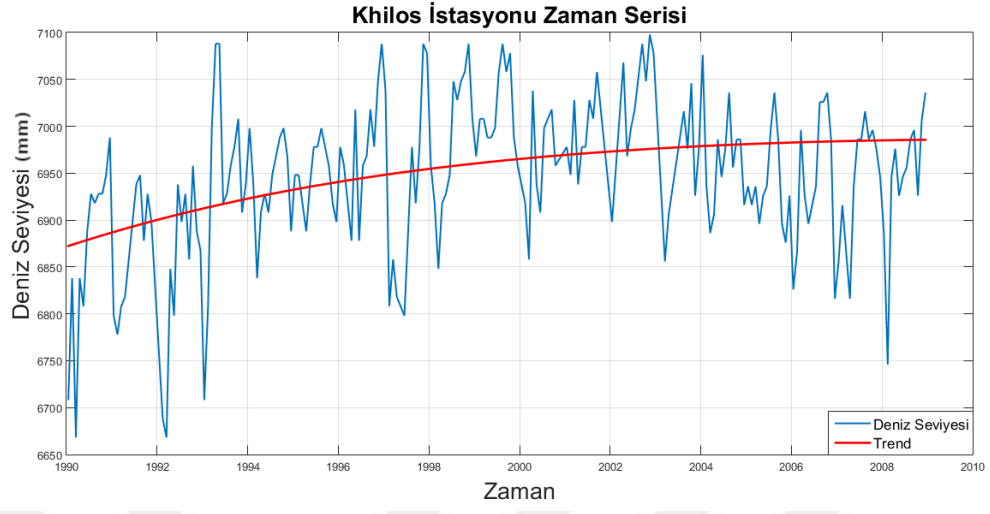
2.4.1. Ege Denizi'nde Bağlı Deniz Seviyesi Değişimlerinde Kapula Temelli Trend Analizleri

2.1'de yapılan uygulamada deniz seviyesi zaman serilerine ait bağımlılıklar modellenmişti. Bu uygulamada ise 2.1'de modellenen bağımlılık yapıları kullanılarak deniz seviyesi zaman serilerinde Kapula temelli trend analizleri yapılmıştır (Şekil 36).

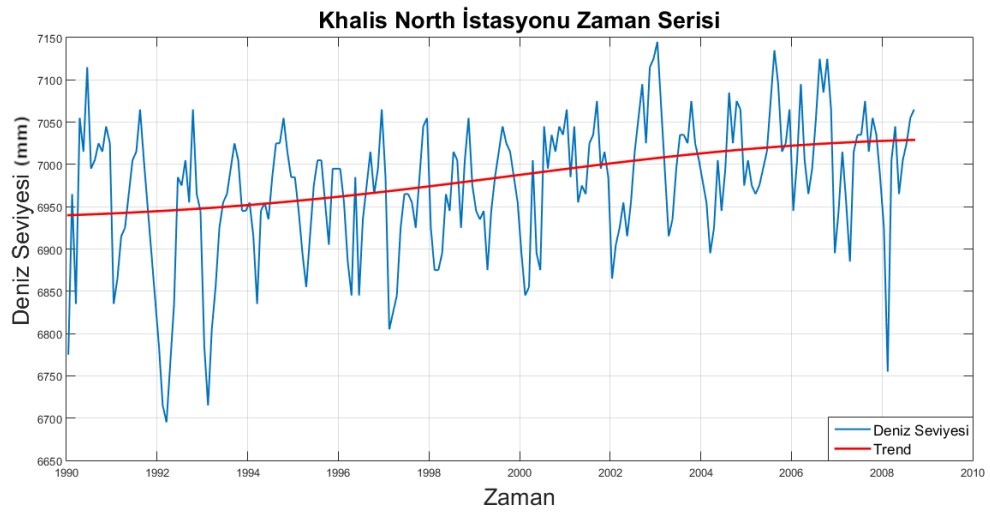
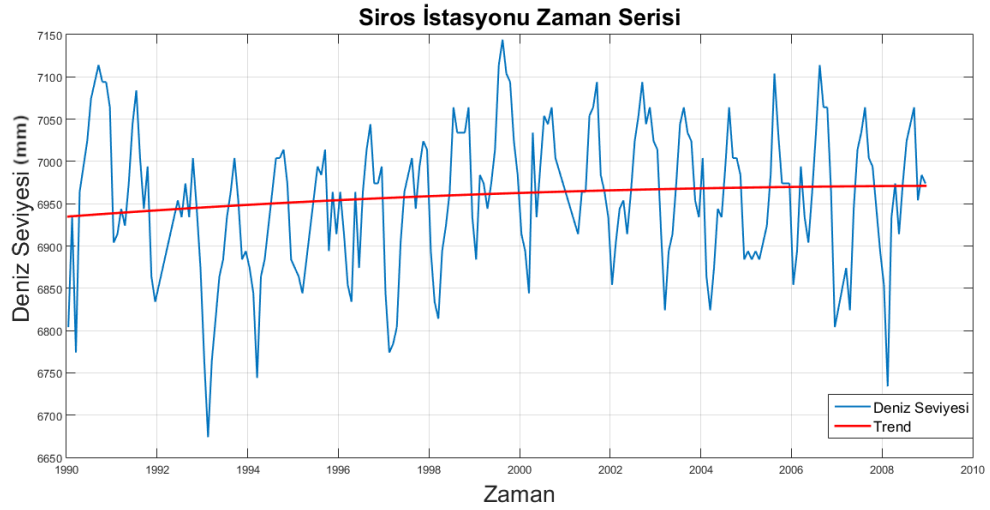
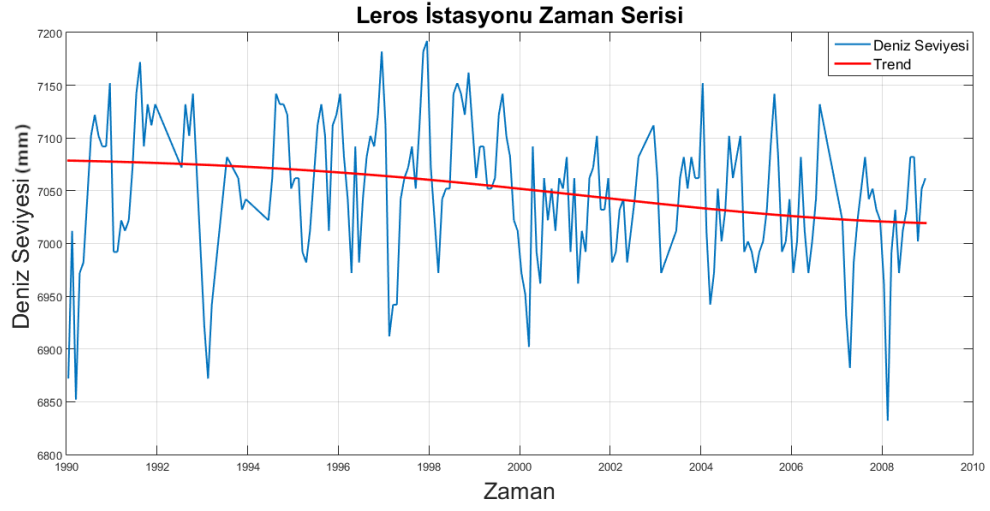


Şekil 36. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Analizleri

Şekil 36'nın devamı



Şekil 36'nın devamı



Şekil 36’da görüldüğü gibi 8 mareograf istasyonundan 6’sında deniz seviyelerinde pozitif yönde bir yükselme trendi ve birinde deniz seviyesinde düşüş trendi gözlemlenmiştir. Bir istasyonda ise deniz seviyelerinde önemli bir artış veya azalma gözlemlenmemiştir. Deniz seviyesinin artış gösterdiği istasyonlardan Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Menteş ve Bodrum istasyonları zaman serisinin erken dönemlerinde yüksek bir artış trendi gösterip daha sonra trendin artış miktarında bir düşüş gözlemlenmiştir. İlk zamanlarda yüksek olan deniz seviyesi artış trendlerinin daha sonraki zamanlarda azalmasının sonucunda bu istasyonlardaki veriler iki farklı dönemde incelenmiştir. Bu dönemler deniz seviyesi artış trendinin daha yüksek olduğu 1990 – 1998 (1. Dönem) ve deniz seviyesi artış trendinin düştüğü 1999-2008 (2. Dönem) olarak belirlenmiştir. Böylece deniz seviyesi trendlerinde oluşan farklılığın daha iyi incelenmesi amaçlanmıştır.

2.4.2. Ege Denizi’nde Bağlı Deniz Seviyesi Değişimlerinde İki Dönemli Kapula Temelli Trend Analizleri

2.4.2.1. Deneysel Birikimli Dağılımların Teorik Dağılıma Uydurulması

Birinci ve ikinci döneme ait zaman ve deniz seviyesi değişkenlerinin marjinal dağılımları Normal Dağılım (Normal Distribution), Logistik Dağılım (Logistic Distribution), Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımı (Generalized Extreme Value Distribution) ve Weibull dağılımı kullanılarak modellenmiş ve modellenmiş teorik dağılımlar ile deneysel marjinal dağılımlar arasındaki karesel ortalama hatalar (RMSE) hesaplanmıştır (Tablo 13).

Tablo 13. Değişkenlerin marjinal dağılımlarının teorik bir dağılıma uydurulması

İstasyon Adı	Dağılımlar	1.Dönem		2.Dönem	
		RMSE Zaman (mm)	RMSE Deniz Seviyesi (mm)	RMSE Zaman (mm)	RMSE Deniz Seviyesi (mm)
Thessaloniki	Genelleştirilmiş E.	0.037	0.023	0.024	0.034
	Logistik	0.045	0.026	0.038	0.041
	Normal	0.040	0.017	0.032	0.035
	Weibull	0.053	0.035	0.045	0.058
Alexandroupolis	Genelleştirilmiş E.	0.043	0.028	0.031	0.040
	Logistik	0.066	0.065	0.047	0.049

Tablo 13'ün devamı

	Normal	0.036	0.016	0.041	0.045
	Weibull	0.079	0.049	0.044	0.053
Khilos	Genelleştirilmiş E.	0.021	0.024	0.026	0.035
	Logistik	0.024	0.030	0.049	0.042
	Normal	0.018	0.022	0.027	0.035
	Weibull	0.048	0.031	0.052	0.048
Menteş	Genelleştirilmiş E.	0.043	0.045	0.033	0.031
	Logistik	0.047	0.052	0.037	0.038
	Normal	0.040	0.048	0.042	0.032
	Weibull	0.053	0.051	0.049	0.057
Bodrum	Genelleştirilmiş E.	0.043	0.045	0.034	0.022
	Logistik	0.047	0.052	0.042	0.049
	Normal	0.040	0.048	0.035	0.045
	Weibull	0.053	0.051	0.049	0.057

Tablo 13'de görüldüğü gibi değişkenlerin deneysel birikimli dağılımları kırmızı ile gösterilen en uygun teorik dağılımlara uydurulmuştur. Deniz seviyesi - zaman değişkenlerinin Normal Dağılım ve Genelleştirilmiş Ekstrem Dağılıma uydukları görülmektedir.

2.4.2.2. Birinci ve İkinci Dönemlere Ait Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Kapula Parametre Tahmini ve Uyum İyiliği Testi

1.Dönem ve 2.Dönemlerdeki deniz seviyesi – zaman değişkenlerine ait dağılımların teorik bir dağılıma uydurulmasının ardından veriler sıra uzayına dönüştürülmüş, deneysel Kapulaları hesaplanmış ve Kapula parametreleri maksimum olabilirlik yöntemine göre tahmin edilmiştir. Deneysel Kapula ile teorik Kapula fonksiyonları arasındaki farkı yansıtan Cramer – Von Mises metriğine göre en uygun Kapula fonksiyonu seçilmiştir (Tablo 14).

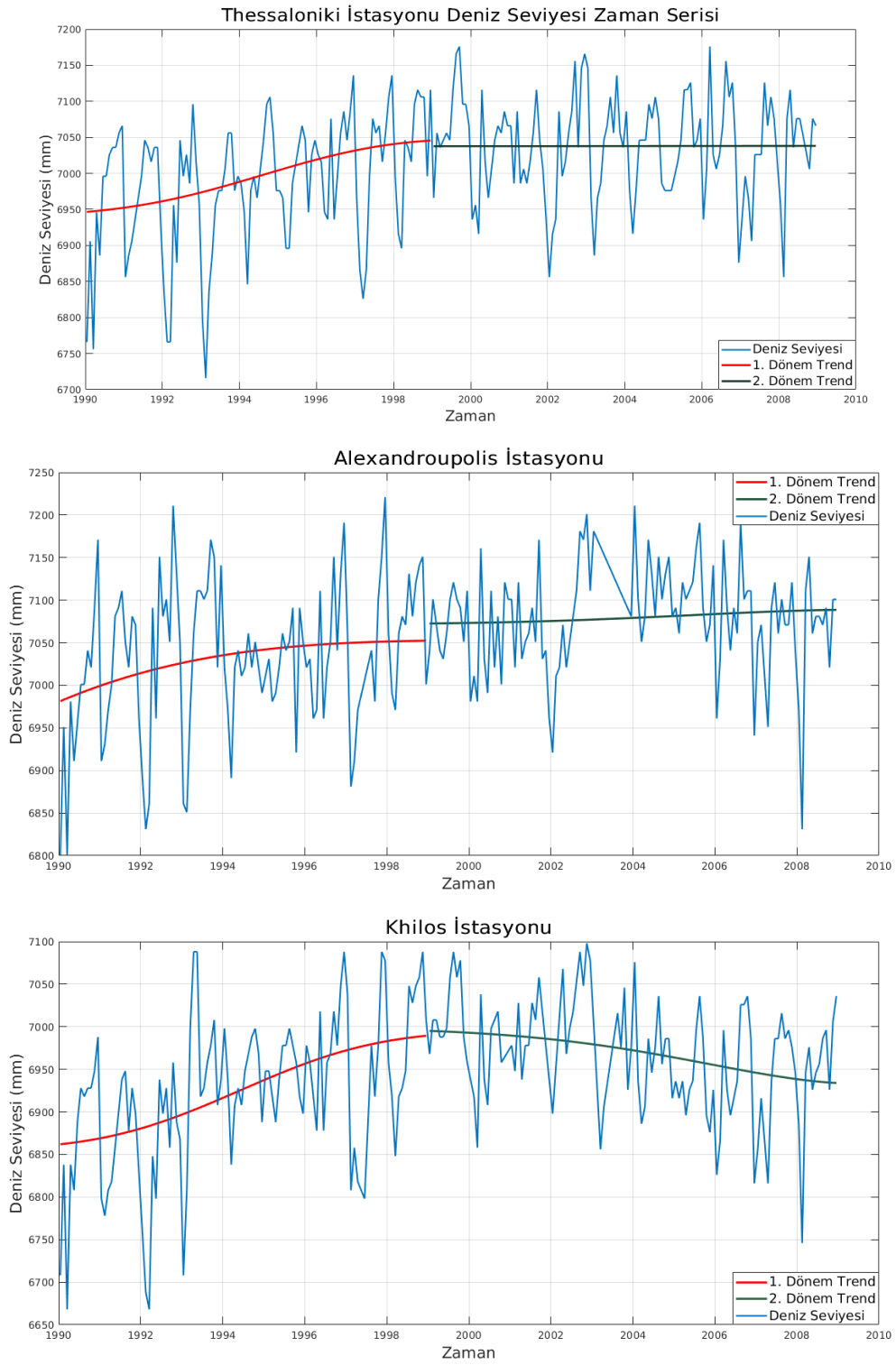
Tablo 14. Birinci ve İkinci Dönem Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Kapula Parametreleri ve Uyum İyiliği Testi

İstasyon Adı	Dağılımlar	1.Dönem		2.Dönem	
		Kapula Parametresi	Cramer Von Mises Metriği	Kapula Parametresi	Cramer Von Mises Metriği
Thessaloniki	Clayton	0.5177	0.3273	0.0000*	0.4354
	Frank	2.2981	0.1881	0.0096	0.0203
	Gumbel	1.3473	0.2934	1.0000*	0.3541
Alexandroupolis	Clayton	0.3267	0.0286	0.0933	0.4694
	Frank	1.2694	0.0351	0.5151	0.4688
	Gumbel	1.1893	0.0491	1.0000	0.5046
Khilos	Clayton	0.6599	0.3763	-	-
	Frank	3.2859	0.3267	-1.7173	0.1965
	Gumbel	1.5278	0.3388	-	-
Menteş	Clayton	0.5405	0.3065	-	-
	Frank	2.6747	0.2728	-0.6128	0.3242
	Gumbel	1.3383	0.2892	-	-
Bodrum	Clayton	0.2694	0.3642	-	-
	Frank	1.1044	0.3589	-0.2764	0.1648
	Gumbel	1.0767	0.3971	-	-

1.Dönem ve 2.Dönemlere ait deniz seviyesi zaman serilerinin Kapula parametreleri incelendiğinde zaman serilerinin genellikle Frank Kapula fonksiyonuna uydukları görülmektedir. Ayrıca Birinci dönemde yüksek olan Kapula parametre değerlerinin ikinci dönemde genellikle işaret değiştirdiği görülmektedir. Bu durum birinci dönemde pozitif yönlü deniz seviyesi değişimlerinin ikinci dönemde yön değiştirerek azaldığını ifade etmesi bakımından önemlidir.

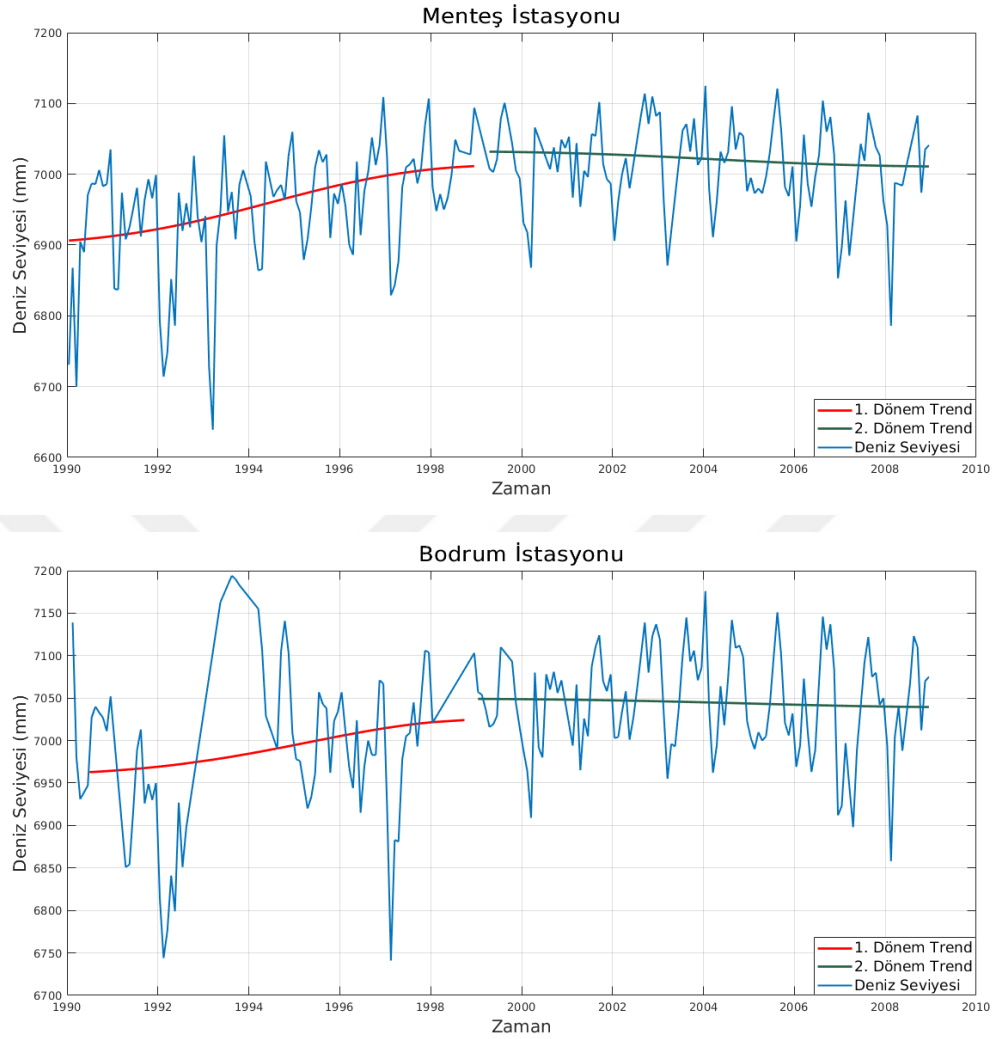
2.4.2.3. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Değerlerinin Hesaplanması

En uygun Kapula fonksiyonunun seçiminin ardından deniz seviyesi değişimlerine ait trend değerleri 1.10 bölümündeki gibi elde edilmiştir. 1.Dönem ve 2.Dönem ait elde edilen trend değerleri ve deniz seviyesi değişim anomalileri Şekil 37'de gösterilmiştir.



Şekil 37. İki Dönemli Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Analizleri

Şekil 37'nin devamı



Şekil 37'de görüldüğü gibi deniz seviyesi 1. Dönemde tüm istasyonlarda artarken, 2. Dönemde Khilos, Menteş, Bodrum istasyonlarında azalmaktadır. Thessaloniki istasyonunda önemli bir artış veya azalma görülmemekte ve Alexandroupolis istasyonunda ise deniz seviyesi artış miktarında bir azalma gözlenmektedir. Mareograf istasyonlarındaki deniz seviyesi değişimlerinin yıllık hız miktarları Tablo 15'de verilmektedir.

Tablo 15. Yıllık Deniz Seviyesi Değişim Hızları

İstasyon Adı	1.Dönem (mm/yıl)	2.Dönem (mm/yıl)
Thessaloniki	10.89±3.1	0.01±1.1
Alexandroupolis	7.89±3.3	1.6±0.8
Khilos	14.11±4.2	-6.1±2.4
Menteş	11.3±2.5	-2.1±1.3
Bodrum	6.78±3.6	-0.9±1.3

Birinci ve ikinci dönemlere ait yıllık deniz seviyesi değişim hızları incelendiğinde birinci dönemde global deniz seviyesi değişim hızlarına göre oldukça yüksek değişim hızlarının olduğu görülmektedir. İkinci dönemde ise deniz seviyesi değişim hızlarının oldukça azaldığı veya negatif yönde değiştiği görülmektedir.

2.5. Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde İki Dönemli Kapula Temelli Trend Analizleri

Bu uygulamada Tablo 15’de verilen hız değişimlerinin nedeni olabileceği düşünülen deniz yüzey sıcaklıkları 1990 – 1998 (1. Dönem), 1999 – 2008 (2. Dönem) olmak üzere iki farklı dönemde Kapula temelli analiz yöntemi ile incelenmiştir. Kapula temelli analiz yönteminin uygulanabilmesi için Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Mentesh ve Bodrum mareograf istasyonlarının bulunduğu bölgelere ait deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde ilk olarak deneysel birikimli dağılımların teorik dağılım fonksiyonlarına uydurulması gerekmektedir.

2.5.1. Deneysel Birikimli Dağılım Fonksiyonlarının Teorik Dağılım Fonksiyonlarına Uydurulması

1.Dönem ve 2.Döneme ait zaman ve deniz yüzey sıcaklığı değişkenlerinin deneysel birikimli dağılımları, Normal Dağılım (Normal Distribution), Logistik Dağılım (Logistic Distribution), Genelleştirilmiş Ekstrem Değer Dağılımı (Generalized Extreme Value Distribution) ve Weibull dağılımı kullanılarak modellenmiş ve modellenmiş teorik

dağılımlar ile deneysel marjinal dağılımlar arasındaki karesel ortalama hatalar (RMSE) hesaplanmıştır (Tablo 16).

Tablo 16. Deneysel Birikimli Dağılım Fonksiyonlarının Teorik Dağılım Fonksiyonlarına Uydurulması

İstasyon Adı	Dağılımlar	1.Dönem		2.Dönem	
		RMSE Zaman (mm)	RMSE Deniz Yüzey Sıcaklığı (mm)	RMSE Zaman (mm)	RMSE Deniz Yüzey Sıcaklığı (mm)
Thessaloniki	Genelleştirilmiş E.	0.056	0.065	0.044	0.031
	Logistik	0.064	0.078	0.053	0.097
	Normal	0.060	0.094	0.051	0.062
	Weibull	0.054	0.092	0.072	0.069
Alexandroupolis	Genelleştirilmiş E.	0.041	0.034	0.047	0.055
	Logistik	0.050	0.061	0.075	0.063
	Normal	0.038	0.043	0.062	0.040
	Weibull	0.067	0.094	0.078	0.072
Khilos	Genelleştirilmiş E.	0.032	0.042	0.032	0.054
	Logistik	0.059	0.083	0.076	0.071
	Normal	0.030	0.064	0.023	0.039
	Weibull	0.048	0.055	0.061	0.089
Menteş	Genelleştirilmiş E.	0.044	0.058	0.069	0.031
	Logistik	0.051	0.068	0.073	0.039
	Normal	0.055	0.073	0.032	0.047
	Weibull	0.067	0.045	0.056	0.022
Bodrum	Genelleştirilmiş E.	0.036	0.065	0.051	0.032
	Logistik	0.052	0.049	0.062	0.043
	Normal	0.047	0.033	0.037	0.063
	Weibull	0.038	0.075	0.045	0.071

2.5.2. Birinci ve İkinci Dönemlere Ait Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Kapula Parametre Tahmini ve Uyum İyiliği Testi

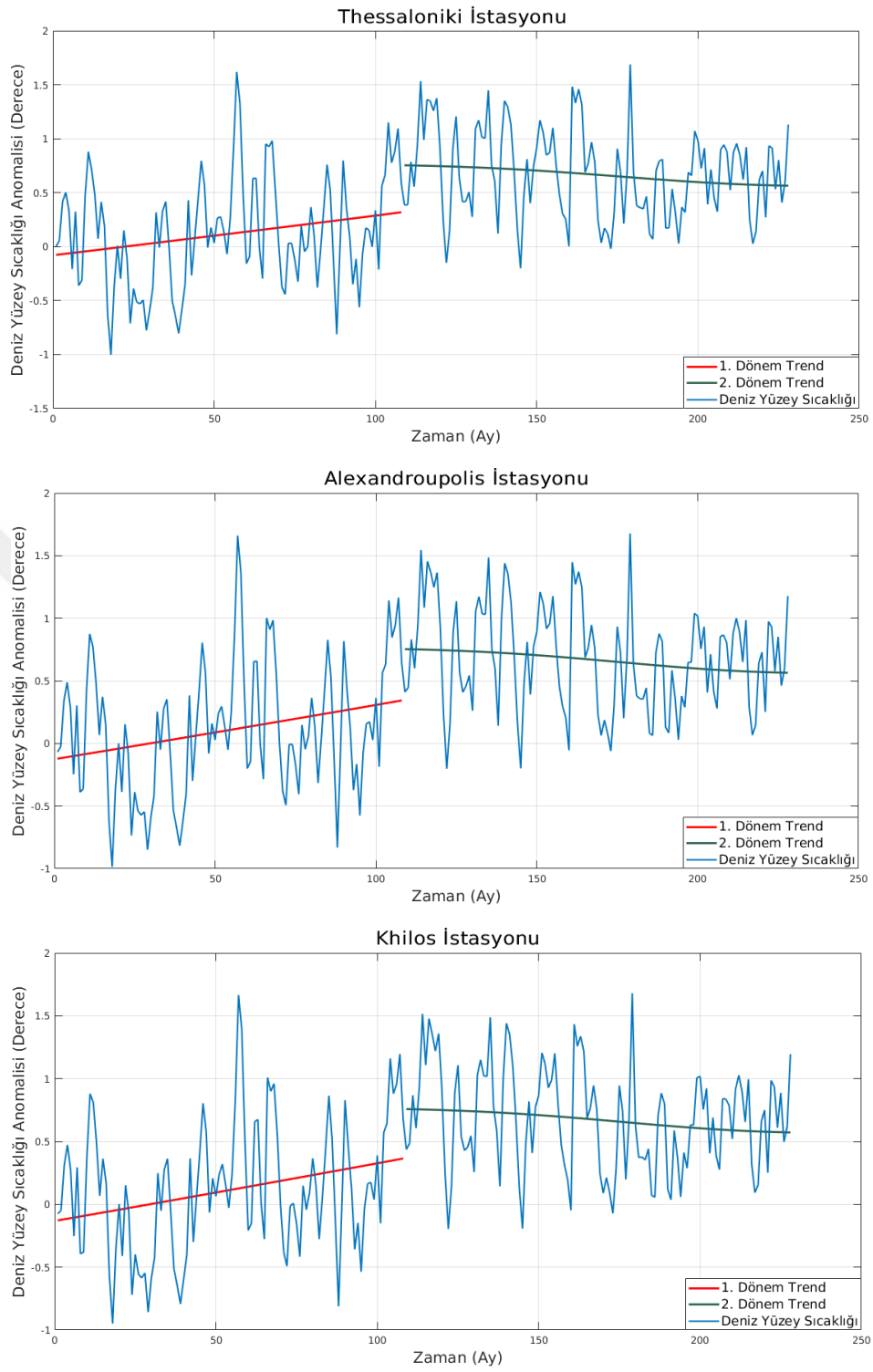
Birinci ve ikinci dönemlerdeki deniz yüzey sıcaklığı – zaman değişkenlerine ait deneysel birikimli dağılımların teorik bir dağılım fonksiyonuna uydurulmasının ardından veriler sıra uzayına dönüştürülmüş, deneysel Kapulaları hesaplanmış ve Kapula parametreleri maksimum olabilirlik yöntemine göre tahmin edilmiştir. Deneysel Kapula ile teorik Kapula fonksiyonları arasındaki farkı yansıtan Cramer – Von Mises metriğine göre en uygun Kapula fonksiyonu seçilmiştir (Tablo 17).

Tablo 17. Birinci ve İkinci Dönem Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Kapula Parametreleri ve Uyum İyiliği Testi

İstasyon Adı	Dağılımlar	1.Dönem		2.Dönem	
		Kapula Parametresi	Cramer Von Mises Metriği	Kapula Parametresi	Cramer Von Mises Metriği
Thessaloniki	Clayton	0.0051	0.4428	-	-
	Frank	1.2917	0.2387	-0.8742	0.0105
	Gumbel	1.0448	0.5142	-	-
Alexandroupolis	Clayton	0.0096	0.5264	-	-
	Frank	1.4974	0.2475	-0.8683	0.0241
	Gumbel	1.0592	0.6781	-	-
Khilos	Clayton	0.0115	0.5149	-	-
	Frank	1.5938	0.2064	-0.8487	0.0212
	Gumbel	1.0663	0.6947	-	-
Menteş	Clayton	0.0072	0.4760	-	-
	Frank	1.6625	0.2749	-1.2102	0.0184
	Gumbel	1.0515	0.6537	-	-
Bodrum	Clayton	0.0114	0.5510	-	-
	Frank	1.8991	0.2193	-1.1633	0.0140
	Gumbel	1.0701	0.5786	-	-

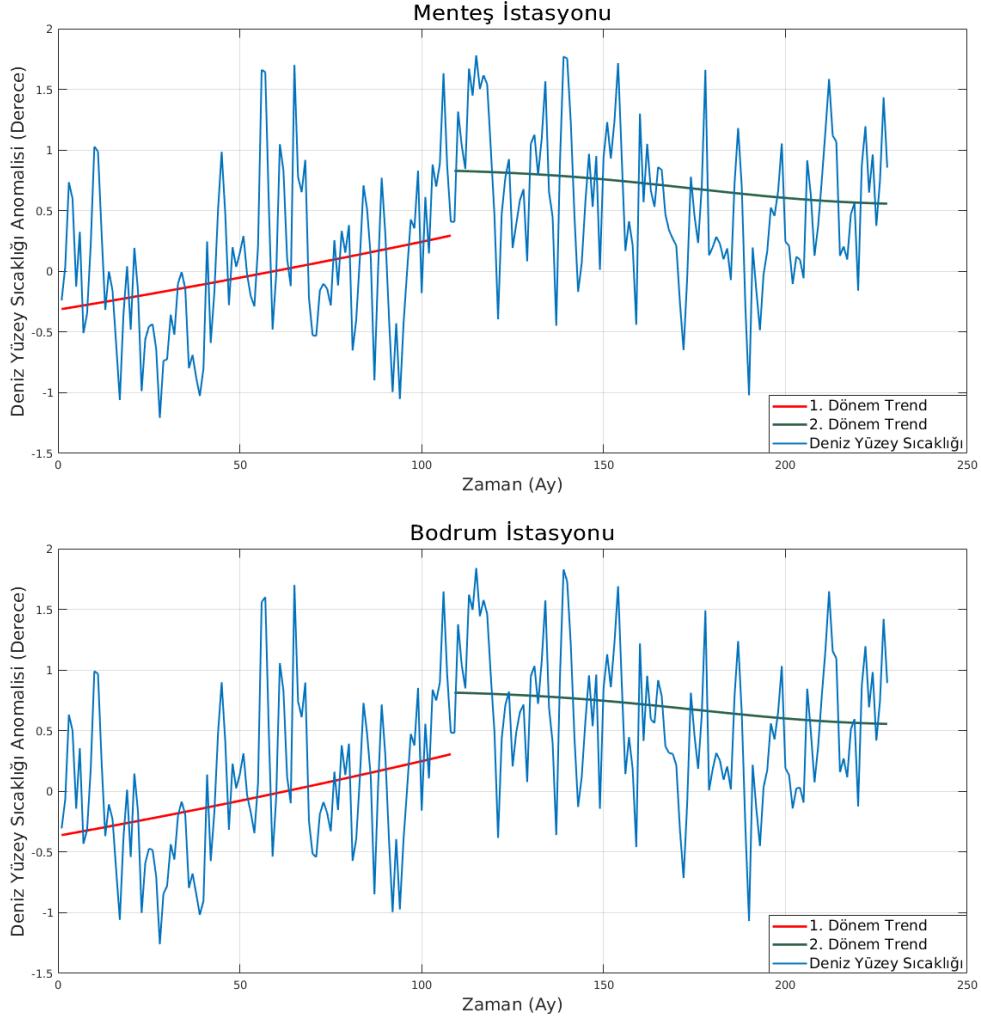
2.5.3. Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Değerlerinin Hesaplanması

Kapula parametrelerinin tahmini ve en uygun Kapula fonksiyonunun seçiminin ardından deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde trend değerleri Bölüm 2.1.7' deki gibi elde edilmiştir. Birinci ve ikinci döneme ait elde edilen trendler ve deniz yüzey sıcaklığı anomalileri Şekil 38'de gösterilmiştir.



Şekil 38. Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Kapula Temelli Trend Analizi

Şekil 38'in devamı



Şekil 38'de görüldüğü gibi deniz yüzey sıcaklıkları 1. Dönemde tüm istasyonlarda artış trendi gösterirken 2. Dönemde ise deniz yüzey sıcaklığı trendlerinin yön değiştirerek negatif yönde azalan hız yapısına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca deniz yüzey sıcaklığı trendleri hemen hemen doğrusal bir yapıya sahiptir. İstasyonların bulunduğu alanlarda elde edilen deniz yüzey sıcaklığı yıllık hız değerleri Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Yıllık Deniz Yüzey Sıcaklığı Anomalisi Değişim Hızları

İstasyon Adı	1.Dönem (°C/Yıl)	2.Dönem (°C/Yıl)
Thessaloniki	0.044±0.01	-0.019±0.01
Alexandroupolis	0.052±0.02	-0.021±0.01
Khilos	0.055±0.02	-0.020±0.01
Menteş	0.067±0.03	-0.027±0.01
Bodrum	0.074±0.03	-0.026±0.01

Tablo 18 incelendiğinde Ege Denizi'nin kuzey kısmında yer alan Thessaloniki ve Alexandroupolis istasyonlarında deniz yüzey sıcaklığı artış hızlarının daha güneyde yer alan Mentеш ve Bodrum istasyonlarına göre daha düşük olduğu görülebilir.

2.6. Kapula Temelli Trend Modellerinin Regresyon Modelleri ile Karşılaştırılması

Bu bölümde tez çalışmasında sunulan Kapula temelli trend analiz yönteminin uygulanabilirliğini test etmek amacıyla regresyon analizinden üretilen trend modelleri kullanılmıştır. Kapula temelli trend modelleri birinci ve ikinci dereceden regresyon modelleri ile karşılaştırılarak sonuçları irdelenmiştir.

2.6.1. Tüm Dönem Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Regresyon Modelleri ve Kapula Temelli Trend Modellerinin Karşılaştırılması

Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Mentеш ve Bodrum İstasyonlarına ait tüm dönem (1990 – 2008) deniz seviyesi zaman serilerinde doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Doğrusal regresyon analizi sonucunda katsayıların anlamlı çıkması durumunda ikinci dereceden regresyon analizi uygulanmıştır. Uygulanan doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen değerler Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Birinci Derece Doğrusal Regresyon Analizi Sonuçları

İstasyon Adı	a_0 Katsayısı	a_1 Katsayısı
Thessaloniki	-4183.5462	5.5992
Alexandroupolis	-2179.9767	4.6194
Khilos	-1820.0997	4.3832
Menteş	-5445.7165	6.2156
Bodrum	-2081.0292	4.5515

Uygulanan regresyon analizleri sonucunda elde edilen regresyon katsayılarının anlamlılığı test edilmiştir. H_0 hipotezi regresyon katsayısının anlamsız olduğunu, H_1 hipotezi regresyon katsayısının anlamlı olduğunu göstermek üzere %95 güven aralığında regresyon katsayılarına ait anlamlılık testi sonuçları Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Birinci Derece Regresyon Katsayılarının Anlamlılığı Testi

İstasyon Adı	a_0 Katsayısı Test Büyüklüğü	a_1 Katsayısı Test Büyüklüğü	Tablo Değeri	a_0 Katsayısı Sonucu	a_1 Katsayısı Sonucu
Thessaloniki	2.1578	5.7751	1.9708	Anlamlı	Anlamlı
Alexandroupolis	1.1868	5.0283	1.9712	Anlamsız	Anlamlı
Khilos	0.9438	4.5445	1.9714	Anlamsız	Anlamlı
Menteş	2.9005	6.6188	1.9714	Anlamlı	Anlamlı
Bodrum	1.0053	4.3981	1.9725	Anlamsız	Anlamlı

Tablo 20’ de görüldüğü gibi 1. Dereceden regresyon analizinden elde edilen a_1 katsayılarının tamamı %95 güven aralığında anlamlıdır. Yani deniz seviyesi zaman serilerinin tamamında artan yönde bir trend mevcuttur. Tüm istasyon verilerinde 1. Dereceden regresyon analizi sonucunda anlamlı bir artış trendi elde edilmesinin ardından 2. Derece regresyon analizi uygulanmıştır. Deniz seviyesi zaman serilerinde elde edilen regresyon katsayıları Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde İkinci Derece Doğrusal Regresyon Analizi Sonuçları

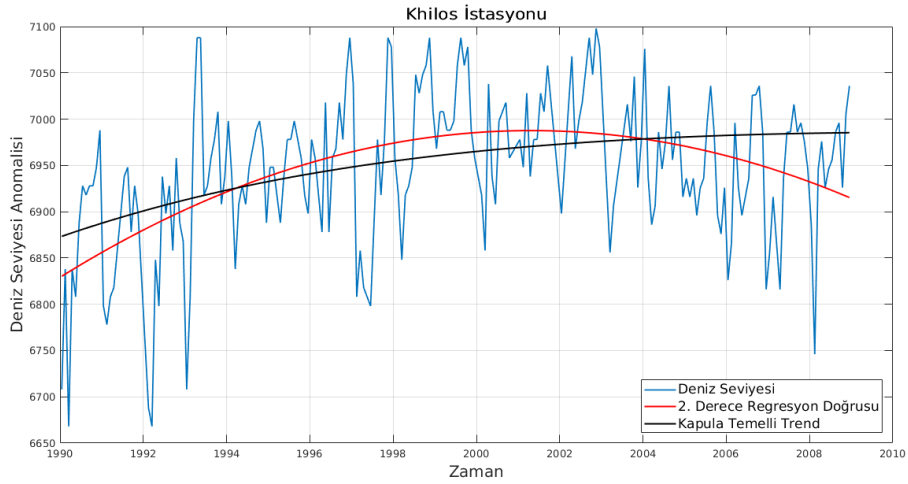
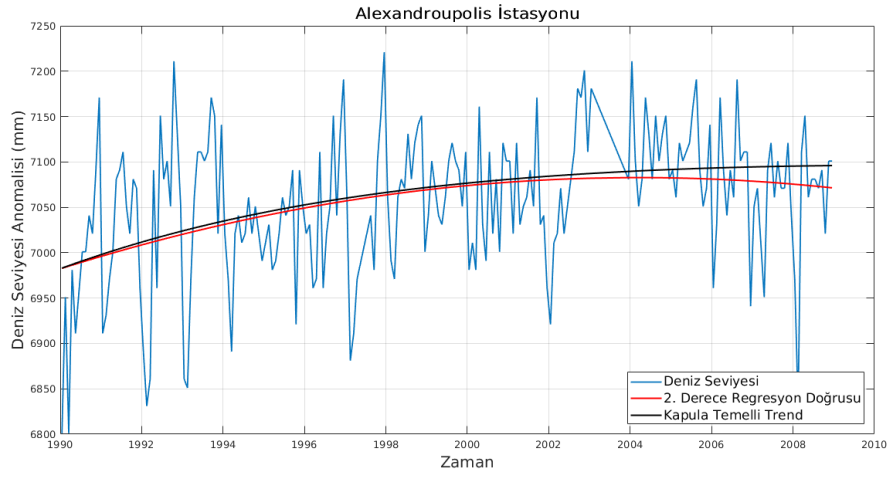
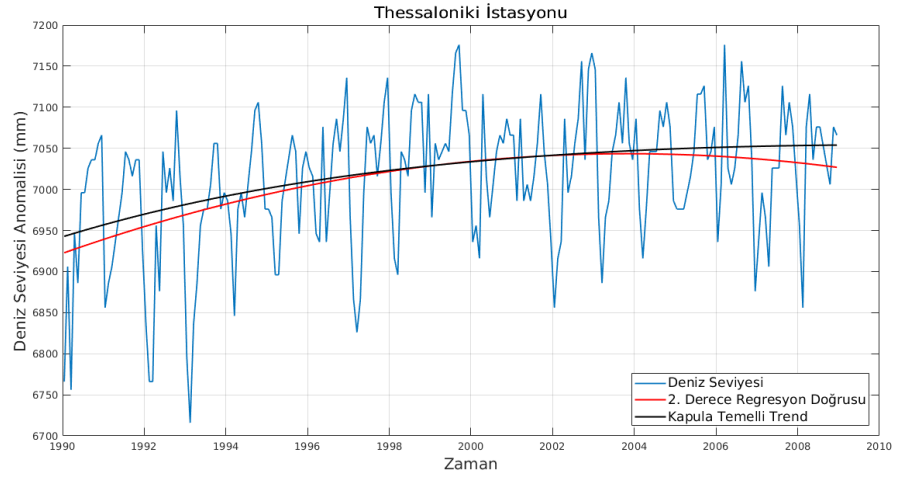
İstasyon Adı	a_0 Katsayısı	a_1 Katsayısı	a_2 Katsayısı
Thessaloniki	-2532938.0954	2535.1135	-0.6325
Alexandroupolis	-1995486.5000	1998.3729	-0.4985
Khilos	-4953156.4062	4956.8845	-1.2384
Menteş	-3414904.3437	3416.8296	-0.8529
Bodrum	-2020938.4687	2023.7177	-0.5048

Tablo 19 ve Tablo 21’ de verilen regresyon sonuçlarının Kapula temelli trend analizi ile karşılaştırılması amacıyla öteleme ve normlandırma işlemleri uygulanmamıştır. Bu sebeple bazı katsayılar oldukça büyük görünse bile verilerle uyumludur. Tablo 21’de verilen 2. Derece regresyon katsayılarının da anlamlılığı test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. İkinci Derece Regresyon Katsayılarının Anlamlılığı Testi

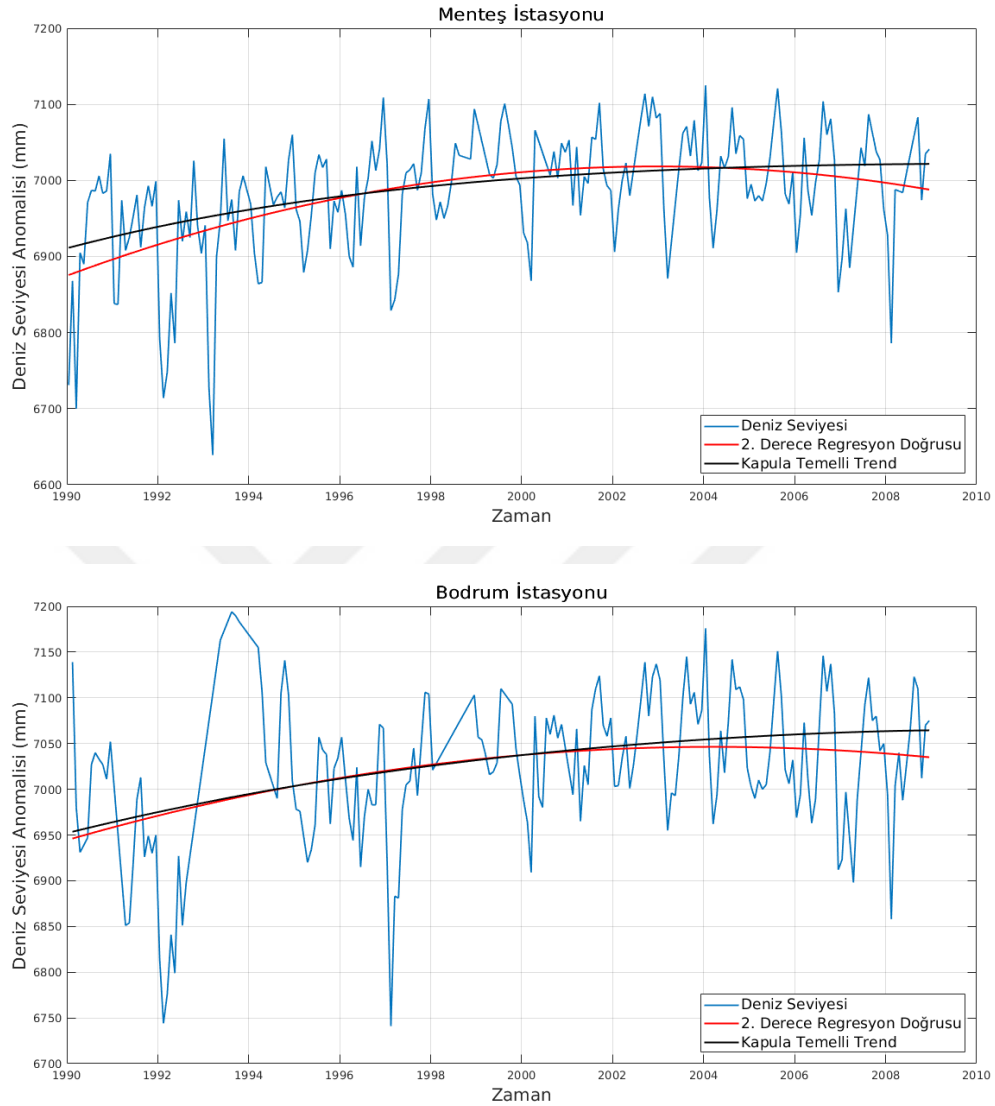
İstasyon Adı	a_0 Katsayısı Test Büüklüğü	a_1 Katsayısı Test Büüklüğü	a_2 Katsayısı Test Büüklüğü	Tablo Değeri
Thessaloniki	3.2570	3.2588	3.2516	1.9708
Alexandroupolis	2.7042	2.7075	2.7013	1.9713
Khilos	6.8365	6.8401	6.8340	1.9714
Menteş	4.5825	4.5835	4.5752	1.9715
Bodrum	2.4448	2.4447	2.4423	1.9726

Tablo 22’de elde edilen test büyüklükleri ve tablo değerleri incelendiğinde tüm katsayılara ait test büyüklüklerinin tablo değerlerinden büyük çıkması nedeniyle H_1 hipotezi kabul edilir. Yani tüm istasyonlarda elde edilen 2. Derece regresyon katsayıları anlamlıdır. Deniz seviyesi zaman serilerinin tüm döneminde yapılan 2. Derece regresyon analizi ile Kapula temelli trend analiz yöntemleri grafik üzerinden karşılaştırılmıştır (Şekil 39).



Şekil 39. Kapula Temelli Trendler ve Regresyon Eğrileri

Şekil 39'un devamı



Şekil 39 incelendiğinde Kapula temelli trend eğrisi ile regresyon eğrisi arasındaki fark genellikle zaman serilerinin son dönemlerinde ve trend negatif yöne doğru eğilim gösterdiğinde ortaya çıkmaktadır. Bu durum istasyonlardaki tüm dönem deniz seviyesi zaman serilerinde en uygun Kapula fonksiyonu olarak seçilen Clayton Kapula fonksiyonunun negatif yöndeki bağımlılıkları modellemek için uygun fonksiyon yapısına sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca 2. Derece regresyon eğrileriyle oldukça yakın olan Kapula temelli trend eğrileri en fazla Khilos istasyonunda farklılık göstermiştir. Zaman serilerindeki regresyon eğrileri ile Kapula temelli trend eğrileri arasındaki farklar

bazı hata ölçütleri yönünden karşılaştırılmıştır. Hata ölçütleri ve elde edilen sonuçlar Tablo 23'de verilmiştir.

Tablo 23. Kapula Temelli Trendler ile Regresyon Modellerin Karşılaştırılması

İstasyon Adı	Gerçek veri ve Kapula temelli trend arasında			Gerçek veri ve regresyon modeli arasında		
	RMSE (mm)	MAE (mm)	MAPE (mm)	RMSE (mm)	MAE (mm)	MAPE (mm)
Thessaloniki	77.6544	60.8981	0.8724	76.9333	61.0169	0.8731
Alexandroupolis	73.5552	55.8567	0.7941	73.0444	55.8138	0.7929
Khilos	75.3914	58.1103	0.8399	71.1350	56.1206	0.8104
Menteş	72.5391	53.4704	0.7706	70.8521	53.5613	0.7710
Bodrum	77.6399	59.8431	0.8546	76.8185	59.3676	0.8471

Tablo 23'de görüldüğü gibi Thessaloniki, Alexandroupolis, Mentеш ve Bodrum istasyonlarından alınan deniz seviyesi zaman serilerinde Kapula temelli trendler ve regresyon modelleri arasında önemli bir fark olmasa da, Khilos istasyonunda 2. Dönemde görülen yüksek azalan yönde trendin Clayton Kapula fonksiyonu tarafından modellenememesi sonucunda regresyon analizinin daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

2.6.2. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinin İki Dönemli Regresyon Modelleri ve Kapula Temelli Trend Modellerinin Karşılaştırılması

Bölüm 2.4.2'de yapılan iki dönemdeki Kapula temelli trend analizleri doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırılmış sonuçları irdelenmiştir. Doğrusal regresyon sonucunda elde edilen regresyon doğrusuna ait katsayıları için parametre anlamlılık testi uygulanmıştır. Doğrusal regresyon ile Kapula temelli trend analizlerinin karşılaştırılmasında kullanılan ölçütler 1.12.1'de verilen hata ölçütleridir. İstasyonlardan elde edilen deniz seviyesi zaman serilerinde yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen regresyon katsayıları Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinin İki Dönemli Doğrusal Regresyon Katsayıları

İstasyon Adı	1. Dönem		2. Dönem	
	a_0 Katsayısı	a_1 Katsayısı	a_0 Katsayısı	a_1 Katsayısı
Thessaloniki	-19203.1113	13.1299	8063.3387	-0.5117
Alexandroupolis	-11457.7472	9.2710	4848.0218	1.1126
Khilos	-28288.3568	17.6536	21415.6893	-7.2094
Menteş	-21359.7450	14.1939	12802.4432	-2.8893
Bodrum	-7488.9168	7.2603	9129.1783	-1.0402

Tablo 24’te verilen doğrusal regresyon katsayılarının T testine göre anlamlılıkları araştırılmıştır. (61)’ de verildiği gibi test büyüklükleri hesaplanmış, (62) ve (63)’de verilen hipotez testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 25 ve Tablo 26’da verilmiştir.

Tablo 25. Birinci Dönem Doğrusal Regresyon Katsayıları Anlamlılık Testi

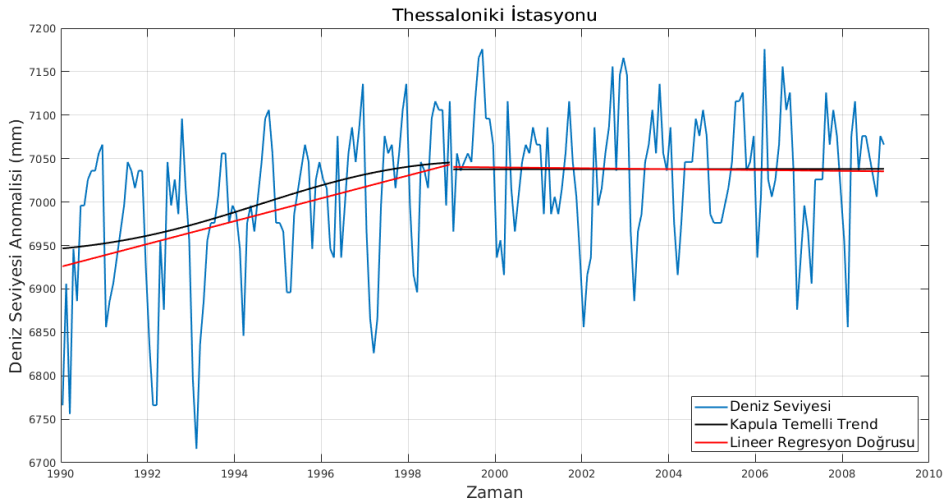
İstasyon Adı	a_0 Katsayısı Test Büyüklüğü	a_1 Katsayısı Test Büyüklüğü	Tablo Değeri
Thessaloniki	3.0791	4.1989	1.9830
Alexandroupolis	1.7839	2.8789	1.9835
Khilos	4.7530	5.9158	1.9833
Menteş	3.5318	4.6808	1.9835
Bodrum	1.5994	2.8272	1.9925

Birinci dönemde istasyonlardan alınan deniz seviyesi zaman serilerinde uygulanan doğrusal regresyon analizi ile Test Büyüklüklerinin Tablo değerinden büyük çıkması sonucu Thessaloniki, Khilos ve Mentesh istasyonunda her iki katsayı da anlamlı bulunmuş, Alexandroupolis ve Bodrum istasyonlarında a_1 katsayısı anlamlı bulunurken a_0 kesişim sabiti anlamsız bulunmuştur. Böylece tüm istasyon verilerinde 1. Dönemde doğrusal bir artış tespit edilmiştir.

Tablo 26. İkinci Dönem Doğrusal Regresyon Katsayıları Anlamlılık Testi

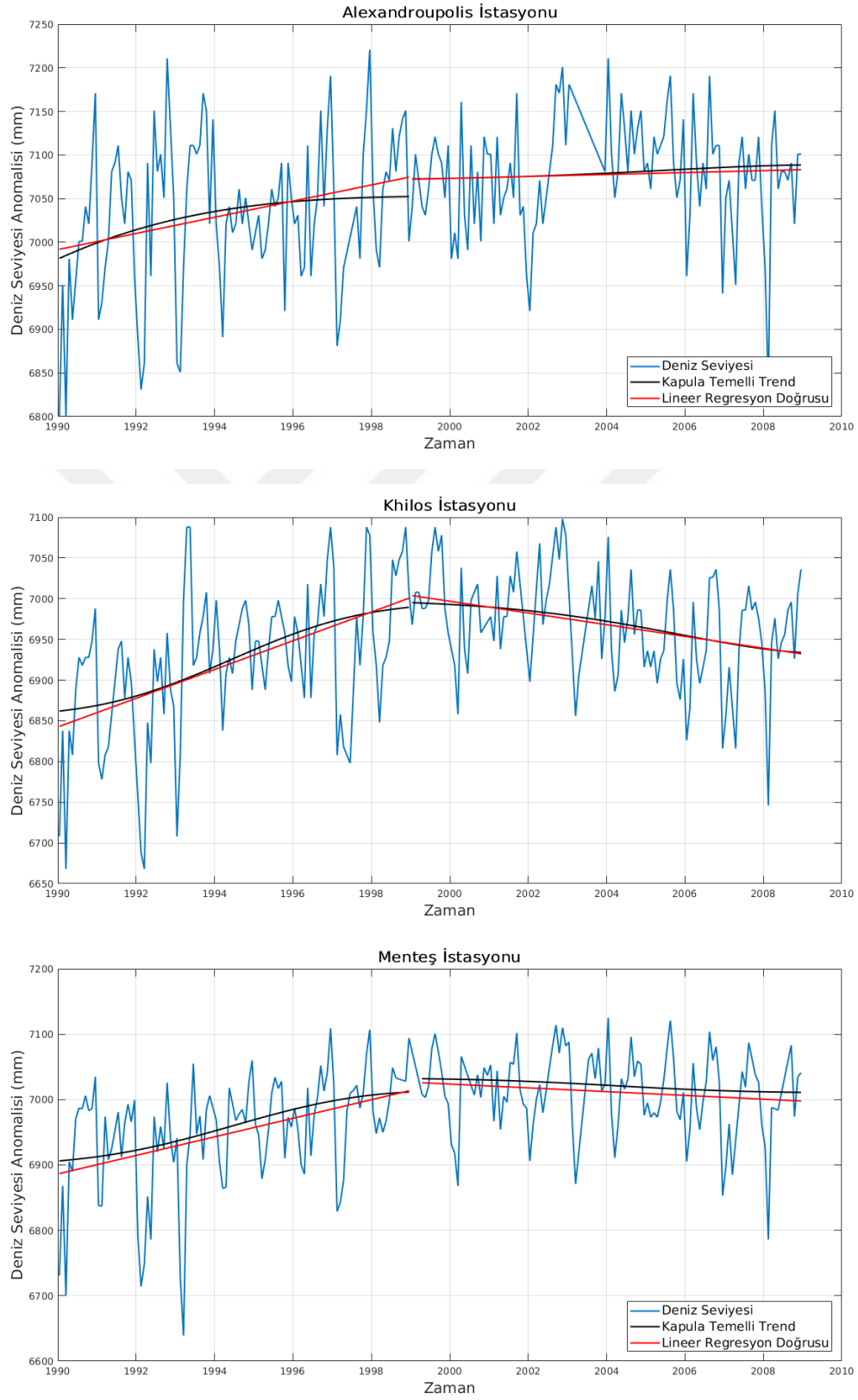
İstasyon Adı	a_0 Katsayısı Test Büyüklüğü	a_1 Katsayısı Test Büyüklüğü	Tablo Değeri
Thessaloniki	1.7602	0.2239	1.9808
Alexandroupolis	1.2129	0.5578	1.9822
Khilos	5.2093	3.5148	1.9830
Menteş	2.8986	1.3110	1.9830
Bodrum	2.3384	0.5340	1.9810

Tablo 26 incelendiğinde ikinci dönemde deniz seviyesi zaman serilerinde yapılan regresyon analizinde Thessaloniki, Alexandroupolis istasyonlarında bulunan regresyon katsayıları anlamsızdır. Mentеш ve Bodrum istasyonlarında ise regresyon doğrusunun eğimini gösteren a_1 katsayısı anlamsız bulunurken a_0 kesişim sabitleri anlamlı olarak bulunmuştur. Khilos istasyonunda a_1 ve a_0 katsayıları anlamlı olarak elde edilmiştir. Böylece Khilos istasyonu dışında diğer istasyonlarda 2. Döneme ait deniz seviyesi değişimlerinde anlamlı bir eğilim bulunamamıştır. Khilos istasyonunda ise azalan yönde bir eğilim tespit edilmiştir. İki dönemli doğrusal regresyon doğruları ve Kapula temelli trendler Şekil 40'da verilmiştir.

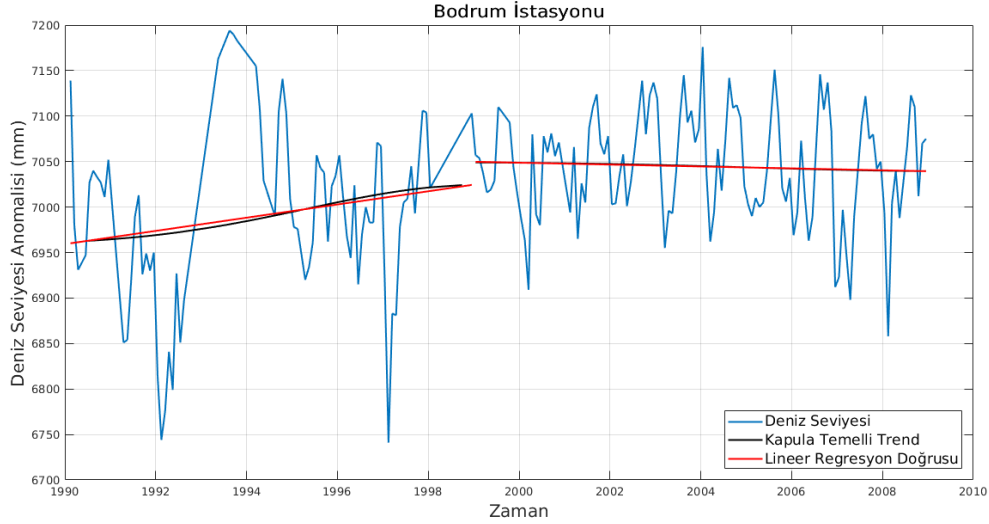


Şekil 40. Deniz Seviyesi Zaman Serilerinde Regresyon Eğrileri ve Kapula Temelli Trendler

Şekil 40'ın devamı



Şekil 40'ın devamı



Şekil 40'da görüldüğü gibi Kapula temelli trend modelleri ve doğrusal regresyon doğruları benzer eğilimlere sahiptir. Kapula temelli trend modelleri ile doğrusal regresyon doğruları 2.4.1'de verilen hata ölçütleri kullanılarak incelenmiştir (Tablo 27).

Tablo 27. Birinci Dönem Doğrusal Regresyon ve Kapula Temelli Trendlerin Karşılaştırılması

İstasyon Adı	Gerçek veri ve Kapula temelli trend arasında			Gerçek veri ve regresyon modeli arasında		
	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
Thessaloniki	85.5069	71.0580	1.0239	83.2790	69.2586	0.9529
Alexandroupolis	83.2449	65.1905	0.9300	83.5384	65.2778	0.9356
Khilos	79.3569	61.3555	0.8899	78.7246	61.2915	0.8884
Menteş	78.7227	58.4834	0.8479	78.9939	59.4683	0.8608
Bodrum	97.9810	75.3257	1.0788	98.3267	75.3634	1.0883

Birinci Dönem Kapula temelli trendlerin ve doğrusal regresyon doğrularının gerçek deniz seviyesi değişimi verileri ile karşılaştırılması sonucunda trendlerin hata ölçütlerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Thessaloniki ve Khilos istasyonlarında 1. Dönem doğrusal regresyon doğrularının gerçek verilere Kapula temelli trendlerden daha yakın olduğu belirlenmiştir. Alexandroupolis, Mentesh ve Bodrum

istasyonlarında ise 1. Dönem Kapula temelli trendlerin gerçek verilere doğrusal regresyon doğrularından daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Tablo 28. İkinci Dönem Doğrusal Regresyon ve Kapula Temelli Trendlerin Karşılaştırılması

İstasyon Adı	Gerçek veri ve Kapula temelli trend arasında			Gerçek veri ve regresyon modeli arasında		
	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
Thessaloniki	69.6322	55.2825	0.7868	69.6551	55.4295	0.7887
Alexandroupolis	62.3909	46.7678	0.6622	62.5784	46.9493	0.6646
Khilos	61.7375	49.7701	0.7156	61.8627	49.8287	0.7163
Menteş	62.2117	47.9707	0.6866	61.4982	48.0635	0.6870
Bodrum	59.2045	48.4324	0.6882	59.2852	48.4949	0.6890

Tablo 28 incelendiğinde ikinci dönem deniz seviyesi zaman serilerinde Kapula temelli trendlerin tüm istasyonlarda doğrusal regresyon doğrularına göre gerçek verilere daha yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Böylece Kapula temelli trendler ile doğrusal regresyon doğruları arasında hata ölçütleri bakımından fazla bir fark olmasa bile zayıf veya sabit eğilimlerde Kapula temelli trendlerin doğrusal regresyon doğrularına göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.

2.6.3. Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinin İki Dönemli Regresyon Modelleri ve Kapula Temelli Trend Modellerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde 2.5’de deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde yapılan Kapula temelli trend analizleri doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırılmış sonuçları irdelenmiştir. Doğrusal regresyon sonucunda elde edilen regresyon doğrusuna ait katsayıların T testine göre anlamlılıkları sorgulanmıştır. Doğrusal regresyon ile Kapula temelli trend analizlerinin karşılaştırılmasında kullanılan ölçütler 2.4.1’de verilen hata ölçütleridir. İstasyonlardan elde edilen deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen regresyon katsayıları Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29. Deniz Yüzeý Sıcaklığı Zaman Serilerinin İki Dönemli Doğrusal Regresyon Katsayıları

İstasyon Adı	1. Dönem		2. Dönem	
	a_0 Katsayısı	a_1 Katsayısı	a_0 Katsayısı	a_1 Katsayısı
Thessaloniki	-0.0853	0.0038	1.0543	-0.0022
Alexandroupolis	-0.1277	0.0044	1.0668	-0.0023
Khilos	-0.1336	0.0046	1.0530	-0.0022
Menteş	-0.2445	0.0051	1.3358	-0.0043
Bodrum	-0.3025	0.0058	1.3016	-0.0042

Tablo 29’da verilen doğrusal regresyon katsayılarının T testine göre anlamlılıkları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 30 ve Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 30. 1. Dönem Deniz Yüzeý Sıcaklığı Regresyon Katsayıları Anlamlılık Sonuçları

İstasyon Adı	a_0 Katsayısı Test Büyüklüğü	a_1 Katsayısı Test Büyüklüğü	Tablo Değeri
Thessaloniki	0.8880	2.4730	1.9826
Alexandroupolis	1.3002	2.7987	1.9826
Khilos	1.3652	2.9668	1.9829
Menteş	2.0572	2.7057	1.9826
Bodrum	2.5795	3.1120	1.9823

Tablo 30’da elde edilen sonuçlara göre Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos istasyonlarında a_0 katsayısı test büyüklükleri T tablo değerinden küçük çıktığından %95 güven aralığında anlamsız bulunmuş, a_1 katsayısı test büyüklükleri ise T tablo değerinden büyük çıktığından %95 güven aralığında anlamlı bulunmuştur. Mentеш ve Bodrum istasyonlarında her iki katsayıya ait test büyüklüklerinin T tablo değerinden büyük çıkması sonucunda %95 güven düzeyinde anlamlı oldukları belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre birinci dönem deniz yüzeý sıcaklığı zaman serilerinde tüm istasyonlarda artan bir trend tespit edilmiştir.

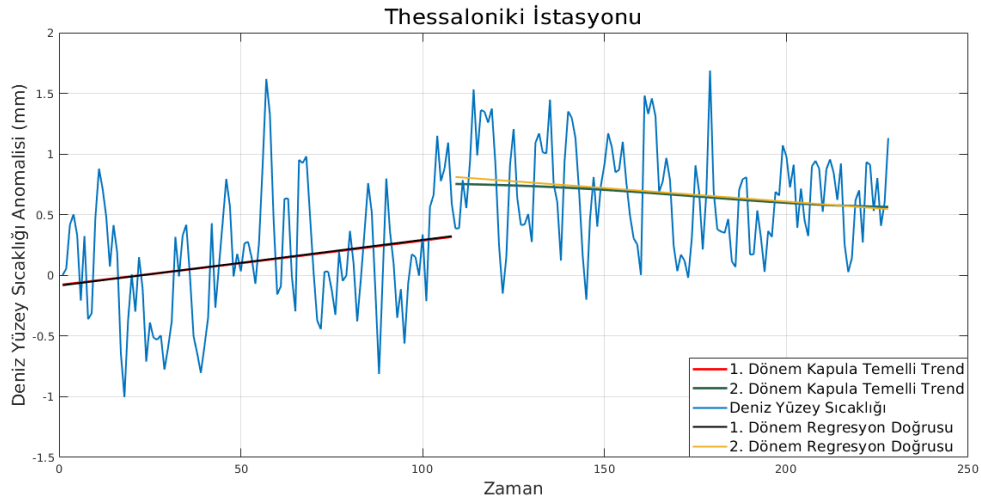
2. Dönem deniz yüzeý sıcaklığı zaman serilerinin regresyon katsayıları anlamlılık sonuçları Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31. 2. Dönem Deniz Yüzeý Sıcaklığı Regresyon Katsayıları Anlamlılık Sonuçları

İstasyon Adı	a_0 Katsayısı Test Büyüklüğü	a_1 Katsayısı Test Büyüklüğü	Tablo Değeri
Thessaloniki	5.7301	2.0852	1.9803
Alexandroupolis	5.6833	2.0867	1.9803
Khilos	5.6514	2.0214	1.9803
Menteş	5.2671	2.9496	1.9803
Bodrum	5.1424	2.8655	1.9803

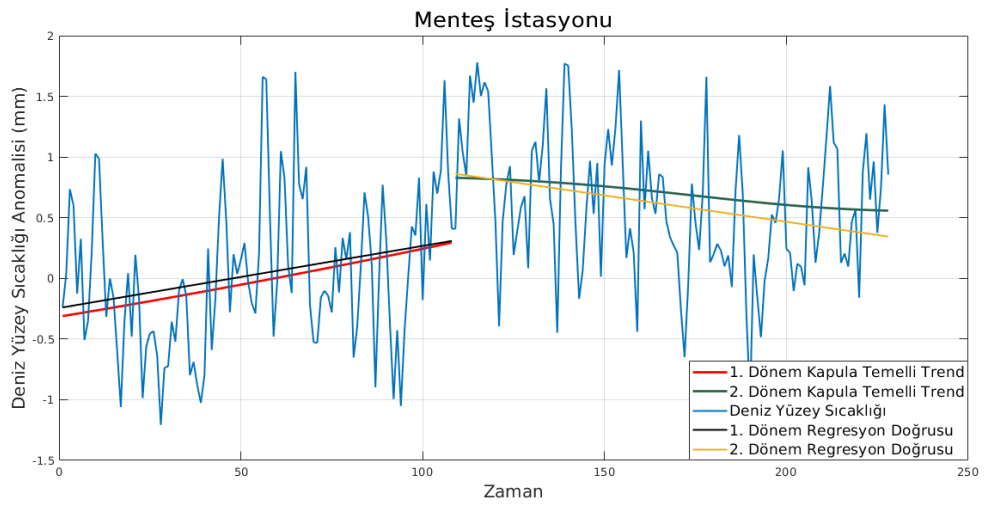
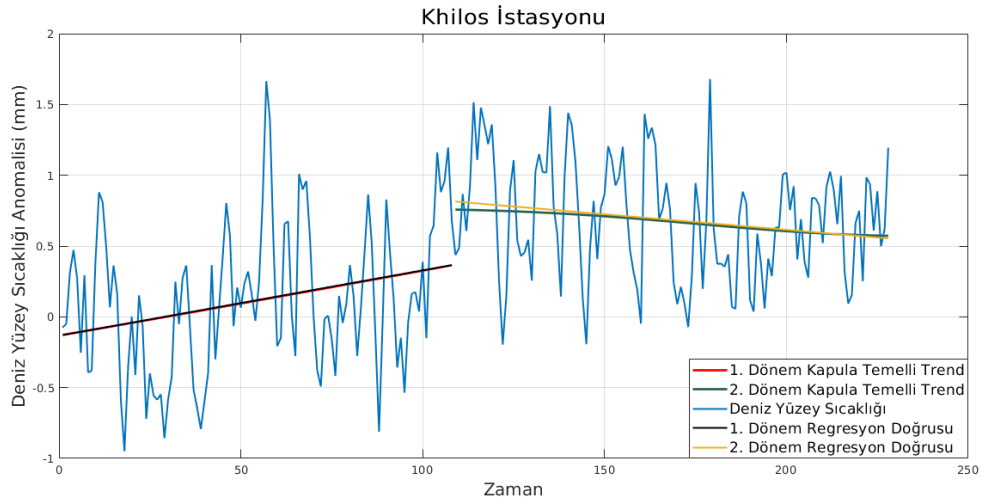
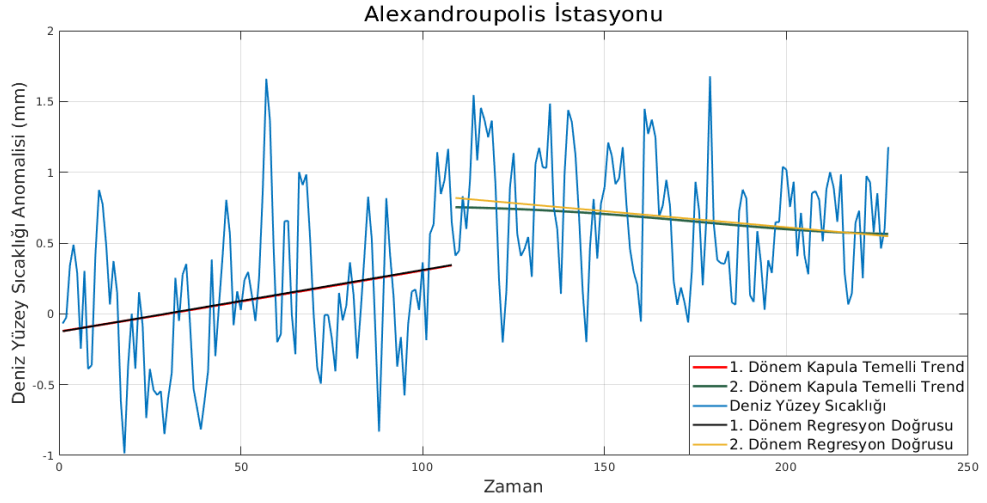
Tablo 31’de verilen test büyüklükleri ve T tablo değerleri incelendiğinde tüm istasyonlarda doğrusal regresyon katsayıları test büyüklüklerinin T tablo değerinden büyük çıkması sonucu anlamlı olarak bulunmuştur. Böylece tüm istasyonlarda 2. Dönem deniz yüzeý sıcaklığı zaman serilerinin azalan bir trende sahip olduğu söylenebilir.

Birinci ve ikinci döneme ait deniz yüzeý sıcaklığı zaman serileri, Kapula temelli trendler ve doğrusal regresyon doğruları Şekil 41 ‘de verilmiştir.

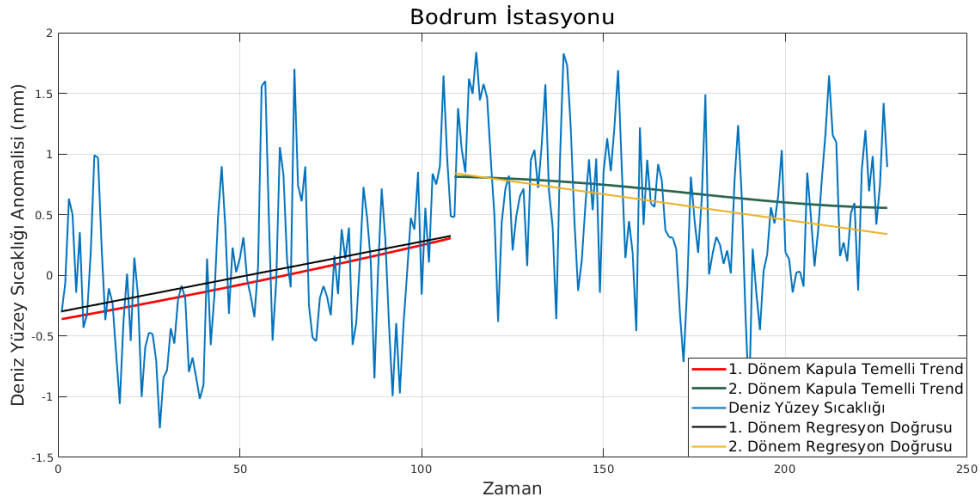


Şekil 41. Deniz Yüzeý Sıcaklığı Zaman Serilerinde Regresyon Doğruları ve Kapula Temelli Trendler

Şekil 41'in devamı



Şekil 41'in devamı



Şekil 41 incelendiğinde Thessaloniki, Alexandroupolis ve Khilos istasyonlarında Kapula temelli trendler ve regresyon doğrularının hemen hemen aynı noktalardan geçtiği ve aralarında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Bodrum ve Menteş istasyonlarında ise birinci dönem Kapula temelli trendler ve regresyon doğrularının birbirine oldukça yakın olduğu ancak ikinci dönemde ise Kapula temelli trendlerin negatif yöndeki eğilimleri yansıtmakta yetersiz kaldığı görülmektedir. Kapula temelli trendler ve regresyon doğruları verilen hata ölçütleri kullanılarak incelenmiş ve sonuçları Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. Birinci Dönem Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Doğrusal Regresyon Doğruları ve Kapula Temelli Trendlerin Karşılaştırılması

İstasyon Adı	Gerçek veri ve Kapula temelli trend arasında			Gerçek veri ve regresyon modeli arasında		
	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
Thessaloniki	0.4909	0.4040	162.8238	0.4910	0.4044	170.7107
Alexandroupolis	0.5019	0.4132	-244.2012	0.5021	0.4136	-252.5026
Khilos	0.5001	0.4123	73.2437	0.5002	0.4127	73.7020
Menteş	0.6096	0.4747	272.1454	0.6076	0.4770	195.1523
Bodrum	0.6012	0.4667	29.0242	0.5994	0.4698	13.6337

Tablo 32 incelendiğinde Thessaloniki ve Alexandroupolis istasyonlarında Kapula temelli trendlerin gerçek verilerle doğrusal regresyon doğrularına oranla daha iyi örtüştüğü belirlenmiştir. Khilos istasyonunda Kapula temelli trend ile doğrusal regresyon doğrusu arasında önemli bir farklılık bulunamamıştır. Menteş ve Bodrum istasyonlarında ise

doğrusal regresyon doğrusunun gerçek verilerle Kapula temelli trende göre daha iyi örtüştüğü belirlenmiştir. Ayrıca deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinin küçük değerlere sahip olması nedeniyle MAPE hata ölçütleri formülü gereği büyük değerlerdedir.

Tablo 33. İkinci Dönem Deniz Yüzey Sıcaklığı Zaman Serilerinde Doğrusal Regresyon Doğruları ve Kapula Temelli Trendlerin Karşılaştırılması

İstasyon Adı	Gerçek veri ve Kapula temelli trend arasında			Gerçek veri ve regresyon modeli arasında		
	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
Thessaloniki	0.3824	0.5236	138.5155	0.3857	0.5287	151.4218
Alexandroupolis	0.4126	0.4159	-151.4121	0.4168	0.4255	-213.4865
Khilos	0.3135	0.4187	87.3418	0.3179	0.3161	93.5421
Menteş	0.4965	0.5394	157.3268	0.4875	0.5366	132.8475
Bodrum	0.5999	0.6712	47.8137	0.5902	0.6698	41.5237

Tablo 33 incelendiğinde Thessaloniki, Alexandroupolis ve Khilos istasyonlarında Kapula temelli trendlerin gerçek verilere doğrusal regresyon doğrularına oranla daha yakın olduğu belirlenmiştir. Mentеш ve Bodrum istasyonlarında ise doğrusal regresyon doğrusunun gerçek verilere Kapula temelli trende göre daha yakın olduğu belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

1. *Uygulamada;* Yapılan çalışmada Ege Denizi'nde uzun dönemli bağıl deniz seviyesi değişimlerinin Kapula fonksiyonları kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen Kapula parametreleri ve uyum iyiliği testleri incelendiğinde Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Menteş, Bodrum istasyonlarındaki deniz seviyesi zaman serileri için en uygun Kapula fonksiyonunun Clayton Kapula fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Bu istasyonlardaki deniz seviyesi – zaman değişkenleri arasında alt kuyruktaki bir bağımlılıktan söz edilebilir. Yani değişkenler küçük değerler aldığı anda korelasyonlar artmakta, büyük değerlerde ise bu korelasyonun miktarında düşüş gözlenmektedir. Leros ve Siros istasyonlarından alınan deniz seviyesi zaman serileri ise Frank Kapula fonksiyonuna uymaktadır. Leros istasyonuna ait Kapula parametresi incelendiğinde deniz seviyesi zaman arasında negatif yönde bir ilişki olduğu göze çarpmaktadır. Siros istasyonunda ise Frank Kapula parametre değerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu parametre değeri deniz seviyesi – zaman değişkenleri arasında oldukça zayıf bir korelasyon yapısına işaret etmektedir. Kapula parametreleri incelendiğinde deniz seviyesi ve zaman değişkenleri arasında Leros İstasyonu dışında tüm istasyonlarda pozitif yönde bir bağımlılık mevcuttur. Kapula parametreleri ve uyum iyiliği testleri ile en uygun Kapula fonksiyonunun seçiminin ardından tamamlanan Kapula bağımlılık modellerinin doğruluk analizleri bir simülasyon çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Gerçek deniz seviyesi zaman serileri ile aynı bağımlılık yapısında üretilen simülasyon verileri doğrusal korelasyon ve fark istatistikleri kullanılarak incelenmiştir. Kapula bağımlılık modellerinden üretilen simülasyon verilerinin gerçek veriler ile en az 0.93 doğrusal korelasyon değerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca gerçek veriler ve simülasyon verileri arasında en yüksek ortalama hata değeri 3.53 cm olarak belirlenmiştir. Gerçek veriler ile simülasyon değerleri arasındaki yüksek korelasyon değerleri ve düşük ortalama hata miktarları Kapula bağımlılık modellerinin serinin tamamındaki ilişkileri iyi derecede yakaladığını göstermektedir. Bağımlılık modelleri incelendiğinde istasyonlardaki deniz seviyesi zaman serilerinde Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos ve Bodrum istasyonlarında 0.5 ila 2 arasında değişen bir bağımlılık yapısının mevcut olduğu

görülmüştür. Bu istasyonlarda Clayton Kapula fonksiyon yapısı gereği küçük değerlerde büyük değerlere göre daha yüksek pozitif korelasyonlar mevcuttur. Bu istasyonların bağımlılık yapılarının birbirine oldukça yakın olduğu söylenebilir. Menteş istasyonunda ise 0.4 ila 2.2 arasında değişen daha güçlü bir bağımlılık yapısı bulunmuştur. Böylece Menteş İstasyonundaki deniz seviyesi zaman serisi Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos ve Bodrum istasyonlarına göre daha güçlü bir bağımlılık yapısına sahip olduğu söylenebilir. Yani Menteş istasyonunda diğer Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos ve Bodrum istasyonlarına göre daha yüksek deniz seviyesi artışı mevcuttur. Menteş istasyonunda da deniz seviyesi zaman serisinin küçük değerlerinde daha yüksek pozitif korelasyonların olduğu görülmektedir. Leros istasyonunda diğer tüm istasyonlarda bulunan pozitif bağımlılık yapılarının aksine negatif yönde bir bağımlılık yapısı bulunmuştur. Leros istasyonundaki deniz seviyesi zaman serisi için bağımlılık yapısı negatif yönde 0.6 ila 1.6 arasında değişmektedir. Siros istasyonunda 0.8 ila 1.3 arasında değişen doğrusallığın oldukça düşük olduğu pozitif yönde oldukça zayıf bir bağımlılık yapısı bulunmuştur. Khalis North istasyonunda ise 0.6 ila 2.6 arasında değişen pozitif yönde güçlü bir bağımlılık yapısı bulunmuş olup bu bağımlılık yapısında büyük değerlerde küçük değerlere göre daha yüksek pozitif korelasyonların olduğu görülmüştür.

2. *Uygulamada;* Türkiye'nin Ege Denizi kıyısında bulunan Menteş ve Bodrum mareograf istasyonlarından elde edilen bağıl deniz seviyesi değişimleri ve bazı meteorolojik parametreler (Hava Sıcaklığı, Hava Basıncı, Hava Nemi ve Rüzgar Hızı) arasındaki ilişkiler Arşimedyen Kapula fonksiyonları (Clayton, Frank, Gumbel) kullanılarak incelenmiştir. Uyum iyiliği testi ile, deniz seviyesi ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkilere en iyi uyan Kapula fonksiyonunun Frank Kapula fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Deniz seviyesi ve meteorolojik parametreler arasındaki Frank Kapula parametreleri incelendiğinde, Bodrum İstasyonunda deniz seviyesi ile en güçlü ilişkiye sahip parametrenin pozitif yönde hava sıcaklığı olduğu, ardından deniz seviyesi ve hava basıncı arasında negatif yönde güçlü bir ilişkinin olduğu, rüzgar hızının deniz seviyesi ile ilişkisinin negatif yönde zayıf bir ilişki olduğu, hava neminin ise deniz seviyesi üzerinde pozitif yönde oldukça zayıf etkisinin olduğu görülmüştür. Menteş İstasyonunda ise deniz seviyesi ile en güçlü ilişkiye sahip parametrenin negatif yönde hava basıncı olduğu,

hava sıcaklığı ile deniz seviyesi arasında pozitif yönde güçlü bir ilişkinin olduğu, hava neminin deniz seviyesi üzerinde pozitif yönde bir etkisinin olduğu, rüzgar hızının ise deniz seviyesini negatif yönde çok az miktarda etkilediği görülmüştür. Modellenen Kapula bağımlılık yapılarına ait yoğunluk grafikleri incelendiğinde, Bodrum ve Menteş istasyonlarında deniz seviyesi ve hava sıcaklığı arasında 0 ile 3 arasında değişen pozitif yönde güçlü bir bağımlılık yapısının mevcut olduğu, Bodrum istasyonunda deniz seviyesi ve hava basıncı arasında 0 ile 3 arasında değişen, Menteş istasyonunda 0 ile 2.5 arasında değişen negatif yönde güçlü bir bağımlılık yapısının olduğu görülmektedir. Deniz seviyesi ve hava nemi arasında Bodrum istasyonunda 0.97 ile 1.02 arasında değişen oldukça zayıf pozitif bir bağımlılık, Menteş istasyonunda ise 0 ile 2 arasında değişen pozitif yönde daha güçlü bir bağımlılık yapısı bulunmuştur. Deniz seviyesi ve rüzgar hızı arasında Bodrum istasyonunda 0.85 ile 1.15 arasında oldukça zayıf negatif bir bağımlılık, Menteş istasyonunda 0.6 ile 1.4 arasında değişen negatif yönde bir bağımlılık bulunmuştur.

3. *Uygulamada;* Ege Denizi'nde bulunan 8 Mareograf istasyonundan alınan (Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Menteş, Bodrum, Leros, Siros ve Khalis North) deniz seviyesi verileri ile bu istasyonların bulunduğu bölgelerden elde edilen deniz yüzey sıcaklığı verileri arasındaki ilişki Kapula fonksiyonları kullanılarak incelenmiştir. Deniz seviyesi ve deniz yüzey sıcaklıkları ilişkisinde Kapula parametrelerinin hesaplanması ve uyum iyiliği testinin ardından tüm istasyon bölgelerinde deniz yüzey sıcaklıkları ile deniz seviyesi arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki bulunmuştur. Tüm istasyon bölgelerinde deniz seviyesi ve deniz yüzey sıcaklığı arasındaki bağımlılıklar en iyi Gumbel Kapula fonksiyonu ile modellenmektedir. Böylece deniz yüzey sıcaklığı ve deniz seviyesi arasındaki ilişkide üst kuyrukta güçlü bir bağımlılık olduğu söylenebilir. Yani büyük değerlerde küçük değerlere göre daha yüksek pozitif korelasyonların olduğu görülmüştür. Deniz yüzey sıcaklığı arttıkça deniz suyundaki genleşme miktarı da ivmelenerek artmaktadır. Yüksek sıcaklık değerlerindeki artışlarda daha yüksek deniz suyu genleşmesi olurken, düşük sıcaklıklarda meydana gelen deniz yüzey sıcaklığı artışları daha düşük genleşme miktarlarına sebep olmaktadır.
4. *Uygulamada;* Birinci uygulamada modellenen deniz seviyesi – zaman arasındaki bağımlılıklar deniz seviyesi değişiminin yönünü ve miktarını açıklasa da deniz

seviyesi zaman serilerindeki uzun dönemli eğilimleri göstermemektedir. Bu uygulamada, deniz seviyesi zaman serilerinde uzun dönemdeki eğilimleri yansıtacak Kapula temelli yeni bir trend analiz yöntemi sunulmuştur. Yapılan Kapula temelli trend analizlerinde 8 mareograf istasyonundan 6'sında deniz seviyelerinde pozitif yönde bir yükselme trendi ve birinde deniz seviyesinde düşüş trendi gözlemlenmiştir. Bir istasyonda ise deniz seviyelerinde önemli bir artış veya azalma gözlemlenmemiştir. Deniz seviyesinin artış gösterdiği istasyonlardan Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Menteş ve Bodrum istasyonları zaman serisinin erken dönemlerinde yüksek bir artış trendi gösterip daha sonra trendin artış miktarında bir düşüş gözlemlenmiştir. Trend analizi ile elde edilen sonuçlar Kapula parametrelerinin gösterdiği sonuçlar ile uyumludur. Ardından 5 mareograf istasyonunda (Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Menteş, Bodrum) görülen erken dönemlerdeki yüksek deniz seviyesi artış hızlarının daha sonraki dönemlerde düşmesinin nedeni araştırılmıştır. Bu amaçla zaman serileri 1990 – 1998 (1. Dönem) ve 1999 – 2008 (2. Dönem) olmak üzere iki farklı dönemde incelenmiştir. Elde edilen Kapula parametreleri 1. Dönemde tüm istasyonlarda pozitif iken 2. Dönemde üç istasyonda (Khilos, Menteş, Bodrum) negatif değerlerdedir. Bu istasyonlarda birinci dönemde deniz seviyesinin arttığı, ikinci dönemde ise deniz seviyesinin azaldığı söylenebilir. İki istasyonda ise (Alexandroupolis ve Thessaloniki) Kapula parametre değerleri birinci dönem pozitif yüksek değerlerde iken ikinci dönemde pozitif olmasına rağmen daha düşük değerlerdedir. Bu iki istasyonda ise deniz seviyesi artış miktarlarında bir azalma olduğu söylenebilir. Yapılan Kapula temelli trend analizi sonucunda birinci dönemde deniz seviyesi değişim hızları Thessaloniki İstasyonunda 10.89 ± 3.1 mm/yıl, Alexandroupolis İstasyonunda 7.89 ± 3.3 mm/yıl, Khilos İstasyonunda 14.11 ± 4.2 mm/yıl, Menteş İstasyonunda 11.3 ± 2.5 mm/yıl, Bodrum İstasyonunda 6.78 ± 3.6 mm/yıl olarak bulunmuştur. Birinci dönemde bulunan deniz seviyesi değişim hızlarının global deniz seviyesi değişim hızlarına göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. İkinci dönemde ise deniz seviyesi değişim hızları Thessaloniki İstasyonunda 0.01 ± 1.1 mm/yıl, Alexandroupolis İstasyonunda 1.6 ± 0.8 mm/yıl, Khilos İstasyonunda -6.1 ± 2.4 mm/yıl, Menteş İstasyonunda -2.1 ± 1.3 , Bodrum İstasyonunda -0.9 ± 1.3 mm/yıl olarak bulunmuştur. İkinci dönemde Thessaloniki ve Bodrum İstasyonlarında bulunan deniz seviyesi değişim değerlerine ait duyarlılıkların deniz

seviyesi hızlarından büyük çıkması nedeniyle aslında bu istasyonlarda anlamlı bir değişimin bulunmadığı söylenebilir. Ayrıca birinci ve ikinci dönem değişimleri birlikte değerlendirildiğinde birinci dönem deniz seviyesi değişim hızları ile ikinci dönem deniz seviyesi değişim hızları arasında en az 6.4 mm/yıl fark elde edilmiştir. 1990 yılından itibaren Ege Denizi kıyılarındaki tüm istasyonda artan deniz seviyesi 1999 yılından sonra bazı istasyonlarda değişmezken, bazı istasyonlarda azalmıştır. Deniz seviyesi trendlerinde meydana gelen bu sert değişim normal iklim koşullarının haricinde bir nedene işaret etmektedir.

5. *Uygulamada;* Deniz seviyesi değişim trendlerinde bulunan farklılığın nedeni olabileceği düşünülen deniz yüzey sıcaklıkları zaman serilerinde Kapula temelli trend analizleri yapılarak eğilimler incelenmiştir. Elde edilen Kapula parametrelerinin 1. Dönemde tüm istasyonlarda pozitif değerlere sahip olduğu, 2. Dönemde ise negatif değerlere sahip olduğu görülmüştür. Böylece 1. Dönemde tüm istasyon bölgelerinde deniz yüzey sıcaklıklarının arttığı, 2. Dönemde ise azaldığı söylenebilir. Ayrıca deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinin modellenmesi için en uygun Kapula fonksiyonunun Frank Kapula fonksiyonu olduğu belirlenmiştir. Yapılan Kapula temelli trend analizi sonucunda deniz yüzey sıcaklığı trendlerinin yaklaşık olarak doğrusal bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Birinci dönemde deniz yüzey sıcaklığı değişimleri Thessaloniki İstasyonunda 0.044 ± 0.01 °C/Yıl, Alexandroupolis İstasyonunda 0.052 ± 0.02 °C/Yıl, Khilos İstasyonunda 0.055 ± 0.02 °C/Yıl, Menteş İstasyonunda 0.067 ± 0.03 °C/Yıl ve Bodrum İstasyonunda 0.074 ± 0.03 °C/Yıl olarak belirlenmiştir. Ege Denizi'nin kuzey kısmında yer alan istasyonlarda deniz yüzey sıcaklığı artış hızlarının daha güneyde yer alan Menteş ve Bodrum istasyonlarına göre daha düşük olduğu görülebilir. İkinci dönemde deniz yüzey sıcaklığı değişimleri Thessaloniki İstasyonunda -0.019 ± 0.01 °C/Yıl, Alexandroupolis İstasyonunda -0.021 ± 0.01 °C/Yıl, Khilos İstasyonunda -0.020 ± 0.01 °C/Yıl, Menteş İstasyonunda -0.027 ± 0.01 °C/Yıl ve Bodrum İstasyonunda -0.026 ± 0.01 °C/Yıl olarak bulunmuştur.
6. *Uygulamada;* Kapula temelli trend modelleri birinci ve ikinci dereceden regresyon modelleri ile karşılaştırılarak sonuçları irdelenmiştir. İlk olarak Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos, Menteş ve Bodrum İstasyonlarına ait tüm dönem (1990 – 2008) deniz seviyesi zaman serilerinde doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizlerinde elde edilen regresyon eğrilerinin Kapula temelli trend

eğrileri ile karşılaştırılabilmesi amacıyla öteleme ve normlandırma işlemleri uygulanmamıştır. Elde edilen regresyon denklemlerindeki katsayıların T testine göre % 95 güven düzeyinde anlamlılıkları sorgulanmıştır. Tüm dönemlere ait deniz seviyesi zaman serilerine uygulanan doğrusal regresyon analizinde istasyonların tamamında pozitif yönde bir trend tespit edilmiştir. Anlamlılık testi sonucunda doğrusal regresyon denkleminde ait eğimi gösteren a_1 katsayıların tamamı anlamlı bulunmuştur. Ardından ikinci dereceden regresyon analizi uygulanmış ve bu analize ait katsayılar da %95 güven düzeyinde anlamlı olarak bulunmuştur. İkinci derece regresyon eğrileri RMSE, MAE ve MAPE hata ölçütleri kullanılarak Kapula temelli trend eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Khilos İstasyonu dışında trend modelleri arasında önemli bir farklılık bulunamamıştır. Khilos İstasyonunda ise regresyon modelinin Kapula temelli trend modeline göre daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur. Daha sonra 2.4.2’de yapılan iki dönemdeki Kapula temelli trend analizleri doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırılmış sonuçları irdelenmiştir. Doğrusal regresyon sonucunda elde edilen regresyon doğrusuna ait katsayıların T testine göre anlamlılıkları sorgulanmıştır. Birinci dönemde istasyonlardan alınan deniz seviyesi zaman serilerinde uygulanan doğrusal regresyon analizi ile test büyüklüklerinin T tablo değerinden büyük çıkması sonucu Thessaloniki, Khilos ve Menteş istasyonunda her iki katsayı da anlamlı bulunmuş, Alexandroupolis ve Bodrum istasyonlarında a_1 katsayısı anlamlı bulunurken a_0 kesişim sabiti anlamsız bulunmuştur. Böylece tüm istasyon verilerinde 1. Dönemde doğrusal bir artış tespit edilmiştir. Birinci Dönem Kapula temelli trendlerin ve doğrusal regresyon doğrularının gerçek deniz seviyesi değişimi verileri ile karşılaştırılması sonucunda trend modellerine ait hata ölçütlerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Thessaloniki ve Khilos istasyonlarında 1. Dönem doğrusal regresyon doğrularının gerçek verilere Kapula temelli trendlerden daha yakın olduğu belirlenmiştir. Alexandroupolis, Menteş ve Bodrum istasyonlarında ise 1. Dönem Kapula temelli trendlerin gerçek verilere doğrusal regresyon doğrularından daha yakın olduğu belirlenmiştir. Yani birinci dönemde 3 istasyonda Kapula temelli trend analizlerinin doğrusal regresyon analizine göre daha iyi sonuçlar verdiği, 2 istasyonda ise doğrusal regresyon analizinin daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. İkinci dönemde deniz seviyesi zaman serilerine uygulanan regresyon analizinde Thessaloniki, Alexandroupolis istasyonlarında bulunan regresyon katsayıları

anlamsız bulunmuştur. Menteş ve Bodrum istasyonlarında ise regresyon doğrusunun eğimini gösteren a_1 katsayısı anlamsız bulunurken a_0 kesişim sabitleri anlamlı olarak bulunmuştur. Khilos istasyonunda a_1 ve a_0 katsayıları anlamlı olarak elde edilmiştir. Böylece Khilos istasyonu dışında diğer istasyonlarda 2. Döneme ait deniz seviyesi değişimlerinde anlamlı bir eğilim bulunamamıştır. Khilos istasyonunda ise azalan yönde bir eğilim tespit edilmiştir. İkinci dönem deniz seviyesi zaman serilerinde Kapula temelli trendlerin tüm istasyonlarda doğrusal regresyon doğrularına göre gerçek verilere daha yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Böylece Kapula temelli trendler ile doğrusal regresyon doğruları arasında hata ölçütleri bakımından fazla bir fark olmasa da zayıf veya sabit eğilimlerde Kapula temelli trendlerin doğrusal regresyon doğrularına göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Son olarak deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde yapılan Kapula temelli trend analizleri doğrusal regresyon analizi ile karşılaştırılmış sonuçları irdelenmiştir. Doğrusal regresyon sonucunda elde edilen regresyon doğrusuna ait katsayıların T testine göre anlamlılıkları sorgulanmıştır. Birinci dönem deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerine uygulanan doğrusal regresyon analizi sonucunda Thessaloniki, Alexandroupolis, Khilos istasyonlarında a_0 katsayısı test büyüklükleri T tablo değerinden küçük çıktığından %95 güven aralığında anlamsız bulunmuş, a_1 katsayısı test büyüklükleri ise T tablo değerinden büyük çıktığından %95 güven aralığında anlamlı bulunmuştur. Menteş ve Bodrum istasyonlarında her iki katsayıya ait test büyüklüklerinin T tablo değerinden büyük çıkması sonucunda %95 güven düzeyinde anlamlı oldukları belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre birinci dönem deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde tüm istasyonlarda artan bir trend tespit edilmiştir. Birinci dönem deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde Thessaloniki ve Alexandroupolis istasyonlarında Kapula temelli trendlerin gerçek verilerle doğrusal regresyon doğrularına oranla daha iyi örtüştüğü belirlenmiştir. Khilos istasyonunda Kapula temelli trend ile doğrusal regresyon doğrusu arasında önemli bir farklılık bulunamamıştır. Menteş ve Bodrum istasyonlarında ise doğrusal regresyon doğrusunun gerçek verilerle Kapula temelli trende göre daha iyi örtüştüğü belirlenmiştir. İkinci dönem deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerine uygulanan doğrusal regresyon analizi ile tüm istasyonlarda doğrusal regresyon katsayıları test büyüklüklerinin T tablo değerinden büyük çıkması sonucu anlamlı olarak bulunmuştur. Böylece tüm istasyonlarda ikinci

dönem deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinin azalan bir trende sahip olduğu söylenebilir.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Ege Denizi'nde bağıl deniz seviyesi değişimleri ve bu değişimlerle ilişkili olan meteorolojik veriler Kapula fonksiyonları ile incelenmiştir. Ege Denizi'nde bulunan sekiz mareograf istasyonundan elde edilen deniz seviyesi zaman serilerinde Kapula fonksiyonları ile yapılan analiz sonucu sekiz mareograf istasyonundan yedisinde deniz seviyesinin artış gösterdiği, Leros istasyonunda ise deniz seviyesinde azalma olduğu görülmüştür. Mareograf istasyonları deniz seviyelerini karadaki bir röper noktasına göre ölçtüğünden, deniz seviyesi değişim değerleri aynı zamanda karadaki düşey yönlü hareketlerinin etkisini de barındırmaktadır. Leros mareograf istasyonunda bulunan deniz seviyelerindeki azalmanın, mareograf istasyonu bölgesinde meydana gelen düşey yöndeki kara hareketlerinden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca 1. Uygulamada doğruluk analizi ile bulunan sonuçlara göre Kapula bağımlılık yapılarının deniz seviyeleri zaman serilerinde değişkenler arasındaki ilişkiyi oldukça yüksek oranda yakalayabildiği görülmüştür. İstasyonlarda modellenen bağımlılık yapılarına göre yapılan Kapula temelli trend analizi ile Ege Denizi'nde 1990-1998 arasında deniz seviyelerinde global deniz seviyesi değişimlerine göre oldukça yüksek artış hızları bulunmuştur. 1999 – 2008 arasında ise deniz seviyeleri bazı istasyonlarda değişmezken bazı istasyonlarda azalmıştır. Deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde modellenen Kapula bağımlılık yapıları kullanılarak yapılan Kapula temelli trend analizi ile 1990-1998 yılları arasında deniz yüzey sıcaklıklarının yüksek artış hızlarına sahip olduğu, 1999 – 2008 yılları arasında ise deniz yüzey sıcaklığı artış hızlarının yön değiştirdiği ve deniz yüzeyinde soğumaların olduğu görülmüştür. 1990-1998 yılları arasındaki deniz seviyesinde meydana gelen büyük artışların deniz yüzey sıcaklığındaki artışlardan kaynaklandığı, 1999-2008 yılları arasındaki deniz seviyesindeki azalmalar ve sabit kalmaların deniz yüzey sıcaklığındaki soğumalardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Yapılan 2. Uygulamada deniz seviyesi değişimlerinin meteorolojik parametreler ile ilişkisi Kapula fonksiyonları ile incelenmiş, deniz seviyesi ve hava sıcaklığı arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki, deniz seviyesi ve hava basıncı arasında negatif yönde güçlü bir ilişki bulunmuştur. Deniz seviyesi ve hava nemi arasında pozitif yönde bir ilişki bulunmuş ancak çalışmada kullanılan verilerin yetersiz olması nedeniyle daha fazla veri ile araştırılması gerektiği değerlendirilmiştir. Deniz seviyesi ve rüzgar hızı arasında ise anlamlı bir ilişki

bulunamamıştır. Bulunan sonuçlar doğrusal korelasyon ile uyumludur. Yapılan 3. Uygulamada deniz seviyesi ve deniz yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki Kapula fonksiyonları ile incelenmiş ve değişkenler arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki bulunmuştur. Bu ilişkinin üst kuyrukta yüksek derecede bağımlılığa sahip olduğu ve deniz yüzey sıcaklıklarının artması ile deniz suyundaki genişleme miktarının da arttığı görülmüştür. Deniz yüzey sıcaklığında yüksek değerlerdeki artışın daha yüksek deniz suyu genişmesi oluşturduğu, düşük sıcaklıklarda aynı miktarda meydana gelen deniz yüzey sıcaklığı artışının ise daha düşük genişleme miktarı oluşturduğu belirlenmiştir. Yapılan 6. Uygulamada tez çalışması kapsamında sunulan Arşimedyen Kapula fonksiyonları ile trend analiz yöntemi, birinci ve ikinci dereceden regresyon analizleri ile karşılaştırılmış ve kullanılabilirliği incelenmiştir. İlk olarak 1990 – 2008 yılları arasında 5 mareograf istasyonunda kaydedilen deniz seviyesi zaman serilerinde regresyon analizi ve Kapula temelli trend analizi uygulanmıştır. 4 mareograf istasyonunda Kapula temelli trend analizi ile regresyon analizi arasında önemli bir fark bulunamamış ve benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Khilos istasyonunda ise Clayton Kapula fonksiyonunun negatif yöndeki bağımlılığı modelleyememesi nedeniyle regresyon analizinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ardından 2.4.2’de yapılan iki dönemli deniz seviyesi zaman serilerinde Kapula temelli trend analizi ve regresyon analizi karşılaştırılmış, 1990-1998 yılları arasındaki 1. Dönemde 3 istasyonda (Alexandroupolis, Menteş, Bodrum) Kapula temelli trend analizinin daha iyi sonuçlar verdiği, 2 istasyonda ise (Khilos, Menteş) regresyon analizinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 1999-2008 yılları arasındaki 2. Dönemde ise deniz seviyesi zaman serilerinde tüm istasyonlarda Kapula temelli trend analizinin regresyon analizinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Yapılan bu çalışmada Kapula temelli trendler ile regresyon trendlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu, zayıf veya sabit eğilimlerde Kapula temelli trendlerin doğrusal regresyon doğrularına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Deniz yüzey sıcaklığı zaman serilerinde de Kapula temelli trendler ile regresyon trendleri karşılaştırılmıştır. 1. Dönemde Thessaloniki ve Alexandroupolis istasyonlarında Kapula temelli trendlerin gerçek verilerle doğrusal regresyon doğrularına oranla daha iyi olduğu, Khilos istasyonunda Kapula temelli trend ile doğrusal regresyon doğrusu arasında önemli bir farklılık olmadığı, Menteş ve Bodrum istasyonlarında ise doğrusal regresyon doğrusunun daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. 2. Dönemde ise Thessaloniki, Alexandroupolis ve Khilos istasyonlarında Kapula temelli trendlerin doğrusal regresyon doğrularına göre daha iyi sonuçlar verdiği, Menteş ve

Bodrum istasyonlarında ise doğrusal regresyon doğrularının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan bu çalışmada Kapula temelli trendler ile regresyon trendlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu, zayıf veya sabit eğilimlerde Kapula temelli trendlerin doğrusal regresyon doğrularına göre daha iyi sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir.

Değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek için Kapula fonksiyonlarının, doğrusal korelasyon yöntemlerine göre üstünlükleri ve doğrusal korelasyonun sunduğu bazı dezavantajları barındırmaması nedeniyle bu çalışmada Kapula fonksiyonları ile deniz seviyesi değişimleri ve değişimlerin nedenleri araştırılmıştır. Kapula fonksiyonlarının deniz seviyesi tahmin çalışmalarında kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında ilk defa sunulan Arşimedyen Kapula fonksiyonları ile trend analiz yönteminin deniz seviyelerinin uzun zaman içerisinde meydana gelen eğilimleri yansıtabildiği gösterilmiştir.

4. KAYNAKLAR

- Alhan, A., 2008. Bağımsızlık Kapulasını İçeren Kapula Aileleri, Kapula Tahmin Yöntemleri Ve İstanbul Menkul Kıymetler Borsasında Sektörler Arası Bağımlılık Yapısı., Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Bárdossy, A. ve Li J., 2008. Geostatistical interpolation using copulas., Water resources research, 44, 7.
- Beşel, C. ve Kayıkcı E. T., 2016. Meteorolojik Verilerin Zaman Serisi ve Tanımlayıcı İstatistikler ile Yorumlanması; Karadeniz Bölgesi Örneği., Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ekim, Ankara.
- Bingöl, A. 2012. Kopula Fonksiyonları Ve Bir Uygulama.,Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi., Elazığ.
- Cazenave, A. 2017. Global sea-level budget 1993-present., Earth System Science Data, 10, 1551-1590.
- Cazenave, A., vd., 2002. Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges., Global and Planetary Change, 34, 1-2, 59-86.
- Cazenave, A., vd., 2001. Recent sea level change in the Mediterranean Sea revealed by Topex/Poseidon satellite altimetry, Geophysical research letters, 28, 8,1607-1610.
- Chan, K. S. ve Tong H., 1985. On the use of the deterministic Lyapunov function for the ergodicity of stochastic difference equations., Advances in applied probability, 17, 3, 666-678.
- Church, J. A., vd., 2013. Sea-level rise by 2100., Science, 342, 6165, 1445-1445.
- Church, J. A. ve White N. J. 2011. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century., Surveys in Geophysics, 32, 4-5, 585-602.
- Church, J. A., vd., 2004. Estimates of the regional distribution of sea level rise over the 1950–2000 period., Journal of climate, 17, 13, 2609-2625.
- Demir, C., vd., 2005. Türkiye Kıyılarında Uzun Dönemli Deniz Seviyesi Değişimleri., V. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu., Bodrum, Bildiriler Kitabı: 13-15.
- Demir, E. 2018. Türkiye'nin İklim Değişikliği İle Mücadelede Kullanabileceği İktisadi Araçların Değerlendirilmesi: Karbon Vergileri Ve Emisyon Ticaret Sistemleri., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

- Douglas, B. C. 1997. Global sea rise: a redetermination., Surveys in Geophysics, 18, 2-3, 279-292.
- Genest, C. ve Favre A., 2007. Everything you always wanted to know about copula modeling but were afraid to ask., Journal of hydrologic engineering, 12, 4, 347-368.
- Genest, C. ve Rivest L-P., 1993. Statistical inference procedures for bivariate Archimedean copulas., Journal of the American statistical Association, 88, 423, 1034-1043.
- Gürdal, M. A., 2002. Deniz Seviyesi Değişimlerine Neden Olan Etkiler., Harita Dergisi, 27, 19-33.
- Hannah, J., 1989. A longterm sea level change scenario and its implications for geodetic networks., Marine Geodesy 13, 2, 91-100.
- Hay, C., vd., 2015. Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise., Nature, 517, 7535, 481.
- Jevrejeva, S., vd., 2014. Trends and acceleration in global and regional sea levels since 1807., Global and Planetary Change, 113, 11-22.
- Joe, H., 1997. Multivariate models and multivariate dependence concepts, Chapman and Hall/CRC.
- Karagül, B. Z., 2013. Hayat Dışı Sigortalarda Doğrusal Olmayan Bağımlılığın Kopulalar İle Dinamik Finansal Analizi., Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Kimberling, C. H., 1974. A probabilistic interpretation of complete monotonicity., Aequationes mathematicae, 10, 2-3, 152-164.
- Kottegoda, N. T. ve Rosso, R., 2008. Applied statistics for civil and environmental engineers. Malden, MA: Blackwell.
- Laux, P., vd., 2011. Copula-based statistical refinement of precipitation in RCM simulations over complex terrain., Hydrology and Earth System Sciences 15, 7, 2401-2419.
- Legeais, J.-F., vd., 2018. An improved and homogeneous altimeter sea level record from the ESA Climate Change Initiative., Earth System Science Data, 10, 281-301.
- Mengel, M., vd., 2016. Future sea level rise constrained by observations and long-term commitment., Proceedings of the National Academy of Sciences, 113, 10, 2597-2602..
- Modiri, S. 2015. Copula-based Analysis of Correlation Structures in Case of GRACE Coefficients., Master Thesis, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany.
- Modiri, S., vd., 2018. Polar motion prediction using the combination of SSA and Copula-based analysis., Earth, Planets and Space, 70, 1, 115.

- Modiri, S., vd., 2016. Copula-based study on VLBI station coordinates. Geodätische Woche. Hamburg.
- Nadzir, Z. A., 2017. Coastal Sea State Bias: Correcting Coastal Sea Level by Studying the Relation between Wind, Waves, and the Radar Signals., Master Thesis, Technische Universität München, Munich.
- Najjari, V., 2014. Yeni Arşimedyan Kapula Aileleri Ve Finans Alanında Bir Uygulama., Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Nelsen, R. B., 2007. An introduction to copulas, Springer Science & Business Media.
- Nerem, R., vd., 2018. Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era., Proceedings of the National Academy of Sciences: 115, 9, 2022-2025..
- Özbakış, Y. G., 2006. Bazı Kapula Tahmin Yöntemleri ve Bir Uygulama., Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Schweizer, B. ve Wolff E. F., 1981. On nonparametric measures of dependence for random variables. The annals of statistics, 9, 4, 879-885.
- Simav, M. (2007). Doğu Akdeniz' de Uydu Altimetre Verileri İle Deniz Seviyesi Değişimlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Sklar, M., 1959. Fonctions de repartition an dimensions et leurs marges., Publ. inst. statist. univ. Paris, 8, 229-231.
- Solomon, S., vd., 2007. Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC, Cambridge university press.
- Tapley, B., vd., 1993. Monitoring of changes in global mean sea level using Geosat altimeter, Geophysical Monograph Series, 164.
- Topçu, Ç., 2013. Yarışan Bağımlı Risklerle Sağkalım Analizinde Archimedean Kapula Yaklaşımı, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Tsimplis, M. ve Spencer N., 1997. Collection and analysis of monthly mean sea level data in the Mediterranean and the Black Sea, Journal of Coastal Research, 534-544.
- Tsimplis, M. N. ve Baker T. F., 2000. Sea level drop in the Mediterranean Sea: an indicator of deep water salinity and temperature changes?, Geophysical research letters, 27, 12, 1731-1734.
- Tsimplis, M. N. ve Rixen M., 2002. Sea level in the Mediterranean Sea: the contribution of temperature and salinity changes., Geophysical research letters, 29, 23, 51-54.

- Vigo, I., vd., 2005. Change of sea level trend in the Mediterranean and Black seas, Journal of Marine Research 63, 6, 1085-1100.
- Vogl, S., vd., 2012. Copula-based assimilation of radar and gauge information to derive bias-corrected precipitation fields, Hydrology and Earth System Sciences, 16, 7, 2311-2328.
- Wang, W. ve Wells M. T., 2000. Model selection and semiparametric inference for bivariate failure-time data. Journal of the American statistical Association 95, 449, 62-72.
- Wooldridge, J. M., 2000. A framework for estimating dynamic, unobserved effects panel data models with possible feedback to future explanatory variables., Economics Letters, 68, 3, 245-250.
- Yıldız, H., vd., 2003. Antalya-II (Bodrum-II Erdek ve Menteş Mareograf İstasyonlarına ait 1984-2002 Yılları Arası Deniz Seviyesi ve Jeodezik Ölçülerin Değerlendirilmesi., Harita Dergisi, Özel, 17, 75.

ÖZGEÇMİŞ

17 Ekim 1991 yılında Van’ da doğdu. Lise eğitimini Türk Telekom Van Fen Lisesinde tamamladı. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2016 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Jeodezi Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim dalında Tezli Yüksek Lisans eğitimine başladı. Tez çalışması kapsamında TUJK (Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu Bilimsel Toplantısı) 2018’ de sunduğu “Ege Denizi Kıyılarındaki Uzun Dönemli Deniz Seviyesi Değişimlerinin Kapula Fonksiyonları ile Belirlenmesi” adlı poster bildirimiz “En İyi Poster” ödülünü kazanmıştır. Gümüşhane Üniversitesi’nde görev yapmakta ve lisansüstü eğitimine devam etmektedir.