

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN METEOROLOJİK FAKTÖRLER
KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ**

Erkin TAŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARALIK 2021

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN METEOROLOJİK FAKTÖRLER
KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ**

Erkin TAŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARALIK 2021

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN METEOROLOJİK FAKTÖRLER
KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ



Erkin TAŞ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 16./12/2021. tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Rıfat TÜR (Danışman)
Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim BURGAN
Dr. Öğr. Üyesi Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU

ÖZET

DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİNİN METEOROLOJİK FAKTÖRLER KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ

Erkin TAŞ

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rıfat TÜR

2. Danışman: Doç. Dr. Ali DANANDEH MEHR

Aralık 2021; 63 sayfa

Son yıllarda varlığını gözlenebilir bir şekilde hissettiren iklim değişiminin meteorolojik faktörler üzerindeki öngörülemeyen etkileri bağlantılı olarak kıyı ve deniz mühendisliği bilim alanındaki planlamalara da yön vermektedir. Deniz seviyesi değişimlerinin uzun vadede tahmin edilmesi kıyı yapıları tasarımı açısından büyük öneme sahip iken kısa süreli tahminler ise limanlardaki elleçleme operasyonlarının planlanması ve olası problemlerin önüne geçilebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla Antalya İl’inde bulunan bir mareograf istasyonundan elde edilen deniz seviyesi yükseklikleri ve meteorolojik faktör ölçümleri kullanılarak deniz seviyesi tahmini için üç farklı senaryo oluşturulmuş ve böylece tahmin için uygulanabilir en uygun kombinasyon belirlenmiştir. Bu senaryolar geçmiş deniz seviyesi değerlerin girdi parametresi olarak kullanılması (senaryo-1), geçmiş meteorolojik faktör ölçümlerinin girdi parametresi olarak kullanılması (senaryo-2) ve hem geçmiş deniz seviyesi hem de geçmiş meteorolojik faktörlerin girdi parametresi olarak kullanılmasıdır (senaryo-3). Her bir senaryoya ait girdi parametreleri oto korelasyon ve çapraz korelasyon analizleri ile belirlenmiştir. Ardından, çoklu doğrusal regresyon (MLR) ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin performansları ortalama karekök hatası (RMSE) ve Nash Sutcliffe katsayısı (NSE) istatistikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar meteorolojik faktörlerin girdi parametresi olarak kullanılmasının MLR ile yapılan deniz seviyesi tahminlerinde %33’lük bir performans artışına sebep olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sonuçlar ANFIS’in MLR’ye kıyasla deniz seviyesi değişimlerinin tahmininde daha başarılı olduğunu göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: ANFIS, Antalya, Deniz seviyesi, Meteorolojik faktörler, MLR

JÜRİ: Doç. Dr. Rıfat TÜR

Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim BURGAN

Dr. Öğr. Üyesi Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU

ABSTRACT

SEA LEVEL PREDICTION USING METEOROLOGICAL FACTORS

Erkin TAŞ

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rifat TUR

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali DANANDEH MEHR

December 2021; 63 pages

Climate change directs coastal and ocean engineering studies depending on the unpredictable effects on meteorological factors. Long-term sea-level change prediction is of great importance for the design of coastal structures, while short term prediction is essential for the handling operations and preventing potential problems in the harbors. To this end, sea level heights and meteorological factor measurements were obtained from a tide gauge in Antalya Province. Then, three different scenarios were established to explore most feasible input combinations for sea level prediction. These scenarios use lagged sea level observations (scenario-1), lagged meteorological factors observation (scenario-2) and both lagged sea level and meteorological factors observations (scenario-3) as input for predictive modeling. Auto correlation and cross correlation analysis were conducted to determine the optimum input combination for each scenario. Then, several predictive models were developed using multiple linear regressions (MLR) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) techniques. The performance of the developed models was evaluated in terms of root mean squared error (RMSE) and Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) indices. The results showed that adding meteorological factors as input parameters increases the performance accuracy of the MLR models up to 33% for sea level predictions. Moreover, the results contributed a more precise understanding that ANFIS is superior to MLR for sea level prediction.

KEYWORDS: ANFIS, Antalya, Sea Level, Meteorological Factors, MLR

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Rıfat TÜR

Asst. Prof. Dr. Halil İbrahim BURGAN

Asst. Prof. Dr. Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU

ÖNSÖZ

Öncelikle tez konumu belirlememde bana yardımcı olan ve değerli bilgilerini benimle paylaşan saygıdeğer danışman hocalarım; Doç. Dr. Rıfat TÜR'e ve eş danışmanım Doç. Dr. Ali DANANDEH MEHR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her türlü özveriyi ve emeği gösteren, her zaman bana destek olduğunu hissettiren aileme vermiş oldukları destek için teşekkürlerimi bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Deniz Seviyesi Değişimleri ve Meteorolojik Etkiler	3
2.2. Deniz Seviyesi Değişimi Tahmini.....	6
2.2.1. Geçmiş deniz seviyesi verileri kullanarak geliştirilen tahmin modelleri.....	6
2.2.2. Meteorolojik faktör verileri kullanılarak geliştirilen tahmin modelleri.....	9
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Deniz Seviyesi Ölçümleri.....	12
3.2. Çalışma Alanı	14
3.2.1. Antalya mareograf verilerin istatistiksel analizi	16
3.2.2. Modellemede kullanılan veriler	18
3.3. Doğrusal İnterpolasyon	21
3.4. Korelasyon Analizleri.....	22
3.5. Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)	24
3.6. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS).....	25
3.6. Model Performans Ölçümleri	26
3.7. Önerilen Modeller	27
4. BULGULAR.....	29
4.1. Senaryo-1 Sonuçları	29
4.2. Senaryo-2 Sonuçları	32
4.3. Senaryo-3 Sonuçları	36
4.4. Model Performans Analizleri	39
5. TARTIŞMA	42
6. SONUÇLAR	44

7. KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Deniz Seviyesi Değişimlerin Meteorolojik Faktörler Kullanılarak Tahmin Edilmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

16 / 12 / 2021

Erkin TAŞ



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_i	: Doğrusal değişken
f_i	: ANFIS için çıktı fonksiyonu
$h(t)$	: Deniz seviyesi yüksekliği
$M(t)$	: Deniz seviyesi üzerindeki meteorolojik etkiler
p_i, q_i, r_i	: ANFIS için doğrusal parametreler
$R(t)$	: Deniz seviyesi üzerindeki gelgit etkileri
β	: Regresyon denklemi için kesişim noktası
ε	: Regresyon denklemi için hata terimi
w_i	: ANFIS için ağırlık derecesi
$Z_o(t)$	: Ortalama deniz seviyesi yüksekliği

Kısaltmalar

ACF	: Oto korelasyon fonksiyonu
AMI	: Adjusted mutual information
ANFIS	: Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi
ANN	: Yapay sinir ağları
AR	: Oto regresyon
ARMA	: Oto regresif hareketli ortalama
ARIMA	: Hareketli ortalama ile birleştirilmiş oto regresyon
CW	: Sürekli dalgacık dönüşümü
CCF	: Çapraz korelasyon fonksiyonu
DS	: Deniz seviyesi
DW	: Ayrık dalgacık dönüşümü
FL	: Bulanık mantık

GP	: Genetik programlama
HB	: Hava basıncı
HS	: Hava sıcaklığı
LR	: Doğrusal regresyon
MARE	: Ortalama kesin hata
MLP-ANN	: Çok katmanlı yapay sinir ağı
MLR	: Çoklu doğrusal regresyon
MSE	: Ortalama karekök hatası
NARX	: Doğrusal olmayan oto regresif ağı
NN	: Sinirsel ağı
NSE	: Nash-Sutcliffe Katsayısı
PACF	: Kısmi oto korelasyon fonksiyonu
R	: Pearson korelasyon katsayısı
RMSE	: Ortalama karekök hatası
SI	: Scatter indisi
TUDES	: Türkiye ulusal deniz seviyesi gözlem ağı
WN	: Dalgacık ağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. TUDES'e ait mareograf istasyonları (Yıldız vd. 2003).....	12
Şekil 3.2. TUDES istasyonlarının genel çalışma yapısı (Yıldız vd. 2003)	13
Şekil 3.3. Antalya mareograf istasyonu	14
Şekil 3.4. 1999-2017 arası ölçülen deniz seviyesi verileri	15
Şekil 3.5. 1999-2017 arası ölçülen hava sıcaklığı verileri	16
Şekil 3.6. 1999-2017 arası ölçülen hava basıncı verileri	16
Şekil 3.7. 2014-2015 arası ölçülen deniz seviyesi verileri	18
Şekil 3.8. 2014-2015 arası ölçülen hava sıcaklığı verileri	18
Şekil 3.9. 2014-2015 arası ölçülen hava basıncı verileri	19
Şekil 3.10. Tez kapsamında oluşturulan verisetinden örnek	20
Şekil 3.11. Doğrusal interpolasyon	22
Şekil 3.12. Oto korelasyon ve kısmi korelasyon.....	24
Şekil 3.13. ANFIS mimarisi (Tur and Balas 2010)	25
Şekil 3.14. Deniz seviyesi tahmini modellemesi için akış şeması	28
Şekil 4.1. Deniz seviyesi için oto korelasyon fonksiyonları	29
Şekil 4.2. MLR ile senaryo-1 için 1-saat sonraki deniz seviyesi tahmini	30
Şekil 4.3. MLR ile senaryo-1 için 12-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	31
Şekil 4.4. MLR ile senaryo-1 için 24-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	31
Şekil 4.5. ANFIS ile senaryo-1 için 1-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	31
Şekil 4.6. ANFIS ile senaryo-1 için 12-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	32
Şekil 4.7. ANFIS ile senaryo-1 için 24-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	32
Şekil 4.8. Hava sıcaklığı için çapraz korelasyon fonksiyonları.....	33
Şekil 4.9. Hava basıncı için çapraz korelasyon fonksiyonları	33
Şekil 4.10. MLR ile senaryo-2 için 1-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	35
Şekil 4.11. MLR ile senaryo-2 için 12-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	35

Şekil 4.12. MLR ile senaryo-2 için 24-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	35
Şekil 4.13. ANFIS ile senaryo-2 için 1-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	36
Şekil 4.14. ANFIS ile senaryo-2 için 12-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	36
Şekil 4.15. ANFIS ile senaryo-2 için 24-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	36
Şekil 4.16. MLR ile senaryo-3 için 1-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	37
Şekil 4.17. MLR ile senaryo-3 için 12-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	38
Şekil 4.18. MLR ile senaryo-3 için 24-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	38
Şekil 4.19. ANFIS ile senaryo-3 için 1-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	38
Şekil 4.20. ANFIS ile senaryo-3 için 12-saat sonraki deniz seviyesi tahmini.....	39
Şekil 4.21. ANFIS ile senaryo-3 için 24-saat sonraki deniz seviyesi tahmini	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. TUDES’e bağlı istasyonlarda meteorolojik algılayıcılara ait bilgiler (Yıldız ve ark. 2003)	14
Çizelge 3.2. 1999-2017 arasında ölçülen mareograf verilerine ait temel bilgiler.....	15
Çizelge 3.3. 1999-2017 arasında ölçülen mareograf verilerine ait betimleyici istatistikler	17
Çizelge 3.4. 2014-2015 arasında ölçülen mareograf verilerine ait betimleyici istatistikler.....	21
Çizelge 4.1. Senaryo-1 için eğitim setinden elde edilen regresyon denklemleri	30
Çizelge 4.2. Senaryo-2 için eğitim setinden elde edilen regresyon denklemleri	34
Çizelge 4.3. Senaryo-3 için eğitim setinden elde edilen regresyon denklemleri	37
Çizelge 4.4. Senaryo-1 için model performans ölçümleri	39
Çizelge 4.5. Senaryo-2 için model performans ölçümleri	40
Çizelge 4.6. Senaryo-3 için model performans ölçümleri	41

1. GİRİŞ

18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere’de başlayan sanayi devrimi ile dünya büyük bir değişime uğramıştır. Sanayi devrimi, ilk buharlı makinelerin keşfedilmesi ve sanayide kullanılmaya başlamasıyla önce İngiltere’de ve daha sonra dünya genelinde insanlığın gelişiminde mihenk taşlarından biri olmuştur. Gelişen teknoloji ile sanayi devrimi daha da ileri götürülmüş ve fosil yakıtların gerek üretim endüstrisinde gerekse enerji sektöründe kullanılmaya başlanmasını sağlamıştır. Bu yakıtların çeşitli sektörlerde kullanımının yaygınlaşması ile insanlık tarihinde görülmemiş bir hızla teknolojik bir gelişim içerisine girmiştir. Bütün bunların yanında bu gelişim aynı zamanda içerisinde yaşadığımız gezegene zarar vermekte ve onun değişime uğramasına sebep olmaktadır. Büyük ölçekli insan kaynaklı aktiviteler özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren çok miktarda karbondioksit ve metan gibi sera gazları olarak adlandırılan gazların atmosfere salınmasına sebep olmuştur. Bu gazlar güneşten atmosfere gelen ısıyı tutarak, yeryüzündeki ısının korunmasına sebep olmaktadır. Bu gazlardaki artış dünya genelinde karalarda ve denizlerde ortalama sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. Buna küresel ısınma denilmektedir. Küresel ısınma dünya genelinde iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. İklim değişiklikleri doğrudan hava sıcaklığı, hava basıncı, bağıl nem oranı gibi meteorolojik faktörleri etkilemekte ve böylece dünyanın atmosferik döngüsü değişmektedir. Bu durum dünya genelinde kara ve deniz sıcaklıklarını artırmakta, kar örtüsü ve buzulların erimesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda, dünyanın yağış düzenlerini değiştirmekte ve deniz seviyelerinde genel olarak artışa neden olan değişimlere sebebiyet vermektedir. Deniz seviyesi değişimleri temel olarak iki ana nedenden dolayı önemlidir. Bunlardan ilki, deniz seviyesindeki değişimler Dünya iklimindeki değişimler ile doğrudan bağlantılı olmasıdır. İkincisi ise deniz seviyesi değişimlerinin kıyı bölgelerinde yaşayan popülasyonlar için sosyoekonomik sonuçlar doğurmasıdır (Cazenave ve Nerem 2004).

Tarih boyunca kıyı bölgeleri her zaman nüfusun en yüksek yoğunlukta toplandığı yerler olmuştur. Bunun en önemli sebeplerinden biri kıyı bölgelerdeki ılıman iklimin insan yaşamı için elverişli olmasıdır. Fakat, iklim değişikliği ve buna bağlı meteorolojik faktörlerin değişimi deniz seviyesinde değişimlere sebep olmaktadır. Deniz seviyesi değişimleri de kıyısız erozyon ve su baskını gibi bazı afetlere de sebep olmaktadır. Bu durum insanlar ve insan kaynaklı kıyı yapıları için doğrudan veya dolaylı olarak bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle deniz seviyelerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi kıyı yapılarının uzun vadeli tasarımları, kıyı yapılarının operasyonel aktiviteleri ve kıyılarda insan yaşamına tehdit oluşturacak risklerin indirgenmesi için önemli bir mühendislik sorunudur. Ayrıca liman ve marina gibi kıyı yapılarının işletilmesinde deniz seviyesi yüksekliğinin bilinmesi bazı operasyonel faydalar sağlamaktadır. Bu nedenle deniz seviyesinin ileriye yönelik tahmin edilmesini sağlayan model ve metodlar liman işletmecileri için de büyük bir önem taşımaktadır. Deniz seviyelerinde meydana gelen değişimlerin sebep-sonuç açısından incelenmesi ve geleceğe yönelik tahminlerin yapılabilmesi için uzun dönemli verilerin toplanması gerekmektedir. Bu amaçla, dünyanın pek çok kıyısında mareograf adı verilen cihazların bulunduğu istasyonlar kurulmuştur. Mareograflar deniz seviyesinin en düzgün şekilde ölçümünü yapmaktadır (Cui vd. 1995). Bu ölçümler referans alınan bir düzey noktaya göre yapılmaktadır. Harita Genel Komutanlığı Jeodezi Dairesi Başkanlığı altında çalışan Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES), Türkiye kıyıları boyunca 20 adet mareograf istasyonu kurmuştur. Bu istasyonlar vasıtasıyla deniz seviyesi ve deniz

seviyesi üzerinde etkisi bulunan rüzgâr hızı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve hava basıncı gibi meteorolojik faktörler her otuz saniyede bir ölçülmektedir. Bu ölçümler sonucunda toplanan veriler saatlik olarak TUDES'in internet sitesinde paylaşılmaktadır.

Deniz seviyesi değişimlerini araştırmak ve geleceğe yönelik tahminler yapmak yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı literatürde araştırmacılar tarafından çalışılmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu mareograf ölçümlerinden elde edilen deniz seviyesi verilerinin kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Meteorolojik etkilerin deniz seviyesi tahminlerinde kullanımı görece daha yeni bir literatüre sahiptir ve daha az araştırmacı grubu tarafından incelenmiştir. Meteorolojik faktörler ve deniz seviyesi arasındaki ilişki doğrusal değildir. Bu nedenle, bazı ileri yapay zekâ tekniklerinin bu doğrusal olmayan ilişkiyi açıklamakta ve tahmin etmekte kullanılması gerekmektedir.

Bütün bu anlatılanlardan yola çıkarak bu tezin amacı ve motivasyonu Türkiye'nin bir kıyı kenti olan Antalya İli için deniz seviyesi yükseklikleri ve meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiyi irdelemek ve liman işletmelerinde deniz seviyesi değişimlerini belirleyebilmek için kullanılabilecek tahmin modelleri geliştirmektir. Deniz seviyesi değişimlerinin tahmin edilmesi özellikle liman operasyonlarında önem arz etmektedir. Antalya'nın da bir liman şehri olduğu düşünüldüğünde bu tip çalışmalar hayati önem kazanmaktadır. Bu amaçla, bu tez kapsamında deniz seviyesi değişimlerinin tahmin edilmesi amacıyla hem bir doğrusal metot olan çoklu doğrusal regresyon (MLR) hem de bir yapay zekâ metodu olan uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin girdi parametrelerini belirlemek amacıyla korelasyon analizlerinden faydalanılmıştır. Geliştirilen modellerin çeşitli istatistiksel parametreler vasıtasıyla performans analizleri yapılmıştır. Modellemede kullanılan tüm aşamalar ayrıntısıyla anlatılmış ve bir akış şeması vasıtasıyla özetlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Deniz Seviyesi Değişimleri ve Meteorolojik Etkiler

Bir bölgedeki deniz seviyesi yüksekliği, o bölgenin ortalama deniz seviyesi yüksekliğine, gelgit etkisine ve meteorolojik faktörlerin etkisine bağlı olarak belirlenir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi açıklanabilir (Pugh 1978).

$$X(t) = Z_o(t) + M(t) + R(t) \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 de $X(t)$ ölçülen deniz seviyesi yüksekliğini, Z_o ortalama deniz seviyesi yüksekliğini, M meteorolojik faktörlerin etkisini ve R gelgit kaynaklı etkileri ifade etmektedir. Denklem 2.1 zamana bağlı olarak (t) sunulan bir denklemdir ve farklı zaman aralıkları için kullanılabilir. Burada, meteorolojik faktörlerden kasıt hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgâr hızı ve bağıl nem gibi faktörlerdir. Bu tezin konusu deniz seviyesi değişimlerinin meteorolojik faktörler kullanılarak tahmin edilmesi olduğu için bu bölümde literatürde meteorolojik faktörlerin deniz seviyesi değişimleri ile olan ilişkisini analiz eden çalışmalara yer verilmiştir. Örneğin, Alpar vd. (1997) İzmir Körfezinde deniz seviyesi değişimi ve meteorolojik faktörlerin ilişkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, İzmir körfezinde yer alan bir mareograf istasyonunda 1990 yılına ait ölçülmüş saatlik deniz seviyesi yükseklikleri ve İzmir’de yer alan bir meteoroloji istasyonundan aynı yıla ait saatlik hava basıncı ve rüzgâr esme yönü ölçümlerini derlemişlerdir. Ardından saatlik verileri günlük verilere çevirmek için 119 noktalı gelgit filtresi olaraktan bilinen bir filtreleme metodu kullanmışlardır. Bu metot sayesinde deniz seviyesinin gelgit etkilerinden arındırıldığını ifade etmişlerdir. Günlük veriler ortalamaları alınarak aylık verilere çevrilmiştir. Ardından, deniz seviyesi ve basınç verileri kullanılarak bir saçılım grafiği elde edilmiştir. Aynı şekilde deniz seviyesi ve rüzgâr verileri içinde saçılım grafiği oluşturulmuştur. Sonuçlar, İzmir Körfezinde deniz seviyesinin hava basıncı ve hâkim rüzgâr yönlerinden etkilendiğini göstermektedir.

Cui vd. (1995) Japonya kıyılarının uzun vadeli deniz seviyesi verileri üzerine doğrusal bir istatistiksel model geliştirmiştir. Bunun için, deniz seviyesinin aylık ortalama değerleri incelenmiş ve kanonik korelasyon analizi kullanılarak Japonya kıyılarındaki deniz seviyesi değişimleri Kuzey Pasifik deniz yüzeyi sıcaklığı ve deniz yüzeyinde oluşan hava basıncı arasındaki ilişki irdelenmiştir. Kanonik korelasyon analizi artan atmosferik basıncın deniz seviyesinde azalmayı açıkladığını ve bunun da ters barometrik etki ile açıklanabileceğini göstermiştir. Aynı zamanda sıcaklık artışlarının doğru orantılı olarak deniz seviyesinde artışa veya sıcaklık azalışlarının deniz seviyesinde azalışa neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Wroblewski (1998) tarafından geliştirilen stokastik bir metot ile Kuzey denizinin Baltık denizindeki seviye değişiklikleri üzerine etkisi araştırmıştır. Bu iki denizi bağlayan Danimarka Boğazı üzerinde konuşlandırılmış farklı mareograf istasyonlarından uzun dönemli deniz seviyesi ve hava basıncı değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar, bölgesel hava basıncı değişimlerinin ve Kuzey Denizindeki deniz seviyesi değişimlerinin Baltık Denizinde aylık ortalama su seviyelerini değiştiren faktörlerden olduğunu göstermiştir.

Omstedt vd. (2004) Baltık denizi kıyılarında ölçülen 200 yıllık deniz seviyesi yüksekliği, hava sıcaklığı, atmosferik döngü ve buz örtüsü verilerinin arasındaki

bağlantıyı araştırmışlardır. Sonuçlar, 200 yıllık süre içerisinde hava sıcaklığı ve deniz seviyesi yüksekliklerinin pozitif bir trendde artış gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, yazarlar hava basıncı gibi faktörleri de kapsayan bölgedeki atmosferik döngünün deniz seviyesi yüksekliğini kısmi olarak açıklayabildiğini ifade etmişlerdir.

Chen ve Omstedt (2005) çalışmalarında 1873 ile 1995 yılları arasında Stockholm kıyılarında ölçülen aylık deniz seviyesi verilerini kullanmıştır. Aylık deniz seviyesi verilerinin ortalama değeri veri setinden çıkartılarak yer kabuğunun düşey hareketinin etkisi elimine edilmiştir. Ardından, deniz seviyesi verileri ve bölgesel rüzgâr, girdap ve sıcaklık gibi meteorolojik verileri aylık olarak incelenmiştir. Meteorolojik verilerin deniz seviyesi üzerine olan etkisi MLR ile analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları 1873 ile 1995 yılları arasında deniz seviyesinin artış trendi gösterdiğini ve bu trendin kış aylarında rüzgarlar tarafından diğer parametrelere oranla daha çok etkilendiğini göstermiştir. Aynı şekilde, yaz aylarında hava basıncındaki düşüşün deniz seviyesindeki artış trendini yansıttığı görülmüştür.

Singh vd. (2005) Pasifik Okyanusunda yer alan 12 adet adada konuşlandırılmış mareograf istasyonlardan 1992 ile 2005 arasında ölçülen deniz seviyesi ve basınç verilerini kullanmışlardır. Bu veriler ile, Crowder (1995) tarafından “ters barometrik etki” olarak adlandırılan fenomeni test etmişlerdir. Sonuçlar, 1997’nin ortalarında 1998 sonuna kadar deniz seviyesinde belirgin bir azalış olduğunu ve bunun aynı dönemlerde meydana gelen yüksek basınçtan kaynaklandığını göstermiştir. Aynı zamanda, deniz seviyesinde belirgin bir artışın gözlemlendiği 1999 ve 2001 yılları arasında ise hava basıncında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bütün bu sonuçlar ışığında, araştırmacılar hava basıncı artışının deniz seviyesinde azalmalara ve hava basıncı azalmasının deniz seviyesinde artışa sebep olduğunu ortaya koymuştur.

Hünicke ve Zorita (2006) 1900 ile 1998 yılları arasında Baltık Denizi kıyısında kurulmuş olan 30 mareograf istasyonundan elde edilen deniz seviyesi verileri ile hava basıncı, sıcaklık ve yağmur arasındaki bağlantıyı araştırmışlardır. Yer kabuğunun düşey hareketi belirlenen uzun dönemli doğrusal trendin bütün zaman serisinden çıkarılması ile elimine edilmiştir. Regresyon analizi vasıtasıyla deniz seviyesindeki değişimin %15’lik bir kısmının hava basıncından kaynaklandığı belirtilmiştir. Sıcaklık ve yağış arasında ters orantı olduğu gözlenmiş ve bazı istasyonlar için bu iki parametrenin deniz seviyesindeki değişimde %35’lik bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Simav vd. (2012) yaptıkları çalışmada Akdeniz kıyısında bulunan Antalya mareograf istasyonundan ve Ege kıyısında bulunan Menteş Mareograf istasyonundan elde edilen deniz seviyesi ve meteorolojik faktör ölçümlerini incelenmiştir. Sonuçlar, 1985 ile 2001 yılları arasında Antalya ve Menteş’te deniz seviyesi değişim trendlerinin 7.9 ± 0.8 mm /yıl ve 5.5 ± 1.0 mm / yıllık bir artış trendi gösterdiğini ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada deniz seviyesi üzerindeki atmosferik etkinin $0.6 - 0.9$ mm / yıllık bir etkiye sahip olduğunu ve deniz seviyesi üzerindeki sıcaklık etkisinin Antalya için 2.5 ± 0.4 mm / yıllık ve Menteş için 6.4 ± 0.7 mm / yıllık bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Johansson ve Kahma (2016) tarafından yapılan çalışmada Baltık Denizi kıyılarındaki 26 istasyondan 1933 ile 2012 yılları arasındaki deniz seviyesi ölçümleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, 1899 ve 2012 arasında ölçülen rüzgâr ve basınç verileri de

toplanarak çalışmaya dahil edilmiştir. Günlük olarak ölçülen bütün veriler aylık verilere çevrilmiştir. Ardından, uzun dönem doğrusal trendleri belirlenerek, ölçülen değerlerden çıkarılmıştır. Böylelikle veriler çeşitli gürültülerden arındırılmıştır. Deniz seviyesi, rüzgâr ve basınç verileri arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Sonuçlar, rüzgârın deniz seviyesi ile Baltık Denzinin güneybatı sahilleri dışında kalan bölümlerde 0.5 ile 0.8 arasında korelasyon gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, geçmiş aya ait rüzgârın deniz seviyesi ile arasındaki korelasyon 0.4 – 0.6 olarak bulunmuştur.

Bütün bu çalışmalar ve taranan literatürden edinilen bilgiler ışığında bazı yorumlar yapılabilir. Bunlar:

- Yapılan çalışmalar hâkim rüzgâr yönünün deniz seviyesinde artış meydana getirdiği (Storm Surge-Fırtına Kabarması),
- Hava sıcaklığı ve deniz seviyesi arasında doğru orantı olduğu ve artan hava sıcaklığının deniz seviyesinde de artışa sebep olduğu,
- Atmosferik basınç ve deniz seviyesi arasında ters orantı olduğu ve artan atmosferik basıncın deniz seviyesinde düşüşe sebep olduğu ve bu durumun Crowder (1995) tarafından “ters barometrik etki” olarak isimlendirildiği tespit edilmiştir.

2.2. Deniz Seviyesi Değişimi Tahmini

Deniz seviyesinde meydana gelen değişimleri anlamak ve buna bağlı olarak deniz seviyesi tahmin modelleri geliştirmek literatürde araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmalarda doğrusal ve doğrusal olmayan modellerin geliştirildiği görülmektedir. Literatürde uygulanan doğrusal modellerin en bilinen örnekleri doğrusal regresyon analizi (LR), oto regresif hareketli ortalamalar analizi (ARMA) ve hareketli ortalama ile birleştirilmiş oto regresyondur (ARIMA). Öte yandan, yapay zekâ teknikleri olarak da adlandırılan doğrusal olmayan modellerin en bilinen örnekleri bulanık mantık (Fuzzy Logic-FL) yapay sinir ağları (ANN), uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve genetik programlama (GP)'dir. Bu yapay zekâ teknikleri kıyı mühendisliği ve hidroloji alanında sıkça kullanıla gelmektedir. Bunlara ek olarak, bazı hibrit modellerde bu alanda tahmin doğruluğunu artırmak için geliştirilmiştir. Bu bölüm iki alt başlık altında toplanmıştır. Bunlardan ilki geçmiş deniz seviyesi verilerinin kullanılarak gelecek deniz seviyesi yüksekliklerinin tahmin edilmesine dayalı çalışmalardır. İkinci alt başlık ise meteorolojik faktörlerin ve/veya deniz seviyesi yüksekliklerinin girdi parametresi olarak kullanıldığı ve gelecek deniz seviyesi yüksekliklerinin tahmin edildiği çalışmalardır.

2.2.1. Geçmiş deniz seviyesi verileri kullanarak geliştirilen tahmin modelleri

Makarynsky vd. (2004) deniz seviyesi tahmini yapmak için bir ANN modeli geliştirmişlerdir. Avustralya'nın Hillary Limanından 1992 ile 2002 yılları arasında ölçülen deniz seviyesi yükseklikleri çalışmada kullanılmıştır. Yarı-günlük ve günlük gelgit etkisinin ortadan kaldırılması için ölçülen deniz seviyesi verileri 12, 24, 120, 240 saatlik ortalamaları alınarak yeni veri setleri oluşturulmuştur. Bu yeni veri setleri geliştirilen modelin simülasyonunda kullanılmıştır. Sonuçlar, korelasyon katsayısı R, RMSE ve SI ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Yazarlar ANN ile geliştirilen modelin deniz seviyesi tahminlerinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Makarynska ve Makarynsky (2008) Avustralya'ya ait Cocos (Keeling) adasında yer alan bir mareograf istasyonundan 1992 – 1999 yılları arasında ölçülen deniz seviyesi verilerini kullanarak bir ANN tahmin modeli geliştirmişlerdir. Bu amaçla, geçmiş deniz seviyesi verileri girdi parametresi olarak kullanılmış ve 1, 2, 3, 4, 5 gün sonraki deniz seviyesi tahmin edilmiştir. Model çıktıları ölçülen deniz seviyesi değerleriyle R, RMSE ve SI kullanılarak karşılaştırılmıştır. Yazarlar, ANN ile geliştirilen deniz seviyesi modelinin iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Ghorbani vd. (2010a) Avustralya'ya ait Cocos (Keeling) adasında konuşlandırılmış bir mareograf istasyonundan 1992 ile 2000 yılları arasında ölçülmüş deniz seviyesi verilerini kullanmışlardır. Saatlik olarak ölçülen veriler yarı günlük ve günlük ortalamaları alınarak gelgit ve meteorolojik etkilerden arındırılmıştır. Geçmiş deniz seviyesi değerlerinin girdi olarak kullanıldığı GP ve ANN (Makarynsky vd. 2004) modelleri geliştirilmiştir. Yarı günlük ortalamaları alınmış veriler 12, 24, 36, 48, 60 saat (12 saatten 2.5 güne kadar) sonraki deniz seviyesi tahmininde kullanılmış ve benzer şekilde günlük ortalamaları alınmış veriler 24, 48, 72, 96, ve 120 saat (1 günden 5 güne) sonraki deniz seviyesi tahmininde kullanılmıştır. Modellerden elde edilen sonuçların doğruluğu R^2 , MSE ve MARE kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar, GP ve ANN

modellerin deniz seviyesinde yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu fakat GP'nin ANN den daha yüksek sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Ghorbani vd. (2010b) Avustralya'nın Hillary Limanında yer alan bir mareograf istasyonunda 1992 ile 2002 arasında ölçülmüş deniz seviyesi verilerini kullanarak GP ve ANN (Makarynsky, 2004) modelleri geliştirmişlerdir. Toplanan veriler sırasıyla 12 saat, 24 saat, 5 gün ve 10 günlük ortalamaları alınarak 4 farklı veri seti oluşturulmuştur. Geçmiş deniz seviyesi verileri geliştirilen modelleri beslemek için girdi parametresi olarak kullanılmıştır. 12 saat ile 30 gün arasında değişen zaman aralıklarında geleceğe yönelik tahminler yapılmıştır. Model sonuçları ile ölçülen sonuçlar R, RMSE ve SI parametreleri kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar her iki modelinden deniz seviyesi değişimlerinde kullanılabileceğini göstermesine rağmen, GP ile geliştirilen modelin ANN ile geliştirilene göre daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Shiri vd. (2011) Avustralya'nın Hillary Limanında konuşlandırılan bir mareograf istasyonundan 1991 – 2002 yılları arasında ölçülen saatlik deniz seviyesi verilerini kullanmışlardır. Hareketli ortalama metodu vasıtasıyla veriler yarım günlük ve günlük değerlere dönüştürülmüştür. Deniz seviyesi tahmininde kullanılmak üzere LR, AR, ANFIS ve ANN modelleri geliştirilmiştir. Modelin girdi parametreleri mevcut deniz seviyesi değişimlerinin zaman gecikmeli olarak kullanılmasından elde edilmiş ve 12, 24 ve 36, 48, 72 saat sonra meydana gelecek deniz seviyeleri tahmin edilmiştir. Sonuçların istatistiksel olarak doğruluğunu test etmek için R, RMSE ve SI parametreleri kullanılmıştır. Sonuçlar, LR, AR gibi doğrusal modellerin deniz seviyesi tahmininde ANN ve ANFIS gibi doğrusal olmayan modellerden daha kötü bir performans gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, ANFIS modelinden elde edilen sonuçların ANN modeline göre daha doğru olduğu vurgulanmıştır.

Karimi vd. (2013) çalışmalarında geliştirilen ANFIS, ANN ve ARMA modellerinin deniz seviyesi değişimlerini tahmin etme performanslarını kıyaslamışlardır. Bunun için, öncelikle Avustralya Darwin Limanında bulunan bir mareograf istasyonundan deniz seviyesi ölçümleri toplanmıştır. Bu ölçümler 1 yıllık bir aralığı kapsamaktadır (2007- 2008). MLR analizi ve PACF kullanılarak en uygun girdi parametreleri belirlenmiştir. Girdi parametreleri zaman gecikmeli deniz seviyesi ölçüm değerlerinden oluşmaktadır. Geliştirilen üç model ile 1, 24, 48 ve 72 saat sonraki deniz seviyeleri ileriye yönelik olarak tahmin edilmiştir. Yapılan istatistiksel karşılaştırmalar ışığında, ANFIS ve ANN modellerinin hemen hemen aynı sonuçları verdiği ve ARMA modelinden daha doğru sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir.

Kurniawan vd. (2014) deniz seviyesi tahmini için bir GP modeli geliştirmiştir. Bu amaçla, Singapur kıyılarında bulunan mareograf istasyonlarından elde edilen deniz seviyesi ölçümleri değerlendirilmiştir. Optimum girdi parametrelerini belirlemek için yazarlar ACF ve AMI analizleri yapmıştır. AMI analizinin özellikle doğrusal olmayan bağlantıları ortaya çıkarmakta güçlü bir analiz yöntemi olduğu vurgulanmıştır. Geliştirilen GP modeli ile 1, 2, 4, 6 ,12, 24 saat sonraki deniz seviyesi tahminleri yapılmış ve sonuçların doğruluğu RMSE ve MAE vasıtasıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, AMI analizi ile girdi verilerinin seçilerek oluşturulduğu GP modelinin deniz seviyesi tahminlerinde doğru sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur.

El-Diasty ve Al-Harbi (2015) Suudi Arabistan ve Kanada kıyılarında yer alan farklı mareograf istasyonlarında ölçülen kısa süreli (1 ay + 1 hafta) deniz seviyesi verilerini kullanarak harmonik analiz, ANN, ve dalgacık dönüşümü (wavelet transform) modelleri geliştirmişlerdir. MLR analizi ile modeller için girdi parametrelerini belirlemişlerdir. Geliştirilen modellerin performansları RMSE, MAE metotları kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen dalgacık dönüşümü analizi ile ANN ve harmonik analize göre daha doğru tahminler yapılabildiğini göstermiştir.

Kaloop vd. (2016) Mısırdaki bulunan İskenderiye İli kıyısında kurulu mareograf istasyonundan 2008 ile 2011 yılları arasında ölçülen saatlik deniz seviyesi ölçüm verilerini değerlendirmişlerdir. Toplanan verilere hareketli ortalama metoduyla filtrelenmiştir. Her bir yıl için yapılan incelemede 2011 yılına ait deniz seviyesi verilerinin tahmin modellemesinde kullanılmıştır. ANFIS ve NN-ARMA modelleri deniz seviyesinin ileriye yönelik tahmininde kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Çeşitli girdi kombinasyonları oluşturulmuş ve anlık deniz seviyesi tahmini yapabilmek için geliştirilen modellerde kullanılmıştır. Modellerin verdiği sonuçlar R, RMSE ve korelasyon analizleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen ANFIS ve NN-ARMA modellerinin anlık deniz seviyesi tahminlerinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Kaloop vd. (2017) deniz seviyesi tahmini için kısa dönemli (yaklaşık bir ay) ölçüm verileri kullanarak bir ANFIS modeli geliştirmişlerdir. Deniz seviyesi tahmini için girdi parametresi olarak daha önce ölçülmüş deniz seviyeleri kullanılmıştır. Girdi parametreleri tamamen deneme yanılma yoluyla kararlaştırılmıştır. Tahminler anlık deniz seviyesi değerlerini belirlemek için yapılmıştır. Geliştirilen model El-Diasty ve Al-Harbi (2015) tarafından ortaya atılan dalgacık ağı (WN) yöntemi ile kıyaslanmıştır. Geliştirilen modeller çeşitli istatistiksel parametrelerin sonuçlarına göre kıyaslanmıştır. Sonuçlar, ANFIS ile geliştirilen modelin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Altunkaynak ve Kartal (2019) daha önce hiç denenmemiş olması sebebiyle FL ve dalgacık dönüşümü ile birleştirilmiş hibrit modeller geliştirerek deniz seviyesi tahminleri yapmıştır. Öncelikle, İstanbul Boğazında bulunan 4 istasyondan 2004 -2005 yılları arasında kaydedilen deniz seviyesi verileri elde edilmiştir. Ardından geçmiş deniz seviyesi verilerinin girdi parametresi olarak kullanıldığı, FL, DW-FL ve CW-FL modelleri geliştirilerek 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 günlük deniz seviyesi değerleri tahmin edilmiştir. RMSE, NSE analizleri vasıtasıyla modellerin tahmin tutarlılık seviyeleri araştırılmıştır. Sonuçlar, CW-FL modelinin DW-FL modelinden daha doğru tahminler verdiğini göstermiştir.

Taranan literatür neticesinde deniz seviyesi tahmin modellerine ilişkin dört ana aşama göze çarpmıştır. Bu aşamalar sırasıyla; deniz seviyesi ölçümlerinin elde edilmesi, girdi kombinasyonlarının belirlenmesi, modellerin oluşturulması ve model performans analizlerinin gerçekleştirilmesi olarak adlandırılabilir. Bütün bu çalışmalar ve taranan literatürden edinilen bilgiler ışığında bazı yorumlar yapılabilir. Bunlar:

- Doğrusal modellere göre doğrusal olmayan yapay zekâ modelleri daha başarılı tahmin sonuçları vermekte,
- Geliştirilen modellerin hepsini kapsayan bir karşılaştırma bulunmamasına rağmen, yapılan kısmi karşılaştırmalar GP ve ANFIS ile geliştirilen modellerin daha iyi sonuçlar verebileceğini göstermekte,

- Çalışmalar genel olarak saatlik veriler üzerinden yapılmakta,
- Model simülasyonlarında kullanılan veri aralıkları kısa süreli olabilmekte ve hatta bir yıldan az süreli veriler dahi çalışmalarda kullanılmakta
- Girdi kombinasyonlarının seçimi deneme/yanılma yoluyla, ACF ve PACF analizleri vasıtasıyla, AMI analizi ve kademeli regresyon analizi ile seçilmekte,
- Çalışmalar anlık tahminlerden birkaç gün ileriki tahminlere kadar genişletilmekte,
- Model performans ölçütleri olarak NSE, R^2 ve RMSE sıklıkla tercih edilmektedir

2.2.2. Meteorolojik faktör verileri kullanılarak geliştirilen tahmin modelleri

Bölüm 2.2.1’de bahsedilen deniz seviyesi tahmin modelleri aynı bölgedeki geçmiş deniz seviyesi ölçümleri arasındaki ilişki test edilerek geliştirilmiştir. Meteorolojik faktörlerin doğrudan girdi parametresi olarak kullanıldığı deniz seviyesi tahminleri kıyı mühendisliği açısından önem arz eden bir diğer çalışma alanıdır. Bunun için literatürde meteorolojik faktörler ve deniz seviyesi arasındaki ilişki irdelenmiş ve buradan çıkan sonuçlara göre tahmin modelleri geliştirilmiştir. Örneğin, Cox vd. (2002) Amerika’nın Meksika Körfezi kıyılarında bulunan bir istasyondan 1997 ile 1999 yılları arasında ölçülmüş deniz seviyesi ve meteorolojik verileri değerlendirmişlerdir. Ardından deniz seviyesi tahmininde kullanılmak üzere üç adet model geliştirmişlerdir. Bunlar harmonik analiz, LR ve ANN metotları kullanılarak geliştirilmiştir. Harmonik analiz modelinde sadece geçmiş deniz seviyesi verileri kullanılmış ve diğer modellerde meteorolojik faktörlerde girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, 3 saat sonrasına kadar olan deniz seviyesi tahminlerinde harmonik analiz modelinin iyi çıktılar verdiğini fakat uzun süreli tahmin aralıklarında diğer modellerin daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. İlkbahar ayında deniz seviyesi değişimlerinin güneybatı yönünden gelen rüzgarlardan etkilendiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, rüzgâr bileşenlerinin ve basıncın girdi parametresi olarak kullanıldığı durumlarda ANN modelinin diğer iki modele kıyasla daha doğru tahminlerde bulunduğu görülmüştür.

Gohernejad vd. (2013) iklim değişikliğinin deniz seviyesi artışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bir metodoloji sunmuşlardır. Bu metodolojiye göre girdi parametreleri kademeli regresyon analizi vasıtasıyla elde edilmiştir. Dalgacık dönüşümü ile birleştirilmiş birer ANN ve ANFIS modeli geliştirilmiştir. Bu hibrit modeller sırasıyla DW-NN ve DW-ANFIS olarak adlandırılmıştır. Dalgacık dönüşümü ile girdi parametreleri düşük ve yüksek frekanslı bileşenlerine ayrıştırılmış ve geliştirilen ANN ve ANFIS modellerinde kullanılmıştır. Girdi parametreleri 25 farklı meteorolojik faktör arasında seçilmiş ve deniz seviyesindeki basınç, sıcaklık, yağış ve yerçekimsel yükseklik verilerinden oluşmaktadır. Basra Körfezinin İran’a ait kıyılarında konuşlanmış 5 istasyondan elde edilen veriler, A1b ve A2 olarak isimlendirilen iki iklim değişikliği senaryosuna uygulanmıştır. Sonuçlar, DW-ANFIS modelin deniz seviyesi simülasyonlarında DW-ANN modelinden daha doğru modelleme yapabildiğini göstermiştir. Ayrıca, çalışma sonuçları 2100 yılına kadar çalışılan bölgede deniz seviyesinin 0.33 m ile 0.59 m aralığında artış göstereceğini tahmin etmiştir.

Nitsure vd. (2014) Amerika kıyılarında bulunan 4 istasyondan saatlik deniz seviyesi, harmonik gelgit seviyesi ve rüzgâr hızı ile rüzgâr yönü verilerini edinerek GP ve ANN ile iki model geliştirmişlerdir. Bu amaçla deniz seviyesi verilerinden harmonik gelgit seviyeleri çıkartılarak gelgite bağlı olmayan ve sadece deniz seviyesinin ortalama yüksekliği ile meteorolojik etkilerin bileşimi olan deniz seviyesi anomalileri elde

edilmiştir. Ardından geçmiş rüzgâr verileri girdi parametresi olarak geliştirilen modellerde kullanılmıştır. Deniz seviyesi anomalileri tahmin edilmiş ve gelgit seviyeleri de bu verilere eklenerek bölgedeki deniz seviyesi yüksekliği belirlenmiştir. Ölçülen deniz seviyesi yüksekliği ile tahmin edilen deniz seviyesi yükseklikleri R ve NSE istatistiksek parametreleri kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, GP'nin ANN den daha doğru tahmin sonuçları ürettiğini göstermiştir.

Moghadam (2017) çalışmasında 1990 ile 2013 yılları arasında ölçülmüş deniz seviyesi ve meteorolojik faktör verilerini kullanmıştır. Bu veriler Basra Körfezinde kurulu toplam 14 mareograf istasyonundan elde edilmiştir. Elde edilen saatlik veriler aylık verilere dönüştürülmüştür. Temel bileşen analizi metodu kullanılarak meteorolojik veriler arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunun sonucunda, hangi verilerin geliştirilen ANN modeline girdi parametresi olarak alınacağı belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, meteorolojik faktörlerin deniz seviyesi değerlerinin %56'lık bir kısmını tahmin edebildiğini göstermiştir. Ayrıca, rüzgâr yönü, sıcaklık ve hava basıncının deniz seviyesi üzerindeki en etkili meteorolojik faktörler olduğu belirtilmiştir.

Muslim vd. (2020) deniz seviyesi değişimleri ve meteorolojik faktörler arasındaki ilişkiyi araştırmak için MLP-ANN ve ANFIS modelleri geliştirmişlerdir. Çalışmada Malezya'nın Sabah bölgesinde bulunan 3 istasyondan 2007 ile 2016 arasında ölçülen deniz seviyesi gözlemleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, meteorolojik faktör olarak rüzgâr hızı, rüzgâr esme yönü, yağış ve ortalama bulut örtüsü verileri toplanmıştır. Korelasyon analizi yapılarak deniz seviyesi ve meteorolojik faktörler arasındaki ilişki incelenmiştir. Buna göre iki adet senaryo oluşturulmuştur. İlki deniz seviyesi tahmininde rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verilerinin girdi parametresi olarak kullanıldığı senaryodur. İkincisi ise yağış ve bulut örtüsü verilerinin deniz seviyesi tahmininde kullanıldığı senaryodur. İki senaryo içinde yapılan deniz seviyesi tahminleri anlıktır. Model sonuçları R, RMSE ve SI ölçütleri kullanarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ANFIS ile geliştirilen modelin 2 istasyonda diğer modelden daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ayrıca, geliştirilen modellere hiper parametre optimizasyonu uygulanmış ve bu sayede gelecek yıllarda (2019, 2023, 2028, 2048, 2068) deniz seviyeleri tahmin edilmiştir.

Zubier ve Eyouni (2020) meteorolojik faktörlerin deniz seviyesi değişimindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, Jeddah şehrinin Kızıl Deniz kıyısında bulunan bir mareograf istasyonundan 2013 yılına ait günlük deniz seviyesi verileri toplanmıştır. Ayrıca yine Jeddah şehrinde yer alan bir meteoroloji istasyonundan aynı yıla ait meteorolojik faktör ölçümleri edinilmiştir. Bu ölçümler, rüzgâr bileşenleri, hava sıcaklığı, hava basıncı ve buharlaşma oranını kapsamaktadır. Meteorolojik faktörlerin ve geçmiş deniz seviyesi ölçümlerinin girdi parametresi olarak kullanıldığı NARX tipi bir ANN modeli geliştirilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen modelin doğru sonuçlar ürettiğini ve deniz seviyesi çalışmalarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Bütün bu çalışmalar ve taranan literatürden edinilen bilgiler ışığında bazı yorumlar yapılabilir. Bunlar:

- Doğrusal olmayan yapay zekâ metotları deniz seviyesinin meteorolojik faktörler kullanılarak tahmin edilmesinde bütün araştırmacılar tarafından kullanılmakta,
- Bazı araştırmacıların verileri düşük ve yüksek frekanslı bileşenlerine ayırmak için Fourier ve dalgacık dönüşümü analizleri kullandığı görülmekte,

- Geliştirilen modellerin hepsini kapsayan bir karşılaştırma bulunmamasına rağmen, yapılan kısmi karşılaştırmalar GP ve ANFIS ile geliştirilen modellerin daha iyi sonuçlar verebileceği,
- Girdi kombinasyonlarının seçimi deneme/yanılma yoluyla, kademeli regresyon analizleri ve temel bileşen analizi ile seçilmekte olduğu,
- Model performans ölçütleri olarak NSE, R^2 ve RMSE sıklıkla tercih edilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Deniz Seviyesi Ölçümleri

Deniz seviyesi ölçümleri mareograf istasyonu ya da gel-git istasyonu adı verilen ve deniz kenarında karada veya denizde bir platform üzerinde kurulu istasyonlarda gerçekleştirilir (Gürdal 2002). Bu istasyonlar düzenli olarak deniz seviyesi ölçümleri yapmakta ve sonuçları saatlik veya günlük olarak kaydetmektedir. Deniz seviyesi ölçümü amacıyla küresel, bölgesel ve yerel bazlı pek çok deniz seviyesi ölçüm ağı ve merkezi kurulmuştur. Küresel Deniz Seviyesi Gözlem Sistemi (GLOSS), Ortalama Deniz Seviyesi Sürekli Servisi (PSMSL), Avrupa Küresel Okyanus Gözlem Sistemi (EuroGOOS), Avusturalya Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (SEAFRAME) bu merkezlere en iyi örneklerdir.

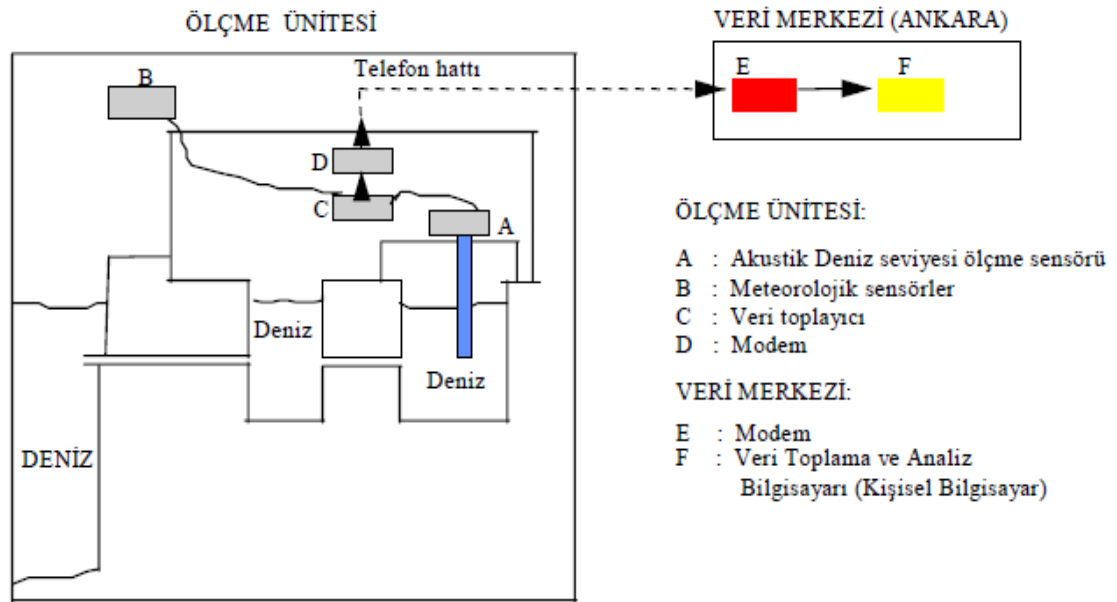
Türkiye’de ulusal deniz seviyesi gözlem ağı ve merkezi oluşturmak adına toplamda 20 adet mareograf istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonlar Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) kapsamında Harita Genel Komutanlığı tarafından işletilmektedir. Şekil 3.1’de bu mareograf istasyonların Türkiye kıyılarında kurulum noktaları görülebilir.



Şekil 3.1. TUDES’e ait mareograf istasyonları (Yıldız vd. 2003)

Türkiye’de ulusal deniz seviyesi ölçme çalışmaları kapsamında ilk kez 1927 yılında İskenderun’a bir mareograf istasyonu kurulmuştur (Yıldız vd. 2003). Zaman içerisinde gelişen teknoloji ve artan ekonomik olanaklar vasıtasıyla bu sayı günümüzde yirmi adet istasyona ulaşmıştır. TUDES kapsamında işletilen bu 20 adet mareograf istasyonu Akdeniz kıyılarında; İskenderun, Erdemli, Taşucu, Bozyazı, Antalya, GİRNE, Gazimagusa, Ege kıyılarında; Aksaz, Bodrum, Menteş, Gökçeada, Marmara kıyılarında; Erdek, Marmara Ereğlisi, Yalova, Karadeniz kıyılarında; İğneada, İstanbul, Şile, Amasra, Sinop ve Trabzon’da konuşlandırılmıştır. Ankara’da ise bu istasyonların bağlı olarak çalıştığı veri merkezi bulunmaktadır. Veri merkezinde kalite kontrol ve analiz

işlemleri ölçülen veriler üzerinde yapılmaktadır. Bu istasyonların veri merkezi ile olan bağlantısı Şekil 3.2’de görülebilir.



Şekil 3.2. TUDES istasyonlarının genel çalışma yapısı (Yıldız vd. 2003)

Akustik deniz seviyesi ölçme sensörleri ile meteorolojik sensörlerden ölçülen veriler veri toplayıcı (data-logger) vasıtasıyla toplanır. Toplanan veriler modemler vasıtasıyla Ankara’da bulunan veri merkezine aktarılır. Bu istasyonlar düzenli olarak bulundukları noktada deniz seviyesi ve deniz seviyesi ile ilişkili olan meteorolojik faktörleri ölçmektedir.

Deniz seviyesi ölçümleri için kullanılan deniz seviyesi ölçme aleti (transducer) her 10 saniyede bir ses dalgaları üreterek bu dalgaları 13 mm çapında bir PVC tüpün içerisinden anlık deniz yüzeyine doğru gönderir. Gönderilen ses dalgaları deniz yüzeyinden sekerek tekrar dalgaların gönderildiği deniz seviyesi ölçme aletine döner. Ses dalgalarının anlık deniz yüzeyine çarpıp geri döndüğü zaman aralığı kullanılarak anlık deniz seviyesi ile alet arasındaki düşey mesafe hesaplanır. Böylece baz alınan bir röper noktasına göre deniz seviyesi değişimleri ve deniz seviyesinin anlık yüksekliği kayıt altına alınır. Ölçümü yapılan meteorolojik faktörlerden kasıt ise rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, hava sıcaklığı, hava nemi ve hava basıncı değerleridir. Atmosferik basınç algılayıcı veri kutusunun içine hava ile teması olacak şekilde, hava sıcaklığı ve hava nemi algılayıcısı su seviyesinden yaklaşık 5m yukarısına çift radyasyon koruyucu bir kabın içerisinde, rüzgâr yön ve hız algılayıcısı ise deniz seviyesinden yaklaşık 7m yukarıya yerleştirilmiştir. Deniz seviyesi metre cinsinden, rüzgâr hızı metre/saniye cinsinden, rüzgâr yönü derece (°) cinsinden, hava sıcaklığı Celcius (C°) cinsinden, bağıl nem yüzde (%) cinsinden ve hava basıncı milibar (mBar) cinsinden ölçülür.

Bütün bu veriler 10 saniyelik periyotlarla ölçülmekte ve 15 dakikalık sürelerle kayıt altına alınmaktadır. Saatlik olarak kayıt altına alınan TUDES verileri her bir mareograf istasyonu için TUDES’in internet sitesinden indirilebilir. Yıldız ve ark.

(2003) tarafından TUDES’e ait mareograf istasyonlarında ölçülen meteorolojik verilerin ölçme doğruluğu ve ölçme aralığı paylaşılmıştır (bkz Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. TUDES’e bağlı istasyonlarda meteorolojik algılayıcılara ait bilgiler(Yıldız ve ark. 2003)

Meteorolojik Algılayıcı	Ölçme Doğruluğu	Ölçme Aralığı
Atmosferik Basınç	± 0.5 mBar	600 – 1060 mBar
Hava Sıcaklığı	20 C’de ± 0.2 C°	-40 – 60 C°
Bağıl Nem	$\pm 2\%$ BN (0%-90%)	$\pm 2\%$ BN (0%-90%)
Rüzgâr Hızı	± 0.12 m/s 0-50 m/s	± 0.12 m/sn 0-50 m/s
Rüzgar Yönü	$\pm 4^\circ$	0°-360°

3.2. Çalışma Alanı

Tez çalışması kapsamında TUDES’e ait Antalya mareograf istasyonundan 1 Ocak 1999 ile 23 Ekim 2017 tarihleri arasında ölçülmüş saatlik deniz seviyesi, hava sıcaklığı ve hava basıncı değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.3’te Antalya mareograf istasyonunun konumu ve istasyona ait görsel paylaşılmıştır.



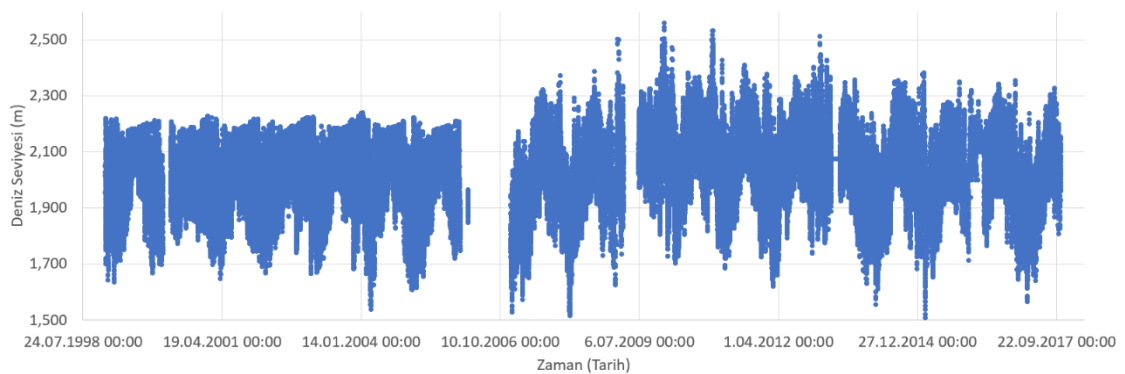
Şekil 3.3. Antalya mareograf istasyonu

Antalya mareograf istasyonu 38.83 kuzey enlemi ve 31.25 doğu boylamı üzerinde Antalya Limanının içerisinde yer almaktadır. 1999 ile 2017 yılları arasında yapılan ölçümlerde bazı boşluklar bulunmaktadır. Her bir veri türüne ait hesaplanan eksik veriler ve ölçüm tarihi aralıkları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

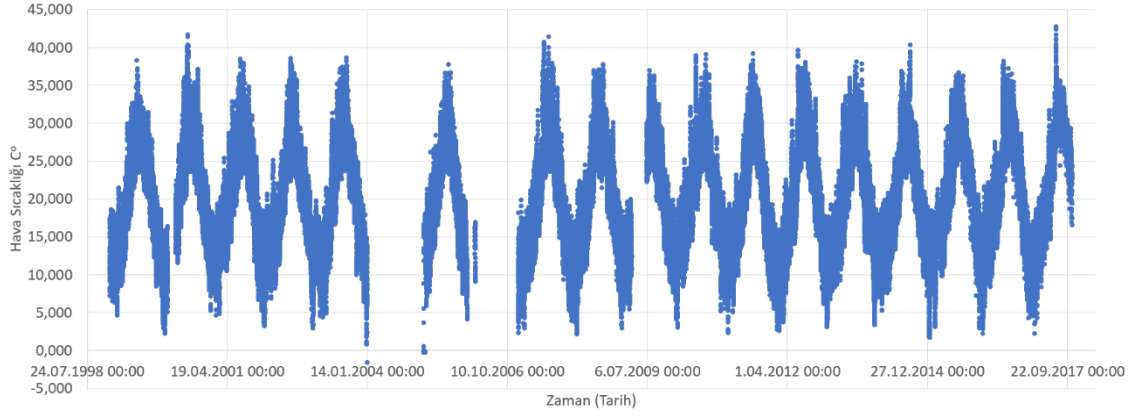
Çizelge 3.2. 1999-2017 yılları arasında ölçülen mareograf verilerine ait temel bilgiler

Veri Türü	İlk Ölçüm	Son Ölçüm	Toplam	Boşluk
Deniz Seviyesi (m)	01.01.1999	23.10.2017	144.875	388
Hava Sıcaklığı (C°)	01.01.1999	23.10.2017	135.860	9403
Hava Basıncı (mBar)	01.01.1999	23.10.2017	145.256	7

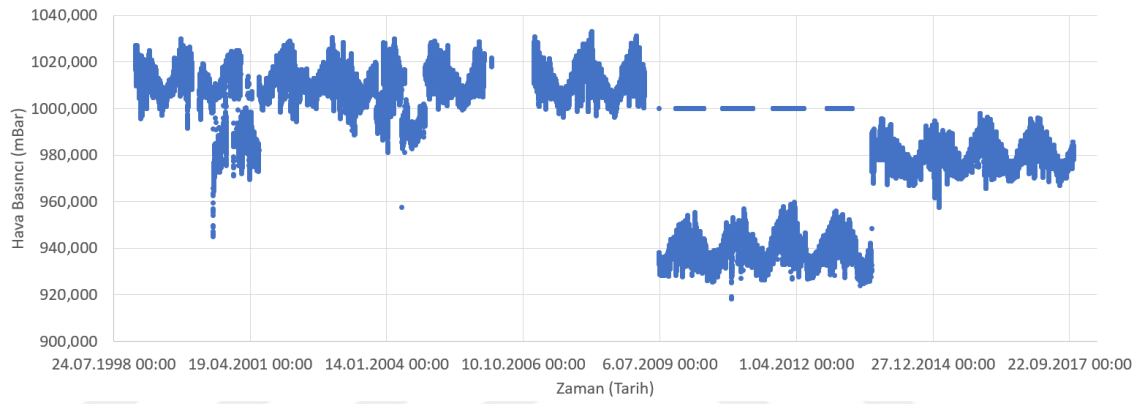
Tablo 2’den de görülebileceği üzere 1999 ile 2017 yılları arasında ölçülen deniz seviyesi verilerinde 388 eksik veri bulunmaktadır. Hava sıcaklığı verilerinde 9403 eksik bulunmaktadır. Bu kadar büyük sayıda eksik bulunmasının sebebi 11.01.2004 ile 17.02.2005 tarihleri arasında herhangi bir sıcaklık ölçümü yapılmamış/yapılamamış olmasıdır. Hava basıncı verileri sadece 7 eksik veri barındırmaktadır. Bütün veriler için ayrıca 26.12.2005 ile 20.02.2006 tarihleri arasında ölçüm yapılmamış/yapılamamıştır. Bu tarihler arasındaki yapılamayan ölçümler Çizelge 3.2’deki eksik veri hesaplamasına dahil edilmemiştir. Elde edilen ham ölçümlerden ortaya çıkan zaman serileri deniz seviyesi yüksekliği, hava sıcaklığı ve hava basıncı için sırasıyla Şekil 3.4-3.6 ‘da saçılım grafikleri ile gösterilmiştir.



Şekil 3.4. 1999-2017 arası ölçülen deniz seviyesi verileri



Şekil 3.5. 1999-2017 arası ölçülen hava sıcaklığı verileri



Şekil 3.6. 1999-2017 arası ölçülen hava basıncı verileri

Şekil 3.4-3.6’da görülebileceği gibi verilerle oluşturulan zaman serilerinin saçılım grafiklerinde bazı eksiklikler ve tutarsızlıklar bulunmaktadır. Bu nedenle verilerin doğru bir şekilde analiz edilerek geliştirilecek tahmin modeli için hangi yıllar arasındaki değerlerin kullanılacağına Bölüm 3.2.2 de karar verilmiştir.

3.2.1. Antalya mareograf verilerin istatistiksel analizi

Çalışma alanı olan Antalya Mareograf istasyonundan belirtilen tarihlerde elde edilen saatlik deniz seviyesi, hava sıcaklığı ve hava basıncı verilerindeki boşluklar doğrusal interpolasyon metodu ile tamamlanmış ve bu verilere ait istatistikler hem verilerin tamamını hem de mevsimlere göre özelliklerini kapsayacak şekilde Çizelge 3.3’te sunulmuştur. Doğrusal interpolasyona ait gerekli tanımlamalar Bölüm 3.3’te yapılmıştır.

Çizelge 3.3. 1999-2017 yılları arasında ölçülen mareograf verilerine ait betimleyici istatistikler

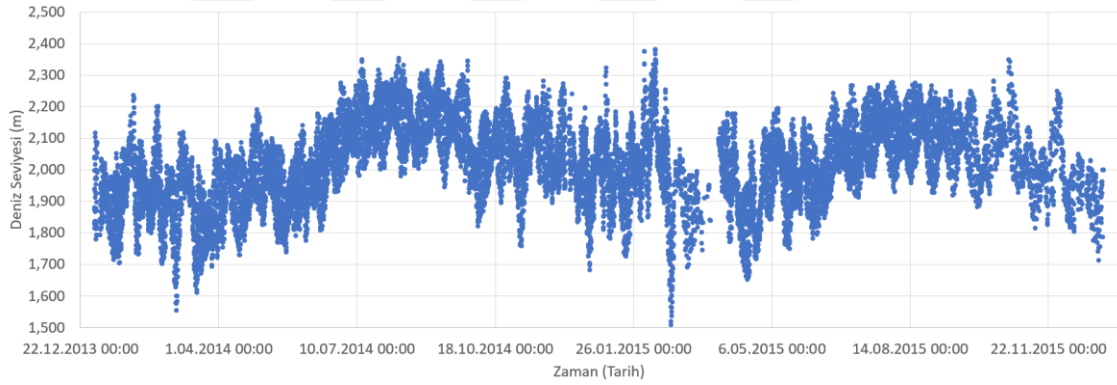
Parametreler	İstatistikler	Tamamı	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Deniz Seviyesi (m)	Ortalama	2.02	2.05	1.99	1.97	2.09
	Maksimum	2.56	2.37	2.56	2.43	2.41
	Minimum	1.49	1.68	1.49	1.54	1.77
	Standart Sapma	0.13	0.10	0.14	0.11	0.10
Hava Sıcaklığı (C°)	Ortalama	20.13	21.88	12.01	17.69	28.24
	Maksimum	42.73	37.87	22.76	33.56	42.73
	Minimum	-1.53	6.73	-1.53	-0.20	16.08
	Standard Sapma	7.20	4.96	3.37	4.11	3.52
Hava Basıncı (mBar)	Ortalama	988.78	987.72	1001.04	989.19	977.01
	Maksimum	1018.90	1029.80	1032.90	1029.90	1017.00
	Minimum	918.32	925.63	918.32	927.29	923.87
	Standart Sapma	28.88	30.54	22.19	26.12	30.70

Çizelge 3.3'e göre 1999 ile 2017 yılları arasında yapılan ölçümler mareograf istasyonunun bulunduğu noktada 2.02 m'lik bir ortalama deniz seviyesi yüksekliği olduğunu göstermektedir. Ölçüm yapılan tarihler arasında 1.49 m ve 2.56 m ile minimum ve maksimum deniz seviyesi yükseklikleri gözlemlenmiştir. Deniz seviyesinin ölçülen minimum ve maksimum değerleri ortalama deniz seviyesinden çıkarıldığında bölgede yaklaşık ± 0.50 m'lik bir sınır içerisinde deniz seviyesi değişimi meydana gelebileceği görülebilir. Bölgede ortalama hava sıcaklığı 20 C° olarak bulunmuştur. Antalya İli'nin ılıman bir iklim kuşağında yer almasından dolayı minimum hava sıcaklığı yaklaşık -2 C° civarındadır. 1999 ile 2017 arasında ölçülen maksimum sıcaklık ise yaklaşık 43 C° olarak bulunmuştur. Mareograf istasyonu çevresinde ölçülen ortalama hava basıncı ise 988.78 mBar olarak bulunmuştur. Bir diğer taraftan veriler mevsimsel olarak incelendiğinde, en yüksek ortalama deniz seviyesi yüksekliği 2.09 m ile yaz mevsiminde görülmektedir. Buna karşın en düşük ortalama

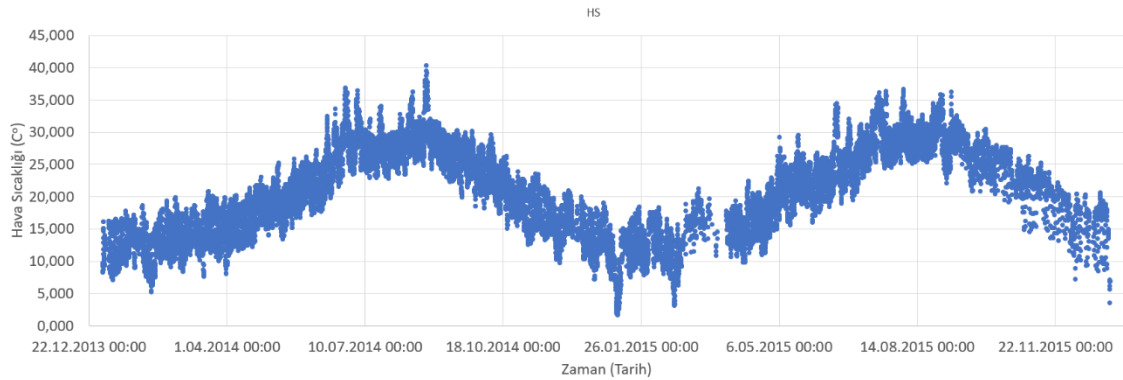
deniz seviyesi yüksekliği 1.97 m ile ilkbahar mevsiminde görülmektedir. En yüksek ortalama deniz seviyesinin olduğu yaz mevsiminde hava basıncının diğer mevsimlere göre en düşük ortalama değeri aldığı ve hava sıcaklığının diğer mevsimlere göre en yüksek değeri aldığı gözlemlenmiştir. Bu durum literatür taraması kapsamında Bölüm 2.1’de varılan sonuçlarla uyum göstermektedir.

3.2.2. Modellemede kullanılan veriler

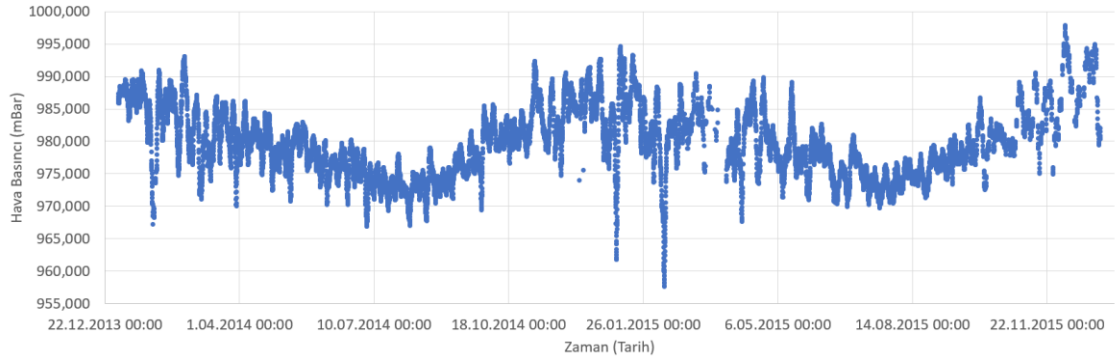
Çalışma kapsamında Antalya Limanında bulunan mareograf istasyonunda ölçülen deniz seviyesi yüksekliği, hava sıcaklığı ve hava basıncı değerleri model geliştirmek için analiz edilmiş ve kullanılmıştır. Bölüm 3.2.1’de bahsedildiği üzere 26.12.2005 ile 20.02.2006 arasında Antalya mareograf istasyonunda ölçüm yapılamamıştır. Geriye kalan zaman içerisinde hava basıncı ölçümlerinde sadece 7 adet eksik veri bulunmakta, hava sıcaklığı 11.01.2004 ile 17.02.2005 tarihleri dışında kalan zamanlarda ölçülmüştür. Dolayısıyla tahmin modeli geliştirmek için verilerin kullanılabilmesi için optimum bir veri aralığı seçilmelidir. Her bir yıla ait veriler teker teker incelenmiş ve bu inceleme sonucunda 01.01.2014 ile 31.12.2015 arasında yer alan iki yıllık bir veri aralığı çalışma kapsamında kullanılmak üzere seçilmiştir. Bunun temel sebebi belirtilen aralıklarda hem deniz seviyesi yüksekliklerinin hem de meteorolojik faktörlerin en az eksik veri olacak şekilde ölçülmüş olmasıdır. Şekil 3.7-3.9’da bu verilere ait saçılım grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7. 2014-2015 arası ölçülen deniz seviyesi verileri



Şekil 3.8. 2014-2015 arası ölçülen hava sıcaklığı verileri



Şekil 3.9. 2014-2015 arası ölçülen hava basıncı verileri

Deniz seviyesi yükseklikleri ve meteorolojik faktör ölçümleri bir araya getirilerek bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setine ait bir örnek Şekil 3.10’da görülmektedir.

	A	B	C	D
1	Tarih	Deniz Seviyesi	Hava Sıcaklığı	Hava Basıncı
2	1.01.2014 00:00	1,939	9,720	986,345
3	1.01.2014 01:00	1,874	9,560	986,198
4	1.01.2014 02:00	1,828	9,260	986,046
5	1.01.2014 03:00	1,815	8,530	985,911
6	1.01.2014 04:00	1,835	8,290	986,109
7	1.01.2014 05:00	1,880	8,490	986,422
8	1.01.2014 06:00	1,940	8,740	986,663
9	1.01.2014 07:00	1,998	9,340	986,980
10	1.01.2014 08:00	2,037	11,110	987,303
11	1.01.2014 09:00	2,041	13,610	987,126
12	1.01.2014 10:00	2,017	14,750	986,548
13	1.01.2014 11:00	1,971	15,070	986,240
14	1.01.2014 12:00	1,913	16,150	985,868
15	1.01.2014 13:00	1,867	16,090	985,859
16	1.01.2014 14:00	1,837	15,090	986,134
17	1.01.2014 15:00	1,836	14,640	986,253
18	1.01.2014 16:00	1,871	12,940	986,577
19	1.01.2014 17:00	1,931	11,800	987,035
20	1.01.2014 18:00	1,999	10,890	987,201
21	1.01.2014 19:00	2,065	11,000	987,357
22	1.01.2014 20:00	2,104	11,050	987,486
23	1.01.2014 21:00	2,117	11,110	987,630
24	1.01.2014 22:00	2,088	10,620	987,653
25	1.01.2014 23:00	2,036	10,170	987,569
26	2.01.2014 00:00	1,955	9,860	987,630
27	2.01.2014 01:00	1,879	9,700	987,790
28	2.01.2014 02:00	1,814	9,980	987,575
29	2.01.2014 03:00	1,780	10,240	987,364
30	2.01.2014 04:00	1,781	10,180	987,390

Şekil 3.10. Tez kapsamında oluşturulan veri setinden örnek

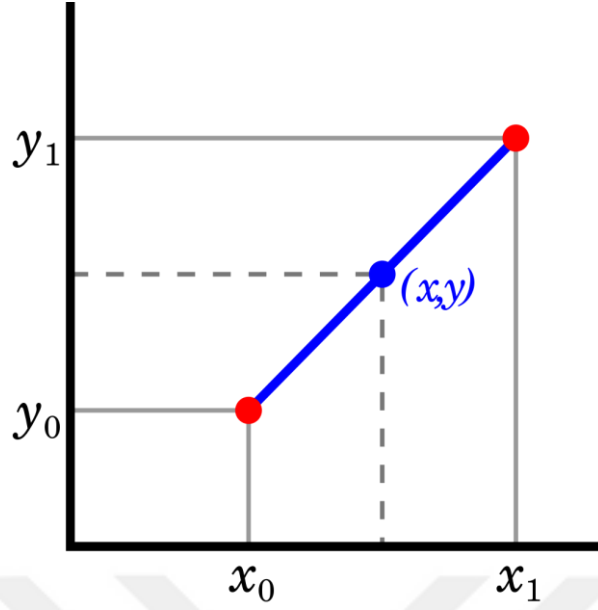
Oluşturulan veri setine ait bazı istatistiksel özellikler Çizelge 3.4’de görülmektedir.

Çizelge 3.4. 2014-2015 yılları arasında ölçülen mareograf verilerine ait istatistikler

Parametreler	İstatistikler	Tamamı	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Deniz Seviyesi (m)	Ortalama	2.02	2.05	1.99	1.97	2.09
	Maksimum	2.56	2.37	2.56	2.43	2.41
	Minimum	1.49	1.68	1.49	1.54	1.77
	Standart Sapma	0.13	0.10	0.14	0.11	0.10
Hava Sıcaklığı (C°)	Ortalama	20.13	21.88	12.01	17.69	28.24
	Maksimum	42.73	37.87	22.76	33.56	42.73
	Minimum	-1.53	6.73	-1.53	-0.20	16.08
	Standart Sapma	7.20	4.96	3.37	4.11	3.52
Hava Basıncı (mBar)	Ortalama	988.78	987.72	1001.04	989.19	977.01
	Maksimum	1018.90	1029.80	1032.90	1029.90	1017.00
	Minimum	918.32	925.63	918.32	927.29	923.87
	Standart Sapma	28.88	30.54	22.19	26.12	30.70

3.3. Doğrusal İnterpolasyon

Kıyı mühendisliği ve hidroloji tahmin modellerinde sıklıkla çalışma bölgesinden elde edilen verilerin sürekliliği önem arz etmektedir. Bu nedenle verilerin çalışmada kullanılacak hale getirilmesi için bazı veri madenciliği metotlarından faydalanılmaktadır. Bu verilerde genellikle bakım/onarım çalışması veya geçici süreli okuma hataları nedeniyle eksiklikler ve boşluklar meydana gelmektedir. Bu tez kapsamında Antalya mareograf istasyonundan edinilen verilerdeki eksikleri tamamlamak adına doğrusal interpolasyon kullanılmıştır. Bu metot bilinen veri noktalarını temsil edecek bir doğru elde ederek bu doğru denklemi ile eksik veri kısımlarının belirlendiği doğrusal bir yöntemdir (bknz. Şekil 3.11)



Şekil 3.11. Doğrusal interpolasyon

Şekilde koordinatları (x_0, y_0) ve (x_1, y_1) olarak bilinen iki nokta arasındaki düz çizgi doğrusal interpolant olarak adlandırılır ve (x_0, x_1) aralığındaki bir x değeri, düz çizgi üzerindeki y değeri olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'in y değerine göre düzenlenmesi durumunda aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$y = y_0 + (x - x_0) \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (3.2)$$

3.4. Korelasyon Analizleri

Bir veya birden fazla zaman serisinin farklı zaman aralıklarına ait değerleri arasındaki korelasyon tahmin modellerinin geliştirilmesinde önem arz etmektedir. Çünkü serinin kendisi veya başka seriler ile zamana bağlı olan ilişkisini analiz etmek modelleme çalışmalarında hangi parametrelerin seçilmesinin model performansına katkı sağlayacağını gösterecektir. Bu tez kapsamında geliştirilen deniz seviyesi değişimi tahmin modelleri için iki farklı korelasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlardan ilki oto korelasyon (ACF) fonksiyonu ve ikincisi çapraz korelasyon (CCF) fonksiyonudur.

Oto korelasyon bir zaman serisinin farklı zamanlardaki değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Örneğin şu anda ölçülen deniz seviyesi yüksekliğinin 1 saat, 2 saat ve n saat önce ölçülen deniz seviyesi yükseklikleri ile nasıl ilişkili olduğunu açıklar. Başka bir deyişle, zaman serisinin değerleri arasındaki zamansal değişimin bir fonksiyonudur. Bir zaman serisinin değerleri arasındaki ilişki ve korelasyonun incelenmesi için oto korelasyon fonksiyonları kullanılır. Bu fonksiyonlar zaman serisinin geçmiş değerleri

ile olan ilişkisini açığa çıkarır. Oto korelasyon aşağıda verilen matematiksel formül ile hesaplanır.

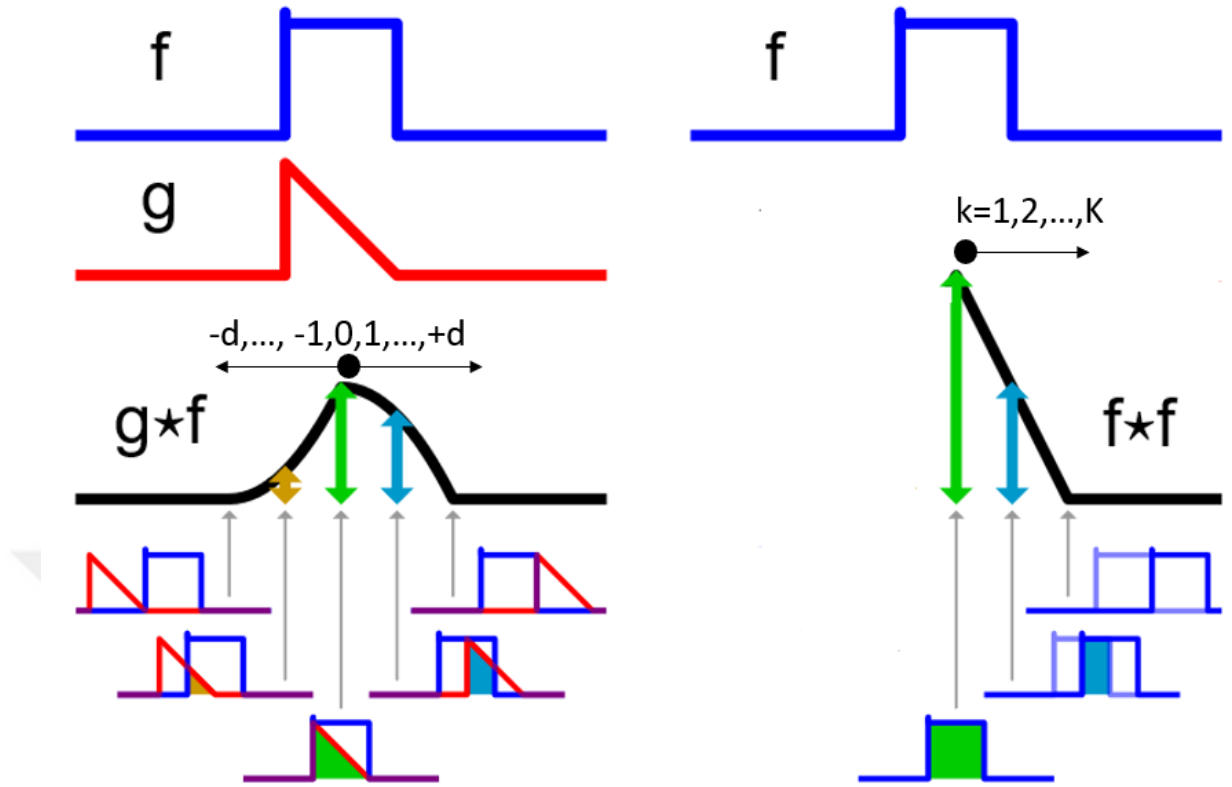
$$autocorr(k) = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - x_{ort})(x_{i-k} - x_{ort})}{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{ort})^2} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, K \quad (3.3)$$

Burada K zaman serisinin aralık sayısı, x_i zaman serisinin i zamandaki değerini, x_{ort} zaman serisindeki değerlerin ortalamasını, autocorr ise oto korelasyon katsayısını gösterir. Oto korelasyon katasıy 0 ile +1 arasında değişen değerler almaktadır. “0” veriler arasında korelasyon olmadığını belirtirken, “+1” oldukça güçlü bir korelasyon olduğunu belirtir.

Çapraz korelasyon ise iki farklı zaman serisinin değerlerinin birbirileri ile olan ilişki ve korelasyonunu incelemekte kullanılmaktadır. Örneğin t zamanında ölçülen deniz seviyesi yüksekliğinin t-1, t-2, ..., t-n gibi geçmiş zamanda veya t+1, t+2, ..., t+n gibi ileriye yönelik zamanda ölçülen hava sıcaklığı değerleri ile ilişkisini açıklar. İki zaman serisinin geçmiş ve ileriye yönelik değerleri arasındaki ilişki çapraz korelasyon vasıtasıyla ortaya çıkarılabilir. Çapraz korelasyon aşağıda verilen formül ile hesaplanır.

$$crosscorr(d) = \frac{\sum_{i=1}^{n-d} (x_i - x_{ort})(y_{i-d} - y_{ort})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-d} (x_i - x_{ort})^2 \sum_{i=1}^{n-d} (y_{i-d} - y_{ort})^2}} \quad i = -d, \dots, -1, 0, 1, \dots, d \quad (3.4)$$

Burada x_i karşılaştırmadaki ilk zaman serisinin i zamandaki değerini, y_i karşılaştırmadaki ikinci zaman serisinin i zamandaki değerini x_{ort} ve y_{ort} ilgili zaman serilerinin ortalama değerlerini, d ise seriler arasındaki öteleme veya gecikme değerini ifade etmektedir. Çapraz korelasyon katsayısı crosscorr -1 ile +1 arasında değişen değerler almaktadır. “0” zaman serilerinin arasında korelasyon olmadığını belirtirken, “±1” oldukça güçlü bir korelasyon olduğunu belirtir. Çapraz korelasyonda “-” negatif korelasyon, “+” pozitif korelasyon anlamına gelmektedir. Negatif korelasyon ilk zaman serisi değerlerinde artış olduğunda, ikinci zaman serisi değerlerinde azalış olacağını ve benzer şekilde pozitif korelasyon ilk zaman serisi değerlerinde artış olduğunda bunun ikinci zaman serisi değerlerinde de artış göstereceğini belirtir.



Şekil 3.12. Oto korelasyon ve kısmi korelasyon

Şekil 3.12’de sol tarafta çapraz korelasyon, sağ tarafta ise oto korelasyon tanımları şematik olarak görülmektedir. Zamana bağlı bir f serisinin kendi ile zamana bağlı bir f serisi olan ilişkisi $k=1$ ’den $k=K$ ya kadar ötelemeli olarak serinin kaydırılması ile bulunurken, çapraz korelasyonda zamana bağlı iki seri olan f ve g ’den f sabit tutulur iken g ’nin $-d$ ’den $+d$ ’ye kadar olan aralıklar da ötelenmesi ile aralarındaki korelasyon ilişkisi bulunur.

3.5. Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR)

Çoklu doğrusal regresyon bir bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişken ile olan ilişkisini açıklamakta ve tahmin etmekte kullanılır. Örneğin deniz seviyesi değişimleri deniz seviyesi değişimlerinin gecikmeli değerlerine bağlı olabildiği gibi aynı zamanda hava sıcaklığı, hava basıncı vb. meteorolojik etkilere de bağlı olarak değişebilmektedir. Bu durumda bir bağımlı değişken olan deniz seviyesi değişimlerini birden fazla değişken ile tahmin etmek ve değişimi araştırmak için çoklu doğrusal regresyon kullanılabilir. Çoklu doğrusal regresyon aşağıdaki matematiksel fonksiyon ile ifade edilebilir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (3.5)$$

Burada y bağımlı değişkenin değerini, X değerleri bağımsız değişken değerlerini, β_0 , kesişim noktası parametresi, beta parametreleri ise regresyon katsayılarını ve ε hata terimini temsil etmektedir.

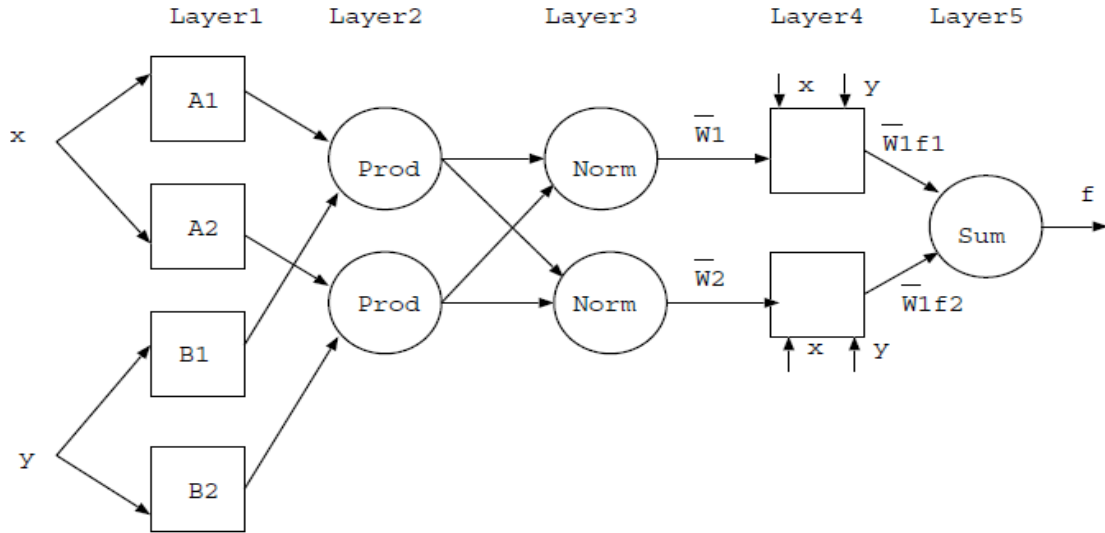
3.6. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

ANFIS mimarisi ve öğrenme algoritması Jang (1993) tarafından geliştirilmiştir. ANFIS yapay sinir ağlarında (ANN) kullanılan optimizasyon ve öğrenme algoritmasının bulanık mantığın (FL) üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak oluşturulan IF-THEN algoritması ile birleştirilmiş hali olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada Takagi-Sugeno tabanlı ANFIS mimarisi kullanılmıştır. İki girdi parametresi ve bir çıktı parametresi için bu mimari aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\text{Kural 1: if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1, \text{ then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (3.6)$$

$$\text{Kural 2: if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2, \text{ then } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (3.7)$$

Burada A_i ve B_i ($i=1,2$) girdi parametresi olan x ve y ye ait üyelik fonksiyonlarını, p_i , q_i , r_i doğrusal parametreleri ve f_i ise çıktı fonksiyonu anlamına gelmektedir. Takagi-Sugeno ANFIS mimarisi temel olarak aşağıda belirtilen beş katmandan oluşmaktadır (bkz Şekil 3.13).



Şekil 3.13. ANFIS mimarisi (Tur ve Balas 2010)

Bu katmanlar:

1. Katman: her düğüm için üyelik fonksiyonları yardımı ile bulanık kümeye aitlik derecesini belirten üyelik dereceleri hesaplanır. Bu dereceler önem derecesine göre en çok 1 en az 0 değeri alır.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \text{ for } i = 1, 2 \quad (3.7)$$

Burada $O_{1,i}$ i. düğümün çıktısı, A_i dilsel değişkeni, x i. düğümün girdisini ifade eder. Kullanılacak üyelik fonksiyonu üçgen, çan şekli ve gauss olarak seçilebilir. Her bir üyelik fonksiyonu farklı üyelik derecelerine sahip olabilir. Bu çalışmada gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\mu_{A_i}(x) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.8)$$

Burada c ortalamayı ve σ standart sapmayı ifade eder. Bu parametreler öncül parametreler olarak da adlandırılır.

2. Katman: Birbirini izleyen kuralların gerçekleşme derecelerinin “ve” mantıksal işlemi ile çarpımlarının gerçekleştiği katmandır.

$$O_{2,i} = \omega_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(x) \text{ for } i = 1,2 \quad (3.9)$$

Katman 3: Her bir düğümdeki kuralın gerçekleşme derecesinin, tüm kuralların gerçekleşme derecelerine oranının hesaplandığı katmandır.

$$O_{3,i} = \varpi_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2} \text{ for } i = 1,2 \quad (3.10)$$

Katman 4: Her kuralın toplam çıktı içerisindeki katkısının hesaplandığı katmandır.

$$O_{4,i} = \varpi_i f_i = \varpi_i (p_x + q_i y + r_i) \quad (3.11)$$

Burada ϖ_i tüm kuralların gerçekleşme derecelerinin oranını, p_i , q_i , r_i doğrusal parametreleri ifade eder. (MATLAB 2018).

Katman 5: toplam çıkışın hesaplandığı katmandır. Bu katmanda bulanık kurallar durulaştırılır ve tek bir sayı üretilir.

$$O_{5,i} = \sum_i \varpi_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i} \quad (3.12)$$

Burada amaç 1.katman ve 4. katmanda belirtilen parametrelerin en düşük hata oranı ile belirlenmesidir. Hata ölçümleri ANFIS’e sunulan mevcut veriler ile ANFIS tarafından hesaplanan tahmin verilerinin farkından yola çıkılarak hesaplanır. Bu hesaplamada temel alınan performans ölçümü hataların karelerinin karekökü (RMSE) hatasıdır.

3.6. Model Performans Ölçümleri

Geliştirilen bir tahmin modelinden alınan sonuçların ne kadar güvenilir ve doğru olduğu çeşitli istatistik parametreler ile test edilebilir. Fakat model sonuçlarının değerlendirilmesinde hangi istatistiksel parametrelerin daha güvenilir olduğu hakkında kesin bir kanı yoktur. Bu nedenle model performans analizi için birbirinden farklı kriterlerde parametrelerin seçilmesi araştırmacılar tarafından önerilmiştir (Legates ve McCabe 1999; Wagener 2003; Williems 2019; Ritter ve Munoz-Carpena 2013). Bu tez kapsamında geliştirilen modellerin performansını ölçmek için kıyı mühendisliği ve hidroloji alanında sıklıkla kullanılan NSE ve RMSE parametrelerinden faydalanılmıştır. Bölüm 2.2’de yer alan literatür taraması sonuçları da bu istatistiksel parametrelerin deniz seviyesi tahmin modellemelerinde kullanımının uygun olduğunu göstermiştir. Aşağıda sırasıyla bu metriklere ait denklemler verilmiştir.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (h_i^{tah} - h_i^{\delta l\zeta})^2}{\sum_{i=1}^N (h_i^{\delta l\zeta} - h_{ort}^{\delta l\zeta})^2} \quad (3.13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (h_i^{tah} - h_i^{\delta l\zeta})^2}{N}} \quad (3.14)$$

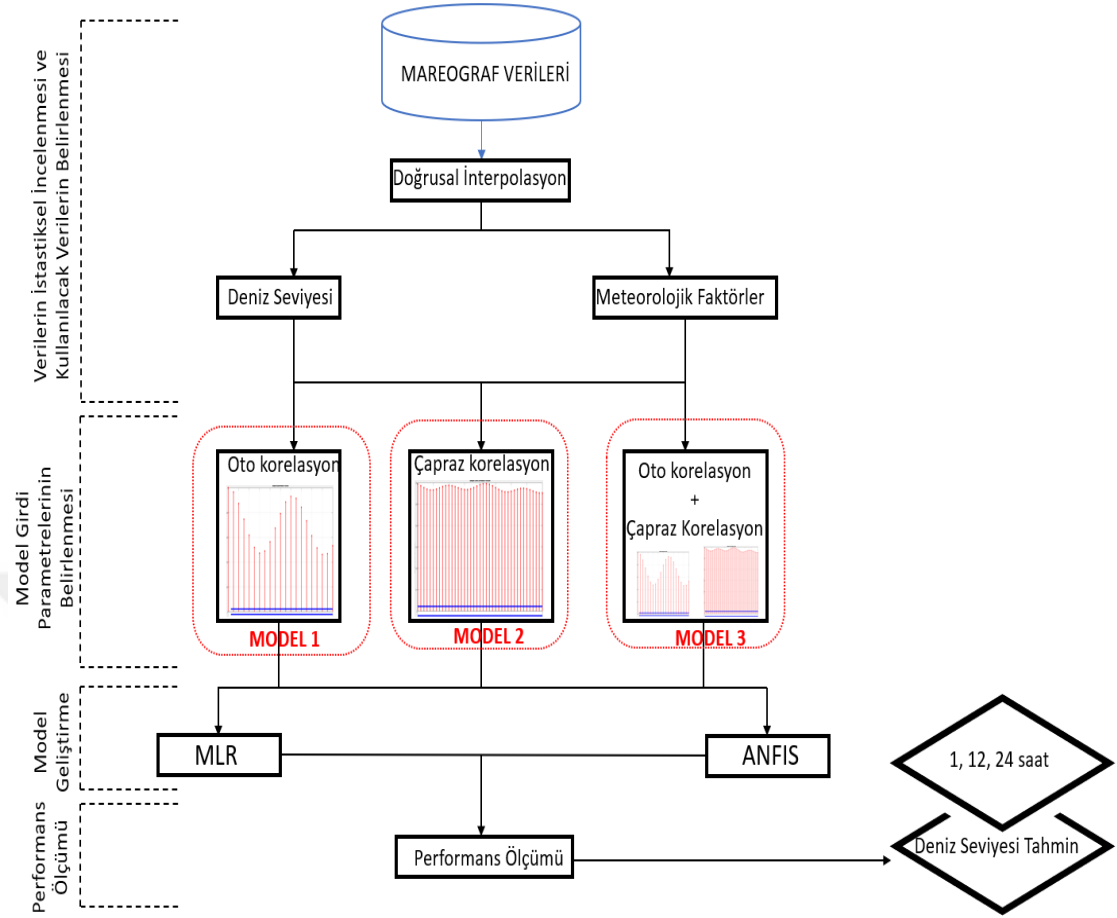
Burada $h_i^{\delta l\zeta}$, mareograf istasyonundan ölçülen gerçek değerleri, h_i^{tah} , modeller tarafından bulunan tahmin değerlerini, N toplam gözlem sayısını ifade eder. NSE $-\infty$ ile 1 arasında değerler alabilir. NSE parametresinin 1 olması tahmin edilen ve ölçülen değerlerin birbiri ile tam olarak örtüştüğünü gösterir. Bu parametreye ait değer 0 olması geliştirilen model tahminin ölçülen değerlerin ortalaması ile tam örtüştüğünü gösterir. $-\infty$ yaklaştıkça model performansı düşmektedir. RMSE tahmin modelleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve hatanın büyüklüğünü ölçen kuadratik bir değerdir. 0 ile ∞ arasında değerler alabilir. RMSE değeri sıfıra yaklaştıkça modelde hatanın azaldığı ve 0 olması durumunda hiç hata olmadığı anlamına gelmektedir.

3.7. Önerilen Modeller

Bu tez kapsamında deniz seviyesi değişimlerinin geleceğe yönelik tahmini için üç farklı senaryo türetilmiştir. Bunlardan ilki (senaryo-1) deniz seviyesinin 1, 12 ve 24 saat sonraki değerlerini tahmin etmek için geçmiş deniz seviyesi değerlerinin kullanıldığı senaryodur. İkincisi (senaryo-2) deniz seviyesinin 1, 12 ve 24 saat sonraki değerlerini tahmin etmek için geçmiş meteorolojik faktör değerlerinin kullanıldığı senaryodur. Üçüncüsü (senaryo-3) deniz seviyesinin 1, 12 ve 24 saat sonraki değerlerini tahmin etmek için geçmiş deniz seviyesi ölçümlerinin hem de meteorolojik faktörlerin geçmiş değerlerinin kullanıldığı senaryodur. Geliştirilen bu üç model de aynı aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla:

1. Verilerin istatistiksel incelemesi
2. Kullanılacak veri setinin belirlenmesi
3. Model parametrelerinin belirlenmesi
4. MLR ve ANFIS modellerinin geliştirilmesi
5. Model performansının ölçülmesidir.

Geliştirilen modellerde kullanılan bu aşamalar aşağıda Şekil 3.14’de akış şeması olarak verilmiştir.



Şekil 3.14. Deniz seviyesi tahmin modellemesi için akış şeması

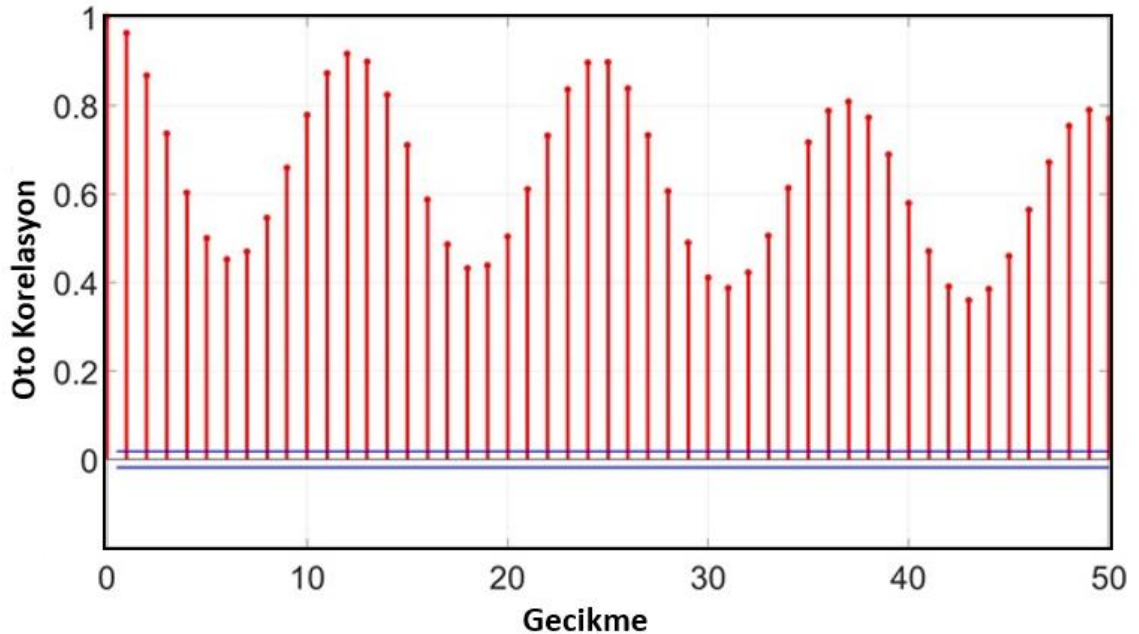
Bu şemaya göre öncelikle TUDES tarafından işletilen Antalya Mareograf istasyonu saatlik ölçüm verileri elde edilmiştir. Verilerdeki boşlukları doldurmak amacıyla doğrusal interpolasyon kullanılmıştır. Ardından veriler deniz seviyesi ve meteorolojik faktör verileri olarak ikiye ayrılmıştır. Modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere elde edilen verilerden uygun bir aralık veri seti olarak seçilmiştir ve sonrasında üç adet senaryo kullanılmasına karar verilmiştir. Bu senaryolardan geliştirilecek modellerin girdi parametrelerini belirlemek amacıyla ACF ve CCF metotlarından yararlanılmıştır. Ardından veriler %80’i eğitim seti ve %20’si test seti olarak ikiye ayrılmıştır. Belirlenen girdi parametreleri ile her bir senaryo MLR ve ANFIS kullanılarak modellenmiştir. Geçmiş zaman serisi verileri kullanılarak her bir modelde 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi değerleri tahmin edilmiştir. Son olarak tahmin edilen değerler mareograf istasyonundan ölçülen değerler ile iki farklı istatistiksel performans ölçüm parametresi kullanılarak model doğruluğu ve güvenilirliği analiz edilmiştir.

4. BULGULAR

Bu tez kapsamında Antalya Limanı'nda bulunan bir mareograf istasyonunda 1999 ile 2017 yılları arasında ölçülmüş olan deniz seviyesi yükseklikleri ve bölgeye ait çeşitli meteorolojik faktörler elde edilmiştir. Bu veriler üzerinde yapılan incelemelerde verilerde bazı eksikler olduğunu anlaşılmıştır. Bu eksik veriler doğrusal interpolasyon ile tamamlanmıştır. Ancak bazı verilerde bir aydan fazla süreli eksiklikler olduğu belirlenmiştir. Bu eksikler doğrusal interpolasyon ile doldurulamayacak kadar uzun aralıklardır. Dolayısıyla her bir yıla ait veriler hem saçılım grafikleri vasıtasıyla hem de istatistiksel olarak incelendiğinde 2014 ile 2015 yılları arasındaki verilerin oluşturulan modellerde kullanılması yoluna gidilmiştir. Sonuç olarak 01.01.2014 saat 00:00 ile 31.12.2015 saat 14:00 arasındaki deniz seviyesi, hava sıcaklığı ve hava basıncı verilerinin çalışma kapsamında modelleme verisi olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Toplamda 2 yıllık bir süreci kapsayan yaklaşık 15.000 veri modelleme çalışmasında kullanılmıştır. Bunlar yüzdesel olarak %80'i eğitim ve %20'si test seti olacak şekilde ayrılmış ve geliştirilen modellerde bu şekilde kullanılmıştır.

4.1. Senaryo-1 Sonuçları

Senaryo-1 deniz seviyesinin sadece geçmiş deniz seviyesi değerleri kullanılarak tahmin edildiği bir yaklaşımdır. Bu amaçla girdi parametrelerinin belirlenmesi için öncelikle deniz seviyesi zaman serileri arasındaki oto korelasyon tespit edilmiştir (bkz Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Deniz seviyesi için oto korelasyon fonksiyonları

Şekil 4.1'de gösterilen oto korelasyon fonksiyonun grafiğine göre t zamandaki deniz seviyesinin en çok t-1, t-12, t-13 ve t-25'teki deniz seviyesi değerlerinden etkilendiği görülmektedir. Bu nedenle bu dört geçmiş deniz seviyesi değeri geleceğe yönelik deniz seviyesi değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Böylece

geliştirilecek modeller için girdi parametreleri aşağıdaki fonksiyon yardımı ile gösterilebilir.

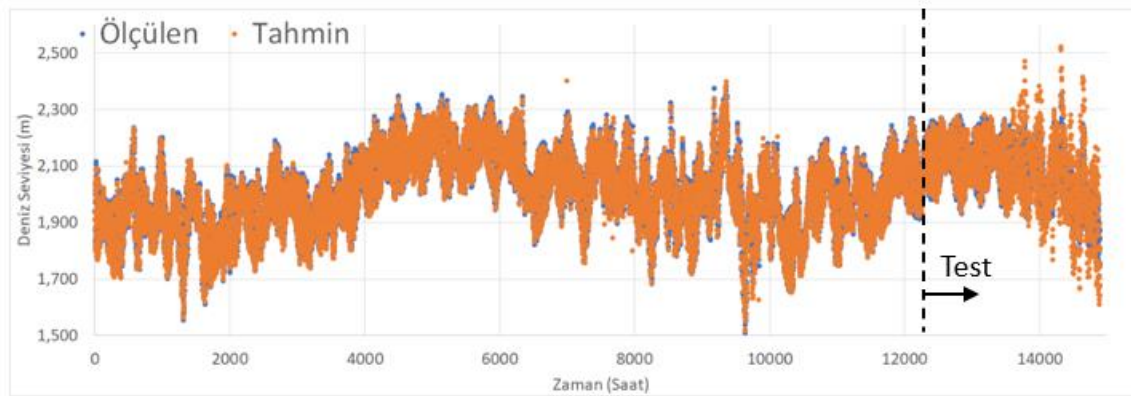
$$h(t_{\Delta}) = f(h(t-1), h(t-12), h(t-13), h(t-25)) \quad (4.1)$$

Burada $h(t)$ t zamandaki deniz seviyesi değerini, Δ ise sırasıyla 1, 12 ve 24-saat olarak ötelemeyi göstermektedir. Denklem 4.1’de belirtilen matematiksel fonksiyona bağlı olarak 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi değerlerin tahmin edilmesi amacıyla toplam üçer adet farklı MLR ve ANFIS modeli geliştirilmiştir. Daha önce bahsedildiği üzere bütün bu modellerde veri setinin %80’i eğitim ve %20’si test amacıyla kullanılmıştır. Eğitim seti olarak belirlenen veri seti MLR ile analiz edilerek regresyon denklemleri bulunmuştur. Bu denklemler Çizelge 4.1’de her bir tahmin aralığı için sunulmuştur.

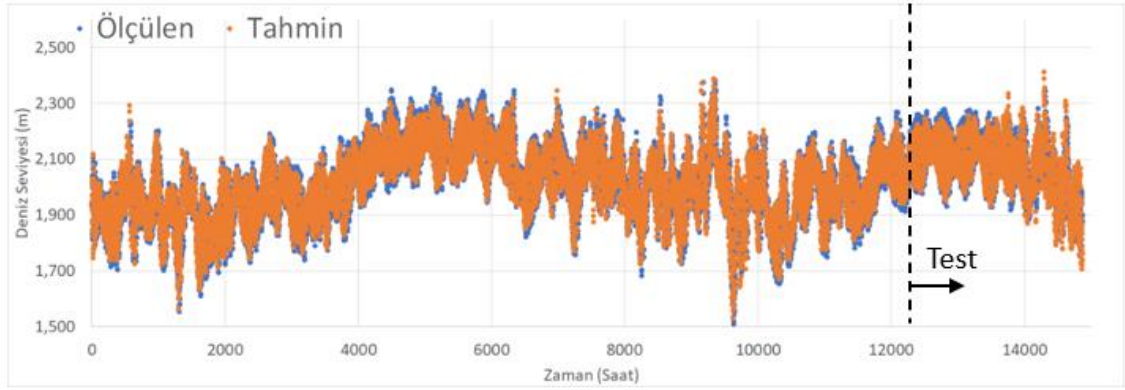
Çizelge 4.1. Senaryo-1 için eğitim setinden elde edilen regresyon denklemleri

Tahmin	Çoklu Regresyon Denklemi
$h(t+1)$	$-0.019+(0.906*h(t-1))+(0.826*h(t-12))-(0.784*h(t-13))+(0.061*h(t-25))$
$h(t+12)$	$0.113+(0.652*h(t-1))+(0.624*h(t-12))+(0.053*h(t-13))-(0.385*h(t-25))$
$h(t+24)$	$0.202+(1.033*h(t-1))+(0.294*h(t-12))-(0.343*h(t-13))-(0.085*h(t-25))$

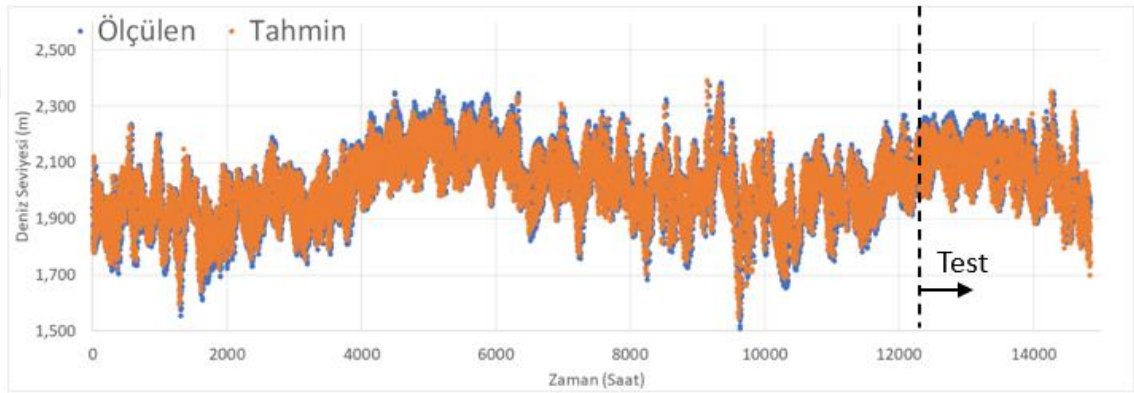
Çizelge 4.1’de sunulan denklemler daha sonra test verilerine uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.2-4.4’te sırasıyla MLR kullanılarak 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi değerlerinin tahmin sonuçlarını gösteren zaman serileri saçılım grafikleri ile gösterilmiştir. Bu grafiklerde kesikli çizgiye kadar olan kısım eğitim seti serisini ve kesikli çizgiden sonra devam eden kısım test seti serisini göstermektedir.



Şekil 4.2. MLR ile senaryo-1 için 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

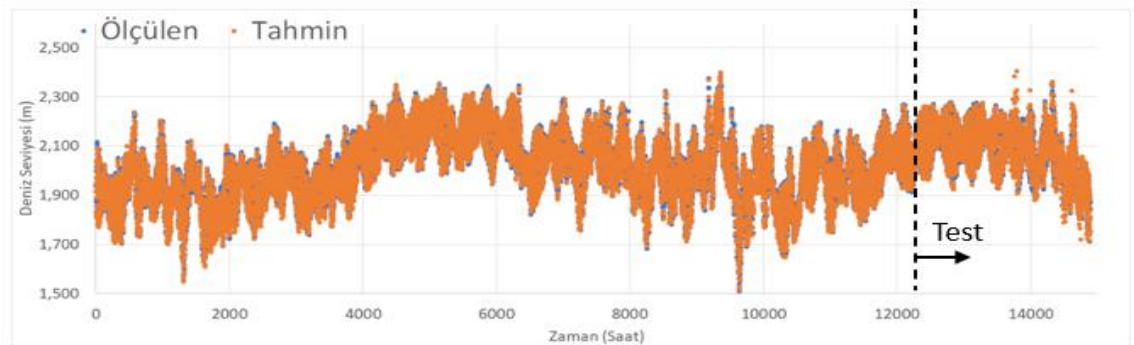


Şekil 4.3. MLR ile senaryo-1 için 12 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

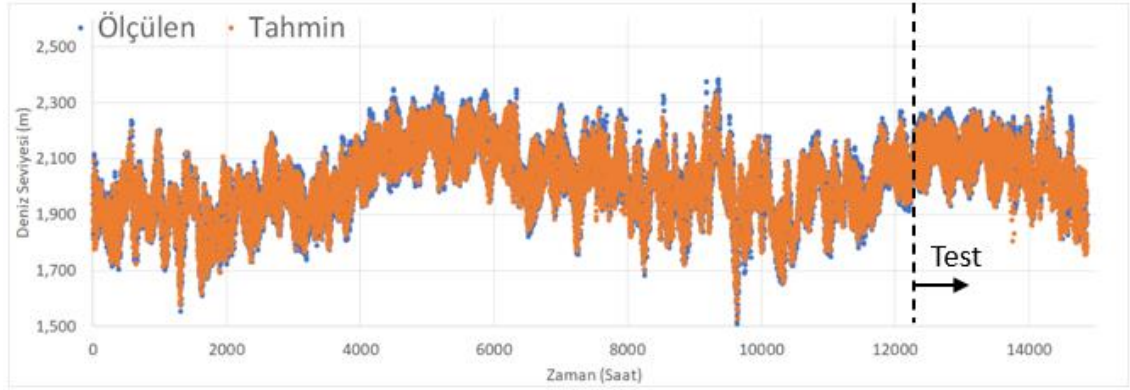


Şekil 4.4. MLR ile senaryo-1 için 24 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

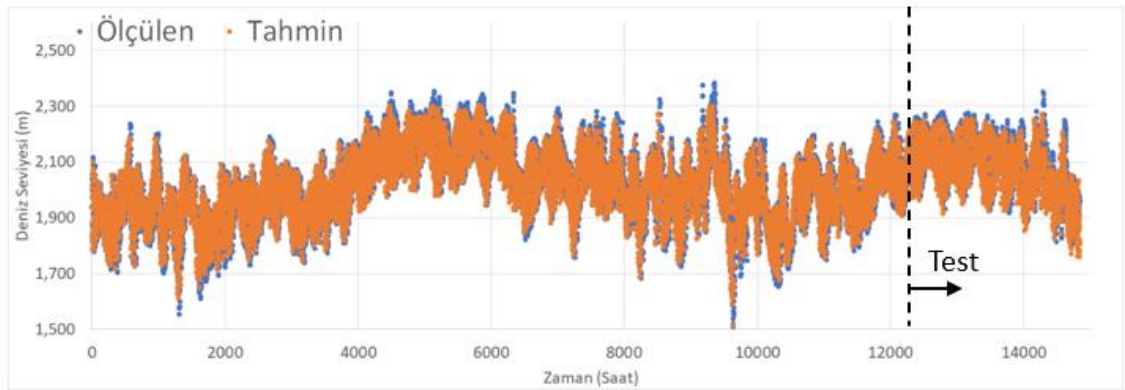
Yukarıda sonuçları gösterilen çoklu doğrusal regresyon modellerinin yanı sıra üç farklı ANFIS modeli de geliştirilerek 1, 12 ve 24 saat sonra meydana gelecek deniz seviyesi yükseklikleri tahmin edilmiştir. Bu amaçla geliştirilen ANFIS modellerinin hepsinde gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir girdi parametresinin üyelik fonksiyonu sayısı iki olarak atanmıştır. Öğrenme algoritması olarak hibrit algoritma seçilmiştir. ANFIS ile geliştirilen üç modele ait deniz seviyesi zaman serisi sonuçları Şekil 4.5-4.7'de saçılım grafikleri vasıtasıyla sunulmuştur. Bu grafiklerde kesikli çizgiye kadar olan kısım eğitim seti serisini ve kesikli çizgiden sonra devam eden kısım test seti serisini göstermektedir.



Şekil 4.5. ANFIS ile senaryo-1 için 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmini



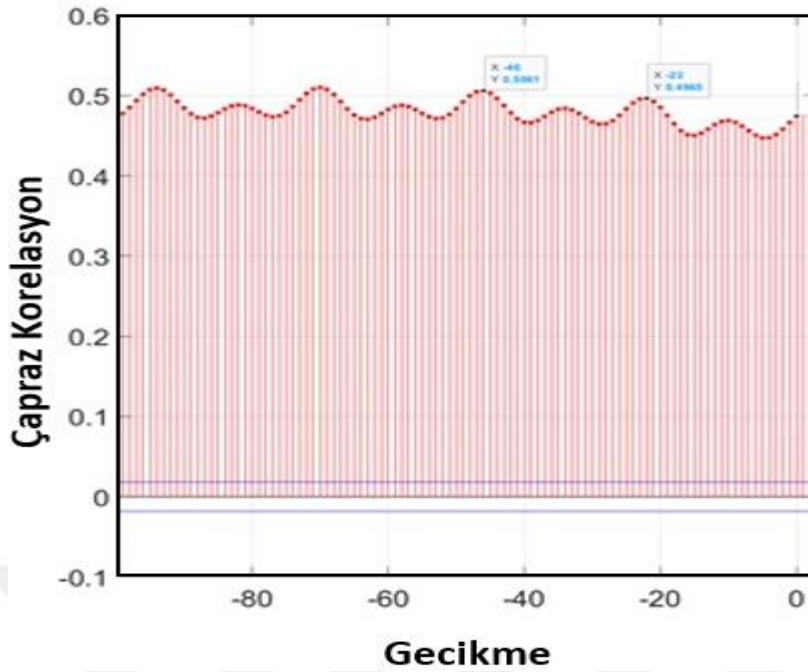
Şekil 4.6. ANFIS ile senaryo-1 için 12 saat sonraki deniz seviyesi tahmini



Şekil 4.7. ANFIS ile senaryo-1 için 24 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

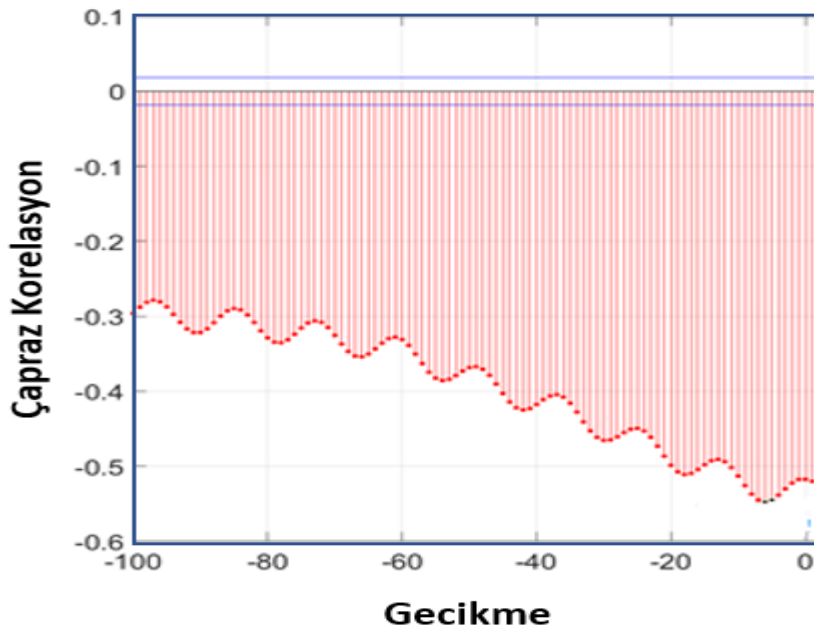
4.2. Senaryo-2 Sonuçları

Senaryo 2 deniz seviyesinin 1, 12 ve 24 saat sonraki değerlerinin tahmini için geçmişe yönelik meteorolojik faktörlerin değerlerinin kullanılarak tahmin edildiği bir yaklaşımdır. Bu amaçla hava sıcaklığı ve hava basıncı gibi meteorolojik faktörler ile deniz seviyesi değerleri arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması için çapraz korelasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Aşağıda söz konusu faktörler için bulunan çapraz korelasyon fonksiyonu grafikleri sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Hava sıcaklığı için çapraz korelasyon fonksiyonları

Deniz seviyesi ve hava sıcaklığı arasındaki ilişkiyi açıklamak için bulunan çapraz korelasyon fonksiyonuna göre yaklaşık 24 saatlik periyotlarda aralarındaki korelasyon bağlantısının pik değerlere ulaştığı görülebilir. Fakat bu değerler $R=0.50$ civarındadır ve orta seviyede bir korelasyon bağlantısını göstermektedir. Deniz seviyesinin meteorolojik faktörler kullanılarak tahmin edilmesi için hava sıcaklığı bir girdi parametresi olarak seçilmiştir.



Şekil 4.9. Hava basıncı için çapraz korelasyon fonksiyonları

Hava sıcaklığına benzer şekilde deniz seviyesi ve hava basıncı arasındaki korelasyon ilişkisi $R=0.55$ civarında bulunmuştur. Bu değer zamana bağlı olarak gittikçe azalmaktadır. En yüksek korelasyon t şimdiki zamanı ifade etmek üzere 5 saat önceki ($t-5$) ve 6 saat önceki ($t-6$) hava basıncı değerlerinde gözlemlenmiştir. Bu nedenle hava basıncı da deniz seviyesi modellemesinde bir girdi parametresi olarak seçilmiştir. Sonuç olarak senaryo-2 için geliştirilecek modellerde meteorolojik faktör olarak sadece hava sıcaklığı ve hava basıncının geçmiş değerleri seçilmiştir. Geliştirilecek modeller için girdi parametreleri aşağıdaki matematiksel fonksiyon ile ifade edilebilir.

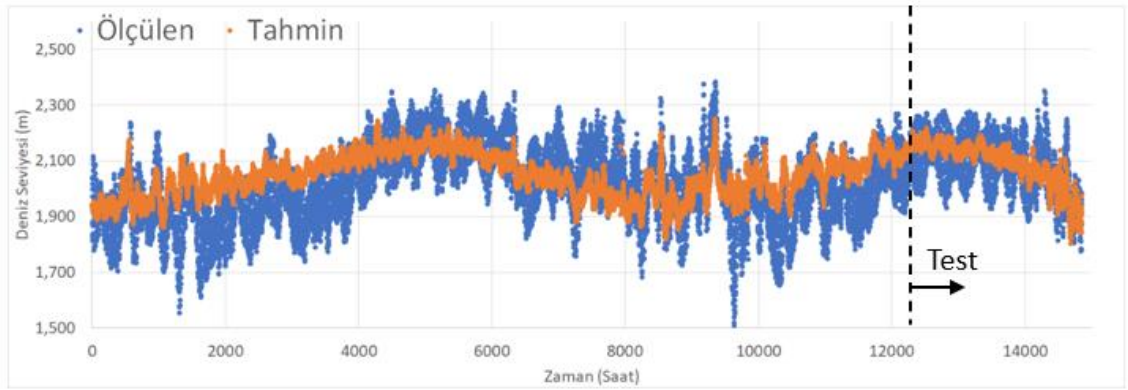
$$h(t_{\Delta}) = f(T(t-22), T(t-46), P(t-5), P(t-6)) \quad (4.2)$$

Burada $h(t)$ t zamandaki deniz seviyesi değerini, Δ ise sırasıyla 1, 12 ve 24-saat olarak ötelemeyi göstermektedir. $T(t)$ t zamandaki hava sıcaklığı değerini ve $P(t)$ t zamandaki hava basıncı değerini göstermektedir. Denklem 4.2’de belirtilen matematiksel fonksiyona bağlı olarak 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi değerlerinin geçmiş meteorolojik faktör değerlerini kullanarak tahmin edilmesi amacıyla toplam üç farklı MLR ve üç farklı ANFIS modeli geliştirilmiştir. Daha önce bahsedildiği üzere bütün bu modellerde veri setinin %80’i eğitim ve %20’si test amacıyla kullanılmıştır. Eğitim seti olarak belirlenen veri seti çoklu doğrusal regresyon ile analiz edilmiştir. Bu uygulama neticesinde elde edilen regresyon denklemleri Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

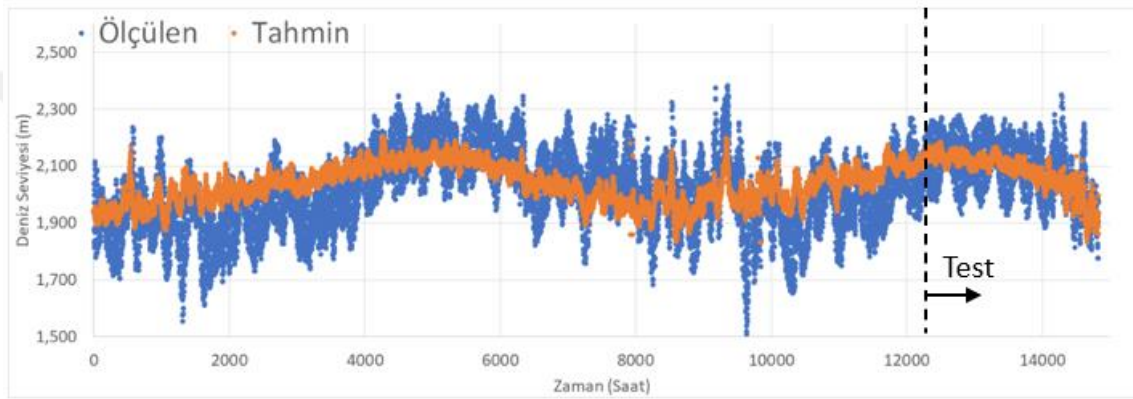
Çizelge 4.2. Senaryo-2 için eğitim setinden elde edilen regresyon denklemleri

Tahmin	Çoklu Regresyon Denklemi
$h(t+1)$	$12.745+(0.004*T(t-22))+(0.001*T(t-46))-(0.018*P(t-5))+(0.007*P(t-6))$
$h(t+12)$	$10.774+(0.003*T(t-22))+(0.001*T(t-46))-(0.021*P(t-5))+(0.012*P(t-6))$
$h(t+24)$	$8.779+(0.003* T(t-22))+(0.002* T(t-46))-(0.02* P(t-5))+(0.013*P(t-6))$

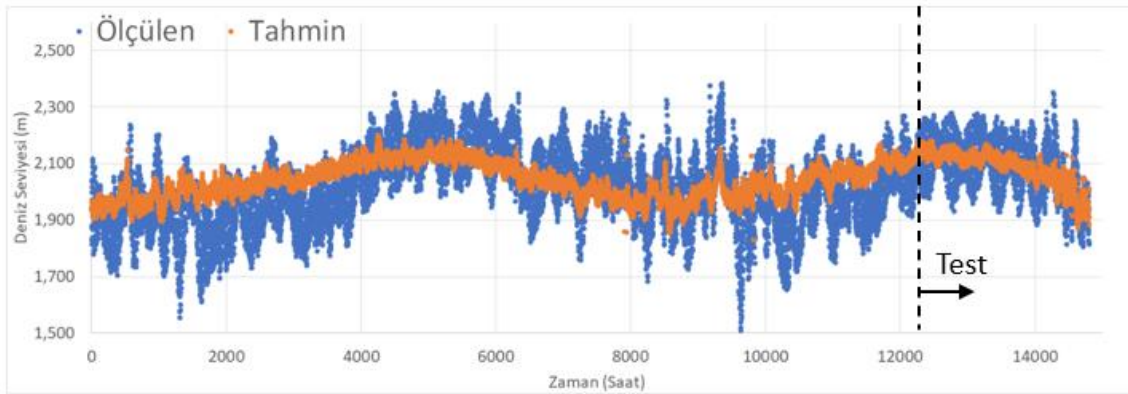
Çizelge 4.2’de sunulan denklemler daha sonra test verilerine uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.10-4.12’de sırasıyla MLR kullanılarak 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi değerlerinin tahmin sonuçlarını gösteren zaman serileri saçılım grafikleri ile gösterilmiştir.



Şekil 4.10. MLR ile senaryo-2 için 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

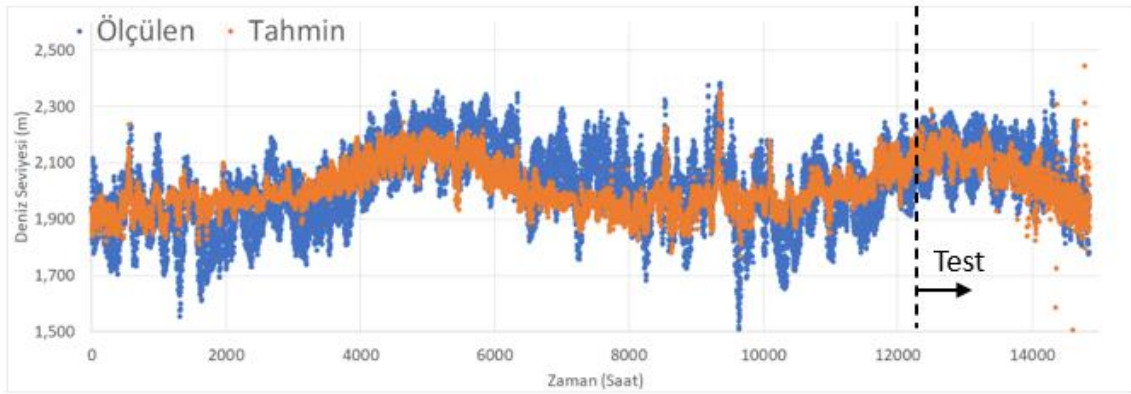


Şekil 4.11. MLR ile senaryo-2 için 12 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

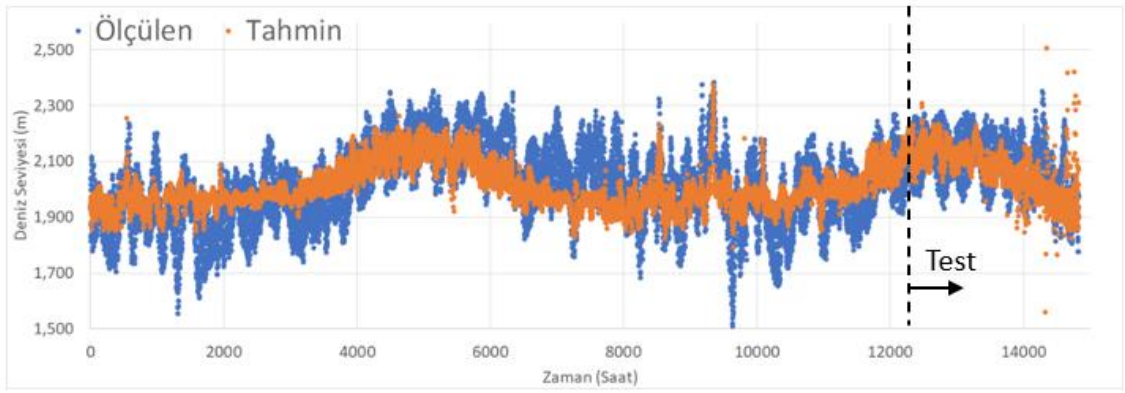


Şekil 4.12. MLR ile senaryo-2 için 24 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

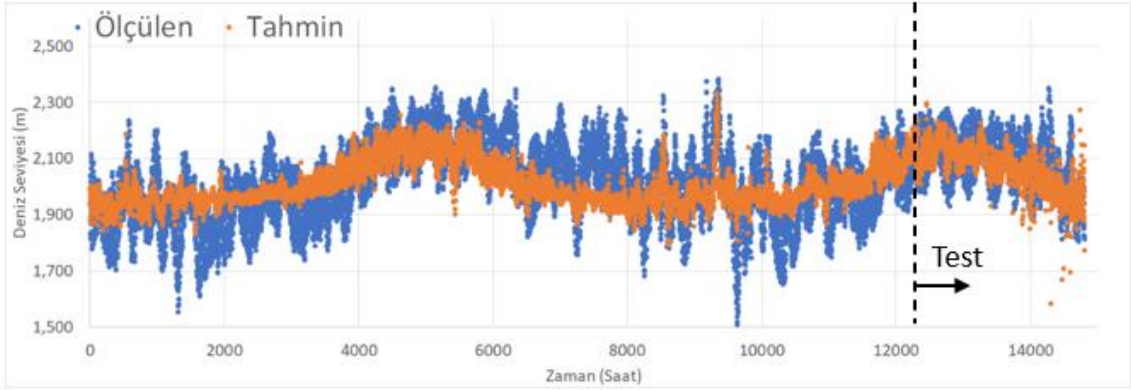
Yukarıda sonuçları gösterilen MLR modellerinin yanı sıra üç farklı ANFIS modeli de geliştirilerek 1, 12 ve 24 saat sonra meydana gelecek deniz seviyesi yükseklikleri tahmin edilmiştir. Bu amaçla geliştirilen ANFIS modellerinin hepsinde gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir girdi parametresinin üyelik fonksiyonu sayısı iki olarak atanmıştır. Öğrenme algoritması olarak hibrit algoritma seçilmiştir. ANFIS ile geliştirilen üç modele ait deniz seviyesi zaman serisi sonuçları Şekil 4.13-4.15'te saçılım grafikleri vasıtasıyla sunulmuştur.



Şekil 4.13. ANFIS ile senaryo-2 için 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmini



Şekil 4.14. ANFIS ile senaryo-2 için 12 saat sonraki deniz seviyesi tahmini



Şekil 4.15. ANFIS ile senaryo-2 için 24 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

4.3. Senaryo-3 Sonuçları

Senaryo-3 deniz seviyesinin 1, 12 ve 24 saat sonraki değerlerinin tahmini için geçmişe yönelik meteorolojik faktörlerin değerlerinin yanı sıra geçmiş deniz seviyesi değerlerinin de kullanılarak tahmin edildiği bir yaklaşımdır. Bir diğer deyişle, bu senaryo ile geliştirilen modeller hem deniz seviyesi değerlerinin hem de meteorolojik faktörlerin etkilerini göz önünde bulundurarak tahmin yapmaktadır. Daha önce Bölüm

4.1 ve Bölüm 4.2’de sunulan oto korelasyon ve çapraz korelasyon fonksiyonlarına göre girdi parametreleri belirlenmiş ve aşağıda matematiksel fonksiyon olarak ifade edilmiştir.

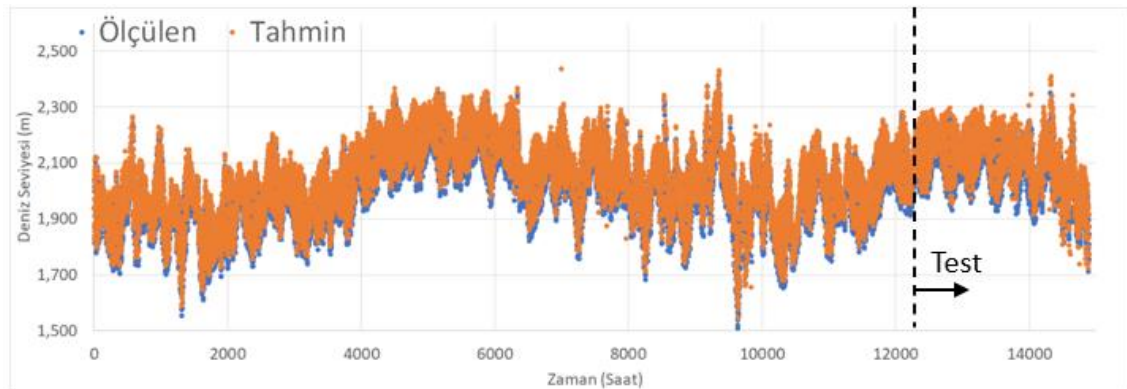
$$h(t_{\Delta}) = f(h(t-1), h(t-12), h(t-13), h(t-25), T(t-22), P(t-6)) \quad (4.3)$$

Burada $h(t)$ t zamandaki deniz seviyesi değerini, Δ ise sırasıyla 1, 12, 24, 36 ve 48 saat olarak ötelemeyi göstermektedir. $T(t)$ t zamandaki hava sıcaklığı değerini ve $P(t)$ t zamandaki hava basıncı değerini göstermektedir. Denklem 4.3’de belirtilen matematiksel fonksiyona bağlı olarak 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi değerlerin tahmin edilmesi amacıyla toplam üç farklı çoklu regresyon ve üç farklı ANFIS modeli geliştirilmiştir. Bütün bu modellerde veri setinin %80’i eğitim ve %20’si test amacıyla kullanılmıştır. Senaryo-3’e ait regresyon denklemleri Çizelge 4.3’te sunulmuştur.

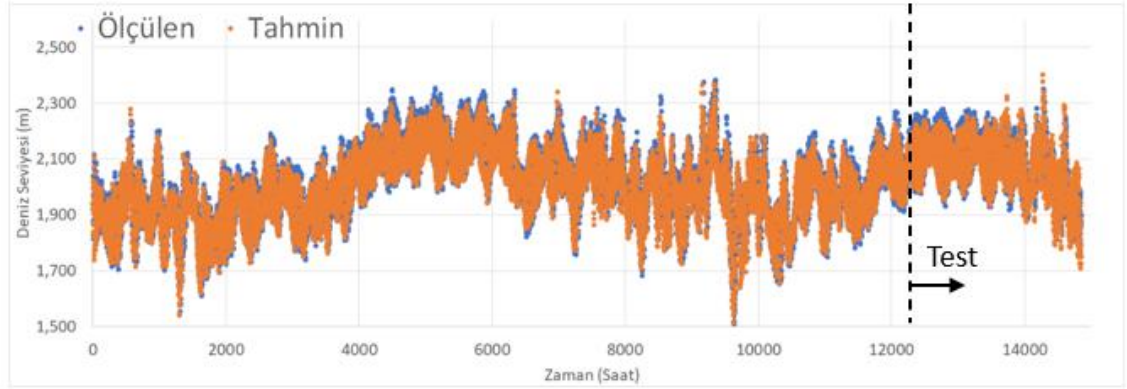
Çizelge 4.3. Senaryo-3 için eğitim setinden elde edilen regresyon denklemleri

Tahmin	Çoklu Regresyon Denklemi
$h(t+1)$	$-0.001+(0.91*h(t-1))+(0.832*h(t-12))-(0.785*h(t-13))+(0.058*h(t-25))+(0.00005*T(t-22))+(0.0001*P(t-5))$
$h(t+12)$	$-0.900+(0.635*h(t-1))+(0.611*h(t-12))+(0.067*h(t-13))-(0.367*h(t-25))+(0.001* T(t-22))+(0.001* P(t-5))$
$h(t+24)$	$=-3,017+(1,073*h(t-1))+(0,337*h(t-12))-(0,348*h(t-13))-(0,131*h(t-25))+(0,002*T(t-22))+(0,003*P(t-5))+0,131$

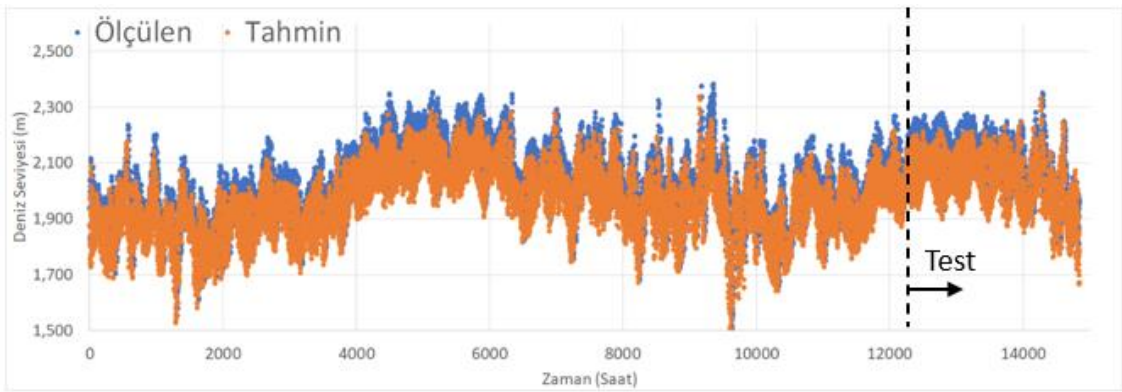
Çizelge 4.3’te sunulan denklemler daha sonra test verilerine uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 4.16-4.18’de MLR kullanılarak 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi değerlerinin tahmin sonuçlarını gösteren zaman serileri saçılım grafikleri ile gösterilmiştir.



Şekil 4.16. MLR ile senaryo-3 için 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

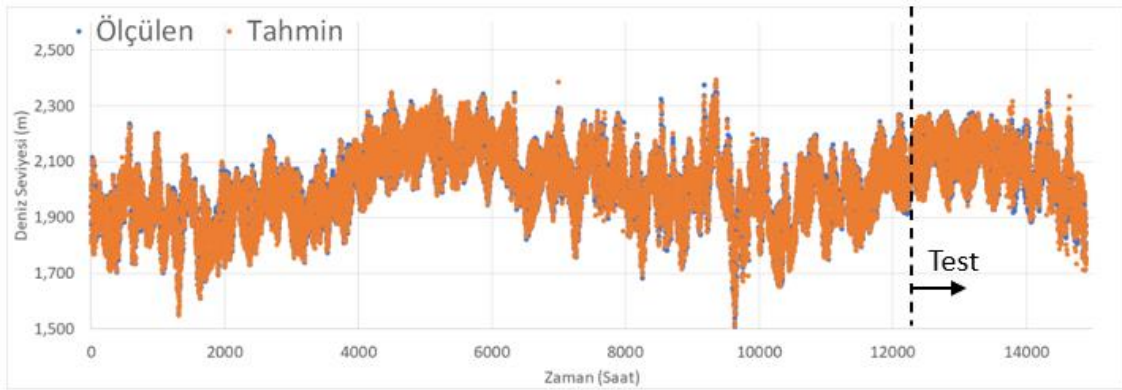


Şekil 4.17. MLR ile senaryo-3 için 12 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

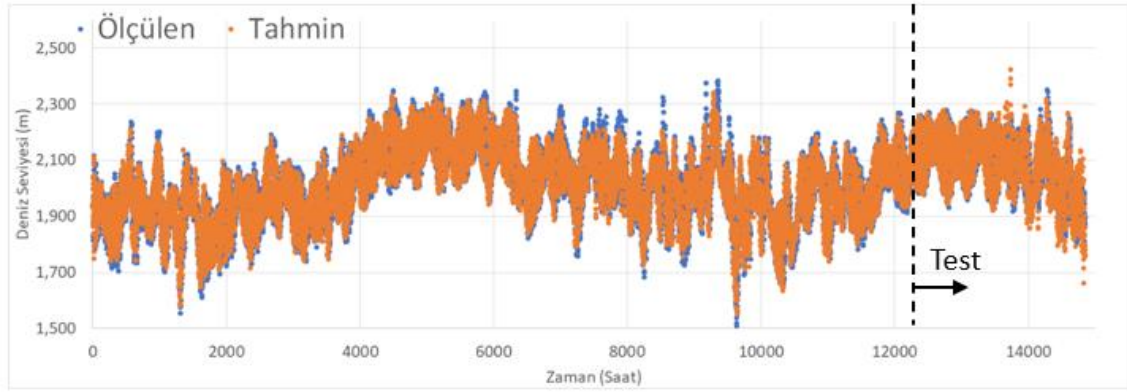


Şekil 4.18. MLR ile senaryo-3 için 24 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

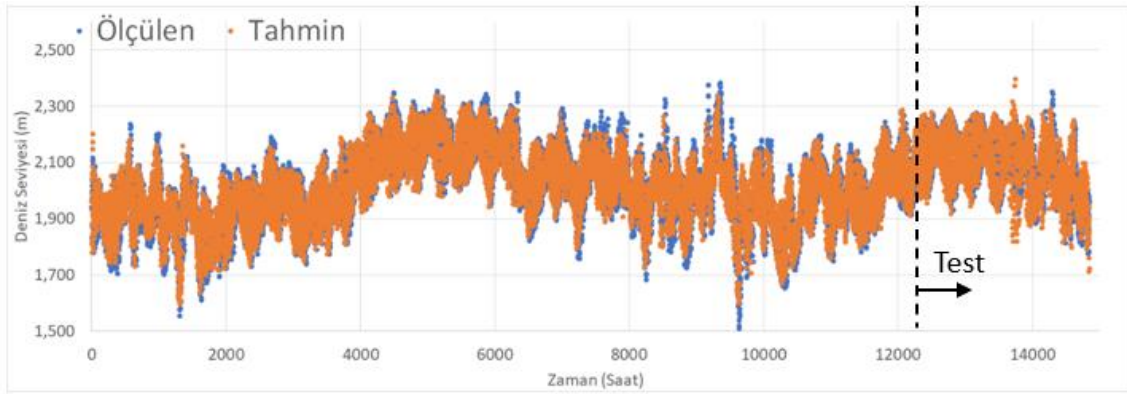
Yukarıda sonuçları paylaşılan MLR modellerinin yanı sıra üç farklı ANFIS modeli de geliştirilerek 1, 12 ve 24 saat sonra meydana gelecek deniz seviyesi yükseklikleri tahmin edilmiştir. Bu amaçla geliştirilen ANFIS modellerinin hepsinde gauss üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir girdi parametresinin üyelik fonksiyonu sayısı iki olarak atanmıştır. Öğrenme algoritması olarak hibrit algoritma seçilmiştir. ANFIS ile geliştirilen bu üç modele ait deniz seviyesi zaman serisi sonuçları Şekil 4.19-4.21'de saçılım grafikleri vasıtasıyla sunulmuştur.



Şekil 4.19. ANFIS ile senaryo-3 için 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmini



Şekil 4.20. ANFIS ile senaryo-3 için 12 saat sonraki deniz seviyesi tahmini



Şekil 4.21. ANFIS ile senaryo-3 için 48 saat sonraki deniz seviyesi tahmini

4.4. Model Performans Analizleri

Çalışma kapsamında geliştirilen modellerin doğruluğunu test etmek için Bölüm 3.6'da bahsedilen iki istatistiksel parametre kullanılmıştır. MLR ve ANFIS kullanılarak modellenen senaryo-1'e ait performans sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Senaryo-1 için model performans ölçümleri

Senaryo	Tahmin Aralığı	MLR EĞİTİM		MLR TEST		ANFIS EĞİTİM		ANFIS TEST	
		NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)
#1	h (t+1)	0.98	0.018	0.59	0.074	0.98	0.017	0.88	0.040
	h (t+12)	0.88	0.045	0.45	0.084	0.89	0.043	0.53	0.077
	h (t+24)	0.82	0.056	0.30	0.093	0.83	0.054	0.36	0.089

Çizelge 4.4'te gösterilen veriler ışığında hem MLR hem de ANFIS için eğitim sonuçlarının 0.70'ten büyük NSE değerlerine sahip olduğu ve kabul edilebilir oldukları gözlemlenmiştir. Test verilerine ait NSE değerleri incelendiğinde MLR ile modellenen senaryo-1 için 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.59, 0.45 ve 0.30 NSE değerleri bulunmuştur. Bir diğer taraftan ANFIS ile modellenen senaryo-1 için 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.88, 0.53 ve 0.36 NSE değerleri bulunmuştur. Çizelge 4.4'te sunulan test verilerine ait RMSE değerleri incelendiğinde MLR ile modellenen senaryo-1 için 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.074, 0.084 ve 0.093 değerleri bulunmuştur. ANFIS ile modellenen senaryo-1 için ise sırasıyla 0.040, 0.077 ve 0.089 RMSE değerleri bulunmuştur. MLR ve ANFIS kullanılarak modellenen senaryo-2'e ait performans sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Senaryo-2 için model performans ölçümleri

Senaryo	Tahmin Aralığı	MLR EĞİTİM		MLR TEST		ANFIS EĞİTİM		ANFIS TEST	
		NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)
#2	h (t+1)	0.31	0.116	0.30	0.098	0.37	0.104	0.19	0.112
	h (t+12)	0.26	0.117	0.26	0.097	0.35	0.106	0.17	0.115
	h (t+24)	0.24	0.120	0.21	0.099	0.31	0.109	0.18	0.110

Çizelge 4.5'te gösterilen veriler ışığında hem MLR hem de ANFIS için eğitim sonuçlarının 0.70'ten büyük NSE değerlerine sahip olmadığı gözlemlenmiştir. Test verilerine ait NSE değerleri incelendiğinde MLR ile modellenen senaryo-2 için 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.30, 0.26 ve 0.21 NSE değerleri bulunmuştur. Bir diğer taraftan ANFIS ile modellenen senaryo-2 için 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.19, 0.17 ve 0.18 NSE değerleri bulunmuştur. Çizelge 4.5'te sunulan test verilerine ait RMSE değerleri incelendiğinde MLR ile modellenen senaryo-2 için 1, 12 ve 24-saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.098, 0.097 ve 0.099 değerleri bulunmuştur. ANFIS ile modellenen senaryo-2 için ise sırasıyla 0.112, 0.115 ve 0.110 RMSE değerleri bulunmuştur. MLR ve ANFIS kullanılarak modellenen senaryo-3'e ait performans sonuçları çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Senaryo-3 için model performans ölçümleri

Senaryo	Tahmin Aralığı	MLR EĞİTİM		MLR TEST		ANFIS EĞİTİM		ANFIS TEST	
		NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)	NSE	RMSE (m)
SC3	h (t+1)	0.93	0.034	0.79	0.053	0.98	0.017	0.88	0.040
	h (t+12)	0.88	0.046	0.45	0.083	0.89	0.043	0.44	0.085
	h (t+24)	0.70	0.072	0.08	0.107	0.84	0.053	0.25	0.097

Tablo 4.6’da gösterilen veriler ışığında hem MLR hem de ANFIS için eğitim sonuçlarının 0.70’ten büyük NSE değerlerine sahip olduğu ve kabul edilebilir oldukları gözlemlenmiştir. Test verilerine ait NSE değerleri incelendiğinde MLR ile modellenen senaryo-3 için 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.79, 0.45 ve 0.08 NSE değerleri bulunmuştur. Bir diğer taraftan ANFIS ile modellenen senaryo-3 için 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.88, 0.44 ve 0.25 NSE değerleri bulunmuştur. Tablo 4.6’da sunulan test verilerine ait RMSE değerleri incelendiğinde MLR ile modellenen senaryo-3 için 1, 12 ve 24 saat sonraki deniz seviyesi yüksekliği tahmininde sırasıyla 0.053, 0.083 ve 0.107 değerleri bulunmuştur. ANFIS ile modellenen senaryo-3 için ise sırasıyla 0.040, 0.085 ve 0.097 RMSE değerleri bulunmuştur.

5. TARTIŞMA

Bu tez kapsamında her biri farklı girdi parametrelerine sahip üç adet senaryo oluşturularak hem çoklu doğrusal regresyon hem de ANFIS tabanlı deniz seviyesi tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu tahminler 1 saatten 24 saatlik bir süreye kadar uzanmaktadır. Model çıktıları NSE ve RMSE parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu bölümde her bir senaryoya ait sonuçlar tartışılmış ve literatürdeki benzer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmalar yapılarak yorumlanmıştır.

Senaryo-1 için geliştirilen MLR ve ANFIS modellerinin test sonuçları incelendiğinde (bkz. Çizelge 4.4) en yüksek NSE değerinin ANFIS ile geliştirilen modelden ve en düşük NSE değerinin de MLR ile geliştirilen modelden elde edildiği görülmüştür. 1-saat sonraki deniz seviyesi tahmininde ANFIS'in 0.70'ten büyük NSE değeri ile başarılı tahminde bulunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 12 saat sonraki deniz seviyesi tahmininde ANFIS'in MLR ile modellenen 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmin sonucuna NSE cinsinden çok yakın olduğu da görülmüştür. Bu durum sadece deniz seviyesinin geçmiş değerlerini kullanarak oluşturulan senaryo-1 için ANFIS ile modellemenin MLR ile modellemeye göre daha üstün olduğunu göstermektedir. Senaryo-1 için RMSE değerleri incelendiğinde en düşük değer ANFIS ile geliştirilen modelden elde edildiği ve en yüksek RMSE değerinin MLR ile geliştirilen modelden elde edildiği gözlemlenmiştir. Bir diğer taraftan saçılım grafikleri incelendiğinde (bkz. Şekil 4.2-4.7) ANFIS tarafından üretilen tahminlerin MLR tarafından üretilen tahmin sonuçlarına kıyasla ölçülen değerler ile daha iyi örtüştüğü de görülmektedir. MLR ile geliştirilen modellerin (özellikle Şekil 4.3 ve 4.4) ölçülen değerlere daha uzak tahmin değerleri ürettikleri görülebilir. Bu durum senaryo-1 tabanlı modellemede ANFIS'in MLR'e kıyasla daha güvenilir ve doğru sonuçlar ürettiğini gösterir.

Senaryo-2 için geliştirilen MLR ve ANFIS modelleri incelendiğinde (bkz. Çizelge 4.5) her iki yönteminde zayıf tahmin sonuçları ürettiği görülmüştür. Sadece meteorolojik faktörlerin girdi parametresi olarak kullanıldığı deniz seviyesi tahmin modelleri hem eğitim hem de test verilerine dayalı tahminde doğru sonuçlar üretmekten uzak kalmışlardır.

Deniz seviyesi değişimlerinin tahmin edilmesinde geçmiş deniz seviyesi verilerinin girdi parametresi olarak kullanılması literatürde kullanılan bir yöntemdir. Fakat bu tez kapsamında literatürde kısıtlı uygulama alanı bulan ve yenilikçi bir yaklaşım olarak da kabul edilebilecek bir senaryo kullanılmıştır. Senaryo-3'e bağlı olarak geliştirilen MLR modelleri NSE değerleri vasıtasıyla incelendiğinde 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmininin %33'lük bir artışla daha doğru tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Bir diğer deyişle senaryo-3, 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmininde MLR model performansını %33 artırmıştır. Bu sonuç El-Diasty ve Al-Harbi (2015) çalışmalarında vardıkları sonucu desteklemektedir. Yazarlar meteorolojik faktörlerin deniz seviyesi modellemesinde kullanılmasının model performansını artırdığını belirtmişlerdir. Buna rağmen senaryo-3 için de ANFIS ile geliştirilen modellerin MLR'ye oranla daha doğru sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Senaryo-1'deki duruma benzer şekilde ANFIS deniz seviyesi değişimlerinin modellenmesinde MLR'ye kıyasla daha doğru sonuçlar üretmektedir. Çizelge. 4.6'da gösterilen RMSE değerleri incelendiğinde de ANFIS'in MLR'ye olan üstünlüğü görülmektedir.

Geleceğe ait deniz seviyesi değişimlerinin tahmin edilmesi zorlu ve biręok belirsizlik iğeren bir mőhendislik uygulamasıdır. Bunun sebeplerinden bir tanesi deniz seviyesi değişimlerinin bőlgeden bölgeye farklılık göstermesidir. Bu durum literatőrde araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir. Fakat, yapılan ęalıřmalar ışığında bazı araştırmacılar doğrusal olmayan yapay zekâ yöntemlerinin deniz seviyesi tahmininde doğrusal yöntemlere kıyasla daha doğru sonuçlar ürettiğini vurgulamıştır (Shiri vd. 2011; Karimi vd. 2013). Bu tez kapsamında, bir yapay zekâ metodu olan ANFIS ile geliştirilen deniz seviyesi tahmin modellerinin MLR ile geliştirilen modellere kıyasla gerek senaryo-1 ve gerekse meteorolojik etkilerinde dikkate alındığı senaryo-3 için daha doğru sonuçlar ürettiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum literatőr taraması sonucunda edinilen bilgiler ile uyuşmaktadır.



6. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında TUDES tarafından işletilen Antalya mareograf istasyonundan deniz seviyesi ve meteorolojik faktör verileri internet üzerinden temin edilmiştir. Bu veriler üzerinde çeşitli istatistik parametreleri kullanılarak bölgeye ait 1999-2017 yılları arasında ölçülen veriler değerlendirilmiş ve sunulmuştur. Literatürde liman işletmeleri başta olmak üzere birçok farklı operasyonel, teknik ve bilimsel kullanım alanı olan deniz seviyesi değişimlerinin ileriye yönelik tahmini amacıyla çeşitli modeller geliştirilmiştir. Deniz seviyesi tahmin modellemesi için üç farklı senaryo geliştirilmiştir. Bu senaryolar yapılan literatür taramasından yola çıkarak geliştirilmiştir. Her bir senaryoya ait girdi parametrelerinin belirlenmesi amacıyla ACF ve CCF metotlarından yararlanılmıştır. Ardından hem bir doğrusal metot olan MLR hem de bir yapay zekâ metodu olan ANFIS kullanılarak 1 saatten 24 saate kadar değişen zaman aralıklarıyla deniz seviyesi tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerde veri setinin %80'i eğitim seti ve %20'si test seti olarak ayrılmıştır. Bütün bu modelleme aşamaları bir akış şeması dahilinde tez kapsamında sunulmuş ve bundan sonraki çalışmalarda araştırmacı ve teknik personele gerekli durumlarda yol göstermesi amacı güdülmüştür.

Tez kapsamında edilen sonuçlar ışığında, senaryo-1 için sadece 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmininde ANFIS ile modellemenin doğru sonuçlar verebileceği sonucuna varılmıştır. Senaryo-3 için ise hem MLR hem de ANFIS ile geliştirilen modellerin 1 saat sonraki deniz seviyesi tahmininde kullanılabileceği görülmüştür. Hem senaryo-1 hem de senaryo-3 için bir yapay zekâ metodu olan ANFIS'in deniz seviyesi değişimlerini tahmin etmekte MLR'ye kıyasla daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır. Ek olarak meteorolojik faktörlerin dikkate alındığı senaryo-3 kullanılarak MLR ile modellemede %33'lük bir performans artışı sağlanabileceği sonucu elde edilmiştir.

Deniz seviyesini kısa sürelide olsa tahmin etmek meteorolojik faktörlerin bağımsız değişken olmasından kaynaklanan belirsizlikleri nedeni ile oldukça zor bir çalışma konusudur. Burada tahminin yapıldığı yerin coğrafi ve topoğrafik yapısı dikkate alındığında özellikle meteorolojik faktörlerin deniz seviyesi tahminine etkisini önemli oranda değiştirmektedir. Meteorolojik faktörlerin etkisini ağırlıklı olarak gösterdiği okyanus kıyılarında deniz seviyesi değişimlerinin meteorolojik faktörler ile bağlantısının çok daha güçlü olduğu görülmektedir. Ancak iç deniz veya meteorolojik faktörlerin etkisinin daha az hissedildiği bölgelerdeki deniz seviyesi ölçümlerinin sadece meteorolojik faktörlerin etkilerinin deniz seviyesi üzerindeki etkiyi anlam ifade edebilecek düzeyde yansıtmaya yeterli olmayabileceği kanaatine varılmıştır.

7. KAYNAKLAR

- Alpar, B., Burak, S. and Gazioğlu, C. 1997. Effect of weather system on the regime of sea level variations in İzmir Bay. *Turkish J. Mar. Sci*, 3(2):83-92.
- Altunkaynak, A. and Kartal, E. 2019. Performance comparison of continuous wavelet-fuzzy and discrete wavelet-fuzzy models for water level predictions at the northern and southern boundary of Bosphorus. *Ocean Engineering*, 186: 106097.
- Cazenave, A. and Nerem, R. S. 2004. Present-day sea level change: observations and causes. *Reviews of Geophysics*, 42(3): 1-20.
- Chen, D. and Omstedt, A. 2005. Climate-induced variability of sea level in Stockholm: Influence of air temperature and atmospheric circulation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 22(5): 655-664.
- Cox, D. T., Tissot, P. and Michaud, P. 2002. Water level observations and short-term predictions including meteorological events for entrance of Galveston Bay, Texas. *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering (ASCE)*, 128 (1): 21-29.
- Crowder, R. B. 1995. The Wonders of the Weather, *Australian Government Publishing Service*, Chapter-3: 46-48.
- Cui, M., Von Storch, H. and Zorita, E. 1995. Coastal sea level and the large-scale climate state A downscaling exercise for the Japanese Islands. *Tellus*, 47A: 132-144.
- El-Diasty, M. and Al-Harbi, S. 2015. Development of wavelet network model for accurate water levels prediction with meteorological factors. *Applied Ocean Research*, 53: 228-235.
- Ghorbani, M. A., Makarynsky, O., Shiri, J. and Makarynska, D. 2010a. Genetic programming for sea level predictions in an island environment. *International Journal of Ocean and Climate Systems*, 1(1): 27-35.
- Ghorbani, M. A., Khatibi, R., Aytekin, A., Makarynsky, O. and Shiri, J. 2010b. Sea water level forecasting using genetic programming and comparing the performance with the artificial neural networks. *Computers & Geosciences*, 36(5):620-627.
- Gohernejad, H., Shamsai, A. and Hosseini, S. A. 2013. Vulnerability Assessment of southern coastal areas of Iran to sea level rise: evaluation of climate change impact. *Oceanologia*, 55(3): 611-637.
- Gürdal, M. A. 2002. Deniz seviyesi değişilerine neden olan etkiler. *Harita Dergisi (Harita Genel Komutanlığı)*, 69(127): 19-33.
- Hünicke, B. and Zorita, E. 2006. Influence of temperature and precipitation on decadal Baltic Sea level variations in the 20th century. *Tellus*, 58A: 141-153.
- Jang, J-S. R. 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3): 665-685.
- Johansson, M. M. and Kahma, K. K. 2016. On the statistical relationship between the geostrophic wind and sea level variations in the Baltic Sea. *Boreal Environment*

Research, 21: 25-43.

Kaloop, M. R., Rabah, M. and Elnabwy, M. 2016. Sea level change analysis and models identification based on short tidal gauge measurements in Alexandria, Egypt. *Marine Geodesy*, 39(1): 1-20.

Kaloop, M. R., El-Diasty, M. and Hu, J. W. 2017. Real-time prediction of water level change using adaptive neuro-fuzzy inference system. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2): 1320-1332.

Karimi, S., Kisi, O., Shiri, J. and Makarynsky, O. 2013. Neuro-fuzzy and neural network techniques for forecasting sea level in Darwin Harbor, Australia. *Computers&Geosciences*, 52: 50-59.

Kurniawan, A., Ooi, S. K. and Babovic, V. 2014. Improved sea level anomaly prediction through combination of the data relationship and genetic programming in Singapore regional waters. *ComputersGeosciences*, 72: 94-104.

Legates, D. R. and McCabe, G. J. 1999. Evaluating the use of goodness-of-fit measures in hydrologic and hydro climatic model validation. *Water Resources Research*, 35(1): 233-241.

Makrnyssky, O., Makrnynska, D., Kuhn, M. and Featherstone, W. E. 2004. Predicting sea level variations with artificial neural networks at the Hillarys Boat Harbour, Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(2): 351-360.

Makrnynska, D. and Makrnyssky, O. 2008. Predicting sea-level variations at the Cocos (Keeling) Islands with artificial neural networks. *Computers&Geosciences*, 34(12): 1910-1917.

MATLAB. 2018. Fuzzy Toolbox, User's Guide, 2018a.

Moghadam, F. M. 2017. Neural-network based approach for identification of meteorological factors affecting regional sea-level anomalies. *J. Hydrol. Eng. (ASCE)*, 22(3): 04016058.

Muslim, T. O., Ahmed, A. N., Malek, M. A., Afan, H. A., Ibrahim, R. K., El-Shafie, A., Sapitang, M., Sherif, M., Sefelnasr, A. and El-Shafie, A. 2020. Investigating the influence of meteorological parameters on the accuracy of sea-level prediction models in Sabah, Malaysia. *Sustainability*, 12(3): 1-18.

Nitsure, S. P., Londhe, S. N. and Khare, K. C. 2014. Prediction of sea water levels using wind information and soft computing techniques. *Applied Ocean Research*, 47: 344-351.

Omstedt, A., Pettersen, C., Rodhe, J. and Winsor, P. 2004. Baltic sea climate: 200 yr of data on air temperature, sea level variation, ice cover, and atmospheric circulation. *Climate Research*, 25: 205-216.

Pugh, D. T. 1987. Tides, Surges and Mean Sea Level. John Wiley and Sons Ltd, Ders Kitabı, Wiley/Chinchestor, 472s.

Ritter, A. and Munoz-Carpena, R. 2013. Performance evaluation of hydrological

- models: statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessment. *Journal of Hydrology*, 480: 33-45.
- Shiri, J., Makarynskyy, O., Kisi, O., Dierickx, W. and Fard, A. F. 2011. Prediction of short-term water levels using an adaptive neuro-fuzzy inference system. *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering (ASCE)*, 137(6): 344-354.
- Simav, M., Yıldız, H., Türkezer, A., Lenk, O. and Özsoy, E. 2012. Sea level variability at Antalya and Menteş tide gauges in Turkey: atmospheric, steric and land motion contributions. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 56(1): 215-230.
- Singh, A. and Aung, T. 2005. Effect of barometric pressure on sea level variations in the Pacific Region. *The South Pacific Journal of Natural Science*, 23(1):9-15.
- Tur, R. and Balas C. E. 2010. Neuro-fuzzy approximation for prediction of significant wave heights: case of Filyos region. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25(3): 505-510.
- Wagener, T. 2003. Evaluation of catchment models. *Hydrological Process* 2003, 17:3375-3378.
- Williems, P. A. 2009. A time-series tool to support the multi-criteria performance evaluation of rainfall-runoff models. *Environmental Modelling&Software*, 24(3): 311-321.
- Wroblewski, A. 1998. The effect of the North Sea on oscillations of the mean monthly sea levels in the Baltic Sea. *Continental Shelf Research*, 18(5): 501-514.
- Yıldız, H., Demir, Ç., Gürdal, M. A., Akabalı, O. A., Demirkol, E.Ö., Ayhan, M. E. and Türkoğlu, Y. 2003. Antalya-II, Bodrum-II, Erdek ve Menteş mareograf istasyonlarına ait 1984-2002 yılları arası deniz seviyesi ve jeodezik ölçülerin değerlendirilmesi. *Harita Dergisi (Harita Genel Komutanlığı)*, 17(Özel Sayı): 5-72.
- Zubier, K. M. and Eyouni, L. S. 2020. Investigating the role of atmospheric variables on sea level variations in the eastern central Red Sea using an artificial neural network approach. *Oceanologia*, 62(3): 267-290.

ÖZGEÇMİŞ

ERKİN TAŞ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2019-2021	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Antalya Bilim Üniversitesi
2012-2018	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1. Tur, R., **Tas, E.**, Torabi-Haghighi, A., Danandeh Mehr, A. (2021). “Sea Level Prediction using Machine Learning.”, *Water*, 13, 3566.
2. Danandeh Mehr, A., Tur R., Çalışkan C., **Tas E** (2020). “A Novel Fuzzy Random Forest Model for Meteorological Drought Classification and Prediction in Ungauged Catchments.”, *Pure and Applied Geophysics*, 177 (2020), 5993-6006.
3. Danandeh Mehr A., **Tas E.**, Kahya E. (2020). “Risk Assessment of Fuel Supply Pipelines: Kalecik Power Plant Case Study.”, *Journal of Pipeline System Engineering and Practice (ASCE)*, 11(4).
4. **Tas E.**, Agiralioglu N., Danandeh Mehr A, Tur R. (2020). “Energy Loss Investigation in Submarine Pipelines: Case Study of Cyprus Water Supply Project.”, *Advance Research in Civil Engineering*, 2(2), 31-40.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1. **Tas E.**, Tur, R., Danandeh Mehr, A. (2021). “Investigation of the Relationship Between Meteorological Factors and Sea Level Changes: Antalya Bay.”, *13th*

International Scientific Conference on Production Engineering (Development and Modernization of Production) 29 September – 1 October 2021, Sarajevo, Bosnia, and Herzegovina

2. **Tas E.**, Agiralioglu N., Danandeh Mehr, A., Tur, R. (2019). “A Brief Review of Experimental Friction Loss Studies for Polyethylene Pipes.”, ***12th International Scientific Conference on Production Engineering (Development and Modernization of Production)*** 18-20 September 2019, Sarajevo, Bosnia, and Herzegovina

3. **Tas E.**, Agiralioglu, N. (2018). “Comparison of Friction Losses in Long Polyethylene Pipe Systems Using Different Formulas.”, ***International Symposium on Urban Water and Wastewater Management (UKSAY 2018)***, 25-27 October 2018, Denizli/ Turkey.

4. Agiralioglu N., Danandeh Mehr, A., Akdegirmen O., **Tas, E.** (2018). “Cyprus Water Supply Project: Features and Outcomes.”, ***13th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2018)***, 12-14 September 2018, Izmir/ Turkey.