T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GRİ SİSTEM TEORİSİ İLE TAHMİNLEME VE BİR UYGULAMA

Khadijeh MOHAMMADALIREZAEI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. ÜyesiTuncay ÖZCAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 16.07.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Dr.Öğr.Üyesi Tuncay ÖZCAN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Hatice CAMGÖZ AKDAĞ
İstanbul Teknik Üniversitesi
İşletme Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.
Bu tez, ... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Tuncay ÖZCAN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca beni destekleyen, hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Haziran 2019 Khadijeh MOHAMMADALIREZAEI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **i**
İÇİNDEKİLER ..... **ii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**
TABLO LİSTESİ ..... **v**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **vi**
ÖZET ..... **vii**
SUMMARY ..... **viii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. TAHMİN NEDİR? 3
2.2. TAHMİN BİLEŞENLERİ 5
2.3. TAHMİNLEME YÖNTEM VE TEKNİKLERİ 7
2.3.1 Nitel Tahmin Yöntemleri 7
2.3.2. Zaman Serileri Tahmin Yöntemleri 7
2.3.2.1. Basit hareketli ortalama 8
2.3.2.2. Ağırlıklı hareketli ortalama 8
2.3.2.3. Üstel düzleştirme 9
2.3.2.4. Ayrıştırma yöntemi 9
2.3.2.5. Çift hareketli ortalama 10
2.3.2.6. Brown'ın çift üstel düzleştirmesi 11
2.3.2.7. Holt'un iki parametreli trend modeli 11
2.3.2.8. Winter'in üç parametreli üstel düzleştirmesi 11
2.3.2.9.ARIMA 12
2.3.2.10. Yapay sinir ağlari (YSA) 13
2.3.3. Nedensel Tahmin Yöntemleri 14
2.3.3.1. Doğrusal Regresyon Analizi Yöntemi 15
2.3.3.2. Çok değişkenli ARIMA 15
2.4. TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI 16

2.4.1.Tahmin Hata Ölçüm İstatistikleri 17
2.4.1.1. OMYH (MAPE) 17
2.4.1.2. OMH (MAE) 18
2.4.1.3. KOKH (RMSE) 18
2.4.1.4. Diğer İstatistikler 18
3. MALZEME VE YÖNTEM 20
3.1. GRİ SİSTEM TEORİSİ 20
3.2. GRİ SAYILAR VE MATEMATİKSEL İŞLEMLERİ 21
3.2.1. Aralık Gri sayıların işlemleri 21
3.3. GRİ SİSTEM TEORİSİ UYGULAMA ALANLARI 23
3.3.1. Gri İlişkisel Analiz 23
3.3.2. Gri Karar Verme 23
3.3.3. Gri Kontrol 24
3.3.4. Gri Modelleme ve Tahminleme 26
3.2.4.*1. Klasik GM(1,1)Tahmin Modeli* 26
3.2.4.*2. GM(1,N) Tahmin Modeli* 29
3.2.4.*3. Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Tahmini Modeli* 31
3.4. LİTERATÜR TARAMASI 33
3.4.1. Gri Tahminleme ile ilgili Literatür Taraması 33
3.4.2. CO_2 Emisyonları Tahmini ile ilgili Literatür Taraması 47
4. BULGULAR 52
4.1. GRİ MODELLERİN CO_2 EMİSYONU TAHMİNİ İÇİN UYGULANMASI 52
4.2. CO_2 EMİSYONUNUN ÖNEMİ 52
4.3. GENETİK ALGORİTMA ÖZETİ 53
4.3.1. Genetik Algoritmaların Temel İşlemleri 54
4.3.2. Uygunluk Fonksiyonları Ve Doğal Seçim 54
4.4. VERİ SETİ 54
4.5. TÜRKİYE'NİN CO_2 EMİSYONU TAHMİNİ PROBLEMİNE GRİ MODELLERİN UYGULANMASI 56
4.5.1. Model 1: Orjinal GM(1,1) Modeli 57
4.5.2. Model 2: Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli (DOGBM(1,1)) 57
4.5.3. Model 3: Yuvarlanma Mekanizmali GM(1,1) Modeli 57
4.5.4. Model 4: Yuvarlanma Mekanizmali Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli58

4.5.5. Model 5: Genetik Algoritma Esaslı Yuvarlanma Mekanizmali GM(1,1) Modeli 58
4.5.6. Model 6: Genetik Algoritma Esaslı Yuvarlanma Mekanizmali Gri Bernoulli Modeli 59
4.5.7. Model 7: Üstel Düzleştirme Modeli 60
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 62
KAYNAKLAR 64
EKLER 78
ÖZGEÇMİŞ 82

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Açık döngü kontrol sistemi. 24

Şekil 3.2: Kapalı döngü kontrol sistemi. 25

Şekil 4.1: 2003-2017 yıllar arası CO_2 emisyonu (milyon ton). 56

Şekil 4.2: GM modelinin parametrelerinin MATLAB GA araç kutusu ile en iyilenmesi. 59

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Farklı tahmin modeller için geçerli durumlar. 17

Tablo 4.1: 2003-2017 yıllar arası CO_2 emisyonları (milyon ton). 55

Tablo 4.2: Önerilen Gri modellerin parametre değerleri. 60

Tablo 4.3: Modellerin tahmin ve OMYH değerleri. 60

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

⊗ : Gri Rakam
α : Arkaplan Değeri
β : Güç İndeksi
η : Net Girdi Fonksiyonu

Kısaltmalar **Açıklama**

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ARIMA : Autoregressive Integrated Moving Average
ARMA : Autoregressive Moving Average
BRICS : Brazil, Russia, India, China, South Africa
BÜİ : Birikim Üretim İşlevi
DOGBM : Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli
ELM : Extreme Learning Machine
GA : Genetik Algoritma
GDD : Gri Diferansiyel Denklemi
GM : Gri Model
GMRAE : Geometric Mean Relative Absolute Error
GOGMH : Geometrik Ortalama Göreceli Mutlak Hata
IEA : International Energy Agency
KOKH : Kök Ortalama Kare Hata
MAE : Mean Absolute Error
MSE : Mean Squared Error
MAPE : Mean Absolute Percentage Error
NARX : Nonlinear Autoregressive Exogenous
NDOGBM : Nash Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli
NGBM : Nonlinear Grey Bernoulli Model
OKH : Hata Kareleri Ortalaması
OMH : Ortalama Mutlak Hata

OMYH : Ortalama Mutlak Yüzde Hata

PSO : Parçacık Sürü Optimizasyonu

RMSE : Root Mean Square Error

SMAPE : Symmetric Mean Absolute Percentage Error

SOMYH : Simetrik Ortalama Mutlak Yüzde Hata

VARIMA : Vektör ARIMA

YSA : Yapay Sinir Ağlari

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GRİ SİSTEM TEORİSİ İLE TAHMİNLEME VE BİR UYGULAMA

Khadijeh MOHAMMADALIREZAEI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Tuncay ÖZCAN

II. Danışman :UnvanAd SOYAD

Gri sistem teorisi kısmen bilinen, kısmen bilinmeyen "küçük örneklem" ve "zayıf bilgili" belirsizlik sistemlerini ele almaktadır. Gri tahminleme, Gri teorinin en önemli bileşenlerinden biridir. Bu çalışmada; Gri sistem teorisi ile Gri tahmin modelleri incelenmiştir. Bu doğrultuda, ilk olarak GM(1,1) ve Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modellerinin hesaplama adımları analiz edilmiştir. Daha sonra, Türkiye'nin yıllık CO_2 emisyonu miktarının tahmini problemi, Gri modeller ile çözülmüştür. Bu amaçla; klasik GM(1,1) modeli, yuvarlanma mekanizmalı GM(1,1) modeli, Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli (DOGBM(1,1)) ve yuvarlanma mekanizmalı Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli, CO_2 emisyonu miktarının tahmini için uygulanmıştır. Son olarak, bu yöntemlerin tahmin doğruluğunu iyileştirmek için genetik algoritma ile tahmin modellerinin parametreleri en iyilenmiştir. Gri tahmin modellerinin performansı üstel düzleştirme metodu ile karşılaştırılmıştır.Tahmin modellerinin performans analizi için ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) ölçütü kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar, genetik algoritma esaslı ve yuvarlanma mekanizmalı DOGBM(1,1) modelinin tahmin doğruluğu açısından diğer Gri tahmin modellerinden ve Üstel düzleştirme yönteminden daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Temmuz 2019, 96 sayfa.

Anahtar kelimeler: Tahminleme, Gri sistem Teorisi, Genetik Algoritma, CO_2 emisyonu

SUMMARY

M.Sc. THESIS

FORECASTING BY USING GREY SYSTEM THEORY AND AN APPLICATION

Khadijeh MOHAMMADALIREZAEI

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute ofGraduate Studies

Department of Industrial Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr.Tuncay ÖZCAN

Co-Supervisor :Academic TitleName SURNAME

Grey system theory deals with uncertainty system of partly known, partly unknown "small sample" and "poor information". Grey forecasting is one of the most important components of Grey system theory. In this study; Grey system theory and Grey forecasting models have been investigated. For this, firstly calculation steps of Grey forecasting model GM(1,1) and Nonlinear Grey Bernoulli models have been analyzed. Then, annual CO_2 emissions of Turkey have been forecasted. GM(1,1) forecasting model, Rolling GM(1,1) forecasting model, Nonlinear Grey Bernoulli model (NGBM) and Rolling NGBM have been applied to forecast CO_2 emissions of Turkey. Finally, to improve forecasting accuracy of this models, Genetic Algorithm has been applied for parameter optimization. Performance of Grey models has been compared with Exponential Smoothing approach. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) has been used to evaluate forecasting accuracy of forecasting models. Empirical results demonstrated that, Nonlinear Grey Bernoulli Model optimized with Genetic Algorithm outperforms all other Grey models and also Exponential Smoothing approach in terms of forecasting accuracy.

July 2019,96pages.

Keywords: Forecasting, Grey System Theory, Genetic Algorithm, CO_2 emission

1. GİRİŞ

Bugünün planlamacıları, karar vericileri ve hatta sıradan insanları geleceğe doğru planlama stratejilerini sağlamak için en çok isteyecekleri bir şey olsa, bu kesin bir kristal küre olurdu. Kristal küre; geleceğe göz atmak için sihirli bir araç ve modern dünyanın karmaşıklığı ve belirsizliğini azaltabilmek için güvenilir ve istikrarlı bir yaklaşımdır. Bir kristal küre, açıkca imkansız olsa da, planlamacılar ve karar vericilerin, geleceğe yönelik planlama ve strateji geliştirme ihtiyaçlarını karşılayabilecek ve onlara yardımcı olabilecek araçlar bulunmaktadır. Bu araçlar; tahminleme yöntemleri olarak adlandırılır.

Birçok tahmin tekniği geliştirilmiştir. Herbirinin kendine özel kullanım alanı vardır ve belirli bir uygulama için doğru tekniği seçmeye özen gösterilmelidir. Bu yöntemler, büyük çeşitlilik ve kullanım alanlarına sahip olsa da genel olarak niceliksel ve nitel yöntemler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Doğru bir yöntemin seçimi; tahminin içeriği, geçmiş verilerin uygunluğu ve mevcudiyeti, arzu edilen doğruluk derecesi, tahminin değeri ve analiz yapmak için yeterli zaman gibi birçok faktöre bağlıdır. Tahminlemenin önemi birçok açıdan ortaya konulmuştur ancak şüphesiz doğru bir tahmin en azından bize daha iyi bir gelecek için bir şans verebilmektedir.

Son yıllarda Gri sistem teorisi, sistem analizi, tahmin, veri işleme, modelleme, karar verme ve kontrol işlemlerine uygulanmıştır ve büyük başarı elde etmiştir. Gri sistem teorisine dayanan Gri Model (GM), bir dinamik tahminleme modelidir ve birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmıştır (Zhang ve diğ, 2003; Wu ve diğ, 2005; Hsu ve Wang, 2007; Huang ve Wang, 2011). Gri tahmin bir eğri uydurma yaklaşımı olarak düşünebilir ve gerçek dünya verileri için son derece iyi bir performansa sahiptir. Gri sistem teorisi başlangıçta Deng (1986) tarafından ortaya konulmuştur. Gri bir model, teorinin esasını benimsemiştir ve bir Gri modeli oluşturmak için minimum dört gözlem gibi küçük bir veri kümesi yeterli olabilmektedir, yani Gri model yetersiz bilgi içeren ve belirsiz bir sistemi modellemek için kullanılabilir. Ayrıca istatistiksel yöntemlere dayanmaz ve bu nedenle orjinal bir veri seti hakkında varsayımlardan kaçınır. Bu özelliklerinden dolayı Gri model, tarımda, endüstride, bilimde ve teknolojide, tıbbi bakımda ve bir çok başka alanda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Günümüzde sera gazı emisyonları ve küresel ısınma, bilim ve siyaset alanındaki en önemli araştırma konusu haline gelmektedir. Mevcut çalışmalar, sera gazının üçte ikisinden fazlasının CO_2 emisyonlarından oluştuğunu göstermektedir. Bu nedenle, CO_2 emisyonlarını tahmin etmek ve etki faktörlerini analiz etmek, iklim değişikliğini azaltmak için politikaları belirlemede kritik öneme sahiptir. Son dönemde CO_2 emisyonlarının tahmini kapsamlı bir şekilde literatürde tartışılmaktadır.

Bu çalışmada ise Türkiye'nin CO_2 emisyonları (2003-2017) verilerinden yararlanarak Gri modelin tahminleme kabiliyeti analiz ve test edilmektedir.

Genel kısımların yer aldığı ikinci bölümde tahinlemenin anlamı, bileşenleri ve tahminleme yöntemleri yer almaktadır. Ayrıca, bu bölümde; tahmin teknikleri kıyaslanmış ve tahmin hata ölçumlerinden özet olarak bahsedilmiştir.

Malzeme ve Yöntemin yer aldığı üçüncü bölümde, ilk olarak Gri sistem teorisi, uygulama alanları ve Gri rakamlar anlatılmıştır. Daha sonra, Gri modelleme ve tahmin modelleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Son olarak, Gri tahminleme ve bu çalışmanın uygulama konusu yani CO_2 emisyonları tahmininin literatür incelemesine yer verilmiştir.

Bulguların yer aldığı dördüncü bölümde önce CO_2 emisyonlarından ve Genetik algoritmadan özet olarak bahsedilmiş daha sonra CO_2 emisyonları verilerinden yararlanarak Gri tahmin modellerinin başarısı incelenmiştir. Bu amaçla; ilk olarak, klasik GM(1,1) modeli, yuvarlanma mekanizmalı GM(1,1) modeli, Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli (DOGBM(1,1)) ve yuvarlanma mekanizmalı Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli, CO_2 emisyonu miktarının tahmini için uygulanmıştır. Bu yöntemlerin tahmin doğruluğunu iyileştirmek için genetik algoritma ile tahmin modellerinin parametreleri en iyilenmiş ve Gri tahmin modellerinin performansı üstel düzleştirme metodu ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın son bölümü olan, tartışma ve sonucun yer aldığı beşinci bölümde ise; çalışmanın sonuçları özetlenmiş, bu çalışmanın literatüre katkısından bahsedilmiş ve ele alınan problemle ilgili olarak geleceğe yönelik yapılabilecek çalışmalar ile ilgili önerilere yer verilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde; ilk olarak tahminleme kavramı ve tahmin bileşenlerinden söz edilmiştir. Daha sonra, farklı tahmin yöntemleri detaylı olarak incelenmiş ve kıyaslanmıştır. Son olarak, tahmin hata ölçüm göstergeleri özet olarak anlatılmıştır.

2.1. TAHMİN NEDİR?

Tahminleme, insanları binlerce yıl boyunca büyülemiştir, bazen ilahi ilhamın bir işareti ve bazen kriminal bir faaliyet olarak görülmüştür. Bilimsel olarak tahminleme geçmişteki ve şimdiki verileri kullanarak geleceği tahmin etme sürecidir. Tahmin; gelecekteki muhtemel olaylar ve bunların sonuçları hakkında bilgi verir, geleceğin karmaşıklık ve belirsizliklerini azaltmasa da, geleceğin belirsizliği ile başa çıkmak için yardımcı olur. Risk ve belirsizlik unsurları, tahminin merkezindedir; tahminlerde, ilgili tahmine bağlı belirsizlik derecesini göstermek genelde iyi bir çalışma olarak dikkate alınır. Elbette, tahminlerin mümkün olduğunca doğru olabilmesi için eldeki veriler de güncel olmalıdır. Tahminler, önemli kararlar alma konusunda, yönetimin kendine güvenini arttırmaktadır (DeLurgio, 1998).

Tahmin, birçok istatistiksel tekniği kullanır. Bu nedenle, istatistiksel analizin bir bileşeni olarak da adlandırılır. Tahminleri geliştirirken, çok sayıda değişkenin göz önüne alınması son derece önemlidir. Tahmin yöntemi kullanıldığında, içinde bulunulan sosyal, ekonomik ve politik bağlamlar daima göz önünde bulundurulmalıdır. Tahmin yöntemi; Operasyon Planlama ve Kontrol, Pazarlama, Ekonomi, Finans Spekülasyon, Kapasite Planlama, İşletme, Hükümet Bütçeleme, Demografi, Kriz yönetimi gibi birçok farklı başlıkta ve alanda kullanılmaktadır (Chase ve Aquilano, 1981).

Tahmin yönteminin olumlu yanları şöyle sıralanabilir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018):

- Tahmin; geçmiş olaylar, şimdiki olaylar ve gelecekteki olası olaylar arasında ilişkiler kurar ve güvenilir bilgiler sağlar.
- Önemli kararların alınacağı süreçlerde, karar alıcılara güven verir.
- Planlama yapabilmek için temeller oluşturur.

• Gelecekteki olası olayların zorlukları ve çevresel değişiklikler ile yüzleşebilmek için duyarlılık sağlar.

Tahmin yönteminin olumsuz yanları şöyle sıralanabilir (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018):

• Geçmiş, şimdi ve gelecek hakkında verilerin toplanması ve analizi çok zaman gerektiren ve maliyeti fazla bir iştir. Bu nedenle, yöneticiler tahminin kullanımının getirdiği yararlar ile tahmin maliyetini dengelemek zorundadırlar. Birçok küçük firma, yüksek maliyet nedeniyle tahmin yapamamaktadır.

• Tahmin yalnızca geleceğe dair olası senaryoları öngörebilir. Bu senaryoların gelecekte gerçekleşeceğini garanti edemez. Bu yüzden, uzun vadeli tahminler kısa vadeli tahminlere kıyasla daha az doğru olacaktır.

• Tahmin belli varsayımlara dayanmaktadır. Bu varsayımlar yanlış ise, tahmin sonuçları da yanlış olacaktır. Tahmin geçmiş olayların verilerine dayanmaktadır. Ancak, tarih her zaman tekerrürden ibaret olmayabilir, bu da tahmin sonuçlarının başarısızlığını beraberinde getirebilir.

• Tahmin; yöneticilerin muhakeme ve karar alma konusunda becerikli olmasını gerektirir. Bazı yöneticilerin muhakeme eksikliği veya yeterince iyi kararlar verememesi gibi nedenlerden dolayı, tahminler yanlış olabilir.

Tahmin süreci, temel olarak aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Hyndman ve Athanasopoulos, 2018):

1. Analiz etmek ve sorunun anlaşılması: Bir sorunu çözmek, planlama yapmak ya da bazı gelecekteki olayları tahmin etmek için öncelikle analize ve ardından sorunun tanımına ihtiyaç vardır. Her zaman, tanım ilk adımdır.

2. Verilerin Toplanması ve Analizi: Bahsi geçen sorunun bulunduğu sistemin davranışı hakkında veri toplama işlemidir. Veri toplama zaman alan bir adım olmakla beraber, sadece sorunla ilgili veriler toplanmalıdır. Verileri analiz etmek için birçok istatistiksel araç kullanılabilir.

3. Hipotez / teori / model formülasyonu: Sorunu etkileyen önemli faktörleri açıklamak için önceki adımda gerçekleştirilen bilgi ve gözlemler temelinde, bir hipotez ya da varsayımsal bir model inşa edilir.

4. Deney tasarımı: Deneyler; toplanan verilerin matematiksel, istatistiksel araçlar kullanılarak, hipotezi ve teorileri test etmek için kullanılmasıdır.

5. Deney yürütme: Deney yapıldıktan sonra sonuçların ölçülmesi ve toplanması adımı gelmektedir.

6. Sonuç analizi: Deney sonuçlarının analiz edilmesiyle beraber, hipotezin veya modelin kabul edilip edilmeyeceğine karar verilir.

7. Devam eden bakım ve doğrulama: Bu modelin veya teorinin süreç içinde de geçerli ve etkili olup olmadığını denetleme işlemidir.

Tahmin süreci, geçmişteki tecrübelere dayanılarak sürekli geliştirilebilir ve rafine edilebilir. Bir tahmin sürecinin sonucunda ortaya çıkan zayıflıklar, eksikler; gelecek tahmin süreçleri için önemli veriler oluşturmaktadır.

2.2. TAHMİN BİLEŞENLERİ

Çeşitli tahmin yöntemleri mevcuttur ve bunların uygulanabilirliği, tahmin edilmesi istenen sürecin zaman dilimine bağlıdır (tahmin edilmesi istenen olası gelecek, ne kadar sürelik bir zaman dilimini kapsıyor). Aynı zamanda; tahmin sürecinin içinde bulunduğu dönem (mevsimlik özellikler, yoğunluğun arttığı dönemler) ve tahmine ilişkin değişkenlikler ile ilgilidir.
Genel olarak, tahminler üç zaman dilimine göre sınıflandırılabilir: kısa vadeli, orta vadeli ve uzun vadeli (DeLurgio, 1998);

1. **Kısa vadeli tahminler,** genellikle yakın geleceği kapsar ve bir firmanın günlük talepleri veya kaynak gereksinimleri gibi günlük operasyonlar ile ilgilidir. Kısa vadeli tahminler nadiren bir kaç ay sonrasını kapsamaktadır.

2. **Orta vadeli tahminler,** genellikle 1-2 ay ile 1 yıl arasındaki süreçleri kapsamaktadır. Bu uzunlukta tahminler, daha çok yıllık üretim planlarıyla alakalıdırlar ve müşteri taleplerinin tepe noktalarını ve dip noktalarını öngörerek, bir sonraki yıl için ek kaynak sağlama konusunda yönetime yardımcı olurlar.

3. **Uzun vadeli tahminler** ise genellikle 1 veya 2 yıldan daha uzun süreleri kapsamaktadır. Uzun vadeli tahminler; yönetimlerin değişen pazarlar için yeni ürünler planlaması, yeni tesisler inşa etmesi veya uzun vadeli finansman sağlamak için planlamalar yapması gibi başlıklar ile ilgilidir.

Her şeye rağmen bu sınıflandırma biçimi, toptancı bir sınıflandırma biçimidir. Örneğin; orta ve uzun vadeli tahminler arasındaki sınır çizgisi genellikle oldukça keyfidir, bu yüzden orta vadeli-uzun vadeli tahminler, yukarıdaki tanımlamaya her zaman sadık kalmamaktadır. Aynı zamanda, tahminin orta veya uzun vadeli oluşu, firmanın durumuna göre de değişmektedir. Bazı firmalar için orta vadeli tahminle kastedilen birkaç yıllık bir süreç olabilirken, bazı firmalar için uzun vadeli tahmin, 6 aylık bir süreç anlamına gelebilir.

Tahminler çoğu zaman desenler içermektedir, bu desenlerin en yaygın olanları aşağıdaki gibidir (Armstrong, 2001):

- **Trend**, tahmin edilen öğenin uzun vadeli hareketine verilen isimdir ve trendler genellikle talep davranışını algılamak için en kolay desendir. Tahminler genellikle çeşitli desenler veya trendlere sahiptir. Bu sebeple, bir tahmin geliştirmek için başlangıç noktaları genellikle trendlerdir.

- **Döngüsel** desen, talepte bulunan yukarı ve aşağı dalgalı hareketlere verilen isimdir. Döngü, uzun zamana yayılarak kendini tekrarlamaktadır (1 yıldan fazla bir süre sonunda).

- **Mevsimsel** desen, periyodik olarak gerçekleşen ve tekrarlanan salınımlı hareketlerdir. Mevsimsellik genellikle hava ile ilgilidir. Ancak, mevsimlik model günlük ya da haftalık bazda da oluşabilir.

2.3. TAHMİNLEME YÖNTEM VE TEKNİKLERİ

Çeşitli literatür kaynakları okuyucunun farklılıkları daha net anlamasını sağlamak için tahmin tekniklerinin farklı kategorilerde sınıflandırılmasını hedeflemektedir. Farklı teknikler, nitel teknikler, zaman serileri analizi ve korelasyon ya da regresyon teknikleri olmak üzere üç ana kategoride toplanabilir (Brannon, 2000).

2.3.1. Nitel Tahmin Yöntemleri

Nitel teknikler, diğer tekniklere göre daha fazla zaman alır ve daha çok uzmanlığa dayanmaktadır. Bu sebeple maliyetleri yüksektir (Bowersox ve diğ, 2010). Nitel teknikler, başkalarının eğilimleri, zevkleri, teknolojik değişimlere ilişkin yargı ve görüşleri gibi verilere dayanmaktadır. Nitel yöntemler; Delphi, pazar araştırması, Uzman görüşu, satıcı görüşu, yaşam eğrilerinin benzeşimi yöntemlerini içerir. İlgili geçmiş modeller ya da ilişkiler ile alakalı çok az objektif veri olduğunda ve nicel yöntemleri desteklemek için yeterli veri olmadığında, nitel yöntemlere başvurulur. Nitel yöntemler genellikle uzun vadeli tahminler yapmak için kullanılmaktadır. Birçok durumda bu yöntemler sıradan yöntemlere göre daha pahalıdır (Armstrong, 2001). Nitel teknikler çoğu zaman sübjektif ve yargılayıcı teknikler olarak görülmektedir (Brannon, 2000).

2.3.2. Zaman Serileri Tahmin Yöntemleri

Zaman serileri yöntemleri olarak bilinen Tek Değişkenli tahmin yöntemleri, geleceği tahmin etmek için geçmiş verilerde bulunan örnekleri kullanır. Tek değişkenli yöntemler arasında; hareketli ortalama, üstel düzleştirme, ARIMA ve doğrusal olmayan büyüme modelleri de yer almaktadır. Bu yöntemlerin amacı, geçmiş değerlerin örneklerini geleceğe yansıtmak için modellemektir. Kısa ve orta vadeli tahminlerin doğruluğu ve ekonomik olması söz konusu olduğunda, tek değişkenli yöntemler hemen hemen her zaman en uygun maliyetli yöntem olmaktadır (DeLurgio, 1998).

Tek değişkenli tahminin temel kavramı, bir dizinin gelecekteki değerlerinin geçmişteki değerlerinin bir matematiksel fonksiyonu (f) olmasıdır. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Gelecek değerler = f (Geçmiş değerler)

Yaygın kullanılan zaman serisi tahmin yöntemleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

2.3.2.1. Basit hareketli ortalama

En basit tahminleme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, gelecekteki bir değerin geçmiş değerlerin ortalamasına eşit olacağını varsaymak üzerine kuruludur. Basit hareketli ortalama olarak adlandırılan bu teknik, rastgele serileri modellemede yararlıdır çünkü istenmeyen rastgeleliği kaldırmak için, işlem sonunda gerçek değerleri düzeltmektedir. N-dönem içeren hareketli ortalama aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Armstrong, 2001):

$$F_{t+1} = (A_t + A_{t-1} + A_{t-2} + \cdots + A_{t-n+1})/n \tag{2.1}$$

Bu eşitlikte,

A_t= Gerçek değer

F_t= Tahmin değeri

N= Dönem sayısını ifade etmektedir.

2.3.2.2. Ağırlıklı hareketli ortalama

Ağırlıklı hareketli ortalama, ağırlığı en son gözlemlere vermektedir. Basit hareketli ortalama her gözleme eşit ağırlık verir, ancak ağırlıklı hareketli ortalama her gözleme farklı ağırlıklar vermektedir. Tek kısıtlama, ağırlıkların toplamının bire eşit olmasıdır. N-dönem içeren ağırlıklı hareketli ortalama aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Armstrong, 2001):

$$F_{t+1} = W_t A_t + W_{t-1} A_{t-1} + W_{t-2} A_{t-2} + \cdots + W_{t-n+1} A_{t-n+1} \tag{2.2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} W_i = 1 \tag{2.3}$$

$W_t > W_{t-1} > \ldots > W_{t-n+1}$

Ağırlıklı hareketli ortalamanın bir avantajı son gözlemlere farklı ağırlıkların verilebilir olmasıdır. Ancak, optimum ağırlıkların belirlenmesi son derece önemlidir.

2.3.2.3. Üstel düzleştirme

Üstel düzleştirme en yaygın ve uygulanabilirliği en kolay yöntemlerden biridir. Çünkü, bu yöntemin uygulanabilmesi için en son tahmin değeri, en son gerçek değer ve bir düzleştirme sabiti olmak üzere sadece üç adet veri gerekmektedir. Düzleştirme sabiti (α) en son verilen ağırlığı belirler ve genel olarak 1-0 aralığında kısıtlıdır (Chatfield, 2000).

Üstel düzleştirme modeline ait denklem aşağıdaki gibidir:

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha) F_{t-1} \tag{2.4}$$

Burada,

F_t = t dönemi için tahmin değeri

A_{t-1}= Önceki döneme ait gerçek değer

F_{t-1}= Önceki dönemin tahmin değeri

α = Düzleştirme sabiti

olarak ifade edilebilir.

2.3.2.4. Ayrıştırma yöntemi

Ayrıştırma yöntemi; bir zaman serisini trend, dönemsellik, mevsimsellik ve hata bileşenleri şeklinde sistematik olarak ayrıştırır (DeLurgio, 1998).

Model:

$$Y_t = f(T, C, S, e) \tag{2.5}$$

Burada,

Y_t = t zamanındaki zaman serisinin gerçek değeri

f = Matematiksel fonksiyonu

T = Trend

C = Dönemsel etkiler

S = Mevsimlik etkiler

e = Hata

Ayrıştırma modellerinin, toplamsal ve çarpımsal olmak üzere iki türü vardır (DeLurgio, 1998):

Artımsal model aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Y = T + C + S + e \tag{2.6}$$

Çarpımsal model aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Y = T \times C \times S \times e \tag{2.7}$$

2.3.2.5. Çift hareketli ortalama

Basit hareketli ortalama yöntemi; trendi ve gecikmeleri modelleyememektedir ve tahmin yöntemi olarak kullanıldığında bu büyük bir gecikmeye sebep olmaktadır. Özet olarak, çift hareketli ortalama modeli aşağıdaki hesaplamayı kullanmaktadır (Armstrong, 2001):

$$\begin{aligned} S'_t &= (Y_t + Y_{t-1} + \cdots + Y_{t-N+1}/N \; S''_t = (S'_t + S'_{t-1} + \cdots + S'_{t-M+1}/M \; a_t \\ &= S'_t + \left(S'_t - S''_t\right) = 2S'_t - S''_t b_t = 2(S'_t - S''_t)/(N-1) \end{aligned} \tag{2.8}$$

$$F_{t+1} = a_t + b_t m \tag{2.9}$$

Burada kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir:

a_t = *t* döneminin sonunda düzleştirilmiş seviye

b_t = *t* döneminin sonunda düzleştirilmiş trend

m = Geleceğe ait tahmin edilen dönem sayısı

2.3.2.6. Brown'ın çift üstel düzleştirmesi

Bu yöntem, çift hareketli ortalama yöntemine çok benzemektedir. Hareketli ortalamalardan daha az veri gerektirdiği için daha avantajlıdır ve tüm üstel düzleştirme yöntemlerinin sembolüdür. Bu yöntemde, düzleştirme işlemlerinin ikisi için tek katsayı kullanılır. Model aşağıdaki denklemler ile gösterilir (DeLurgio, 1998):

$$S_t' = \alpha Y_t + (1-\alpha)S_{t-1}' S_t^{"} = \alpha S_t' + (1-\alpha)S_{t-1}^{"} a_t = S_t' + \left(S_t' - S_t^{"}\right) \\ = 2S_t' - S_t^{"} b_t = \alpha(S_t' - S_t^{"})/(1-\alpha)\, F_{t+m} = a_t + b_t m \quad (2.10)$$

Burada kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir:

a_t= *t* döneminin sonunda düzleştirilmiş değer

b_t = *t* dönemini sonunda trend tahmini

m = Tahmin edilen dönem sayısı

2.3.2.7. Holt'un iki parametreli trend modeli

Bu çift üstel düzleştirme modelinde ikinci bir düzeltme sabiti (β), ayrı olarak trendi düzleştirmek için kullanılır. Böylece, tek düzleştirmenin doğal gecikmesini ortadan kaldırır. Bu yöntem aşağıdaki denklemler ile uygulanır (DeLurgio, 1998):

$$S_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_{t-1})b_t \\ = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1} F_{t+m} = S_t + b_t m \quad (2.11)$$

Burada kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir:

α = seviye düzleştirme sabiti

β = trend düzleştirme sabiti

St = *t* döneminin sabit bileşeni

bt = *t* döneminin trend bileşeni

m = Tahmin edilen dönem sayısı

2.3.2.8. Winter'in üç parametreli üstel düzleştirmesi

Winter'in düzleştirme modeli, Holt'un iki parametreli modelinin genişletilmiş halidir. Bu model, mevsimliliği ayarlamak için üçüncü bir düzleştirme işlemini de kapsar ve yapısı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir (DeLurgio, 1998):

$$Y_{t+1} = (S_t + b_t)I_{t-L+1} + e_{t+1} \tag{2.12}$$

Burada kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir:

S_t= *t* döneminin sonunda serinin düzleştirilmiş mevsimlik olmayan seviyesi

b_t= *t* döneminin düzleştirilmiş trendi

I_{t-L+1} = *t+1* döneminin düzleştirilmiş mevsimlilik endeksi

e_{t+1}= *t+1* dönemine ait hata

2.3.2.9. ARIMA

ARIMA yaklaşımı, aşağıdaki fikirlere dayanmaktadır (Hyndman, 2001):

1. Tahminler, örnek gözlemlerin doğrusal fonksiyonlarına dayanır;

2. Amaç; gözlenen verilerin yeterli açıklamasını yapan en basit modelleri bulmaktır. Bu bazen tutumluluk prensibi olarak bilinir.

Her ARIMA süreci üç bölümden oluşur: otoregresif (veya AR) bölümü; bütünleştirilmiş (ya da I) kısmı; ve hareketli ortalama (ya da MA) bölümü. Modeller genellikle, ARIMA (p, d, q) şeklinde yazılır. Burada p AR kısmı, d bütünleştirme kısmını ve q Ma kısmını açıklamaktadır (Box and Jenkins, 1969).

ARIMA süreçleri tahmin için popüler bir yöntem haline gelmiştir çünkü iyi geliştirilmiş matematiksel bir yapıya sahiptir ve böylece tahmin aralıkları gibi çeşitli model özelliklerini hesaplamak mümkündür. Bu şekilde, tahmine ait belirsizliğin ölçülebilmesi için olanak sağlamaktadır (Hyndman, 2001).

AR(p) modeli, p. dereceden otoregresif modeli ifade eder. AR(p) modeli bu şekilde yazılır:

$$Y_t = c + a_1 Y_{t-1} + \cdots + a_p Y_{t-p} + u_t \quad (2.13)$$

Burada,

$a_1, \ldots, a_p$ parametreler;
c bir sabit;
ve rasgele değişken u_t beyaz gürültüdür.

MA(q) modeli, q dereceden hareketli ortalama modeli ifade eder. MA(q) modeli şu şekilde yazılır:

$$Y_t = \mu + u_t + m_1 u_{t-1} + \cdots + m_q u_{t-q} \quad (2.14)$$

Burada;

$m_1, \ldots, m_q$ modelin parametreleridir;
μ, y_t'nin beklenen değeridir (genelde 0'e eşit olduğu varsayılır);
u_t, $u_{t-1}, \ldots,$ ve u_{t-q} beyaz gürültünün hata terimleridir.

ARMA(p, q) modeli p koşullu otoregresif ve q koşullu hareketli ortalama modelini ifade eder. Bu model AR(p) ve MA(q) modelleri içerir ve bu şekilde yazılır:

$$Y_t = c + a_1 Y_{t-1} + \cdots + a_p Y_{t-p} + u_t + m_1 u_{t-1} + \cdots + m_q u_{t-q} \quad (2.15)$$

AR(p), MA(q) ve ARMA (p, q) bazı durumlarda uygulandığında veriler durağan olmama belirtisi gösterir, durağan olmamayı azaltmak için bir ilk farklılık adımı uygulanır ve ARIMA olarak adlandırılır. Mevsimsel olmayan ARIMA modelleri, genellikle ARIMA (p, q, d) şekilde ifade edilir. p AR modelinin derecesi, d farklılık derecesi ve q ise MA modelinin derecesidir (Box and Jenkins, 1969).

2.3.2.10. Yapay Sinir Ağlari (YSA)

Yapay Sinir Ağları (YSA) nöronların ara bağlantılarından esinlenmiştir ve desen düzenlemesi, sistem kontrol modellemesi, tıp, sensör uygulamasında olduğu gibi, birçok uygulamada önemli role sahiptir. YSA nöronlar ve bağlantı ağırlığı olarak adlandırılan adaptif fonksiyonel varlıktan oluşur ve bağlantı ağırlığı biyolojik nörondaki sinapsa benzer.

Sistem ağa uygulanan 'n' sayıda girdiden oluşur. Her bir girdi için bir ağırlık vardır. Söz konusu ağırlık, çalışma algoritmasına göre daha güçlü ve daha zayıf hale gelir. Daha yüksek ağırlık değeri, girdi ile çıktı arasında daha güçlü bir bağlantı sağlar. Ağırlık ve girdi değerleri net giriş fonksiyonunu 'η' oluşturmak için birbirleri ile çarpılır. 'Y' çıktısı üretilmesi için net girdi, aktivasyon fonksiyonu S (η)' ye verilir. Belirli bir çıktı, aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenir.

Ağ bir gizli tabaka ve bir çıktı tabakasından oluşur. Her bir tabaka birçok YSA düğümünden oluşur. Ayrıca, çıktı birimleri bir doğrusal aktivasyon fonksiyonuna sahiptir (Alexander ve Morton, 1990).

$$\eta = \sum_{i=1}^{n} W_i X_i + b \tag{2.16}$$

$$S(\eta) = \frac{1}{1 + e^{-\eta}} \tag{2.17}$$

Burada

X_i Ağın girdisi, W_i bir girdi ağırlığı, ve b ağın sapmasıdır.

2.3.3. Nedensel Tahmin Yöntemleri

Nedensel yöntem olarak bilinen çok değişkenli tahmin yöntemleri bir seri ve diğer serilerin (arasındaki ilişkileri modelleyerek geleceğin tahminini yapar (DeLurgio, 1998).

Çok değişkenli modelin bir genel matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

Bağımlı değişken = *f* (Bağımsız değişken)

Genellikle regresyon ile tahmin olarak anılan nedensel teknik, iki veya daha fazla değişken arasındaki neden-sonuç ilişkilerini araştırmak için kantitatif bir yöntemdir. Genellikle tahminciler, tıpkı bir ürünün talebi üzerinde fiyat değişikliği veya reklam etkisinde olduğu gibi; bir değişkenin başka bir değişken üzerindeki neden-sonuç etkisini keşfetmeyi hedefler. Burada, ilk olarak yapılan şey temel değişkenler için verilerli toplamak ve daha sonra açıklayıcı değişkenlerin bağımlı ya da hedef değişkenler üzerindeki nicel etkisini regresyon kullanarak tahmin etmek şeklinde yapılır. Dikkat edimesi gereken nokta, devamlı bir yüksek derecede korelasyon mevcut olsa dahi bağımlı ve bağımsız değişken arasında hiçbir sebep-sonuç ilişkisi bulunmasına gerek yoktur. Nedensel teknikler, etkin bir şekilde dış faktörleri ve olayları (ekonomide değişiklikler gibi) dikkate alma yeteneğine sahiptir ve bu sebeple uzun süreli tahminler için en uygun yöntemdir (Chase, 2009).

2.3.3.1. Doğrusal Regresyon Analizi Yöntemi

Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli aslında bir olayın davranışını açıklamak için kullanılır. Bu model, belirli (bağımsız veya açıklayıcı) değişkenlerin diğer (bağımlı) değişkenlerin davranışını nasıl değiştirdiğini açıklamak için kolay bir yol sağlar (Vivaracho-Pascual ve diğ, 2016).

Çoklu regresyon, bağımlı değişkenleri birçok bağımsız değişkenle ilişkilendiren modellerin inşasında temel bir yöntemdir. Bu tür modeller güçlü analitik yönleri nedeniyle bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki sebep-sonuç ilişkisi içine öngörüler ve bilgi sağlar ve böylece tahminde çok etkili olabilir (DeLurgio, 1998).

Bir bağımlı değişken, Y, ve bir k açıklayıcı değişkenler dizisi (W_1,…,W_k), göz önüne alındığında, denklemde gösterildiği gibi bir Çoklu Doğrusal Regresyon modeli, her ikisinin arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir (Vivaracho-Pascual ve diğ; 2016):

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j W_{ij} + \epsilon_i \qquad (2.18)$$

Burada;

β_0 sabit terim, β_j , k açıklayıcı değişkenleri ilgili Y değişkenine bağlayan katsayılarıdır, and ϵ rasgele hatadır.

Model katsayıları en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilir, ve daha sonra elde edilen regresyon fazlalıkları $\hat{\epsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i$ olarak hesaplanır. Burada; Y_i, Y'nin i. gözlenen değerdir ve $\hat{Y}_i$, i. tahmin değeridir.

2.3.3.2. Çok değişkenli ARIMA

Vektör ARIMA (VARIMA) modeli tek değişkenli ARIMA modelinin çok değişkenli genişlemesidir. Bu yöntem, birden fazla girdi değişken olduğunda ve farklı girdi değişkenlerin bazıları birbiri ile ilişkili olduğunda bir dönüşüm fonksiyonu kullanmaktadır (Hyndman, 2001).

2.4. TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel ve teorik sonuçların her ikisi bir tek 'en iyi' tahmin metodu olmadığını göstermektedir. Tahmin yönteminin seçimi daha ziyade duruma ve özellikle hedeflere, analiz edilen veri türüne gibi faktörlere bağlı olduğunu öne sürmektedir. "En iyi hangisi?" sorunun cevabı ayrıca 'en iyi' den ne kastedildiğine bağlıdır (Chatfield, 2000).

Zaman serisi yöntemleri ve eğilimleri geçmiş veriler kullanılarak mevsimlik desenleri belirler ve tahmin eder. Nedensel teknikler dış faktörleri dikkate alır ama onlar eğilimler ya da mevsimliliği belirlemek için yeterince iyi değildir. Ayrıca zaman serisi yöntemine karşı, nedensel teknikler daha fazla veri gerektirir ve bu sebepten değişiklikleri hızlı toparlayamaz. Nitel yöntem hem zaman serileri, hem nedensel yöntemlere göre yüksek bir avantaja sahiptir çünkü çevrede meydana gelen değişiklikleri geçmiş veri olmadan göz önüne alabilir. En doğru satış tahminini elde etmek için tahmin yapan kişi ön tahmini yapmak üzere zaman serisi tekniğini, çevresel faktörlere daha geniş bir bakış açısı sunmak üzere nedensel tekniği ve son olarak da nicel tahmini düzenlemek üzere nitel tekniği kullanabilir (Brannon, 2000).

Tahmin Modelleri, Tablo 2.1'de farklı açılardan karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.1: Farklı tahmin modeller için geçerli durumlar Chatfield, 2000).

Model	Uygulanabilir Durumlar	Ufuk	Veri Tipleri
Sezgisel (Nitel) Modeller	Geçmişe ait veri yok, nedensellik hakkında fikir yok, veri toplamak fazla maliyetli, kısa vadede doğruluk gerekli değil.	Kısa veya Uzun vade	Arkaplan bilgisi, anket
Zaman Serileri Modelleri	Geçmiş zaman serileri verileri mevcut, sabit desenler var, kısa vadede doğruluk gereklidir.	Kısa vade	Zaman serisi verileri
Nedensel Modeller	Geçmişe ait veriler mevcut, nedensel ilişki açık ve sabit, açıklayıcı değişkenler kontrol edilebilir.	Kısa vade	Açıklayıcı veriler

2.4.1. Tahmin Hata Ölçüm İstatistikleri

Hata ölçümü istatistikleri, tahmin doğruluğunu izlemek, istisnaları gözlemlemek ve tahmin sürecini kıyaslamada kritik bir rol oynar. Bu istatistiklerin yorumlanması, özellikle düşük hacimli verilerle çalışırken veya birden fazla öğe (örneğin, lokasyonlar, müşteriler vb.) vasıtasıyla doğruluğu değerlendirmeye çalışırken zor olabilir (Adhikari ve Agrawal, 2013).

2.4.1.1. OMYH (MAPE)

Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error), hatanın boyutunu yüzde olarak ölçer. Aşağıdaki örnekte gösterildiği gibi, gerçek değerlerin yüzde hatasının ortalaması olarak hesaplanır:

$$OMYH = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{Gerçek_i - Tahmin_i}{Gerçek_i} \right| \right) * 100 \quad (2.19)$$

Tahmin doğruluğunu değerlendirirken, daha çok OMYH kullanılır. İnsanların birçoğu için yüzde olarak düşünmek daha kolay olması OMYH'nin yorumlanmasını kolaylaştırır. OMYH ölçeğe hassastır ve düşük hacimli verilerle çalışırken kullanılmamalıdır. "Gerçek", denklemin paydasında olduğundan, Gerçek değer sıfır olduğunda OMYH'nin hesaplanmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, gerçek değer sıfır aoldukça küçük olduğunda, OMYH genelde aşırı değerler alacaktır. Bu ölçek hassasiyeti, OMYH'yi düşük hacimli veriler için bir hata ölçüsü olarak değersiz hale getirebilir.

2.4.1.2. OMH (MAE)

Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error), birimin içindeki hatanın boyutunu ölçer. Aşağıda gösterildiği gibi, hataların ortalaması olarak hesaplanır:

$$OMH = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |Gerçek_i - Tahmin_i| \right) \quad (2.20)$$

OMH, tek bir öğe için hatayı analiz ederken kullanılıcak uygun bir istatistiktir.

2.4.1.3.KOKH (RMSE)

Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error), tahmin ve gerçek gözlem arasındaki kare farklılıkların ortalamasının kareköküdür ve hatanın ortalama büyüklüğünü ölçer:

$$KOKH = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |Gerçek_i - Tahmin_i| \right)} \quad (2.21)$$

OMYH ve OMH, kullanılan en yaygın hata ölçüm istatistikleridir.

2.4.1.3. Diğer İstatistikler

Tahmin literatüründe bulunan alternatif istatistiklerin çoğu OMYH ve OMH'nin varyasyonlardır. Tahmin yöntemlerinin başarımını karşılaştırmada kullanılan diğer ölçütler aşağıdaki gibidir:

- ***GOGMH (GMRAE),*** Geometrik Ortalama Göreceli Mutlak Hata (Geometric Mean Relative Absolute Error), örneklem dışı tahmin performansını ölçmek için kullanılır. Sade model (yani, gelecek dönemin tahmin değeri bu dönemin gerçek değeri) ve seçili model arasındaki nispi hata kullanılarak hesaplanır.
- ***SOMYH (SMAPE),*** Simetrik Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Symmetric Mean Absolute Percentage Error), OMYH'nin bir varyasyondur; gerçek değerin mutlak değerinin ortalaması ve paydadaki tahminin mutlak değeri kullanılarak hesaplanır.
- ***HKO (MSE),*** Hata Kareleri Ortalaması (Mean Squared Error), hataların karelerinin ortalamasını ölçer; yani, tahmini değerler ile gerçek değerler arasındaki ortalama kare farkı.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölumde oncelikle Gri sistem teorisi kavramı ve devamında Gri sayılardan bahsedilmiş, Gri sistem teorisinin uygulama alanları anlatılmıştır. Daha sonar, Gri sistem tahmin yöntemleri detaylı olarak incelenmiştir. Son olarak. literatur taraması iki bölümde sunulmuştur. İlk olarak, Gri tahmin yöntemleri ile ilgili literatur incelemesi sunulmuştır. Daha sonar, bu çalışmanın uygulama bölümünü oluşturan CO_2 emisyon miktarının tahmini ile ilgili literatur çalışmalarına yer verilmiştir.

3.1. GRİ SİSTEM TEORİSİ NEDİR?

Gri sistem kuramı sistem biliminde yeni bir konudur ve 1980'li yılların başlarında Çin'li Profesör Deng tarafından ortaya konulmuştur. Deng (1982), Gri sistem teorisinin tanımı ve araştırma yöntemini "Gri sistem teorisinin denetim problemleri" makalesinde vermiş ve belirsiz bilgilerin dört çeşidi olduğunu belirtmiştir. Bunlar; bulanık bilgi, rastgele bilgi, Gri bilgi ve belirsiz bilgidir. Gri bilgi, tam bilgi ve kesin bilgi yerine sadece bilginin parçasını veya bilgi miktarının yaklaşık aralığını elde edebilmesi anlamına gelmektedir. Bu tür kısmen bilinen ya da kısmen bilinmeyen bilgiler Gri bilgileri oluşturmaktadır.

Gri sistem; beyaz sistem ve siyah sistem arasında yer alan bir sistemdir. Beyaz sistem, iç karakteristikleri tamamen bilinen ve sistem bilgileri tamamen yeterli bir sistemdir. Siyah sistem ise, kendi iç bilgisi dış dünyada bilinmeyen anlamına gelir. Bu durumda biz sadece dış dünya ile kurduğu bağlantı üzerinden gözlem ve araştırmalar yapabiliriz. Gri sistemin iç bilgileri kısmen bilinmekte, kısmen bilinmemektedir.

Gri sistem teorisi kısmen bilinen, kısmen bilinmeyen "küçük örneklem" ve "zayıf bilgili" belirsizlik sistemlerini, araştırma hedefi olarak belirlemektedir. Bu, esas olarak kısmen bilinen bilgilerden değerli bilgileri almak, onları geliştirerek ve Gri sistemin işleyişi üzerinde etkili kontrolleri ve doğru açıklamaları açığa çıkartılarak yapılır. Günümüzde, giderek olgunlaşan bu teori hem uluslararası hem de ulusal literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır (Deng, 1982).

3.2. GRİ SAYILAR VE MATEMATİKSEL İŞLEMLERİ

Gri sayı, tam değeri bilinmeyen ancak içinde bulunduğu aralık bilinen bir sayıdır. Uygulamalarda Gri sayı; bir aralıkta veya genel bir sayı kümesinde olası değerleri alan belirsiz bir sayı anlamına gelir. Bu Gri sayı genellikle "$\otimes$" sembolü kullanılarak yazılır. Birkaç Gri sayı türü vardır;

1. Sadece alt sınırı bilinen Gri sayılar: Bu tür Gri sayı $\otimes$, $\otimes \in [a, \infty)$ veya $\otimes(a)$ olarak yazılır; burada a, Gri sayının $\otimes$ kesin ve bilinen alt sınırını ifade eder. $[A, \infty]$ aralığı, $\otimes$'in alanı olarak ifade edilir.

2. Sadece bir üst sınıra sahip Gri sayılar: Bu tür Gri sayı $\otimes$, $\otimes \in (-\infty, a]$ veya $\otimes(a)$ olarak yazılır; burada a, Gri sayının $\otimes$ kesin ve bilinen üst sınırını ifade eder.

3. Aralık Gri sayılar: Bu tür Gri sayı $\otimes$, hem bir alt a hem de üst sınır a'ya sahiptir ve $\otimes \in [a, a]$ olarak yazılır.

4. Sürekli ve ayrık Gri sayılar: Potansiyel değerlerden yalnızca sonlu sayı veya sayılabilir sayı alan bir Gri sayı, ayrık olarak bilinir. Bir Gri sayı potansiyel olarak aralık içinde herhangi bir değer alabiliyorsa, sürekli olarak bilinir.

5. Siyah ve beyaz sayılar: $\otimes \in (-\infty, +\infty)$ olduğunda, yani $\otimes$'nin herhangi bir üst veya alt sınırı olmadığında, $\otimes$ siyah sayı olarak bilinir. $\otimes \in [a, a]$ ve $a = a$ olduğunda, $\otimes$ beyaz sayı olarak bilinir.

6. Esaslı ve esaslı olmayan Gri sayıları: Birincisi, şimdilik beyaz bir sayı ile gösterilemeyen Gri sayıları ifade eder; ikincisi ise her biri, tecrübe ya da belirli bir yöntem aracılığıyla elde edilen bir beyaz sayı ile temsil edilebilen Gri sayıları ifade eder. Belirli beyaz sayıya Gri sayının beyazlatma değeri denir ve bu değer $\otimes \sim$ olarak gösterilir. Ayrıca, $\otimes(a)$, a beyazlatma değerine sahip Gri sayıları temsil etmek için kullanılır.

Elbette, ilgili belirsizliğin neyden kaynaklandığına dayalı olarak Gri sayılar; kavramsal tür, katman tür ve tahmini türü olarak da sınıflandırılabilir (Liu ve Lin, 2010).

3.2.1. Aralık Gri Sayılarının İşlemleri:

Toplama işlemi için:

$$\otimes_1 + \otimes_2 \in [a + c, b + d] \tag{3.1}$$

Katkı tersi ise:

$$-\otimes \in [-b, -a] \tag{3.2}$$

Dolayısıyla çıkarma:

$$\otimes_1 - \otimes_2 = \otimes_1 + (-\otimes_2) \in [a - d, b - c] \tag{3.3}$$

şeklinde tanımlanır.

$\otimes_1$ ve $\otimes_2$ çarpımı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\otimes_1 . \otimes_2 \in [\min\{ac, ad, bc, bd\}, \max\{ac, ad, bc, bd\}] \tag{3.4}$$

$\otimes_1 \in [a, b]$, $a < b$, $a \neq 0$, $b \neq 0$, $ab > 0$ 'in karşıtı ise:

$$\otimes_1^{-1} \in [1/b, 1/a] \tag{3.5}$$

Sırayla, $\otimes_1 \in [a, b]$, $a < b$; $\otimes_2 \in [c, d]$, $c < d$, $c \neq 0$, $d \neq 0$, $cd > 0$, $\otimes_1$'in $\otimes_2$ ile bölünmesi aşağıdaki şekilde verilir:

$$\otimes_1 / \otimes_2 = \otimes_1 \times \otimes_2^{-1} \in [\min\{a/c, a/d, b/c, b/d\}, \max\{a/c, a/d, b/c, b/d\}] \tag{3.6}$$

Skaler çarpım için, $\otimes \in [a, b]$, $a < b$ ve k pozitif bir gerçek sayı olduğu varsayıldığında:

$$k.\otimes \in [ka, kb] \tag{3.7}$$

Üsteller için, $\otimes \in [a, b]$, $a < b$, k pozitif bir gerçek sayı olduğu halde:

$$\otimes^k \in [a^k, b^k] \tag{3.8}$$

3.3. GRİ SİSTEM TEORİSİ UYGULAMA ALANLARI

3.3.1. Gri İlişkisel Analiz

Gri teori; Gri ilişkisel analizi, Gri modelleme, Gri tahmin, Gri kontrol ve Gri karar verme olmak üzere beş bileşenden oluşur. Bu yöntem; belirsiz, çok girdili ve ayrık veri problemine etkili bir çözüm sağlamaktadır. İşleme parametreleri ile işleme performansı arasındaki ilişki, Gri ilişkisel analizi kullanılarak bulunabilir ve bu tür etkileşim esas olarak parametreler arasındaki bağlantı ve önceden bilinen bazı koşullar aracılığıyla yapılır. Ayrıca, Gri ilişkisel analiz yardımıyla iki dizinin arasındaki ilişkisel derece ortaya çıkacaktır.

Gri ilişkisel analiz çeşitli faktörlerin etkilerinin ve ilişkilerinin tümünü ölçer. Buna faktör ilişkisinin beyazlatılması denir.

Dizinin aralığı çok büyük olduğunda veya standart değer çok büyük olduğunda, bazı faktörlerin etkisinin ihmal edilmesine neden olur. Ayrıca dizide, faktörlerin hedefleri ve yönleri farklıysa; ilişkisel analiz yanlış sonuçlar da üretebilir. Bu nedenle, tüm verilerin ön işleme tabi tutulması gereklidir. Bu işleme Gri ilişki üretme denir (Liu ve Lin, 2010).

3.3.2. Gri Karar Verme

Çevredeki gerçek koşullara dayalı olarak planlanmış bir hedefe ulaşmak için hangi eylemlerin gerçekleştirileceğine karar vermek, karar verme olarak adlandırılır. Karar vermenin temel anlamı, "karar vermek" ya da "uygun bir reaksiyon seçmek" demektir. Karar verme, sadece her düzeydeki çeşitli idari faaliyetlerde önemli bir rol oynamakla kalmaz aynı zamanda herkesin çalışma ve eğitim hayatına ve baştan sona nüfuz eder (Liu ve Lin, 2006).

Karar-verme kavramının anlaşılması genel ve özel olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Genel kategoride, karar-verme, soruların gönderilmesi, verilerin toplanması, hedefin oluşturulması, eylem planının hazırlanması, analizi ve değerlendirilmesi, planın uygulanması, geriye bakılması ve planın değiştirilmesi de dahil olmak üzere tüm faaliyet süreçlerini kapsar. Özel kategoride, karar-verme sadece karar-verme sürecinin tamamında belirli bir eylem planı seçme adımını temsil eder. Ayrıca, bazı akademisyenler karar vermeyi belirsiz koşullar altında bir eylem planı seçmek olarak anlarlar. Bu durumda, seçimi, muhtemelen daha çok karar vericinin önceki deneyimi, tutumu ve belirli miktarda risk almak için istekli olması etkileyebilir. Gri

karar-verme, Gri unsurları içeren karar-verme modellerini kullanarak karar vermek veya genel karar modeli ile Gri sistem modellerini birleştirmek ile ilgilidir. Çalışmanın odağı belirli bir plan seçme problemi üzerinedir.

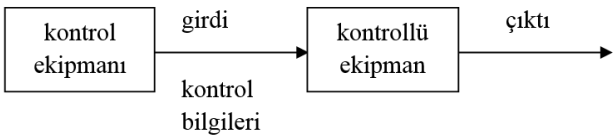
Çözülmeyi bekleyen soruna, ele alınması gereken olay, bir sistemin davranışının mevcut durumu denir.

Olaylar soruşturmamıza başlayacağımız yerdir. Özellikle, olaylar, karşı önlemler, hedefler ve etkiler, karar vermenin dört temel unsuru olarak bilinir. Bir araştırma aralığındaki tüm olayların toplamı, çalışmanın olayları kümesi olarak bilinir ve $A=\{a_1, a_2, \ldots a_n\}$ olarak gösterilir; burada a_i, $i = 1,2,3, \ldots, n$, i. olayı temsil eder. Olası tüm karşı önlemlerin toplamı karşı önlemler kümesi olarak bilinir ve $B =\{b_1, b_2, \ldots, b_m\}$ ile gösterilir. b_j, $j = 1,2, \ldots m$, j karşı önlemi temsil eder. A olay seti ve B durum kümesinin Kartezyen çarpım $A \times B = (a_i, b_j) \mid ai \in A, b_j \in B\}$ durum kümesi olarak bilinir ve $S=A \times B$ olarak yazılır, burada, herhangi bir $a_i \in A$, $b_j \in B$ için her sıralı çift $s_{ij} = (a_i, b_j)$ bir durum olarak bilinir.

Verilen bir $s_{ij} \in S$ durum için, karar verme, önceden belirlenmiş amaçlar altındaki etkileri değerlendirmek ve neyin alınması gerekip neyin bırakılacağına dair değerlendirme temelinde karar vermekdir (Liu, Yi Lin, 2006).

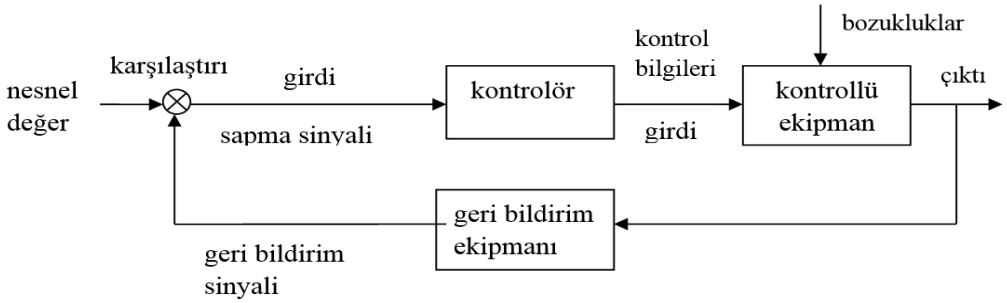
3.3.3. Gri Kontrol

Bilimsel bir konsept olarak kontrol; kontrol eden ekipmanın veya partinin kontrol edilen ekipman veya partiye özel bir işlev veya eylem uyguladığını ifade eder. Bu özel işlev veya etki amaçlanmış ve seçilmiş bir dinamik eylemdir. Bir kontrol sisteminde, en az üç parça bulunur: kontrol ekipmanları, kontrol edilen ekipman ve bir iletişim tüneli. Yalnızca bu üç bölümden oluşan bir kontrol sistemi, bir açık döngü kontrol sistemi olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde gösterilir.



Şekil 3.1: Açık döngü kontrol sistemi (Lio ve Lin, 2010)**.**

Açık döngü kontrol sistemleri için, gerekli bir kontrol yapmak nispeten basittir, çünkü çıktı, doğrudan girdiyi kullanılarak kontrol edilebilir. Geri besleme döngülerine sahip kontrol sistemleri, kapalı döngü kontrol sistemleri olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde gösterilir. Bir kapalı döngü kontrol sisteminde, kontrol, girdi ve çıktı geribildirimi arasındaki etkileşimler aracılığıyla gerçekleştirilir. Kapalı bir döngü kontrol sisteminin üstün bir gücü, daima ön tanımlı hedeflerin etrafındaki çıktısının karışıklıklarına karşı çok dayanıklı olmasıdır. Yani, kapalı döngü kontrol sistemleri bir çeşit kararlılığa sahiptir (Lio ve Lin, 2006).



Şekil 3.2: Kapalı döngü kontrol sistemi (Lio ve Lin, 2010)**.**

Gri kontrol sistemi, kontrol bilgisinin sadece kısmen bilindiği bir sistemi ifade eder ve genelde kısaca bir Gri sistem olarak bilinir. Gri sistemlerin kontrolü, genel beyaz sistemlerin kontrolünden farklıdır. Bunun sebebi daha çok ilgili sistemde Gri elemanların bulunmasıdır. Bu koşullar altında öncelikle, sistem davranışları ile Gri elemanların parametrik matrisleri arasındaki muhtemel ilişkinin, sistem dinamiklerinin bir andan bir sonraki ana nasıl değiştiğinin, özellikle sistemlerin özelliklerini değiştirmek ve sistemlerin değişim sürecinin kontrolünü hayata geçirmek için beyaz bir kontrol fonksiyonu nasıl elde edildiğinin bilinmesi gerekmektedir. *Gri kontrol*, sadece Gri parametreleri içeren sistemlerin genel durumunu değil, aynı zamanda Gri sistem analizine, modellemeye, tahmine ve karar vermeye dayanan kontrollerin inşasını da içermektedir. Gri kontrol düşüncesi ilgili problemlerin altındaki niteliği açığa çıkarabilir ve kontrol amacını gerçekleştirmeye yardımcı olabilir (Lio, Yi Lin, 2010).

Gri kontrol, Gri sistem analizi, modelleme, tahmin ve karar verme yöntemlerini kullanarak düzenlediği denetimlerle, Gri sayılar içeren genel kontrol sistemlerini kapsayan temel Gri sistemlerin kontrolü için kullanılır.

3.3.4. Gri Modelleme ve Tahminleme

Son yıllarda, *Gri tahminleme* teorisi bilimsel araştırmacılar tarafından giderek daha fazla ilgi görmektedir. Gri tahminleme sanayi, tarım ve bilimsel çalışmalar gibi birçok alana uygulanmış ve tahminde tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Gri tahmin modelinin oluşturulması sürecinde, esas olarak, orjinal veriler güçlü bir düzenlilik içeren yeni bir veri sütununa biriktirilir ve yeni bir model oluşturulur; Daha sonra ters işlem ile bu yeni veri sütunundan indirgeme modeli oluşturulur ve en son yukarıdaki indirgeme modelinden tahmin modeli elde edilir. GM(1,1) modeli en çok kullanılan Gri tahmin modelidir. Bu model sadece bir değişken içeren birinci dereceden diferansiyel denklemden oluşan bir modeldir (Deng, 1988).

Gri tahmin modelleri veya teknikleri aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.3.4.1. Klasik GM(1,1) Tahmin Modeli

GM(1,1), en sık kullanılan Gri tahmin modellerinden biridir. Bu model birinci derece diferansiyel denkleminden oluşan zaman serisi tahmin modelidir ve parametre varyansı için uyarlanmış bir grup diferansiyel denklemini kapsar. Bu denklemler genel diferansiyel denklemlerinden ziyade zamana göre değişen bir yapıya sahiptir. GM(1,1) modelini oluşturmak için orjinal seriden elde edilen tüm verileri kullanmak gerekmese de, minimum veri sayısı dört olmalıdır. Buna ek olarak, veriler, herhangi bir veriyi atlamaksızın eşit aralıklarla ve ardışık sırada alınmalıdır (Deng, 1986).

GM(1,1) model oluşturma süreci aşağıda açıklanmıştır:

Adım1: n örnek sayısı ile orjinal zaman serisi aşağıdaki gibi ifade edilir

$$X^{(0)} = (X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)) \tag{3.9}$$

n: gözlemlenen veri sayısıdır.

Üst sembol *(0)* orjinal seriyi temsil eder. Orjinal verilerin pozitif olduğu varsayılır. Veri dizilerindeki negatif değerlerin Gri modellemede kullanımı yasaklanmıştır.

Adım2: Orjinal gözlenen ham verilerin ön işleme tabi tutulması ve Birikim
Üretim İşlevinin Oluşturulması; BÜİ operatörü, kaotik olarak süren $X^{(0)}$ serisini monoton olarak artan $X^{(1)}$ serisine çevirir. $X^{(1)}$ aşağıdaki gibi elde edilir:

$$X^{(1)} = (X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)) \tag{3.10}$$

Burada, $X^{(0)}(1) = X^{(1)}(1)$ ve $X^{(1)}(k) = \sum_{k=1}^{n} X^{(0)}(k)$ k= 2, 3, ..., n

Adım3: BÜİ $X^{(1)}$ serisinden GM(1,1) modeli oluşturulur ve katsayıları bulmak amacıyla birinci dereceden Gri diferansiyel denklemi uygulanır.

$$\frac{dX^{(1)}(k)}{dt} + aX^{(1)}(k) = b \tag{3.11}$$

Denklem (11.3)'de k, zaman noktaları a, gelişme katsayısı ve b sürücü katsayısı olarak tanımlanır. GM(1,1) olarak adlandırılan bu Gri modelde parantez içindeki ilk sayı diferansiyel denklemin mertebesini (birinci dereceden) ve ikincisi değişken sayısını (burada tek bir değişken yani $X^{(1)}$) belirtmektedir.

Adım4: $X^{(1)}$ dizisinin ardışık ortalama dizisi olan $Z^{(1)}$ aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$Z^{(1)}(k) = MeanX^{(1)} = 0.5[X^{(1)}(k) - X^{(1)}(k-1)] \quad k\text{= 2, 3, ..., } n \tag{3.12}$$

Genellikle, ortalama işlem şu şekilde ifade edilebilir:

$$Z^{(1)}(k) = aX^{(1)}(k) - (1-a)X^{(1)}(k-1) \qquad a \in [0,1] \tag{3.13}$$

$$\frac{dX^{(1)}(k)}{dt} = X^{(1)}(k) - X^{(1)}(k-1) = X^{(0)}(k) \tag{3.14}$$

Ve böylece Gri Diferansiyel Denklemi (GDD) elde edilir:

$$X^{(0)}(k) + aZ^{(1)}(k) = b \tag{3.15}$$

Denklem (3.15), (3.11)'nin beyazlatma denklemidir.

Adım 5: GDD'nin çözümünü bulmak için, a ve b parametreleri, en küçük kareler yöntemini kullanılarak şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$Y = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(k3) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{bmatrix} \tag{3.16}$$

$$B = \begin{bmatrix} Z^{(1)}(2) & 1 \\ Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \tag{3.17}$$

Ve sonra

$$[a, b] = (B^T B)^{-1} B^T Y \tag{3.18}$$

Adım 6: Beyazlatma Denkleminin çözümü üstel bir fonksiyondur ve $X(0)^{(1)} = X(1)^{(1)}$ onun başlangıç koşuludur.

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = (X^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a} \qquad n \geq 4 \tag{3.19}$$

Adım 7: $\hat{X}^{(1)}(k+1)$ dizisi üzerinde ters Birikim Üretim İşlevi uyguladığımızda:

$$\hat{X}^{(0)}(k+1) = \hat{X}^{(1)}(k+1) - \hat{X}^{(1)}(k) = (1 - e^{a})(X^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} \tag{3.20}$$

verilen k = 1, 2, 3, ..., n için $\hat{X}^{(0)}$ dizisinin tahmin değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\hat{X}^{(0)} = (\hat{X}^{(0)}(2), \hat{X}^{(0)}(3), \dots, \hat{X}^{(0)}(n)) \tag{3.21}$$

Gri modelde kullanılan veri sayısı azdır çünkü sadece iki parametrenin tanımlanması gerekir.

GM(1,1), sistemin gelişim sürecinde tüm verileri kullanabilmektedir. Bununla birlikte, eski değerlerin birikmesinden kaçınmak için, sabit veri noktalarını tutarak ve modeldeki son verileri kullanarak klasik GM(1,1) modelinin değiştirmesi için yuvarlanma mekanizmalı GM(1,1) modelinin inşa edilmesi önerilir. Yuvarlanma mekanizmalı GM (1,1) modeli, GM(1,1) modelini oluşturan dizi verilerinin ilerletilmesi temeline dayanır. Yuvarlanma mekanizmalı Gri Model, gürültülü verilerin olması durumunda tahminin doğruluğunu artırmak için etkili bir tekniktir. Veriler farklı zamanlarda farklı özellikler veya eğilimler gösterebilir. Bu nedenle bu farklılıkların üstesinden gelmek için, bu tür gürültülü verileri incelemek için Yuvarlanma

mekanizmalı Gri Modelin kullanılması tercih edilir. Yuvarlanma mekanizması girdi değerlerinin her zaman en yeni veriler olmasını garanti altına almak için bir araç sağlar.

3.3.4.2. GM(1,N) Tahmin Modeli

Verilen $X_i^{(0)} = (X_i^{(0)}(1), X_i^{(0)}(2), \dots, X_i^{(0)}(n))$ i=1, 2, …, N dizisi için, $X_1^{(0)}$ sistemin karakteristik verisini, $X_i^{(0)}$ ilgili faktörlerin veri dizileri, $X_i^{(1)}$, $X_i^{(0)}$ i=1, 2, …, N dizisinin kümülatif toplamını ve $Z_1^{(1)}$, $X_1^{(1)}$ 'in ardışık ortalama dizisini temsil ettiğini varsaydığımızda:

$$X_1^{(0)} + aZ_1^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^{n} bX_i^{(1)}(k) \tag{3.22}$$

GM(1,N) modeli olarak tanımlanır. $(-a)$ sabiti sistemin gelişme katsayısı, $biXi^{(1)}(k)$sürücü cümle, b_i sürücü katsayısı ve $\hat{a} = [a, b_1, b_2, \dots, b_n]^T$ parametrelerin dizisi olarak tanımlanır.

Daha önce tanımlanan $X_1^{(0)}$, $X_1^{(1)}$, ve $Z_1^{(1)}i$ =1, 2, ..., N terimleri için:

$$Y = \begin{bmatrix} X_1^{(0)}(2) \\ X_1^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X_1^{(0)}(n) \end{bmatrix} \tag{3.23}$$

ve

$$B = \begin{bmatrix} -Z_1^{(1)}(2) & X_2^{(1)}(2) & \dots & X_N^{(1)}(2) \\ -Z_1^{(1)}(3) & X_2^{(1)}(3) & \dots & X_N^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -Z_1^{(1)}(n) & X_2^{(1)}(n) & \ddots & X_N^{(1)}(n) \end{bmatrix} \tag{3.24}$$

Parametrelerin $\hat{a} = [a, b_1, b_2, \dots, b_n]^T$ dizisinin en küçük kareler yöntemi ile çözümü aşağıdaki şekildedir:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \tag{3.25}$$

$\hat{a} = [a, b_1, b_2, \dots, b_n]^T$ için,

$$\frac{dX_1^{(1)}}{dt} + aX_1^{(1)} = b_2X_2^{(1)} + b_3X_3^{(1)} + \cdots + b_NX_N^{(1)} \tag{3.26}$$

GM(1,N) modelinin beyazlatma denklemi olarak tanımlanır.

$\frac{dX_1^{(1)}}{dt} + aX_1^{(1)} = \sum_{i=2}^{N} b_iX_i$ beyazlatma denkleminin çözümü ise şu şekildedir:

$$\begin{aligned} x^1(t) = e^{-at}[&\sum_{i=2}^{N} \int b_i x_i^{(1)}(t)e^{at}dt + x^{(1)}(0) - \sum_{i=2}^{N} \int b_i x_i^{(1)}(0)dt] \\ &= e^{-at}[x_1^{(1)}(0) - t\sum_{i=2}^{N} b_iX_i^{(1)}(0) \\ &+ \sum_{i=2}^{N} \int b_i x_i^{(1)}(t)e^{at}dt] \end{aligned} \tag{3.27}$$

$X_i^{(1)}$, i = 1, 2, ..., N büyük farklılıklar göstermediğinde $\Sigma biXi^{(1)}(k)$ bir Gri sabit olarak görülebilir. Bu durumda, GM(1,N) modelinin birikimli tahmin değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} \hat{X}_1^{(1)}(k+1) = (&X_1^{(1)}(0) - \frac{1}{a}(\sum_{i=2}^{N} b_iX_i^{(1)}(k+1))e^{-ak} \\ &+ \frac{1}{a}(\sum_{i=2}^{N} b_iX_i^{(1)}(k+1))) \end{aligned} \tag{3.28}$$

$\hat{X}^{(1)}(1) = X^{(0)}(1)$olarak varsayılmıştır.

Ters birikim dizisi :

$$\hat{X}_1^{(0)}(k+1) = a^{(1)}\hat{X}_1^{(1)}(k+1) = \hat{X}_1^{(1)}(k+1) - \hat{X}_1^{(1)}(k) \tag{3.29}$$

ve GM(1,*N*) diferansiyel modeli ise:

$$\hat{X}_i^{(0)}(k) = -aZ_1^{(1)}(k) + \sum_{i=2}^{N} b_i\hat{X}_i^{(1)}(k) \tag{3.30}$$

olarak tanımlanır.

3.3.4.3. Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Tahmin Modeli

Adım1: n örnek sayısı ile negatif olmayan orjinal zaman serisi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$X^{(0)} = (X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)) \qquad (n>=4) \tag{3.31}$$

BÜİ (Birikim Üretim İşlevi) dizisi $X^{(1)}$ ise:

$$X^{(1)} = (X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)) \tag{3.32}$$

Burada $X^{(0)}(1) = X^{(1)}(1)$ ve $X^{(1)}(k) = \sum_{k=1}^{n} X^{(0)}(k)$ k=1,2,3,…,n eşittir.

Adım2: DOGBM (1, 1) modelinin Gri diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$X^{(0)}(k) + aZ^{(1)}(k) = b(Z^{(1)}(k))^{\beta} \qquad ; k = 2, 3, \dots, n\ ,\ \beta \neq 1 \tag{3.33}$$

ve

$$Z^{(1)}(k) = aX^{(1)}(k) - (1-a)X^{(1)}(k-1) \tag{3.34}$$

α, 0.5'e eşit olduğunda, yukarıdaki denklem DOGBM (1,1) olarak kısaltılan doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli olarak adlandırılır (Chen ve diğ., 2008). α, [0,1] aralığında belirsiz bir değer olduğunda, model NDOGBM (1,1) olarak kısaltılan Nash doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli olarak adlandırılır (Chen ve diğ., 2010).

$\beta = 0$, denklem klasik GM(1,1) modeline indirgenir.

$$X^{(0)}(k) + aZ^{(1)}(k) = b \tag{3.35}$$

$\beta = 2$, denklem Gri Verhulst modeline indirgenir.

$$X^{(0)}(k) + aZ^{(1)}(k) = b(Z^{(1)}(k))^{2} \tag{3.36}$$

Adım 3: NDOGBM'nin (1,1) beyazlatma diferansiyel denklemi, birinci mertebeden bir diferansiyel denklemidir ve şu şekilde tanımlanır:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = b(X^{(1)})^{\beta} \tag{3.37}$$

Adım 4: Yapısal parametreler *a* ve *b*, en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilebilir,

$$A = [a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \tag{3.38}$$

ve

$$Y = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{bmatrix} \tag{3.39}$$

$$B = \begin{bmatrix} Z^{(1)}(2) & [Z^{(1)}(2)]^{\beta} \\ Z^{(1)}(3) & [Z^{(1)}(3)]^{\beta} \\ \vdots & \vdots \\ Z^{(1)}(n) & [Z^{(1)}(n)]^{\beta} \end{bmatrix} \tag{3.40}$$

Adım 5: Başlangıç değerini $\hat{X}^{(1)}(1) = X^{(0)}(1)$ olarak belirlenirse, beyazlatma denkleminin çözümü aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = \{[(X^{(0)}(1)^{(1-\beta)} - \frac{b}{a}]e^{-a(1-\beta)k} + \frac{b}{a}\}^{\frac{1}{1-\beta}} \beta \neq 1 \tag{3.41}$$

Adım 6: Birinci dereceden ters kümülatif üretim operatörü $\hat{X}^{(1)}(k+1)$ 'e uygulanırsa, $X^{(0)}$'ın simülasyon ve tahmin fonksiyonunu şu şekilde elde edilir:

$$\hat{X}^{(0)}(k+1) = \hat{X}^{(1)}(k+1) - \hat{X}^{(1)}(k) \qquad k = 1, 2, \ldots \tag{3.42}$$

3.4. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde ilk olarak Gri tahmin modelleri ile ilgili literatür taraması ve daha sonra CO_2 emisyonları tahmini ile ilgili literatür çalışmaları sunulmuştur.

3.4.1. Gri Tahminleme ile ilgili Literatür Taramasi

Gri tahmin modelinin tahmin doğruluğu arttırmak için, GM(1,1)'in pek çok geliştirilmiş versiyonu öne sürülmüştür. Bu geliştirilmiş modeller dört kategoriye ayrılabilir:

1) Tahmin doğruluğunu etkili bir şekilde arttırmak için veri değişkenliğini azaltmak ve bunun için veri modelleme yaklaşımının geliştirilmesi.

2) GM(1,1) modelin tahmin denkleminin geliştirilmesi için, gelişme katsayısı ve Gri girdi katsayısını hesaplamak için optimal yöntemlerin uygulanması. .

3) Orjinal Gri tahmin modelini geliştirmek için hata düzeltme yönteminin uygulaması.

4) Tahmin doğruluğunu artırmak için orjinal Gri tahmin modeli ve diğer tahmin modellerinin avantajlarının birleşimi.

Yao ve diğ. (2003) Tayvan'ın elektrik talebini tahmin etmek için gelişmiş Gri tabanlı bir yaklaşım sunmuştur. Klasik Gri modelin değişken bir elektrik sistemini ele almak için yetersiz olduğu gösterilmiş, Gri yaklaşımının ters birikim üretim işlevinde, sıfır " α " durumlarını ortadan kaldırmak için dönüştürülmüş yeni bir model önerilmiştir. Sonuçlar yeni modelin tahminin doğruluğu büyük ölçüde arttırdığını göstermiştir.

Zhang ve diğ. (2003) dizel motorların performansını aşınmaya dayalı olarak tahmin etmek için Gri tahmin yaklaşımını uygulamıştır. Dizel motorlarının aşınma eğilimi tahmin edilmiş ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir.

Jiang ve diğ. (2004) Gri tahmin modelini, Kuzey Çin'de hava soğutma ünitelerinin enerji performansını tahmin etmek için kullanmıştır. Sayısal sonuçlar, yapay sinir ağları yöntemine karşı, Gri tahmin modelin daha etkin ve doğru olduğunu göstermiş ve yüksek hassasiyeti nedeniyle hava soğutma ünitelerin enerji yönetim sistemlerinde veya arıza tespiti için kullanılabilirliğini tespit etmiştir.

Wu ve diğ. (2005) GM(1,N) modeline konvolüsyon teknolojisini entegre ederek yeni bir model elde edip, bu modeli Gri İlişkisel Analizi ile birleştirerek yeni bir yaklaşım sunmuştur. Önerilen tahmin modeli, Tayvan'ın İnternete erişim nüfusunu tahmin etmek için kullanılmış ve yüksek bir tahmin doğruluğu göstermiştir.

Zhou ve diğ. (2006) elektrik talebini tahmin etmek için, klasik Gri model GM(1,1) 'i Trigonometrik Artık Modifikasyon tekniği ile birleştirerek bir trigonometrik Gri tahmin yaklaşımı önermiştir. Yeni yaklaşım, GM(1,1) 'in tahmin doğruluğunu arttırmaya yardımcı olup, makul bir Gri tahmin aralığının elde edilmesini sağlamaktadır. Bu model, Çin'in yıllık ve üç aylık elektrik verilerine dayanan iki vaka çalışmasına uygulanmış ve ARIMA ile klasik GM(1,1) 'e kıyasla daha doğru sonuçlara elde etmiştir.

Hsu ve Wang (2007) Tayvan'daki entegre devre endüstrisinin çıktısını tahmin etmek için orjinal ve Bayesian Gri tahmin modellerini değerlendirmiştir. Bayesian yöntemi Gri diferansiyel fonksiyon parametrelerini tahmin etmek için Markov Zinciri Monte Carlo tekniğini kullanır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, klasik Gri tahmin modeli ve Regresyon modeli ile karşılaştırıldığında, Bayesyen Gri tahmin modeli, en doğru model olarak tespit edilmiştir.

Wang ve diğ. (2008) Tayvan'daki yüksek teknoloji endüstrisinin üretim ve trendlerinin tahmininde, tahmin hatasını azaltmak için Genetik Algoritma tabanlı bir Gri tahmin modeli önermiştir. Alınan sonuçlara göre, Genetik Algoritma tabanlı Gri tahmin modeli, Bayesian Gri model ve klasik Gri model ile karşılaştırıldığında, ileri teknoloji endüstrisi konusunda neredeyse en uygun sonuçları elde eden yaklaşımdır.

Lin ve diğ. (2009) yeni bir Gri tahmin yaklaşımı inşa etmiş ve bu yeni yaklaşımda hata terimini ortadan kaldırmak için arka plan değerinin orjinal hesaplamasını entegre bir terimle değiştirmiştir. Ayrıca periyodik ve stokastik artık hatalarını azaltmak için Fourier serisi ve Üstel düzeleştirme tekniği kullanmıştır. Modelin performans etkinliği, 2001'den 2007'ye kadar Tayvan'daki yapı malzemesi stok endeksinin tahmin uygulamasında, sinir ağları ve GM (1,1) modelleri ile karşılaştırılarak kanıtlanmıştır.

Hsu (2009) Genetik algoritmayı kullanarak iki çok değişkenli Gri tahmin yaklaşımı oluşturmuştur; öncelikle parametre tahmininde optimum katsayıyı bulmak için, ek olarak tahmin hatasını en aza indirgemek için üretici katsayılarının optimal değerini elde etmek için.

Geliştirilmiş bu çok değişkenli Gri tahmin modellerin uygulanabilir ve etkili olduğu, Tayvan'ın entegre devre endüstrisinin çıktısının tahmininde uygulanarak kanıtlanmıştır.

Li ve diğ. (2009) veri davranışını analiz etmek ve gizli bilgileri istihrac etmek için trend ve potansiyel izleme yöntemini kullanmıştır ve trend ve potansiyel değeri kullanarak, Gri teorisine dayalı adaptif bir Gri tahmin modeli oluşturmuştur. Deneysel sonuçlar, önerilen modelin küçük örnekler için tahmin doğruluğunu iyileştirebileceğini göstermiştir.

Sheng-qiang ve diğ. (2009) kömür ve gaz patlamalarını öngömek için bir Gri-Sinir ağları tahmin modeli oluşturmuştur. Bu yaklaşımda Yapay Sinir Ağları modelinin girdi parametrelerini tespit etmek için Gri korelasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Model Çin'de bulunan yirmi tipik kömür ve gaz patlaması madeninin verilerini kullanarak test edilmiştir. Sayısal sonuçlar, önerilen modelin kömür ve gaz patlamaları tahmini için yeterliliğini göstermştir.

Hsu ve diğ. (2009) Markov-Fourier Gri modeli adlı yeni bir entegre tahmin modeli oluşturmuştur ve bunun için Gri model, Fourier serisi ve Markov durum geçişi matrisini kullanmıştır. Önce bir dizi veriden optimal bir Gri model oluşturup, daha sonra, Fourier-Gri modelin ürettiği ortalama sonuçları yükseltmek için Markov durum matrisini konum sonuçlarının olasılığını tahmin etmekte kullanılmıştır. Model Tayvan'ın ağırlıklı stok endeksinin dönüş süresinin tahmininde, tahmin doğruluğunu arttırmak için kullanılmıştır.

Hsu (2010) kullanılan küçük miktardaki verilerin parametre tahmin problemini çözmek için Genetik Algoritmyı kullanarak geliştirilmiş doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelini önermiştir. Tayvan'ın entegre devre endüstrisinin zaman serisi verileri (1990–2007) test verileri olarak kullanılmış ve önerilen model, GM(1,1) ve Gri Verhulst modellerine karşı, daha doğru ve daha iyi birsonuçlar elde etmiştir.

Chen ve diğ. (2010) yeni bir yaklaşımda Gri dinamik modelleme ve Genetik algoritmayı entegre edip, bu modeli Tayvan'da endüstriyel atık su arıtımının atık kalitesini doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanmıştır. Modellemenin üstün prformansı, Monte Carlo simülasyonu ve yapay sinir ağları yaklaşımları ile karşılaştırılarak kanıtlanmıştır.

Chen ve diğ. (2010) Nash doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelini önermiştir ve bu modelin doğrusal olmayan verileri tahmin etmekte kabiliyetini göstermek ve tahmin hatasını azaltmada etkinliğini göstermeye çalışmıştır. Model Tayvan'ın borsa endekslerini tahmin etmekte

kullanılmış ve sonuçlar, Nash doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelinin, klasik Gri model ve doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeller ile karşılaştırarak tahmin etme hassasiyetini iyileştirdiğini göstermiştir.

Tsaur (2010) bulanık doğrusal programlama modelini kullanarak bulanık Gri regresyon modelini geliştirmiştir ve bu modelden toplanan aralık verilerinde bulunan optimum ve minimum Gri regresyon aralığını bulmak için yararlanmıştır. Bu model aralıklı-girdi ve sınırlı veriler ile Tayvan'daki LCD TV talebi tahmininde kullanılmıştır.

Kumar ve diğ. (2010) Hindistan'da enerji tüketimini tahmin etmek için Yuvarlamalı Gri Model ve Gri-Markov modellerini uygulamıştır. Modeller zaman serilerinin yapısına göre seçilmiştir. Sonuçlar, Gri tabanlı modellerin, enerji tüketimini tahmin etmekte Hindistan'ın projelendirme planlama komisyonununa karşı verimliliğini ve güvenilirliğini göstermiştir.

Hsu (2011) Genetik Algoritma tabanlı bir Gri model geliştirmiştir ve ondan, Tayvan'daki opto-elektronik endüstrisinin çıktısını tahmin etmek için yararlanmıştır. Üç Gri tahmin modeli, GM(1,1), yuvarlanan GM(1,1) ve dönüştürülmüş GM(1,1) ile karşılaştırarak, yeni modelin hem örneklem dışı hem örneklem içi tahmin performansı diğer üç modelden daha doğru olduğu kanıtlanmış, kısa vadeli tahminlerin doğruluğunu büyük ölçüde arttırdığı ısbatlanmıştır.

Zhan-Li ve Jin-Hua (2011) yangın kazalarını tahmin etmek için GM(1,1) ve Markov zincir modelinden oluşan bir Gri-Markov modeli geliştirmiştir. Bu model, tahmin doğruluğunu etkileyen kaza verilerinin rastgele dalgalanmasını azaltabilir ve Gri tahminin uygulama kapsamını geliştirebilir. Çin'in bir ilinde 2005-2009 arası meydana gelen yangın kazalarının orjinal veri dizisi, veri kümesi olarak kullanıldığında, Gri-Markov modelin GM(1,1) karşı daha yüksek tahmin hassasiyeti ve mükemmel uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Pan ve diğ. (2011) Çin'deki Tianjin şehrinin hava kalitesini tahmin etmek için Gri dinamik modelinden yararlanmıştır.

Lee ve tong (2011) GM(1,1)'in tahmin doğruluğunu geliştirmek için, artık modifikasyonu ve Genetik programlamayı birleştirerek, geliştirilmiş bir Gri tahmin modeli inşa etmiştir. Çin'de enerji tüketiminin gerçek bir örneği, önerilen tahmin modelinin etkinliğini kanıtlamıştır. Ayrıca önerilen geliştirilmiş Gri tahmin modeli, GM(1,1), Hsu ve Chen'in modeli ve doğrusal regresyon modeline göre daha fazla hassasiyet ve güvenilirlik göstermiştir.

Lin ve diğ. (2011) Gri tahmin modelini 2010 yılından 2012 yılına kadar Tayvan'ın gelecekteki karbondioksit emisyon miktarını tahmin etmek için kullanmıştır. GM(1,1) gelecek üç yıl içersindeki karbondioksit emisyon miktarındaki artışları öngörmüştür.

Li ve diğ. (2011) veri dönüştürme yaklaşımını genişleterek, gelişmiş bir Gri tahmin modeli oluşturmuştur. Çok yönlü tahminleri mümkün kılmak için yeni bir ters birikim operatörü geliştirilmiştir. Yeni model daha geniş kapsamlı tahmin uygulamalarını ele alabilecek kapasiteye sahiptir ve çeşitli büyüklukte örneklere uygulandığında tatmin edici sonuçlar elde edebilmektedir.

Chen ve Wang (2011) Gri modelinin arka plan değerinin inşası için yeni bir yöntem sunmuştur ve yeni medeli, Çin'ın enerji tedarik yönetimi mühendisliğinde uygulamıştır. Bu yaklaşım sınırlı örneklerle bir model oluşturmak için kullanılabilir ve uzun vadeli problemler için daha iyi bir tahmin avantajı sağlamaktadır. Geliştirilmiş Gri modelin tahmin performansı, Çin'in enerji veritabanı kullanılarak doğrulanmıştır ve Yapay Sinir Ağları ve Zaman serileri modellerine göre daha doğru sonuçlar elde etmiştir.

Huang ve diğ. (2011) Gri teorisinden yararlanarak ve Çin'deki emlak piyasası talebini etkileyen ana faktörleri analiz ederek, Gri tabanlı bir emlak talebi analiz modeli oluşturmuştur ve böylece hangi faktörün en önemli veya da daha az önemli olduğunu bulmuştur. Ayrıca en küçük kareler yöntemi ile çok değişkenli regresyon modelini birleştirerek gayrimenkul talebinin üç yıl içindeki trendini tahmin etmiştir.

Kang ve Zhao (2012) Gri model, Markov model ve hareketli ortalama metoduna dayalı geliştirildiğinde, hataları etkin bir şekilde azalabileceği ve güç mühendisliğinde uzun-vadeli tahminlerde uygulanabileceğini göstermiştir. Çin, Qingdao'daki güç yük verilerini kullanarak yapılan analiz sonuçları, geliştirilmiş Gri modelinin doğruluğunu, klasik Gri modeline göre oldukça yüksek olduğunu kanıtlamıştır.

Lin ve diğ. (2012) rezerveye giren su miktarının tahmini için, modifiye edilmiş bir Gri tahmin modeli geliştirmiştir. Entegrasyon, Fourier serileri ve Üstel düzleştirme teknikleri ile modifiye edilmiş arka plan değerleri, periyodik artıkları ve rastgele artıkları düzeltmek için kullanılmıştır. Sonuçlar ARIMA ve GM(1,1) ile karşılaştırıldığında daha yüksek tahmin doğruluğu göstermiştir.

Ou (2012) Gri modeldeki optimal parametreleri bulmak için Genetik algoritmayı kullanarak geliştirilmiş bir model inşa etmiştir ve bu modeli Tayvan'daki tarımsal çıktıları tahmin etmek için uygulamıştır. Hem örneklem içi ve hem örneklem dışı sonuçlar, yeni modelin GM(1,1)'in tahmin doğruluğunu oldukça iyileştirebileceğini göstermiştir.

Vivian ve Yin (2012) Taiwan'daki eğitim harcamaları ve okula kayıtlarını tahmin etmek için GM(1,1) ve Yuvarlamalı GM(1,1) modellerini, Üstel düzeleştirme yöntemi ile karşılaştırmıştır ve Yuvarlamalı GM(1,1) modelin daha üstün olduğunu ve daha iyi sonuçlar elde ettiğini kanıtlamıştır.

Lu ve diğ. (2012) GM(1,1) tabanli yeni bir matematiksel tahmin modeli oluşturmuştur ve bu modeli motor odasındaki dizel buhar algılama ve alarm sisteminin arıza ön alarmını çözmek için kullanmıştır. Deneysel sonuçlar, modelin sensör çıkışına göre dizel buharının konsantrasyonunu % 90'dan daha yüksek bir doğrulukla tahmin edebileceğini göstermiştir.

Lei ve Feng (2012) referans dizisinin korelasyon yöntemiyle belirlendiği yeni bir Gri model inşa etmiştir ve parametreleri belirlemek için, En Küçük Kareler Yöntemi yerine Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmasını kullanmıştır. Model, Nordpool, California ve Ontario elektrik piyasası verilerini kullanarak, kısa vadeli elektrik fiyat tahminleri için uygulanmıştır ve GM(1,1) ile GM(1,2) modeller ile karşılaştırılması, yeni modelin daha doğru sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

Lie ve diğ. (2012) Adaptatif Gri tahmin metodu AGM (Lie ve diğ; 2009) Asya-Pasifik bölgesinde bulunan 21 ülkenin kısa dönemli elektrik talebi tahmini için kullanmıştır. Araştırma sonuçları, geri yayılımlı Sinir Ağları ve destek Vektör Regresyonu yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, önerilen yaklaşımın, örneklem büyüklüğü sınırlı olduğunda, elektrik tüketiminin tahmin problemini etkin bir şekilde çözebileceğini göstermiştir.

Alvisi ve diğ. (2012) belirsizliği doğrudan dikkate alan, parametreleri Gri sayılarla temsil edilen Yapay Sinir Ağları tabanlı bir model geliştirmiştir ve bu modeli nehir akım tahmininde uygulamıştır. Modelin çıktısı, öngörülen değerin belirsizliğini doğrudan ölçen bir aralıktır. Önerilen yaklaşımın gerçek bir vaka çalışmasına uygulanması ve sonuçlarının Bayes Sinir Ağları modeli gibi başka Yapay Sinir Ağlar tabanlı modellerle karşılaştırılması, önerilen yaklaşımın etkinliğini göstermiştir.

Zhao ve diğ. (2012) Yuvarlamalı Gri tahmin Modeli ile Diferansiyel Evrim Algoritmasını birleştirerek yeni bir hibrid tahmin modeli geliştirmiştir. Diferansiyel Evrim Algoritmasını arka plan değerinin doğruluğunu artırmak için kullanılmıştır. Model, Çin'deki kırsal hanehalkı yıllık gelirini tahmin etmek için uygulanmıştır. Sayısal sonuçlar, modelin verimliliğini kanıtlamaktadır.

Wang (2013) Nash Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelinin arka plan değerini eniyileştirerek, yeni bir yöntem geliştirmiştir. Tayvan'ın opto-elektronik endüstrisinden gerçek bir vaka çalışmsı ve dalgalı bir dizi örneğinden elde edilen sonuçlar önerilen eniyilenmiş Nash Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelinin üstün bir modelleme performansına sahip olduğunu göstermiştir.

Benitze ve diğ. (2013) GM(1,1) modeline bir sönüm trend faktörü dahil ederek, modifiye edilmiş bir Gri modeli geliştirmiştir. Model havayolu hattında uzun süreli gecikmelerde yolcu artışını tahmin etmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu model, veri miktarı az olduğunda, havayolları rotalarının yolcu akışını hesaplamak için bir seçenek sunmaktadır.

Wang ve diğ. (2013) Pekin'in entegre elektrik-çevre yönetim sistemlerinin planlanmasını ve çevre kirliliği ile sera gazı emisyonlarının azaltılmasını desteklemek için, bir aralık-parametreli karışık-tamsayılı Gri tahmin programlama modeli geliştirmiştir. Yakın gelecekte elektrik talebindeki değişiklikleri bulmak için Gri tahmin modeli GM(1,1), kullanılmıştır ve bu şekilde, eniyileme sistemin giriş parametrelerinin doğruluğu arttırlmıştır. Sonuçlar önerilen modelin diğer benzer muhendislik problemlere uygulanabilirliğini gostermektedir.

Ma ve diğ. (2013) Parçacık Sürüsü eniyileme algoritması ve yuvarlama mekanizmasına dayanan yüksek hassasiyetli bir hibrid eniyilenmiş Gri tahmin modeli geliştirmiştir. Model, Çin'in demir cevheri ithalatını ve toplam demir cevheri tüketimini tahmin etmek için uygulanmıştır. Çalışma sonuçları, önerilen hibrid modelin, klasik GM(1,1), PSO-GM(1,1) veya Yuvarlamalı GM(1,1) gibi tek bir tahmin yöntemiyle elde edilen sonuçlardan daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamıştır.

Xie ve diğ. (2013) homojen olmayan indeks trendine dayanan yeni bir Gri tahmin modeli geliştirmiştir. Bu çalışmanın amacı, klasik Gri modellerde, orjinal veri dizisinin homojen olmayan indeks trendinden ziyade, homojen indeks trendi ile uyumlu oldmasi hipotezini test

etmekti. Sonuçlar, orjinal değer ve saf homojen olmayan indeks dizisine dayanan simülatif değer arasında bir hata olmadığını göstererek hipotezi reddetmiştir.

Cui ve diğ. (2013) bir yeni Gri model inşa edip, bu modeli eniyilemiştir. Yeni modelin parametrelerini en küçük kareler yöntemiyle çözmek için bir hesaplama formülü geliştirmiştir. Bu modeller, homojen olmayan üstel kanunun özellikleri taşıyan veri dizilerini tahmin etmek için uygundur. Sayısal sonuçlar, önerilen model ve en iyilenmiş versiyonunun, Gri tahmin modelinin doğruluğunu arttırmada etkili olduğunu göstermektedir.

Samvedi ve diğ. (2013) tedarik zincirindeki aksamalar ve istikrarlı durumların tahmininde, dört tahmin yaklaşımı, Hareketli Ortalama, Ağırlıklı Hareketli Ortalama, Üstel Düzeleştirme ve Gri tahmin yönteminin performanslarını karşılaştırmıştır. Gri tahmin metodu aksama frekansının yüksek olduğu ve aksama etkisinin ani değil kademeli olduğu durumlarda en iyi tahmin metodu olduğu ortaya çıkmıştır.

Wang ve diğ. (2014) Çin'de hidroelektrik üretimi ve iklim faktörleri arasındaki uzun vadeli ilişkiyi analiz etmek ve yenilenebilir enerji üretiminin hassasiyetini hidroelektrik üretimi açısından ölçmek için, hidroelektrik üretimi ve Gri tahmin yaklaşımını uygulamıştır. Gri tahmin modeli farklı yerleşim birimlerinde yağışların tahmininde kullanılmıştır ve sonuç olarak Çin'in iklim değişikliğine neden olan ana hidroelektrik üretim illeri ve en fakir bölgelerin artan hidroelektrik hassasiyetine sahip oldukları ortaya çıkmıştır.

Xia ve Wong (2014) kısa veri geçmişine sahip, moda perakende satışlarını tahmin etmek için Mevsimsel Ayrık Gri tahmin modeli önermiştir. Önerilen modelde, zaman serisinin periyodikliğini karakterize etmek için ve mevsimsellik ve aynı zamanda sınırlı veri problemlerinin üstesinden gelmek ve tahmin doğruluğunu daha da arttırmak için, döngü kesim birikimini kullanılmıştır. Sonuçlar bu modelin moda perakende satışlarını tahmin etmek için uygun olduğunu ve gelenksel Gri tahmin modeli ve Yapay Sinir Ağları gibi diğer yöntemlerden daha üstun performans gösterdiğini açıklamıştır.

Hamzacebi ve Es (2014) Türkiye'nin yıllık elektrik tüketimini, hem direkt hem de iteratif şekilde tahmin etmek için, eniyilenmiş Gri modelleme tekniğinden yararlandı. Elde edilen sonuçlar, bu tahmin yönteminin başarılı olduğunu, ayrıca Türkiye'nin elektrik tüketiminin tahmininde, direkt tahmin yaklaşımı, iteratif tahmin yaklaşımından daha iyi sonuçlar verdiğini kanıtlamıştır.

Bahrami ve diğ. (2014) kısa süreli elektrik yükü tahmini için, Dalgacık Dönüşümü ve Gri modeli birleştirerek yeni bir model sunmuştur ve bu modeli, Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile geliştirmiştir. Bu yöntem, İran ve New York ağlarının günlük ve haftalık yüklerini ve ayrıca New York ağının aylık yükünü tahmin etmek için kullanılmımıştır. Önerilen yöntem, incelenen tüm vakalarda, daha önce uygulanan yöntemlerleden daha üstün performans göstermiştir.

Chang ve diğ. (2015) küçük imalat veri kümeleri için tahmin doğruluğunu arttırmak için, Gri modeldeki arkaplan değerleri için yeni bir formül önermiştir ve veri özelliklerini analiz etmek için bir kutu grafiği kullanmıştır. Önerilen modelin etkinliğini göstermek için, Tayvan'daki bir termal bakır direk imalatının veri seti kullanılmıştır ve deneysel sonuçlar bu modelin küçük veri setlerin tahminleri için uygun bir araç olduğunu göstermiştir.

Nai-ming ve diğ. (2015) enerji üretiminin ve tüketiminin toplam miktarını tahmin etmek için eniyilenmiş tek değişkenli ayrık ve eniyilenmiş bir Gri tahmin modelini uyarlamıştır ve ayrıca enerji üretimi ve tüketimi trendlerini öngörmek için, ikinci dereceden programlama modeline dayanan yeni bir Markov yaklaşımı geliştirmiştir. Önerilen modeller, Çin'in 2006-2011 döneminde enerji üretimi ve tüketimini öngörmek ve 2015 ve 2020'deki trendlerini tahmin etmek için uygulanmıştır. Sonuçlar, önerilen modellerin enerji üretimi ve tüketiminin toplam miktarları ve yapılarını etkin bir şekilde simüle ve tahmin edebileceğini göstermektedir.

Intharathirat ve diğ. (2015) Tayland'da toplanan kentsel katı atık tahmininde bir eniyilenmiş çok değişkenli Gri tahmin modelinden yaralanmıştır. Tahmin için kullanılan eniyilenmiş model, konvolüsyon integrali içeren Gri modeli ve daha doğru bir trend elde etmek için, bir Gri kontrol parametresi ekleyerek Tien (2005) tarafından önerilmişti. Bu çalışmada iki klasik model, üç tek değişkenli Gri model ve on çok değişkenli Gri model olmak üzere 15 alternatif model kentsel katı atık miktarını tahmin etmek için simüle edilmiştir. Toplanan atığı etkileyen faktörler, korelasyon analizi ve Gri İlişkisel Analizi kullanılarak toplandı, tanımldı ve sınıflandırıldı. Sonuçlar, konvolüsyon integralli Gri modelin, en doğru ve en az hatalı model olduğunu tesbit etmiştir.

Hamzaçebi ve Karakurt (2015) Türkiye'deki enerji kaynaklı CO_2 emisyonlarını tahmin etmek Gri tahmin modelinden yararlanmıştır. Bu çalışmada, 1965-2012 dönemine ait enerji kaynaklı CO_2 emisyonları dikkate alınmıştır ve 2025 yılına kadar Türkiye'deki emisyonlar tahmin

edilmiştir. Ayrıca, üç farklı değerlendirme istatistiği hesaplanarak tahmin doğruluğu incelenmiştir. Sonuçlar, Türkiye'nin gelecekteki enerji kaynaklı CO_2 emisyonlarının, Gri tahmin modelinin uygulanmasıyla başarılı bir şekilde tahmin edilebileceğini ve bu tekniğin CO_2 emisyonu için potansiyel bir tahmin aracı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Wu ve diğ. (2015) BRICS ülkelerindeki (Yani; Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika) enerji tüketimi, kentsel nüfus, ekonomik büyüme ve Karbondioksit emisyonu arasındaki ilişkileri incelemek için çok değişkenli yeni bir Gri modelden yararlanmıştır. Sonuçlar, ekonomik büyümenin Brezilya ve Rusya'daki CO2 emisyonları üzerindeki etkisinin azaldığını ve Hindistan, Çin ve Güney Afrika'daki artan etkinin, kentsel nüfus ve enerji tüketiminin artmasıyla birlikte, CO2 emisyonlarının tüm BRICS ülkelerinde artacağını göstermektedir. Ayrıca, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme göz önüne alınarak, BRICS ülkelerindeki CO_2 emisyonları çok değişkenli yuvarlamalı Gri tahmin modeli ile tahmin edilmiştir.

Sun ve diğ. (2016) Çin'e gelen yıllık yabancı turist sayısını tahmin etmek için, yeni bir tahmin modeli önermiştir. Bu modelde, Markov-Gri modeli, küçük örneklem ve üstel dağılım örneklerine vurguamak için kullanılmıştır. Ayrıca, Markov-Gri modelinin performansını iyileştirmek için optimum girdi alt küme yöntemini ve Cuckoo arama optimizasyon algoritması uygulanmıştır. Sonuçlar önerilen modelinin klasik GM(1,1) model ve Markov-Gri modellerine göre daha yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermiştir.

Chen ve diğ. (2016) eşitsiz aralıklı kontur çizgileri ve kontur zaman dizileri ile metal fiyatlarını tahmin etmek için yeni bir Gri dalga tahmin yöntemin formüle etmiştir. Önerilen modelde eşitsiz aralıklı kontur çizgileri, verilerin kuantilleri ile belirlenir. Ayrıca, hesaplama karmaşıklık seviyesi, nitelikli kontur zaman dizilerine dayanan GM(1,1) tahmin modelleri kurarak azaltılır. Sonuçlar, bu yeni yöntemin Gri dalga tahmin yönteminin, tahmin doğruluğunu geliştirdiğini ve yeni yöntemin uzun vadeli tahminler için uygun olduğunu göstermktedir.

Zhao ve Guo (2016) yıllık güç yükünün tahmin doğruluğunu iyileştirmek için yuvarlanma mekanizmasına sahip bir hibrid eniyilenmiş Gri model önermiştir. Ulusal düzeyde ve bölgesel düzeyde yapılan iki gerçek vaka çalışmasının ampirik sonuçları, bu önerilen modelin etkili ve

uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Özellikle yuvarlanma mekanizması işe alındıktan sonra yıllık güç yükünün tahmin doğruluğu önemli ölçüde iyileştirildiği tebit edilmiştir.

Zeng ve Li (2016) Çin'deki doğal gazın talep tahminlerini ele almıştır ve kendinden adapte olan akıllı bir Gri tahmin modeli önermiştir. Bu yeni model, modelleme sırasında, gerçek veri özelliklerine göre otomatik olarak model parametrelerini eniyileştirebilir. Sonuçlar, sabit yapı ve zayıf uyarlanabilirliğin dezavantajlarına sahip olan klasik Gri modellerle karşılaştırıldığında, yeni modelinin daha esnek ve akıllı olduğunu ve mükemmel simülatif ve tahmin performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Liu ve diğ. (2016) Gri tahmin yöntemi ve geri yayılımlı Sinir Ağları modelini birleştirerek, Gri-Sinir Ağları ve Girdi-Çıktı Kombine Tahmin Modeli olarak adlandırılan bir tahmin modeli geliştirmiştir. Önerilen modelin etkililiğini doğrulamak için İspanya'nın enerji tüketiminin tahmini gerçek bir örnek olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın klasik Gri modeli veya diğer kombinasyon tahmin prosedürlerinden önemli ölçüde daha iyi olduğunu göstermiştir.

Zeng ve diğ. (2016) GM(1,N) modelinin yapısal kusur problemini ele almıştır. GM(1,N) model yapısını iyileştirmek için doğrusal bir düzeltme öğesi sunarak yeni bir çok değişkenli Gri tahmin modeli önermiştir. Daha sonra, bu yeni modeli Pekin'in motorlu araçlarının miktarını simüle ve tahmin etmek için kullanmıştır. Bulgular, yeni modelin ortalama simülasyon ve tahmin hata yüzdesinin geleneksel doğruluğa göre daha üstün olduğunu ve Gri tahmin teorisini zenginleştirebileceğini ve klasik Gri modelini geliştirdiğini göstermektedir.

Rajesh (2016), gelişmiş bir Gri tahmin modeli önermiştir ve bu modeli bir Hintli elektronik üreticisinin esneklik performansının periyodik göstergelerini tahmin etmek için kullanmıştır. Çalıştığı tedarik zinciri için, gelecek dönemlerde esneklik, cevap verme ve erişilebilirlik göstergeleri artarken, kalite ve üretkenlik göstergeleri hafif düşüş göstermiştir. Sonuç olarak, olumsuz eğilim gösteren göstergelerin firma tarafından daha fazla dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Wang ve Ye (2017) klasik çok değişkenli Gri tahmin modelini, ilgili değişkenlerin üstel kuvvet terimini ona dahil ederek geliştirmiştir ve bu yeni modeli, Çin'in fosil enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonlarını tahmin etmek için kullanmıştır. Deneysel sonuçlar doğrusal

olmayan çok değişkenli Gri tahmin modelinin klasik Gri modelden ve ARIMA modellerinden daha yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu göstermiştir. Önerilen modelin istatistiksel olarak oldukça kesin tahminler aralığında olduğu bulundu.

Xiao ve diğ. (2017) trafik akışını tahmin etmek için, kesik döngülü birikimli üretim işlevi kullanarak gelişmiş bir mevsimsel yuvarlamalı Gri tahmin modeli önermiştir. Tahmin sonuçları, modelin iyi bir adaptasyon ve stabiliteye sahip olduğunu ve trafik akışındaki mevsimsel değişimleri etkin bir şekilde tahmin edebileceğini göstermiştir. Ayrıca önerilen model ARIMA, Dalgacık Sinir Ağı modeli ve mevsimsel Ayrık Gri tahmin modellerine karşı daha iyi performans göstermiştir.

Ene ve Oztürk (2017) atılan, ömrünü tamamlamış araçlar için ve gelecekte üretilecek ömrünü tamamlamış araçların sayısını öngörmek için bir tahmin sistemi geliştirmiştir. Önerilen model Türkiye örneğine uygulanmış ve Türkiye'de on iki bölgenin veri seti dikkate alınmıştır. Önerilen tahmin sistemi, Türkiye'deki tüm bölgeler için yüksek doğruluk sağladığı belirlenmiştir.

Xu ve diğ. (2017) kısa vadede elektrik enerjisi tüketiminin tahmin doğruluğunu artırmak için eniyilenmiş bir hibrid Gri model önermiştir. Modelin tahmin performansı Çin'in elektrik tüketim verileri kullanılarak üç alternatif Gri modele karşı doğrulanmıştır. Yapılan uygulama, önerilen yöntemin modelleme doğruluğunu önemli ölçüde destekleyebileceğini göstermiştir.

Shaikh ve diğ. (2017) Çin'in doğal gaz tüketim tahmin modelini oluşturmak için, iki eniyilenmiş doğrusal olmayan Gri modelden yararlanmıştır: Gri Verhulst Modeli ve Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli. Geliştirilmiş model, Çin'in doğal gaz talebinin 2014-2020 döneminde artmaya devam edeceğini ileri önesürmektedir. Önerilen modelin sayısal sonuçları, istatistiksel olarak oldukça kesin tahminler aralığında olduğu öne çıkmıştır.

Wang ve diğ. (2017) Çin'deki hidroelektrik üretimini, üç ay bazlı tahmin etmek için bir veri gruplama yaklaşımı tabanlı, Gri modelleme yöntemi önermiştir. Alınan sonuçlara göre Çin'in hidroelektrik üretiminin, 2016'dan 2020'ye kadar, üçüncü ve ilk çeyrekler sırayla en yüksek ve en düşük üretimi göstererek, mevsimsel büyümesini sürdüreceği tahmin edilmiştir.

Ding ve diğ. (2017) bir yeni çok değişkenli Gri tahmin modeli önermiştir. Modelin verimliliğini göstermek için önerilen model, yakıt yanmasından kaynaklanan CO_2 emisyonlarını üretmek ve

tahmin etmekte kullanılmıştır ve dört kıyaslama model ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, yeni modelin Ayrık Gri model, çoklu doğrusal regresyon modeli ve ARIMA gibi rakip modellerden daha doğru tahmin sonuçları verdiğini göstermektedir.

Yang ve Xue (2018) Gri sayı aralığı için kesir dereceli birikim hesaplaması ile, yeni bir Gri tahmin modeli önermiştir ve bu modeli termik santralın gerçek yük tahmininde kullanmıştır. Tam sayı dereceli model ile karşılaştırıldığında önerilen model, küçük miktar aralıklı veri dizi örneklerin modelleme ve tahmininde daha iyi performans göstermiştir.

Ding ve diğ. (2018) yuvarlanma mekanizmasını, yeni bir başlangıç koşulu ile birleştirerek yeni bir eniyilenmiş Gri tahmin modeli önermiştir ve bu modeli 2012'den 2014'e kadar Çin'in genel ve endüstriyel elektrik tüketimini doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanmıştır. Sayısal sonuçlar, önerilen yeni modelin diğer ARIMA ve Gri model tabanlı diğer kıyaslama modellerine göre üstünlüğünü ortaya koymuştur.

Zeng ve diğ. (2018) yeni bir bayes olmayan Gri tahmin modeli önermiş ve eniyileştirmiştir. Model Çin'in 2017'den 2025'e kadar, şeyl gazı üretimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Önerilen model klasik Gri model, Ayrık Gri model ve Homojen olmayan Gri tahmin modeli gibi diğer Gri modellerden daha iyi performans göstermiştir.

Wu ve diğ. (2018) Çin'in Shandong eyaletinin elektrik tüketimini tahmin etmek için yeni bir çok değişkenli Gri tahmin modeli geliştirmiştir. Uygulamanın sayısal sonuçları, modelin klasik Gri tahmin modeline kıyasla kayda değer bir tahmin performansı sağladığını göstermiştir.

Wang ve diğ. (2018) ABD şeyl gazı üretimini tahmin etmek için bir metabolik doğrusal olmayan Gri-Otoregressif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modeli geliştirmiştir. Bu yeni modelde, tek bir modelin tahmin souçlarında oluşturduğu sampayı engellemek için, doğrusallık ve doğrusal olmamak birleştirilmiştir. Sayısal sonuçlar, bu kombine modelin doğrusal olmayan Gri model, Metabolik Gri model ve ARIMA gibi doğrusal veya doğrusal olmayan diğer modellere karşı, daha doğru tahminler sağladığını göstermiştir.

Ding (2018) bir doğrusal olmayan, eniyilenmiş başlangıç değerine sahip kendinden adapte Gri tahmin modeli tasarlamıştır ve bu modeli Çin'de doğal gazın gelecekteki talebini değerlendirmek için uygulamıştır. Modelin verimliliğini ve uygulanabilirliğini göstermek için, Çin'in 2002'den 2014'e kadar olan doğal gaz tüketimini simule ve tahmin etmek için

uygulanmıştır. ARIMA ve diğer Gri tabanlı bir grup kıyaslama modeliyle karşılaştırıldığında, deneysel sonuçlar, yeni tahmin modelinin performansının üstünlüğünü göstermiştir.

Wu ve diğ. (2018) Gri modelleme tekniği ve parametre optimizasyonu yöntemini kullanarak bir yeni kesirli Gri modeli önermiştir. Bu yeni model, 2006'dan 2015'e kadar verilere dayanarak Çin'in nükleer enerji tüketimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, bu modelin doğru tahminler sağladığını, diğer Gri tabanlı modellerden daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamıştır.

Wang ve diğ. (2018) ARIMA kalıntı düzeltmesi ile, bir doğrusal olmayan melez metabolizma Gri modeli geliştirmiştir ve bu modeli ABD şeyl petrol üretiminin tahmini için uygulamıştır. 2003-2008 ve 2008-2013 dönemleri için yapılan doğrulama deneyleri, önerilen modelin şeyl petrol tahmini için etkili ve uygulanabilir olduğunu ve Yapay Sinir Ağları, ARIMA, Metabolizm Gri model-ARIMA, doğrusal olmayan Metabolizm Gri model gibi diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini onaylamıştır.

Zeng ve Li (2018) dinamik bir arkaplan değeri katsayısına dayanarak, yeni bir çok değişkenli Gri tahmin modeli önermiştir. Yeni model, Çin'deki kablosuz iletişim kullanıcılarının sayısının simülsyonu ve tahmini için kullanılmıştır. Sonuçlar, bu yeni çok değişkenli Gri tahmin modelinin başka arka plandeğeri katsayılarına sahip, diğer çok değişkenli Gri tahmin modellerinden daha üstün olduğunu göstermiştir.

Ye ve diğ. (2018) arkaplan değeri optimizasyonu ve merkezi nokta üçgen beyazlatma ağırlık fonksiyonuna dayalı bir Gri-Markov modeli önermiştir. Çin'deki Henan eyaletinin tahıl üretimini (1996-2014) tahmin etmekle, önerilen modelin, arkaplan değer optimizasyonlu klasik Gri model ve klasik Gri-Markov modeline karşı üstünlüğü doğrulanmıştır.

Zeng ve diğ. (2019) üçlü aralık dizisini tahmin etmek için, sistem davranış karakteristiğini etkileyen faktörleri dikkate alarak, bir yeni çok değişkenli Gri model geliştirmiştir. Çin'in elektrik üretimi ve tüketici fiyat endeksi için yapılan aralık tahminleri, yeni modelin iyi bir performans gösterdiğini açıklamıştır.

Guo ve diğ. (2019) öz-bellek (self-memory) algoritması ve klasik doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelinin tahmin avantajlarını birleştirerek, bir öz-bellek algoritma tabanlı, doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli önermiştir. Önerilen model, asetilsalisilik asidin plazma

konsantrasyonunu tahmin etmek için kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen modelin klasik eniyilenmiş doğrusal olmayan Gri Bernoulli model ve diğer modellere karşı, doğrusal olmayan sistem stokastik dalgalanmalarını eşleştirmek için çok daha doğru ve verimli olduğunu göstermiştir.

Rahman ve diğ. (2019) bir sağlık tesisinin sağlık performansı göstergelerini analiz ve tahmin etmek için gelişmiş bir Gri tabanlı tahmin modeli oluşturmuştur. Model, Bangladeş'teki bir hastanenin Ocak 2017 ile Mayıs 2017 arası, beş aylık bir süre içinde, performansını öngörmekte kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar, önerilen modelin etkinliğini ve güvenilirliğini kanıtlamıştır.

Lu (2019) klasik Gri tahmin modelinin doğruluğunu, küçük veri setlerinde arttırmak için, bir modifiye Gri tahmin modeli ile sezgisel bulanık zaman serisini entegre etmiştir. Tayvanın 2000 ile 2015 arası yıllık yenilenebilir enerji verileri kullanılarak, deneysel sonuçlar, önerilen modelin tahmin hatalarını etkili bir şekilde azaltabileceğini ve ayrıca klasik Gri tahmin modelinin tahmin doğruluğunu artırabildiğini göstermiştir.

3.4.1. CO_2 Emisyonlarının Tahmini ile ilgili Literatür Taraması

Bu bölümde çalışmanın uygulama konusu olan CO_2 emisyonu tahmini ile ilgi literatür çalışmaları özetlenmektedir.

Shih ve Tsokos (2008) ABD'nin ve atmosferdeki gelecek karbondioksit emisyonlarını tahmin etmek için ARIMA modeline dayalı, trend ve mevsimsel etkileri içeren iki durağan olmayan zaman serisi modeli geliştirmiştir. Her iki istatistiksel modeli geliştirmek için Trendler ve mevsimsel etkileri göz önünde bulundurarak, gerçek CO_2 emisyon kayıtları kullandılmıştır. Önerilen modellerin doğruluğunu test etmek için 12 ay boyunca CO_2 emisyonlrı ve atmosfer, analiz ve tahmin edilmiştir ve başarılı sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Köne ve Büke (2010) yakıt yanmasından kaynaklanan CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için trend analizininden yararlanmıştır. Dünya toplam CO_2 emisyonlarını ve önde gelen 25 ülkenin CO_2 emisyonlarındaki trendler, 1971-2007 yılları arasında incelenmiştir. Regresyon analizleri ile 11 ülkede istatistiksel olarak anlamlı trendler bulunduğu belirlenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar, bu ülkeler için uygulanan modellerin, gelecekte CO_2 emisyonu tahminleri planlamasında kullanılabileceğini göstermiştir.

Lin ve diğ. (2011) 2010 yılından 2012 yılına kadar, Tayvanın gelecekteki karbondioksit emisyon miktarının tahminin etmek için, Gri tahmin modelini kullanmıştır. GM(1,1) gelecek üç yıl içersindeki karbondioksit emisyon miktarındaki artışı öngörmüştür.

Pao ve Tsai (2011) Brezilya'da 2008-2013 döneminde CO_2 emisyonlarını, enerji tüketimini ve gerçek çıktısını tahmin etmek için tek değişkenli Gri modelini uygulamıştır. GM'in tahmin yeteneği, 2002 ve 2007 yıllar arası örneklem dışı dönem için, Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuclar,4 yıllık bir veri setinde, GM'lerin hem emisyonlar hem de gerçek çıktı değişkenleri için ARIMA'lardan daha iyi, 6 yıllık veri setinde ise, ARIMA, enerji tüketimi için GM'den daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Kavoosi ve diğ. (2012) küresel enerji tüketimi kaynaklı dünya CO_2 emisyonunu analiz etmek için Genetik Algoritmasından yararlanmıştır. Küresel petrol, doğal gaz, kömür ve temel enerji tüketim rakamlarına dayanarak ve Genetik Algoritmayı kullanarak, CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için doğrusal ve doğrusal olmayan denklem formları geliştirilmiştir. 1980 ve 2010 arasındaki veriler, kısmen modellerin kurulması ve her model için en iyi ağırlıklandırma faktörlerinin adaylarının bulunması, ve kısmen modellerin test edilmesi için kullanılmıştır. Modeller küresel CO_2 emisyonunu 2030 yılına kadar başarıyla tahmin etmiştir.

Pao ve diğ. (2012) Çin'nin CO_2 emisyonları, enerji tüketimi ve ekonomik büyümesini tahmin etmek için doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelini kullanmıştır ve modelin parametrelerini eniyileştirmek için sayısal bir iteratif yöntem önerilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlara göre eniyilenmiş doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli, MAPE, RMSE ve MAE açısından orjinal Gri model ve ARIMA modelinden daha iyi performans göstermiştir.

Lotfalipour ve diğ. (2013) Gri yöntem ve Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modellerine dayanarak İran'ın CO_2 emisyonlarını tahmin etmeğe çalışmıştır ve bu iki yöntemi RMSE, MAE ve MAPE metrikleri açısından karşılaştırmıştır. 2010-2020 döneminde Karbon Dioksit tahmin sonuçları, Gri yöntemin CO_2 emisyonlarını diğer tahmin yöntemlerinden daha doğru tahmin ettiğini göstermiştir.

Silva (2013) Tekil Spektrum Analizi tekniğini ve ABD'nin Enerji Bilgi yönetimin enerji den kaynaklı aylık CO_2 emisyonlarını birleştirerek yeni bir yaklaşım getirmiştir. Fosil yakıtlardan kaynaklanan Ocak 2005- Kasım 2013 dönemini kapsayan CO_2 emisyonları verileri kullanılmıştır. Yeni birleştirilmiş modelin ARIMA, Holt-Winters ve Üstel düzleştirme

modellerşnden daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu yeni model ABD'nin geleck 12 ay enerji kaynaklı CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için kullanılmıştır.

Pérez-Fortes ve diğ. (2013) Büyük ölçekli bir gazlaştırmada CO_2 emisyonlarını modellemek için iki istatistiksel modelden yararlanmıştır; Çok Değişkenli Regresyon ve ARMA modelleri. Sonuçlar, tahmin tekniklerinin her ikisinin de kabiliyetli ve oldukça doğru sonuçlar verdiğni göstermiştir; Ayrıca, her iki yaklaşımdan oluşan bir kombinasyon modeli daha iyi doğrulukta sonuçlar verebileceği kanıtlanmıştır.

Meng ve diğ. (2014) gelişmekte olan ülkelerin enerji kaynaklı toplam CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için küçük örnekli bir hibrid model önermiştir. Yeni modelin performansını değerlendirmek için 1992-2011 yılları arasında Çin'in toplam CO_2 emisyonu verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, hibrid modelin emisyon trendindeki değişime daha hızlı yanıt verebildğini ve genellikle klasik doğrusal model ile Gri tahmin modeli GM(1,1)'e karşı daha kesin tahmin sonuçları elde ettiğini göstermiştir.

M.Belbute ve M.Pereira (2015) fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan küresel CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için Otoregressive Fraksiyonel Entegre Hareketli Ortalama (AFRIMA) modelini temel alan alternatif bir referans senaryosu oluşturmuştur. Bunun için 1750'den 2013'e kadar olan küresel CO_2 emisyon verileri kullanılmıştır ve 2100'e kadar küresel CO_2 emisyonlarını tahmin edilmiştir.

Hamzaçebi ve Karakurt (2015) Türkiye'deki enerji kaynaklı CO_2 emisyonlarını tahmin etmek Gri tahmin modelinden yararlanmıştır. Bu çalışmada, 1965-2012 dönemine ait enerji kaynaklı CO_2 emisyonları dikkate alınmıştır ve 2025 yılına kadar Türkiye'deki emisyonlar tahmin edilmiştir. Ayrıca, üç farklı değerlendirme istatistiği hesaplanarak tahmin doğruluğu incelenmiştir. Sonuçlar, Türkiye'nin gelecekteki enerji kaynaklı CO_2 emisyonlarının, Gri tahmin modelinin uygulanmasıyla başarılı bir şekilde tahmin edilebileceğini ve bu tekniğin CO_2 emisyonu için potansiyel bir tahmin aracı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Perez-Suarez ve Lopez-Menendez (2015) CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için, Çevresel Kuznets Eğrisi (EKC) ve Çevresel Lojistik Eğrisi (ELC) modellerinden yararlanmıştır. 175 ülke örneğini hesaba katarak, her iki yöntem, uyum iyiliği ve tahmin doğruluğu perspektifinden karşılaştırarak analiz edilmiştir. Sayısal sonuçlar, her iki modelin farklı ülkelerdeki CO_2 emisyonlarını açıklamak için yeterliliği hakkında önemli kanıtlar sağlamıştır.

Wang ve Ye (2017) klasik çok değişkenli Gri modelini, ilgili değişkenlerin üstel kuvvet terimini ona dahil ederek geliştirmiştir ve bu yeni modeli, Çin'in fosil enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonlarını tahmin etmek için kullanmıştır. Deneysel sonuçlar doğrusal olmayan çok değişkenli Gri tahmin modelinin, klasik Gri model ve Otoregresif entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modellerinden daha yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu göstermiştir. Önerilen modelin istatistiksel olarak oldukça kesin tahminler aralığında olduğu orataya çıkmıştır.

Ding ve diğ. (2017) yeni bir çok değişkenli Gri tahmin modeli sunmuştur ve modelin verimliliğini göstermek için önerilen model, yakıt yanmasından kaynaklanan CO_2 emisyonlarını üretimi ve tahmininde kullanılmıştır. Yen model dört kıyaslama modeli: Orjinal çok değişkenli Gri model, Ayrık çok değişkenli Gri model, ARMA ve Çoklu Doğrusal Regresyon Modelleri (MLRM) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, yeni modelin rakip modellerden daha doğru tahmin sonuçları verdiğini göstermiştir.

Böhmelt (2017) gelecekteki CO_2 emisyonlarını tahmin etmek ve ampirik olarak modellemek için ortak sosyoekonomik patikaları (SSPs)'den yararlanmıştır. Emisyon oranlarını tahmin etmeden önce, temel modelin tahmin doğruluğunu değerlendirmek için örneklem içi ve örneklem dışı teknikler kullanılmıştır ve 1960-2100 yıllar arası dünya çapında bir örnek için öngörü ve tahminleri hesaplanmıştır.

Sun ve diğ. (2017) CO_2 emisyonlarını etkileyen ana faktörleri SPSS ile analiz ederek, CO_2 emisyonlarını tahmin etmek ve faktör analizinin geçerliliğini test etmek için partikül sürü optimizasyonuna (PSO) dayalı aşırı öğrenme makineler (ELM) yöntemini kullanmıştır. Çin, Hebei ili üzerinde yapılan vaka çalışması, faktör analizinin tahmin doğruluğunu oldukça artırabileceğini ve kombine PSO-ELM tahmin modelinin CO_2 emisyonlarının tahmininde, aşırı öğrenme makineler yöntemi ve geri yayılımlı Yapay Sinir Ağı modeline karşı üstünlüğünü göstermiştir.

Hong ve diğ. (2018) Güney Korenin 2030 yılında genel CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için, metasezgisel algoritmaları kullanarak, eniyilenmiş bir Gen Ekspresyonu programlama modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada, ağırlık parametresi, harmoni arama optimizasyon algoritması kullanılarak eniyileştirilmiştir. Sonuçlar, normal Gen Ekspresyonu programlama modelinin

tahmin performansı ile karşılaştırıldığında, eniyilenmiş Gen Ekspresyonu programlamanın tahmin performansının daha üstün olduğunu kanıtlamıştır.

A.Sangeetha ve T.Amudha (2018) Hindistan'ın çeşitli enerji tüketim kaynaklarından kaynaklanan CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için yeni bir biyo-ilham yapı geliştirmiştir. CO_2 emisyonlarını tahmin etmek için, Çoklu Doğrusal Regresyon modeli ve doğrusal olmayan modele dayalı PSO (Parçacık sürü optimizasyonu) algoritmasını kullanılmıştır. Ayrıca, doğrusal olmayan modelin parametrelerinin tahmininde 52 yıllık (1965-2016) veri kullanılmıştır. Üstel-PSO tahminine dayanarak, CO_2 emisyonlarının tahmini 2017-2030 yılları için Yapay Sinir Ağları kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, PSO modelinin Çoklu Doğrusal Regresyon modeline kıyasla oldukça doğru bir tahmin elde edebileceğini ve Hindistan'ın CO_2 emisyonlarının son on yılda endişe verici bir şekilde arttığını ortaya koymuştur.

Fang ve diğ. (2018) CO_2 emisyonu tahmini için, modifiye edilmiş bir Partikül sürü optimizasyonuna (PSO) dayalı yeni bir Gauss süreç regresyon yöntemi geliştirmiştir. Bu gelişmiş yöntem 2013-2020 yılları arasında ABD, Japonya ve Çin'in toplam CO_2 emisyonlarını tahmin etmekte uygulanmıştır. Bunun için önerilen ülkelerin 1980-2012 yılları arası toplam CO_2 emisyon verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, yeni yöntemin, orjinal Gaussian süreç regresyon yöntemi ve geri yayılımlı Yapay Sinir Ağları yöntemine karşı üstünlüğünü kanıtlamıştır.

Li ve diğ. (2018) Çin'in 2005 ile 2015 yıllar arasındaki CO_2 emisyonlarını ve karbon yoğunluğunu hesaplamak için gelişmiş bir IPAT modeli inşa etmiştir. Ayrıca, Çin'in 2030 yılına kadar CO_2 emisyonları zirvesine ulaşma ihtimalini değerlendirmek için Gri tahmin modeli GM(1,1), gelecekteki karbon yoğunluğunu tahmin etmek için kullanılmıştır.

Heydari ve diğ. (2019) CO_2 emisyonları tahmini için, genelleştirilmiş Regresyon, Yapay Sinir Ağları ve Gri Wolf Optimizasyonuna dayanan akıllı bir yöntem önermiştir. İran, Kanada ve İtalya'daki CO_2 emisyon trendi değerlendirilmiş ve Kömür, Doğal Gaz, Petrol ve diğer rafine edilmiş hidrokarbonlar ve Yenilenebilir Enerjiler gibi enerji kaynaklarının tüketiminden kaynaklanan CO_2 emisyonları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin uzun vadeli CO_2 emisyonları tahmininde diğer yöntemlere (MLP, RBF, GRNNPSO ve GRNN-TS) karşı daha yüksek doğruluğa sahip olduğunu teyit etmiştir.

Xu ve diğ. (2019) Çin'in CO_2 emisyonlarının zirve noktaları ve etki faktörlerini, dışsal değişkenli doğrusal olmayan otoregresif (NARX) modelini uygulayarak, orta ve uzun vadede

araştırmıştır. NARX modeli dinamik makine öğrenme yapısı ve senaryo analizi altında, dinamik bir doğrusal olmayan yapay sinir ağıdır ve ortalama etki değeri metodolojisine dayanır. Alınan sonuçlara göre, Çin'in ortalama bir büyüme yolu izlemesi ve 2031'de en yüksek CO_2 emisyonuna ulaşması gerekmektedir.

4. BULGULAR

4.1. GRİ MODELLERİN CO_2 EMİSYONU TAHMİNİ İÇİN UYGULANMASI

Klasik Gri modellerin anlaşılması kolaydır ve tatmin edici bir doğrulukla hesaplaması kolaydır. Ancak, daha yüksek tahmin doğruluğu elde etmek için modelin ayarlanmasında yeterli esnekliğe sahip değildir. Literatür çalışmaları, klasik Gri modellerin performansının iyileştirilebileceğini göstermektedir. Chen ve diğ. (2008) tarafından önerilen doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli DOGBM(1,1), β kuvvet indeksine sahip doğrusal olmayan bir diferansiyel denklemden oluşmaktadır. Bu model GM(1,1)'in Bernoulli diferansiyel denklemiyle birleştirilmiş bir modifikasyonudur. Güç kuvvetini ayarlayarak, çözüm eğrisinin eğriliği, ham verilerin kumulatif üretme işleminin sonuçlarına uyacak şekilde ayarlanabilir. DOGBM modelinin uygunluğunu daha da iyileştirmek için, birçok araştırmacı model parametrelerinin seçimini ve güç kuvveti parametresini en iyileyerek bu tahmin modelinin doğruluğunu iyileştirmeye çalışmışlardır (Chen ve diğ., 2010; Hsu, 2010).

Bu tez çalışmasında; Türkiye'nin yıllık CO_2 emisyonu miktarının tahmini problemi, Gri modeller ile çözülmüştür. Bu amaçla; klasik GM(1,1) modeli, yuvarlanma mekanizmalı GM(1,1) modeli, Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli (DOGBM(1,1)) ve yuvarlanma mekanizmalı Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli, CO_2 emisyonu miktarının tahmini için uygulanmıştır. Bu yöntemlerin tahmin doğruluğunu iyileştirmek için genetik algoritma ile tahmin modellerinin parametreleri en iyilenmiştir.

4.2. CO_2 EMİSYONUNUN ÖNEMİ

21. yüzyılda, küresel ısınma ve iklim değişikliği insanların karşılaştığı en önemli zorluklardan biri haline gelmiştir. Çevre kalitesi, ekonomik kalkınmanın en önemli göstergelerinden biridir. İklim değişiklikleri ve çevresel kirlenmenin en önemli kaynaklarından birisi ise sera gazı emisyonlarıdır. Ekonomik büyüme ile karbondiyoksit emisyonları değerleri arasındaki ilişki gittikçe büyümektedir (Kumbaroğlu ve Arıkan, 2009). Ekonomik faaliyetler sonucu oluşan sera gazları, atmosferde sera etkisi yaparak küresel sıcaklık değerlerinin artmasına ve iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Üstelik enerji tüketiminden kaynaklanan CO_2, toplam sera

gazı emisyonlarını %90 oranında domine etmektedir (IEA, 2015). CO_2 emisyonları iklim değişikliğini tetiklemektedir. Küresel sera etkisinin azaltılmasının anahtarı CO_2 emisyonlarını azaltmaktır.Ülkelerin gelir düzeyleri ve çevresel bozulma değerleri arasında karşılıklı bir ilişki olduğu Çevresel Kuznets Eğrisi olarak bilinen yaklaşımla ortaya çıkmıştır (Kuznets, 1955). Teoriye göre, çok yüksek gelir seviyelerinde ve düşük gelir seviyelerinde ülkelerin çevreye verdikleri zarar az olmakta ancak gelişmekte olan ülkelerin çevreye verdikleri zarar fazla olabilmektedir. Böylece gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye'nin ekonomik faaliyetleri sonucu geleceğe dönük sera gazı emisyonlarını hangi düzeyde artırdığı önemli hale gelmektedir.

4.3. GENETİK ALGORİTMA ÖZETİ

Genetik algoritmalar (GA'lar), doğal seleksiyon sürecini kullanarak çalışan arama algoritmalarıdır. Potansiyel çözümlerden oluşan örnek bir popülasyon ile başlarlar ve daha optimum çözümlerden oluşan bir popülasyona doğru çözümü geliştirirler. Örnek kümesinde, zayıf çözümler yok olur ve daha iyi çözümler eşleşir ve avantajlı özelliklerini yayarlar, böylece popülasupnda daha büyük bir potansiyele sahip olan çözümler ortaya çıkar (toplam küme boyutu sabit kalır; eklenen her yeni çözüm için eski bir çözüm çıkarılır). Mutasyon, popülasyonda çeşitliliğin sağlanmasına yardımcı olmaktadır.

Genel olarak, genetik algoritmalar klasik optimizasyon algoritmalarından daha iyi çalışmaya yatkınlar çünkü yerel optimum vasıtasıyla sapma olasılıkları daha düşüktür. Bunun yerine, GA çözüm alanına yayılan bir dizi çözümden yararlanır ve aynı zamanda bu çözümlerin hepsi çok sayıda potansiyel optimum üzerinde deneyler yapmaktadır (Holland, 1975).

Ancak, genetik algoritmaların etkili bir şekilde çalışması için birkaç kriter karşılanmalıdır:

- Potansiyel bir çözümün diğer potansiyel çözümlere nazaran "iyi" olduğunu değerlendirmek nispeten kolay olmalıdır.

- Potansiyel bir çözümü, bağımsız olarak değişebilen ayrık parçalara bölmek mümkün olmalıdır. Bu parçalar genetik algoritmada "gen" 'leri oluşturur.

• Son olarak, genetik algoritmalar, mutlak optimum bir cevap olmasa bile, "iyi" bir cevabın yeterli olacağı durumlar için en iyi seçenektir.

4.3.1. Genetik Algoritmaların Temel İşlemleri

Genetik algoritmanın temel işlemleri sade ve basittir:

- *Üreme (Reproduction):* Potansiyel bir çözümün bir kopyasını yapma eylemidir.

- *Çaprazlama (Crossover):* İki olası çözüm arasında gen değerlerini değiştirme eylemidir, İki çözümün "birleşme"sinin simüle edilmesidir.

- *Mutasyon (Mutation):* Potansiyel bir çözümde bir genin değerinin rastgele değişme eylemidir.

4.3.2. Uygunluk Fonksiyonları ve Doğal Seçim

Daha önce de belirtildiği gibi, potansiyel bir çözümün diğer potansiyel çözümlere kıyasla "iyi" olduğunu değerlendirmek önemlir. "Uygunluk fonksiyonu", bu değerlendirmeyi yapmak ve pozitif bir tam sayı veya bir "uygunluk değeri" döndürmekle sorumludur, bu değer çözümün ne kadar iyi olduğu yansıtılır: sayı ne kadar büyük çözüm o kadar iyi. Uygunluk değerleri daha sonra hangi potansiyel çözümlerin yeni jenerasyona devam edeceğini ve hangilerinin öleceğini seçmek için doğal seleksiyon sürecinde kullanılır. Fakat, doğal seleksiyon süreci sadece en iyi X çözümü seçmekle kalmaz; Çözümler istatistiksel olarak seçilir öyle ki, daha yüksek bir uygunluk değerine sahip bir çözümün seçilmesi daha yüksek olasılığa sahip, ama garanti değildir (Sivnandam ve Deepa.; 2005).

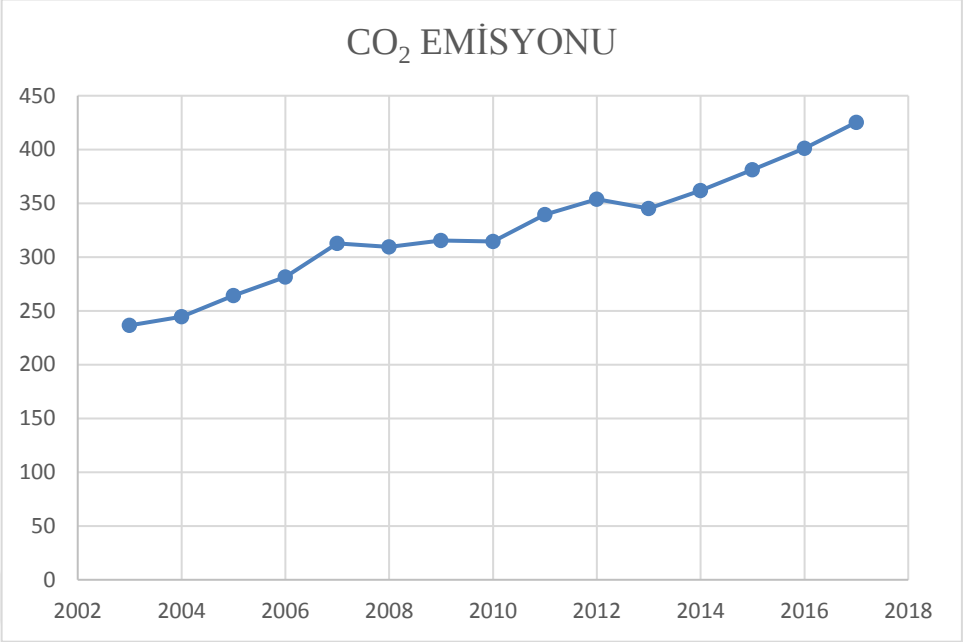
4.4. VERİ KÜMESİ

Bu çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan, Türkiye'nin 2003-2017 yılları arası toplam CO_2 emisyonu miktarına ait veriler ve bu verilerin grafiksel gösterimi Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de

yer almaktadır. Bu veriler www.tuik.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 18 Nisan 2019) sitesinden alınmıştır.

Tablo 4.1: 2003-2017 yıllar arası CO_2 emisyonu (milyon ton).

Yıl	**Genel toplam**
2003	236.5
2004	244.5
2005	264.2
2006	281.6
2007	312.7
2008	309.3
2009	315.4
2010	314.4
2011	339.5
2012	353.7
2013	345.2
2014	361.7
2015	381.3
2016	401.2
2017	425.3



Şekil 4.1: 2003-2017 yıllar arası CO_2 emisyonu (milyon ton).

4.5. TÜRKİYE'NİN CO_2 EMİSYONU TAHMİNİ PROBLEMİNE GRİ MODELLERİN UYGULANMASI

Bu bölümde; Gri tahhmin modelleri kullanılarak Türkiye'nin CO_2 emisyonu miktarı yıllık bazda tahmin edilmiştir. Öncelikle, klasik Gri tahmin modeli GM(1,1) ve daha sonra Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli modeli DOGBM(1,1) ile tahmin yapılmıştır. İki sonraki modelde, GM(1,1)'e ve DOGBM(1,1)'e yuvarlanma mekanizmasi uygulanmıştır. Son olarak, tahmin modellerinin performansını iyileştirmek için GM(1,1) ve DOGBM(1,1) modelinin parametreleri genetik algoritma ile en iyilenmiştir. Tahmin modellerinin performans analizi için ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) ölçütü kullanılmıştır. Gri modellerin uygulanması ve Genetik algoritma ile parameter optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ile ilgili tüm hesaplamalar, MATLAB R2018b yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Tahmin modellerin MATLAB kodları EK-1, EK-2, EK-3 ve EK-4'de yer almaktadır. Bütün modellerde ilk 10 veri (2003-2012) eğitim verisi olarak ve geri kalan 5 veri (2013-2017) test verisi olarak kullanılmıştır.

4.5.1. Model 1: Orjinal GM(1,1) Modeli

Model 1'de, tahmin için orjinal Gri tahmin modeli GM(1,1) kullanılmıştır. Eğitim verisi boyutu 10 ve test verisi ise 5 olarak sabitlenmiştir. Ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), tahmin doğruluğunu incelemek için kullanılmıştır.

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \left| \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \right) \times 100\%$$

α=0,5

n=5

Bu model, EK-1'de yer alan MATLAB fonksiyonu kullanılarak CO_2 emisyonları tahminine uygulandığında OMYH değeri %4,4 olarak elde edilmiştir.

4.5.2. Model 2: Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli (DOGBM(1,1))

Model 2'de Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli kullanılmaktadır. Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli modelinde, arka plan değerindeki *α* katsayısı, *0,5*'e eşittir. Ayrıca bu modelde *β=2* sabit olarak varsayılmıştır. Bu hali ile model literatürde Grey-Verhulst modeli olarak da adlandırılır. Bu model, EK-2'de yer alan MATLAB fonksiyonu kullanılarak CO_2 emisyonları tahminine uygulandığında OMYH değeri %23 olarak elde edilmiştir.

4.5.3. Model 3: Yuvarlanma Mekanizmalı GM(1,1) Modeli

Model 3' de Gri tahmin modelini geliştirmek için yuvarlanma mekanizması kullanılmıştır. Gri modelinde, arka plan değerindeki *α* katsayısı, *0,5*'e eşittir. Bu modelde, test verisi için tahmin yapıldıktan sonar, yeni verinin tahmininde eğitim verisinin ilk satırı silinmekte ve test verisi için tahmin edilen değer eğitim verisine eklenmektedir. Bu model, EK-3'de yer alan MATLAB fonksiyonu kullanılarak CO_2 emisyonları tahminine uygulandığında OMYH değeri %3,1 olarak elde edilmiştir.

4.5.4. Model 4: Yuvarlanma mekanizmali Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli

Model 4'de Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli modelini geliştirmek için yuvarlanma mekanizması kullanılmıştır. Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modeli modelinde, arka plan değerindeki α katsayısı, *0,5*'e ve $\beta=2$ eşittir. Bu model, EK-4'de yer alan MATLAB fonksiyonu kullanılarak CO_2 emisyonları tahminine uygulandığında OMYH değeri %35,4 olarak elde edilmiştir.

4.5.5. Model 5: Genetik Algoritma Esaslı Yuvarlanma mekanizmali GM(1,1) Modeli

Bu modelde, Gri modelin yapımında yuvarlanma mekanizması kullanılmıştır. Ayrıca, arka plandaki sabit $\alpha=0,5$ değeri, gerçekte bazı seriler için en uygun seçim değildir (Hsu, 2009). Eğer α orjinal serinin özelliklerine göre ayarlanırsa, daha iyi bir tahmini performans sağlayabilir. Böylece, optimizasyon problemi aşağıdaki matematiksel model ile ifade edilebilir. Burada karar değişkeni α değeri, amaç fonksiyonu ise OMYH değerini en aza indirgemektir.

$$min\, Z = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \left| \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \right) \times 100\%$$

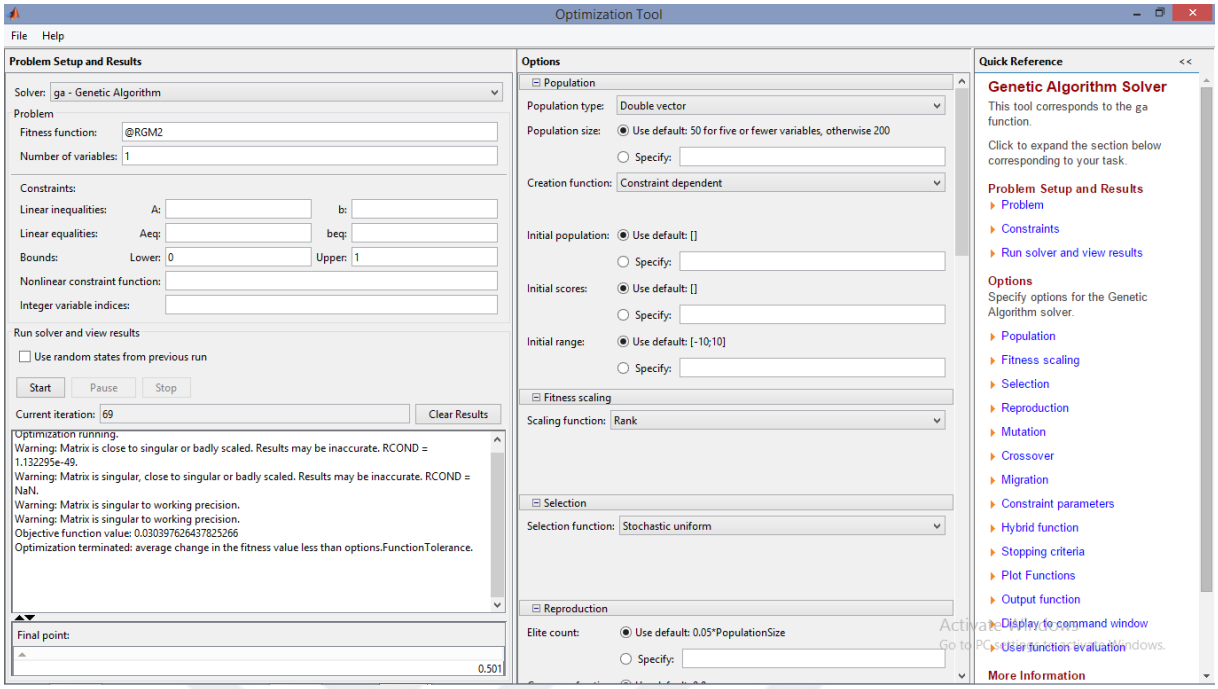
$0 \leq \alpha \leq 1$

n=5

Bu modelin çözümü için MATLAB yazılımının Optimizasyon araç kutusu kullanılmıştır. Bu araç kutusunda çözüm yöntemi olarak GA seçilmiş, uygunluk fonksiyonu alanına Ek-3'de yer alan yuvarlanma mekanizmalı GM(1,1) modelinin MATLAB fonksiyonunun ismi girilmiş ve karar değişkeni değeri 0-1 aralığında sınırlandırılmıştır. Modelin tek değişkeni olduğundan, değişken sayısı alanına 1 değeri girilmiştir.

Bu modelin işletilmesi sonucunda OMYH değeri %3,0 olarak hesaplanmış ve α parametresi için optimum değer α=0,501 olarak elde edilmiştir.

MATLAB GA araç kutusunda yapılan tüm tanımlamalar Şekil 4.2'de sunulmaktadır.



Şekil 4.2: GM(1,1) modelinin parametrelerinin MATLAB, GA araç kutusu ile en iyilenmesi.

4.5.6. Model 6: Genetik Algoritma Esaslı Yuvarlanma Mekanizmali Gri Bernoulli Modeli

Bu modelde tekrar yuvarlanma mekanizması, Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modelini geliştirmek için kullanılmıştır. Optimizasyon problemi ise aşağıdaki model ile ifade edilebilir. Burada karar değişkenleri arka plan değeri α katsayısı ve kuvvet indeksi β'dır ve amaç fonksiyonu OMYH değerini en aza indirgemektir.

$$min\ Z = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \left| \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \right) \times 100\%$$

$0 \leq \alpha \leq 1$

$\beta \neq 1$

Bu modelin, MATLAB yazılımının GA araç kutusu kullanılarak işletilmesi sonucunda OMYH değeri %1,36 olarak hesaplanmış ve α parametresi için optimum değer α=0,55 ve β parametresi için optimum değer -1,98 olarak elde edilmiştir.

Önerilen Gri modellerin parametre değerleri aşağıdaki tabloda karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Tablo 4.2: Önerilen Gri modellerin parametre değerleri

Yaklaşım	Arkaplan değeri (α)	Güç indeksi(β)	Yuvarlanma
Model 1	0,5 (sabit)	0 (sabit)	Yok
Model 2	0,5 (sabit)	2 (sabit)	Yok
Model 3	0,5 (sabit)	0 (sabit)	Var
Model 4	0,5 (sabit)	2 (sabit)	Var
Model 5	0,501 (eniyilenmiş)	0 (sabit)	Var
Model 6	0,55(eniyilenmiş)	-1,98 (eniyilenmiş)	Var

4.5.7. Model 7: Üstel Düzleştirme Modeli

Bu modelde, üstel düzleştirme yönteminden yararlanarak 2013-2017 yıllarının Türkiye CO_2 emisyonlarını tahmin edilmiştir. Bu model, Gri modellerin ile başarımını değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu modelde α sabiti 0,1-1 aralığında 0,1 artımla değerlendirilmiştir. En iyi tahmin performansı *0,5* değeri ile elde edilmiştir. Üstel düzleştirme metodu ile elde edilen OMYH değeri %6,3 olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan tüm yöntemlerin test verisi için tahmin ve OMYH Tablo 4.3'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.3: Önerilen modellerin tahmin ve OMYH değerleri

Yıl	Gerçek Değer	Model 1		Model 2		Model 3	
		Tahmin Değeri	Hata (%)	Tahmin Değeri	Hata (%)	Tahmin Değeri	Hata (%)
2013	345,2	368,460	6,7%	307,752	10,8%	368,451	6,7%
2014	361,7	383,301	6,0%	297,120	17,8%	379,175	4,8%
2015	381,3	398,738	4,6%	287,223	24,7%	390,282	2,4%
2016	401,2	414,795	3,4%	278,853	30,5%	402,046	0,2%
2017	425,3	431,495	1,5%	272,418	36,0%	419,529	1,4%
OMYH(%) 2013-2017			**4,4%**		**24,0%**		**3,1%**

Tablo 4.3 (Devam): MAPE ve Modellerin tahmin değerleri

Yıl	Gerçek Değer	Model 4		Model 5		Model 6	
		Tahmin Değeri	Hata (%)	Tahmin Değeri	Hata (%)	Tahmin Değeri	Hata (%)
2013	345,2	307,752	10,8%	368,156	6,6%	359,189	%4,1
2014	361,7	285,535	21,0%	378,732	4,7%	365,831	%1,1
2015	381,3	251,544	34,0%	389,658	5,1%	379,608	%0,4
2016	401,2	209,180	47,9%	401,188	0,0%	401,163	%0,0
2017	425,3	156,690	63,2%	418,341	1,6%	420,396	%1,2
MAPE(%) 2013-2017			**35,4%**		**3,0%**		**%1,4**

Tablo 4.3 (Devam): Modellerin tahmin ve MAPE değerleri

Yıl	Gerçek Değer	Model 7	
		Tahmin Değeri	Hata (%)
2013	345,2	342,550	0,8%
2014	361,7	343,875	4,9%
2015	381,3	352,787	7,5%
2016	401,2	367,044	8,5%
2017	425,3	384,122	9,6%
MAPE(%) 2013-2017			**6,3%**

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tahmin, modern bilimsel yönetimde çok önemli bir yere sahiptir. Doğru tahmin, politika yapıcıların doğru kararlar almasına ve karar alma eşitliğini teşvik etmesine yardımcı olabilir. Chase (2009), çok sayıda tahmin modelinin bulunduğunu, ancak her koşulda tek bir tahmin modelinin kullanılamayacağını tespit etmiştir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için, her tahmin yönteminin avantajlarını ve dezavantajlarını daha iyi anlamamız gerekmektedir. Geleneksel tahmin yöntemlerinin çoğu için büyük miktarda veri veya varsayım gerektirir. Bu nedenle, az miktarda veri ve yüksek belirsizliğe sahip olan sistemlerde, doğru bir tahmin alınabilmesi, çok önemli bir hedef haline gelmektedir. Gri tahmin modeli, Gri sistem teorisinin önemli bir parçasıdır ve belirsiz ve eksik bilgi içeren sistemlerin davranışını doğru bir şekilde tahmin etmek için sadece küçük miktarda veri gerektirmektedir (Hsu ve Wang, 2007).

Bu çalışmada; Gri tahminde kullanılan modellerin performans analizi yapılmıştır. Klasik Gri tahmin modeli GM(1,1) ve doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli ilk olarak esas alınmıştır ve modellerin tahmin doğruluğu geliştirmek için, yuvarlanma mekanizmasından yararlanmıştır. Ayrıca, orjinal modellerin tahmin performansını iyileştirmek için, bu modellerin parametrelerini en iyilemek için Genetik algoritma uygulanmıştır. Modellerin performans değerlendirmesini yapmak için, Türkiye'nin 2003-2017 yillar arası CO_2 emisyonları verilerinden faydalnılmıştır. Son yıllarda iklim değişikliği ve küresel ısınmalara neden olan sera gazları ve bunun çok önemli bir kısmını oluşturan CO_2 emisyonlarının tahmini ve bu emisyonları azaltabilecek, geleceğe yönelik politikar geliştirmek, neredeyse bütün ülkeler için önemli bir durum haline gelmiştir. Bu çalışmada; önce orjinal Gri tahmin modeli GM(1,1) ile doğrusal olmayan Gri Bernoulli modelleri ile tahmin yapılmıştır. Daha sonra, yuvarlanma mekanizması kullanılarak, yuvarlanma mekanizmalı GM(1,1) modeli ve yuvarlanma mekanizmalı Doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli, CO_2 emisyonu miktarının tahmini için uygulanmıştır. Son olarak, bu yöntemlerin tahmin doğruluğunu iyileştirmek için genetik algoritma ile tahmin modellerinin parametreleri en iyilenmiştir. Gri tahmin modellerinin performansı üstel düzleştirme metodu ile karşılaştırılmıştır. Bütün modellerde tahmin doğruluğunu değerlendirmek ve karşılaştırmak için Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (OMYH) kullanılmıştır.

Sayısal sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, Genetik algoritma esaslı yuvarlanma mekanizmalı doğrusal olmayan Gri Bernoulli modeli diğer mollerden daha üstün bir performas göstererek, en doğru tahmin sonuçları ve en düşük OMYH yüzdesine sahiptir. Bu değerlendirmenin sonuçlarından yola çıkarak, Genetik algoritma esaslı yuvarlanma mekanizmalı doğrusal olmayan Gri Bernoulli model, gelecekteki CO_2 emisyonları ve benzeri tahminler için oldukça uygun ve doğru bir araç olduğu, anlaşılmaktadır. Tahmin konusunda başarılı sonuçlar veren doğrusal olmayan Gri Bernoulli model ile Türkiye'nin 2020, 2025 ve 2030 yılları için CO_2 eş değeri emisyon miktarları sırası ile 661,387 Milyon Ton (Mt), 959,211 Mt ve 1197,704 Mt olarak elde edilmiştir. Bulunan bu sonuçların Türkiye'nin Paris İklim Zirvesi'nde ((UNFCCC, 2015), 2030 yılı için taahhüt ettiği 929 Mt CO_2 eşdeğeri emisyon miktarından fazla olduğu anlaşılmaktadır. CO_2 emisyon değerlerinin en büyük kısmı enerji kaynaklı olduğu için, Türkiye'nin taahhütünü yerine getirebilmesi için, enerji verimliliği çalışmalarını artırıp, yenilenebilir enerjilere geçerek bu amacını gerçekleştirebilir. Aksi takdirde Türkiye büyüyen ancak çevre kalitesi her geçen gün düşen üçüncü sınıf bir ülke konumuna düşecektir.

Ayrıca, gelecekteki çalışmalarda, CO_2 tahminini etkileyen faktörleri dikkate alarak, çok değişkenli Gri tahmin modelllerinden faydalanmak önemli bir araştırma konusu olacaktır. Parametre optimizasyonunda, Genetik algoritma ile birlikte diğer metasezgisel algoritmaların kullanılması da diğer bir geliştirme fırsatını sunmaktadır.

KAYNAKLAR

Adhikari, R., & Agrawal, R.K., 2013, *An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting*, LAP Lambert Academic Publishing, Germany.

Alexander, I., & Morton, H., 1990, *An introduction to neural ccomputing*, London, Chapman & Hall.

Alvisi, S., & Franchini, M., 2012, Grey neural networks for river stage forecasting with uncertainty, *Physics and Chemistry of the Earth*, 42-44:108-118.

Ameyaw, B., Yao, L., Oppong, A., Agyeman, J. K., 2019, Investigating, forecasting and proposing emission mitigation pathways for CO_2 emissions from fossil fuel combustion only: A case study of selected Countries, *Energy Policy*, 130, 7–21.

Armstrong, J.S, 2001, *principles of forecasting- a handbook for researchers and practitioners,* Kluwer, Norwell, ISBN 0-7923-7930-6.

Auffhammer, M., & Carson, R., 2008, Forecasting the path of China's CO_2 emissions using province-level information, *Journal of Environmental Economics and Management*, 55 (3), 229–247.

Bahrami, b., Hooshmand, R. A., Parastegari, M., Short term electric load forecasting by wavelet transform and grey model improved by PSO (particle swarm optimization) algorithm, *Energy*,72, 434–442.

Belbute, J. M., & Pereira, A. M., An alternative reference scenario for global CO_2 emissions from fuel consumption: An ARFIMA approach, *Economics Letters*, 136, 108–111.

Benítez, R. B. C., Paredes, R. B. C, Lodewijks, G., Nabais, J. L., 2013, Damp trend Grey Model forecasting method for airline industry, *Expert Systems with Applications*, 40 (12), 4915–4921.

Böhmelt, T., 2017, Employing the shared socioeconomic pathways to predict CO_2 emissions, *Environmental Science and Policy*, 75, 56–64.

Bowersox, D.J., Closs, D.J. & Cooper, M.B. 2010. Supply chain logistics management. 3rd edition, Singapore: McGraw-Hill.

Brannon, E., 2000, *Fashion Forecasting-3rd ed*, Fairchild publications, New York.

Chase, CW., 2009, *A Structured Approach to Forecasting*, John wiley &amp, New Jersey.

Chatfield, C., 2000, *Time-Series Forecasting*, Chapman and Hall/CRC, ISBN 9781584880639.

Chen, C. I., Chen, H. L., Chen, S. P., 2008, Forecasting of foreign exchange rates of Taiwan's major trading partners by novel nonlinear Grey Bernoulli model NGBM(1, 1), *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 13(6), 1194-1204.

Chen, C. I., Hsin, P. H., Wu, C. S., 2010, Forecasting Taiwan's major stock indices by the Nash nonlinear grey Bernoulli model, *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7557-7562.

Chang, H., Zhang, Y., Chen, l., 2003, Gray forecast of Diesel engine performance based on wear, Applied Thermal Engineering, 23 (17), 2285–2292.

Chen, H. W., Yu, R. F., Ning, S. K., Huang, H. C., 2010, Forecasting affluent quality of an industry wastewater treatment plant by evolutionary grey dynamic model, *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (4), 235–241.

Chen, Z., & Wang, X., 2012, Applying the Grey Forecasting Model to the Energy Supply Management Engineering, *Systems Engineering Procedia*, 5, 179 – 184.

Cui, J., Liu, S., Zeng, B., Xie, N.,2013, A novel grey forecasting model and its optimization, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (6), 4399–4406.

Chang, C. J., Li, D. C., Huang, Y. H., Chen, C. C., 2015, A novel grey forecasting model based in the box plot for small manufacturing data sets, *Applied Mathematics and Computation*, 265, 400–408.

Chen, Y., He, K., Zhang, C., 2016, A novel grey wave forecasting method for predicting metal prices, *Resources Policy*, 49, 323–331.

Chen, Y., Zou, Y., Zhou, Y., Zhang, C., 2016, Multi-step-ahead Crude Oil Price Forecasting based on Grey, *Procedia Computer Science*, 91, 1050 – 1056.

Chen, Y., Zhang, C., He, K., Zheng, A., 2018, Multi-step-ahead crude oil price forecasting using a hybrid grey wave model, *Physica A*, 501, 98–110.

DeLurgio, S., 1998, *Tahmin İlke ve Uygulamaları*, Irwin McGrow Hill, ABD.

Deng, J., 1982, Control problems of Grey Systems, *Systems and ControlLetters*, 5, 288-94.

Deng, J., 1986, Grey Prediction and Grey Decision Making, *Huazhong University of Science and Technology Press*.

Deng, J., 1988, Introduction to Grey System Theory, *the journal of grey system*, 1, 1-24.

Deng, J., 1988, Modelling of the GM model of Grey Systems. In: Grey System, *China Ocean Press*, 40-53.

Ding, S., Dang, Y. G., Li, X. M., Wang, J. J., Zhao, K., 2017, Forecasting Chinese CO_2 emissions from fuel combustion using a novelgrey multivariable model, *Journal of Cleaner Production*, 162, 1527–1538.

Ding, S., Hipel, K., Dang, Y., 2018, Forecasting China's electricity consumption using a new grey prediction model, *Energy*, 149, 314–328.

Ding, S., 2018, A novel self-adapting intelligent grey model for forecasting China's natural-gas demand, *Energy*, 162, 393–407.

Ding, S., 2019, A novel discrete grey multivariable model and its application in forecasting the output value of China’s high-tech industries, *Computers & Industrial Engineering*, 127, 749–760.

Ding, S., Dang, Y. G., Li, X. M., Wang, J. J., Zhao, K., 2017, Forecasting Chinese CO_2 emissions from fuel combustion using a novel grey multivariable model, *Journal of Cleaner Production*, 162, 1527–1538.

Ene, S., & Öztürk, N., 2017, Grey modelling based forecasting system for return flow of end-of-life vehicles, *Technological Forecasting & Social Change*, 115, 155–166.

Fang, D., Zhang, X., Yu, Q., Jin, C. J., Tian, L., 2018, A novel method for carbon dioxide emission forecasting based on improved Gaussian processes regression, *Journal of Cleaner Production*, 173,143–150.

Guo, X., Liu, S., Yang, Y., 2019, A prediction method for plasma concentration by using a nonlinear grey Bernoulli combined model based on a self-memory algorithm, *Computers in Biology and Medicine*, 105,81–91.

Gao, T., Shen, L., Shen, M., Liu, L., Chen, F., Gao, L., 2017, Evolution and projection of CO_2 emissions for China's cement industry from 1980 to 2020, Renewable *and Sustainable Energy Reviews*, 74, 522–537.

Holland, J. H., 1975, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI. United States.

Hsu, L. C., & Wang, C. H., 2007, Forecasting the output of integrated circuit industry using a model improved by the Bayesian analysis, *Technological Forecasting & Social Change* ,74 (6), 843–853.

Hsu, L. C., 2009, Forecasting the output of integrated circuit industry using genetic algorithm based multivariable grey optimization models, *Expert Systems with Applications* 36 (4), 7898–7903.

Hsu, Y. T., Liu, M. C., Yeh, J., Hung, F.H., 2009, Forecasting the turning time of stock market based on Markov-Fourier grey model, *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 8597–8603.

Hsu, L. C, 2010, A genetic algorithm based nonlinear grey Bernoulli model for output forecasting in integrated circuit industry, *Expert Systems with Applications* , 37 (6), 4318–4323.

Huang, Y., Wang, Y., Gai, S., 2011, The Application and Research of a New Combinatorial Analysis and Forecasting Method in Real Estate Area based on Grey System Theory and Multivariate Linear Regression, *Procedia Engineering* , 15, 4532 – 4537.

Hamzacebi, C &., Avni Es, H., 2014,Forecasting the annual electricity consumption of Turkey using an optimized grey model, *Energy*, 70, 165–171.

Hao, H., Zhang, Q., Wang, Z., Zhang, J., 2018, Forecasting the number of end-of-life vehicles using a hybrid model based on grey model and artificial neural network, *Journal of Cleaner Production*, 202,684–696.

Hafizur Rahman, M., Tumpa, T. J., Ali, S. M., Paul, S. K., 2019, A grey approach to predicting healthcare performance, *Measurement*, 134, 307–325.

Hao, Y., & Tian, C., 2019, A novel two-stage forecasting model based on error factor and ensemble method for multi-step wind power forecasting, *Applied Energy*, 238, 368–383.

Huang, Y., Shen, L., Liu, H., 2019, Grey relational analysis, principal component analysis and forecasting of carbon emissions based on long short-term memory in China, *Journal of Cleaner Production*, 209, 415–423.

Hong, T., Jeong, K., Koo, C., 2018, An optimized gene expression programming model for forecasting the national CO_2 emissions in 2030 using the metaheuristic algorithms, *Applied Energy*, 228, 808–820.

Heydari, A., Astiaso Garcia, D., Keynia, F., De Santol, L., 2017, Renewable Energies Generation and Carbon Dioxide Emission Forecasting in MicroGrids and National Grids using GRNN-GWO Methodology, *Energy Procedia*, 159, 154-159.

Hyndman, R., & Athanasopoulos, G., 2018, *Forecasting: principles and practice*, OTexts, ABD, ISBN 0987507117, 9780987507112.

Intharathirat, R., Abdul Salam, P., Kumar, S., Untong, A., 2015, Forecasting of municipal solid waste quantity in a developing country using multivariate grey models, *Waste Management*, 39, 3–14.

Jiang, Y., Yao, Y., Deng, S., Ma, M., 2004, Applying grey forecasting to predicting the operating energy performance of air cooled water chillers, *International Journal of Refrigeration*, 27 (4) 385–392.

Kuznets, S., 1955, Economic Growth and Income Inequality, *American Economic Association*, 45(1), 1-28.

Kumbaroğlu, G., & Arıkan, Y., 2009, *Farkındalık ve fark yaratmak: Türkiyenin CO_2 salımları*, Açık Toplum Vakfı, Istanbul, ISBN 9786055659059.

Kumar, U., & Jain, V.K., 2010, Time series models (Grey-Markov, Grey Model with rolling mechanism and singular spectrum analysis) to forecast energy consumption in India, *Energy* 35 (4), 1709–1716.

Kang, J., & Zhao, H., 2012, Application of Improved Grey Model in Long-term Load Forecasting of Power Engineering, *Systems Engineering Procedia*, 3, 85 – 91.

Kone, A. C., & Buke, T., 2010, Forecasting of CO_2 emissions from fuel combustion using trend analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9) 2906‑2915.

Liu, S., & Lin, Y., 2006, *Grey Systems Theory and Applications*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Liu, S., Yi-Lin, J., 2010, *Advances in Grey Systems Research*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-13937-6.

Lin, Y. H., Lee, P. C., Chang, T. P., 2009, Adaptive and high-precision grey forecasting model, *Expert Systems with Applications*, 36 (6) 9658–9662.

Li, D. C., Yeh, C.W., Chang, C.J., 2009, An improved grey-based approach for early manufacturing data forecasting, *Computers & Industrial Engineering*, 57 (4), 1161–1167.

Lee, Y. C., Tong, L. I., 2011, Forecasting energy consumption using a grey model improved by incorporating genetic programming, *Energy Conversion and Management*, 52 (1), 147–152.

Lin, C. S., Liou, F. M., 2011, Grey forecasting model for CO_2 emissions: A Taiwan study, *Applied Energy,* 88 (11), 3816–3820.

Li, D. C., Chang, C. J., Chen, W. C., Chen, C. C., 2011, An extended grey forecasting model for omnidirectional forecasting considering data gap difference, *Applied Mathematical Modelling,* 35 (10), 5051–5058.

Lin, Y. H., Chiu, C. C., Lee, P.C., Lin, Y. C., 2012, Applying fuzzy grey modification model on inflow forecasting, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25 (4), 734–743.

Lü, X., & Lu, W., 2012, Pre-alarm model of diesel vapour detection and alarm based on grey forecasting, *Measurement*, 45 (4), 656–662.

Lei, M., & Feng, Z., 2012, A proposed grey model for short-term electricity price forecasting in competitive power markets, *Electrical Power and Energy Systems*, 43 (1), 531–538.

Li, D. C., Chang, C. J., Chen, C. C., Chen, W. C., 2012, Forecasting short-term electricity consumption using the adaptive grey-based approach- an Asian case, *Omega*, 40 (6), 767–773.

Liu, X., Moreno, B., García, A., 2016, A grey neural network and input-output combined forecasting model. Primary energy consumption forecasts in Spanish economic sectors, *Energy*, 115 (1), 1042–1054.

Li, S., Ma, X., Yang, C., 2018, A novel structure-adaptive intelligent grey forecasting model with full-order time power terms and its application, *Computers & Industrial Engineering*, 120, 53–67.

Lu, S. L., 2019, Integrating heuristic time series with modified grey forecasting for renewable energy in Taiwan, *Renewable Energy*, 133, 1436–1444.

Lotfalipour, M. R., Falahi, M. A., Bastam, M., 2013, Prediction of CO_2 Emissions in Iran using Grey and ARIMA Models, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3(3), 229-237.

Liu, L., 2013, A grey neural network and input-output combined forecasting model and its application in primary energy related CO_2 emissions estimation by sector in China, *Energy Procedia*, 36, 815 – 824.

Li, F., Xu, Z., Ma, H., 2018, Can China achieve its CO_2 emissions peak by 2030?, *Ecological Indicators*, 84, 337–344.

Lin, C. S., Liou, F. M., Huang, C. P., 2011, Grey forecasting model for CO_2 emissions: A Taiwan study, *Applied Energy*, 88 (11) 3816–3820.

Ma, W., Zhu, X., Wang, M., 2013, Forecasting iron or import and consumption of china using grey model optimized by particle swarm optimization algorithm, *Resources Policy*, 38 (4), 613–620.

Ma, X., Liu, Z., Wang, Y., 2019, Application of a novel nonlinear multivariate grey Bernoulli model to predict the tourist income of China, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 347, 84–94.

Meng, M., Jing, K., Mander, S., 2017, Scenario analysis of CO_2 emissions from China's electric power, *Journal of Cleaner Production*, 142 (4), 3101–3108.

Meng, M., Niu, D., Shang, W., 2014, A small-sample hybrid model for forecasting energy-related CO_2 Emissions, *Energy*, 64, 673–677.

Mason, K., Duggan, J., Howley, E., 2018, Forecasting energy demand, wind generation and carbon dioxide emissions in Ireland using evolutionary neural networks, *Energy*, 155, 705-720.

Nai-ming, X., Chao-qing, Y., Ying-jie, Y., 2015, Forecasting China’s energy demand and self-sufficiency rate by grey forecasting model and Markov model, *Electrical Power and Energy Systems*, 66, 1–8.

Ou, S. L., 2012, Forecasting aGricultural output with an improved grey forecasting model based on the genetic algoritm, *Computers and Electronics in AGriculture*, 85, 33–39.

Pan, L., Sun, B., Wang, W., 2011, City Air Quality Forecasting and Impact Factors Analysis Based on Grey Model, *Procedia Engineering*, 12, 74–79.

Pao, H. T., Fu, H. C., Tseng, C. L., 2012, Forecasting of CO_2 emissions, energy consumption and economic growth in China using an improved grey model, *Energy*, 40 (1), 400–409.

Pérez-Fortes, M., Capón-García, E., Puigjaner, L., 2013, Forecasting CO_2 emissions due to gasifier degradation by time-series analysis, *Computer Aided Chemical Engineering*, 32, 427-432.

Pérez-Suárez, R., & López-Menéndez, A. J., 2015, Growing green? Forecasting CO_2 emissions with Environmental Kuznets Curves and Logistic Growth Models, *Environmental Science & Policy*, 54, 428–437.

Pao, H. T., & Tsai, C. M., 2011, Modeling and forecasting the CO_2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil, *Energy*, 36 (5), 2450–2458.

Rajesh, R, 2016, Forecasting supply chain resilience performance using grey prediction, *Electronic Commerce Research and Applications*, 20, 42–58.

Sheng-qiang, Y., Yan, S., Zu-yun, C., Bao-hai, Y., Quan, X., 2009, Establishment of grey-neural network forecasting model of coal and gas, *Procedia Earth and Planetary Science*, 1 (1), 148–153

Samvedi, A., & Jain, V., 2013, A grey approach for forecasting in a supply chain during intermittent disruptions, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26 (3), 1044–1051.

Sun, X., Sun, W., Wang, J., Zhang, Y., Gao, Y., 2016, Using a GreyeMarkov model optimized by Cuckoo search algorithm to forecast the annual foreign tourist arrivals to China, *Tourism Management*, 52, 369–379.

Shaikh, F., Ji, Q., Shaikh, P. H., Mirjat, N. H., Uqaili, M. A., 2017, Forecasting China's natural gas demand based on optimised nonlinear grey models, *Energy*, 140 (1), 941–951.

Sun, J. W., 2006, An alternative viewpoint on the forecasting of energy-related CO_2 emissions in the OECD countries, *Energy Policy*, 34 (4), 377–382.

Sangeetha, A., & Amudha, t., 2018, A Novel Bio- Inspired for CO_2 Emission Forecast in India, *Procedia Computer Science*, 125, 367–375.

Sun, W., Wang, C., Zhang, C., 2017, Factor analysis and forecasting of CO_2 emissions in Hebei, usingextreme learning machine based on particle swarm optimization, *Journal of Cleaner Production*, 162, 1095–1101.

Sun, J. W., 2006, An alternative viewpoint on the forecasting of energy-related CO_2 emissions in the OECD countries, *Energy Policy*, 34(4), 377-382.

Tsaur, R. C., 2010, The development of an interval grey regression model for limited time series forecasting, *Expert Systems with Applications* 37 (2), 120, 0–1206.

Vivaracho-Pascuala, C., Simon-Hurtadoa, A., Manso-Martineza, E., M.Pascual-Gasparb, J., 2016, Client threshold prediction in biometric signature recognition by means of Multiple Linear Regression and its use for score normalization, *Pattern Recognition*, 55, 1-13.

Vivian Tang, H. W., & Yin, m. s., 2012, Forecasting performance of grey prediction for education expenditure and school enrollment, *Economics of Education Review*, 31 (4), 452– 462.

Wang, B., Liang, X.J., Zhang, H., Wang, L., Wei, Y. M., 2014, Vulnerability of hydropower generation to climate change in China: Results based on Grey forecasting model, *Energy Policy*, 65, 701–707.

Wu, WY., & Chen, S. P., 2004, A prediction method using the grey model GMC (1,n) combined with the grey relational analysis: a case study on internet access population forecast, *Applied Mathematics and Computation*, 169 (1), 198–217.

Wang, C. H., & Hsu, L. C., 2008, Using genetic algorithms grey theory to forecast high technology industrial output. *Applied Mathematics and Computation*, 195 (1) 256–263.

Wang, Z. X., 2013, An optimized Nash nonlinear grey Bernoulli model forecasting the main economic indices of high technology enterprises in China, *Computers & Industrial Engineering*, 64 (3), 780–787.

Wang, X., Cai, Y., Chen, J., Dai, C., 2013, A grey-forecasting interval-parameter mixed-integer programming approach for integrated electric-environmental management- A case study of Beijing, *Energy*, 63, 334 –344.

Wu, L., Liu, S., Liu, D., Fang, Z., Xu, H., 2015, Modelling and forecasting CO_2 emissions in the BRICS (Brazil, Russia, India, China, and South Africa) countries using a novel multi-variable grey model, *Energy*, 79, 489–495.

Wu, L., Liu, S., Yang, Y., 2016, Grey double exponential smoothing model and its application on pigprice forecasting in China, *Applied Soft Computing*, 39, 117–123 .

Wang, Z. H., Li, Q., Pei, L. L., 2017, Grey forecasting method of quarterly hydropower production in China based on a data grouping approach, *Applied Mathematical Modelling*, 51, 302–316.

Wang, Z. X., & Ye, D. J., 2017, Forecasting Chinese carbon emissions from fossil energy consumption using non-linear grey multivariable models, *Journal of Cleaner Production*, 142 (2), 600–612.

Wu, L., Gao, X., Xiao, Y., Yang, Y., Chen, X., 2018, Using a novel multi-variable grey model to forecast the electricity consumption of Shandong Province in China, *Energy*, 157, 327–335.

Wang, Q., Li, S., Ma, M., 2018, Forecasting U.S. shale gas monthly production using a hybrid ARIMA and metabolic nonlinear grey model, *Energy*, 160, 378–387.

Wu, W., Ma, X., Zeng, B., Wang, Y., Cai, W., 2018, Application of the novel fractional grey model FAGMO(1,1,k) to predict China's nuclear energy consumption, *Energy*, 165 (2), 223–234.

Wang, Q., Song, X., Li, R., 2018, A novel hybridization of nonlinear grey model and linear ARIMA residual correction for forecasting U.S. shale oil production, *Energy*, 165 (2), 1320–1331.

Wang, J., Du, P., Lu, P., Yang, W., Niu, T., 2018, An improved grey model optimized by multi-objective ant lion optimization algorithm for annual electricity consumption forecasting, *Applied Soft Computing*, 72, 321–337.

Wang, Z. X., & Li, Q., 2019, Modelling the nonlinear relationship between CO_2 emissions and economic growth using a PSO algorithm-based grey Verhulst model, *Journal of Cleaner Production*, 207, 214–224.

Wu, L., Liu, S., Liu, D., Fang, D., Xu, H., 2015, Modelling and forecasting CO_2 emissions in the BRICS (Brazil, Russia, India, China, and South Africa) countries using a novel multi-variable grey model, *Energy*, 79, 489–495.

Xie, N. M., Liu, S. F., Yang, Y. J., Yuan, C. Q., 2013, On novel grey forecasting model based on non-homogeneous index sequence, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (7), 5059–5068.

Xia, M., & Wong, K., 2014, A seasonal discrete grey forecasting model for fashion retailing, *Knowledge-Based Systems*, 57, 119–126.

Xiao, X., Yang, J., Mao, S., Wen, J., An improved seasonal rolling grey forecasting model using a cycle truncation accumulated generating operation for traffic flow, *Applied Mathematical Modelling*, 51, 386–404.

Xu, N., Dang, Y., Gong, Y., 2017, Novel grey prediction model with nonlinear optimized time response, *Energy*, 118, 473–480.

Xu, G., Schwarz, P., Yang, H., 2019, Determining China's CO_2 emissions peak with a dynamic nonlinear artificial neural network approach and scenario analysis, *Energy Policy*, 128, 752–762.

Xu, N., Ding, S., Gong, Y., Bai, J., 2019, Forecasting Chinese greenhouse gas emissions from energy consumption using a novel grey rolling model, *Energy*, 175, 218–227.

Yao, A., Chi, S.C., Chen, J.H., 2003, An improved Grey-based approach for electricity demand forecasting, *Electric Power Systems Research* 67 (3), 217_ 224.

Yang, Y., & Xue, D., 2018, An actual load forecasting methodology by interval grey modeling based on the fractional calculus, *ISA Transactions*, 82, 200–209.

Ye, J., Dang, Y., Li, B., 2018, Grey-Markov pre diction model base d on background value optimization and central-point triangular whitenization weight function, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* ,54, 320–330.

Yang, W., Wang, Y., Niu, T., Du, P., 2019, A hybrid forecasting system based on a dual decomposition strategy and multi-objective optimization for electricity price forecasting, *Applied Energy*, 235, 1205–1225.

Zhou, P., Ang, B. W., 2006, A trigonometric grey prediction approach to forecasting electricity demand, *Energy* , 31 (14) 2839–2847.

Zhan-li, M., Jin-hua, S., 2011, Application of Grey-Markov Model in Forecasting Fire Accidents, *Procedia Engineering* , 11, 314–318.

Zhao, Z., Wang, J., Zhao, J., Su, Z., 2012, Using a Grey model optimized by Differential Evolution algorithm to forecast the per capita annual net income of rural household in China, *Omega*, 40 (5), 525–532.

Zeng, X., Shu, L., Huang, G., Jiang, J., 2016, Triangular fuzzy series forecasting based on grey model and neural network, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (3) 1717–1727.

Zhao, Z., & Guo, S., 2016, An optimized grey model for annual power load forecasting, *Energy*, 107, 272–286.

Zeng, B., Luo, C., Liu, S., Li, C., 2016, A novel multi-variable grey forecasting model and its application in forecasting the amount of motor vehicles in Beijing, *Computers & Industrial Engineering*, 101, 479–489.

Zeng, B., Dua, D., Bai, Y., Meng, W., 2018, Forecasting the output of shale gas in China using an unbiased grey model and weakening buffer operator, *Energy*, 151, 238–249.

Zeng, B., & Li, C., 2018, Improved multi-variable grey forecasting model with a dynamic background-value coefficient and its application, *Computers & Industrial Engineering*, 118, 278–290.

Zeng, X., Shu, L., Yan, S., Shi, Y., He, F., 2019, A novel multivariate grey model for forecasting the sequence of ternary interval numbers, *Applied Mathematical Modelling*, 69, 273–286.

Zhang, L., Shen, Q., Wang, M., Sun, N., Wei, W., Lei, Y., Wang, Y., 2019, Driving factors and predictions of CO_2 emission in China's coal chemical industry, *Journal of Cleaner Production*, 210, 1131-1140.

https://www.iea.org/statistics/co2emissions/

http://www.tuik.gov.tr/Start.do

http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Latvia/1/LV-03-06-EU%20INDC.pdf

EKLER

EK 1. GM(1,1) Modelinin MATLAB Fonksiyonu

```
function MAPE=GM1
data=[236.5;244.5;264.2;281.6;312.7;309.3;315.4;314.4;339.5;353.7;345.2;361
.7;381.3;401.2;425.3];
K=length(data);
for i=1:K-10
    X0(1)=data(1);
    X0(2)=data(2);
    X0(3)=data(3);
    X0(4)=data(4);
    X0(5)=data(5);
    X0(6)=data(6);
    X0(7)=data(7);
    X0(8)=data(8);
    X0(9)=data(9);
    X0(10)=data(10);
    X1(1)=X0(1);
     for j=2:9+i
         X1(j)=X1(j-1)+X0(j);
     end
     for j=1:8+i
         Z(j)=(0.5*(X1(j+1)+X1(j)));
     end
     for j=1:8+i
         B(j,1)=-Z(j);
         B(j,2)=1;
     end
     for j=2:9+i
         Y(j-1)=X0(j);
     end
     V=((B'*B)^-1)*B'*Y';
     U=V';
     XP1(1)=X0(1);
     for j=2:10+i
        XP1(j)=((X1(1)-U(2)/U(1))*exp(-U(1)*(j-1))+ (U(2)/U(1)));
     end
     for j=2:10+i
         P(1)=X0(1);
         P(j)=XP1(j)-XP1(j-1);
     end
Predict(i)=P(end);
Actual(i)=data(i+10);
MAPE(i)=abs(Predict(i)-Actual(i))/Actual(i);
data(i+10)=P(end);
X0(10+i)=P(end);
end
MAPE=mean(MAPE);
end
```

EK 2. Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli Modelinin MATLAB Fonksiyonu

```
function MAPE=NGBM(r)
data=[236.5;244.5;264.2;281.6;312.7;309.3;315.4;314.4;339.5;353.7;345.2;361
.7;381.3;401.2;425.3];
K=length(data);
for i=1:K-10
    X0(1)=data(1);
    X0(2)=data(2);
    X0(3)=data(3);
    X0(4)=data(4);
    X0(5)=data(5);
    X0(6)=data(6);
    X0(7)=data(7);
    X0(8)=data(8);
    X0(9)=data(9);
    X0(10)=data(10);
    X1(1)=X0(1);
     for j=2:9+i
         X1(j)=X1(j-1)+X0(j);
     end
     for j=1:8+i
         Z(j)=(0.5*(X1(j+1)+X1(j)));
     end
     r~=1;
     for j=1:8+i
         B(j,1)=-Z(j);
         B(j,2)=Z(j)^r;
     end
     for j=2:9+i
         Y(j-1)=X0(j);
     end
     V=((B'*B)^-1)*B'*Y';
     U=V';
     XP1(1)=X0(1);
     for j=2:10+i
        XP1(j)=((X1(1)^(1-r)-U(2)/U(1))*exp(-U(1)*(1-r)*(j-1))+
(U(2)/U(1)))^(1/(1-r));
     end
     for j=2:10+i
         P(1)=X0(1);
         P(j)=XP1(j)-XP1(j-1);
     end
Predict(i)=P(end);
Actual(i)=data(i+10);
MAPE(i)=abs(Predict(i)-Actual(i))/Actual(i);
data(i+10)=P(end);
X0(10+i)=P(end);
end
MAPE=mean(MAPE);
end
```

EK 3. Yuvarlama Mekanizmalı GM(1,1) Modelinin MATLAB Fonksiyonu

```
function MAPE=RGM2(s)
data=[236.5;244.5;264.2;281.6;312.7;309.3;315.4;314.4;339.5;353.7;345.2;361
.7;381.3;401.2;425.3];
K=length(data);
for i=1:K-10
    X0(1)=data(i);
    X0(2)=data(i+1);
    X0(3)=data(i+2);
    X0(4)=data(i+3);
    X0(5)=data(i+4);
    X0(6)=data(i+5);
    X0(7)=data(i+6);
    X0(8)=data(i+7);
    X0(9)=data(i+8);
    X0(10)=data(i+9);
    X1(1)=X0(1);
     for j=2:10
         X1(j)=X1(j-1)+X0(j);
     end
     for j=1:9
         Z(j)=(s*(X1(j+1)+X1(j)));
     end
     for j=1:9
         B(j,1)=-Z(j);
         B(j,2)=1;
     end
     for j=2:10
         Y(j-1)=X0(j);
     end
     V=((B'*B)^-1)*B'*Y';
     U=V';
     XP1(1)=X0(1);
     for j=2:11
        XP1(j)=((X1(1)-U(2)/U(1))*exp(-U(1)*(j-1))+ (U(2)/U(1)));
     end
     for j=2:11
         P(1)=X0(1);
         P(j)=XP1(j)-XP1(j-1);
     end
Predict(i)=P(end);
Actual(i)=data(i+10);
MAPE(i)=abs(Predict(i)-Actual(i))/Actual(i);
data(i+10)=P(end);
end
MAPE=mean(MAPE);
end
```

EK 4. Yuvarlama Mekanizmalı Doğrusal Olmayan Gri Bernoulli MATLAB Kodu

```
function MAPE=RNGBM(s,r)
data=[236.5;244.5;264.2;281.6;312.7;309.3;315.4;314.4;339.5;353.7;345.2;361
.7;381.3;401.2;425.3];
K=length(data);
for i=1:K-10
    X0(1)=data(i);
    X0(2)=data(i+1);
    X0(3)=data(i+2);
    X0(4)=data(i+3);
    X0(5)=data(i+4);
    X0(6)=data(i+5);
    X0(7)=data(i+6);
    X0(8)=data(i+7);
    X0(9)=data(i+8);
    X0(10)=data(i+9);
    X1(1)=X0(1);
     for j=2:10
         X1(j)=X1(j-1)+X0(j);
     end
     for j=1:9
         Z(j)=(s*(X1(j+1)+X1(j)));
     end
     r~=1;
     for j=1:9
         B(j,1)=-Z(j);
         B(j,2)=Z(j)^r;
     end
     for j=2:10
         Y(j-1)=X0(j);
     end
     V=((B'*B)^-1)*B'*Y';
     U=V';
     XP1(1)=X0(1);
     for j=2:11
        XP1(j)=((X1(1)^(1-r)-U(2)/U(1))*exp(-U(1)*(1-r)*(j-1))+
(U(2)/U(1)))^(1/(1-r));
     end
     for j=2:11
         P(1)=X0(1);
         P(j)=XP1(j)-XP1(j-1);
     end
Predict(i)=P(end);
Actual(i)=data(i+10);
MAPE(i)=abs(Predict(i)-Actual(i))/Actual(i);
data(i+10)=P(end);
end
MAPE=mean(MAPE);
end
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Khadijeh MOHAMMADLIREZAEI
Doğum Yeri	IRAN
Doğum Tarihi	26.02.1984
Uyruğu	☐T.C.☑ Diğer:
Telefon	05364779067
E-Posta Adresi	kh.m.rezaei@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Urmia Universitesi
Fakülte	Temel Bilimler
Bölümü	Matematik
Mezuniyet Yılı	2009

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Endüstri Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler