

Firmalar ve Kamu Maliyesi Perspektifinden Çevre Harcamalarının Yakın Geleceği: GMDH Tipi Yapay Sinir Ağları Analizi

The Near Future of Environmental Expenditures from the Perspective of Firms and Public Finances: GMDH Type Artificial Neural Networks Analysis

Bilgen TAŞDOĞAN  ^a

^aAnkara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İ.İ.B.F. Maliye Bölümü, Ankara, Türkiye. bilgen.tasdogan@hbv.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

ÖZET

Anahtar Kelimeler:

Çevre Kirliliği
Çevre Harcamaları
Kamu Maliyesi ve Firmalar

Amaç – Çalışmanın amacı, çevre harcamaları konusunda kamunun ve firmaların paylarını ve gelecekte karşılaşılabilecekleri olası eğilimleri ortaya koyarak, karar alıcılara yol göstermektir.

Yöntem – 2021-2028 dönemi için çevre kirliliği, çevre koruma harcamalarında kamu kesimi ve firmaların payları ile 2021-2027 döneminde çevre vergilerinin gelişim seyrinin Grup Veri İşleme Yöntemi Tipi Yapay Sinir Ağları temelinde zaman serisi analizleri yapılmıştır.

Bulgular – Türkiye’de Sera Gazı Emisyon değerlerinin ilgili dönemde yaklaşık yüzde 14,2, çevre koruma harcamalarının yaklaşık yüzde 106,9 artacağı ve toplam çevre vergi gelirlerinin de yaklaşık yüzde 15,3 azalacağı tespit edilmiştir. Kamu kesiminin toplam çevre koruma harcamaları içinde cari harcamalarının yüzde 2’ye düşeceği ve kamu yatırım harcamalarının da yüzde 11’e düşeceği de hesaplanmıştır. Buna karşılık firmaların cari harcamalarının toplam çevre harcamaları içindeki payının 2020 yılında yüzde 59,06 iken 2027 yılında yüzde 50’ye düşeceği ve yatırım harcamalarının payının da yüzde 89’a yükseleceği hesaplanmıştır.

Tartışma – Çalışma, 2028 yılına kadar artan kirliliğe karşı alınan tedbirlerin ekonomik yükünün büyük ölçüde firmaların toplam çevre harcamaları içindeki payının artışı ile karşılanacağı ve bunun için de firmaların yakın dönemde çevre harcamaları için yüksek bütçeler ayırması gerektiğine dair bir öneri sunmaktadır. Bu çalışmaya ek olarak daha geniş veri setleri ve farklı değişkenler kullanılarak firmaların yüksek miktarda çevre harcamalarını yapması durumunda ortaya çıkacak olumlu ve olumsuz etkiler tartışılabilir.

Gönderilme Tarihi 16

Temmuz 2023

Revizyon Tarihi 7 Eylül 2023

Kabul Tarihi 10 Eylül 2023

Makale Kategorisi:

Araştırma Makalesi

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Environmental Pollution
Environmental Expenditures
Public Finance and Firms

Purpose – The aim of the study is to guide the decision makers by revealing the shares of the public and companies in environmental expenditures and the possible trends they may encounter in the future.

Design/methodology/approach – Time series analyzes were made on the basis of Group Data Processing Method Type Artificial Neural Networks of environmental pollution for the period 2021-2028, the shares of the public sector and companies in environmental protection expenditures, and the development of environmental taxes in the 2021-2027 period.

Findings – It has been determined that Greenhouse Gas Emission values in Türkiye will increase by approximately 14.2 percent, environmental protection expenditures will increase by approximately 106.9 percent and total environmental tax revenues will decrease by approximately 15.3 percent in the relevant period. It is also calculated that the current expenditures of the public sector within the total environmental protection expenditures will decrease to 2 percent and the public investment expenditures will decrease to 11 percent. On the other hand, it has been calculated that the share of companies' current expenditures in total environmental expenditures will decrease from 59.06 percent in 2020 to 50 percent in 2027 and the share of investment expenditures will increase to 89 percent.

Discussion – The study presents a suggestion that the economic burden of the measures taken against increasing pollution until 2028 will be met by the increase in the share of companies in total environmental expenditures, and that companies should allocate high budgets for environmental expenditures in the near future. In addition to this study, using larger data sets and different variables, the positive and negative effects that will arise if companies make high environmental expenditures can be discussed.

Received 16 July 2023

Revised 7 September 2023

Accepted 10 September 2023

Article Classification:

Research Article

Önerilen Atıf/Suggested Citation

Taşdoğan, B. (2023). Firmalar ve Kamu Maliyesi Perspektifinden Çevre Harcamalarının Yakın Geleceği: GMDH Tipi Yapay Sinir Ağları Analizi, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 15 (3), 2302-2320.

1. Giriş

Başlangıcı sanayi devrimine indirgenen çevre sorunları, temelde büyüme pahasına yapılan bir tercih olmuş ve mali anlamda negatif dışsallıklar ve çözüm önerileri ile literatürde yer almıştır. 1970'li yıllarda ise mali yazında yeni olmamakla birlikte, içerik ve konu farklılaşmasına uğrayan küresel kamusal malların ilgi alanına girmiştir. Bu kapsamda “sürdürülebilir kalkınma” hedeflerinin belirlenmeye başlanması ve toplum refahının bir bileşeni olarak çevre sorunlarının uluslararası kurumların gündeminde yer alması ile literatür genişlemiştir. Çevre sorunları ile ilgili başlangıçta ülkeler ilgi ve önceliklerine göre farklı çevre politikaları uygulamışlardır. Birleşmiş Milletler sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda; insan kaynaklı çevre sorunlarının azaltılmasına yönelik önlemler, dünya ölçeğinde ortak politika oluşturma gerekliliği, uluslararası ve bölgesel işbirlikleri, ikili ve çok taraflı anlaşmaların varlığı kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının çevre tartışmalarına katılımını gerekli kılmıştır. BM'nin amacı doğrultusunda ilk adım 1972 yılında Stockholm'de düzenlenen “İnsan ve Çevresi Konferansı” ile atılmış ve süreç yoğunlaşarak devam etmiştir (MFAa, 2023).

Tablo 1. Çevre Konusunda Önemli Dönüm Noktaları¹

Yıl	Müzakere ve Eylemler ²	Mutabakat ³	Açıklama
		İnsan Çevre Bildirisi	Stockholm Konferansı sonrası, çevre konusunda uluslar arası uyumun ve işbirliğinin sağlanması amaçlı BM çevre programı oluşturulmuştur (MFAb, 2023).
1978		Barselona Sözleşmesi	1978 yılında yürürlüğe giren ve 2004 yılında adı “Akdeniz'in Deniz Ortamı ve Kıyı Bölgesinin Korunması sözleşmesi” olarak değiştirilen Barselona sözleşmesini Türkiye 2002 yılında onaylamıştır (MFAc, 2023).
1987	Brundtland Raporu		
1990		Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi	BM İnsan ve Çevresi Konferansı 21. İlkesine dayanarak, tarafların ozon tabakasında değişikliğe yol açabilecek insan kaynaklı olumsuzlukların insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri için gerekli tedbirleri almasını, taraflar arası hukuki, ticari, teknik, bilimsel, sosyo-ekonomik işbirliğine gitmesini ve sözleşmede yer alan diğer hükümlerin yapılmasını içermektedir (CSBa, 2023). 1985 yılında kabul edilen sözleşmeyi takiben, 1987 yılında ozon tabakasını incelten maddelerin kullanımını ve üretimini kontrol altına almayı planlayan Montreal protokolü kabul edilmiştir (MFAc, 2023).
1991		Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü	Viyana Sözleşmesi sonrası kloroflorokarbon ve bazı halonların üretim ve tüketiminin azaltılmasına yönelik 196 onayladığı çok taraflı anlaşmadır. Çeşitli tarihlerde düzenlemeler yapılan anlaşma BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi için temel olmuştur. Protokol ile aynı zamanda çok taraflı fon oluşturularak gelişmekte olan ülkelere proje destekleri sağlamaktadır. Türkiye 2021 yılında taraf olduğu Kigali değişikliği ile 2024 yılı itibarıyla HFC üretim ve tüketiminde azaltma yapacağını taahhüt etmiştir. Protokole taraf olmayan devletlerden ilgili ürünlerin dış ticaretinin engellenmiş ve Kigali değişikliği, Paris Antlaşması 1.5 derece

¹ Türkiye'nin taraf olduğu Uluslararası sözleşmeler ve protokoller hakkında daha detaylı bilgi için bkz. “Avrupa Birliği Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü”, (<https://ab.csb.gov.tr/sozlesmeler-i-98916>)

²Uluslararası düzeyde yapılan çeşitli toplantılar ve müzakereler, T.C. Dış İşleri Bakanlığı'nın belirttiği Kronolojiye göre oluşturulmuştur (MFAa, 2023).

³Uluslararası düzeyde antlaşmaya varılan mutabakatlar, T.C. Dış İşleri Bakanlığı'nın belirttiği Kronolojiye göre oluşturulmuştur (MFAe, 2023).

			hedefi çerçevesinde, önceki seviyelerine göre HFC'lerin 2050 yılına kadar %85 oranında azaltımını hedefleyerek küresel sıcaklığın 0,5 derece artışını önleyecektir (CSBb, 2023).
2004		BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)	1994'te yürürlüğe girerek 196 ülke ve AB'nin taraf olduğu sözleşmeye Türkiye 2004 yılında taraf olmuştur. Sözleşme, Montreal Protokolü ile denetlenmeyen sera gazları da dâhil edilerek emisyonlarının azaltılmasını, sera gazı yutaklarının korunmasını ve çoğaltılmasını, AR-GE işbirlikleri, eğitim-öğretim ve toplumun bilinçlendirilmesi, taraflar konferansının bağlayıcılığı ile ilgili hükümleri kapsamaktadır (MFAi, 2023). Türkiye, sera gazı emisyonlarını azaltma yükümlülüğüne sahip olan Ek-1 listede olup; finans, kapasite geliştirme ve teknoloji transferlerinden yararlanabilme özel şartlar ile sözleşmenin tarafı olan tek ülke özelliğine sahiptir. Özel şartlar Küresel çevre fonu, uluslararası kuruluşlar, bölgeler ve ikili fonlar üzerinden sağlanmaktadır (CSBc, 2023).
2005		Kyoto Protokolü	1997 yılında kabul edilip 2005 yılında yürürlüğe giren protokolün ilk taahhüt döneminde (2008-2012), yükümlü ülkelerin sera gazı salım seviyelerini 1990 baz yılına göre %5 azaltmaları gerekmiştir. 2013-2020 aralığını kapsayan ikinci taahhüt döneminde ek listede yer alan sera gazlarının 2020 itibarıyla 1990 düzeyine göre %18 azaltılması gerekmektedir. Türkiye Protokole 2009 yılında taraf olmakla birlikte BMİDÇS'ne 2004 yılında taraf olması gaz azatım ve sınırlama yükümlülüklerinin olduğu listeye dâhil edilmemesini sağlayarak Kyoto kapsamındaki sera gazı emisyon azaltımı ve sınırlamalarından sorumlu olmamıştır (MFAa, 2023).
2012	BM Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı		Uluslar arası çevre politikalarının entegre şekilde sürdürülmesi amaçlı oluşturulan UNEP'in güçlendirilmesi kararlaştırılmış ve BM Çevre Asamblesi (UNEA) organize edilmiştir (MFAb, 2023).
2021		Paris Antlaşması	2015 yılında imzalanıp 2016 yılında yürürlüğe giren anlaşma üzerinde tüm dünya ülkeleri sera gazı emisyonlarını azatım taahhüdünde bulunmuştur. Antlaşma ile fosil yakıt kullanımı kaynaklı sera gazı emisyonlarını sıfırlayarak küresel sıcaklığın sanayi devrimine kıyasla 2 derece düşürülmesini hedeflemektedir (MFAe, 2023). Kyoto'dan farklı olarak tüm ülkeler emisyon azatım ve sınırlamalarının yer aldığı "Ulusal Katkı Beyanı" hazırlama yükümlülüğünde olup, vaat ve izleme süreçlerine girmektedir. Ülke ekonomilerinin gelişmişlik düzeylerine göre ikili bir ayrıma gidilen ve az gelişmiş ülkelere esneklik sunulan antlaşmaya Türkiye gelişmekte olan ülke olarak 2015 yılında imzalamış ve 10 Kasım 2021 tarihinde taraf olarak 2053 net sıfır emisyon hedefi ile yükümlü olmuştur.

Tablo 1'de görüleceği üzere çevre sorunları ve alınan önlemler ulus ötesi kurumlar ve uluslararası anlaşmalar doğrultusunda ilerlemekte ve Türkiye büyük ölçüde söz konusu anlaşmalara taraf olmaktadır. Çevre koruma harcamaları; çevreyle ilgili negatif dışsallıkların önlenmesine, azaltılmasına ve yok edilmesine ve çevresel bozulmalar sonrası iyileştirmeye yönelik her türlü faaliyete yönelik harcamaları içermektedir (TUİK, 2020). Tablo 2'deki Türkiye'de toplam çevre harcamalarının dağılımı incelendiğinde toplam harcamaların önemli bir kısmının atık yönetimi ve atık su yönetimi harcamalarından oluştuğu görülmektedir.

Tablo 2.Türkiye’de Konularına Göre Çevre Harcamaları

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Toplam	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Dış ortam hava ve iklimi kor.	1,60	1,40	1,35	1,33	1,67	2,00	2,97	2,42	3,51
Atık su yönetimi	38,18	38,44	37,14	37,77	34,91	35,44	37,78	30,86	27,00
Atık yönetimi	50,13	50,37	50,08	47,64	49,56	47,48	46,80	54,86	58,48
Toprak ve su koruma, kalite iyileş.	2,68	2,60	2,86	3,41	3,38	3,63	3,35	3,22	3,00
Gürültü ve vibrasyonu azaltma	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04
Biyolojik çeşitlilik ve peyzaj kor.	4,26	4,26	5,14	5,93	6,38	6,87	4,77	4,35	4,20
Radyasyona karşı koruma	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Araştırma ve geliştirme	0,40	0,42	0,49	0,59	0,60	0,65	0,57	0,50	0,41
Diğer çevre koruma harcama.	2,48	2,44	2,87	3,26	3,42	3,86	3,70	3,70	3,35

Kaynak: (TUİK, 2023: Çevre İstatistikleri)

Buna ek olarak toplam çevre koruma harcamalarının finansmanı kamu, özel sektör ve firmalar tarafından yapılmaktadır. Bu harcamalar iki farklı kalemden toplanır. Bunlar; Çevresel cari harcamalar, personel ve sosyal güvenlik ödemeleri, hizmet ve ekipman alımı gibi bir muhasebe döneminde tüketilen harcamalar ile Yatırım harcamaları; çevre ile ilgili makine ve teçhizat alımı, bina ve bina dışı inşaat harcamalarıdır (TUİK, 2023). Bu kapsamda hazırlanan Tablo 3’e bakıldığında toplam çevre harcamalarının 2/3’ünün firmalar tarafından yapıldığı görülmektedir. Bununla birlikte kamu ve hane halkının artan çevre harcamaları firmaların cari harcamalar içindeki payını bir miktar azaltmıştır. Çevreyle ilgili yatırım harcamalarında ise kamu kesiminin azalan payına karşılık firmaların çevre yatırımlarının yaklaşık yüzde 80’ini üstlendiği görülmektedir. Dolayısıyla kamunun çevre ile ilgili yatırımlarını azaltmasına paralel firmaların çevre harcamalarında altyapı ve teknolojiyi kapsayan yatırımlara yöneldiği düşünülmektedir.

Tablo 3: Türkiye’de Toplam Çevre Harcamalarının Sektörel Dağılımı (%)

Çevresel Cari Harcamaları			
Yıl	Genel devlet ve hane halkına hizmet eden kar amacı olmayan kuruluşlar	Mali ve mali olmayan şirketler	Hane halkları
2013	28,13	64,07	7,80
2014	28,46	63,69	7,84
2015	32,35	59,95	7,69
2016	35,05	57,05	7,91
2017	33,29	59,22	7,50
2018	36,56	55,87	7,58
2019	33,96	58,03	8,00
2020	32,78	59,06	8,16
Yatırım Harcamaları			
2013	36,71	63,29	
2014	31,97	68,03	
2015	31,64	68,36	
2016	34,40	65,60	
2017	37,14	62,86	
2018	36,22	63,78	
2019	22,90	77,10	
2020	18,08	81,92	

Kaynak: (TUİK, 2023: Çevre İstatistikleri)

Özel sektör çevre harcamalarının finansmanını kamu teşvik ve sübvansiyonları ve kamu altyapı harcamaları yanında kendi kaynakları ile finanse etmektedir. Kamu harcamaları ise teorik olarak temel kamu finans kaynağı olan vergiler ile sağlanmaktadır. Bu perspektiften değerlendirildiğinde kamu kesimi çevre harcamalarının azalışı ile birlikte firmaların çevre alanındaki cari ve yatırım harcamalarının artması, çevre harcamalarının yakın gelecekte nasıl bir seyir izleyeceğini önemli hale getirmektedir.

Bu çalışmanın amacı; Türkiye’de çevre harcamaları, çevre kirliliği ve çevre vergilerinin yakın gelecekte izleyeceği seyrin GMDH Yapay Sinir Ağları temelinde zaman serisi analizi ile ortaya konulması ve kamu maliyesindeki dönüşümün firmaların yakın gelecekteki kararlarına etki yapabilme potansiyelini ortaya çıkarmaktır. Çalışmanın ilgili literatür açısından önemi Yapay Sinir Ağları yöntemi ile kamu maliyesi ve firma perspektifinden tahmin yapmasıdır. Yapay Sinir Ağları yönteminin ağırlıklı olarak fen bilimleri alanlarında uygulanmış olması sosyal bilimlerde ise sınırlı ölçüde kullanımı bu çalışmaya literatürde ilgiyi artıracığı beklenmektedir.

Bu kapsamda çalışmanın giriş bölümünde Türkiye’nin çevre konusunda taraf olduğu uluslararası anlaşmalar, çevre harcamaları ve bu harcamaların sektörel dağılımına ilişkin özet bilgilere yer verilmektedir. İkinci bölümde, çalışmanın uyguladığı yöntemin teorik ve ampirik literatürüne yer verilerek yönetime ilişkin kavramlar sunulmaktadır. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan GMDH Yapay Sinir Ağları yönteminin istatistiksel ve matematiksel formları açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde Türkiye’de Sera Gazı Emisyon miktarlarının (CO₂, CH₄, N₂O ve F Gazları) zaman içindeki seyrini inceleyen tahmin sonuçları, 1990-2021 dönemine ait verilerden yararlanarak elde edilen 2021-2028 dönemi bulgularıdır. Toplam çevre ve atık yönetimi harcamalarının 2013-2021 dönemindeki değişimi baz alarak 2021-2028 dönemi tahmin sonuçları elde edilmiştir. Kamu ve firmaların toplam harcamalarını (cari ve yatırım) gösteren tahmin sonuçları ise 2021-2027 dönemi için hesaplanmıştır. Çevre vergi türlerinin toplam çevre vergi gelirleri içindeki payına ilişkin 2008-2021 dönemine ait gözlemlerden hareketle 2021-2028 dönemine ait tahmin sonuçları analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında ise elde edilen bulguların değerlendirilmesi yapılarak firmalara yakın gelecek için politika önerilerinde bulunmaktadır.

2. Kavramsal Çerçeve

GMDH algoritması Ivakhnenko (1966) tarafından araştırmacıların her hangi bir ön kabulü olmaksızın karmaşık modelleri oluşturabilmesi için önerilmiştir. Model, bilgisayar tarafından veri temelli optimum karmaşıklık düzeyinde oluşturulmakta ve basit bir girdi-çıkı ilişkisi kullanılmaktadır. Bu algoritma çoklu girdi değişkenleri için yüksek dereceli polinom serisini kendi kendine organize etmektedir (Farlow, 1981: 210). GMDH algoritması sezgisel ve algılayıcı bir yaklaşımı benimsemiş zamanla bu özellikler yapay sinir ağları ile ilişkilendirilmiştir. Muller vd. (1998) istatistiksel yöntemler, sinir ağları ve istatistiksel sinir ağları yöntemlerinin büyük ölçüde önbilgiye ihtiyaç duyan karmaşık yapıları tanımlayamadığını buna karşılık GMDH algoritmalarının hem istatistiğin hem de sinir ağlarının en iyi yönlerini birleştiren regresyon tabanlı bir yöntem olduğunu belirtmektedir. Madala (1991), GMDH algoritmalarının doğrusal sitemlerde daha iyi sonuç verirken doğrusal olmayan sistemlerde lojistik sinir ağlarının daha üstün olduğunu iddia etmektedir. Fakat Parker ve Tummala (1992), doğrusal olmayan sitemlerde de GMDH yönteminin daha iyi sonuçlar verdiğini kanıtlamıştır. Sonuç olarak GDMH algoritmasının başarısı kullanılan tekniğe, verilerdeki gürültü seviyesine ve nesnelere bulanıklığına bağlı olarak değişebilmektedir.

GMDH algoritmaları, temel fonksiyonun türüne, modelin yapısının karmaşıklarıdırma şekline, dış kriterlere veya modelleme türüne göre farklılık gösterebilmektedir. Algoritma seçimi, verilerdeki gürültü seviyesine, bunların yeterliliğine ve türüne (sürekli veya kesikli) bağlı olmaktadır. GMDH yöntemlerinin parametrik ve parametrik olmayan algoritmalar olmak üzere iki ana kategoride gruplandırıldığı görülmektedir. Parametrik algoritmalar, kesin veya düşük varyanslı gürültülü verilerle karakterize edilen sistemleri tanımlamak için önerilmektedir. Öte yandan, kötü tanımlanmış sistemler ve yüksek varyanslı gürültülü veriler söz konusu olduğunda, parametrik olmayan algoritmaların uygulanması önerilmektedir (Anastasakis ve Mort, 2001:3).

GDMH tipi nöral ağ uygulamalarında önemli görülen bir diğer özellik ise dışsal kriterlerin seçimidir. Tamura vd. (1980) GDMH algoritmasının sezgisel yöntemini sorgulamış ve bunun ortadan kaldırılması gerektiğini iddia etmiştir. Buradan hareketle her katmanda seçilen ara değişkenlerin sayısının önceden tanımlanmadığı sezgisel olmayan bir GDMH algoritması önermiştir. Çalışmalarında seçilen modellerin Akaike Bilgi Kriteri (AIC)’ne göre bilgisayar tarafından belirlenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Yoshimura vd. (1982)

kalıntı toplamlarının karesi kriteri (RSS)'ni ekleyerek doğrusal modeller için GMDH revizyonu önermiştir. Gelineen noktada önsel bilgi gerektiren tümdengelim algoritmalarının (sinir ağları, istatistiksel modeller) tanımlama ve tahmin görevlerini etkin bir şekilde yerine getirememesi nedeniyle tümevarım prosedürünü uygulayan GMDH algoritmalarına ilgi artmıştır. Dolayısıyla GMDH tipi nöral ağ uygulamaları birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. GMDH prosedürünün test edildiği ilk araştırma alanlarından biri finansal sistemlerin tanımlanması ve tahmin edilmesi uygulamaları olmuştur. Scott ve Hutchinson (1976)'a göre makroekonomik sistemler sınırlı sayıda gözleme ve dinamik bir yapıya sahip olduğu için geleneksel yöntemlerle yapılan tahminler yetersiz kalmaktadır. Geleneksel yöntemler değişkenler arasındaki küçük etkileşimleri dikkate alamadığı için GMDH yöntemi ekonomik sistemlerin incelenmesinde daha iyi bir performans sağlamaktadır. Brusilovskiy vd. (1985) ekonomik endekslerin öngörüsünü iki kategoride sınıflandırmaktadır. İlk grupta; yalnızca tahmin edilen endekslerin dinamiklerine ilişkin bilgiler kullanılmakta, ikinci grupta ise tahmin edilenle etkileşime giren diğer indekslerin dinamikleri kullanılmaktadır. Goleusov ve Kondrahshева (1987) GMDH'nin ülkelerin finansal endeksleri ve ekonomik sistemleri arasındaki karşılıklı bağımlılık hakkında bilgi üretebilme kapasitesine sahip olduğunu tespit etmektedir. Buna ek olarak GMDH'nin basit bir modelleme yönteminden farklı olarak tahmin sonuçlarının bağlamsal yorumlarını da içerdiğini belirtmektedirler. Lemke ve Muller (1995) bir hisse senedi portföyünün tahminine parametrik ve parametrik olmayan GMDH algoritmaları uygularken Water vd. (1997) hisse senedi fiyatlarının tahmininde GMDH algoritması uygulamıştır.

GMDH algoritmaları sınırlı sayıda gözlemin olduğu birçok tahmin süreçlerinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Khubayev (1986) GMDH algoritmasını tarımsal sistemlerde fiziksel model yapısının optimizasyonu ve parametrelerin tahmininde uygulamıştır. Ivakhnenko ve Stepashko (1986) trend fonksiyonu ve rassal süreçlerde GMDH algoritmasını test etmiştir. Bruttner vd. (1986) GMDH algoritmasının kendi kendini organize etme ilkesini bir ülkedeki doğum oranının tahmininde başarılı bir şekilde uygulamıştır. Lin vd. (1994) Çin'deki iki şehrin ortalama sıcaklık tahmininde GMDH ve kaotik teoremin kombinasyonunu uygularken parametre seçiminde GMDH'nin önemli katkılar yaptığını tespit etmiştir. Xue ve Watton (1995) akışkan güç sistemlerini modellemek için bir GMDH tipi nöral ağ tasarlamıştır. Sonuçlarına göre, GMDH ağının daha doğru modeller üreterek iyi performans gösterdiği iddia etmişlerdir Valenca ve Ludermir (1998) günlük nehir akışlarının tahmini için Box-Jenkins yaklaşımını aktif nöronlu sinir ağları ile karşılaştırmıştır. Chang vd. (1999) başka bir önemli ekolojik sorun olan sel tahmininde GMDH algoritması kullanmıştır. Srinivasan (2008) enerji talebini tahmin etmek için GMDH tipi bir sinir ağı ve geleneksel zaman serisi modelleri kullanmıştır. GMDH tipi bir sinir ağının, ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) açısından geleneksel zaman serisi modellerine kıyasla enerji talebini tahmin etmede daha üstün olduğunu göstermiştir. Başka bir çalışmada, Xu vd. (2012), günlük güç yükünü tahmin etmek için bir GMDH algoritması ve ARIMA modelleri uygulamış ve GMDH tabanlı sonuçların tahmin performansı açısından ARIMA modellerinin sonuçlarından daha üstün olduğunu tespit etmiştir. Magdalena vd. (2015) Orta ve Doğu Avrupa ülkelerinde 2015-2016 dönemi verilerini kullanarak kamu harcamaları için tahmin modelleri sunmuştur. Modeller, hedef ülkeler için hükümet politikalarının potansiyel bütçesel etkilerinin analizi için bir temel oluşturmaktadır. Tahminler ekonomik, sosyal ve finansal alanlar için karmaşık ve doğru tahminler oluşturma yeteneğini kanıtlamış olan GMDH Shell uygulaması kullanılarak yapay sinir ağları (YSA) yardımıyla elde edilmiştir. Rezai vd. (2018) İskandinav ülkeleri için 1990-2016 döneminde petrol, kömür ve doğal gaz, yenilenebilir enerji gibi çeşitli yakıtların tüketimi ve Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYİH) değeri girdi olarak kullanırken modelin çıktısı CO₂ salınımı olarak tanımlamış ve GMDH yöntemi uygulamıştır. Gültepe ve Duru (2018) Türkiye'nin Kastamonu ilindeki hava kirliliğini tahmin etmek için bir Yapay Sinir Ağı modeli önermiştir. Çalışmada 2015-2018 dönemi için bir kirlilik parametresi (PM₁₀) ve 5 farklı meteorolojik faktör (hava sıcaklığı, hava basıncı, nem, rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı) kullanılarak Yapay Sinir Ağı modeli oluşturulmuştur.

Sonuç olarak Yapay Sinir Ağı yönteminin yeni ve klasik istatistiksel yöntemlere göre oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Maleki vd. (2019) GMDH yapay sinir ağı (YSA) algoritması ile İran'ın Ahvaz bölgesinde hava kirliletiçi konsantrasyonlarını, hava kalitesi indeksi ve hava kalitesi sağlık indeksi ile tahmin etmiştir. Akkaya (2021) 2013-2018 döneminde Türkiye'nin aylık elektrik talebini ölçmek için GMDH tipi nöral ağ yaklaşımını, doğrusal olmayan zaman serisi tabanlı bir tahmin modeli yapılandırmak için kullanmıştır. Özkal ve Arslan (2022) Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonları için hava kirliliğine neden olan NO_x'in anlık verilerini kullanarak GMDH modeli ile hava kirliliği kayıtlarındaki boşlukların doldurulabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada ise ampirik literatürde kısıtlı olarak yer alan GMDH tipi yapay sinir ağları üzerinden zaman serisi tahminleri yapılmaktadır. Çalışmanın Türkiye'deki ampirik literatüre katkısı yapay sinir ağları yönteminin kamu maliyesi ile de ilişkilendirilmiş olmasıdır.

3. Yöntem

Veri İşleme Grup Yöntemi (GMDH) yapay zekâ uygulamalarında kullanılan bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntemdeki sinir ağı bir dizi çoklu girdi tek çıktı veri çiftlerinin performans ölçümünde, büyük veriye ihtiyaç duymadan zaman serisi tahminleri için kendi kendini organize eden bir derin öğrenme yöntemine dayanmaktadır (Nguyen vd., 2019: 506).

3.1. Araştırmanın Modeli

GMDH sinir ağı polinomial sinir ağı modelleri olarak bilinmektedir. Bu yöntem ilk defa Ivakhnenko (1968) tarafından regresyon modellerindeki çoklu doğrusal bağımlılık problemlerini elimine etmek için önerilmiştir (Kaya vd., 2021:1337). GMDH yöntemi, modelleme ve sınıflandırma dâhil olmak üzere yüksek dereceli regresyon polinomlarını içeren problemleri ele almak için oluşturulmuştur. Kolmogorov-Gabor polinomu olarak bilinen Volterra serisi biçimindeki bir polinom serisi, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki genel bağlantıyı açıklamak için kullanılmaktadır (StavelinAbhinandithe vd., 2022: 112). Ivakhnenko (1968) tarafından kullanılan yüksek dereceli polinom fonksiyon şu şekildedir;

$$y = a + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m d_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (1)$$

Bu fonksiyonda m değişken sayısını, a, b, c, d , değişken katsayılarını, y çıktı değişkenini, (x_i, x_j, \dots, x_n) girdi değişkenlerini temsil etmektedir. GMDH yönteminde genel olarak ikinci dereceden polinomlar kullanılmaktadır.

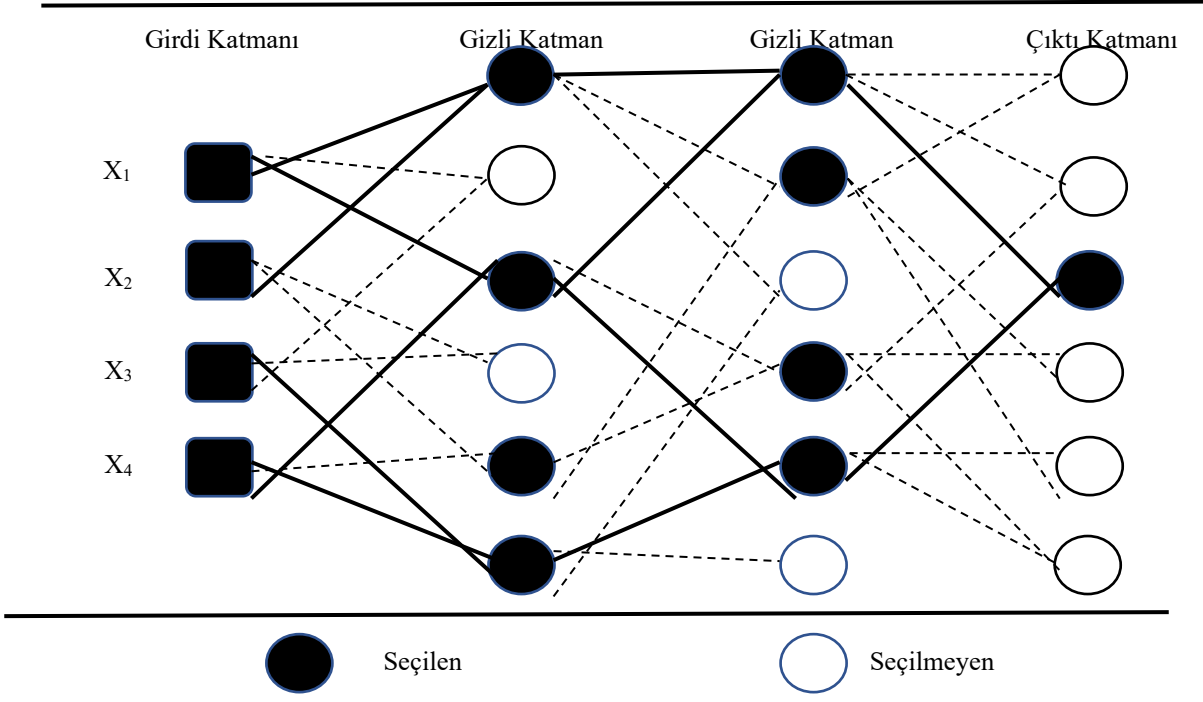
$$y = a + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

Geleneksel GMDH algoritması, iki ortak değişkenin olası tüm kombinasyonlarını dikkate almakta ve iki girdi değişkeninin her bir kombinasyonu bir nörona gitmektedir. İki girdi kullanılarak bir model oluşturulduğunda modelin yapısını temsil eden Velvakhnenko (1968) polinomundan elde edilen tahmin denklemi şu şekildedir;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_j + \beta_3 x_i^2 + \beta_4 x_j^2 + \beta_5 x_i x_j \quad (3)$$

Burada y tepki değişkeni, x_i ve x_j regresyonda kullanılan ortak değişkenler ve β_l değişkenlerin ağırlıklarını ($l = 0, 1, \dots, 5$) temsil etmektedir. Denklem 3'e göre y değişkeni x_i ve x_j değişkenlerinin ortak kombinasyonudur. Bir başka deyişle iki girdi değişkeni bir nörona gitmektedir. GMDH algoritması, içinde nöronların bulunduğu bir katmanlar sistemidir. Her katmanda bir dizi nöron bulunmaktadır. Bir katmandaki nöron sayısı, girdi değişkenlerinin sayısı ile tanımlanmaktadır. Örneğin, girdi değişkenlerinin sayısının p 'ye eşit olduğu varsayıldığında iki girdi değişkeni dâhil edildiğinde nöron sayısı $h = \frac{p \cdot (p-1)}{2}$ ye eşit olmaktadır (Dağ, 2015:11-12).

Şekil 1'de üç katmanlı ve dört girdili örnek bir GMDH algoritma mimarisi sunulmaktadır. Girdi sayısı dörde eşit olduğu için bir katmandaki düğüm sayısı altı olarak belirlenmiştir. Bu, algoritma için sadece bir başlangıç katmanıdır. Bu katmanda Denklem 3'ün katsayıları her bir nörona tahmin edilmekte, ilgili katsayılar ve girdiler kullanılarak da her bir nörondaki değişkenler için istenen çıktı tahmin edilmektedir. Seçilen dışsal bir kritere göre p nöronları seçilmekte ve $h-p$ kadar nöron ağdan çıkarılmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere gizli katmanların her birinde iki nöron çıkarılarak dört nöron seçilmektedir. Seçilen nöronlardan elde edilen çıktılar bir sonraki katman için girdi olmaktadır. Bu süreç son katmana kadar devam etmekte ve son katmanda sadece bir nöron seçilmektedir. Son katmandan elde edilen çıktı ise zaman serisi için öngörülen değeri vermektedir (Dağ ve Yozgatlıgil, 2016: 381-382)



Şekil 1. GMDH Algoritma Mimarisi

GMDH algoritma mimarisinde yer alan ve her bir modelde tahmin edilen altı katsayı bulunmaktadır. Bu katsayıların ağırlık tahmini şu şekilde yapılmaktadır;

$$\widehat{\beta}_k = (X'_k X_k + \lambda I_{6 \times 6})^{-1} X'_k y \quad (4)$$

$$X_k = \begin{bmatrix} 1 & x_{k,i,1} & x_{k,j,1} & x_{k,i,1}^2 & x_{k,j,1}^2 & x_{k,i,1}x_{k,j,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{k,i,t-p} & x_{k,j,t-p} & x_{k,i,t-p}^2 & x_{k,j,t-p}^2 & x_{k,i,t-p}x_{k,j,t-p} \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{t-p} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\widehat{\beta}_k = [\widehat{\beta}_{k,0} \widehat{\beta}_{k,1} \widehat{\beta}_{k,2} \widehat{\beta}_{k,3} \widehat{\beta}_{k,4} \widehat{\beta}_{k,5}]' \quad (6)$$

Burada X_k nöronların ($k = 1, \dots, h$) ortak matrisini, y ise $t-p$ gözlemlerini içeren çıktı değişkenini temsil etmektedir (Dağ, 2015:19).

Şekil 1’de yer alan ağ minimum hata ile tahmin edilen \hat{y} çıktı değişkeni aracılığıyla \hat{f} yaklaşık fonksiyonunu tanımlamaktadır. Quadratic polinomlar bir sette yer alan çoklu girdiler $X = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in})$ için tüm nöronlardan elde edilmekte ve tahmin edilen çıktı ile gerçekleşen çıktı y karşılaştırılmaktadır. Sonuç olarak gerçekleşen bulgular deneysel ölçüm ile elde edilen ve çoklu girdi ile tek bir çıktıyı temsil eden M verilerinden oluşmaktadır.

$$y = f(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) (i = 1, 2, 3, \dots, M) \quad (7)$$

X girdi vektörü için \hat{y} çıktı değişkenini GMDH tipi bir nöral ağ şu şekilde gösterilir;

$$\hat{y} = \hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}) (i = 1, 2, 3, \dots, M) \quad (8)$$

GMDH tipi bir nöral ağ tahmin edilen ve gerçekleşen çıktı değerlerinde yer alan tüm nöronların hata terimlerinin karesini minimize etmesi gerekmektedir (Akkaya, 2021:55).

$$\sum_{i=1}^M (\hat{y}_i - y_i)^2 \xrightarrow{\min} \quad (9)$$

Bu durumda GMDH algoritma katmanındaki her bir nöron için gözlem değeri ile tahmin değeri arasındaki Tahmin Hataları Karelerin Ortalaması (PSME) hesaplanmaktadır.

$$PSME = \frac{1}{1-p} \sum_{i=1}^{t-p} (\hat{z}_i - z_i)^2 \quad (10)$$

GMDH algoritmasının bir katmanında, tüm nöronlar için tüm PMSE değerleri hesaplanır. PMSE değerlerine göre bazı nöronlar diğerlerinden daha üstün olduğunda daha iyi olanlar bir sonraki katmana devam etme hakkına sahiptir. Bu nedenle tüm nöronların PMSE değerleri hesaplandıktan sonra diğerlerine göre daha küçük PMSE değeri veren p nöron canlı hücre olarak seçilmektedir. Seçilen çıktılar bir sonraki katmana girdi olarak devam etmekte ve bu işlem tüm katmanlar tamamlanana kadar sürmektedir. Son katmanda ise en küçük PMSE değerini veren nöron seçilerek tahmin işlemi sonlandırılmaktadır (Dağ, 2015:22).

GMDH algoritmasını zaman serileri tahminleri için de benzer bir prosedür takip edilerek gerçekleştirildiği görülmektedir. Zaman serileri tahminlerinin farkı; girdi değişkenlerinin çıktı değişkeninin (y) gecikmeli değerlerinden oluşmasıdır. Bu durumda doğrusal olmayan bir tahmin denklemi;

$$y_t = f[(y_{t-1}, y_{t-2}, y_{t-3}, \dots, y_{t-p}), (, \dots,)] \quad (11)$$

Burada p gecikme değerlerini verirken fonksiyon çıktı değişkeninin gecikme değerleri ile rassal hatalardan elde edilmektedir (StavelinAbhinandithe vd., 2022: 113).

GMDH tipi nöral ağ modellerinin performans kriterleri Maksimum Negatif Hata (MNE), Maksimum Negatif Oransal Hata (MPNE), Maksimum Pozitif Hata (MPE), Maksimum Pozitif Oransal Hata (MPPE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Mutlak Oransal Hata (MAPE), Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) ve Belirleme Katsayısı (R^2) kullanılarak test edilmektedir.

Modelin geçerliliği için ağırlıklı olarak kullanılan performans kriterleri ise RMSE ve MAE olarak bilinmektedir (Magdalena vd., 2015:676). MAE, tahmin edilen (F) ve gerçekleşen değerler (Y) arasındaki farkın mutlak değerinin sonucunu vermekte (Saigal ve Mehrotra: 2012:65) iken MSE, tahmin hatalarındaki değişkenliğini hesaplamaktadır (Magdalena ve Logica, 2014: 235).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - F_t| \quad (12)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (14)$$

Tüm bunlara rağmen GMDH tipi ağların tahminlerinde çıktı değişkeninin girdi olarak kullanılması eş doğrusallık ve aşırı belirlenme sorunları yaratması, eleştiri konusu olmakta ve modellerin kullanımını sınırlamaktadır (Lake vd., 2022:3-4). Buna karşın Duffy ve Franklin (1975) çoklu bağlantı sorununu aşmak için ek küçük kareler tahmin yöntemi yerine aşamalı çoklu regresyon tekniğini önermiştir. Modellerdeki aşırı belirlenme sorunu için de Mehra (1977) aşamalı regresyon yöntemini uygulamış parametre tahmininin de de Stern tahmincisini önermiştir.

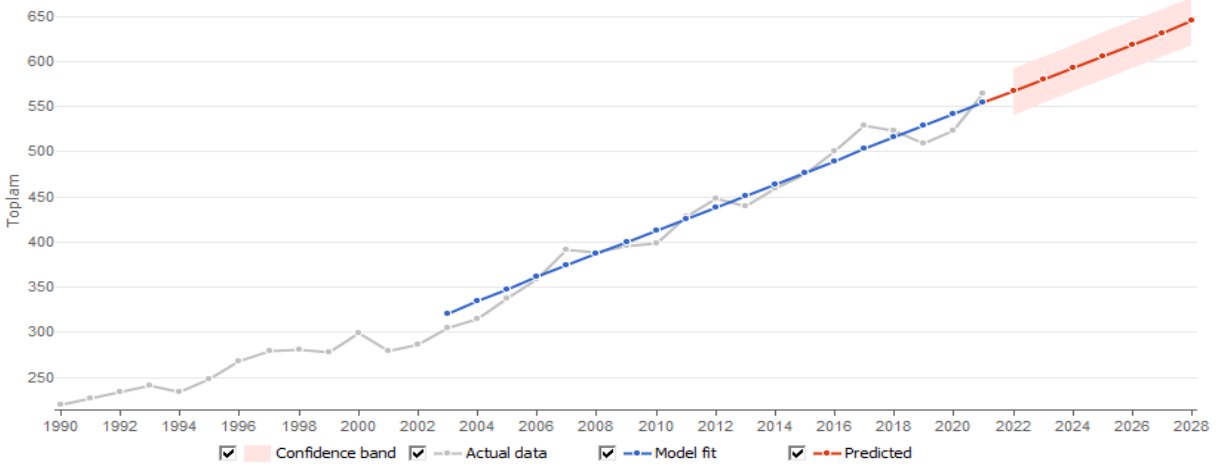
3.2. Veri Seti

Bu çalışmada zaman serisi tahminleri için yapılan ampirik analizlerde GMDH Shell programı kullanılmıştır. Serilerin tahmin sonuçlarının geçerliliği verilerin kapsadığı dönemle ilişkili olduğu için TÜİK veri tabanından elde edilen verilerin yakın dönemi kapsamı nedeniyle gelecek tahminleri 7 yıl ile sınırlandırılmıştır. Mevcut durumda 12. Kalkınma Planı 2024-2028 dönemi için hazırlandığından analiz bulguları için tahmin döneminin son yılı 2028 olarak belirlenmiştir.

3.3. Verilerin Analizi ve Bulgular

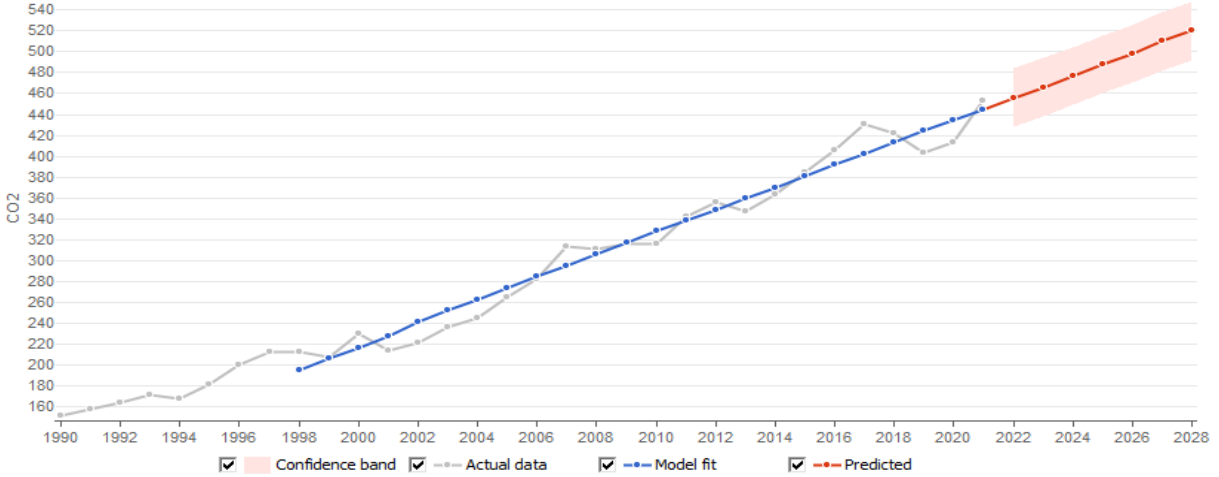
Sera Gazı Emisyon değerleri TÜİK tarafından 2006 Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Rehberi kullanılarak hesaplanmıştır. Sera gazı emisyon istatistikleri, enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanan, doğrudan sera gazları olan karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), diazotmonoksit (N_2O) ve florlu gazları (F-gazları) kapsamaktadır.

Şekil 2'de Toplam Sera Gazı Emisyon Miktarının 1990-2021 dönemi boyunca sürekli olarak arttığı ve tahmin dönemi olan 2021-2028 dönemi itibari ile de bu artışın kesintisiz devam edeceği görülmektedir. Toplam Sera Gazı Emisyon Miktarı 2021 yılında 564,39 ton iken 2028 yılında yüzde 14,2 artışla 645 tona ulaşacağı beklenmektedir. Bu tahminde Ortalama Mutlak Hata (MAE) değeri 11,05 olurken Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) değeri 13,03 ve Belirleme Katsayısı (R^2) ise 0,96 olarak hesaplanmıştır.

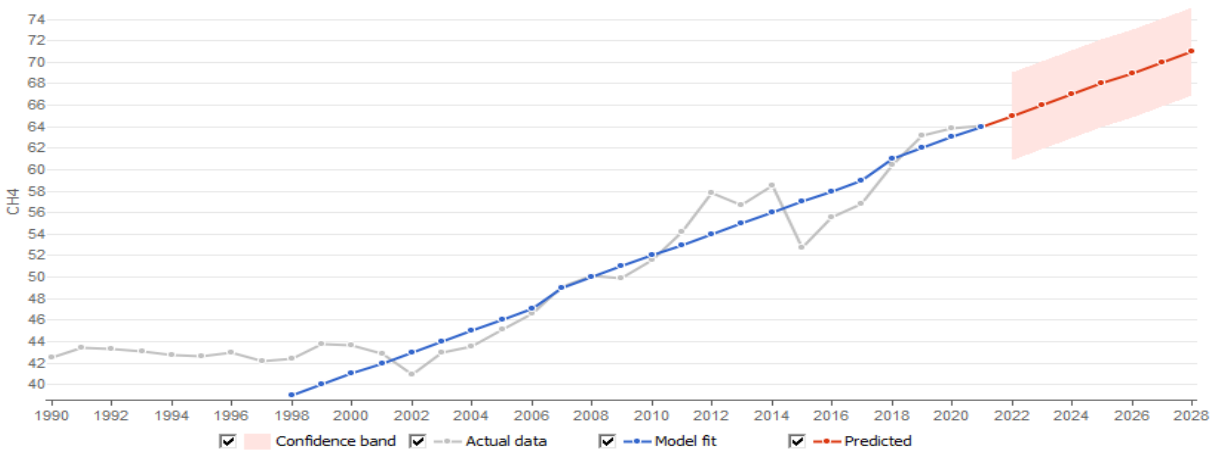


Şekil 2. Türkiye’de Toplam Sera Gazı Emisyonu Tahmin Sonuçları (Ton, CO₂ Eşdeğeri)

Benzer bir şekilde Şekil 3’te CO₂ Emisyon Miktarı tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre 1990-2021 dönemi boyunca CO₂ Emisyon Miktarının sürekli olarak arttığı ve tahmin dönemi olan 2021-2028 dönemi itibari ile de bu artışın devam edeceği öngörülmektedir. CO₂ Emisyon Miktarı 2021 yılında 452,70 ton iken 2028 yılında yüzde 14,8 artışla 520 tona ulaşacağı beklenmektedir. Bu tahminde MAE değeri 11,86 olurken RMSE değeri 13,92 ve R² ise 0,96 olarak hesaplanmıştır.



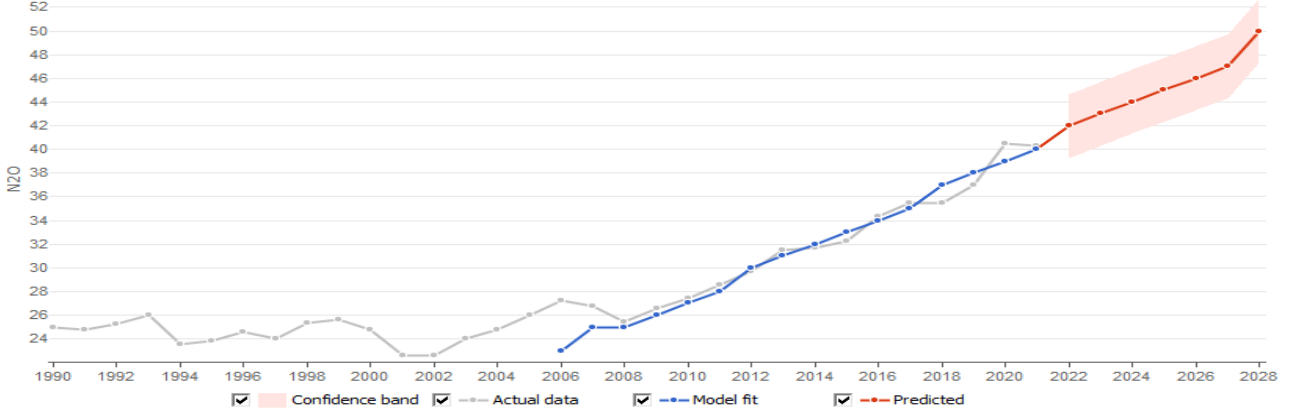
Şekil 3. Türkiye’de CO₂ Emisyonu Tahmin Sonuçları (Ton)



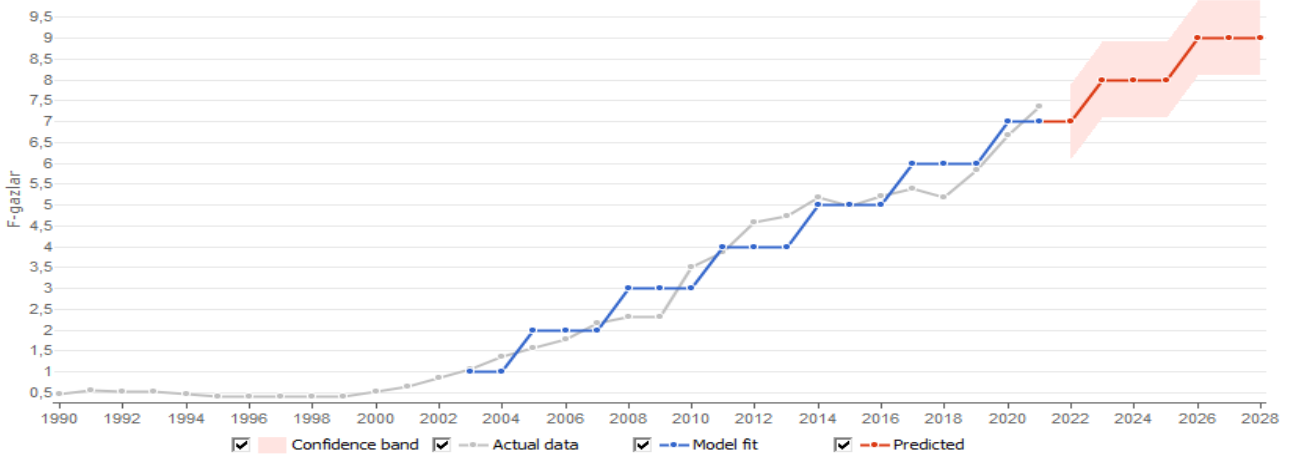
Şekil 4. Türkiye’de CH₄ Emisyonu Tahmin Sonuçları (Ton, CO₂ Eşdeğeri)

Şekil 4'te CH₄ Emisyon Miktarı tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre 1990-2021 dönemi boyunca özellikle 2002'den itibaren CH₄ Emisyon Miktarının sürekli olarak artışı ve tahmin dönemi olan 2021-2028 dönemi itibari ile de bu artışın CO₂'ye benzer bir şekilde devam edeceği öngörülmektedir. CH₄ Emisyon Miktarı 2021 yılında 64,02 ton iken 2028 yılında yüzde 10,9 artışla 71 tona ulaşacağı beklenmektedir. Bu tahminde MAE değeri 1,62 olurken RMSE değeri 2,04 ve R² ise 0,92 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5'te N₂O Emisyon Miktarı tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre N₂O Emisyon Miktarının 1990-2021 dönemi boyunca özellikle de 2008'den itibaren sürekli olarak artışı ve tahmin dönemi olan 2021-2028 dönemi itibari ile de bu artışın CO₂ ve CH₄'e benzer bir şekilde devam edeceği öngörülmektedir. N₂O Emisyon Miktarı 2021 yılında 40,30 ton iken 2028 yılında yüzde 16,6 artışla 47 tona ulaşacağı beklenmektedir. Bu tahminde MAE değeri 0,93 olurken RMSE değeri 1,34 ve R² ise 0,91 olarak hesaplanmıştır.



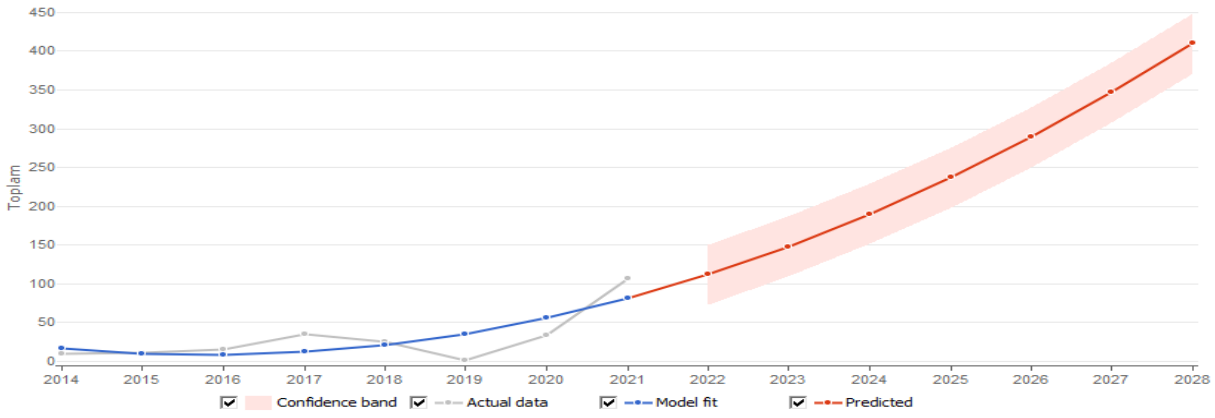
Şekil 5. Türkiye'de N₂O Emisyonu Tahmin Sonuçları (Ton, CO₂ Eşdeğeri)



Şekil 6. Türkiye'de F Gazı Emisyonu Tahmin Sonuçları (Ton, CO₂ Eşdeğeri)

Şekil 6'da Florlu Gazlar (F Gazı) Emisyon Miktarı tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre 1990-2021 döneminde özellikle 2000'den itibaren F Gazı Emisyon Miktarının sürekli olarak artışı ve tahmin dönemi olan 2021-2028 dönemi itibari ile de bu artışın diğer emisyon miktarları gibi devam edeceği öngörülmektedir. F Gazı Emisyon Miktarı 2021 yılında 7 ton iken 2028 yılında yüzde 28 artışla 9 tona ulaşacağı beklenmektedir. Bu tahminde MAE değeri 0,38 olurken RMSE değeri 0,45 ve R² ise 0,94 olarak hesaplanmıştır.

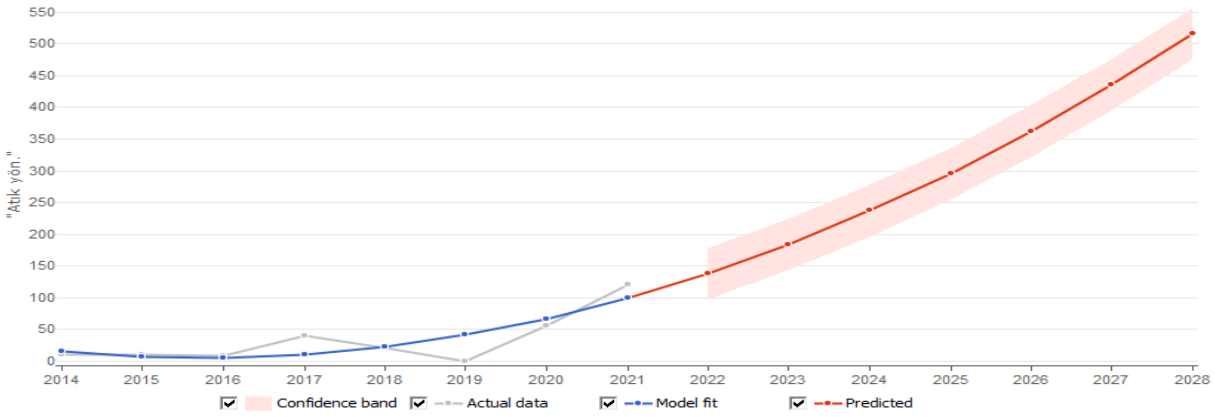
Bir taraftan çevre kirliliği olarak tanımlanan sera gazı emisyon miktarları sürekli artarken diğer taraftan da çevre koruma harcamaları yapılmaktadır. Çevre koruma harcamaları, kirliliğin önlenmesi, azaltılması ve ortadan kaldırılması için yapılan faaliyetler ile çevresel bozulmalar sonrası yapılan iyileştirme faaliyetlerine ayrılan ekonomik kaynaklar olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 7. Türkiye’de Toplam Çevre Harcamalarının Yıllara Göre Değişimi (%)

Şekil 7’de Toplam çevre harcamaları yıllara göre değişimi ile ilgili tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre 2014-2021 döneminde özellikle 2017’den itibaren hızlı bir artış görülmekte ve tahmin dönemi olan 2022-2028 dönemi itibari ile de bu artışın süreklilik göstereceği hesaplanmaktadır. Toplam çevre harcamaları bir önceki yıla göre 2021 yılındaki değişimi yüzde 106,9 iken 2028 yılında yüzde 410 olacağı beklenmektedir. Bu tahminde MAE değeri 15,67 olurken RMSE değeri 19,25 ve R^2 ise 0,61 olarak hesaplanmıştır.

Toplam çevre harcamaları içinde en dikkat çekici artış atık yönetimi harcamalarında görülmektedir. Şekil 8 atık yönetimi harcamalarının yıllara göre değişimi ile ilgili tahmin sonuçlarını göstermektedir. Buna göre 2014-2021 döneminde özellikle 2017’den itibaren hızlı bir artış görülmekte ve tahmin dönemi olan 2022-2028 dönemi itibari ile de bu artışın süreklilik göstereceği hesaplanmaktadır. Atık yönetimi harcamalarının bir önceki yıla göre 2021 yılındaki değişimi yüzde 120,5 iken 2028 yılında yüzde 516 olacağı hesaplanmıştır. Bu tahminde MAE değeri 14,92 olurken RMSE değeri 20,25 ve R^2 ise 0,70 tespit edilmiştir. Atık yönetimi harcamalarının toplam çevre harcamaları içinde en önemli paya sahip olduğu bilinmektedir.



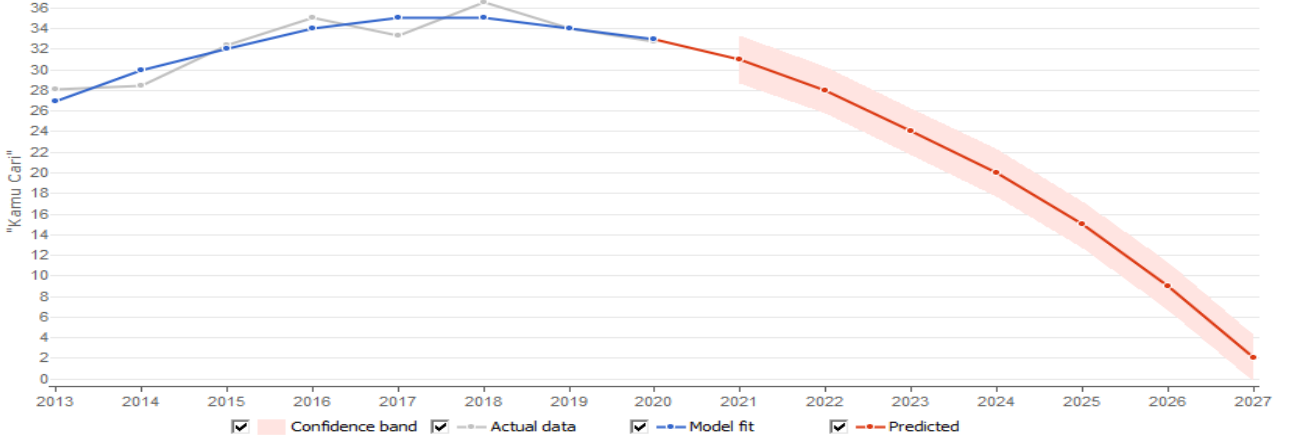
Şekil 8. Türkiye’de Atık Yönetimi Harcamalarının Yıllara Göre Değişimi (%)

Atık yönetimi dışında Dış Ortam Hava ve İklimi Koruma, Atık Su Yönetimi, Toprak ve Su Koruma, Kalite İyileştirme, Gürültü ve Vibrasyonu Azaltma, Biyolojik Çeşitlilik ve Peyzaj Koruma, Radyasyona Karşı Koruma, AR-GE ve diğer çevre koruma harcamaları için yapılan tahminlerde R^2 değerleri düşük tespit edildiği için dikkate alınmamıştır.

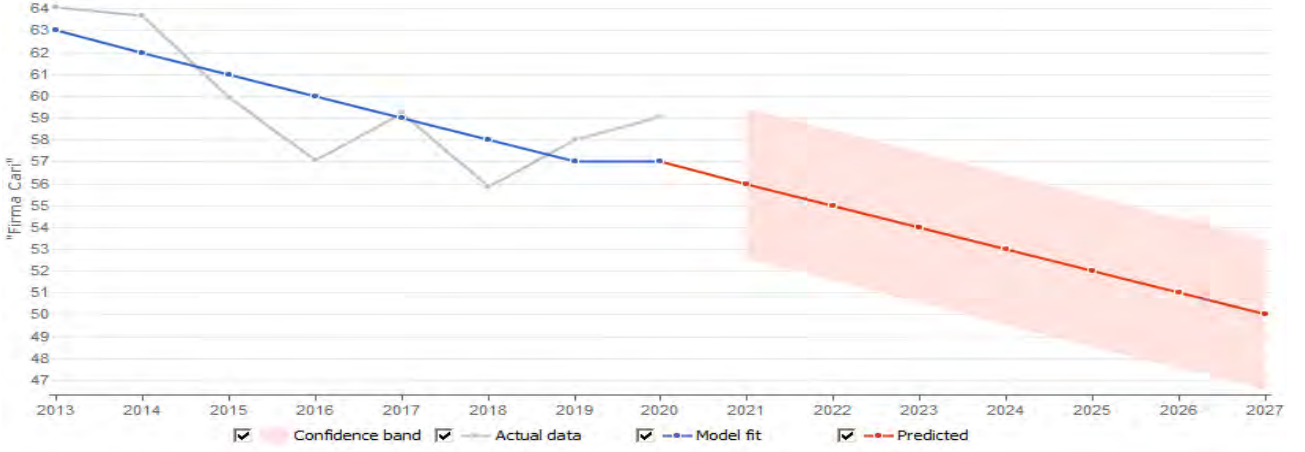
Bu bulguların yanı sıra toplam çevre harcamalarının kamu ve özel sektör dağılımı da çalışmanın amaçları açısından önemli görülmektedir. Söz konusu harcamalar kamu ve firmalar için cari ve yatırım harcamaları olarak iki grupta analiz edilmektedir.

Şekil 9’da Toplam çevre harcamaları için de kamunun cari harcamalarının payı ile ilgili tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre 2013-2020 döneminde özellikle 2017’den itibaren kamu cari harcamalarının payının sürekli azaldığı ve tahmin dönemi olan 2021-2027 dönemi itibari ile de bu azalışın süreklilik göstereceği tespit edilmiştir. Toplam çevre harcamaları içinde kamunun cari harcamalarının payı 2020 yılında yüzde 32,78 iken

2027 yılında yüzde 2 olacağı beklenmektedir. Bu tahminde MAE değeri 0,95 olurken RMSE değeri 1,13 ve R^2 ise 0,83 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Toplam Çevre Harcamaları İçinde Kamu Cari Harcamalarının Payı (%)



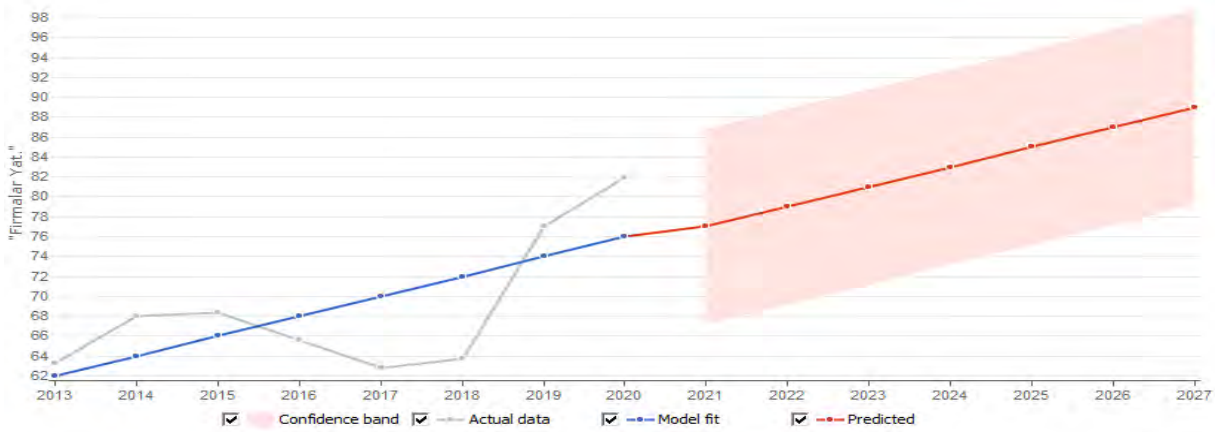
Şekil 10. Toplam Çevre Harcamaları İçinde Firma Cari Harcamalarının Payı (%)

Şekil 10'da Toplam çevre harcamaları için de firmaların cari harcamalarının payı ile ilgili tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre 2013-2020 döneminde zaman zaman kısa süreli artışlar olsa da genel eğilim firma cari harcamaları payının sürekli azaldığı ve tahmin dönemi olan 2021-2027 dönemi itibari ile de bu azalışın süreklilik göstereceği tespit edilmiştir. Toplam çevre harcamaları içinde firmaların cari harcamalarının payı 2020 yılında yüzde 59,06 iken 2027 yılında yüzde 50 olacağı beklenmektedir. Elbette bu azalış kamu cari harcamalarındaki azalışa bakılarak değerlendirildiğinde çevre harcamaları yükünün büyük ölçüde firmalar üzerinde kalmaya devam edeceği söylenebilir. Bu tahminde MAE değeri 1,52 olurken RMSE değeri 1,72 ve R^2 ise 0,60 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 11. Toplam Çevre Harcamaları İçinde Kamu Yatırım Harcamalarının Payı (%)

Şekil 11'de Toplam çevre harcamaları için de kamu yatırım harcamalarının payı ile ilgili tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre 2013-2020 döneminde özellikle 2015-2017 döneminde artış olsa da genel eğilim kamu yatırım harcamaları payının sürekli azaldığı ve tahmin dönemi olan 2021-2027 dönemi itibari ile de bu azalışın süreklilik göstereceği tespit edilmiştir. Toplam çevre harcamaları içinde kamu yatırım harcamalarının payı 2020 yılında yüzde 18,8 iken 2027 yılında yüzde 11 olacağı hesaplanmıştır. Bu tahminde MAE değeri 4,30 olurken RMSE değeri 4,90 ve R^2 ise 0,43 olarak hesaplanmıştır.



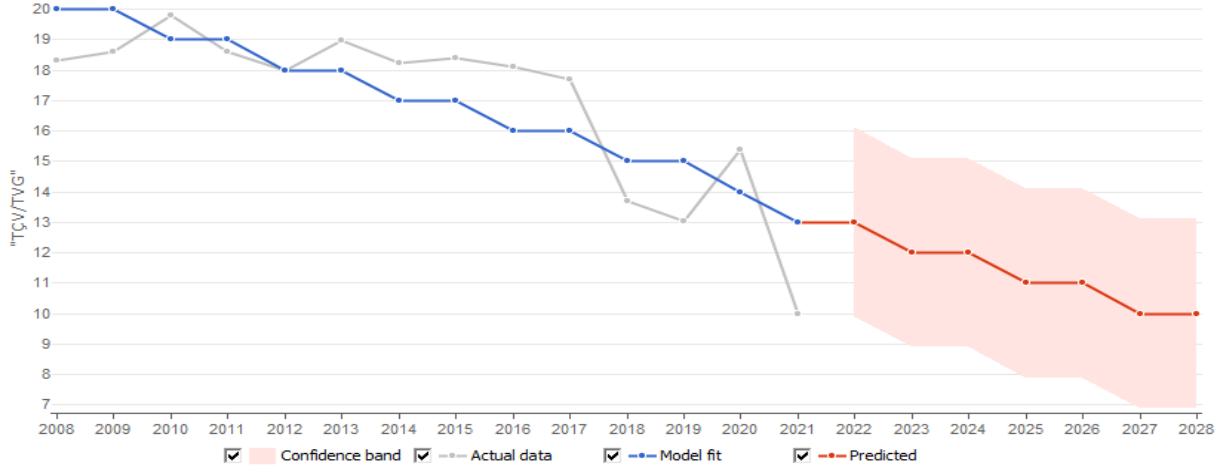
Şekil 12. Toplam Çevre Harcamaları İçinde Firma Yatırım Harcamalarının Payı (%)

Şekil 12'de Toplam çevre harcamaları için de firmaların yatırım harcamalarının payı ile ilgili tahmin sonuçları yer almaktadır. Buna göre 2013-2020 döneminde özellikle 2015-2017 döneminde azalış olsa da genel eğilim firma yatırım harcamaları payının sürekli arttığı ve tahmin dönemi olan 2021-2027 dönemi itibari ile de bu artışın devam edeceğidir. Toplam çevre harcamaları içinde firmaların yatırım harcamalarının payı 2020 yılında yüzde 81,92 iken 2027 yılında yüzde 89 olacağı beklenmektedir. Elbette bu artış kamu cari ve yatırım harcamalarındaki azalışa bakılarak değerlendirildiğinde yarar bulunmaktadır. Bu tahminde MAE değeri 4,30 olurken RMSE değeri 4,90 ve R^2 ise 0,43 olarak hesaplanmıştır.

Görüldüğü gibi toplam çevre harcamalarında sürekli bir artış söz konusu iken kamunun bu harcamalar içindeki payı düşmekte firmaların yatırım harcamaları hem artmakta hem de toplam çevre harcamalarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Kamu ise çevre harcamalarını finanse etmek için çevre vergilerini kullanmaktadır.

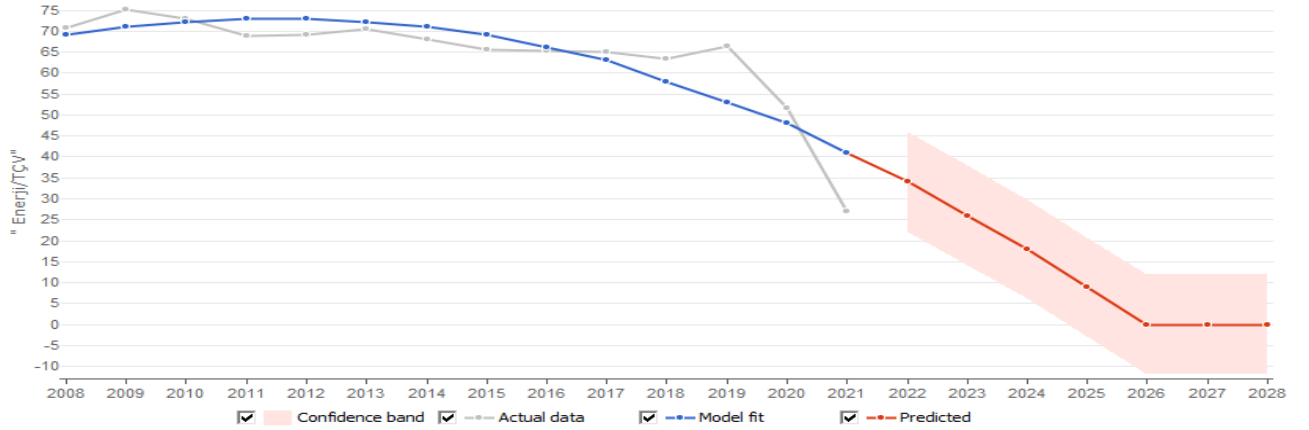
Çevre vergilerinin seyrine bakıldığında ise kamunun çevre politikası hakkında daha fazla fikir edinileceği düşünülmektedir. Kamunun toplam çevre vergileri, Enerji verileri; doğalgaz ve petrol ve türev ürünleri üzerinden alınan vergiler, elektrik ve havagazı tüketimi, hidrolik elektrik üretim lisans harçları, hidroelektrik kaynak katkı payları, elektrik-petrol-LPG-doğalgaz piyasaları lisans harçlarından oluşmaktadır. Ulaştırma vergileri; motorlu taşıtlar vergisi, sivil havacılık ruhsat, sertifika, tescil ve lisans gelirleri, trafik muayene bedeli Hazine payı, gemi sicil kayıt, yıllık tonaj ve liman harçlarından oluşmaktadır. Kaynak vergileri; doğal kaynakların çıkartılması, kullanılması ve tüketimi üzerinden alınan vergileri kapsamaktadır. Petrol ve

madenlerdeki devlet payı, ETİ Maden İşletmeleri'nden alınan pay, kaynak su ve avcılık belgesi harçlarından oluşmaktadır. Kirlilik vergileri; emisyon, atık ve gürültü vergilerini, ithalat üzerinden alınan %1-binde 5 çevre katkı payından oluşmaktadır.



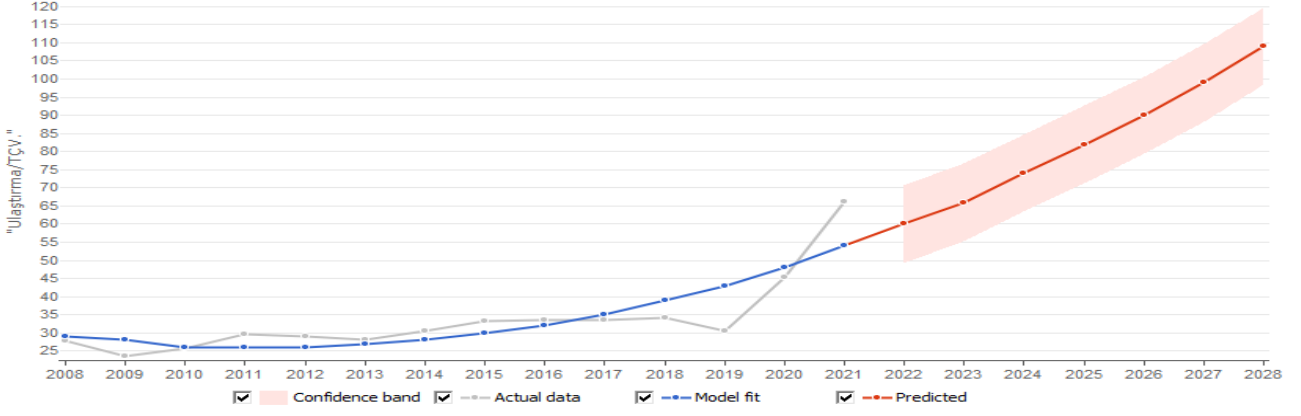
Şekil 13. Toplam Vergi Gelirleri İçinde Çevre Vergilerinin Payı (%)

Şekil 13'te Toplam vergi gelirleri içinde çevre vergilerinin payı ile ilgili tahmin sonuçları gösterilmektedir. Buna göre 2018-2021 döneminde genel eğilim çevre vergilerinin toplam içindeki payının sürekli azaldığı ve tahmin dönemi olan 2021-2028 dönemi itibari ile de bu azalışın devam edeceğidir. Toplam vergiler içinde çevre vergilerinin payı 2020 yılında yüzde 15,3 iken 2028 yılında yüzde 10 olacağı beklenmektedir. Bu tahminde MAE değeri 1,38 olurken RMSE değeri 1,55 ve R² ise 0,67 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 14. Toplam Çevre Vergi Gelirleri İçinde Enerji Vergilerinin Payı (%)

Şekil 14'te Toplam çevre vergi gelirleri içinde enerji vergilerinin payı ile ilgili tahmin sonuçları gösterilmektedir. Buna göre 2018-2021 döneminde genel eğilim toplam çevre vergileri içinde enerji sektöründen alınan vergilerin payının sürekli azaldığı ve tahmin dönemi olan 2021-2028 dönemi itibari ile de bu azalışın devam edeceğidir. Toplam çevre vergi gelirleri içinde enerji vergilerinin payı 2020 yılında yüzde 51,6 iken 2028 yılında yüzde 9 olacağı beklenmektedir. Bu tahminde 2019-2022 döneminde hanehalklarını ve firmaları desteklemek amacıyla uygulanan Covid-19 dönemindeki enerji vergilerindeki olağanüstü düşüşlerin etkisi olduğunun da bilinmesi gerekmektedir. Bu dönemdeki hükümetin enerji vergi gelirlerinden feragat etmesi durumu tahmin döneminin bütününe etkilemekte ve gerçekleşen durumun hata payının yüksek olma ihtimali de bulunmaktadır. Bu tahminde MAE değeri 4,39 olurken RMSE değeri 5,92 ve R² ise 0,73 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 15. Toplam Çevre Vergi Gelirleri İçinde Ulaştırma Vergilerinin Payı (%)

Şekil 15'te Toplam çevre vergi gelirleri içinde ulaştırma vergilerinin payı ile ilgili tahmin sonuçları gösterilmektedir. Buna göre 2018-2021 döneminde genel eğilim toplam çevre vergileri içinde ulaştırma sektöründen alınan vergilerin payının genel olarak yavaşta olsa arttığı ve tahmin dönemi olan 2021-2028 dönemi itibari ile de bu artışın devam edeceğidir. Toplam çevre vergi gelirleri içinde ulaştırma vergilerinin payı 2021 yılında yüzde 66,1 iken 2028 yılında yüzde 109 olacağı beklenmektedir. Bu tahminde 2019-2022 döneminde hane halklarını ve firmaları desteklemek amacıyla uygulanan Covid-19 dönemindeki enerji vergilerindeki olağanüstü düşüşlerin ulaştırma sektöründeki artış ile telafi edilmeye çalışıldığı düşünülmektedir. Bu tahminde MAE değeri 3,84 olurken RMSE değeri 5,31 ve R^2 ise 0,73 olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuç ve Tartışma

Grup Veri İşleme Yöntemi GMDH algoritması bilgisayar tarafından veri temelli optimum karmaşıklık düzeyinde oluşturulmakta ve basit bir girdi-çıkı ilişkisi kullanılmaktadır. İstatistiksel yöntemlerle yapılan tahminlerin önbilgiye ihtiyaç duymasına karşın GMDH modelinin veri tabanlı ve her hangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan regresyon analizleri yapması yönteme önemli bir üstünlük kazandırmaktadır. GMDH yöntemi parametrik ve parametrik olmayan iki farklı algoritma kullanılmaktadır.

Bu yöntem birçok uygulama alanında zaman serisi tahminleri oluşturmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman serisi tahminlerinde bağımlı değişkenin gecikmeli değerleri girdi değişkeni olarak tanımlanmakta ve belirli bir zaman dilimi için gelecek öngörülerini yapmak mümkün olmaktadır. Yapılan tahminlerin performans kriterleri Ortalama Mutlak Hata (MAE), Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) ve Belirleme Katsayısı (R^2) kullanılarak belirlenmektedir.

Bu çalışmada zaman serisi tahminleri TÜİK çevre istatistiklerinden yararlanılarak 12. Kalkınma Planının kapsadığı 2024-2028 dönemi için yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre Türkiye'deki Sera Gazı Emisyon Değerlerini tanımlayan CO₂, CH₄, N₂O ve F gazlarının plan dönemi boyunca artacağı beklenmektedir. Buna göre Toplam Sera Gazı Emisyonununun 2021-2028 döneminde yaklaşık yüzde 14,2 artacağı hesaplanmıştır. Küresel iklim değişikliği ve çevre koruma harcamalarının önemli bir tartışma konusu olduğu bu dönemde söz konusu artışın önlenmesi için kamu kesimine ve firmalara önemli yükler düşmektedir.

Çevre koruma harcamalarının 2021-2028 döneminde yüzde 106,9 artacağı öngörüldüğü bir tahminde doğal olarak söz konusu yükün kamu kesimi ve firmalar arasındaki paylaşımı önemli hale gelmektedir. Özellikle çevre koruma harcamaları içinde önemli bir paya sahip olan atık yönetimi harcamalarındaki artışın 2021-2028 döneminde yüzde 120,5 olarak hesaplanmış olması söz konusu çevre harcaması yükünün yakın dönemde nasıl paylaşılması gerektiği konusunda yapılacak tartışmaları artıracığı düşünülmektedir.

Çevre koruma harcamaları ağırlıklı olarak firmaların cari ve yatırım harcamaları ile kamu kesiminin cari ve yatırım harcamalarından oluşmaktadır. Bu kapsamda kamu kesiminin ve firmaların cari harcamalarının 2021-2027 döneminde sürekli olarak azalacağı beklenmektedir. 2020 yılında kamu cari harcamalarının toplam çevre harcamaları içindeki payı yüzde 32,78 iken 2027 yılında bu payın yüzde 2 olacağı beklenmektedir. Benzer bir şekilde toplam çevre harcamaları içinde firmaların cari harcamalarının payı ise 2020 yılında yüzde 59,06 iken 2027 yılında yüzde 50 olacağı öngörülmektedir. Buna ek olarak toplam çevre harcamaları içinde kamu kesimi

yatırım harcamaların payının azalacağı ve 2020 yılında yüzde 18,8 iken 2027 yılında yüzde 11 olacağı hesaplanmaktadır. Toplam çevre harcamaları içinde firmaların yatırım harcamalarının payının ise 2021-2027 döneminde artacağı öngörülmekte ve 2020 yılında yüzde 81,92 olan firma yatırım harcamaları payının 2027 yılında yüzde 89 olacağı tahmin edilmektedir.

Kamu kesimi harcamalarının vergilerle finanse edilmesi beklenen bir durumdur. Kamu kesiminin toplam çevre harcamaları içinde hem cari hem de yatırım harcamalarının azalması ve hatta bu azalışın 2021-2027 döneminde de devam edeceğinin öngörüldüğü bir durumda toplam vergi gelirleri içinde çevre vergilerinin payının nasıl bir seyir izleyeceğini önemli hale getirmektedir. Elde edilen bulgulara göre toplam vergi gelirleri içindeki çevre vergilerinin payı sürekli azalmakta ve 2020 yılına kıyasla 2028 yılında bu azalışın yüzde 15,3 daha fazla olacağı beklenmektedir. Tüm bunlara ek olarak toplam çevre vergi gelirlerinde önemli bir paya sahip olan enerji vergilerinde bir azalış beklenirken ulaştırma vergilerinde de artış öngörülmektedir.

Gelinen nokta da 2024-2028 döneminde bir taraftan çevre sorunları artarken diğer taraftan çevre koruma harcamalarının artacağı tespit edilmiş, harcamalardaki beklenen artışın ise kamu kesimi yerine firmaların yatırım harcamaları artışı ile karşılanacağı tahmin edilmiştir. Kamu kesiminin çevre harcamaları ve çevre sorunları yükünü büyük ölçüde firmaların cari ve yatırım harcamaları ile karşılama istekliliği, firmaların yakın dönemde çevre harcamalarına daha fazla ekonomik kaynak ayırmasına yol açacağı beklenmektedir. Bu durumun yaratacağı olumlu ve olumsuz etkilerin ise ilerdeki akademik çalışmalar için önemli bir inceleme alanı oluşturacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akkaya, A.V. (2021). GMDH-Typeneural Network-based Monthly Electricity Demand Forecasting of Turkey, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 05(01): 53-60.
- Anastasakis L., Mort N. (2001). The Development of Self-Organization Techniques in Modelling: A Review of the Group Method of Data Handling (HMDH), Research Report, No 813, *The University of Sheffield*, UK.
- Buttner T., Muller J.A., Kozubovskiy S.F. (1986). Application of Self-Organization Theory to Analysis and Prediction of Demographic Processes, *Soviet Journal of Automation and Information Sciences c/c of Avtomatika*, Vol.19, No.2: 47-50.
- Brusilovskiy B.Y., Ivakhnenko N.A., Shabalina I.V., Yurachkovskiy Y.P. (1985). Prediction of Economic Indices, *Soviet Journal of Automation and Information Sciences c/c of Avtomatika*, Vol.18, No.4:42-45.
- Chang F.J., Yuan Y.Y. (1999). A Self-Organization Algorithm for Real-Time Flood Forecast, *Hydrological Processes*, Vol.13: 123-138.
- CSBa, (2023), "Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi", (<https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/VIYANA%20SOZLESMESI.pdf>), (Erişim Tarihi: 03.07.2023).
- CSBb, (2023), "Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü", ([https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/MONTREAL%20PROTOKOLU\(2\).pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/MONTREAL%20PROTOKOLU(2).pdf)), (Erişim Tarihi: 03.07.2023).
- CSBc, (2023), "İklim değişikliği Çerçeve Sözleşmesi", (https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/webmenu/webmenu12421_1.pdf), (Erişim Tarihi: 03.07.2023).
- Dağ O. (2015). GDMH-Type Neural Network Algorithms for Short Term Forecasting, *The Graduate School of Natural and Applied Sciences of METU*, Unpublished Master Thesis, Ankara.
- Dağ O., Yozgatılıgil C. (2016). GMDH: An R Package for Short Term Forecasting via GMDH-Typeneural Network Algorithms, *The R Journal*, Vol. 8(1):379-386.
- Duffy J.J., Franklin M.A. (1975). A Learning Identification Algorithm and Its Application to an Environmental System", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-5, No.2: 226-240.

- Farlow S.J. (1981).The GMDH Algorithm of Ivakhnenko, *The American Statistician*, Vol. 35(4): 201-215.
- Goleusov I.V., Kondrasheva S.A. (1987). Comparative Analysis of the Interdependence Structure of the Macro-Economic Indices of COMECON Member-Countries by the Group Method of Data Handling, *Soviet Journal of Automation and Information Sciences c/c of Avtomatika*, Vol.20, No.3:39-43.
- Gültepe Y., Duru A.M. (2018). Daily SO2 Air Pollution Prediction with the Use of Artificial Neural Network Models, *International Journal of Computer Applications*, Vol. 181, No. 34: 36-40.
- Ivakhnenko A.G. (1968), The Group Method of Data of Handling; A Rival of the Method of Stochastic Approximation, *Soviet Automatic Control*, Vol.13:43-55.
- Ivakhnenko A.G., Stepashko V.S. (1986). Use of the Group Method of Data Handling in Predicting Random Processes, *Soviet Journal of Automation and Information Sciences c/c of Avtomatika*, Vol.19, No.5: 1-10.
- Kaya Y., Makaracı M., Bayraklılar M.S., Kuncan M. (2021). Using Group Method of Data Handling (GMDH) Neural Network to Predict the Maximum Stress on Elastomeric Layers in Sphericale Lastomeric Bearings, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol. 36(3): 1331-1345.
- Khubayev V.V. (1986), Logarithmic Base Functions With Super Imposed Biological Relationships for Productivity Models of Agricultural Systems, *Soviet Journal of Automation and Information Sciences c/c of Avtomatika*, Vol.19, no.2: 99-103.
- Lake, R.W.,Shaeri, S., Senevirathna, S. (2022). Review of the Limitations and Potential Empirical Improvements of the Parametric Group Method of data Handling for Rainfall Modelling, *Environmental Science and Pollution Research*, (<https://doi.org/10.1007/s11356-022-23194-3>).
- Lemke F., Muller J.A. (1997). Self-Organizing Data Mining for a Portfolio Trading System, *Journal of Computational Intelligence in Finance*, Vol.5, No.3: 12-26.
- Lin Z.S.,Liu J., He X.D. (1994), The Self-Organizing Methods of Long-Term forecasting (I) – GMDH and GMPSC Model, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol.53, No.3-4: 155-160.
- Madala H. (1991). Comparison of Inductive Versus Deductive Learning Networks, *Complex Systems*, Vol.5, No.2: 239-258.
- Magdalena R.,Logica B. (2014). Neural Networks-Based Forecasting Regarding the Convergence Process of CEE Countries to the Eurozone, *Transylvanian Review of Administrative Sciences*, Vol. 42 E/2014:225–246.
- Magdalena R., Logica B., Zamfiroiu T. (2015). Forecasting Public Expenditure by Using Feed forward Neural Networks, *Economic Research*, Vol. 28(1): 668-686.
- Maleki H., Sorooshian A., Goudarzi G., Baboli Z., TahmasebiBirgani Y., Rahmati M. (2019). Air Pollution Prediction by Using an Artificial Neural Network Model, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 21:1341–1352.
- Mehra R.K. (1977). Group method of Data Handling (GMDH): Reviewand Experience, in *Proceedings of the IEEE Conference on Decisionand Control*: 29-34.
- MFAa, (2023). “Türkiye Cumhuriyeti, Dışişleri Bakanlığı: Temel Çevre Sorunları”, (https://www.mfa.gov.tr/i_-temel-cevre-sorunlari.tr.mfa), (Erişim Tarihi: 03.07.2023).
- MFAb, (2023). “BM Çevre Programı (UNEP) ve BM Çevre Asamblesi (UNEA)”, (<https://www.mfa.gov.tr/bm-cevre-programi- unep -ve-bm-cevre-asamblesi-- unea .tr.mfa>), (Erişim Tarihi: 03.07.2023).
- MFAc, (2023). “Barselona Sözleşmesi”, (<https://www.mfa.gov.tr/barselona-sozlesmesi.tr.mfa>), Erişim Tarihi: (03.07.2023).
- MFAd, (2023). “Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü”, (<https://www.mfa.gov.tr/viyana-sozlesmesi-ve-montreal-protokolu.tr.mfa>), (Erişim Tarihi: 03.07.2023).
- MFAe, (2023). “Çevre, İklim Değişikliği ve Suya Dair Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri”, (<https://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa>), (Erişim Tarihi: 03.07.2023).

- MFAİ, (2023). "BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi", (<https://www.mfa.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi.tr.mfa>), (Erişim Tarihi: 03.07.2023).
- Muller J.A., Ivachnenko A.G., Lemke F. (1998). GMDH Algorithms for Complex Systems Modelling", *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, Vol.4. No.4: 275-316.
- Nguyen T. N., Lee S., Nguyen-Xuan H., Lee J., Novel A. (2019). Analysis-Prediction Approach for Geometrically Nonlinear Problems Using Group Method of Data Handling, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol.354, September: 506-526.
- Özkal C.B., Arslan Ö. (2022). Developing a GMDH-Typeneural Network Model for Spatial Prediction of NOx: A Case Study of Çerkezköy, Tekirdağ, *EnvironResTec*, Vol. 5, Issue. 1: 56-71.
- Parker R.G.J., Tummala M. (1992). Identification of Volterra Systems With a Polynomial Neural Network", in *Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing – ICASSP'92*, Vol.4: 561-564.
- Rezaei M.H., Sadeghzadeh M., Nazari M.A., Ahmadi M.H., Astarai F.R. (2018). Applying GMDH Artificial Neural Network in Modeling CO2 Emissions in Four Nordic Countries, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Vol.13: 266-271.
- Saigal, S., Mehrotra, D. (2012). Performance Comparison of Time Series Data Using Predictive Data Mining Techniques, *Advances in Information Mining*, Vol. 4:57-66.
- Scott D.E., Hutchinson C.E. (1976). The GMDH Algorithm – A Technique for Economic Modelling, *Modelling and Simulation*, Vol.7:729-733.
- Srinivasan D. (2008). Energy Demand Prediction Using GMDH Networks, *Neurocomputing*, Vol. 72(1):625-629.
- Stavelin Abhinandithe K., Madhu B., Somanathan B., Ramachandran S. (2022). Time Series Forecasting Using GMDH Neural Networks for Chikungunya in Mysoredistrict, India, *International Journal of Mosquito Research*, Vol. 9(2): 111-116.
- Tamura H., Kondo T. (1980). Heuristics Free Group Method of Data Handling Algorithm of Generating Optimal Partial Polynomials With Application to Air Pollution Prediction, *International Journal of Systems Science*, Vol.11, No.9:1095-1011.
- TUİK, (2020). "Çevre Koruma Harcama İstatistikleri", (<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Cevre-Koruma-Harcama-Istatistikleri-2020-37195>), (Erişim Tarihi: 13.07.2023).
- TUİK, (2023). "Çevre Koruma Harcama İstatistikleri", (<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-enerji-103&dil=1>), (Erişim Tarihi: 13.07.2023).
- Valenca M., Ludermir T. (1998). Self-Organizing Modelling in Forecasting Daily River Flows, in *Proceedings of the 5th Brazilian Symposium on Neural Networks*: 210-214.
- Water P.R., Wibier S., Kerckhoffs E.J.H., Koppelaar H. (1997). GMDH-Based Stock Price Prediction, *Neural Network World*, Vol.7, No.4-5:552-563.
- Xu H., Dong Y., Wu J., Zhao W. (2012). Application of GMDH to Short-Term Load Forecasting, *In Advances in Intelligent Systems*, pp. 27-32. Springer-Verlag.
- Xue Y., Watton J. (1995). A Self-Organizing Neural Network Approach to Data-based Modelling of Fluid Power Systems Dynamics Using the GMDH Algorithm, in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I (Journal of Systems and Control Engineering)*, Vol.209, No.14: 229-240.
- Yoshimura T., Pandey U.S., Takagi T., Soeda T., (1982). Prediction of the Peak Flood Using Revised GMDH Algorithms, *International Journal of Systems Science*, Vol.13, No.5: 547-557.