

Application of GM (1,1) and EXGM (1,1) Forecasting Models to Turkey's Research and Development Expenditures

Levent Akyuz^{1,*}, Halis Bilgil²

¹Aksaray University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 68100, Aksaray, Türkiye

²Aksaray University, Faculty of Art and Sciences, Department of Mathematics, Aksaray, 68100, Türkiye

•Received Date: Mar 14, 2022 •Revised Date: Jul 02, 2022 •Accepted Date: Jul 18, 2022 •Published Online: Oct 19, 2022


Abstract

Grey system theory, which is an interdisciplinary field of science, predicts the behaviour of unknown systems using a small amount of data and has been successfully applied to many fields. In this study, the Grey System Theory is used to estimate Turkey's Research and Development (R&D) expenditures. Turkey's R&D expenditure datas were taken from the Turkish Statistical Institute for the years 2011-2020 and estimated for the years 2021-2030 using Standard Gray Model (GM (1,1)) and Exponential Gray Model (EXGM (1,1)). The error and correlation results in the prediction values of both models were compared. The percentage relative error (RPE) between the actual and predicted values and mean absolute percentage error (MAPE) were determined using the data from 2011-2020.

As a result, the MAPE value was calculated as 2.95 % with GM (1,1) model and 1.48 % with EXGM (1,1) model. R^2 values showing the correlation between the actual and predicted values were determined as 0.9974 for GM (1,1) and 0.9985 for EXGM (1,1), respectively. The precision of the estimation was demonstrated with the calculated errors and R^2 values. It has been determined that the estimation precision of the EXGM (1,1) method is higher. Accordingly, R&D expenditures were estimated for the years 2021-2030. As a result, it is predicted that Turkey's R&D expenditures will increase exponentially in the next ten years.

Keywords

Grey Estimation Model, Grey System Theory, Forecasting Accuracy, Least Squares Method.

*Corresponding Authour: Levent Akyüz, leventakyuz1@hotmail.com,  0000-0002-8458-7042

GM (1,1) ve EXGM (1,1) Tahmin Modellerinin Türkiye'nin Ar-Ge Harcamalarına Uygulanması

Levent Akyüz^{1*}, Halis Bilgil²

¹Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 68100, Türkiye

²Aksaray Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Aksaray, 68100, Türkiye

*Gönderi Tarihi: 14 Mar 2022

*Düzeltilme Tarihi: 02 Tem 2022

*Kabul Tarihi: 18 Tem 2022

*Çevrimiçi Yayın Tarihi: 19 Eki 2022


Özet

Disiplinler arası bir bilim alanı olan Gri sistem Teorisi az sayıda veri kullanarak bilinmeyen sistemlerin davranışını tahmin etmektedir ve birçok alana başarı ile uygulanmıştır. Bu çalışmada ise Gri Sistem Teorisi Türkiye'nin Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) harcamalarını tahmin etmek için kullanılmıştır. 2011-2020 yılları arasındaki Ar-Ge harcamaları verileri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınarak 2021-2030 yıllarının tahmini Standart Gri Model (GM (1,1)) ve Üstel Gri Model (EXGM (1,1)) kullanılarak yapılmıştır. Her iki modelin tahmin değerlerindeki hata ve korelasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. 2011-2020 yılları arasındaki verileri kullanarak, gerçek ve tahmin değeri arasındaki yüzde bağıl hata (RPE) ve ortalama yüzde bağıl hata (MAPE) belirlenmiştir.

Sonuç olarak MAPE değeri GM (1,1) modeli ile %2.95 ve EXGM (1,1) modeli ile %1.48 olarak hesaplanmıştır. Gerçek değer ve tahmini değer arasındaki korelasyonu gösteren R² değerleri sıra ile GM(1,1) modeli için 0.9974 ve EXGM (1,1) modeli için 0.9985 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan bağıl hata ve R² değerleri ile tahminin kesinliği ortaya konmuştur. Buna göre 2021-2030 yılları için Ar-Ge harcamaları tahmin edilmiştir. EXGM (1,1) yönteminin tahmin kesinliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak önümüzdeki on yıl içerisinde Ülkemizin Ar-Ge harcamalarının üstel bir şekilde artacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler

Gri Tahmin Modeli, Gri Sistem Teorisi, Tahmin Doğruluğu, En Küçük Kareler Yöntemi

*Sorumlu Yazar: Levent Akyüz, leventakyuzll@hotmail.com,  0000-0002-8458-7042

1. GİRİŞ

Zaman serisi tahmini, geçmiş ve mevcutta bulunan veriler kullanılarak bir sistemin gelecekteki değerlerinin tahmin edildiği süreci ifade etmektedir [1]. Zaman serisi tahmini için birçok doğrusal istatistiksel model geliştirilmiş ve uygulanmıştır [2-8]. Ancak doğrusal fonksiyon kullanıldığından gelecekteki değerlerin tahminleri sınırlıdır ve çok sayıda veri kullanılması gerekmektedir. Bazı çalışmalarda büyük örnekleri toplamak zor olduğundan geleneksel tahmin yaklaşımlarının uygulamalarını kısıtlamaktadır. Bu nedenle, bilinmeyen sistemlerin davranışını az sayıda veri ile tahmin eden bir yöntem olan Gri sistem teorisi Deng [9] tarafından geliştirilmiştir. Zaman içerisinde birçok farklı Gri Model geliştirilmiştir. Bunlardan biri Üstel Gri Model (EXGM (1,1)) olup üstel beyazlatma diferansiyel denklemine, azalan bir terim olan (e^{-t}) gibi terimler ekleyerek tahmin doğruluğu geliştirilmektedir [10].

Gri tahmin teorisi disiplinler arası bir bilimsel alandır ve son otuz yılda kısmen bilinmeyen parametrelere sahip birçok sisteme uygulanmıştır. Gri tahmin modelleri, endüstri, bilim ve teknoloji, ekonomi, enerji tüketimi ve diğer alanlar gibi çeşitli alanlara yaygın ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır [11-20]. Gri modelleme yöntemleri daha çok üstel olarak artan sayı dizilerinin tahminlerinde etkili sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada ise Türkiye'nin 2011-2020 yılları arasındaki Ar-Ge harcamaları verileri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınarak 2021-2030 yıllarının tahmini Standart Gri Model (GM (1,1)) ve EXGM (1,1) kullanılarak tahmin edilmiştir. Her iki modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. 2011-2020 yılları arasındaki verileri kullanarak, gerçek ve tahmin değeri arasındaki yüzde bağıl hata (RPE) ve ortalama yüzde bağıl hata (MAPE) belirlenmiştir. Gerçek değer ve tahmin değerleri arasındaki korelasyon incelenmiştir.

2. TEORİ VE YÖNTEMLER

2.1 GM (1,1) Modeli

Gri model GM (1,1) en sık kullanılan gri tahmin modellerinden biridir. GM (1,1) de ilk olarak verilere bir birikimli üretim operatörü (AGO) uygulanmakta ve daha sonra sistemin tahmin edilen değerini elde etmek için modelin yönetici diferansiyel denklemi çözülmektedir. Son olarak, ters birikimli üretim operatörü (IAGO) kullanılarak orijinal verilerin tahmin edilen değeri elde edilmektedir. Standart GM (1,1) modelleme süreci aşağıdaki gibidir.

Adım 1. Başlangıç verileri ile $X^{(0)}$ veri dizisi oluşturulur.

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad (1)$$

Adım 2. $X^{(1)}$ birikimli toplam dizisi oluşturulur.

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \quad (2)$$

Burada,

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

dir.

Adım 3. Birinci dereceden ortalama değer operatörü $Z^{(1)}$ oluşturulur.

$$Z^{(1)} = \{z^{(1)}(1), z^{(2)}(2), \dots, z^{(n)}(n)\} \quad (4)$$

burada

$$z^{(1)}(k) = \frac{x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)}{2}, \quad k = 2, \dots, n \quad (5)$$

dir.

Adım 4. Beyazlatma denklemi aşağıdaki şekilde kurulmaktadır.

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (6)$$

Beyazlatma denklemi çözülerek ve $x^{(1)}$ tahmin değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Bu denklemin genel çözümü,

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right) e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a} \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

şeklinde elde edilir. (6) denklemi lineer bir diferensiyel denklem olup genel çözümü kolayca elde edildi. $\hat{x}^{(1)}(k)$ elemanlarından ham veriler için $\hat{x}^{(0)}(k)$ tahminlerine ulaşılabılır. Başlangıç koşulu ve tahmin değerlerinin belirlenmesi (3) denkleminde faydalanılarak aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(1) &= x^{(0)}(1) \\ \hat{x}^{(0)}(k) &= \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1), \quad k = 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (8)$$

Adım 5. (6) denkleminde

$$\int_{k-1}^k \frac{dx}{dt} dt + a \int_{k-1}^k x^{(1)} dt = \int_{k-1}^k b dt \quad (9)$$

olup ortadaki integrasyonda basit yamuklar yöntemi kullanılarak

$$x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) + \frac{a}{2} (x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)) = b \quad (10)$$

elde edilir. (10) denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b. \quad (11)$$

(11) eşitliği GM (1,1) modelinin temel formu olarak bilinmektedir. Bu eşitlikten a ve b katsayıları en küçük kareler metodu ile belirlenmektedir. Burada k bir zaman noktasını a ve b ise sırasıyla geliştirme ve ilerletme katsayısıdır [21].

$$\begin{aligned} x^{(0)}(2) + az^{(1)}(2) &= b \\ x^{(0)}(3) + az^{(1)}(3) &= b \\ &\vdots \\ x^{(0)}(n) + az^{(1)}(n) &= b \end{aligned} \quad (12)$$

sisteminden

$$B = \begin{pmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$Y = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}, \quad \hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \quad (14)$$

$Y = B\hat{a}$ elde edilir. Burada amaç a ve b katsayılarını belirlemektir. En küçük kareler yöntemine göre $Y = B\hat{a}$ eşitliğinin her iki tarafı B^T ile çarpılırsa,

$$B^T Y = B^T B \hat{a} \quad (15)$$

elde edilir. Buradan,

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (16)$$

denklemini bulunur. Bu modelin parametrelerini hesaplamak için matris çarpma algoritması ve en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır.

2.2 EXGM (1,1) Modeli

EXGM (1,1) modeli yeni bir üstel gri tahmin modelidir [10]. Ham veriler üstel üstel olarak değişmektedir. Ham veri dizisinin üstel varyasyonu ayrılırsa, gri eylem miktarı zamana bağlı ve bu değişim de zamanla üstel olmaktadır. Standart GM (1,1) gri eylem miktarını bir sabit olarak ele alır ve etkisi tahmin kesinliği için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, model tarafından üretilen tahmini hata zamanla artmaktadır. EXGM (1,1) modeli, gri etki miktarını zamanın üstel bir fonksiyonu ve bir sabit olarak ele almaktadır.

Tanım 1: EXGM (1,1) modeli için beyazlatma denklemi,

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b + ce^{-t} \quad (17)$$

şeklinde tanımlanır.

Denklem (17) EXGM (1,1) modelinin beyazlatma denklemi olarak adlandırılır. Doğrusal bir denklem seçilmektedir. Çünkü Eşitlik (1) dizisinin monoton olarak artması ve doğrusal

denklemlerin çözümünün artan üstel fonksiyonları içermektedir. Ayrıca lineer denklemdeki birinci dereceden türev diferansiyel denklem olarak yazılabilmektedir.

Birinci dereceden gri diferansiyel denklemin gri türevi Eşitlik (18) ile temsil edilir:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x^{(1)}(t + \Delta t) - x^{(1)}(t)}{\Delta t} \quad (18)$$

burada t , zaman, konum veya diğer kullanılabilir parametre olabilen ve sabit olarak kabul edilen t parametresinin artışını temsil etmektedir [22]. Dolayısıyla, bu artış birim miktar olarak yapılabilir, $x^{(1)}(t + \Delta t) - x^{(1)}(t)$ ise veri dizisindeki ardışık noktalar arasındaki veri farkıdır, dolayısıyla;

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} \approx x^{(1)}(k + 1) - x^{(1)}(k) = x^{(0)}(k) \quad (19)$$

yazılabilir.

Teorem 1.1:

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}k = b + c(e - 1)e^{-k} \quad (20)$$

Eşitliği EXGM (1,1) modelinin temel fark eşitliği olarak adlandırılmaktadır. Burada $z^{(1)}k$ Eşitlik (5) ten verilir.

İspat: $[k - 1, k]$ aralığında beyazlatma diferansiyel denklemini (17)' nin her iki tarafının integrali alınır,

$$\int_{k-1}^k \frac{dx^{(1)}(t)}{dt} dt + a \int_{k-1}^k x^{(1)}(t) dt = \int_{k-1}^k (b + ce^{-t}) dt. \quad (21)$$

Buradan,

$$x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k - 1) + a \int_{k-1}^k x^{(1)}(t) dt = b + c(e - 1)e^{-k} \quad (22)$$

$\int_{k-1}^k x^{(1)}(t) dt = 0.5(x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k - 1)) = z^{(1)}(k)$ koşulu kullanılarak Eşitlik (19) ve Eşitlik (22)

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}k = b + c(e - 1)e^{-k} \quad (23)$$

şeklinde yazılabilir.

Eşitlik (17) nin lineer çözümü aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$x^{(1)}(k) = \frac{b}{a} + \frac{c}{a-1} e^{-1} + de^{-at} \quad (24)$$

Burada d integral sabitidir. $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$ başlangıç koşulu kullanılarak d sabiti aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$d = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} - \frac{c}{a-1} e^{-1} \right) e^a \quad (25)$$

Bu nedenle gri tahmin modeli Eşitlik (24) ten aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} - \frac{c}{a-1}e^{-1}\right)e^{a(1-t)} + \frac{b}{a} + \frac{c}{a-1}e^{-t} \quad (26)$$

Eşitlik (26) kullanılarak, $\hat{x}^{(1)}(k)$ serisinin değerleri hesaplanır ve orijinal seri $\hat{x}^{(0)}(k)$ nın tahmini değerleri Eşitlik (27) deki gibi elde edilebilir.

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1), \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (27)$$

Lineer eşitlik sistemi (20) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} x^{(0)}(2) &= -az^{(1)}(2) + b + c(e-1)e^{-2} \\ x^{(0)}(3) &= -az^{(1)}(3) + b + c(e-1)e^{-3} \\ &\vdots \\ x^{(0)}(n) &= -az^{(1)}(n) + b + c(e-1)e^{-n} \end{aligned} \quad (28)$$

ya da

$$Y = B\hat{a} \quad (29)$$

Burada

$$B = \begin{pmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 & (e-1)e^{-2} \\ -z^{(1)}(3) & 1 & (e-1)e^{-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 & (e-1)e^{-n} \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}, \quad \hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \quad (30)$$

Burada n modeli oluşturmak için kullanılan örnek sayısıdır. (a, b ve c) parametreleri GM (1,1) modelinde olduğu gibi EXGM (1,1) modeli ile kolaylıkla aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

$$[a, b, c]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (31)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. GM (1,1) ve EXGM (1,1) Uygulaması ve Karşılaştırılması

Türkiye'nin 2011-2020 yılları arasındaki Ar-Ge harcamaları Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınarak GM (1,1) ve EXGM (1,1) modeli kullanılarak tahmin yapılmıştır. 2011-2020 yılları arasındaki gerçek değer ile tahmin değerleri karşılaştırılmıştır. Gerçek ve tahmin değeri arasındaki karşılaştırma Eşitlik (17) de verilen yüzde bağıl hata (RPE) ve Eşitlik (18) de verilen ortalama yüzde bağıl hata (MAPE) formülleri kullanılarak yapılmıştır. Belirlenen hata oranlarının % 10 dan düşük olmasından dolayı 2021-2030 yıllarının tahmini yapılmıştır [23].

$$RPE = \varepsilon(k) = \left| \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| * 100 \quad (32)$$

$$MAPE = \text{Ortalama Hata} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(k) \quad (33)$$

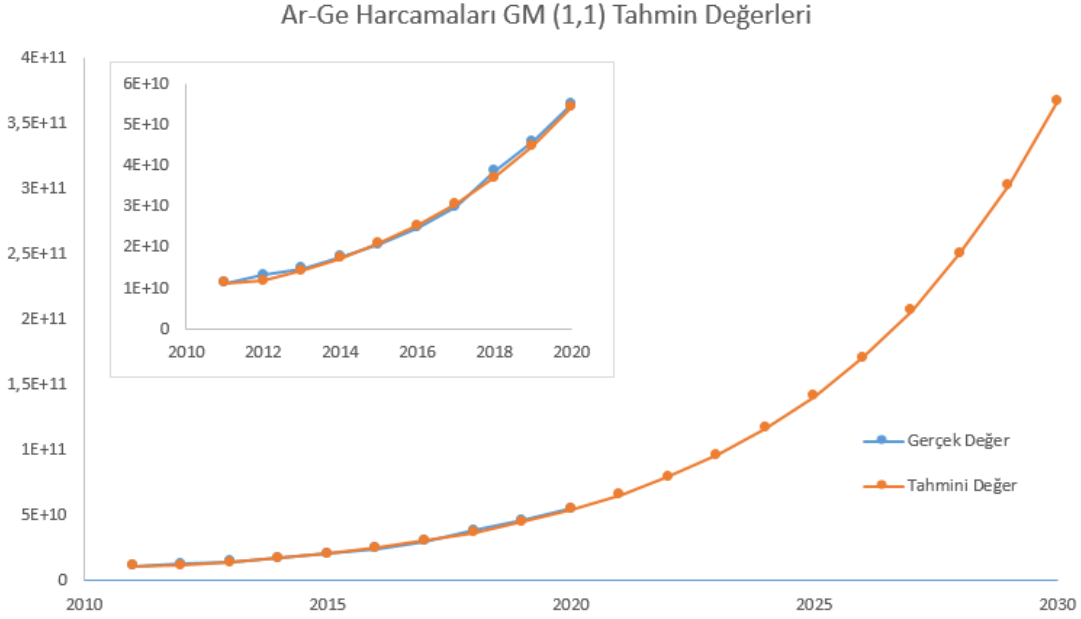
Türkiye'nin 2011-2020 yılları arasındaki Ar-Ge harcamalarına ait gerçek değerler, GM (1,1)

ve EXGM (1,1) modelleri ile hesaplanan tahmin değerleri ve ilgili modellere ait RPE ve MAPE değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

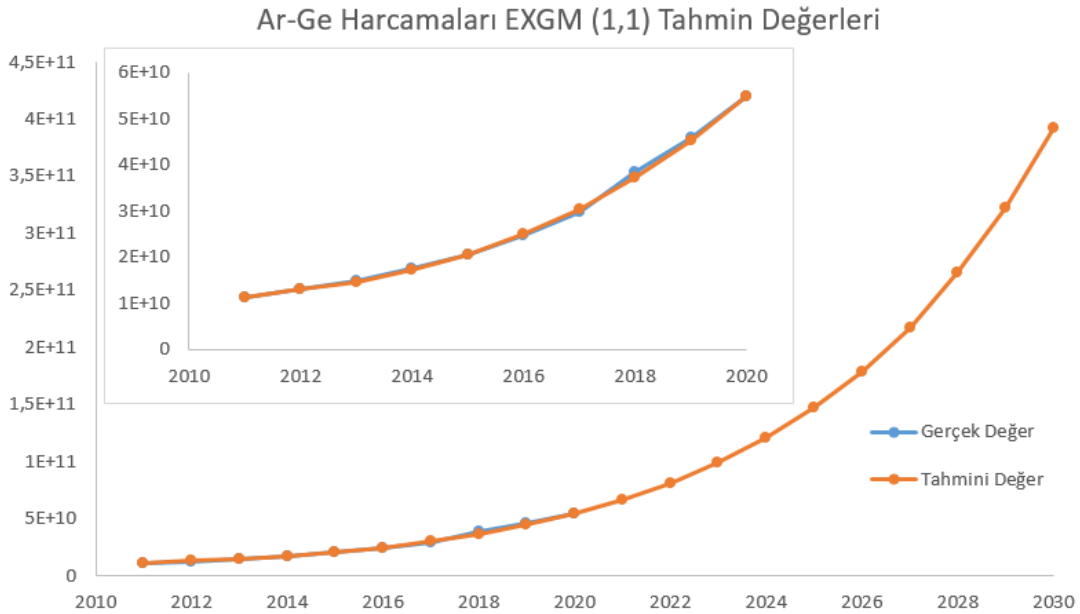
Tablo 1. Türkiye’ nin Ar-Ge harcamaları gerçek değerleri, GM (1,1) ve EXGM (1,1) modeli ile elde edilen tahmin değerleri ve hata değerleri

Yıllar	Gerçek Değer (TL)	GM (1,1) Tahmin Değeri (TL)	GM (1,1) RPE	EXGM (1,1) Tahmin Değeri (TL)	EXGM (1,1) RPE
2011	11154149797	11154149797	0	11154149797	0
2012	13062263394	11776466820	9.84	13167480230	0.81
2013	14807321926	14254258290	3.74	14539055780	1.81
2014	17598117442	17253381860	1.96	17149452610	2.55
2015	20615247954	20883526810	1.30	20672985360	0.28
2016	24641251935	25277461320	2.58	25089191320	1.82
2017	29855477805	30595888300	2.48	30511472100	2.20
2018	38533672884	37033322500	3.89	37128742700	3.65
2019	45953691096	44825205000	2.46	45189669300	1.66
2020	54956827217	54256515300	1.27	55003816500	0.09
		MAPE	% 2.95	MAPE	% 1.48
2021		65672191300		66950521600	
2022		79489747600		81492448000	
2023		96214544700		99193096000	
2024		116458000000		120738000000	
2025		140961000000		146964000000	
2026		170620000000		178885000000	
2027		206519000000		217740000000	
2028		249971000000		265035000000	
2029		302565000000		322602000000	
2030		366225000000		392674000000	

MAPE değeri GM (1,1) ile % 2.95 ve EXGM (1,1) ile % 1.48 olarak hesaplanmıştır. Tahmin sonucuna ait grafik Şekil 1 ve 2’de verilmiştir. Her iki model için de hata oranları düşüktür. Hata oranlarının düşük değerleri modellerin tahmin kesinliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. 2011-2030 yılları arasında Türkiye Ar-Ge harcamalarının GM (1,1) modeli ile elde edilen tahmin değerleri.

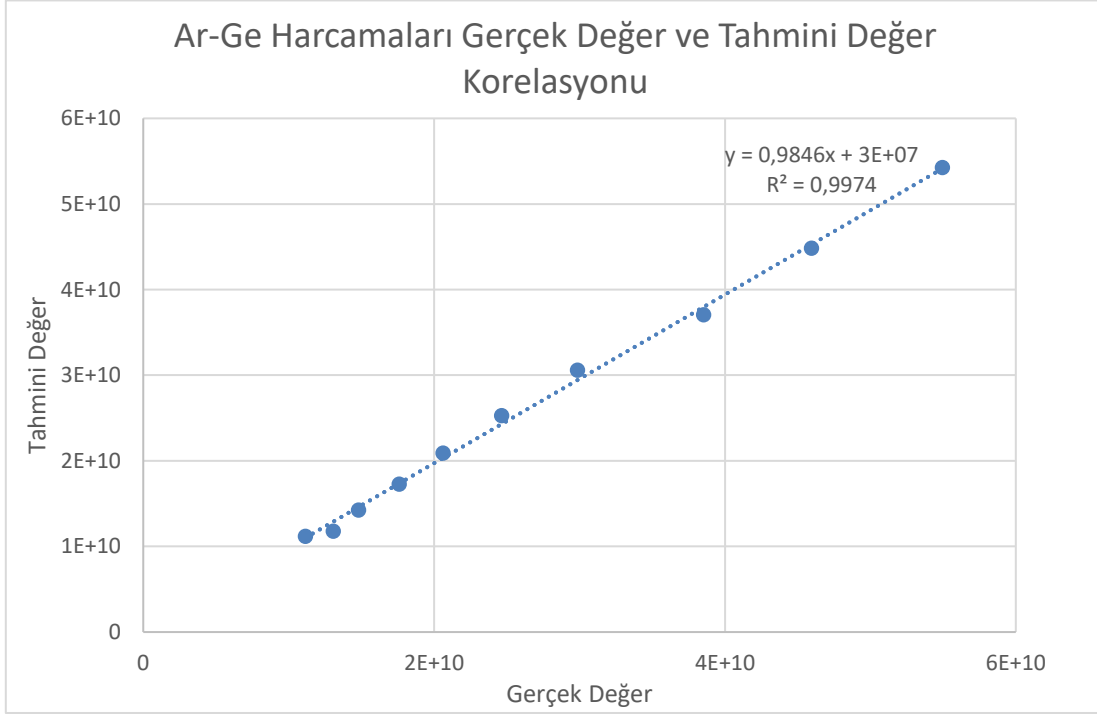


Şekil 2. 2011-2030 yılları arasında Türkiye Ar-Ge harcamalarının EXGM (1,1) modeli ile elde edilen tahmin değerleri.

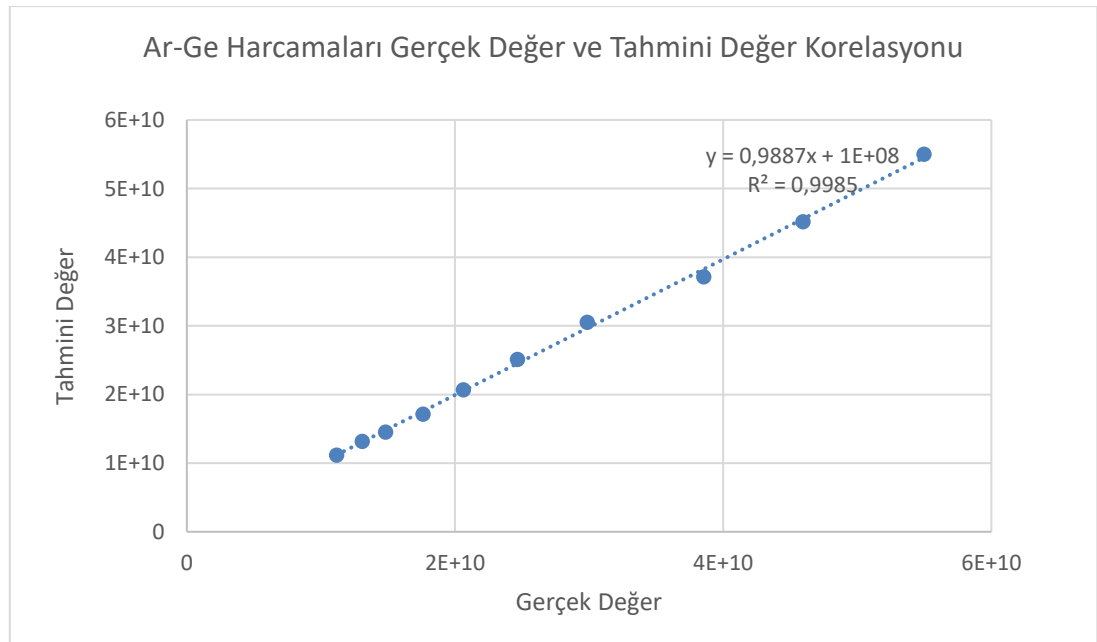
Şekil 1 ve Şekil 2’den görüldüğü gibi GM (1,1) ve EXGM (1,1) modelleri ile tahmin edilen Ar-Ge harcamaları için 2010-2020 yılları arasında gerçek değer ve tahmin edilen değerler arasında yüksek uyum söz konusudur. 2021-2030 yılları arasında ise Ar-Ge harcamalarının üstel olarak arttığı görülmektedir.

Şekil 3 ve 4’te yer alan grafikler ise 2011-2020 yılları arasında Ar-Ge harcamalarının GM (1,1) ve EXGM (1,1) yöntemi ile gerçek değerleri ve tahmin edilen değerleri arasındaki korelasyonu

göstermektedir. Şekil 3 ve 4'ten görüldüğü gibi 2011-2020 yılları arasında Ar-Ge harcamalarının gerçek değerleri ve tahmin edilen değerleri arasında iyi bir korelasyon vardır. Gerçek değer ve tahmini değer arasındaki korelasyonu gösteren R^2 değerleri sıra ile GM (1,1) için 0.9974 ve EXGM (1,1) için 0.9985 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan hata ve R^2 değerleri ile tahminin kesinliği ortaya konmuştur. EXGM (1,1) modeli için R^2 değeri daha yüksek olduğundan EXGM (1,1) modelinin tahmin kesinliğinin daha yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 3. 2011-2020 yılları arasında Ar-Ge harcamalarının GM (1,1) yöntemi ile tahmin edilen değerleri ve gerçek değerleri arasındaki korelasyon.



Şekil 4. 2011-2020 yılları arasında Ar-Ge harcamalarının EXGM (1,1) yöntemi ile tahmin edilen değerleri ve gerçek değerleri arasındaki korelasyon

4. SONUÇ

Bu çalışmada GM (1,1) ve EXGM (1,1) yöntemleri ile Ülkemizin 2021-2030 yılları arasındaki Ar-Ge harcamaları tahmin edilerek yöntemlerin tahmin kesinliği karşılaştırılmıştır. Hata ve korelasyon sonuçlarına göre EXGM (1,1) yönteminin tahmin kesinliğinin daha yüksektir. Elde edilen sonuçlara göre 2020 yılına kadar olan Ar-Ge harcamalarındaki düşük artış hızında üstel olarak değişmektedir. Ancak 2021 yılı itibari ile artış hızının daha yüksek olacağı ve üstel bir şekilde artacağı öngörülebilir. Artış hızının yüksek olması devlet politikalarında gidilen değişiklik olarak düşünülebilir. Özellikle 11. Kalkınma Planı'nda Ülkemizin katma değerli ürün üretimi ve uluslararası platformda kalkınması için Ar-Ge çalışmalarının artırılması gerektiği açıklanmaktadır. Aynı şekilde bakanlıklar tarafından hazırlanan stratejik planlar da Ar-Ge çalışmalarının artışını desteklemektedir. Bu nedenle hem kamu hem de özel sektör bazında çeşitli teşvik mekanizmaları geliştirilmektedir. Bu teşvik mekanizmalarından biri de 5746 sayılı kanun ile özel sektör Ar-Ge merkezlerinin oluşturulmasıdır. Bu kanun ile Ar-Ge merkezlerinin sayısı artırılmıştır. Böylece özel sektörün Ar-Ge'ye yapmış olduğu yatırımların artması sağlanmıştır. Milli teknoloji hamlesi ile Türkiye'nin teknolojik yetkinliğini geliştirmek amacıyla etki gücü yüksek projelerin geliştirilmesi desteklenmektedir. Özellikle TÜBİTAK gibi proje desteği sağlayan kurumların son dönemlerdeki vizyonu tamamen değişerek öncelikli alanlardaki Ar-Ge projeleri desteklenmeye başlamıştır. Buna göre önümüzdeki yıllarda Ar-Ge yatırımların daha da artacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada elde edilen önümüzdeki 10 yıla ait üstel şekilde artan tahmin değerlerinin bu açıklamalarla örtüşür niteliktedir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Kayacan, B. Ulutas, O. Kaynak, *Expert Systems with Applications*, 37 (2) (2010) 1784-1789.
- [2] K.Y. Huang, C.-J. Jane, *Expert Systems with Applications*, 36 (3) (2009) 5387-5392.
- [3] S.-C. Huang, P.-J. Chuang, C.-F. Wu, H.-J. Lai, *Expert Systems with Applications*, 37 (12) (2010) 8590-8598.
- [4] J. Abdi, B. Moshiri, B. Abdulhai, A.K. Sedigh, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25 (5) (2012) 1022-1042.
- [5] J. Wang, Q. Shi, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 27 (2013) 219-232.
- [6] C. Antoniou, H.N. Koutsopoulos, G. Yannis, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 34 (2013) 89-107.
- [7] X. An, D. Jiang, C. Liu, M. Zhao, *Expert Systems with Applications*, 38 (9) (2011) 11280-11285.
- [8] M. Jin, X. Zhou, Z.M. Zhang, M.M. Tentzeris, *Expert Systems with Applications*, 39 (1) (2012) 773-779.

- [9] J. Deng, *Grey prediction and decision*, (Huazhong University of Science & Technology Press, Wuhan, 2002) pp 1-2.
- [10] Y. Kedong, G. Yan, L. Xuemei, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 29 (3) (2018) 560-570.
- [11] L. Wu, S. Liu, D. Chen, L. Yao, W. Cui, *Natural Hazards*, 71 (3) (2014) 2231-2236.
- [12] Y. Zhang, Y. Xu, Z. Wang, *Chaos, Solitons & Fractals*, 42 (2) (2009) 1003-1009.
- [13] W. Zhou, J.-M. He, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (9) (2013) 6234-6243.
- [14] S.A. Javed, S. Liu, *Scientometrics*, 115 (1) (2018) 395-413.
- [15] S.-L. Ou, *Computers and Electronics in Agriculture*, 85 (2012) 33-39.
- [16] B. Zeng, Y. Tan, H. Xu, J. Quan, L. Wang, X. Zhou, *Journal of Grey System*, 30 (1) (2018) 159-174.
- [17] S. Ene, N. Öztürk, *Technological Forecasting and Social Change*, 115 (2017) 155-166.
- [18] U. Şahin, T. Şahin, *Chaos, Solitons & Fractals*, 138 (2020) 109948-109955.
- [19] J. Guo, W. Liu, L. Tu, Y. Chen, *Energy Reports*, 7 (2021) 7238-7250.
- [20] H. Bilgil, Z. Ozturk, E. Ozgul, *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 3 (2) (2019) 75-81.
- [21] D. Akay, M. Atak, *Energy*, 32 (9) (2007) 1670-1675.
- [22] J.-Y. Chiang, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51 (3-4) (2008) 576-585.
- [23] X. Ma, Z. Liu, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 324 (2017) 17-24.