



Research Article / Araştırma Makalesi
FORECASTING CO₂ EMISSIONS FOR TURKEY BY USING THE GREY PREDICTION METHOD

Hamid YILMAZ*, Mustafa YILMAZ

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, ERZURUM

Received/Geliş: 21.10.2011 Revised/Düzelme: 04.03.2012 Accepted/Kabul: 12.03.2012

ABSTRACT

Currently, at the top of the global environmental problem is global warming problem. Fossil fuel consumption also causes an increase of greenhouse gases that cause global warming. Climate change related to global warming, the biggest cause of greenhouse gases, CO₂ emissions can be shown. According to data in 2009 that 81% of the total portion of the emission of greenhouse gases composed of CO₂ gas, as well as between the years 1999-2009 was observed an increase of 47% of CO₂ emissions. In this context, the biggest causes of global warming, the greenhouse gas emissions need to be more in control has emerged and making predictions about the future has become mandatory. In this study, the total greenhouse gas emissions play an important role in global warming, and CO₂ gas emissions which have the largest effect in that gases have been estimated by using the data between 1990-2009 for the future by using the grey prediction(GP) that is a reliable method of estimation method and compared with the actual data.

Keywords: CO₂ emission, forecasting, grey prediction.

MSC numbers/numaraları: 62P12.

GRI TAHMİN YÖNTEMİ KULLANILARAK TÜRKİYE'NİN CO₂ EMİSYON TAHMİNİ

ÖZET

Günümüzde küresel çevresel problemlerin en başında küresel ısınma problemi yer almaktadır. Fosil yakıt tüketiminin artması küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının da artışına neden olmaktadır. İklim değişikliği ile ilgili küresel ısınmaya, sera gazları arasında en büyük neden olarak, CO₂ salınımı gösterilebilir. 2009 yılındaki verilere göre Türkiye'de toplam sera gazı salınımının %81'lik kısmı CO₂ gazından oluşmaktadır ve bunun yanında 1999-2009 yılları arasında CO₂ emisyonunda %47'lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu bağlamda küresel ısınmanın en büyük nedenlerinden olan sera gazı salınımının daha kontrollü yapılması gerekliliği ortaya çıkmış ve geleceğe dair tahminlerin yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmada küresel ısınmada önemli rol oynayan toplam sera gazı emisyonları içinde en yüksek etkiye sahip olan CO₂ gazı emisyonlarının güvenilir bir tahmin yöntemi olan Gri tahmin(GT) yöntemi ile 1990 – 2009 yılları arasındaki veriler kullanılarak geleceğe yönelik tahmini yapılmış ve bu değerler, gerçekleşen verilerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: CO₂ salınımı, tahmin, gri tahmin.

1. GİRİŞ

Artan küresel ısınma ve iklimsel değişiklikler dünya çapında insanları tehdit eden temel faktörlerin başında gelmektedir. 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: hamid.yilmaz@atauni.edu.tr, tel: (444) 236 09 56

Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), 1992 yılında gerçekleştirilen Rio Zirvesi'nde ortaya çıkarmaları nedeniyle "Rio Sözleşmeleri" olarak adlandırılan Biyolojik Çeşitlilik ve Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi ile beraber, sürdürülebilir kalkınmanın kurumsal çerçevesini oluşturan en önemli yapıtaşları arasında yer almaktadır. 1997 yılında Kyoto'da gerçekleştirilen BMİDÇS 3. Taraflar Konferansı'nda kabul edilen Kyoto Protokolü ise, Sözleşme'nin nihai amacına ulaşması için kurgulanan ilk somut adım olarak 16 Şubat 2005 tarihinde yürürlüğe girmiştir[1]. Protokol, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile bağlantılı uluslararası bir anlaşmadır. Kyoto Protokolü'nün en önemli özelliği, sera gazı emisyonlarının azaltılması için 37 sanayileşmiş ülke ve Avrupa topluluğu için bağlayıcı hedefler belirlemektir. Bu miktar beş yıllık dönemde "2008-2012 yıllarında" 1990lardaki oranın ortalama %5 altında olmalıdır. Protokol, gelişmiş ülkelerde endüstriyel faaliyetlerin 150 yıldan fazla bir zamanın sonucu olarak "atmosferdeki sera gazı emisyonlarının mevcut yüksek seviyeler için esas sorumlu" olduğunu kabul ederek, gelişmiş ülkeler üzerinde ağır ve farklılaştırılmış yükler sorumluluklar yüklemektedir [2].

Son 20 yılda piyasa ekonomisine ve özelleştirme adına kayda değer bir gelişmenin olduğu Türkiye, hızlı bir ekonomik büyüme elde etmiştir. Türkiye, sözleşmede geçen Ek-1 ve Ek-2'de bulunan OECD ülkeleri arasındadır. Daha sonra Türkiye Ek-2 den silinerek Ek-1 de "Ortak fakat farklılaştırılmış" durum ile yer almıştır. Bu nedenle Türkiye için herhangi bir özel CO₂ emisyon indirgenmesine ilişkin hedef oluşturulmamıştır. Öte yandan Avrupa Birliği(AB) üyelik takibi amacı ile Türkiye'nin AB'nin genel çevre politikaları ve Çevre Kanununa uyumu söz konusudur. Bu gibi hazırlıklar göz önüne alındığında somut önlemler almak ve gelecekte oluşacak CO₂ salınımını kontrol altında tutmak kaçınılmaz görülmektedir.

Bu bağlamda dünyada pek çok ülke CO₂ salınımını kontrol etmek amacıyla geleceğe yönelik tahminlerde bulunmak ve sağlıklı tahminler oluşturmak istemekte, bu yönde çalışmalarını sürdürmektedir. Yapılan çalışmalara özet mahiyetinde bakıldığında şöyle sıralanabilir. Chun-Hsiung Liao, Chin-Shan Lu, Po-Hsing Tseng çalışmasında 1998-2008 dönemleri için CO₂ emisyonlarını tahmin etmek ve bu emisyonların eğilimini öngörmeyi hedefleyen bir çalışma yapmıştır[3]. Nicos M. Christodoulakisa, Sarantis C. Kalyvitish, Dimitrios P. Lalasc, Stylianos Pesmajoglouc çalışmalarında Yunanistan'da enerji ve CO₂ emisyonlarının seviyesinin gelecekteki durumunun tahmini üzerinde durmuştur[4]. I.J. Lu Gri tahmin modelini kullanarak 2007-2025 yılları arasındaki Tayvan'daki motorlu kara taşıtı, enerji tüketimi ve CO₂ emisyonunu tahminine yönelik çalışma yapmıştır[5]. Maximilian Auffhammer, Çin'in toplam CO₂ emisyonu ile ilgili zaman serileri kullanarak bir tahmin çalışması yapmışlardır[6]. Wei Chunronga, Xu Minqianga, Sun Jianhuab, Li Xiangb, Ji Chenrunba çalışmalarında gri tahmin, yeni bilgi ve metabolizma tahmin modellerini tanıtarak, doğrulamış ve Hegang madeni örnek olarak alınıp gaz emisyonları analiz edilmiştir[14]. Jing Guo-xun, Xu Sheng-ming, Heng Xian-wei, Li Chuang-qi kömür madenlerindeki gaz emisyon miktarlarını, gri tahmin yöntemi ve tek değişkenli lineer regresyon modeli yardımı ile tahminlemelerde bulunmuş ve sonuç olara GM(1,1) tahmin yönteminin daha etkin olduğunu göstermiştir[15]. Hsiao-Tien Paoa, Hsin-Chia Fub, Cheng-Lung Tsengc Çin'in CO₂ emisyonunu, enerji tüketimini ve ekonomik büyümesini, geliştirdikleri GM ile tahmini yapılmış ve aldıkları sonuçları ARIMA modeli ile karşılaştırılarak etkinliği gösterilmiştir[16]. Chiun-Sin Lina, Fen-May Lioub, Chih-Pin Huangc, 2001-2009 yılları arasındaki verileri kullanarak 2010-2012 yıllarındaki CO₂ emisyon değerlerinin tahminini yapmak için GM(1,1) tahmin yöntemini kullanmışlardır[18].

Türkiye'de CO₂ emisyonları ile ilgili en son çalışmaların şöyle sıralanabilir; Lise (2006), CO₂ emisyonlarındaki 1980-2003 yılları arasındaki artışı açıklamak için ayrıştırma yöntemini kullanmıştır[7]. Say ve Yücel 1970-2005 arasında CO₂ emisyonlarının gelişimini araştırmak için toplam enerji harcama miktarını kullanarak regresyon analizini kullanmışlardır[8]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda da görüleceği gibi CO₂ eğilim izlenimi ve ileriye dönük sağlıklı tahminlerde bulunulması önem arz etmektedir. Bunun nedeni politik ve planlama ile ilgili olarak CO₂ salınımını kontrol altında tutmak ve öngörülen değerler ışığında indirgeme amacıyla sağlıklı kararlar alabilmektir.

Bu çalışmanın amacı, 1990-2009 yılları arasındaki CO₂ salınım değerleri kullanılarak bu alanda Gri Tahmin(GT) yöntemi ile tahminlemenin yapılması ve bu tahminlerin gerçekleşen değerlerle karşılaştırılıp güvenilir bir tahmin yöntemi olup olmadığının gösterilmesi ve bu bağlamda 2010-2020 yıllarını kapsayan CO₂ emisyon tahmini yapılmasıdır. GT; kompleks, kaotik ve kesin olmayan veri setlerinde ileriye yönelik tahmin yapabilmek için alternatif bir tahmin yöntemidir. Çok geniş bir uygulama alanı olan GT yöntemi, tahmin çalışmalarında, tahmin modelini oluşturma, az veriye ihtiyaç duyma ve yüksek tahmin güvenilirliği ile diğer tahmin yöntemlerinden ayrılır. Buna ek olarak GT, daha fazla efor ve parametrelerin belirlenerek modelin oluşturulmasının daha fazla zaman gereksinimine ihtiyaç duyulduğu yapay zeka ve diğer sezgisel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha kullanıcı dostu bir tahmin yöntemi olduğu görülmektedir.

Literatürde GT ile yapılmış birçok tahmin çalışması bulunmaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir; Hsiao-Tien Pao, Chung-Ming Tsai, Gri Model(GM) kullanarak Brezilya'nın CO₂ salınımının, ekonomik büyümesinin ve enerji tüketim değerlerinin tahmini üzerine bir çalışma yapmışlardır[9]. I.J. Lu Tayvan karayolu taşımacılık sektörü için enerji ihtiyacı, motorlu araç ve CO₂ salınımı değerlerini GM ile tahmin etmiştir[5]. Diyar Akay, 1970-2004 arasındaki verileri kullanarak GT yönteminin enerji alanında ne kadar sağlıklı tahminlerde bulunduğunu göstermiştir[10]. Der-Chiang Li, Che-Jung Chang, Chien-Chih Chen, Wen-Chih Chen çalışmalarında Asya-Pasifik ekonomik işbirliği enerji veritabanı kullanılarak Adaptif Gri Model ile yaptıkları tahmin çalışmasında elde ettikleri sonuçları Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Regresyon Analizi çıktıları ile karşılaştırmış, GM(1,1)'in veri setinin kısıtlı olması halinde en iyi tahmin yöntemi olduğu gösterilmiştir[17].

Bu çalışmada, GT yöntemi ile 1990-2009 yılları arasındaki CO₂ emisyon verileri kullanılarak Türkiye'nin 2020 yılına kadar CO₂ emisyon değerleri tahmin edilmiştir. Çalışmanın devamında GT yöntemi detaylı bir şekilde 2. kısımda açıklanmıştır. 3. Kısımda ise 1990-2009 arasındaki veriler GT yöntemi ile tahmin edilerek tahmindeki hata payları hesaplanmış ve güvenilirliği test edilmiştir. Son olarak 4. Kısımda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve ileriye yönelik yapılabilecek çalışmalar üzerinde durulmuştur.

2. GRİ TAHMİN(GT) YÖNTEMİ

Gri Teori, belirsiz, yetersiz ve eksik bilgiye sahip olan sistemler ile ilgilenir. Gerçek hayat problemlerinde de GT yönteminde de temel özellikleri olarak anılan yetersiz ve eksik bilgi varsayımları altında modellemeler yapılır ve kararlar alınır[12]. GT bu teorisin en önemli kısmını teşkil etmektedir. Bununla beraber birçok disiplinde geleceğe yönelik verilerin tahmini için kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir[10,11]. Ayrıca, yöntem sayesinde basit ve küçük bir hesaplama çabası ile gerekli olan tahmin modeli oluşturulmaktadır.[10] GT yöntemi üç temel operatöre sahiptir. Bunlar; Kümülatif üreten operatör (KÜO), tersine kümülatif operatörü (TKO) ve gri modeli (GM) olarak isimlendirilmektedir. Çalışma kapsamında birinci dereceden tek değişkenli gri modeli olan GM(1,1) modeli kullanılmıştır. GT yönteminin adımları aşağıda gösterilmiştir[12].

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

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

KÜO operatörü, kaotik olarak süren $x^{(0)}$ serisini monoton olarak artan $x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3) \dots x^{(1)}(n))$ serisine çevirir. $x^{(1)}$ aşağıdaki gibi elde edilir.

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

Adım 2: GM(1,1) modelini biçimlendirmek ve katsayıları bulmak amacıyla birinci dereceden gri diferansiyel denklemi uygulanır.

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (k = 2, \dots, n) \quad (3)$$

GM(1,1) modeli için biçimlendirilmiş hal aşağıdaki gibi elde edilir.

$$z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1) \quad (4)$$

Denklem 3'de k, zaman noktaları a, gelişme katsayısı b ise sürücü katsayısı olarak tanımlanmıştır. En küçük kareler yöntemi kullanılarak $[a \ b]^T$ aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = [B^T B]^{-1} B^T Y \quad (5)$$

$$B = \begin{pmatrix} -z^1(2) & 1 \\ -z^1(3) & 1 \\ -z^1(4) & 1 \\ -z^1(5) & 1 \\ \vdots & 1 \\ \vdots & 1 \\ -z^1(n) & 1 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ x^{(0)}(4) \\ x^{(0)}(5) \\ \vdots \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}$$

Adım 3: Tahmin edilen a ve b katsayılarına göre, denklem 3'deki diferansiyel denklemin çözülmesi ile GT denklemi elde edilmektedir.

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(1)}(0) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (6)$$

Öyle ki $\hat{x}(k)$ x'in k zaman noktasındaki tahminini gösterir ve $x^{(1)}(0)$, $x^{(0)}(1)$ olarak alınır. $\hat{x}^{(1)}(k+1)$ üzerinde TKO operatörü kullanılarak $\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1)$ elde edilir. GM(1,1)'de tüm data seti, tahminde bulunulmak için kullanılır. Kaotik data'lara sahip olma durumunda tahmin yaparken sadece son zamanlara ait verilerin kullanılması tahmin doğruluğunu artırmak için önerilmektedir. GYMT bu yaklaşımı sağlamak için GT de kullanılan bir yöntemdir. GT yönteminde, $x^{(0)}(k+1)$ GM(1,1)'in $k < n$ olduğu süreçte $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(k))$ denkleminde uygulanması ile tahmini yapılır. Sonuç bulunduktan sonra $x^{(0)}(k+1)$ datanın sonuna eklenerek ve aynı zamanda en eski data, data setinden çıkarılarak işlem tekrarlanır. Bir sonraki döneme ait tahmin değeri $x^{(0)} = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), \dots, x^{(0)}(k+1))$ kullanılarak $x^{(0)}(k+2)$ değeri tahmin edilir. $k = 4, 5, 6, \dots, n-1$ olduğu zaman $k+1$ için $k+1 \leq n$ olduğu sürece yüzde hata ortalamasının mutlak değeri anlık olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$e(k+1) = \text{abs}\left(\frac{x^{(0)}(k+1) - \hat{x}^{(0)}(k+1)}{x^{(0)}(k+1)}\right) 100\% \quad (7)$$

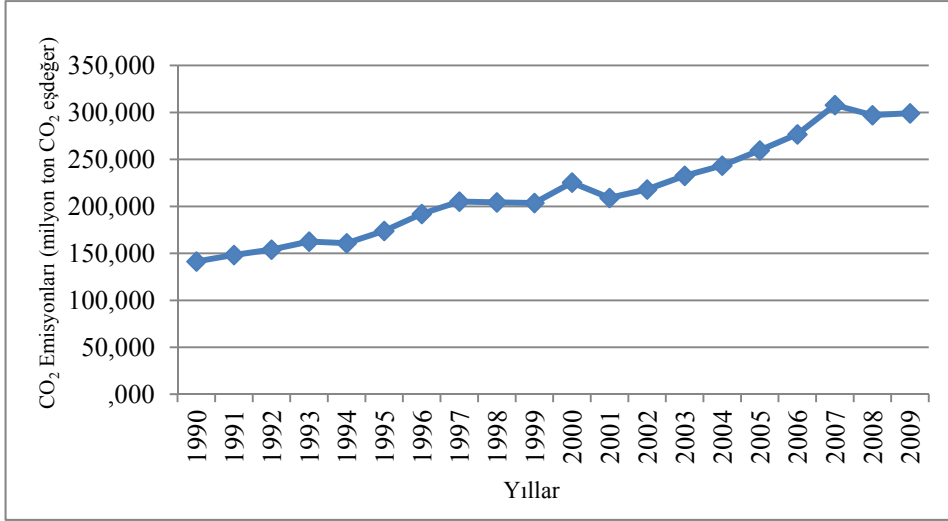
GM(1,1)'in ortalama hatası da aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$e = \frac{1}{n-4} \sum_{k=4}^{n-1} e(k+1) 100\% \quad (8)$$

3. TÜRKİYE İÇİN CO₂ EMİSYONUNUN GT YÖNTEMİ İLE TAHMİNİ

Bu çalışmanın ana hedefi, GT yöntemi kullanılarak Türkiye'nin CO₂ emisyon değerlerinin tahminini yapmaktır. Çalışma kapsamında kullanılan tüm veriler Türkiye İstatistik Kurumu(TÜİK)'dan temin edilmiştir[13].

Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere CO₂ emisyon değerlerine yıllık olarak bakıldığında belirli bir trend olduğu görülmektedir. Ülkede enerji tüketiminin artması söz konusu olduğundan CO₂ emisyon verileri belirli bir trend ile ilerlemektedir. Bununla beraber sosyal ve ekonomik yapıdaki değişimlerden dolayı verilerde yer yer geçmiş verilere göre düşüşler gözlemlenmektedir. Bu da verilerimizin belirli bir trende sahip ancak kaotik yapıda olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Türkiye CO₂ emisyon değerlerinin sağlıklı bir şekilde tahmininin yapılması için GT yöntemi seçilmiştir.



Şekil 1. Türkiye CO₂ emisyon değerleri (1990-2009)

GT yönteminin çok yönlü olması ve en son verilerden daha çok etkilenmesi amacı ile k sayısı küçük alınmalıdır. Bu yüzden k+1 noktasının tahmini için k = 5 olarak seçilmiştir. 1990 yılından başlanarak her bir beşerli data alınarak altıncı datanın tahmini yapılmıştır. Örneğin, GM(1,1) ile 1995 senesinin CO₂ emisyon tahmini yapılırken kullanılacak datalar 1990, 1991, 1992, 1993, 1994'tür. 1995'deki tahmin edilen değer, tahmin denkleminin ve operatörlerin kullanılması ile 168,16 olarak bulunmuştur. Tahmin edilen değer en son olarak gerçekleşen değerle karşılaştırılarak o döneme ait bir yüzde hata değeri bulunmaktadır. Ortalama hata, çalışmada kullanılan veriler için aşağıdaki şekilde hesap edilmektedir.

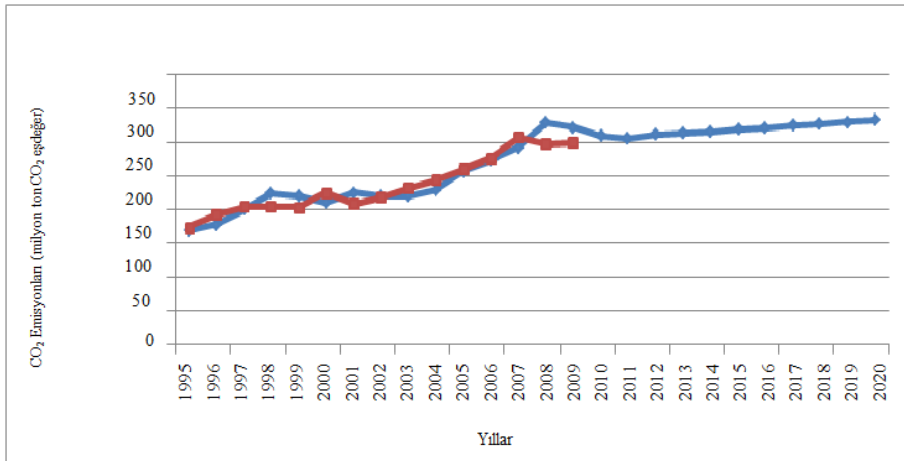
$$e = \frac{1}{20-5} \sum_{5}^{20-1} e(k+1)100\% \quad (9)$$

Çalışmada kullanılan veriler Çizelge 1'de gösterilmiştir. Bu veriler ışığında GT yöntemi kullanılarak gerçekleşen değerlere ait bir tahmin çalışması yapılmış ve bu tahmin çalışmasında hesaplanan değerler ve gerçekleşen değerler ile arasında hata yüzdesi hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere tahmin edilen değerler ve gerçekleşen değerler arasında çok ciddi farklılıkların olmayışı GT yönteminin kaotik olan veriler üzerinde hata payı çok küçük olacak biçimde tahminleme yapabilmekteki başarısını göstermektedir. Çizelge 2'de ortalama hata payına bakıldığında ortalama hatanın %5.544 olduğu görülmektedir. Bu ise, GT yöntemi ile 1990-2005 yılları arasındaki CO₂ emisyon değerleri tahmininin %100 - %5.544 = %94.456 oranında bir güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Gerçekleşen ve Tahmin Edilen CO₂ Emisyonları (milyon ton CO₂ eşdeğeri), 1995 – 2009

Yıllar	CO ₂ Gerçekleşen Değer	CO ₂ Tahmin Edilen Değer	Hata (%)
1995	173,90	168,16	3,303
1996	192,01	177,92	7,337
1997	205,18	199,77	2,637
1998	204,32	223,8	9,535
1999	203,68	220,78	8,396
2000	225,43	209,86	6,908
2001	208,99	225,44	7,871
2002	218,04	219,55	0,695
2003	232,64	220,7	5,134
2004	243,43	229,27	5,816
2005	259,61	256,79	1,085
2006	276,72	274,22	0,903
2007	307,92	292,51	5,004
2008	297,12	329,16	10,785
2009	299,11	322,28	7,747
Ortalama Hata (%)			5,544

**Şekil 2.** Gerçekleşen Değerler ve GT Yöntemi ile Elde Edilen Tahmin Değerleri

4. SONUÇ VE GELECEK ARAŞTIRMALAR

Bu çalışmada GT yöntemi kullanılarak 1990-2009 yılları arasındaki CO₂ emisyonları analiz edilip bu veriler ışığında gelecek dönemler için tahminler yapılmıştır. Bu tahminler aynı yıllarda gerçekleşen değerler ile karşılaştırılarak GT yönteminin, aldığımız sonuçlar ve hata oranı doğrultusunda, sağlıklı tahminlerde bulunduğunu göstermiştir. Kyoto protokolü dahilinde ve Avrupa Birliği üyelik takibi amacı ile CO₂ emisyon oranlarının geleceğe yönelik tahmini yapılmalı ve bu öngörüler doğrultusunda önlemler alınmalıdır. CO₂ emisyon değerlerinin kontrol altında tutulması ve bu yönde yapılan çalışmalar, gelecekte CO₂ emisyon değerlerinin tahmin edilmesi ile ilgili çalışmalar ışığında önceden önlem alınmasına yardımcı olacaktır. Bundan dolayı GT yöntemi kullanılarak yöntemin güvenilirliği gösterilmiş ve Türkiye'nin 2010-2020 yılları arasındaki CO₂ emisyon değerleri tahmin edilmiştir. Etkin bir tahmin yöntemi olan GT'nin bu çalışma ışığında, enerji ve çevre konusundaki tahmin çalışmalarında kullanılabileceği gösterilmiştir.

GM(1,1) yöntemi ile yapılan bu çalışmada tek bir veri setinden beslenerek tahmin çalışması yapılmıştır. İleriye yönelik olarak tek bir veri setinden beslenmek yerine, CO₂ emisyon değerlerine etki eden faktörler saptanarak, bu faktörler ışığında Gri Model(GM)(1,N) kullanılabilir ve normal GM model ile çıktıları karşılaştırılabilir. Aynı zamanda literatürde yapılan çalışmalarda GM ile kullanılan bir çok sezgisel ve stokastik yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler ışığında GM yöntemi ile ilişkili bir biçimde çalışabilecek bir tahmin yöntemi ortaya konularak, hata oranlarındaki gelişmeler incelenebilir ve bu yöntemdeki hata oranları klasik GM tahmin yöntemi ile kıyaslanarak tahminlerin iyileştirilmesi sağlanabilir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Dış İlişkiler ve AB Dairesi Başkanlığı. [İnternet] Bkz: <http://did.cevreorman.gov.tr> [Erişim tarihi: 19.09.2011].
- [2] Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi [İnternet] Bkz: <http://unfccc.int> [Erişim tarihi: 23.09.2011].
- [3] Liao C.H., Lu C.S., Tseng P.H., “Carbon dioxide emissions and inland container transport in Taiwan, Journal of Transport Geography”, 19 722–728, 2011.
- [4] Christodoulakisa N.M., Kalyvitisb S.C., Lalasc D.P., ve diğerleri., “Forecasting energy consumption and energy related CO₂ emissions in Greece: An evaluation of the consequences of the Community Support Framework II and natural gas penetration” , Energy Economics 22 395-422, 2000.
- [5] Lua I.J., Lewisb C., Linc S.J., “The forecast of motor vehicle, energy demand and CO₂ emission from Taiwan's road transportation sector”, Energy Policy, 37 2952–2961, 2009.
- [6] Auffhammera M., Carsonb R.T., “Forecasting the path of China's CO₂ emissions using province-level information”, Journal of Environmental Economics and Management, 55 229–247, 2008.
- [7] Lise, W., “Decomposition of CO₂ emissions over 1980–2003 in Turkey”, Energy Policy 34 1841–1852, 2006.
- [8] Say, N.P., Yucel, M., “Energy consumption and CO₂ emissions in Turkey: Empirical analysis and future projection based on an economic growth”, Energy Policy, 34 3870–3876, 2006.
- [9] Pao H.T., Tsai C.M., “Modeling and forecasting the CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil”, Energy, 36 2450-2458, 2011.
- [10] Akay, D., Atak, M., “Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey”, Energy, 32 1670-1675, 2007.
- [11] Song, S., “The application of grey system theory to earthquake prediction in Jiangsu area. Journal of Grey Systems” 4(4) 359–367, 1992.

- [12] Liu, S., Lin, Y., “Grey information: theory and practical applications”, 1. Cilt, Springer, Londra, 2006, 199-228.
- [13] Türkiye İstatistik Kurumu, Seragazi Emisyonları [İnternet] http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=10&ust_id=3 [Erişim Tarihi: 21.08.2011]
- [14] Wei, C., Xu M., Sun J., ve diğerleri., “Coal Mine Gas Emission Gray Dynamic Prediction”, *Procedia Engineering* 26 1157 – 1167, 2011.
- [15] Jing G., Xu S., Heng X., ve diğerleri., “Research on the Prediction of Gas Emission Quantity in Coal Mine Based on Grey System and Linear Regression for One Element”, *Procedia Engineering* 26 1585 – 1590, 2011.
- [16] Hsiao-Tien P., Hsin-Chia F., Cheng-Lung T., “Forecasting of CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in China using an improved grey model”, *Energy*, doi:10.1016/j.energy.2012.01.037, Article In Press, 2012.
- [17] Der-Chiang L., Che-Jung C., Chien-Chih C., ve diğerleri., “Forecasting short-term electricity consumption using the adaptivegrey-based approach—An Asian case”, *Omega*, doi:10.1016/j.omega.2011.07.007, Article In Press, 2011.
- [18] Chiun-Sin L., Fen-May L., Chih-Pin H., “Grey forecasting model for CO₂ emissions: A Taiwan study”, *Applied Energy*, 88 3816–3820, 2011.