

	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 24-03-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 03-10-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.300362	

Türkiye'deki elektrik enerji ihtiyacının matematiksel bir modellemesi

Abdullah Engin Çalık^{*1}, Hüseyin Şirin²

ÖZ

Bu çalışmada, elektrik enerjisi tüketim dinamiğinin kesirsel matematiksel bir modellemesi yapılmaktadır. Bu modelleme yardımıyla gelecek yıllardaki elektrik enerjisi ihtiyacı için tahminler üretilmekte ve tutarlılığını test etmek için geçmiş dönem ile ilişkisi karşılaştırılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: elektrik tüketimi, kesirsel matematik, Türkiye

A mathematical model of electricity energy demand in Turkey

ABSTRACT

In this study, a fractional mathematical model of electricity energy consumption dynamics is obtained. With the help of this model, estimates are produced for the electricity energy demand in the coming years and the relation with the past period is compared to test the consistency.

Keywords: electricity consumption, fractional calculus, Turkey

* Corresponding Author

¹ Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Bornova-İzmir, e-mail - engin.calik@ege.edu.tr

² Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Bornova-İzmir, e-mail - huseyin.sirin@ege.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ekonominin temel dinamiklerinden olan enerji, gelişmiş veya gelişmekte olan tüm ülkeler için hem kısa hem de uzun vadede önem arz etmektedir. Elektrik enerjisi, insanların su ve gıda gibi temel ihtiyacı olan bir enerji türüdür. 20. yüzyılda ivmelenmeye başlayan ve günümüzde de ivmelenmesi yıldan yıla artarak devam eden teknolojik gelişmeler ve bu gelişmelerin sonucu kullanmaya başladığımız teknolojik cihazlar, elektrik enerjisini hayatımızın vazgeçilmezi yapmıştır. Nüfus artışı da göz önüne alındığında elektrik enerjisine olan talep günden güne artmaktadır. Ülkeler bu değişimleri değerlendirip, sonraki 10 yıllık, 20 yıllık enerji politikalarını oluşturmaktadırlar. Gelecekte ne kadar elektrik enerjisi talebi olacağını hesaplamakta ve buna göre yatırımlarını yapmaktadırlar.

Günümüzde elektrik enerjisi, hidroelektrik ve termik santrallerin yanı sıra, yenilenebilir enerji olarak da adlandırılan jeotermal, rüzgâr, güneş santrallerinden ve nükleer santrallerden üretilmektedir. Dünyada üretilen elektrik enerjisi değerleri dikkate alındığında, %24,1 ile Çin birinci sırada, %17,9 ile Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ikinci sırada yer almaktadır. Ülkemiz ise %1,1 ile on yedinci sırada bulunmaktadır. Dünyada, elektrik enerjisi üretiminde kaynaklar bakımından Çin, ABD, Almanya ve Hindistan kömürü, Fransa nükleer enerjiyi, Rusya doğal gazı ve Kanada yenilenebilir enerjiyi ilk sırada kullanmaktadır [1].

Türkiye'de elektrik enerjisi 1902 yılında Tarsus'da su değirmenine bağlanan 2 kW gücündeki bir dinamo ile üretilmeye başlamış olup [2], 2016 yılı sonu itibari ile lisanslı ve lisanssız 597'si hidroelektrik, 477'si termik, 171'si rüzgar, 1045'i güneş, 31'i jeotermal olmak üzere toplamda 2321 adet santralden 78497,4 MW değerinde kurulu güce ulaşılmıştır [3]. Bu santrallere ek olarak 2 tane de nükleer santral yapımı sürmektedir. 2016 Eylül sonu itibari ile bu santrallerin %16,9'u kadarı kamu, %83,1'i kadarı da özel sektör tarafından işletilmektedir [1].

Ülkemizdeki enerji üretim ve tüketimdeki değişim oranlarına bakıldığında son 14 yıldaki üretim ve tüketimdeki artış miktarı yaklaşık olarak %5,5 tir. Elektrik enerjisi üretim ve tüketim oranlarındaki artış sırasıyla 2014 yılı için %4,9 ve %4,4 iken 2015 yılı için %3,9 ve %3,3 'tür [1]. Enerji üretim

ve tüketimindeki bu artış hızları ülkemiz nüfus artışına da bağlıdır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2014 ve 2015 yıllarındaki Türkiye nüfusunun artış hızları sırasıyla %13,4 ve %13,5'tir [4].

Meydana gelecek olan enerji talebindeki artış miktarlarının planlanması için Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü tarafından mevcut santrallerin önümüzdeki yıllarda maksimum üretebilecekleri enerji güçleri, inşaatı devam eden santrallerin faaliyete girdikleri yıldan sonra katkıda bulunacakları üretim güçleri ve yapılması planlanan santrallerin sahip olacakları üretim güçleri göz önüne alınarak Türkiye'nin önümüzdeki 5'er ve 10'ar yıllık dönemler için elektrik enerjisi ihtiyaç talebi belirlenmektedir [5, 6, 7, 8].

Ülkemizin gelecek yıllardaki elektrik enerjisi ihtiyacını tahmin etmeye yönelik birçok çalışma mevcuttur [9, 10, 11, 12, 13]. Kavaklıoğlu, Destek Vektör Regresyonunu (Support Vector Regression - SVR) kullanarak Türkiye'nin elektrik tüketimini nüfusun, gayri safi milli hasılanın (GSMH), ihracat ve ithalatın fonksiyonu olarak modellemiş ve tahminini 1975 ile 2006 yılları arasındaki veriyi kullanarak 2026 yılına kadar yapmıştır [9]. Hamzaçebi ve Kutay, Türkiye'de elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahminini Yapay Sinir Ağlarını (YSA) ve Regresyon Tekniğini (RT) kullanarak araştırmışlardır [10]. YSA'yı kullanırken, geri yayılım ağları (Back Propagation Networks-BPN) ve radyal tabanlı fonksiyon ağları (Radial Basis Function Networks-RBFN) olmak üzere iki farklı model kullanmışlardır. BPN, RBFN ve RT modelleri ile net enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimini hesaplamışlardır. Kavaklıoğlu ve arkadaşları, 2027 yılına kadar Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketiminin yıllara, nüfus değişimine, ihracat-ithalata ve GSMH'ye dayanan modellemesini ve tahminini YSA'yı kullanarak yapmışlardır [11]. Gürbüz ve arkadaşları, GSMH'nin, nüfusun, ihracat ve ithalatın farklı oranlarda değiştiklerini öngörerek üretmiş oldukları üç farklı senaryoya göre, 1979-2009 yılları arasındaki veriyi kullanarak Türkiye'nin 2022 yılına kadar olan elektrik enerjisi tüketimini Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanarak tahmin etmişlerdir [12]. Hamzaçebi, 2020 yılına kadar Türkiye'nin net elektrik tüketimi tahminini konut, endüstri, tarım ve ulaşım sektörü bazında YSA'yı kullanarak yapmıştır [13]. İleriki yıllara yönelik bu tahminler, elektrik sağlayan tüm firmalar için elektrik üretimi

ve yatırımı konusunda iyi bir yol haritası olmaktadır. Ayrıca piyasa için talep ve fiyat belirleme açısından da oldukça önemlidir. Bu bağlamda, bu tahminleri bilimsel gelişmiş modellere göre yapmak önem arz etmektedir [14].

Bu çalışmada, TÜİK'in 1975-2015 yılları arasında Türkiye'de net elektrik tüketimi verileri [15] göz önünde bulundurularak, 2037 yılına kadar ülkemizin net elektrik tüketimi kesirsel matematik kullanılarak yapılan modellemeyle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yıllara göre net elektrik tüketimi değişimi Mittag-Leffler (ML) fonksiyonları cinsinden ifade edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHODS)

Gelecek yıllara yönelik elektrik tüketim tahminlerinde kullanılan neredeyse tüm yöntemlerde elektrik tüketiminin grafiksel hallerine matematiksel bir denklem türetmek mantığı ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, kesirsel matematikte yer alan türev tanımlarının çözümünden elde edilen ve standart matematikte üstel (eksponansiyel) fonksiyonları genelleyen ML fonksiyonları kullanılarak Türkiye'de net elektrik tüketiminin matematiksel modellenmesi yapılmış ve 2037 yılına kadar olan tahminler hesaplanmıştır.

Kesirsel matematiğin tarihi 1695 tarihinde L'Hospital'in, Leibniz'e yazdığı bir mektupta $\frac{1}{2}$. mertebeden türevin ne anlama gelmesini sormasıyla başlar. Daha sonra sırasıyla; Euler (1730), Lagrange (1772), Lacroix (1819), Fourier (1822), Louville (1832), Riemann (1853), Holmgren (1864), Grünwald (1867), Letnikov (1868), Krug (1890) ve Caputo (1967) kesirsel matematiğin gelişiminde önemli rol oynamışlardır [16]. Kesirsel matematik, fizik ve mühendisliğin birçok farklı alanında uygulanmaktadır [16-30].

Kesirsel matematiğin birçok önemli tanımı mevcuttur. Bunlardan en yaygın kullanılanları Grünwald – Letnikov (GL), Riemann-Liouville (RL) ve Caputo tanımlarıdır [16, 28-30]. GL tanımı nümerik hesaplamalar için, diğer tanımlar ise analitik hesaplamalar için daha uygundur.

GL tanımı, en genel ve uygulandığı fonksiyonlar üzerine en az sınırlandırma getiren bir tanımdır. Bu tanım, türev ve integralin sıradan gösterimlerini kullanmaktan kaçınılmaktadır. İlk olarak 1867 yılında Grünwald tarafından verilmiştir. Türevin genel tanımından yola

çıkılarak elde edilen bu tanıma göre, $f: R \rightarrow R$ olmak üzere, bir fonksiyonun α . mertebeden türevi/integrali

$${}_0D_t^\alpha f(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{\Gamma(-\alpha)} \left[\frac{t-a}{N} \right]^{-\alpha} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{\Gamma(j-\alpha)}{\Gamma(j+1)} f\left(t - j \left[\frac{t-a}{N} \right]\right) \right\} \quad (1)$$

ile verilmektedir.

RL tanımı; $f, [a, b] \subset R$ olmak üzere, integrallenebilen, zaman değişkenli bir fonksiyon ve $m - 1 < \alpha \leq m, (m \in N^+)$ olmak üzere α . mertebeden

$${}^{RL}D_t^\alpha f(t) = \frac{d^m}{dt^m} \left[\frac{1}{\Gamma(m-\alpha)} \int_0^t (t-\tau)^{m-\alpha-1} f(\tau) d\tau \right] \quad (2)$$

biçiminde verilir. Özel bir durum olarak $\alpha = m$ olduğunda, kesirsel türev standart türeve dönüşmektedir.

Özellikle fizikteki uygulamalarda sıklıkla kullanılan Caputo kesirsel türev tanımı $f, [a, b] \subset R$ olmak üzere, integrallenebilen, zaman değişkenli bir fonksiyon ve $m - 1 < \alpha \leq m, (m \in N^+)$ olmak üzere

$${}_0^C D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(m-\alpha)} \int_0^t (t-\tau)^{m-\alpha-1} f^{(m)}(\tau) d\tau \quad (3)$$

biçiminde tanımlanır.

Kesirsel diferansiyel denklemlerin çözümlerinde ML fonksiyonu önemli bir rol üstlenmektedir. Bir seri açılımı olarak tanımlanmakta olan ML fonksiyonu tek ve iki parametrelili genelleştirilmiş formlara sahiptir [28].

Tek-parametrelili ML fonksiyonu;

$$E_\alpha(z) = \sum_{r=0}^{\infty} \frac{z^r}{\Gamma(\alpha r + 1)}, \quad (4)$$

çift-parametrelili ML fonksiyonu;

$$E_{\alpha,\beta}(z) = \sum_{r=0}^{\infty} \frac{z^r}{\Gamma(\alpha r + \beta)} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada $\alpha, \beta > 0$ ve $\beta = 1$ için, $E_{\alpha,1}(z) = E_\alpha(z)$ şeklinde tek-parametrelili ML fonksiyonu elde edilmektedir. Ayrıca, kesirsel türev mertebesi $\alpha = 1$ için $E_1(z) = \exp(z)$ şeklinde standart matematikte kullanılan üstel fonksiyonu karşılıkamaktadır.

3. HESAPLAMALAR (CALCULATIONS)

TÜİK'in verilerine göre [15] ülkemizde son 40 yılda, yıllara göre net elektrik enerjisi tüketimine bakıldığında 13491,7 GWh'den 217312,3 GWh'ye çok büyük bir artış olmaktadır. Şekil 1'den görüldüğü gibi bu artış üstel bir biçimdedir. Net elektrik tüketimindeki (NET) yıllara bağlı bu artış, standart matematik kullanarak;

$$NET(t) = NET(0)exp(bt) \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradaki b sabit bir katsayıdır. Şekil 1'den görüldüğü gibi bu denklem net elektrik tüketiminin az olduğu 1975-1985 yılları arasında gerçek veriler ile uyum içindeyken, net elektrik tüketiminin arttığı son yıllarla uyum içinde değildir. Özellikle nüfusun, GSMH'nin, ihracat ve ithalat değerlerinin de artış göstermesi bu denklemin gerçek veri ile uyumsuz olmasına neden olmaktadır. Bu yaklaşımı yaparak gelecek yıllardaki net elektrik tüketimi üzerine tahminler yapmak hatalı sonuçlar verecektir.

Çözümü denklem (6) olan diferansiyel denklem ise,

$$\frac{dNET(t)}{dt} = bNET(t) \quad (7)$$

şeklinde verilir. Gerçek değerler ile (6) denkleminde elde edilen değerler arasındaki uyumsuzluğu giderebilmek için (7) diferansiyel denklemi kesirsel matematik aracılığı ile tekrar tanımlanmış ve çözülmüştür. Birinci mertebeden türev mertebesi α türev mertebesine taşındığında (7) denklemi

$$\frac{d^\alpha NET(t)}{dt^\alpha} = bNET(t) \quad (8)$$

şeklinde yeniden tanımlanır. Kesirsel matematikte fiziksel olarak anlamlı olan Caputo kesirsel türev tanımı kullanıldığında (8) denklemi

$${}^C D^\alpha NET(t) = bNET(t) \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir. Uygulama problemleri yorumlanabilir kesirsel türev tanımları gerektirir. Bu açıdan bakıldığında, RL tanımları problemlerin yorumlanmasında yetersiz kalmaktadır. Caputo türevli kesirsel diferansiyel denklemler için tanımlanan başlangıç koşulları ile tamsayı mertebeli diferansiyel denklemler için tanımlanan başlangıç koşullarının aynı olması Caputo yaklaşımının temel bir avantajıdır. Bir sabitin RL kesirsel türevinin sıfırdan farklı olmasına rağmen Caputo kesirsel türevinin sıfır olması, RL ve Caputo tanımları arasındaki diğer önemli bir

farktır. (9) denklemini çözmek için ilk olarak Laplace dönüşümü uygulandığında

$$N\tilde{E}T(s) = NET(0) \frac{s^{\alpha-1}}{s^\alpha - b} \quad (10)$$

elde edilir. Burada $N\tilde{E}T(s)$ zamana bağlı $NET(t)$ ifadesinin Laplace dönüşümü, s Laplace dönüşüm parametresidir. (10) denklemi seri açılımı biçiminde yazılırsa

$$N\tilde{E}T(s) = NET(0) \sum_{r=0}^{\infty} \frac{b^r}{s^{\alpha r + 1}}$$

şeklinde elde edilir. Bu denkleme ters Laplace dönüşümü uygulandığında,

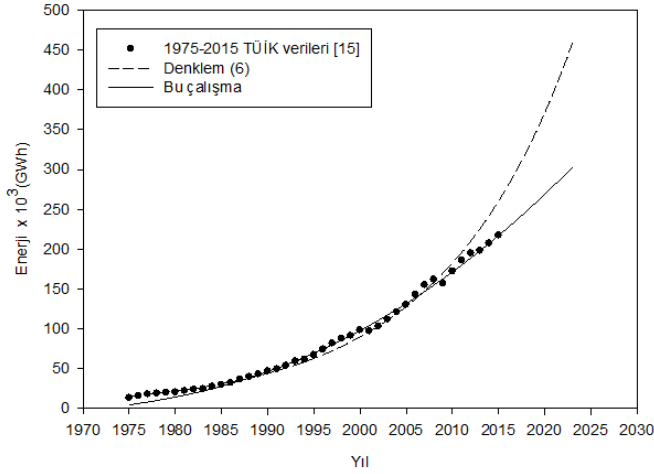
$$NET(t) = NET(0) \sum_{r=0}^{\infty} \frac{(bt^\alpha)^r}{\Gamma(\alpha r + 1)} \\ = NET(0)E_\alpha(bt^\alpha) \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (11)$$

elde edilir. $E_\alpha(bt^\alpha)$ ML fonksiyonudur. Standart matematik kullanılarak tanımlanan ve çözümü denklem (6)'da verildiği gibi üstel bir fonksiyon olan denklem (7), kesirsel matematik kullanılarak denklem (8) olarak yeniden tanımlanmış ve çözümü denklem (11)'deki gibi ML fonksiyonları cinsinden elde edilmiştir.

Şekil 1'den görüldüğü gibi, denklem (11)'e göre yapılan hesaplamalar, 1975-1985 yılları arasındaki gerçek değerler ile uyum içinde değilken, son yıllardaki net elektrik tüketim değerleri ile uyum içindedir. Kesirsel diferansiyel denklemlerin çözümlerinde karşılaştığımız ML fonksiyonu hem üstel fonksiyonu genellemekte hem de kesirsel türev mertebesi ile gerçekçi sistemleri tasvir etmemize olanak sağlamaktadır. ML fonksiyonu bir sistemin dinamiğini tasvir eden diferansiyel denklemin kesirsel çözümünden gelmektedir. Başka bir deyişle bir düzen parametresi ya da sabit kullanmadan sistemi tasvir etmek ve geleceğe yönelik tahminler yapmak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla, gelecek yıllardaki net elektrik tüketimi tahminleri için Denklem (11)'i, Denklem (6)'ya göre kullanmak daha doğru sonuçlar verecektir.

Hem denklem (6) hem de denklem (11) için $NET(0)$ ve b sabitlerinin belirlenmesinde TÜİK'in 1975-2015 yılları arasındaki veriler kullanılmıştır. Şekil 1'de denklem (6)'ya göre çizilen eğri için $NET(0) = 14220$, $b = 0,071$, denklem (11)'e göre çizilen eğri için $NET(0) = 217$, $b = 0,95$, $\alpha = 0,026$ alınmıştır. Hem denklem (6) hem de denklem (11)'e göre yapılan hesaplamalarda, boyutsal problem yaşamamak ve hesap kolaylığı için x eksenini yıl olarak alınmamış,

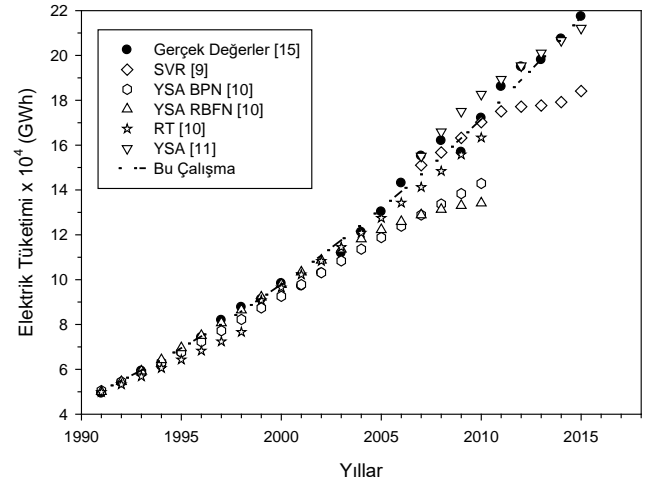
1975 yılı 1 olmak üzere her geçen yıl 1'er artırılarak 2023 yılı 49 olarak alınmıştır. ML fonksiyonunda sonsuz terim almak yerine hesaplamalarda kolaylık olması açısından ve ayrıca belirli bir fark yaratmayacağından ML fonksiyonun ilk 100 terimi alınarak hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 1. Denklem (6) ve bu çalışmada (denklem (11)) modellenen Türkiye'deki net elektrik enerjisi tüketim değerlerinin 1975-2023 yılları arasındaki gerçek değerler ile karşılaştırılması. (Comparing the net electricity energy consumption values in Turkey modeled in Eq. (6) and in this study (Eq. (11)) with the actual values between 1975-2023.)

Tablo 1 ve Şekil 2'de daha önce farklı yöntemlerle yapılmış net elektrik tüketim tahminleri, gerçek değerler ve bu çalışmada yapılan tahmin değerleri görülmektedir. Tablo 1'in birinci sütunda yıllar, ikinci sütunda gerçek değerler, üçüncü sütunda Kavaklıoğlu'nun SVR modeline göre yapmış olduğu tahminler [9], dördüncü, beşinci ve altıncı sütunlarda sırasıyla Hamzaçebi ve Kutay'ın YSA'ya göre BPN ve RBFN tekniklerini kullanarak ve RT'ye göre yapmış oldukları tahminler [10], yedinci sütunda Kavaklıoğlu ve arkadaşlarının YSA'ya göre yapmış oldukları tahminler [11] ve son sütunda da bu çalışmada denklem (11)'e göre yapılan tahminler yer almaktadır. Tablo 1 ve Şekil 2'den görüldüğü gibi, bu çalışmada yapılan tahminler 2007 yılından 2015 yılına kadar olan Kavaklıoğlu'nun SVR modeline göre yapmış olduğu tahminler [9] ve gerçek değerler ile genel olarak uyum içindedir. 2007-2010 yılları arasında Kavaklıoğlu'nun tahminleri [9] gerçek değerler ile daha uyumluyken 2010 yılından sonra tahmin değerleri daha düşük kalmaktadır. Bu çalışmadaki tahminler ise özellikle son yıllar başta olmak üzere gerçek değerler ile daha uyumludur. Bu çalışmada yapılan tahminler, Hamzaçebi ve Kutay'ın 1991-2010 yılları arasındaki tahminleri [10] ve gerçek

değerler ile karşılaştırıldığında, bu çalışmada yapılan tahminlerin gerçek değerler ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 1 ve Şekil 2'den anlaşıldığı gibi bu çalışmadaki tahminler 2007 yılından 2015 yılına kadar olan gerçek değerler ve Kavaklıoğlu ve arkadaşlarının çalışmalarlarıyla [11] uyum içerisinde.



Şekil 2. 1991-2015 yılları arasında, Türkiye'nin net elektrik tüketimi değerleri ve bu değerleri tahmin etmeye yönelik farklı modellerle yapılan hesapların grafiksel gösterimi. (Between 1991 and 2015, the graphical representation of Turkey's net electricity energy consumption values and calculations with different models to estimate these values.)

Tablo 2'de ise denklem (11) kullanılarak yapılan 2037 yılına kadar ülkemizde net elektrik tüketimine ait tahminler görülmektedir. 2015 yılına ait gerçek değer 217313 GWh iken 2037 yılında beklenen değer 493145 GWh'ye çıkmaktadır. Bu da yaklaşık olarak %227'lik bir artışa karşılık gelmektedir.

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Standart matematik gerçeğe yakın tasvir edilen sistemleri incelemek açısından yeterli olmadığından standart matematik kullanılarak elde edilen veriler de gerçek değerlerle uyum içinde olmamaktadır. Gerçeğe yakın sistemleri incelerken standart matematik yerine standart matematiği genelleyen ve bu sistemleri tasvir etmekte daha başarılı olan kesirsel matematiği kullanmak daha doğru olmaktadır. Bu bağlamda, Şekil 1 de görüldüğü gibi, denklem (6) ve denklem (11) karşılaştırıldığında kesirsel matematik kullanılarak yapılan tahminler gerçek değerlerle daha uyum içindedir.

Kavaklıoğlu ve arkadaşlarının çalışmasının [11], diğer çalışmalara göre [9, 10] gerçek değerler ile daha uyumlu olduğu Tablo 1'den görülmektedir.

Tablo 1. 1991-2015 yılları arasında, Türkiye'nin net elektrik tüketimi değerleri ve bu değerleri tahmin etmeye yönelik farklı modellerle yapılan hesaplar. (Between 1991 and 2015, Turkey's net electricity energy consumption values and calculations with different models to estimate these values.)

Yıllar	Gerçek Değerler (GWh)[15]	SVR (GWh)[9]	YSA BPN (GWh)[10]	YSA RBFN (GWh)[10]	RT (GWh)[10]	YSA (GWh)[11]	Bu Çalışma (GWh)
1991	49282,9	-	50495	50068	49830,42	-	50532,6
1992	53984,7	-	54477	54491	53248,99	-	54960,5
1993	59237,0	-	58663	59237	56802,73	-	59592,5
1994	61400,9	-	63045	64277	60491,65	-	64430,8
1995	67393,9	-	67609	69574	64315,76	-	69477,7
1996	74156,6	-	72342	75077	68275,05	-	74735,2
1997	81885,0	-	77226	80728	72369,51	-	80205,5
1998	87704,6	-	82239	86459	76599,16	-	85890,5
1999	91201,9	-	87358	92197	90781,1	-	91792,3
2000	98295,7	-	92558	97863	96413,0	-	97912,7
2001	97070,0	-	97811	103370	102237,1	-	104254
2002	102948,0	-	103090	108650	108253,7	-	110817
2003	111766,0	-	108360	113610	114462,63	-	117605
2004	121141,9	-	113600	118180	120863,91	-	124618
2005	130262,9	-	118780	122290	127457,55	-	131860
2006	143070,5	-	123870	125880	134243,55	-	139330
2007	155135,2	151050	128850	128890	141221,91	155120	147032
2008	161947,6	156720	133690	131300	148392,64	165940	154967
2009	156894,1	163210	138380	133070	155755,74	175040	163136
2010	172050,6	170230	142890	134180	163311,20	182680	171542
2011	186099,6	175050	-	-	-	189320	180184
2012	194923,4	177160	-	-	-	195370	189067
2013	198045,2	177630	-	-	-	201090	198190
2014	207375,1	179180	-	-	-	206670	207555
2015	217312,3	184100	-	-	-	212170	217164

Tablo 2. 2037'ye kadar Türkiye'nin net elektrik tüketimi tahminleri.

(Prediction of electricity energy consumption of Turkey up to 2037.)

Yıl	Tahmin (GWh)	Yıl	Tahmin (GWh)
2016	227019	2027	352028
2017	237121	2028	364938
2018	247470	2029	378112
2019	258070	2030	391551
2020	268921	2031	405256
2021	280024	2032	419228
2022	291382	2033	433469
2023	302994	2034	447980
2024	314864	2035	462762
2025	326992	2036	477816
2026	339379	2037	493145

Bu çalışmadaki tahmin sonuçları da SVR tekniğine [9] ve YSA-RT tekniklerine [10] göre hem gerçek değerler ile hem de Kavaklıoğlu ve arkadaşlarının [11] çalışması ile daha uyumludur. Kavaklıoğlu ve arkadaşları hesaplamalarında net elektrik tüketimini nüfusun, GSMH'nin, ihracat ve ithalatın fonksiyonu olarak modellemişlerdir. Bu çalışmadaki kesirsel türev mertebesinin yıllara göre net elektrik tüketim değişiminde gösterdiğine benzer bir etki nüfusun, GSMH'nin, ihracat ve ithalatın değişiminde de beklenmektedir. Bu değişimlerin geleceğe yönelik tahminlerinde standart matematik yerine kesirsel matematik kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Elektrik tüketimini tahmin etmeye yönelik yöntemlerin doğru modellenmesi, geleceğe yönelik planlamaların yapılması bakımından gereklidir. Bu tahminler elektrik hizmeti ile uğraşan gerek kamu gerekse özel şirketler için üretim, satın alım, dağıtım, altyapı, yenileme gibi ihtiyaçların planlamasında kullanılmakta ve doğruluğu bu nedenle önem arz etmektedir. Bu tahminlerin doğruluğu ülkemizin gelecekteki elektrik enerjisi yatırımlarını planlamak açısından çok önemlidir.

REFERENCES

- [1] «Dünya ve ülkemiz enerji ve tabii kaynaklar görünümü,» T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara, Ekim 2016.
- [2] Ö. Sarhan, «Türkiye Elektrik Kurulu Gücünün Tarihsel Gelişimi,» Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü Bülteni, sayı 7, pp.79-90, Mart-Nisan 2015., no. 7, pp. 79-90, Mart - Nisan 2015.
- [3] «Türkiye'de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü,» Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, İşletme Faaliyetleri Raporları, 2017.
- [4] «Yıllara göre illerin yıllık nüfus artış hızı ve nüfus yoğunluğu,» Türkiye İstatistik Kurumu, 2016.
- [5] «10 Yıllık Talep Tahminleri Raporu (2017-2016),» Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Planlama ve Stratejik Yönetim Dairesi Başkanlığı, Aralık 2016.
- [6] «10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2012-2021),» Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, APK Dairesi Başkanlığı, Aralık 2012.
- [7] «Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2015-2019),» Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Planlama ve Stratejik yönetim Dairesi Başkanlığı, Temmuz 2015.
- [8] «Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2014-2018),» Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Planlama ve Stratejik yönetim Dairesi Başkanlığı, Haziran 2014.
- [9] K. Kavaklioglu, «Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression,» Applied Energy, cilt 88, pp. 268-375, 2011.
- [10] C. Hamzaçebi ve F. Kutay, «Yapay Sınır Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini,» Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., cilt 19, no. 3, pp. 227-233, 2004.
- [11] K. Kavaklioglu, H. Ceylan, H. K. Ozturk ve O. E. Canyurt, «Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks,» Energy Conversion and Management, cilt 50, pp. 2719-2727, 2009.
- [12] F. Gürbüz, C. Öztürk ve P. Pardalos, «Prediction of electricity energy consumption of Turkey via artificial bee colony: a case study,» Energy Syst, cilt 4, pp. 289-300, 2013.
- [13] C. Hamzaçebi, «Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases,» Energy Policy, cilt 35, pp. 2009-2016, 2007.
- [14] B. E. Türkay, «Türkiye'nin Uzun Dönem Puant Yük Talebinin ve Enerji İhtiyacının Tahmin Edilmesi,» Elektrik Mühendisliği dergisi, no. 453, pp. 31-33, Nisan 2015.
- [15] «Elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü, brüt üretimi, net elektrik tüketimi (1975-2015),» Türkiye İstatistik Kurumu, 2016.
- [16] K. B. Oldham ve J. Spainer, The Fractional Calculus, San Diego: Academic Press, 1974.
- [17] A. E. Çalık, H. Şirin, H. Ertik ve M. Şen, «Analysis of charge variation in fractional order LC electrical circuit,» Revista Mexicana de Fisica, cilt 62, pp. 437-441, 2016.

- [18] F. Buyukkilic, Z. Bayrakdar Ok ve D. Demirhan, «Investigation of the cumulative diminution process using the Fibonacci method and fractional calculus,» *Physica A Statistical Mechanics and Its Applications*, cilt 444, pp. 336-344, 2016.
- [19] H. Ertik, A. E. Çalık, H. Şirin, M. Şen ve B. Öder, «Investigation of electrical RC circuit within the framework of fractional calculus,» *Revista Mexicana de Fisica*, cilt 61, pp. 58-63, 2015.
- [20] M. Şen ve A. E. Çalık, «Calculation of half-value thickness for aluminum absorbers by means of fractional calculus,» *Annals of Nuclear Energy*, cilt 63, pp. 46-50, 2014.
- [21] M. Şen, A. E. Çalık ve H. Ertik, «Determination of half-value thickness of aluminum foils for different beta sources by using fractional calculus,» *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, cilt 335, pp. 78-84, 2014.
- [22] F. Buyukkilic, Z. Bayrakdar Ok ve D. Demirhan, «Investigation of cumulative growth process via Fibonacci method and fractional calculus,» *Applied Mathematics and Computation*, cilt 265, pp. 237-244, 2015.
- [23] H. Ertik, H. Şirin, D. Demirhan ve F. Büyükkılıç, «Fractional mathematical investigation of Bose-Einstein condensation in dilute Rb-87, Na-23 and Li-7 atomic gases,» *International Journal of Modern Physics B*, cilt 26, no. 17, p. 1250096, 2012.
- [24] H. Şirin, F. Büyükkılıç, H. Ertik ve D. Demirhan, «The effect of time fractality on the transition coefficients: Historical Stern-Gerlach experiment revisited,» *Chaos Solitons and Fractals*, cilt 44, no. 1-3, pp. 43-47, 2011.
- [25] H. Ertik, D. Demirhan, H. Şirin ve F. Büyükkılıç, «Time fractional development of quantum systems,» *Journal of Mathematical Physics*, cilt 51, no. 8, p. 082102, 2010.
- [26] H. Şirin, F. Büyükkılıç, H. Ertik ve D. Demirhan, «The influence of fractality on the time evolution of the diffusion process,» *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, cilt 389, no. 10, pp. 2007-2013, 2010.
- [27] H. Ertik, D. Demirhan, H. Şirin ve F. Büyükkılıç, «A fractional mathematical approach to the distribution functions of quantum gases: Cosmic microwave background radiation problem is revisited,» *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, cilt 388, no. 21, pp. 4573-4585, 2009.
- [28] I. Podlubny, *Fractional Differential Equations*, San Diego: Academic Press, 1999.
- [29] A. Carpinteri ve F. Mainardi, *Fractals and Fractional Calculus In Continuum Mechanics*, Springer Verlag, 1997.
- [30] K. S. Miller ve B. Ross, *An Introduction to the Fractional Calculus and Fractional Differential Equations*, New York: John Wiley and Sons Inc, 1993.