SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.6, s.4, ss. 529-543, 2018
Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.6, n.4, pp. 529-543, 2018
ISSN: 2147-9364 (Electronic)
DOI: 10.15317/Scitech.2018.150

TÜRKİYE'DE ENERJİ TALEBİNİ TAHMİN ETMEK İÇİN DOĞRUSAL FORM KULLANARAK GSA (YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI) VE IWO (YABANİ OT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI) TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

[1]Ismail KOC, [2]Refik NUREDDIN, [3]Humar KAHRAMANLI

[1,2]Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya
[3]Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya
[1]ismailkoc@selcuk.edu.tr, [2]refiknureddin@gmail.com, [3]hkahramanli@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 14.06.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 09.04.2018)

ÖZ: Bu çalışma, Türkiye'deki ekonomik göstergelere dayalı enerji talep tahmini ile ilgilidir. Enerji talebini tahmin etmek için Yerçekimi Arama Algoritması (GSA) ve Yabani Ot Algoritması (IWO) tekniklerine dayanan iki farklı model önerilmektedir. GSA yöntemi, Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarından esinlenerek geliştirilmiş sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. IWO algoritması ise doğadaki yabani otların istilacı karakterlerinden esinlenen, evrimsel bir optimizasyon algoritmasıdır. GSA ve IWO yöntemlerine dayalı enerji talep modelleri, gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYİH), nüfus, ithalat ve ihracat verilerini giriş parametresi şeklinde kullanan bir model olarak önerilmektedir. Önerilen yöntemler doğrusal regresyon modeli kullanılarak geliştirilmiştir. Türkiye'nin gelecekteki enerji talebi ise üç farklı senaryo altında tahmin edilmektedir. Önerilen tahmin modellerinden elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 1979 ve 2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modelinde IWO literatürdeki diğer yöntemlerle de kıyaslanmış ve IWO yöntemi en yüksek performansı verdiği görülmüştür. 1979 ve 2011 yılları arasındaki tüm veri seti kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modelinde ise GSA, IWO yöntemiyle karşılaştırılmış ve GSA daha iyi bir performans elde etmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Enerji talebi, Enerji talep tahmini, GSA, IWO, Optimizasyon, Türkiye,*

Implementation of GSA (Gravitation Search Algorithm) and IWO (Invasive Weed Optimization) for The Prediction of The Energy Demand in Turkey Using Linear Form

ABSTRACT: This paper deals with energy demand forecast based on economic indicators in Turkey. Two different models based on the Gravity Search Algorithm (GSA) and Invasive Weed Optimization Algorithm (IWO) techniques are proposed to estimate energy demand. GSA is heuristic optimization algorithm inspired by Newton's laws of motion and gravity. The IWO algorithm is an evolutionary optimization algorithm inspired by the invasive characters of weeds in the wild. Energy demand models based on GSA and IWO methods are proposed using gross domestic product (GDP), population, import and export data as input parameters. Proposed methods are developed using linear regression model. Turkey's future energy demand is estimated under three different scenarios. The experimental results obtained by prediction models are given comparatively. In the prediction model using data between 1979 and 2005, IWO is compared with other methods in the literature and IWO method shows the highest performance. However, in the forecasting model obtained using the entire data set between 1979 and 2011, GSA is compared with the IWO method and GSA achieves better performance than IWO.

Key Words: *Energy demand, Energy demand forecasting, GSA, IWO, Optimization, Turkey*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerjinin kullanılması, insanlık tarihinin her aşamasına işaret eden bir uygulamadır ve geçmişten günümüze ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmasında vazgeçilmez bir faktör olmaya devam etmiştir. Ülkeler için en önemli gereksinimlerden biri olan enerji, bir ülkenin kalkınma düzeyinin bir göstergesi olarak işlev görür. Sosyal, ekonomik ve endüstriyel alanlarda zamanla yapılan ilerlemeler, ülkelerin enerji ihtiyaçlarında artışa neden olmuştur. Enerjinin, insan hayatını sürdürmede artan önemi tartışılmaz bir durumdur. Fakat nükleer santral kazalarının ve finansal krizlerin son zamanlarda meydana gelmesine rağmen, enerji talebi yükselmeye devam etmektedir (Güneş ve Aslan). Buna göre, enerji sektörünün sağlıklı bir şekilde gelişmesini sağlamak için planların talep, arz, iletim, dağıtım ve fiyatlama için geliştirilmesi oldukça gereklidir (Oğurlu, 2011). Muhtemelen, en önemli planlama çalışması, günümüzde artan enerji talebini dikkate alarak gelecekteki talebin belirlenmesini gerçekleştirmektir. Enerjinin depolanamaz olması ve enerji üretimiyle ilişkili yüksek maliyetler nedeniyle, enerji üretimi ve tüketimi arasında işleyen bir dengenin var olması hayati önem taşımaktadır (Mahmutoğlu ve Öztürk, 2015). Bu dengeyi sürdürülebilir hale getirme, enerji talep tahmininin doğru bir şekilde belirlenmesi ile mümkün gözükmektedir. Öngörülen enerji talebi gerçek enerji talebinden daha az ise, bu durum bir enerji krizine neden olabilir ya da tahmini enerji talebi gerçek enerji talebinden daha büyükse, bu durum kaynakların azalmasına ve ekonominin hasar görmesine neden olabilir (Ünler, 2008).

Planlama çalışmalarının başarısı, tahminlerin doğruluğuna dayanmaktadır. 1990'lı yılların sonuna kadar enerji tahmin çalışmaları diğer ülkelerde uzunca bir süre yürütülmesine rağmen, Türkiye'de enerji tahmin çalışmalarının önem kazanması beklenmiyordu. 1970'lerin sonunda Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) enerji talebini belirlemek için matematiksel modeller uygulamaya başladı (Erdogdu, 2007).

Tiris (2005), küresel enerji talebinin 2002 yılından 2030 yılına kadar yılda yaklaşık %1.7 oranında artacağını belirtmiştir (Tiris, 2005). 2012 yılı verilerine göre, Türkiye'nin toplam birincil enerji talebi 121 MTEP'dir. Bu talep,%31 kömür,%31 doğalgaz,%25 benzin,%4 hidrolik,%3 ahşap atık materyali, hayvan ve bitki atıkları, jeotermal enerji, rüzgâr ve güneş enerjisi ve %3 daha başka kaynaklardan oluşmaktadır (WECTN,C 2013). Türkiye, istediği enerjinin %30'unu üretme kapasitesine sahipken, enerji talebinin geri kalanı ise ithal edilen kaynaklar üzerinden sağlanmaktadır (WECTNC, 2014).

Türkiye'nin birincil enerji tüketim kaynakları linyit kömürü, katı kömür, hidroelektrik enerji, benzin, doğalgaz, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve hayvan ve bitki atığından oluşmaktadır (Kıran ve diğ., 2012b). Bununla birlikte, Türkiye, enerji talebinin çoğunu, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan karşıladığı için, dış kaynaklara güvenmek zorunda kalmıştır. 2002 yılından bu yana, Türkiye ekonomisinde görülen belirgin büyüme, enerji tüketiminde artışa neden olmuştur. Bu artan tüketim oranı ile, enerji ihtiyacının %70'ini ithalat yoluyla karşılayan Türkiye, kalkınma ve sanayileşme, bütçe ve arz yönünden sanayileşmeden kaynaklanan potansiyel herhangi bir sorunu önlemek için uzun vadeli enerji talebini doğru bir şekilde (planlama, enerji kaynaklarına ve yatırımlara erişim) tahmin etmektedir (WECTNC,2014).

Enerji tahmin konusunda Kankal ve diğ. (Kankal ve diğ., 2011), Dilaver ve Hunt (Dilaver ve Hunt, 2011), Ediger ve Tatlıdil (Ediger ve Tatlıdil, 2002), Ediger ve Akar (Ediger ve Akar 2007) ve Yumurtacı ve Asmaz (Yumurtaci ve Asmaz, 2004) tarafından istatiksel model temelli çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bahsedilen modellerin yanı sıra meta-sezgisel yöntemler de enerji tüketimini tahmin etmek için uygulanmıştır (Yumurtaci ve Asmaz, 2004). Türkiye'nin farklı enerji türlerinin talebini tahmin edebilmek için karınca koloni optimizasyonu (Toksarı, 2007), genetik algoritma (Ozturk ve diğ. 2005), yapay sinir ağı (Sözen ve diğ. 2005), harmoni arama algoritması (Ceylan ve diğ., 2008), yapay arı algoritması (Uguz ve diğ., 2015), diferansiyel evrim algoritması (Beskirli ve diğ., 2017) ve parçacık sürü optimizasyonu (Ünler, 2008, Kıran ve diğ., 2012a) yöntemlerini kullanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada ise, doğrusal form kullanılarak enerji tahmin modelleri için önerilen Yabani Ot Algoritması (IWO) ve Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA) yönteminde, enerji talebi tahmini için giriş

parametreler olarak GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri kullanılmıştır. Önerilen yöntemin tahmin başarısı ile Ünler (2008), Beskirli ve diğ., (2017) ve Kıran ve diğ. (2012a) tarafından önerilen çalışmaların başarısı karşılaştırıldığında, 1979 ve 2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modelinde IWO, Ünler (2008), Beskirli ve diğ., (2017) ve Kıran ve diğ. (2012a) tarafından önerilen yöntemlerle de kıyaslanmış ve IWO yönteminin en yüksek performansı sağladığı saptanmıştır. 1979 ve 2011 yılları arasındaki veriler kullanılarak yapılan tahmin modeli sonuçlarına göre ise GSA, IWO ile karşılaştırılmış ve GSA yönteminin daha iyi bir başarı yakaladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, Türkiye'nin 2012 - 2030 yılları arasındaki enerji arzının birincil tutarı tahmini, önerilen üç farklı senaryodan elde edilen değerler kullanarak gerçekleştirilmiştir.

YABANİ OT ALGORİTMASI (INVASIVE WEED OPTIMIZATION)

Son zamanlarda geliştirilen populasyon tabanlı meta-sezgisel yöntemlerden birisi olan yabani ot algoritması (IWO) 2006 yılında sayısal optimizasyon problemleri için Mehrabian ve Lucas tarafından önerilmiştir (Mehrabian ve Lucas, 2006). IWO, büyüyen ve sömürücü yabancı otların istilacı ve direnç karakterlerinden esinlenen, evrimsel bir optimizasyon algoritmasıdır (Pourjafari ve Mojallali, 2012). Aşağıda açıklandığı gibi, algoritma dört aşamadan oluşur:

A. Başlatma (Initialization)

Belirli sayıda yabani ot, *n* boyutlu arama alanının her tarafına rasgele dağıtılır.

B. Reprodüksiyon (Reproduction)

İlk aşamada rasgele üretilen yabancı otların bu aşamada tohum üretmesine izin verilir. Tohumların üretilmesi, kendi yeteneği ve kolonilerinin yeteneğiyle ilgilidir. Daha iyi fitness değerine sahip olan ot, daha fazla tohum üretirken, daha kötü fitness değerine sahip olan ot, daha az tohum üretir. Yabani otlar tarafından üretilen tohumlar, en kötü durumla başlayıp en iyi durumla biten doğrusal bir büyüme gerçekleştirirler. Yeniden çoğalma formülü Denklem 1'de verilmiştir:

$$weed_i = \frac{fcurrent-fmin}{fmax-fmin} * (Smax - Smin) + Smin \quad (1)$$

Burada *fcurrent*, mevcut yabani otun uygunluk değeridir. *Smax* ve *Smin* sırasıyla bir otun maksimum ve minimum değerlerini ifade eder. *fmax* ve *fmin*, popülasyonun maksimum ve minimum fitness değerlerini temsil etmektedir.

C. Mekansal Dağılım (Spatial Dispersal)

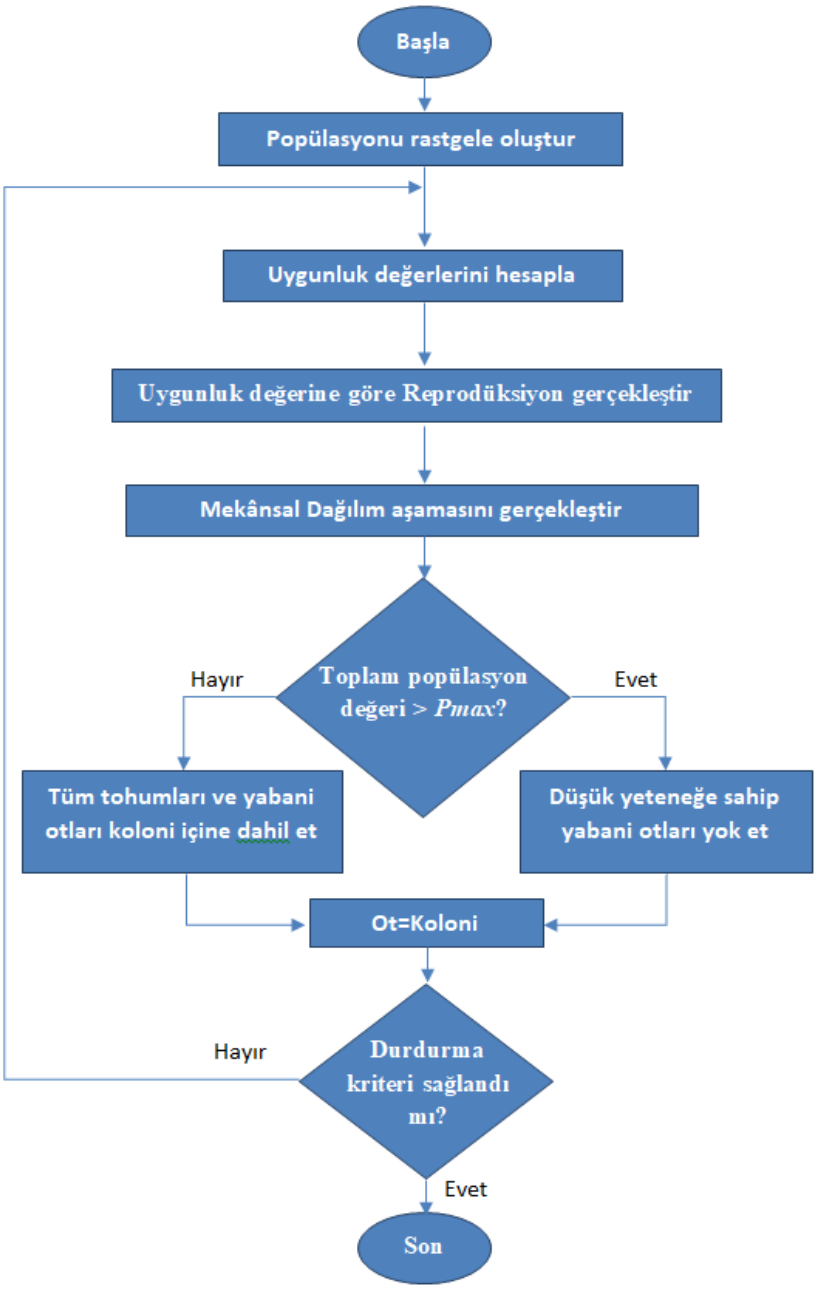
Bu aşamada, üretilen tohumlar rasgele olarak arama alanına yayılır ve ortalamaya göre sıfıra eşit ve değişken varyantına dayalı olarak, üretilen bu tohumlar ana ot yakınında bulunurlar. Burada, rastgele fonksiyonun standart sapması (σ) önceden belirlenmiş bir başlangıç değerinden $(\sigma_{initial})$ başlayıp, son bir değere (σ_{final}) kadar iterasyon boyunca azaltılacaktır. σ_{iter} sonucu Denklem 2'de verilmiştir.

$$\sigma_{iter} = \frac{(iter_{\max} - iter)^n}{(iter_{\max})^n}(\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{final}, \quad (2)$$

Burada, $iter_{\max}$ maksimum iterasyon sayısıdır, geçerli zaman adımında standart sapma σ_{iter} ve n doğrusal olmayan modülasyon indeksidir.

D. Rekabet Edebilirlik (Competitive Exclusion)

Hayatta kalmak için bitkiler arasında bir rekabet vardır. Kolonideki bitkiler çok hızlı çoğalır ve tüm bitkiler koloni olarak kabul edilir. Fakat kolonideki toplam bitki sayısı popülasyonun maksimum değerini (*Pmax*) aşmamalıdır. Bu nedenle, daha fazla uygunluk gösteren bitkiler koloni içine dâhil edilirken, daha az uygunluk gösteren bitkiler koloniden çıkarılır. Son olarak, kolonideki uygunluk değeri yüksek bitkiler, üst bitkiler olarak kabul edilir ve adım 2-4, maksimum iterasyon sayısına ulaşılana kadar tekrarlanır. IWO yönteminin akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. IWO algoritmasının akış diyagramı
Figure 1. *Flowchart of IWO algorithm*

YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI (GRAVITIONAL SEARCH ALGORITHM)

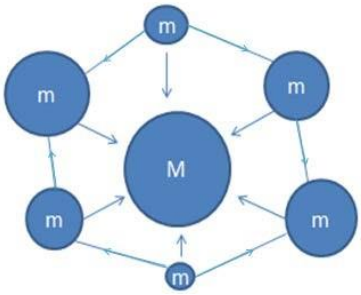
Rashedi ve diğ. (2009) tarafından Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarından esinlenerek geliştirilmiş sezgisel optimizasyon algoritmasıdır (Rashedi ve diğ., 2009). Arama uzayındaki her bir parçacık, Yerçekimi Arama algoritmasında (GSA) bir kütle olarak kabul edilir, bu sebeple GSA'yı bir yapay kütle sistemi olarak tanımlamak mümkündür. Arama uzayındaki tüm kütleler Newton'un evrensel çekim kanununa göre birbirlerini çekerler ve yerçekimi kuvveti ile birbirlerine kuvvet uygularlar. Yerçekimi kuvvetine maruz kalan kütleler arama uzayı içerisinde hareket ederek optimum sonuca ulaşmaya çalışırlar. Bu durum Şekil 2'de gösterilmiştir:



$$F = G \times \frac{M_1 \times M_2}{R^2}$$

Şekil 2. Kütleler arası yerçekimsel kuvvet
Figure 2. *Gravitational force between two masses*

Şekil 2'de *G*, yerçekimi sabitini ifade etmektedir. Bu kuvvete maruz kalan kütleler arama uzayı içerisinde hareket ederek optimum çözüme ulaşırlar. Bu durum Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3 Kütlelerin birbirleri ile etkileşimi
Figure 3. *Interaction of masses with each other*

Noktasal kütlelerin bu şekildeki hareketi Newton'un ikinci hareket kanununa uygun olarak gerçekleşir. Arama uzayındaki her bir kütlenin; konumu, eylemsizlik kütlesi, aktif yerçekimsel kütlesi ve pasif yerçekimsel kütlesi olmak üzere dört özelliği vardır. Her kütle arama uzayında belli bir pozisyonda bulunur. Bulundukları konum, çözülmesi beklenen problem için birer alternatif çözümdür. Kütleler, üzerlerine herhangi bir kuvvet etki ettiğinde bu kuvvete karşı koymak isteyerek bir direnç gösterir. Bu direnç eylemsizlik kütlesi olarak adlandırılır (Rashedi ve diğ., 2009).

Eylemsizlik kütlesi fazla olan kütle daha yavaş hareket etmek isteyecek, az olanı ise daha hızlı hareket edecektir. Bu durumda oluşan yerçekimi alanı gücüne aktif yerçekimsel kütle denir. Yerçekimi alanı ile bir nesnenin iletişim gücüne pasif yerçekimsel kütle denir.

GSA'da her bir nesnenin kütle miktarı o nesnenin performansını gösterir. Algoritma süresince en ağır olan kütle diğer kütlelere göre daha yavaş hareket edecek ve diğerlerini kendine çekecek bir çekim kuvveti uygulayacaktır. Jenerasyon sayısı bitiminde ya da herhangi bir sonlandırma eylemi olduğunda kütlesi en fazla olan nesne, problemin optimum çözümünü oluşturmuş olacaktır.

GSA yöntemini başlatmak için i. kütlenin (ajan) konumunun Denklem 3'teki gibi tanımlandığı s kümeli bir çözüm olsun:

$$x_i = \left(x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n\right), \; i = 1,2, \dots, s \qquad (3)$$

Burada x_i^d, *d*. boyuttaki *i*. kütlenin konumunu ifade etmektedir, *n* ise arama uzayının boyutudur.

Her bir ajanın kütlesi, uygunluk değeri ile temsil edilmektedir. Ajanın mevcut kütle dizisindeki

diğer ajanların uygunluğu Denklem 4'teki gibi hesaplanır.

$$q_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (4)$$

M_i değeri mevcut kütlenin toplam kütleye oranına eşittir ve Denklem 5'te verilmiştir.

$$M_i(t) = \frac{q_i(t)}{\sum_{j=1}^{x} q_j(t)} \quad (5)$$

Bu denklemlerde yer alan $Mi(t)$ ve $fit_i(t)$ sırasıyla t anındaki i. ajanın kütlesini ve uygunluk değerini ifade etmektedir. $best(t)$ ve $worst(t)$ ifadeleri t anında minimum ve maksimum değerleri ifade etmektedir ve Denklem 6 ve 7'deki gibi tanımlanır.

$$best(t) = \min(fit_j(t)) \text{ and } j \in 1, \dots, s \quad (6)$$

$$worst(t) = \max(fit_j(t)) \text{ and } j \in 1, \dots, s \quad (7)$$

Bir ajanın ivmesi hesaplanırken, diğer kütleler tarafından o ajan üzerine etki eden toplam güç hesaplanır. Söz konusu ajana uygulanan toplam güç Denklem 8'deki gibi hesaplanmaktadır. Toplam güç hesaplandıktan sonra ajanın ivmesi hareket kanununa göre Denklem 9'da verildiği gibi hesaplanır. Ajanın ivme değeri o andaki hızıyla toplanıp yeni hız vektörü Denklem 10'a göre bulunur. En son olarak da, ajanın yeni konumu Denklem 11'e göre hesaplanır.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in kbest \,\&\, j \neq 1} rand_j G(t) \frac{M_j(t) M_i(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} \left(x_j^d(t) - x_i^d(t) \right) \quad (8)$$

$$a_i^d(t) = \frac{Fi^d(t)}{M_i(t)} = F_i^d(t) = \sum_{j \in kbest \,\&\, j \neq 1} rand_j G(t) \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} \left(x_j^d(t) - x_i^d(t) \right) \quad (9)$$

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (10)$$

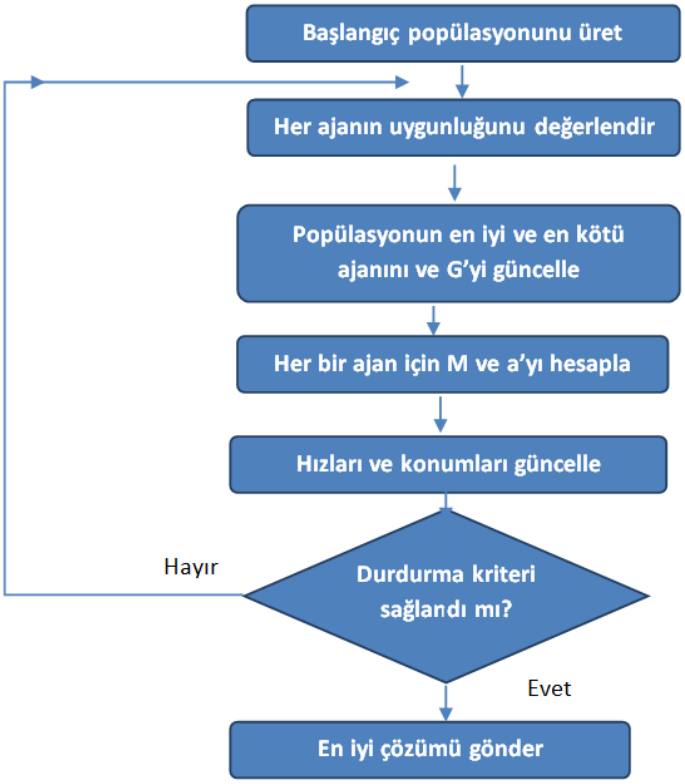
$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (11)$$

Denklemlerde yer alan $rand_i$ ve $rand_j$ değerleri [0,1] aralığında dağıtılan rastgele iki sayıdır. ε çok küçük bir değerdir. Bu değeri kullanmanın amacı denklemin tanımsızlığını ortadan kaldırmaktır. $R_{ij}(t)$, i ve j ajanları arasındaki öklid uzunluğunu ifade etmektedir ve Denklem 12'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$R_{ij}(t) = \| x_i(t), x_j(t) \|_2 \quad (12)$$

GSA'da $G(t)$ yerçekimsel sabiti, β sabit katsayıyı, t şu anki iterasyon sayısını, t_{max} maksimum iterasyon sayısını, G_0 ise bir başlangıç değerini ifade etmektedir. Denklem 13'te G_0'a bağlı olarak her bir iterasyondaki $G(t)$ ifadesi verilmiştir. Ayrıca, GSA'ya ait akış diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

$$G(t) = G_0 e^{-B\left(\frac{t}{tmax}\right)} \quad (13)$$



Şekil 4. GSA'nın akış diyagramı
Figure 4. *GSA flow diagram*

ENERJİ TALEP TAHMİNİ PROBLEMİNE ÖNERİLEN YÖNTEMİN UYGULANMASI (APPLYING THE PROPOSED METHOD TO THE ENERGY DEMAND ESTIMATION PROBLEM)

Enerji talebi modelleri, bir ülkenin enerji ihtiyacını belirleme üzerindeki etkisinin büyük olduğu kabul edilen dört ekonomik temelli ölçüt kullanılarak geliştirildi: GSYİH, Nüfus, İthalat ve İhracat. Bu kriterlere ilişkin veriler IWO ve GSA yöntemleri yardımıyla enerji talebi modelleri geliştirmek için kullanılmıştır. Çizelge 1'de 1979 ile 2011 yılları arasındaki Türkiye'nin GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat ile enerji talebi değeri gösterilmektedir. Bu veriler, Türkiye İstatistik Kurumu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Raporları ve önceki çalışmalar (ETKB)'den elde edilmiştir.

Çizelge 1. 1979-2011 yılları arasında Türkiye'nin enerji talebi, GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracatı
Table 1. *Turkey's energy demand, GDP, population, imports and exports from 1979 to 2011*

Yıl	Enerji Talebi (TWh)	GSYİH ($ 10^9)	Nüfus ($ 10^6)	İthalat ($ 10^9)	İhracat ($ 10^9)
1979	30.71	82	45.53	5.07	2.26
1980	31.97	68	44.44	7.91	2.91
1981	32.05	72	45.54	8.93	4.7
1982	34.39	64	46.69	8.84	5.75
1983	35.7	60	47.86	9.24	5.73
1984	37.43	59	49.07	10.76	7.13
1985	39.4	67	50.31	11.34	7.95
1986	42.47	75	51.43	11.1	7.46
1987	46.88	86	52.56	14.16	10.19
1988	47.91	90	53.72	14.34	11.66
1989	50.71	108	54.89	15.79	11.62
1990	52.98	151	56.1	22.3	12.96
1991	54.27	150	57.19	21.05	13.59
1992	56.68	158	58.25	22.87	14.72
1993	60.26	179	59.32	29.43	15.35
1994	59.12	132	60.42	23.27	18.11
1995	63.68	170	61.53	35.71	21.64
1996	69.86	184	62.67	43.63	23.22
1997	73.78	192	63.82	48.56	26.26
1998	74.71	207	65	45.92	26.97
1999	76.77	187	66.43	40.67	26.59
2000	80.5	200	67.42	54.5	27.78
2001	75.4	146	68.37	41.4	31.33
2002	78.33	181	69.3	51.55	36.06
2003	83.84	239	70.23	69.34	47.25
2004	87.82	299	71.15	97.54	63.17
2005	91.58	361	72.97	116.77	73.48
2006	99.59	483	72.97	139.58	85.54
2007	107.63	531	70.59	170.06	107.27
2008	106.27	648	71.13	201.96	132.03
2009	106.14	730	73.23	140.93	102.14
2010	109.27	615	74.47	185.54	113.88
2011	114.48	731	74.72	240.84	134.91

Çizelge 1, Türkiye'nin sürekli gelişme sürecinde olduğunu ve ekonomik değerlerinin yıllar içinde arttığını göstermektedir. Ayrıca, Çizelge 1'den ekonomik değerlerdeki artış ile enerji tüketimindeki artış arasında bir korelasyon olduğu sonucuna varılabilir. Bu korelasyon dikkate alınarak, enerji talebi tahminleri lineer model kullanılarak Denklem 14'teki gibi modellenmiştir:

Dört değişkenin lineer formunu düzenleyen denklem şu şekilde yazılabilir:

$$E_{linear} = w_1 + w_2 X_1 + w_3 X_2 + w_4 X_3 + w_5 X_4 \quad (14)$$

Enerji talebi tahmininin temel amacı, veriler için en uygun değerleri bulmaktır. Denklem 14'teki X_1, X_2, X_3 ve X_4 değerleri fiili GSYH, nüfus, ithalat ve ihracat değerlerini göstermektedir. Verilen yıllara göre en uygun enerji talebi tahminini yapabilen ağırlık değerleri (W_1, W_2, W_3, W_4 ve W_5) sözü edilen bu değerlere göre hesaplanır. Kullanılan amaç fonksiyon Denklem 15'te gösterilmektedir:

$$\min\ f(v) = \sum_{i=1}^{R} (E_i^{observed} - E_i^{predicted})^2 \quad (15)$$

Burada $E_i^{observed}$ ve $E_i^{predicted}$ değerleri sırasıyla gerçek ve tahmini değerleri, R ise toplam gözlem sayısını belirtmektedir.

LİTERATÜRDE İWO ve GSA'NIN DİĞER ALGORİTMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON oF IWO and GSA with OTHER MODELS in the LITERATURE)

IWO ve GSA yöntemlerinin enerji talebi sorununun çözümünde başarılı olup olmadığının gözlenmesi için, Ünler (2008), Beskirli ve diğ., (2017) ve Kıran ve diğ., (2012a) tarafından kullanılan diğer modellerle karşılaştırılmıştır. Önceki araştırmalarda, ACO, PSO, HAPE ve son olarak DE de dâhil olmak üzere farklı sezgisel algoritmalar enerji talebi tahmin problemine uygulanmıştır. Önerilen modeli literatürdeki algoritmalara göre değerlendirmek ve karşılaştırmak için IWO ve GSA yöntemleri de diğer algoritmalardaki gibi 1979-2005 arasındaki veriler kullanılarak tahmin modeli oluşturulmuştur. IWO için başlangıç popülasyon büyüklüğü 50 ve maksimum popülasyon sayısı 100, minimum ve maksimum tohum sayıları sırasıyla 1 ve 5 alınmıştır. Ayrıca başlangıç ve bitiş standart sapma değerleri ise 0.5 ve 0.0001 olarak alınmış varyant azaltma katsayısı da 0.5 olarak kabul edilmiştir. GSA için ise; popülasyon sayısı IWO yöntemindeki gibi 100 alınmış, β değeri 2 alınırken G_0 değeri 100 olarak kabul edilmiştir. Deneysel çalışmaları eşit bir şekilde değerlendirebilmek için ise, maksimum fonksiyon hesaplama sayısı (maxFEs) 500.000 alınmıştır. Lineer form için IWO'ya ait ağırlıklar (katsayılar) Denklem 16'daki gibidir:

$$E_{\text{IWO_Lineer}} = -57.7420 + 0.0037X_1 + 1.9468X_2 + 0.3430X_3 - 0.4562X_4 \quad (16)$$
$$f(v)_{\text{IWO_Lineer}} = 39.1535$$

Lineer form için GSA'ya ait ağırlıklar (katsayılar) Denklem 17'deki gibidir:

$$E_{\text{GSA_linear}} = -53.9784 - 0.0093X_1 + 1.8781X_2 + 0.4253X_3 - 0.4738X_4 \quad (17)$$
$$f(v)_{\text{GSA_Lineer}} = 43.6001$$

Lineer formlar için IWO, GSA, DE, HAPE, ACO ve PSO algoritmalarının katsayıları ve hata değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. IWO ve GSA yöntemi dışındaki diğer algoritmalara daha ait veriler daha önce yapılan çalışmalardan alınmıştır. Çizelge 2, IWO yönteminin enerji talebi tahmin probleminde Ünler (2008) ve Kıran ve diğ. (2012a) tarafından önerilen diğer metotlardan çok daha başarılı olduğunu göstermektedir. Ayrıca önerilen bu yöntem, enerji tahmini için yeni önerilmiş olan DE yönteminden de daha başarılı bir sonuç elde etmiştir.

Çizelge 2. Katsayıların ve lineer biçimdeki bağıl hataların karşılaştırılması
Table 2. *Comparison of coefficients and relative errors in linear form*

Katsayılar	IWO	GSA	DE	HAPE	ACO	PSO
w1	-57.7420	-53.9784	-55.8991	-55.9091	-51.3046	-55.9022
w2	0.0037	-0.0093	0.0038	0.0038	0.0124	0.0021
w3	1.9468	1.8781	1.9123	1.9126	1.8102	1.9126
w4	0.3430	0.4253	0.3735	0.3734	0.3524	0.3431
w5	-0.4562	-0.4738	-0.4835	-0.4833	-0.4439	-0.4240
Hata	**39.1535**	43.6001	41.7120	41.7029	45.7239	42.6139

Çizelge 3 ve 4, lineer formlar için 1996 ile 2005 yılları arasında GSA ve IWO yöntemlerini kullanarak tahmin edilen enerji talebi değerlerini ve enerji talebini göstermektedir. IWO ve GSA yöntemlerini kullanarak lineer form için bulunan sapma değerleri, 1979 ve 2005 yılları arasında gözlemlenen değerlere yakın enerji talep tahmin değerlerini elde ettiğini göstermektedir. Çizelge 3 ve 4 ayrıca, tahmini ve gözlemlenen değerler arasındaki sapma değeri ve bağıl hatayı da göstermektedir. Elde edilen sonuçlarda bakıldığında IWO, GSA'dan daha iyi sonuçlar elde etmiştir. GSA yöntemi için en yüksek sapma değeri lineer form için % -3.95 iken ve bu oran IWO'da % -3.48'dir.

Çizelge 3. IWO modeline ait 1996 ve 2005 yılları arasındaki enerji talebi tahminleri
Table 3. *Energy demand estimates of the IWO model between 1996 and 2005*

Yıl	Gözlenen Enerji Talebi	Tahmin Edilen Enerji Talebi	Hata	Bağıl Hata (%)
1996	69.86	69.32	-0.54	-0.77
1997	73.78	71.90	-1.88	-2.55
1998	74.71	73.02	-1.69	-2.26
1999	76.77	74.10	-2.67	-3.48
2000	80.5	80.28	-0.22	-0.28
2001	75.4	75.81	0.41	0.55
2002	78.33	79.08	0.75	0.96
2003	83.84	82.10	-1.74	-2.07
2004	87.82	86.53	-1.29	-1.47
2005	91.58	92.19	0.61	0.67

Çizelge 4. GSA modeline ait 1996 ve 2005 yılları arasındaki enerji talebi tahminleri
Table 4. *Energy demand estimates of the GSA model between 1996 and 2005*

Yıl	Gözlenen Enerji Talebi	Tahmin Edilen Enerji Talebi	Hata	Bağıl Hata (%)
1996	69.86	69.56	-0.30	-0.43
1997	73.78	72.30	-1.48	-2.00
1998	74.71	72.92	-1.79	-2.40
1999	76.77	73.74	-3.03	-3.95
2000	80.5	80.79	0.29	0.37
2001	75.4	75.83	0.43	0.57
2002	78.33	79.32	0.99	1.27
2003	83.84	82.79	-1.05	-1.25
2004	87.82	88.41	0.59	0.68
2005	91.58	94.55	2.97	3.24

IWO ve GSA YÖNTEMLERİ ARACILIĞIYLA 2012'DEN 2030'A KADAR ENERJİ TALEBİNİN GELECEKTEKİ PROJEKSİYONLARI (FUTURE PROJECTIONS of ENERGY DEMAND between 2012 and 2030 through IWO and GSA METHODS)

Önerilen yöntem, literatürdeki diğer araştırmalarla kıyaslanarak başarısı kanıtladıktan sonra, Türkiye'nin enerji talebine ilişkin 2012 ve 2030 yılları arasındaki tahminler, 1979 ile 2011 yılları arasında

güncellenmiş veriler kullanılarak lineer formlar için yeni katsayılar belirlenerek yapılmıştır. Önceki bölümde verilen parametre değerleri olduğu gibi alınmıştır, ancak tek fark veri aralığının 1979 ile 2011 yılları arasında kullanılmış olmasıdır. Böylece daha yüksek miktarda verinin kullanılması ile daha gerçeğe yakın tahminlerin yapılması sağlanmış olmaktadır.

IWO ve GSA yöntemleri ile 1979 ile 2011 yılları arasındaki veriler kullanılarak lineer form için 10 kez bağımsız çalıştırılmış ve en iyi sonuç burada verilmiştir. 1979 ile 2011 yılları arasındaki verilere göre gerçekleştirilen tahmin modelinde GSA yönteminin IWO yöntemine nazaran daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür. 1979-2005 arasındaki veriler kullanılarak gerçekleştirilen tahmin modelinde ise IWO yönteminin daha iyi olduğu gözlemlenmişti. Bu sonuçlar göz önüne alınarak, veri sayısının artışına bağlı olarak GSA yönteminin global aramadaki üstünlüğünden dolayı IWO yöntemine üstünlük sağladığı söylenebilir. Lineer form için IWO'ya ait ağırlıklar (katsayılar) Denklem 18'deki gibidir:

$$E_{\text{IWO_Lineer}} = -28.14013 + 0.00582X_1 + 1.37398X_2 + 0.13009X_3 + 0.05630X_4 \quad (18)$$
$$f(v)_{\text{IWO_Lineer}} = 367.45717$$

Lineer form için GSA'ya ait ağırlıklar (katsayılar) Denklem 19'daki gibidir:

$$E_{\text{GSA_linear}} = -57.15262 + 0.02461X_1 + 1.89247X_2 + 0.08863X_3 - 0.05971X_4 \quad (19)$$
$$f(v)_{\text{GSA_Lineer}} = 180.36962$$

2012-2030 yılları arasında Türkiye'nin enerji talebini tahmin etmek için güncellenmiş verilerin ışığı altında şu senaryolar hazırlanmıştır:

- Senaryo 1: 2012-2030 yılları arasındaki dönemde GSYİH'nın ortalama büyüme hızının %4, nüfus artış hızı %0.5, ithalat artış hızı %2.5 ve ihracatın büyüme oranı %3 olarak gerçekleşti.
- Senaryo 2: 2012-2030 yılları arasındaki dönemde GSYİH'nın ortalama büyüme hızının %5, nüfus artış hızı %0.6, ithalat artış hızı %3.5 ve ihracatın büyüme oranı %3.5 olarak gerçekleşti.
- Senaryo 3: 2012-2030 yılları arasındaki dönemde GSYİH'nın ortalama büyüme hızının %6, nüfus artış hızı %0.6, ithalat artış hızı %3 ve ihracatın büyüme oranı % 3 olarak gerçekleşti.

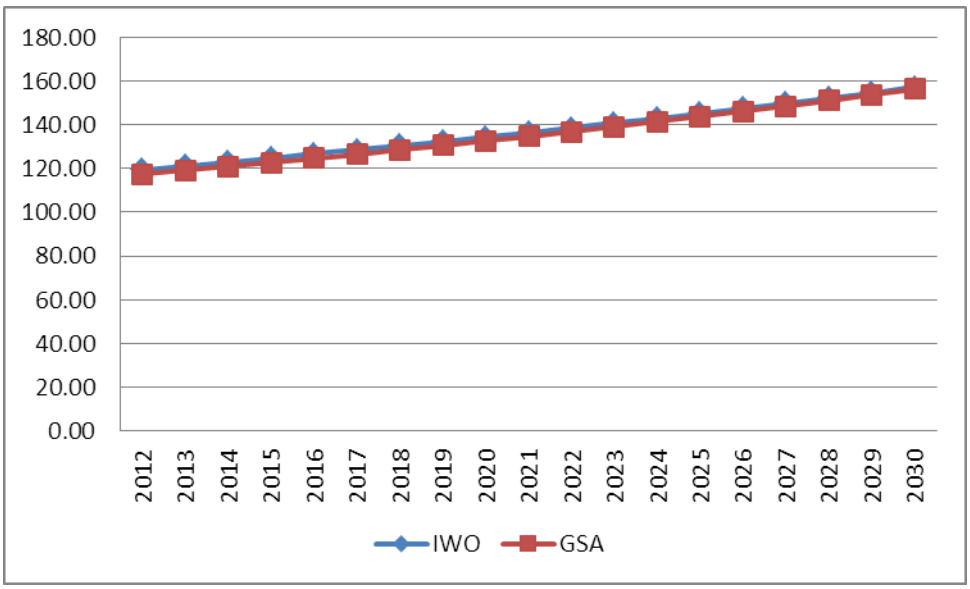
IWO ve GSA metotlarının her ikisi için de verilen senaryolardan elde edilen katsayılar kullanarak, 2012-2030 yılları arasındaki lineer form için enerji talep tahmin değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5'te IWO ve GSA'nın üç farklı senaryo altında gelecek yıllara ilişkin sonuçları gösterilmiştir. Gelecekteki enerji talebinin tahmini için önerilen bu üç senaryo kullanılarak elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Fakat senaryo 1 ve 2'de IWO yöntemi GSA'ya nazaran daha yüksek tahmin sonuçları elde ederken, senaryo 3'te GSA daha yüksek enerji talep sonuçları üretmiştir. Son olarak, elde edilen sonuçlara göre Türkiye'nin her gelen yıl için enerji talebinin artacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca önerilen metotlar için senaryo 1, 2 ve 3'e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonları Şekil 5, 6 ve 7'de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 5. Önerilen metotlar için Senaryo 1, 2 ve 3'e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonu

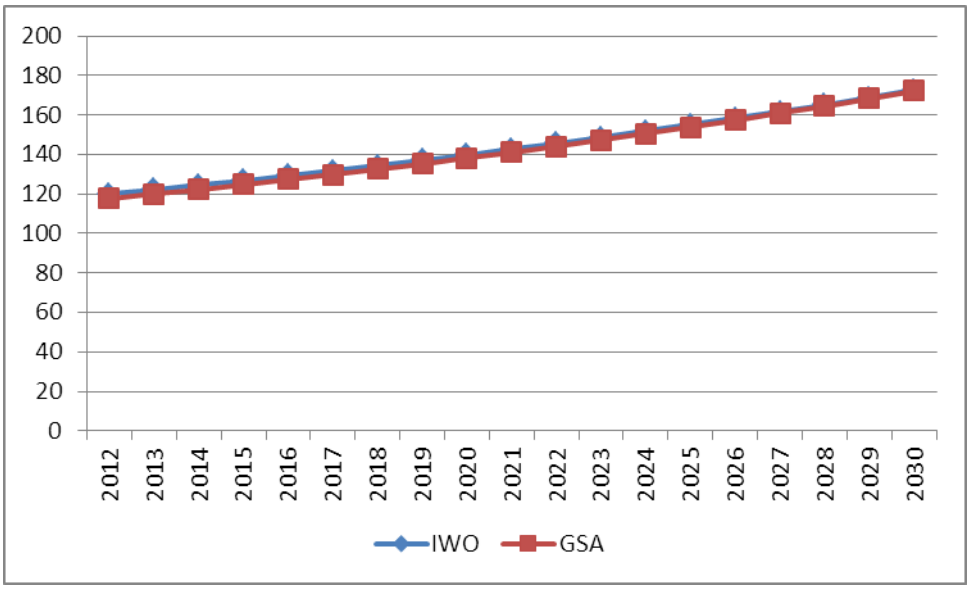
Table 5. *For the proposed methods, according to Scenarios 1, 2 and 3, the future projection of the total energy demand*

Yıl	Gözlemlenen enerji talebi	Senaryo 1		Senaryo 2		Senaryo 3	
		IWO	GSA	IWO	GSA	IWO	GSA
2012	120,09	119,40	117,25	119,8973	117,7446	119,7452	117,858
2013	120,29	121,13	119,01	122,1505	120,0239	121,8384	120,2663
2014	123,94	122,90	120,80	124,468	122,3725	123,9875	122,7606
2015	129,27	124,70	122,64	126,852	124,7932	126,1948	125,3456
2016	N/A	126,55	124,52	129,3049	127,2892	128,4624	128,0259
2017	N/A	128,43	126,45	131,8293	129,8638	130,7925	130,8067
2018	N/A	130,36	128,41	134,4277	132,5203	133,1875	133,6932
2019	N/A	132,32	130,43	137,1027	135,2624	135,6499	136,6912
2020	N/A	134,33	132,50	139,8573	138,0938	138,1823	139,8065
2021	N/A	136,39	134,61	142,6943	141,0185	140,7874	143,0456
2022	N/A	138,49	136,78	145,6167	144,0404	143,468	146,415
2023	N/A	140,64	139,00	148,6275	147,164	146,227	149,9219
2024	N/A	142,83	141,27	151,7302	150,3937	149,0675	153,5737
2025	N/A	145,08	143,61	154,9279	153,7342	151,9927	157,3784
2026	N/A	147,37	146,00	158,2243	157,1905	155,0061	161,3442
2027	N/A	149,72	148,45	161,623	160,7678	158,111	165,4801
2028	N/A	152,13	150,97	165,1277	164,4713	161,3114	169,7954
2029	N/A	154,58	153,55	168,7423	168,3069	164,6109	174,3
2030	N/A	157,10	156,21	172,4711	172,2804	168,0136	179,0044

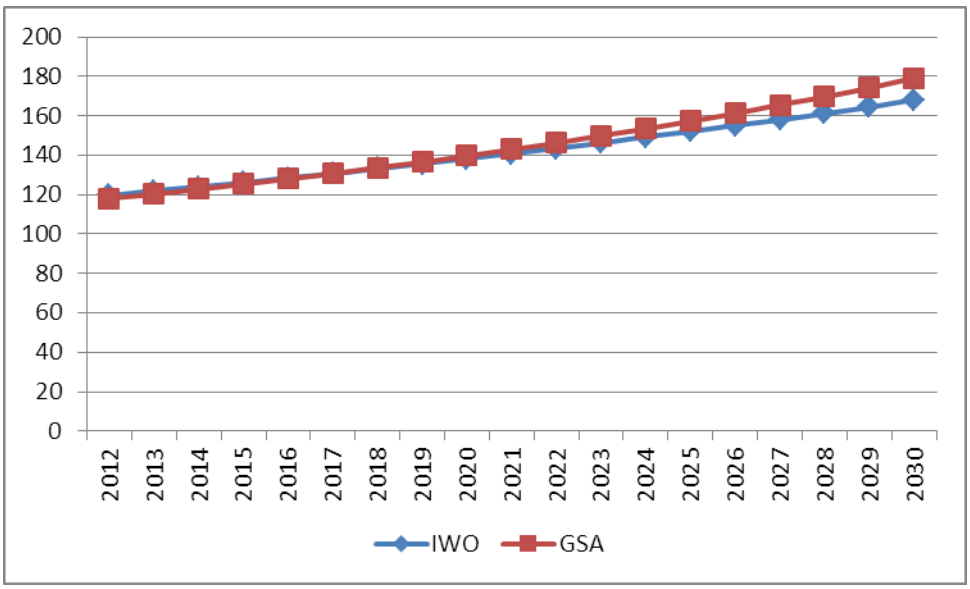


Şekil 5. Senaryo 1'e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonu

Figure 5. *Future projections of total energy demand according to Scenario 1*



Şekil 6. Senaryo 2'ye göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonu
Figure 6. *Future projections of total energy demand according to Scenario 2*



Şekil 7. Senaryo 3'e göre toplam enerji talebinin gelecek projeksiyonu
Figure 7. *Future projections of total energy demand according to Scenario 3*

SONUÇ (RESULTS)

Enerji talebi tahmini hem gelişmekte olan ülkeler hem de gelişmiş ülkeler için ekonomi ve ülke kaynakları bakımından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'de uzun vadeli enerji talebinin tahmininde IWO ve GSA kullanılmıştır. Türkiye'de bazı ekonomik göstergelerin artışı ile enerji tüketimindeki artış arasındaki korelasyon göz önüne alınarak enerji talep tahminini gerçekleştirmek için bu çalışmada lineer form kullanılmıştır. Türkiye'nin uzun vadeli enerji talebi 2012'den 2030'a, IWO ve GSA yöntemleri ile 3 farklı senaryo altında Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYİH), ithalat, ihracat ve nüfus göstergeleri kullanılarak tahmin edilmiştir. IWO ve GSA yöntemlerinin enerji talebi sorununa yönelik başarısını kanıtlamak için IWO ve GSA yöntemi literatürde bulunan diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen IWO yönteminin diğer yöntemlerden daha başarılı olduğunu göstermiştir. Fakat 1979

ve 2011 yılları arasındaki veriler kullanılarak yapılan tahmin modeli sonuçlarına göre ise GSA, IWO ile karşılaştırılmış ve GSA daha düşük hata değeri elde ederek daha iyi bir performans yakalamıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Beskirli M., Hakli H., Kodaz H., 2017, "The Energy Demand Estimation for Turkey using Differential Evolution Algorithm", *Sādhanā*, pp. 1-11.

Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Baskan, O., 2008, "Transport Energy Modeling with Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, an application to Turkey", *Energy Policy*, Vol. 36(7), pp. 2527-2535.

Dilaver, Z., Hunt, L. C., 2011, "Industrial Electricity Demand for Turkey: A Structural Time Series Analysis", *Energy Economics*, Vol. 33(3), pp. 426-436.

Ediger, V. Ş., Akar, S., 2007, "ARIMA Forecasting of Primary Energy Demand by fuel in Turkey", *Energy Policy*, Vol. 35(3), pp. 1701-1708.

Ediger, V. Ş., Tatlıdil, H., 2002, "Forecasting The Primary Energy Demand in Turkey and Analysis of Cyclic Patterns", *Energy Conversion and Management*, Vol. 43(4), pp. 473-487.

Erdogdu, E., 2007, "Electricity Demand Analysis using Cointegration and ARIMA Modelling: A case Study of Turkey", *Energy Policy*, Vol. 35(2), pp. 1129-1146.

Güneş, G., Aslan, E. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı Ve Sürdürülebilir Turizme Olan Etkileri-Türkiye Örneği"

Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., Özşahin, T. Ş., 2011, "Modeling and Forecasting of Turkey's Energy Consumption Using Socio-Economic and Demographic Variables", *Applied Energy*, Vol. 88(5), pp. 1927-1939.

Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M., Paksoy, T., 2012a, "A Novel Hybrid Approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to Forecast Energy Demand of Turkey", *Energy Conversion and Management*, Vol. 53(1), pp. 75-83.

Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M., Paksoy, T., 2012b, "Swarm Intelligence Approaches to Estimate Electricity Energy Demand in Turkey", *Knowledge-Based Systems*, Vol. 36, pp. 93-103.

Mahmutoğlu, M., Öztürk, F., 2015, "Türkiye Elektrik Tüketimi Öngörüsü ve Bu Kapsamda Geliştirilebilecek Politika Önerileri", *Paper presented at the EY International Congress on Economics II (EYC2015*), November 5-6, 2015, Ankara, Turkey.

Mehrabian, A. R., Lucas, C., 2006, "A Novel Numerical Optimization Algorithm Inspired from Weed Colonization", Ecological Informatics, Vol. 1(4), pp. 355-366.

Oğurlu, H., 2011, *Matematiksel Modelleme Kullanarak Türkiye'nin Uzun Dönem Elektrik Yük Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Ozturk, H. K., Ceylan, H., Canyurt, O. E., Hepbasli, A., 2005, "Electricity Estimation Using Genetic Algorithm Approach: a Case Study of Turkey", *Energy*, Vol. 30(7), pp. 1003-1012.

Pourjafari, E., Mojallali, H. 2012 "Solving Nonlinear Equation Systems with a New Approach Based on Invasive Weed Optimization Algorithm and Clustering", *Swarm and Evolutionary Computation*, Vol. 4, pp. 33-43.

Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., Saryazdi, S., 2009, GSA: "A Gravitational Search Algorithm", *Information Sciences*, Vol. 179(13), pp. 2232-2248.

Sözen, A., Arcaklioğlu, E., Özkaymak, M., 2005, "Turkey's Net Energy Consumption", *Applied Energy*, Vol. 81(2), pp. 209-221.

Tiris, M., 2005, "Global Trends for Energy", *Paper presented at the Turkish Workshop on Sustainable Development: Meeting the Challenges*, JuØlich.

Toksarı, M. D., 2007, "Ant Colony Optimization Approach to Estimate Energy Demand of Turkey", *Energy Policy*, Vol. 35(8), pp. 3984-3990.

Uguz, H., Hakli, H., Baykan, Ö. K., 2015, "A New Algorithm Based on Artificial Bee Colony Algorithm for Energy Demand Forecasting in Turkey", *Paper presented at the Advanced Computer Science*

Applications and Technologies (ACSAT), 2015 4th International Conference on.

Ünler, A., 2008, "Improvement of Energy Demand Forecasts using Swarm Intelligence: The case of Turkey with Projections to 2025", *Energy Policy*, Vol. 36(6), pp. 1937-1944.

WECTNC., 2013, *World Energy Council,* Ankara (in Turkish), ISSN: 1301-63182014, Energy Report.

WECTNC., 2014, *World Energy Council,* Ankara (in Turkish), ISSN: 1301-63182015, Energy Report.

Yumurtaci, Z., Asmaz, E. 2004, "Electric Energy Demand of Turkey for the Year 2050", *Energy Sources*, Vol. 26(12), pp. 1157-1164.