

## Türkiye'nin Enerji Talebi Tahmin Probleminin Çözümünde Regresyon Yöntemlerine Dayalı Yaklaşımlar

Seyit Alperen ÇELTEK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman,  
Türkiye.

\*<sup>1</sup> salperencelteck@kmu.edu.tr

(Geliş/Received: 24/01/2024;

Kabul/Accepted: 13/05/2024)

**Öz:** Günümüzde enerji talebi ve bu talebin gelecekteki tahmini, sürdürülebilir enerji politikaları oluşturmak ve enerji kaynaklarının etkin kullanımını sağlamak için hayati bir öneme sahiptir. Bu çalışmada Türkiye'nin 1979-2020 yılları arasında gözlemlenen enerji talebi, nüfus, gayri safi yurt içi hasıla, ihracat ve ithalat verileri kullanılarak enerji talep tahmin modelleri oluşturulmuştur. Enerji talep tahmini modellerini oluşturmak için çoklu regresyon ve polinom regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın temel hedefi, literatürde bulunan yöntemlere kıyasla doğruluk oranı daha fazla olan bir talep tahmin modeli sunmaktır. Çalışmanın başlıca bulguları, çoklu regresyonun enerji talep tahmininde literatürdeki çalışmaların sonucu yakaladığını ve etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Ayrıca, polinom regresyon tabanlı yaklaşımla literatürdeki sonuçlar yaklaşık %4 oranında iyileştirilmiş ve güvenli bir tahmin modeli literatüre sunulmuştur. Ayrıca, elde edilen tahmin modeli kullanılarak Türkiye'nin 2021-2050 arasındaki enerji talebi tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, belirtilen dönemde enerji talebinin önemli ölçüde artacağını ortaya koymaktadır. 2021-2050 yılları arası enerji talebi artış oranının, geçmiş yıllara benzerlik göstermesi, regresyon tabanlı yöntemin güvenilirliğini desteklemektedir. Bu çalışma, enerji planlaması ve politika oluşturmadaki karar alıcılar için önemli bir referans kaynağı olabilir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji talep tahmini, regresyon yöntemleri, polinom regresyon.

## Approaches Based on Regression Methods in Solving Turkey's Energy Demand Forecasting Problem

**Abstract:** Today's energy demand and the future prediction of this demand are of vital importance to create sustainable energy policies and ensure the effective use of energy resources. In this study, energy demand forecast models were created using Turkey's observed energy demand, population, gross domestic product, export and import data between 1979 and 2020. Multiple regression and polynomial regression methods were used to create energy demand forecast models. The main goal of the study is to present a demand forecasting model with a higher accuracy rate compared to the methods found in the literature. The main findings of the study show that multiple regression captures the results of studies in the literature and is an effective tool in energy demand forecasting. In addition, with the polynomial regression-based approach, the results in the literature were improved by approximately 4% and a reliable prediction model was presented to the literature. Additionally, Turkey's energy demand between 2021-2050 was estimated using the resulting forecast model. The results obtained reveal that energy demand will increase significantly in the specified period. The fact that the energy demand increase rate between 2021 and 2050 is similar to previous years supports the reliability of the regression-based method. This study can be an important reference source for decision makers in energy planning and policy making.

**Key words:** Energy demand forecasting, regression methods, polynomial regression.

### 1. Giriş

Enerji, modern yaşam standardının temelini oluşturur, toplumların gelişebilmesi için vazgeçilmez bir unsurdur. Bir ülkenin kalkınmasında ve dolayısı ile toplumsal refah seviyesinin yükseltilmesinde kritik bir role sahiptir [1]. Enerji, birçok yönüyle yaşamımızı etkiler ve gelişen toplumlarda daha iyi bir yaşam standardı sağlamak için kilit bir rol oynar. Günümüzde enerji kaynağına sahip olmanın ve enerjiyi kontrol etmenin, siyasi, ekonomik ve askeri anlamda önemi büyüktür [2]. Son yıllarda Rusya, Suriye, Irak gibi enerji kaynaklarına sahip olan ülkelerin kaos durumunda olması, pandemide yaşanan ekonomik durgunluktan sonra dünya ekonomisinin gelişmesi ve modernleşmenin ilerlemesi ile birlikte küresel enerji arzı ve enerji talebi arasında bir dengesizlik ortaya çıkmıştır [3-4]. Enerji kaynaklarının bulunduğu bölgelerdeki kaotik durumlar, küresel enerji arzına büyük zorluklar getirmektedir. Bu durum, enerji arzındaki istikrarsızlık ve güvenlik endişeleriyle sonuçlanabilir. Aynı zamanda, hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve sosyo-ekonomik gelişme, enerji talebinin artmasına neden olarak enerji birim fiyatlarını yükseltmektedir [5]. Dünya genelindeki enerji tüketimi, özellikle fosil yakıtların kullanımı, çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik endişeleri gibi faktörler, enerji maliyetinin şekillenmesinde önemli bir rol

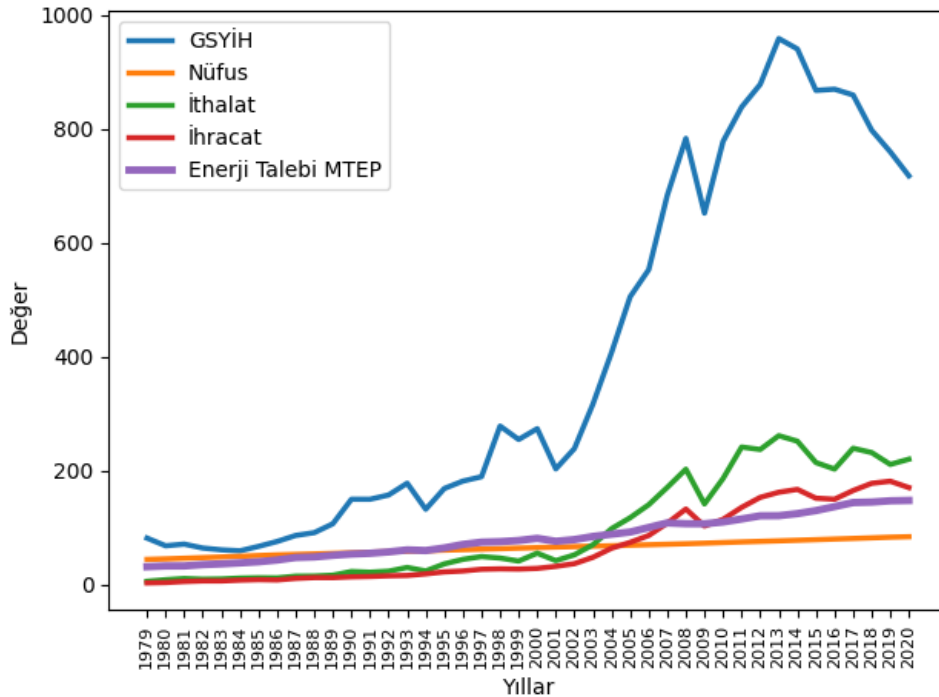
\* Sorumlu yazar: [salperencelteck@kmu.edu.tr](mailto:salperencelteck@kmu.edu.tr), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7097-2521>

oynamaktadır [6]. Enerji birim maliyetinin değişkenlik göstermesi, küresel enerji piyasasının dengesini etkilemektedir. Enerji maliyetlerindeki istikrarsızlık, işletmelerin enerji giderlerinin önceden tahmin edilmesini zorlaştırır. Enerji şirketleri, dalgalanan maliyetler nedeniyle gelecekteki projelerin finansmanını ve karlılığını öngörmekte zorlanır, enerji sektöründeki yatırımlar aksayabilir. İşletmeler ve endüstriler, istikrarsız enerji birim maliyetleri nedeniyle rekabet güçlerini kaybedebilirler [7].

Enerji fiyatlandırmasındaki istenmeyen dalgalanmanın önüne geçmenin yollarından biri de enerji planlamasıdır. Enerji planlaması, bir bölgenin enerji ihtiyaçlarını belirleme, enerji kaynaklarını yönetme ve sürdürülebilir enerji politikalarını geliştirme sürecidir. İstikrarlı bir enerji sektörü oluşturmak için üretilen enerji ile tüketilen enerjinin dengede kalmasını sağlamak [8], enerji talebi, enerji arzı, enerji iletimi, enerji dağıtımı ve enerji fiyatlandırmasına yönelik planlama yapmak gereklidir [9].

Enerji planlaması, ülkelerin gelecekteki enerji talebi artışını dikkate alarak yatırım planları yapmalarını ve bu doğrultuda bütçelerini ayarlamalarını gerektirir [10]. Enerji planlamasının önemli bileşenlerinden biri de enerji talep tahminidir. Enerji talep tahmini, belirli bir zaman aralığında bir bölge veya ülkedeki enerji tüketimini öngörme sürecini ifade etmektedir. Enerji talep tahmini, enerji planlaması, kaynak yönetimi, altyapı geliştirme ve talep karşılamak için gerekli önlemleri almak gibi stratejik kararlar için önemli bir temel oluşturur. Enerji talep tahmini, bir ülkeyi yönetenler için önemli politika araçlarından biridir [11]. Güvenilir enerji talep tahmini, enerji arzının planlanmasını ve talebi karşılamak için gerekli kaynakların tahsis edilmesini kolaylaştırır.

Literatür gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), nüfus, ihracat ve ithalat gibi makro ekonomik faktörlerin enerji talebini etkilediğini vurgulamaktadır [12-15]. Asya ülkelerinde yapılan bir çalışma ile GSYİH ile enerji talebi arasında pozitif korelasyon olduğu, ekonomik büyüme ile enerji kullanımı arasındaki sıkı bir bağ olduğu iddia edilmiştir. Yapılan bu çalışmaya göre ile ülkelerin GSYİH'sindeki artış, endüstriyel üretimi ve hane halkı gelirini yükselterek enerji talebini artırmaktadır [16]. Yapılan başka bir çalışma ile nüfus artışının enerji talebinde bir artışa yol açacağı, enerji altyapısının genişletilmesi gerektiği ve artan enerji taleplerini karşılamak üzere yeni enerji üretim stratejilerine ihtiyaç duyacağı vurgulanmıştır [17]. Enerji talebini etkileyen diğer önemli kritik faktör ise dış ticaret dengesidir. İhracat ve ithalatın enerji talebini etkilediği birçok çalışmada raporlanmıştır [18-21]. Şekil 1'de ülkemizin enerji talebi ve nüfus, ithalat, ihracat ve GSYİH gibi makroekonomik parametrelerin yıllar içindeki artışı görsel olarak gösterilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) 1979-2020).



Şekil 1. 1979-2020 yılları arasındaki ekonomik parametreler ve enerji ihtiyacındaki artış.

Literatürde enerji talep belirleme konusunda Şekil 1'de verilen makroekonomik verilerin kullanımına sıkça başvurulmuş ve enerji talep problemini çözmek için literatürde birçok farklı yöntem önerilmiştir. Yapılan bir çalışma da Türkiye'nin enerji talebi tahmini ağaç tohumu algoritması ve modifiye ağaç tohumu algoritması

kullanılarak lineer formda belirlenmeye çalışılmıştır [22]. Başka bir çalışma da ise Türkiye'nin enerji tüketimini tahmin etmek için modifiye edilmiş yapay arı kolonisi algoritması tabanlı bir teknik uygulanmıştır. Modifiye edilmiş yapay arı kolonisi algoritması ile enerji talebinin gerçekçi değerlere yakın ve doğru tahmin edilerek ülkelerin geleceğine yönelik planlama ve önceliklerin belirlenmesine katkı sağlaması konusunda potansiyeli vurgulanmıştır [23]. Türkiye'nin ulaşım alanındaki enerji talebi ise modifiye edilmiş yapay arı kolonisi kullanılarak başarılı bir şekilde tespit edilmiştir [24]. Başka bir çalışmada ise Türkiye'nin doğalgaz enerji ihtiyacına yönelik bir çalışma yapılmış ve bu ihtiyaç meta sezgisel algoritmalar ile tespit edilmeye çalışılmıştır [25].

Özetlemek gerekirse, günümüzde enerji talep tahmini, sürdürülebilir enerji yönetimi ve kaynak planlaması için kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, bu çalışma, regresyon tabanlı yaklaşım kullanılarak enerji talep tahmini problemini ele almaktadır. Gelişmiş istatistiksel bir teknik olan regresyon, değişkenler arasındaki ilişkiyi anlamak ve gelecekteki değerleri tahmin etmek için kullanılan bir matematiksel modelleme yöntemidir [26-27]. Bu çalışma, enerji sektöründe daha doğru tahminler elde etmek için regresyonun potansiyelini ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Böylece enerji yönetimi uygulamalarında daha etkili kararlar alınabilir ve enerji kaynakları daha verimli bir şekilde kullanılabilir.

Bu çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) 1979–2020 yılları arasına ait gözlemlenen enerji talebi, nüfus, gayri safi yurt içi hasıla, ihracat ve ithalat verileri kullanılarak enerji talep tahmin modeli oluşturulmuştur. Regresyon kullanılarak oluşturulan tahmin modelleri, literatürde sık kullanılan yöntemler ile karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca 2024-2030 yılları arasındaki enerji talebine yönelik projeksiyonlar yapılmıştır ve elde edilen sonuçların hepsi literatürle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın ana hatları şu şekildedir; Bölüm 2'de bu çalışmada kullanılan regresyon yöntemi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bölüm 3'te, enerji talep tahmin problemi matematiksel olarak açıklanmıştır. Önerilen regresyon modelinin performansını değerlendirmek için izlenen deneysel çerçeve Bölüm 4'te verilmektedir. Bu çalışma, Bölüm 5'te tartışma ve geleceğe yönelik öneriler ile sonlandırılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, bir veya daha fazla bağımsız değişkenin, bir bağımlı değişken üzerindeki etkisini inceleyen istatistiksel bir yöntemdir [28]. Değişkenler arasındaki ilişkiyi modellemek ve gelecekteki değerleri tahmin etmek amacıyla kullanılır [29]. Temelde, regresyon analizi, veriler arasındaki örüntüyü anlamak ve bu örüntüyü kullanarak bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek için matematiksel bir model oluşturur. Lineer regresyon durumu Denklem 1'deki gibi ifade edilebilir.

$$Y = a_0 + a_1X \quad (1)$$

Denklem 1'de,  $Y$ : bağımlı değişkeni,  $X$ : bağımsız değişkeni,  $a_0$ : doğrunun y-eksenini kestiği kesişim noktasını,  $a_1$  ise bağımsız değişkenin katsayısını yani doğrunun eğimini temsil etmektedir. Birden fazla bağımsız değişken olduğunda, çoklu doğrusal regresyon durumunda, Denklem 2'deki gibi genişletilebilir.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n \quad (2)$$

Denklem 2, regresyon analizinde kullanılan matematiksel temsilin genel formülünü sağlar. Burada  $n$ : bağımsız değişken sayısını,  $X_n$ :  $n$ . bağımsız değişkeni,  $a_n$ :  $n$ . bağımsız değişkenin katsayısını ifade etmektedir. Değişkenler arası örüntünün doğrusal olmadığı durumları ifade edebilmek için bağımsız değişkenlerin üst dereceli terimleri de kullanılarak polinom regresyon yöntemi oluşturulur. İkinci dereceden bir polinom regresyonu örneği Denklem 3'te verilmiştir.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2 \quad (3)$$

Regresyon analizi, bilim, mühendislik, ekonomi ve sosyal bilimler gibi birçok disiplinde yaygın olarak kullanılmaktadır [30-32]. Regresyon analizi hakkında daha detaylı bilgi için [33, 34] yayına göz atılabilir.

### 3. Enerji Talep Tahmin Problemi

Bu bölümde bu çalışmanın odak noktası olan enerji talep tahmin problemi açıklanmıştır. Türkiye'nin sosyal ve ekonomik büyümesinin bir yansıması olarak enerji talebinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, enerji planlaması ve kaynak yönetimi açısından kritiktir.

Bu çalışma, Türkiye'nin uzun vadeli enerji talebini öngörmek için regresyon tabanlı bir yaklaşım önermektedir. Bu çalışmada, lineer ve kuadratik olmak üzere iki farklı matematiksel model kullanarak enerji talep tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin girdi verileri olarak, bir ülkenin enerji ihtiyacının belirlenmesinde sıkça kullanılan nüfus, GSYİH, ihracat ve ithalat parametreleri kullanılmıştır.

Adil bir karşılaştırma yapmak için bu çalışma da literatürde verilen ekonomik veriler kullanılmıştır [35]. Kullanılan parametre değerlerine Tablo 1'de yer verilmiştir. Tablo 1, Belirtilen yıllar içerisinde GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat ve enerji ihtiyaç değerini göstermektedir. 1979-2020 yılları arasındaki verilere göre uygulama yapılmıştır.

Bu çalışmada, ilk olarak, regresyon yöntemleri Tablo 1'de verilen veriler arasındaki ilişkiyi inceleyerek, kullanılan makroekonomik parametrelerin enerji talep tahminine etkisini bir lineer bir denklem şeklinde ifade etmek için çalıştırılmıştır. Dört değişkenli lineer fonksiyonun matematiksel formunu, Denklem 4'teki gibi ifade etmek mümkündür;

$$E_l = a_1 + a_2X_1 + a_3X_2 + a_4X_3 + a_5X_4 \quad (4)$$

Ancak, verilerin lineer olmayan bir ilişki içermesi durumunda, Denklem 4'te verilen lineer fonksiyon veri setini temsil etme konusunda yetersiz kalmaktadır ve daha karmaşık matematiksel teknikler kullanılması gerekmektedir. İkinci dereceden denklem için ise, aynı parametrelerle enerji talebi arasındaki ilişkiyi daha karmaşık bir şekilde modellemek amacıyla kuadratik denklem kullanılmıştır. Dört değişken için kuadratik form denklemi ise Denklem 5 şeklinde ifade edilebilir.

$$E_{id} = a_1 + a_2X_1 + a_3X_2 + a_4X_3 + a_5X_4 + a_6X_1X_2 + a_7X_1X_3 + a_8X_1X_4 + a_9X_2X_3 + a_{10}X_2X_4 + a_{11}X_3X_4 + a_{12}x_1^2 + a_{13}x_2^2 + a_{14}x_3^2 + a_{15}x_4^2 E_{id} \quad (5)$$

Denklem 4 ve Denklem 5'teki  $X_{1,2,3,4}$  değerleri sırasıyla GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat değerlerini temsil etmektedir. Bu iki denklem ile Türkiye'nin enerji talebinin ekonomik parametreler ile ilişkisinin matematiksel olarak ifade edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Denklem 4 ve Denklem 5'teki ağırlıklar ( $a_{1,2,\dots,15}$ ) için uygun değerlerin bulunması gerekmektedir. Denklem 4 ve Denklem 5'te verilen  $a_1$  değişkeni bağımsız değişken diğer tüm değişkenler ise ( $a_{2,3,\dots,15}$ ) bağımlı değişken olup, yanında bulunduğu verinin ağırlığını temsil etmektedir.

Denklem 4 ve 5'teki katsayıları belirlemek için, Denklem 6'da tanımlanan *Fark* fonksiyonu kullanılmıştır. *Fark* fonksiyonu enerji talebinin gerçek değerleri ile hesaplanan enerji talebi değerleri arasındaki farkın karesinin toplamını hesaplar. *Fark* fonksiyonu, gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki farkı minimize etmek için kullanılmaktadır.

$$Fark = \sum_{y=1}^Y (Enerji Talebi_y - Hesaplanan Enerji Talebi_y)^2 \quad (6)$$

Denklem 6'da  $Y$ , verisi alınan yılları sembolize etmek için kullanılır. *Enerji Talebi<sub>y</sub>*, Tablo 1'de verilen  $y$ . yıldaki Enerji Talep değerini, *Hesaplanan Enerji Talebi<sub>y</sub>* ise Denklem 4 ve Denklem 5 ile elde edilen denklemlerin sonucunu temsil etmektedir.

**Tablo 1.** 1979-2020 yılları arasındaki makro-ekonomik parametreler ve enerji ihtiyacı verileri.

Yıl	GSYİH \$ 10 <sup>9</sup>	Nüfus 10 <sup>6</sup>	İthalat \$ 10 <sup>9</sup>	İhracat \$ 10 <sup>9</sup>	Enerji Talebi MTEP
1979	80,97	43,53	5,07	2,26	30,71
1980	67,46	44,44	7,91	2,91	31,97
1981	70,40	45,54	9,93	4,70	32,05
1982	63,50	46,69	8,84	5,75	34,39
1983	60,36	47,86	9,24	5,73	35,70
1984	58,64	49,07	10,76	7,12	37,43
1985	66,41	50,31	11,34	7,95	39,40
1986	75,04	51,48	11,10	7,46	42,47
1987	85,62	52,37	14,16	10,19	46,88
1988	90,51	53,27	14,34	11,66	47,91
1989	106,11	54,19	15,79	11,62	50,71
1990	149,19	55,12	22,30	12,96	52,98
1991	149,16	56,06	21,05	13,59	54,27
1992	156,66	56,99	22,87	14,72	56,68
1993	177,33	57,91	29,43	15,35	60,26
1994	131,64	58,84	23,27	18,11	59,12
1995	168,08	59,76	35,71	21,64	63,68
1996	181,08	60,67	43,63	23,22	69,86
1997	188,73	61,58	48,56	26,26	73,78
1998	277,67	62,46	45,92	26,97	74,71
1999	254,12	63,36	40,67	26,59	76,77
2000	273,09	64,27	54,50	27,78	80,50
2001	202,50	65,17	41,40	31,33	75,40
2002	238,15	66,00	51,55	36,06	78,33
2003	316,56	66,80	69,34	47,25	83,84
2004	407,02	67,60	97,54	63,17	87,82
2005	504,75	68,44	116,77	73,48	91,58
2006	552,37	69,30	139,58	85,54	99,59
2007	683,02	70,16	170,06	107,27	107,63
2008	782,86	71,05	201,96	132,03	106,27
2009	651,54	72,04	140,93	102,14	106,14
2010	777,46	73,14	185,54	113,88	109,27
2011	837,92	74,22	240,84	134,91	114,48
2012	877,68	75,18	236,55	152,46	120,09
2013	958,13	76,15	260,82	161,48	120,29
2014	939,92	77,18	251,14	166,51	123,94
2015	867,07	78,22	213,62	150,98	129,30
2016	869,24	79,28	202,19	149,25	136,20
2017	859,06	80,31	238,72	164,50	143,40
2018	797,12	81,41	231,15	177,17	144,20
2019	759,29	82,58	210,35	180,83	146,50
2020	717,09	83,39	219,52	169,64	147,11

## 4. Simülasyon ve Sonuçlar

### 4.1. Optimizasyon Prosedürü

Bu çalışmada kullanılan regresyon yöntemi tabanlı yazılım, Python dilinde yazılmıştır. Yapılan yazılım JetBrains şirketi tarafından geliştirilen bir Python IDE (Integrated Development Environment) olan PyCharm'de çalıştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan bütün simülasyonlar, Windows 10 işlemci, I7 7500U Intel 2.7 GHz işlemci ve 16 GB RAM kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1. Regresyon Tabanlı ile Enerji Talep Tahmini Optimizasyonu

Bu çalışmada ilk olarak Denklem 4'te verilen lineer denklemi çözmek için çoklu regresyon, Denklem 5'te verilen ikinci dereceden denklemi çözmek için polinom regresyon yöntemi kullanılmıştır. Önerilen regresyon tabanlı yöntem, Denklem 4'te verilen parametrelerin ağırlıklarının tahmin etmek için çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak oluşturulan eşitlik Denklem 7'deki gibidir;

$$E_t = -69,5712 + 0,0029 X_1 + 2,1908 X_2 + (-0,0790) X_3 + 0,2802 X_4 \quad (7)$$

Bu çalışmada önerilen regresyon tabanlı yönteminin performansını değerlendirmek için literatürde kullanılan Arşimet optimizasyon algoritması (AOA) ve Geliştirilmiş Arşimet optimizasyon algoritması (IAOA) ile karşılaştırma yapılmıştır [35] (Tablo 2). Arşimet Optimizasyon Algoritması (AOA), Arşimet prensibine dayanan ve doğal olaylardan ilham alan bir optimizasyon algoritmasıdır [36, 37]. Arşimet prensibi, bir nesnenin sıvı içinde yüzerken aldığı kaldırma kuvvetinin, nesnenin sıvı içinde itildiği kuvvetle eşit olduğunu belirtir. AOA'nın çalışma prensibi, bir problemi çözmek için potansiyel aday çözümleri oluşturmak ve bu çözümleri optimize etmek için bir dizi iterasyonel adımdan oluşur. Her iterasyonda, aday çözümler, bir merkez etrafında rastgele dağılmış olan kapalı bir bölgede yer alır. Bu bölge, çözüm alanının arama alanını temsil eder. AOA, her aday çözümün değerini hesaplar, ardından daha iyi çözümler elde etmek için bu adayları günceller [37]. Geliştirilmiş Arşimet Optimizasyon Algoritması (IAOA), Arşimet Optimizasyon Algoritmasının (AOA) performansını artırmak için önerilmiş bir gelişmiş versiyondur. IAOA, AOA'nın temel prensiplerine dayanırken, çeşitli geliştirmeler ve iyileştirmeler içerir [35].

Karşılaştırma için kullanılan algoritmaların tercih edilme sebepleri ise literatürde güncel verilerle (1979-2020) enerji talep tahmini problemini ele alan tek çalışma olmalarıdır [35].

**Tablo 2.** Çoklu Regresyon yönteminin katsayı sonuçları ve hata metriği karşılaştırması.

	<i>AOA</i>	<i>IAOA</i>	<i>Lineer Regresyon</i>
<i>Fark</i>	345,69	345,69	345,84
<i>Toplam Hata</i>	99,77	99,77	99,84
<i>a<sub>1</sub></i>	69,6122	69,6122	-69,5712
<i>a<sub>2</sub></i>	0,0030	0,0030	0,0029
<i>a<sub>3</sub></i>	2,1915	2,1915	2,1908
<i>a<sub>4</sub></i>	-0,794	-0,794	-0,0790
<i>a<sub>5</sub></i>	0,2804	0,2804	0,2802

Tablo 2'deki *a<sub>1</sub>*, *a<sub>2</sub>*, *a<sub>3</sub>*, *a<sub>4</sub>* ve *a<sub>5</sub>* parametreleri Denklem 7'deki katsayıları temsil etmektedir. Denklem 6'da verilen *Fark* ise algoritmalar tarafından hesaplanan değerle, gerçek verinin farkını sembolize etmektedir. Tablo 2'de verilen lineer denklem fark sonuçlarına bakıldığında AOA ve IAOA algoritmalarının 0,15 gibi küçük bir değerle (%0,0434 tekabül etmektedir) daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Toplam hata, tahminlerin gerçek değerlere olan toplam farkını ifade etmektedir. Toplam hata sonuçlarına bakıldığında ise yine %0,1'lik bir fark göze çarpmaktadır.

Literatüre bakıldığında enerji tahmin problemi sadece lineer olarak değil ayrıca ikinci dereceden denklem kullanılarak temsil edilmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada polinom regresyon kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak oluşturulan eşitlik Denklem 8'deki gibidir;

$$E_{id} = -32,9916 + (0,1527)X_1 + (0,9166)X_2 + (-0,8659)X_3 + (0,3824)X_4 + (0,00009)X_1X_2 + (-0,0020)X_1X_3 + (-0,0019)X_1X_4 + (0,0025)X_2X_3 + (0,0097)X_2X_4 + (0,0244)X_3X_4 + (-0,0198)x_1^2 + (0,0032)x_2^2 + (-0,0060)x_3^2 + (0,0018 - 03)x_4^2 \quad (8)$$

**Tablo 3.** Polinom regresyon yöntemin katsayı sonuçları ve hata metriği karşılaştırması.

	<i>AOA</i>	<i>IAOA</i>	<i>Polinom Regresyon</i>
<i>Fark</i>	118,83	115,78	109,52
<i>Toplam Hata</i>	50,45	50,26	49,51
<i>a<sub>1</sub></i>	-2,2577	-7,4041	-32,9916
<i>a<sub>2</sub></i>	0,0919	0,0038	0,1527
<i>a<sub>3</sub></i>	-0,2271	-0,0496	0,9166
<i>a<sub>4</sub></i>	0,1688	0,3541	-0,8659
<i>a<sub>5</sub></i>	-0,6658	-0,6000	0,3824
<i>a<sub>6</sub></i>	-0,0006	0,0005	0,00009
<i>a<sub>7</sub></i>	-0,0004	-0,0010	-0,0020
<i>a<sub>8</sub></i>	0,0019	0,0017	-0,0019
<i>a<sub>9</sub></i>	0,0051	0,0033	0,0025
<i>a<sub>10</sub></i>	-0,0014	-0,0029	0,0097
<i>a<sub>11</sub></i>	-0,0004	-0,0009	0,0244
<i>a<sub>12</sub></i>	-0,0001	-0,0000	-0,0198
<i>a<sub>13</sub></i>	-0,0204	0,0172	0,0032
<i>a<sub>14</sub></i>	-0,0004	0,0008	-0,0060
<i>a<sub>15</sub></i>	-0,0017	-0,0007	0,0018

Tablo 3, polinom regresyon sonuçlarına ve literatür karşılaştırmasına yer vermiştir. Karşılaştırma yapmak için kullanılan sezgisel tabanlı AOA ve IAOA algoritmaları problemleri çözmek için evrimsel hesaplama yöntemleri ile çözüm alanını tarayıp optimum çözümü bulmayı hedefler. Sezgisel yöntemler bazı durumlarda karmaşık problemler için uygun sonuçlar üretmekte sınırlı olabilirler. Çünkü sezgisel yöntemler kesin sonuçlar vaat etmezler ve kesin sonuçlar yerine yaklaşık çözümler sunarlar [38, 39]. Ancak regresyon modelleri, belirli bir bağımlı değişkenin bir veya daha fazla bağımsız değişkenle olan ilişkisini doğrudan modelleyerek sonuçlar elde eder. Regresyon modellerinin çalışma yapısı, ekonomik ve demografik değişkenler gibi karmaşık ilişkileri içeren enerji talep tahmini gibi durumlarda her bir değişkenin sonuca etkisini belirleme ve optimum katsayı çıkarımı yapmak için daha uygundur. Elde edilen sonuç, polinom regresyonun veri setindeki ilişkileri daha iyi yakalayabildiği ve daha doğru tahminlerde bulunduğu anlamına gelmektedir. Sonuçlara göre polinom regresyonun, IAOA ve AOA algoritmalarına kıyasla % 4'lük bir iyileşme sağlaması ve toplam hata sonuçlarındaki %2'lik iyileşme de bu çıkarımı desteklemektedir.

Çoklu regresyon modeli, bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi analiz ederken, polinom regresyon modeli, bağımsız değişkenler arasındaki daha karmaşık, ikinci dereceden bir ilişkiyi dikkate alır. Bu nedenle, polinom regresyon modeli, veri setindeki karmaşıklığı daha iyi yakalayabilir ve daha esnek bir şekilde uyum sağlayabilir. Bu çalışmada da polinom regresyon modeli çoklu regresyon modeline göre daha iyi performans göstermiştir. Çalışma sonuçları enerji talep veri setindeki ilişkilerin doğrusal olmadığını ve polinom regresyon modelinin bu karmaşıklığı daha iyi açıkladığını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, polinom regresyonunun literatürdeki 1979-2020 yılları arasındaki verileri kullanarak tahmin yapan benzer çalışmalara kıyasla daha iyi bir performans sergilediğini göstermektedir. Bu çalışmanın sonucu, polinom regresyonunun 1979-2020 yılları arasındaki makroekonomik veri seti için en uygun model olduğunu ve diğer yöntemlere göre daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısı ile polinom regresyonun sonuçları göz önüne alınarak ülkemizin önümüzdeki yıllar için (2024-2050) enerji tüketimi hesabı yapılmıştır. Literatürde enerji tüketimi için tanımlanan senaryolardan biri kullanılmıştır [35]. Kullanılan senaryoya ait bilgilere Tablo 4'te yer verilmiştir. Tablo 5'te ise 2021-2050 arası polinom regresyon sonuçları verilmiştir.

**Tablo 4.** Türkiye'nin 2021-2050 yılları arası makroekonomik verilerdeki değişimi.

	<i>GSYİH Artış Oranı</i>	<i>İhracat Artış Oranı</i>	<i>Nüfus Artış Oranı</i>	<i>İthalat Artış Oranı</i>
<i>Senaryo 1</i>	% 4	% 3	%0,5	%2,5

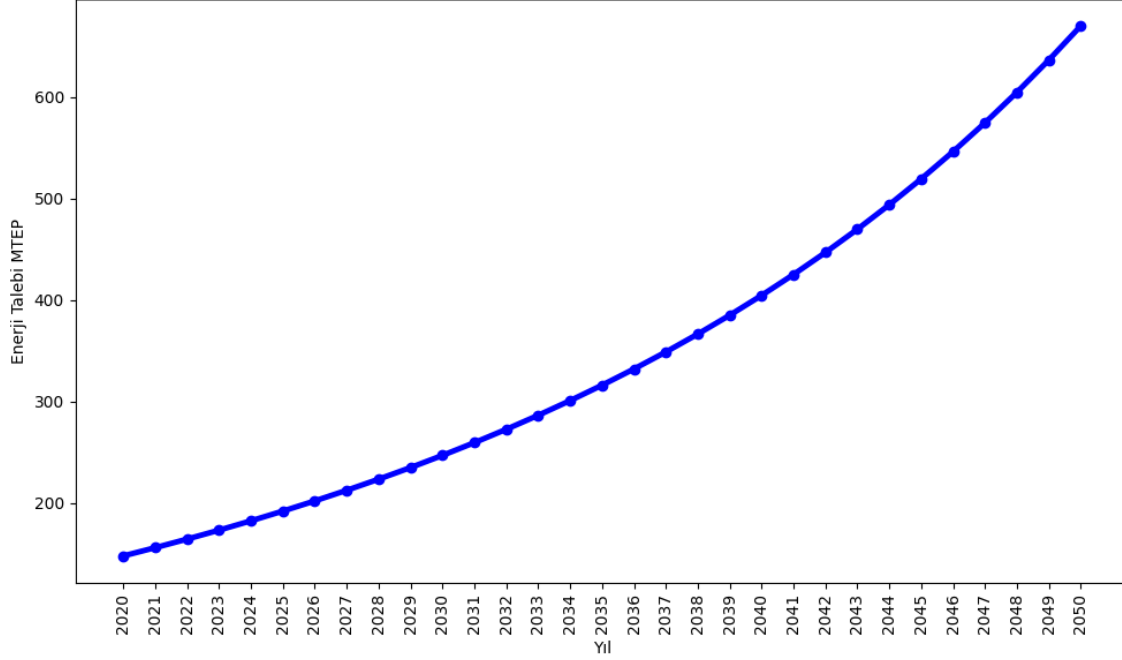
**Tablo 5.** Türkiye'nin 2021-2050 yıllarına yönelik enerji talep tahmin sonuçları.

Yıl	GSYİH \$ 10 <sup>9</sup>	Nüfus 10 <sup>6</sup>	İthalat \$ 10 <sup>9</sup>	İhracat \$ 10 <sup>9</sup>	Tahmini Enerji Talebi MTEP
2020	717,09	83,39	219,52	169,64	147,7291
2021	745,7736	85,8917	220,6176	173,881	155,8382
2022	775,6045	88,46845	221,7207	178,228	164,2882
2023	806,6287	91,1225	222,8293	182,6837	173,0982
2024	838,8939	93,85618	223,9434	187,2508	182,2887
2025	872,4496	96,67187	225,0632	191,9321	191,8814
2026	907,3476	99,57202	226,1885	196,7304	201,8995
2027	943,6415	102,5592	227,3194	201,6487	212,3679
2028	981,3872	105,636	228,456	206,6899	223,3132
2029	1020,643	108,805	229,5983	211,8571	234,7633
2030	1061,468	112,0692	230,7463	217,1535	246,7490
2031	1103,927	115,4313	231,9	222,5824	259,3024
2032	1148,084	118,8942	233,0595	228,1469	272,4578
2033	1194,008	122,461	234,2248	233,8506	286,2524
2034	1241,768	126,1349	235,3959	239,6969	300,7258
2035	1291,439	129,9189	236,5729	245,6893	315,9196
2036	1343,096	133,8165	237,7558	251,8315	331,8793
2037	1396,82	137,831	238,9446	258,1273	348,6530
2038	1452,693	141,9659	240,1393	264,5805	366,2921
2039	1510,8	146,2249	241,34	271,195	384,8517
2040	1571,232	150,6116	242,5467	277,9749	404,3907
2041	1634,082	155,13	243,7594	284,9243	424,9722
2042	1699,445	159,7839	244,9782	292,0474	446,6631
2043	1767,423	164,5774	246,2031	299,3486	469,5357
2044	1838,12	169,5147	247,4341	306,8323	493,6667
2045	1911,645	174,6001	248,6713	314,5031	519,1386
2046	1988,11	179,8381	249,9146	322,3657	546,0390
2047	2067,635	185,2333	251,1642	330,4248	574,4624
2048	2150,34	190,7903	252,42	338,6854	604,5090
2049	2236,354	196,514	253,6821	347,1526	636,2867
2050	2325,808	202,4094	254,9505	355,8314	669,9100

Tablo 5'teki Tahmini Enerji Talebi hariç tüm parametreler, Tablo 4'te verilen senaryodaki artışa göre hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere Denklem 4.2'de yerine konularak Tahmini Enerji Talebi hesaplanmıştır.



Şekil 2’de 2020-2050 yılları için polinom regresyon kullanılarak elde edilen enerji talep tahmini (MTEP) görsel olarak verilmiştir. Şekil 2’de gösterilen sonuca göre, otuz sene içinde enerji talebinde yaklaşık 5 kat artış gözlemlenmektedir. 1979-2020 yılları arasındaki artışın da hemen hemen benzer oranda olması elde edilen sonucu desteklemektedir. Elde edilen sonuçlar, enerji talebinde önemli bir artışın beklendiğini göstermektedir, ancak bu tahminlerin senaryo 1 sınırlamaları kapsamında elde edildiği unutulmamalıdır.



Şekil 2. 2020-2050 yılları için polinom regresyon kullanılarak elde edilen enerji talep tahmini (MTEP).

## 5. Tartışma ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışma, makroekonomik veriler ışığında enerji talep tahmini probleminin odaklanarak, regresyon tabanlı yöntemler uygulayarak çözümler aramıştır. Literatürdeki birçok çalışmanın aksine, literatürde bulunan en güncel verilerle (1979-2020) uygulama yapılmıştır. Çoklu regresyon ve polinom regresyon yöntemleri kullanılarak doğrusal ve ikinci dereceden denklemlerin katsayıları tespit edilmiştir. Çoklu regresyon yöntemi ile literatürdeki sonuçlara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Polinom regresyon yöntemi ile literatürdeki sonuçlar yaklaşık % 4 oranında iyileştirilmiş ve Türkiye’nin enerji tahmin talep problemi çözümüne doğruluk oranı daha fazla olan bir çözüm sunulmuştur.

Regresyon tabanlı modeller, doğrudan veriye dayalı matematiksel ilişkileri modellediği için, karmaşık ilişkileri daha doğru bir şekilde yakalayabilir ve tahminlerde daha doğru sonuçlar sağlayabilir. Regresyon analizi, belirli ekonomik, demografik ve enerji politikası değişkenlerinin enerji talebi üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirebilmektedir. Literatürdeki en güncel yöntemler olan AOA ve IAOA sonuçlarının % 4 oranında geliştirilmesi bu çıkarıma kanıt olarak verilebilir.

Bu çalışma da ayrıca polinom regresyon yöntemi ile elde edilen katsayılar kullanılarak ülkemizin 2021-2050 arası enerji talebi tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, belirtilen yıllar arasında enerji talebinin ciddi oranda artış göstereceğini ortaya koymaktadır. 2021-2050 yılları arası enerji talebindeki artış oranının, 1979-2020 yılları arası enerji artış oranına benzerlik göstermesi regresyon tabanlı yöntemin enerji talep tahmini problemindeki başarısını destekler niteliktedir.

Gelecek çalışmalarda, regresyon tabanlı yöntemlerin daha fazla iyileştirilmesi ve daha spesifik senaryolar altında kullanılabilirliğinin genişletilmesi için daha fazla çaba harcanacaktır. Ayrıca, regresyon analizinin, belirli sektörler veya coğrafi bölgeler üzerindeki etkilerini incelemek, daha spesifik tahminler elde etmek için değerli olabilir.

## Kaynaklar

- [1] Kahraman G. Türkiye'de kentleşmenin enerji tüketimi ve karbon salınımı üzerine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2019; 9(3): 1559-1566.
- [2] Nia AR, Awasthi A, Bhuiyan N. Industry 4.0 and demand forecasting of the energy supply chain: A literature review'. *Comput Ind Eng* 2021; 154: 107128.
- [3] Ozili PK, Ozen E. Global Energy Crisis: Impact on the Global Economy. In: Sood K, Grima S, Young P, Ozen E, Balusamy B, editors. *The Impact of Climate Change and Sustainability Standards on the Insurance Market*. 1st ed. Wiley; 2023. pp. 439-454.
- [4] Zakeri B, et al. Pandemic, war, and global energy transitions. *Energies* 2022; 15(17): 6114.
- [5] Peng B, Chang BH, Yang L, Zhu C. Exchange rate and energy demand in G7 countries: Fresh insights from Quantile ARDL model. *Energy Strategy Rev* 2022; 44: 100986.
- [6] Taghvaei VM, Nodehi M, Assari Arani A, Rishehri M, Nodehi SE, Shirazi JK. Fossil fuel price policy and sustainability: energy, environment, health and economy. *Int. J Energy Sect. Manag* 2023; 17(2): 371-409.
- [7] Astrov V, Hanzl-Weiss D, Leitner SM, Pindyuk O, Pöschl J, Stehrer R. Energy efficiency and EU industrial competitiveness: Energy costs and their impact on manufacturing activity. *The Vienna Institute for International Economic Studies Research Report*. Vienna, Austria; 2015.
- [8] Zhang J, Tan Z, Wei Y. An adaptive hybrid model for short term electricity price forecasting. *Appl Energy* 2020; 258: 114087.
- [9] Beskirlı M, Haklı H, Kodaz H. The energy demand estimation for Turkey using differential evolution algorithm. *Sādhanā*. 2017; 42(10): 1705-1715.
- [10] Rafique SF, Jianhua Z. Energy management system, generation and demand predictors: a review. *IET Gener Transm Distrib* 2018; 12(3): 519-530.
- [11] Toksarı MD. Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. *Energy Policy* 2007; 35(8): 3984-3990.
- [12] Rao C, Zhang Y, Wen J, Xiao X, Goh M. Energy demand forecasting in China: A support vector regression-compositional data second exponential smoothing model. *Energy* 2023; 263: 125955.
- [13] Avtar R, Tripathi S, Aggarwal AK, Kumar P. Population-urbanization-energy nexus: a review. *Resources*. 2019; 8(3): 136.
- [14] Supersberger N, Führer L. Integration of renewable energies and nuclear power into North African Energy Systems: An analysis of energy import and export effects. *Energy Policy* 2011; 39(8): 4458-4465.
- [15] Stern DI. Energy-GDP relationship. *The New Palgrave Dictionary of Economics*; Palgrave Macmillan: London, UK; 2018.
- [16] Liu W-C. The relationship between primary energy consumption and real gross domestic product: Evidence from major Asian countries. *Sustainability* 2020; 12(6): 2568.
- [17] Sheffield J. World population and energy demand growth: the potential role of fusion energy in an efficient world. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser A* 1999; 357(1752): 377-395.
- [18] Dedeoğlu D, Kaya H. Energy use, exports, imports and GDP: New evidence from the OECD countries. *Energy Policy* 2013; 57: 469-476.
- [19] Carfora A, Pansini RV, Scandurra G. Energy dependence, renewable energy generation and import demand: Are EU countries resilient? *Renewable Energy*. 2022; 195: 1262-1274.
- [20] Shahzad U, Doğan B, Sinha A, Fareed Z. Does Export product diversification help to reduce energy demand: Exploring the contextual evidences from the newly industrialized countries. *Energy* 2021; 214: 118881.
- [21] Ahmad T, Zhang D. A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far. *Energy Rep* 2020; 6: 1973-1991.
- [22] Beşkirlı A, Temurtaş H, Özdemir D. Determination with Linear Form of Turkey's Energy Demand Forecasting by the Tree Seed Algorithm and the Modified Tree Seed Algorithm. *Advances in Electrical & Computer Engineering*, 2020; 20(2).
- [23] Özdemir D, Dörterler S, Aydın D. A new modified artificial bee colony algorithm for energy demand forecasting problem. *Neural Comput Appl* 2022; 34(20): 17455-17471.
- [24] Özdemir D, Dörterler S. An adaptive search equation-based artificial bee colony algorithm for transportation energy demand forecasting. *Turk J Electr Eng Comput Sci* 2022; 30(4): 1251-1268.
- [25] Bilici Z, Özdemir D, Temurtaş H. Comparative analysis of metaheuristic algorithms for natural gas demand forecasting based on meteorological indicators. *J Eng Res* 2023; 11(3): 259-265.
- [26] Chatterjee S, Hadi AS. *Regression analysis by example*. John Wiley & Sons, USA; 2013.
- [27] Draper NR, Smith H. *Applied regression analysis*. John Wiley & Sons, USA; 1998.
- [28] Narin S, Doğan O, Bande N, Yunus G. Keçiören/Ankara Özelinde Konut Rayiç Değerlerinin Tahmininde Çoklu Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağları Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development* 2023; 15(2): 828-839.
- [29] Sajid T, Jamshed W, Ibrahim RW, Eid MR, Abd-Elmonem A, Arshad M. Quadratic regression analysis for nonlinear heat source/sink and mathematical Fourier heat law influences on Reiner-Philippoff hybrid nanofluid flow applying Galerkin finite element method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2023; 568: 170383.

- [30] Lin P, Hong Y, He Y, Pei M. Advancing and lagging effects of weather conditions on intercity traffic volume: A geographically weighted regression analysis in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *International Journal of Transportation Science and Technology* 2024; 13: 58-76.
- [31] Kim D-H, et al. Regression analysis of nasal shape from juvenile to adult ages for forensic facial reconstruction. *Legal Med* 2024; 66: 102363.
- [32] Vardopoulos I. Adaptive Reuse for Sustainable Development and Land Use: A Multivariate Linear Regression Analysis Estimating Key Determinants of Public Perceptions. *Heritage* 2023; 6(2): 809-828.
- [33] Arkes J. *Regression analysis: a practical introduction*. Taylor & Francis, England; 2019.
- [34] Sykes AO. *An introduction to regression analysis*. USA; 1993.
- [35] Aslan M. Archimedes optimization algorithm based approaches for solving energy demand estimation problem: a case study of Turkey. *Neural Comput Appl* 2023; 35(26): 19627-19649.
- [36] Toğaçar M. Arşimet Optimizasyon Algoritması ile Trafo Tabanlı Evrişimsel Sinir Ağı Modelini Kullanarak Yazılım Tanımlı Ağ Teknolojisi Verilerinde Saldırı Tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 34(1): 341-349.
- [37] Hashim FA, Hussain K, Houssein EH, Mabrouk MS, Al-Atabany W. Archimedes optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm for solving optimization problems. *Appl Intell* 2021; 51(3): 1531-1551.
- [38] Pham D, Karaboga D. *Intelligent optimisation techniques: genetic algorithms, tabu search, simulated annealing and neural networks*. Springer Science & Business Media, Germany; 2012.
- [39] Karaboğa D. *Yapay zeka optimizasyon algoritmaları*. Nobel Akademi Yayıncılık, Türkiye; 2014.