




Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yapay Sinir Ağı Kullanarak Kanola Yağı Biyodizel Karışımları İçin Motor Performansı, Yanma ve Emisyon Tahmini

 Mehmet ŞEN^{a,*}

^a Otomotiv Teknolojisi, BTBMYO, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sen_m@ibu.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.551230

ÖZET

Bu çalışmada bir dizel motorda kullanılan dizel yakıtı ve kanola yağından üretilen biyodizel karışımlarının; emisyon, performans ve yanma deneysel verileri ile yapay sinir ağları ile oluşturulan modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Modelin oluşturulması için 44 farklı motor deney sonuçları kullanılmıştır. Ağın eğitiminde geri beslemeli algoritma kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak trainlm, gizli katmanda logsig ve çıkış katmanında ise purelin fonksiyonları kullanılmıştır. Ağ eğitiminde giriş değişkenleri: karışımdaki dizel yakıt oranı, kanola yağı biyodizel oranı, motor devri ve motor momentidir. Çıkışta ise özgül yakıt tüketimi (ÖYT), egzoz sıcaklığı, yanma verimi, püskürtme başlangıcı, yanma başlangıcı, tutuşma gecikmesi, yanma süresi, duman koyuluğu ve NOx değerlerinin her biri için ayrı model oluşturulmuştur. YSA modellerinin R² değerleri tutuşma gecikmesi için 0,998, yanma süresi için 0,992, duman koyuluğu için 0,984, NOx için ise 0,990 olarak hesaplanmıştır. R² değerleri ÖYT, egzoz sıcaklığı, yanma verimi, püskürtme başlangıcı ve yanma başlangıcı değerleri için ise 0,999'dan yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: YSA, emisyon, yanma, performans, biyodizel

Prediction of Engine Performance, Combustion and Emission for Canola Oil Biodiesel Blends Using Artificial Neural Network

ABSTRACT

In this study, the results of emission, performance and combustion experimental data of diesel fuel and canola oil biodiesel blends used in a diesel engine and the results of the model created by artificial neural networks (ANN) were compared. For construct the model 44 different engine test results were used. The feedback algorithm was used in the training of the network. The trainlm was selected as the learning algorithm. The logsig function was used in the hidden layer while the purelin function was used in the output layer. The input variables in network training were fuel blend ratios, engine speeds and engine loads. At the output of network a separate model was created for each of the specific fuel consumption (SFC), exhaust temperature, combustion efficiency, start of injection, start of combustion, ignition delay, combustion duration, smoke opacity and NOx values. R² values of the ANN models were calculated 0.998 for ignition delay, 0.992 for combustion duration, 0.984 for smoke opacity and 0.990 for NOx. Also R² values were found higher than 0.999 for exhaust temperature, combustion efficiency, start of injection and start of combustion.

Keywords: ANN, emission, combustion, performance, biodiesel

I. GİRİŞ

Son zamanlarda, teknolojinin gelişmesiyle birlikte artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve fosil kökenli yakıtların hızla azalması, fiyat istikrarsızlığı ve fosil kökenli yakıtların neden olduğu hava kirliliğini önlemek için alternatif yakıtlara olan ilgi artmıştır. Bunlar arasında, biyodizel yenilenebilir, çevre dostu, biyolojik olarak parçalanabilir, toksik olmayan ve petrol bazlı dizel yakıtla benzer yanma davranışına sahip bir yakıttır [1]. Bu sebeple, biyodizel yakıtlar dizel yakıt ile karıştırılarak veya tek başlarına direkt olarak dizel motorlarda herhangi bir değişiklik gerektirmeksizin kullanılabilir. Biyodizel yakıtlar fosil kökenli dizel yakıtlara göre birçok avantaja sahiptir. Örneğin, biyodizel yakıtlar ağırlıkça % 10 - 12 oksijen içerirken neredeyse hiç aromatik ve sülfür içermezler. Oksijen içermeleri nedeniyle daha az karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), kükürt oksitler (SO_x), partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler ve yanmamış hidrokarbon (u-HC) emisyonlarına sebep olurlar [2]. Bununla birlikte, biyodizel yakıtların en önemli dezavantajları ise, daha yüksek bulutlanma ve soğuk filtre tıkama noktasının yanı sıra daha yüksek viskozite ve yoğunluk değerlerine sahip olmalarıdır. Ayrıca, biyodizelin ısıtma değeri, petrol bazlı dizel yakıtlarinkinden daha düşüktür [3]. Biyodizel, bitkisel tohum yağlarından, atık kızartma yağlarından, hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik yağdan bir katalizörün eşliğinde alkol ile reaksiyonun bir sonucu olarak elde edilen ve yakıt olarak kullanılan bir yağ asidi metil esteridir. Atık yağlardan biyodizel üretimi hammadde ucuzluğu nedeniyle avantajlı olmasına rağmen esterleştirme zorlaşır ve işlem sayısı artar [4]. Bu nedenle hurma, soya fasulyesi, mısır, kanola, ayçiçeği vb., düşük fiyatlı yenilenebilir bitkisel yağlardan biyodizel üretimi kaliteli bir biyodizel üretmek için hala yaygın olarak tercih edilmektedir [5-7].

Otomotiv sektöründe motor deneyleri oldukça maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Özellikle alternatif yakıtların yanma özellikleri, motor performansına ve egzoz gazı emisyonlarına olan etkileri incelenirken motorun her yük ve devir durumu için muhtelif karışımlar incelenmesi ekonomik değildir. Bu nedenle araştırmacılar genellikle daha az deney sayısı ile bir matematiksel modelleme oluşturarak ara değerleri bu model ile tahminleme yöntemini seçmektedir. Doğrusal olmayan karmaşık modelleme için bilgisayar yardımı sistemler tercih edilmektedir. Bunlardan en yaygın kullanılanları ise Taguchi metodu [8-11] ve yapay sinir ağlarıdır (YSA) [12-17]. YSA biyolojik sinir ağını taklit eden sentetik bir ağdır. Yapay sinir ağları deney temelli ve karmaşık, doğrusal olmayan işlemlerin davranışını modelleyebilen ve yeni sorunların öngörülmesi için matematiksel bir model oluşturan algoritmalarıdır [18].

Yapay sinir hücresinde girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere temel olarak beş eleman bulunur. Girdiler ağa gelen verilerdir. Ağırlıklar ise girdilerin çıktılar üzerindeki etkisini belirleyen katsayılarıdır. Toplama fonksiyonu ise ağırlıklar ile çarpılan girdilerin toplamıdır. Bu toplam, çıktıyı oluşturmak için aktivasyon fonksiyonuna iletilir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde girdi değerlerinin her biri için sıfır ile bir arasında bir değer üreten ve Eş. 1'de gösterilen sigmoid ya da -1 ile 1 arasında değer üreten ve Eş. 2 de gösterilen hiperbolik tanjant fonksiyonları kullanılır. Aktivasyon fonksiyonunda hesaplanan değerler ise çıktıları oluşturur [19].

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{2x}} \quad (2)$$

Yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla yapay sinir ağları oluşur. Yapay sinir ağları giriş, ara ve çıkış katmanlarından oluşur. Giriş katmanı girdilerin bulunduğu katmandır. Gizli katman olarak adlandırılan ara katman aslında hücrelerdeki ağırlıkların hesaplandığı kısımdır. Bu kısımda istenildiği kadar nöron kullanılabilir. Nöron sayısı sonucu etkilemekle birlikte artması sonucun daha doğru bulunacağı anlamına gelmemektedir. Çıkış katmanı ise ara katmanlardan gelen bilgilerin işlendiği ve çıkış değerlerinin üretildiği katmandır. Yapay sinir ağları içerdiği nöronların birbirine bağlantı şekline göre bir katmandan sadece kendinden sonraki katmana bağ varsa ileri ve kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir nörona girdi olarak bağlanabiliyorsa geri beslemeli olarak adlandırılır [16].

Alternatif yakıt kullanımının modellenmesinde yapay sinir ağları kullanılan birçok çalışma mevcuttur. Ghobadian vd. [12] atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizeli kullanarak dizel motor performansını ve egzoz emisyon analizini tahmin etmek için bir YSA modeli oluşturmuşlardır. Bu YSA modelinin motor torku, ÖYT, CO ve HC emisyonları için korelasyon katsayısını sırasıyla 0,949, 0,999, 0,929 ve 0,999 ile iyi bir şekilde tahmin edebileceğini belirtmişlerdir. Uslu ve Çelik [13] dietiler dizel karışımını tek silindirli bir dizel motorda test etmişler ve elde ettikleri veriler ile YSA modelleri oluşturmuşlardır. Bu modeller ile egzoz emisyonları ve motor performansı için regresyon katsayısını 0,964–0,988 arasında bulmuşlardır. Çırak ve Demirtaş [15] kanola ve soya yağından üretilen biyodizeli farklı oranlarda dizel ile karıştırarak denemişler ve oluşturdukları YSA modeli ile değişik motor devri, soğutma suyu sıcaklığı ve egzoz gaz sıcaklığından motor torkunu korelasyon katsayısı 0,99 olacak şekilde tahmin etmişlerdir. Yusaf vd. [20] dört zamanlı tek silindirli dizel motorda dizel ve doğal gaz yakıtlarının performans ve emisyon değerlerini tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Bu model ile motor torku, ÖYT, NOx ve egzoz sıcaklığı için korelasyon katsayısını sırasıyla 0,988, 0,984, 0,9570 ve 0,993 olarak tespit etmişlerdir. Çanakçı vd. [21] atık kızartma yağından elde ettikleri biyodizel karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarını oluşturdukları YSA modeli ile tahmin etmişlerdir. Tüm ağlar için, geri yayılım algoritması, tek bir gizli katman için uygulanmış ve algoritmanın varyantları için Levenberg-Marquardt (LM) kullanılmıştır. Oluşturdukları modellerin R² değerlerinin emisyonlar hariç 0,99'dan büyük olduğunu rapor etmişlerdir.

YSA'nın motor deneylerinde kullanımı ile ilgili yapılan literatür taramasında genellikle motor performans ve emisyonların öngörülmesinde kullanıldığı belirlenmiştir. Püskürtme başlangıcı, yanma başlangıcı ve tutuşma gecikmesi gibi yakıt deneyleri için oldukça önemli olan yanma parametreleri ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır.

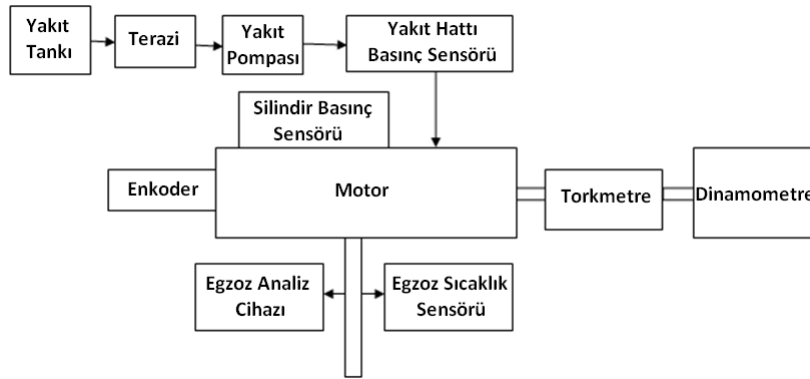
II. MALZEME VE METOT

Deneylerde kullanılan Lombardini LD350 marka tek silindirli, hava soğutmalı dizel motorun teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Motoru yüklemek için 15 kW güç absorbe edebilen Kemsan marka DC dinamometre kullanılmıştır. Ölçümler motorun tam yükte istikrarlı çalışabileceği en düşük hız olan 1500 dev/dak 'da 2,5-5-7,5-10 Nm kısmı yük durumlarında, ayrıca tam gaz durumu 1500-3000 devir aralığında 250 devir aralıklarla kaydedilmiştir.

Tablo 1. Deney motorunun özellikleri

Özellikler	
Maksimum Güç	7,4 kW/3000 dev/dak
Maksimum Tork	16,6 Nm/2400 dev/dak
Sıkıştırma Oranı	20,3/1
Kurs Hacmi	349 cm ³
Enjektör Açılma Basıncı	207 bar
Enjeksiyon Pompa Tipi	QLC

Moment ölçümü KiTorq rotor Tip 4550A ve KiTorq stator Tip 4541A ile yapılmıştır. Silindir basıncını ölçmek için yüksek hassasiyet sağlayan piezoelektrik kristalli Kistler 6052c kullanılmıştır. Enjeksiyonun başlangıcını tespit etmek için Kistler 4065B kompakt yüksek basınç sensörü yakıt hattına takılmıştır. Krank açısını ve üst ölü nokta (ÜÖN) verilerini hesaplamak için Kistler 2614B tipi 0,1 derece hassasiyetli optik krank açısı kodlayıcısı kullanılmıştır. Egzoz gaz sıcaklığı egzoz çıkışına yerleştirilmiş NiCr/Ni ısıl çift vasıtasıyla ölçülmüştür. Yakıt tüketimi ölçümü için 0,01 gram hassasiyetli Ohaus PA4102 marka terazi kullanılmıştır. Deney tesisatının genel görünümü Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği şematik gösterimi

Deneylerde kanola yağdan elde edilen Biyodizel (KYB), dizel yakıtı (KYB0), ağırlıkça % 10, % 20 ve % 50 oranında karıştırılarak sırasıyla KYB10, KYB20 ve KYB50 olarak adlandırılan yakıtlar kullanılmıştır. Tablo 2’de kullanılan yakıtların bazı önemli özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Test yakıtlarının önemli özellikleri

Özellikler	KYB0	KYB10	KYB20	KYB50
Yoğunluk (kg/m ³)	831,5	836,7	841,9	857,5
Viskozite (mm ² /s)	2,40	2,60	2,79	3,36
Alt ısı değer (MJ/kg)	43,20	42,73	42,26	40,85
Setan sayısı	58,8	58,3	57,9	56,5

Deneylerde elde edilen bütün veriler KiBox To Go veri toplama sistemi ile toplanmış ve KiBox Cockpit yazılımı ile değerlendirilmiştir. Duman koyuluğu ve NOx emisyonlarının ölçümünde Tablo 3'te özellikleri verilen Mobidick 5000 egzoz analiz cihazı kullanılmıştır. Her test için ölçüm yapılmadan önce motor kararlı çalışma koşullarına gelene kadar belli bir süre çalıştırılmıştır.

Tablo 3. Egzoz analiz cihazının temel özellikleri

Emisyon	Birim	Aralık	Hassasiyet
NOx	ppm	0-5000	1
Duman Koyuluğu	%	0-100	0,1

Yakıt püskürtme başlangıcı yakıt hattına yerleştirilen basınç sensörü ile ölçülen yakıt hat basıncının enjektör açma basıncı olan 207 bara geldiği krank açısıdır. Yanma başlangıcı toplam ısı salınımının %5 olduğu krank açısı, yanma sonu ise toplam ısı salınımının %90'a ulaştığı krank açısı olarak alınmıştır. Tutuşma gecikmesi ise yakıt püskürtme başlangıcı ile yanma başlangıcı arasındaki farktır [22,23].

Ağın eğitimi, doğrulaması ve testi için kanola yağı biyodizeli ile ilgili çalışmaların [24,25] değerlerini içeren 44 deney verisi kullanılmıştır. Elde edilen test verileri ile yapay sinir ağlarında oluşturulan modelin eğitiminde geri beslemeli algoritma kullanılmıştır. Öğrenme algoritması olarak çok katmanlı beslemeli ağlardaki ağırlıkları ayarlamak için Levenberg-Marquardt (trainlm) seçilmiştir. Gizli katmanda logistic sigmoid fonksiyonu (logsig) ve çıkış katmanında ise lineer transfer fonksiyonu (purelin) aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Ağ eğitiminde giriş değişkenleri karışımdaki dizel yakıt oranı, kanola yağı biyodizel oranı, motor devri ve motor momentidir. Çıkışta ise özgül yakıt tüketimi, egzoz sıcaklığı, yanma verimi, püskürtme başlangıcı, yanma başlangıcı, tutuşma gecikmesi, yanma süresi, duman koyuluğu ve NOx değerlerinin her biri için ayrı model oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 4. YSA ağında kullanılan deney şartları

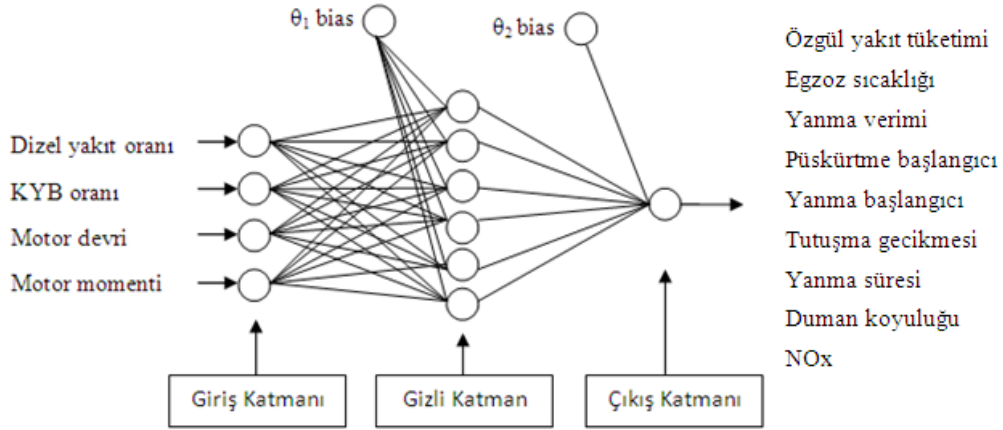
Deney	Yakıt	Yük	Devir	Deney	Yakıt	Yük	Devir
1	KYB0	2,5 Nm	1500	23	KYB20	Tam Yük	1750
2	KYB10	2,5 Nm	1500	24	KYB50	Tam Yük	1750
3	KYB20	2,5 Nm	1500	25	KYB0	Tam Yük	2000
4	KYB50	2,5 Nm	1500	26	KYB10	Tam Yük	2000
5	KYB0	5 Nm	1500	27	KYB20	Tam Yük	2000
6	KYB10	6 Nm	1500	28	KYB50	Tam Yük	2000
7	KYB20	7 Nm	1500	29	KYB0	Tam Yük	2250
8	KYB50	8 Nm	1500	30	KYB10	Tam Yük	2250
9	KYB0	7,5 Nm	1500	31	KYB20	Tam Yük	2250
10	KYB10	7,5 Nm	1500	32	KYB50	Tam Yük	2250
11	KYB20	7,5 Nm	1500	33	KYB0	Tam Yük	2500
12	KYB50	7,5 Nm	1500	34	KYB10	Tam Yük	2500
13	KYB0	10 Nm	1500	35	KYB20	Tam Yük	2500
14	KYB10	10 Nm	1500	36	KYB50	Tam Yük	2500
15	KYB20	10 Nm	1500	37	KYB0	Tam Yük	2750

16	KYB50	10 Nm	1500
17	KYB0	Tam Yük	1500
18	KYB10	Tam Yük	1500
19	KYB20	Tam Yük	1500
20	KYB50	Tam Yük	1500
21	KYB0	Tam Yük	1750
22	KYB10	Tam Yük	1750

38	KYB10	Tam Yük	2750
39	KYB20	Tam Yük	2750
40	KYB50	Tam Yük	2750
41	KYB0	Tam Yük	3000
42	KYB10	Tam Yük	3000
43	KYB20	Tam Yük	3000
44	KYB50	Tam Yük	3000

Her bir model oluşturulurken gizli katmanda 1 ile 30 arası nöron sayıları 30'ar defa denenmiş ve en uygun değer elde edildiği nöron sayısı seçilmiştir. Oluşturulan modelin uygunluğu için Eş. 3'de verilen determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Eşitlikte 'g' deney sonucu elde edilen gerçek değerken 't' YSA modeli ile tahmin edilen değeridir.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (g_j - t_j)^2}{\sum_j (t_j)^2} \right) \quad (3)$$



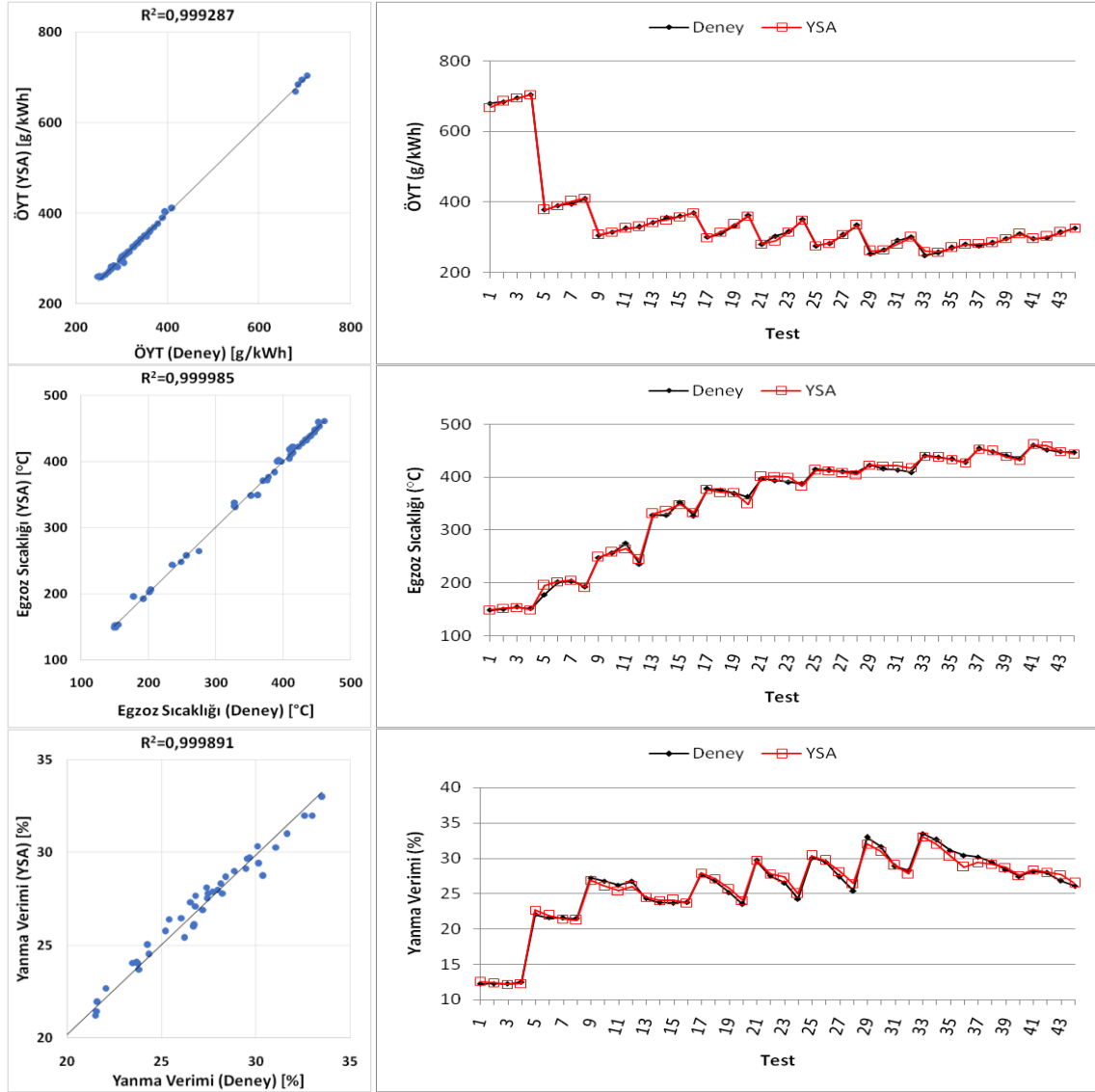
Şekil 2. Yapay sinir ağı yapısı

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 3'te ÖYT, egzoz sıcaklığı ve yanma verimi için deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir. Her çıkış değişkeni için kullanılan gizli katmandaki nöron sayısı ve elde edilen R^2 değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Motor performans parametreleri ağı özellikleri

Çıkış	Nöron Sayısı	R^2
ÖYT	14	0,999287
Egzoz Sıcaklığı	11	0,999985
Yanma Verimi	10	0,999891



Şekil 3. Motor performans parametreleri için deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

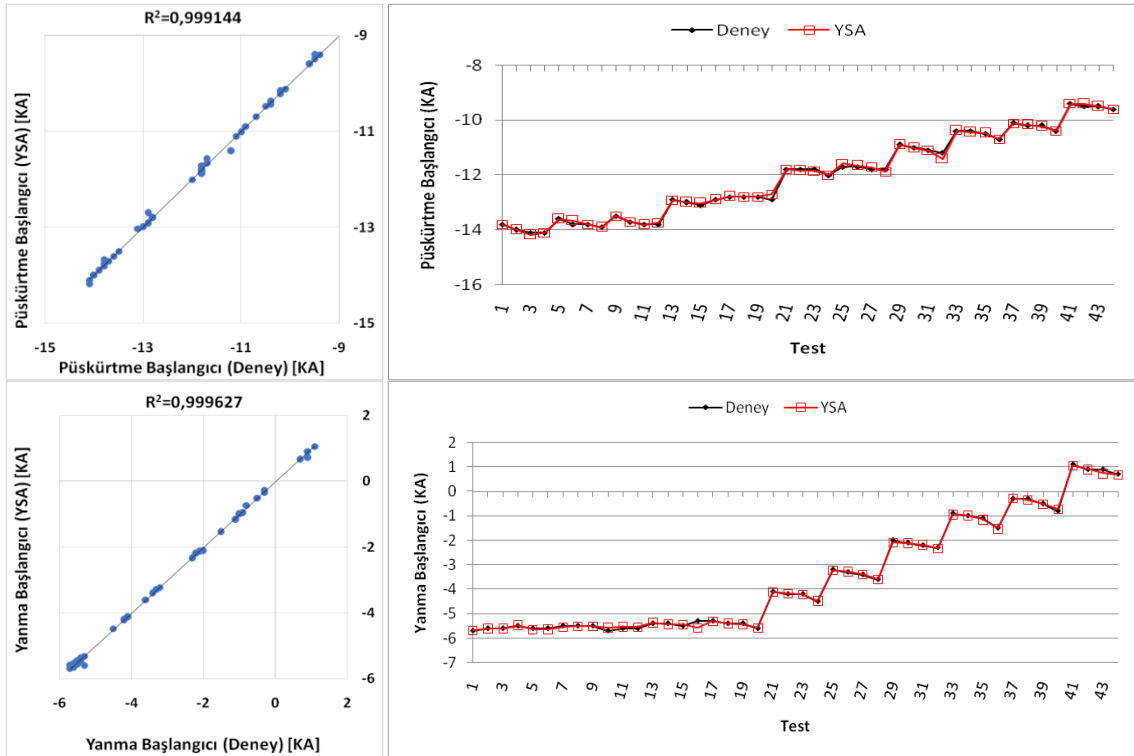
Tablo 5'te görüldüğü gibi oluşturulan modeller ile hesaplanan tüm çıkış değerleri için R^2 0,999'dan büyük çıkmıştır. YSA ile oluşturulan model ile tahmin edilen sonuçların hemen hemen deney sonuçları ile aynı olduğu anlaşılmaktadır. ÖYT için elde edilen model ile deney sonuçları arasındaki yüzdesel sapma en yüksek 33. deneyde %4,84 ve 22. deneyde %-4,67 olarak hesaplanmıştır. Egzoz sıcaklığı değerlerinde ise 5 Nm yükte dizel yakıtı ile yapılan testte elde edilen sonuç ile tahmin değeri arasında %9,64 sapma hesaplanırken diğer değerler birbirine çok yakın bulunmuştur. Yanma verimi tahmin değerlerinde maksimum sapma 36. deneyde %-5,43 olmakla birlikte diğer değerlerde %0-2 arasında değişimler gerçekleşmiştir.

Şekil 4'te püskürtme başlangıcı, yanma başlangıcı, tutuşma gecikmesi ve yanma süresi için deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir. Her çıkış değişkeni için kullanılan gizli katmandaki nöron sayısı ve elde edilen R^2 değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Yanma performans değerleri için R^2 değeri 0,99'dan büyük çıkmıştır. Püskürtme başlangıcı için deneyde elde edilen sonuçlarla YSA ile hesaplanan değerler arasında maksimum %1 sapma görülmektedir. Yanma başlangıcı için en yüksek sapma ise 16. ve 43. deneylerde %5'in üstünde çıkarken diğer deneylerde

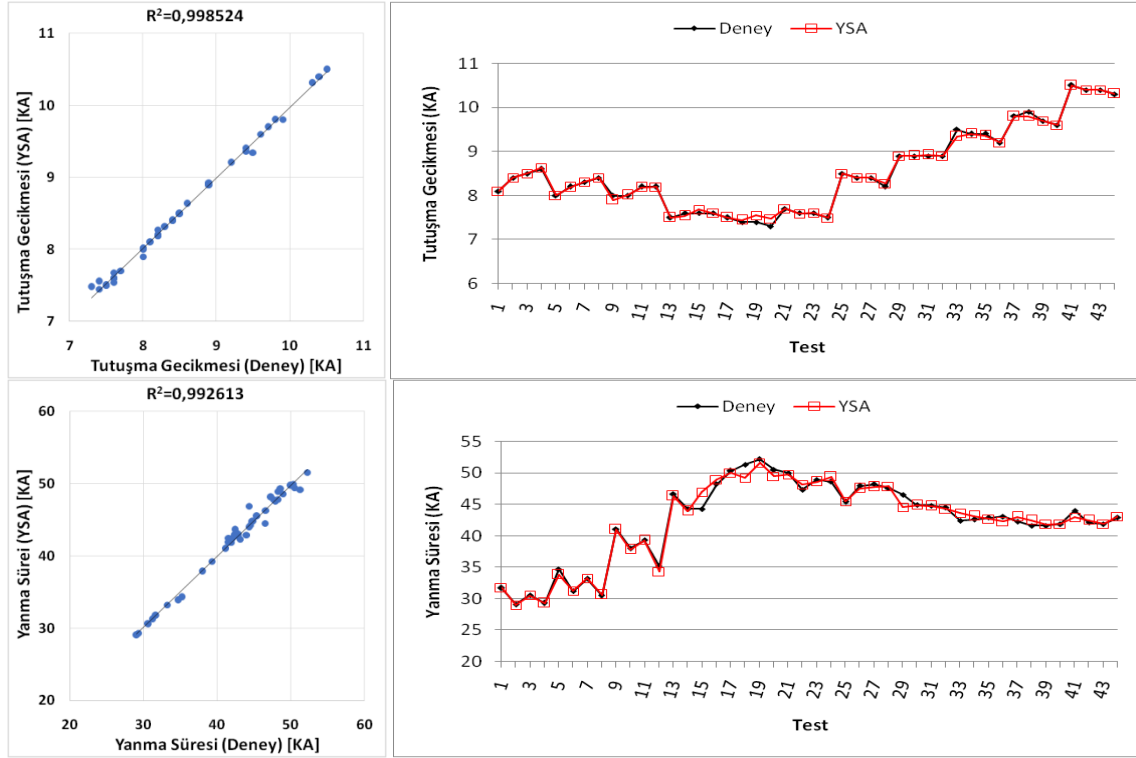
%1'in altında kalmıştır. Tutuşma gecikmesi ve yanma süresinde ise bütün değerlerde sapma hemen hemen %1'in altında hesaplanmıştır.

Tablo 6. Yanma performansı parametreleri ağ özellikleri

Çıkış	Nöron Sayısı	R ²
Püskürtme Başlangıcı	12	0,999144
Yanma Başlangıcı	11	0,999627
Tutuşma Gecikmesi	8	0,998524
Yanma Süresi	8	0,992613



Şekil 4. Yanma performansı parametreleri için deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

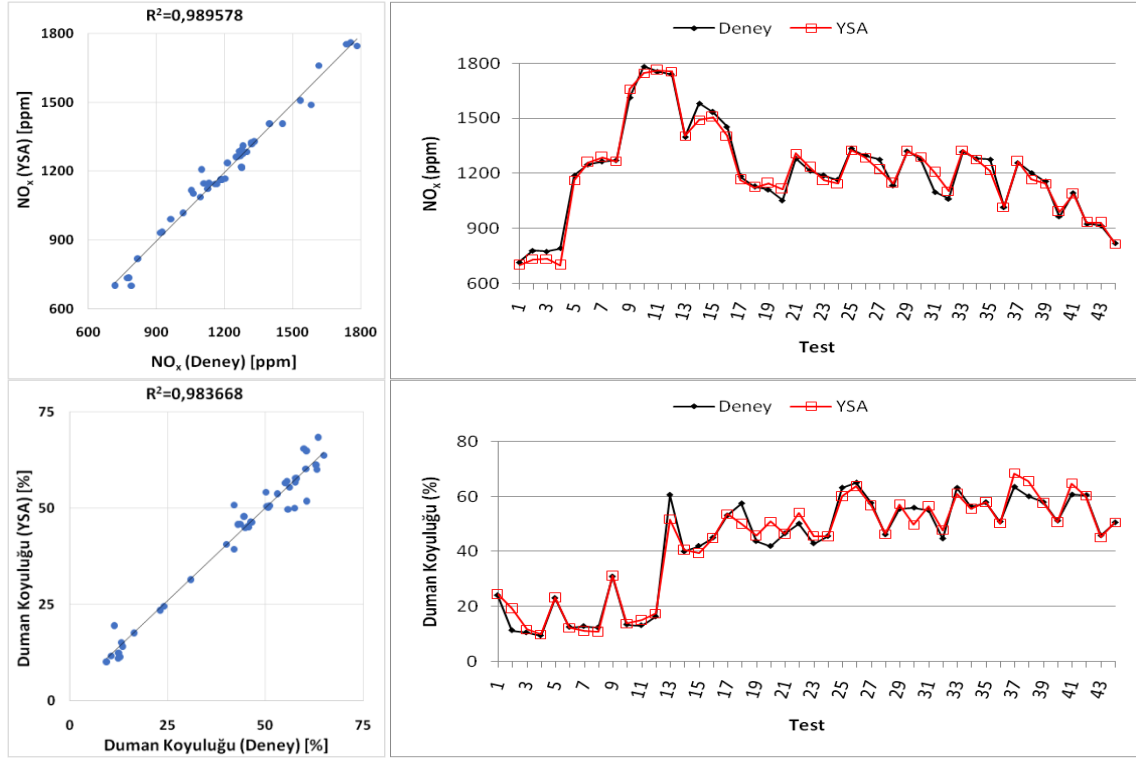


Şekil 4 (devam). Yanma performansı parametreleri için deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 5'te duman koyuluğu ve NO_x için deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir. Her çıkış değişkeni için kullanılan gizli katmandaki nöron sayısı ve elde edilen R² değerleri Tablo 7'de verilmiştir. 2,5 Nm yükte KYB50 yakıtı yapılan deneyde elde edilen NO_x değeri ile YSA tahmini arasındaki sapma %-11,54 iken diğer deneylerde aradaki sapma %5'in altında çıkmıştır. Duman koyuluğu değerlerinde ise R² değeri 0,983668 çıkmakla birlikte 2,5 Nm yükte KYB10 ile yapılan testte %70 sapma, yine 11, 13 ve 18. deneylerde %15 civarı sapmalar hesaplanmıştır.

Tablo 7. Motor performans parametreleri ağ özellikleri

Çıkış	Nöron Sayısı	R ²
Duman Koyuluğu	14	0,983668
NO _x	11	0,989578



Şekil 5. Egzoz emisyon parametreleri için deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

IV. SONUÇ

Bu çalışmada dizel yakıtı ve kanola yağından üretilen biyodizel karışımlarının bir dizel motorunun emisyon performans ve yanmaya etkilerinin deneysel verileri ile yapay sinir ağları ile oluşturulan modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. KYB0 referans yakıtı ile karşılaştırıldığında, yakıt içerisine kanola yağı biyodizeli ilavesi performans, yanma ve egzoz emisyonlarında büyük değişikliklere sebep olmasına rağmen tahmin sonuçlarındaki hatayı artırmamıştır. Özellikle motor performansı ve yanma değerleri için oluşturulan modellerin çok yüksek doğrulukta tahmin yapabildiği anlaşılmıştır. YSA modellerinin R^2 değerleri tutuşma gecikmesi için 0,998, yanma süresi için 0,992, duman koyuluğu için 0,984, NOx için ise 0,990 olarak hesaplanmıştır. R^2 değerleri ÖYT, egzoz sıcaklığı, yanma verimi, püskürtme başlangıcı ve yanma başlangıcı değerleri için ise 0,999'dan yüksek bulunmuştur. Duman koyuluğunda ise her ne kadar R^2 değeri 0,98'den yüksek çıksa da bazı deney sonuçları ile YSA modeli arasında çok büyük farklar görülmüştür. Her ağ eğitiminde 30'a kadar nöron sayısı denenmesine rağmen en yakın sonuçlar genellikle 8 - 14 arasında nöronlu modellerde elde edilmiştir. Bu nedenle ağdaki nöron sayısının artması ile ağın daha doğru sonuç vermediği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada yapay sinir ağlarının bir motorun emisyon, performans ve yanma değişkenleri için oldukça doğru değer verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] A.O. Emiroğlu, A. Keskin and M. Şen, “Experimental investigation of the effects of turkey rendering fat biodiesel on combustion, performance and exhaust emissions of a diesel engine,” *Fuel*, c. 216, pp. 266–273, 2018.
- [2] A. Keskin, “Pamuk yağı metil esteri-eurodizel yakıt karışımlarının direkt püskürtmeli bir dizel motorunun yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 18, s. 2, ss. 1–18, 2018.
- [3] M. Şen, A.O. Emiroğlu, and A. Keskin, “Production of biodiesel from broiler chicken rendering fat and investigation of its effects on combustion, performance, and emissions of a diesel engine,” *Energy & fuels*, vol. 32, no. 4, pp. 5209–5217, 2018.
- [4] A. Keskin, “Two-step methyl ester production and characterization from the broiler rendering fat: The optimization of the first step,” *Renewable Energy*, vol. 122, pp. 216–224, 2018.
- [5] A. Keskin, “Pamuk Yağı Biyodizeli-Eurodizel Karışımlarının Tam Yükte Yanma, Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 797-809, 2017.
- [6] S. Sarıdemir ve S. Albayrak, “Kanola yağı metil esteri ve karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına olan etkileri,” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 35-46, 2015
- [7] S. Sarıdemir ve M. Tekin, “Kanola Yağı Metil Esteri ve Dizel Yakıt Karışımlarının Tek Silindirli Dizel Bir Motorun Performans ve Gürültü Emisyonlarına Etkisi,” *Politeknik Dergisi*, c. 19, s. 1, ss. 53-59, 2016.
- [8] S. Ozturk, “Application of the Taguchi method for surface roughness predictions in the turning process,” *Materials Testing*, vol. 58, no. 9, pp. 782-787, 2016.
- [9] S. Ozturk, “Application of ANOVA and Taguchi Methods for Evaluation of the Surface Roughness of Stellite-6 Coating Material,” *Materials Testing*, vol. 56, no. 11-12, pp. 1015-1020, 2014.
- [10] F. Kara, “Taguchi optimization of surface roughness and flank wear during the turning of DIN 1.2344 tool steel,” *Materials Testing*, vol. 59, no. 10, pp. 903-908, 2017.
- [11] S. Ozturk, “Machinability of stellite-6 coatings with ceramic inserts and tungsten carbide tools,” *Arabian Journal For Science And Engineering*, vol. 39, no. 10, pp. 7375-7383, 2014.
- [12] B. Ghobadian, H. Rahimi, A.M. Nikbakht, G. Najafi and T.F. Yusaf, “Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network,” *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 976-982, 2009.
- [13] S. Uslu and M.B. Çelik, “Prediction of engine emissions and performance with artificial neural networks in a single cylinder diesel engine using diethyl ether,” *Engineering Science and Technology*, vol. 21, no. 6, pp. 1194-1201, 2018.
- [14] F. Kara, K. Aslantas and A. Çiçek, “ANN and multiple regression method-based modelling of cutting forces in orthogonal machining of AISI 316L stainless steel,” *Neural Computing and Applications*, vol. 26, no. 1, pp. 237-250, 2015.

- [15] B. Çırak and S. Demirtaş, “An application of artificial neural network for predicting engine torque in a biodiesel engine,” *American Journal of Energy Research*, vol. 2, no. 4, pp. 74-80, 2014.
- [16] Y. Çay, A. Çiçek, F. Kara and S. Sağıroğlu, “Prediction of engine performance for an alternative fuel using artificial neural network,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 37, pp. 217-225, 2012.
- [17] Y.Ö. Özgören, S. Çetinkaya, S. Sarıdemir, A. Çiçek and F. Kara, “Artificial neural network based modelling of performance of a beta-type Stirling engine,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, vol. 227, no. 3, pp. 166-177, 2013.
- [18] Y.Ö. Özgören, S. Çetinkaya, S. Sarıdemir, A. Çiçek and F. Kara, “Predictive modeling of performance of a helium charged Stirling engine using an artificial neural network,” *Energy conversion and Management*, vol. 67, pp. 357-368, 2013.
- [19] M. Tekin and S. Sarıdemir, “Prediction of engine performance and exhaust emissions with different proportions of ethanol–gasoline blends using artificial neural networks,” *International Journal of Ambient Energy*, pp. 1-7, 2017.
- [20] T.F. Yusaf, D.R. Buttsworth, K.H. Saleh and B.F. Yousif, “CNG-diesel engine performance and exhaust emission analysis with the aid of artificial neural network,” *Applied Energy*, vol. 87, no. 5, pp. 1661-1669, 2010.
- [21] M. Canakci, A.N. Ozsezen, E. Arcaklioglu, A. Erdil, “Prediction of performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste frying palm oil,” *Expert systems with Applications*, vol. 36, no. 5, pp. 9268-9280, 2009.
- [22] A.O. Emiroğlu, M. Şen, “Combustion, performance and emission characteristics of various alcohol blends in a single cylinder diesel engine,” *Fuel*, vol. 212, pp. 34–40, 2018.
- [23] A.O. Emiroğlu, M. Şen, “Combustion, performance and exhaust emission characterizations of a diesel engine operating with a ternary blend (alcohol-biodiesel-diesel fuel),” *Applied Thermal Engineering*, vol. 133, pp. 371–380, 2018.
- [24] A.O. Emiroğlu, “Experimental examination of performance, exhaust emission and combustion behaviours of a CI engine fuelled with biodiesel/diesel fuel blends,” *Sakarya University Journal of Science*, vol. 22, no. 5, pp. 1274–1281, 2018.
- [25] M. Şen, “The influence of canola oil biodiesel on performance, combustion characteristics and exhaust emissions of a small diesel engine,” *Sakarya University Journal of Science*, vol. 23, no. 1, pp. 121-128, 2019.