

Bütanol-Diesel yakıtı kullanılan bir sıkıştırma ateşlemeli motorda motor performansı ve egzoz emisyonlarının yapay sinir ağları ile tahmini

Prediction of engine performance and exhaust emissions using artificial neural network in a compression ignition engine fueled with butanol-diesel fuel

Samet GÜRGEN¹ , İsmail ALTIN^{2*} 

¹Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Barbaros Hayrettin Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye.

sametgurgen@ktu.edu.tr

²Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.

isaltin@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 03.11.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 23.11.2017

doi: 10.5505/pajes.2017.69926

* Yazışılan yazar/Corresponding author

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada saf Diesel yakıtı ve 5 farklı bütanol-Diesel yakıt karışımları (%3, 6, 9, 12 ve 15) kullanılan bir Diesel motorunda (SA) farklı devir sayılarında ve tam yük durumunda motor performansı ve egzoz emisyonları yapay sinir ağları (YSA) ile modellenmiştir. Deneysel çalışmalarda; tek silindirli bir Diesel motoru kullanılmıştır. Sunulan YSA modelinde; Scaled Conjugate Gradient ve Levenberg-Marquardt algoritmaları, tek katman ve sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Girdi katmanı devir sayısı ve karışım oranını içermektedir. Çıktı katmanı ise özgül yakıt tüketimi, efektif verim, NO_x emisyonu ve CO emisyonu parametrelerini içermektedir. Ağın performansı için ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) değerleri ve ortalama hata kareleri (MSE) hesaplanmıştır. Geliştirilen YSA modelin, deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Diesel motorlar, Yapay sinir ağları, Motor performansı ve egzoz emisyonları

Abstract

In this study, engine performance and exhaust emission of a Diesel engine (CI) at full load and various speeds conditions using only Diesel fuel and five different blends with butanol (3, 6, 9, 12 and 15 v/v %) were modeled by using Artificial Neural Network (ANN). A single-cylinder diesel engine was used in the experimental studies. Single layer, logistic sigmoid transfer function Scaled Conjugate Gradient and Levenberg-Marquardt algorithms were used in the presented ANN model. Input layer includes engine speed and blending ratio. Output layer includes parameters of brake specific fuel consumption, effective efficiency, NO_x emission and CO emission. Mean absolute percentage error (MAPE) data and mean square error (MSE) and were calculated for performance of the networks. It was obtained that there was a consistency among the presented ANN model and the data obtained from experiments.

Keywords: Diesel engines, Artificial neural networks, Engine performance and exhaust emissions

1 Giriş

İçten yanmalı motorlar, yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren ısı makineleridir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan içten yanmalı motorlardan biri Diesel motorlarıdır. Özellikle özgül yakıt tüketiminin düşük olması Diesel motorların kullanılmasını daha cazip hale getirmektedir. Fakat Diesel motorlar tarafından salınan kirleticilerin, hava kirliliğini arttırıcı yöndeki etkisi giderek artmaktadır. Genel olarak Diesel motoru egzoz emisyonları; azot oksitler (NO_x), yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO) ve isten oluşmaktadır. Çevre kirliliğinin artması ve petrol rezervlerinin tükenmesi gibi tehlikeler araştırmacıları yakıt tüketimini düşürmeye ve egzoz emisyonlarını azaltmaya yönelik çalışmalar yapmaya yönlendirmektedir. Bu amaç doğrultusunda yeni teknikler geliştirilmektedir. Bunlar; ortak hatlı veya çoklu püskürtme sistemleri, egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), seçici katalitik indirgeme (SCR) ve alternatif yakıtlar kullanmak şeklinde sıralanabilir [1],[2].

Alternatif yakıtların motorların yapısında fazla bir değişikliğe gidilmeden kullanılabilmesi önemli bir avantaj olarak öne çıkmaktadır. Diesel motorlarda alternatif yakıt olarak

alkollerin kullanımıyla ilgili çalışmalar ise önemli bir yer tutmaktadır. Bitkisel türevli yenilenebilir bir yakıt olması yanında saf veya karışım halinde kullanılabilmesi, alkollerin içten yanmalı motorlarda yaygın uygulama alanı bulmasını sağlamıştır.

Alkollerin düşük setan sayısı, yüksek buharlaşma ısısı ve uzun tutuşma gecikmesi gibi özellikleri Diesel motorlarında direkt olarak kullanılmasını zorlaştırmaktadır [3]. Bu sebeple alkollerin Diesel motorlarda kullanılması farklı yöntemler ile uygulanmaktadır. Bu yöntemler; alkolün yakıt içerisine belirli oranda karıştırılması, emme manifolduna püskürtülmesi veya kullanılan farklı yakıtlar için ayrı yakıt püskürtme sisteminin kullanılması olarak sıralanabilir [4],[5]. Alkollerin Diesel yakıtına belirli bir oranda karıştırılması ise motor yapısında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmadığı için en pratik yöntemdir.

Bütanol ya da diğer bir adıyla butil alkol dört karbonlu bir alkol olup kimyasal formülü C₄H₉OH şeklinde ifade edilir. Bütanolün; n-bütanol, 2-bütanol, iso-bütanol ve t-bütanol olmak üzere dört izomeri vardır. Bu dört izomerin de kimyasal formülleri ve ısı değerleri aynı olmasına karşın moleküler yapıları farklıdır [6]. Ayrıca bütanol bitkisel ürünlerin

fermantasyonu sonucu üretilebildiği için biyokütle türevli yenilenebilir bir yakıt olarak değerlendirilebilir [7].

Son yıllarda bütanolün yakıt olarak kullanılmasıyla ilgili çalışmaların sayısı kayda değer bir oranda artış göstermiştir. Rakopoulos ve diğ. [8] yaptıkları deneysel çalışmada bütanol-Diesel yakıtı karışımlarının egzoz emisyonları ve motor performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. %99.9 saflıkta olan n-bütanolün üç farklı karışım durumu (%8, %16 ve %24) ve saf Diesel kullanılan deneylerde sabit 2000 dev/dk. ve üç farklı yük durumu ($P_{me}=1.4$ bar, 2.57 bar ve 5.37 bar) için deneyler yapmışlardır. NOx emisyonları her bir yük durumunda karışım oranı arttıkça azalmıştır. CO emisyonları da karışım oranına bağlı olarak azalmıştır. Bütanolün ısıl değeri Diesel yakıtına göre daha düşük olduğu için karışım oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminde artma meydana gelmiştir. Fakat karışım oranı arttıkça termik verimde az miktarda bir artış gözlenmiştir.

Doğan [9] yaptığı çalışmada bir Diesel motorunda n-bütanol-Diesel yakıtı karışımının motor performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneyler referans noktası belirtmesi için saf Diesel ve dört farklı karışım oranı (%5, %10, %15 ve %20) kullanılarak, deney motorunda herhangi bir değişiklik yapılmadan sabit 2600 dev/dk. ve dört farklı yüklemeye durumunda (13.1 Nm, 9.8 Nm, 6.6 Nm ve 3.3 Nm) yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda karışım oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminde biraz artma görülmüştür. Tüm yük durumlarında karışım oranı arttıkça NOx emisyonları azalmıştır. Bütanolün yüksek oksijen içeriği sayesinde karışım oranı arttıkça CO emisyonları azalmakta ve tam yanma durumu iyileşmektedir.

Chen ve diğ. [10] n-bütanol-Diesel yakıtı karışımları için emisyon ve performans çalışması yapmıştır. Deneylerde iki farklı devir sayısı (1600 ve 2600 dev/dk.) ve iki farklı yük durumu (0.154 ve 0.766 MPa) incelenmiştir. Karışımının bütanol oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi artmıştır. Düşük yük durumunda verim düşmüş fakat yüksek yük durumları için verimde artma meydana gelmiştir. CO emisyonları düşük yük durumlarında artarken yüksek yük durumlarında ise azalmıştır. NOx emisyonları yüksek devir ve yük durumu hariç n-bütanol eklenmesiyle azalmıştır.

Araştırmacılar yaptıkları bir çalışma için tüm çalışma koşullarını bilmek isterler. Bunun için ise iki yol vardır. Birincisi, tüm çalışma şartlarını kapsayan kapsamlı deneysel çalışmalar yapmaktır. Fakat bu yöntem maliyet ve zaman açısından verimli bir yöntem değildir. İkincisi ise her bir çalışma şartı için doğru sonuçlar üreten bir model geliştirmektir. Motor araştırmalarında, lineer olmayan bir yapı ve değişken sayısının çokluğu gibi nedenlerden dolayı matematiksel model geliştirmek karmaşık ve zor hale gelmektedir. Yapay sinir ağları (YSA) ise geleneksel yöntemlerin başarısız olduğu durumlarda mühendislik problemlerin çözümünde kullanılan iyi bir yöntemdir. İyi eğitilmiş bir YSA, bir tahmin modeli olarak kullanılabilir [1],[11].

İçten yanmalı motorlarda yapay sinir ağı uygulamaları son yıllarda giderek artmaktadır. Shanmugam ve diğ. [11] bir Diesel motorunda karışım yakıt kullanarak motor performansı ve egzoz emisyonları için yapay sinir ağı modeli kurmuşlardır. Tek silindirli, dört zamanlı ve doğal emişli bir Diesel motorunda biyoetanol, biyodizel ve Diesel karışımları çeşitli oranlarda karıştırılarak deneysel veriler elde edilmiştir. Deneyler sabit hızda ve farklı yükler altında

gerçekleştirilmiştir. Kurulan yapay sinir ağından girdiler motor yükü ve karışım oranı iken çıktılar ise efektif verim ve egzoz emisyonları (CO, HC, CO₂, NOx ve is) olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilerden %70'i eğitim için kullanılırken %30'luk kısmı ise test için kullanılmıştır. Tek gizli katmandan oluşan ağ yapısında aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmış ve farklı sayıda gizli nöron denenerek en uygun model belirlenmiştir. Performans ölçütleri olarak determinasyon katsayısı (R^2) ve karekök ortalama (RMS) kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde çok düşük karekök ortalama ile 0.975-0.999 arasında değişen R^2 değerleri elde edilmiştir ve bu sonuçlar detaylı deneyler yerine sınırlı veriler kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağıyla, Diesel motorlarda performans ve egzoz emisyonlarının tahmininin yapılabileceğini göstermiştir.

Çay ve diğ. [12] yapay sinir ağlarını kullanarak motor performanslarının tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Yakıt olarak metanol kullandıkları çalışmada deneyler dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı bir otomobil motoru kullanılarak yapılmıştır. Modelin kurulabilmesi için farklı devir ve yükler için toplam 55 deney yapılmış olup bunlardan 44 tanesi (%80'i) eğitim, 11 tanesi (%20'si) ise test için kullanılmıştır. Geriye yayılım algoritması kullanılan model için hem SCG hem de LM optimizasyon algoritmalarıyla 13 farklı gizli (3-15) nöron karşılaştırılmış ve en uygun olan model seçilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu seçilmiş ve tüm veriler 0.1 ile 0.9 arasında normalize edilmiştir. Girdi parametreleri; devir sayısı, moment, yakıt debisi, emme manifoldu ortalama sıcaklığı ve soğutma suyu giriş sıcaklığı iken çıktı parametreleri özgül yakıt tüketimi, efektif güç, ortalama efektif basınç ve egzoz gazı sıcaklığıdır. Bu çalışmada her bir çıktı parametresi için ayrı ayrı model geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller için determinasyon katsayısı (R^2), ortalama yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama (RMS) performans ölçütleri kullanılmıştır. Sonuçlara bakıldığında R^2 değerleri eğitim ve test verileri için 1'e çok yakın, RMS değerleri 0.015'ten düşük ve ortalama yüzde hata ise %3.8'ten az olduğu görülmüştür. Bu değerler ise kabul edilebilir sınırlar arasında olup bu modellerin motor performansı ve egzoz sıcaklıklarının tahmini için kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında Diesel yakıtına n-bütanol eklenmesiyle elde edilen karışım yakıtlarının çeşitli çalışma koşullarında özgül yakıt tüketimi, efektif verim, CO ve NOx emisyonlarının tahmini için bir YSA modeli geliştirilmiştir.

2 Deneysel çalışma

Deneysel çalışmada kullanılan deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmalar iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, motor deneyleri için kullanılacak olan Diesel yakıtı-n bütanol karışımları hacimsel olarak %3, 6, 9, 12, 15 oranında alkol içerecek şekilde hazırlanmıştır. Bütanol ile Diesel yakıtı karıştırıldığında herhangi bir faz ayrışması meydana gelmemektedir [9]. Bu sebeple karışım yakıtlara herhangi bir çözücü eklenmemiştir.

Çalışmada kullanılan n-bütanolün saflık oranı %99 olup Diesel yakıtı ve n-bütanole ait yakıt özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise saf Diesel yakıtı ve hazırlanan karışım yakıtları kullanılarak motor deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, her bir karışım oranı için tam gazda 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600 ve 2800 dev/dk. devir sayılarında (hızında olabilir) efektif güç, döndürme momenti, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları

ölçülmüştür. Egzoz emisyonları olarak NO_x ve CO değerleri, ölçüm hassasiyet oranları sırasıyla 1 ppm ve ±0.001 olan BİLSA MOD 2210 egzoz gazı analiz cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Her bir ölçüm için 10 dk. boyunca 5 değer okunmuş ve ortalaması hesaplanarak son değer elde edilmiştir.

Tablo 1: Deney motorunun teknik özellikleri.

Maksimum güç	7.3 kW (9.9 hp); 3600dev/dk.
Silindir çapı	88 mm
Strok	76 mm
Krank yarıçapı	38 mm
Biyel kolu uzunluğu	124 mm
Motor hacmi	462 cm ³ (0.462 L)
Sıkıştırma oranı	20.5:1

Tablo 2: Diesel yakıtı ve n-butanol'ün yakıt özellikleri.

	Diesel Yakıtı	Butanol
Kimyasal formül	C ₁₄ H ₂₄	C ₄ H ₉ OH
Molekül ağırlığı [kg/kmol]	192.346 ^c	74.123 ^c
Yoğunluk [kg/m ³]	834.5 ^a	813.6 ^a
Alt ısııl değer [kJ/kg]	42.600 ^b	33.600 ^b
Setan sayısı	59.8 ^a	8.7 ^a
Kinematik viskozite, 40 °C, [mm ² /s]	2.938 ^a	2.268 ^a
Parlama noktası [°C]	60.5 ^a	37.5 ^a

^a: Laboratuvarında ölçülmüştür, ^b Mendeleyev formülü ile hesaplanmıştır,

^c: Kimyasal formülden hesaplanmıştır.

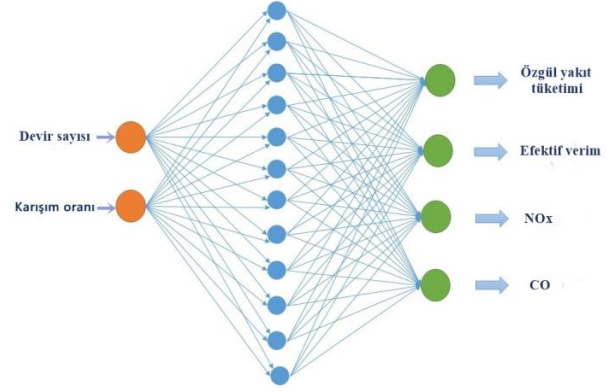
3 Yapay sinir ağları ile modelleme

YSA, biyolojik sinir hücrelerinden esinlenilerek ortaya çıkmış bir bilgi işleme sistemidir. Girdi, çıktı ve bunları birbirine bağlayan bir veya daha fazla gizli katmana sahip olabilen YSA; bilgi akışını nöronlar aracılığıyla yapmaktadır [1]. YSA ile birden fazla girdi ile birden fazla çıktı tahmin edilebilmektedir. İyi eğitilmiş bir YSA geleneksel simülasyon programları veya matematiksel modellerden daha hızlı sonuçlar üretmektedir. Fakat burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, modelin basit ve güvenilir olabilmesi için ağ topolojisinin uygun olarak seçilmesidir [13].

Ağın eğitimi sırasında yaşanabilecek en ciddi sorunların başında ise ağın öğrenmek yerine ezberlemeye başlaması gelmektedir. Bu sorunun en pratik çözümü, doğrulama veri seti kullanarak eğitimi takip etmektedir. Ağın eğitimi sırasında doğrulama veri setinin hata miktarı sürekli olarak hesaplanmakta ve bu hata miktarı belli bir iterasyon boyunca sürekli artış gösterdiği takdirde ağın eğitimi durdurulmaktadır. Böylece ağ ezberlemekten kurtulur ve daha iyi genelleme yapma özelliği kazanmış olur [14].

Bu çalışmada modelleme, deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak MATLAB programında ".m file" kodu oluşturulup yapılmıştır. İleri beslemeli ağ yapısına sahip ve tek bir gizli katmandan oluşan modelde öğrenme algoritması olarak ise geriye yayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır. Ayrıca optimizasyon algoritması olarak Levenberg-Marquardt

(LM) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) seçilmiştir. Girdi katmanı olarak devir sayısı ve karışım oranı kullanılırken çıktı katmanı olarak özgül yakıt tüketimi, efektif verim, NO_x emisyonu ve CO emisyonu kullanılmıştır. Kurulan ağ yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Motor performansı ve egzoz emisyonları için kurulan ağ yapısı.

Geliştirilen model için iki farklı optimizasyon algoritması ve 15 farklı (1:15) gizli nöron sayısı karşılaştırılarak en uygun ağ yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Öğrenme katsayısı ve momentum katsayısı 0.5, maksimum iterasyon sayısı 1500, doğrulama kontrol sayısı 500 ve hata değeri 1×10^{-5} olarak seçilmiştir. Elde edilen modellerin performansını ölçmek için hata karelerinin ortalaması (MSE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (g_i - t_i)^2 \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{g_i - t_i}{g_i} \right| * 100 \quad (2)$$

n = veri sayısı,

g_i = gerçek değer,

t_i = modelin ürettiği tahmin değeri.

4 Bulgular ve tartışma

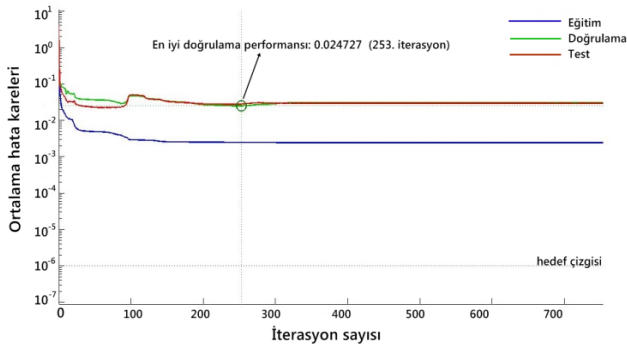
Herhangi bir karışım oranı ve motor devir sayısında motor performansı ve egzoz emisyonlarının bulunması için geliştirilen model için girdi parametresi olarak; devir sayısı ve yakıt türü çıktı parametresi olarak ise özgül yakıt tüketimi, efektif verim, NO_x ve CO emisyonları seçilmiştir. Bu model için 6 farklı yakıt türü ve 10 farklı devir sayısından oluşan toplam 60 adet veri seti kullanılmıştır. Veri seti düzenlenirken mevcut verilerin 45'i eğitim, 5'i doğrulama ve kalan 10 tanesi ise test için kullanılmıştır.

Elde edilen modellerin performansı ölçmek için MAPE değerleri hesaplanmıştır. Bu modelde 4 adet çıktı parametresi olduğu için her bir parametre için 3 ve toplamda 12 MAPE değeri hesaplanmış ve ağırlıklı ortalaması bulunarak en uygun ağ elde edilmeye çalışılmıştır. Bu sonuçlara göre bu model için en uygun ağ yapısı, optimizasyon algoritmasının LM olduğu ve 12 gizli nöronlu ağ olduğu tespit edilmiştir. Geliştirilen bu modele ait performans bilgileri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın MAPE değerleri.

	Eğitim [%]	Doğrulama [%]	Test [%]
Özgül yakıt tüketimi	0.12287	0.40096	0.4088
Efektif verim	0.11778	0.34480	0.0024
NOx	2.95197	3.95866	0.0001
CO	7.10123	14.7075	4.3817

Seçilen modelde en büyük ortalama mutlak yüzde hata karbonmonoksit (CO) emisyonunda doğrulama veri seti için %14.7 çıkmıştır. Özgül yakıt tüketiminde üç veri seti için de uygun sonuçlar çıkmıştır ve buna ait maksimum hata, test veri seti için %0.4088 olarak bulunmuştur. Efektif verim için de özgül yakıt tüketimine benzer sonuçlar bulunmuştur. Efektif verimin maksimum hata değeri, doğrulama veri seti için %0.3448 olarak bulunmuştur. NOx için ise hata miktarı, performans parametrelerinden daha yüksek fakat kabul edilebilir seviyede çıkmıştır. NOx için maksimum hata doğrulama veri seti için %3.9586 olarak bulunmuştur. CO emisyonlarında hata miktarları üç veri seti için de diğerlerine göre yüksek çıkmıştır. CO için maksimum hata %14.7 ile doğrulama veri seti için meydana gelmiştir. Doğrulama veri seti, toplam veri setinin yaklaşık %8'ini oluşturduğu için genel hatada çok fazla etkili değildir. Dolayısıyla bu sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmektedir. Şekil 2'de ağın eğitim süresince meydana gelen performans eğrisi görülmektedir.

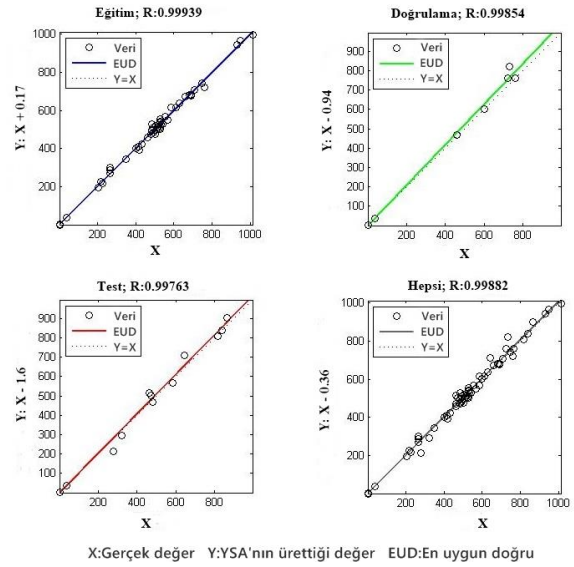


Şekil 2: Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağın performans eğrisi.

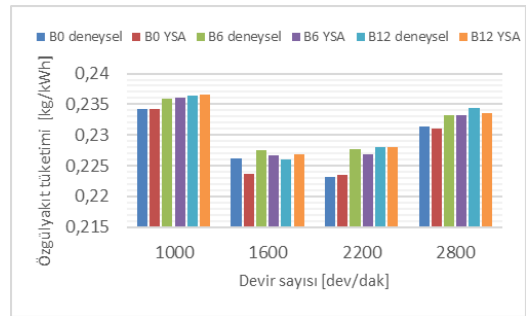
Şekil 2'den görüldüğü gibi ağın eğitimi 253. iterasyonda tamamlanmış ve bu nokta için MSE değeri 0.024727 olarak bulunmuştur. Şekil 3'te ise modele ait regresyon grafikleri verilmiştir. Kolerasyon katsayıları eğitim, doğrulama, test ve tüm veriler için sırasıyla 0.999, 0.998, 0.997 ve 0.998 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar model ile gerçek verilerin birbirleriyle uyum içinde olduğunu göstermektedir.

Şekil 4, 5, 6 ve 7'de sırasıyla özgül yakıt tüketimi, efektif verim, NOx ve CO emisyonları için 3 farklı karışım oranı (B0, B6 ve B12) ile 4 farklı devir sayısı (1000, 1600, 2200 ve 2800) durumunda YSA ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde Diesel yakıtına bütanol eklenmesiyle özgül yakıt tüketiminde artma meydana gelmiştir. Bütanolün ısısal değeri Diesel yakıtına göre daha düşük olduğundan motorda aynı gücü elde edebilmek için daha fazla yakıt harcanması gerekmektedir. Şekil 5'te verilen diğer bir parametre olan efektif verim de karışım yakıtındaki artan bütanol oranıyla birlikte artma eğilimi göstermektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında birkaç faktör

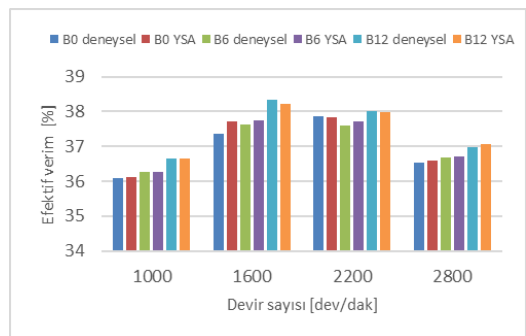
rol oynamaktadır. İlk olarak bütanolün içindeki oksijen önemli bir etkidir. Çünkü yakıttaki oksijen içeriği, yanmayı iyileştirmektedir. Diğer bir faktör ise bütanolün, Diesel yakıtına göre daha düşük setan sayısına sahip olmasıdır. Düşük setan sayısı, tutuşma gecikmesinin uzamasına sebep olmakta ve bütanolün Diesel yakıtına göre daha yüksek laminer alev hızına sahip olmasıyla da ön yanma fazı uzamaktadır. Yani sabit hacimde yanma işlemi uzamış olmaktadır. Ayrıca, karışıma bütanol eklenmesiyle silindiri içi sıcaklıklar azalmaktadır. Isı kayıplarının azalmakta ve bu da verimi arttırıcı yönde bir etki ortaya çıkarmaktadır. Bu sonuçlar ilgili literatüre uygun birer sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır [2],[8],[9],[15].



Şekil 3: Motor performansı ve egzoz emisyonları için geliştirilen ağına ait regresyon grafikleri.

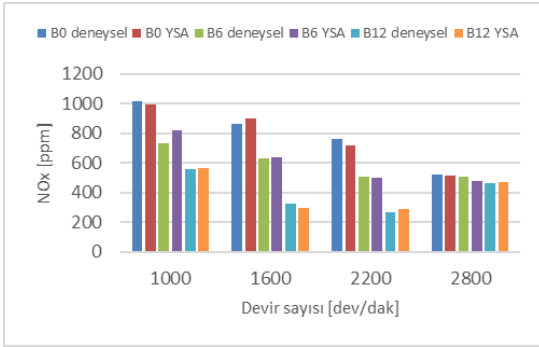


Şekil 4: Özgül yakıt tüketimi için YSA ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.

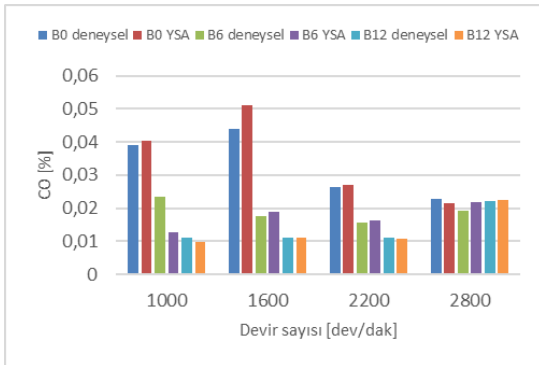


Şekil 5: Efektif verim için YSA ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.

Şekil 6'da saf Diesel yakıtına bütanol eklenmesiyle NOx emisyonlarının azaldığını görülmektedir. Ayrıca bu azalışın özellikle düşük devir sayılarında daha yüksek mertebede olduğu açıkça görülmektedir. NOx emisyonları üzerindeki en önemli parametre yanma sıcaklığıdır. Düşük ısı değer ve yüksek buharlaşma ısı, yanma sonu sıcaklığını düşürürken; düşük setan sayısı (tutuşma gecikmesi fazla olur ve ön yanma fazı sıcaklığı artar) yanma sonu sıcaklığını artırmaktadır. Fakat burada düşük ısı değer ve yüksek buharlaşma ısı daha etkin rol oynayarak yanma sonu sıcaklığını düşürmüştür ve dolayısıyla daha az miktarda NOx meydana gelmiştir. Son olarak ise Şekil 7'de CO emisyonlarının değişimi verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde Diesel yakıtına bütanol eklenmesiyle CO emisyonlarının düşme trendine girdiği görülmektedir. CO emisyonlarındaki düşüşte en büyük etmen, bütanolün içinde bulunan oksijen bileşenidir ve bu durum da yanma işlemini iyileştirmekte ve CO emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Emisyonlar ile ilgili elde edilen sonuçlar literatüre uygun olarak bulunmuştur [8],[9],[15].



Şekil 6: NOx emisyonu için YSA ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.



Şekil 7: CO emisyonu için YSA ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde kurulan YSA modelinin ürettiği sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçların uyumu hem performans hem de emisyon açısından tatmin edici olarak bulunmuştur.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada n-bütanol-Diesel yakıtı karışımları için motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyon değerlerinin tahmini için bir YSA modeli geliştirilmiştir. Ağın eğitimi için girdi parametreleri yakıt karışım oranı ve devir sayısı iken çıktı parametreleri olarak özgül yakıt tüketimi, efektif verim, NOx ve CO emisyonları seçilmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Geliştirilen model için en uygun ağ yapısının, 12 gizli nörona sahip ve optimizasyon algoritmasının LM olduğu durumda elde edilmiştir,
- Modelde, özgül yakıt tüketimi, efektif verim, NOx emisyonu ve CO emisyonu için maksimum hata miktarları sırasıyla %0.4088, %0.3448, %3.958 ve %14.707 olarak bulunmuştur,
- Ortaya çıkan hata oranları, kurulan YSA modelin performans ve emisyon tahminleri için güvenle kullanılabilirliği anlamına gelmektedir,
- Ağın eğitimi 253. iterasyonda tamamlanmış ve bu nokta için MSE değeri 0.024727 olarak bulunmuştur,
- Kolerasyon katsayıları eğitim, doğrulama, test ve tüm veriler için sırasıyla 0.999, 0.998, 0.997 ve 0.998 olarak elde edilmiştir.

6 Teşekkür

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: FYL-2015-5286).

7 Kaynaklar

- [1] Gürgen S. Modeling of Cyclic Variability Using Artificial Neural Network in a Diesel Engine Fueled with Alternative Fuel Blends. MSc Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 2016.
- [2] Şahin Z, Aksu ON. "Experimental investigation of the effects of using low ratio n-butanol/diesel fuel blends on engine performance and exhaust emissions in a turbocharged DI diesel engine". *Renewable Energy*, 77, 279-290, 2015.
- [3] Kumar V, Gupta D, Siddiquee MWN, Nagpal A, Kumar N. "Performance and emission characteristics of n-butanol and iso-butanol diesel blend comparison". *SAE Technical Paper* 2015- 01-2819, 2015.
- [4] Salih Ö. "Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(1),97-114, 2014.
- [5] Bilgin A, Durgun O, Şahin Z. "The effects of diesel-ethanol blends on diesel engine performance". *Energy Sources*, 24(5), 431-440, 2002.
- [6] Kumar S, Cho JH, Park J, Moon I. "Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 46-72, 2013.
- [7] Giakoumis EG, Rakopoulos CD, Dimaratos AM, Rakopoulos DC. "Exhaust emissions with ethanol or n-butanol diesel fuel blends during transient operation: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17, 170-190, 2013.
- [8] Rakopoulos DC, Rakopoulos CD, Giakoumis EG, Dimaratos AM, Kyritsis DC. "Effects of butanol-diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine". *Energy Conversion and Management*, 51, 1989-1997, 2010.
- [9] Doğan O. "The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions". *Fuel*, 90(7), 2467-2472, 2011.

- [10] Chen G, Yu W, Li Q, Huang Z. "Effects of n-butanol addition on the performance and emissions of a turbocharged common-rail diesel engine". *SAE Technical Paper* 2012-0148, 7191, 2012.
- [11] Shanmugam P, Sivakumar V, Murugesan A, Ilangkumaran M. "Performance and exhaust emissions of a diesel engine using hybrid fuel with an artificial neural network". *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(15), 1440-1450, 2011.
- [12] Çay Y, Çiçek A, Kara F, Sağıroğlu S. "Prediction of engine performance for an alternative fuel using artificial neural network". *Applied Thermal Engineering*, 37, 217-225, 2012.
- [13] Ghobadian B, Rahimi H, Nikbakht AM, Najafi G, Yusaf TF. "Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network". *Renewable Energy*, 34(4), 976-982, 2009.
- [14] Meng X, Jia M, Wang T. "Neural network prediction of biodiesel kinematic viscosity at 313K". *Fuel*, 121, 133-140, 2014.
- [15] Rakopoulos DC, Rakopoulos CD, Hountalas DT, Kakaras EC, Giakoumis EG, Papagiannakis RG. "Investigation of the performance and emissions of bus engine operating on butanol/diesel fuel blends". *Fuel*, 89(10), 2781-2790, 2010.