

Yapay Sinir Ağları Kullanarak Dizel Motorlarda Termal Bariyer Kaplamanın Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi

Bekir ÇIRAK¹ ve Hüseyin GÜRBÜZ²

¹ Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,

² Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,

b.cirak@sirnak.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, 4 zamanlı, 1 silindirli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorun yanma odası elemanları olan, silindir kapağı, piston ve supaplar plazma sprey kaplama yöntemi kullanılarak seramik bir malzeme olan Alümina- Stabilize Zirkonyum (Al_2O_3 - ZrO_2) ile kaplanmıştır. Deneysel çalışma için seçilen motor, kaplanmış motor (KM) ve normal motor (NM) olarak tam yükte çeşitli hızlarda çalıştırılarak test edilmiştir. Normal motora göre seramik malzeme ile kaplanmış motorda egzoz gazı sıcaklığı artmış böylelikle yanmada ve egzoz emisyonlarında iyileşmeler meydana geldiği anlaşılmıştır. Tek girişli ve tek çıkışlı adı verilen yapay sinir ağları modeli her bir emisyon değeri için kullanılmıştır. Bu çalışmada kaplanmış motor ve yapay sinir ağları grafik değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Yani yapay sinir ağları tarafından bu değerler tahmin edilmiştir. Bu tahminler, endüstride kontrol amacı ile kullanılabilir. Yapay sinir ağları ve kaplanmış motor arasındaki simülasyon eğrilerinin sonuçları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel Motor, Termal Bariyer Kaplama, Egzoz Emisyonları, Yapay Sinir Ağları (YSA)

Neural Networks Using The Investigation Of The Effects Of Thermal Barrier Coating In Diesel Engines

Abstract

In this study, using atmospheric plasma spray method piston and valves of a diesel engine was coated with ceramic material (Al_2O_3 - ZrO_2). This ceramic coated test engine was tested 250 hours at different speed and load conditions. Then, this test engine coated motor (KM) was tested again under the same operation conditions as the standard engine (NM) without a coating. The test show that exhaust temperatures increase as a result of the ceramic material coated. The changes in the combustion process due to insulation also affect exhaust emissions. Artificial Neural Network model of called single input single output was used for each emission. In this study coated motor and artificial Neural Network graphic values has been near of each other. So estimated parameters emission of engine by artificial neural network. This estimating values will be use control purposes in industry. Investigated result of the relationship artificial neural network and coated motor between the simulation curves.

Keywords: Diesel Engine, Thermal Barrier Coating, Exhaust Emissions, Artificial Neural Network (ANN)

1. Giriş

İçten yanmalı motorlar, dünya petrol üretiminin günlük toplamının yaklaşık olarak üçte birini kullanmaktadırlar [1]. İçten yanmalı motorlu araçların sayısının artması ile atmosfere saldıkları emisyonlara paralel olarak hava kirliliği de hızla artış göstermektedir. Motorlardaki yakıtın verimli bir şekilde kullanılması ve egzoz gazları içindeki kirletici emisyonların azaltılması ile ilgili araştırmalar büyük bir hızla devam etmektedir.

Bu yapılan araştırmalar genellikle motorların yapısal özellikleri ve motor yakıtlarının verimliliği ve çevreye olan etkisi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Hava kirliliğine neden olan hidrokarbon esaslı yakıtların yanması sonucu açığa çıkan; Karbonmoksit (CO), Karbondioksit (CO₂), Azotoksit (NO_x), Hidrokarbon (HC) ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi bir sağlık problemi oluşturmaktadır. Sadece motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği, Petrol ve petrol ürünlerinden elde edilen yakıtları yakan sabit motorlar, endüstriyel motorlar ve ev bacaları gibi kaynaklardan atmosfere atılan gazların oluşturduğu hava kirliliğinin oranına ulaşmaktadır [2].

Motorlarda performansın artırılmasının etkin yolu, yakılan birim yakıttan daha fazla verim elde edilmesi ile sağlanır. İçten yanmalı bir motorda kullanılabilir enerjinin %30-40 civarında olduğu bilinmektedir. Geri kalan kısmının bir miktarı, motor parçalarını yüksek sıcaklıktan korumak amacıyla yapılmış olan soğutma sistemi için harcanır, geri kalan kısmı ise ortalama 400-600°C sıcaklıktaki egzoz gazlarına geçerek atmosfere atılırlar [3].

İçten yanmalı motorlarda birim yakıttan kazanılan enerji miktarı, kaybedilen enerji miktarından oldukça düşüktür. Bu kaybın sebebi; birçok etkenlerin yanında önemli bir etken olarak yanma sıcaklığının düşük olması, olarak görülür. Yanma esnasında yeterli sıcaklığı bulamayan yakıt oksijenle kimyasal reaksiyona giremez ve böylelikle tam yanma gerçekleşmez [4].

Yanma odası elamanları (supap, piston ve silindir kapağı yüzeyleri) seramik bir malzeme ile kaplanarak, yanma zamanı sonunda oluşan ısının yanma odası elemanları üzerinden transferinin azaltılması ve soğutma sistemine harcanması kısmen engellenmektedir [5].

Havstad ve arkadaşlarının seramik kaplı tek silindirli bir dizel motor ile yaptığı çalışmada, yanma sırasında oluşan ısı kaybında %25, özgül yakıt tüketiminde %9'luk bir azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir [6].

Gatowski, tek silindirli doğal emişli bir dizel motorun yanma odası elamanlarını seramikle kapladığı çalışmasında, NO_x emisyonunda %23 artış meydana geldiğini belirtmektedir [7].

Alkidas, tek silindirli bir dizel motorunda yanma odasını seramik ile kaplayarak gerçekleştirdiği deneysel çalışmada seramik kaplı motorun; özgül yakıt tüketimini azalttığını, NO_x emisyonlarını artırdığını, HC ve is emisyonlarını ise azalttığını belirtmektedir [8].

Toyama ve arkadaşları, türboşarjlı bir dizel motorunun yanma odasını ZrO₂ malzemesi ile kaplayarak yapmış oldukları çalışmalarında, ısı transferinde %50'ye varan bir azalma ve yakıt sarfiyatında ise %11'e varan iyileşmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir [9].

Hazar ve Öztürk, bir dizel motorun piston, silindir kafası, egzoz ve emme supaplarının yüzeylerini plazma sprej yöntemiyle Al₂O₃-TiO₂ ile kaplayarak kullandığı çalışmalarında, egzoz sıcaklığında kaplama sonucunda %11'lik bir artış, özgül yakıt sarfiyatında yaklaşık %4 ve CO emisyonunda ise %19 bir azalma sağlamışlardır [10].

Bu çalışmada tek silindirli dizel bir motorun yanma odası elamanlarını plazma sprej kaplama yöntemi kullanılarak Alümina-Stabilize Zirkonyum (Al₂O₃- ZrO₂) seramik malzemesi ile kaplanmıştır. Kaplanmış motor (KM) ve normal motor (NM) aynı şartlar altında tam yükte ve çeşitli hızlarda çalıştırılarak test edilmiştir. KM ve NM emisyon değerleri grafikler üzerinde karşılaştırılmıştır.

Tek girişli ve tek çıkışlı adı verilen yapay sinir ağları modeli her bir emisyon değeri için kullanılmış ve YSA modelinde tekrar oluşturulmuştur. Bu çalışmada kaplanmış motor ve yapay sinir ağları grafik değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Yani

yapay sinir ağları tarafından bu değerler tahmin edilmiştir. Yapay sinir ağları ve kaplanmış motor arasındaki simülasyon eğrilerinin sonuçları incelenmiştir.

2. Materyal Ve Yöntem

Yapılan deneylerde su soğutmalı, 1 silindirli, direkt püskürtmeli ve 4 zamanlı bir dizel motoru kullanılmıştır. Bu motora ait teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

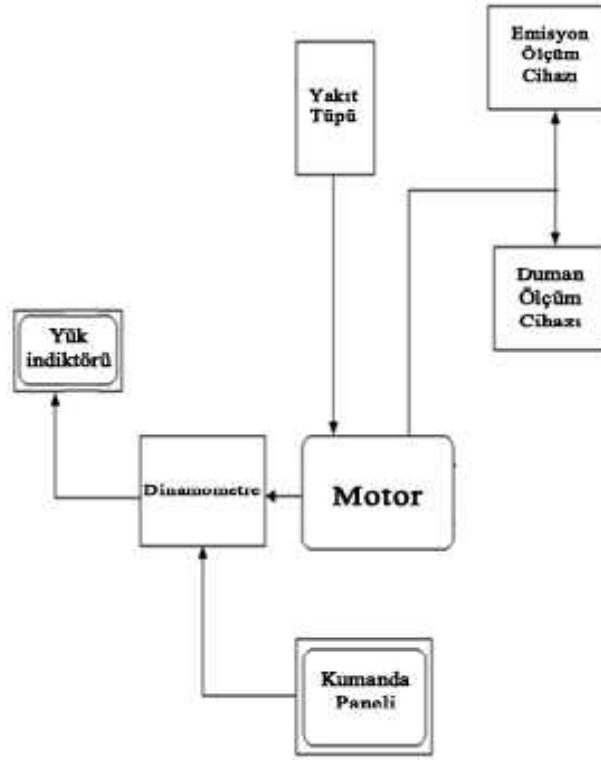
Tablo1. Deney motoruna ait teknik özellikler.

Markası ve Modeli	Solax, Dizel
Motor tipi	4 zamanlı ve hava soğutmalı.
Yakıt sistemi	Direkt püskürtme
Piston çapı ve yolu (mm)	78 x 62
Silindir hacmi (cm ³)	296
Silindir Sayısı	1
Motor hızı (1/min)	3600
Maksimum güç (kw)	5
Depo hacmi (L)	3.5
Yakıt sarfiyatı (gr/HP/h)	215
Yağ kapasitesi (L)	1.1

Deney düzeneğinin ve proses akışının şematik görünümü ise Şekil 1’de verilmiştir. Deneyler sırasında motor devrini ölçmek için elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Ölçümlere başlamadan evvel emisyon cihazı kalibre edilmiştir. Cihaz CO, CO₂, NO_x, HC gazlarını ölçebilmektedir. Deneyler 1200 d/d - 3000 1/min arası motor hızlarında gerçekleştirilmiştir.

Standart motorda motorin ile yapılan deneylerden sonra, motorun piston ve supapları kaplama işlemi için sökölüp, sıkıştırma oranının değişmemesi için piston ve supaplardan kaplama kalınlığı kadar (0,3 mm) talaş kaldırılmıştır. Kaplama işlemine geçilmeden önce kaplamanın yüzeye daha iyi yapışması için silindir kapağının yanma odası üstüne gelen kısmı, piston ve supap yüzeyleri pürüzlendirilmiştir. Kaplanacak yüzeylere önce plazma sprey yöntemi ile 0,10 mm kalınlığında nikel krom alüminyum (NiCrAl) astar tabaka atılmıştır. Daha sonra astar tabakanın üzerine 0,20 mm kalınlığında alümina stabilize zirkonya (Al₂O₃-ZrO₂) plazma sprey yöntemi ile kaplanmıştır. NM motorda yapılan testler, KM durumu için tekrarlanmıştır. NM ve KM durumları için yapılan testler sonucunda elde edilen verilen mukayese edilmiştir.

Deneyde kullanılan motorun kaplanmış piston, supap ve silindir kapağı şekil 2 ve 3 de gösterilmiştir Aynı özelliklere sahip olan başka bir piston silindir kapağı ve supaplar da kaplamasız olarak kullanılmıştır. Bu her iki motor da dinamometre tezgâhına bağlanarak belirli devir sayılarında test edilmiştir.



Şekil 1. Proses akışı



Şekil 2. Silindir kapağı ve supapların NM ve KM hali



Şekil 3. Pistonun NM ve KM hali

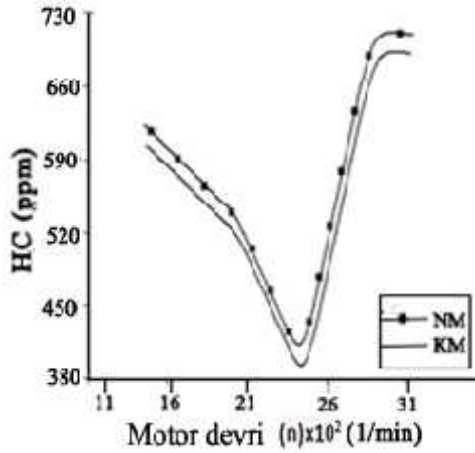
Egzoz gazı emisyon değerleri her iki motor için elde edilen ölçülüp değerler grafik haline dönüştürülerek gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır.

3. Deneysel Sonuçları Ve Tartışma

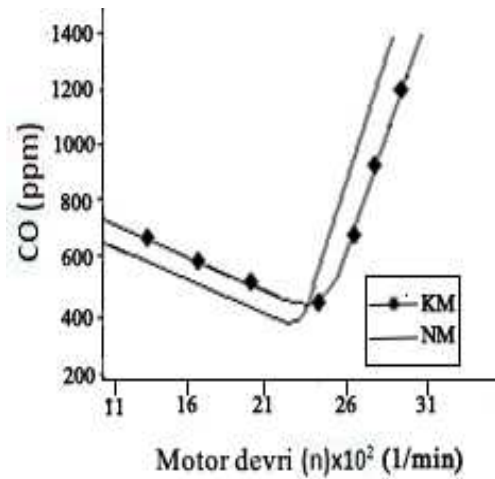
Seramik kaplı motor (KM) ile kaplamasız normal motora (NM) ait egzoz gazı çıkış sıcaklıklarının motor devir sayısına göre değişimi grafik halinde karşılaştırılarak incelenmiştir.

Zararlı emisyonlardan olan HC emisyonunun tam yükte hızlara göre değişim grafiği Şekil 4'de verilmiştir. Kaplama sonucunda artan yanma odası sıcaklığı ile tam yanma gerçekleşmiştir. Yüksek hızlarda sıcaklık artmasına rağmen HC emisyonunun artmasının sebebi, yanmanın kötüleşmesi, tam yanmanın gerçekleşmemesi böylelikle yanmayan yakıt oranının artmasındadır. Yeterli hava alınmadığında O₂ ile tepkimeye girememektedir. Yüksek hızlarda yeterince hava emme imkânı bulamayan motor volümetrik verim kayıpları yaşadığından yanma kötüleşerek HC emisyonları artmaktadır.

Yanma odası sıcaklığının yanma esnasında CO oluşumunda önemli bir etkisi vardır. Yapılan kaplama neticesinde KM'nin yanma odası sıcaklığının arttığı, buna bağlı olarak bu motorda CO konsantrasyonunun NM'a göre biraz daha düşük olduğu Şekil 5'de görülmektedir. Seramik kaplı motorda yanma odası daha sıcak olduğundan yanma daha iyileşmiş CO'nun CO₂'ye dönüşmesi kolaylaşmıştır [11].



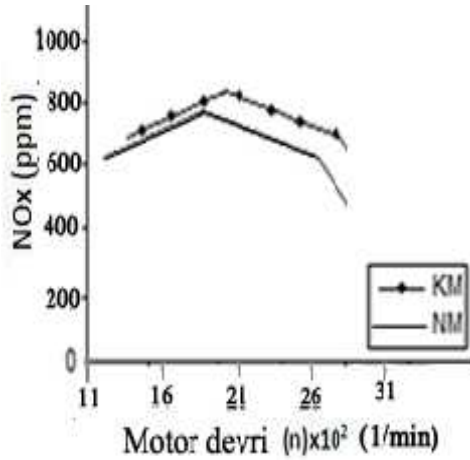
Şekil 4. HC Emisyonlarının devir sayısı ile değişimi.



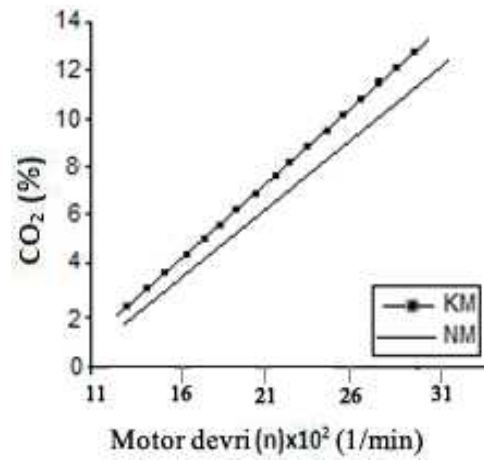
Şekil 5. CO emisyonlarının devir sayısı ile değişimi.

Azot oksit emisyonlarının oluşumunda hava/yakıt oranı ile ortam sıcaklığının önemli bir rolü vardır. Yanma odası sıcaklığının artması, oksijen moleküllerinin parçalanması ile beraber NO_x oluşum hızı da yükselmektedir. Şekil 6'da devir sayısına bağlı olarak azot oksitleri (NO_x) değişimi gösterilmiştir. Sıcaklık ve hava/yakıt oranı NO_x oluşumunu etkileyen önemli faktörlerdir [12]. Sıcaklığın artması ile N₂'nin O₂ ile tepkimeye girmesi artmaktadır. KM'de NM'ye göre NO_x artış göstermesi bu sebeptendir.

Şekil 7 de ise Motor hızı artırılması ile beraber her durum için CO₂ emisyonu artmaktadır. Silindirlere gönderilen yakıt miktarındaki artış egzozdaki CO₂ emisyonunu da arttırmaktadır. Artan yakıt miktarı ile seramik kaplama neticesinde artan sıcaklıktan dolayı KM'nin CO₂ emisyonu daha artmıştır.



Şekil 6. NOx Emisyonlarının devir sayısı ile değişimi.

Şekil 7. CO₂ emisyonlarının devir sayısı ile değişimi.

NM ve KM motorda, dizel yakıtı ile yapılan değişken hız testleri sonucunda motor yüküne bağlı olarak hava fazlalık katsayısı, CO, CO₂, NO_x, ve duman emisyonlarının değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Her durumda gözlenen değişimler NM motor ile mukayese edilmiştir.

4. Yapay Sinir Ağlarıyla Modelleme

Yapay sinir ağları (YSA) teknolojinin gelişmesine uyum sağlayarak mühendislik uygulamaları ve birçok ticari sistemde yaygın kullanım alanı bulmuştur. Yapay sinir ağları bilgilerin toplanması, öğrenme, karar verme, problemleri çözme ve bilimsel buluşların modellenmesi gibi özelliklerinden dolayı sürekli ve hızlı gelişmeye açık bir bilim dalı olmuştur. Bilgisayarlar ve yazılımları, matematiksel olarak çözülemeyen ya da çözümü çok zor olan problemleri tahmin yöntemlerini kullanarak çözmeye başlamıştır. Bu amaçlar için Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network-ANN) adı verilen akıllı öğrenme yöntemleri geliştirilmiştir. YSA ve analizleri ile simülasyonu MATLAB-2011 programında yapılmıştır. MATLAB-2011 neural network toolbox'ında gerekli parametreler tanımlanmıştır.

YSA'ları olaylara ve problemlere çözüm üretirken var olan bilgiye bağlı olarak karar verirler ve öğrendikleri bilgileri sonraki olayları tahmin etmek için kullanırlar[13]. Tablo 2' de deney setindeki kumanda panelinden alınmış giriş ve çıkış değerleri görülmektedir. Tablo 2'deki bu değerler 40 adettir. 20 adedi YSA eğitimi için 20 adedi ise YSA testi için kullanılmıştır. Rastgele olarak proses panelinden alınan değerler, rastgele YSA ağına gönderilmiştir.

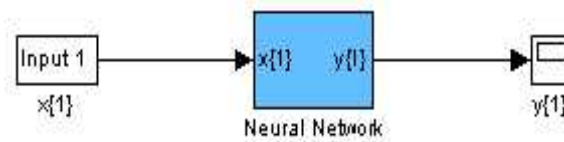
Tablo 2. YSA da kullanılan giriş ve çıkış değerleri

Veri No	Giriş	Çıkış			
	Motor Devri (d/dk)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO _x (ppm)	HC (ppm)
1	2500	6	100	100	400
2	3000	7	200	200	450
3	3500	8	300	300	500
4	2000	4	400	400	550
5	500	5	500	500	600
6	1000	1	600	600	650
7	1500	2	700	700	700
8	2000	3	800	800	750
9	2500	9	900	900	800
10	2000	12	1000	1000	850
35	2000	8	100	300	600
36	2500	7	200	100	650
37	2000	8	700	500	700
38	2000	2	300	500	400
39	500	3	400	500	450
40	1000	1	500	100	550

Uyarı: Tablodaki diğer 20 satır bu verinin 20 tanesini YSA eğitimi için diğer 20 satır ise YSA testi için kullanılmaktadır.

Giriş parametresi motor devrine göre, her bir çıkış parametresi olan emisyon parametreleri (CO₂, CO, NO_x ve HC) göre ayrı ayrı tasarlanmış SİSO (Single Input Single Output) adı verilen tek giriş ve tek çıkış olarak modellenmiştir (Şekil 8).

SİSO modelinin diğer modellerden farkı, çıkış parametresini etkileyen giriş parametresinin de tek olmasıdır. Zaten YSA larda çıkış parametresi tek olur. Giriş parametrelerinin birden fazla aynı anda olabileceği gibi bire bir olarak da ele alınabilir.

**Şekil 8.** YSA modeli SİSO genel yapısı

Şekil 8'e göre giriş parametreleri ortak olmak koşulu ile her bir çıkış için ayrı ayrı YSA modeli kabul edilmiştir. Yani tek girişi tek çıkışı olan 4 adet YSA modeli düşünülmüştür. Bu modeller için hata değerleri Tablo 3 de gösterilmiştir. Her bir YSA modeli için 1 gizli katman ve gizli katmanda 10 adet nöron kullanılmıştır. Tüm veriler 10.000 iterasyon için uygulanmıştır. Verilerin eğitilmesi için kullanılan YSA ağ yapısına göre yapay sinir ağlarının eğitilmesi sonrası elde edilen hata ve iterasyon değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Eğitilen ağların 10.000 iterasyon için hata değerleri

Eğitilen Yapay Sinir Ağları	10000 İterasyon İçin Hata
Net_y_h_s	0.0548138
Net_n_h_d	0.0557367
Net_y_t	0.0547878
Net_n_s	0.0586739
Net_v_t	0.0536712

YSA'lar proses elemanları (nöronlar) olarak bilinen çok sayıda işlem yapma biriminin bulunduğu giriş ve çıkış katmanları arasına yerleştirilmiş bir veya daha fazla ara katmandan (layers) yapılmış olan çoklu birimlerdir. YSA'lar, girdiler ile çıktılar arasında doğrusal olmayan ilişkilerin gerekli olduğu durumlarda kullanılırlar. YSA'larda bir proses (süreç) elemanın 5 temel bileşeni vardır. Bunlar; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olarak sıralanabilir [14].

Bu 5 temel bileşen, YSA'ların matematiksel yapısını oluşturur ve bu matematiksel yapı aşağıdaki denklemlere dayalı olarak hesaplanır. Çok katmanlı bir YSA'nın ölçülen bir değere karşılık tahmin edeceği değer için uyguladığı adımlar, denklem (1-5) yardımıyla hesaplanır:

$$net_j = \sum_{i=0}^N w_{ij} x_i \quad (1)$$

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

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij} \quad (3)$$

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} out_j \quad (4)$$

$$E_i = \frac{1}{2} (d_i - (\sum_{j=0}^N w_{ij} x_i))^2 \quad (5)$$

Burada;

N : Ara katmandaki j . proses elemanının giriş sayısı

w_{ij} : ileri katmandaki i . den $-j$. ye kadar olan proses elemanın ağırlık katsayısı

x_i : Geri katmandaki i . proses elemanından elde edilen giriş değeri

$f(net_j)$:Tanjant hiperbolik gibi bir aktivasyon (transfer) fonksiyonu

Out_j : Net çıkış değeri

Δw_{ij} : Hesaplanan ağırlıkların değişim miktarını,

W_{ij}^{yeni} : Yeni ağırlık değerlerini

W_{ij}^{eski} : Eski ağırlık değerlerini

E_i : Ortalama hataların kareleri toplamı (MSE),

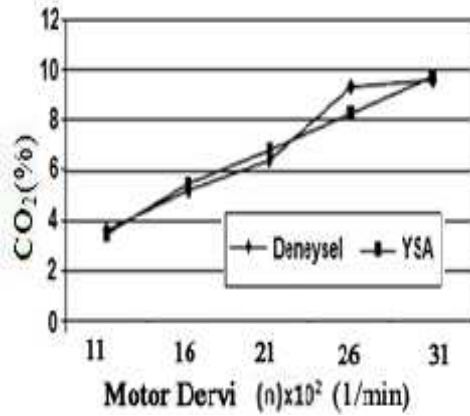
d_i : istenen veya beklenen emisyon değerlerini

η : Öğrenme parametresini göstermektedir.

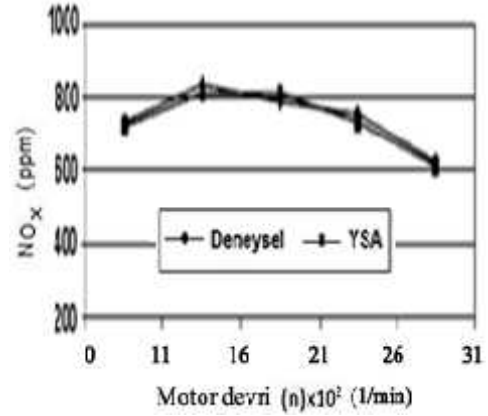
YSA eğitimi esnasında, momentum katsayısı (α :0.8), öğrenme katsayısı (η :0.7), eğitim süresi (t : 10 dakika) olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, çok katmanlı geri beslemeli-ileri sürümlü bir YSA, emisyon değerleri modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Ölçülen değer ile tahmin edilen değer arasındaki hataların hesaplanmasında, en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada her bir YSA ağ modeli için yer alan YSA'nın giriş katmanında bir proses elemanı, ara katmanda 10 proses elemanı ve çıkış katmanında bir proses elemanı kullanılmıştır. Net çıkış değerinin hesaplanması için tanjant hiperbolik tipi doğrusal olmayan bir transfer (aktivasyon) fonksiyonu çıkış tabakasında ise pureline (doğrusal) transfer fonksiyonları kullanılmıştır.

Grafik incelendiğinde % 8.3 noktasında CO_2 miktarında ve 2575 d/dk da YSA da bir artma olduğu görülmekte, diğer noktalarda KM motorunun deneysel verileri aynen YSA tarafından tahmin edilmiştir (Şekil 9).



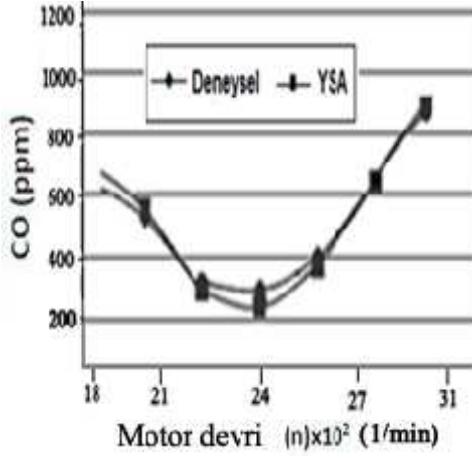
Şekil 9. CO_2 Emisyonlarının devir sayısı ile değişimi.



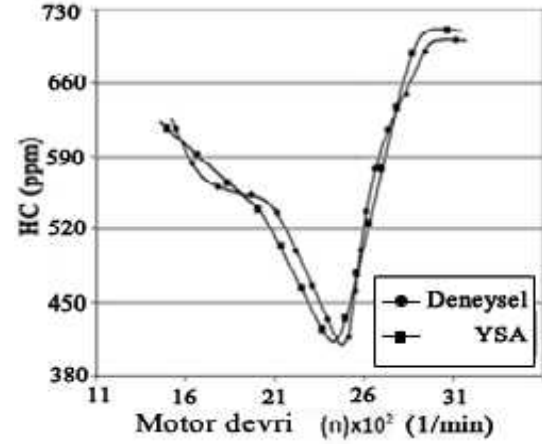
Şekil 10. NO_x Emisyonlarının devir sayısı ile değişimi.

Şekil 10' da YSA ile deneysel veriler aynı NO_x emisyon değerlerini sağlamaktadırlar. % 0.5 gibi bir hata değerine karşılık gelmektedir.

Şekil 11 'de ise CO emisyonunun, 230 ppm YSA ve 250 ppm deneysel verileri arasında bir farklılık görülmektedir. Bu durum ise % 0.8 lik bir hataya karşılık gelmektedir.



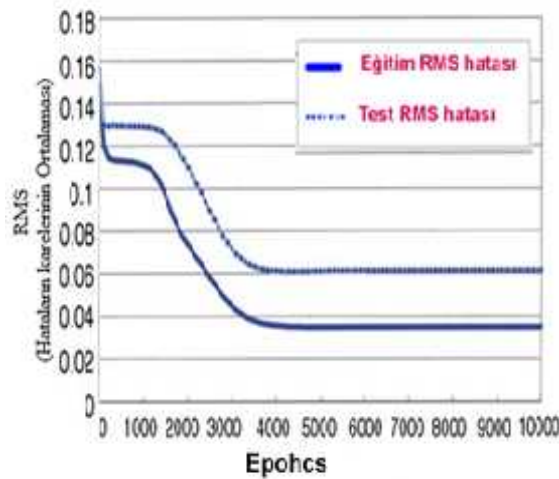
Şekil 11. CO Emisyonlarının devir sayısı ile değişimi.



Şekil 12. HC emisyonlarının devir sayısı ile değişimi

Şekil 12 de,% 1.7 lik bir hata oranı ile HC emisyonu değişik ppm değerlerinde deneysel ve YSA değerleri birbirlerine yakınlaşmışlardır.

Sistemin sırasıyla eğitim ve test performansı Şekil 13'de görülmektedir. Görüleceği üzere hata karelerinin ortalaması 1000. iterasyonda kademeli olarak düşmüş ve sırasıyla % 0.6 ile % 0.37değeri civarında devam etmiş ve 10.000 iterasyonda son bulmuştur.



Şekil 13. RMS hata karelerinin ortalaması

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, bir dizel motorunun yanma odası elamanları, plazma sprey yöntemi kullanılarak seramik bir malzeme olan Alümina - stabilize Zirkonya ($Al_2O_3 - ZrO_2$) ile yalıtımı sağlanan motorun deneyler sonucu elde edilen HC, CO NO_x ve duman

emisyonlarının sayısal değerleri ile YSA yöntemine dayalı olarak geliştirilen bir tahmini matematiksel modelin üretmiş olduğu sayısal sonuçlar incelenmiştir.

Yapılan motor deneyleri sonucunda KM motordaki yalıtım seviyesinin artırılması sonucunda genel olarak HC, CO ve duman emisyonlarında azalma NO_x emisyonunda ise artış olduğu belirlenmiştir. KM uygulaması sonucu emisyon parametrelerinde gözlenen değişiklerin temelde silindir içi gaz sıcaklıklarındaki artıştan kaynaklandığı görülmektedir.

Seramik kaplı motorlarda NO_x emisyonunun iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapılabilir. Seramik kaplı motorlarda alternatif yakıt ve biodiesel denemeleri yapılabilir. Seramik kaplama tekniğinin benzinli motorlar üzerindeki etkileri araştırılabilir. Kaplama malzeme çeşidi artırılabilir. Gerçekleşen ısı kayıplarını daha da azaltmak için silindir gömleklerinin kaplama çalışması yapılabilir. Yanma odası elamanları malzeme içeriğinde seramik malzemeler olacak şekilde yeniden tasarlanabilir. Maliyeti yaklaşık 2000 TL civarında olan deney çalışması farklı kaplama yöntemleri ve kaplama malzemesi kullanılarak daha uygun maliyette yapılabilir. Çalışılan motorun tek silindri bir motor olduğu düşünülürse 4 silindri bir motor için maliyet yaklaşık 3 katı olacaktır.

Yapılan bu çalışmanın deney sonuçları daha önce yapılan benzer çalışmaların sonuçlarına yakın değerlerde çıkmıştır. Deney sonuçları YSA yöntemi kullanılarak yakın değerle tahmin edilmiştir. Böylelikle yaptığımız bu çalışmanın güvenilirliği de artırmış olmaktadır.

YSA yöntemiyle oluşturulan tahmini emisyon modeli küçük eğitim ve test hataları üretmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, endüstrideki otomotiv üreticilerine deneysel parametrelerin kullanılması hakkında önemli bilgi, tavsiye ve destek verilebilir. Otomotiv üreticileri, benzer veya yakın kaplama şartları ile modelledikleri zaman deney yapmadan ya da çok az deney yaparak bu çalışmadaki emisyon sonuçlarını güvenli bir biçimde kullanabilirler.

Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, bu tür kaplama malzemesi kullanarak motor performans ve emisyonlarına etkisinin YSA modeli kullanarak tahminde bulunmasıdır. Ayrıca motor emisyonlarına etki eden giriş parametreleri ile ilgili yapılan bu YSA çalışmasına yakın ulusal ve uluslararası düzeyde bir çalışmaya rastlanmamıştır.

6. Kaynaklar

1. Keck, J.,1982. Turbulent Flame Structure and Speed in SI Engines, Nineteenth Symposium on Combustion/The Combustion Institute, 1466.
2. Büyükkaya, E., Yaşar, H., Çelik, V., ve Ekmekçi, İ.,1997, Termal Bariyer Kaplamanın Turbodoldurmalı Bir Dizel Motorunun Egzoz Emisyonlarına Etkileri, 12. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 310-391.
3. H Gürbüz, 2011 “Termal Bariyer Kaplamanın Dizel Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Karabük,
4. Hazar, H. ve Öner C., 2004. “Dizel motorlarında termal bariyer kaplamanın egzoz emisyonlarına etkisi”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi, 3(1) : 50-57
5. Hejrowski, T., and Weronki, 2002. The Effect of Thermal Barrier Coatings on Diesel Engine Performance Vacuum, No. 65, 427-432.
6. Havstad, P. H., Gervin, I.J. and Wade, V.R., 1986."A ceramic insert uncooled diesel engine", Society of Automotive Engineers, 860447, 21-30
7. Gataowski, J.A., 1990."Evaluation of selectively-cooled single-cylinder 0.5-l diesel engine", International Congress & Exposition, *Society of Automotive Engineers*, 900693, 123-134

8. Alkidas, A.C., 1988. "On the performance and emissions of an uncooled heavy-duty single-cylinder diesel engine", General Motors Research Labs, *Society of Automotive Engineers*, 880013, 243-255
9. Toyoma, K., Yoshimitsu, T., Misflyama, T. and Nakagaki, T., 1983 "Heat insulated turbocompound engine", *Society of Automotive Engineers*, 831345, 276-287.
10. Hazar, H., ve Öztürk, U., 2009. "Fındık yağı ve D2 yakıtı karışımının performans ve emisyonuna seramik kaplamanın etkileri", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 13-15
11. Blumberg, P. N., ve Fort, E. F., 1982. Performance and Durability of a Turbocharged Diesel Fueled With Cotton Seed Oil Blends, SAE.
12. Borat, O., Balcı, M., ve Sürmen, A., 1994, İçtenYanmalı Motorlar, Cilt 1, Tek. Eğit. Vak. Yay
13. Çırak vd/Nevşehir Üniversitesi Fenbilimleri Enstitü Dergisi 1 (2012) 24-35
- 14.
- 15.
16. Kozan R. , Cirak B. , " Prediction of The Coating Extrusion Processes Using Artificial Neural Network (ANN) ", Modern Applied Science Journal , pp.252 - 271 , July 2009 , Toronto - CANADA
17. Cirak B – Ph.D.thesis., 2010"Control with a model predictive control (MPC) and modelling with artificial neural networks (ANN) of the wire coating process Doktora Tezi, Sakarya