

DİZEL MOTORLARINDA SOĞUKTA İLK HAREKET ESNASINDAKİ EGZOS EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Adem ÇELİK¹, M. Akif CEVİZ², Mehmet YILMAZ³, Endoğan KARAGÖZ⁴, Galip KALTAKKIRAN⁵

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM, adem.celik@atauni.edu.tr

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM, aceviz@atauni.edu.tr

³İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 44280, MALATYA, myilmaz@inonu.edu.tr

⁴Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM, skaragoz@atauni.edu.tr

⁵Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 25240, ERZURUM, g.kaltakkiran@atauni.edu.tr

ÖZET

Çıtan yanmalı motorların performans, verim ve egzoz emisyonları motorun tipi ve kullanım şartları, yakıt, yağlama ve emisyon kontrol sistemi kullanılıp kullanılmadığına bağlı olarak değişmektedir. Dizel emisyonları arasında birçok organik ve inorganik bileşikler bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan performans ve kullanılabilirlik çalışmaları sayesinde dizel motor teknolojisi çok önemli seviyede gelişme göstermiştir. Özellikle yanmanın kontrolü ve egzoz gaz emisyonları ile ilgili yeni teknolojilerin sürekli geliştirilmesi sayesinde dizel motorları, sürekli güncellenen emisyon standartlarını yakalamaktadırlar.

Bu çalışmada altı silindirli bir dizel motorunun soğukta ilk harekete geçişi esnasında oluşan egzoz emisyon karakteristiklerine ait deneysel veriler incelenmiştir. İlgili motorun egzoz manifoldundan ölçülen emisyon değerleri, dizel ve benzinli motorlarda kullanılabilen, modüler yapıda bir mobil test düzeneği olan Bosch firmasına ait BEA 270 tip (bir) egzoz emisyon cihazı (bu cihaz ile gerçekleştirilmiştir) kullanılmıştır. Deneyler 0 °C ve +4 °C olmak üzere iki farklı çevre sıcaklığında yapılmıştır. Bu cihaz karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂) ve oksijenin (O₂) değerlerini yüzde olarak, hidrokarbonlar (HC) ve azot oksitini (NO) değerlerini ise ppm olarak vermektedir. Ayrıca deneylerde egzoz gazındaki partikül madde miktarı (isli) egzoz duman analiz cihazıyla ölçülmüştür ve veriler her 15 s'deki değerler olarak gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel Motor; Egzoz Emisyonu; Soğukta İlk Harekete Geçisi.

¹ Sorumlu Yazar: adem.celik@atauni.edu.tr

DETERMINATION OF EXHAUST EMISSIONS CHARACTERISTICS DURING COLD FIRST MOVEMENT IN DIESEL ENGINES

ABSTRACT

Performance, yield and exhaust emissions of combustible engines vary depending on type of engine and usage conditions whether they use fuel, lubrication and emission control system. There are a number of organic and inorganic compounds among diesel emissions. Thanks to performance and usability studies, diesel engine technology has indicated improvement at very significant level in recent years. Particularly, thanks to the improvement of new technologies continually about exhaust gases operation and control of burning, diesel engines have caught updated emission standarts continually.

In this study, experimental date belonging to exhaust emission characteristics occuring during the first movement at cold of six-cylendered diesel engine were examined. For emission values measured from exhaust manifold of engine, BEA 270 type-exhaust emission device belonging to BOSCH company with mobile-test mechanism in a modular structure has been used. The experiments have been carried out at two different temperatures, 0 °C and +4 °C. This mechanism has given values of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and oxygene values as percentage, whereas it has given values of hydrocarbons (HC) and nitrogen (NO) as ppm. In addition, amount of particular matter in exhaust gases in experiments was measured by analysis device and the data have been observed as changes in each 15 s.

Keywords: Diesel Engine; Exhaust Emissions; Cold Start.

1. G R

Dizel motorları, silindir içerisinde sıkı tırılan ve sıcaklı ı artırılan havaya mazotun yüksek basınç ile püskürtülmesi prensibine göre çalış ırlar. Fakat dü ük sıcaklıklarda ve motor so ukken, püskürtülen mazot ya hiç yanmaz ya da yetersiz yanar. Bu nedenle dizel motorlarda kar ıla ılan en kritik sorunlardan birisi dü ük sıcaklıklarda eksik yanma nedeniyle egzoz emisyon karakteristiklerinin standartların altında olmasıdır. Özellikle 0°C'nin altındaki çevre sıcaklıklarında bu sorun önemli hale gelmektedir. Dü ük sıcaklıklardaki silindir içi gazları, tutu ma gecikmesi süresini artırmaktadır.

Son yıllarda yapılan teknolojik çalışmalar sayesinde dizel motor teknolojisinde çok önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir. Özellikle yanmanın kontrolü ve egzoz gaz emisyonları ile ilgili yeni teknolojilerin sürekli geliştirilmesi sayesinde dizel motorları, sürekli güncellenen emisyon standartlarını yakalamaktadırlar. Halkın büyük çoğunluğunun şehirlerde yaşamaya başlaması dolayısıyla standart emisyon değerleri artmakta, insan performansı ve hayat kalitesi azalmaktadır. Bu durum dünyanın birçok yerinde emisyon seviyelerini sınırlayan yasaların çıkarılmasına neden olmuş ve kirletici emisyon seviyelerini azaltan etkili yöntemlerin geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır. Düşük çevre sıcaklığının otomobillerin kullanımına, bunların yakıt ekonomisine, yaşamaya ve egzoz emisyonlarına etkisi önemli bir konudur. Soğukta ilk hareket esnasındaki çalışmaları, yanma prosesinin gelişimi için uygun değildir ve katalitik konvertörler düşük egzoz sıcaklıklarında etkin değildirler. Bu nedenlerle ilk hareket sırasında üretilen emisyon miktarı oldukça önemlidir. Diğer taraftan dizel motorlarında hidrokarbonlar (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonlarının büyük kısmı, motorun ısınma periyodunda üretilmektedir. Dizel motorlarının soğukta ilk hareket performansını artırıcı sistemler, emme havasının sıcaklığını arttırdıkları veya yanma odasında sıcak nokta oluştuğları için egzoz emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlamaktadırlar. Emisyonları minimize edebilmek için birçok yöntem bulunmaktadır: (a) Emisyonların yanma esnasında oluşumunu motor içerisinde engellemek (b) Emisyonları yanma sonrası motordaki egzoz borusuyla atmosfere bırakmadan önce azaltmak.

Dizel motorlardan yayılan emisyonların miktarı ve bileşimi şu faktörlere bağlı olarak değişir:

- (a) Kullanılan dizel yakıtın kalitesi,
- (b) Motor tipi (standart, turbo veya enjektör),
- (c) Motor ayar durumu,
- (d) Yakıt pompası basıncı,
- (e) Motor yükü,
- (f) Motor sıcaklığı,
- (g) Motorun bakımının düzenli yapıp yapılmadığı.

Dizel motorlarından yayılan gazların temel karakteristiği benzinli araçlardan yayılana göre yaklaşık 20 kat daha büyük miktarda partikül yayılmasıdır. Partiküller elementel karbon, yakıt ve yağlama yağlarından adsorbe edilen organik bileşikler, yakıtta bulunan kükürden kaynaklanan kükürt oksitler ve metalik bileşiklerin kalıntılarıdır. Toplam partikül maddenin çoğunun 0.02 ve 0.5 µm arasında submikrometre aralığında oluştuğu görülmüştür. Yayılan partiküller büyük yüzey alanına sahiptir. Organik bileşikler genel olarak toplam partikül maddenin %10-30'una katkıda bulunurlar, ancak kötü tasarıma sahip ve bakımı iyi yapılmamış motorlarda bu oran %90'a kadar yükselebilir. Yüksek basınçlı moleküler kütleli, oksijenlenmiş ve nitro-PAHs bu dağlamda milyon başına parça konsantrasyonlarında meydana gelir [1].

Hidrokarbon emisyonları, yakıtların eksik yanması veya tutu amaması sonucu meydana gelirler. Egzoz gazlarında yanmamı hidrokarbon seviyesi genel olarak her milyon karbon atom (C_1) ba ına parça olarak ifade edilen toplam hidrokarbon konsantrasyonu cinsinden belirlenir. Toplam hidrokarbon emisyonu yanma verimsizlili inin önemli bir ölçüsüdür. Motor egzoz gazları hidrokarbon bile iklerinin geni bir aralı mı içerir. Bu hidrokarbonların bazıı hemen hemen atıldır ve fotokimyasal duman açısından reaktif de ildir. Oysaki di erleri duman üretme açısından kimyasal olarak yüksek oranda reaktiftir [2].

Egzoz gazlarında CO emisyonu, yanma için gerekli oksijenin yanma odasının tümünde veya bölgesel olarak yetersiz olmasından kaynaklanır. Özellikle çok silindirli motorlarda, yakıtın tüm silindirlere e ita ılmaması sonucu bazı silindirlerde zengin karı m olu urken bazı silindirlerde fakir karı m olu maktadır. Sıcaklı ın dü mesiyle birlikte ortamda yeterli oksijen olması halinde CO oksijenle birle erek CO_2 'ye dönü mektedir. Ancak reaksiyon hızlarının dü ük olması nedeni ile fakir karı mlı motorlarda bile dönü üm i lemi tam olarak gerçekleşemez. CO olu umu, HFK'nın bir fonksiyonu olarak de i mektedir. Dizel motorlar ise $HFK > 1$ olacak ekilde tasarımılandı ından CO emisyonları daha dü ük olmaktadır [3].

Dizel motorlarından kaynaklanan en önemli iki emisyon; azot oksit (NO_x) ve partikül madde (PM) emisyonlarıdır. NO_x , de i ik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Yanma odasında NO_x , yanma odası sıcaklı ı yakla ık $1800^\circ C$ 'ye yükseldi inde azot (N_2) ve oksijen (O_2)'nin birle mesiyle olu ur. E er sıcaklık $1800^\circ C$ 'nin üstüne yükselmez ise N_2 ve O_2 , NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dı arı atılır. Azot ve oksijen gazlarının de i ik moleküllerinin birle mesi ile NO, NO_2 , N_2O , N_2O_3 vb. gibi çe itli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden "azot oksitler" denir ve NO_x olarak ifade edilir. Azot, sekiz farklı oksit olu turmasına ra men hava kirlili i bakımından azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) en önemlileridir [4].

Emisyon miktarları bir otomobilde hafif yük dizeller için tipik olarak 0.2 ila 0.6 g/km arasındadır. Daha büyük direkt enjeksiyonlu motorlarda partikül emisyon miktarları 0.5 ile 1.5 g/kW arasında de i mektedir. Partikül maddenin bile imi egzoz gazı ve partikül tutma sistemindeki artlara ba lıdır. $500^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda bireysel partiküller birçok küçük karbon küre veya küre çapları yakla ık olarak 15 ile 30 nm olan karbon kürecik (az bir miktar hidrojenle birlikte) demetleri eklindedirler. Sıcaklık $500^\circ C$ 'nin altına dü tü ünde partiküller yanmamı hidrokarbonlar, oksijenlenmi hidrokarbonlar (ketonlar, esterler, eterler, organik asitler) ve polinükleer aromatik hidrokarbonlar içeren absorbe edilen ve yo u an yüksek molekül a ırlıklı organik bile enlerle kaplanırlar. Yo u an madde ayrıca kükürt dioksit, azot dioksit ve sülfürik asit (sülfatlar) gibi inorganik türler içerir [2].

Bunların dı ında Laurikko [5], Herzog et al. [6], Hardenberg [7], Mohr and Urlaub [8], Stephan and Lindl [9], Bielaczyc et al. [10], Torregrosa et al. [11] ve Broatch et al.

[12] dizel motorların so ukta ilk hareket esnasındaki egzoz emisyon karakteristikleriyle ilgili çe itli ara tırmalar yapılmıştır.

Dizel motorlarının so ukta ilk harekete geçi i esnasındaki egzoz emisyonları, bu motorların muadili olan buji ate lemeli motorlar ile kar ıla tırıldıklarında önemli bir olumsuz taraflarıdır.

Bu çalı mada altı silindirli bir dizel motorunun so ukta ilk harekete geçi i esnasındaki egzoz emisyonlarına ait deneysel veriler incelenmiştir. İlgili motorun egzoz borusundan alınan emisyon karakteristiklerine ait emisyon ölçümleri de yapılmıştır. Emisyon karakteristikleri motor çalı tırıldıktan sonra yaklaşık 10 dakika boyunca ve her 15 s'de bir ölçülmü tür. Emisyon ölçüm de erleri kameraya kaydedilmiştir ve bu de erlerin zamanla de i iminin grafikleri çizilerek incelenmiştir.

Egzoz emisyon ölçümleri egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler arasında HC, CO, CO₂, O₂, NO ve partikül madde egzoz emisyonları kar ıla tırılmıştır. Deneysel çalı malar, 0 °C ile +4 °C sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALI MA

Deneyler, sıkı tırma ate lemeli, altı silindirli, dört zamanlı dizel motoru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de deney motorunun teknik özellikleri verilmiştir.

Ekil 1'de gösterilen dizel motor egzoz emisyon ölçüm cihazı motor silindirleri içerisindeki yanmanın de erlendirilmesindeki kriterlerden biri egzoz gazları içerisindeki emisyonların belirlenmesidir. Bu i lem motorun çalı ması hakkında bilgi vermektedir. Emisyonlar, egzoz gazlarının analizi ile belirlenir. Emisyon ölçüm cihazı, analiz sonucunda emisyon de erlerini ppm veya yüzde hacim olarak vermektedir. Bu cihaz karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂) ve oksijenin (O₂) de erlerini yüzde olarak, hidrokarbonlar (HC) ve azot oksitini (NO) de erlerini ise ppm olarak vermektedir. Kullanılan emisyon cihazı aynı zamanda ya sıcaklık sensörü ile motor ya sıcaklı mını ve akü üzerinden veya buji ate leme sistemi üzerinden motor devrini belirleyebilmektedir. Sistem elektrokimyasal olarak çalı an bir sensör vasıtasıyla egzoz gazları içerisindeki oksijen miktarını belirlemekte ve bunları dijital ekranda göstermektedir. Yapılan ölçümler cihazın hafızasına kaydedilmekte ve istenildi inde dâhili veya harici bir yazıcıdan yazdırılabilmektedir. Sistemin kullanılması için üzerinde bulunan panelde tu lar bulunmaktadır ama istenildi i takdirde sisteme harici klavye de monte edilebilmektedir. Kullanılan dizel motor egzoz emisyon ölçüm cihazının foto rafı ekil 1'de ve cihazın ölçüm aralı ı ve hassasiyeti Tablo 2'de verilmiştir.

Deneyler 0 °C ve +4 °C olmak üzere iki adet farklı atmosfer sıcaklı ında gerçekleştirilmiştir. Her iki durumda da motor 24 saat boyunca çalı tırılmamıştır ve ardından çalı tırılarak ilk harekete geçi sürecindeki egzoz emisyon karakteristikleri

her 15 sn'de bir ölçülerek 10 dakika boyunca her iki sıcaklıkta da deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Deney Motorunun Teknik Özellikleri

Motor tipi	Mercedes OM 401 LA V/1 4-Stroklı, Su So utmalı, Direkt Enjeksiyonlu
Silindir tipi ve sayısı	V Tipi, 6 Silindirli
Püskürtme sırası	1-4-2-5-3-6
Çap (mm)	125
Strok (mm)	130
Toplam silindir hacmi (cm³)	9572
Sıkı tırma oranı	16.5
Maksimum güç	2100 d/dak'da 230 kW
Maksimum moment	1250 d/dak'da 1340 Nm
Rölanti devri	600 + 10 d/dak
Supap kesi mesi	5-3-6-1-4-2
Yakıt	Motorin
Püskürtme ba langıcı	Ü.Ö.N'dan 7°+2° önce
Supap bo lu u	Emme 0.40 mm Egzoz 0.60 mm
Enjektör memesinin püskürtme basıncı	Yeni 200+8 bar Eski en az 175 bar
Kompresyon basıncı takriben 120 d/dak'da	En az 20 bar
Nominal devir sayısı	2100 d/dak
En dü ük ya basıncı	600 d/dak 0.5 bar 1800 d/dak 2.0 bar

Ayrıca deneylerde egzoz gazındaki partikül madde miktarı (islilik) Assemblad marka egzoz duman analiz cihazıyla ölçülmü ve veriler alınarak her 15 s'deki de i imler gözlemlenmiştir.



ekil 1. Dizel motor egzoz emisyon ölçüm cihazı

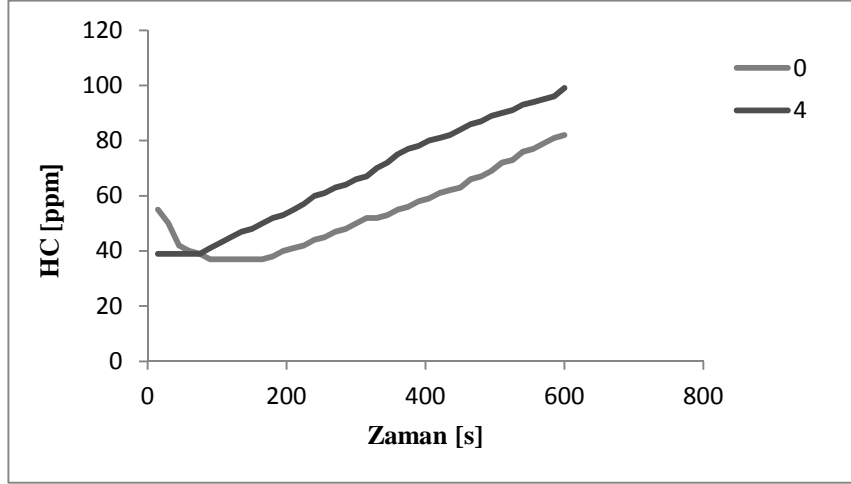
Tablo 2. Egzoz emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti

Bileşenler	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0.00 – 10.00 % Hac.	0.001 % Hac.
CO ₂	0.00 – 18.00 % Hac.	0.01 % Hac.
HC	0 – 9.999 ppm Hac.	1 ppm Hac.
O ₂	0.00 – 22.00 % Hac.	0.01 % Hac.
Lambda	0.500 – 9.999	0.001
NO	0 – 5000 ppm Hac.	1 ppm Hac.

3. ARA TIRMA BULGULARI

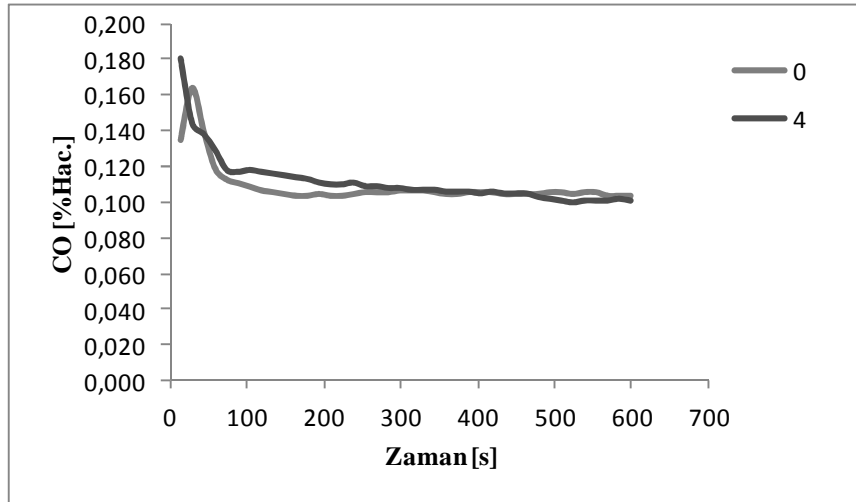
ekil 2, 3, 4 ve 5 sırasıyla HC, CO, NO ve ısı emisyon karakteristiklerinin 0°C ve +4°C sıcaklıklardaki değişimini göstermektedir. ekil 2’de HC emisyonları motora giren hava sıcaklığının artmasıyla arttı, ancak diğer egzoz emisyonları ise hava sıcaklığının artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir.

ekil 2’de HC emisyonlarının çevre havası sıcaklığına bağlı değişimini göstermektedir. Motor ilk çalışmaya başladığı andaki HC emisyonları düşük, ancak yaklaşık 90 sn’den sonra artmaya başlamıştır.



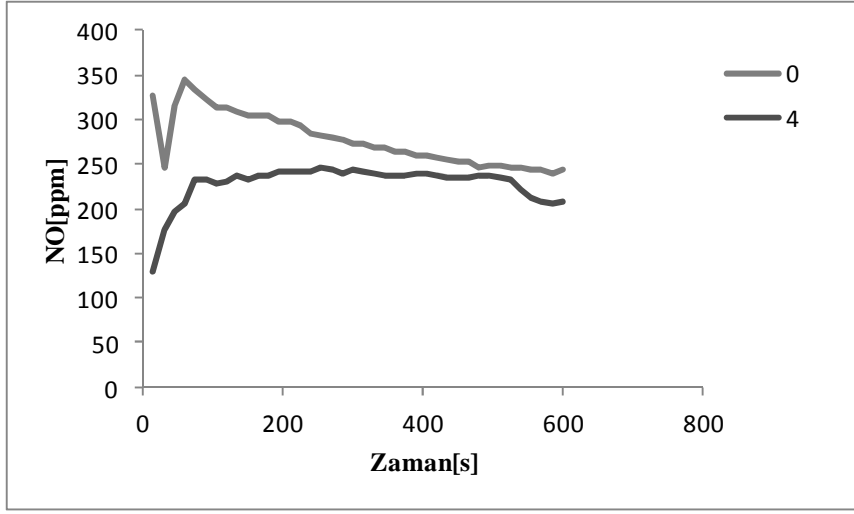
ekil 2. HC emisyonlarının motora giren hava sıcaklığına göre değişimi

Çevre havası sıcaklığının CO emisyonlarını nasıl etkilediği ekil 3’de gösterilmiştir. Ekilden görüldüğü gibi CO emisyonları genel olarak motor ilk çalışmaya başladığında maksimum olmakta daha sonra zamanla azalmaktadır. Çevre havası sıcaklığının artması ile CO emisyonları azalmaktadır. Literatür sonuçlarının bu çalışmanın sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu da tespit edilmiştir.



ekil 3. CO emisyonlarının motora giren hava sıcaklığına göre değişimi

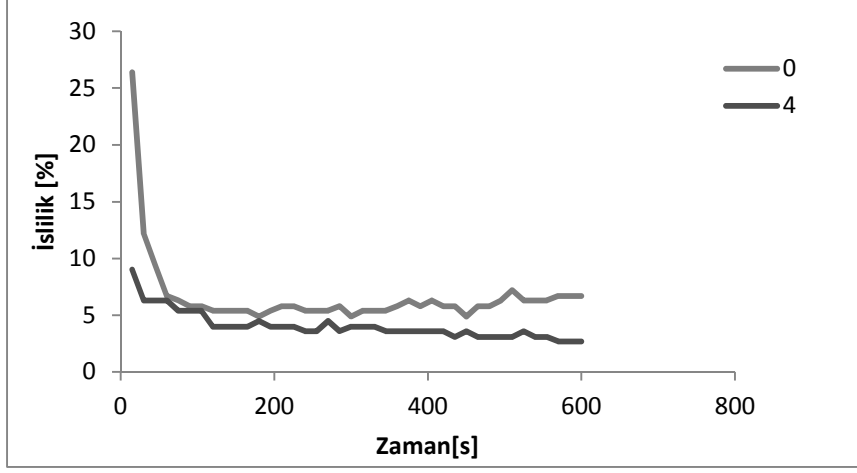
ekil 4'te 0°C ve +4°C sıcaklıklardaki NO emisyonlarının de i imini vermektedir. NO emisyonlarının de i imini veren bu ekil incelendi inde motorun ilk çalı maya ba lamasından itibaren belli bir süreye kadar (yakla ık 100 s) NO emisyonlarının arttı ı, daha sonra ise hemen hemen sabit kaldı ı görülmektedir. Çevre havası sıcaklı ındaki artı NO emisyonlarını azalttı ını göstermektedir. Dü ük çevre havası sıcaklı ı dü ük emme havası sıcaklı ı anlamına gelmektedir ve bu yanma prosesinin sıcaklık seviyesini dü ürür. Dü ük hava sıcaklı ı tutu ma gecikmesini bile de i tirebilir. Bunun sonucunda çevre havası sıcaklı ının azalması NO_x emisyonlarını artırmaktadır.



ekil 4. NO emisyonlarının motora giren hava sıcaklı ına göre de i imi

Partikül madde emisyonlarının de i imi ekil 5' de gösterilmi tir. Motorun ilk çalı tı ı anlarda partikül madde emisyonlarının yüksek seviyelerde oldu u gözlemlenmi tir. Zaman geçtikçe partikül madde emisyonları gittikçe azalmaktadır. Hava sıcaklı ının yüksek ve dü ük oldu u durum partikül madde emisyonları açısından kar ıla tırıldı ında çevre havası sıcaklı ının artmasının partikül madde emisyonlarının azalmasına neden oldu u görülmektedir.

Laurikko [5] çevre havası sıcaklı ının artmasının partikül madde emisyonlarını azalttı ını ve ayrıca ilk çalı maya ba lama esnasında partikül madde emisyonlarının maksimum oldu unu, motor kararlı rejime do ru gittikçe partikül madde emisyonlarının azaldı ını tespit etmi tir. Dizel motorlarında dolgu sıcaklı ının ve basıncının partikül madde emisyonuna etkisi incelenmi ve dü ük dolgu sıcaklı ı ve basıncında partikül madde emisyonlarının dü ük oldu u bulunmu tur [6].



ekil 5. Isilik (Partikül madde) emisyonlarının motora giren hava sıcaklığına göre değişimi

Stephan and Lindl [9] bir dizel motorunda partikül madde emisyonlarını araştırmışlardır. İlk çalışmadan hemen sonra partikül madde emisyonu %100 alınmış, -20°C çevre sıcaklığında emme havası ısıtıcısı partikül madde emisyonlarını %80'den daha fazla azaltmış, -10°C sıcaklıkta ise %65'den daha fazla azaltmıştır. Stephan and Lindl ayrıca orijinal dizel motorunda çevre havası sıcaklığı arttıkça partikül madde emisyonlarının azaldığını, ancak emme havası ısıtma sistemleri kullanıldığında partikül madde seviyesinin hemen hemen çevre sıcaklığından bağımsız olduğunu saptamışlardır. Bielaczyc et al. [10] partikül madde emisyonlarının sıcakta ilk hareket esnasında çok daha az üretildiğini saptamışlardır. Broatch et al. [12]'e göre emme havası ısıtma teknolojisi kullanıma partikül madde emisyonlarını az miktarda artırmaktadır. Bu çalışmada ise motora giren hava sıcaklığının artmasıyla partikül madde emisyonlarında önemli ölçüde azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen bulguların literatürdeki çalışmalarıyla uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Emme havası sıcaklığının dizel motorun soğukta ilk harekete geçi esnasındaki egzoz emisyon karakteristikleri üzerine etkileri araştırıldı ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

(a) Emme havası sıcaklığının artmasıyla (artması) HC emisyonlarını artırmıştır. Motor çalışmaya başladığı andan itibaren HC emisyonları sürekli artmıştır.

(b) Motora giren hava sıcaklığının artmasıyla CO emisyonları da herlerinde azalma meydana gelmiştir. CO emisyonları genelde motor ilk çalışmaya başladığı anda

maksimum olmu , çalı ma süresi uzadıkça azalmı ve daha sonra sabit de erde devam etmi tir.

(c) NO emisyonları emme havası sıcaklı ının artmasıyla azalmı tir. Motorun çalı maya ba lamasıyla belli bir süreye kadar NO emisyonları arttı , daha sonra ise hemen hemen sabit kalmı tir.

(d) Motora giren hava sıcaklı ının artmasıyla partikül madde emisyonlarını azalttı tir. Motorun ilk çalı tı ı anda partikül madde emisyonları yüksek de erlerde olmu , ancak zaman geçtikçe ani dü ü meydana gelmi ve belli bir süreden sonra sabit devam etmi tir.

KAYNAKLAR

- [1] Keskin A., Sa ıro lu S., (2010), *Mühendis ve Makine*, 51(606), p. 1-12.
- [2] Heywood J. B., *Internal combustion engine Fundamentals* (1988), New York, Mc Graw Hill Book Company.
- [3] Alkaya B., Yıldırım A. M., (2000), *Ekoloji Çevre Dergisi*, 9,(34), p. 15-20.
- [4] İkılıç C., Behçet R., Aydın S., Aydın H., 5. Uluslararası leri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- [5] Laurikko J. K., (1989), Technical Research Centre of Finland, 890003.
- [6] Herzog P. L., Bürgler L., Winklhofer E., Zelenka P., Cartellieri W., (1992), *SAE Paper* No: 920470.
- [7] Hardenberg H. O., (1993), *Course paper*, University of Stuttgart.
- [8] Mohr H., and Urlaub A., (1994), *Technical Paper*. No:940075.
- [9] Stephan U., and Lindl B., (1995), *MTZ*, 56 (11).
- [10] Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J., (2001), *SAE Technical Paper* No: 01-1260.
- [11] Torregrosa A. J., Olmeda P., Martin J., Degraeuwe B., (2006), *Experimental Thermal and Fluid Science*, 30, p. 633-641.
- [12] Broatch A., Lujan J. M., Serrano J. R., Pla,B., (2008), *Fuel*, 87, p. 2760–2778.

A.Çelik, M.A.Ceviz, M.Yılmaz, .Karagöz, G.Kaltakkıran

Te ekkür

Bu çalı ma Atatürk Üniversitesi tarafından, BAP 2009-275 nolu Bilimsel Ara tırma Projesi kapsamında desteklenmi tir.