

Dizel Motorlarında Enjeksiyon Basıncı ve Maksimum Yakıt Miktarının Motor Performansı ve Duman Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi

Yakup SEKMEN* Can ÇINAR** Perihan ERDURANLI*** Erkan BORAN****

*Pamukkale Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, 20100, Kınıklı, DENİZLİ

**Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, 06500, Teknikokullar, ANKARA

***Z. Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, KARABÜK

****Şişli Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi, Şişli, İSTANBUL

ÖZET

Yakıt enjeksiyon basıncı ve maksimum yakıt miktarı dizel motorlarında performans ve emisyonları etkileyen önemli çalışma parametrelerindedir. Bu çalışmada, 4 zamanlı, tek silindirli ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda enjeksiyon basıncı ve maksimum yakıt miktarının performans ve duman emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Farklı enjeksiyon basıncı ve maksimum yakıt miktarı için motor hızına bağlı olarak, moment, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve duman emisyonları belirlenmiştir. Enjeksiyon basıncının artması ile moment ve güçte bir miktar artış, yakıt ekonomisinde iyileşme ve duman emisyonlarında azalma gözlenmiştir. Ancak, enjeksiyon basıncının belirli bir değerden daha fazla artırılması motor performansını olumsuz etkilemektedir. Maksimum yakıt miktarının artışı moment ve güçte artış sağlarken duman emisyonlarını ve özgül yakıt tüketimini artırmaktadır. Maksimum yakıt miktarının %75 artışı duman yoğunluğunu oldukça fazla artırmakta ve tüm motor hızları için sınır değerini üzerine çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enjeksiyon basıncı, maksimum yakıt miktarı, dizel motoru, performans, duman

The Investigation of the Effect of Injection Pressure and Maximum Fuel Quantity on Engine Performance and Smoke Emissions in Diesel Engines

ABSTRACT

Fuel injection pressure and maximum fuel quantity are significant operating parameters affecting the performance and emissions in diesel engines. In this experimental study, the effects of injection pressure and maximum fuel quantity on engine performance and smoke emissions were investigated in a four-stroke, single cylinder direct injection diesel engine. Engine torque, engine power, specific fuel consumption and smoke emissions depending on engine speed for various injection pressure and maximum fuel quantity were determined. It was obtained that increasing the injection pressure slightly increases the torque, power and fuel economy and reduces smoke emissions. On the other hand, decreasing the injection pressure causes some reduction in engine performance and increases smoke emissions. However, increasing the injection pressure to a value higher than a certain value may contribute adverse effect on engine performance in diesel engine. Increasing maximum fuel quantity increases in torque and power while it causes increasing in smoke emissions and specific fuel consumption. Also, smoke limit was exceeded by operating excessive fuel quantity of %75 for all engine speeds.

Keywords: Injection pressure, maximum fuel quantity, diesel engine, performance, smoke

1. GİRİŞ

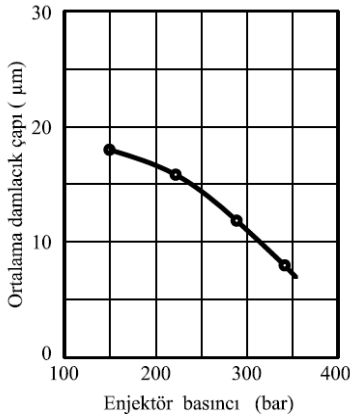
Dizel motorlarında azot oksitler (NO_x), karbon-monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC), kükürt oksitler (SO_x) ve is en önemli kirletici bileşenlerdir (1,2). Bu bileşenlerden is, eksik yanma ile ortaya çıkan yanmamış karbonun toplanmasıyla oluşan zerreciklerdir. İs, yanmaya katılmadan atılan yakıt olduğundan ekono-mik çalışmayı olumsuz yönde etkilerken, silindir yüzeyi ve segmanlardaki aşınmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca, supap oturma yüzeylerinde kalan is parçacıkları komp-resyon kaçığına da sebep olabilmektedir. İs oluşumu hava kirliliği bakımından da önemlidir. İs parçacıklarının kanserojen özellikleri solunum sistemini kolayca etkilemesi nedeniyle insan sağlığına tehlikeye dü-

şürmekte; astım, bronşit ve doku altı rahatsızlıklarına sebep olmaktadır (3,4).

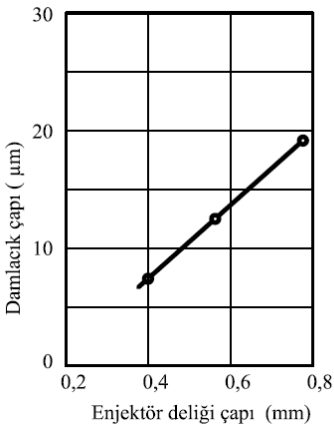
Dizel motorlarından kaynaklanan zararlı bileşiklerin oluşum nedenleri yalnızca üretim teknolojilerine bağlı olmayıp, aynı zamanda servis koşullarının uygunluğuna da bağlıdır. Ülkemiz şartlarında emisyonların denetimi konusunun henüz çözümlenmemiş olması konunun önemini ortaya koymaktadır. Dizel motorlarında yakıt enjeksiyon sistemlerinin bakım ve ayarlarının bozuk olması ve boşluk değerleri normal sınırların çok üzerinde olan taşıtların trafikte olması gibi nedenler emisyonların artmasına neden olmaktadır. Yakıt enjeksiyon sistemlerinde özellikle püskürtme basıncı ve mak-

simum yakıt miktarının motor performansı ve emisyonları doğrudan etkilemektedir (3).

Enjeksiyon basıncı, yakıtın atomizasyonuna, dolayısıyla karışım formasyonuna etki eden önemli faktörlerden biridir. Yakıt püskürtme basıncı arttıkça, enjektör çıkış hızı artmakta, ortalama damlacık çapı küçülmekte ve çap dağılım aralığı daralarak daha üniform tanecikler oluşmaktadır (Şekil 1.a). Bu durum yakıtın daha kolay buharlaşmasına neden olmaktadır (5,6). Ancak, yakıt taneciği küçüldükçe ataleti de azaldığından yakıtın yanma odasındaki nüfuz derinliği azalabilmekte, silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılmaması nedeniyle yanma kötüleşebilmektedir. Yakıt hüzmesinin nüfuz derinliği daha çok enjektör tasarım özelliklerine bağlı olarak değişmekte ve ayarlanabilmektedir. Enjektör delik çapının büyük olması yakıt hüzmesinin çekirdek bölgesinin çapının da büyük olmasına sebep olduğundan silindir havasının bu bölgeye iyice nüfuz etmesi mümkün olmaz ve daha büyük çaplı damlacıklar oluşmakta ve hüzmenin silindir içinde derinliği artmaktadır (Şekil 1.b). Ayrıca, silindir basıncı ve ortam yoğunluğu da ortalama damlacık çapını doğrusal olarak etkilemektedir (6,7).



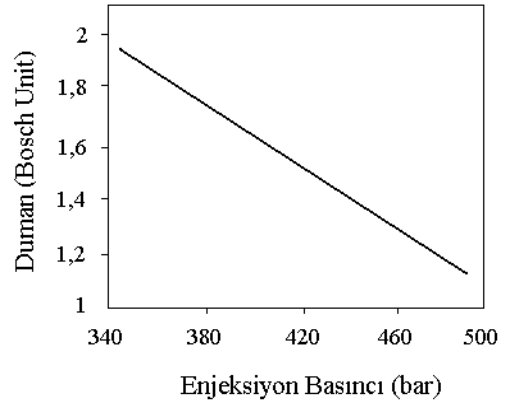
(a) Enjektör delik çapı: 0,57 mm



(b) Püskürtme basıncı: 280 bar

Şekil 1 (a). Püskürtme basıncının ve (b) enjektör delik çapının ortalama damlacık çapına etkisi, silindir basıncı: 10 bar (7)

Direkt enjeksiyonlu 2,5 litrelik bir dizel motorunda enjeksiyon basıncına bağlı olarak duman miktarının değişimi Şekil 2'de görülmektedir (3). Enjeksiyon basıncı azaldıkça duman miktarı artmaktadır. Enjeksiyon basıncının azalmasıyla damlacık çapı artmakta ve yakıtın buharlaşması daha uzun zaman almaktadır. Karbon tanecikleri yanmalarını tamamlayabilmeleri için, gerekli süreyi bulamadıklarından is oluşumu hızlanmaktadır (7,8-11).



Şekil 2. Püskürtme basıncının duman oluşumuna etkisi (10)

Bu çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda enjeksiyon basıncı ve maksimum yakıt miktarı değişiminin motor momenti, güç, özgül yakıt tüketimi ve duman emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

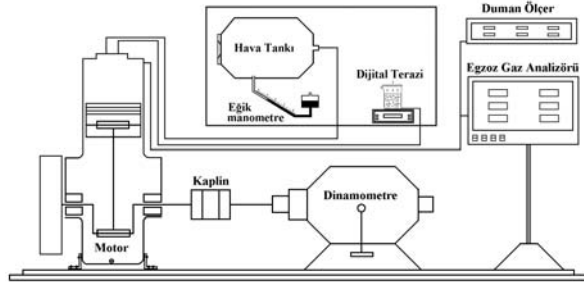
2. MATERYAL VE METOT

Deneylerde, Leclairege Electriou marka elektrikli dinamometre ile duman koyuluğunun tespitinde, %0,01 hassasiyetinde dijital göstergeli ve TS 11365'e uygun ölçüm yapabilen VLT 2600 marka egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Yakıt tüketimi, 15 kg ölçme kapasiteli ve 1 g hassasiyetinde ölçüm yapabilen Baster marka dijital terazi ve Mathey-Trissot marka dijital kronometre belirlenmiştir. Enjeksiyon basınçlarının ayarlanmasında elle kumandalı enjektör basınç ayar cihazı kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 1'de; deney tesisatının şematik resmi Şekil 3'de görülmektedir.

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor tipi	Süperstar 7710, 1980, 4 zamanlı, Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	98 mm
Kurs	100 mm
Kurs hacmi	754 cm ³
Sıkıştırma oranı	17:1
Maksimum güç	9-10HP(6,61-7,35kW)1700 1/min
Soğutma sistemi	Su ile
Püskürtme basıncı	175 bar

Püskürtme başlangıcı 27° ÜÖN'den önce

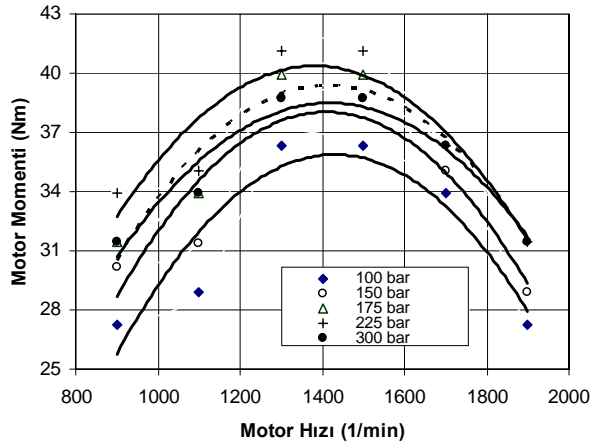


Şekil 3. Deney tesisatının şematik görünümü

Deneyle, motorun tam yük çalışma şartlarında ve 900-1900 1/min arasında 200 1/min aralıklarla farklı motor hızlarında yapılmıştır. Deneylede enjeksiyon basıncı ve maksimum yakıt miktarının moment, güç, özgül yakıt tüketimi ve duman miktarı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Enjeksiyon basıncı enjektör basınç ayar cihazında 100-300 bar arasında değiştirilmiştir. Maksimum yakıt miktarı, enjeksiyon pompasının basma kursu değiştirilerek ayarlanmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 4'te tam yük çalışma şartlarında, farklı enjeksiyon basınçlarında, motor hızına bağlı olarak moment değişimi görülmektedir.



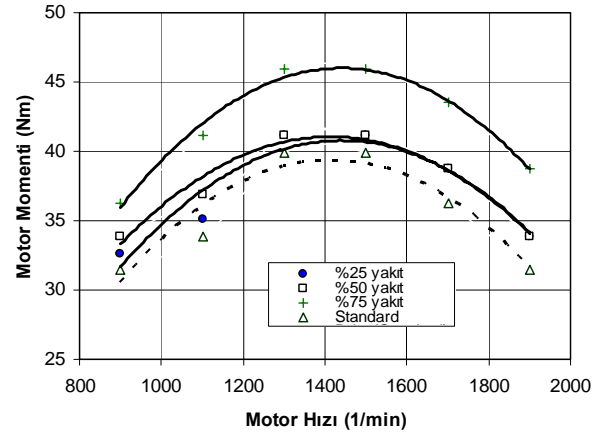
Şekil 4. Enjeksiyon basıncının motor momentine etkisi

Motorun standart enjeksiyon basıncı 175 bardır. Enjeksiyon basıncının standart değerinin altına düşürülmesi ile tanecik çapı büyümekte ve buna bağlı olarak tutuşma gecikmesi periyodu uzamaktadır. Bu durum, kontrolsüz yanma periyodunda birim krank açısı için basınç artış oranını yükselteceğinden yanma işlemi kötüleşmekte ve motor momentini düşmektedir. Enjeksiyon basıncının standart değerinin üzerine (225 bar) çıkarılması ile tanecik çapının küçülmesi ve hava-yakıt karışım formasyonunun iyileşmesinden dolayı motor momentini bir miktar artmaktadır. Ancak, enjeksiyon basıncının daha fazla artırılması (300 bar) ise tanecik çapını küçülteceğinden nüfuz derinliğinin

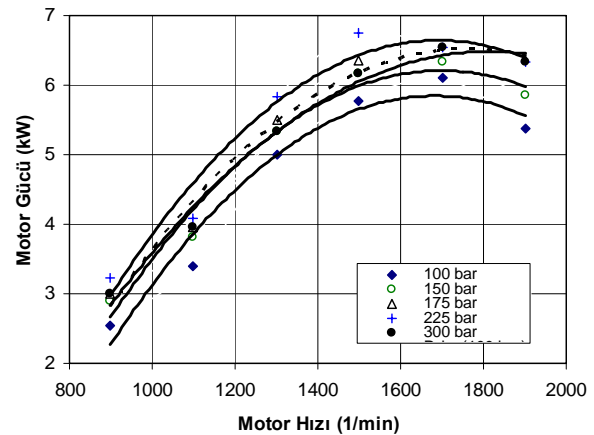
azaltmakta, yanma bozulmakta ve moment bir miktar düşmektedir [7].

Şekil 5'te tam yük çalışma şartlarında, maksimum yakıt miktarına bağlı olarak farklı motor hızlarında moment değişimleri verilmiştir. Motorun standart yakıt miktarına göre %25, %50 ve %75 olarak yapılan yakıt artışlarında momentte artış görülmüştür. 1300 1/min'de standart yakıt miktarı için moment 40,46 Nm iken, %25 yakıt artışında 41,69 Nm, %50 yakıt artışında 42,91 Nm ve %75 yakıt artışında 46,59 Nm olarak belirlenmiştir.

Şekil 6'da tam yük çalışma şartlarında ve farklı enjeksiyon basınçlarında, motor hızına bağlı olarak güç değişimi görülmektedir. Enjeksiyon basıncının standart değerinin altına düşürülmesiyle motor gücü azalmıştır. 1700 1/min'de 175 bar enjeksiyon basıncı için motor gücü 6,45 kW iken 150 barda 6,33 kW'a ve 100 barda 6,11 kW'a düşmüştür. Enjeksiyon basıncındaki artış ile motor gücü artmış, 1700 1/min'de 300 bar basınçta 6,55 kW olmuştur.



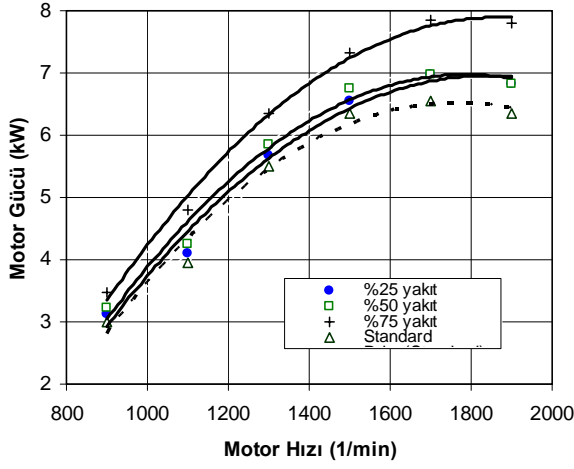
Şekil 5. Maksimum yakıt miktarının motor momentine etkisi



Şekil 6. Enjeksiyon basıncının motor gücüne etkisi

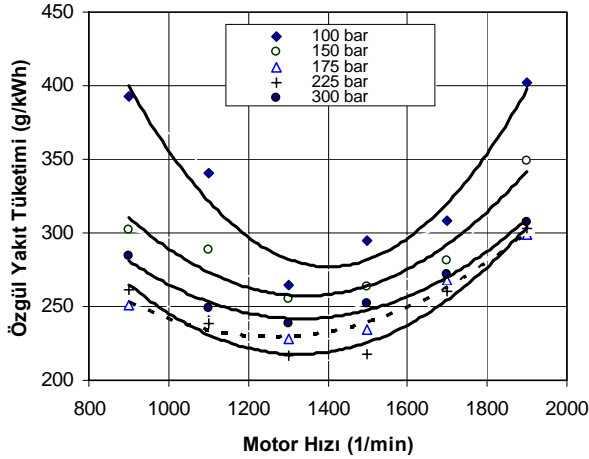
Şekil 7'de maksimum yakıt miktarına bağlı olarak tam yük çalışma şartlarında motor hızı ile güç değişimi görülmektedir. Burada yakıt miktarındaki artışa bağlı olarak motor gücü artmıştır. 1700 1/min'de stan-

dart yakıt miktarı için motor gücü 6,45 kW iken, yakıt miktarı %25 artırıldığında 6,98 kW ve %75 artırıldığında 7,85 kW olmuştur.



Şekil 7. Maksimum yakıt miktarının motor gücüne etkisi

Şekil 8’de tam yük çalışma şartlarında enjeksiyon basıncı değiştirilerek elde edilen motor hızı ile özgül yakıt tüketimi değişimi görülmektedir. Maksimum moment hızında (1300 1/min) standart enjeksiyon basıncında (175 bar), özgül yakıt tüketimi 228,21 g/kWh iken enjeksiyon basıncının düşmesi ile özgül yakıt tüketimi artmış ve aynı hızda 100 bar enjeksiyon basıncında 264,78 g/kWh olmuştur. Enjeksiyon basıncının 200 bar ve 225 bara çıkarılması ile özgül yakıt tüketimi bir miktar azalmış, ancak 300 bar enjeksiyon basıncında tekrar artmıştır.

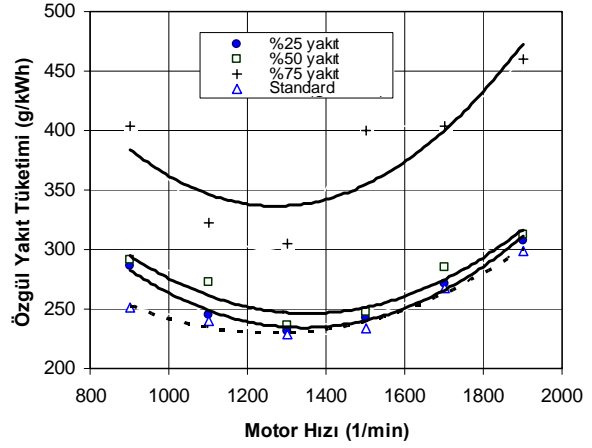


Şekil 8. Enjeksiyon basıncının özgül yakıt tüketimine etkisi

Şekil 9’da maksimum yakıt miktarının özgül yakıt tüketimine etkisi görülmektedir. Burada, 1300 1/min’de özgül yakıt tüketimi motorun standart yakıt miktarı için 228,21 g/kWh iken, yakıt miktarı %25

artırıldığında 231,54 g/kWh, %50 artırıldığında 236,69 g/kWh ve %75 artırıldığında 305,11 g/kWh olmuştur. Yakıt miktarı artırıldıkça özgül yakıt tüketimi de artmaktadır.

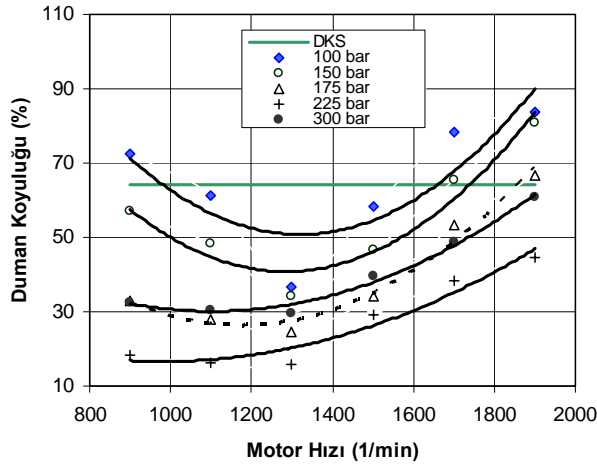
Şekil 10 ve 11’de tam yük çalışma şartlarında, enjeksiyon basıncı ve maksimum yakıt miktarına bağlı olarak duman koyuluğunun motor hızı ile değişimi görülmektedir. TS 11365’e göre; “Duman koyuluğu, egzoz gazı içerisinde bulunan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini (aydınlanan birim yüzey için ışık akısı) azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0’dır. Işığı tamamen absorbe eden, yani geçirgen olmayan gaz için duman koyuluğu %100’dür”. Duman koyuluğu sınırı (DKS) TS 11365’e göre %64’dür (12).



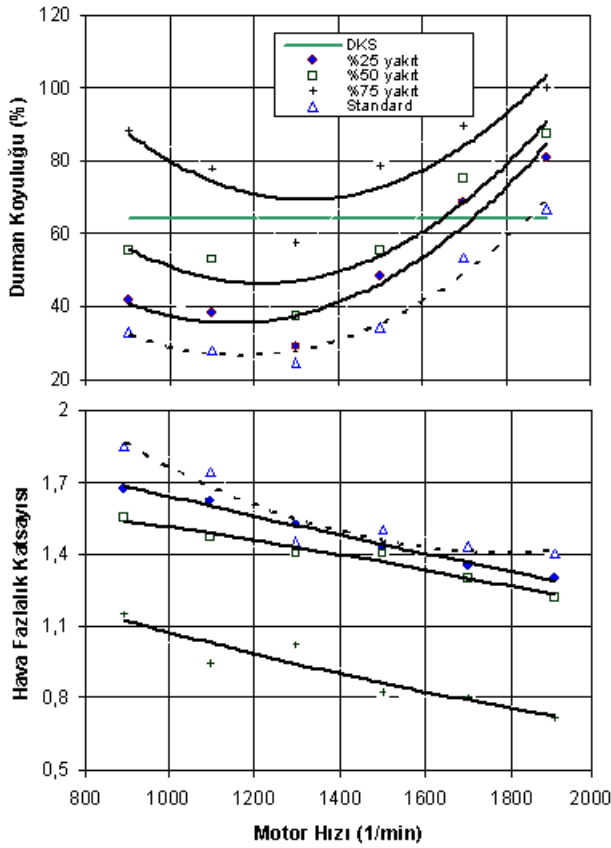
Şekil 9. Maksimum yakıt miktarının özgül yakıt tüketimine etkisi

Şekil 10’da, 1300 1/min’de 175 bar enjeksiyon basıncında duman koyuluğu %24,6 iken enjeksiyon basıncının düşürülmesi ile artmıştır. Bunun sebebi enjeksiyon basıncının düşürülmesi ile iyi bir yakıt atomizasyonunun sağlanamamasıdır. 1300 1/min’de 100 bar enjeksiyon basıncında duman koyuluğu %36,79’a kadar çıkmıştır. 100 bar ve 125 bar enjeksiyon basınçlarında 1000 1/min ile 1700 1/min arasında duman koyuluğu miktarı standartların içinde iken bu hızların dışında duman koyuluğu sınır değerini aşmıştır.

Enjeksiyon basıncının motorun standart değerinin üzerine çıkarılması durumunda 200 bar ve 225 bar için duman koyuluğu %22,7 ve %15,8’e kadar düşmüştür. Enjeksiyon basıncının 300 bar’a kadar çıkarılması durumunda duman koyuluğu tekrar artarak %29,5’e çıkmıştır. Duman koyuluğu miktarı artan enjeksiyon basınçlarında sınır bölgesini geçmemiştir.



Şekil 10. Enjeksiyon basıncının duman koyuluğuna etkisi



Şekil 11. Maksimum yakıt miktarının duman koyuluğuna etkisi

Şekil 11’de maksimum yakıt miktarına göre duman koyuluğu değişimleri görülmektedir. 1300 1/min’de standart yakıt değeri için duman koyuluğu %29,1 iken yakıt miktarının artırılması ile duman koyuluğu artmış ve %75 yakıt fazlalığı için %57,6’ya kadar çıkmıştır.

4. SONUÇLAR

Yakıt enjeksiyon basıncı ve maksimum yakıt miktarının direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda mo-

tor performansı ve duman emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Yakıt enjeksiyon basıncı ve maksimum yakıt miktarı dizel motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli çalışma parametrelerindedir. Enjeksiyon basıncının azalması ile damlacık çapı büyümekte, tutuşma gecikmesi periyodu uzamakta ve bunlara bağlı olarak yanma kötüleşmekte, motor momentini ve gücü azalmaktadır. Enjeksiyon basıncının belirli bir noktaya kadar artırılması damlacık çapını küçülttüğünden artan yanma hızıyla birlikte motor momentini ve gücü artmakta, özgül yakıt tüketimi ve is emisyonlarını azalmaktadır. Ancak, enjeksiyon basıncının çok fazla artırılması damlacık çapını küçültürken nüfuz derinliğide azalmaktadır. Böylece, yanma enjektör etrafında küçük bir bölge ile sınırlı olacağından alevin yanma odası etrafına yayılması yavaşlamakta ve silindir duvarlarına yakın bölgelerdeki havanın kullanılmaması nedeniyle yanma kötüleşmektedir.

Maksimum yakıt miktarının artırılması motor gücünü ve momentini artırırken; özgül yakıt tüketimini ve duman koyuluğunu da artırmaktadır. Maksimum yakıt miktarının %75 kadar artırılması ile duman koyuluk sınırının üzerine çıkmıştır.

Sonuç olarak, motorlu taşıtlarda üretim aşamasında alınacak önlemlerin yanında, halen trafikte seyreden eski teknoloji ile üretilmiş taşıtların düzenli olarak bakım ve denetimleri sağlanmalıdır. Ayrıca, pompa ve enjektör ayarları yapan servisler, cihaz ve eleman yeterliliği açısından denetlenmeli ve cihazların kalibrasyonları da periyodik olarak yapılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

1. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, DAYM Matbaası, Ankara, 59-70, 1992.
2. Kaytakoğlu, S., Var, F. ve Öcal, S. E., Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Kirlilik ve Giderilme Yöntemleri, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3. Ulusal Sempozyumu, 11-13 Eylül, ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, 143-155, 1995.
3. Boran, E., Dizel Motorlarında Bazı İşletme Parametrelerinin İş Oluşumu ve Motor Performansına Etkileri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-56, 2001.
4. Korkmaz, İ., Borat, O. ve Sürmen, A., Klasik Motorların Mukayesesi ve Ekonomik Seçim Yöntemi, I. Otomotiv ve Yan Sanayii Sempozyumu, Makina Mühendisleri Odası, 1985.
5. İcingür, Y., Çelikten, İ., Salman, M. S. ve Koca, A., Dizel Motorlarında Servis Koşullarından Kaynaklanan Emisyonların Deneysel İncelenmesi, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3. Ulusal Sempozyumu, 11-13 Eylül, ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, 156-167, 1995.

6. Shimada, T., Shoji, T. and Takeda, Y., The Effect of Fuel Injection Pressure on Diesel Engine Performance, SAE Paper, No: 891919, 1989.
7. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara, 259-289, 1995.
8. Topgöl, T., Tek Silindirli Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansı ve Püskürtme Basıncının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-28, 2000.
9. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E. ve Soruşbay, C., İçten Yanmalı Motorlar, Birsan Yayınevi, İstanbul, 188-204, 1999.
10. Oblander, K., Kollmann, K., Kramer, M. and Kutschera, I., The Influence of High Pressure Fuel Injection on Performance and Exhaust Emissions of a High Speed Direct Injection Diesel Engine, SAE Paper, No: 890438, 1989.
11. Soruşbay, C. ve Gökten, A. G., 1993, Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Kontrolü, 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, 15-16 Mart, İstanbul, 1993.
12. TSE 11365, Karayolları Taşıtları-Trafikteki Dizel Motorlu Taşıtlar İçin Egzoz Gazı Kirliticileri Ölçme Metodu ve Sınır Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, 1-14, 1998.