

KARBÜRATÖRLÜ BİR MOTORA ÜÇ YOLLU KATALİTİK KONVERTÖR UYGULANMASI

Nureddin DİNLER ve Nuri YÜCEL

Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi
Maltepe 06570 Ankara, dinler@mmf.gazi.edu.tr, onurcan@mmf.gazi.edu.tr

ÖZET

Çevre kirliliği günümüzün en önemli konularından birisidir. Hava kalitesinin korunması, insanların temiz bir hava solması ise istenilen bir durumdur. Hava kirletici kaynaklardan birisi de taşıtlardır. Taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin azaltılmasında kullanılan en etkili yöntemlerden birisi de üç yollu katalitik konvertör uygulamasıdır. Ülkemizde kullanılan otomobillerin büyük çoğunluğunda karbüratör donanımlı motorlar bulunmaktadır. Üç yollu katalitik konvertörün bir karbüratörlü motora uygulamasının incelendiği bu çalışmada; motor performansı ve egzoz emisyonlarında meydana gelen değişimler deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçları grafikler halinde verilmiştir. Motor performansında ortalama %6.6 azalma gözlenirken; egzoz emisyonlarından karbonmonoksit ve hidrokarbon emisyonlarında ortalama %85 azalma olurken; azotoksit emisyonunda, genel çalışma yüklerinde, %10 azalma olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Üç yollu katalitik konvertör, karbüratörlü motor, motor deneyi

APPLICATION OF THREE-WAY CATALYTIC CONVERTER ON AN ENGINE EQUIPPED WITH CARBURETOR

ABSTRACT

Environmental pollution is one of the most important subjects of today. Protection of air quality, respiration of clean air are wanted situations. One of the air pollution sources is vehicles. Application of a three-way catalytic converter is one of the effective methods for reduction of air pollution from vehicles. Majority of automobiles that are used in our country have engines with carburetors. In this study, application of a three-way catalytic converter to an engine equipped with a carburetor, the changes on engine performance and exhaust emissions were investigated experimentally. Experiments results were given in graphics. While a reduction on an average of 6.6% in engine performance was observed, exhaust

emissions of carbon monoxide and hydrocarbon emissions were reduced on an average of 85%; nitrogen oxides emissions, on engine operation loads, were reduced on an average of 10%.

Keywords: Three-way catalytic converter, carburetor engine, engine experiment

1. GİRİŞ

Petrol endüstrisi 50 yaşındayken, 1908 yılında Henry Ford'un Model T otomobili üretim hattından çıktı. Benzin ve otomobiller birlikte geliştiler. İlk otomobillerdeki basit motorlar yanabilen her sıvı ile çalışabilmekteydi. Artan güç talebi ile birlikte motorlar geliştirildi ve buji ateşlemeli motorlarda doğru yakıtın benzin olduğuna karar verildi [1]. Motorların istenmeyen ortak özelliği ise yarattıkları çevre kirliliğidir [2].

Şehirlerde içten yanmalı motorlar hava kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır. Buji ateşlemeli motorların egzoz gazı bileşiminde hava kirletici olarak azotoksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonlar (HC) ve benzinin türüne göre kurşun bileşikler (Pb) bulunur. Egzoz gazı bileşenlerinin miktarları motor tasarımı ve işletme şartlarına bağlıdır [3,4]. Ancak HC kaynağı olarak karbüratördeki buharlaşma, karter havalandırması ve yakıt deposundaki buharlaşma da unutulmamalıdır, bunların toplamı toplam HC emisyonunun yaklaşık %30'unu oluşturur [4].

Motorlu taşıtlarda egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak alınan önlemler üç kısımda toplanabilir: 1. Motor öncesinde alınan önlemler; yakıt bileşiminin iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı; 2. Motorda alınan önlemler; motorda yapısal olarak alınan önlemler; 3. Motor sonrasında alınan önlemler; egzoz gazındaki emisyonların artırılmasına yönelik alınan önlemler [4].

Motor sonrasında hava kirliliğini azaltmaya yönelik önlem olarak kullanılan teknikler; egzoz gazı resirkülasyonu (EGR), termal reaktörler, oksidasyon katizörleri, üç yollu katalitik konvertörler (TWC) ve dizel motorlarında partikül tutuculardır. Bunlar arasında ise günümüzde ilgileri üzerine toplayan üç yollu katalitik konvertörlerdir.

Smith vd. [5] yaptıkları çalışmada 1.4 litre, 4 silindri çok noktadan yakıt püskürtmeli bir motor kullanmışlardır. Bu motora LPG dönüşüm kiti monte etmişler; emisyon ve verimdeki değişimleri incelemişlerdir. Emisyonlardaki değişimleri incelerken katalitik konvertörden önce ve sonra örnek almışlardır. 2000 dev/dak'da katalitik konvertörün dönüşüm verimi LPG için ortalama %90, kurşunsuz benzin için ise NO_x 'de ortalama %60, CO ve HC için ise tam yükte %20 civarında iken diğer yüklerde %90 civarında verim elde etmişlerdir. Meretei vd. [6] yaptıkları çalışmada ülkeleri olan Macaristan'da ülke genelinde kullanımda bulunan

73 adet karbüratörlü motora sahip otomobile üç yollu katalitik konvertör takmışlardır. Bu motorlarda kapalı devre yakıt kontrol sistemi bulunmamaktadır. Bu durum ise deneylerimizde kullandığımız motorun durumu ile aynıdır. Katalitik konvertör montajından sonra otomobillerde şasi dinamometresinde yapılan seyir çevrimleri sonucunda egzoz basıncının artmasından dolayı güç kaybının %3 civarında olduğu görülmüştür. Kullanılan katalitik konvertörlerin tipine, taşıtların teknik durumuna bağlı olarak ve yapılan deneylere göre CO emisyonunda %40-70, HC emisyonunda %50-80, NO_x emisyonunda %30-70 azalma olmuştur. Lindner vd. [7] yaptıkları çalışmada çeşitli yüzey kaplama malzemeleri (katalitik konvertörün katalitik yüzeyi) üzerinde çalışma yapmışlardır. Samaras vd. [8] yaptıkları çalışmada ülkelerinde satışta bulunan üç yollu katalitik konvertörleri bir otomobil üzerinde farklı test prosedürlerine göre test etmişler ve konvertörlerin verimlerini belirlemiştir.

Bu çalışmada, karbüratörlü bir motorun egzoz sistemine üç yollu katalitik konvertör monte edilerek motorun performansında ve egzoz emisyonlarında meydana gelen değişimler deneysel olarak incelenmiştir.

2. ÜÇ YOLLU KATALİTİK KONVERTÖRLER

Buji ateşlemeli motorlarda egzoz gazı sıcaklığı rölantide 300-400 °C, yüksek güçte çalışmada 900 °C civarında değişmektedir. Egzoz gazı sıcaklığı genellikle 400-600 °C arasındadır. Buji ateşlemeli motorlar çoğunlukla hava fazlalığı 0.83-1.1 arasında çalışmaktadır. Böylece egzoz gazı fakir karışımda bir miktar oksijen veya zengin karışımda önemli miktarda karbonmonoksit (CO) içerir [3].

Egzoz gazlarının silindiri terk etmesinden sonra gaz kirleticilerin temizlenmesi termal veya katalitik olabilir. Katalizör kullanmadan hidrokarbonları oksitlemek için sıcaklıklar 600 °C'nin üzerinde olmalıdır. Karbonmonoksiti oksitleyebilmek için sıcaklıkların 700 °C'nin üzerinde olması gerekmektedir. Egzozdaki karbonmonoksit ve hidrokarbonların katalitik oksidasyonu 250 °C kadar düşük sıcaklıklarda mümkün olmaktadır. Böylece, bu kirleticilerin temizleme etkinliği termal oksidasyonda olduğundan daha geniş sıcaklık aralığında oluşmaktadır. Egzoz gazından azotoksitleri temizlemek için tek tatmin edici yöntem katalitik prosesleri içermektedir. NO'in (azotmonoksit) artırılmasında egzoz gazında bulunan CO, HC veya H₂ kullanılarak N₂'e indirgenilen katalitik sistemler tercih edilmektedir. Buji ateşlemeli motorlarda katalitik konvertörler yaygın şekilde kullanılmaktadır [3].

2.1. Katalitik Konvertörlerin Yapısı

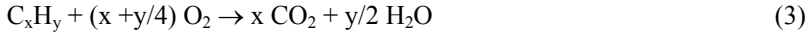
Katalitik konvertörler, özel olarak tasarlanmış metal muhafaza içinde aktif katalitik malzeme içeren, susturucuya benzer şekilde içinden egzoz gazı geçen parçalardır. Katalitik konvertörlerde petek şeklinde, yüzey alanı çok geniş, seramikten (magnesium-alüminyum silikat) veya metalden yapılmış (monolith) taşıyıcı eleman

bulunmaktadır. Petek yapıdaki kanal sayısı 30-60 kanal/cm² kadardır. Bu taşıyıcının yüzeyi 20 µm kalınlığında gözenekli (poroz) tabakayla (washcoat) kaplıdır. Tipik bir monolith, 1mm genişlikteki kare kesitli geçiş kanallarından oluşur, bu kanallar 0,1-0,15 mm kalınlığındaki ince gözenekli duvarlarla ayrılır. Bu kanalların sayısı 400-600 adet/inç²'dir. Bu sayı metal taşıyıcılarda 1200 adet/inç² olabilmektedir. Yüzey kaplama malzemeleri monolith ağırlığının %5-15'i kadardır. Esas olarak Al₂O₃'den oluşmaktadır ve yüzey alanı 100-120 m²/g'dır. Böylece yüzey alanı 1 litre hacimde 20000 m²'ye kadar ulaşabilmektedir. Gözenekli alümina tabakası ise platin (Pt), palladyum (Pd), rodyum (Rh) gibi değerli (soy) metallere oluşan katalizör malzemesi ile kaplanmıştır. Bu metaller egzoz gazları ile reaksiyona girmeyip sadece normal egzoz şartlarında oluşmayacak reaksiyonların oluşması için katalizör görevi görürler. Ortalama olarak bu metallere bir katalitik konvertör başına miktarları 1-2 g dır. Pt, Pd CO ve HC'nin oksidasyonunda, Rh ise NO_x'in indirgenmesinde rol alırlar [3,4,9].

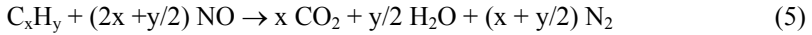
2.2 Reaksiyonlar

Üç yollu katalitik konvertörde CO ve HC oksidasyonu ile CO₂ ve H₂O, NO_x'in indirgenmesi ile N₂ oluşumunda çok sayıda reaksiyon olmakla beraber bunların başlıcaları şöyledir [4].

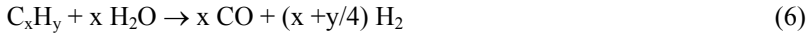
Oksidasyon reaksiyonları:



NO_x indirgenmesi:



Buhar Reforming (Steam Reforming):



Su gaz değişimi:



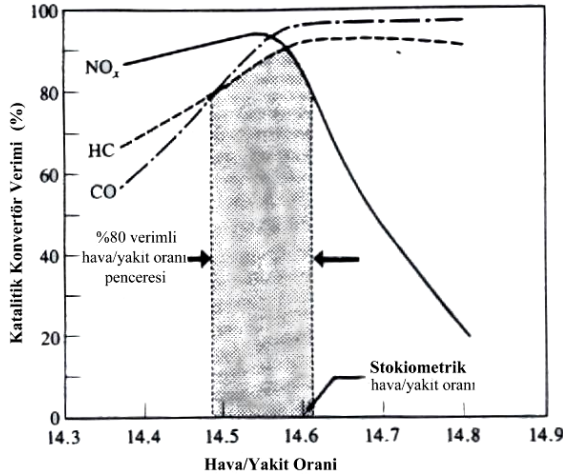
2.3. Katalitik Konvertörlerde Verim

Katalitik konvertörlerde dönüşüm verimi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$(\eta_{cat})_i = \frac{\left(\dot{m}_{in}\right)_i - \left(\dot{m}_{out}\right)_i}{\left(\dot{m}_{in}\right)_i} \quad (8)$$

η_{cat} : Katalitik konvertörün verimi; m_{out} : Konvertöre giren emisyon miktarı (kg/s); m_{in} : Konvertörden çıkan emisyon miktarı (kg/s); i: HC, CO ve NO_x emisyonları

Üç yollu katalitik konvertörlerin NO_x, HC ve CO için dönüşüm verimleri hava/yakıt oranının fonksiyonu şeklindedir. Katalitik konvertörün dönüşüm veriminin hava/yakıt oranına bağlı olarak grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Hava/yakıt oranının stokiometrik orana yakın olduğu dar bir pencerede bu üç kirletici için yüksek dönüşüm verimi elde edilmektedir.



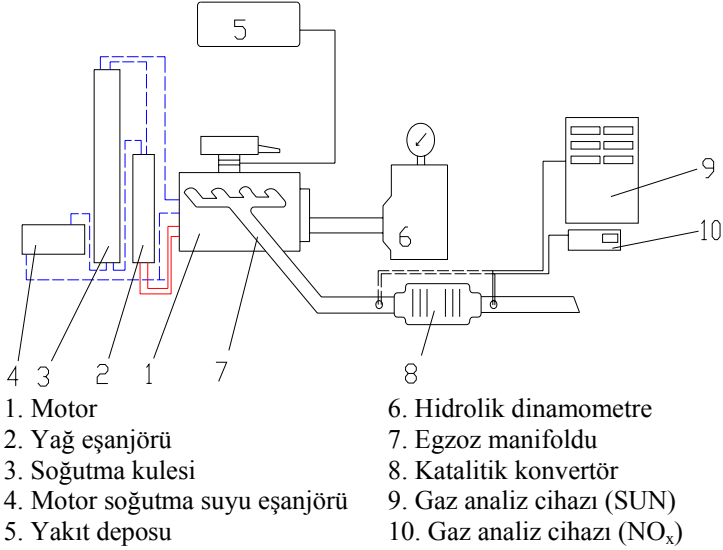
Şekil 1. Üç yollu katalitik konvertörün hava/yakıt oranına bağlı olarak dönüşüm verimi [3]

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Motorlar Laboratuvarında yapılmıştır.

3.1. Deney Sistemi

Deney düzeneği Ford marka 2264E model karbüratörlü bir motor, Froude marka hidrolik dinamometre, Tofaş marka üç yollu katalitik konvertör, egzoz gazı analiz cihazlarından oluşmaktadır. Deney seti şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Deney motoru, 4 zamanlı, 4 silindri ve motor hacmi 1599 cm³'dir (Tablo 1). Buji



Şekil 2. Deney seti

Tablo 1. Deney motorunun özellikleri

Marka	Ford
Model	2264E
Silindir hacmi (cm ³)	1599
Silindir sayısı (adet)	4
Sıkıştırma oranı	9:1
Yakıt sistemi	Karbüratörlü
Ateşleme sistemi	Buji ateşlemeli

ateşlemeli, su soğutmalı olan motor, motor test yatağında bulunan eşanjörler ile soğutulmaktadır. Benzin yakıt tüketiminin ölçülmesinde 50 ve 100 cm³ hacimli iki haznesi bulunan bir cam büret ve yakıtın bu kaptaki akış süresini ölçmek için 1/100 hassasiyetli kronometre kullanılmıştır. NO_x emisyonları Enerak 80 emisyon ölçüm cihazı ile, CO ve HC emisyonları ise Sun marka MGA 1200 model gaz analiz cihazı ile ölçülmüştür. Üç yollu katalitik konvertörün özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

3.2. Deney Yöntemi

Deneyler performans deneyleri ve emisyon deneyleri olarak iki kısımda yapılmıştır. Performans deneyleri, tam açık gaz kelebeği konumunda motor, 1200 ile 3840 dev/dak hızları arasında çalıştırılmıştır. Çalışma aralığında motor hızı 360 dev/dak aralıkla değiştirilerek, hidrolik dinamometrenin terazisinden bu hızlarda motorun ürettiği tork değerleri okunmuştur. Bu değerler yardımıyla motor torku, mil gücü, mil verimi ve özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Daha sonra egzoz sistemine üç

Tablo 2. Üç yollu katalitik konvertörün özellikleri

-Seramik monolith (taşyıcı matris) ölçü ve özellikleri	
Çap	80.2 mm*169.7 mm (oval)
Boy	127 mm
Hacim	1.508 dm ³
Gaz geçiş kanal sayısı	62 adet/cm ² (400 cps)
Toplam aktif yüzey alanı	20.2 m ² (minimum)
Ağırlık	0.808 kg
Malzeme	Al ₂ O ₃ (%35.4), SiO ₂ (%49.7), MgO (%13.5)
-Değerli metal yüklemesi	
Yükleme oranı	Palladyum/Rodyum (5/1)
Palladyum (Pd)	1.47 g/dm ³ (41.67 g/ft ³)
Rodyum (Rd)	0.29 g/dm ³ (8.33 g/ft ³)
Toplam yükleme yoğunluğu	1.76 g/dm ³ (50 g/ft ³)

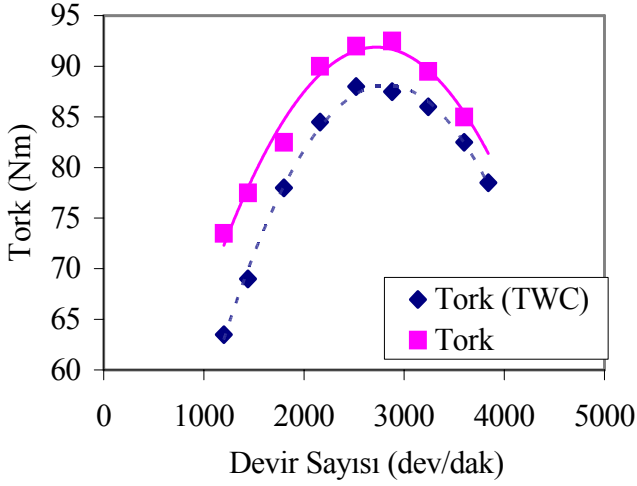
yollu katalitik konvertör monte edilmiş ve deneyler tekrarlanmıştır. Böylece motorun performans değerleri belirlenmiştir. Egzoz emisyonları ise motor 2400 dev/dak sabit motor hızında çalıştırılarak motor yükünün tam yük ve yüksüz konumları arasında değiştirilerek yapılmıştır. Deneylerde katalitik konvertörden önce ve sonra (akış yukarı ve akış aşağı noktalarında) egzoz gazı bileşiminde bulunan hava kirletici emisyonlar ölçülmüştür. Emisyonların değişimine bağlı olarak katalitik konvertörün dönüşüm verimi hesaplanmıştır, sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

3.3. Deneysel Sonuçları

Performans deneylerinin sonuçları motor hızına bağlı olarak verilirken, emisyon deneylerinin sonuçları motor yüküne bağlı olarak verilmiştir. Katalitik konvertör egzoz sistemine monte edildikten sonra yapılan deneylerin sonuçları grafiklerde TWC ile gösterilmiştir.

Şekil 3’de motor torkunun devir sayısı ile değişimi verilmiştir. Motor torku artan devir sayısı ile birlikte artmakta ancak belirli bir devir sayısından sonra motor torku azalmaktadır. Bunun sebebi ise yakıt sisteminde kullanılan karbüratörün yakıt hava karışımını tam olarak sağlayamaması ve volümetrik verimdeki azalmadır. Katalitik konvertörün montajından sonra motorun torkunda ortalama %5 azalma olmaktadır. Bunun sebebi ise katalitik konvertörün egzozda yaptığı ilave direnç sonucunda egzoz basıncının artmasıdır.

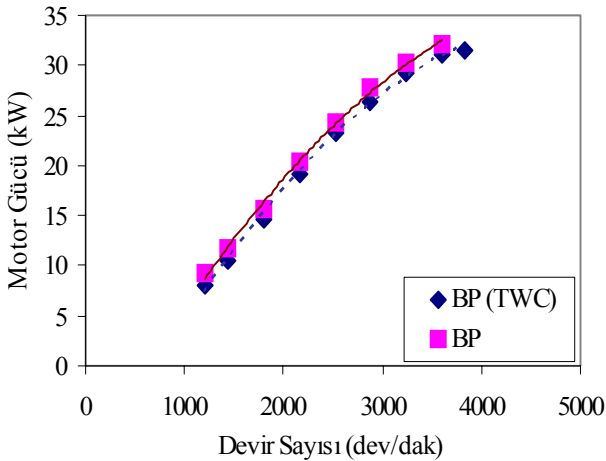
Şekil 4’de devir sayısı ile motor gücünün değişimi grafik olarak verilmiştir. Motor gücü, motor torkuna ve motorun devir sayısına bağlı bir büyüklüktür. Maksimum motor gücüne maksimum torktan daha sonra ulaşılmaktadır. Katalitik konvertörün



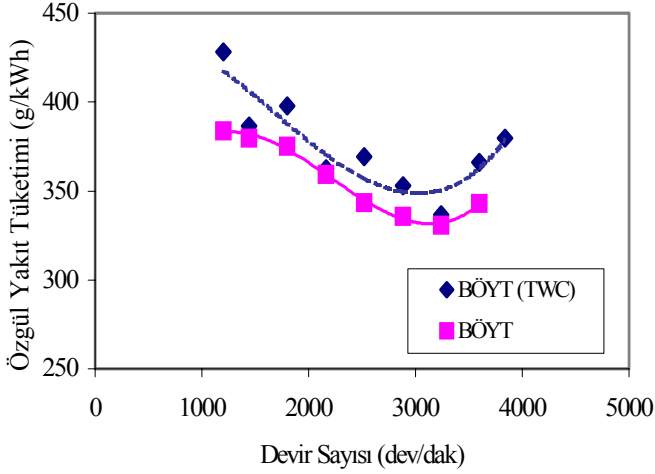
Şekil 3. Motor torku grafiği

motora ilave yük getirmesi sonucunda motorda iş kaybının olmasından dolayı yapılan deneylerde motor gücünde de azalma olmaktadır.

Şekil 5'de motorun özgül yakıt tüketiminin değişimi verilmiştir. Özgül yakıt tüketimi artan devir sayısı ile azalmakta 3200 dev/dak motor hızından sonra silindirler içine emilen hava azaldığı için yakıt tüketimi artmaktadır. Katalitik konvertörün motor performansına yaptığı olumsuz etki burada da görülmektedir. Katalitik konvertör montajından sonra yakıt tüketiminde artma olmuştur. Motor verimi ile özgül yakıt tüketimi arasındaki ilişkiden dolayı motor veriminde de azalma olmaktadır.



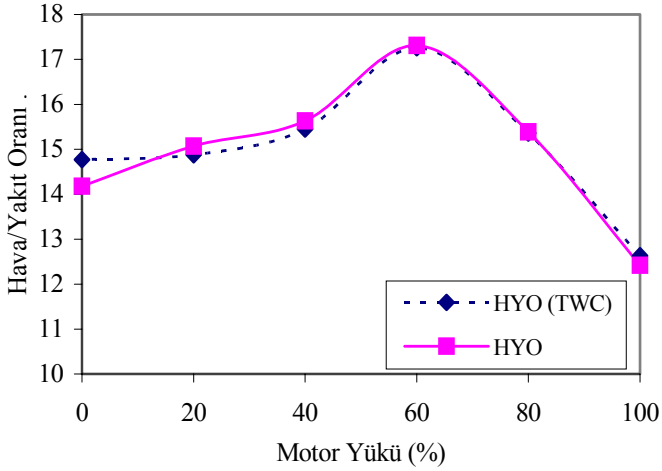
Şekil 4. Motor gücü grafiği



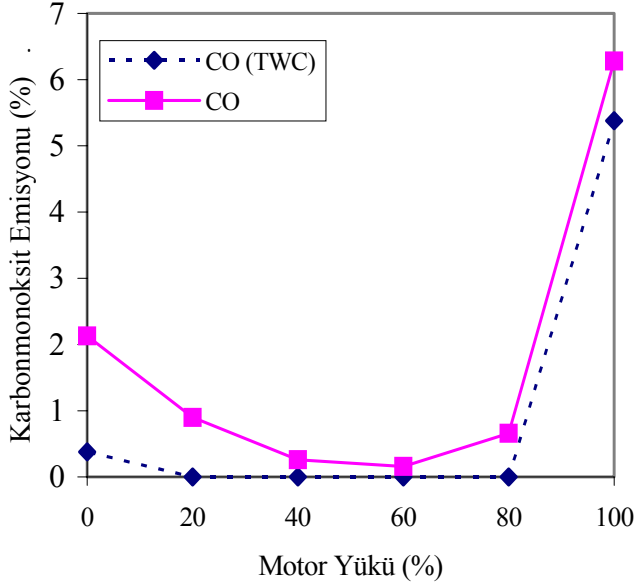
Şekil 5. Özgül yakıt tüketimi grafiği

Motorun yaydığı hava kirleticilerin mertebelerini belirlemek için emisyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 6'da deney motorunun hava/yakıt oranının motor yükü ile değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde orta yüklerde daha fakir bir karışımın oluştuğu görülmektedir. Böyle bir çalışma şekli ise karbüratörlerin karakteristik özelliğidir.



Şekil 6. Hava/yakıt oranı grafiği

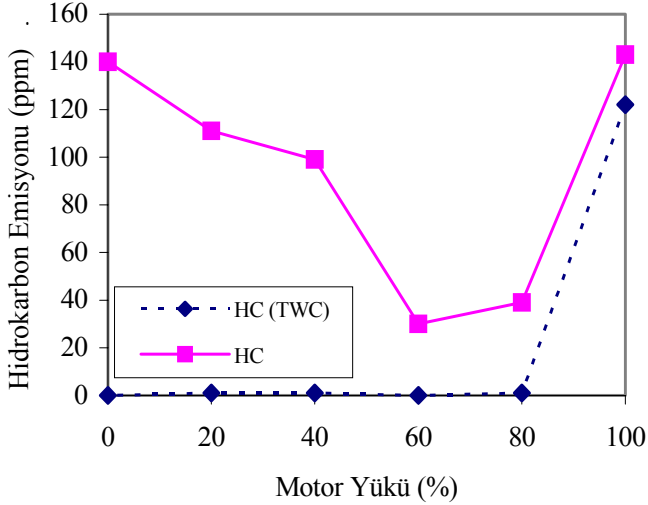


Şekil 7. Karbonmonoksit emisyonu grafiği

Şekil 7’de karbonmonoksit emisyonunun değişimi görülmektedir. CO emisyonu eksik yanma sonucunda oluşan emisyonlardandır. Yakıt hava karışımındaki hava fazlalığı tam yanma olayını etkilemektedir. Buna bağlı olarak fakir karışım olan bölgelerde CO emisyonunun mertebesi düşmektedir. Üç yollu katalitik konvertörün egzoz sistemine montesinden sonra ise CO emisyonu konsantrasyonunun %1.5’in altında olduğu durumlarda mükemmel bir şekilde CO₂’e dönüştürüldüğü grafikten de görülmektedir. Burada önemli noktalardan birisi de bu değerlerde hava yakıt karışımı fakir karışım şeklinde olmasıdır. Motor yükü %80’in üzerine çıktığında karbüratörün çalışma prensibine bağlı olarak yakıt hava karışımı zenginleşmekte, yani HYO stokiometrik karışım oranının altına inmektedir. Yakıt hava karışımında yakıt fazlalığından dolayı tam yanma olayı oluşmamakta ve hava kirletici emisyonların konsantrasyonlarında artış olmaktadır.

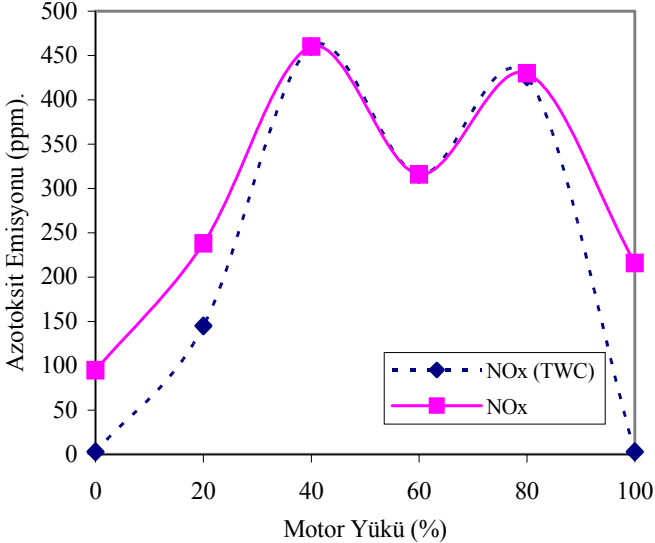
Şekil 8’de ise yakıtın içerisinde bulunana hidrokarbonların yanmaması sonucunda oluşan yanmamış HC emisyonu grafiği görülmektedir. Bütün emisyonların oluşmasında olduğu gibi, HC emisyonlarının da oluşmasında yanma olayı önemlidir. Yanma olayını etkileyen parametrelerden birisi de hava fazlalığıdır. Karbüratörün

çalışmasına bağlı olarak hava fazlalığı değişmekte ve bu da yanmayı etkilediğinden dolayı HC emisyonları da beklenildiği gibi HYO’dan etkilenmektedir. Katalitik konvertörün montajından sonra yapılan deneylerde ise tam yük hariç HC emisyonlarının konvertörde büyük ölçüde reaksiyona girerek indirgenildiği görülmektedir. Yine burada da HYO etkili olmaktadır.



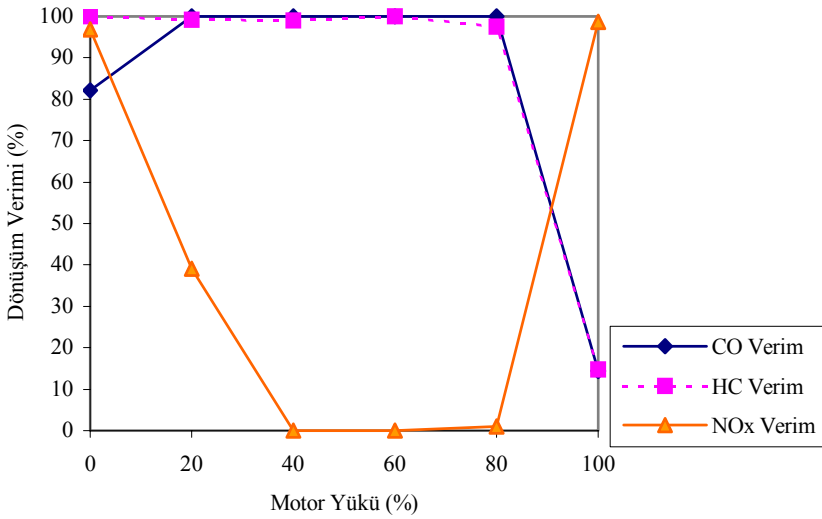
Şekil 8. Yanmamış hidrokarbonların grafiği

Şekil 9’da azotoksitlerin motor yükü ile değişimi verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde NO_x emisyonlarında bir dalgalanma olmaktadır. NO_x emisyonlarının oluşumunda hava içerisinde bulunan azot etkili olmaktadır. Bu emisyonun oluşumunda yanma sıcaklığı da önemli bir faktördür. Katalitik konvertör montajından sonra yapılan deneylerden ölçülen emisyon değerleri incelendiğinde ise, konvertörün orta yüklerde NO_x emisyonun azaltılmasında etkili olamadığı görülmektedir.



Şekil 9. Azotoksit grafiği

Şekil 10'da ise katalitik konvertörde emisyonların motor yüküne karşı dönüşüm verimi grafik olarak verilmiştir. Bu grafikte CO, HC ve NO_x emisyonlarının katalitik konvertör tarafından ne oranda etkili olarak azaltıldığı görülmektedir. CO ve HC emisyonları benzer davranış gösterirken NO_x emisyonu ise farklı bir davranış göstermektedir. Özellikle motorun çalıştığı orta yüklerde HC ve CO emisyonları %100'e yakın bir verimle dönüştürülürken, NO_x emisyonları neredeyse hiç azaltılmadan çevreye atılmaktadır. Bunun en büyük nedeni ise yakıt sisteminde karbüratör bulunması ve katalitik konvertör sisteminde bir geri beslemenin olmamasıdır. Bundan dolayı hava/yakıt oranı stokiometrik oranda bulunamamakta ve konvertörün %80 verimle çalıştığı pencerenin dışına çıkmaktadır.



Şekil 10. Katalitik konvertörün dönüşüm verimi grafiği

4. SONUÇLAR

Taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin azaltılmasında kullanılan en etkili yöntemlerden birisi olan üç yollu katalitik konvertör uygulamasıdır. Üç yollu katalitik konvertörün bir karbüratörlü motora uygulamasının deneysel olarak incelendiği bu çalışmada; motor performansı ve egzoz emisyonlarında meydana gelen değişimler deneysel olarak incelenmiştir.

Motor performansını ifade etmek için motor torku, mil gücü, özgül yakıt tüketimi parametreleri incelenmiştir. Katalitik konvertörün montajından sonra motor torkunda %5 civarında azalma olurken, mil gücünde de benzer olarak bir azalma olmaktadır. Özgül yakıt tüketimi incelendiğinde yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir.

Egzoz sistemine üç yollu katalitik konvertör takıldıktan sonra CO ve HC emisyonlarında istenilen düzeyde azalma olmaktadır. NO_x emisyonunda ise beklenen azalma olmamaktadır. Bu özelliği ile deneyde kullanılan üç yollu katalitik konvertörün oksidasyon katalizörü gibi çalıştığı görülmektedir.

SEMBOLLER

Al ₂ O ₃	Alümina
BÖYT	Özgül yakıt tüketimi
BP	Motor gücü
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
C _x H _y	Hidrokarbon molekülü
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
HC	Hidrokarbon
HYO	Hava/Yakıt oranı
H ₂ O	Su
i	Emisyon indisi
m	Kirletici miktarı
NO	Azotmonoksit
NO _x	Azotoksitler
N ₂	Azot molekülü
O ₂	Oksijen molekülü
Pd	Palladyum
Pt	Platin
Rh	Rodyum
TWC	Üç yollu katalitik konvertör

KAYNAKLAR

1. Chevron Inc., **Motor Gasolines Technical Review (FTR-1)**, Chevron Products Company, Chevron USA Inc., A.B.D., 1996.
2. Iynkaran, K., Tandy, D.J., **Applied Thermofluids and Pollution Control**, Prentice Hall, Singapore, 1989.
3. Heywood, J.B., **Internal Combustion Engine Fundamentals**, McGraw-Hill, New York, A.B.D. 1988.
4. Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M., **Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler**, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
5. Smith, W.J., Timoney, D.J., Lynch, D.P., Emissions and Efficiency Comparison of Gasoline and LPG Fuels in a 1.4 litre Passenger Car Engine, **SAE paper**, No: 972970,1-10, 1997.
6. Meretei, T., Banyavari, P., Borsi, Z., Tamasi, A., Catalyzer Small-Scale Field-Test in Hungary, **SAE paper**, No: 960236, 45-58, 1996.

7. Lindner, D., van Yperen, R., Lox, E.S., Ostgathe, K., Kreuzer, T., Reduction of Exhaust Gas Emissions by Using Pd-Based Three-Way Catalysts, **SAE paper**, No: 960602, 1996.
8. Samaras, Z., Manikas, T., Pistikopoulos, P., Zachariadis, T., Pattas, K., "Replacement Catalysts for In-Use Cars", **Int. J. Vehicle Design**, Cilt 20, Nos. 1-4, 253-262, 1998.
9. Koltsakis, G.C., Stamatelos, A.M., Catalytic Automotive Exhaust After Treatment, **Progress in Energy and Combustion Science**, 23, 1-39, 1997.