

GERÇEK YOL ŞARTLARINDA LPG VE BENZİNLE ÇALIŞAN İKİ TAŞITIN EMİSYON BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

*M. Bahattin ÇELİK**
*Abdurrazzak AKTAŞ**
*Bülent ÖZDALYAN**

Özet: Benzin motorlu taşıtların egzozundan çıkan kirleticilerin hava kirliliğini önemli ölçüde artırdığı bilinmektedir. Kirletici emisyonları azaltmak amacıyla, motorlarda LPG, doğal gaz, etanol, metanol ve hidrojen gibi petrole dayalı ya da yenilenebilir alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada hem LPG hem de benzinle çalışan iki taşıt gerçek yol şartlarında sürülerek emisyon seviyeleri karşılaştırılmıştır. Taşıtlar rölanti, sabit hızda gitme, yokuş tırmanma ve inme durumları için test edilmiştir. Testler sonucunda LPG'li çalışmada CO ve HC emisyonlarının benzinli çalışmaya göre genel olarak daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Benzinli çalışmada rölanti rejimindeki HC emisyonu LPG'li çalışmaya göre daha düşüktür. Ayrıca her iki yakıtlı çalışmada da rölanti çalışmasına göre; sabit hız, yokuş tırmanma ve inme rejimlerinde emisyon değerlerinin önemli ölçüde değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: LPG, Taşıt sürüş şartları, egzoz emisyonu.

Comparison of the Exhaust Emissions of the Vehicles with Gasoline and LPG Engines in the Actual Driving Conditions

Abstract: It is well known that the vehicles with gasoline engine which have the pollutant emissions increase the more the air pollution. For purpose exhaust emissions decreasing, it is used oil-based or renewable alternative fuels such as LPG, natural gas, ethanol, methanol and hydrogen in the gasoline engines. In this study, two vehicles which are used both LPG and gasoline, driving in the actual road conditions, have been compared to their emissions. The vehicles were tested for idling, cruising, going downhill and uphill conditions. In the result of the tests, it was seen that CO and HC emissions became generally the more less in the work with LPG relative to the work with gasoline. HC emission in the work with gasoline became the more less in the idling condition. Moreover, according to the test results it was seen that comparing to the idling condition, emission values were changed substantially during cruising, going downhill and uphill.

Key Words: LPG, vehicle driving conditions, exhaust emission.

1. GİRİŞ

Günümüzde hava kirliliği üzerinde durulması gereken önemli konulardan biridir. Genellikle hava kirliliği sanayi, konut ısıtma ve ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır. Her bir kaynağın hava kirliliğine etkileri farklı boyutlardadır. Bazı ülkelerde ise ulaşımın rolü sanayiden çok daha önemli boyutlara ulaşmıştır. Özellikle sanayileşmiş bölgelerdeki hava kirliliğinin yaklaşık %60-70'nin motorlu taşıtlardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Borat ve diğ., 1992). Otomobiller tarafından üretilen ve havayı kirleten maddeler otomobil yakıtlarının yanması veya buharlaşması neticesinde ortaya çıkmaktadırlar. Bunlar CO, HC ve NO_x şeklinde üç ana gruba ayrılabilir. Bu gazları solunum zehirlenmelere ve birçok hastalıklara neden olmaktadır.

Katalitik konvertörlü benzin püskürtmeli motorlar tüm işletme koşullarında oldukça düşük emisyonla sahiptir. Ancak trafikteki taşıtların büyük kısmını oluşturan karbüratörlü motora sahip taşıtlarda değişik koşullarda Hava Fazlalık Katsayısı (HFK) sabit değerde tutulmadığı için egzoz emisyon seviyeleri yüksek olmaktadır. Bu motorlarda emisyonları azaltmak için alınan tedbirlerden birisi alternatif temiz yakıt kullanmaktır. İçten yanmalı motorlarda, kirletici emisyonları azaltmak amacıyla LPG (sıvılaştırılmış petrol

* Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 78200, Karabük.

gazı), alkoller, CNG (sıkıştırılmış doğal gaz), LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz), hidrojen gibi yakıtlar kullanılmaktadır (Dinler ve diğ., 2002; Kutlar ve diğ.,1998). Türkiye’de taşıtlarda alternatif yakıt olarak daha çok LPG kullanılmaktadır. LPG; ucuz olması, temiz yanması ve daha az egzoz emisyonları vermesi nedeni ile tercih edilen alternatif yakıt konumuna gelmiştir. CO, HC ve NO_x emisyonları LPG yakıtlı taşıtlarda benzine oranla daha düşük seviyelere indirilebilmektedir. Kullanılan LPG dönüşüm sisteminin yapısına ve kullanılan elektronik kontrol donanımına bağlı olarak taşıtın emisyon seviyeleri değişim göstermektedir. Karbüratörlü taşıtlara LPG dönüşüm sistemi uygulandığında kirletici emisyonlar önemli ölçüde azalmaktadır. Ancak hatalı uygulanmış dönüşüm sistemlerinde beklenen oranda iyileşmeler sağlanamadığı gibi daha kötü emisyon değerleri ortaya çıkabilmektedir (Çalık, 1999). Halen karbüratörlü araçlarda uygulanmakta olan dönüşüm sistemleri birinci nesil LPG donanımlarını içermektedir. Bu tür açık devreli sistemlerde HFK gaz karbüratörünün sağladığı sınırlar dahilinde değişmekte, değişik hız ve yüklerde HFK’nı sabit tutmak mümkün olmamaktadır. Lamda (λ) kontrollü ve katalizörlü ikinci nesil dönüşüm sistemlerinin karbüratörlü araçlara uygulanması ile emisyon değerleri çok daha aşağı çekilebilecektir.

Gerek yol testleri gerekse laboratuvar testleri ile sürüş koşullarının egzoz emisyonlarına etkisi konusunda birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır (Tong ve diğ., 2000; Joumard ve diğ., 1995; Cicero ve diğ., 1997; Andre ve diğ., 1997). Ayrıca LPG’nin benzinli motorlarda kullanımı, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri konusunda birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bayındır ve diğ. (1997) yapmış oldukları bir deneysel çalışmada 1992 Model Renault 9 aracına LPG yakıt sistemini monte etmişler ve motorun belli devirlerinde aynı kriterlerde benzinle yapılan çalışmayla karşılaştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalar sonucunda LPG’li çalışmada daha düşük HC ve CO emisyonu değerleri elde etmişlerdir. Dinler ve Yücel (2002) iki farklı motorda LPG ve benzinli çalışmanın egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Gerek benzin gerekse LPG ile çalışmada egzoz emisyonlarının HFK’na bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Aktaş (2000) tarafından yapılan bir çalışmada enjeksiyonlu motora sahip sekiz adet aracın şasi dinamometresinde değişik hızlarda benzin ve LPG kullanılarak emisyon durumu incelenmiştir. Deneyler süresince hava yakıt oranında (H/Y) aşırı değişimler olduğu, bunun da CO, CO₂, HC ve güç değerlerini etkilediği tespit edilmiştir. İcingür ve Haksever (1998) karbüratörlü bir motora birinci nesil LPG dönüşüm kiti uygulayarak motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Karim ve Wierzba (1983) yaptıkları çalışmada metan ve propanın buji ve sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılmasını karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Propan kullanılması halinde CO ve HC emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. Wu ve Mathews (1996) tarafından yapılan bir proje çalışmasında yedi adet taşıtın emisyon davranışları LPG, Doğal gaz ve benzin kullanılarak incelenmiş, LPG ve doğal gaz ile çalışmada daha düşük egzoz emisyonu elde edilmiştir. Moussavi ve Al-Turk (1993) yaptıkları çalışmada doğal gaz ve LPG’nin alternatif yakıt olarak motorlarda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Smith ve diğ., (1997) 1.4 litrelik bir taşıt motorunda LPG ve benzin yakıtları kullanarak emisyon ve verimlilik bakımından karşılaştırma yapmışlardır. LPG ile çalışmada HC emisyonlarının benzinliye göre daha düşük çıktığı belirlenmiştir. Sierens (1992) tarafından yapılan çalışmada benzin enjeksiyonlu bir motora sıvı halde LPG püskürtülmesi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. LPG’li çalışmada egzoz emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Şahin ve Lada marka iki adet taşıt gerçek sürüş koşullarında benzin ve LPG yakıtı kullanılarak sürülmüş ve emisyon bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneyin gerçek yol şartlarında yapılması ve irdelenmesi daha gerçekçi sonuçlara ulaşmayı sağlamaktadır.

2. LPG YAKITININ ÖZELLİKLERİ

LPG ülkemizde %30 propan (C₃H₈) ile %70 oranında bütan (C₄H₁₀)’nin karışımından oluşmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan benzin ile LPG arasında farklılıklar vardır. Gaz yakıtlarda karışım hazırlama kolaylaşmakta, motora ani gaz verme durumlarında hava-yakıt karışımı daha düzgün silindire gitmektedir. Sıvı yakıtlara göre LPG silindir içerisinde daha geniş alana yayılarak daha homojen yapı oluşturmaktadır (Yaman, 2004). Motor yakıtı olarak kullanılan LPG (propan, bütan) ve benzinin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1.
Propan, bütan ve benzinin özellikleri (Çalık ve diğ., 1999; Aktaş, 2000).

Özellikler	Propan	Bütan	Benzin
Kimyasal formülü	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₆₋₈ H ₁₃₋₁₈
Moleküler ağırlığı (kg/Mol)	42	58	86-115
Özgül ağırlığı (kg/litre)	0,51	0,58	0,73-0,78
Kaynama noktası (°C)	-43	-0,5	30-225
Alt ısııl değeri (MJ/kg)	46,50	45,46	44,03
Tutuşma noktası (°C)	510	490	-
Tutuşma sınırları (hacimsel %)	2,1-9,5	1,5-8,5	-
Yanma hızı (m/s)	0,4	0,4	0,35
Stokiyometrik oran	15,8	15,6	14,5
Araştırma oktan sayısı	111	103	95
Motor oktan sayısı	97	89	90

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Testler düz yol, yokuş tırmanma ve yokuş inme durumlarında yapılmıştır. Düz yol testleri Karabük şehir merkezi (yeşil mahalle mevki) yeni çevre yolunda yapılmıştır. Eğimli yol testleri ise 755 nolu Devlet yolunun (Karabük - Bartın Yolu) 2. kesiminin 32-35 km'leri arasındaki yol kesiminde yapılmıştır. Bu yol kesiminin ortalama eğimi yaklaşık %8'dir. Test sırasında egzoz emisyon ölçümleri, CO, CO₂, HC, O₂ ve H/Y oranı değerlerini ölçebilen Sun MGA-1200 marka egzoz gaz analizörü ile yapılmıştır. Egzoz gaz analizör cihazını taşıt üzerinde çalıştırmak için 12 V'luk DC akü gerilimini 220 V'luk AC'ye dönüştürebilen Ataba marka invertör kullanılmıştır. Emisyon cihazı testler sırasında arka koltuk üzerine yerleştirilmiş, cihazın egzoz probu çıkmayacak biçimde egzoz borusuna bağlanmıştır. Teste tabi tutulan taşıtların teknik özellikleri Tablo 2'de görülmektedir

Tablo 2.
Taşıtların teknik özellikleri.

Markası	Şahin S	Lada HB
Modeli	1997	1993
Silindir sayısı	4	4
Motor gücü	60 kW	55 kW
Motor hacmi	1600 cm ³	1500 cm ³

Taşıtların her ikisinde de birinci nesil LPG dönüşüm sistemi bulunmaktadır. Taşıt motorlarının karbüratörleri yakıt kesme (cut-off) sistemine sahiptir. Taşıtların km'si, Şahin S ve Lada HB marka taşıtlar için sırasıyla (82000 ve 96000) km'dir. Testlerden önce her iki taşıtın motor yağı, hava filtresi, bujileri değiştirilmiş, soğutma sistemi, kompresyon basıncı ve özellikle egzoz sistemleri kontrol edilmiştir. Motor normal çalışma sıcaklığına geldikten sonra testlere başlanmıştır. Testler önce benzinle daha sonra LPG yakıtı ile yapılmıştır. Trafığın çok sakin olduğu vakitlerde testler yapılmıştır. Testlerin yapıldığı her iki gündeki hava sıcaklıkları ve basınçları sırası ile (20,3 – 19,4)°C, (979 – 978,8) mbar'dır. Rüzgâr hızları (0,3 – 0,6) m/s'dir. Hava nem miktarı % (56 – 62,3)'tür.

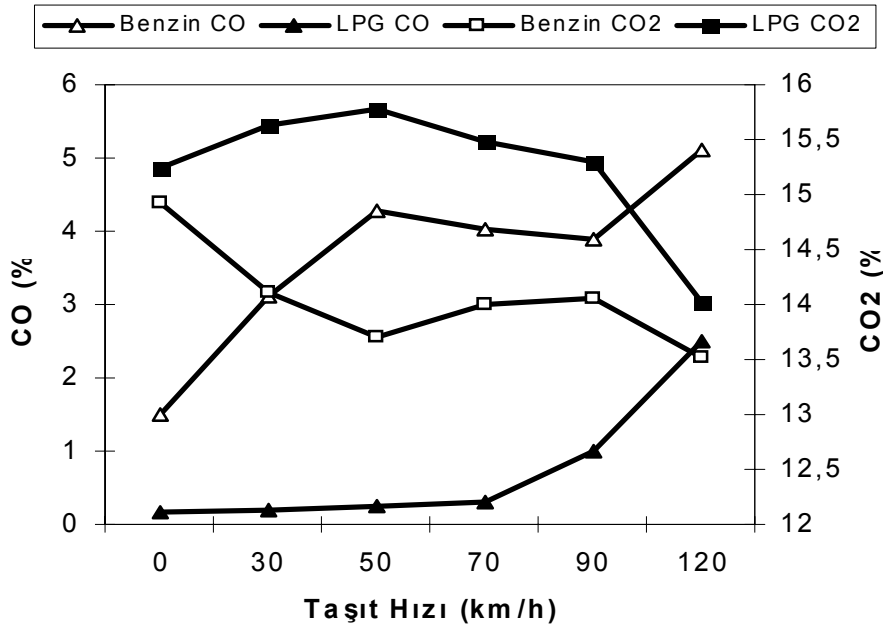
Testler üç değişik sürüş koşullarında yapılmıştır. Bunlar; düz yol sabit hız, yokuş tırmanma ve yokuş inme testleridir. Ayrıca rölanti çalışmasındaki emisyonlar da ölçülmüştür. Düz yol sabit hız testleri (30, 50, 70, 90, 120) km/h taşıt hızlarında yapılmıştır. Taşıt sabit hızda giderken emisyon değerleri sabitleştikten sonra değerler kaydedilmiştir. Düz yol testlerinde hıza göre vites durumları şöyle olmuştur: 30 km/h (2. vites), 50, 70 km/h (3. vites), 90 km/h (4. vites), 120 km/h (5. vites). Yokuş tırmanma testleri 20 (1. vites),

30 (1.vites), 50 (2. vites), 70 (3. vites), 90 (4. vites) km/h sabit hızlarında yapılmıştır. Yokuş inme testleri de yokuş tırmanmadaki hızlar ve vites durumlarında yapılmıştır. Taşıt aynı eğimli yol kesiminde belirlenen sabit hızda inerken (ayak gaz pedalından çekili durumda) emisyonlar kararlı hale geldikten sonra değerler kaydedilmiştir. Test sonuçları üçer tekrarın ortalaması alınarak elde edilmiştir.

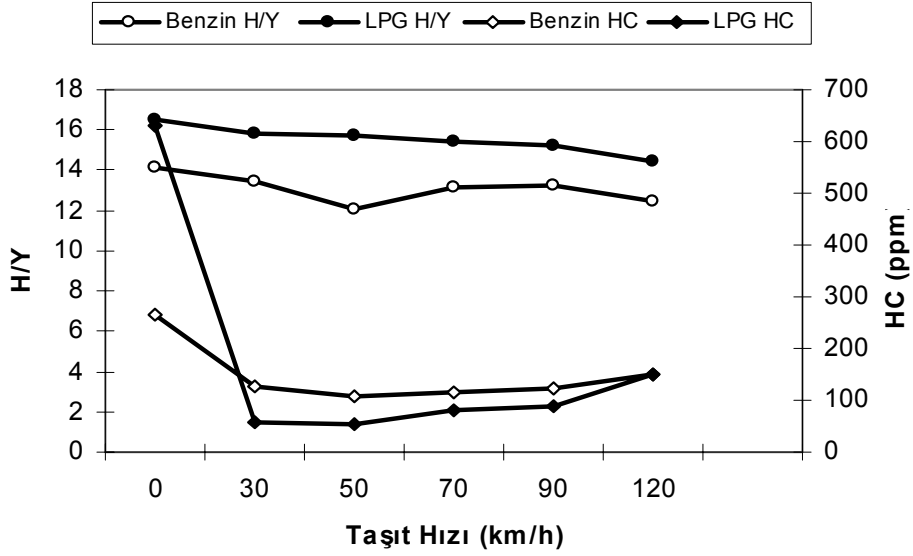
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Düz Yol Sabit Hız Testleri

Düz yolda değişik sabit hızlarda, birinci taşıtta (Şahin), LPG ve benzinle çalışmada CO, CO₂, HC ve H/Y oranının taşıt hızına bağlı değişimleri Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir. Şahin marka taşıtta, benzinle çalışmada rölantide %1,5; 30 km/h hızda %3,1 olan CO emisyonu 50 km/h hızda %4,29 yükselmiştir. (70 ve 90) km/h hızlarda CO emisyonu sırasıyla %4,02 ve %3,9'a düşmüştür. 120 km/h hızda %5,1 yükselmiştir. CO emisyonu daha çok H/Y oranına bağlı olarak değişen bir parametredir (Borat ve diğ.,1992). CO emisyonunun yüksek olduğu taşıt hızlarında karışımın bir miktar zenginleştiği Şekil 2'de görülmektedir. Ayrıca düz yol düşük hızlarda kısmi yükte çalışıldığı için silindire alınan dolgu miktarı az, silindir içi basınç ve sıcaklığı düşüktür. Bunlara ilaveten, düşük hız nedeniyle türbülans da düşük olmaktadır. Bunların sonucu olarak yanma verimi düşmekte ve CO emisyonu kötüleşmektedir. LPG'li çalışmada rölantide %0,17 olan CO, 120 km/h hızda %2,51 ile en büyük değere ulaşmıştır. Düz yol çalışmasında CO emisyonu LPG'li çalışmada ortalama olarak %1'in altında çıkmıştır. Her iki yakıtlı çalışmada da 90 km/h hızdan sonra CO emisyonu H/Y oranının azalmasıyla birlikte önemli ölçüde artmıştır. CO emisyonunun düşük olduğu durumlarda CO₂ emisyonu da yüksek olmaktadır. Benzinli çalışmada H/Y oranı değerleri düşük olduğu için CO emisyonu değerleri de yüksektir, Şekil 2. HC emisyonu her iki yakıtlı çalışma için rölantide yüksek çıkmış, hızın artışı ile birlikte düşmeye başlamıştır. 90 km/h hızdan sonra HC emisyonu biraz artmıştır. Rölanti hariç diğer hızlarda LPG'li çalışmada HC'lar daha düşük çıkmıştır. Rölanti çalışmasında eksik yanma, soğuk cidarlar ve çok düşük silindir basıncının oluşturduğu düşük yanma hızları nedeniyle HC emisyonları fazladır (Kutlar ve diğ., 1998). Bu nedenle rölantide, H/Y oranına bağlı olan CO emisyonu düşük iken HC emisyonları yüksek olabilmektedir.

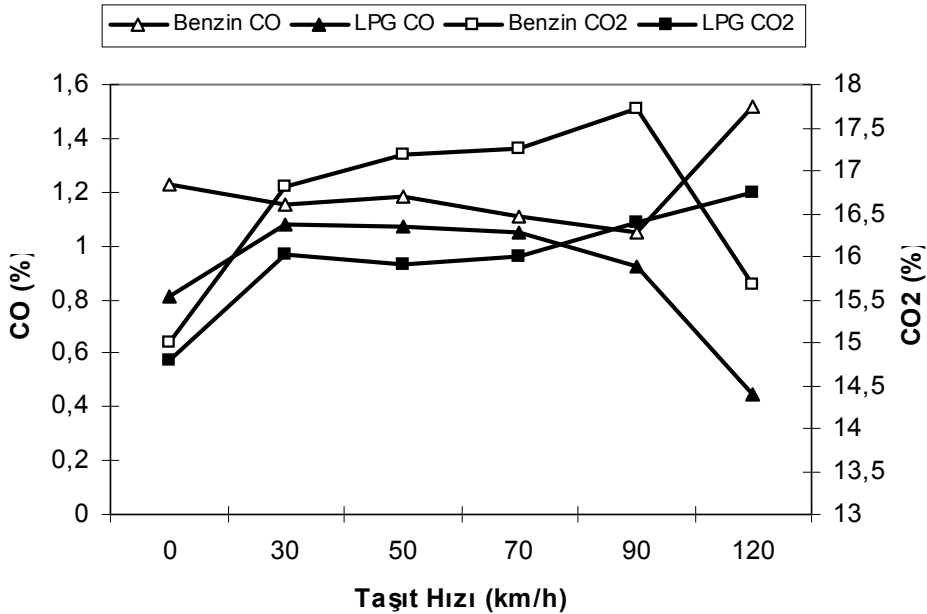


Şekil 1.
Değişik hızlarda CO, CO₂ emisyonu değişimleri (Şahin).

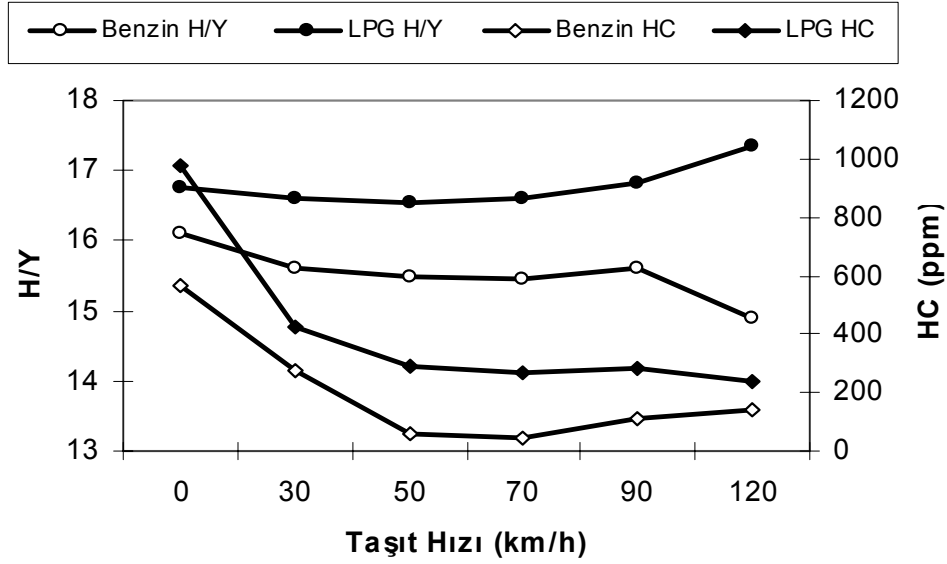


Şekil 2.
Değişik hızlarda H/Y oranı ve HC emisyonu değişimleri (Şahin).

Düz yolda değişik sabit hızlarda, ikinci taşıtta (Lada), LPG ve benzinle çalışmada CO, CO₂, HC ve H/Y oranının taşıt hızına bağlı değişimleri Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu taşıttın benzinli çalışmada CO emisyonu rölantide, (30, 50, 70 ve 90) km/h hızlarda %1'in biraz üzerindedir. 120 km/h hızda %1,52'ye yükselmiştir ve diğer taşıta göre oldukça düşüktür. Ayrıca H/Y oranı değerleri de 15/1 – 15,50/1 arasında değişmektedir. Şekil 3-4'te görüldüğü gibi, LPG'li çalışmada CO emisyonu benzinli çalışmaya göre bütün hızlarda daha düşük çıkmış ve 90 ile 120 km/h hızlarda H/Y oranı arttığından bu hızlarda CO emisyonu en düşük, CO₂ emisyonu en büyük değere çıkmıştır. Bu taşıttın HC emisyonu rölantide oldukça yüksektir ve hız arttıkça azalmıştır. Bu taşıt LPG'li çalışmada HC'lar açısından benzinle kıyaslandığında daha kötü durumdadır. Her iki taşıttın rölanti çalışmasında HC emisyonları yüksek değerlerdedir.



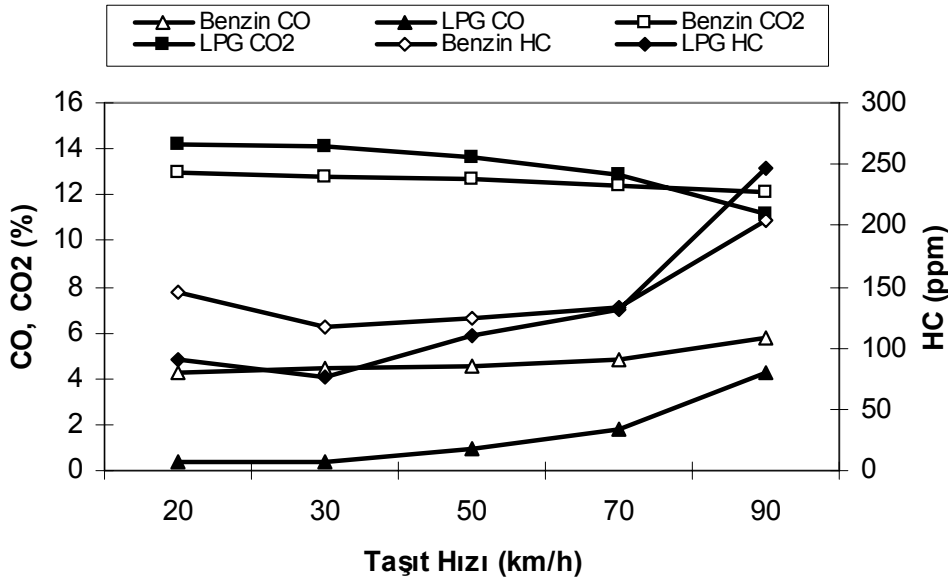
Şekil 3.
Değişik hızlarda CO, CO₂ emisyonu değişimleri (Lada).



Şekil 4.
Değişik hızlarda H/Y oranı ve HC emisyonu değişimleri (Lada).

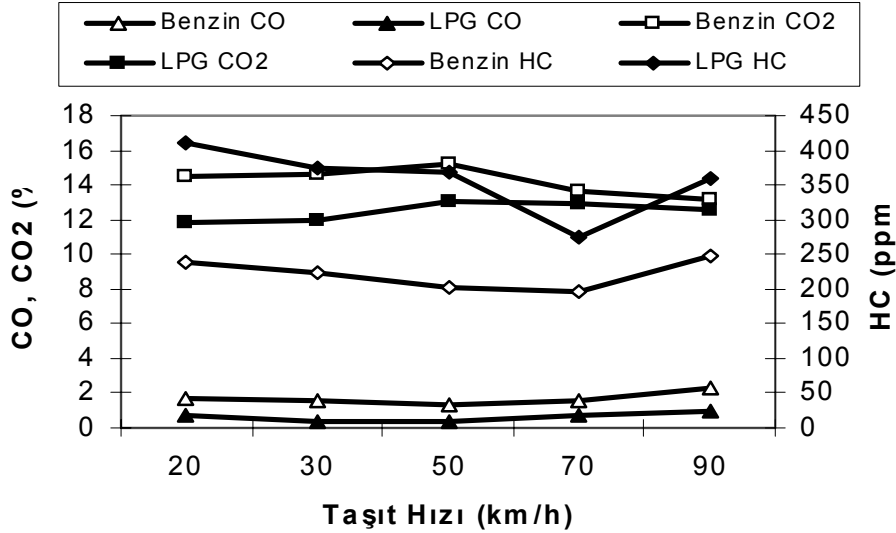
4.2. Yokuş Tırmanma Testleri

Yokuşta değişik sabit hızlarda, taşıt hızına bağlı olarak birinci taşıtın CO, CO₂ ve HC emisyonlarının değişimi her iki yakıt için Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu taşıtta benzinli çalışmada yokuş çıkarken 20 km/h hızda CO emisyonu %4,3 iken 70 km/h hızda %4,80' e ve 70 km/h hızdan sonra %5,75'e yükselmiştir. Aynı yokuşta hızı arttırmak için gaz pedalına daha fazla basılmış ve karışım zenginleşerek CO emisyonu artırılırken CO₂ emisyonu azalmıştır. LPG'li çalışma durumunda da hız arttıkça CO emisyonunun da arttığı görülmektedir. Ancak benzinli çalışmayla kıyaslandığında genel olarak CO'nin çok düşük değerlerde olduğu görülmektedir. 20 km/h taşıt hızında benzinli ve LPG'li çalışmalarda sırasıyla 145 ve 90 ppm olan HC emisyonu artan taşıt hızıyla birlikte azalmış, yüksek hızlarda tekrar artmaya başlamıştır. 20 km/h taşıt hızında kısmi yükte düşük yanma hızı nedeni ile HC emisyonu biraz yüksektir. Yüksek hızlarda ise karışım zenginleştiği için HC ve CO emisyonları artmaktadır. Yokuş tırmanma durumunda LPG'li çalışmada CO ve HC emisyonu, benzinli çalışmaya göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 5.
Yokuş tırmanma durumunda değişik hızlarda CO, CO₂, HC emisyonu değişimleri (Şahin).

Yokuşta değişik sabit hızlarda, taşıt hızına bağlı olarak ikinci taşıtın CO, CO₂ ve HC emisyonlarının değişimi her iki yakıt için Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu taşıtta benzinli çalışmada 20 km/h taşıt hızında CO emisyonu %1,72; HC 238 ppm'dir. Hız ve gaz pedalına basma miktarı arttıkça yanma hızı da artacağından CO ve HC emisyonları da azalmaktadır. 70 km/h hızdan sonra gaz keleşi tam gaza yakın konuma geldiğinden karışım zenginleşmekte CO ve HC emisyonları artmakta, CO₂ emisyonları azalmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi, LPG'li çalışmada benzinli çalışmaya göre CO emisyonları bütün hızlarda daha düşük ve %1'in altında çıkmıştır. Ancak HC emisyonu bakımından LPG'li çalışma benzinli çalışmaya göre daha kötü durumdadır ve bütün hızlarda benzinli çalışmaya göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.



Şekil 6.

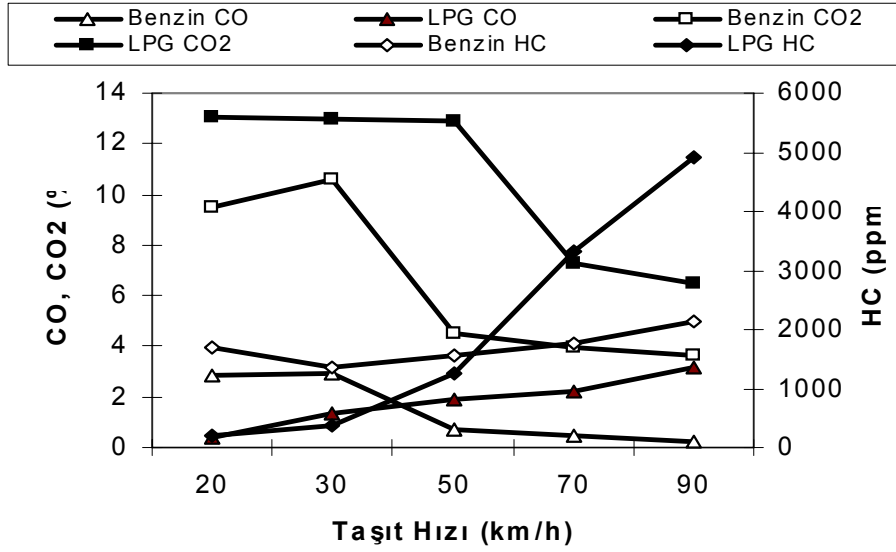
Yokuş tırmanma durumunda değişik hızlarda CO, CO₂, HC emisyonu değişimleri (Lada).

4.3. Yokuş İnme Testleri

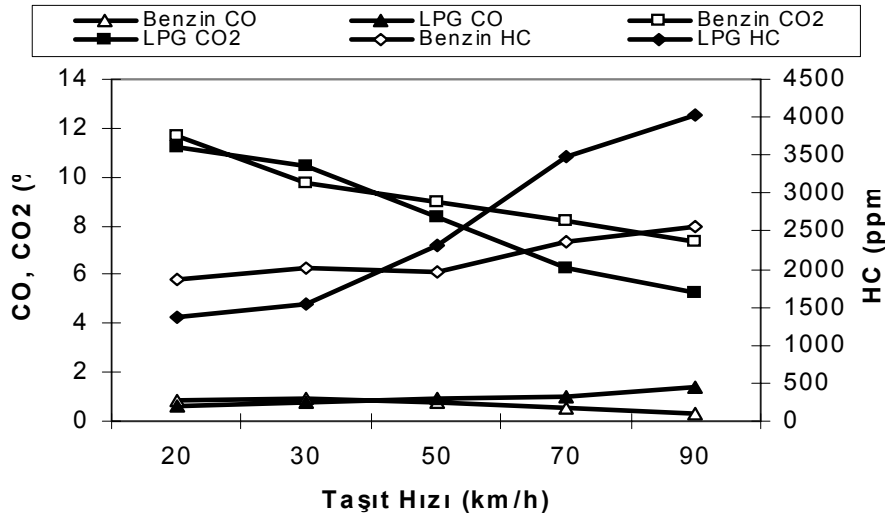
Yokuş aşağı inerken değişik sabit hızlarda birinci taşıtın CO, CO₂ ve HC emisyonlarının değişimi her iki yakıt için Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu taşıtta benzinli çalışmada, 20 km/h ve 30 km/h hızla yokuş aşağı inerken CO emisyonu %2,85 ve %2,96'dır. Taşıt hızı arttığında CO değeri (50,70 ve 90) km/h hızlarda %1'in altına düşmüştür. Karışım çok fakir olduğundan emisyon cihazı (50, 70, 90) km/h hızlarında H/Y oranı değerlerini gösterememiştir. Yokuş aşağı inme durumunda gaz keleşi kapalı olmasına rağmen, yüksek hızlarda motor tarafından yapılan vakumla birlikte motora zorla hava emilmektedir. Karbüratörde rölanti yakıtını kesen yakıt kesme sistemi olmasına rağmen, yüksek taşıt hızlarında karbüratör yüksek hız fiskiyesinden bir miktar yakıt emilmekte ve karışım çok fakir olmaktadır. Bu yüzden CO emisyonları da çok düşük olmaktadır. Ancak fakir karışımlarda silindirlere tutuşma gerçekleşmemekte ve yeterince oksitlenme olmadığından egzozdaki CO₂ azalmakta ve HC'lar önemli ölçüde artmaktadır (Kutlar ve diğ., 1998). CO₂ emisyonu (50, 70, 90) km/h hızlarında %3-4'lere kadar inmiş, HC emisyonları ise bütün hızlarda 1000 ppm'in üzerine çıkmıştır. LPG'li çalışmada, LPG donanımında yakıt kesme sistemi bulunmadığından, yüksek hızlarda vakum etkisiyle gaz keleşinin üstünde bulunan LPG mikserinden kolaylıkla gaz çekilebilmektedir. Özellikle (70, 90) km/h gibi yüksek hızlarda CO₂ emisyonunun %6,5-7'lere inmesi silindirde yeterince oksitlenme olmadığını, karışımın fakir olduğunu göstermektedir. Bu durumda HC emisyonlarının önemli ölçüde artacağı açıktır. LPG'li çalışmada CO emisyonu (20, 30) km/h hızlarda benzinli çalışmaya göre daha düşük, diğer hızlarda daha fazla çıkmıştır. Bu hızlarda CO emisyonunun bir miktar artmasının sebebi, gaz keleşinin kapalı olması dolayısıyla hava-gaz karışımının karbüratörde homojen bir şekilde hazırlanamamasıdır.

İkinci taşıtın yokuş inme durumunda emisyonlarının değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Bu taşıtın bu rejimdeki benzinli çalışmada CO emisyonu bütün taşıt hızlarında %1'in altındadır. (20 ve 30) km/h hızlarında CO emisyonu sırasıyla %0,82 ve %0,92'dir. Yokuş inme rejiminde 30 km/h hızdan sonraki hızlarda karışım daha da fakirleşmektedir. (50, 70 ve 90) km/h hızlarda CO₂ emisyonu sırasıyla %8,98, %8,18, %7,34'lerde iken CO %0,80, %0,53 ve %0,32'dir. Karışımın fakirleşmesi nedeni ile CO emisyonu düşük seviyelerde olmakta, silindirlere tutuşma olmadığından yeterince oksitlenme gerçekleşmemekte ve böylece CO₂ azalmakta, HC'lar da artmaktadır. LPG'li çalışmada ise CO emisyonu (20, 30) km/h hızlarda benzinli çalışmaya göre daha düşük, diğer hızlarda bir miktar fazla çıkmıştır. Normal yanma şartlarına göre

CO₂ miktarındaki aşırı düşme (%5-6 gibi), yeterince oksitlenme olmadığını göstermekte ve bu durumda HC emisyonu aşırı biçimde artmaktadır. LPG'li çalışmada HC emisyonu (70 ve 90) km/h hızlarda sırasıyla 3492 ve 4038 ppm'e yükselmiştir. Yokuş inme durumunda her iki taşıt CO ve HC emisyonu bakımından yaklaşık aynı karakteristikleri göstermektedir.



Şekil 7. Yokuş inme durumunda değişik hızlarda CO, CO₂, HC emisyonu değişimleri (Şahin).



Şekil 8. Yokuş inme durumunda değişik hızlarda CO, CO₂, HC emisyonu değişimleri (Lada).

5. SONUÇLAR

Yapılan testler sonucunda her iki taşıtta da değişik sürüş koşullarında emisyon değerlerinde önemli değişimler tespit edilmiştir. Birinci taşıtta benzinli çalışma durumunda; bütün hızlarda, CO emisyonu düz yol ve yokuş tırmanma rejiminde rölanti çalışmasına göre daha fazladır. Yokuş inme durumunda (50, 70 ve 90) km/h hızlarda daha düşüktür. HC emisyonu rölantide, düz yol ve yokuş tırmanma durumuna göre daha yüksektir. Ancak yokuş inme durumunda, karışım aşırı fakirleşmekte ve HC'lar çok yükselmektedir. LPG ile benzinli çalışma bu taşıt için kıyaslandığında, LPG'li çalışmada rölanti, düz yol ve yokuş tırmanmada CO emisyonu daha düşüktür. Sadece yokuş inmede (50, 70 ve 90) km/h hızlarda CO emisyonu benzinli çalışmadan daha yüksektir. LPG'li çalışmada HC emisyonu düz yol ve yokuş tırmanma rejimlerinde düşük, yokuş inmede (70 ve 90) km/h hızlarda benzinli çalışmaya göre daha yüksektir.

İkinci taşıtta benzinli çalışmada, rölanti rejiminde düz yol ve yokuş inme rejimine göre CO emisyonu genel olarak daha yüksek, yokuş tırmanma rejimine göre daha düşüktür. HC emisyonu rölantide, düz yol sabit hız ve yokuş tırmanma rejimine göre daha yüksektir. Yokuş inme durumunda HC emisyonları çok yüksektir. LPG ile benzinli çalışma kıyaslandığında, LPG'li çalışmada rölanti, düz yol sabit hız ve yokuş tırmanma rejimlerinde CO emisyonu daha düşüktür. Sadece yokuş inme rejiminde (50, 70 ve 90) km/h hızlarında bir miktar yüksektir. Söz konusu taşıt, LPG'li çalışmada HC emisyonu bakımından hemen hemen bütün çalışma rejimlerinde kötü sonuçlar vermiştir. Bu taşıtın CO emisyonu bakımından iyi olması, HC emisyonu bakımından iyi durumda olmaması motorun yapısal özellikleri ve ateşleme sisteminden kaynaklanabilir. En yüksek HC emisyonu taşıtların LPG ile yokuş inme rejiminde çalışmaları halinde elde edilmektedir. Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, çok basit bir sistemle motora sevk edilse bile LPG'nin benzine oranla daha temiz bir yakıt olduğu söylenebilir.

6. ÖNERİLER

Her iki taşıtta da, gerek LPG'li gerekse benzinli çalışmada, değişik koşullarda karbüratör ve LPG donanımı H/Y oranını sabit değerde tutamadığı için farklı emisyon davranışları gözlenebilmektedir. Bu nedenle trafikteki taşıtların büyük çoğunluğunu oluşturan karbüratörlü taşıtlara, lamda kontrollü katalizatörlü ikinci nesil LPG donanımlarının uygulanmasıyla LPG ile elde edilen düşük emisyonlar daha aşağılara çekilebilir. LPG donanımının karbüratörlü motorlara uygulamasında kullanılan elemanların orijinal olması, sistemin bakım ve ayarının periyodik olarak yapılması ve özellikle karıştırıcının motora uygun olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca diğer motor bakım ve ayarlarının zamanında yapılması emisyon ve yakıt tüketimi bakımından olumlu sonuçlar vermektedir. Daha çevreci doğal gaz, hidrojen, LPG, etanol ve metanol gibi alternatif yakıtların özendirilmesi ile çevre kirliliği azaltılabilir. LPG'li araçların yokuş inme rejiminde çalışırken, vitesi boşa almak yerine yakıt seçici anahtarı nötr konuma getirerek, motora yakıt sevkini durdurmak hem HC, CO emisyonunu önlemek hem de yakıt tüketimini azaltmak bakımından faydalı olabilir. Taşıtların çevre kirliliğindeki büyük rolü dikkate alındığında, egzoz emisyonlarındaki küçük bir iyileşmenin çevre kirliliğinin azalmasında önemli katkıları olacağı unutulmamalıdır.

7. KAYNAKLAR

1. Aktaş, N. (2000) *Benzinli Motorlarda LPG Kullanımının Güç ve Emisyon Açısından İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Andre, M., Pronello, C. (1997) Relative Influence of Acceleration and Speed on Emissions Under Actual Driving Conditions, *Int. J. Vehicle Design*, 18, 340-353.
3. Bayındır, H., İlkılıç, C. ve Sarsılmaz, C. (1997) Yerli Otomobillerde LPG Kullanımı. *1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi*, Adana, s.92-93.
4. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A. (1992) *Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği*, T.E.V. Yayınları-3, Ankara, 60-92.
5. Dinler, N. ve Yücel, N. (2002) Benzin ve LPG Kullanılarak İki Farklı Motorun Egzoz Emisyon Davranışlarının Deneysel İncelenmesi, *7. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara, 242-243.
6. Cicero, F.P., Long, J.R., Winer, A.M. (1997) Effects of Grades and Other Loads on On-Road Emissions of Hydrocarbons and Carbon Monoxide, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 47, 898-904.
7. Çalık, A.T., Arslan, H., Soruşbay, C. (1999) Benzin Motorlu Taşıtlarda LPG Kullanımının Egzoz Gazları Emisyonuna Etkisi, *LPG ve Uygulamaları Konferansı*, İstanbul.
8. İcingür, Y., Haksever, R. (1998) Benzinli Motorlarda LPG Kullanımı-Performans Emisyonlara Etkisinin Deneysel Analizi, *Politeknik Dergisi*, 1, 3-4, 69-76, Ankara.
9. Joumard, R., Jost, P., Hickman, J. (1995) Influence of Instantaneous Speed and Acceleration on Hot Passenger Car Emissions and Fuel Consumption, *SAE Technical Paper*, 950928.
10. Karim, G.A., Wierzbica, I. (1983) Comparative Study of Methane and Propane as Fuels for Spark Ignition and Compression Ignition Engines, *SAE Paper*, 831196, 676-688.
11. Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Mutlu, M. (1998) *Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirlenmeler*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
12. Moussavi, M., Al-Turk, M. (1993) Compressed Natural Gas and LPG as Alternative Fuels, *Journal of Energy Engineering*, 119, (3), 168-179.
13. Sierens, R. (1992) Experimental and Theoretical Study of Liquid LPG Injection, *SAE Paper*, 922363, Warrendale, PA, U.S.A.

14. Smith, W.J., Timoney, D.J., Lync, D.P. (1997) Emissions and Efficiency Comparison of Gasoline and LPG Fuels in a 1.4 Liter Passenger Car Engine, *SAE Paper*, 972970, 1-10.
15. Tong, H.Y., Hung, W.T. (2000) On-Road Motor Vehicle Emissions and Fuel Consumption in Urban Driving Conditions, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 50, 543-554.
16. Wu, D.Y., Matthews, R.D. (1996) Texas Project, Part 3-off Cycle Emissions of Light Duty Vehicles Operating on CNG, LPG, Federal Faz 1 Reformulated Gasoline and Low Certification Gasoline, *SAE Paper*, 1208, Warrandale, PA, U.S.A.
17. Yaman, H. (2004) *Benzinli Motorlarda Egzoz Emisyonlarına Etki Eden Faktörlerin Deneyisel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Zonguldak.