

Dizel Motorlarında Zararlı Egzoz Emisyonlarının Azaltılmasının Araştırılması

Zeynep AYTAÇ¹⁺, Cumali İLKİLİÇ^{2*}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*SorumluYazar: cilkilic@firat.edu.tr

+Sunucu: zeynep.ilkilic@omu.edu.tr

Sunum/Bildiri Tipi: Sözlü / Tam Metin

Özet- Dünyada enerji üretimi yapılan her yerde havayı kirleten maddeler atmosfere atılmaktadır. Özellikle yakma sistemlerinin baca ve egzozlarından çevreye yayılan bu kirleticiler insan sağlığını ve canlıların hayat şartlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan bu çalışmada zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak amacıyla ayçiçek yağının metil esteri hacimsel olarak %25 oranında dizel yakıtına karıştırılmıştır. Elde edilen karışım, tek silindirli, hava soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel motorun değişik devirlerinde denenmiş olup motorun egzoz gazı emisyonları ölçülmüştür. Bu değerler dizel yakıtı kullanımı ile ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları dizel yakıtına göre karışımda kirletici emisyon miktarlarında bir düşüş olduğunu göstermiştir. Maksimum moment devrinde dizel yakıtına göre CO miktarı %21, NOx miktarı %11, maksimum güç devrinde ise CO %7, NOx'in % 12 azaldığı görülmüştür. Araştırma sonucunda, bitkisel yağların esterleri alternatif yakıt olarak dizel araçlarından kullanılmasının çevre açısından olumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler- Bitkisel Yağlar, dizel motoru, Metil Ester, CO, NOx.

The Investigation of Decrease Harmful Exhaust Emissions on a Diesel Engines

Abstract-The matters that cause to air pollution is expanded to atmosphere in everywhere is produced energy in the world. These pollutions that expended to environment especially from chimney and exhaust pipe of combustion systems are affected human wealth and livings life conditions. In this study, to aim to decrease harmful exhaust emissions sunflower oil methyl ester was mixed volumetrically with diesel fuel in %25 proportion. The mixture was tested in four stroke, air cooled, direct injection diesel engine with single cylinder in different speed (rpm) and emission values were measured. These values were compared with the ones for diesel fuel. The results showed that the mixture of sunflower oil methyl ester and diesel fuel gave a power and torque close to the values obtained from the diesel fuel and the amounts of pollutants decreased. At the maximum torque, amount of CO and NOx decreased 21% and 11% respectively. Similarly, they decreased 7% and 12% at maximum power speed. As a result, considering the exhaust gas emissions it was seen that sunflower oil methyl ester and diesel fuel mixture could be used as an alternative fuel in a diesel engine.

Keywords- alternative fuels, vegetable oils, diesel engine, methyl ester, CO, NOx.

I. GİRİŞ

İnsanlığın refah ve hayat standardı gelişen teknoloji ile beraber yükselirken diğer taraftan da buna bağlı olarak bazı olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Gelişen teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkan bu olumsuzluklardan biri de hava kirliliğidir. Hava, dünyanın etrafındaki atmosferi meydana getiren gazların bir karışımı olarak tanımlanır. Saf hava, başta azot ve oksijen olmak üzere diğer bazı gazların karışımından meydana gelmektedir. Bu gazlar, argon, karbondioksit, su buharı, neon, helyum, metan, kripton, hidrojen, azot monoksit,

ksenon, ozon, amonyak ve azot dioksit gibi gazlardır. Bu gazların dağılımı ise hacimsel olarak % 78'i azot, %21'ni oksijen ve %1'ni de diğer gazlar meydana getirmektedir. Hava kirlenmesi, havadaki yabancı maddelerin insan sağlığına ve diğer bütün canlıların hayatı üzerinde zararlı olabilecek miktar ve sürede bulunmasıdır. Hava kirliliğinin temeli, enerji ihtiyacının karşılanması sürecine dayanmaktadır. Hava kirleticileri olarak başlıca beş çeşit madde mevcut olup, karbon monoksit (CO), azot oksitler (NOx), hidrokarbonlar (HC) ve kükürt oksitler (SOx) gaz halinde olup ve partikül madde ise katı haldedir. Yanma olaylarında meydana gelen hava kirliliği, yakılan yakıtın

türüne, miktarına, yakıt ve yakma sisteminin özelliklerine, sistemlerin işletme biçimlerine ve meteorolojik şartlara bağlıdır.

Çevre kirliliğinin canlıların hayat şartları ve özellikle insan sağlığı ve üzerindeki olumsuz etkileri sürekli olarak büyük bir problem haline gelmektedir. Hava kirliliğine bağlı olarak kirlenmiş bir ortamında yaşayan canlıların hayat şartları olumsuz bir şekilde etkilenir. Özellikle insanların zehirlenmesi ve çeşitli hastalıklara karşı direnme gücünü kaybetmeleri de kirlenmiş bir hava ortamı ile karşı karşıya kalmaları sonucunda oluşmaktadır. İnsanları ölüme bile götüren hava kirliliği, insanların sağlığı yönünden üzerinde durulması gereken en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Hava kirliliği ile savaşmak, her şeyden önce kirliliği doğuran sebeplerin ortadan kaldırılması veya bunların azaltılması ile mümkündür. Kullanılan yakıtlardan çıkan ve havaya karışan yanmış veya yanmamış gazları zararsız bir seviyeye indirmek için yanma sırasında ve yanmadan sonra bazı tedbirlerin alınması ile beraber zararlı yanma ürünü az olan yeni yakıtların da kullanılması gerekmektedir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, hava kirliliğini oluşturan değişik kaynaklar bulunmaktadır. Hava kirliliğinin temel kaynakları olan bu kaynaklar endüstri düzeyinin yoğunluğu ve trafikteki motorlu taşıtların varlığı ile değişmektedir. Endüstri kesimi, motorlu araçlar ve ısınma amaçlı kullanılan yakıtlardan meydana gelen hava kirletici emisyonları, atmosferde gaz, sıvı ve partikül madde olarak bilinen yüzlerce bileşiği içerirler. Bu bileşiklerin içinde en önemli hava kirleticileri, karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), partikül madde (PM), azot oksitleri (NOx), kükürt oksitleri (SO₂) ve hidrokarbonlar (HC) olarak bilinen uçucu organik bileşiklerdir. Yapılan araştırmalar hava kirliliğinin %50'ye yakınının motorlu taşıtlardan kaynaklandığını göstermektedir[1]. Ayrıca motorlu taşıtlardan kaynaklanan sağlığa zararlı kirleticilerin payı %12 olarak bilinmektedir. Motorlu araçların egzoz gazı emisyonlarından çıkan kirleticilerin en zararlı olanları karbon monoksit, hidrokarbonlar, azot oksitler, kükürt oksit, kurşun oksitleri (PbO) ve partikül maddelerdir. Özellikle trafiğin yoğun olduğu ve hava hareketinin yetersiz olduğu yerleşim yerlerinde taşıtların egzozlarından kaynaklanan kirlilik insan sağlığını tehlikeye koyacak boyutlara ulaşabilmektedir. Genellikle atmosferde bulunan SO₂ ve NOx asit zerreciklerinin oluşmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca oluşan nitrik ve sülfürik asitler diğer partikül maddenin üzerine yapışmakta ve bu partiküllerin solunması ile bu asitlerin doğrudan akciğerlere kadar gitmesine sebep olmaktadır. Akciğerlere kadar giden bu asitli tozlar ve gazlar akciğerdeki alveolleri etkileyerek kana karışırlar.

İnsanlar ve diğer canlıların sağlığının korunması amacıyla hava kalitesi için bazı sınır değerler tespit edilmiştir. Bu sınır değerleri, çevrede kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerinin değişen zararlı etkileri de göz önüne alınarak tespit edilmiş olan değerlerdir. 2 Kasım 1986 tarihli ve 19269 sayılı Resmi gazetede yayımlanan Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinin 6. maddesinde hava kirleticilerinin sınır değerleri belirtilmiştir. Buna göre hava kalitesinin sınır değerleri, “insan sağlığının korunması çevrede, kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerinin, bir arada bulduklarında, değişen zararlı etkileri de göz önüne alınarak tespit edilmiş konsantrasyon birimleriyle ifade edilen seviyelerdir” şeklinde tanımlanmaktadır. Genellikle hava kalitesi sınır değerleri, hava kirleticilerin düşük miktarlarının uzun sürede solunmasıyla ortaya çıkan kronik etkiler için verilen üst sınır değerleri gösteren uzun vadeli sınır değerleri olarak bilinmektedir. Kısa sürede hava kirleticilerin yüksek miktarlarının solunmasıyla ortaya çıkan kısa süreli akut etkiler için verilen sınır değerleri de kısa vadeli sınır değerler olarak bilinmektedir.

İnsan ve canlıların sağlığına zararlı olan hava kirletici miktarlarının bu sınır değerlerine düşürülmesi için çok yönlü çalışmalar yapılmaktadır. Avrupa Birliğine üye olan ülkeler 88/77/EEC, 91/242/EEC, 91/77/EEC, 91/441/EEC ve 91/542/EEC gibi bazı yasal düzenlemeler ile zararlı egzoz emisyon ürünlerine bir sınırlama getirmişlerdir. Bu ilk üç standarda göre CO(g/kwh) 11,2 ile 4,9, NOx(g/kwh) 14,0 ile 9,0 ve CH(g/kwh) 2,4 ile 2,3 arasında değişmektedir[2- 4]. Avrupa Birliği ülkeleri EURO 1, EURO 2, EURO 3, EURO 4, EURO 5 ve EURO 6 normlarını hazırlamışlardır. EURO 6 ile azot oksit emisyonlarını motorlu araçların özgül yakıt tüketimine göre NOx(g/kwh) 0,08, CO (g/kwh) 0,5, partikül emisyonunu PM (g/kwh) 0,005 ve hidrokarbon emisyonu için de HC(g/kwh) 0,17 olarak sınırlandırmışlardır[5,6]. Bu yasal düzenlemelerin sonunda içten yanmalı motorlarda doğal gaz kullanım çalışmaları ile çok düşük emisyon değerleri elde edilmiştir [7].

Azot oksitleri daha çok enerji santrallerinden ve motorlu araçların egzozlarından yayılmaktadır. Bir azot oksit olan nitrojen dioksitin (NO₂) solunması kalp, akciğer ve karaciğer rahatsızlıklarına ve solunum yolu hastalıklarına yol açmaktadır. Azot oksitler güneş ışınlarının etkisiyle ozon oluşumuna sebep olur ve ozon yoğunluğunun belirli değerlere ulaşması halinde görüşü engelleyen duman oluşmaktadır.

Dizel motorlarında kullanılan yakıtın cinsine de bağlı olarak egzoz gazı emisyonlarında büyük ölçüde zararlı maddeler oluşmaktadır. Egzoz gazlarındaki bu zararlı maddeleri azaltmak için motorun tasarımı ve üretimi sırasında, yanma

öncesi, yanma anı ve yanma sonrasında olmak üzere farklı aşamalarda değişik önlemler alınmaktadır. Bu önlemlerin dışında değişik yakıt kullanılarak da bu zararlı ürünlerin azaltılabilmektedir. Motorlu taşıtlar dünyada sınırlı rezervi bulunan petrol kaynaklarını hızla tüketmektedir. Bu aynı zamanda hava kirliliğini de artırmaktadır. İçten yanmalı motorlarda hem petrole dayalı yakıt tüketimini hem de egzoz gazlarındaki zararlı maddeleri azaltmak için motorlu taşıtlarda kullanılabilecek yeni sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi çalışmaları yapılmaktadır. Bunun için bu araştırmada dizel motorları için kirlenici ürünlerin motorun değişik devirlerinde ölçülerek bu kirlenicilerin durumu da araştırılmıştır.

Fosil kökenli yakıt kullanan enerji üretim tesisleri, motorlu taşıtlar, ısınma amaçlı kullanılan yakıtlar ve sanayi kuruluşlarından kaynaklanan hava kirliliğinin insan sağlığı üzerinde birçok etkileri bulunmaktadır. Hava kirlenicilerinin düşük konsantrasyonlarda olmasına rağmen kanserojen etkileri daha büyük olan bileşikler ihtiva etmektedirler. Hava kirlenicilerin sebep olduğu tehlikelerinin başında akciğer kanseri, bronşit, eklem romatizması, raşitizm ve çeşitli kalp hastalıkları gibi tehlikeli hastalıklar gelmektedir. Bunların yanı sıra hava kirliliği insanlarda göz yanmaları, görme bulanıklığı, nefes darlığı, iştahsızlık, kan zehirlenmesi gibi olumsuzluklara da sebep olmaktadır[8-13]. Havanın içinde bulunan zararlı emisyon tozlarının insan vücudunda birikmesi ile iştahsızlık başlar ve sonuçta vücudun direnci zayıf düşerek hastalıkların etkili olması hızlanır. Çeşitli tozların terle bileşerek deri dokusunun üzerindeki deri solunum gözeneklerinin kapanmasıyla deri solunumunun engellenmesi ile vücutta solunum güçlüğü başlar. Solunum güçlüğü sonunda insanlarda aşırı derecede yorgunluk ve ihtiyarlama belirtileri görülmektedir. Ayrıca emisyonların içinde bulunan zehirli maddelerin solunum yolu ile alınması sonucu bu maddelerin kana karışması ile kan zehirlenmesi meydana gelmektedir. Kirliliği meydana getiren artıkların çeşitli yollarla insan vücudunu etkilemesi ile insanlarda sinirsel ve ruhsal bozukluklar da meydana gelir.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Fosil kökenli yakıt kullanan enerji üretim tesisleri, motorlu taşıtlar, ısınma amaçlı kullanılan yakıtlar ve sanayi kuruluşlarından kaynaklanan hava kirliliğinin insan sağlığı üzerinde birçok etkileri bulunmaktadır. Hava kirlenicilerinin düşük konsantrasyonlarda olmasına rağmen kanserojen etkileri daha büyük olan bileşikler ihtiva etmektedirler. Hava kirlenicilerin sebep olduğu tehlikelerinin başında akciğer kanseri, bronşit, eklem romatizması, raşitizm ve çeşitli kalp hastalıkları gibi tehlikeli hastalıklar gelmektedir. Bunların yanı sıra hava kirliliği insanlarda göz yanmaları, görme bulanıklığı, nefes darlığı, iştahsızlık, kan zehirlenmesi gibi olumsuzluklara da sebep olmaktadır. Havanın içinde bulunan zararlı emisyon tozlarının insan vücudunda birikmesi ile iştahsızlık başlar ve sonuçta vücudun direnci zayıf düşerek hastalıkların etkili olması hızlanır. Çeşitli tozların terle bileşerek deri dokusunun üzerindeki deri solunum gözeneklerinin kapanmasıyla deri solunumunun engellenmesi ile vücutta solunum güçlüğü başlar. Solunum güçlüğü sonunda insanlarda aşırı derecede yorgunluk ve ihtiyarlama belirtileri görülmektedir. Ayrıca emisyonların içinde bulunan zehirli maddelerin solunum yolu ile alınması sonucu bu maddelerin kana karışması ile kan zehirlenmesi meydana gelmektedir. Kirliliği meydana getiren artıkların çeşitli yollarla insan vücudunu etkilemesi ile insanlarda sinirsel ve ruhsal bozukluklar da meydana gelir. Bu ve buna benzer emisyon ürünlerinin azaltılması için motorların tasarımı sırasında, enerji üretimi ve yanma sonrası bazı tedbirlerin alınması gerekir. Bu tedbirlerden biri de emisyonları az olan yakıtların kullanılmasıdır. Bu yakıtlar genellikle biyo yakıtlar olarak adlandırılmakta olan bitkilerin tohumlarından elde edilmektedir.

Rafine edilmemiş bitkisel yağdan üç defa daha küçük olan molekül ağırlıklı ester, bitkisel yağ için önemli bir değişimdir. Fosfolipidlerinden dolayı rafine edilmemiş bitkisel yağlardan esterleştirme mümkündür ve bu yolla serbest yağ asitleri uzaklaştırılır[14]. Yağ asitlerin zincir yapısındaki son karbonunun çıkarılıp yerine metil kökünün eklenmesi ile o yağın metil esteri elde edilebilir. Bazı bitkisel yağların yağ asidi oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bitkisel yağların % ağırlık olarak yağ asitleri bileşimi [14]

Karbon bağı	16:1	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
Mısır	11.67	1.85	0.24	0.00	0.00	25.16	0.00	60.60	0.48
Pamuk	28.33	0.89	0.00	0.00	0.00	13.27	0.00	57.51	0.00
Fıstık	11.38	2.39	1.32	2.52	1.23	48.28	0.00	31.95	0.93

Kolza	3.49	0.85	0.00	0.00	0.00	64.4	0.00	22.30	8.23
Soya	11.75	3.15	0.00	0.00	0.00	23.26	0.00	55.53	6.31
Ayçiçek	6.08	3.26	0.00	0.00	0.00	16.93	0.00	73.73	0.00

Bitkisel yağların yoğunluk ve viskozitesinin düşürülmesi için bazı kimyasal metotlar kullanılmaktadır. Bazı bitkisel yağların kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2'de görülmektedir. Yağların yoğunluk ve viskozitesini dizel yakıtına yaklaştırmak için kullanılan metotların başında transesterifikasyon denilen bir kimyasal işlem gelmektedir. Bu çalışmada serbest yağın içeriğindeki yağ asitlerinin çok hızlı metil

esterine dönüştürülmesi için %1 sülfürik (H_2SO_4) asit ihtiva eden metanol kullanılmıştır. Ham ayçiçek yağının örneği toluen içinde çözülerek %1 sülfürik asitli metanol ile karıştırılıp $50^\circ C$ 'lik yağ banyosundan 12 saat süreyle bekletilmiştir. Esterleştirmeden sonra hegzan ile yıkanmış, suyu alınmış ve korrozif etkisi giderilmiştir[15]. Bu işlemler sonucu laboratuarda ayçiçek yağı metil esteri (Biyoyakıt) elde edilmiştir.

Tablo 2. Ayçiçek yağı ile bazı bitkisel yağların fiziksel özellikleri

Özellikler	Ayçiçek yağı	Pamuk yağı	Soya yağı	Mısır yağı
Yoğunluk ($26^\circ C$ 'de) (kg/lit)	0.918	0.912	0.92	0.915
Viskozite (mm^2/s) ($26^\circ C$ 'de)	34	33	33	35
Parlama noktası ($^\circ C$)	235	220	243	276
Isıl değer (kJ/kg)	39500	39600	39600	39550
Asit değeri	0.15	0.11	0.20	1.16
Setan sayısı	37	36	38	48
Bulutlanma noktası	7.3	1.8	-4.3	-1.4

Elde edilen ayçiçek yağı metil esterinin fiziksel özellikleri dizel yakıtına benzemektedir. Bu benzerlikten hareketle dizel yakıtına hacimsel olarak %25 oranında biyoyakıt karıştırılmıştır. Dizel yakıtı (DY) ile biyoyakıt %25 ve %75DY karıştırılarak bir karışım (B25 yakıtı) elde edilmiştir

ve bu karışım uzun süre bekletilerek herhangi bir ayrışma gözlenmemiştir. B25 yakıtı kısa süreli deneylerde dizel motorunda test edilmiştir. Elde edilen biyoyakıt ve B25 yakıtının bazı özellikleri Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo3. Deneylerde kullanılan yakıtların bazı özellikleri

Özellikler	ASTM	Ayçiçek yağı	Biyoyakıt	B25 yakıtı	Dizel yakıtı
Yoğunluk ($26^\circ C$ 'de) ($g.cm^{-3}$)	D1298	0.918	0.89	0.84	0.86
Viskozite ($mm^2.s^{-1}$) ($26^\circ C$ 'de)	D445	34	4.5	3.2	3.75
Parlama noktası ($^\circ C$)	D93	235	85	59	66
Isıl değer (kJ. kg^{-1})	D2015	39500	40500	42902	42301
Setan sayısı	D613	37	74	56	61
Molekül ağırlığı	-	858	845	360	481
Hidrojen yüzdesi	-	11.88	11.95	15.10	14.31
Karbon yüzdesi (%)	-	76.93	76.69	83.26	81.61
Oksijen yüzdesi (%)	-	11.19	11.36	-	2.84

Bu çalışmada, dizel yakıtı ve B25 yakıtı, Lombardini marka 6LD400 model, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli, silindir çapı 86 mm, 69 mmstroklı, silindir hacmi $395 cm^3$, sıkıştırma oranı 18:1, hava soğutmalı, enjektör püskürtme basıncı 200 bar ve maksimum moment $2200 d/d$ 'da 20 Nm olan bir dizel motorunda test edilmiştir. Bu motor Cussons marka P8160 model dinamometreye bağlanarak yükleme yapılmıştır. Ölçümlere başlamadan önce motor yüksüz olarak çalıştırılıp normal çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Sonra gerekli ayar ve düzenlemeler yapılarak ölçümlere başlanmıştır. Deneylerde kullanılan motor $\frac{3}{4}$ sabit gaz konumunda çalıştırılmış, dinamometre yardımı ile motor yükü azaltılıp motorun devir sayısı

değiştirilmiştir. Deneyde veri alınan motor devir sayıları 3100 d/d, 2800 d/d, 2500 d/d, 2200 d/d, 1900 d/d, 1600 d/d ve 1300 d/d olarak tespit edilmiştir.

Deneyde egzoz gazı ölçümü için MRU model ve marka dijital göstergeli bir gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile egzoz gazı sıcaklığı ($^\circ C$), O_2 miktarı (%), CO_2 miktarı (%), CO miktarı (ppm ve mg/Nm^3), NO_x miktarı (ppm ve mg/Nm^3), NO_2 miktarı (ppm ve mg/Nm^3) ve yanma verimi (%) değerleri ölçülmektedir. Yanma sonucu ortaya çıkan başta CO_2 emisyonu olmak üzere SO_x ve NO_x gibi diğer zararlı emisyonlar insan sağlığını tehdit eden maddelerdir. Bitkisel yağların esterlerinin yanması sonucu oluşan bu

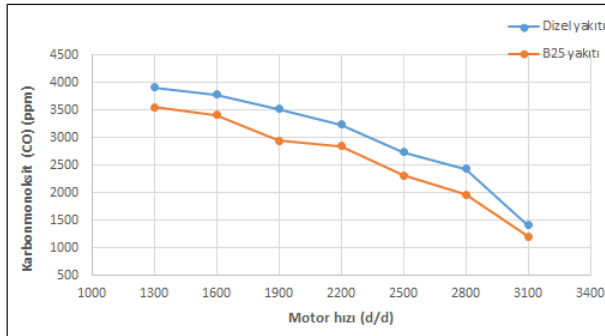
zararlı emisyonların azalması gibi çevreye olumlu etkileri vardır. Ayrıca, CO₂, SO_x emisyonları ve yanmamış HC'lerin azaldığı da yapılan çalışmalar sonucu kanıtlanmıştır.

A. Karbon Monoksit

Karbon monoksit (CO) atmosferde yaygın olarak bulunan bir hava kirleticisidir. Çeşitli sebeplerden dolayı atmosfere verilen karbon monoksitin toplam emisyon miktarı diğer kirleticilerden önemli ölçüde fazladır. Özellikle çok yoğun olan karbon monoksit konsantrasyonları hareket halindeki taşıtların içinde, garajlarda ve

trafik akışının fazla olduğu yerleşim yerlerinde tespit edilmektedir. CO renksiz, kokusuz, havadan daha hafif olan bir gaz olup suda çözünme gibi bir özelliğe sahiptir. İnsan sağlığına deri yolu ile değil de solunum yolu ile önemli bir etki yapmaktadır. Karbon monoksit (CO) yetersiz yanma ürünü olarak, petrol ve petrol kökenli yakıtlar ile karbon içeren maddelerin yanması ve bazı endüstriyel ve biyolojik işlemler sonucu atmosfere verilen bir kirleticidir. Motorlu araçlar, endüstriyel tesisler ve ısıtma sistemleri en önemli karbon monoksit kaynakları olarak bilinmektedir. CO'nin doğal oluşum kaynakları ise biyolojik proseslerdir. Ancak doğal kaynaklardan oluşan karbon monoksit ihmal edilebilir bir seviyede bulunmaktadır.

Motorlu araçlarda kaynaklanan CO emisyonları araçların yük ve hız değişimlerine göre daha az değişmekte ve hava/ yakıt oranı ile daha fazla değişiklik göstermektedir. Buna göre CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Değişik motor hızlarında CO emisyonunun oluşumu Şekil 1' görülmektedir. Her iki yakıtta da düşük devirlerde yüksek ve yüksek devirlerde düşük çıkmaktadır. Dizel yakıtına göre B25 yakıtında CO emisyonu daha az olmaktadır.



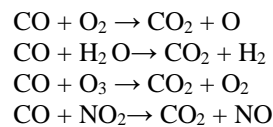
Şekil 1. Değişik motor devirlerinde dizel ve B25 yakıtının CO değişimi.

Karışım zenginleştikçe yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO₂'e

dönüştürecek oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Soğuk havalarda motorlu araçlardan yayılan CO emisyonları daha fazla artış göstermektedir. Bu artış otomobillerde soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıt ihtiyacı duymasından ve O₂ sensörleri ile katalitik konvertörler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır.

İnsan sağlığına en önemli etkisi, kan bileşimindeki hemoglobin ile birleşme şeklinde olmaktadır. CO gazı alyuvarlardaki hemoglobine bağlanarak oksijen taşımalarını engeller. Bunun sonucunda organlar yeterli oksijen alamazlar. CO kana karışarak vücudun organ ve dokularına O₂ dağıtımını azaltır. Özellikle beynin yeterli oksijen almaması sonucu düşünme, karar verme, net görme ve iştah gibi önemli bazı fonksiyonlarında zayıflama olur. Kanın bileşimindeki hemoglobin ile birleşme eğilimi oksijene göre 200 kat daha fazladır. Bu sebeple insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi öncelikle kanda olduğu gibi daha sonra diğer iç organlarda gözlenmektedir [16,17]. Karbon monoksitin kanın içindeki hemoglobinle birleşerek karboksihemoglobin adı verilen bir oluşum meydana getirir. Solunum yolu ile alınan karbon monoksit, kandaki hemoglobin demiri ile reaksiyona girerek kuvvetli bağlar oluşturur. Karbon monoksidin hemoglobine bağlanması kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır. Kanda oluşacak karboksihemoglobin miktarı, karbon monoksit konsantrasyonuna, etki süresine, kandaki mevcut karboksihemoglobin miktarına ve kişinin fiziksel hareketliliğine bağlı olarak değişim göstermektedir. CO etkisi ortadan kalktığı anda, kanda oluşan karboksihemoglobin oluşumu kendiliğinden durmaktadır. Sağlıklı bir insanda karboksihemoglobinin yarısı 3-4 saat içinde kandan temizlenir. Karbon monoksitin oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki oksijen yetersizliği nedeniyle kan damarlarının çeperleri, beyin kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana gelir [18-20].

Karbon monoksitin atmosferdeki kalış süresi diğer kirleticilere göre daha uzundur. Atmosferde karbon monoksitin karbon dioksit dönüşümü; ortamdaki serbest oksijen molekülüne, sıcaklığa ve katalizörlere bağlı olarak değişmektedir. Karbon monoksitin karbondioksit dönüşümündeki muhtemel reaksiyonlar aşağıda gösterilmektedir. Ancak bu reaksiyonların oluşumu için güneş enerjisi gerekmektedir.



Karbon monoksitin atmosferdeki doğal seviyesi 0.001- 0.20 ppm'dir. Yerleşim alanlarındaki CO konsantrasyonu hava şartlarına, trafiğin yoğunluğuna, zamana ve kaynaklarından uzaklığa göre değişim gösterir. İç ortamda ısıtma amacıyla kullanılan yakıtlar, fosil yakıt yakılan sobaların uygun olmayan koşullarda kullanılması karbon monoksit konsantrasyonunu önemli ölçüde arttırmaktadır. Yine yemek pişirme işlemleri de iç ortam kaynağı olarak önemlidir. Bu ortamlarda yapılan ölçümlerde CO konsantrasyonunun 10-50 ppm arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Tütün içimi de karbon monoksitin en önemli iç ortam kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Sigara dumanı yaklaşık %4 oranında CO ihtiva emektedir. CO ayrıca damarlarda kolesterol depolanmasına da yol açmaktadır [21-24].

B. Karbon Dioksit

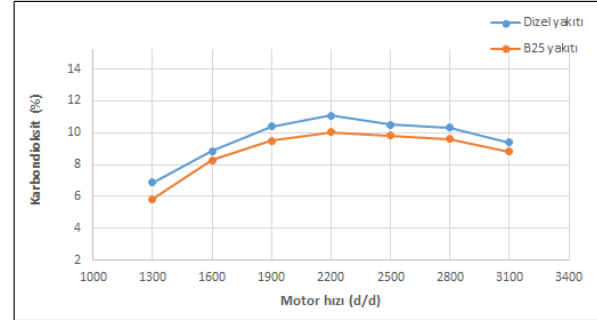
Karbondioksit (CO₂) atmosferde çok düşük konsantrasyonlarda bulunan bir gazdır. Bitkiler karbon dioksit alır ve bunu güneş ışığı yardımı ile fotosentezlerinde kullanarak canlılığını sürdürdükleri için çevrede önemli bir anahtar görevi yapmaktadır.

Güneş ışığı CO (gaz) + H₂O Karbonhidrat + O₂ (gaz)

CO₂ emisyonunun motor devir sayısı ile değişimi Şekil 2'de görülmektedir. Motorun düşük devirlerin de düşük ve yüksek devirlerden yüksek seyretmektedir. Dizel yakıtı ile B25 yakıtı kıyaslandığı zaman B25 yakıtı dizel yakıtına göre daha az CO₂ emisyonu üretmektedir.

Atmosferde bulunan CO₂ konsantrasyonu petrol kökenli yakıtların yanması sonucunda her yıl belli bir miktarda artmaktadır. Bunun üçte biri okyanus veya derin su kaynakları ve bitkiler tarafından alınarak atmosferden uzaklaştırılmaktadır. Geri kalanı ise atmosferdeki karbon dioksit konsantrasyonuna ilave olmaktadır. Atmosferdeki CO₂ miktarına eklenen kısmı ile atmosferin tedrici olarak ısınmasına sebep olarak sera (greenhouse) etkisini her geçen gün biraz daha arttırmaktadır. Atmosferde biriken karbon dioksit miktarı adeta bir cam fanus görevini yapmaktadır. Güneşten gelen kısa dalga boylu ışınlar bu seranın içine kolaylıkla geçmektedir. Ancak, içeride oluşan ısı enerjisinin dışarıya çıkması karbon dioksit tarafından engellendiğinden içteki ısı dışardan daha yüksek olmaktadır. Karbon dioksitin bu etkileşimi sonucunda; dünya ortalama ısısında meydana gelen yükselme doğadaki denge ve dönüşümler üzerinde de etkisini göstermektedir. Günümüzde olduğu gibi, atmosfere yayılmakta olan karbon dioksit miktarının hızla artması durumunda, önümüzdeki yüzyılın yarısında global ısınmanın 1.5°C - 5°C

arasında bir artış göstereceği tahmin edilmektedir [25].



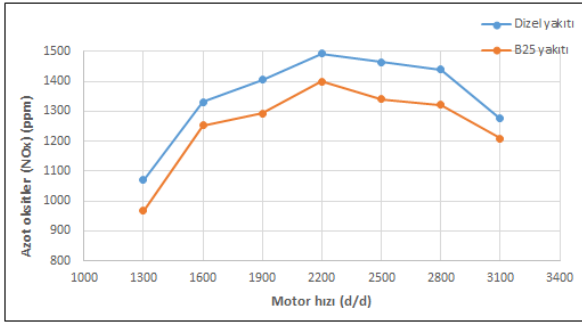
Şekil 2. Değişik motor devirlerinde dizelB25 yakıtının CO₂ değişimi.

Karbon dioksit gazı, güneşten gelen ışınların değişmeden yeryüzüne ulaşmasını sağlamaktadır. Ancak bu sırada yeryüzünden gelen uzun dalga radyasyonlarının bir kısmını absorbe eder. Uzun yıllar önce, karbon dioksitin yeryüzünde meydana getirdiği sera etkisi ve buna bağlı olarak gelişen iklim değişikliklerine neden olduğu tespit edilmiştir. Atmosferde daha önceden 280 ppm olarak tespit edilen karbon dioksit miktarı, araçlarda petrol kökenli yakıtların kullanımının artması ile günümüzde 350 ppm'e kadar yükselmiştir. Karbon dioksit gazı doğal veya yapay olarak tam yanma sonucunda oluşmaktadır. Ortama verilen karbon monoksit, hidroksit radikalleri ile oksitlenerek karbon dioksite dönüşür. Ancak bu oksitlenme uzun zaman aralığında gerçekleşen bir reaksiyonla olur. Normal atmosfer şartlarında %0.03-%0.06 arasında değişen konsantrasyonlarda, ayrıca kaynak sularında da çözülmüş halde bulunur. Atmosferdeki karbondioksit ile çözülmüş karbondioksit arasında çeşitli doğal dönüşümlerin olması söz konusudur.

C. Azot Oksitleri

İçten yanmalı motorlarda azot oksitlerin (NO_x) oluşumu silindir içindeki sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bu sıcaklığın 1800°K ve üzeri olduğu durumlarda havanın içindeki azot yanmaya girerek NO_x emisyonlarının oluşumunu sağlamaktadır. NO_x emisyonlarının motordaki devir sayıları ile değişimi Şekil 3'te görülmektedir. Dizel yakıtına göre B25 yakıtının NO_x emisyonları daha az olmaktadır. Atmosferde bulunan önemli azot oksit bileşikleri; azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂) ve diazot oksit (N₂O) olarak bilinmektedir. Fosil kökenli yakıtların yanması sonucunda yüksek sıcaklıklarda meydana gelen NO_x çok az miktarını azot dioksit, en fazla kısmını

da azot monoksit oluşturur. Atmosfere yayılması, motorlu taşıtların egzozları, kimyasal işlemler, ısınma amacı ve elektrik üretiminde kullanılan bazı fosil kökenli yakıtların yanması sonucu oluşan emisyon kaynaklarından gelmektedir. İç ortamdaki azot oksit kaynakları ise, tütün içimi, gaz yakıtları kullanan soba ve evde kullanılan cihazlardır. Yukarıda belirtilen aktiviteler sonucunda dış ortama verilen azot monoksit, atmosferde azot dioksitle oksitlenir. Bu oksidasyon, ozon gibi atmosferik oksitleyicilerin katalizörlüğü ile hızlanır. Gerek atmosferdeki konsantrasyonu, gerekse özelliği nedeni ile insan sağlığına en fazla olumsuz etki gösteren azot bileşiği azot dioksittir. Azot monoksit gazı renksiz, sıvı halde iken mavi renkli olan, havanın yapısında az miktarda bulunan bir bileşiktir. Azot dioksit gaz halinde iken kahve renkli, sıvı halde sarı renkli olup; havada, azot monoksitin oksidasyonu ile oluşur. Ultraviyole ışınlarını fazla miktarda absorbe etme özelliğine sahiptir [26, 28].



Şekil 3. Değişik motor devirlerinde dizel ve B25 yakıtının NOx değişimi.

Azot monoksitin oksitlenmesi, ortamdaki azot monoksitin ve oksijenin konsantrasyonuna bağlıdır. Havadaki azot monoksitin azot dioksitle dönüşümü güneş ışığı, hidrokarbon ve ozonun varlığına bağlı olarak artmaktadır. Yerleşim birimlerindeki azot dioksit konsantrasyonu, günün belli saatlerine, mevsimlere ve meteorolojik şartlara göre değişim göstermektedir. Atmosferde bulunan nem ile azot oksitleri veya kükürt dioksit reaksiyona girerek asit aerosollerinin veya asit yağmurunun oluşumuna sebep olmaktadır. Asit yağmuru oluşumunun çevre ve canlılar üzerindeki tahrip edici etkileri bulunmaktadır.

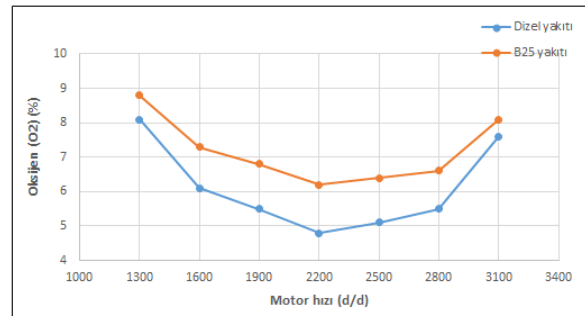
Azot, hayat için temel bir madde olmasına rağmen, bitkiler tarafından doğrudan doğruya kullanılamaz. Azotun, nitratlara veya amonyağa dönüşümünün tamamlanması amacıyla fazlası ile kullanılması olayına azot yerleşmesi denilmektedir. Atmosferik azotun oksitlerine dönüşümü yanma işlemleri ile meydana gelmektedir. En önemli azot yerleşmesi olayı biyolojik olarak gerçekleşendir. Örneğin, bezelye, fasulye ve yoncanın köklerinde bulunan bir bakteri aracılığı ile serbest azot, azot

bileşiklerine dönüşmektedir. Azot dioksit gaz halinde bulunduğu için solunum yolu ile canlılar üzerinde etkisi söz konusudur. Azot dioksitin büyük bir kısmı solunum yollarında birikerek, absorbe olur ve alt solunum yollarından zararlı olmaktadır [29,30].

Azot dioksitin sağlık üzerine etkileri sağlıklı kişilerle, normal ve bronşit ile astım hastalığına yakalanmış kişilerde akciğer fonksiyon değişimlerine sebep olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nin çeşitli eyaletlerinde yapılan bir çalışmada; yemek pişirme amacıyla gaz kullanılan evlerdeki 6-10 yaş grubu arasındaki çocukların bronşiyal hastalıklara yakalanma şanslarının fazla olduğu tespit edilmiştir. Azot dioksitin bulunduğu ortamlarda diğer kirleticilerin ve özellikle ozonun bulunması durumunda, bu kirleticiler arasında oluşan reaksiyonlar nedeniyle insan sağlığında olumsuz etkileşimlerin arttığı belirlenmiştir. Genellikle atmosferde bulunan SO₂ ve NO_x asit zerreciklerinin oluşmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca oluşan nitrik ve sülfürik asitler diğer partikül maddenin üzerine yapışmakta ve bu partiküllerin solunması ile bu asitlerin doğrudan akciğerlere kadar gitmesine sebep olmaktadır. Akciğerlere kadar giden bu asitli tozlar ve gazlar akciğerdeki alveolleri etkileyerek kana karışırlar.

D. Oksijen (O₂) Değişimi

İçten yanmalı motorlarda oluşan yanma süreci fiziksel ve kimyasal işlemlerden oluşmakta, fiziksel olaylar enerji ve kütle transferi ile ilgili ve kimyasal reaksiyonlar ise yakıt ve oksijen arasındaki moleküllerin etkileşimlerinden ibarettir. Yanma sırasında yanmayı etkileyen birçok parametre mevcuttur. Dizel motorlarda yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ve buharlaşması ile başlayan yanma işlemi yanmanın gerçekleşmesi ve ısı enerjisi sonucu işin işin elde edilmesi ile son bulmaktadır. Yanmaya yardımcı olan oksijen yanma sonunda ya tamamen biter veya kalanı dışarıya atılır. Egzoz emisyon ürünlerinden olan O₂, havanın ve yakıtın içinde bulunan oksijenden ibarettir.



Şekil 3. Değişik motor devirlerinde dizel ve B25 yakıtının O₂ değişimi

Dizel ve B25 yakıtlarının kullanılması ile yapılan deneylerde oksijen emisyonları değerlerinin motor devir sayısına göre değişimi Şekil 4'te grafik halinde verilmiştir. Bu şekil incelendiği vakit, oksijen miktarının önce düştüğü ve sonra tekrar yükseldiği görülmektedir. Başlangıçta düşük devirlerde içeri alınan hava miktarının fazla olması sebebiyle oksijen miktarı yüksek çıkmıştır. Ancak motor devrinin orta kısımlarında silindir içerisine alınan hava miktarının azalması egzozdan çıkan oksijen miktarını azaltmıştır. B25 yakıtının içeriğinde O_2 bulunduğu için dizel yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Minimumdan geçmesi genellikle motor momentinin maksimum olduğu enjeksiyon basıncına denk gelmektedir. Bu basınçta yanma yeterince iyi olduğu için alınan oksijenin çoğu yanma işlemine harcanmaktadır. Buna bağlı olarak oksijen tüketiminin artması sonucu O_2 konsantrasyonundan azalma görülmektedir. Her iki yakıt ile çalışma esnasında oksijen miktarının düşme eğilimi göstermesi, motor devrinin artmasıyla silindir içerisindeki türbülansın artmasına neden olacaktır. Türbülansın artması, yanma esnasında yakıt ile oksijenin daha fazla reaksiyona girmesine ve oksijen miktarının azalmasına neden olmuştur.

Daha yüksek motor hızlarında artan hava miktarı oranına uygun oksijen tüketilmediğinden belirli bir devirden sonra egzoz gazındaki O_2 tekrar yükselmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi en yüksek O_2 değerinin yükselmesinin motorun en düşük ve en yüksek enjeksiyon basıncında meydana geldiği görülmektedir. Oksijen emisyonu insan ve canlıların sağlığına bir zararı bulunmamakla beraber müsait ortamlarda ozona dönüşmesiyle ozon tabakasına zarar verebilir. Atmosferdeki oksijen canlı ve bitkilerin solunumu sırasında azalma ve yükselme göstermektedir.

III. Sonuçlar ve Öneriler

Motorlu taşıtların egzozlarından kaynaklanan hava kirliliği, son yıllarda en önemli problemlerden birisi haline geldiği için bu problemi en aza düşürmek için çalışmalar devam etmektedir. Gelişmiş ülkelerde bu probleme karşı bir takım tedbirler alınarak egzoz emisyonu standartları hazırlanmış ve yeni kontrol teknolojileri geliştirilmiştir. Bu konuda çift yakıtlı ve alternatif yakıtlı sistemler gibi değişik uygulamalara gidilmektedir.

Yanma olaylarının büyük bir kısmında yanma, yakıtın hava ile yanması şeklinde meydana gelmektedir. Dizel motorlarında yanma sonucunda başlıca CO, HC, CO_2 , SO_2 , PM, NOx emisyonları oluşmaktadır. Bu emisyonlar insan sağlığı ve çevre açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu

yüzden Avrupa Euro egzoz emisyon standartları gibi yasal düzenlemeler emisyon seviyesinin belirli sınırlar dahilinde olmasını istemektedir. Yasal düzenlemelerin uygulanabilmesi, yanmanın iyileştirilmesi ve yardımcı ekipmanlarla egzoz emisyon seviyesinin kontrol altına alınması ile mümkündür. Havayı ihtiva eden bileşenlerin içinden oksijenden başka diğer bileşenleri yanma olayında pasif kalarak reaksiyona girmezler. Azot yanma işlemine girmeyerek pasif kalır fakat dizel motorlarındaki yanma prosesi sonucu oluşan yüksek sıcaklık ile verim artarken, NOx emisyon seviyesi de artmaktadır.

Yanma odasının $1800^\circ K$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda azot oksitlerin oluşum hızı daha yükselmektedir. Egzoz gazı çıkış sıcaklığının daha yüksek motor devirlerinde NOx emisyonunun da yüksek olduğu ve sıcaklığın düşük olduğu devirlerde söz konusu emisyonun da düşük olduğu görülmektedir. Enjeksiyon basıncının artması ile yakıtın enjektörden çıkış hızı da artarak yakıt tanecik çapının küçülmesine ve taneciklerin dağılım aralığının da azalmasına sebep olmaktadır. Küçük çaplı taneciklerin ataleti büyük çaplı taneciklere göre daha düşük olduğundan nüfuz derinliği daha kısa olur. Bunun sonucunda tutuşma gecikmesi kısılır ve tanecikler yanma odasının her tarafına tamamen dağılmadan yanma başlayacağı için NOx oluşumu azalacaktır. Bunun için düşük enjeksiyon basınçları da NOx miktarını artırmaktadır.

Yakıt hava oranı kontrol altında tutulduğu oranda CO emisyonu azaltılabilir ve CO_2 oranı da buna bağlı olarak yükselir. Oksijenin parçalanarak CO_2 oluşturması için CO ile reaksiyona girmesi yanma odasının sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bunun için artan devir sayısı ile birlikte CO emisyonunda bir azalma ve CO_2 emisyonunda ise bir artış meydana gelmektedir. Yakıt hava oranının azalması ile faydalı işe dönüşebilen kimyasal enerji azalarak alev hızı ve sıcaklığının düşmesine sebep olmaktadır. Fakir karışımlarda alev çekirdeğinin ilerlememesi ve zengin karışımlarda yanma veriminin azalmasından dolayı alev hızı düşer. Alev hızını düşüren başka bir neden de artık silindir gazlarının seyreltici etki yapmasıdır. Yakıt püskürtme basıncının artması ile atomizasyon ve nüfuz derinliği üzerinde önemli bir etki olmaktadır. Bu durum hızlı yanma, motor verimi ve emisyonu üzerinde etkili olmaktadır.

Dünyada Bitkisel yağların biyoyakıt üretimi ve tüketimi 1980'li yılların petrol krizleri ile birlikte özellikle Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde küçük çapta da olsa biyoyakıt üretimine başlanmıştır. Başlangıçta bu yakıtlar belli bir norma göre üretilmemiş olması ve üretimin şimdiki tekniklere göre ilkel sayılabilecek şekilde yapılması sonucunda pek kaliteli olmayan yakıtlar elde edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı bu bitkisel yağların yakıtları, kullanan bazı kamyon vb. trafik araçları bozulmuş ve yolda kalmıştır. Bu da bu

yakıtların o yıllarda kötü isim yapmasına neden olmuştur.

Biyoyakıtın bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bu yakıt her şeyden önce alternatif bir enerji kaynağıdır. Motorun verimi petrol kökenli dizeldeki gibidir. Çevre dostudur ve çevreye zarar vermez, çünkü toksit etkisi yoktur ve biyolojik olarak doğada bozunabilir. Petrol kökenli dizele göre daha yüksek tutuşma derecesine (>110 °C) sahip olduğu için taşıma ve depolama sırasında kolaylık sağlar. Çok az kükürt içerdiği için zararlı gaz emisyonları bakımından fakirdir. Ayrıca kurum miktarında %50 ye varan azalmaları sağlar. Bundan başka kansere sebebiyet veren bileşimler bakımından da fakirdir. Enerjide dışa bağımlılığı azaltabilir. Taşıtların motorlarının kullanım ömrünü uzatır. Çünkü yağlanma derecesi yüksektir ve iyot sayısı oldukça düşüktür. Bitkisel yağlardan elde edilen biyoyakıtlar, kükürt içermemesinden dolayı, işletmelerinde oksidasyon katalizörü kullanılabilir. Böylece zararlı emisyon değerleri daha da düşük seviyelere indirilebilir. Tarım alanındaki iş imkanlarının korunmasını ve artırılmasını sağlayabilir. Yan ürün olarak ticari amaçlı gliserin ve potasyum gübresi elde edilir.

IV. Kaynaklar

- [1] N. Parish, C. Davies, J. Fitzpatrick vd., Air quality-Fourth Report of Session 2015–16, House of Commons, 27 April 2016, London
- [2] S.M. Sapuan, H.H. Masjuki, and A. Azlan, The Use of Palm Oil as Diesel Fuel Substitute, Institution Mechanical Engineers, 210, 47-53, 1996.
- [3] H. C. Watson, and H. Lu. 25 years of emissions control its costand benefits, Institution Mechanical Engineers, second seminar, MEP, 9-18, 1993.
- [4] A. Jankowski, J. Seczyk, M. Reksa, andL. Sitnik. Rape Seed Oil Methyl Ester Fuel as Alternative Diesel Fuel for High Speed Diesel Engines for Urban Buses, ASME, ICE– Vol. 24, 105-109, 1994.
- [5] H. Henssler ,and S. Gospage. Standarts of the European Community, SAE Special Publications, 69-83, 1987.
- [6] S. Whelan, andJ. Needham. Meeting the challenge of low emissions and fuel economy withthe Ricardo 4-valve HSDI, Institution Mechanical Engineers, automobile emission and combustion MEP, 161-171, 1993.
- [7] J. M. Dunne, and P. Greening. European emission standards to the year 2000, Institution Mechanical Engineers, second seminar, MEP, 1 - 8, 1993.
- [8] F. Papsset. Low emission natural gas engines for commercial vehicles, IMechE, automobile emission and combustion MEP, 195-201, 1993.
- [9] H. Kumar, A. Kumar Sarma, P. Kumar. An ovel approach to study the effect of cetane improver on performance, combustion and emission characteristics of a CI engine fuelled with E20 (diesel–bioethanol) blend, Sustainable Chemistry and Pharmacy,14, 2019,100185
- [10] C.R. Seebold, The Interaction Between Unburnt Hydrocarbons and Soot in Diesel Exhaust, PhD Thesis, Polytechnic Saut West, 1989.
- [11] A. Asmus, and B. Wellington, Diesel Engine and Fuel Systems, Third Edition, Printed in Malaysia, 1993.
- [12] S. Saravanan, R. Kaliyanasunder, B. Rajesh Kumar, G. Lakshmi Narayana Rao, Effect of design parameters on performance and emissions of a CI engine operated with diesel-biodiesel- higher alcohol blends, Renewable Energy, 11, 2019.
- [13] S. Vellaiyan, Enhancement in combustion, performance, and emission characteristics of a biodiesel-fueled diesel engine by using water emulsion and nanoadditive, Renewable Energy, 145, 2020, 2108-2120
- [14] W.W. Christie, Gas Chromatography and Lipids, The Oily Press, Scotland, 1989
- [15] O. Borat, M. Balcıve A. Sürmen, İçtenYanmalı Motorlar Cilt-1, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Matbaa Eğitimi Bölümü, Ankara, 1994
- [16] J.B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, Mc Graw-Hill Book Comp., New York, 1988.
- [17] M.J. Nye, T. W. Williamson, S. Deshpande, J.H. Schrader, W.H. Snively, T.P. Yurkewich, and C.L. French, Conversion of Used Frying Oil to Diesel Fuel by Transesterification; Preliminary Tests, Journal of the American Oil Chemists' Society, 60, 8, 1598-1601, 1983
- [18] G. Police, M.V. Prati, M. Auriemma, and S. Alfuso, Regulated Emissions of DI Diesel Engines Fuelled with Methyl Ester of Rape Seed Oil, Institution Mechanical Engineers, 139-144, 1993.
- [19] R.C. Strayer, J.A. Blake, and W.K. Craig, Canola and High Erucic Rapeseed Oil as Substitutes for Diesel Fuel: Preliminary Tests, Journal of American Oil Chemists' Society, 60, 8, 1587-1597, 1983.
- [20] R.A. Korus, J. Jo, and C.L. Peterson, A Rapid Engine Test to Measure Injector Fouling in Diesel Engine Using Vegetable Oil Fuels, Journal of the American Oil Chemists' Society.,62, 11, 1563-1564, 1985.
- [21] W.E. Klopfenstein, and H.S. Walker, Efficiencies of Various Esters of Fatty Acids as Diesel Fuels, Journal of the American Oil Chemists' Society, 60, 8, 1596-1599, 1983.
- [22] W.E. Klopfenstein, and H.S. Walker, Efficiencies of Various Esters of Fatty Acids as Diesel Fuels, Journal of the American Oil Chemists' Society, 60, 8, 1596-1599, 1983.
- [23] S.J. Clark, L. Wagner, M.D. Schrock, and P.G. Piennaar, Methyl and Ethyl Soyabean Esters as Renewable Fuels for Diesel Engines, Journal of the American Oil Chemists' Society.,61, 10, 1632-1638, 1984..
- [24] E.H. Pryde, Vegetable Oils asFuel Alternatives – Symposium Overview, Journal of the American Oil Chemists' Society, 61, 10, 1609-1610, 1983.
- [25] E.H. Pryde, Vegetable Oils as Diesel Fuels, Journal of the American Oil Chemists' Society, 60, 8, 1557-1558, 1983.
- [26] MD.Z. Haq, Study of the Property of Vegetable Oil as an Alternative to Diesel Fuel, Msc. Thesis, Dhaka, 1995.
- [27] A. Jankowski, J.Seczyk, M. Reksa, and L.Sitnik, Rape Seed Oil Methyl Ester Fuel as Alternative Diesel Fuel for High Speed Diesel Engines for Urban Buses, American Society of Mechanical Engineers, 24, 105-109, 1994.
- [28] Y. Jung, Y. J. Shin, Y. D. Pyo, C. P. Cho, J. Jang, G. Kim., NOx and N₂O emissions over a Urea-SCR system containing both V2O5- WO3/TiO2 and Cu-zeolite catalysts in a diesel engine, Chemical Engineering Journal, 326, 853–862, 2017.
- [29] L. Yang, V. Franco, A. Campestrini, J. German, P. Mock, " NOx control technologies for Euro 6 Diesel passenger cars-Market penetration and experimental performance assessment", ICCT White paper, September 2015.
- [30] K. Baranski, B. Underwood, Mitigate Air Pollution with Catalytic Technology, American Institute of Chemical Engineering, 2014.