



INVESTIGATIONS ON THE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE USING SUNFLOWER METHYL ESTER OIL AS FUEL

Hanbey HAZAR

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

hhazar@firat.edu.tr

Geliş tarihi: 18.11.2007 Kabul tarihi: 21.02.2008

ABSTRACT

In this experimental study, the effects of the usage of sunflower oils, as alternative fuels, performance and exhaust emissions in a single and naturally aspirated diesel engine were investigated. The biodiesel was produced by a transesterification technique. Methyl esters obtained from sunflower oils were tested as diesel fuels, blended with 25 %, 50 %, 75 % of a No. 2D diesel fuel which was also used pure. In order to determine emission and performance characteristics, the engine was tested with full load-varied speed. Engine performance and emission characteristics of different fuels in a diesel engine were investigated and compared with the base diesel fuel. Observations showed that smoke density and CO emissions decreased with increasing oxygenate content in the fuels but NO_x emissions slight increased. Biodiesels presented a slight increase in specific fuel consumption, but engine power decreased. The temperature of the exhaust gases is similar to No.2D fuel.

Key Words: Biodiesel, Sunflower oil, Diesel engine, Exhaust emissions.

YAKIT OLARAK AYÇİÇEK METİL ESTER KULLANILAN BİR DİZEL MOTORUNDA PERFORMANS VE EMİSYONUN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu deneysel çalışmada, tek silindirli, doğal emişli bir dizel motorda alternatif yakıt olarak ayçiçek metil esterinin performans ve emisyonlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Biyodizel üretim yöntemi olarak transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Ayçiçek yağından elde edilen metil ester, No. 2D dizel yakıtı ile % 25, % 50, % 75 oranında karıştırılarak ve saf olarak test edilmiştir. Motorun performans ve emisyon karakteristiklerini belirlemek için testler, tam yük değişken devir şartları altında yapılmıştır. Dizel motoru üzerinde kullanılan yakıtların performans ve emisyon karakteristikleri dizel yakıtı esas alınarak karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Deney sonuçları biyodizel yakıtının içerisindeki oksijen varlığı ile is ve CO emisyonlarının azaldığı, ancak NO_x' in biraz arttığını göstermektedir. Biyodizelin özgül yakıt tüketiminde bir miktar artış, motor gücünde ise azalma olmuştur. Egzoz gaz sıcaklığının No.2D dizel yakıtı ile benzer eğilim gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Ayçiçek yağı, Dizel motor, Egzoz emisyonu

1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacı büyük bir hızla artmaktadır. Fosil kökenli yakıtların azalması, bu yakıtların meydana getirdiği emisyon kirlilikleri ve artan fiyatlar biyokütle enerji kaynaklarını daha cazip kılmaktadır. Uzmanlara göre mevcut petrol rezervlerinin sadece 30-50 yıl olduğu varsayılmaktadır. Enerji ihtiyacının artması ve petrol rezervlerinin azalması [1] bu alanda yapılan çalışmaların biyo-kökenli yakıtlara yönelmesine neden olmuştur [2].

İçten yanmalı motorlar, icadından sonra çok hızlı bir gelişme göstererek endüstride çok önemli bir yere sahip olmuşlardır. Bu motorlarda yakıt olarak petrol ürünleri kullanılmaktadır. Çok yakın bir gelecekte petrolün tükeneneceğinin ortaya çıkması bu yakıtların yerini alabilecek alternatif yakıt arama çalışmaları hızlandırmıştır. Önceden beri var olan alternatif yakıt kullanma çalışmaları hız kazanmış ve kriz dönemleri sonrasında önemli ölçüde yavaşlama göstermiştir. İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak gaz veya sıvı yakıtlar kullanılabilir. Gaz yakıt olarak LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) ve doğal gaz, sıvı yakıt olarak etanol, metanol ve çeşitli bitkisel yağların (BY) motorlarda kullanımı ile ilgili bir çok araştırma yapılmaktadır. Buji ateşlemeli motorlarda LPG ve doğal gaz kullanımı yaygınlaşmakta, etanol ve metanolun ise yalnız başına yada benzin ile çeşitli oranlarda karıştırılarak kullanımı ile ilgili çalışmalarda yürütülmektedir. Dizel motorlarında ise gaz yakıt olarak doğal gaz pilot yakıt ile birlikte kullanılırken, BY'lar ve bunlardan elde edilen etil ve metil esterler ise yalnız başına yada çeşitli oranlarda dizel yakıt ile karıştırılarak test edilmektedir [3].

Türkiye'de petrol üretimi, tüketime göre oldukça azdır. Ülkemizde tüketilen enerji kaynaklarına bakıldığında en fazla miktar petrolde görülmektedir. Mevcut petrol havzalarımızdan üretilecek petrol miktarı sınırlı olduğundan ancak yeni petrol havzaların bulunması gerekir. Bunlara ilave olarak petrolün belirli bir rezerve dayalı sonlu kaynak olması, mevcut motor teknolojisinde fazla bir değişiklik yapmadan petrole alternatif olacak yeni yakıtların ve petrol rezervlerinden motorlar için kullanılabilir yeni yakıt karışımlarının araştırılarak kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.[4]

Biyodizel, bitkisel yağlardan katalizör yardımıyla elde edilen ve dizel araçlarda çok az veya hiçbir değişiklik yapılmadan direkt olarak kullanılabilen bir yakıttır. Biyodizel çok çeşitli yağlı tohum bitkilerinden üretilir. Bu bitkiler başta ayçiçek, kanola, kenevir, pamuk, aspir ve hindistancevizi gibi yağ içeren bitkiler olarak sıralanabilir. Ayrıca, yemeklik atık yağlardan da (waste oil) biyodizel üretimi yapılabilir. Günümüzde biyodizel ile ilgili bir çok çalışma yapılmaktadır.

Lapuerta ve diğ. [5], Turboşarjlı Intercool IDI dizel Renault bir motorda; ayçiçek ve cynara yağını, hem saf olarak hem de metil esteri % 25 oranında ticari dizel yakıtı ile karıştırarak yaptığı bir çalışmada partikül emisyonunda özellikle is ve sülfat oluşumunda önemli miktarda azalma, ester molekülleri üzerindeki oksijen varlığından dolayı, NO_x oluşumunda bir miktar artışın olduğunu tespit etmişlerdir.

Bo ve diğ. [6], 4 zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda etanolün yakıt tüketimi üzerindeki etkisini incelemiş ve özgül yakıt tüketiminde (BSFC) % 10'a kadar bir iyileşme sağlandığını bildirmiştir.

Duran ve diğ. [7], Nissan DI turboşarj motorda, transesterifikasyon yöntemiyle atık (kızartma) yağlarından elde edilen metil esterler ve normal dizel yakıtını farklı karışım oranlarında kullandıklarında metil ester yakıtta sülfür konsantrasyonunun önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir.

Pang ve diğ. [8], Commins-4B marka bir dizel motorunda biyodizel-ethanol (BE-dizel) ve ticari dizel yakıtını (No.2D) belirli oranlarda karıştırarak, çeşitli yük ve devir şartlarında denediklerinde, CO, PM emisyonunun önemli bir ölçüde azaldığını ve NO_x emisyonunun çok az bir artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Kalligeros ve diğ. [9], tek silindirli bir dizel motorunda, ayçiçek ve zeytin yağını biyodizel olarak kullanmışlardır. Deneyler sonucunda dizel yakıtına göre performans değerlerinin birbirlerine yakın olduğu, biyodizel yakıtların partikül (PM), yanmamış hidrokarbon (HC), karbon monoksit (CO) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Tashtoush ve diğ.[10], direkt enjeksiyonlu, tabii emişli, tek silindirli bir dizel motorunda farklı enjektör basınçlarında bitkisel ve kızartma yağı normal dizel yakıtı ile birlikte farklı yük ve devirlerde test etmişlerdir. Deneyler sonucunda performans açısından biyodizel yakıtlar ile normal dizel yakıtı arasında önemli bir farklılığın olmadığı sonucuna varmışlardır

Lin ve diğ. [11], transesterifikasyon yöntemiyle soya yağı metil esteri üretmiş ve ASTM No.2D dizel yakıt ile karşılaştırmışlardır. Soya yağı metil esterini bir dizel motorunda 10 kgf sabit motor torkunda ve değişken devir

aralıklarında test ettiklerinde; yakıt tüketim oranı, efektif güç ve egzoz gaz sıcaklığında artış, özgül yakıt tüketimi, CO₂, CO, NO_x'de motor devrinin artmasıyla azalma tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, ham ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemi ile ayçiçek metil esteri (AME) üretilmiş ve tek silindirli bir dizel motorunda; % 100 AME ve No. 2D (DY) yakıtı ile % 25 AME + %75 DY, %50 AME + %50 DY, % 75 AME +%25 DY oranında karıştırılarak referans yakıt olan % 100 DY ile karşılaştırılmıştır. Bu yakıtların tam yük ve değişken devirlerde performans ve emisyon analizleri yapılmıştır.

1. 2 Biyodizel Yakıtın Kimyası ve Transesterifikasyon Yöntemi

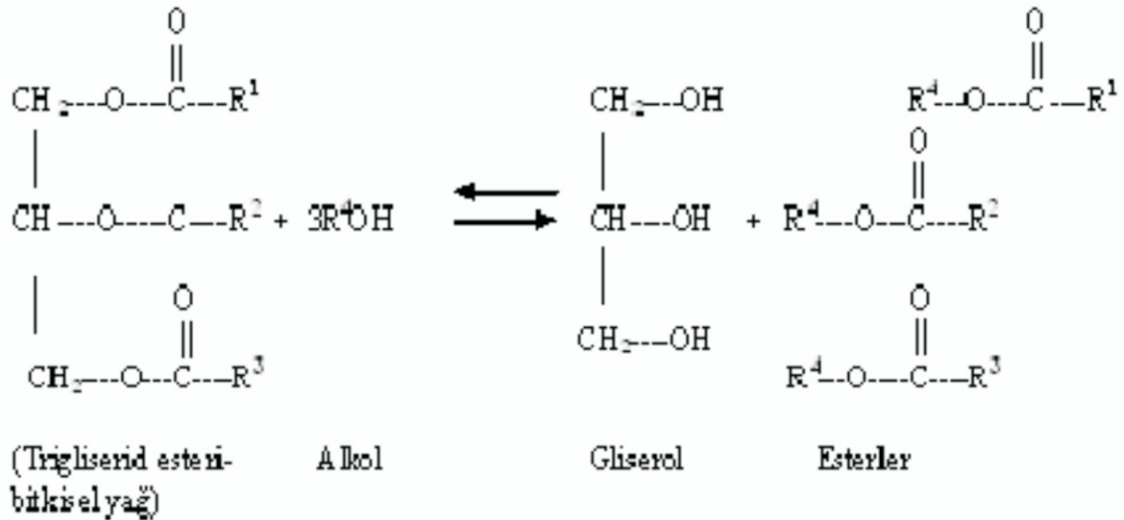
Dizel motorlarında yakıt, motor hacmine ve tipine göre enjektörden silindire 200-1700 atm'lik bir basınçla püskürtülür. Enjektör, yüksek basınçlı yakıtı hem yanma için en uygun zamanda hem de yanma için en uygun atomizasyon ve konfigürasyon spreyi şeklinde yanma odasına püskürtmelidir. Düşük jet hızlarında, Rayleigh Rejimi, jet çapından daha büyük parçacık ve yüzey gerilmesinden dolayı yüzeyin dengeli olmayan büyümesi meydana gelir ve atomizasyon bozulur [12].

Yüksek viskoziteli olan bitkisel yağların dizel motorlarında herhangi bir işlem yapılmadan direkt kullanımı hem performans hem de parçalar üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Yanma odasında daha iyi yanma verimi elde edilmesi, sistemde kullanılacak yakıtın atomizasyonunun iyi olmasına bağlıdır. Bu amaçla; bitkisel yağların direkt kullanımında en büyük problem, birikintilerin oluşması ve segmanların yapışmasıdır [13].

Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması için kullanılacak yakıtın özelliklerine göre enjektör basıncının ayarlanması ve motorlarda kullanılacak bitkisel yağların bazı işlemler yapılarak motorun çalışma şartlarına uygun hale getirilmesi gerekir.

Bitkisel yağların motorlarda kullanılabilir duruma getirilmesi için birkaç yöntem vardır. Bu yöntemlerin başında transesterifikasyon yöntemi gelmektedir. Transesterifikasyon bitkisel yağın monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik, katalizörler ile enzimler) eşliğinde gliserinin verilmesi işlemidir. Yani alkol ester ve gliserol oluşumu için trigliserid ile birleşmesidir [14].

Şekil 1' de transesterifikasyon işleminin kimyasal reaksiyonu, Tablo 1'de ayçiçek yağı ve metil esterin yakıt olarak avantaj ve dezavantajları verilmiştir.



Şekil 1. Transesterifikasyon işleminin kimyasal reaksiyonu [15].

R^1, R^2, R^3, R^4 değişik alkali grubunu göstermektedir. Transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminde;

Reaksiyon sıcaklığı

Alkol ve yağın molar oranı

Katalizör

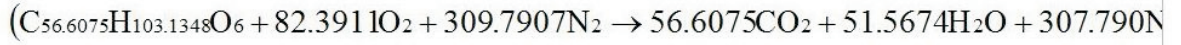
Reaksiyon zamanı

Serbest yağ asit ve nemin miktarı elde edilecek ürünü büyük oranda etkilemektedir.

Tablo 1. Ayçiçek Yağı ve Metil Esterin Yakıt Olarak Avantajı ve Dezavantajları.

Ayçiçek yağı		Ayçiçek metil esteri	
Avantajları	Dezavantajları	Avantajları	Dezavantajları
Düşük motor vuruntusu. Kolay ilk hareket.	Düşük yükte enjektör kirlenmesi. Yağ polimerizasyonu. Motor artıklarının fazla olması.	Distilasyon ve viskozite eğrileri dizel yakıtına yakındır. Duman az, iyi termik verim. Düşük enjektör kirlenmesi. Kolay ilk hareket.	Yağ polimerizasyonu. Bildirilen enjektör yapışma problemleri.

Ayçiçek yağının tam yanma eşitliği:



Yanmanın hava/yakıt kütle oranı:

$$\frac{A}{F} = \frac{389.2 * 28.967}{56.6075 * 12.011 + 103.1348 * 1.008 + 6 * 15.99} = \frac{11273.96}{878.33}$$

$$\frac{A}{F} = \frac{12.95}{1} = \frac{\text{kg}_{\text{hava}}}{\text{kg}_{\text{yakıt}}}$$

2. MATERYAL ve METOD

Testler; dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli, doğal emişli, hava soğutmalı 6LD 400 Lombardini marka bir dizel motorunda yapılmıştır. Tablo 2' de deney motorunun teknik özellikleri görülmektedir.

Test ünitesi; fren dinamometresi, yakıt tüketim ölçüm düzeneği, sıcaklık ve basınç ölçüm düzenekleri, kumanda paneli gibi ana düzenekleri kapsamaktadır. Şekil 2' de motor test ünitesi görülmektedir.

1. Elektrikli fren dinamometresi: Elektrikli fren dinamometresi (Cussons P8160 model), motorun çeşitli yük kademelerinde yüklenmesini sağlayarak devir ve yük parametrelerine bağlı olarak performans özelliklerini tespit etmekte kullanılır.

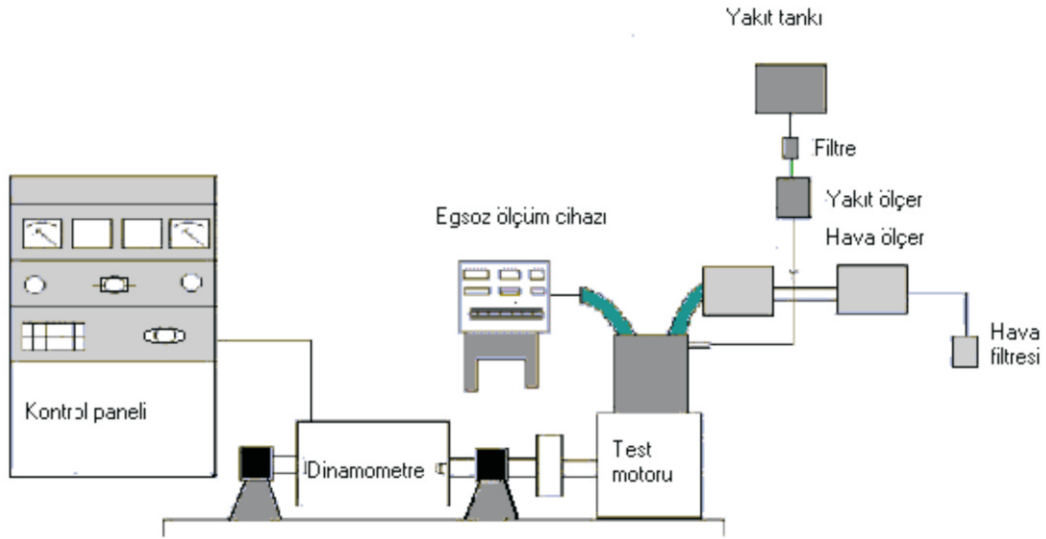
2. Yakıt miktarının ölçülmesi: Elektrikli fren dinamometresinde kullanılan yakıt ölççeği; hacimsel tipte, mekanik kontrollü, 10 ml ve 20 ml' lik iki boğumlu camdan yapılmış silindirik bir parçadır. Yakıt ölççeğinin başlangıç ve bitiş noktalarının tespiti için piyasada mevcut olan zaman kronometresi kullanılmıştır.

3. Isıl çift: Deneysel çalışmada, motor test ünitesi kontrol paneli üzerinde kontrol edilebilen ve motor üzerinde egzoz gaz sıcaklığı, motor yağ sıcaklığı, yakıt sıcaklığı, hava giriş sıcaklığı alınabilecek noktalara bağlanmış K tipi (+CrNi ve -CrA) ısı çifti kullanılmıştır.

4. Egzoz emisyon cihazı: Egzoz emisyonlarının ölçümü için madur GA-21 Plus gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Cihaz üzerinde bulunan bir yazıcı yardımıyla çıktı alınmak suretiyle emisyon değerleri tespit edilmiştir. Egzoz emisyonlarındaki is' i ölçmek için Protech opax 2000 II cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyon bilgileri motordan 1 metre mesafeden alınmıştır.

Tablo 2. Deney Motorunun Teknik Özellikleri.

Motorun Markası ve Tipi	6LD 400 Lombardini
Strok sayısı	4
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	86 mm
Strok	68 mm
Motor gücü	6.25/8.5 (kW/hp)
Yakıtı	Dizel motorini
Püskürtme şekli	Direkt enjeksiyonlu
Soğutma şekli	Hava soğutmalı
Sıkıştırma Oranı	18:1
Devir	3600 min ⁻¹



Şekil 2. Motor test düzeneği.

Deneylere başlamadan önce motorun kararlı çalışma sıcaklığına ulaşması için elektrikli dinamometreye bağlı olan motor, yüksüz 20 dakika çalıştırılmıştır. Testlerde motor devri 3300 min⁻¹ çıkartılmış ve motora yük verilerek sırasıyla 3000, 2700, 2400, 2100 ve 1800 min⁻¹ düşürülerek ölçümler alınmıştır. Bu esnada özgül yakıt tüketimi (be), motor gücü (Pe), azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO), is ve motor egzoz sıcaklığı tespit edilmiştir. Deneylerde No.2D dizel yakıt ile ayçiçek metil esteri kullanılmıştır. Deneyler, 210 bar enjektör basıncında yapılmıştır. Testler No.2D dizel yakıtı (DY) ile ayçiçek metil esteri (AME) farklı oranlarda karıştırılarak yapılmıştır. Belirtilen devirlerde yakıtlar, % 25 AME + %75 DY, %50 AME + %50 DY, % 75 AME + %25 DY oranında karıştırılmış ve ölçümler alınmıştır. Her bir ölçüm için performans ve emisyon ölçümleri üçer defa yapılarak, elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Deneylerde kullanılan ham ayçiçek yağı Elazığ ilinde bulunan Ayçiçek Karadeniz Birlik Doğan Erdil Yağ Fabrikası'ndan ham olarak temin edilmiştir. Testlerde kullanılan ham yağın esterleşme işlemi Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı laboratuvarlarında, yakıtlara ait fiziksel ve kimyasal özellikler ise Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmıştır. Esterleşme işleminde 1 litre ham ayçiçek yağı ½ litre toluen (C₇H₈) ile karıştırılmış, bu karışım içerisinde katalizör olarak %1' lik sülfürik asit ihtiva eden metanol çözeltisi katılarak 60 °C' lik su banyosunda yaklaşık olarak 8-9 saat bekletilmiş ve karışım daha sonra oda sıcaklığına getirilmiştir. Oda sıcaklığına gelen karışım içerisinde % 5' lik sodyum klorür ile n-Hegzan (C₆H₁₄) da ilave edilmiştir. Üst faz alınarak alt faz atılmıştır. Yağın korozif etkilerini gidermek için % 2' lik sodyum bikarbonat çözeltisi ilave edilip karışım dinlenmeye bırakılmıştır. Dinlenme sonunda esterde bulunan asit ve diğer maddeler kabın dibine çökmüştür. Elde edilen karışımın içerisindeki suyu temizlemek için sodyum sülfat ilave edilip suyun atılması sağlanmış ve kağıt süzgeçten geçirilerek ayçiçek yağı metil esteri elde edilmiştir.

Tablo 3. Test Yakıtlarına Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler.

Yakıt Türü	Isıl değer (kJ/kg)	Viskozite 20 (°C) (mm ² /s)	Yoğunluk (Kg/dm ³)	Alevlenme noktası (°C)	Setan sayısı
No.2D	42300	3.20	0.83	58	47
AME	39340	4.5	0.88	85	49

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

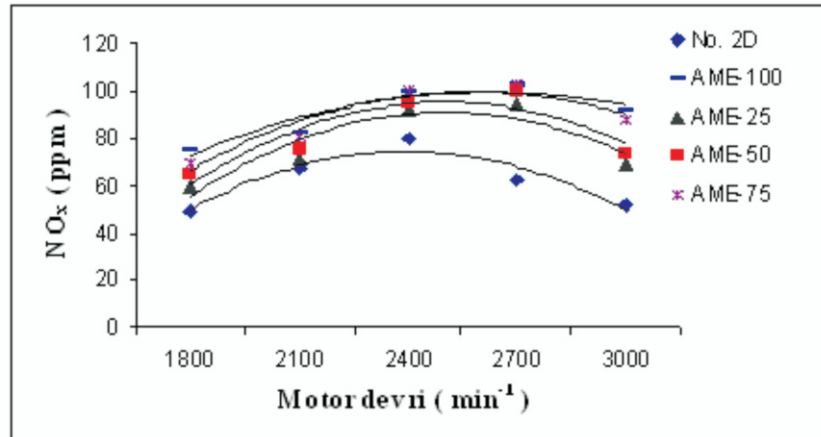
Dizel motorlarında yanma, yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ile başlayan karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları kapsar. Dizel motorlarında yanmayı; oluşan basınç, karışım oranı, yanma bölgesindeki sıcaklık, ortamdaki oksijen miktarı ve yanma için ayrılan zaman gibi faktörler etkilemektedir. Ancak yanmanın gelişimi yerel koşullara bağlı olmakla birlikte, komşu bölgelerden ısı ve kütle iletimi ve yanma odasındaki hava hareketleri de bu gelişimde rol oynamaktadır [16].

Dizel motorlarının egzoz emisyonlarındaki başlıca kirleticiler; karbon monoksit (CO), sülfür oksit (SO_x), azot oksit (NO_x) ve is' dir. NO_x ve is başlıca iki kirletici emisyonudur. Nitrojen oksit (NO₂), NO_x' in bir bileşiğidir ve infrared ışınlarını absorbe etmektedir. NO₂ aynı konsantrasyonda, CO₂' den yaklaşık olarak 250 kez daha fazla global ısınmayı tehdit etmektedir [11].

3.1. Azot oksit (NO_x) Emisyonu

Motorlarda NO_x konsantrasyonunun meydana gelmesi yanma odasındaki oluşan sıcaklığa bağlıdır [17].

NO_x 1400 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda oluşur. Özellikle O₂' in bulunduğu bölgelerdeki sıcaklığın yüksekliği ve bu sıcaklıkta kalma süresi oldukça etkilidir. NO_x oluşumu üzerinde ortamda bulunan N₂ ve O₂ miktarı da etkili bir faktördür. Şekil 3' de NO_x' in devirle değişimi görülmektedir.



Şekil 3. NO_x emisyonunun devir sayısı ile değişimi.

Oksijenin azotla reaksiyona girmesini kolaylaştıran ve reaksiyon hızını artıran bütün faktörler NO_x oluşumunu yükseltir. Bu açıdan bakıldığında; NO_x oluşumunda başlıca etken sıcaklıktır. Ancak motor devir sayısı, yanma odası içeriği, yanma odası homojenliği ve yanma odasındaki karışım yoğunluğu da etkilidir [18]

Şekil 3' de alçak devirlerde bütün yakıtlar için NO_x' in düşük olduğu görülmektedir. Alçak devirlerde NO_x oluşumu için yeterli zaman bulunmaktadır, ancak bu oluşumu hızlandıracak kadar yüksek sıcaklık henüz oluşmamıştır. NO_x' in oluşumu için başlıca faktör sıcaklık olduğu düşünülürse, bu beklenen bir sonuçtur. Şekil 3' e bakıldığında bütün

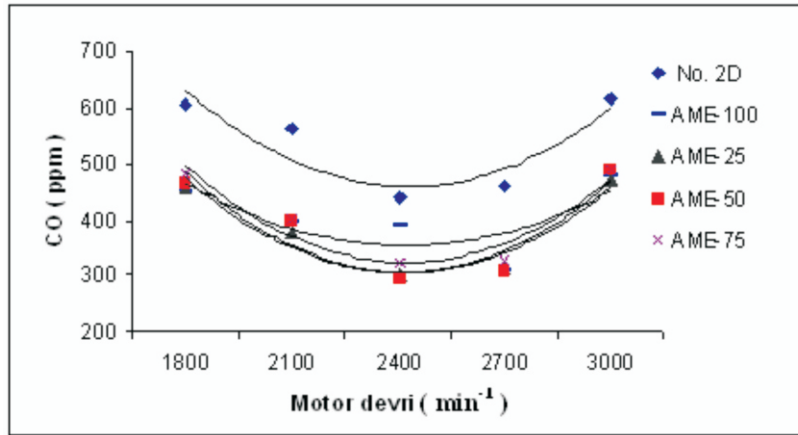
yakıtlar için NO_x konsantrasyonunun bu motor için orta devir kabul edilen 2400 min^{-1} civarında maksimum seviyesine ulaştığı görülmektedir. Orta devirlerde yanma sonu sıcaklığının maksimum seviyesine ulaşması, NO_x ' in oluşumunu hızlandırmıştır. Yüksek devirlere çıktığında NO_x ' in azaldığı görülmektedir. Her ne kadar yüksek devirlerde yanma odası sıcaklığı artsa da yanma için yeterli zamanın bulunmaması, NO_x ' in bütün yakıtlar için azalmasına neden olmuştur. Biyodizel içerisinde bulunan oksijenin DY' ye göre % 10 civarında daha fazla olması [19], biyodizel ve karışımlarının DY 'ye göre NO_x 'in bütün devirlerde yüksek çıkmasına neden olmuştur. 1800 min^{-1} de dizel yakıtına göre en düşük artışı % 20 ile AME-25 yakıtı göstermiştir. En yüksek artışı ise DY' ye göre 3000 min^{-1} de % 92' lik artış ile AME-100 biyodizel yakıtı göstermiştir. Yapılan bazı çalışmalarda da NO_x emisyonlarında benzer sonuçlar elde edilmiştir [20-22].

3. 2. Karbon monoksit (CO) Emisyonu

Karbon monoksit (CO), yanma odası içerisinde yakıtın eksik yanması sonucu ortaya çıkan üç önemli kirleticiden (CO, HC, NO_x) en fazla olanıdır. Egzoz emisyonları içerisinde CO miktarı hava/yakıt oranına bağlıdır. Yanma esnasında CO konsantrasyonu oldukça yüksektir. CO konsantrasyonunun büyük bir kısmı genişleme esnasında CO_2 ' ye dönüşür. Havanın az olduğu durumlarda düşük sıcaklıklar, CO emisyonunun artmasına neden olur [12].

CO emisyonu motor çalışma şartlarıyla değişkenlik gösterir [23].

Şekil 4' de karbon monoksit (CO) emisyonunun 5 farklı yakıt için devirle değişimi görülmektedir.



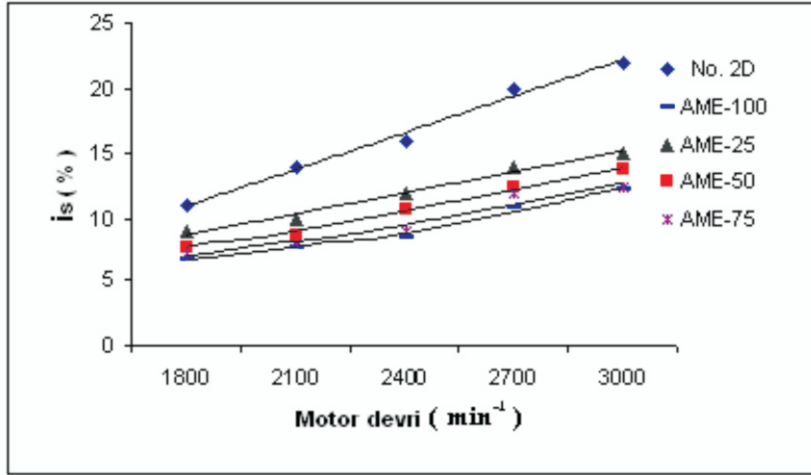
Şekil 4. CO emisyonunun devir sayısı ile değişimi.

Egzoz emisyon içerisindeki karbon monoksit (CO) oranının artması; tutuşma gecikmesinin kısa olması, ortamda oksijenin azalması, reaksiyon sıcaklığının düşük olması, yakıt içerisindeki bütün hidrokarbonların çeşitli nedenlerden dolayı (türbülansın yetersiz olması, yanmanın kontrollü olmaması, vb.) kimyasal tepkimeye girmemesi gibi nedenlere bağlıdır. Şekil 4' e bakıldığında düşük devirlerde yanma odası sıcaklığının az olmasının CO' i arttırdığı açıkça görülmektedir. Bütün yakıtlar için orta devirlerde CO' in azaldığı, yüksek devirlerde ise tekrar arttığı şekil 4' de görülmektedir. Özellikle orta devirlerde yanma sonu sıcaklığının artması ve böylece yanmanın iyileşmesi, çoğu yanmamış HC ' lerin oksijen ile tepkimeye girmesi, bu sonucu ortaya çıkardığı düşünülmektedir. 2400 min^{-1} de DY yakıtına göre biyodizel yakıtları içerisinde en fazla azalmayı, % 48 ile AME-50 yakıtı göstermiştir. Elde edilen bu sonuçlar diğer çalışmalar ile paralellik göstermektedir [22, 24].

3. 3. İS Emisyonu

Dizel motorlarında is oluşumu yaklaşık $1000-2800 \text{ }^\circ\text{K}$ arasındaki çevre sıcaklığında meydana gelmektedir [13].

Şekil 5' de farklı test yakıtları için devir sayısı ile is değişimi verilmektedir.



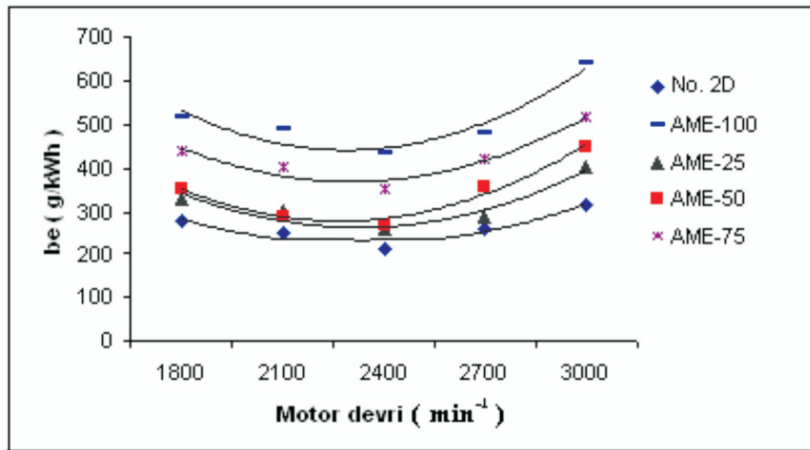
Şekil 5. İS emisyonunun devir sayısı ile değişimi.

Şekil 5' de görüldüğü gibi bütün test yakıtları için motor devrinin artmasıyla birlikte İS emisyonunun da arttığı görülmektedir. Biyodizel yakıtların içerisindeki oksijen miktarının DY yakıtına göre fazla olması [25], bu yakıtların İS seviyesinin DY' ye göre düşük çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir [26].

Test yakıtları içerisinde en yüksek İS seviyesini 3000 min⁻¹ de % 22 ile DY yakıtı, en düşük İS seviyesi ise bu devir için % 12 ile AME-100 yakıtında elde edilmiştir.

3. 4. Özgül Yakıt Tüketimi (be)

Özgül yakıt tüketimi, motor performansının belirlenmesinde oldukça önemli bir parametredir. Özgül yakıt tüketimini etkileyen bir çok sebep vardır. Düşük devirlerde motorlarda ısı kaybının yüksek, yanma koşullarının motor devri olarak optimum yanma bölgesinden uzak olması, ayrıca düşük devirlerde motor gücünün düşüklüğü bu sebepler arasında sayılabilir. Şekil 6' da özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi verilmektedir.



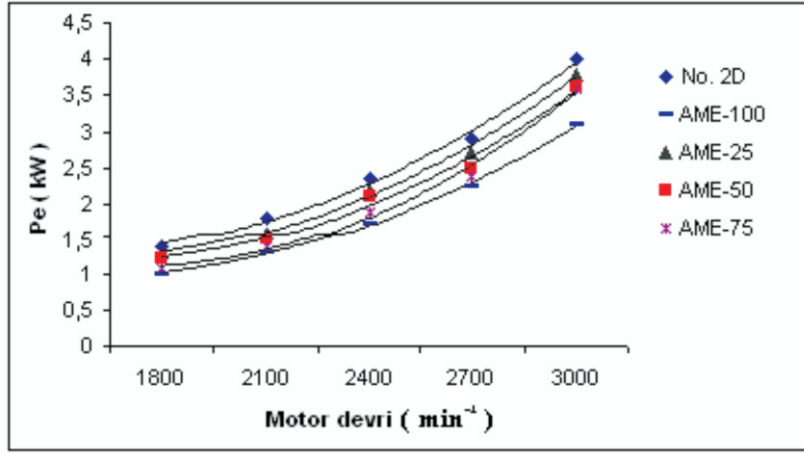
Şekil 6. Özgül yakıt tüketiminin devir sayısı ile değişimi.

İçten yanmalı motorlarda devir artışı ile birlikte yanma şartlarının iyileştiği bilinmektedir. Yapılan ölçümlerde devir artışı ile yakıt tüketimi ve güç arasındaki ilişki eğilimi motor gücü lehinde geliştiği görülmektedir. Bunun sonucu olarak artan devirle birlikte özgül yakıt tüketiminin hızla düştüğü söylenebilir. Şekil 6' da görüldüğü gibi 2100-2400 devir aralığında özgül yakıt tüketimi en düşük değerde olup bu aralığa motorun ekonomik çalışma aralığı denir. Yüksek devirlere çıkıldığında yanma reaksiyonları için gerekli zamandaki daralma, yanmayı olumsuz etkilemektedir. Emisyon ölçümlerinde bu açıkça görülmektedir. Bunun sonucunda ortalama efektif basınç düşmekte, yakıt tüketimi ile motor gücü arasındaki ilişki tersine dönmektedir. Yani artış eğilimi, yakıt tüketimi yönünde gelişmektedir. Sonuçta ekonomik bölgenin üzerindeki devirlerde özgül yakıt tüketimi aşırı şekilde artmaktadır. Test yakıtları içerisinde en düşük be, 2400 min⁻¹ de 214 gr/kWh ile DY yakıtında, biyodizel yakıtları içerisinde ise bu devir

için 263 gr/kWh ile AME-25 yakıtında elde edilmiştir.

3. 5. Motor Gücü (Pe)

Farklı yakıtlar için motor gücünün devir sayısı ile değişimi şekil 7' de verilmiştir.



Şekil 7. Motor gücünün devir sayısı ile değişimi.

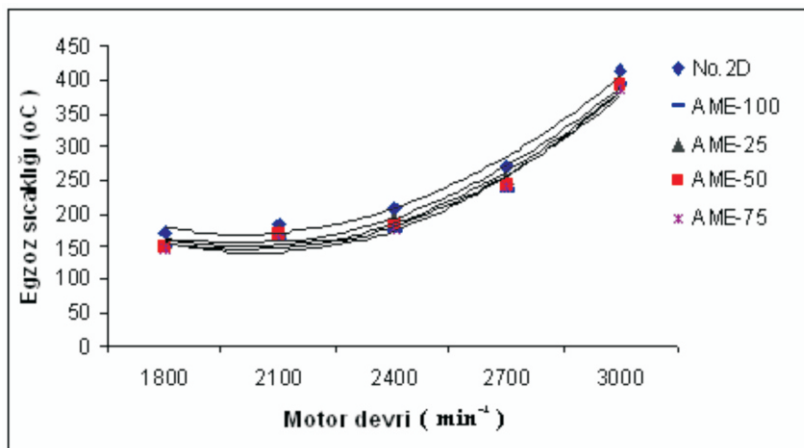
Şekil 7' de bütün test yakıtları için motor devrinin artmasıyla birlikte Pe' nin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni yükteki artış ile birlikte yakıt tüketimindeki artışın bir sonucu olduğu düşünülmektedir. DY yakıtının yanmasının biyodizel yakıtı göre daha iyi olması, bu yakıtın biyodizel yakıt ve karışımlarından daha fazla güç elde edilmesini sağladığı düşünülmektedir. Test yakıtları içerisinde en yüksek motor gücü 3000 min⁻¹'de 4.00 (kW) olarak DY yakıtında, en düşük motor gücü ise bu devir için 3.10 (kW) olarak AME-100 yakıtında elde edilmiştir.

3. 6. Egzoz Gaz Sıcaklığı

İçten yanmalı motorlarda egzoz sıcaklığı, yanma verimiyle doğru orantılıdır.

Normal yanma sürecinde açığa çıkan yanmamış hidrokarbonların sıcak silindir gazları ile karışım oranı, karışımın yanması sonucu oluşan gaz sıcaklığı yapısı ve bunu takip eden sıcaklık-zaman ve kompozisyon-zaman ilişkisi, karışımın seyrini belirleyerek silindir içi oksidasyon miktarını tayin eder [27].

Şekil 8' de test yakıtları için egzoz gaz sıcaklığının devir sayısı ile değişimi görülmektedir.



Şekil 8. Egzoz gaz sıcaklığının devir sayısı ile değişimi.

Şekil 8' e bakıldığında artan devir ile birlikte test yakıtlarının egzoz gaz sıcaklığındaki artış açıkça görülmektedir. Deney yakıtları içerisinde bütün devirlerde en yüksek egzoz gaz sıcaklığı DY yakıtında elde edilmiştir. Dizel yakıtının yanma veriminin biyodizele göre yüksek olduğu düşünülürse bu beklenen bir sonuçtur.

4. SONUÇLAR

İçten yanmalı motorlarda kullanılan fosil kökenli yakıtlara alternatif olarak biyodizel, dünyada hızlı bir şekilde kullanılmaya başlanmaktadır. Biyodizel, Türkiye' de günümüz olanaklarıyla uygulamaya konulabilecek önemli alternatif yakıtların başında gelmektedir. Yüksek viskoziteli olan bitkisel yağların dizel motorlarında herhangi bir işlem yapılmadan direkt kullanımı hem performans hem de parçalar üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Bu amaçla transesterifikasyon yöntemiyle ham ayçiçek yağından ayçiçek metil esteri üretilmiş, bir dizel motorunda, performans ve emisyon değerleri incelenmiştir. Yapılan deneylerde;

- Transesterifikasyon yöntemiyle ham yağların teknik özelliklerinde (yoğunluk, ısıl değer, viskozite, parlama noktasında) iyileşme,
- CO ve is emisyonlarında DY yakıtına göre önemli bir miktarda azalma,
- Biyodizel yakıtların NO_x emisyonlarında bir miktar artma,
- DY' ye göre motor gücü ve özgül yakıt tüketiminde bir miktar düşme,
- Egzoz gaz sıcaklığında DY yakıtına göre bir miktar düşme olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, dizel motorlarında önemli bir değişikliğe gidilmeden AME-100 biyodizel yakıtının dizel yakıtı ile belli oranlarda karıştırılarak ve hatta tek başına kullanılabilceği ve böylece dizel motorların zararlı emisyonlarının azaltılmasında önemli bir alternatif yakıt olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Demirbaş, A., doi:10.1016/j.enpol.2007.04.003, “Importance of biodiesel as transportation fuel”, *Energy Policy*, (2007).
- [2] Barnwal, B.K. and Sharma, M.P., “Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 9: 364 (2004).
- [3] Yücesu, H.S., Altın, R. ve Çetinkaya, S., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi”, *Journal Environment Science*, 25: 40 (2001).
- [4] İngür, Y. ve Eray, E.M., “Değişik yakıt harmanlarının dizel motorlarında kullanılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16: 589-99 (2003).
- [5] Lapuerta M., Armas O., Ballesteros R. and Fernandez J., “Diesel emissions from biodiesel derived from spanish potential vegetable oils”, *Fuel*, 84: 773-80 (2004).
- [6] Bo, Z., Weibiao, F. and Jingsong A., “Study of fuel consumption when introducing DME or ethanol into diesel engine”, *Fuel*, 85: 778-82 (2005).
- [7] Duran, A., Monteaguda, J.M. and Hernandez, J.J., “Scrubbing effect on diesel particulate matter from transesterified waste oils blends”, *Fuel*, 85: 923-8 (2006).
- [8] Pang, X., Shi, X., Mu, Y., He., H., Shuai, S., Chen, H. and Li, R., “Characteristics of carbonly compounds emissions from a diesel-engine using biodiesel–ethanol-diesel as fuel”, *Atmospheric Environment*, 40: 7057 (2006).
- [9] Kalligeros S., Zannikos F., Stournas S., Lois E., Anastopoulos G., Teas Ch., et al., “An investigation of using biodiesel marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine”, *Biomass Bioenergy*, 24: 141-9 (2003).
- [10] Tashtoush, G.M., Al-Widyan, M.I. and Albatayneh, A.M., “Factorial analysis of diesel engine performance using different types of biofuels”, *Journal of Environment Management*, 84: 401-11 (2006).
- [11] Lin, C.Y. and Lin, H.A., “Diesel engine performance and emission characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process”, *Fuel*, 85: 304 (2006).
- [12] Heywood J.B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw-Hill, New York, 526 (1988).
- [13] Altın, R., Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bilm. Enst.*, 56 (1998).
- [14] Yamane, K., Ueta, A. and Shimamoto, Y., “Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuels on injection, combustion and exhaust mission characteristics in a direct injection compression ignition engine”, *International Journal of Engine Research* 2: 249-61 (2001).
- [15] Agarwal, A.K., “Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 33: 233-71 (2007).
- [16] Borat, O. Balcı, M., ve Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, 260.
- [17] Lin C.Y. and Lin H.A., “Diesel engine performance and emission characteristics of biodiesel produced by peroxidation process”, *Fuel*, 85: 298-305 (2006).
- [18] Hazar, H., ve Öner, C., “The Effects of thermal barrier coating on the engine performance”, *8th International Combustion Symposium, Ankara*, 125-6 (2004).
- [19] Ban-Weiss, G.A., Chen, J.Y., Buchholz, B.A. and Dibble, R.W., “A numerical investigation into the anomalous slight NO_x increase when burning biodiesel; a new (old) theory”, *Fuel Processing Technology*, 88: 659-67 (2007).
- [20] Nabi, Md.N., Akhter Md.S. and Shahadat, Md.Z., “Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel-biodiesel blends”, *Bioresource Technology*, 97: 372-8 (2006).
- [21] Fernando, S., Karra, P., Hernandez, R. and Jha, S.K., “Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality”, *Energy*, 32: 844-51 (2007).

- [22] Pereira, R.G., Oliveir, C.D., Oliveir, J.L., Oliveir, P.C., Oliveir, C.E.F. and Piamba, O.E., “Exhaust emissions and electric energy generation in a stationary engine using blends of diesel and soybean biodiesel”, *Renewable Energy*, 32: 2453-60 (2007).
- [23] Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H. and Li, R., “Emission reduction potential of using ethanol-biodiesel-diesel fuel blend on heavy-duty diesel engine”, *Atmospheric Environment*, 40: 2567-74 (2005).
- [24] Mc Cormick, R.L., Williams, A., Ireland, J., Brimhall, M. and Hayes, R.R., “Effects of biodiesel blends on vehicle emissions”, *NREL Milestone Report*, MP-540-40554 (2006).
- [25] Shi, X., Yu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J. and Li, R., “Emission characteristics using methyl soyate-ethanol-diesel fuel blends on a diesel engine”, *Fuel*, 84: 1543-9 (2005).
- [26] Raheman, H., Ghadge, S.V., doi: 10.1016/J. fuel.2007.02.019., “Performance of compression ignition engine with mahua (Madhuca indica) biodiesel”, *Fuel*, (2007).
- [27] Karamangil, İ.M., “Buji ateşlemeli motorlarda hidrokarbon emisyon kaynakları”, *Mühendis ve Makine*, 523 (2003).

DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ YAZIM ESASLARI

1. Dergi, Fen ve Mühendislik Bilimleri alanında orijinal çalışmaları başka bir yerde yayınlanmamış olması kaydıyla yayımlar.
2. Makaleler 15 sayfayı geçmeyecek şekilde yazılıp, 1 asıl 3 kopya ve 3,5 inç diskete ya da cd ye kopyalayıp Enstitü adresine gönderilmelidir.
3. Orijinal bir araştırma olduğu ve daha önce herhangi bir yerde yayınlanmadığını belirten bir yazı eklenmelidir.
4. Makale metni 20*28 ebatında A4 kağıda sağ ve soldan 2 cm, yukarıdan 3.2 cm, alttan 2,5 cm marjlinli, Windows 7.0 veya üstü kelime işlemcide, Times New Roman 10 punto yazı sitilinde, tek aralıklı ve tek sütun olarak yazılmalıdır. Yazılarda paragraf girintisi kullanılmamalı, paragraflar arasında bir satır boşluk bulunmalıdır.
5. Eserler Türkçe veya İngilizce olarak sunulmalıdır.
6. Makale başlığı kısa olmalı çalışmayı tam olarak yansıtmalıdır. Başlığın tamamı 12 punto büyük harfle, ortalanmış olarak ve koyu yazılmıdır. Birinci derece başlıklar “BÜYÜK” harflerle, ikinci derece başlıklar “İlk Harfleri Büyük”, üçüncü ve vd. başlıklar “İlk harf büyük diğerleri küçük” yazılmalıdır).
7. Yazarların adı ve soyadı ünvan belirtilmeden başlıktan sonra 1 satır boşluk bırakılarak, ortalanarak, ad küçük, soyad büyük harfle yazılmalıdır. Yazarın adresi 1 satır boşluk bırakılarak aşağıdaki düzende ve her ana kelimenin baş harfi büyük olacak şekilde (Üniversitesi/Kurumu, Fakültesi, Bölümü, Posta kodu, Şehir, ÜLKE, elektronik posta adresi) yazılmalıdır. Birden fazla yazar olması durumunda aynı adresli yazarlar yan yana yazıldıktan sonra adres yazılmalıdır. Yazışmanın yapılacağı yazarın ismi üzerine yıldız işareti konarak belirtilmelidir (İsimler kısaltılmış olarak yazılamaz.).
8. Şekiller, grafikler, fotoğraflar ve çizelgeler metin içerisinde ilgili yere yerleştirilmelidir. Çizelge kenarlık çizgi genişliği ½” olmalı, çizelgeler hücrelendirilmeli, çizelge içindeki açıklayıcı başlıklar (ilk harf büyük diğerleri küçük, 10 punto) koyu olarak yazılmalıdır. Çizelgeler sola dayalı olarak, şekiller ve fotoğraflar ortalanarak yerleştirilmelidir. Çizelge ve şekli açıklayan metnin bir satırı geçmesi durumunda ikinci satır ilk satırın hizasında yazılmalıdır.
9. Dip notu vermek gerektiğinde italik rakam kullanılmalıdır. Dip notu her sayfanın altına ana metinden bir çizgi ile ayrılarak yazılmalıdır.
10. Matematiksel ifadeler “Equation Editör” (word ortamında) kullanılarak 10 punto ve alt ve üst indisler 8 punto yazılmalıdır. Metin içerisinde geçen eşitlikler köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalıdır.
11. Birimler S.I. sistemine göre verilmelidir.
12. Eserin bölümleri özet, teşekkür ve kaynaklar dışında numaralandırılmalı ve aşağıdaki sıraya uygun olmalıdır: Özet, Metin, Teşekkür (gerekli ise) ve Kaynaklar.
13. Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile gerçekleştirilmiş ise, kurumun adı ilk sayfa altına dip not olarak yazılmalıdır.

MAKALENİN BÖLÜMLERİ

ÖZET

Yazar adresinden sonra bir satır aralık verilerek yazılır. Özet 100 kelimeyi geçmemelidir. Özeten sonra bir satır boşluk bırakılarak anahtar kelimeler (en az 3 anahtar kelime) italik olarak yazılmalıdır.

METİN

Sunulan çalışmanın özlü anlatımı olup numaralandırılmış bölümlerden oluşmalıdır. Örneğin; 1. Giriş, 2. Materyal ve Metot, 3. Bulgular, 4. Tartışma ve Sonuç . Metin gerektiğinde numaralandırılmış alt bölümler içerebilir (2.1, 2.2, ...vb). Birinci derece başlıklar “BÜYÜK” harflerle, ikinci derece başlıklar “İlk Harfleri Büyük”, üçüncü ve.. vb başlıklar “İlk harf büyük diğerleri küçük” yazılmalıdır.

KAYNAKLAR

Kaynaklar verildiği yerde parantez içinde, örneğin [1] biçiminde, numaralandırılarak belirtilmeli, bu sıraya göre yazılmalıdır.

Kaynak bir makale ise:

Yazarın soyadı, adının baş harfleri, makalenin başlığı, derginin adı, cilt numarası (varsa no): sayfa aralığı, yılı.

Arora, A., Sairam, R.K. and Srivastava, G.C., "Oxidative stres and antioxidative systems in plants", *Curr. Sci.*, 82: 12227-1238 (2002).

Kaynak bir kitap ise:

Yazarın soyadı, adının baş harf(ler)i, kitabın adı, cilt numarası, varsa editör(ler), yayınlayan yer, sayfa aralığı, yılı.

McAdams, W. H., "Heat Transmission 2nd ed.", McGraw Hill, New York, 278-292 (1942).

Kaynak basılmış tez ise:

Yazarın soyadı, adının baş harf(ler)i, tezin adı, tezin cinsi (Yüksek lisans, doktora), tezin sunulduğu enstitü, sunulduğu yer, sayfa aralığı, yılı.

Köksoy, O., Taguchi ve Cevap Yüzey Felsefelerinin Birleştirilmesi: Problem ve Çözüm Stratejileri, Doktora Tezi, *Hacettepe Ün. Fen Bilm. Ens.*, No.2001D11 (2001).

Kaynak kongreden alınmış ise:

Yazarın soyadı, adının baş harf(ler)i, tebliğ adı, kongre, seminer veya konferansın adı, yapıldığı yer, bildiri kitabında yer aldığı sayfa aralığı, yılı.

Muluk, Z., Balce, A.O. ve Köksoy, O., "Deney Tasarımı Eğitimi-Helikopter Deneyi", *İstatistik Sempozyumu 2000*, Gazi Üniversitesi Fen-Ed. Fak. İstatistik Böl., Ankara (2000).

Elektronik ansiklopedi ve kitaplar:

İnternet: Bosnia and Herzegovina, In Britannica Online. <http://www.-eb.com:180/cgi-bin/g?DocF=micro/79/88.html> (2000).

Kaynak sözlü görüşme ise:

Görüşü alınan kişinin soyadı, adının baş harf(ler)i, kurum adresi, görüşmenin yapıldığı yer, elektronik posta adresi, görüşme tarihi. (Yazar tarafından görüşmenin metni ve görüşü alınan kişinin onayını belirten bir belge orijinal makale ile birlikte ayrıca sunulmalıdır.)

14. Hakemlerin görüşü doğrultusunda düzeltmeler yapıldıktan sonra makalenin A4 normundaki beyaz kağıda son çıktısı 2 nüsha olarak disketi yada cd si ile birlikte editörlüğe verilmelidir.

15. Bir yazımın yayınlanmasına, editör ve yayın kurulu, hakemlerden gelecek raporları değerlendirerek karar verir.

16. Dergiye gönderilecek makaleler ile ilgili yazışmalar, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Merkez Kampus, Tavşanlı Yolu 10.km KÜTAHYA adresine yapılmalıdır.

Dosya - Sayfa Yapısı aşağıdaki şekilde uygulanmıştır;

Kağıt Boyutu Özel: 20*28 cm

Kenar Boşlukları Üst: 3.2 Alt:2.5

Sol:2

Sağ:2