

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PİSTON VE SUPAPLARI ZrO_2 KAPLANMIŞ BİR DİZEL MOTORUNDA
BİTKİSEL YAĞIN KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özkan GÜRBÜZ
(07219102)

Danışman
Doç. Dr. Hanbey HAZAR

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi
Programı: Otomotiv

TEMMUZ-2013

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PİSTON VE SUPAPLARI ZrO₂ KAPLANMIŞ BİR DİZEL MOTORUNDA
BİTKİSEL YAĞIN KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özkan GÜRBÜZ
Enstitü No: 07219102

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11.06.2013
Tezin Savunulduğu Tarih : 02.07.2013

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hanbey HAZAR (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Soner BUYTOZ (F.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. İlyas SOMUNKIRAN (F.Ü.)

TEMMUZ – 2013

ÖN SÖZ

Tez çalışmamın hazırlanması sırasında çalışmalarımı teşvik eden, her türlü yardımlarını esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Hanbey HAZAR' a minnet borçluyum. Deneyler sırasında ve sonrasında bana yardımcı olan, Hakkâri Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümü Öğretim Görevlisi Selman AYDIN'a, Batman Üniversitesi, Makina Mühendisliği bölümü Öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Hüseyin AYDIN'a, İmalat Mühendisliği bölümü Öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ'e ve Şırnak Üniversitesi. M.Y.O. Öğretim Görevlisi Şehmus BADAY'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam boyunca bana her türlü desteği veren ve en az benim kadar bu çalışmaya emek sarf eden Ailem, eşim CAHİDE ve oğlum FATİH'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZKAN GÜRBÜZ

ELAZIĞ-2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖN SÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Dizel Yakıtlar	3
1.1.1. Dizel Yakıtında Uygun Değerde Olması İstenen Bazı Performans Özellikleri	4
1.1.2. Dizel Yakıtların Sınıflandırılması	5
1.2. Dizel Motorlarında Yanma Olayının Safhaları	6
1.2.1. Tutuşma Gecikmesi	6
1.2.2. Kontrolsüz (Ani) yanma.....	7
1.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma.....	7
1.2.4. Art Yanma	8
2. TERMAL BARIYER KAPLAMALARA (TBK) GENEL BAKIŞ	9
2.1. Termal Bariyer Kaplamaların Tarihsel Gelişimi	9
2.2. Termal Sprey Kaplama'nın Teknolojik Uygulama Alanları.....	12
2.2.1. Otomotiv endüstrisi.....	14
2.3. Plazma Kaplama Sistemi	15
2.4. Termal Bariyer Kaplama Malzemeleri	17
2.4.1. Zirkonyum oksit (ZrO ₂).....	21
2.4.2. Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	26
2.4.3. Müllit (3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂).....	26
2.4.4. Bağlanma katmanı (MCrAlY).....	27
3. BİTKİSEL YAĞLAR	31
3.1. Tütün Bitkisi.....	31
3.2. Soya Bitkisi	32
3.3. Badem Bitkisi	35

3.4.	Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri	37
3.4.1.	Viskozite	39
3.4.2.	Yoğunluk	41
3.4.3.	Setan Sayısı	42
3.4.4.	Bitkisel Yağların Isıl Değerleri (Yanma Isısı)	42
3.4.5.	Akma ve Bulutlanma Noktaları	43
3.4.6.	Akış Özellikleri	44
3.4.7.	Parlama Noktası	44
3.4.8.	İyot Sayısı	44
4.	MATERYAL VE METOT	45
4.1.	Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri	45
4.2.	Motor Test Cihazı (dinamometre)	47
4.3.	Yakıt Tüketimi Ölçüm Düzeni	49
4.4.	Gaz Analiz Cihazı	49
4.6.	Deneyin Yapılışı	50
4.7.	Hesaplanan Büyüklükler	51
4.7.1.	Motorun Döndürme Momenti	51
4.7.2.	Özgül Yakıt Tüketimi	51
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	52
5.1.	Motor Performansı	52
5.1.1.	Özgül Yakıt Tüketimi	52
5.1.2.	Efektif Güç	54
5.1.3.	Motor Momenti	57
5.2.	Egzoz Emisyonları	59
5.2.1.	CO Emisyonları	59
5.2.2.	CO ₂ Emisyonları	62
5.2.3.	HC Emisyonları	64
5.2.4.	NO _x Emisyonları	66
5.3.	Mikroyapı İncelemeleri	69
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	74
7.	KAYNAKLAR	76
	ÖZGEÇMİŞ	79

ÖZET

Giderek artan enerji gerekenimi ve yakın gelecekte petrolün tükenecek olması alternatif enerji kaynaklarına yönelik araştırmaları giderek artırmaktadır. En önemli alternatif enerji araştırmalarından biri de içten yanmalı motorlar için yakıt olabilecek bitkisel yağ kullanımıdır. Bu çalışmada üç ham bitkisel yağ bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Soya yağı tütün yağı ve badem yağı dizel yakıtı ile %15, %35 ve %65 oranlarında hacimsel olarak karıştırılmıştır. Bu karışım yakıtlar ve normal dizel yakıtı, 4 zamanlı, tek silindirli ve hava soğutmalı bir dizel motorunda kullanılmıştır. Daha sonra bu motor düşük ısı kayıplı bir motora dönüştürülmüştür. Motorun piston başı yüzeyi ve emme ve egzoz supaplarının yüzeyleri ZrO_2 seramik malzeme ile kaplanmıştır. Daha sonra yukarıda bahsedilen deney yakıtları kaplamalı motorda test edilmişlerdir. Kaplamalı ve kaplamasız motordaki test sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Performans testlerinde motor momenti, motor gücü ve fren özgül yakıt tüketimi değerleri tüm test yakıtları için kaplamalı ve kaplamasız motorlarda bulunmuştur. Emisyon testlerinde, test karışım yakıtlarının kullanımında CO , CO_2 , HC ve NO_x emisyonlarının sonuçları bulunmuş ve normal dizel yakıtı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Performans testi sonuçları motor performansının bitkisel yağ kullanımı ile bir miktar düştüğünü göstermiştir. Ancak motorun kaplanmasıyla beraber bitkisel yağ kullanımı ile kaplamalı motorda performans parametreleri, belki de silindir duvarlarında olan ısı transferinin azalması sayesinde, artışlar göstermiştir. Emisyon testi sonuçlarına gelince, hem normal kaplamasız motorda hem de kaplamalı motorda bitkisel yağ kullanımı ile CO ve HC emisyonları azalmıştır. Ancak hem bitkisel yağ kullanımı hem de motorun kaplanması işlemleri nedeniyle NO_x emisyonu değerleri artışlar göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Dizel motor, Performans ve emisyon, Soya yağı, Badem yağı, Tütün yağı

SUMMARY

VEGETABLE OIL USAGE IN A DIESEL ENGINE THAT ITS PISTON AND VALVES COATED WITH ZrO₂

Alternative fuel researches are being carried out due to the increasing energy requirement and near future petroleum depletion. One of the most important alternative fuel researches is considered to be vegetable oil usage in internal combustion engines. In this study, three pure vegetable oils were used in a diesel engine. Soybean oil, tobacco seed oil and almond seed oil were blended with diesel fuel by volumes of 15%, 35% and 65% rates, volumetrically. The mentioned blend fuels and standard diesel fuel were then used in a single cylinder, four strokes and air cooled diesel engine. Then the engine was converted to a low heat rejection diesel engine. The piston head and exhaust and intake valves of the engine were coated with ZrO₂ coating ceramic material. Then the above mentioned test fuels were tested in the coating engine. The test results of coating and uncoated normal engine operation were compared with each other. In the performance tests, engine torque, power and brake specific fuel consumption results for test fuels usage in were observed. In the emission test, CO, CO₂, HC and NO_x emission results for all the test fuels operation were founded and compared with the standard diesel fuel operation. Results of performance have showed that the performance of the engine was slightly decreased with vegetable oil usage. However, the performance parameters of all the vegetable oils were increased when the test engine was coated probably due to the reduction of heat transfer through the engine cylinder. As for the emission results, both for coated and uncoated engine operation CO and HC emissions were decreased with vegetable oil usage. However, NO_x emissions were increased for both engine coating and vegetable oil usage in diesel engine.

Keywords: Diesel engine, Performance and emission, Soybean oil, Almond oil, Tobacco oil.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. a-) Türbin kanatçığı TBK b-) Dizel motor pistonu TBK uygulaması.	15
Şekil 2. 2. Plazma spre yönteminin bileşenleri	16
Şekil 2. 3. Termal genleşme katsayıları (α).	22
Şekil 2. 4. Seramiklerin termal iletkenliklerinin (k) karşılaştırılması.	23
Şekil 2. 5. $Y_2O_3-ZrO_2$ faz diyagramı.	24
Şekil 2. 6. Y_2O_3 miktarına bağı kaplamanın ısı çevrim sayısı.	25
Şekil 2. 7. Alaşım elementleri oksidasyon ve korozyon ilişkisi.	28
Şekil 2. 8. Yüksek sıcaklık korozyonu, oksidasyon sıcaklık etkileşimi.	28
Şekil 2. 9. TBK malzemelerin termal genleşme eğrileri.	29
Şekil 3. 1. Tütün bitkisi.	32
Şekil 3. 2. Soya bitkisi.	33
Şekil 3. 3. Badem bitkisi.	37
Şekil 3. 4. Saf tütün yağı ve dizel yakıtı	38
Şekil 3. 5. Saf soya yağı ve dizel yakıtı	38
Şekil 3. 6. Saf badem yağı ve dizel yakıtı	39
Şekil 3. 7. Viskozite ölçüm cihazı	40
Şekil 3. 8. Yoğunluk ölçüm cihazı (petrotest)	42
Şekil 3. 9. Akma ve Bulutlanma noktası ölçüm cihazı (Petrotest).	43
Şekil 4. 1. Deneylerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometrenin şematik görünüşü	45
Şekil 4.2. Motor parçalarının kaplanmış ve kaplanmamış haldeki resimleri	46
Şekil 4. 3. Motor parçalarının kaplanmış haldeki resimleri	47
Şekil 4. 4. Deneylerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometre	48
Şekil 4. 5. Yakıt tüketimi ölçüm ünitesi	49
Şekil 4. 6. Gaz analiz cihazı	50
Şekil 5. 1. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre özgül yakıt tüketimi değişimleri	52
Şekil 5. 2. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre özgül yakıt tüketimi değişimleri	53

Şekil 5. 3. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre özgül yakıt tüketimi değişimleri	54
Şekil 5. 4. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre efektif güç değişimleri.....	55
Şekil 5. 5. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre efektif güç değişimleri.....	55
Şekil 5. 6. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre efektif güç değişimleri.....	56
Şekil 5. 7. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre moment değişimleri.....	58
Şekil 5. 8. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre moment değişimleri	58
Şekil 5. 9. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre moment değişimleri	59
Şekil 5. 10. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO emisyonu değişimleri.....	60
Şekil 5. 11. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO emisyonu değişimleri.....	61
Şekil 5. 12. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO emisyonu değişimleri.....	61
Şekil 5. 13. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO ₂ emisyonu değişimleri.....	62
Şekil 5. 14. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO ₂ emisyonu değişimleri.....	62
Şekil 5. 15. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO ₂ emisyonu değişimleri.....	63
Şekil 5. 16. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre HC emisyonu değişimleri.....	65
Şekil 5. 17. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre HC emisyonu değişimleri.....	65
Şekil 5. 18. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre HC emisyonu değişimleri.....	66

Şekil 5. 19. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre NOx emisyonu değişimleri.....	67
Şekil 5. 20. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre NOx emisyonu değişimleri.....	67
Şekil 5. 21. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre NOx emisyonu değişimleri.....	68
Şekil 5.22. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	69
Şekil 5.23. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	69
Şekil 5.24. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	70
Şekil 5.25. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	70
Şekil 5.26. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	71
Şekil 5.27. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	71
Şekil 5.28. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	72
Şekil 5.29. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	72
Şekil 5.30. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	73
Şekil 5.31. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	73

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. 1. DIN- 51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler.....	4
Tablo 1. 2. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler	5
Tablo 2. 1. Aşınma dayanımı için kaplama malzemeleri.	13
Tablo 2. 2. TBK malzemelerinin bazı fiziksel özellikler.	19
Tablo 2. 3. TBK malzemelerinin avantaj ve dezavantajları	20
Tablo 3. 1. Bitkisel Yağların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.	39
Tablo 3. 2. Uluslararası standartlarda viskozite için verilen sınır değerleri.	41
Tablo 3. 3. Uluslararası standartlarda yoğunluk için verilen sınır değerleri.	41
Tablo 3. 4. Uluslararası standartlarda parlama noktası için verilen sınır değerleri.	44
Tablo 4. 1. Deney Motorunun teknik özellikleri.....	46
Tablo 4. 2. Motor test cihazının teknik özellikleri	47
Tablo 4. 3. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri.....	48
Tablo 4. 4. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri.....	50

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TBK	: Termal bariyer kaplama
YSZ	: İttriya ile stabilize edilmiş zirkonyum oksit
PSZ	: Kısmi dengelenmiş zirkonyum oksit
TGO	: Termal Gelişmiş Oksit
ΔT_c	: Sıcaklık değişimi ($^{\circ}C$)
C_p	: Isı kapasitesi
CSZ	: Seryum ile stabilize zirkonyum oksit
Y₂O₃	: İttriyum oksit
ZrO₂	: Zirkonyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
MgO	: Magnezyum oksit
Al₂O₃	: Alüminyum oksit
MCrAlY	: M= Co ve/veya Ni, Cr, Al, Y
Y₃Al₅O₁₂	: İttriya-alümina-garnet
Si	: Silisyum
Mo	: Molibden
Zn	: Çinko
Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
Hu	: Alt ısı değer (kJ/kg)
P_{me}	: Ortalama efektif basınç
KMA	: Krank mili açısı
M_d	: Döndürme Momenti (Nm)
P_e	: Efektif motor gücü
V_H	: Toplam strok hacmi (m ³)
İ	: Çevrim/devir (dört zamanlı motorlarda 1/2)
Be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
α	: Termal genleşme katsayısı (10 ⁻⁶ / $^{\circ}C$)
k	: Termal iletkenlik
AÖN	: Alt ölü nokta
ÜÖN	: Üst ölü nokta

ÖYT	: Özgöl yakıt tüketimi (g/kW h)
D2	: %100 Dizel
B15	: %15 Badem + %85 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
B35	: %35 Badem + %65 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
B65	: %65 Badem + %35 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
S15	: %15 Soya + %85 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
S35	: %35 Soya + %65 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
S65	: %65 Soya + %35 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
T15	: %15 Tütün + %85 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
T35	: %35 Tütün + %65 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
T65	: %65 Tütün + %35 petrol kökenli dizel yakıtı (hacimsel)
POH	: Potasyum hidroksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
PAH	: Poliaromatik hidrokarbon
cSt	: Sentistok (mm ² /s)
EN	: Avrupa Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ppm	: Milyonda bir parçacık
PM	: Partikül Madde (Particulate Matter)
HC	: Hidrokarbon
CO	: Karbon monoksit
NO_x	: Azot Oksitler
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Society For Testing and Materials)
SS	: Setan sayısı

1. GİRİŞ

Yakıt fiyatlarındaki artış ve içten yanmalı motorlarda (İYM) kullanılan fosil kaynaklı yakıtların yakın bir gelecekte tükenecek olması ile birlikte çevresel sorunlar da gittikçe artmaktadır. [1].Ekonomik ve toplumsal kalkınmanın en önemli girdilerinden olan enerji 1970' li yıllardan itibaren tüm dünya ülkelerinde önemli gündem maddesi olarak yerini almıştır[4]. Petrol kaynaklarının hızla azalması, var olan kaynakların ise sınırlı olması, ekonomik ve politik farklılıklar, dış ülkelere bağımlılık ve hava kirliliği tüm ülkeler için geçerli problemlerdir. Dünya nüfusunun hızla artması, teknolojik gelişmelerin getirdiği hızlı sanayileşme, enerji ihtiyacını günden güne arttırmaktadır. Jeopolitik açıdan çok önemli konumda olan ülkemiz, 1971 petrol krizi ve 1991 Körfez savaşı gibi dönemlerde ekonomik açıdan çok ağır bedeller ödemiştir. Bu art arda yaşanan petrol krizleri ve bunlara bağlı olarak fiyatların artması, çeşitli önlemlerin alınması gerekliliği ile birlikte alternatif yakıtlara yönelmeyi zorunlu kılmıştır. Petrole bağımlılığın azaltılması ve gelecekte yaşanabilecek petrol krizlerinin en az sıkıntıyla atlatılabilmesi düşüncesi, alternatif yakıt arayışlarına ve bunların motor yakıtı olarak iyileştirilmesi çalışmalarının yoğunlaşmasına sebep olmuştur[5, 6]. Motorlu taşıtların tümü, petrolden üretilen yakıtlar ile çalışmaktadır.

Ancak, Dünyadaki petrol rezervlerinin 41 yıl içerisinde tükeneceği beklenmektedir. Sınırlı enerji kaynakları ileride potansiyel bir enerji yokluğunun olabileceğini ikaz etmektedir. Fosil yakıtların kullanımı ve çevresel bilinç, mühendislere ve bilim adamlarına temiz, yenilenebilir ve güçlendirilebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesinin lazım geldiği düşüncesine yönlendirmektedir[7]. Bu nedenle bilim adamları kabul edilebilir emisyon sınırları içerisinde yüksek verimle çalışabilecek ve yakıt tasarrufu sağlayacak İYM'nin araştırılmasına yönelmişlerdir. Seramik kaplamanın, emisyonları azaltması, yanmayı iyileşmesi ve motorun termal verimini daha yüksek potansiyelde tutması en önemli tercih sebeplerindendir. Seramik malzemelerin geleneksel metallerden daha iyi aşınma karakteristikleri göstermeleri başka bir tercih edilme nedenidir. Termal olarak izole edilen yanma odası (YO)'nda bulunan parçalardaki düşük ısı kaybı, yararlanılabilen egzoz gazlarının enerjiye dönüştürülme miktarındaki artış ve silindirdeki işin artması, enerji artışının bir göstergesidir. DIK motorlarda düşük setanlı yakıtla yanma olabilmektedir. Yüksek sıcaklıkta yakıt püskürtülmesine imkan verilmektedir. DIK motorlar, kavramsal olarak, pistonlar, silindir kapağı, supaplar gibi yüksek sıcaklıkta çalışan YO elemanlarının

ve egzoz sistemi parçalarının izole edilerek kullanıldığı motorlar anlamına gelmektedir. Kaybedilen enerji miktarındaki azalma ile geleneksel motor soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulmamakta, bu sayede toplam hacimde % 50'lik, toplam ağırlıkta da % 30'luk bir azalma sağlanmaktadır.[2]. Çevre problemlerinden birisi olan NO_x emisyonunun azaltılması önemlidir. Bu yüksek emisyonlar (DIK dizel motorla STDM mukayese edilirse) yüksek yanma sıcaklığına bağlıdır. DIK dizel motorunda yanma sonu sıcaklığında ki ısı kayıpları düşük olduğu için NOX emisyonu STDM'ye göre daha yüksektir. Bu yüzden DIK dizel motorda NOX emisyonunun azaltılması için YO'ya su püskürtmek ve düşük kompresyon oranlı egzoz gazı resürkilasyonu kullanmak gibi çeşitli metotlar belirlenmiştir[3].

Mevcut kaynakların idareli bir şekilde kullanılabilmesi için, tüketimi yapan araçlarda modifikasyon gerekli hale gelmektedir. Endüstride kullanılan ekipmanlar sahip oldukları yüzey karakteristikleri ile talep edilen ihtiyaçları tek başlarına karşılayamamakta dolayısıyla bu ekipmanların fiziksel veya kimyasal olarak yapısal değişimlere uğraması gerekmektedir. Bu noktada malzeme mühendisliğinin önemli bir dalı olan yüzey mühendisliği devreye girmekte ve talep edilen özelliklere sahip malzemelerin elde edilmesi kolaylaşmaktadır. Uygulanan yüzey modifikasyon işlemleriyle, mevcut malzemelerin servis ömürleri uzamakta, yüzey kalitesi artmakta, ağır çalışma şartlarına dayanıklı mühendislik malzemeleri ortaya çıkarılıp, ekonomik açıdan da verimlilik sağlanmaktadır.

İçten yanmalı motorların çalışma şartları düşünüldüğünde; özellikle yanma odası elemanlarının yüzeyinde yüksek sıcaklık, yüksek basınç, termal şok, düzensiz termal gerilimler, sürtünme, aşınma, asidik ortam, koroziyon ortam gibi istenmeyen durumlar meydana gelmektedir. Bu durumlar ilerleyen tekrarlı süreçlerde, malzeme yüzeyinde deformasyon ve hasarlara sebep olarak yüzey kalitesini düşürmekte ve ilerleyen süreçlerde motorun etkin çalışmasını ve verimini azaltırken, kalitesiz bir yanma sonucu motordan atılan egzoz gazlarının emisyon değerlerinin yükselmesine neden olarak çevreye zarar verir hale gelmektedir. Bu noktada yüzey modifikasyonları, ortaya çıkan bu negatif etkileri engellemede yada gidermede en etkin çözüm yolu olarak görülmektedir.

Yüzey Mühendisliği, istenen özellikleri elde etmek ve mevcut ürünün de işlevliğini geliştirmek için, bir malzeme ya da elemanın yüzey özelliklerini, metalürjik, mekanik ve kimyasal olarak veya bir kaplama ilavesi sağlayarak iyileştirmektir. Yüzey mühendisliği geçmişten günümüze kadar elde edilen birikim neticesinde, bugün uçak sanayisinden

biyomedikal uygulamalara, paketleme sanayinden sert kesici takım aletlerine kadar çok geniş bir sahada uygulama alanı bulmaktadır [8].

Malzemenin yüzey özelliklerini değiştirmeye yönelik her türlü işleme “yüzey işlemleri” ve bu amaçla kullanılan teknolojilere de “yüzey teknolojileri” denir [9]. Teknolojinin hızla ilerlemesiyle metalik malzemelerin herhangi bir işlem uygulanmadan göstermiş olduğu performansı, ağırlaşan şartlar altında yetersiz kalmaktadır. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bu gelişmelere paralel olarak hızla gelişerek, hem gelişen teknolojinin ihtiyacı olan malzemelerin üretilmesine imkân sağlamakta, hem de teknolojik alanlarda bazı yeniliklere öncülük etmektedir. Malzemelerin endüstride kullanılabilmesi için bazı yüzey özelliklerini bünyesinde taşıması gerekmektedir [10].

Yüzey teknolojilerindeki ana düşünce; altlık/tabak malzemesinin koruyuculuk değeri yüksek, ince ve fonksiyonel ilave bir katman ile korunmasıdır. Yüzey kaplama teknolojileri, yüzey modifikasyon ve kaplama teknikleri olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Yüzey modifikasyon uygulamaları, iş parçası yüzeyinde dışa büyüyen bir tabakadan ziyade malzeme içine ametallerin impregne edilmesiyle veya klasik ısı işlem prosedürleri şeklindedir. Kaplama teknolojisi ise altlık yüzeyinde dışa büyüyen, kalın veya ince tabaka elde edilmesine imkan sağlayan bir çok alt grubu kapsamaktadır. En genel sınıflandırmayla bu yöntemler ince film üretimine olanak sağlayan buhar fazı teknikleri, solüsyonlu sistemler (elektrolitik) ve kalın kaplama üretiminin gerçekleştirilebildiği püskürtme sistemleridir. Prosesler, avantaj ve dezavantajlarıyla, malzemelerin kullanım alanına göre tercih edilmektedir[11].

1.1. Dizel Yakıtlar

Dizel yakıtı petrolün rafineri işlemi sırasında fraksiyon kulesinde yaklaşık 160°C’de başlayıp tamamı 391°C’de buharlaşan ve ham petrolden arındırarak elde edilen bir yakıttır. Karbon atomu sayısı 8 ile 16 arasında olup sıvı HC bileşenlerini ihtiva eder. Az miktarda kükürt, azot, kül ve su ihtiva eden dizel yakıtı Türkiye’de mazot olarak isimlendirilmektedir. Dizel yakıtının kapalı formülü; $C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0575}$ ’dir. Bu formüle göre dizel yakıtının kütleli bileşimi; C=0.8538kg, H=0.1355kg, S=0.01071kg’dır. DIN-51601’e göre dizel yakıtından istenen özellikler Tablo 1.1’de görülmektedir.

Tablo 1. 1. DIN- 51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler [12].

	Değerler	Deney Normu
Hacimsel su miktarı	%0,1	DIN 51777
15°C'de özgül ağırlık	0.820-0,860 g/ml	DIN 51757
Kaynama olayı hacimsel olarak 360°C'ye kadar en az	%90	DIN 51752
20°C'de viskozite	1.8-10 mm ² /s	DIN 51550
Parlama noktası	55°C	DIN 51755
Filtrasyon	Yazın 0°C Kışın -12°C	DIN 51770
Kükürt'ün maksimum kütleli yüzdesi	% 1,0	DIN 51768
Koklaşma artığının kütleli maksimum yüzdesi	%0,1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak)	40 SS	DIN 51773
Kül miktarı, kütleli yüzde olarak maksimum	% 0,02	DIN 51575

1.1.1. Dizel Yakıtında Uygun Değerde Olması İstenen Bazı Performans Özellikleri

Vuruntu Mukavemeti: Dizel motorunda hava içine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesi küçük olmalıdır. Aksi halde yanma odasında biriken yakıtın tutuşmasında darbe etkisi şiddetli olur. Dizel yakıtının bu olaya karşı mukavemeti setan sayısının (SS) büyüklüğü ile ifade edilir. Ancak SS>70 olan yakıtın is oluşumu artışı için ve ısı değerlerinin küçük olması bakımından maksimum SS sınırı 70 olarak seçilmektedir [12].

Uygun Buharlaşma: İlk hareket için düşük sıcaklıkta buharlaşabilen yakıtlar iyi kabul edilir. Ancak buharlaşma özelliği arttıkça kendi kendine tutuşma özelliği kötüleşir ve is oluşumu ihtimali artar. Bu nedenle ikisi arasında uygun bir değer sağlayan bileşenler ihtiva eden dizel yakıtı seçilir [12].

Viskozite: Çok düşük olması yakıt pompası yönünden, çok yüksek olması da depodan pompalama ve enjektörden püskürtmede problem oluşturmaktadır. Hatta iri damlaların oluşması durumunda tam yanma olmayacağı için egzoz gazları çok isli olur. Genellikle ilk hareket soğukta başladığı için egzoz gazlarında bu özellikleri gözlemek mümkündür [12].

Yakıt ve Yanma Ürünleri Korozif Özelliği: Dizel yakıtlarından kükürt içeriği hem korozyon hem de partikül oluşumu bakımından son derece mahsurludur. Su, tuzlu su ve tortular korozyona sebep oldukları için yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir [12].

Çinkoya Karşı Aktivitesi: Dizel yakıtları çinko veya çinko içeren çelik depolarda saklanırken çinko ile birleşerek korozif bazı bileşenler oluştururlar. Yakıt için bu aktivitenin az olması istenir [12].

Alevlenme Tehlikesi: Bilhassa hafif dizel yakıtları kapalı hacimlerde, deniz seviyesi sıcaklık ve basınçlarında daha kolay tutuşma özelliğine sahip oldukları için yakıt tanklarının üstünde patlayıcı bir atmosfer oluştururlar [12].

Akma Noktası: Akma ya da katılaşma noktası, motorun düşük sıcaklıklarda çalıştırılması sırasında önem kazanmaktadır. Yakıtın katılaşması durumunda gerekli yakıt akışı sağlanamayacağından motorun çalışması zor olacaktır. Yakıtın akma noktası sıcaklığı motor çalışması sırasında ortam sıcaklığının 5-10°C altında olmalıdır [12].

Isıl Değeri: Yanma sonucu oluşan ürünlerin, yanma öncesi referans bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütleline bölünmesi ile elde edilen değere ısı değeri denir [12].

1.1.2. Dizel Yakıtların Sınıflandırılması

Dizel yakıtı bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar No.1-D, No.2-D ve No.4-D olarak adlandırılmaktadır. Bu yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1. 2. Dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikler [12].

Özellik	1-D	2-D	4-D
Setan Sayısı (minimum)	40	40	40
Parlama Noktası (°F)	100	125	130
Viskozite Saybolt (S), (100°F’de)	30-34	33-45	45-125
%Kül, (Kütlesel)	0,01	0,02	0,1
%Kükürt, (Kütlesel)	0,5	1	2

No.1-D: Petrolün damıtılmasında elde edilir. Değişik hızlarda ve yüklerde çalışan motorlarda kullanılan uçucu-damıtık bir yakıt yağdır.

No.2-D: Damıtık ve kranking ürünlerini ihtiva eden, No.1-D'ye göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorları yakıtıdır.

No.4-D: Damıtma ve kranking ürünlerinden ve bazı artıklardan oluşan düşük veya orta hız motorların yakıtıdır. Tablo 1.2'de dizel yakıt tiplerine ait bazı fiziksel özellikleri görülmektedir.

1.2. Dizel Motorlarında Yanma Olayının Safhaları

1.2.1. Tutuşma Gecikmesi

Dizel motorlarda sıkıştırılan hava üzerine çok küçük damlacıklar halinde püskürtülen yakıt sıkıştırma sonucunda ısınmış havadan ısı alarak buharlaşır ve çok kısa bir süre sonra alevlenir. Yakıtın püskürtülmesi ile alevin oluşması arasında geçen zamana tutuşma gecikmesi süresi denir. Tutuşma gecikmesi süresinin artması motorun sesli ve vuruntulu çalışmasına etki edeceğinden bu sürenin belirli bir zamanı geçmemesi gerekmektedir [12]. Tutuşma gecikmesini etkileyen faktörleri işletme, yapısal ve yakıt faktörleri olmak üzere üçe ayırmak mümkündür [13]. İşletme faktörleri içerisinde en önemli olanları motor devir sayısı, emme havası sıcaklığı ve basıncı, motorun yük durumu ve oksijen konsantrasyonudur. Motor devir sayısının artışı ile tutuşma gecikmesi zaman olarak azalır. Emme havası sıcaklığı ve basıncı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Motorun yükü arttıkça tutuşma gecikmesi hem zaman hem de krank mili açısı olarak azalmaktadır. Yanma odasındaki oksijenin konsantrasyonu azaldıkça tutuşma gecikmesi artmaktadır. Yapısal faktörler içerisinde sıkıştırma oranı, motorun soğutma şartları ve püskürtme kalitesi en önemli olanlarıdır. Sıkıştırma oranının artması, sıcaklık ve basıncın artmasına sebep olduğu için tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Motorun boyutlarına bağlı olarak motorda yakıtın püskürtüldüğü bölgelerin sıcaklıkları değiştiği için yüksek sıcaklık tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Bununla birlikte ön yanma odalı dizel motorlarda ön yanma odası daha yüksek sıcaklıkta tutularak tutuşma gecikmesi azaltılmaktadır. Yakıt püskürtüldüğünde farklı boyutlarda damlacıklar oluşmaktadır. Her ne kadar püskürtülen yakıt demetinin etrafında kolayca tutuşabilecek küçük damlacıklar bulunsun da ortalama damlacık çapı büyüdükçe tutuşma gecikmesi artmaktadır. Dizel motorlar için kullanılan yakıtların setan sayısı tutuşma gecikmesini etkileyen önemli bir faktördür. Setan sayısı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Yakıtın setan sayısının

belirli bir aralıkta olması istenir. Eğer setan sayısı yüksek olursa yakıt enjektörden çıkar ıkmaaz enjektör ucuna çok yakın bir yerde tutuşur, bu da enjektörün uç kısmında koklaşmaya ve tıkanmaya sebep olur. Setan sayısının düşük olmasında ise tutuşma gecikeceğinden dolayı içeride yakıt birikmesi ve daha sonra ani tutuşma oluşmasına sebep olur. Bu da dizel vuruntusu olarak adlandırılır. Ayrıca yakıtın viskozitesi de püskürtme kalitesini ve damlacık boyutlarını etkilemektedir. Yüksek viskozite ortalama damlacık çapını büyüttüğünden tutuşma gecikmesi artmaktadır.

1.2.2. Kontrolsüz (Ani) yanma

Yanma odası içerisine püskürtölen yakıtın buharlaşarak tutuşması ile yanma başlar ve silindir içerisindeki basınç maksimum oluncaya kadar ani kontrolsüz yanma fazı gerçekleşir. Tutuşma gecikmesinin uzaması sonucu silindir içerisinde fazla yakıtın birikmesi ile beraber basınç artışının oluşması dizel vuruntusuna sebep olmaktadır. Motorun vuruntulu çalışmasını önlemek için tutuşma süresinin kısaltılması ve bu süre içinde biriken yakıtın azaltılması gerekmektedir. Genel olarak bu yanma süresi yaklaşık 6°krank mili açısı civarında gerçekleşmekte ve her bir krank mili açısında basınç artışı 200-300 kPa arasında olmaktadır [13].

1.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma

Kontrolsüz yanma sonucu ulaşılan basınç, yanmanın devam etmesine rağmen pistonun aşağıya inmesinden dolayı daha fazla artış gösterememektedir. Bununla birlikte sıcaklıktaki artış devam etmektedir. Maksimum basınca ulaşılan zaman ile maksimum sıcaklığa ulaşılan zaman arasında geçen faz difüzyon kontrollü yanma olarak nitelendirilmektedir. Bu fazda silindir içine püskürtölen yakıtın miktarı ayarlanarak sıcaklık ve basınç yükselmesi kontrol altında tutulmaktadır. Bu faz içerisinde buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızı, yanma hızını belirlemektedir. Burada püskürtölen yakıtın ortalama damlacık çapı, silindir içindeki hava hareketleri ve hava fazlalık katsayısı önemlidir. Dizel motorlarında yakıtın buharlaşması ve tutuşması tek bir noktada olmayıp birden fazla noktada gerçekleşmektedir. Karışımın oluşum hızı yakıtın yanma hızını da kontrol etmektedir. Karışımın oluşum hızı ve yanma hızı yüksek tutularak yanma sıcaklığının yüksek olduğu ÜÖN' ya yakın olduğu konumlarda tamamlanması

gerekir. Aksi takdirde yanma, yanma sıcaklığının düştüğü ve genleşmenin oluştuğı fazda devam eder. Bu durum is oluşumuna ve motor veriminin düşmesine sebep olmaktadır [13].

1.2.4. Art Yanma

Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra art yanma fazı başlar. Yakıtın silindire püskürtölmesi bitmiş ve piston AÖN'ya doğru inmektedir. Art yanmada, yanma hızı, difüzyon hızı ve karışım oluşum hızıyla belirlenmektedir. Ayrıca zengin karışımlarda eksik yanmış yanma ürünleri de art yanma sırasında yanarlar. Genişleme sırasında gerçekleşen art yanma ÜÖN' dan sonra 70-80°KMA kadar devam eder. Yanma egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir [13].

2. TERMAL BARIYER KAPLAMALARA (TBK) GENEL BAKIŞ

2.1. Termal Bariyer Kaplamaların Tarihsel Gelişimi

Termal bariyer kaplama konusundaki çalışmalar 1950 yıllarından beri NASA Laboratuvarlarında yapılmaktadır. Bu araştırmaların hedefi, uçak motoru ile roket parçalarının yüzeylerinin korunmasına yöneliktir. TBK'lar ilk olarak 1970'li yılların ortasında gaz türbin motorlarının yanma odasında başarıyla kullanılmıştır. 1980'li yılların başında uçak türbin motorlarının kanatlarına kaplama yapılması başlanılmıştır [14]. Uçakların ve gaz türbin kanatlarının kaplanması ilk olarak emaye kaplamalar kullanılmıştır. Bu sürecin ardından alev sprej tekniği geliştirilmiştir, bu yöntemle birlikte çeşitli metal ve seramik kompozisyonlarının karışımı kaplama olarak denenmiştir. TBK'lar için CaO , Al_2O_3 , ZrO_2 denenmiştir. Altlık/tabana malzemesi olarak da Ni ve Mo denenmiştir. Bunların kullanılmasıyla daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı kaplamalar geliştirilmeye başlanılmıştır. Al_2O_3 'ün termal iletkenliğinin diğer bileşenlerle olan uyumsuzluğu bu alanda gelişimini önlemiştir. Bu uyumsuzluk, kaplamaların üretimi ve servis koşulları içerisinde aşırı ısınma ve soğuma kökenli, çekme gerilmeleri oluşturması sonucu kaplama ömrünü kısaltmaktadır.

Termal bariyer kaplamada aranan özellikler şöyle sıralanabilir;

- Düşük termal iletkenlik
- Kaplanacak metal ile seramik kaplamanın termal genleşme karakteristikleri bir birine yakın olması
- Mekanik gerilmelere karşı dayanıklı olması
- Kristal yapının sıcaklık ile değişmemesi
- Kullanılan ortamda, termodinamik kararlılık göstermesi
- Reflektivitesinin yüksek olması
- Kolayca tamir edilebilmesi

Zirkonyum oksit, ısı iletkenliğinin düşük ve termal genleşme katsayısının nispeten yüksek olması, ayrıca kimyasal kararlılığının üstün olması nedeniyle termal bariyer kaplama için tercih edilen bir malzemedir. ZrO_2 'ün faz kararlılığı sorunu ise dengeleyicilerin (stabilizatör) ilavesiyle çözülmeye çalışılmaktadır. 1970'lerin başında plazma sprej tekniği sayesinde TBK'nın gelişiminde, NASA tarafından iki katmanlı

kaplama yapılarak önemli bir adım atılmıştır. Magnezyum oksitle stabilize edilmiş Zirkonyum oksit termal bariyer olarak 25 yıldan beri kullanılmaktadır. ZrO_2 -MgO kaplamalar için 950 °C pratik kullanım sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Bu alanda düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip itriyum oksit stabilize zirkonyum oksit (YSZ) üzerine kurulu termal bariyer kaplamalar önemli bir gelişim göstermiştir. Bu seramik kaplamanın altlık malzemeye doğrudan uygulanmasının termal genleşme uyumsuzluğu doğurmasından dolayı, termal genleşme katsayısı kaplama malzemesiyle uyumlu olan bir bağ kaplama uygulaması geliştirilmiştir. Bu katman ise kısaca MCrAlY (M burada Co veya Ni'yi göstermektedir) diye isimlendirilmektedir. Ara katman uygulamasının bir diğer esas fonksiyonu, metal yüzeyi ile seramik katman arasındaki yapışmayı sağlamasıdır. Bağlayıcı malzemenin, işlem sıcaklığında oksidasyona ve/veya korozyona karşı direncinin

yüksek olması gerekir. Bu niteliklere sahip MCrAlY alaşımı türbin kanatları için bağlayıcı olarak geliştirilmiştir. Ancak gaz türbinlerinin performansını arttırmak için termal bariyer kaplamanın seramik ısı yalıtım katmanının geliştirilmesi gerekmektedir. İki veya üç katmanlı kaplamaların yeterli olmadığı buna karşılık bileşimin sürekli değiştiği (continuously graded coating) kaplamalarda termal çevrim ömrünün arttığı ve aplanmanın uzun süre özelliklerini koruduğu saptanmıştır [15].

1970'li yılların ortalarına kadar yapılan çalışmalardan, ağırlık %12 İtريum içeren irkonyumun oksidin, NiCrAlY bağlayıcı katmanı üzerine uygulanmasının uçak türbinleri için yararlı olduğu tespit edilmiştir. Bağlayıcı katmanın bileşiminde nadir toprak elementlerinin bulunması, servis süresi içinde gelişen ve bir yönüyle istenmeyen bir yönüyle de koruyucu olarak görev yapan Alüminyum oksit katmanının bozulmasını ve diğer katmanlara yapışma problemini önlemektedir. PWA 1422 Ni esaslı süper alaşım üzerine uygulanan Ni-17Cr-4Al bağlanma katmanı, İtريum ilavesinin yanı sıra, Silisyum ilavesinin, kaplamanın dayanıklılığını daha da arttırdığını göstermiştir [16]. YSZ kaplamaların bağlanma katmanı NiCrAlY alaşımından üretilmiş olan kaplamalar, bağ tabakası itriyum ilaveli kaplamalara göre daha düşük bir termal şok dayanımı gösterdiği bilinmektedir. Bu durum yukarıda daha önce de bahsedildiği gibi İtريum'un ara tabakanın üst tabakaya yapışmasına yardım edici özelliğini doğrulamaktadır [16].

1980'lerin başına kadar APS ile üretilmiş, kalsiyum oksit, magnezyum oksit ile dengelenmiş zirkonyum oksit TBK'lar geniş bir kullanım alanına sahipti. 20 yıl boyunca yaygın bir şekilde kullanılan bu malzemeler yerini daha üstün mekanik, kimyasal ve termal özelliklere sahip olan YSZ'ye bırakmıştır. Plazma sprey yöntemiyle kaplamada yüksek

sıcaklık nedeniyle CaO ve MgO'nun buharlaşması yer aldığından, itriyum ile dengelenmiş zirkonyum oksit tercih edilmektedir. Ağ. %7 veya ağ. %20 itriyum ile kısmen stabilize edilmiş zirkonyum oksit kaplamaların mekanik özellikleri üstün, ve en dayanıklı kaplamalar olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte çeşitli kompozisyon denemeleri yapılmıştır. Saf zirkonyum oksit içerisinde çözünebilen birçok oksit sıcaklık değişimi ile kristal yapıdaki faz geçişini yavaşlatabilir ya da tamamen durdurabilir. CaO, MgO, Y₂O₃, CeO₂, Sc₂O₃ ve In₂O₃ gibi birçok oksit yüksek sıcaklık fazını oda sıcaklığında kararlı duruma getirir. Bu oksitler içerisinde sanayide en çok kullanılanı itriyum oksittir (Y₂O₃). İtريyumun katkı olarak tercih edilmesinin en önemli sebeplerinden biri zirkonyumu geniş bir sıcaklık aralığında kararlı halde tutabilmesidir. 1985 yılında NASA tarafından yapılan testler sonucunda zirkonyum okside yapılacak itriyum katkısı optimize edilmiştir. Bu amaç çerçevesinde %12–20 arasında farklı yüzdelerde Y₂O₃ ilave edilmiş, sonuç olarak; ağ.%8 itriyum ile stabilize edilmiş zirkonyum oksit yapısının en yüksek düzeyde dönüşüm göstermeyen (non-transformable) t' fazını içerdiği ve yüksek termal çevrim dayanımı sergilediği gözlemlenmiştir [15]. Ek olarak Y₂O₃ miktarının 6-8% aralığına indirmenin termal çevrim testlerine tabi tutulmuş numunelerde en az monoklinik faza rastlanması açısından iyi sonuç vermektedir [16].

Y₂O₃ stabilize ZrO₂ seramik ısı bariyer katmanının optimize edilmesinin ardından ikinci adım oksidasyon direnci yüksek, seramik kaplama ile altlık malzeme arasında uyumu arttıran bir kaplama olan MCrAlY kullanılmasıdır. En son olarak ise bu kaplamaların üzerinde çalışacağı ve termal gerilme uyumsuzluklarını en az düzeye indirecek alaşım geliştirmektir. Bunun sonucunda ZrO₂-Y₂O₃/MCrAlY kaplama mimarisinden ve Nikel tabanlı süper alaşımlardan meydana gelen TBK sistemi geliştirilmiştir [14].

EB-PVD tekniği ise ilk defa Pratt ve Whitney tarafında 1970'li yıllarda ZrO₂-Y₂O₃ kaplanmasıyla başlanmış olup bu alanda yenileştirmeler hala devam etmektedir [14]. Günümüzde ise TBK'ların üretilmesinde genellikle iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar atmosferik plazma sprej (APS) yöntemi ve elektron demeti-fiziksel buhar biriktirme (EB-PVD) tekniğidir. Atmosferik plazma sprej TBK üretiminde EBPVD'ye göre daha düşük termal çevrim dayanımı sağlar. Fakat EB-PVD'ye nispeten kolay uygulanabilirliği, düşük termal iletkenliği, uygun maliyeti, yüksek verimi APS tekniğinin oturmuş yaygın bir teknik haline gelmesini sağlamıştır [17]. Bağlanma katmanının oluşturulmasında tercih edilen yöntem Vakum Plazma Sprej (VPS) veya diğer bir

isimlendirme ile Düşük Basıncılı Plazma Sprey (LPPS) yöntemi olmasına karşın, son yıllarda VPS, LPPS ile benzer başarımlı özelliklerinde ve çok daha ucuz maliyet ile üretim yapılmasına olanak sağlayan Yüksek-Hızlı Oksi Yakıt (HVOF) sisteminin kullanımı hızlı bir şekilde artmış ve ciddi bir alternatif olarak konumuna gelmiştir [18]. VPS sistemine oranla çok daha düşük üretim maliyetine sahip olan HVOF sistemi benzer yoğunlukta ve yapışma mukavemetine sahip, düşük poroziteli, ayrıca oksitlenmeye karşı yüksek dirence sahip kaplamalar üretilir. HVOF kaplamaların düşük oksidasyon oranı, ince taneli ve homojen olarak dağılmış α -Al₂O₃, partiküllerinin tane sınırlarında difüzyona engel olması şeklinde açıklanabilir [18, 19].

2.2. Termal Sprey Kaplama'nın Teknolojik Uygulama Alanları

Termal sprej kaplama teknolojisi konusundaki ilk çalışmalar, 1920'li yıllarda S.M.U SHOOP tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk yıllarında eriyik bir metal sıvısının püskürtülmesini kapsayan yöntem, daha sonraları çok hızlı bir şekilde gelişim göstermiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan termal sprej yöntemleri olarak, alevle toz ve tel püskürtme, elektrik ark sprej, yüksek hızlı oksijen yakıt sprej yöntemi ve en yaygın olarak karşımıza çıkan plazma sprej olarak sayılabilir. Termal sprej kaplama teknolojisi endüstriyel olarak ilk defa 1939 yılında Reinecke tarafından uygulanmış ve Amerikan şirketleri tarafından geliştirilmiştir. Çok geniş aralıktaki malzemelerin kaplamasını yapabilecek duruma zaman içerisinde birçok basamaktan geçerek gelen termal sprej ailesinin bir üyesi olan plazma sprej yöntemiyle üretilen seramik kaplamalar uçak ve uzay endüstrisinde kullanılan parçaların yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı korunmasına yönelik ilk çözümdür. Endüstrinin çeşitli kollarında halen sürekli veya otomatik/ yarı otomatik kontrollü plazma püskürtme sistemleri ile metalik, inter-metalik, alaşım, plastik, oksitli, karburlu, nitrürlü seramik veya cermet gibi kompozit esaslı kaplama malzemeleri tek katman veya çok katman olarak altlık malzemeye kaplanabilmektedir.

Termal sprej tekniğinin başlıca kullanım alanları

- Sürtünme, aşınma, erozyon direnci
- Korozyon-oksidasyon direnci
- Termal bariyer uygulamaları
- Elektrik yalıtımı

- Biyo uyumluluk (hidroksiapatit uygulamaları)

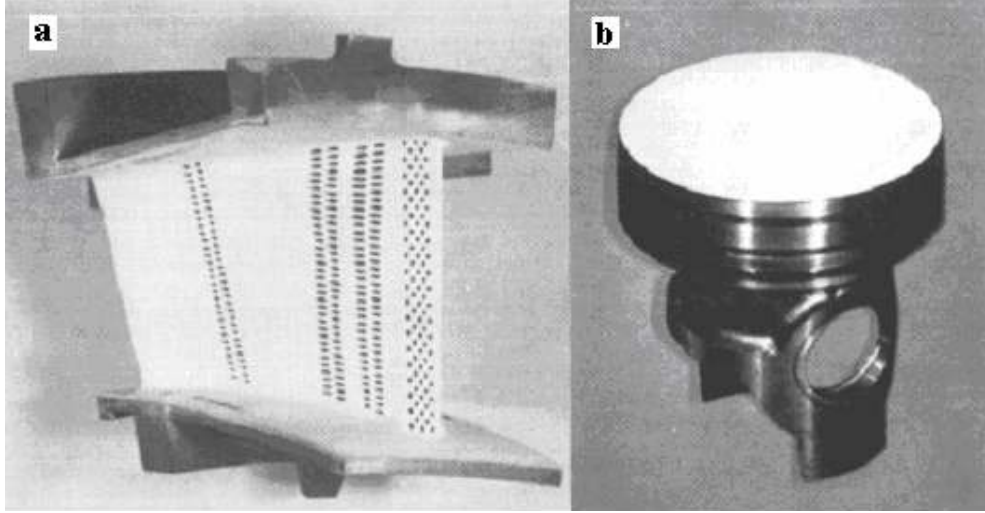
Tablo 2.1’de aşınma direncini arttırıcı kaplama türleri ve kullanıldıkları endüstri kolları belirtilmiştir.

Tablo 2. 1. Aşınma dayanımı için kaplama malzemeleri [20].

Uygulama Alanı	Kaplanan parça	Kaplama malzemesi
Otomotiv	Segmanlar, supaplar, yanma odaları	ZrO ₂ -MgO, Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ -TiO ₂ -Y ₂ O ₃
Kimya	Şaftlar, yatak yüzeyleri, borular, brülörler	Al ₂ O ₃ -TiO ₂ , ZrSiO ₄ , Cr ₂ O ₃
Tekstil	İplik yönlendirme elementleri, yönlendirme, sarma ve dağıtma silindirleri, germe kasnakları, iplik durdurucuları, iplik kılavuzları	WC-Co,Cr ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ ,TiO ₂
Kağıt, Matbaacılık	Kağıt Kurutma Silindirleri, elekler, filtreler	Cr ₂ O ₃ , MnO ₂ , Al ₂ O ₃ -TiO ₂
Hidrolik Makineler	Türbin nozülleri, santrifüj pompa gövdeleri, pompa ağızları, piston çubukları	Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃
Uçak Jet Motorları	Kılavuz yatakları, yakıt nozülleri, kompresör pale ve bıçakları	WC-Co, Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ -TiO ₂
Metalürji	Pistonlar, kalıplar, elektrotlar, merdaneler	Al ₂ O ₃ , MgO-ZrO ₂ , ZrSiO ₄ , Al ₂ O ₃ -TiO ₂

2.2.1. Otomotiv endüstrisi

Otomotiv endüstrisinde dizel motorların piston başlıkları, supap yüzeyleri ve silindir kapakları, yakıtın daha yüksek yanma sıcaklıklarına ulaşması, ısı kayıpların azaltılması ve motor veriminin artırılması için ZrO₂ esaslı malzemelerle kaplanmaktadır. Temel fiziksel prensibi düşük termal iletkenlik özelliği ile ısı yalıtım olsa da, özel uygulamalar için mevcut TBK uygulaması ciddi farklılıklar taşıyabilir. Şekil 2.5’de hava taşıtı türbin motorları ve LHR dizel motorları için tasarlanmış TBK uygulamaları görülmektedir.[3] Hava araçları türbinleri ve LHR dizel motorları için kullanılan TBK’lar birbirinden maruz kaldıkları çalışma şartları gereği farklılık göstermektedirler. Teknolojik olarak türbin motorlarda kullanılan TBK’da ulaşılmış son nokta, 130 µm’den 380 µm’ye değişen kalınlıklarda ısı yalıtım katmanı (veya diğer bir deyişle üst katman) ZrO₂-ağ (6-8)% Y₂O₃ (kısmi olarak stabilize edilmiş zirkonyum oksit) ve 130 µm kalınlığında oksidasyon direnci yüksek MCrAlY ("M" genellikle Ni, Co veya bunların birlikte kullanımı) alaşımı iç katmandan (diğer bir deyişle bağlanma katmanı) oluşmaktadır. Adı geçen iki katmanında biriktirilmesinde kullanılan genel yöntem plazma sprey tekniğidir. Dizel motorlar için üretilmiş TBK’lar bu tip sistemlerde ortaya çıkan, ısı akısı koşullarında yeterli ısı yalıtımı sağlamak için kalın kısmen ya da tamamıyla dengelenmiş edilmiş zirkonyum ısı yalıtım katmanı barındırmaktadır. Kalın kısmen dengelenmiş edilmiş zirkonyum oksit kaplamalar, üst katman-taban malzeme ara yüzeyinde yüksek termal genleşme uyumsuzluğu kökenli stres barındırdığından ötürü kısa ömürlüdürler. Kalın kaplamaların dayanıklılığını arttırmak için kaplama kalınlığı boyunca farklı termal genleşme katsayılarına (α) sahip katmanlar oluşturulur. Katmanlı yapı, tamamıyla metalik bağlanma katmanı ile oluşturulmuş yapının, seramik katmanın kütlece yüzdesinin artışı ve metalik katmanın kütlece yüzde bileşiminin azalması ile oluşturulan katmanlardan elde edilir. Bu tip kaplamalar taban malzeme ara yüzeyinden kaplama dış yüzeyine kadar giderek değişen α değerine sahiptir. Şekil 2.1’de ticari olarak kullanılan derecelendirilmiş kaplamalara ilişkin bağlanma yüzeyinden, iş parçası dış yüzeyine kadar dört katman içeren ve toplam kalınlığı 2500 µm veya daha kalın olan kaplamalar şematik olarak görülmektedir [21].



Şekil 2. 1. a-) Türbin kanatçığı TBK b-) Dizel motor pistonu TBK uygulaması [21].

2.3. Plazma Kaplama Sistemi

Plazma sprey tekniğindeki ana düşünce; pahalı olmayan bir ana malzeme üzerine ince ve koruyucu değeri yüksek bir tabaka meydana getirmektedir. İşlem iyonize olmuş bir gaz içinde erimiş olan toz formundaki malzemenin, kaplanacak yüzeye çok hızlı bir şekilde püskürtülmesi şeklinde uygulanmaktadır. Plazma kaplama sistemi;

- Sprey tabancası (plazma üflec),
- Güç ünitesi,
- Toz besleme ünitesi,
- Soğutma ünitesi,
- Kontrol ünitesinden meydana gelmektedir.



Şekil 2. 2. Plazma sprey yönteminin bileşenleri

Sprey tabancası, kaplam ünitesinin en önemli çalışma ünitesidir. Anot olarak saf Cu ve katot olarak da % 2 ThO₂ katkılı W' ın kullanıldığı tabancada plazma, bu iki elektrot arasındaki elektrik arkında plazma gazlarının iyonizasyonu ile elde edilir. Kullanılan plazma gazları, katodun etrafından ve aynı zamanda nozul görevini de gören anodun içerisinden geçirilir. Doğru akım arkı, genellikle yüksek frekans akısı ile baslar ve elektrotlar ile devam eder. Katot boyunca verilen plazma gazı, bu ark içerisinde ısıtılmakta ve plazma sıcaklığına erisen gaz, nozul anottan plazma alevi olarak püskürtülmektedir. Ark akımı ve voltajı, anot/katot dizaynı, gaz akış hızı ve gaz bileşimi gibi değişkenlere bağlı olarak değişmektedir. Ark genelde, anot-katot temasıyla ateşlenir. Uygulamada nötr plazma gerektiği için, anot boş bir nozul şeklinde dizayn edilmiş ve ark devresinin nozul içinde tamamlanması sağlanmıştır.

Böylece, serbest halde elde edilen plazma, elektrik akımını iletmektedir. Kaplama işleminde gerçekleşen bütün olaylar (disosiasyon, iyonizasyon, plazma hali gibi) sprey tabancası içerisinde meydana gelmektedir. Tabancaya beslenen plazma gazları, yüksek gerilim veya yüksek frekans yardımıyla tutuşturulur. Plazma gazları, kaplama tozları, çalışma voltajı ve arkı ile ilgili bütün Ayarlamalar kontrol ünitesinde manuel olarak veya bilgisayar yardımıyla yapılır. Plazma alevindeki hareket esnasında yüzey gerilimi nedeniyle küresel şekle sahip oldukları düşünülen erimiş partiküller, ana malzeme yüzeyine çarptıklarında ısı ve kinetik enerjilerini kaybederek deforme olurlar ve sonra 5–15 µm kalınlığında lameller şeklinde katılaşır.

Deformasyon miktarı ve dolayısıyla lamellerin sekli; erimiş partiküllerin viskozitesi ve ısıtılabilirliği, toz granülitesi ve ana malzeme yüzeyinin karakteri gibi birçok faktöre bağlıdır. Atmosferik plazma kaplama yöntemi dezavantajı, plazma jeti içerisine havanın girerek, plazmanın soğumasına ve hızının yavaşlamasına neden olması, metalik tozların oksidasyona uğramasıdır. Argon koruyucu atmosferinde gerçekleştirilen plazma spreyle tozun oksidasyona uğraması önlenmektedir. Kaplama tozlarının plazma gazı içerisinden geçirilerek ergimiş halde kaplanacak malzeme üzerine püskürtülmesi “Plazma Püskürtme Tekniği” adını alır. Plazma kaplama tekniğinde, kaplanacak toz bir gaz esliğinde gönderilmektedir[22].

2.4. Termal Bariyer Kaplama Malzemeleri

Termal bariyer kaplamaların tasarım ve çalışma koşulları düşünüldüğünde malzeme seçiminde oldukça hassas ve birçok ölçütün göz önünde bulundurarak davranılması gerekmektedir. Kullanım sırasında uygun değerli sonuçları alabilmek için seçilecek malzemelerin sahip olması gerekli özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek ergime noktası
- Düşük termal iletkenlik
- Yüksek termal genleşme katsayısı
- Faz kararlılığı
- Yüksek oksidasyon ve korozyon direnci.
- Yüksek aşınma ve erozyon direnci
- Düşük sinterleme oranı
- Yüksek deformasyon dayanım
- Yüksek termal şok dayanımı
- Düşük yoğunluk
- Elastik modül
- Sertlik

Bu özelliklerin sağlanmasında ise en önemli olan, proses parametreleri ve seçilecek olan malzemenin cinsidir. Yukarıda sayılan bu gereksinimler TBK malzemelerini sınırlandırmaktadır. Bu gereksinimleri sağlayan birkaç tane TBK malzemesi mevcuttur. Bu

malzemeler ile yapılan kaplamalar, kaplama parametrelerinin de uygun seçilmesi ile optimum seviyede gerçekleşmektedir.

Tablo 2.2’de belli başlı TBK malzemeleri, en genel olarak kullanılan bağlanma katmanı ve kıyaslama açısından kullanılan taban malzemeye ait çeşitli fiziksel özellikler verilmektedir. Termal bariyer kaplama malzemesinin düşük ısı iletkenliğe sahip olması en temelde beklenen değerdir, çünkü TBK’nın soğutulmasına rağmen ısıyı hızlı bir şekilde iletmemesi korunan malzeme açısından önem taşır. Düşük termal iletkenlik ısı yalıtım yeteneğinde çok önemli yarar sağlar, şöyle ki; düşük ısı iletkenliğe sahip bir malzeme aynı kalınlıkta daha yüksek sıcaklıklarda çalışma imkânı sağlar kendisinden daha yüksek ısı iletkenliğe sahip bir malzemeye göre. Termal genleşme katsayısının nispi olarak büyük olması tercih edilmesinin nedeni taban malzeme olarak kullanılan malzeme ile ısı çevrim süreci içerisinde termal genleşme katsayısı kökenli stresi azaltmaktır. TGS (türbin giriş sıcaklığının) arttırılması ve yakıt ekonomisi, parça servis süresinin uzatılması için yüksek sıcaklık şartlarında çalışabilecek yüksek ergime noktasına sahip olması TBK malzeme seçiminde önemli bir kıstas oluşturmaktadır. Sertlik değerinin 6 GPa ve üzerinde olması TBK malzemesinin gerekli aşınma ve erozyon direncine sahip olmasını sağlamaya yöneliktir. Yüksek eksenel kuvvetler altında çalışan türbin parçalarına yönelik bu kaplamaların uygulandığı taban malzemeye ağırlık etkisi yaratmaması ve yakıt tüketimi değerlerini arttırmaması için düşük yoğunlukta olması tercih nedenidir [23].

Tablo 2. 2. TBK malzemelerinin bazı fiziksel özellikler [24].

Termal Bariyer Kaplamalarda kullanılan Malzemeler ve Fiziksel Özellikleri			
ZrO₂ T _m =2973 K D _{th} =0.43x10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹ λ=2.17 W m ⁻¹ K ⁻¹ E=21 GPa α=15,3x10 ⁻⁶ K ⁻¹ ν=0.25	NiCoCrAlY E=86 GPa (293 K) α=17.5x10 ⁻⁶ K ⁻¹ (293–1273 K) ν=0.3	Al₂O₃(a) E=360 GPa (293 K) α=8x10 ⁻⁶ K ⁻¹ ν=0.22	8YSZ E=40 GPa (293 K) α=10.7x10 ⁻⁶ K ⁻¹ (293–1273 K) ν=0.22
	Al₂O₃ T _m =2323 K D _{th} =0.47x10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹ (1273 K) λ=5.8 W m ⁻¹ K ⁻¹ (1400K) E=30 GPa (293 K) α=9.6x10 ⁻⁶ K ⁻¹ (1273 K, K,)	Al₂O₃+TiO₂ D _{th} =0.65x10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹ α=5.5x10 ⁻⁶ K ⁻¹	T _m =2123 K E=181 GPa (293 K) α=8x10 ⁻⁶ K ⁻¹
	IN737 Süper alaşım E=197 GPa (293 K) α=16x10 ⁻⁶ K ⁻¹ (293–1273 K) ν=0.3	3YSZ T _m =2973 K D _{th} =0.58x10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹ (1273 K) λ=2.12 W m ⁻¹ K ⁻¹ C _p =0.64Jg ⁻¹ K ⁻¹ α=11.5x10 ⁻⁶ K ⁻¹ (293–1273 K)	Y₃Al₅O₁₂ T _m =2243 K α=9.1x10 ⁻⁶ K ⁻¹ λ=3.0 W m ⁻¹ K ⁻¹
CeO₂ T _m =2873 K D _{th} =0.86x10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹ 1273 K C _p =0.47J g ⁻¹ K ⁻¹ 11273K λ=2.7Wm ⁻¹ K E=172GPa (293 K) α=13x10 ⁻⁶ K ⁻¹ ν=0.27–0.31		λ=2.12 W m ⁻¹ K ⁻¹ C _p =0.64Jg ⁻¹ K ⁻¹ α=11.5x10 ⁻⁶ K ⁻¹ (293–1273 K)	Mullite T _m =2123 K λ=3.3 W m ⁻¹ K ⁻¹ (1400K) E=30 GPa (293 K) α=5.3x10 ⁻⁶ K ⁻¹ (293–1273 K)

TBK ürünlerinin servis koşullarındaki performansı açısından malzemelerin önemli fiziksel özelliklerini belirttikten sonra, bu malzemelerin birbirleriyle kıyaslanması avantajları ve dezavantajları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2. 3. TBK malzemelerinin avantaj ve dezavantajları [24].

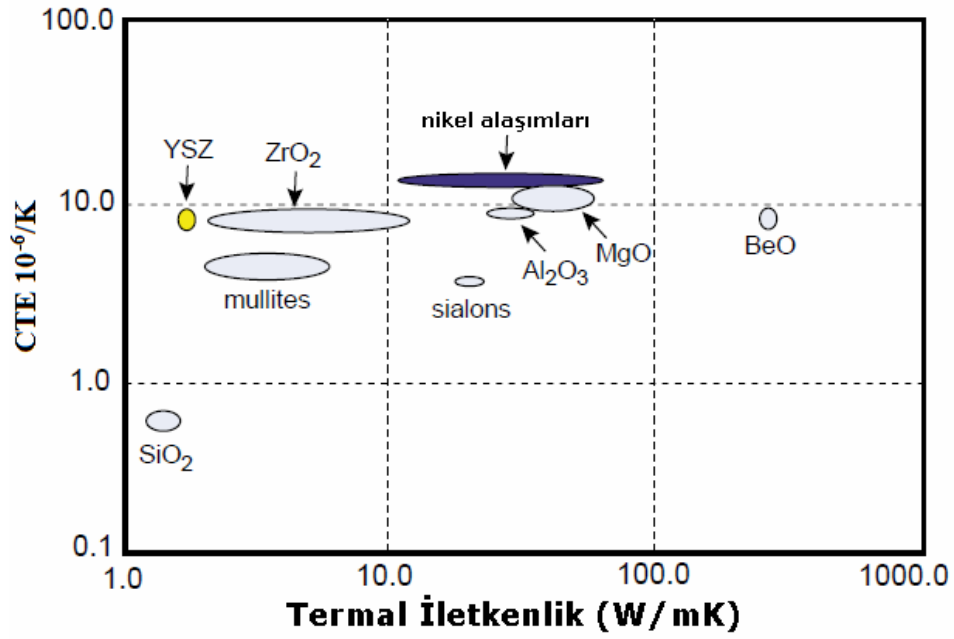
MALZEME	AVANTAJ	DEZAVANTAJ
7-8 YSZ	• Yüksek termal genleşme katsayısı • Düşük ısıl iletkenlik • Yüksek termal şok dayanımı	• 1473 K üzerinde sinterleme özelliği • 1443 K' de faz dönüşümü • Korozyon • Oksijen geçirgenliği yüksek
Mullite	• Yüksek korozyon Dayanımı • Düşük termal iletkenlik • 1273 K sıcaklık altında iyi Termal şok dayanımı • Oksijen geçirgenliği yok	• 1023-1273 K sıcaklığında kristalleşme • Çok düşük termal genleşme katsayısı
Alumina	• Yüksek korozyon kayanımı • Yüksek sertlik • Oksijen geçirgenliği yok	• 1273 K' faz dönüşümü • Yüksek termal iletkenlik • Çok düşük termal genleşme katsayısı
YSZ+CeO₂	• Yüksek termal genleşme katsayısı • Düşük ısıl iletkenlik • Yüksek korozyon dayanımı • YSZ'ye kıyasla monoklinik, tetragonal faz dönüşümünün düşük olması • Yüksek termal şok dayanımı	• Yüksek sinterlenme • 1373 K'in üzerindeki sıcaklıklarda CeO₂ çökmesi • Spreyleme sürecinde CeO₂ kaybı
La₂Zr₂O₇	• Çok yüksek termal dayanım	• Nispi olarak düşük termal genleşme

	• Düşük ısıl iletkenlik • Düşük sıcaklıklarda sinterleme • Oksijen geçirgenliği yok	katsayısı
Silikatlar	• Düşük fiyat, temin edilmesi kolay • Yüksek korozyon dayanımı	• Proses sırasında ZrO₂ ve SiO₂'ye bozunması • Çok düşük termal genleşme katsayısı

Termal bariyer olarak kullanılan malzemelerin bazı fiziksel özelliklerine yukarıda değindik şimdi bunlardan en yaygın olarak kullanılanlarını inceleyelim.

2.4.1. Zirkonyum oksit (ZrO₂)

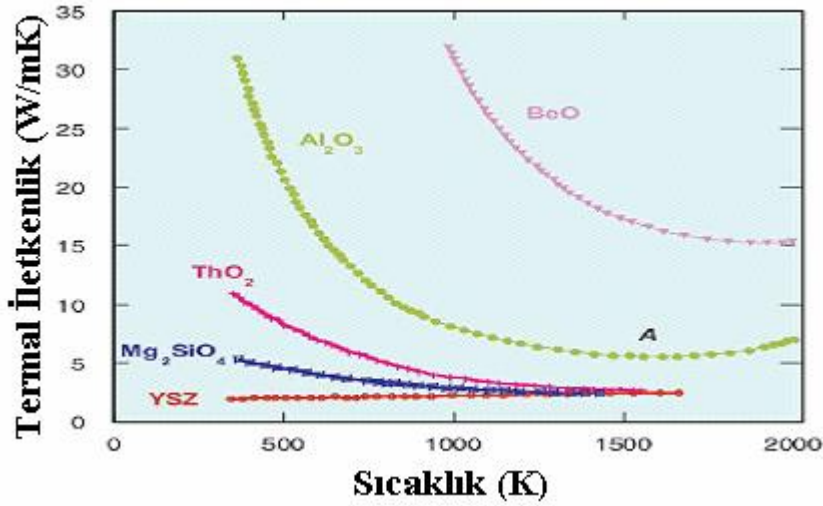
Zirkonyum yer kabuğunda %0.02-0.03 oranında ve Cu, Ni, Pb ve Zn gibi metallerden daha çok bulunur. Zirkonyum doğada, başlıca iki mineral formunda bulunur. Bunlar; Baddeleyit (ZrO₂) ve Zirkon (ZrSiO₄) dur. Zirkonyum oksit, TBK malzemelerinden beklenen özellikler olarak yüksek ergime noktasına (2700°C) ve düşük ısıl iletkenlik değerine sahiptir. Diğer yandan zirkonyum TBK malzemesi olarak tercih edilmesinin en önemli sebeplerinden biri taban malzeme olarak havacılık endüstrisinde sıkça kullanılan Nikel (Ni) alaşımlarına diğer seramik malzemelere oranla yakın bir termal genleşme katsayısına sahip olmasıdır. Bazı seramikler, YSZ ve Nikel'e ait termal genleşme katsayıları Şekil 2.3'da gösterilmiştir.



Şekil 2. 3. Termal genleşme katsayıları (α) [25].

Zirkonyumun TBK malzemesi olarak kullanılmasının temel nedenlerinden biride yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça ısı izolasyon yeteneğinin temelini oluşturan ısı iletkenlik değerinin hemen hemen hiç değişmemesidir. Şekil 2.4'te bazı seramikler ve İtiryum stabilize zirkonyum oksite ait ısı iletkenlik değerleri verilmiştir. Zirkonyumun üç kristal şekli mevcuttur ve kendi başına termal bariyer kaplamalarda seramik ısı yalıtım katmanı olarak kullanılmasının en büyük engelini de bu oluşturmaktadır. Saf zirkonyum oda sıcaklığında monokliniktir ve 1170°C'e kadar kararlıdır, bu sıcaklığın üzerinde tetragonal yapı oluşur, 2370°C'de kübik yapıya dönüşür ve 2680°C'de ergime gerçekleşir [16,24].

- Monoklinik m<1170 °C
- Tetragonal t<2370°C
- Kübik k<2680°C



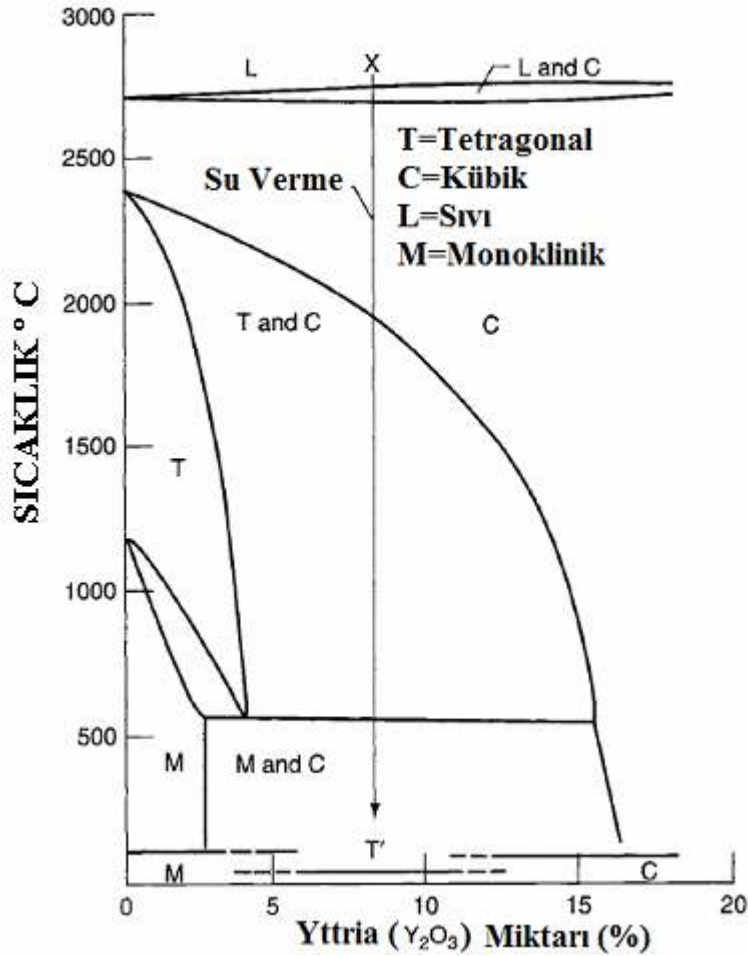
Şekil 2. 4. Seramiklerin termal iletkenliklerinin (k) karşılaştırılması [26].

Monoklinik yapıdan, tetragonal yapıya geçişten (t→m faz dönüşümü) kaynaklanan yaklaşık %4.5'luk hacim artışının sebep olduğu gerilmeler çatlakların oluşumuna ve ısı çevrim içerisinde zamanla kaplamanın parçalanmasına ve/veya yüzeyden ayrılmasına (spallation) yol açar. Bunun nedeni olarak hacim artışına ek olarak monoklinik, tetragonal ve kübik fazlar arasındaki termal genleşme katsayısı farkı da gösterilebilir. Bundan ötürü risk faktörünün azaltmak açısından zirkonyum çeşitli dengeleyiciler (CaO, MgO, Y₂O₃ gibi toprak alkali ve nadir elementlerin oksitleri) ile birleştirilerek kullanılır.

2.4.1.1. Kısmen stabilize zirkonyum (PSZ) ve ZrO₂-Y₂O₃ sistemi

Zirkonyumun bütün mühendislik uygulamaları yapının dönüşümsüz tetragonal faza (t') dengelenmesini gerekmektedir. Tam stabilize terimi kübik formu, kısmen stabilize ise kübik formun yanında diğer polimorfların da oda sıcaklığında stabilize edilmesini tanımlamaktadır. Zirkonyumun dengelenmesinde, zirkonyumun ile katı çözelti oluşturan nadir toprak elementleri Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Seryum (Ce) ve İttriyumun (Y)'un oksit formları kullanılır. CaO, MgO, CeO₂, Y₂O₃ ilavesi ile dengelenmiş yapıya (PSZ) kısmi dengelenmiş zirkonyum oksit adı verilir. [15, 20, 21]. Kübik yapıdaki zirkonyum oksidin mekanik özellikleri zayıftır. Zirkonyum oksitte yer alan martenzitik dönüşümün önemi ve mekanik özelliklerin geliştirilmesi nedeniyle, tamamen kararlı kübik yerine, içerisinde çökelti halinde monoklinik veya tetragonal faz içeren kısmen stabilize edilmiş zirkonyum oksit (PSZ) tercih edilmektedir. Şekil 2.31'de Y₂O₃ ile hızlı soğutma

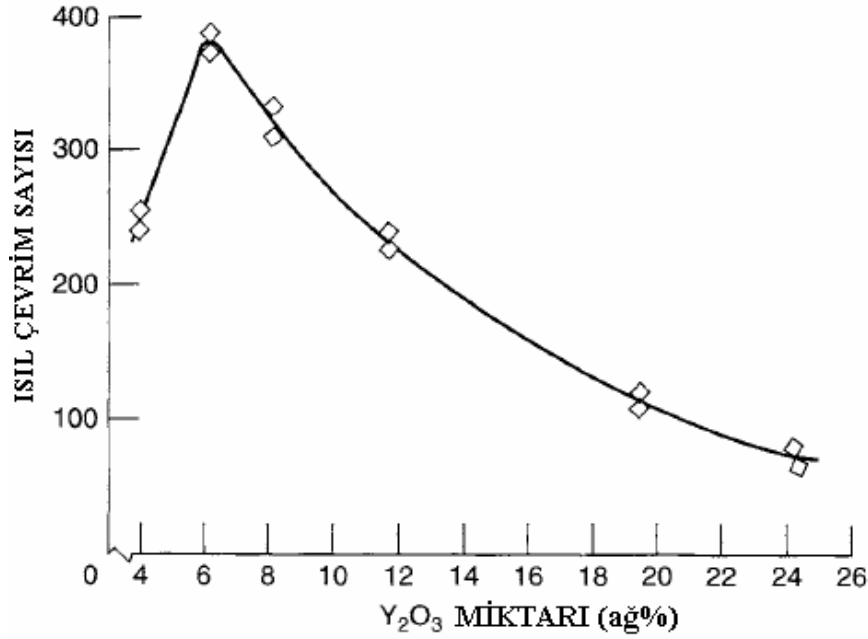
işlemi dengelenmiş zirkonyum okside ait faz diyagramı görülmektedir [27]. Saf zirkonyum dioksit 1000°C’ den daha yüksek sıcaklıklarda daha düşük oranlarda dengeleyici ilavesi saf zirkonyum yapısının tetragonal bir faza sahip olmasını sağlarken daha düşük sıcaklıklarda kübik bir faz karışımı ve monoklinik (veya tetragonal) faza sahip mekanik özellikleri diğer kristal yapılara oranla hayli gelişmiş bir yapı oluşur. Bundan dolayı, kısmen stabilize edilmiş zirkonyum, tetragonal zirkonyum olarak da adlandırılır.



Şekil 2. 5. Y2O3-ZrO2 faz diyagramı.

Dizel motorlar ve gaz türbinleri gibi yüksek sıcaklık uygulamaları için %ağ. 7-8 YSZ(İtriyum ile stabilize edilmiş Zirkonyum Oksit) en iyi performansı sergileyen kaplama malzemesidir. Şekil 2.5’de dengeleyici olarak optimum İtriyum oksit oranı görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar ortaya maksimum termal çevrim dayanımını ağ% 7-8 YSZ’nin karşıladığı görülmüştür. İtriyum ile dengelenmiş Zirkonyum kaplamalar CaO ve

MgO ile stabilize edilmiş zirkonyum kaplamalara göre daha uzun ömür sergilemektedirler [16,27,28].



Şekil 2. 6. Y₂O₃ miktarına bağlı kaplamanın ısı çevrim sayısı [28].

YSZ kaplamaların en önemli dezavantajı uzun süreli uygulamalarda sıcaklığın sınırlayıcı bir faktör olmasıdır (1473 K, kullanım üst limit sıcaklığı). Daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında YSZ tetragonal yapıdan tetragonal ve kübik yapıya daha sonra ise monoklinik yapıya geçiş gösterir. Bu faz dönüşümleri neticesinde kaplama içerisinde mikro çatlak oluşur ve önceden var olanlar ise gelişir. CaO, Y₂O₃ ve MgO ile stabilize edilmiş ZrO₂ kaplamalarda kristal örgüye (latis) Ca⁺², Mg⁺², Y⁺³ iyonlarının girmesiyle anyon boşlukları oluşur. Bu ise, yüksek sıcaklıkta oksijen taşınımına ve seramik ile bağlanma tabakası arasında oksidasyona sebep olarak TGO (thermally grown oxide) formu oluşumuna sebep olur. Bu oksit form seramiğin yapışma mukavemetini olumsuz etkileyerek (spallation: kaplamanın ayrılması) özellikle gaz türbinleri kaplamaları gibi ince kaplamalarda hasara yol açar. Bu problem oksidasyon direnci yüksek olan alümina, müllit ve MCrAlY gibi bağlanma tabakası uygulamaları ile bir ölçüde aşılabilmektedir. YSZ kaplamalarda çok düşük konsantrasyonlarda dahi silika bulunması termal çevrim ömrünü çok büyük oranda olumsuz etkilemektedir. Zirkonya esaslı kaplamalarda silika tane sınırlarında segrege olur, aşırı miktardaki silika ise üçlü noktalarda birikme yapar. Tane sınırlarındaki silika segregasyonu, tanelerin büyüklük ve şekillerini etkiler, yerel stabilizasyon bozukluklarına yol açacak şekilde tane sınır bölgelerinde Y₂O₃'in YSZ den

çözünmesine neden olur. Ayrıca silika segregasyonu, ZrO₂ polikristal süperplastisitesine, sinterleme hızının artışına neden olur [24].

2.4.2. Alüminyum oksit (Al₂O₃)

α -Al₂O₃ fazı diğer tüm alüminyum oksitler arasında tek kararlı fazdır. Çok yüksek sertliğe ve kimyasal inerliğe sahip olan α -Al₂O₃ fazının YSZ kaplamalara yeterli miktarda eklenmesiyle, bu kaplamaların sertlik ve bağlanma mukavemeti değerlerinde artış görülür. İstenilen sertliğe ulaşılmasında diğer bir yöntem ise mevcut YSZ kaplama üzerine Al₂O₃ dış kaplama tabakası spreyl edilmesidir. Ancak, plazma spreylenen Al₂O₃ kaplama γ ve δ -Al₂O₃ gibi birçok kararsız faz içerir. Bu kararsız fazlar, termal çevrim sırasında α -Al₂O₃ kararlı fazına dönüşerek yaklaşık 15% oranında hacimsel çekilme meydana gelmesine neden olarak yapı içerisinde mikro çatlak oluşumuna sebep olur. Cr₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ gibi geçiş metal oksitlerinin doplanmasıyla α fazı bir miktar dengelenir. Bunun yanında, alümina YSZ ile karşılaştırıldığında daha yüksek termal iletkenliğine sahiptir ve bu tercih edilmeyen bir niteliktir. Alümina kaplamaların mekanik özellikleri silikon karbür fiber takviyesi ile geliştirilebilir. Bu özelliklerine rağmen alüminanın tek başına termal bariyer

kaplama malzemesi olarak kullanılması yerine YSZ'ye eklenmesi ve bu yolla kaplamanın sertliğinin ve taban malzemenin oksidasyon direncinin arttırılması daha uygundur.

2.4.3. Müllit (3Al₂O₃2SiO₂)

Müllit düşük yoğunluğu, yüksek sıcaklık dayanımı, ağır çevre ortamlarındaki korozyon direnci, düşük termal iletkenliği ve uygun mukavemet ve yorulma özellikleri göz önüne alındığında önemli bir malzemedir. SiO₂ ve Al₂O₃ fazlarından oluşan müllitin kimyasal kompozisyonu 3Al₂O₃2SiO₂ şeklindedir. YSZ ile karşılaştırıldığında, müllit daha düşük termal genleşme katsayısı, daha yüksek termal iletkenliğe sahip olup, oksijene dayanımı daha yüksektir. Dizel motorlar gibi yüzey sıcaklığının gaz türbinlerine oranla çeşitlilik gösterdiği durumlarda müllit zirkonyuma ya alternatif bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. 1273K sıcaklığının üzerinde müllitin termal çevrim sayısı YSZ malzemelerden çok daha kısadır. Müllit kaplamalarda 1023-1273 K sıcaklıkları arasında yeniden kristalizasyonun neden olduğu hacimsel daralma kökenli kaplamada çatlak

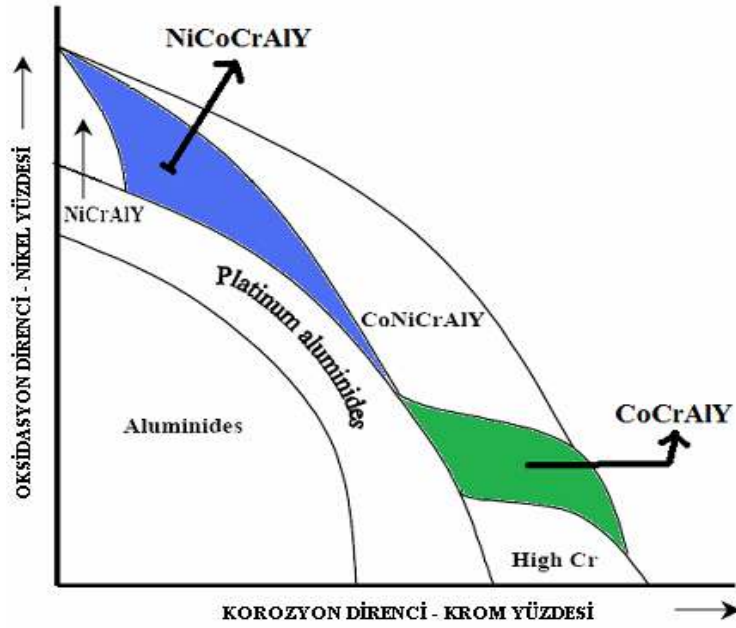
oluşumu ve bunun sonucu olarak bağların kırılması meydana gelir. Ancak, özellikle SiC esaslı taban malzemeler üzerine yapılan kaplamalarda SiC ile aynı termal genleşme katsayısına sahip olan müllit alternatifsiz bir kaplama malzemesi olmaktadır.

2.4.4. Bağlanma katmanı (MCrAlY)

Taban malzeme alaşım geliştirme çalışmalarının odaklandığı nokta, yüksek sıcaklıklara uyumlu mekanik özelliklerin geliştirilmesidir. Fakat bu yapılırken alaşım içerisindeki krom ve alüminyum yüzdelerinin azaltılması ile malzemenin kendisinin uzun süreli kullanım koşullarında korozyon ve oksidasyona karşı direncinin azalması kaçınılmaz olmaktadır ki; buda taban malzeme alaşımlarına koruyucu kaplamalar uygulanmasını zorunlu hale getirmektedir, ek olarak TGS sıcaklığındaki artış ihtiyacı da seramik kaplamaların uygulanmasını gerektirmektedir [29]. NiCoCrAlY ve NiCrAlY kompozisyonları şeklinde olabilen MCrAlY alaşımları uzay ve havacılık uygulamalarında kullanılan, yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksitlenme direnci yüksek olan malzemelerdir. Bağlanma tabakası olarak kullanılan bu tabaka yüksek bağlanma mukavemetini 1100 °C çevre koşullarında da korumaktadır. Taban malzeme alaşımlarının geliştirilmesinde yüksek dayanım, süneklik ve işlenebilirlik gibi mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanırken, oksidasyon ve yüksek sıcaklık korozyonu anlamında dayanım, kompozisyonel katkı anlamında taban malzeme geliştirme amaçları ile örtüşmemektedir. Taban malzeme alaşımı içerisindeki Krom oranının belirtilen bu gelişim aşaması içinde %15'den %3'civarına gerilemesi taban malzemedeki beklentinin değiştiğinin ve sorumlulukların paylaştırılması gerektiği düşüncesinin hâkim olduğunu göstermektedir. Taban malzeme alaşımı içerisindeki Krom yüzdesi alaşım geliştirme aşamasında malzemenin sünekliğini olumsuz etkilediğinden ötürü gerilemiştir, bundan kaynaklı korozyon direncindeki kayıp ise kaplama teknolojisinin sorumluluğuna bırakılmıştır. Örnek Şekil 2.7'de görülebileceği gibi olarak Al ve Cr'nin alaşım içindeki yüzdesi arttıkça oksidasyon ve korozyon direnci artarken mekanik özellikler istenilen sınırların dışına çıkmaktadır.

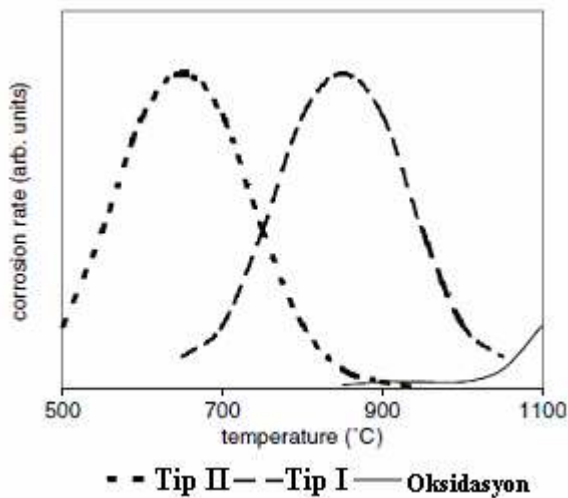
Korozyon ve oksidasyon dayanımı yüksek kaplamaların gelişimi için bahsedilen hasar mekanizmalarının hangi çevresel ve sıcaklık şartları altında geliştiğinin bilinmesi gerekir. 900 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda 1.Tip korozyon ve oksidasyon etkin

mekanizma iken 650-800 °C sıcaklıkları arasında 2.Tip adı verilen korozyon baskın mekanizmadır.



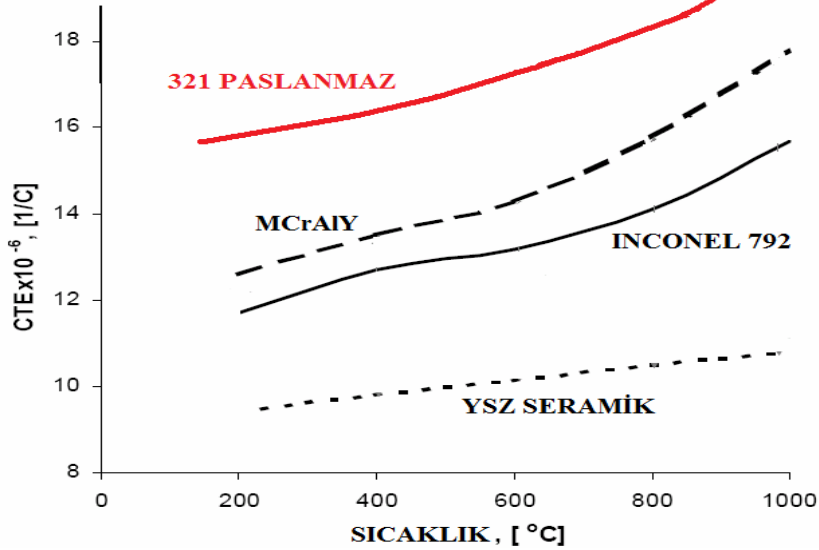
Şekil 2. 7. Alaşım elementleri oksidasyon ve korozyon ilişkisi[30].

Şekil 2.8’de bu mekanizmaların en etkin olduğu sıcaklıklar gösterilmiştir. Örneğin yüksek oranda Cr (%33) ve %6 Al içeren NiCrAlY bağlayıcı tabaka kompozisyonu; %15-22 oranında Cr ve %6’dan daha fazla Al içeren kompozisyondan daha iyi bir bağlayıcılık özelliği sağlayarak üst kaplamanın servis ömrünü uzatmaktadır. Bunun nedeni yüksek Krom içeriği kaplamanın korozyona yüksek alüminyum rezervleri ile de oksidasyona karşı direncinin artmasıdır.



Şekil 2. 8. Yüksek sıcaklık korozyonu, oksidasyon sıcaklık etkileşimi[31].

900 °C üzerindeki sıcaklıklarda oksidasyon etkin mekanizma iken Nikel, Al yüzdesinin arttırılması iyi sonuç vermektedir; fakat 650-800 °C sıcaklıkları arasında Kobalt (Co) ve Krom (Cr) yüzdesinin arttırılması daha başarılı sonuçlar vermektedir [29,30]. Oksidasyon ve korozyon dirençlerinin geliştirilmesine olumlu katkı yapan alaşım elementlerinin oranı belirli bir değerin üzerine çıktığı andan itibaren alaşımın sürünme dayanımında azalma görülmektedir. Malzemenin dayanımının ve yukarıda bahsedilen oksidasyon ve korozyon gibi çevresel etkilere karşı direncinin birlikte kazanılması için bu başlıklar birbirinden bağımsız ele alınmalıdır. Yükleme kapasitesi, dayanım, mukavemet ihtiyaçları geliştirilen taban malzemenin omzuna yüklenirken, çevresel etkilere karşı direnç Al, Ni ve Cr yüzdesi yüksek kaplamaların görev alanını oluşturmaktadır [27]. Zirkonyumun yüksek iyonik iletkenliğinden dolayı oksijen seramik tabakadan metalik yüzeye doğru kolayca girebilir ve bir oksit tabakası oluşturur. Bu oluşum termal olarak gelişmiş oksit (TGO: thermally grown oxide) olarak adlandırılır. Yeterli yüksek sıcaklık ve sıcak gaz korozyonu direncini garanti etmek için metaller, uzun süre boyunca TGO oluşumunu sağlayacak ve altlık alaşımında tükenmeye neden olmayacak kadar yüksek Al içeren bir tabakayla kaplanır. Burada amaçlanan Alüminyum rezervi olarak görev yapacak bir katman oluşturmaktır.



Şekil 2. 9. TBK malzemelerin termal genişleme eğrileri [30].

Şekil 2.9’de görüldüğü gibi, bağlanma katmanı olarak adlandırılan bu tabaka ayrıca paslanmaz çelik taban malzeme ile seramik arasındaki termal genleşme farklılığını azaltarak TBK ürünlerin servis ömrünü arttırmanın yanı sıra seramik katmanın yapışmasını sağlayacak pürüzlü bir yüzey oluşturmak gibi kendiliğinden gelişmiş bir görevi de üstlenir.

Bağlanma katmanı alaşımı, diğer oksitlere göre daha yüksek termal genleşme katsayısı, seramik ile iyi yapışma özelliği, düşük oksijen geçirgenliği ve kararlı faz yapısı özelliklerinden ötürü α -alümina oluşumunu sağlamak için ağırlık % 6.5’den büyük oranda Alüminyum barındıracak şekilde geliştirilmiştir.

3. BİTKİSEL YAĞLAR

3.1. Tütün Bitkisi

Tütün (*Nicotiana*), Solanaceae (patlıcangiller) familyasından *Nicotiana* cinsinden yaprakları sigara yapımında kullanılan bir yıllık otsu bitki türlerine verilen ad.

Haziran-Ağustos ayları arasında pembemsi renkli çiçekler açan, 0,75-1,5 m boylarında, bir yıllık kültür bitkisidir. Gövdeleri dik, silindir şeklinde, tüylü ve yapışkanlıdır. Yapraklar sapsız veya kısa saplı, büyük oval, tüylü ve yapışkan, özel kokulu ve acı lezzetlidir. Çiçekler tepede salkım durumunda bulunurlar.

Tüp şeklinde, pembemsi-kırmızı renkli, tüylü ve beş sivri dişli çiçeklere sahiptir. Meyveleri uzunca ve oval şekilli küçük tohumludur.

Amerikan Yerlileri (Kızılderililer) Avrupalılar kıtaya gelmeden önce tütün kullanmaktaydılar. İlk Avrupalı yerleşimciler tütün içmeyi Kızılderililerden öğrenerek tütünü daha sonra gittikçe popüler olacağı Avrupa'ya taşıdılar. Amerikan Yerlileri arasında tütün eğlence amacıyla değil ayinlerinde ve ancak deneyimli şamanlarınca dini gerekçelerle kullanmalarına karşın Avrupalılar tütünü eğlence ve vakit geçirme amacıyla yaygınlaştırdılar.

Tütün aynı zamanda Amerikanın güneyinin hızla sömürgeleştirilmesine de yol açmıştır. İlk sömürge yayılımının ardında tütün üretimini artırma isteği de bulunmaktaydı. Avrupalılar Amerika'ya getirdikleri zenci kölelerle açtıkları alanlarda tütün ekimi yapmaya başladılar. Tütün 1500 yıllarında Antillerden İspanyol gemicileri vasıtasıyla İspanya'ya ve oradan Avrupa'ya yayılmıştır. Anadolu'ya ise Osmanlı İmparatorluğu zamanında (1605) Venedikli tüccarlar tarafından sokulmuş ve kullanılışı kısa bir zamanda yayılmıştır.

Tütün bitkisi, kurutulmuş yaprakların yakılması ile ortaya çıkan dumanın içe çekilmesi veya tozlarının enfiye halinde buruna çekilmesi veya özel işlem görmüş yapraklarının çiğnenmesi suretiyle kullanılır. Tütün içme adeti, tütünün vatanı olan Amerika'da başlamıştır. Yerliler dini törenlerinde kokulu bitkilerle birlikte tütün yapraklarını tütsü olarak kullanmışlardır.

Dumanı teneffüs eden yerliler zamanla bu bitkinin keyif verici etkisini fark etmişler ve adi kamış ve bambudan yapılmış Y şeklinde bir borunun çatal kısmını burunlarına sokarak veya ağızdan üfleyerek dumanı içe çekmeye başlamışlardır. Böylece piponun en eski şekli ortaya çıkmıştır.

Kristof Kolomb'un Amerika'yı keşfine kadar Avrupa'nın tütünden ve tütün içme âdetinden haberi olmamıştır. Kolomb ve arkadaşları, kırmızı derili insanların kuru bir otu mısır koçanına sararak içtiklerini, ağız ve burunlarından duman çıkardıklarını ve yerlilerin buna “tabaco” veya “tombac” adını verdiklerini hayretle görmüşlerdir.

Tütün içme adeti, Amerika'yı keşfeden Portekiz'li ve İspanyol gemicilerin önce kendilerinin alışması ve daha sonra yanlarında diğer şehirlere götürmeleri sonucunda yaygınlaşmaya başlamıştır.

Gemilerin iki kıta arasında gidip gelmesi suretiyle İspanya, Portekiz ve diğer Avrupa şehirleri, tütünü ve içme adetini tanımışlardır. Meksika'nın “Tabasco” bölgesinde tütün tarımının yapıldığını gören İspanyollar, Küba'da tütün içme borusuna “tabaco” adının verildiğini duymuşlar ve “tabaco” adını kullanarak her gittikleri yerde bu adın yayılmasını sağlamışlardır [32].



Şekil 3. 1. Tütün bitkisi [32].

3.2. Soya Bitkisi

Soya (*Glycine max*), baklagiller (Fabaceae) familyasından 1 - 1,5 m boyunda, kısmen sarılıcı, dallanmış, bir yıllık, Çin ve Japonya'da geniş ölçüde ziraatı yapılan bir bitki. Dünya'nın başka yerlerine de dağılıp değer kazanması 20. yüzyıl'da gerçekleşmiştir. Tohumlarından sıvı yağ ve margarin hâlinde kullanılan yemeklik bir yağ çıkarılır.

Soya, kazık köklü bit bitkidir. Kuvvetli bir saçak kök sistemi mevcuttur. Kökleri genellikle 60-70 cm olmakla birlikte 2 metre olanları da görülmüştür. Bitki boyu 60-150 cm arasında değişir. Sapı 10-15 boğumdan oluşur. Soya yaprakları üç yaprakçıktan oluşur. 3,5 cm uzunlukta ve 1 cm kalınlıkta baklalara sahiptir. Bir soya bitkisi genellikle 35-40 baklaya sahipken seyrek ekimlerde bu sayı 200'ün bile üstüne çıkabilmektedir. Tohumlarının (tanelerinin) rengi yeşilin değişik tonlarından siyah, sarı ya da kahverengine varabilen alacalı renkte olabilir. Soya, %18-24 oranında yağ ve %35-45 oranında protein içerir. %30 karbonhidrat ve %5 oranında mineral, çok sayıda vitamin ve değerli aminoasitler içerir.

Soya bitkisi, farklı iklim bölgelerine uyumludur. Dünyanın pek çok yerince başarıyla yetişmektedir. Yine de en iyi verim Mayıs-Eylül ayları arasında sıcaklığın 25°C olduğu iklimlerde alınır. 18°C'nin altındaki ve 40°C'nin üstündeki sıcaklıklar soyanın gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Soya, çok kumlu topraklar hariç, değişik toprak türlerinde yetişebilir.



Şekil 3. 2. Soya bitkisi [33].

Soya fasulyesi 5000 yıl önce Doğu Asya ovalarında keşfedilmiş olup genetik orijin merkezi Çin ve Mançurya'dır. 11 ve 17. yüzyıllar arasında Doğu Çin'de yetiştirilmeye başlanan soya bitkisi zamanla Japonya, Vietnam, Filipinler, Tayland, Malezya, Nepal ve Hindistan'a yayılmıştır.

17. yüzyılın başında Avrupa'ya getirilmişse de verimli olarak yetiştirilememiştir. 1804'te ABD sınırlarında yetiştirilmeye başlanmıştır. 1919-1924 yılları arasında ABD'de 8

eyalette birden soya ekimi yapılmış ve zamanla 26 eyalete yayılmıştır. Günümüzde de soya tarımı en çok ABD'de gelişmiştir.

Soyanın Türkiye'ye gelişi ise 1930'larda gerçekleşmiştir. 1982 yılında ise Bakanlar Kurulu kararı ile üreticiye teminat verilmeye başlanmıştır. Adana ve Osmaniye illeri Türkiye'deki soya üretiminin %80-85'ini karşılamaktadır.

Soya, dünyayı besleyen 5-6 bitkisel üründen birisidir. Proteince zengin olup oldukça besleyicidir. Dünya'da en fazla üretilen ve tüketilen yağ soya yağı, yem sanayisinde en fazla kullanılan hammadde ise soya küspesidir. Sütü, peyniri, sosu, dondurması, eti vb. pek çok ürün üretilmektedir. Toprağa azot kazandırarak kendisinden sonra ekilecek bitkilerin verimini arttırır. Soya bitkisi, ayrıca biyoyakıt üretiminde de yoğun olarak kullanılır.

Soyanın insan sağlığına faydalı mı yoksa zararlı mı olduğu tartışılmıştır. Soyanın insan sağlığına pek çok faydası olduğu gibi bazı zararlarının da olduğu iddia edilmiştir. Besleyici olması ve doymuş yağ içeren hayvansal proteinlere alternatif olması nedeniyle oldukça faydalıdır. Sağlıklı bir beslenme için kadınlar günde 46 gram, erkeklerse günde 56 gram protein tüketmelidir. Bu protein ihtiyacı soyadan sağlanabilir. Soya, omega-3 yağları, çoklu doymamış yağ, B vitamini, demir, çinko, anti-oksidanlar, fotokimyasallar ve lif bakımından zengin olup insan sağlığına yararlıdır. Vejetaryenler için mükemmel bir protein kaynağıdır.

Soyanın bazı yönlerden insan sağlığına zararlı olduğu iddia edilmişse de bu konuda kesin bir kanıt bulunmamaktadır. Bu iddialardan birisi, soyanın meme kanserini tetiklediği iddiasıdır. Soyanın içindeki östrojen hormonuna benzer etkideki maddeler meme ve endometrium kanserini tetikleyebilmektedir. Fakat bu etki zaten başka tür kanser yaşayan hastalarda görülmektedir. Üstelik bunun için "bol" miktarda tüketim gerekmektedir.

Bir başka iddia da hamilelikte soya tüketiminin çocukların ilerideki yaşamında cinsel olumsuzluklara maruz kalabileceğidir. Soya fasulyesinde genistein adlı bir fitoöstrojen madde bulunmaktadır. Bu madde kanser yapabildiği için hamilelere ve bebeklere tavsiye edilmemektedir. Öte yandan bu konudaki bilimsel çalışmalar yeterince doğrulanmış değildir [33].

3.3. Badem Bitkisi

Badem (*Prunus dulcis*), gülgiller (Rosaceae) familyasının Prunoideae alt familyasından meyvesi yenebilen küçük bir ağaç türü. Badem bu ağacın meyvesidir. Şeftali ile birlikte *Prunus*'un alt cinsi *Amygdalus*un içinde yer alır.

Prunus cinsinin diğer üyelerinin (örneğin erik ve kiraz) aksine meyve tatlı, etli dış çevreye sahip değildir. Bunun yerine derimsi bir örtü ile kaplıdır ve bunun içinde, sert bir kabuk ile kaplı, yenilebilir çekirdek kısmı bulunur. Bu kısım *kuru yemiş* olarak tüketilir.

Ağaç güneybatı Asya'ya özgüdür. Kültüre alınmış formu İngiliz adalarına kadar kuzeyde yetiştirilebilir. Küçük bir ağaçtır, 4-9 m uzunluğuna ulaşır. Mızraksı yapraklar yaklaşık 6-12 cm uzunluğunda olup kenarı dişlidir. Çiçekler genelde beyaz veya açık pembe, 5 taç yapraklı ve 3-5 cm çapındadır. Yapraklardan önce erken ilkbaharda açar.

Bademin yabani formu Bölgesi'nde Suriye, Lübnan, İsrail ve Ürdün'de yetişir. Bademler tarımsal olarak ilk kez burada yetiştirilmiş olmalıdır. Yetiştirilme ve kültüre alınmasından önce, yabani bademler yiyecek olarak toplanır ve büyük ihtimalle toksisitelerini kavurma benzeri yollarla arındırılırlardı. Kültürü alınmış bademler Yakın Doğu'da Erken Tunç Çağı'nda (ya da kısa bir süre daha öncesinde) ortaya çıkmışlardır. Arkeolojik açıdan badem, Tutankhamon'un kabrinde (yaklaşık M.Ö 1325) bulunan meyvelerdendir.

Global badem üretimi yaklaşık 1,5 milyon tondur. Yunanistan, Çin, İran, İtalya, Fas, Portekiz, İspanya, Suriye, Türkiye ve ABD ana üreticilerindendir.

Sıcak, ılık iklim ister, kurağa çok dayanır. Nemli havadan, soğuk rüzgardan hoşlanmaz. İlkbaharda erken çiçek açtığı için, geç gelen kurağılarda çiçekleri donar, meyve yapamaz.

Badem daha çok aşıyla yetiştirilir. Bazı çeşitleri tohumla da ürer. Fidanlar 3-4 yaşında meyveye yatar. 40-50 yıl ömrü vardır. Olgunlaşan meyvelerin dış kabuğu kurur ve açılır. Kendiliğinden yere düşenler toplanır.

Badem çeşitleri:

- Dış bademi: Yarı yumuşak kabukludur. Meyvesi iri; kabuğu delikli, kalınca yumuşak ve sarıdır. Dişle kolay kırılır. İçi yassı, geniş ve tatlıdır. Eylül'de olgunlaşır.

- Taş bademi: Meyvesi orta iri, kabuğu sarı ve serttir. Zor kırılır. İçi dolgun, tatlı ve dayanıklıdır. Ekimde olgunlaşır.
- Nurlu bademi: İlk olarak 80'li yıllardan sonra badem üretimiyle Datça yarımadasının uç bölgelerinde bulunmuştur. Kabuğu sert, meyvesi bilinen örneklerden daha iri ve tatlıdır. Ağustosta diğer cinslerine göre 15 gün geç olgunlaşır.
- Gababağ: Nurlu bademinden daha küçüktür ve görüntüsü şeftali çekirdeğini andırmaktadır. Ağustosta olgunlaşır.
- Acıpayam: Meyvesi daha küçük ve şeftali çekirdeği gibi acıdır. Genellikle badem yağı üretiminde kullanılır. Ağustosta olgunlaşır.
- Şeytan payamı: Çok küçük olması ve meyvesi çıkarılırken kabuğunu kıran kişiyi çok uğraştırması sebebiyle bu ismi almıştır. Fındık büyüklüğündedir ve tatlıdır. Ağustosta olgunlaşır.

Çağlası, meyve içi çerez olarak yenir; şekerlere, pastalara konur. Ayrıca ikisi arasında taze iç badem olarak da tüketilmektedir. Yağı sanayide kullanılır. Bademin bileşiminde %54 yağ, %16,9 nişasta vardır. Madensel tuz ve vitamince zengindir.

Tatlı badem tohumlarında az miktarda protein, demir ve kalsiyumla birlikte yüksek oranda yağ bulunur. Badem yağı cilde ve saçlara iyi gelir. Antioksidan e vitamini yönünden oldukça zengin olan badem bu özelliği ile yaşlılık etkilerinden ve pek çok hastalıktan koruyucudur. Özellikle de çocuklar için sağlık deposudur. Acı badem ağız yoluyla alındığında göğüs yumuşatıcı, öksürük kesici etkisi olmakla birlikte yüksek dozda alındığında zehirlenme etkisine sebep olacağı için çok dikkatli olunmalıdır.

Yeterli miktarda karbonhidrat, doymamış yağ, lif, fosfor, kalsiyum, demir, potasyum, magnezyum, çinko, A, B, C ve E vitamini bulunur. Yarım çay bardağı badem günlük manganez ihtiyacının yüzde 45'ini, bakır ihtiyacının yüzde 20'sini karşılar.

Badem iyi bir antioksidan olan, immün sistemi destekleyen E vitaminin ve manganezin iyi bir kaynağıdır. Badem ayrıca magnezyum, bakır, riboflavin (B2) ve fosforun da iyi kaynaklarıdır.

İçeriğinde bulunan yağlar kilo vermeyi kolaylaştırır ve tok tutar, ara öğünlerde 10-15 adet badem tüketilebilir. İspanya'da yapılan, Obesity dergisinde yayımlanan, 28 ay süren ve 8865 yetişkin erkek ve kadın üzerinde uygulanan bir çalışmada, haftada en az iki kez badem tüketen kişiler hiç tüketmeyenlere göre yüzde 31 daha fazla kilo kaybetmiştir [34].



Şekil 3. 3. Badem bitkisi [34].

3.4. Bitkisel Yağların Yakıt Özellikleri

Mevcut dizel yakıtına benzer özellik gösteren biyodizel, dizel motorlarında bazı değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilir. Biyodizel, direk olarak motorin yerine kullanılabilir gibi, mevcut motorin yakıtıyla belli oranlarda karışım oluşturarak da kullanılabilir. Biyodizel yakıtı, petrol kökenli yakıtlara göre daha az emisyon üretir, kükürt içermez.

Dizel motorlarında hava-yakıt karışımı yanma odası içinde gerçekleştirilmekte, dolayısıyla karışım oluşturma yanma verimini ve motor performans parametrelerini etkileyen bir işlem olmaktadır. Biyodizelin içerdiği oksijen miktarı, motorinle karşılaştırıldığında %11 oranında daha fazla olduğu için biyodizel kullanımında karışım oluşumu daha iyi olmakta, bunun sonucunda egzoz emisyonlarında azalma görülmektedir [35].



Şekil 3. 4. Saf tütün yağı ve dizel yakıtı



Şekil 3. 5. Saf soya yağı ve dizel yakıtı



Şekil 3. 6. Saf badem yağı ve dizel yakıtı

Tablo 3. 1. Bitkisel Yağların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [36].

Bitkisel Yağ	Isıl Değer Kj/kg	Kinematik Viskozite mm ² /sn (40 °C)	Yoğunluk (15°C)	Parlama Noktası °C	Akma Noktası °C	Bulutlanma noktası	% C
Yer fıstığı	39964	22.72	0.8880	198	-6	0	70.002
Pamuk	39173	27.02	0.8830	218	-17	-1	72.7005
Aspir	39772	28.33	0.9050	226	-14	-2	67.2242
Kanola	40123	31.23	0.9030	234	-30	-14	72.3939
Susam	39445	25.78	0.8990	245	-10	1	68.9628
Keten	39552	26.61	0.9180	226	-30	-6	67.2569
Soya	40115	28.08	0.9050	242	-18	-4	71.2397
Ayçiçeği	39827	31.52	0.9060	262	-18	-7	53.9418

3.4.1. Viskozite

Sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları dirençtir. Sıvıların kalın ya da ince oluşunu sayısal olarak ifade eden bir göstergedir. Sıcaklık arttıkça bir sıvının viskozitesi azalır. Sıvılar ısıtıldıkça daha kolay akar. Bir viskozite değerinin anlam ifade edebilmesi

için daima hangi sıcaklıkta olduğunun belirtilmesi gerekir. En çok kullanılan viskozite birimleri: Centistoke cSt. (santi stok) mm²/s., Engler derecesi, Centipoise cp (santipual), Redwood seconds, Saybolt Seconds.

Dizel motorlarında kullanılan yakıtın viskozitesinin yüksek olması istenmeyen bir durumdur. Yüksek viskoziteye sahip bir yakıt enjektörden daha iri tanecikler halinde püskürtülür. Dolayısıyla iyi atomize olmamış bir yakıt yanmanın kötüleşmesine ve dolayısıyla motor performansının azalmasına sebebiyet vermektedir. Bununla beraber yüksek viskoziteli bir yakıtta pompa plancırına yeteri kadar yakıt dolmadığından motorun hacimsel verimi düşmekte ve sonuç olarak motor gücü ve momentinde bir azalma meydana gelebilmektedir.

Kinematik viskozite; bir akışkanın yer çekimi etkisi altında, akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Belirli bir hidrostatik kolon basıncı altında yerçekimiyle akış, sıvının kolon basınç yoğunluğu (ρ) ile orantılıdır. Herhangi bir viskozite için, belirli bir hacimdeki sıvının akış süresi, sıvının kinematik viskozitesi (ν) ile doğrudan orantılıdır. [37].



Şekil 3. 7. Viskozite lm cihazı [37]

Kinematik viskozite sınır uluslararası standartlardaki değerleri aşığıdaki gibi belirlenmiştir [37].

Tablo 3. 2. Uluslararası standartlarda viskozite için verilen sınır değerleri [37].

ASTM	D6751	mm ² /s	1.9–6.0
DIN	E51606	mm ² /s	3.5–5.0
Pr EN	14214	mm ² /s	3.5–5.0

3.4.2. Yoğunluk

Yoğunluk, biyodizel için önemli parametrelerden birisidir. Yoğunluğun yüksek çıkması, prosten gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığının göstergesidir [37].

Bitkisel kökenli yağlardan elde edilen biyodizel yakıtların yoğunlukları dizel yakıtına yakın olmakla birlikte biraz daha fazladır. Biyodizellerin motorine göre daha yüksek yoğunluğa sahip olması nedeniyle pompadan gönderilen yakıt miktarı azalmakta sonuç olarak motorun hacimsel veriminde bir düşüş görülmektedir. Uluslararası Standartlarda yoğunluk için verilen sınır değerler aşağıda verilmiştir.

Tablo 3. 3. Uluslararası standartlarda yoğunluk için verilen sınır değerleri [37].

ASTM	D6751	kg/m ³	860–900
DIN	E51606	kg/m ³	875–900
PrEN	14214	kg/m ³	860–900

Yoğunluk ölçme cihazı (Petrotest) ile otomatik sıcaklık kontrollü banyoda, 15 °C’de yapılan, soya metil ester analizlerinde elde edilen yoğunluk değeri 884 kg/m³’tür [37].



Şekil 3. 8. Yoğunluk ölçüm cihazı (petrotest) [37]

3.4.3. Setan Sayısı

Bir yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren ölçüdür. setan sayısı dizel motorlarında yanmanın seyrine etki eden en önemli parametrelerden biridir. Yakıtın vuruntuya karşı direncini gösterir. Oktan sayısı gibi ölçülebilen bir özelliktir. Setan sayısı yüksek olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi periyodu kısalmır ve sonuçta yanma düzenli bir şekilde devam eder. Setan sayısı düşük olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi safhası uzar. Dolaysı ile bu safhada püskürtülen yakıt miktarı da artar. Yanmanın başlaması ile birlikte bu safhada püskürtülen yakıtın tamamı bir anda yanma başlar. Sonuç olarak silindir içerisinde ani bir basınç artışı meydana gelir. Bu ani basınç artışı motor parçalarına etki ederek motorun gürültülü çalışmasına ve yanmanın kötüleşmesine sebebiyet vermektedir. Bu durumu Dizel Vuruntusu adı verilmektedir. Sonuçta vuruntulu çalışan bir motorda; güç kaybı, ilk harekette zorlanma, karbon birikintisi, motorun geç ısınması, fazla yakıt tüketimi gibi aksaklıklar meydana gelebilmektedir.

3.4.4. Bitkisel Yağların Isıl Değerleri (Yanma Isısı)

Bir yakıtın ısı değeri ne kadar yüksek ise yakıttan yanma sonucu elde edilebilecek enerji miktarı da o kadar artar[37].

Genel olarak bitkisel yağlardan elde edilen biyodizellerin ısı değeri petrol türevi dizel yakıtından daha düşüktür. Bu nedenle biyodizel kullanımında aynı gücü elde edebilmek için tüketilen yakıt miktarı daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Biyodizel yakıtlarının ısı değerinin motorine nazaran daha düşük olması ayrıca motorun termik veriminin düşüş göstermesine sebebiyet vermektedir. Aynı motor şartları altında biyodizelin güç ve torku daha düşüktür[38].

3.4.5. Akma ve Bulutlanma Noktaları

Akma noktası yakıtın akmaya devam edebildiği en düşük sıcaklık noktasıdır. Bulutlanma noktası ise yakıtın jelleşmeye başladığı noktayı ifade eder. Akma ve bulutlanma noktaları yakıtın soğuk iklimlerde kullanılabilirliği hakkında bize fikir verir. Bazı biyodizel yakıtlarda akma ve bulutlanma noktaları motorine göre daha yüksektir. Bu durum bu yakıtların kullanımında özellikle kış aylarında olumsuz etkileyebilmektedir. Akma ve bulutlanma noktası tayin cihazı ile yapılan, soya metil esteri analizlerinde, -8 °C’de akıcılığını kaybetmeye başladığı tespit edilmiştir [39].



Şekil 3. 9. Akma ve Bulutlanma noktası ölçüm cihazı (Petrotest) [37].

Deney numunesi, belirlenmiş standart şartlar altında soğutulduğunda parafin kristallerinden oluşan bir sisin gözlemlendiği ilk sıcaklıktır. Analiz metodunda numune belirli bir hızda soğutulur ve belirli aralıklarla gözlenir. Deney tüpünde ilk sisin ilk gözlemlendiği

sıcaklık bulutlanma noktası olarak kaydedilir [37].

3.4.6. Akış Özellikleri

Biyodizel motorinden daha yüksek akma noktasına sahiptir. Bu durum yakıtların soğukta, kullanımında problem çıkarmakta ve dolayısıyla motorun düzensiz çalışmasına sebebiyet vermektedir.

Soğuk akış özelliği iyi olmayan yakıt kullanımı, motorun yakıt beslenme elemanlarına hasar verir. Ayrıca motorda ilk hareket problemleri oluşur [40].

3.4.7. Parlama Noktası

Parlama noktasının yanma üzerine herhangi önemli bir etkisi yoktur. Ancak yakıtın depolama ve taşınma emniyetini gösteren bir özelliktir. Parlama noktası petrol kökenli motorine nazaran çok daha yüksek olan biyodizellerin taşınma ve depolanmaları sırasında emniyetlidirler. Parlama noktası bir sıvının bir alev cephesiyle karşılaştığında alev almaya başladığı noktadır. Parlama noktasının minimum uluslararası standartlardaki değerleri Tablo 3.4’te görülmektedir [37].

Tablo 3. 4. Uluslararası standartlarda parlama noktası için verilen sınır değerleri [37].

ASTM	D6751	min°C130
DIN	E51606	min°C100
prEN	14214	min°C120

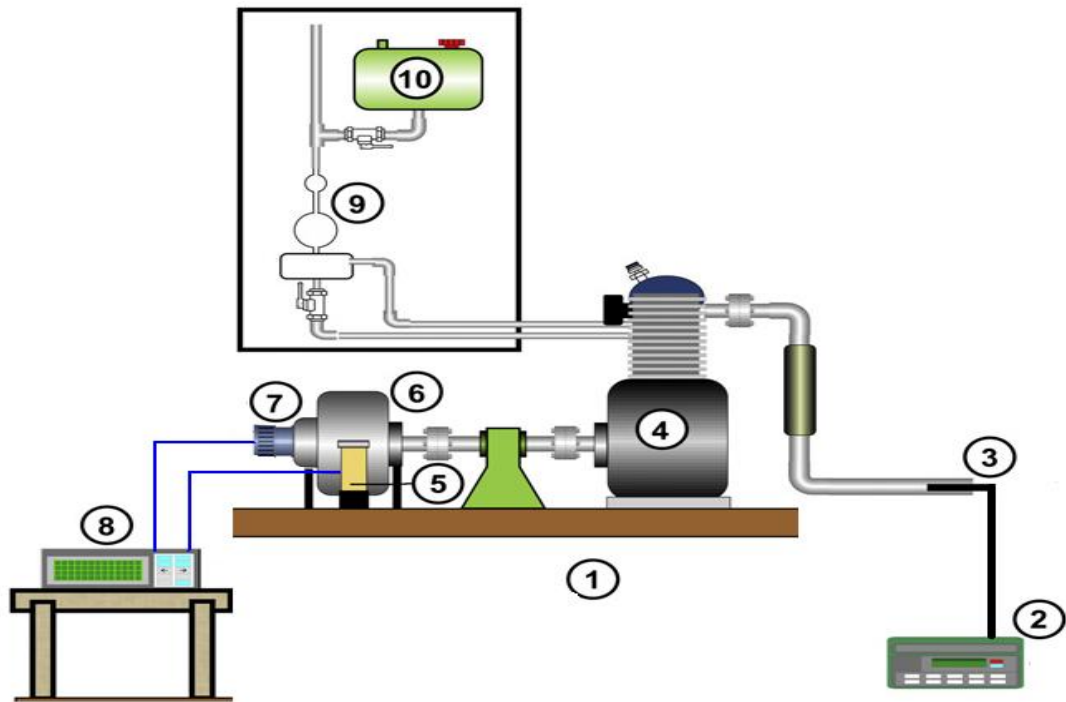
3.4.8. İyot Sayısı

İyot sayısı bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında hasarın meydana gelmesine sebep olmaktadır. DIN 53241-1’ e göre limit değer 100 – 120 g/100g olarak belirlenmektedir [40].

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Deneylerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri

Deneyler, Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deneyler için, maksimum gücü 10 HP, silindir hacmi 406 cc, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Rainbow marka bir dizel motoru kullanılmıştır.



Şekil 4. 1. Deneylerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometrenin şematik görünüşü

- 1) Motor Test Yatağı Şasisi 2) Egzoz Emisyon Cihazı 3) Gaz Analiz Cihazının Sondası 4) Tek Silindirli Dizel Motoru 5) Yük Ayarı 6) Dinamometre 7) Takometre 8) Kontrol Ünitesi 9) Yakıt Ölçüm Ünitesi 10) Yakıt Tank

Deney Motoruna ait teknik özellikler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4. 1. Deney Motorunun teknik özellikleri

Markası	Rainbow–186 Dizel
Püskürtme sistemi	Direkt püskürtmeli
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	406 cc
Sıkıştırma oranı	18/1
Maksimum moment	25.21 Nm (1800 d/d'da)
Maksimum güç	10 HP
Maksimum motor devri	3600 d/d $\pm$ 20
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Püskürtme basıncı	19.6 $\pm$ 0.49 Mpa (200 $\pm$ 5 Kg/cm ²)
Ortalama piston hızı	7.0 m/sn (3000 d/d'da)

Deney motorunun piston başı, emme ve egzoz supaplarının yüzeyleri ZrO₂ seramik malzeme ile kaplanmıştır. Bu yöntemle deney motoru düşük ısı kayıplı bir motora dönüştürülmüştür. Kaplanmış ve kaplanmamış motor parçalarına ait resimler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Mikro yapı incelemeleri için pistonun kesit yönünden çeşitli görüntülerde SEM (Scannig Electron Microspe) görüntüleri alınmıştır.



Şekil 4.2. Motor parçalarının kaplanmış ve kaplanmamış haldeki resimleri



Şekil 4. 3. Motor parçalarının kaplanmış haldeki resimleri

4.2. Motor Test Cihazı (dinamometre)

Tablo 4. 2. Motor test cihazının teknik özellikleri

Fren Modeli	BT-140
Maksimum frenleme gücü	50 HP
Maksimum devir	7000 d/d
Maksimum moment (Tork)	250 Nm
Yük hücresi kapasitesi	1000 N
Maksimum güç için su sarfıyatı	V maks. 0,75 m ³ /h
Fren suyu basıncı	1–2 Kg/cm ²
Fren kontrol tipi	Kayıcı fan perdeleri ile
Ağırlık sistemi	Metrik-Elektr. Yük Hücresi
Fan adedi	1
Elektrik ihtiyacı	220/380 V. 50 Hz.
Dönüş yönü	Sağ dönüşlü

Motor deneylerinde BT–140 model, maksimum gücü 50 KW, maksimum devri 7500 d/d olan hidrolik bir dinamometre kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motor test cihazının teknik özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4. 4. Deneylerde kullanılan BT-140 model hidrolik dinamometre

Motor test standı (Bremze) kontrol cihazının teknik özellikleri tablo.4.3’de verilmiştir. İzleme cihazının üzerinde motor devrini rpm(d/dak.) cinsinden, motor gücünü beygir gücü (HP) ve motor momentini kg.m olarak gösteren ekranlar mevcuttur. Ayrıca motora uygulanan yük kademeli olarak %10’ar dilimler halinde değiştirilebilmektedir. Böylelikle motora uygulanan yük azaltılıp artırılabilir.

Tablo 4. 3. Motor test tezgâhı (bremze) izleme/kontrol cihazı teknik özellikleri

Modeli	PC101BMS
Doğruluk sınıfı	% 0.2
Hassasiyet	± 1 Digit
Ölçüm hızı	5 ölçüm / saniye
Ağırlık ölçüm tipi	Lineer (Yük Hücresi-Load-Cell)
Devir ölçüm giriş tipi	Manyetik algılayıcı
Güç sarfıyatı	16 W
Çalışma ortam sıcaklığı	0-50° C
Çalışma gerilimi	220± %5 VAC
Çıktı	Döküm almak için paralel yazıcı bağlı

4.3. Yakıt Tüketimi Ölçüm Düzeni

Yakıt tüketimi ölçüm cihazı ile yakıt tüketim değeri olarak bir saatlik yakıt tüketimi alınmaktadır. Yakıt tüketimi değişimlerini incelerken, büyüklükleri farklı olan motorlarda saatlik yakıt tüketiminden gidilerek, karşılaştırma yapılmaz. Bu amaçla, saatlik yakıt tüketiminin motor gücüne oranı olan özgül yakıt tüketimi değerlerinden yararlanılır. Hacim ölçülmesinde en basit yöntem, bir kap içerisinde hareket eden yakıt yüzeyinin iki ölçü çizgisi arasından geçme süresinin kronometre ile saptanmasıdır. Bu süreden hareket edilerek, saatlik yakıt tüketimi l/h olarak bulunur. Bu değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak, kg/h olarak yakıt tüketimi belirlenir.

Yakıt ölçüm düzeninde 50 ve 100 ml hacminde olan bölmelerdeki yakıtın harcama zamanı kronometre ile saptanarak ilgili bağıntıdan özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.



Şekil 4. 5. Yakıt tüketimi ölçüm ünitesi

4.4. Gaz Analiz Cihazı

Badem, Tütün ve Soya yağından elde edilen B15, B35, B65 ve D2 yakıtların yanması sonucu oluşan atık gazların analizi için Şekil.4.4'te görülen CAPELEC CAP 3200 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4. 6. Gaz analiz cihazı

Tablo 4. 4. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri

Parametre	Ölçme Aralığı	Hassasiyet
HC	0-20000 ppm	1 ppm
CO ₂	%0-20	%0,1
CO	%0-15	%0,001
O ₂	%0-21,7	%0,01
Lambda	0,6-1,2	0,001
NO _x	0-5000 ppm	1 ppm

4.6. Deneyin Yapılışı

Deneye başlamadan önce yakıt enjektör püskürtme basıncı, püskürtme avansı ve supap ayarlarının motorun katalog değerlerine uygun olduğu tespit edilmiştir. Motor deneylerine başlamadan önce yağlama yağı ve hava filtresi değiştirilmiştir.

Deney sırasında alınan veriler motor çalışma sıcaklığına (85–90 °C) ulaştıktan sonra kaydedilmiştir ve deney süresince bu sıcaklıkta tutulmuştur. Yeni bir deneye başlamadan önce motor soğumaya ve dinlenmeye bırakılmıştır. Ayrıca bir önceki deneyde test edilen yakıtın tamamen tükenmesi için motor stop edene kadar çalıştırılmaya devam edilmiş ve daha sonra yakıt deposu yeni yakıt ile doldurulmuş böylece deneylere başlanmıştır. Deneyler önce kaplanmış motorda, dizel yakıtı (D2) ve soya, badem ve tütün yağlarının B15, B35 ve B65 yakıt karışım oranları için sırasına göre yapılmıştır. Daha sonra kaplanmamış motorda testler, aynı yakıtlar ve aynı sırada kullanılmıştır. Her bir

deney 3 defa tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları değerlendirmeye alınmıştır. Bütün yakıtlar için motor performansı ve egzoz emisyonlarının tespitinde motor tam gaz ve 1200, 1700, 2100 ve 2500 d/d motor devirlerde gerçekleşmiştir.

4.7. Hesaplanan Büyüklükler

4.7.1. Motorun Döndürme Momenti

Motorun döndürme momentinin hesaplanmasında aşağıdaki denklem (4.1) kullanılmıştır.

$$Md = \frac{9549 \cdot Pe}{n} \quad (4.1)$$

Md = Döndürme momenti (Nm)

Pe = Efektif güç (kW)

n = Motorun devir sayısı(dev/dk)

4.7.2. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi deney sırasında tüketilen yakıt miktarının hesaplanan güce oranıdır. Özgül yakıt tüketiminin hesaplanmasında aşağıdaki denklem (4.2) kullanılmıştır.

$$be = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot 3600}{Pe} \quad (4.2)$$

be = özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

$\dot{V}$ = Saniyede geçen yakıt hacmi(cm^3/sn)

ρ = Yakıtın yoğunluğu (g/cm^3)

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

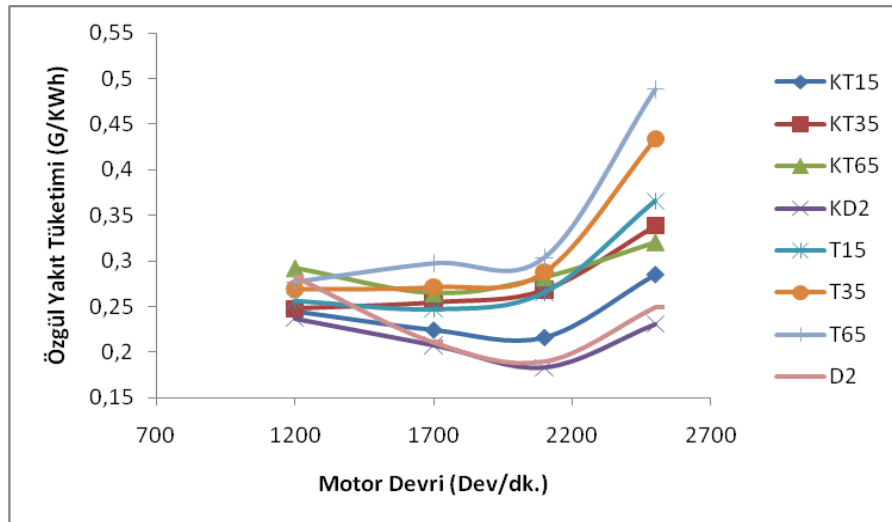
5.1. Motor Performansı

5.1.1. Özgöl Yakıt Tüketimi

Özgöl yakıt tüketimi bir motorda kütleli yakıt tüketiminin aynı koşullarda elde edilen motor gücüne bölünmesi ile elde edilir. Başka bir deyişle özgöl yakıt tüketimi kwh başına tüketilen yakıt miktarıdır.

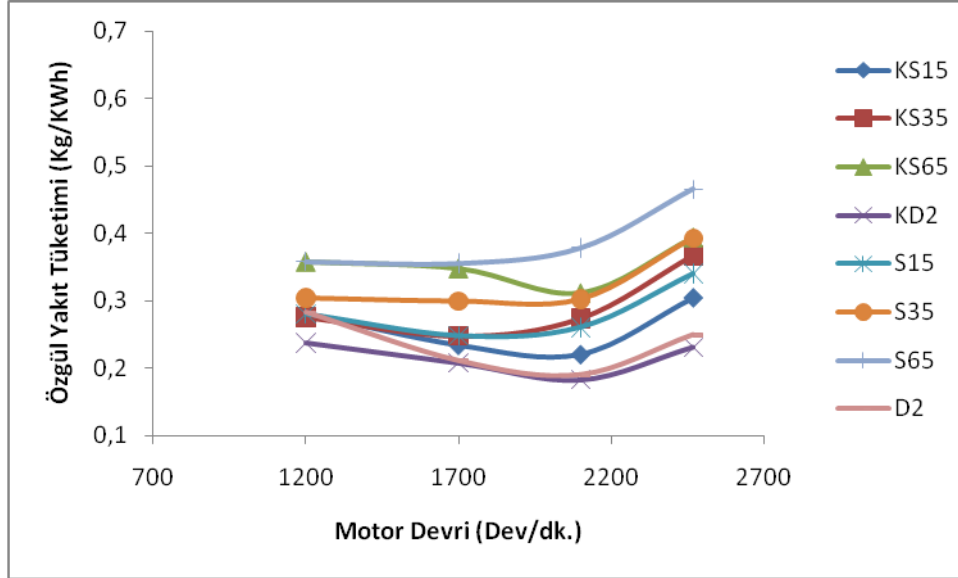
Deney yakıtları olan Badem, Tütün ve Soya yağlarının dizel yakıtı ile karışımları ve dizel yakıtlarının kaplamalı ve normal bir dizel motorunda test edilmesi ile elde edilen özgöl yakıt tüketimleri değerleri Şekil 5.1., Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'de verilmiştir.

Şekillerde görüldüğü gibi bütün deney yakıtları için elde edilen özgöl yakıt tüketimi değerleri motorun orta devirlerinde en düşük değerini almış ve motor devrinin yükselmesiyle beraber tekrar yükselmiştir. Deney yakıtları karşılaştırıldığında hem kaplamalı hem de normal motorda en düşük özgöl yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtının kullanımda elde edilmiştir. Bunun nedeni özgöl yakıtının ısı değeri bitkisel yağlardan daha yüksek olması nedeniyle aynı motor gücünü verebilmesi için daha fazla kütleli yakıt tüketimi gerektirmesidir.



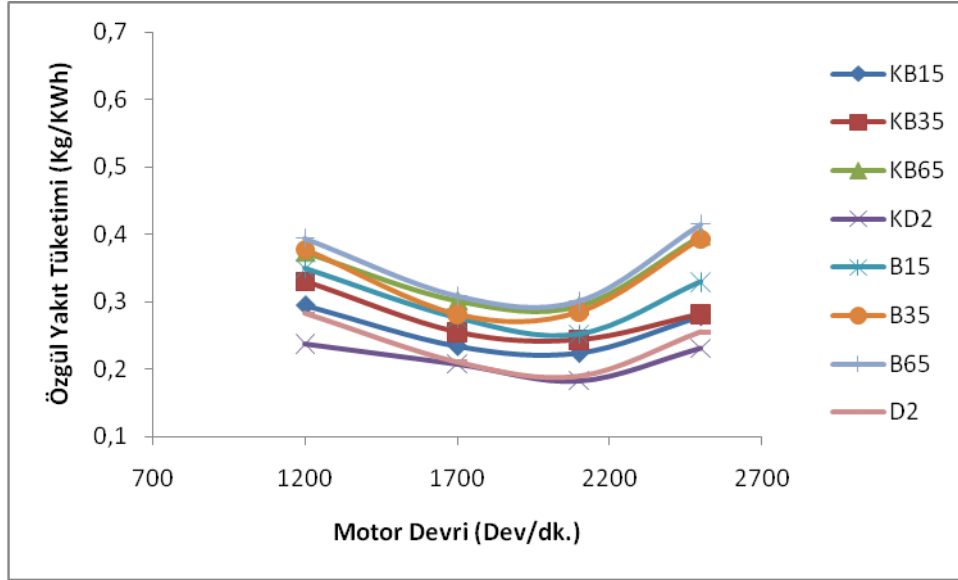
Şekil 5. 1. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre özgöl yakıt tüketimi değişimleri

Tütün yağının kaplamalı ve normal motorda özgül yakıt tüketimdeki yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motorda KD2’de % -7,98, KT15’te % -14,63, KT35’te % -12,26 ve KT65’te ise % 15,44 azaldığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. 2. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre özgül yakıt tüketimi değişimleri

Soya yağının kaplamalı ve normal motorda özgül yakıt tüketimdeki yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % -7,98 , KS15’te -7,70, KS38’te % -10,40 ve KS65’te % -9,31 azaldığı Şekil 5.2 grafiğinde görülmektedir.



Şekil 5. 3. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre özgül yakıt tüketimi değişimleri

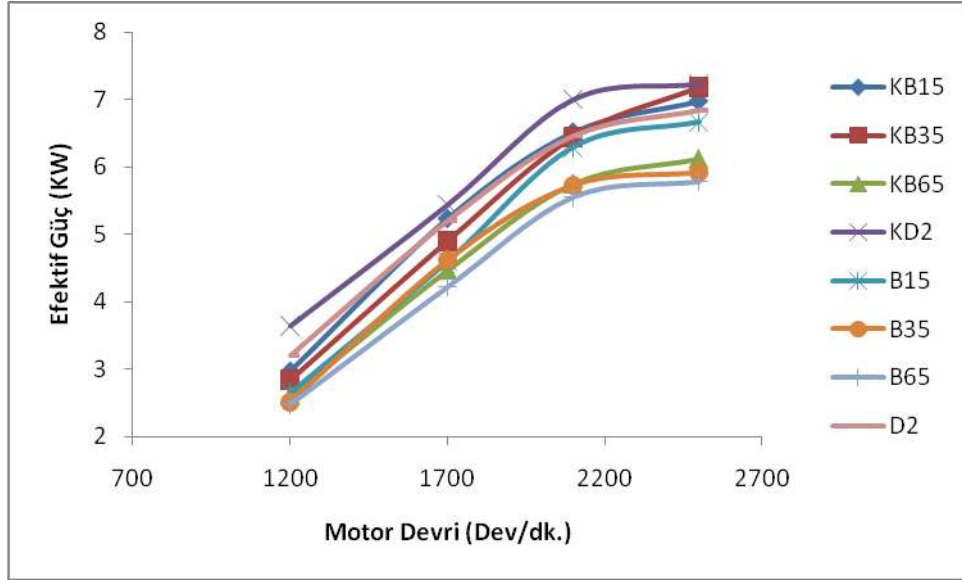
Badem yağının kaplamalı ve normal motorda özgül yakıt tüketimdeki yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % -8,55, KB15’te %-14,43 , KB35’te % - 17,03 ve KB65’te ise % -3,64 azalış olduğu tespit edilmiştir.

Kaplamalı ve normal motor karşılaştırıldığında motorun kaplanmasıyla beraber ısı verimin artmasından dolayı özgül yakıt tüketimi değerlerinde bir azalma görülmüştür.

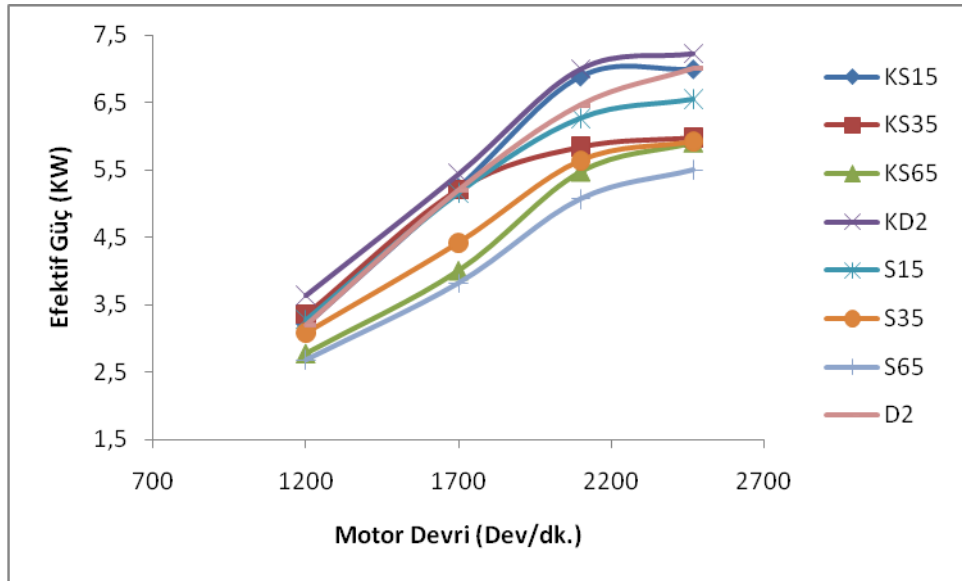
Bitkisel yağ kökenli deney yakıtları karşılaştırıldığında Tütün yağının diğer bitkisel yağ kökenli deney yakıtlarında daha düşük özgül yakıt tüketimi değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

5.1.2. Efektif Güç

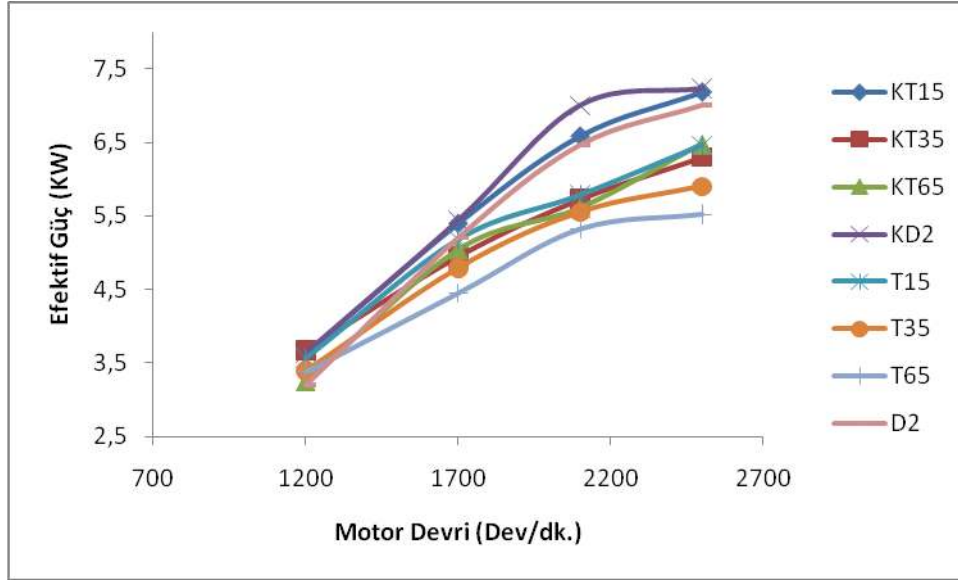
Deney yakıtları olan Badem, Tütün ve Soya yağlarının dizel yakıtı ile belirli oranlardaki karışımlarının ve dizel yakıtının kaplamalı ve normal bir dizel motorunda kullanımları ile elde edilen güç değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.4, Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'te verilmiştir.



Şekil 5. 4. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre efektif güç değişimleri



Şekil 5. 5. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre efektif güç değişimleri



Şekil 5. 6. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre efektif güç değişimleri

Elde edilen veriler tam yükte ve değişik devirlerdeki deneylerden elde edilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi dizel yakıtı dahil bütün deney yakıtlarının kullanımında elde edilen güç değerleri devir sayısının artması ile beraber artış göstermiştir. Ancak çok yüksek devirlerde tekrar azalma eğilimine geçmiştir. Devir sayısındaki artış ile beraber motor gücündeki artışın nedeni birim zamanda gerçekleşen çevrim sayısının artması ve birim zamanda tüketilen yakıt kütlesinin artmasıdır. Deney yakıtları karşılaştırıldığında genellikle en düşük motor performans değerleri yüksek oranda bitkisel yağ içeren yakıtlar olan B35 ve B65 yakıtları için elde edilmiştir.

Bunun nedeni bitkisel yağların ısı değeri düşük olmasından dolayı birim kütle yakıt başına yanma sonucu açığa çıkan ısı bu yağlar için dizel yakıtından daha düşük olmasıdır. Kaplamalı ve normal motor deneyleri karşılaştırıldığında test yakıtlarının kaplamalı motorlarda kullanılması ile elde edilen güç değerleri genel olarak normal motordaki değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni motorun kaplanmasıyla beraber silindir içerisinde yanma odasında oluşan sıcaklıklardan daha çok faydalanmasıdır. Elde edilen değerlerden badem yağının kaplamalı ve normal motorda Efektif güçlerinin yüzdesel olarak karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % 7,41, KB15’te % 7,50, KB35’te % 13,72 ve KB65’te ise % 5,04 artış olduğu tespit edilmiştir.

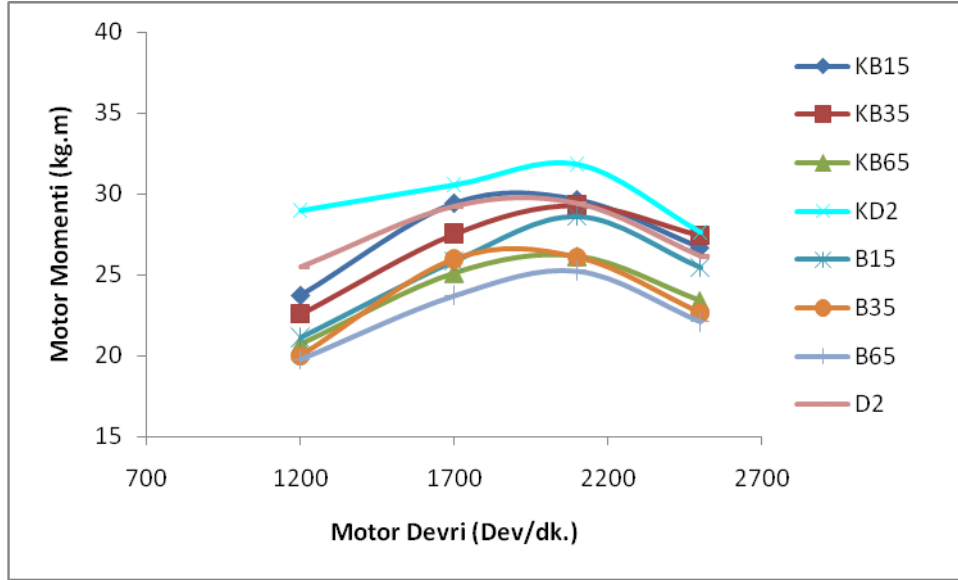
Tütün yağının kaplamalı ve normal motorda Efektif güçlerinin yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % 6,63, KT15’te % 8,72, KT35’te % 9,13 ve KT65’te ise % 6,63 artışı ortaya çıkmıştır.

Soya yağının kaplamalı ve normal motorda Efektif güçlerinin yüzde değerleri karşılaştırıldığında ise kaplamalı motor KD2’de % 6,63, KS15’te 5,04, KS35’te % 6,96 ve KS65’te % 6,39 artışı tespit edilmiştir.

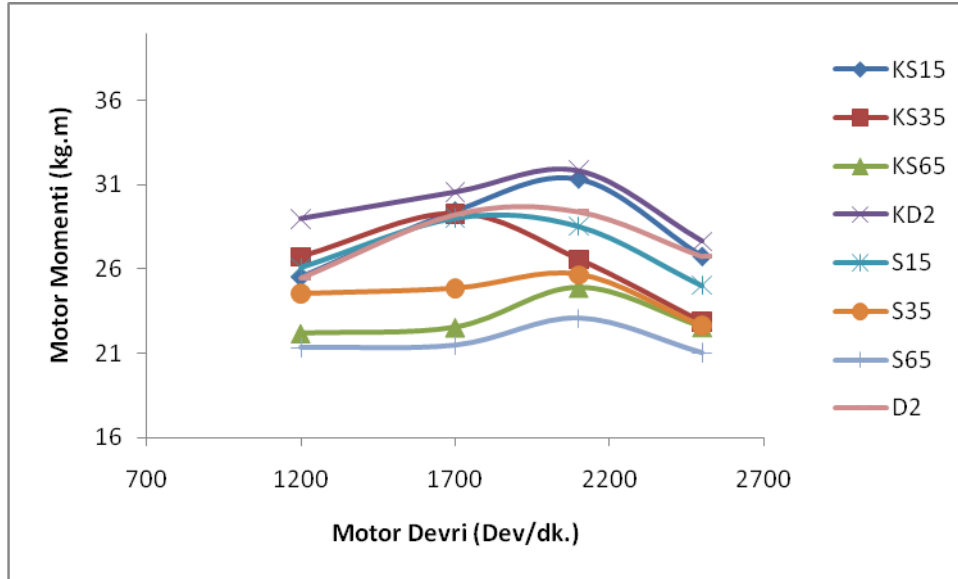
5.1.3. Motor Momenti

Badem,Tütün ve soya yağlarının dizel yakıtı ile karışımlarının motorda test edilmesi sonucu elde edilen motor moment değerleri motorun devir sayısına göre değişimi Şekil 5.7., Şekil 5.8. ve Şekil 5.9.'da verilmiştir.Şekilde görülebileceği gibi motor devirinin artmasıyla motor momentı önce bir miktar artış göstermiştir. Motorun orta devirlerinde maksimum değerleri aldıktan sonra hızlı bir şekilde azalmıştır. Bunu nedeni artan motor hızıyla beraber hacimsel verimin ve dolayısıyla momentin düşmesidir.

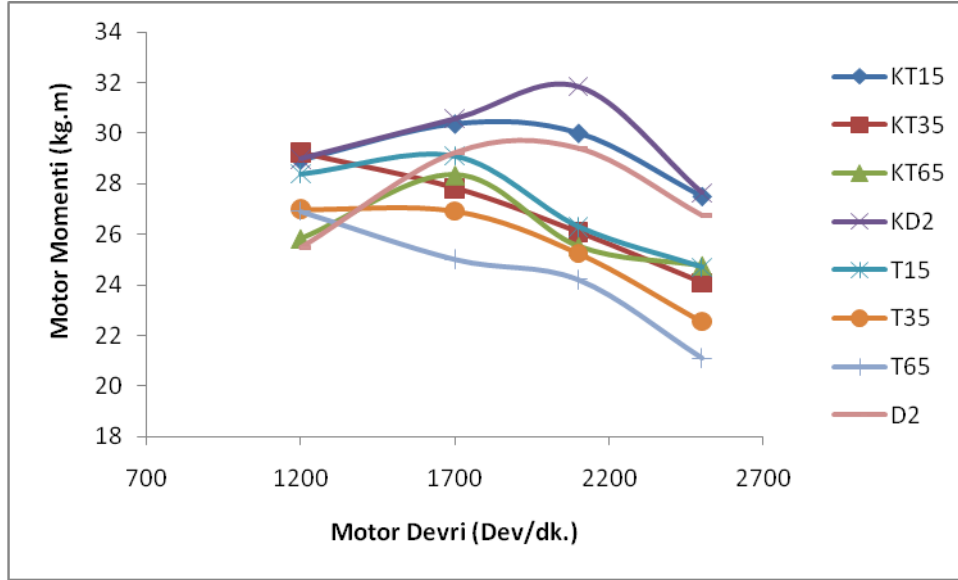
Deney yakıtları karşılaştığında bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların kullanılması ile elde edilen moment değerleri dizel yakıtına oldukça benzer çıkmıştır. Ancak bir miktar düşüşler görülmüştür. Bu düşüşün nedeni bitkisel yağın ısı değerlerinin düşük olmasından dolayı ortalama efektif basınç değerleri ve dolayısıyla motor gücü ve momentin azalması olduğu düşünülmektedir. Motorun kaplama işleminin motor momentine etkilerinin test yakıtlarına göre değişimleri incelendiğinde ise kaplamayla beraber motor silindirlerinin dışına olan ısı transferinin azalmasıyla beraber silindir içi basınçların artmasından dolayı ortalama efektif basınç artmış ve moment değerlerinde bir miktar artış gösterilmiştir.



Şekil 5. 7. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre moment değişimleri



Şekil 5. 8. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre moment değişimleri



Şekil 5. 9. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre moment değişimleri

Deneysel sonuçlardan elde edilen değerlerden, badem yağının kaplamalı ve normal motorda motor momentlerinin yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % 7,98, KB15’te %8,38, KB35’te % 12,91 ve KB65’te ise % 5,03 artış olduğu tespit edilmiştir.

Tütün yağının kaplamalı ve normal motorda motor momentlerinin yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % 7,38, KT15’te % 7,61, KT35’te % 5,38 ve KT65’te ise % 7,44 artışı ortaya çıkmıştır

Soya yağının kaplamalı ve normal motorda motor momentlerinin yüzde değerleri karşılaştırıldığında ise kaplamalı motor KD2’de % 7,38, KS15’te %4,03, KS35’te % 7,97 ve KS65’te % 6,02 artışı tespit edilmiştir.

5.2. Egzoz Emisyonları

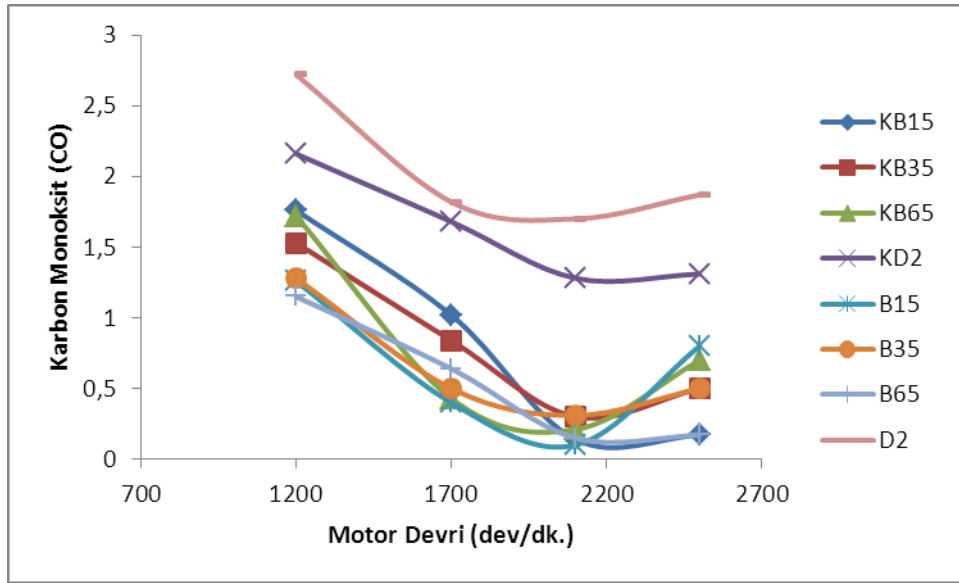
5.2.1. CO Emisyonları

Deney yakıtlarının kaplamalı ve kaplamasız motorlarda kullanmaları ile oluşan CO emisyonları Badem, Tütün ve Soya yağlarının dizel yakıtı ile karışımları için sırasıyla Şekil 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.'de verilmiştir.

Şekillerde görüldüğü gibi adı geçen Bitkisel yağların dizel yakıtı ile karışımlarının motorda kullanılmasıyla CO emisyonlarında önemli miktarda düşüşler meydana gelmiştir. CO emisyonlarındaki bu azalmaların düzeyi karışımda kullanılan bitkisel yağ miktarına göre gerçekleşmiştir.

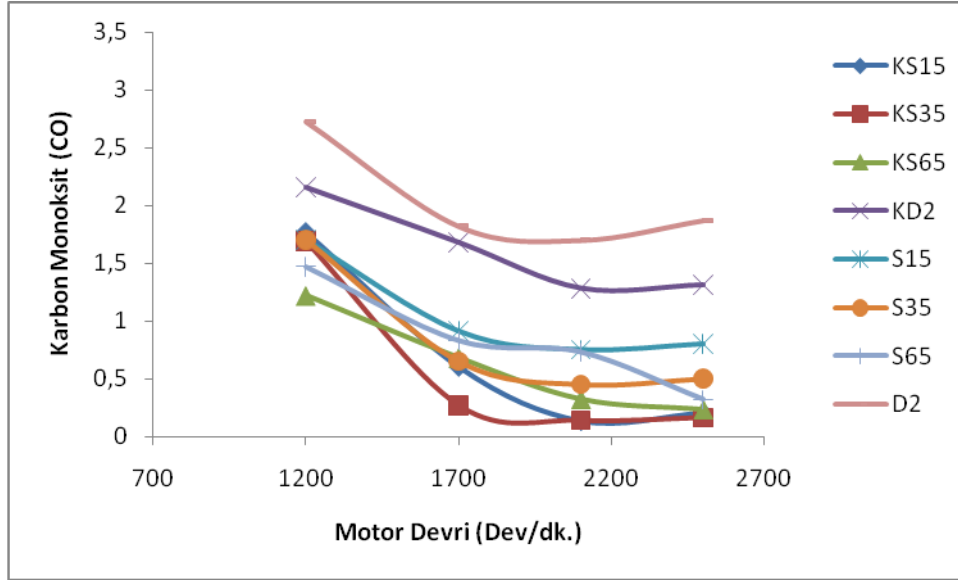
Kaplamalı ve kaplamasız motor uygulamaları karşılaştırıldığında CO emisyonlarının kaplamalı motorlarda neredeyse bütün yakıtlar için normal motora göre daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni motorun kaplanmasıyla beraber silindirden ısı transferinin azalmasıyla beraber sıcaklıkların artması ve tutuşma gecikmesi sürenin azalması dolayısıyla yanmanın iyileşmesi olduğu düşünülmektedir.

Badem yağının kaplamalı ve normal motorda CO yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % -20,71 azalış, KB15’te % -4,45, KB35’te ve % -10,38 ve KB65’te % -13,93 azalış olduğu tespit edilmiştir.



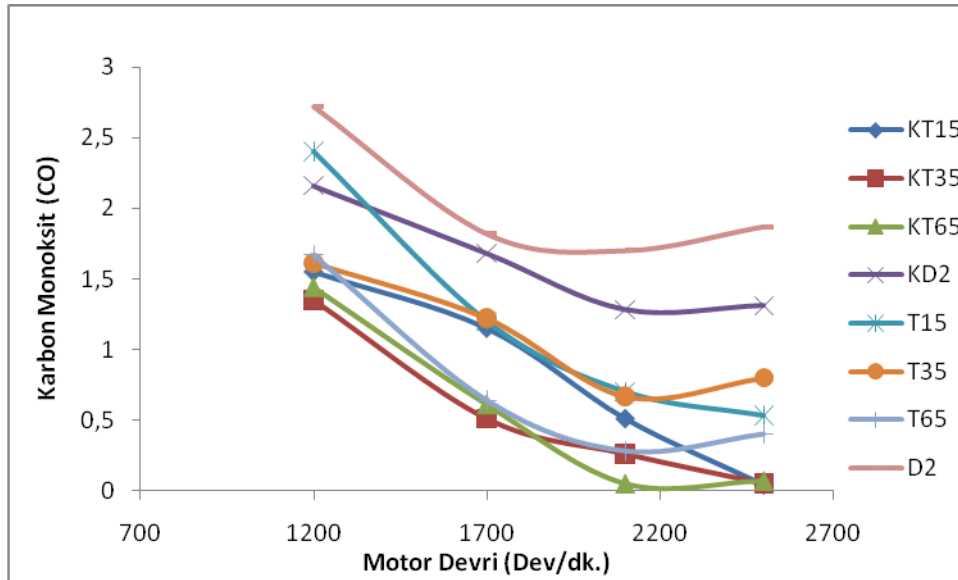
Şekil 5. 10. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO emisyonu değişimleri

Soya yağının kaplamalı ve normal motorda CO yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % -20,71, KS15’te % -35,09, KS35’te % -31,39ve KS65’te ise % -20,71 azaldığı Şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5. 11. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO emisyonu değişimleri

Tütün yağının kaplamalı ve normal motorda CO yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motorda KD2’de % -20,31, KT15’te % -32,71, KT35’te % -49,53ve KT65’te ise % -27,42 azaldığı ortaya çıkmıştır.

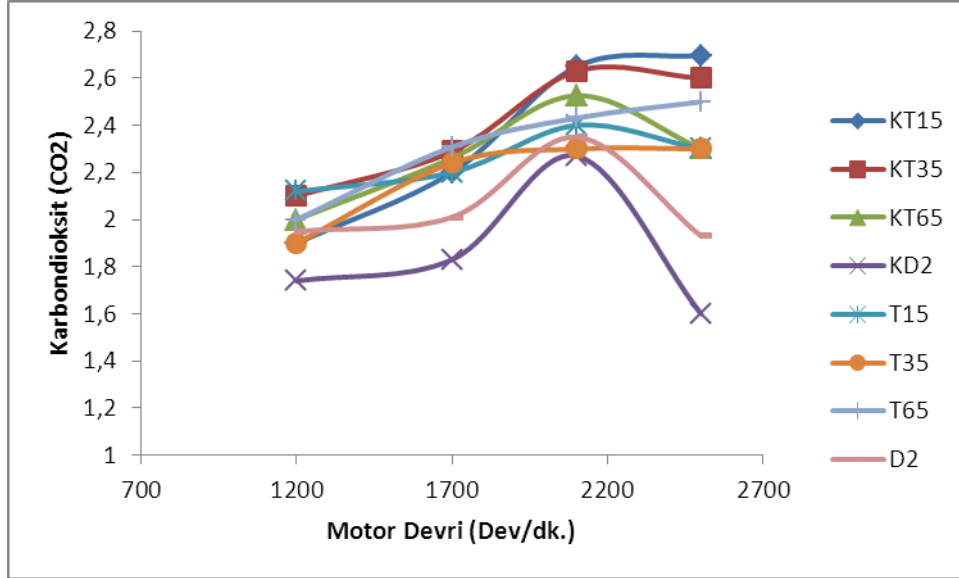


Şekil 5. 12. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO emisyonu değişimleri

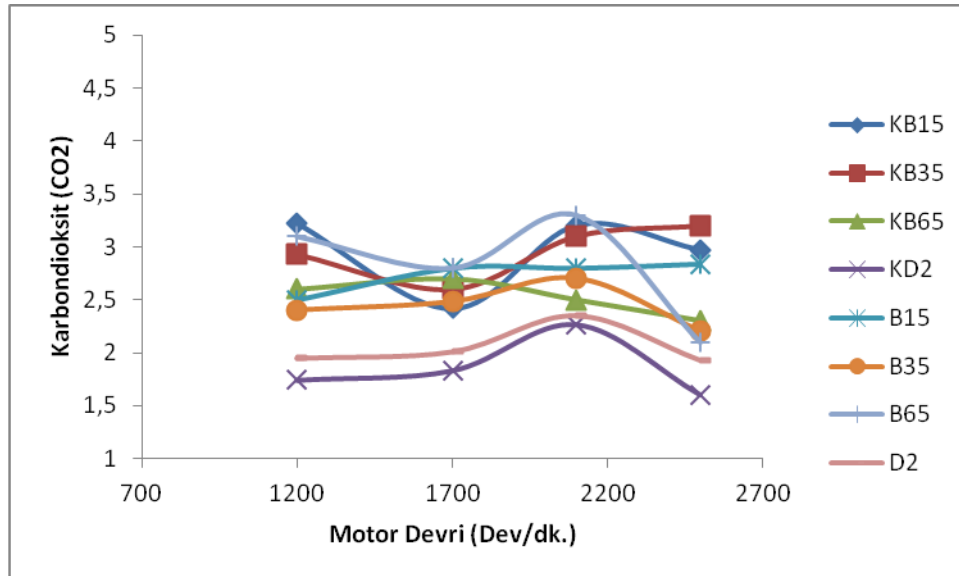
Bitkisel yağ karışımları karşılaştırıldığında ise ortalama CO emisyonlarının Badem yağının kullanılmasında Tütün ve Soya yağlarının karışımlarına göre ayrıca dizel yakıtına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bütün deney yakıtları incelendiğinde devrinin artması ile beraber bitkisel yağ karışımları için CO emisyonlarının devir ile beraber

düştüğü görülmektedir. Genel olarak bakıldığında ise kaplamalı motorun CO emisyonları dizel yakıtı dahil bütün karışımlar için azaldığı tespit edilmiştir.

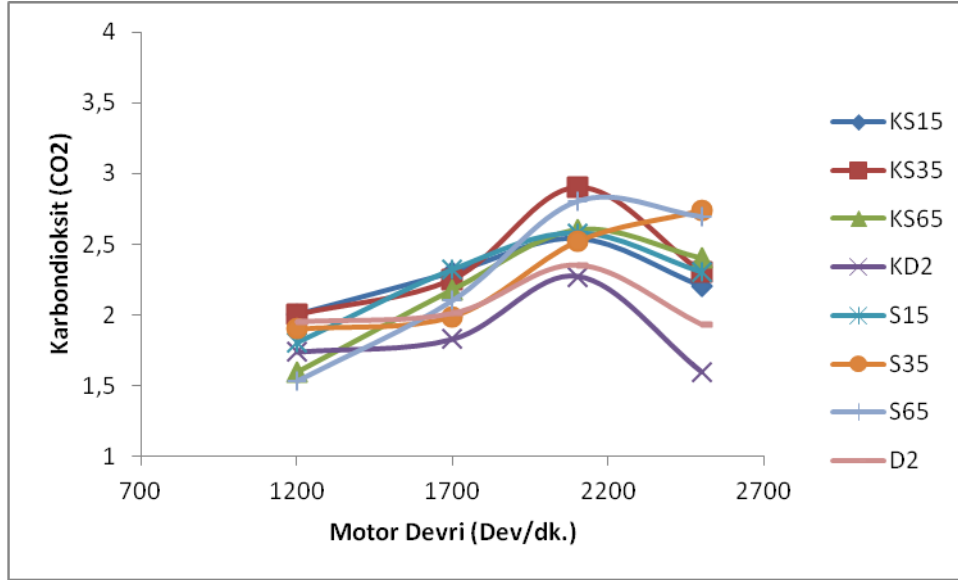
5.2.2. CO₂ Emisyonları



Şekil 5.13. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO₂ emisyonu değişimleri



Şekil 5.14. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO₂ emisyonu değişimleri



Şekil 5. 15. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre CO2 emisyonu değişimleri

Deney yakıtlarından olan Tütün,Badem ve Soya yağlarının dizel yakıtı ile karışımları ve dizel yakıtının kaplamalı ve normal motorda kullanılması ile elde edilen CO2 emisyonlarının motor devrine göre değişimi Şekil 5.13., Şekil 5.14. ve Şekil 5.15.'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde motorun düşük devirlerinde dizel yakıtının kullanımında elde edilen CO2 emisyonu değerleri gerek kaplamalı gerekse normal motorda bitkisel yağ karışım yakıtlardan daha yüksek çıkmıştır. Ancak motorun devir sayısı yükseldikçe bitkisel yağ karışımı yakıtların kullanımında oluşan CO2 miktarları gerek kaplamalı gerekse normal motor için daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni yüksek motor devirlerinde bitkisel yağların sahip olduğu oksijen içeriğinden dolayı yanmanın dizel yakıtına göre daha iyi olması ve tam yanma ürünü olan CO2 nin artmasıdır.

Badem yağının kaplamalı ve normal motorda CO2 yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2'de % -6,06 ve KB65'te % -10,61 azalış ve KB15'te % 7,95 ve KB35'te %28,86 artış olduğu tespit edilmiştir.

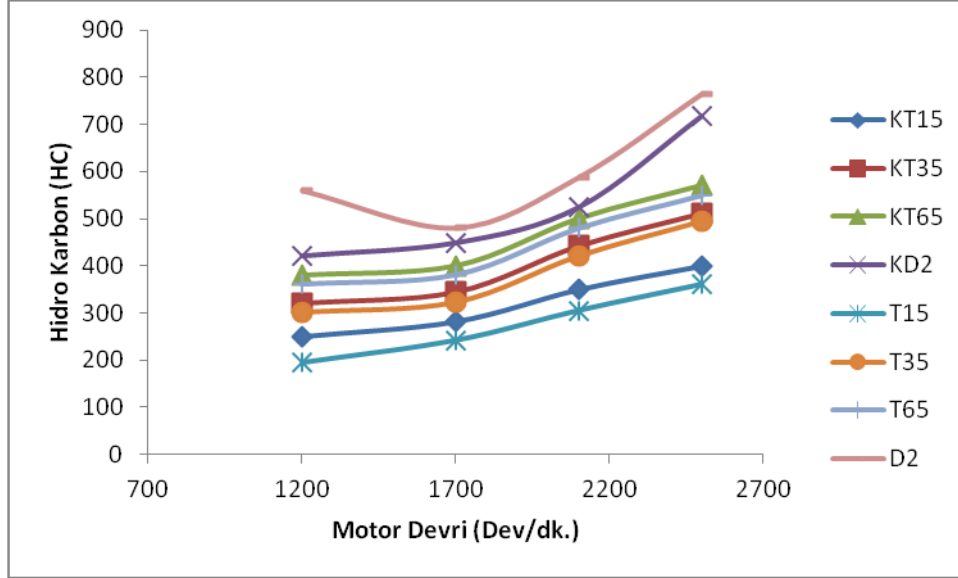
Tütün yağının kaplamalı ve normal motorda CO2 yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motorda KD2'de % -6,06 ve KT65'te % -1,64 azaldığı, KT15'te % 2,36 ve KT35'te ise % 10,05 artışı şekil 5.13 'te görülmektedir.

Soya yağının kaplamalı ve normal motorda CO2 yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2'de % -6,06 ve KS65'te % 12,11 azaldığı, KS15'te % 0,44 ve KS35'te %3,27 artışı deneysel çalışmalardan tespit edilmiştir.

5.2.3. HC Emisyonları

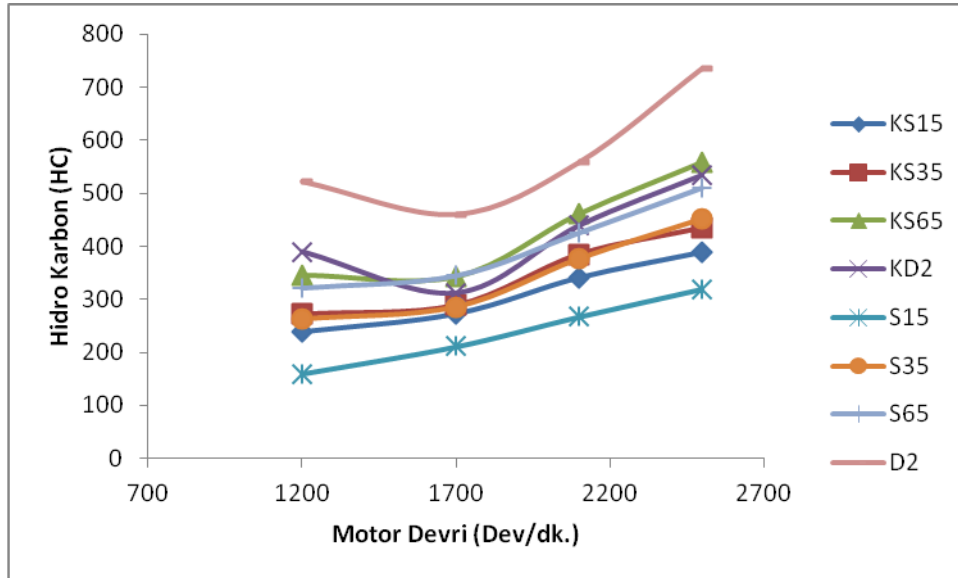
Badem, Tütün ve Soya yağlarının dizel yakıtları ile bazı oranlarda karışımlarının bir dizel motorunda kullanılması ile oluşan HC emisyonlarının kaplamalı bir dizel motorunda kullanılmalarıyla oluşan HC emisyonları karşılaştırmalı olarak Şekil 5.16., Şekil 5.17. ve Şekil 5.18.'de kaplamalı ve normal motorlarda kullanılması ile elde edilen veriler devir sayısına göre sunulmuştur. Genel olarak tüm şekillerde görüldüğü gibi kaplamalı motorlarda bu yakıtların kullanılmasıyla HC emisyonlarının azaldığı sonucuna varılmıştır. Deney yakıtları karşılaştığında ise tüm bitkisel yağlar için dizel yakıtıyla karışımlarının kullanımında motor egzozunda çıkan HC emisyonlarının dizel yakıtının sebep olduğu HC emisyonlarına göre daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplamalı motorda HC emisyonlarının azalmasının nedeni kaplamayla yanma odasında motor dışına ısı transferinin azalması ile beraber sıcaklıkların artması ve yanmanın tam yanmaya yakın seyretmesi ayrıca yanma sonu sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle HC oksidasyonun egzozu kadar devam etmesi gibi nedenler gösterilebilir. Bitkisel yağ karışımları için HC emisyonlarının dizel yakıtına göre daha düşük olmasının nedeni ise bitkisel yağların kimyasal yapısında bulunan Oksijen içeriğinin yanmayı iyileştirmesi ve eksik yanma ürünlerinden olan HC ve CO emisyonları azaltmasıdır.

Tütün yağının kaplamalı ve normal motorda HC yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motorda KD2'de % -11,78,KT35'te %-7,25 ve KT65'te % -14,33 azalış, KT15'te ise % 1,18 artışı ortaya çıkmıştır.



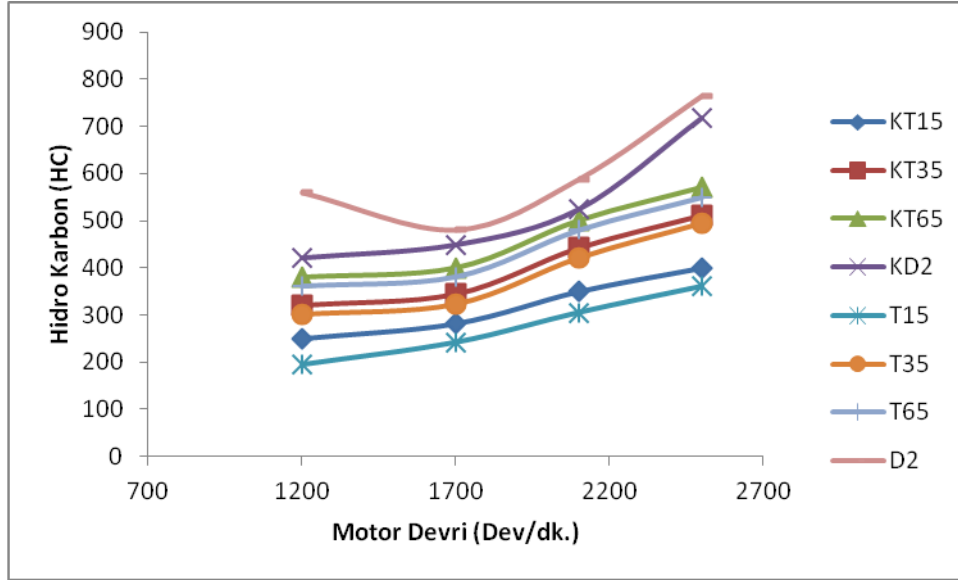
Şekil 5. 16. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre HC emisyonu değişimleri

Soya yağının kaplamalı ve normal motorda HC yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % -11,78 ve KS35’te % -15,57 azalış, KS15’te % 9,58 ve KS65’te %7,41 artışı şekil 5.17. grafiğinde görülmektedir.



Şekil 5. 17. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre HC emisyonu değişimleri

Badem yağının kaplamalı ve normal motorda HC yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % -11,78 ve KB65’te % -17,86 azalış ve KB15’te % 3,88 ve KB35’te %3,35 artış olduğu tespit edilmiştir.

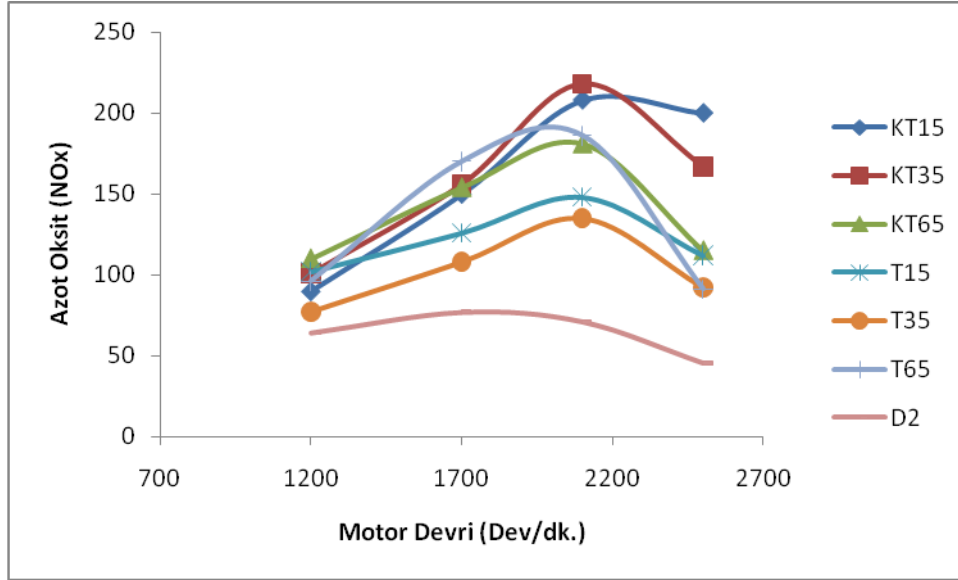


Şekil 5. 18. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre HC emisyonu değişimleri

5.2.4. NO_x Emisyonları

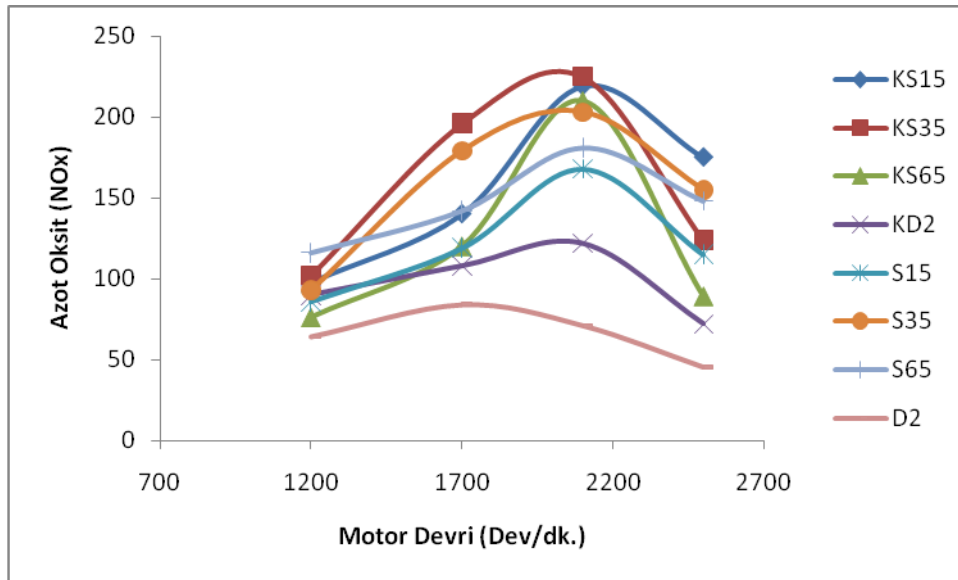
Badem, Tütün ve Soya yağlarının dizel yakıtı ile hacimsel karışımları olan B15, B35 ve B65 yakıtları ile dizel yakıtının kaplamalı ve normal bir dizel motorunda kullanımları ile oluşan NO_x emisyonlarının motor devirlerine göre değişim karşılaştırmalı olarak Şekil 5.19., Şekil 5.20. ve Şekil 5.21.'de verilmiştir. Genel olarak tüm deney yakıtları için NO_x emisyonları motorun kaplanmasıyla beraber artış göstermiştir. Bu artışın nedeni motorun kaplanması ile beraber silindir içi sıcaklıkların yükselmesi olarak düşünülmektedir. Genel olarak bitkisel yağların karışımları ile dizel yakıtı karşılaştırıldığında dizel yakıtının daha düşük NO_x emisyonlarına neden olduğu görülmektedir. Bitkisel yağların kullanımında yüksek olan oksijen içeriğinden dolayı yanma sonucu sıcaklıklarının yüksek olması NO_x emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca tüm deney yakıtları için yüksek NO_x emisyonları motorun orta devirlerinde yani ideal çalışma alanında maksimum sıcaklıkların ve yeterli sürenin olduğu koşullarda elde edilmiştir.

Tütün yağının kaplamalı ve normal motorda NO_x yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motorda KD2'de % 89,88, KT15'te % 32,78, KT35'te % 55,82 ve KT65'te % 3,13 artışı ortaya çıkmıştır.



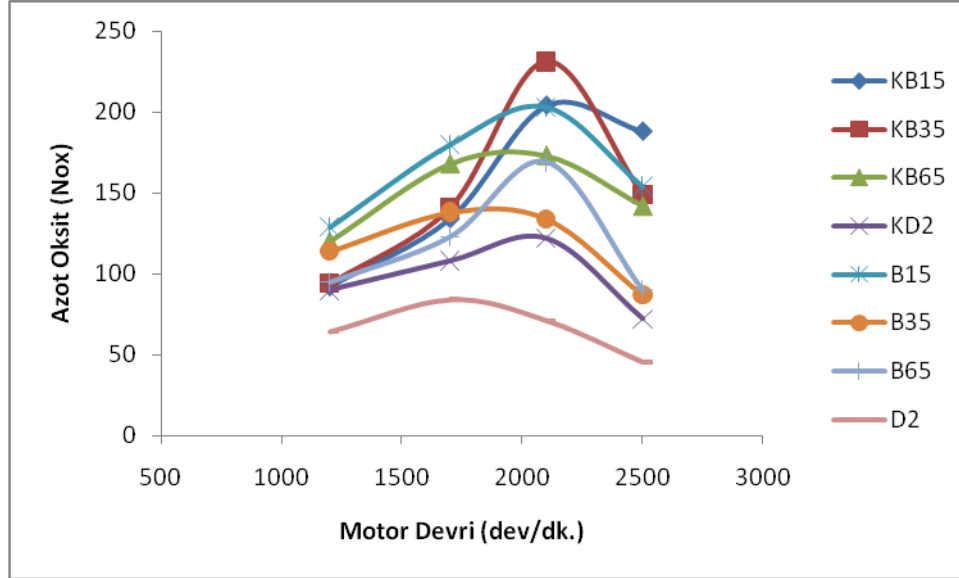
Şekil 5. 19. Tütün yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre NOx emisyonu değişimleri

Soya yağının kaplamalı ve normal motorda NOx yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KS15'te % 29,50, KS35'te %2,68 ve KD2'de %48,48 artışı tespit edilmiştir.



Şekil 5. 20. Soya yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre NOx emisyonu değişimleri

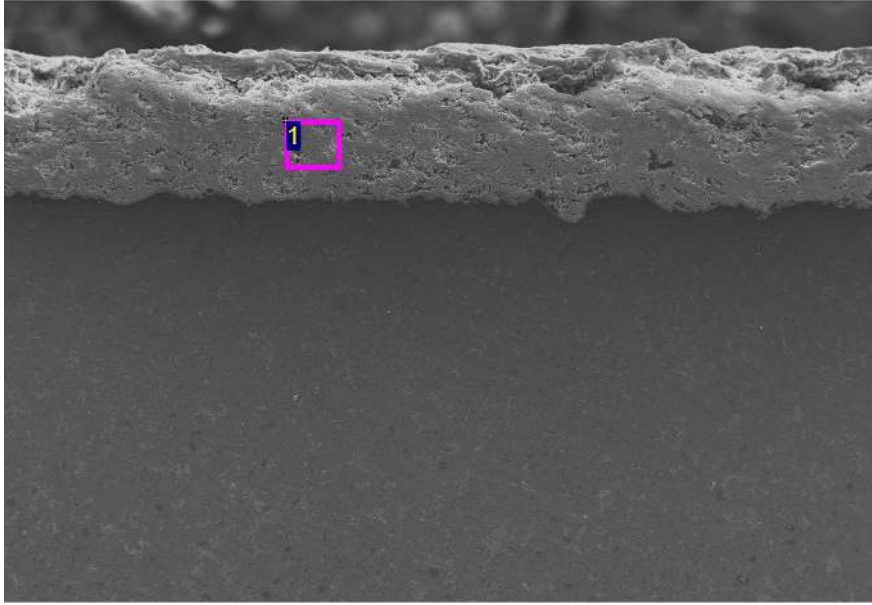
Badem yağının kaplamalı ve normal motorda NOx yüzde değerleri karşılaştırıldığında, kaplamalı motor KD2’de % 48,48, KB35’te % 30,02 ve KB65’te %26,41 ve KB15’te % 21,15 artış olduğu tespit edilmiştir.



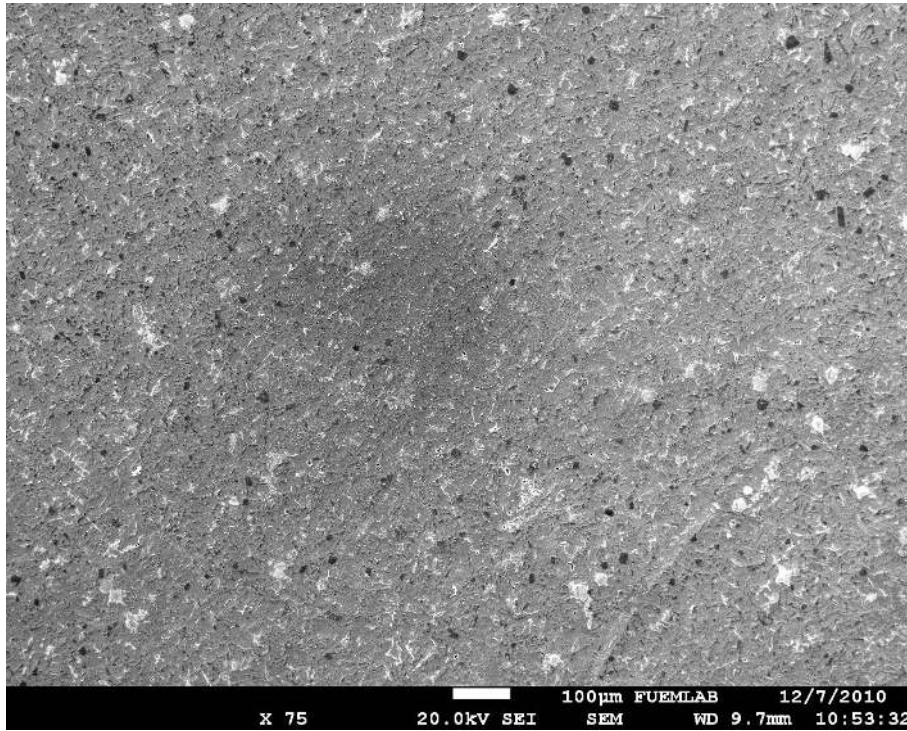
Şekil 5. 21. Badem yağının kaplamalı ve kaplamasız motorda devre göre NOx emisyonu değişimleri

NOx emisyonlarının oluşmasında etkili olan iki parametre bulunmaktadır. Bunlar yüksek sıcaklık ve yanma süresidir. NOx emisyonları 1800K ve daha yüksek sıcaklıklarda oluşmaya başlar. Eğer bu sıcaklıklarda kalma süresi artarsa maksimum NOx emisyonları oluşur.

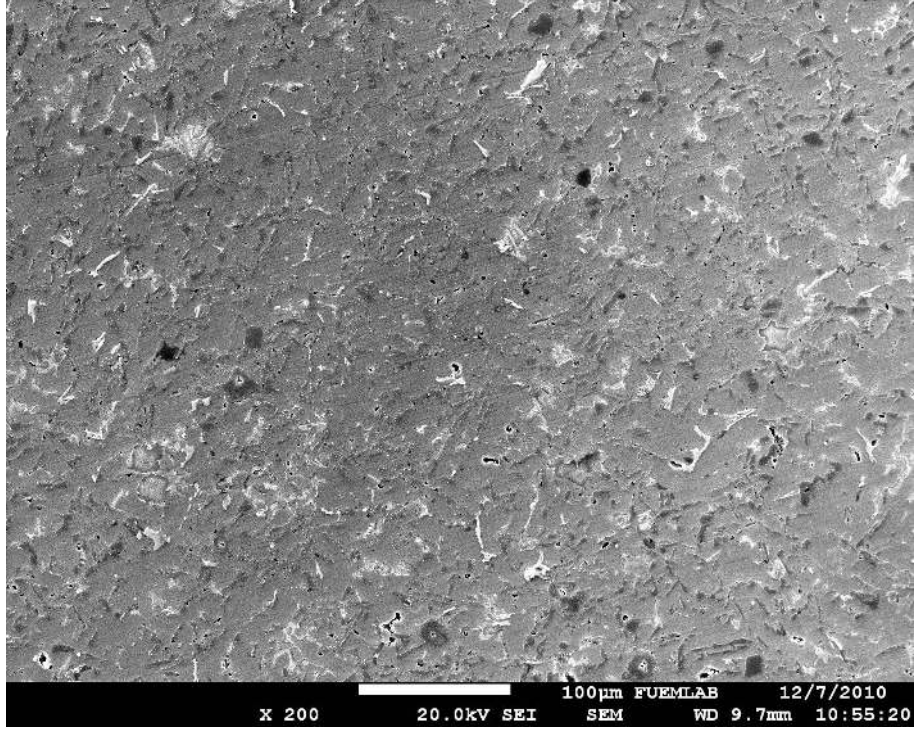
5.3. Mikroyapı İncelemeleri



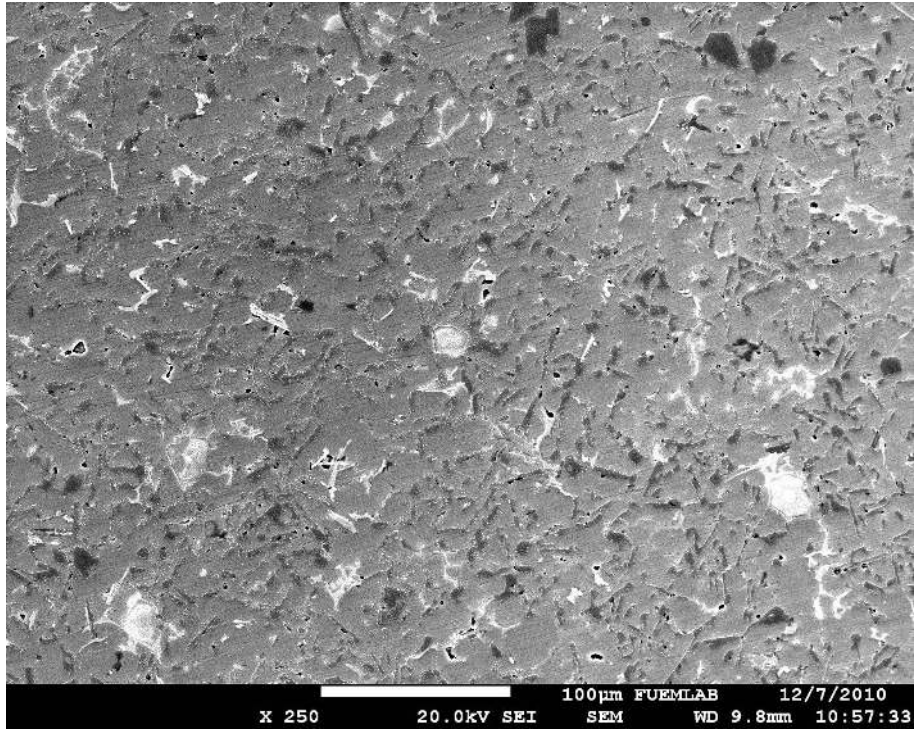
Şekil 5.22. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 75)



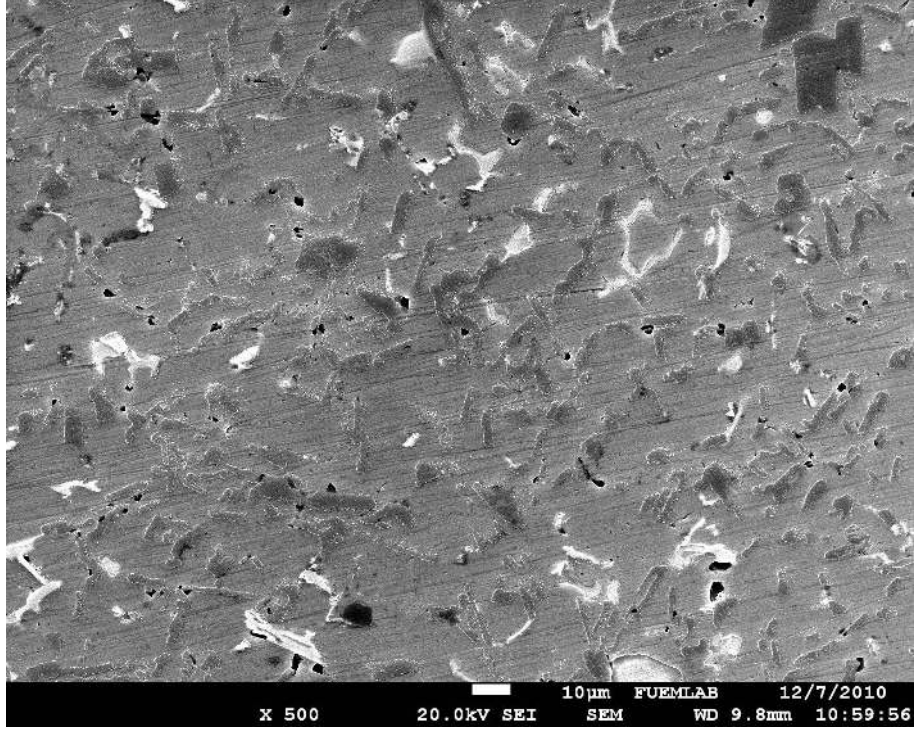
Şekil 5.23. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 75)



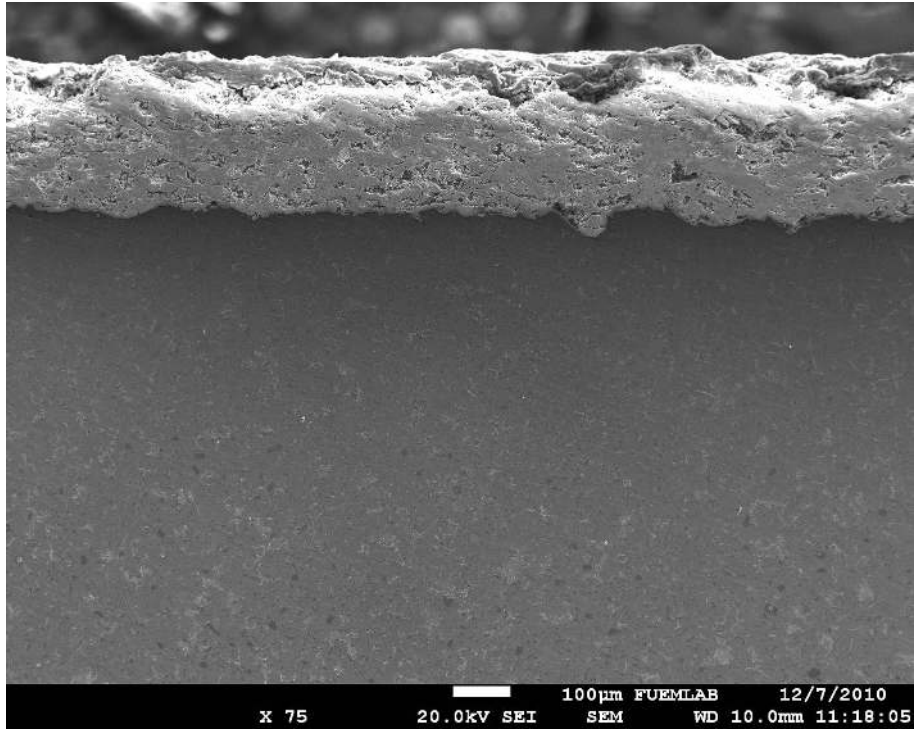
Şekil 5.24. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 200)



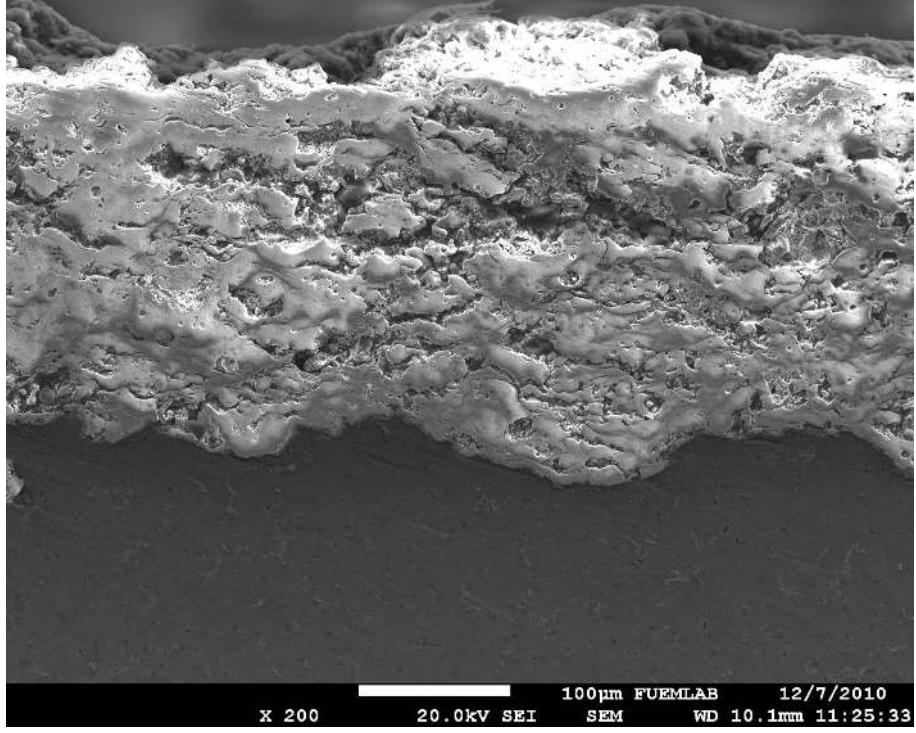
Şekil 5.25. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 250)



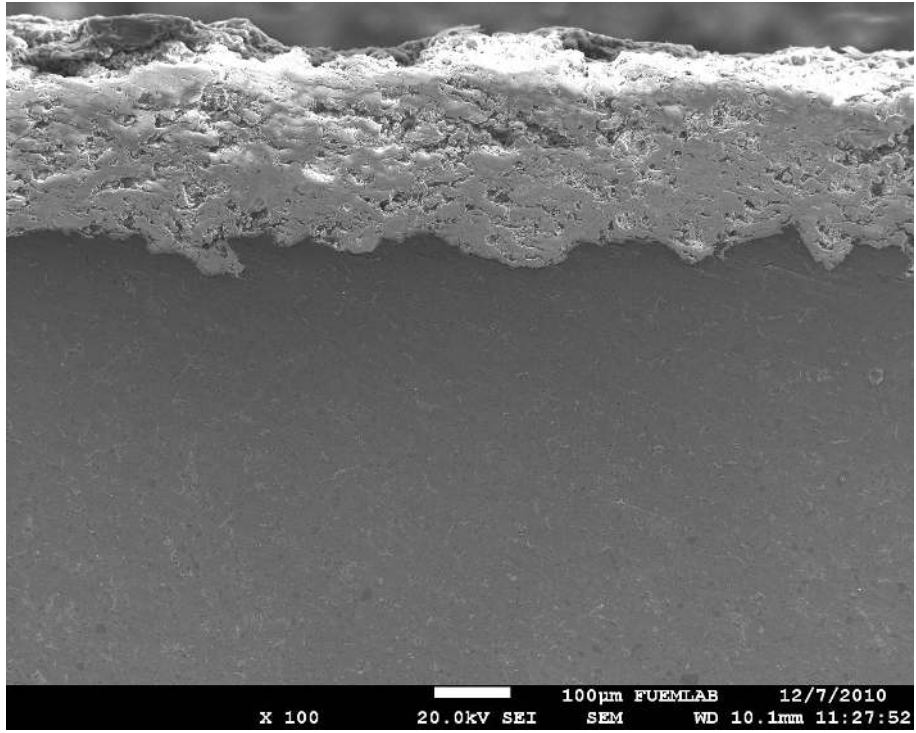
Şekil 5.26. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 500)



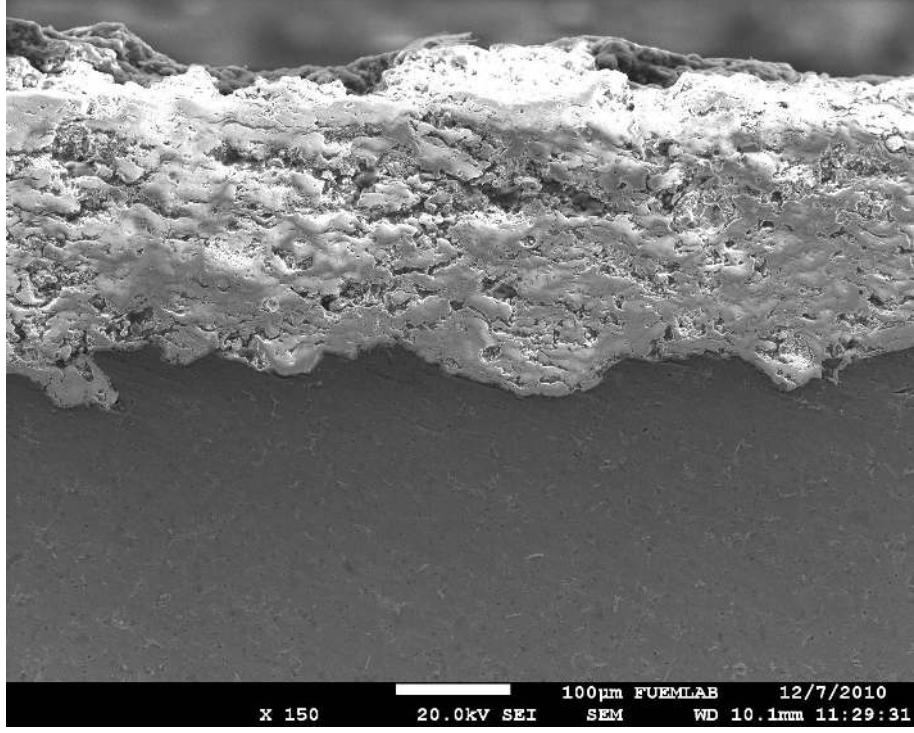
Şekil 5.27. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 75)



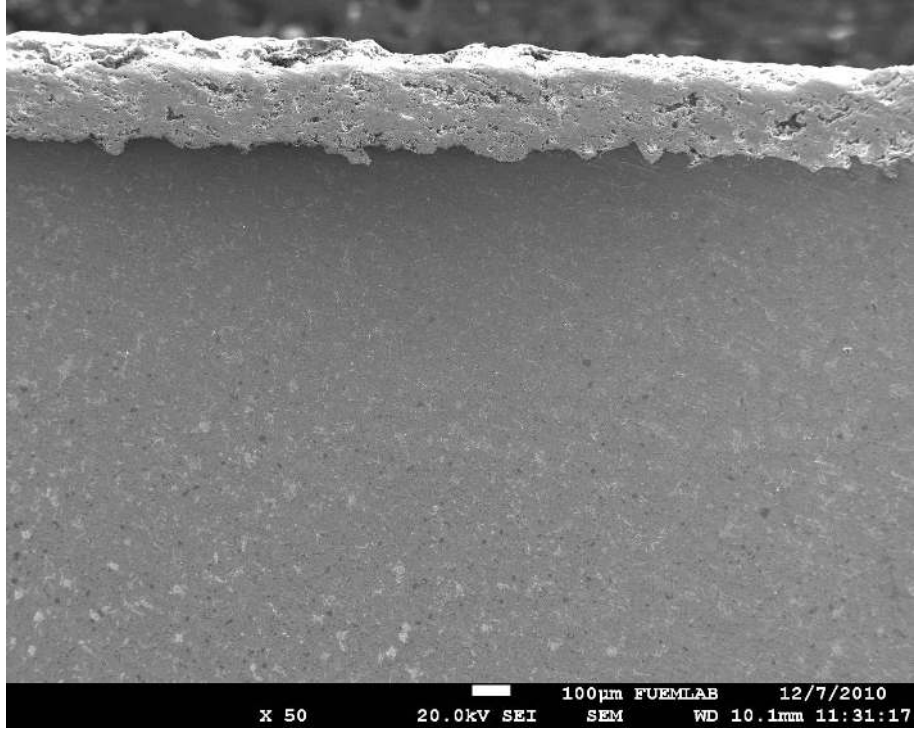
Şekil 5.28. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 200)



Şekil 5.29. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 100)



Şekil 5.30. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 150)



Şekil 5.31. Piston kesit yüzeyinden alınan SEM görüntüsü (x 50)

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Dizel motorlarında kullanılabilecek bir alternatif yakıt olarak bitkisel yağın önemi giderek artmaktadır. Bu çalışmada üç ham bitkisel yağ bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Soya yağı tütün yağı ve badem yağı dizel yakıtı ile %15, %35 ve %65 oranlarında hacimsel olarak karıştırılmıştır. Bu karışım yakıtlar ve normal dizel yakıtı, 4 zamanlı, tek silindirli ve hava soğutmalı bir dizel motorunda kullanılmıştır. Daha sonra bu motor düşük ısı kayıplı bir motora dönüştürülmüştür. Motorun piston başı yüzeyi ve emme ve egzoz supaplarının yüzeyleri ZrO_2 seramik malzeme ile kaplanmıştır. Daha sonra yukarıda bahsedilen deney yakıtları kaplamalı motorda test edilmişlerdir. Elde edilen veriler sabit yükte ve değişik devirlerdeki deneylerden elde edilmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız motordaki test sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmış ve aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Deney yakıtları karşılaştığında genellikle en düşük motor performans değerleri yüksek oranda bitkisel yağ içeren yakıtlar olan B35 ve B65 yakıtları için elde edilmiştir. Kaplamalı ve normal motor deneyleri karşılaştığında test yakıtlarının kaplamalı motorlarda kullanılması ile elde edilen güç değerleri genel olarak normal motordaki değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni motorun kaplanmasıyla beraber silindir içerisinde yanma odasında oluşan sıcaklıklardan daha çok faydalanılmasıdır.
- Deney yakıtları karşılaştığında bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların kullanılması ile elde edilen moment değerleri dizel yakıtına oldukça benzer çıkmıştır. Ancak bir miktar düşümler görülmüştür. Bu düşüşün nedeni bitkisel yağın ısı değerlerinin düşük olmasından dolayı ortalama efektif basınç değerleri ve dolayısıyla motor gücü ve momentin azalması olduğu düşünülmektedir. Motorun kaplama işleminin motor momentine etkilerinin test yakıtlarına göre değişimleri incelendiğinde ise kaplamayla beraber motor silindirlerinin dışına olan ısı transferinin azalmasıyla beraber silindir içi basınçların artmasından dolayı ortalama efektif basınç artmış ve moment değerlerinde bir miktar artış gösterilmiştir.
- Deney yakıtları karşılaştırıldığında hem kaplamalı hem de normal motorda en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri dizel yakıtının kullanımda elde edilmiştir.

Bunun nedeni özgül yakıtının ısıl değeri bitkisel yağlardan daha yüksek olması nedeniyle aynı motor gücünü verebilmesi için daha fazla kütsel yakıt tüketimi gerektirmesidir. Kaplamalı ve normal motor karşılaştırıldığında motorun kaplanmasıyla beraber ısıl verimin artmasından dolayı özgül yakıt tüketimi değerlerinde bir azalma görülmüştür.

- Tüm bitkisel yağların dizel yakıtıyla karışımlarının kullanımında motor egzozundan çıkan HC ve CO emisyonlarının dizel yakıtının sebep olduğu bu emisyonlarına göre daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplamalı motorda HC ve CO emisyonlarının azalmasının nedeni kaplamayla yanma odasında motor dışına ısı transferinin azalması ile beraber sıcaklıkların artması ve yanmanın tam yanmaya yakın seyretmesi ayrıca yanma sonu sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle HC ve CO oksidasyonun egzozu kadar devam etmesi gibi nedenler gösterilebilir. Bitkisel yağ karışımları için HC ve CO emisyonlarının dizel yakıtına göre daha düşük olmasının nedeni ise bitkisel yağların kimyasal yapısında bulunan Oksijen içeriğinin yanmayı iyileştirmesi ve eksik yanma ürünlerinden olan HC ve CO emisyonlarını azaltmasıdır.
- Genel olarak tüm deney yakıtları için NO_x emisyonları motorun kaplanmasıyla beraber artış göstermiştir. Bu artışın nedeni motorun kaplanması ile beraber silindir içi sıcaklıkların yükselmesi olarak düşünülmektedir. Bitkisel yağların kullanımında yüksek olan oksijen içeriğinden dolayı yanma sonucu sıcaklıklarının yüksek olması NO_x emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.
- Performans testi sonuçları motor performansının bitkisel yağ kullanımı ile bir miktar düştüğünü göstermiştir. Ancak motorun kaplanmasıyla beraber bitkisel yağ kullanımı ile kaplamalı motorda performans parametreleri, belki de silindir duvarlarında olan ısı transferinin azalması sayesinde, artışlar göstermiştir. Emisyon testi sonuçlarına gelince, hem normal kaplamasız motorda hem de kaplamalı motorda bitkisel yağ kullanımı ile CO ve HC emisyonları azalmıştır. Ancak hem bitkisel yağ kullanımı hem de motorun kaplanması işlemleri nedeniyle NO_x emisyonu değerleri artışlar göstermiştir.

7. KAYNAKLAR

- [1] **Hejwowski, T., Weronski, A.**, 2002. “The Effect Of Thermal Barrier Coatings On Diesel Engine Performance” Surface Engineering, Surface Instrumentation & Vacuum Technology, 427-432.
- [2] **Alkidas, A.C.**, 1989. “Performance and Emissions Achievements with an Uncooled Heavy- Duty Single-Cylinder Diesel Engine” SAE paper No: 890144.
- [3] **Gros, S.**, 1991. “Low Emissions for Ship’s Machinery” The Motor Ship, Special Supplement, 9-16.
- [4] **Tek_n, M., Yörük, S.**, “ Motorlarda Metanol Kullanımının Performans ve Çevre ilişkileri”, GO. Ü. Zile MYO, Otomotiv Programı, TOKAT.
- [5] **Çetinkaya, S., çel_k, m. b.**, 1997. “Buji Ateslemeli Motorlarda Yakıt Olarak Metanol- Benzin Karışımlarının Kullanılması”, 5. Yanma Sempozyumu.
- [6] **Salman, M. S., Sümer, M.**, 1999. “Buji Ateslemeli Motorlarda Etanol ve Etanol- Benzin Karışımlarının Motor Performansına Etkileri”, Politeknik Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 2, S. 27-35.
- [7] **Yüksel, F., Yüksel, B.**, 2004. “The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine”, Renewable Energy, No: 1181-1191.
- [8] **Bülbül, F.**, 2008 “Malzeme ve Yüzey Mühendisliği” Metal Dünyası, Mart.
- [9] **Özel, S., Somunkıran, İ., Kurt, B.**, (2006). “Düşük Karbonlu Çelik Yüzeyine FeCr+Mo Tozunun PTA Yöntemi İle Alaşımlandırılması”, 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, 329-332, Denizli.
- [10] **Sarıkaya, Ö., Anık, S., Çelik, E.**, 2004. “Plazma Püskürtme Yöntemiyle Al-%12 Si Ana Malzemesi Üzerine Al-Si+B₄ C Kaplamaların Hazırlanması ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi”, 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 325-332, Denizli
- [11] **Üstel, F., Yüksek, E., Altuncu, E.**, 2006. “Plazma sprey Kaplama Uygulamaları ve Teknolojik Uygulamaları” Galvanoteknik Dergisi Kasım-Aralık 2006/06, , Kasım -Aralık Sayısı, 44- 49.
- [12] **Borat, O.,Balcı, M.ve Sürmen A.**, 1995, İçten Yanmalı Motorlar, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbası, Ankara

- [13] **Safgönül, B., Arslan, H.E, Ergeneman, M. ve Sorousbay, C.,**1999. İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 218s.
- [14] **Miller, R.A.** 1997., “Thermal Barrier Coatings for Aircraft Engines: History and Directions, Journal of Thermal Spray Technology”, Volume 6(1) March 35-42
- [15] **J.Musil, M. Alaya, and R.,** 1997. Oberacker, Stabilized Zirconia Thermal Barrier Coatings: Deposition Process and Properties, ASM International JTTEE5 6:449- 455, 14 June
- [16] **E.Geçkinli,** 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri.
- [17] **Szulc, M.,** 2004. “Manufacture and characterization of plasma-sprayed, segmented La₂Zr₂O₇-based thermal barrier coatings”, Master Thesis, Silesian University of Technology Dept, Material Engineering and Metalurgy Katowice University of Applied Sciences Steinfurt.
- [18] **Kh.G. Schmitt, H.Haendl, D.Fu,** 1997. Modifications of thermal barrier coatings (TBCs), Surface and Coatings Technology 94-95, 149-15-1.
- [19] **W.Brandl, D.Toma, J.Krüger, H:J.Graske, G.,** 1997. Matthauss, The oxidation behaviour of HVOF thermal-sprayed MCrAlY coatings, Surface and Coatings Technology 93-95, 21-26.
- [20] **Yaşar H.,** 1997.Termal Bariyer Kaplamaların Türbo Doldurmalı Bir Dizel Motorun Performansına Etkileri, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ekim.
- [21] **William J. Brindley and Robert A. Miller,** 1990. “Thermal Barrier Coating Evaluation Needs, Prepared for the Conference on Nondestructive Eyaluatjon of Modern Ceramics”, cosponsored by the American Ceramic Society and the American Society of NondestrUctive Testing.
- [22] **J.R. Fincke, W.D. Swank, R.L. Bewley, D.C.,** 2001. Haggard, M. Gevelber, D. Wroblewski, Diagnostics and control in the thermal spray process, Surface and Coatings Technology 146 -147, 537-543.
- [23] **Nitin P Padture, Maurice Gell,** Advanced Thermal Barrier Coatings for Industria Gas Turbine Engines, Institute of Materials Science University of Connecticut Storrs, CT 06269-3136.

- [24] **X.Q. Cao, R.**, 2004. Vassen, D.Stoever, Ceramic materials for thermal barrier coatings, Journal of the European Ceramic Society 24 1-10.
- [25] **Hass, D.D**, 2000. "Directed Vapor Deposition of Thermal Barrier Coatings", Ph.D. Dissertation, University of Virginia,
- [26] **D.R, Clarke**, 2005.S.R.Phillpot, Thermal Barrier Coating Materials, materialstoday,
- [27] **S.Bose**, 2007. High Temperature Coatings.
- [28] **Stephan Stecura**, Optimization of the NiCrAlY/ZrO₂-Y₂O₃ Thermal Barrier System, Low Research Center Cleveland, Ohio. NASA Technical Memorandum, 86905.
- [29] **Caron P, Khan T.**, 1999, Evolution of Ni-based superalloys for single crystal gas turbine blade applications, Aerospace Sci Technol, 3(8), 513–23.
- [30] **O.A.Zubacheva**, 2004.Plasma-Sprayed and Physically Vapor Deposited Thermal Barrier Coatings: Comparative Analysis of Thermoelastic Behavior Based on Curvature Studies, Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der Rheinisch- Westfälischen Technischen Hochschule Aachen,
- [31] **T. Mantyla**, Thick ceramic coatings, Tampere University of Technology, Finland, Euroceram News 7.
- [32] <http://tr.wikipedia.org/tütün>.
- [33] <http://tr.wikipedia.org/soya>.
- [34] <http://tr.wikipedia.org/badem>.
- [35] **Schumacher, L.G.**, 1997. 6V-92TA DDC Engine Exhaust Emission Tests Using Metyili Ester, National Soydiesel Development Board, U.S.A.
- [36] **C. Kaya**, Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi, D.Ü., F.B.E. Kimya A.B.D. (2006) Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- [37] <http://www.egebiyoteknoloji.com>.
- [38] **Heywood J.**, 1998. Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc. Graw-Hill Science, Newyork, 667s.
- [39] **Karahan, Ş.**, 2006. "Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi", Ulusal Biyodizel Sunuşayı, Ankara,
- [40] **Akyarlı,A.**, 2004. " Biyodizelin yakıtın uluslar arası standartlarda üretimi" Bioenerji Sempozyumu, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: ÖZKAN GÜRBÜZ

Doğum Yeri: BATMAN

Doğum Yılı: 21-12-1979

Eğitim

İlköğretim: 1986–1995, Atatürk İlköğretim Okulu, BATMAN

Lise: 1995–1998, Batman Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi, BATMAN

Lisans: 2002–2006, Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi

Bölümü: Otomotiv Öğretmenliği Anabilim Dalı BATMAN

Yüksek Lisans:2008-2013 Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana

Bilim Dalı, ELAZIĞ