

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

TAKIM ADI: CORET

**PROJE ADI: BOR TÜREVİ SENTEZİ VE BOR KATKILI YAKIT
UYGULAMALARI**

BAŞVURU ID:347962

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

İçindekiler

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ.....	1
İçindekiler.....	2
1. Proje Özeti (Proje Tanımı).....	3
2. Problem/Sorun:	3
3. Çözüm.....	4
4. Yöntem	6
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü	9
6. Uygulanabilirlik.....	9
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması.....	10
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):.....	11
9. Riskler.....	12
10. Kaynakça ve Rapor Düzeni	13



1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Gelişen teknolojiyle beraber kişi başına düşen enerji ihtiyacı yıldan yıla artmaktadır. Enerji ihtiyacı karşılanırken kullanılan geleneksel yöntemler, küresel ısınmaya neden olan çevresel kirlilikleri meydana getirmektedir. Çevre kirliliğinin en yaygın nedenlerinin başında, hidrokarbon içerikli yakıtların yanmasından kaynaklanan emisyonlar gelmektedir. Bu emisyonlar, endüstriyel bacalardan içten yanmalı motorların egzozlarına kadar yanmanın meydana geldiği birçok yerde görülmektedir (Aksay vd., 2005). Isı motoru üreticileri, yakıt tüketimini azaltmak ve hükümetler tarafından belirlenen emisyon normlarına uymak için çalışmaktadır. Emisyonları azaltmak için iki farklı yol vardır. İlki ana sistem üzerinde revizyonlar yapılarak ve/veya yardımcı sistem ekleyip emisyon değerlerinin düşürülmesidir. Bu belirtilen sorunları çözmek için yeterli olmayıp, ek maliyet gerektiren bir durumdur. İkincisi ise ana yakıtlar içerisine yüksek kalorifik değere ve/veya oksijen içeriğine sahip katkıları eklenerek yeni alternatif yakıtların üretilmesidir.

Ülkemiz, bor madeninin dünyada bilinen rezervlerinin %72'sine sahiptir. Bor madeni ülkemizde endüstri, savunma sanayi, hijyen malzemeleri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bor en yüksek ısıl enerji içeriğine sahip madenlerden biri olmasına rağmen katma değeri yüksek sistemlerde kullanımı azdır (Yeh ve Kuo, 1996; Pang, 2019). Bor madeninin kullanım alanlarının artması ülkemiz için hem sosyal hem de ekonomik açıdan çok büyük avantajlar sağlayacaktır (Ediz ve Özdağ., 2001). Bor türevleri hem katkı maddesi olarak hem de ana malzeme olarak kullanıldığında yanma sistemlerinin verimliliğini artırmakta ve oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu karbon kaynaklı emisyon oluşumunu azaltmaktadır (Doğu vd., 2018; Doğu vd., 2020). Sıvı organoboron türevleri hem içerdikleri bor, oksijen, metil ve etil grupları, hem de sıvı hidrokarbon yakıtlar içerisinde tamamıyla çözünebilmelerinden dolayı borun dizel ve benzinli motorlarda kullanımları için benzersiz avantajlar sunmaktadırlar. Bu hususlar dikkate alındığında trimetil borat organoboron türevinin hem pratik hem de düşük maliyetli üretim yöntemi ile geleneksel hidrokarbonlara alternatif bir yakıt olabileceği düşünülmektedir.

Bu proje kapsamında, ülkemizin en stratejik, yerli ve milli değeri olan bor madeninin, işlenmesinden enerji alanında kullanılmasına kadar kapsamlı bir süreç gerçekleştirilecektir. Planlanan süreçte ilk olarak trimetil boratın ($C_3H_9BO_3$) hızlı ve düşük maliyetli üretimi için bir üretim prosedürü tasarlanacak ve üretimi gerçekleştirilecektir. Ardından damlacık skalasında, ön karışım ve difüzyon yanma test düzeneklerinde yapılacak sürekli yanma testleri ile alev karakteristiği, atomizasyon parametreleri ölçülerek yanma davranışı karakterize edilecektir. Ardından bir motor test düzeneğinde gerçekleştirilecek kesikli yanma testleri ile trimetil boratın yakıt karakteristiği belirlenecektir.

2. Problem/Sorun:

Ülkemizin enerji ihtiyacını kendi yerel kaynaklarından sağlaması, kendi kendine yetebilmesi enerji alanındaki bağımsızlığımız için büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte yüksek miktarda aromatik içeriğe sahip geleneksel hidrokarbonların eksik yanması, yüksek karbon içeriği vb. sonucunda her geçen gün daha da artan egzoz emisyonları küresel bir sorun haline gelmiştir. Ülkemizde bol miktarda rezervleri olan bor yüksek hacimsel/gravimetrik enerji yoğunluğu ile yakıt tüketiminin azaltılması, belirlenen emisyon normlarına uygun temiz ve eksiksiz yanmanın sağlanması için mükemmel bir alternatiftir. Ancak katı borun yanması için hale hazırda hem endüstriyel alanda kullanılan ısı motorlarının yeniden yapılandırılması hem de

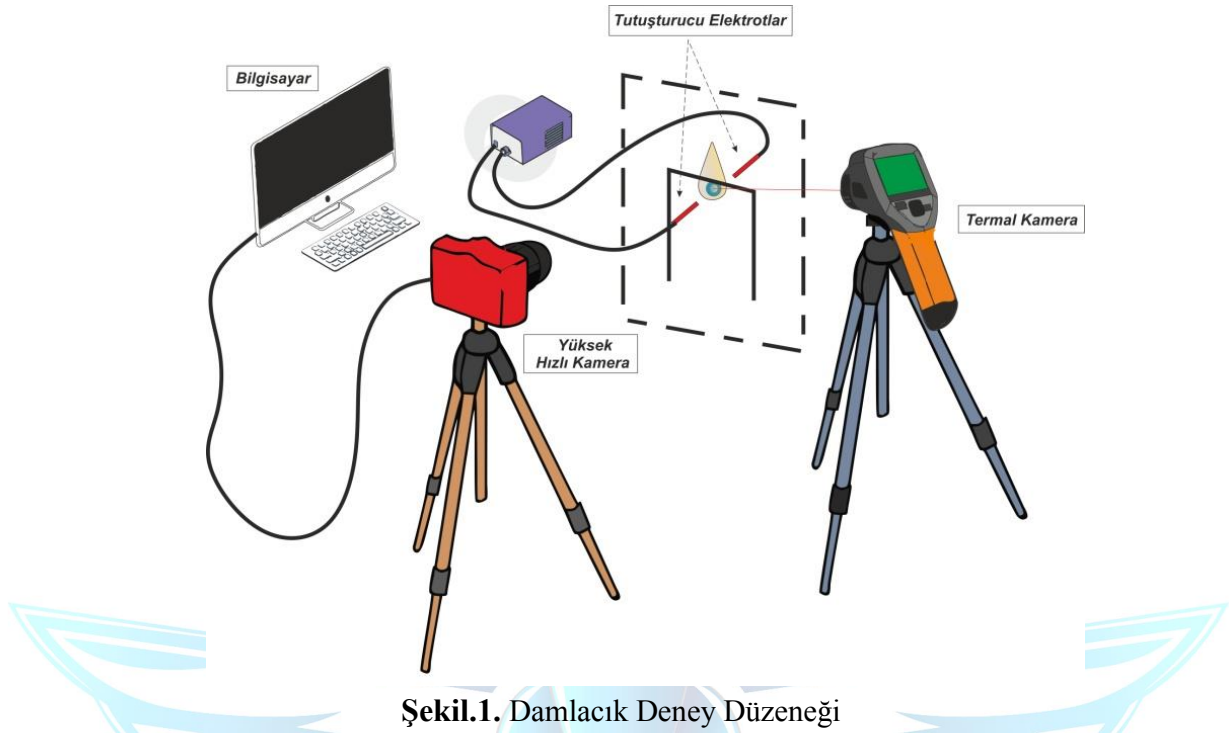
kamusal alanda sayısı oldukça fazla olan içten yanmalı ve dizel motorlu araçların borun yanması için uygun hale getirilmesi oldukça maliyetlidir. Günümüzde sıvı fazda yakıt kullanımı yanma sürecinin kontrol edilebilmesi, yönlendirilebilmesi ve depo edilebilirliği ile hala en efektif yöntemdir. Bu hususlar göz önüne alındığında alternatif yakıt uygulamalarında sıvı fazda bor türevlerinin kullanımının yaygınlaştırılması, kolay ve düşük maliyetli üretim proseslerinin belirlenmesi borun kamusal alanda bir yakıt olarak kullanılabilirliğinin önünü açacaktır. Ülkemiz sahip olduğu bor madenlerinin kalitesi ve yüksek miktarda mevcudiyeti ile bu konuda öncü olma potansiyeline sahiptir. Borun hızlı ve kolay işlenmesine yönelik atılacak adımlar şüphesiz ki bor ticaret hacimimizi genişletecek ve diğer ülkelere pazarlanabilmesi ekonomik açıdan fayda sağlayacaktır.

3. Çözüm

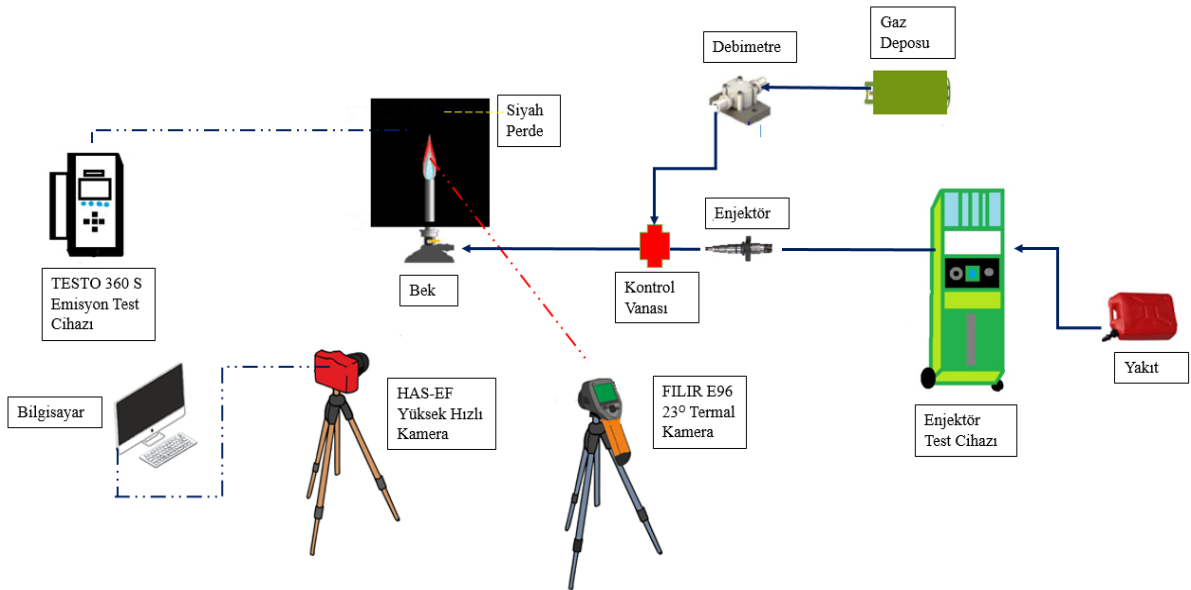
Hızlı ve kolay üretim, düşük maliyet ve yanma için uygun kimyasal yapıya sahip olma esaslarına bağlı olarak gerçekleştirdiğimiz bilimsel dayanağa sahip ve yeniliğe odaklı çalışmalar trimetil borat organoboron türevinin alternatif yakıt olarak kullanılacak en iyi sıvı fazda bor türevi olma özelliklerini sağladığını göstermiştir. Borun yanı sıra yapısında kararlı metil grupları ve zengin oksijen içeriği yanma reaksiyonları sırasında borun tutuşması ve yanması için kendiliğinden uygun bir ortam sunmaktadır. Ayrıca artan oksijen içeriği ile alternatif yakıt karışımlarında eksik yanan hidrokarbonların oksidasyonu için gerekli oksijeni sağlayacaktır. Düşük sıcaklıklarda ve tek potada üretim tekniği ile hızlı, risksiz ve toksik gaz çıkışı olmayan bir üretim süreci sağlamaktadır. Belirlenen prosedür yeniliğe dönüştürülebilirliği hususunda ülkemizin her yerinde rahatlıkla tesis edilebilecek üretim prosesi için bir prototip niteliğindedir. Sentezlenen trimetil boratın yakıt performansının araştırılmasında kullanılacak yöntemler sırasıyla, damlacık testi, ön karışimli ve difüzyon alev test düzeneklerinde gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda sürekli yanma testleri trimetil boratın yanma davranışının karakterize edilmesinde pratik, nicel ve nitel gözlemlere izin veren yöntemlerdir. Damlacık skalasında gerçekleştirilen yanma testleri bir enjektörden püskürtülen yakıtın en küçük yapıtaşı olan damlacığın alev karakteristiği, atomizasyonu, tükenme süresi, tutuşma gecikme süresi gibi parametrelerinin belirlenmesine izin vermektedir. Ön karışimli alev testleri alev hızının hesaplanmasını, difüzyon alev testleri ise püskürtülen yakıtın yanma ortamına penetrasyonu hakkında bilgiler edinilmesini sağlayacaktır. Kolayca tesis edilebilen bu deney düzenekleri yüksek maliyet gerektirmez ve elde edilen verilerin analizi kolaydır.

Damlacık skalasında gerçekleştirilen deneyler sadece 2 mm çapa sahip trimetil borat yakıt damlacıklarının ısı iletkenliği oldukça düşük bir tel üzerine asılması ve bir tutuşturucu yardımıyla tutuşturulması ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.' de damlacık alev test düzeneginin şematik görselinde görüldüğü gibi optik bir sistem ile donatılan deney düzenegi deney süresince kayıt altına alınmıştır. Trimetil borat damlacığının canlı alev görüntüleri bir yüksek hızlı kamera ve alev sıcaklıkları lazer odaklı bir termal kamera ile kaydedilmiştir. Tutuşma gecikmesi ve tükenme süreleri milisaniye ölçeğinde kaydedilen sıralı alev görüntülerin işlenmesi ile belirlenmiştir. Trimetil boratın ön karışimli alev testleri yakıt beslemesi bir enjeksiyon cihazı ile sağlanan bir bunsen beki üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi ön karışimli alev test düzenegi bir optik sistem ile donatılmış ve yanma süreci deney sonuna kadar kayıt altına alınmıştır. Stokiyometrik şartlarda gerçekleştirilen ön karışimli alev testlerinden trimetil borat alevinin spektral özellikleri değerlendirilmiştir. Sentezlenen trimetil boratın yakıt performansı ise iki zamanlı bir motor test düzeneginde gerçekleştirilmiştir. İki zamanlı motora emisyon

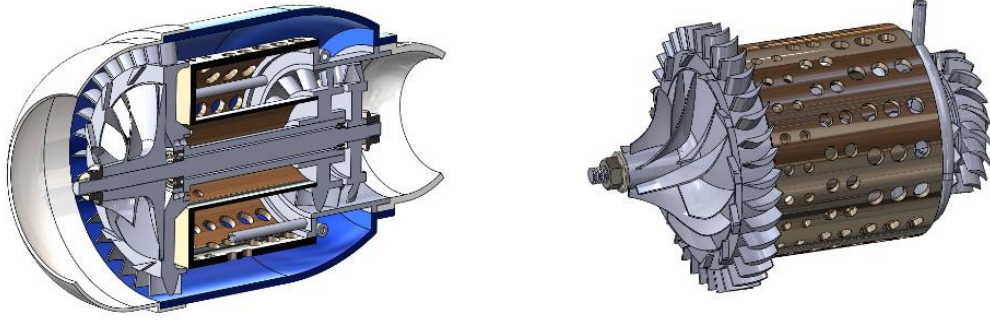
cihazının entegre edildiği sistemde deney süresince emisyon tür ve miktarları belirlenmiştir. Proje kapsamında trimetil boratın yakıt performansının gaz türbinli motorda da test edilmesi planlanmaktadır. Şekil 3’de özgün tasarımı gerçekleştirilen gaz türbinli motor görülmektedir.



Şekil.1. Damlacık Deney Düzenegi



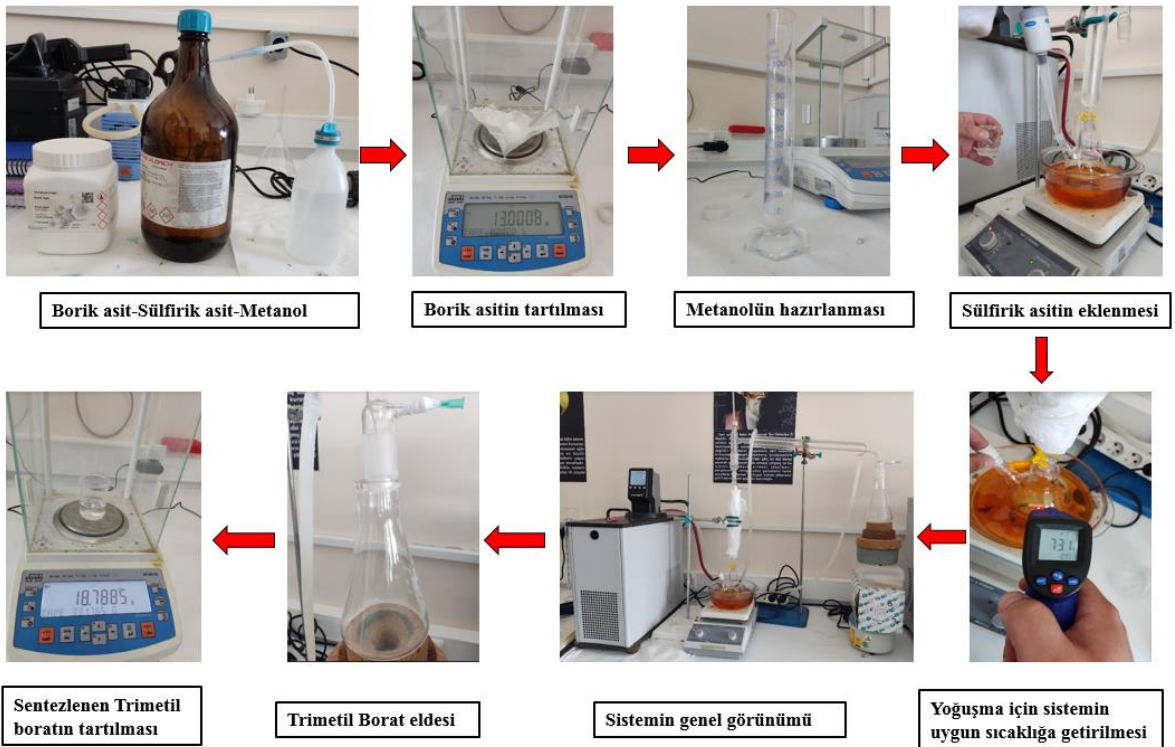
Şekil.2. Bunsen Beki Deney Düzenegi



Şekil.3. Tasarımı Gerçekleştirilen Gaz Türbinli Motor

4. Yöntem

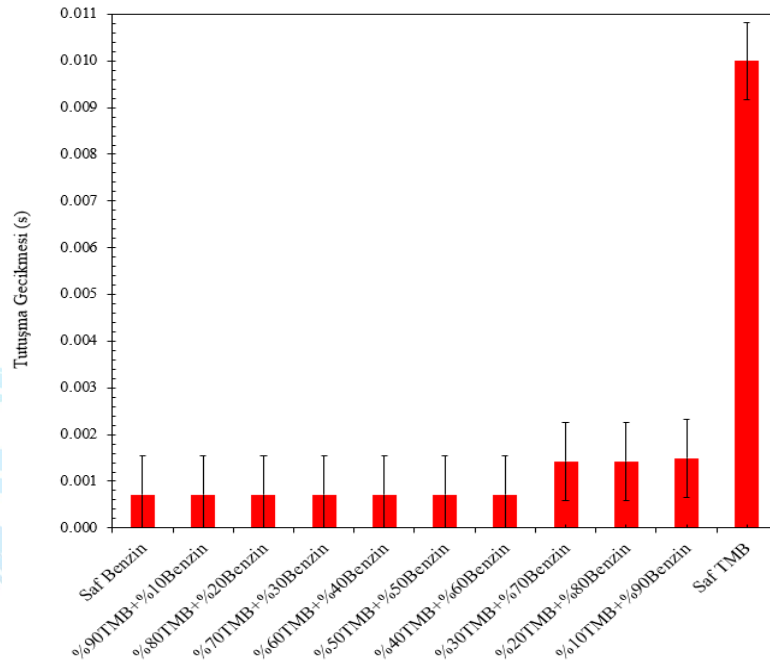
Trimetil borat tek potada bir kimyasal sentez tekniği ile üretilmiştir ve Şekil 4’de ana üretim aşamaları sunulmuştur. Belli oranlarda çift boyunlu bir balon içerisinde bir araya getirilen borik asit, metanol ve sülfürik asit 70-80 °C aralığında 1 saat süreyle reflux edilmiştir. Ardından reflux işlemi sonlandırılmış ve sisteme bir damıtma sistemi entegre edilmiştir. 2 saat süreyle reaksiyon karışmaya bırakılmış ve buhar fazında oluşan trimetil borat damıtma sistemi aracılığı ile yoğunlaştırılarak ile bir erlen içerisinde toplanmıştır.



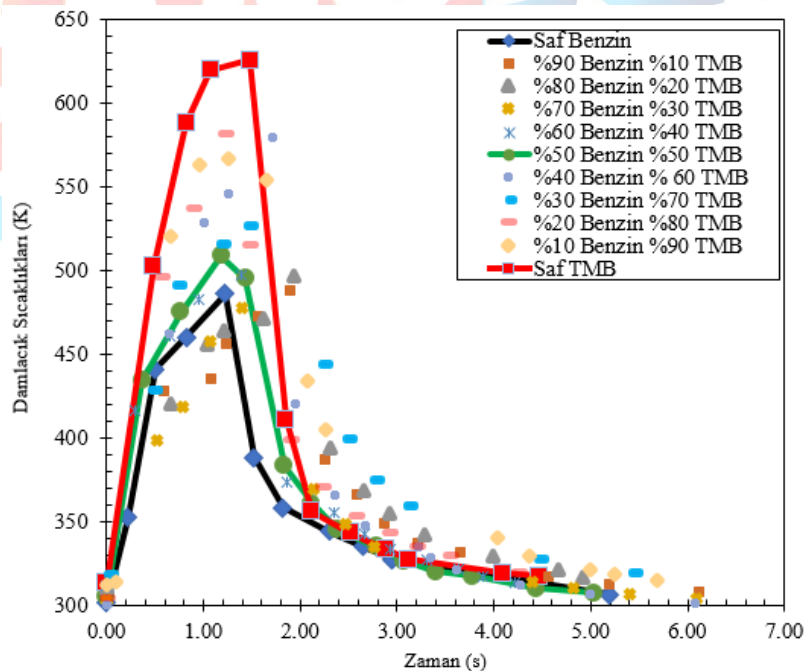
Şekil.4. Trimetil borat eldesi

Test yakıtları saf trimetil borat ve belli oranlarda trimetil borat içeren benzin esaslı yakıt karışımları oluşturularak elde edilmiştir. Trimetil boratın yanma karakteristiğini gözlemlemek için sırasıyla; damlacık testleri, Bunsen bek testleri, yakıt davranışını değerlendirmek için motor performans testleri gerçekleştirilmiştir. Damlacık skalasında gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen tutuşma gecikmesi süreleri ve alev sıcaklıkları sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6’da sunulmuştur. Şekil 7 ve Şekil 8’de ise sırasıyla trimetil boratın

damlacık alev görüntüleri ve farklı karışım oranlarında (%0, %5, %10, %15, %20, %25) trimetil borat ile beslenen benzin esaslı yakıt karışımının ön karışımli alev görüntüleri sunulmuştur. Test edilen yakıtların tutuşma gecikmeleri kıyaslandığında en uzun tutuşma gecikmesinin saf benzinde olduğu görülmektedir. Saf benzin yakıtına %10'luk trimetil borat ilavesinin bile tutuşma gecikmesini neredeyse %85 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, minimum miktardaki trimetil borat yakıtı eklentisinin bile sistem üzerinde ciddi anlamda etkisini görebilmek mümkündür. Yanma süreci boyunca damlacık alevinin sıcaklık trendi değerlendirildiğinde ise en yüksek alev sıcaklığına saf trimetil borat yakıtının, en düşük alev sıcaklığına ise benzinin sahip olduğu görülmektedir.

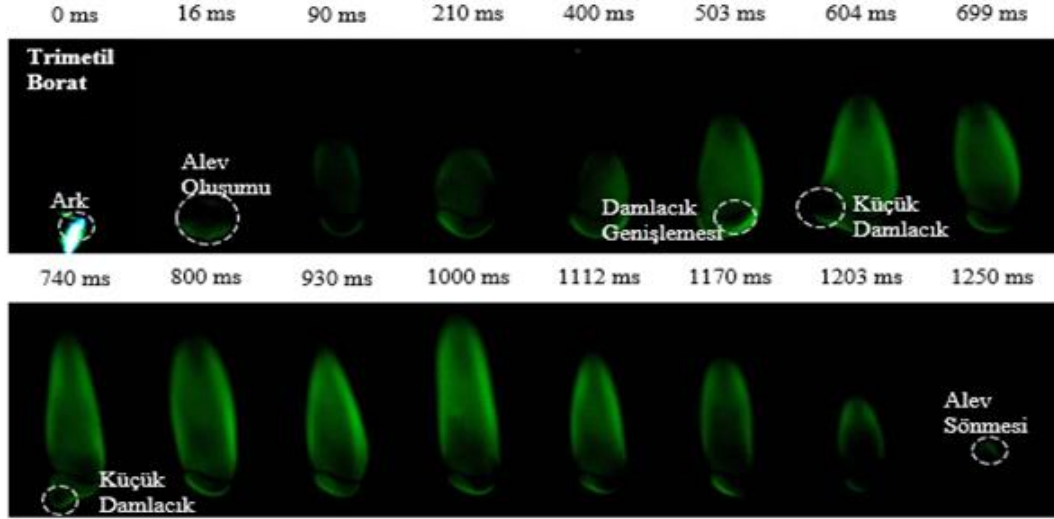


Şekil.5. Damlacık tutuşma gecikmesi test sonuçları

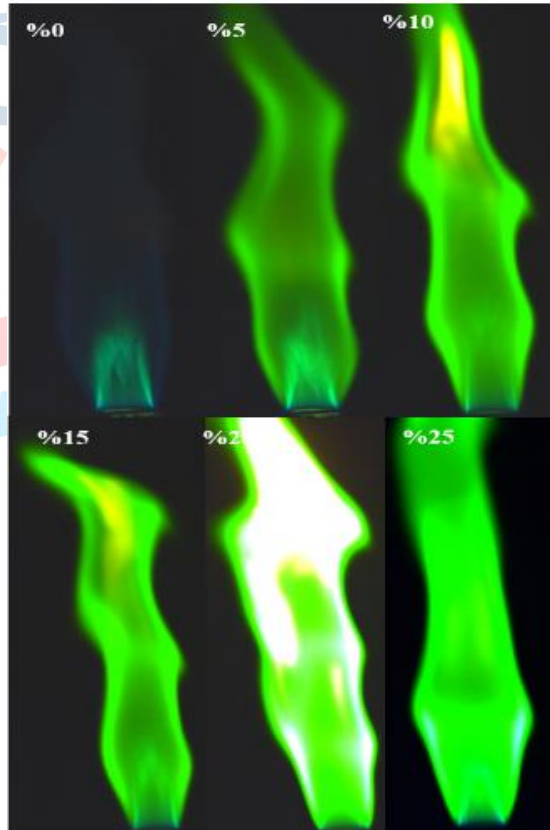


Şekil.6. Damlacık sıcaklık test sonuçları

Saf trimetil boratın sıralı alev görüntüleri incelendiğinde ise saf trimetil boratın reaktivitesinin çok yüksek olduğu ve hızlı bir şekilde yandığı görülmektedir. Trimetil boratın damlacık deneylerinde tamamen yeşil renkte olduğu ve sarı ışımlar yapmadığı görülmektedir. Bunsen bekinde trimetil borat ile beslenen benzin esaslı yakıt karışımlarının ön karışımli alev görüntüleri incelendiğinde ise sarı renkte ışıma yaparak yanan bor partiküllerinin alev bölgesine taşındığı net bir şekilde gözlemlenmektedir.

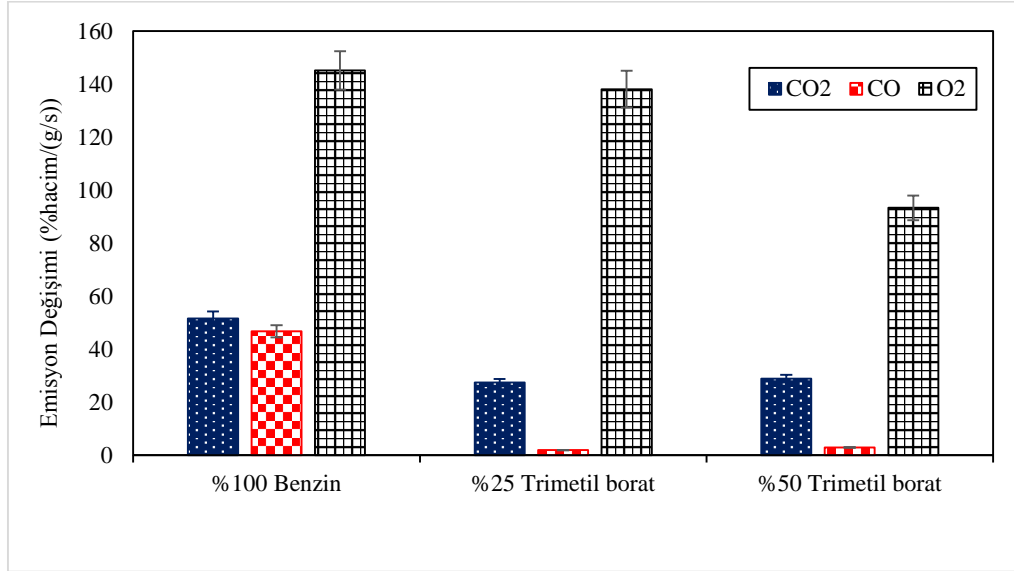


Şekil.7. Trimetil boratın damlacık alev görüntüleri



Şekil.8. Trimetil boratın Bunsen bekinde incelenmesi

Şekil 9’da motor testi emisyon sonuçları görülmektedir. Farklı oranlarında trimetil borat+benzin karışımları ve saf benzin için veriler karşılaştırıldığında; tüm emisyon çıktılarının benzin yakıtına göre düşük olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, minimum miktardaki trimetil borat yakıtı eklentisinin bile sistem üzerinde etkisini görebilmek mümkündür.



Şekil.9. Emisyon ölçüm verileri

Genel olarak trimetil boratın yanma testleri sonucunda hem ana yakıt hem de ilave yakıt olarak umut vaad ettiği düşünülmektedir. Bu bağlamda mevcut şartlarda kesikli yanma sistemlerinde, düşük enerji içeriğine sahip yakıtlara ilave yakıt olarak kullanılması yada sürekli yanma sistemlerinde doğrudan ana yakıt olarak kullanılabilmesi tahmin edilmektedir. trimetil borat ve diğer bor türevlerinin katma değeri yüksek alanlarda kullanılması Ülkemizin enerji bağımsızlığına ciddi faydalar sağlayacaktır.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Proje kapsamında gerçekleştirilen deneylerle geleneksel hidrokarbon yakıtlara alternatif olarak ilk kez bir organoboron türevi doğrudan ya da bir yakıt karışımı olarak kullanılabilmesi gösterilecektir. Bilimsel literatür detaylı olarak incelendiğinde borun yakma sistemlerinde yakılması üzerine gerçekleştirilmiş çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Literatürde yakma sistemleri ile ilgili mevcut çalışmalar katı bor uygulamalarına yöneliktir. Bu projede yakma sistemleri için trimetil borat sentezi yapılan türün saf ve katkılı olarak kullanıldığı karışımların; yanma karakteristikleri ile emisyon oluşumları deneysel olarak incelenmiştir.

6. Uygulanabilirlik

Bu projenin önemli çıktılarından birisi, test edilecek karışimli yakıtların direkt olarak halihazırda gündelik hayatta kullanılabilen yakma sistemlerine direkt olarak uygulanabilir olmasıdır. Bu ürünlerin pazarlanabilirliği açısından önemli bir etkidir. Proje sonuçlarının lojistik, enerji üretimi ve savunma sanayi tarafından kullanılabilir sonuçlarının olması projenin uygulanabilirliğin yaygın etkisini gözlemleyebilmek açısından önemlidir. Geliştirilen yeni nesil yakıtlara ek olarak yeni yakma sistemleri tasarımlarının da ticari bir ürüne dönüştürülmesi pozitif bir etki olarak görülmektedir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Tablo.1. İş-zaman çizelgesi

İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri	Zaman Aralığı (..-..Ay)	Başarı Ölçütü ve Projenin Başarısına Katkısı
Malzeme Tedariği Sonrası Sistemlerin ve İlgili Ekipmanların Kullanımının Öğrenimi, Ölçüm ve Sentez Çalışmalarının Gerçekleştirilmesi	Ocak-Şubat/2022	Bu iş paketi içerisinde; çalışma ekibi daha önce gerçekleşen ve literatürde de yer alan, proje çalışmasına yakın olan, çalışmaların sonuçlarının detaylı incelenmesi; çalışma ekibinin koordinasyonun sağlanması; laboratuvarında yer alan cihazların birbiriyle entegrasyonu; ölçüm sistemlerinin kurulumu; ölçüm ekipmanlarının, optik görüntüleme sistemlerinin ve kullanımının öğrenilmesi; trimetil borat sentezinin araştırılması yer almaktadır. Ön testler ile sistemlerde sağlıklı ölçüm alınıp alınmadığı ve sistemlerin kalibrasyonları gerçekleştirilecektir.
Trimetil Borat Yakıt Sentezinin Gerçekleştirilmesi	Mart/2022	Bu iş paketi içerisinde; trimetil borat sentezi için deney setinin kurulumu ve revizyonlarının tamamlanması, sentezin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.
Deneme Çalışmaları Sonrası Deneyler için Test Matrisinin Tanımlanması ve Çalışmanın Ulaşmak İstedığı Hedefler için Tekil Yakıt Deneysel Çalışmaların Gerçekleştirilmesi	Mart/2022	Ön deneme ölçümleri sonrası test matrisinin oluşturulması, damlacık testi, Bunsen beki testi, motor testi ölçüm sistemi için gerçekleştirilecek deney seti kurulum ve revizyonlarının tamamlanması, sistemleri kullanarak trimetil borat tekil yakıtı için hava ile yakılma durumlarına ait ölçümlerin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.
Karışımli Yakıt Deneysel Çalışmalarının Gerçekleştirilmesi	Nisan/2022	Proje çalışmasının en kapsamlı test alanı olan karışımli yakıt testleri için, benzin+trimetil borat kullanılacaktır. Ön karışımli alev ve difüzyon alevi testleri, damlacık testleri, motor testlerinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu testler ile karışımli yakıt türleri için fiziksel parametrelere ait ölçümler gerçekleştirilecektir.

Deneysel Çalışmalardan Elde edilen Verilerin Değerlendirilmesi, Proje Detaylı Tasarım Raporunun Hazırlanması	Mayıs/2022	Proje kapsamında gerçekleştirilen detaylı deneysel çalışmalardan elde edilen veriler; karışımlara, alev türlerine, yakma sistemlerine göre kendi aralarında karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir.
Gaz Türbinli Motor Üretimi ve Deneysel Çalışmalarının Gerçekleştirilmesi	Mayıs-Haziran/2022	Bu iş paketi içerisinde tasarımı halihazırda yapılan gaz türbinli motorun üretiminin gerçekleştirilmesi ve trimetil borat yakıtı ile deneysel testlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Tablo.2. Tahmini Maliyet Tablosu

Malzeme Adı	Birim	Birim maliyet (TL)
Borik Asit	1 kg	100
Metanol	1 L	140
Sülfirik Asit	1 L	30
Toplam maaliyet		270

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Bor türevinin saf kullanımı ve yakıt içerisine ilavesiyle özellikle yakıt sarfiyatında sağlanacak azaltıcı etkinin sonucunda; enerji tüketiminin ve karbon salınımının azaltılması açısından projenin toplumsal etkisi adına önemlidir. Diğer bir noktada emisyonlarda gözlenmesi planlanan düşüş sayesinde çevre ve atmosfer açısından sağlanacak pozitif etkidir. Bu etkiler direkt olarak önemli bir problem olan küresel ısınma problemi ile alakalı konulardır. Bu bağlamda pozitif etki yaratması bekleyen proje sonuçları insan dünya yaşam döngüsü adına önem arz etmektedir.

Yakma sistemleri için elde edilen kazanımların sadece içten yanmalı motorlar ve taşıt teknolojisinin geliştirilmesi alanında değil aynı zamanda havacılık ve uzay sistemleri için kullanılan motorların geliştirilmesi içinde kullanılması hedeflenmektedir. Bu projenin sonucunda bor türevinin kullanımı konusunda, ülkemiz adına enerji, lojistik, uzay-havacılık ve savunma sanayinde (hibrit roketler, katı yakıtlı roketler) kullanılacak olan itki sistemleri için bir bilgi ve veri havuzu sağlanmış olacaktır. Özellikle lojistik, enerji üretimi ve savunma sanayi sektörlerinde görev yapan firmalarla işbirliklerinin artırılması ve konuya istinaden yeni ar-ge projeleri yeni nesil yakıtlar yeni tip yakma sistemleri gibi organize edilerek konunun yaygınlaştırılması ve bu kapsamda yeni araştırmacıların ülkemize kazandırılması hedeflenmektedir. Genel hedefler ise; bu çalışma ile ortaya konulacak iyileştirmelerin enerji sektörü bazında yaygınlaştırılıp milli sanayimize katkı vererek, çevresel ve ekonomik açıdan fayda sağlamaktır.

9. Riskler

Projenin başarısını olumsuz yönde etkileyecek riskler ve bu riskler ile karşılaşıldığında projenin başarıyla yürütülmesini sağlamak için alınacak tedbirler (B planlarını) ilgili iş paketleri belirtilerek ana hatları ile aşağıdaki Risk Yönetimi Tablosu'nda ifade edilmektedir.

Tablo.3. Risk yönetimi Planı

En Önemli Riskler	Risk Yönetimi (B Planı)
Tekil Yakıt Yakma Problemi	Trimetil borat malzemesinin yanma davranışına ait literatürde net bir bilgi ya da yaklaşımı yer almamaktadır. Herhangi bir başka yakıt ile karışmadan gerçekleştirilmesi planlanan saf yakıt testlerinde bu malzemenin oksijen ve hava ile yakılma durumlarında karşılaşılabilecek problemlerde alternatif yakma metodolojileri uygulanacak ve test matrisinin davranışlarına göre revizyona gidilecektir.
Karışımli Yakıt Hazırlama ve Yakma Problemi	Karışım oluşturma esnasında karışım oluşumu çözme ya da homojenlik problemleri meydana gelebilir bu sorunu ortadan kaldırmak için; karışımı ısıtma, karışımın karıştırma prosesini uzatma gibi yöntemler denenecektir. Yakma kaynaklı problemlerde ise alternatif yakma ve ateşleme metodolojilerinden faydalanarak karışımların performansı belirlenecektir.

TEKNOLOJİ
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

10. Kaynakça ve Rapor Düzeni

Aksay, C. S., Ketenođlu, O., Latif, K. U. R. T., (2005) Küresel ısınma ve iklim değişikliği, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, 25, 29-42.

Doğu, Y., Yontar, A. A., Kantarođlu, E., (2018) Sıralı çift buji ateşlemeli motorda saf ve karışımı alternatif yakıtların (benzin, CNG, LPG, aseton, naftalin ve bor Türevleri) Etkilerinin Deneysel İncelemesi, 14. Uluslararası Yanma Sempozyumu (INCOS2018), Karabük, Türkiye.

Doğu, Y., Yontar, A. A., Kantarođlu, E., (2020) Experimental investigation of effects of single and mixed alternative fuels (gasoline, CNG, LPG, acetone, naphthalene, and boron derivatives) on a commercial i-DSI engine, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 1-20.

Ediz, N., Özdağ, H., (2001) Bor mineralleri ve ekonomisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 133-151.

Pang, W., (2019) Boron-based fuel-rich Propellant: Properties, Combustion, and Technology Aspects, CRC Press.

Yeh, C. L., Kuo, K. K., (1996) Ignition and combustion of boron particles, Progress in Energy and Combustion Science, 22, 511-541.

