

Ekim 2025

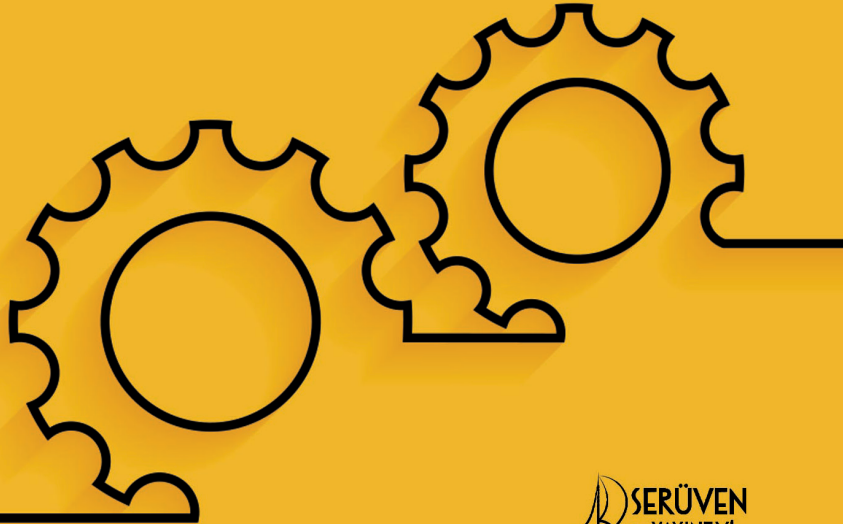
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ALANINDA ULUSLARARASI AKADEMİK ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

EDİTÖRLER

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK



 **SERÜVEN**
YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2025

ISBN • 978-625-5737-65-6

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ALANINDA ULUSLARARASI AKADEMİK
ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

EKİM 2025

EDİTÖRLER

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP
PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

BİTKİSEL KAYNAKLI BİYODİZELLER VE DİZEL MOTORDA
KULLANILMASININ ETKİLERİ

Dinçer AKAL 1

BÖLÜM 2

KARAYOLLARI ÇALIŞANLARINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ
FARKINDALIĞININ ÖLÇÜLMESİ

Funda KAHRAMAN 13

BÖLÜM 3

KONVANSİYONEL EV TİPİ BİR KOMBİDEN YOĞUŞMALI EV TİPİ BİR
KOMBİYE GEÇİŞTE MÜHENDİSLİK KRİTERLERİ

Mehmet UÇAR..... 25

Ramazan KÖSE..... 25

BÖLÜM 4

TİTANYUM BAZLI MALZEMELER VE UYGULAMALARI

Fevzi KELEN..... 47



BİTKİSEL KAYNAKLI BİYODİZELLER VE DİZEL MOTORDA KULLANILMASININ ETKİLERİ

“=====”

Dinçer AKAL¹

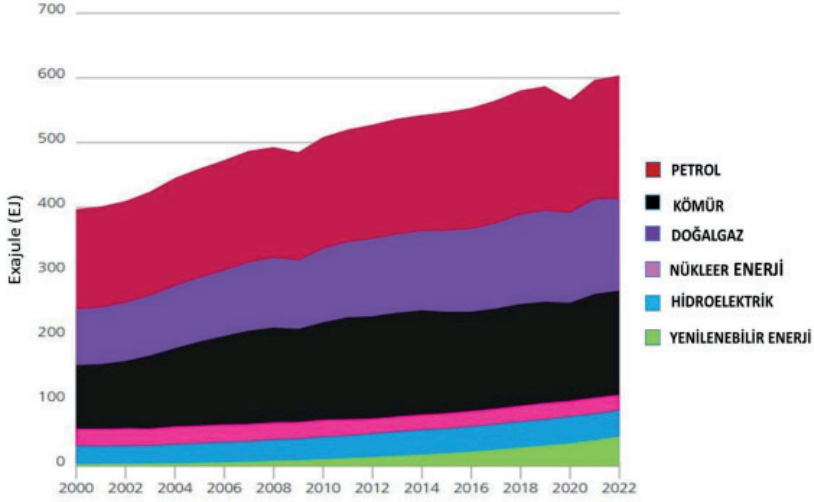
¹ Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne
dincerakal@trakya.edu.tr
ORCID: 0000-0003-0055-5471

Giriş

Dünya nüfusunun artması ile birlikte; fosil kökenli yakıtların kullanımının artması, enerji kaynaklarının giderek azalması, fiyatların artması ve çevreye atılan zararlı emisyonların yükselmesi gibi sorunlar daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Klasik enerji kaynaklarının bir süre sonunda tükeneceği ve ekonomik sorunlara sebep olacağı beklenmektedir. Bu nedenle, dünya ülkelerinin pek çoğu kendi gelecekleri için alternatif yakıt arayışlarına girmişlerdir. İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan zararlı emisyonların insan sağlığı ve çevre koşulları üzerindeki olumsuz etkisi nedeni ile alternatif yakıtların türünün belirlenmesinde kısıtlayıcı bir faktör olmaktadır[1].

Son zamanlarda otomotiv sektöründeki pek çok binek araç üreticisi bu sorunlardan ve artan maliyetlerden dolayı dizel motor üretiminden vazgeçmişlerdir. Ancak ticari olarak üretilen ağır vasıta araçların tamamında dizel motor üretimi devam etmekle birlikte mevcut dizel araçlarında kullanımda olmasından dolayı enerji verimliliği ve alternatif yakıtlar konusu büyük önem kazanmıştır. Özellikle dizel motorlar için dünyanın pek çok ülkesinde biyodizel üretilerek petrolden üretilen motorine belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmaktadır. Biyodizel üretimi yağ içeren tohum ve bitkilerin yanında atık kızartma yağlarından, hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör kullanılarak üretilmektedir[1]. Ülkemiz gibi petrol konusunda dışa bağımlı ülkelerin alternatif bir yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanılması Avrupa Birliği Uyum süreci içinde büyük önem arz etmektedir. Bu amaç doğrultusunda Avrupa birliği ülkelerinde standart motorine %2 oranında biyodizel karıştırılarak satılmaktadır[1]. Dizel motorlarda kullanılan motorine yakın özelliklerde olan biyodizel temiz ve ekonomik olmasının yanında atık hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilerek alternatif yakıtı dönüştürülerek dışa bağımlılık azalacağı için milli gelire katkı sağlanmış olacaktır.

Dünyanın pek çok ülkesinde enerjiye olan talep her yıl artış göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bilgi İdaresinin açıkladığı rapora göre; 2015-2040 arasında enerji tüketiminin %28 oranında artış göstereceği tahmin edilmektedir. Özellikle en büyük artışın taşımacılık ve endüstride gerçekleşeceği ifade edilmektedir[2]. Diğer yandan Avrupa Birliği enerji güvenliğini arttırmak ve iklim değişikliği ile mücadele etmek amacıyla 2009 yılında yeni bir iklim ve enerji paketini yasalaştırmıştır. Bu yasa ile birlikte Avrupa birliği 2020 yılında taşımacılık sektöründe kullanılan enerjinin %10 luk kısmının yenilenebilir enerjilerden karşılanmasını hedeflemiştir. Dünya genelinde enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan yakıt türlerine göre meydana gelen talep artışı şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1. Kullanılan yakıtlara göre Dünya Geneline Talep Artışının Değişimi[2].

Biyodizelin Tarihsel Gelişimi ve Dünyadaki Durumu

Tarihsel olarak ilk biyodizel sıkıştırma ile yanmalı dizel motorlarda Rudolf Diesel tarafından denenmiştir. 1900' lü yıllarda dizel motor Paris teki bir fuarda %100 fıstık yağı ile çalıştırılmıştır. 1911 de yaptığı açıklamada biyodizel kullanan motorların ülkesinde tarımın daha fazla öne çıkacağını ve gelişeceğini belirtmiştir. Rudolf dizelin bu ilk adımı yenilenebilir enerjiler için bir dönüm noktası olmuştur[3-4]. Daha sonra biyodizel ile ilgili ilk denemeler 1940 yılında Fransa da yapılmıştır. O dönemde Belçikalı bilim adamları da otobüslerde kullanılmak üzere palm yağı ile ilgili denemeler yapmışlardır. Ancak yüksek petrol fiyatlarıyla ilgili endişelerden dolayı yağlar üzerindeki araştırmalar 1970-1980' ler arasında oldukça yavaş ilerlemiştir [5-6]. Biyodizeller, 1990' ların başında yaygın olarak üretilmeye başlanmış ve devam etmektedir. Avrupada artan enerji talebinin biyodizel ile karşılanması için yapılan teşvikler sonrasında 1990' larda biyodizeller daha yaygın hale gelmiştir[7].

Biyodizelin dünyadaki durumu incelendiğinde ticari olarak Avrupa ve Amerika da üretildiği görülmektedir. Avrupa da biyodizel üretiminde, Avusturya, İtalya, Almanya ve Fransa aktif olarak yer almaktadır. Özellikle Avusturya üretimde lider durumda olup üretimde kolza yağı ve atık kızartmalık yağları kullanmayı tercih etmektedir. Biyodizel üretimindeki maliyetin %75 lik kısmını hammadde oluşturmaktadır[8]. Bu nedenle petrol ile rekabet edebilecek hale gelmesi için ham madde maliyetlerinin düşürülmesi büyük önem arz etmektedir. Biyodizelin yaygınlaştırılması için Avusturya da sadece tarımsal kullanımda çeşitli vergi indirimleri uygulanmaktadır. Avrupa ülkele-

rinden Fransa da ise; Renault, Peugeot ve Citroen marka araç üreticileri Total ve Elf petrol şirketleri ile birlikte biyodizelin hem daha fazla üretilmesi hem de daha yaygın kullanımı için faaliyetlerini sürdürmektedirler[8].

Amerika Birleşik Devletlerinde biyodizel üretiminde ise; kolza, soya, ayçiçek ve atık kızartma yağları ham madde olarak tercih edilmektedir. Bu ülkede vergi indirimi olmasa da biyodizel daha çok otobüslerde, deniz taşıtlarında ve askeri araçlarda kullanılmaktadır.1992 yılında Amerika Birleşik Devletleri tarafından çıkarılan yasa da; petrol kullanımının yıllara bağlı olarak %10 ile %30 luk kısmının biyodizelin de dahil olduğu alternatif enerji kaynaklarından karşılanması şartı getirilmiştir[8].

Biyodizel Kavramı ve Üretim Kaynakları

Yağ içeren bitkilerin yeni veya kullanılmış atıklarından ayrıca hayvansal yağlardan kimyasal yöntemlerle elde edilen yenilenebilir sıvı yakıtlara biyodizel adı verilmektedir. Biyodizeller çevre dostu biyoyakıtlar sınıfında yer almaktadır. Bunların dışında biyodizel alglerden, mikroalglerden ve mantarlardan da üretilmektedir. Genellikle yağ içeren bitkiler daha fazla tercih edilmektedir. Küresel olarak biyodizel üretimine uygun 350'den fazla yağ taşıyan kaynak bulunmaktadır [9].

Biyodizeller piyasada biyomotorin, yeşil enerji veya yeşil dizel isimleri ile de kullanılmaktadır. Ülkemizde TBMM tarafından 04.12.2003 tarih ve 5015 numarası ile çıkarılan Petrol Piyasası Kanununda TS EN 14214 ve TS EN 14213 standartlarında elde edilen yakıtın ismi biyodizel kavramı ile anılmaktadır[8].

Biyodizel üretimi için yenilenebilir kaynaklar olarak; soya fasulyesi, palm yağı, ayçiçeği, aspir, kolza tohumu, hindistan cevizi örnek verilebilir. Dünyada üretilen toplam biyodizelin %95'inden fazlası yenilenebilir yağ kaynaklarından elde edilmektedir. Genel olarak yenilenebilir yağ kaynaklarından; %84 kolza tohumu, %13 ayçiçek yağı, %1 pal yağı ve %2 soya fasulyesi yağı vb. yağ içeren bitkiler biyodizel üretiminde kullanılmaktadır [9].

Biyodizelin Üstünlükleri

Biyodizelin motorlarda kullanılması sonucunda petrol dizeline göre; bazı avantajlı ve dezavantajlı durumlar meydana gelmektedir. Bu durumlar iki başlık altında düzenlenecek olursa [8];

-Biyodizel yenilenebilir bir kaynak olup yerel imkânlarla üretilmektedir.

-Biyodizel biyolojik ayrışabilen bir yapıya sahiptir.

-Biyodizelin yapısında kükürt hemen hemen yok mertebesindedir.

-Biyodizel petrolden elde edilen dizel yakıtı kullanımına göre CO₂ emisyonuna sebep olmamaktadır. Bunun nedeni ise; biyodizel kullanımına bağlı olarak çevreye atılan CO₂ emisyonu biyodizelin üretildiği alanlardaki bitkiler tarafından absorbe edilmektedir.

-Biyodizelin parlama noktası petrolden üretilen dizele göre daha düşüktür. Bu durum taşıma ve kullanım güvenliği sunmaktadır.

-Biyodizel petrol dizeli ile karıştırılarak kullanılabilir ve motorun yağlanması olumlu etkisi vardır.

-Biyodizel yapısında daha fazla oksijen barındırdığı için yanma verimi yüksektir.

Biyodizelin Olumsuz Yönleri

-Biyodizel petrolden üretilen dizel yakıtına göre ısı değeri daha düşüktür. Bu durum motorun ürettiği gücünün azalmasına sebep olmaktadır.

-Biyodizel soğuk hava şartlarından olumsuz etkilenir ve viskozite değişimlerine uğramaktadır. Özellikle -20°C dan daha düşük sıcaklıklarda akışkan özellikleri ile ilgili sorunlar meydana gelmektedir.

-Biyodizel kullanımında yanma sonunda oluşan azot oksitler petrol dizeline göre bir miktar daha yüksektir.

-Biyodizel yapısına ve özelliklerine bağlı olarak motorun yakıt tüketimi hacmen %11 e varan artış gösterebilmektedir.

-Biyodizelin %100 olarak kullanılması halinde motorun özellikle yakıt sistemindeki parçalarda, hortumlarda ve sistemdeki contalarda iyileştirmeler yapılmalıdır.

Bitkisel Kaynaklı Biyodizeller

Biyodizel üretimi için en ideal kaynak yağ içeriği yüksek bitkilerden veya tohumlardan faydalanmaktır. Bu bitkiler dünyanın farklı ülkelerindeki toprak yapısına ve iklim şartlarına göre yetiştirilebilmektedir. Ayrıca dünyanın hemen hemen her yerinde çeşitli yağ bitkisi tarımı da yapmak mümkündür[10].Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağlar başlıklar halinde incelenecek olursa ;

Kanola Yağı

Kanola, kışlık ürünlerin yetiştirildiği her iklime uygun olarak ekilebilmektedir. Kanola nın hem kışlık hem de yazlık çeşidinin bulunmasından dolayı pek çok ülkede tercih edilmektedir. Biyodizel üretiminde kullanılan kanola tohumu içeriğinde; sıfıra yakın erüsik asit, %38-50 yağ ve %16-24 protein bulunan önemli bir yağ bitkisidir. Kanola dan elde edilen yağın kalitesi zeytinyağının ve fıstık yağının içeriğine çok yakındır. Kanola tohumundan

mekanik presleme ile elde edilen ham yağa katalizör olarak eklenen metenol ile normal basınçta estere dönüştürülmektedir.1kg kanola tohumundan 450g bitkisel yağ elde edilmektedir[10]. Üretim de gerek tohumdan çıkarılan, işlem görmemiş ham kanola yağından, gerekse işlem görmüş rafine kanola yağından bizodizel elde edilebilmektedir. Kanola yağı biyodizelinin standartlara yakın özellikler göstermesi bu yağ bitkisine olan ilgiyi arttırmaktadır. Kanola yağının asitlik değeri ve iyot sayısı düşüktür. Ayrıca diğer yağ türlerine göre donma noktası da daha düşüktür. Tüm bu özellikler dikkate alındığında Dünyada üretilen biyodizellerin %84 lük kısmı kanola yağından elde edilmektedir[10].

Soya Yağı

Soya, çok uzun yıllardan beri Japonya ve Çin gibi doğu Asya ülkelerinin önemli tarım ürünleri arasında yer almaktadır. Soya bitkisi, Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya, Arjantin ve Çin de yaygın olarak yetiştirilmektedir. Soya bitkisinde %18-20 yağ, %40 protein, %30 karbonhidrat ve %5 fosfor, potasyum, kalsiyum vb mineral maddeler bulunmaktadır. Bu nedenle Amerika Birleşik Devletlerin de yaygın olarak soya yağından ve atık kızartma soya yağından biyodizel üretimi yapılmaktadır.1kg soya bitkisinden 200g bitkisel yağ elde edilmektedir[10]. Soyanın tarımsal açıdan bir faydası da, toprağın serbest azotunu kök kısımlarında bağlayarak hem kendisine hem de kendisinden sonra ekilecek bitkiye besin elementi kazandırmasıdır. Ekimi bahar aylarında yapılan soya hemen hemen tüm toprak çeşitlerinde yetiştirilebilmektedir.

Aspir Yağı

Aspir, dikenli ve dikensiz iki ayrı yapıda olup yaz aylarının sonlarına doğru sarı, krem, beyaz ve turuncu renlerde çiçek açan bir bitkidir. Renkli çiçekleri gıda ve kumaş boyası sektörlerinde kullanılmaktadır. Ekimi ilk baharda yapılan aspir tek yıllık bir yağ bitkisidir. Soğuk hava şartlarına dayanıklı olduğu için diğer bitkilere göre daha erken ekime uygundur. Aspir, Arabistan yarımadasında, İran, Hindistan ve Pakistan da yaygın olarak yetiştirilmektedir. Aspir tohumunun içeriğinde %30-50 yağ, %22-24 protein bulunmaktadır.1kg aspir den 300kg bitkisel yağ elde edilmektedir[10]. Aspir toprak bakımından seçici olmayıp pek çok toprak türünde bahar aylarında ekimi yapılabilmektedir. Hatta ılıman bölgelerde kış aylarında dahi ekimi mümkündür.

Ayçiçek Yağı

Ayçiçek, kurak bölgelerde dahi sulama ile yetiştirilebilen estetik görüntüye sahip bir yağ bitkisidir. Ülkemizin hemen hemen her bölgesinde ekimi en fazla yapılan ayçiçeği tohumunda %40-50 arasında yağ ve küspesinde %40-45 protein bulunmaktadır[10]. Ayçiçek ürünleri kolzaya kıyasla daha az

üretilmektedir. Dünyada en fazla ekimin yapıldığı ülkeler, Rusya, Ukrayna, Arjantin, Macaristan, Fransa, İspanya ve Hindistan'dır. Ayrıca ihracatın en fazla olduğu Rusya'dır. Ayçiçek yağı gıda sektöründe yemeklik yağ ve margarin yapımında kullanılmaktadır. Ayçiçeğinin yapısını, yağ asitlerinin %14-43 lük kısmı oleik asit, %44-75 lik kısmı linoleik ve %0.7 oranında linolenik asit oluşturmaktadır[10]. Son yıllarda ülkemizde ayçiçek yağı üretimindeki düşüşün temel sebebi ekili alanların azalması ve bazı bölgelerde ayçiçeği/buğday paritesinde yaşanan sorunlardan dolayı buğday ekimine daha fazla yönelim olmuştur.

Pamuk Yağı

Pamuk, tohumundan üretilerek dünyanın pek çok ülkesinde yemeklik yağ olarak da kullanılan bir bitkidir. Pamuk çiğidinde %17-34 oranında yağ bulunmaktadır. Pamuğun uzun süre tarlada bekletilmesi içeriğindeki yağ oranının azalmasına sebep olmaktadır. Ülkemizde özellikle ege, Güneydoğu, Akdeniz ve bir miktarda Doğu ve Orta Anadolu da ekilmektedir. Pamuğun asıl üretim amacı lif elde etmek olsa da yapısında %17-74 oranında yağ bulunmaktadır[10]. Ülkemizde Ayçiçek yağı üretiminden sonra en fazla pamuk yağı üretilmektedir. Sulamaya açılan bölgelerde pamuk ekiminde artış olduğu gözlemlenmektedir.

Yer Fıstığı Yağı

Yerfıstığı, baklagiller grubundan olup yapısında yüksek yağ oranı ihtiva etmektedir. Yerfıstığı tohumunun içeriğinde %44-56 yağ ve %22-30 protein bulunmaktadır. Protein yapısından dolayı tohumlar çerez olarak tüketilmektedir[10]. Yapısındaki yağ çıkarıldıktan sonra geriye kalan küspe %45 ham protein, %24 azotsuz öz madde ve %5.5 madensel madde içermektedir. Yer fıstığının yapısını %80 oleik ve linoleik asitler oluşturmaktadır. Dünyada en fazla Hindistan, Çin, Nijerya, Senegal ve Amerika Birleşik Devletlerinde ekilmektedir. Türkiye de ise en fazla Akdeniz bölgesinde Osmaniye, Mersin, Silifke, Adana, Hatay illerinde sonrasında Ege, Trakya ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerinde ekimi yapılmaktadır. Ülkemizde son yıllarda ekiminde artış görülmekle birlikte rekoltedeki verimlilik bölgelere göre değişkenlik göstermektedir[10].

Susam Yağı

Susam, tohumunda %40-60 oranında yağ bulunduran bitkidir. İçeriğindeki antioksidant etkili sesamin ve sesamolin nedeniyle bozulmaya dayanıklı bir yağ türüdür. Günümüz şartlarında susam tohumu, verimliliğinin düşük ve yağ çıkarma prosesinin pahalı olmasından dolayı bitkisel yağ sektörüne gerekli katkıyı yapamamıştır. Susam tohumu, ekim sonrasında yeterli gübreleme, sulama ve kültürel işlemlerle daha verimli hale gelebilmektedir [10]. Su tüketimi fazla olmayan bu yağ bitkisi pek çok bölgede yetiştirilebilir. Gelişme

süreci kısa bir zaman aldığı için her türlü kültür bitkisinin ekiminden sonra değişimli sıra ile ekimi yapılabilmektedir.

Palm Yağı

Palm yağı, en fazla Malezya, Batı ve Orta Amerika ve Endonezya da üretilmektedir. Palm meyvesi özellikle hasat döneminde ve işleme sırasında kuvvetli enzimatik hidroliz reaksiyonlarına maruz kaldığı için yağ içeriği %50 ye kadar yükselebilmektedir. Diğer bitkisel yağ yağlara göre serbest yağ asidi içeriği daha yüksektir[10].Palm yağı yapısında %38-52 oleik,%5-11 linoleik asit içerdiği için oleik-lineleik grubuna girmektedir. Dünyadaki en yüksek yağ oranına sahip bitkilerden birisidir. Palm meyvesinin etinden ve çekirdeğinden farklı özellikte yağlar üretilmektedir. Palm yağı biyodizel üretiminde kullanılmaktadır ancak ülkemizde yetiştirilmemektedir.

Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanılan Yakıtta Soya Yağı Karıştırılmasının Etkileri

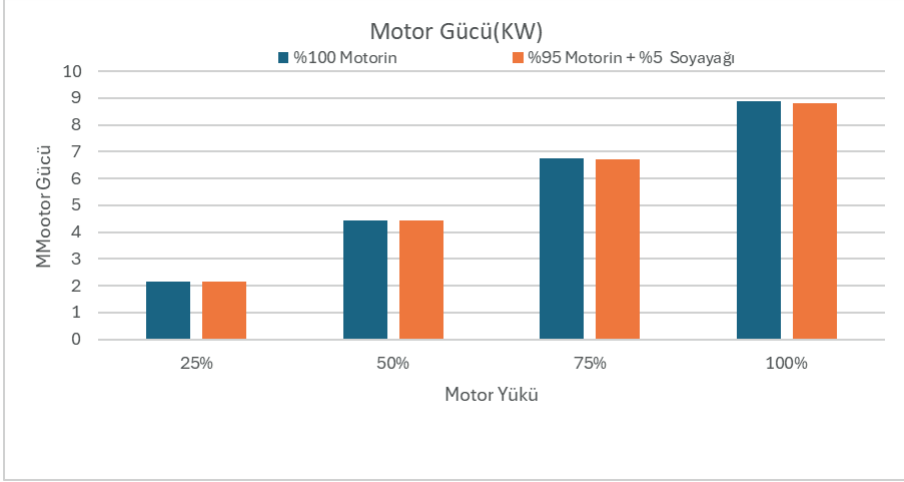
Yaptığımız akademik bir çalışmada, standart motorine %5 soya yağı karıştırılarak oluşturulan biyodizel ile standart motorin tek silindirli bir dizel motorda kullanılarak motorun karakteristik özellikleri (Motor gücü, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tek silindirli deney motorunda her iki yakıt ile testler yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir. Hazırlanmış olan biyodizel karışımı şekil 2 de görülmektedir.



Şekil 2.Soya yağı biyodizeli

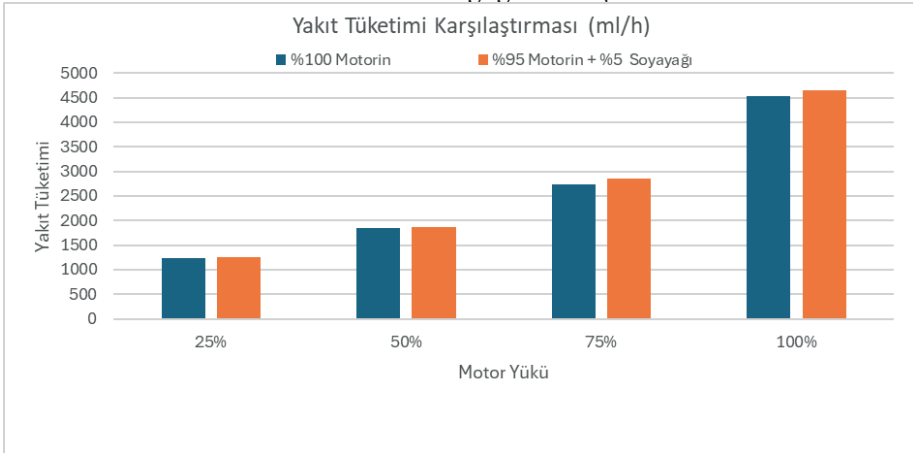
Tek silindirli 11,5kW gücündeki dizel test motorunda yapılan deneylerde, motora sırasıyla %25, %50, %75 ve %100 yük uygulanması sonucunda çıkış gücündeki, yakıt tüketimindeki ve emisyonlardaki değişimler incelenerek şekil 3, şekil 4, şekil 5 ve şekil 6 da verilmiştir.

Deneyssel sonuçlara bağlı olarak, standart motorine karıştırılan %5 soya yağı ile motora uygulanan tüm yük şartlarında çıkış gücünün aynı değerlerde kaldığı şekil 3 te görülmektedir. Bu durum standart motorine %5 oranında soya yağı karıştırma ile iyi sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.



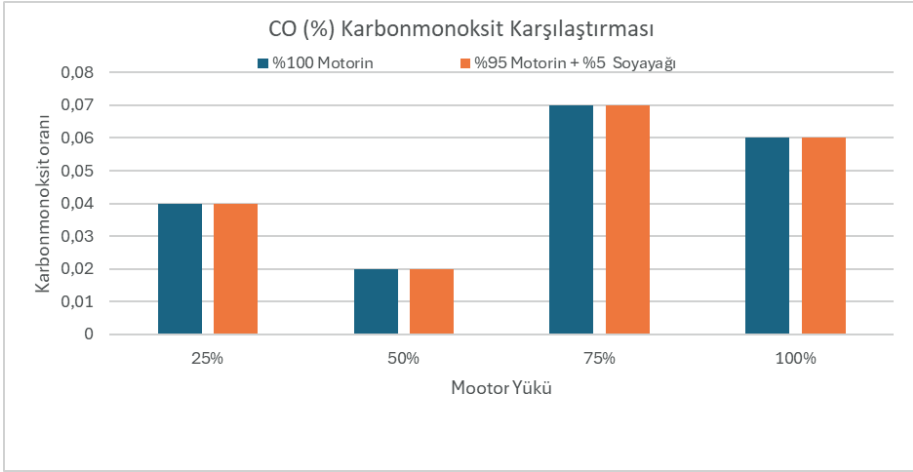
Şekil 3: Motora uygulanan farklı yük durumuna güç değişiminin karşılaştırması

Standart motorine %5 soya yağı karıştırıldığında yakıt tüketimindeki değişimler şekil 4 te görülmektedir. Bu sonuçlara göre motora %25 ve %50 yük uygulandığında her iki yakıt türü içinde motorun yakıt tüketimi aynı seviyede kalmıştır. Ancak %5 soya yağı karışımı biyodizel kullanımında motora %75 yük uygulandığında standart motorine göre saatte 112ml ve motor yükü %100 olduğunda yakıt tüketiminin saatte 150ml arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre soya yağı karışımı motorin kullanımında motorun yakıt tüketiminde önemli bir fark olmadığı görülmüştür.



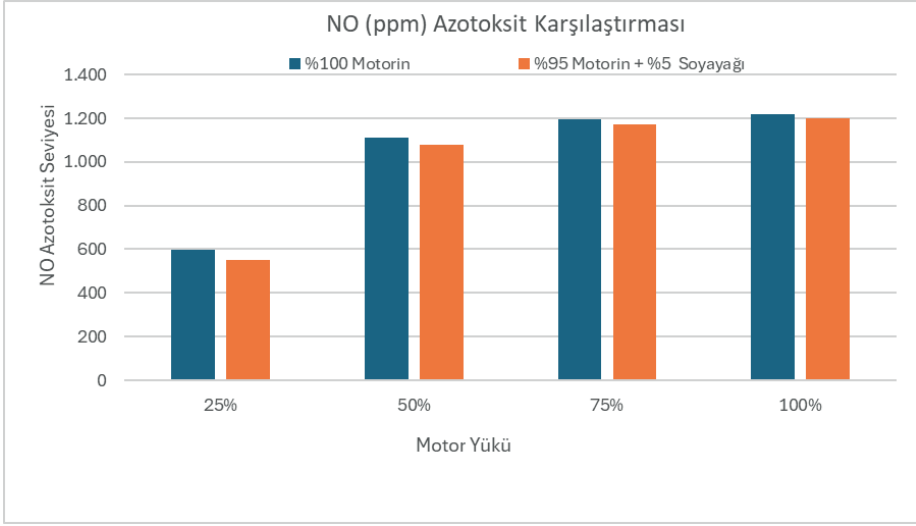
Şekil 4: Motora uygulanan farklı yük durumuna yakıt tüketimi karşılaştırması

Standart motorine %5 soya yağı karıştırıldığında egzoz emisyonlarındaki karbon monoksit(CO) değişimi şekil 5 te görülmektedir. Bu sonuçlara göre motora uygulana tüm yük durumlarında emisyonlardaki karbon monoksit (CO) miktarının hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Egzoz emisyonlarındaki zararlı gaz olan karbon monoksit(CO) seviyesinin yükselmemesi soya yağı biyodizeli kullanımının iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.



Şekil 5: Motora uygulanan farklı yük durumuna göre emisyonlardaki CO karşılaştırması

Standart motorine %5 soya yağı karıştırıldığında egzoz emisyonlarındaki azotoksit (NO) değişimi şekil 6 da görülmektedir. Bu sonuçlara göre standart motorine %5 soya yağı ilave edilmesi durumunda egzoz emisyonlardaki azotoksit(NO) seviyelerinde küçük de olsa azalma tespit edilmiştir.%5 soya yağı karışımı biyodizel kullanımı ile standart motorine göre motora uygulanan tüm yük durumlarında bu azalma seviyesi 50ppm in altında kalmıştır.



Şekil 6: Motora uygulanan farklı yük durumuna göre emisyonlardaki NO miktarlarının karşılaştırması

Sonuç ve değerlendirme

Bu bölümde açıklanan tüm biyodizellerin etkileri, kullanılan motorun yapısal özelliklerine ve yakıttaki karışım oranlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, sadece bir örnek olması açısından yaptığımız çalışmada dizel motorda kullanılan yakıtta %5 soya yağı karıştırılması durumunda motordaki etkileri incelenmiştir. Standart motorine %5 oranında karıştırılan soya yağı biyodizeli ile motorun karakteristik özelliklerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Diğer yandan egzoz emisyonlarındaki zararlı gaz olan karbonmonoksit(CO) seviyelerinin aynı kaldığı azotoksit(NO) seviyelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Deneysel verilere bağlı olarak, tek silindirli bir dizel motor için standart motorine %5 oranında soya yağı karıştırılarak elde edilen biyodizelin kullanımı ile olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Alternatif olarak biyodizellerin belirli oranlarda motorine ilave edilerek kullanılması hem sürdürülebilirlik hem de bazı avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Bu nedenle dizel motorlarda kullanılacak motorine belli oranlarda bitkisel yağların karıştırılmasının mümkün olduğu ancak motorun yapısal özelliklerine ve bitkisel yağların içeriklerine göre motor gücünde ve egzoz emisyonlarında değişiklik gösterdiği bilinmelidir. Biyodizel kullanımının daha yaygın hale gelebilmesi için üretim maliyetlerinin azaltılması ve özellikle yakıt sistemi üzerinde kullanılan bazı malzemelerin yapısal özelliklerinin değiştirilmesi gerekmektedir. Fosil kökenli yakıtlara bitkisel yağların karıştırılarak kullanılması sürdürülebilirlik ve dışa bağımlılık açısından önem arz ettiği için gelecekte biyodizeller ile ilgili çalışmaların artırılması gerektiği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] -Koç, M. (2011). Biyodizel Üretimine Uygun Türkiyede Yetişen ve Yetiştirilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [2]-Çam, O.A.(2024). Biyodizel Üretimi İçin Seçilen Mikroalg Türlerinde Lipit Verimliliğinin Optimizasyonu. İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, Doktora Tezi, İstanbul.
- [3]- Mishra, V. K., & Goswami, R. (2018). A review of production, properties and advantages of biodiesel. *Biofuels*, 9(2), 273-289.
- [4]- Owolabi, R. U., Adejumo, A. L., & Aderibigbe, A. F. (2012). Biodiesel: fuel for the future (a brief review). *International Journal of Energy Engineering*, 2(5), 223-231.
- [5]- Balat, M., & Balat, H. (2008). A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel Energy Convers Manage 49.
- [6]- Friedrich, S. (2003). *A worldwide review of the commercial production of Biodiesel: a technological, economic and ecological investigation based on case studies*. na.
- [7]- Dufey, A. (2006). *Biofuels production, trade and sustainable development: emerging issues* (No. 2). Iied.
- [8]-Öğüt, H.,&Oğuz, H.(2006).*Üçüncü Milenyum Yakıtı, Biyodizel, Nonel Yayınları*, ISBN 975-591-730-6, Ankara.
- [9]- Ahmad, A. L., Yasin, N. M., Derek, C. J. C., & Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(1), 584-593.
- [10]-Avcioğlu, O.A., Türker,U., Atasoy,D.Z.,&Koçtürk, D.(2011).*Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar. Nonel Yayınları*, ISBN 978-605-5426-71-2, Ankara.



KARAYOLLARI ÇALIŞANLARINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ FARKINDALIĞININ ÖLÇÜLMESİ

“ ”

Funda KAHRAMAN¹

¹ Prof. Dr. Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 33400, Tarsus, Mersin, Türkiye, fkahraman@tarsus.edu.tr (ORCID: 0000-0002-1661-3376)

1. GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) kavramı, 19. yüzyılda endüstriyel dönüşüm süreciyle birlikte ortaya çıkmıştır. Bu süreçte, insan gücü odaklı üretimden makineleşmeye geçiş ve çalışma sürelerinin yeniden düzenlenmesi, güvenlik standartlarının gelişimini zorunlu kılmıştır.

İş sağlığı ve güvenliği, birbiriyle ilişkili ancak farklı iki disiplindir. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO), iş sağlığını “tüm meslek gruplarında çalışanların fiziksel, zihinsel ve sosyal refahını korumayı, sürdürmeyi ve geliştirmeyi hedefleyen bir alan” olarak tanımlar. İş güvenliğini ise, “iş kazalarının yol açacağı kayıpları minimize etmek için bilimsel temellere dayanan önleyici tedbirlerin ortaya konulması ve uygulanması çalışmaları” olarak ifade eder. Türkiye’nin 1932 yılında Uluslararası Çalışma Örgütü’ne (ILO) üye olması, iş sağlığı ve güvenliği alanında uluslararası standartlara uyumunun başlangıcı kabul edilmektedir. Türkiye’nin 1948’de kabul ettiği BM İnsan Hakları Evrensel Beyannamesi, çalışan hakları için temel bir referans noktasıdır. Türkiye’nin 1976 yılında kabul ettiği BM Ekonomik, Sosyal ve Kültürel Haklar Sözleşmesi de bu alana katkı sağlamıştır. Türkiye’de 2012 yılına kadar iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili yasal düzenlemeler İş Kanunu’nun bir parçasıyken, 6331 Sayılı Kanunun yürürlüğe girmesiyle bağımsız bir düzenlemeye yeni statü kazanmış, mevzuat olarak belirlenmiştir.

1.1. İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı

İSG, çalışma koşullarının değişimiyle birlikte kritik bir hale gelmiştir. İSG, işin niteliğinden kaynaklanabilecek sorunları minimize etmeyi veya tamamen engellemeyi hedefler. Bu kavram, sağlık, iş sağlığı ve iş güvenliği olmak üzere üç temel unsurun birleşiminden oluşur. WHO’ya göre sağlık, “fiziksel, ruhsal ve sosyal açılardan tam bir iyilik hali” olarak tanımlanmıştır. ILO ve WHO Ortak Komitesine göre iş sağlığı, “bütün mesleklerde çalışanların bedensel, ruhsal ve sosyal olarak iyilik durumlarını sürdürme ve daha üst düzeylere çıkarma çalışmalarıdır.”

İş güvenliği, çalışanların iş sırasında karşılaşma potansiyeli bulunan riskleri önlemek, gidermek veya etkilerini en aza indirmek için gerçekleştirilen tüm uygulamaları kapsamaktadır. İSG, çalışanların işin doğasından, iş ortamından ve çalışma süreçlerinden kaynaklanan risklere karşı korunmasını amaçlayan ve bu riskleri ortadan kaldırmayı veya en aza indirmeyi hedefleyen bir disiplin olarak ifade edilebilir.

İş güvenliği kültürü temelde iş güvenliğine yönelik bir tutum oluşturmaktır. Güvenlik kültürü, güvenlik ikliminden kapsayıcı bir kavram olarak bütün bir organizasyonu kapsamaktadır. Güvenlik iklimi ise sadece bireylerin güvenlikle ilgili algılarını ve tutumlarını oluşturmaktadır (Demirbilek, 2008a; 2008b). İş güvenliği, riskleri kabul edilebilir seviyede tutarak, iş

kazası, meslek hastalığı ve maddi hasara neden olabilecek koşullardan uzak durma faaliyetlerini içerir (Demirbilek, 2005). Akıllı ve Aydoğdu (2013) İSG; çalışanların bedensel, ruhsal ve sosyal iyilik durumlarını en üst seviyeye çıkarmak ve çalışma koşulları nedeniyle sağlıklarının bozulmasını engellemek amacıyla oluşturulduğunu belirtmiştir. Kılıç (2006) iş güvenliğini, işyerinde kullanılan ekipmanlardan kaynaklanabilecek risklerin belirlenmesi ve bu risklere karşı korunma önlemlerinin nasıl alınacağına dair bir kavram olarak tanımlamaktadır. Doğan, Yalçınkaya ve Balcı (2017) İSG'nin temel amaçlarını; işyerinde sağlıklı ve güvenli bir ortam sağlamak, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını azaltmak, çalışanları yasal hak ve sorumlulukları konusunda bilinçlendirmek, mesleki riskler ve alınması gereken tedbirler hakkında eğitim vererek İSG bilinci oluşturmak ve doğru davranışları benimsetmek olarak ifade etmiştir.

1.2. İş Sağlığı ve Güvenliği Farkındalığı

Farkındalık, bireyin mevcut durumunu yargılamadan, bilinçli bir şekilde ele alması olarak tanımlanır. Bu kavram, özellikle psikolojik olarak olgunlaşmış bireylerin bilinciyle özdeşleştirilir (Yar, 2018; Şahin ve Yeniçeri, 2015). Çalışanların İSG farkındalığı, özellikle eğitim ve bilgilendirme gibi faktörlerle yakından ilişkilidir. Verilen eğitimler, çalışanların bilgi ve bilinç düzeylerini artırarak farkındalık gelişimine katkı sağlar. İşe başlamadan önce işyerindeki riskler hakkında bilgilendirmenin, potansiyel iş kazalarını önlemede etkili bir strateji olduğu belirtilmektedir (Yelboğa, 2010). İSG farkındalığını etkileyen temel unsurlardan biri, çalışanların güvenlik ve kendini güvende hissetme algısıdır. Bu durum, işletmelerin çalışanlarının ve kurumun güvenliğini tehdit eden tüm sistemlerin risklerini değerlendirme gerekliliğini ortaya koymaktadır (Ergüt, 2015). Çalışanların güvenlik algısı ve kendilerini güvende hissetme durumu, işyerine olan bağlılıkları ve performansları üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Yapılan çalışmalar, farkındalığın bilişsel esnekliği ve dikkati artırarak performansı desteklediğini ortaya koymaktadır (Yar, 2018).

Karayolları çalışma alanları çok fazla tehlike ve risk içermektedir. İSG uygulamalarının, güvenlik tedbirlerinin en iyi şekilde bilinmesi ve uygulanması gerekmektedir (Bayyurt ve Ekşi, 2021). Çalışanların güvenlik farkındalığının güvenli davranışları üzerinde pozitif etkisi görülmektedir. Farkındalık seviyesindeki artış, güvenlik konularında uyum gösterme davranışını da artırmakta ve güvenlik konusunda faaliyetlere katılımın artmasını sağlamaktadır (Dursun ve Keser, 2014).

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada İSG uygulamaları ile ilgili olarak karayolları çalışanlarının farkındalık seviyelerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Tarama modelinde genel olarak kullanılan teknikler arasında yer alan anket yöntemi

uygulanmıştır. Çalışanların farkındalık seviyelerini tespit etmeyi amaçlayan bu çalışmada, mevcut olan durumun incelendiği betimsel-ilişkisel tarama modeli kullanılmıştır. İlişkisel tarama modeli, değişkenler arasındaki birlikte değişimleri inceleyen bir araştırma yöntemidir. Bu yaklaşım, iki veya daha fazla değişkenin birbirini nasıl etkilediğini ve bu değişimin boyutunu belirlemeyi amaçlar (Karasar, 2011).

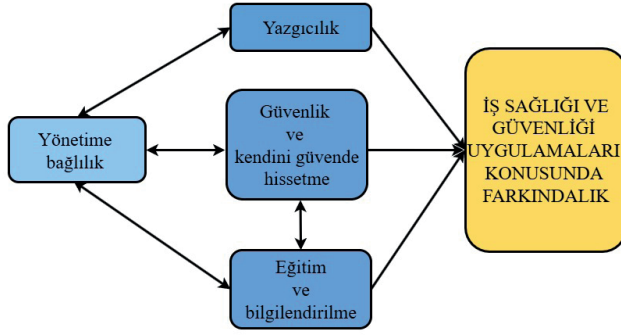
Bu araştırmanın verileri, SPSS paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Anketin ilk bölümünden elde edilen demografik ve çalışma hayatına ilişkin veriler (cinsiyet, yaş, eğitim, mesleki deneyim vb.) betimsel istatistik yöntemlerle incelenmiştir. Anketin ikinci bölümünde yer alan İSG farkındalık düzeyine ait soruların iç güvenirlik analizi sonucunda Cronbach's Alpha değeri 0,81 olarak hesaplanmış ve ölçeğin yüksek derecede güvenilir olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca; varyans, Anova testi, T testi, Tukey testi, Ki-kare testi, faktör ve korelasyon analizi gibi çeşitli istatistiksel testler uygulanmıştır.

2.1. Araştırma Modeli

Karayolları çalışanlarının İSG farkındalık seviyelerini belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışma, (Şekil 1'de) bir ilişkisel tarama modelidir. Veri toplama aracı olarak anket tekniğinden yararlanılmıştır. Çalışmanın bağımlı değişkenleri; yaş, cinsiyet, eğitim, görevi, görev birimi, meslekte geçen süre, hizmetiçi eğitim(ler)i, iş kazası geçirip geçirmeme, iş kazasına neden olan faktörler, tatbikat sayısı, yaptırımlar gibi faktörleri içermektedir. Bu değişkenlerin İSG farkındalık düzeyleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Bu çalışmada, iki bölümden oluşan bir anket formu kullanılmıştır. Anketin birinci bölümü, katılımcıların demografik ve çalışma hayatlarına ilişkin 16 soruyu içerirken; ikinci bölümü, çalışanların iş sağlığı ve güvenliği farkındalık düzeylerini ölçmek için beşli Likert ölçeği formatında hazırlanan 23 sorudan oluşmaktadır (Tablo 1).

Araştırmanın temel soruları, aşağıdaki kategori başlıkları altında, ilgili araştırma sorusu ile Tablo 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Araştırma modeli

Tablo 1. Anket puan değerleri ve sınırları

Puan Değeri	Alt Sınır-Üst Sınır	Seçenekler	Sonuç (Farkındalık Düzeyi)
1	1 - 1.80	Kesinlikle katılmıyorum	Çok alt
2	1.81 - 2.6	Katılmıyorum	Alt
3	2.61 - 3.4	Kararsızım	Orta
4	3.41 - 4.2	Katılıyorum	Üst
5	4.21 - 5	Kesinlikle katılıyorum	Çok üst

Tablo 2. Araştırma soruları ve kategori dağılımları

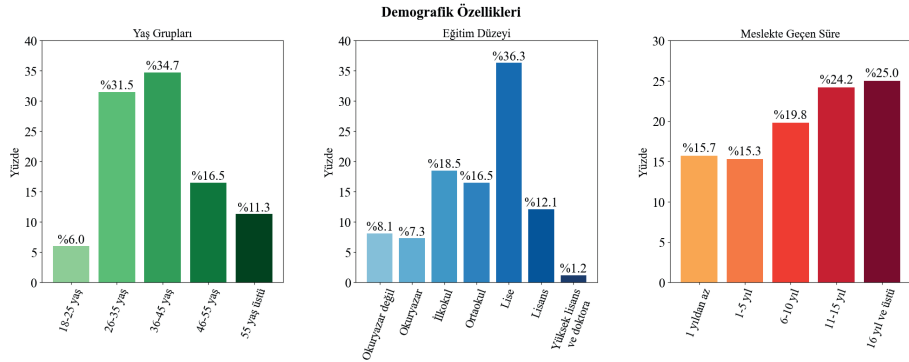
Kategori	Araştırma Sorusu
Genel Kavramlar	- İSG uygulamalarının tarihsel süreçteki seyri ile Türkiye'deki gelişimi nasıldır? - İSG çalışmalarının yasal düzenlemeleri nelerdir? - İSG'nin genel amaçları ve önem düzeyi nasıl değerlendirilebilir?
Eğitim ve Farkındalık	- İSG uygulamalarıyla ilgili eğitimlerin çalışanlar üzerindeki etkileri nedir? - İSG eğitimleri çalışanlar üzerinde farkındalık düzeylerinde bir artış sağlamakta mıdır?
Risk ve Güvenlik Algısı	- Katılımcılar kurumlarında İSG bağlamında kendilerini risk altında hissetmekte midir? - Katılımcılar, yaptıkları işe uygun kişisel koruyucu donanımlar (KKD) hakkında yeterli bilgiye sahip midir?
Yasal Yaptırımlar	Çalışanların, İSG kurallarına uymamaları durumunda karşılaştıkları cezai veya idari yaptırımlar nelerdir?

Araştırmanın sonuçları, veri toplama araçları ve çalışma grubunun özelliklerinden kaynaklanan bazı sınırlılıklar taşımaktadır. Bu çalışma yalnızca nicel araştırma yöntemi ve anket tekniği ile toplanan verilerle sınırlıdır. Örnekleme Karayolları Genel Müdürlüğü'nde çalışanlardan oluştuğu için, bul-

gular tüm karayolları çalışanlarını veya genel bir popülasyonu temsil etme konusunda sınırlıdır. Gönüllülük ve isteklilik esasına dayanarak uygulanan anket tekniği örneklem hacminin düşük kalmasına ve dolayısıyla ana kütleyi temsil etme kapasitesinin kısıtlanmasına neden olabilmektedir. Anketin uygulanma maliyeti ve katılımcılara erişimdeki zorluklarla birlikte, araştırmanın kapsamını sınırlandırmaktadır. Çalışmanın yürütüldüğü zaman aralığı, anket sorularının içeriği ve katılımcıların yanıtları da bulguları sınırlandıran diğer faktörlerdir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

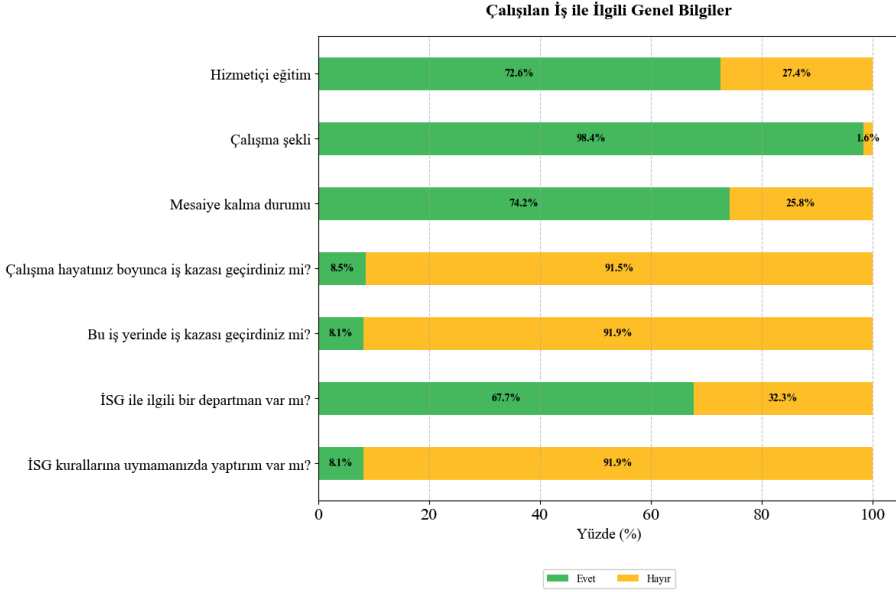
Bu çalışmada, karayollarında çalışan personelin İSG uygulamalarına ilişkin farkındalık düzeylerinin belirlenmesi amacıyla detaylı bir araştırma yürütülmüştür. 248 kişilik örneklem üzerinde gerçekleştirilen anket verileri, istatistiksel yöntemlerle kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. İSG farkındalık düzeylerine ilişkin 23 sorunun yanıtları; frekans, ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak detaylı olarak incelenmiş ve ulaşılan bulgular sunulmuştur. Katılımcıların demografik özellikleri Şekil 2’de ve işle ilgili bilgileri Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Katılımcıların demografik özellikleri

Faktör analizi, değişkenler arasındaki ilişkileri daha az sayıda faktörle temsil etmek amacıyla yapılmıştır. Analiz sonucunda, veri setini açıklayabilen dört faktör belirlenmiştir.

Toplam varyansın %50,16'sını açıklamaktadır. Faktörlerin tekil olarak açıkladığı varyans miktarları ise sırasıyla; birinci faktör %19,43, ikinci faktör %33,73, üçüncü faktör %42,35 ve dördüncü faktör %50,16 olarak saptanmıştır (Tablo 3).



Şekil 3. Çalışanlara ait iş ile ilgili genel bilgiler

Tablo 3. Varyansların döndürülmesi

Bileşen	Başlangıç Özdeğerleri			Açıklanan Varyansın Toplamı (Çıkarım)			Döndürme Sonrası Kareli Yüklemler Toplamı		
	Toplam	Varyans %'si	Kümülatif %	Toplam	Varyans %'si	Kümülatif %	Toplam	Varyans %'si	Kümülatif %
1	4,481	19,483	19,483	4,481	19,483	19,483	3,341	14,528	14,528
2	3,279	14,255	33,738	3,279	14,255	33,738	3,120	13,564	28,092
3	1,983	8,621	42,358	1,983	8,621	42,358	2,945	12,806	40,898
4	1,796	7,807	50,166	1,796	7,807	50,166	2,132	9,268	50,166
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	0,262	1,139	97,206						
21	0,225	0,977	98,183						
22	0,213	0,926	99,11						
23	0,205	0,89	100						

Çıkarım Yöntemi: Temel Bileşenler Analizi.

Araştırmada kullanılan soruların faktör yükleri hesaplanmıştır (Tablo 4). Yapılan analiz sonucunda, 23 sorunun 4 ana faktör altında toplandığı belirlenmiştir. Bu faktörler ve adlandırmaları özetlenmiştir (Tablo 5). Alt boyutlara yüklenen faktörler, madde sayıları ve madde numaralarına ilişkin bilgiler Tablo 5’de gösterilmiştir. Faktörler; (i) yönetime bağlılık, (ii) yazgıcılık, (iii) eğitim ve bilgilendirilme, (iv) güvenlik ve kendini güvende hissetmedir.

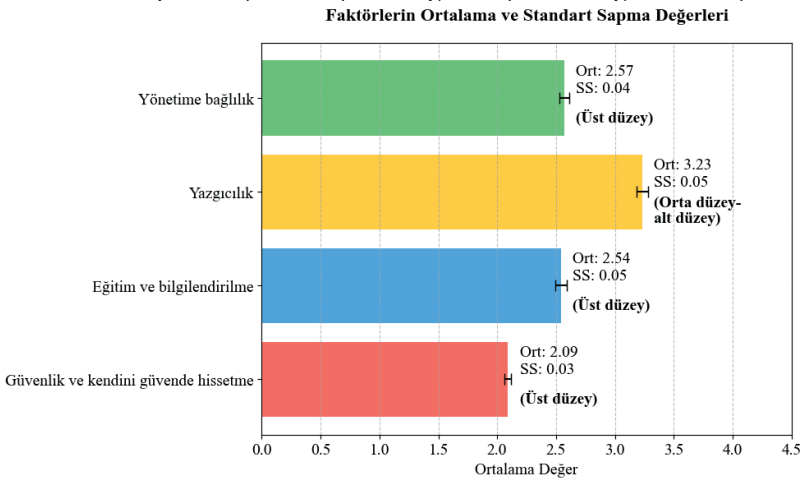
Tablo 4. Faktörlere Göre Soru Dağılımları ve Tanımları

Faktör Adı	Tanım ve Kapsadığı Sorular
Birinci Faktör: Yönetime Bağlılık	Yönetimin İSG bilgisi paylaşımı, sorunlar için önlem alması, İSG işlemlerinin yerine getirilmesi ve olayların yönetime bildirilmesi gibi çalışanların yönetime yönelik algılarını yansıtan soruları içerir.
İkinci Faktör: Güvenlik ve Kendini Güvende Hissetme	Çalışanların iş yerinde kendini güvende hissetmesi, İSG uygulamalarından olumlu etkilenmesi, gerekli önlemlerin alındığını düşünmesi ve tüm çalışanların İSG’de etkin rol oynaması gibi güvenlik algılarına ilişkin soruları kapsar.
Üçüncü Faktör: Yazgıcılık	Güvenli çalışmanın şart olmadığı, kazaların engellenemeyeceği, risk almaktan kaçınılmaması ve İSG’yi sağlamak için bir şey yapılamayacağı gibi kadercı düşünce biçimlerini ölçen soruları barındırır.
Dördüncü Faktör: Eğitim ve Bilgilendirilme	Verilen İSG eğitimlerinin yeterliliği, güvenlik toplantıları, kişisel koruyucu donanımlar hakkında bilgi sahipliği ve İSG uyarı işaretleri konularındaki bilgi ve eğitim düzeylerini gösteren soruları içerir.

Tablo 5. Faktör yapısı ve isimlendirilmesi

Faktör	Madde sayısı	Madde numarası
Yönetime bağlılık	5	1, 4, 9, 11, 20
Yazgıcılık	5	5, 6, 8, 13, 19
Eğitim ve bilgilendirilme	5	3, 17, 18, 21, 22
Güvenlik ve kendini güvende hissetme	8	2, 7, 10, 12, 14, 15, 16, 23
Toplam	23	

İSG farkındalık kapsamında belirlenen dört faktöre yüklenen soruların ortalamaları hesaplanmıştır. Ulaşılan değerler Şekil 4’te gösterilmiştir.

**Şekil 4.** İş sağlığı ve güvenliği farkındalığı faktör analizi bulguları

Yönetime bağlılık faktörü yazgıcılık, eğitim ve bilgilendirilme, güvenlik kendini güvende hissetme faktörleri arasında yapılmıştır. Yazgıcılık ile eğitim ve bilgilendirilme, güvenlik, kendini güvende hissetme faktörleri arasında korelasyon analizi yapılmış ancak ilişkisi ortaya çıkmamıştır. Faktörlere ilişkin korelasyon analizi sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Faktörleri arasında korelasyon analizi

		Yönetime bağlılık	Yazgıcılık	Eğitim ve bilgilendirilme	Güvenlik kendini güvende hissetme
Yönetime bağlılık	Pearson Korelasyonu	1	,385**	,311**	,415**
	Anlamlılık düzeyi (p) (İki yönlü)		,000	,000	,000
Yazgıcılık	Pearson Korelasyonu		1	,072	,054
	Anlamlılık düzeyi (p) (İki yönlü)			,257	,399
Eğitim ve bilgilendirilme	Pearson Korelasyonu			1	,572**
	Anlamlılık düzeyi (p) (İki yönlü)				,000

** Korelasyon 0.01 düzeyinde (İki yönlü) anlamlıdır.

Bu çalışmada, yönetime bağlılık, yazgıcılık, eğitim ve bilgilendirilme, güvenlik ve kendini güvende hissetme gibi faktörler ile toplam mesleki deneyim, iş kazası geçmişi ve iş yerinden memnuniyet düzeyleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla korelasyon analizi yapılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. Diğer değişkenler arasında korelasyon analizi

		Toplam mesleki deneyim	Çalışma hayatınız boyunca iş kazası geçirdiniz mi?	Bu iş yerinde çalışmaktan memnun musunuz?
Yönetime bağlılık	Pearson Korelasyonu	-,013	-,049	,212**
	Anlamlılık düzeyi (p) (İki yönlü)	,840	,444	,001
Yazgıcılık	Pearson Korelasyonu	,128*	,111	-,046
	Anlamlılık düzeyi (p) (İki yönlü)	,044	,082	,469
Eğitim ve bilgilendirilme	Pearson Korelasyonu	-,008	-,136*	,130*
	Anlamlılık düzeyi (p) (İki yönlü)	,899	,032	,041
Güvenlik kendini güvende hissetme	Pearson Korelasyonu	-,009	-,194**	,327**
	Anlamlılık düzeyi (p) (İki yönlü)	,886	,002	,000

** Korelasyon 0.01 düzeyinde (İki yönlü) anlamlıdır.

* Korelasyon 0.05 düzeyinde (İki yönlü) anlamlıdır.

4. SONUÇ

Bu çalışma, iş sağlığı ve güvenliği konusunda çalışanların farkındalık düzeylerini belirlemek üzere yürütülmüştür. Yönetime bağlılık, yazgıcılık, eğitim ve bilgilendirme süreçleri ile güvenlik algısı ve bireysel güven hissi olarak farkındalık düzeylerini etkileyen dört temel faktörü ortaya çıkarmıştır. Araştırma soruları bu faktörler altında toplanmış ve yaş, eğitim düzeyi, mesleki deneyim ve işten memnuniyet gibi demografik değişkenler bağlamında analiz edilmiştir. Çalışanların yönetimin İSG politikalarına bağlılığı, üst düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu faktördeki farkındalıklar eğitim düzeyi ve işten memnuniyet düzeyi gibi değişkenlere göre farklılık göstermektedir. Eğitim seviyesi yüksek ve işinden çok memnun olan çalışanlarda bağlılık daha belirgindir. Yaşça genç ve deneyimi az çalışanların İSG konusunda daha çok bilgilendirilme olanaklarından faydalandığı gözlemlenmiştir. Çalışanların yazgıcılık seviyesinin “alt düzey” olduğu gözlemlenmiştir. Eğitim düzeyi ve mesleki deneyim gibi değişkenlere göre bu algıda farklılıklar tespit edilmiştir. Eğitim ve bilgilendirilme faktörde katılımcıların yanıt ortalamaları “üst düzey” çıkmış ve “orta düzey” sınırına da yakın olduğu belirtilmiştir. İş memnuniyeti düzeyi de bilgilendirilme algısını etkilemektedir. Güvenlik ve kendini güvende hissetme faktöründe katılımcıların yanıt ortalamaları “üst düzey” çıkmış ve “çok üst düzey” sınırına yakın olduğu belirtilmiştir. Farklı yaş ve iş memnuniyeti grupları arasında bu algıda farklılıklar gözlemlenmiştir.

Genel olarak, karayollarında çalışan işçilerin İSG uygulamalarına yönelik farkındalık, ve kendini güvende hissetme düzeylerinin yüksek olduğu, buna karşın yazgıcı düşünce düzeylerinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akıllı, H. ve Aydoğdu, Ö. (2013). İş sağlığı ve güvenliğinin önemi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Bayyurt, D. & Ekşi, A. (2021). Karayolları sektörü iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında risk ve güvenlik kültürü etkisinin değerlendirilmesi. Hastane Öncesi Dergisi, 6(1), 83-98.
- Demirbilek, T. (2005). İş güvenliği kültürü, (1.baskı) İzmir: Dokuz Eylül Yayınları.
- Demirbilek, T. (2008a). Etkin iş güvenliği kültürü ve geliştirilmesi, Çimento Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyum Tebliğleri Kitabı, İzmir, Kasım ss.104-112.
- Demirbilek, T. (2008b). İşletmelerde iş güvenliği kültürünün geliştirilmesi. Çalışma Ortamı Dergisi, 96(1), 5-7.
- Doğan, B., Yalçinkaya, C. ve Balcı, M. G. (2017). Türkiye’de mühendislik fakültelerinde iş sağlığı ve güvenliği eğitimi, Mühendis ve Makine, 58 (685). s.1-15.
- Dursun, S., & Keser, A. (2014). İş güvenliği farkındalığı ve iş güvenliği davranışları arasındaki ilişkilerin araştırılması: uygulamalı bir araştırma. Çalışma İlişkileri Dergisi, 5 (2), 1-9.
- Ergüt, F. (2015). İşletmelerde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasında önleyici uygulamaların önemi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tez, Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- International Labour Organization. (2009). ILO standards on occupational safety and health: Promoting a safe and healthy working environment (International Labour Conference, 98th Session).
- Karasar, N. (2011). Bilimsel araştırma yöntemleri. Ankara: Nobel Yayınları.
- Kılıç, L. (2006). İşverenin iş sağlığı ve güvenliği sağlama hükümlülüğü ve sorumluluğu, Ankara: Yetkin Yayınları.
- Şahin, H. Ş. Yeniçeri, Z. (2015) “Farkındalık” üzerine üç araç: psikolojik farkındalık, bütünüleyici kendilik farkındalığı ve Toronto Bilgece farkındalık ölçekleri, Türk Psikoloji Dergisi, 30 (76), 48-64.
- Türkiye. (2006). Ulusal iş sağlığı ve güvenliği politika belgesi.
- Türkiye. (2009). 2009-2013 Ulusal iş sağlığı ve güvenliği politika belgesi.
- Türkiye. (2014). 2014-2018 III. Ulusal iş sağlığı ve güvenliği politika belgesi ile eylem planı.
- World Health Organization. (1948). Constitution of the world health organization. Geneva: World Health Organization.

Yar, N.S. (2018). İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının çalışanların iş sağlığı ve güvenliği farkındalığı üzerine etkilerinin incelenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Yelboğa A. (2010). Yönetimde insan kaynakları çalışmaları, Ankara: Turhan Kitabevi.



KONVANSİYONEL EV TİPİ BİR KOMBİDEN YOĞUŞMALI EV TİPİ BİR KOMBİYE GEÇİŞTE MÜHENDİSLİK KRİTERLERİ

“ ”

Mehmet UÇAR¹

Ramazan KÖSE²

1 İrea ARGE Araştırma Geliştirme A.Ş, Eskişehir Türkiye, mehmetucar42@windows-live.com, ORCID NO: 0000-0003-3542-3647

2 Prof.Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Müh. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü Kütahya TÜRKİYE, ramazan.kose@dpu.edu.tr, ORCID NO: 0000-0001-6041-6591

Giriş

Enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik günümüzde ısıtma teknolojilerinin geliştirilmesinde en kritik parametreler arasında yer almaktadır. Özellikle konutlarda yaygın olarak kullanılan doğalgaz yakıtlı kombi cihazları hem kullanıcı konforunu sağlamakta hem de toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olmaktadır. Geleneksel olarak kullanılan konvansiyonel kombiler, tasarım özellikleri gereği baca gazı içerisindeki su buharının gizli ısısından faydalanamamakta, dolayısıyla yanma sürecinde ortaya çıkan enerjinin bir kısmı atmosfere atık olarak kaybedilmektedir. Bu durum, cihaz verimliliğini sınırlamakta ve enerji kayıplarını artırmaktadır.

Son yıllarda enerji politikaları, Avrupa Birliği'nin ErP (Energy-related Products) yönetmeliği ve EN 15502 gibi standartlar çerçevesinde daha yüksek verimli ve düşük emisyonlu cihazların kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda yoğuşmalı kombiler, baca gazında bulunan su buharının yoğuşturulması yoluyla ilave ısı geri kazanımı sağlamaları nedeniyle, konvansiyonel kombilere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır (Vignali, 2016). Yoğuşmalı cihazlarda dönüş suyu sıcaklığının düşük seviyelerde tutulması sayesinde hem yanma verimi artırılmakta hem de karbon dioksit (CO_2) ve azot oksit (NO_x) emisyonları azaltılmaktadır (Lee & Hwang, 2017).

Konvansiyonel kombiden yoğuşmalı kombiye geçiş yalnızca bir teknoloji tercihi değil, aynı zamanda mühendislik bakış açısıyla çok boyutlu bir dönüşümü gerektirmektedir. Bu dönüşüm; ısı eşanjörü tasarımı, malzeme seçimi, yanma odası optimizasyonu, yoğuşma suyuna dayanıklı baca sistemleri, kontrol algoritmaları ve standartlara uyum gibi çeşitli mühendislik kriterleri doğrultusunda gerçekleştirilmelidir. Özellikle yoğuşma suyunun korozif özellik göstermesi, yüksek ısı transfer katsayılarına ulaşma gereksinimi ve düşük sıcaklıkta çalışmaya uygun hidrolik devre tasarımı, bu dönüşüm sürecinin temel mühendislik zorluklarını oluşturmaktadır.

Hinrichs ve arkadaşları çalışmalarında tam ölçekli bir yoğunmalı gaz kazanının silindirik ısıtma ünitesinde CO ve NO_x emisyonlarının kökenlerini deneysel ve sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Yoğunmalı kazanlar, klasik kazanlara göre %15'e kadar daha yüksek verimlilik sağlayarak enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını azaltmaktadır. Ancak bu verimlilik artışına rağmen, CO ve NO_x gibi zararlı emisyonların mekanizmalarının anlaşılması ve azaltılması gerekmektedir. Sayısal olarak, sonlu hız kimyası içeren yüksek çözünürlüklü DNS tabanlı simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve deneysel verilerle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Analizler, NNH mekanizmasının NO oluşumunda termal NO yoluna göre daha baskın olduğunu göstermiştir. Ayrıca radyatif ısı kayıplarının sistem üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeyde bulunmuştur (Hinrichs, vd., 2018).

Lamioni ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, doğalgaza yeşil hidrojen eklenmesinin ev tipi yoğunmalı kazanlardaki yanma süreci ve kirleticiler üzerindeki etkisini üç boyutlu sayısal akışkanlar dinamiği (CFD) modeli ile incelemişlerdir. Çalışmada, 25 kW gücünde, delikli silindirik brülörlü bir yoğunmalı kazan modeli kullanılmıştır. Yanma odası; ısı değiştirici, delikli brülör ve akış dağıtıcı gibi bileşenleriyle birlikte modellenmiş, böylece alev yapısı, sıcaklık alanı ve kirleticiler oluşumu detaylı olarak analiz edilmiştir. CO emisyonlarının doğru tahmini için ısı değiştirici bölgesinin Conjugate Heat Transfer (CHT) yaklaşımıyla mutlaka dahil edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, çalışma hidrojen katkılı doğalgaz kullanımının, yalnızca CO₂ emisyonlarını azaltmakla kalmayıp, NO_x ve CO emisyonlarını da düşürdüğünü, böylece konut tipi ısıtma sistemlerinde karbon nötr dönüşüme katkı sağlayabileceğini göstermişlerdir (Lamioni, vd., 2022).

Yılmaz ve arkadaşları çalışmalarında, hidrojen (H₂) katkılı doğalgaz karışımlarının, ev tipi ön karışimli yoğunmalı kombi sistemlerinde yanma davranışı ve emisyon performansı üzerindeki etkilerini hem deneysel hem de sayısal (CFD) olarak incelemişlerdir. Çalışmada 24 kW kapasiteli, fan destekli premix brülöre sahip bir

yoğuşmalı kombi kullanılmış ve hidrojen hacimsel oranı %0'dan %30'a kadar artırılmıştır. Deneysel testler; alev kararlılığı, yanma sıcaklığı, CO ve NO_x emisyonları açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, doğalgaza sınırlı miktarda hidrojen eklenmesinin mevcut yoğuşmalı kazanlarda güvenli bir şekilde uygulanabileceğini, böylece karbon ayak izinin azaltılabileceğini ve yanma veriminin artırılabilceğini göstermektedir (Yılmaz, vd., 2021).

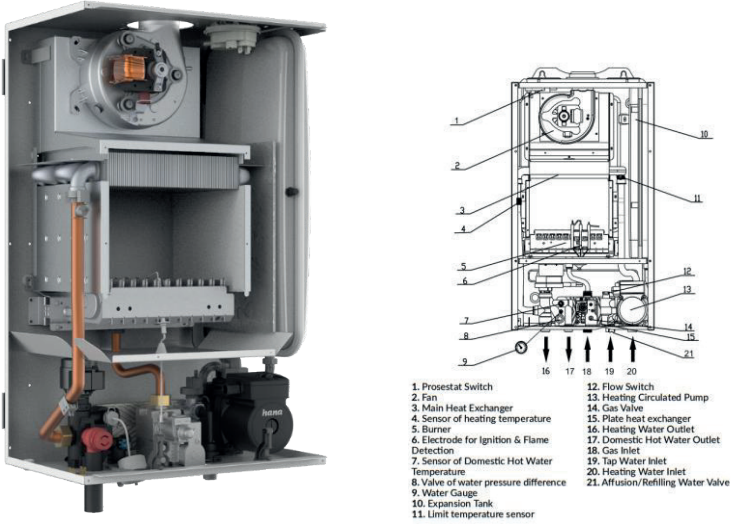
Uçar ve Arslan yapmış oldukları çalışmalarında, 24 kW'lık ticari bir yoğuşmalı kombi, gerçek çalışma koşulları altında deneysel olarak incelenmiş ve termodinamik bakış açısından olası iyileştirme yolları belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, yanma süreci de dâhil olmak üzere ideal ve kaçınılmaz koşullar tanımlanarak kombinin iyileştirme potansiyelini belirlemek için ileri ekserji analizi uygulanmıştır. Yapılan analiz sonucunda, en fazla iyileştirme potansiyeline sahip bileşenlerin yanma ünitesi ve ısı geri kazanım ünitesi (reküperatör) olduğu belirlenmiştir. Yanma ünitesinde, gerçek çalışma koşullarında gaz radyasyonunun ısı transferi mekanizmasında %40,16 oranında önemli bir paya sahip olduğu saptanmıştır (Ucar & Arslan, 2021).

Sonuç olarak literatür, konvansiyonel kombilerin enerji kayıpları nedeniyle güncel enerji politikalarıyla uyumlu olmadığını, buna karşılık yoğuşmalı kombilerin hem verimlilik hem de emisyon açısından daha uygun çözümler sunduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, bu dönüşümün yalnızca teorik avantajlarla sınırlı kalmadığı; aynı zamanda malzeme seçimi, eşanjör geometrisi, yoğuşma suyu yönetimi ve kontrol algoritmaları gibi çok boyutlu mühendislik kriterlerini içerdiği görülmektedir.

Bu bölümde, konvansiyonel ev tipi kombilerden yoğuşmalı kombilere geçişte dikkate alınması gereken mühendislik kriterleri ayrıntılı biçimde incelenecek; tasarım, malzeme, enerji verimliliği, emisyon değerleri ve standartlara uyum konuları kapsamlı olarak değerlendirilecektir. Böylece hem akademik hem de endüstriyel uygulamalar açısından bu dönüşüm sürecinin teknik altyapısının ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Konvansiyonel Kombilerin Çalışma Prensibi

Konvansiyonel kombiler, şekil-1’de gösterildiği gibi temel olarak bir brülör aracılığıyla doğalgazın yanmasını, elde edilen ısının ise birincil ısı eşanjörü üzerinden ısıtma devresine ve kullanım suyu aktarılmasını esas alır. Yanma odasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucunda açığa çıkan sıcak gazlar, eşanjör yüzeylerinden geçerken ısılarını ısıtma suyu ile iletir. Baca gazının içerdiği su buharı ise sistemden doğrudan atmosfere atılır. Bu nedenle baca gazı sıcaklıkları 150–200 °C seviyelerine kadar çıkabilmekte, bu durum enerji kayıplarına yol açmaktadır (Ngendakumana, vd., 2017).



Şekil 1. Konvansiyonel Kombi (İrex A.Ş)

Konvansiyonel kombiler tipik olarak aşağıdaki temel bileşenlerden oluşmaktadır:

- Brülör: Gaz-hava karışımını sağlayan ve yanmanın gerçekleştiği elemandır. Sabit veya sınırlı modülasyon aralığında çalışır.
- Birincil ısı eşanjörü: Çoğunlukla bakır malzemeden üretilir. Yüksek ısı iletkenliği sayesinde ısının suya aktarılmasında verimlidir, ancak yüksek baca gazı sıcaklıklarına bağlı olarak yoğunlaşma dayanımı zayıftır.

- Üç yollu vana: Kullanım suyu ve kalorifer devresi arasında akış yönlendirmesi yapar.
- Pompa: Isıtma devresinde suyun dolaşımını sağlar.
- Baca sistemi: Metal malzemeden üretilmiş olup, baca gazını atmosfere iletir. Yoğuşma oluşumu öngörülmediği için yoğuşma suyuna dayanıklılık aranmaz.

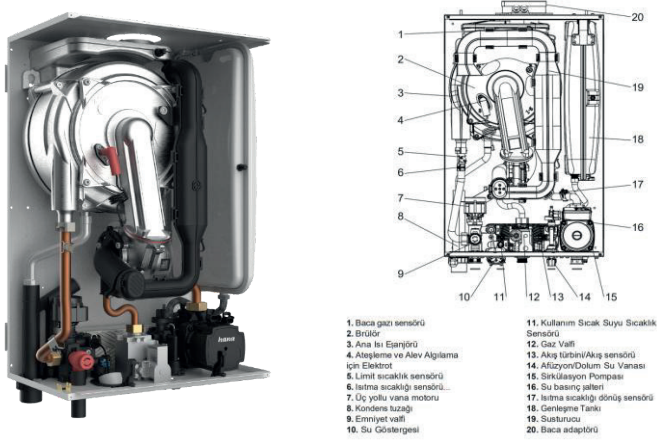
Konvansiyonel kombilerin tasarımında dikkate alınması gereken temel mühendislik kriterleri şu şekilde özetlenebilir:

1. Malzeme Seçimi: Yüksek sıcaklıklara dayanıklı, iyi ısı iletkenliğine sahip bakır eşanjörler yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak bakırın yoğuşmaya karşı dayanımı sınırlıdır.
2. Verimlilik Sınırlamaları: Konvansiyonel cihazların verimi, alt ısı değer (LHV) bazında en fazla %85–90 seviyesine ulaşabilmektedir. Bu durum, baca gazındaki gizli ısınn geri kazanılamamasıyla ilgilidir (Lo Basso, vd., 2017).
3. Baca Gazı Sıcaklığı: Yüksek baca gazı sıcaklıkları cihaz ömrünü olumsuz etkilemez, ancak enerji kayıplarını artırır.
4. Emisyon Değerleri: Konvansiyonel cihazlarda yanma verimliliğinin sınırlı olması, CO₂ ve NO_x emisyonlarını artırmaktadır.
5. Bakım ve İşletme: Konvansiyonel kombilerde eşanjör korozyonu düşük seviyededir, bu nedenle bakım periyotları yoğuşmalı kombilere göre daha seyrek olabilir.

Konvansiyonel kombilerin en önemli kısıtı, baca gazında bulunan su buharının yoğuşturulamaması nedeniyle enerji kaybıdır. Bu kayıp, cihazın enerji verimliliğini sınırlamakta ve modern enerji standartlarıyla uyumlu olmasını engellemektedir (Živić, vd., 2019). Ayrıca, çevresel regülasyonların giderek daha katı hale gelmesi, konvansiyonel kombilerin pazardaki varlığını azaltmış ve yerini yoğuşmalı cihazlara bırakmasına yol açmıştır.

Yoğuşmalı Kombilerin Çalışma Prensibi

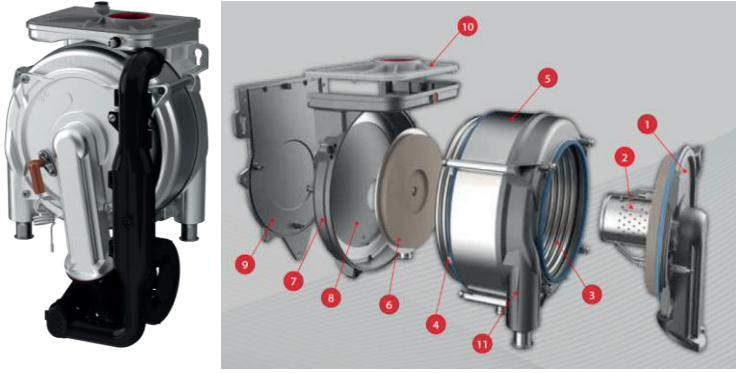
Şekil-2’de 3 boyutlu ve 2 boyutlu olarak detayları verilen Yoğuşmalı kombilerin en temel farkı, yanma sonucunda oluşan su buharının yoğuşturularak gizli ısının geri kazanılmasıdır. Yanma ürünlerinde bulunan su buharı, dönüş suyu sıcaklığı baca gazının çiğ noktası sıcaklığının ($\sim 55^\circ\text{C}$) altına düştüğünde yoğunlaşmaya başlar. Bu sayede baca gazı içerisindeki gizli ısı, eşanjör yüzeyleri aracılığıyla sisteme geri kazandırılır. Böylece cihaz verimi alt ısı değer (LHV) bazında %105 seviyelerine kadar çıkabilmektedir (Hinrichs, vd, 2018).



Şekil 2. Yoğuşmalı Kombi (İrex A.Ş)

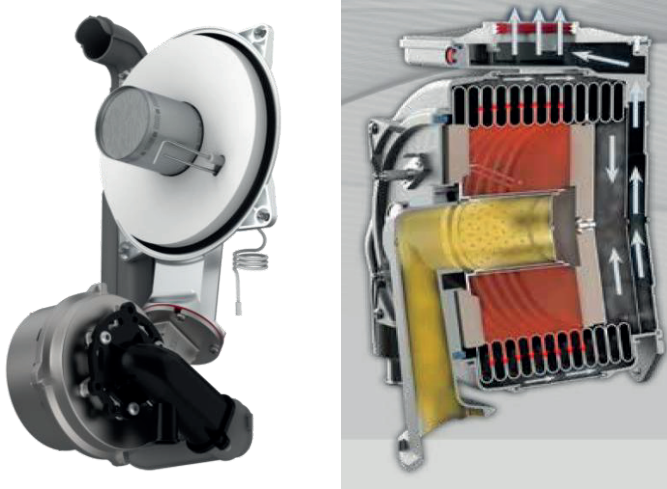
Yoğuşmalı kombilerde ısı eşanjörü tasarımı kritik öneme sahiptir. Çünkü yoğuşma sürecinde açığa çıkan kondensat suyu genellikle düşük pH değerine (4–5 aralığı) sahip olup korozyif özellik göstermektedir. Bu nedenle eşanjörler çoğunlukla:

- Paslanmaz çelik (yüksek korozyon dayanımı),
- Alüminyum-silisyum alaşımları (yüksek ısı iletkenliği ve maliyet avantajı) kullanılarak üretilmektedir.



Şekil 3. Premix Yoğuşmalı Eşanjör (İrex A.Ş)

Şekil-3 ve Şekil-4 'te verilen Yoğuşmalı kombilerde kullanılan brülörler, konvansiyonel cihazlara kıyasla daha geniş bir modülasyon aralığına sahiptir. Bu sayede cihaz, kısmi yüklerde daha verimli çalışabilmekte ve ani kapasite değişimlerine uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca, düşük NO_x brülör teknolojileri kullanılarak emisyon seviyeleri EN 15502 standardında tanımlanan sınırlara uyumlu hale getirilmektedir (European Commission, 2013).



Şekil 4. Premix Yoğuşmalı Eşanjör Brülör (İrex A.Ş)

Şekil-5a’da gösterilen Silencer, sadece yoğunlaşmalı kombide kullanılır ve çalışması sırasında gürültü seviyesini azaltmak için gerekli bir komponenttir. Şekil-5b’de verilen Mikser ile birlikte kullanımında gaz hava modülasyonuna olanak tanır, emisyon değerlerine göre tasarlanmıştır.



Şekil 5. a) Silencer b) Mikser (İrex A.Ş)

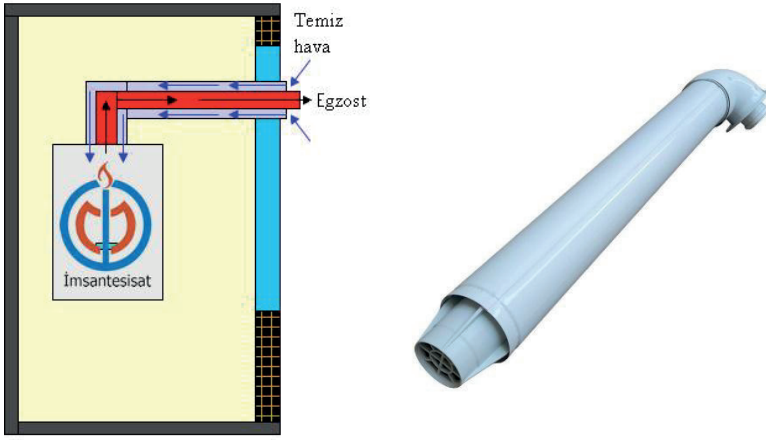
Yoğuşma sırasında oluşan kondensatın sistemden uzaklaştırılması için şekil-6’da gösterildiği bir drenaj hattı gereklidir. Kondensat, asidik yapısı nedeniyle genellikle bir nötralizasyon ünitesinden geçirilerek kanalizasyona verilir.



Şekil 6. Yoğuşma Suyu Sifonu (İrex A.Ş)

Baca sistemleri ise konvansiyonel kombilerdeki metal boruların aksine, kondensata dayanıklı plastik (ör. polipropilen) veya kompozit malzemelerden üretilmektedir. Ayrıca şekil-7’de gösterildiği gibi yoğunlaşmalı cihazlarda hermetik baca sistemleri yaygın olarak

kullanılmakta, bu sayede yanma havası dış ortamdan temin edilerek cihaz verimliliği ve güvenliği artırılmaktadır.

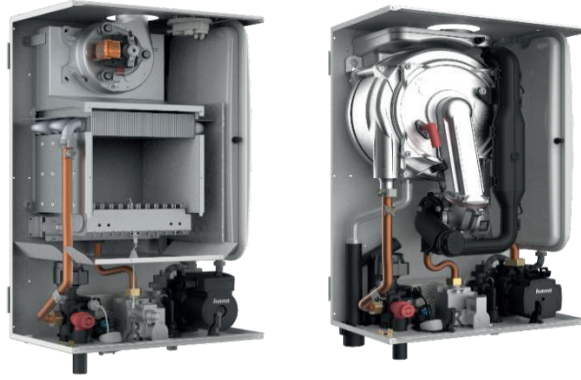


Şekil 7. Hermetik Baca (İrex A.Ş)

Yoğuşmalı kombilerin optimum performansla çalışabilmesi için gelişmiş kontrol algoritmaları gereklidir. Dış hava sensörü, oda termostatu ve akıllı kontrol üniteleri aracılığıyla cihazın çalışma sıcaklığı sürekli olarak optimize edilir. Bu yaklaşım, dönüş suyu sıcaklığının düşük tutulmasına katkı sağlayarak yoğuşmanın sürekliliğini garanti eder. Modern sistemlerde ayrıca oransal-integral- türev (PID) tabanlı kontrol stratejileri ve akıllı modülasyon algoritmaları kullanılmaktadır.

Konvansiyonel Kombiden Yoğuşmalı Kombiye Geçişte Mühendislik Kriterleri

Konvansiyonel kombilerden yoğuşmalı kombilere geçiş süreci, yalnızca yeni bir ısıtma teknolojisinin benimsenmesi değil, aynı zamanda mühendislik açısından çok boyutlu bir yeniden tasarım gerekliliğini beraberinde getirmektedir. Bu dönüşüm, cihazın termodinamik, mekanik, malzeme ve kontrol sistemleri yönünden bütüncül olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Şekil-8'a da konvansiyonel bir kombiye ve Şekil-8'b de yoğuşmalı bir kombiye ait iç detay görünümü verilmiştir.



Şekil 8. a) Konvansiyonel Kombi b) Yoğuşmalı Kombi (İrex A.Ş)

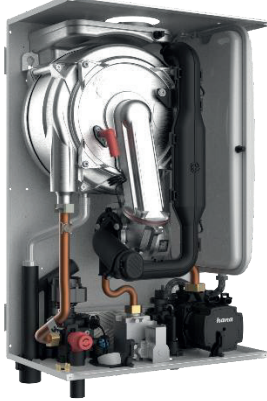
Aşağıda, söz konusu dönüşümde dikkate alınması gereken temel mühendislik kriterleri sunulmuştur:

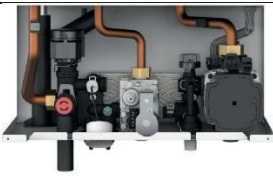
1. Isı Eşanjörleri ve Malzeme Seçimi: Konvansiyonel kombilerde genellikle bakır veya alüminyum alaşımlı ısı eşanjörleri tercih edilmektedir. Ancak yoğuşmalı kombilerde, baca gazı içerisindeki su buharının yoğuşması sonucu ortaya çıkan asidik kondens suyu (özellikle karbonik ve nitrik asit bileşenleri) korozyon riskini artırmaktadır. Bu nedenle yoğuşmalı sistemlerde, paslanmaz çelik (özellikle AISI 316L veya benzeri yüksek korozyon direncine sahip malzemeler) veya özel kaplamalı alüminyum alaşımlar kullanılmalıdır.
2. Kondens Yönetimi ve Tahliye Sistemleri: Yoğuşma sırasında açığa çıkan kondens suyunun güvenli bir şekilde uzaklaştırılması, sistemin sürekliliği ve dayanıklılığı açısından kritik öneme sahiptir. Kondens tahliye hattının korozyona dayanıklı malzemelerden seçilmesi, donma riskine karşı yalıtılması ve kanalizasyona uygun şekilde bağlanması gerekmektedir. Ayrıca, cihaz içinde kondens birikimini önleyici eğim ve drenaj çözümleri de mühendislik tasarımının bir parçası olmalıdır.

3. Yanma ve Baca Gazı Yönetimi: Konvansiyonel kombilerde baca gazı doğrudan atmosfere atılırken, yoğuşmalı kombilerde düşük sıcaklıklı baca gazı çıkışı sağlanmaktadır. Bu durum, baca tasarımında çift cidarlı plastik/alüminyum (PP-Al) sistemlere ve yoğuşma suyunun geri akışını engelleyen eğimli baca (%3) çözümlerine ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, yanma havasının da dış ortamdan alınması ile yanma verimi artırılmakta ve kapalı yanma odası güvenliği sağlanmaktadır.
4. Isıl Verimlilik ve Termodinamik Analiz: Konvansiyonel kombilerde alt ısı değere (LHV) göre hesaplanan verimlilik genellikle %85–90 aralığındadır. Yoğuşmalı kombilerde ise, üst ısı değeri (HHV) üzerinden %105'e kadar çıkan verimlilik değerleri söz konusudur. Bu nedenle tasarım aşamasında, yanma odası geometrisi, hava-yakıt oranı kontrolü ve baca gazı sıcaklıklarının optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. CFD (Computational Fluid Dynamics) ve ısı analiz yazılımları, bu optimizasyon sürecinde kritik mühendislik araçları olarak kullanılmaktadır (Choudhury, vd., 2019).
5. Kontrol Sistemleri ve Otomasyon: Konvansiyonel kombilerde basit termostat kontrollü sistemler yeterli olurken, yoğuşmalı kombilerde gelişmiş modülasyonlu brülör ve akıllı kontrol algoritmaları gereklidir. Özellikle dış hava sensörleri, oda termostatları ve modülasyonlu pompa entegrasyonları, yoğuşmalı kombilerin gerçek potansiyelini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle elektronik kontrol kartı ve yazılım tasarımı, dönüşüm sürecinde yeniden yapılandırılması gereken unsurlar arasında yer almaktadır.
6. Dayanıklılık, Güvenlik ve Standardizasyon: Yoğuşmalı kombilerin tasarımında, yüksek nemli ve asidik ortam koşullarına dayanıklılık ön planda tutulmalıdır. Ayrıca, Avrupa Birliği'nin

ErP (Energy-related Products) direktifleri, CE işaretleme zorunlulukları ve ulusal gaz yakan cihazlar standartları (TS EN 15502 vb.) tasarım sürecinde dikkate alınmalıdır. Gaz sızıntısı, alev denetimi ve aşırı sıcaklık koruma sistemleri de güvenlik açısından ek mühendislik kriterleridir.

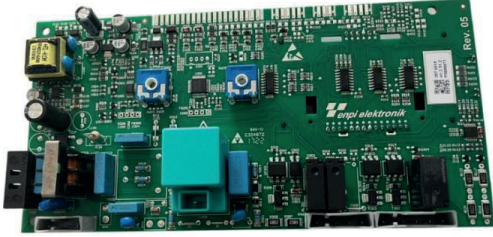
Tablo 1. *Konvansiyonel kombiden yoğuşmalı kombiye geçiş kriter tablosu*

Konvansiyonel Kombi Komponentleri	Yoğuşmalı Kombi Komponentleri	Açıklama
		Yanda verilen resimlerde konvansiyonel kombi ve yoğuşmalı kombiye ait iç görünüşleri verilmiştir.
		Fanhood, Fan, Ana eşanjör yanma odası, yalıtım plakaları ve atmosferik brülörden oluşan konvansi-yonel yanma grubunun yerini, yoğuşmalı kombilerde fan, brülör, coil tipi eşanjör, mikser ve susturucu ve yoğuşma drenajından oluşan blok halindeki premix eşanjör yanma gurubu almaktadır.

		Konvansiyonel kombilerde yanma sonucu oluşan ısının suya aktarılmasında dışı alüminyum ile kaplanan bakır plakalardan oluşan ana eşanjör kullanılırken, yoğuşmalı kombilerde paslanmaz çelikten imal edilen coiller yardımıyla suya ısı transferi sağlanmaktadır.
		Atmosferik brülörde gaz, enjektörler vasıtasıyla Venturi etkisiyle yanma havasıyla karışır. Karışım oranı sabittir, modülasyon sınırlıdır. Yoğuşmalı (Premix) Brülörde ise Gaz ve hava fan yardımıyla tam orantılı olarak karıştırılır. Karışım oranı otomatik ve modülasyonlu olarak ayarlanır.
		Her iki üründe pompa ve gaz valfi dışında Hidroblok grubunun yapısı ve tasarımı aynıdır.
		Yoğuşmasız Kombi Pompası, AC asenkron motor olarak çalışır sabit devirde ya da 2-3 kademeli olarak çalışabilir. Yoğuşmalı Kombi Pompası ise EC motor olarak yoğuşma eşanjöründen dönen düşük sıcaklıklı su nedeniyle debiyi hassas kontrol eder ve Elektronik kart, akış ve sıcaklık farkına göre hızı dinamik ayarlamaktadır.

		Konvansiyonel kombilerde atık gaz sıcaklığı 150–250 °C arasında atmosfere atıldığı için bacalarda galvaniz, alüminyum veya sırlı çelik kullanılır. Yoğuşmalı kombilerde atık gaz 40–70 °C atmosfere atılır ve Paslanmaz çelik (AISI 316L) veya yoğuşma asidine dayanıklı PVC malzeme kullanılır.
		Konvansiyonel (Yoğuşmasız) Kombi de kullanılan Prosestat (Baca gazı presostatı) Bacada yeterli doğal çekişin olup olmadığını algılamak için, Yoğuşmalı Kombi de kullanılan duman sensörü Fanlı baca sisteminde gaz çıkış sıcaklığını ve akış kontrolünü izler; tıkanma, aşırı ısınma veya ters akımda sistemi durdurmaktadır.
		Konvansiyonel (Yoğuşmasız) Kombi Fanı Genellikle tek kademeli santrifüj fanır ve sabit devirde çalışır. Yoğuşmalı Kombi Fanı ise Modülasyonlu (devir kontrollü) fanır ve Yanma havasını çeker, baca gazını atar ve hava–gaz oranını sürekli dengede tutar.
YOK		Silencer, sadece yoğuşmalı kombide kullanılır ve çalışması sırasında gürültü seviyesini azaltmak için gerekli bir komponenttir. Mikser ile birlikte kullanımında gaz hava

		modülasyonuna olanak tanır, emisyon değerlerine göre tasarlanmıştır.
		Genleşme tankı, ısıtma devresindeki suyun sıcaklıkla genleşmesinden doğan basınç artışını dengeleyen, içi hava (azot) ve su bölmeli bir basınç tankıdır. Her iki üründe de ortak kullanılmaktadır.
YOK		Yoğuşma suyu drenajı ya da sifonu sadece yoğuşmalı kombilerde kullanılmakta olup yoğuşan suyun sistem dışarısına atılmasında ve su içinde biriken atık gazın sistem dışına çıkmasına engel olmaktadır.
		Konvansiyonel (Yoğuşmasız) Kombi Gaz Valfi Genellikle 2 kademeli (aç/kapa veya düşük/yüksek) solenoid valftir. Sabit regülasyonlu (örneğin 20 mbar doğalgaz basıncına göre ayarlanır). Yoğuşmalı Kombi Gaz Valfi ise Oransal (modülasyonlu) gaz valfi — PWM veya 0–10 V kontrol sinyali ile çalışır. Gaz debisi, fan devrine ve iyonizasyon geri bildirimine göre anlık ayarlanır.

	Plaka tipi eşanjör ve 3 yollu vana motoru her iki sistemde de kullanılan ortak komponentlerdir.
	Kombi kartı (anakart), cihazdaki tüm alt bileşenleri (fan, pompa, gaz valfi, ateşleme, sensörler vb.) yönetir. Ancak yoğunlaşma kartı; yalnızca kontrol değil, yanmayı optimize eden “akıllı modülasyon sistemi” görevini de üstlenmektedir.

Tablo 1’de, konvansiyonel ve yoğunlaşma kombiler arasındaki temel komponent farklılıklarını ve ortak kullanılan parçaları özetlenmiştir. Görüldüğü üzere, ısı eşanjörleri, brülör yapısı, fan ve pompa sistemleri ile kondens tahliye hattı, yoğunlaşma kombilerin enerji verimliliği, yoğunlaşma yönetimi ve düşük baca gazı sıcaklıklarına uyum sağlamak amacıyla değiştirilmiştir. Öte yandan, elektronik kontrol kartı ve bazı sensörler her iki sistemde de ortak olarak kullanılmakta, böylece tasarım değişiklikleri minimize edilmektedir. Bu tablo, geçiş sürecinde mühendislik önceliklerinin belirlenmesi ve prototip geliştirme sürecinde maliyet ve zaman tasarrufu sağlanması açısından önemli bir yol haritası oluşturmaktadır.

Sonuçlar

Bu çalışma, konvansiyonel ev tipi kombilerden yoğuşmalı kombilere geçiş sürecinde dikkate alınması gereken mühendislik kriterlerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Analizler, ısı eşanjörlerinin malzeme seçimi, brülör ve baca gazı yönetimi, yoğuşma suyu tahliyesi, kontrol sistemlerinin yeniden düzenlenmesi ve termodinamik performansın artırılması gibi temel tasarım unsurlarını kapsamaktadır.

Yoğuşmalı kombilere geçiş, cihaz verimliliğini artırmakla kalmayıp, emisyon değerlerini önemli ölçüde düşürerek çevresel etkileri azaltır. Mevcut konvansiyonel sistemlerde sınırlı olan ısı geri kazanımı, baca gazının doygunluk noktasının altına soğutulmasıyla yoğuşmalı sistemlerde %10–15 oranında artırılabilir. Bu durum, malzeme ve eşanjör tasarımının optimize edilmesini, korozyon yönetimi ve kondens tahliyesinin etkin şekilde sağlanmasını gerektirir.

Sistem verimliliği açısından, brülör ve fan tasarımları, modülasyonlu çalışma ve kontrol algoritmaları ile entegre edilmelidir. PID veya AI tabanlı kontrol yaklaşımları, enerji tüketimini azaltırken kullanıcı konforunu maksimize eder. Ayrıca, yoğuşmalı sistemlerin emisyon değerleri (CO, NO_x) Avrupa Birliği standartlarına uygun şekilde düşürülerek çevreye olan olumsuz etkiler minimize edilmektedir.

Geçiş süreci, bazı komponentlerin değişimini ve yeniden tasarımını zorunlu kılar:

- Isı eşanjörleri ve brülör yapıları
- Yoğuşma suyu tahliye hattı ve sifon sistemleri
- Modülasyonlu fan ve pompa sistemleri
- Gelişmiş kontrol kartları ve sensörler

Sonuç olarak, konvansiyonel kombiden yoğuşmalı kombiye geçiş, yalnızca bir ürün modernizasyonu değil; enerji verimliliği, termodinamik optimizasyon, malzeme bilimi, kontrol sistemleri ve çevresel sürdürülebilirlik alanlarını kapsayan çok boyutlu bir mühendislik dönüşümüdür. Bu dönüşümün doğru mühendislik kriterleriyle uygulanması, cihazın ömrünü uzatmakta, enerji ve yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Aynı zamanda, emisyonların düşürülmesi ve çevresel

etkilerin azaltılması sayesinde hem kullanıcı hem de toplum için daha güvenli ve çevre dostu bir çözüm sunmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan konvansiyonel ve yoğunmalı kombiye ait görsel ve parçalar, İrex Endüstriyel AŞ'ye aittir.

Kaynakça

- Vignali, G. (2016). Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2493–2508. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.025>
- Lee, P. H., & Hwang, S. S. (2017). Combustion characteristics of premixed burner for domestic condensing gas boiler using metal fiber and throttle body. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, 41(4), 249–256. <https://doi.org/10.3795/ksme-b.2017.41.4.249>
- Hinrichs, J., Felsmann, D., Bortoli, S. S., Tomczak, H., & Pitsch, H. (2018). Numerical and experimental investigation of pollutant formation and emissions in a full-scale cylindrical heating unit of a condensing gas boiler. *Applied Energy*, 229, 977–989. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.011>
- Lamioni, R., Bronzoni, C., Folli, M., Tognotti, L., & Galletti, C. (2022). Feeding H₂-admixtures to domestic condensing boilers: Numerical simulations of combustion and pollutant formation in multi-hole burners. *Applied Energy*, 309, 118379. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118379>
- Yılmaz, S., Kumlutaş, D., Yücekaya, U. A., & Cumbul, A. Y. (2021). Prediction of the equilibrium compositions in the combustion products of a domestic boiler. *Energy*, 233, 121123. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121123>
- Ucar, M., & Arslan, O. (2021). Assessment of improvement potential of a condensed combi boiler via advanced exergy analysis. *Thermal Science and Engineering Progress*, 23, 100853. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100853>
- Ngendakumana, P., Gabriele, F., Restivo, Y., & Sartor, K. (2017). Energetic and environmental performances of a domestic hot water condensing boiler fired by wood pellets. *Energy Procedia*, 120, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.207>

- Lo Basso, G., Nastasi, B., Garcia, D. A., & Cumo, F. (2017). How to handle the Hydrogen enriched Natural Gas blends in combustion efficiency measurement procedure of conventional and condensing boilers. *Energy*, 123, 615–636. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.042>
- Živić, M., Galović, A., Avsec, J., & Barac, A. (2019). Application of gas condensing boilers in domestic heating. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 26(3). <https://doi.org/10.17559/tv-20180831125929>
- Hinrichs, J., Felsmann, D., Bortoli, S. S., Tomczak, H., & Pitsch, H. (2018b). Numerical and experimental investigation of pollutant formation and emissions in a full-scale cylindrical heating unit of a condensing gas boiler. *Applied Energy*, 229, 977–989. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.011>
- Choudhury, S., McDonell, V. G., & Samuelsen, S. (2019). Combustion performance of low-NO_x and conventional storage water heaters operated on hydrogen enriched natural gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(3), 2405–2417. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.043>



TİTANYUM BAZLI MALZEMELER VE UYGULAMALARI

“ ”

Fevzi KELEN¹

¹ Doç. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Van, Türkiye, fkelen@yyu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3900-4503.

1. Giriş

XVIII. yüzyıl sonlarına doğru İngiliz mineralog William Gregor tarafından ilk kez keşfedilen titanyum mükemmel spesifik özelliklerinden dolayı endüstriyel uygulamalarda oldukça sık kullanılmaktadır. Rutil, anataz, brookit vb. kayaçlardan elde edilmektedir. Ayrıca ilmenit, lökoksen ve perovskit gibi mineral kaynaklarında da yer almaktadır. Yer kabuğunun ortalama %0.6'sını oluşturmaya karşın kullanımı demir ve bakıra kıyasla daha azdır. 1948 yılında havacılıktaki yoğun ilgi üzerine ticari üretimine başlanmıştır. Titanyum düşük ısı iletkenlik, yüksek spesifik mukavemet ve mükemmel korozyon direnci gibi özellikleri ile dikkat çekmektedir. Bu metal magnezyum, alüminyum, nikel ve demir ile mukayese edildiğinde magnezyum ve alüminyum haricinde diğerlerine nazaran çok daha düşük yoğunluğa sahiptir. Ayrıca ergime sıcaklığı tamamına göre daha yüksektir. Demir gibi allotrop özellik sergilememektedir. Elastisite modülü ve akma mukavemeti magnezyum ve alüminyuma kıyasla çok daha büyüktür. Diğer taraftan hepsinden çok daha iyi korozyon direnci sergilemektedir (Welsch et al., 1993, Leyens and Peters 2006, Zhang et al., 2011, Najafizadeh et al., 2024).

882°C ve altı sıcaklıklarda, titanyum, hegzagonal sıkı paket kristal yapıda iken sıcaklık bu değerin üstüne çıktığında hacim merkezli kübük yapıya dönüşmektedir. Bu fazlar titanyum ve alaşımlarının mekanik özelliklerini saptamada önemli olup elastik ve plastik davranış üzerinde oldukça kritik rol oynamaktadır. Endüstriyel uygulamalar için yapılan alaşımlandırma işlemlerinde sarf edilen elementler genel olarak üç grupta incelenmektedir. Bunlar dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak nötr, hegzagonal kristal yapı kararlaştırıcıları ve hacim merkezli kubik kristal yapı kararlaştırıcılarıdır. Alüminyum yeralan, oksijen arayer elementi olup, bunlar azot ve karbon gibi güçlü hegzagonal kristal yapı kararlaştırıcılarıdır. Bu yeralan ve arayer elementlerinin oranı artıkça geçiş sıcaklığında yükselmektedir. Alüminyum, ayrıca, hacim merkezli kubik kristal yapı içerisinde de çözünabilmektedir. Hegzagonal sıkı paket kristal yapıdaki gibi geçiş sıcaklığının artmasına yol açmaktadır. Diğer taraftan Ti_3Al çökeltilerinin teşekkülüne neden olduğu için miktarı belirli bir değer ile sınırlandırılmıştır. Oksijen ise hegzagonal sıkı paket kristal yapıda yüksek mukavemet ve kolay imalat imkanı sunduğu için tüketilmektedir. Ötektik ve izomorf şeklinde iki sınıfa ayrılan hacim merkezli kubik kristal yapı kararlaştırıcıları Mo, V, Fe, Cr, Mn, H ve Ni elementlerini ihtiva etmektedir. Bu katışık unsurları yüksek sertlik, yüksek dövülebilirlik ve mükemmel soğuk şekillendirilebilirlik özelliğinin kazandırılmasında tercih edilmektedir. Kalay (Sn) ve zirkonyum (Zr) gibi elementler ise alaşımlamada ciddi bir tesire sahip olmayıp nötr katışıklar olarak ifade edilmektedir (Emsley 2001, Lütjering and Williams 2003, Peters et al., 2003, Joshi 2006). Bu elementler yaygın olarak kullanılmakta olup, alaşımların sınıflandırılmasında kritik önem arz etmektedir.

2. Titanyum Esaslı Malzemeler

α , $\alpha+\beta$ ve β alaşımları olarak kategorize edilmesine karşın α -fazına yakın (near- α alloys) ve yarı stabil β (near- β alloys) alaşımlarında mevcuttur. Ticari saflıkta titanyum 0.2Fe - 0.18O, 0.3Fe - 0.25O, 0.3Fe - 0.35O ve 0.5Fe - 0.40O oranlarda demir ve oksijen içermektedir. Endüstriyel dallarda saf titanyum yetersiz mekanik özelliklerinden dolayı çok fazla tercih edilmez iken α , $\alpha+\beta$, β , α -fazına yakın ve yarı stabil β alaşımları nispeten daha çok tüketilmektedir. Aşağıda yaygın olan alaşım türlerine kısaca değinilmiştir.

α -alaşımları;

Ti-5Al-2.5Sn, Ti-3Al-2.5V, Ti-2Cu ve Ti-0.3Mo-0.8Ni alaşımları α -alaşımları olup, bunlar, ticari saflıkta titanyum, kararlaştırıcıları ve nötr elementler ile alaşımlandırılmış katışıkları kapsamaktadır. Korozyona karşı gösterdikleri mükemmel direnç ile ön plana çıkar iken kolay şekillendirilebilirlik ve yüksek kaynak edilebilirlik kabiliyeti gibi üstün özelliklere haizdir. Bu spesifik nitelikler kimya, petrokimya ve tesisat gibi alanlarında yaygın sarfiyatlarına yol açmıştır. Paslanma mukavemetleri uzun ömürlü olmalarına olanak tanıyarak paslanmaz çeliklere kıyasla daha ucuz olmalarını sağlamaktadır. Ticari saflıkta titanyuma nazaran daha yüksek dayanım sergilemektedir (Lütjering and Williams 2003, Peters and Leyens 2003).

α -fazına yakın (near- α alloys) alaşımlar;

Ti-5Al-6Sn-2Zr-1Mo-0.2Si, Ti-2Al-2Sn-4Zr-2Mo ve Ti-8Al-1Mo-1V gibi alaşımlardan oluşmaktadır. Bu malzemeler α ve $\alpha+\beta$ alaşımlarının önemli karakteristik özelliklerini sergilemektedir. α -fazına yakın alaşımlara dahil edilen %1 ile %2 miktarındaki β kararlaştırıcıları sürünme direnci ve mukavemette ciddi oranda artış sağlamaktadır. Bu alaşımlar uçak motor bloklarının çalışma sıcaklığında plastik deformasyona karşı gösterdiği iyi dayanım ile ön plana çıkmaktadır. α -fazına yakın alaşımlar spesifik nitelikleri nedeni ile havacılık alanında yaygın kullanıma sahiptir (Semiatin et. al. 1997, Peters et. al. 2003, Joshi 2006).

$\alpha+\beta$ alaşımları;

Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V ELI, Ti-6Al-4V-2Sn ve Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo gibi alaşımlar $\alpha+\beta$ grubunun tipik örnekleridir. Endüstriyel alanlarda yaygın kullanıma sahip Ti-6Al-4V alaşımı en çok tercih edilenidir. Bu alaşımlar %4-16 arasında içerdikleri β kararlaştırıcıları ile yüksek mukavemet ve iyi korozyon direnci sergilemektedir. $\alpha+\beta$ sınıfı titanyum alaşımları içerisinde spesifik karakteristik niteliklerinden dolayı oldukça sık tüketilmektedir. Bu grubun popüler alaşımı havacılık sektörünün yanı sıra implant ve protez gibi biyomalzeme uygulamalarındaki yüksek sarfiyat miktarı ile dikkat çekmektedir (Ribeiro et. al. 2003, Guleryuz and Cimenoglu 2009, Motyka et. al. 2019).

β -fazına yakın (near- β alloys) alaşımlar;

Ti-6Al-2Sn- 4Zr-6Mo, Ti-8Mo-8V- 2Fe-3Al, Ti-10V-2Fe-3Al ve Ti-8Mn gibi alaşım serilerini ihtiva etmektedir. Bu malzemelerin β -fazına yakın alaşımlar olarak adlandırılmasının nedeni çok az miktarda α kararlaştırıcı içermesidir. Diğer taraftan yapıda yer alan %10 ile %15 oranındaki β kararlaştırıcıları oda sıcaklığında matris fazın yarı kararlı halde kalmasını mümkün kılarak eser değerdeki α kararlaştırıcıların morfolojide homojen dağılım sergilemesini sağlanmaktadır. Bu alaşım grubunda mekanik değerler optimize edilerek dayanım nispeten yüksek düzeylere çıkarılabilmektedir (Li and Zhang 2025, Moiseyev 2005, Amin 2012, Sieniawski and Ziaja 2013).

β -alaşımları;

Ti-13V-11Cr-3Al, Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn ve Ti-13V-11Cr-3Al alaşımları β esaslı malzemelerdir. Mo, V, Fe, Cr, Mn, H ve Ni gibi elementleri β kararlaştırıcıları olarak içermektedir. Bunlar yüksek dayanım, iyi sertlik ve süneklik gibi karakteristiklere sahiptir. $\alpha + \beta$ alaşımlarına kıyasla yüksek sıcaklıklarda daha iyi mukavemet sergilemelerine rağmen kullanımları bunlar gibi yaygın değildir. Geçiş elementleri ihtiva etmelerinden dolayı yoğunlukları yüksek olup korozyona karşı dirençleri molibden ilavesi ile geliştirilmektedir (Peters et. al. 2003, Lütjering and Williams 2003, Veiga et. al. 2012). Aşağıda titanyumu alaşımlamada kullanılan elementler, önemli bazı alaşımları ve kimyasal bileşimleri ile mekanik özellikleri sırası ile Tablo 1, 2 ve 3'te verilmiştir.

Tablo 1: *Titanyumu alaşımlamada sarf edilen elementler ve kategorileri*

	α - kararlaştırıcı				β - kararlaştırıcı							Nötral	
					β -ötektoid		β -izomorf						
	Al	O	N	C	Mo	V	Fe	Cr	Mn	H	Ni	Sn	Zr
Yeralan	X				X	X						X	X
Arayer		X	X	X			X	X	X	X	X		

Kaynak: Veiga et al. (2012).

Tablo 2: *Yaygın kullanım gösteren önemli titanyum alaşımları*

Alaşımlar	Yaygın Alaşım Türleri			
Ticari saflıkta titanyum	0.2Fe, 0.18O	0.3Fe, 0.25O	0.3Fe, 0.35O	0.5Fe, 0.40O
α alaşımları	Ti-5Al-2.5Sn	Ti-3Al-2.5V	Ti-2Cu	Ti-0.3Mo-0.8Ni
α -fazına yakın (near- α alloys) alaşımlar	Ti-5Al-6Sn-2Zr-1Mo-0.2Si	Ti-2Al-2Sn-4Zr-2Mo	Ti-8Al-1Mo-1V	--
$\alpha + \beta$ alaşımları	Ti-6Al-4V	Ti-6Al-4V ELI	Ti-6Al-4V-2Sn	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo
β -fazına yakın (near- β alloys) alaşımlar	Ti-6Al-2Sn- 4Zr-6Mo	Ti-8Mo-8V- 2Fe-3Al	Ti-10V-2Fe-3Al	Ti-8Mn
β alaşımları	Ti-13V-11Cr-3Al	Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn	Ti-13V-11Cr-3Al	--

Kaynak: Veiga et al. (2012).

Tablo 3: *Titanyum alaşımları, kimyasal muhtevaları ve mekanik özellikleri*

Alaşım Grubu	Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Sertlik (HV)
α-alaşımları					
Yüksek Safılıkta Ti	99.98 Ti	140	235	100-145	100
α-yakın alaşımlar					
Ti-6-2-4-2-S	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si	990	1010	114	340
TIMETAL1100	Ti-6Al-2.7Sn-4Zr-0.4Mo-0.4Si	900-950	1010-1050	112	---
TIMTETAL685	Ti-6Al-5Zr-0.5Mo-0.25Si	850-910	990-1020	120	---
$\alpha+\beta$ alaşımları					
Ti-6-4	Ti-6Al-4V	800-1100	900-1200	110-140	300-400
Ti-6-6-2	Ti-6Al-6V-2Sn	950-1050	1000-1100	110-117	300-400
Ti-6-2-4-6	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	1000-1100	1100-1200	114	300-400
Ti-17	Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	1050	1100-1250	112	400
β-yakın alaşımlar					
SP 700	Ti-4.5Al-3V-2Mo-2Fe	900	960	110	300-500
Beta III	Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn	800-1200	900-1300	83-103	250-450
Beta C	Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	800-1200	900-1300	86-115	300-450
Ti-10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	1000-1200	1000-1400	110	300-470
Ti-15-3	Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	800-1000	800-1100	80-100	300-450

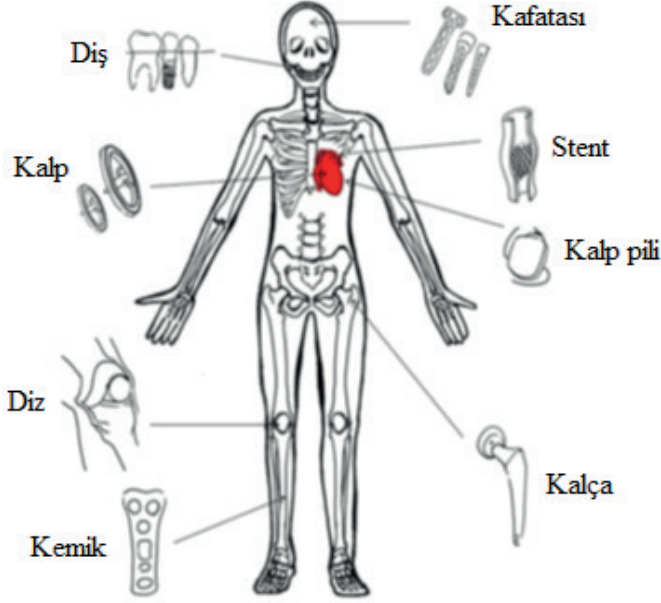
Kaynak: Veiga et al. (2012).

Titanyum esaslı malzemeler düşük yoğunluk ve spesifik mekanik değerleri nedeni ile sağlık, uzay, havacılık, otomotiv, enerji ve deniz uygulamaları gibi sektörlerde yaygın olarak sarf edilmektedir. Tıp alanında düşük yoğunluk ile beraber yüksek biyo-uyumluluk sergilemesi büyük tüketim hacimlerine ulaşmasını sağlamıştır. Özellikle vücut içerisindeki doku veya kemik deformasyonunu iyileştirmede ihtiyaç duyulan implant gereksinimi önemli oranda titanyum matrisli malzemeler ile karşılanmaktadır. Ayrıca vücut sıvısı ile teması sonucu oluşan düşük oksitlenme miktarı tıbbın yanı sıra diş, ortopedik ve medikal aletler gibi dallarda popüleritesine oldukça ün kazandırmıştır. Kalça ve diz eklemleri gibi vücut yapı ve aksamalarında implant şeklindeki kullanımları son derece fazla tercih edilmektedir. Diğer taraftan yüksek sıcaklıklarda gösterdikleri iyi mukavemet ile havacılık ve otomotiv gibi ulaşım dallarında da ön plana çıkmaktadır. İçten yanmalı motorlarda atmosfere salınan zararlı bileşenlere getirilen yasal kısıtlamalar sektörü hafif ve uzun

ömürlü araçlara yönlendirmiştir. Titanyum bazlı malzemelerin diğer metalik malzemelere kıyasla düşük yoğunluğu bu alanlarda onu cazip bir materyal kılmaktadır. Servis şartlarında plastik deformasyona uğramadan sergiledikleri yüksek performans endüstrinin talep ettiği karakteristik niteliklerdir. Bu nedenle silindirik bloğu imalatının yanı sıra egzoz parçalarının yapımında da tüketimi önem arz etmektedir. Bunlarla birlikte süspansiyon yayları, emme ve egzoz supapları, karoseri bileşenleri, turbo şarj rotoru, bağlantı klapele-ri gibi taşıt aksamalarının üretiminde esas malzeme olarak değerlendirilme kapasitesine sahiptirler (Sherman and Allison 1986, Sherman et. al. 1997, Hartman et. al. 1998, Faller and Froes 2001, Peters and Leyens 2003, Froes et. al. 2004, Caceres 2007, Geetha et. al. 2009, Ghassemieh 2011, Sachdev et. al. 2012). Bu bağlamda avrupa ve asya otomotiv üreticileri imal ettikleri araçlarda titanyum, alaşım ve kompozitlerinin kullanım oranını sürekli olarak artırmayı amaçlamaktadır. Böylece hafif ve sağlam taşıtlar ile birlikte çevre dostu düşük emisyonlu otomotiv üretiminin mümkün kılınması planlanmaktadır. Mükemmel korozyon direnci titanyum matrislilerin enerji nakil hatları ve deniz araçları için oldukça ideal bir metal haline getirmektedir. Bu sektörlerde sarf edilen materyallerin ya açık atmosfer ile ya da farklı akışkan ve solüsyonlar ile devamlı etkileşimi onları kimyasal reaksiyonlar sonucu çürümeye maruz bırakmaktadır. Bu durum sistem ve aksamlarda düşük ve kötü işlevselliğin yanı sıra doğal kaynakların verimli kullanımı açısından da ciddi problemlere yol açmaktadır. Dolayısıyla korozyona karşı iyi dayanım gösteren titanyumun bu alanlarda sarfiyatı son derece ehemmiyet kesbetmektedir.

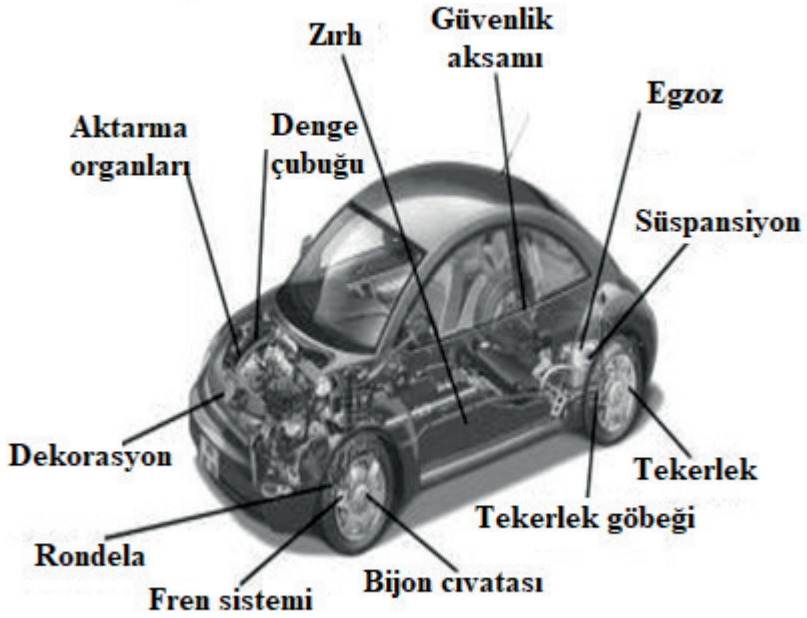
3. Uygulama alanları

İnsan sağlığı üzerinde son derece kritik tesire sahip biyomalzemelerin önemi her geçen gün artmaktadır. Yaşam süresi ve kalitesinde hayati rol oynayan bu materyallerin içerisinde metal esaslılar değişken gerilmeler altında sergiledikleri mükemmel direnç ile ön plana çıkmaktadır. Ayrıca kristal yapıları ve güçlü bağ dokuları onları eşsiz kılmaktadır. Bunlar arasında titanyum matrisliler nispeten yüksek biyouyumlukları ile dikkat çekmektedir. Diğer taraftan oldukça reaktif olması yüzeyinde ince oksit tabaka oluşumuna yol açarak hem korozyona karşı mukavemetini hem de vücut ile intibakını geliştirmektedir. Bunların yanı sıra düşük yoğunluk, yüksek mekanik karakteristikler, kolay işlenebilirlik, nontoksik yapı ve kemiğinkine yakın elastisite modülü titanyum, alaşım ve kompozitlerini vazgeçilmez yapmaktadır. Bu bağlamda, kemik, eklem ve bileşenleri, diş implantları, protezler, kardiyovasküler implantlar vb. farklı bölge ve kısımlarda tercih edilmektedir. Fakat tribolojik özellikleri ve yüksek işlevsellik gerektiren uzuvlar için yetersiz mekanik davranışları sarfiyat miktarlarını kısıtlamaktadır (Elias et. al. 2008, Khorasani et. al. 2015, Marin and Lanzutti 2023, Najafizadeh et. al. 2024). Şekil 1’de titanyum, alaşım ve esaslı malzemelerin tıp uygulamaları verilmiştir.

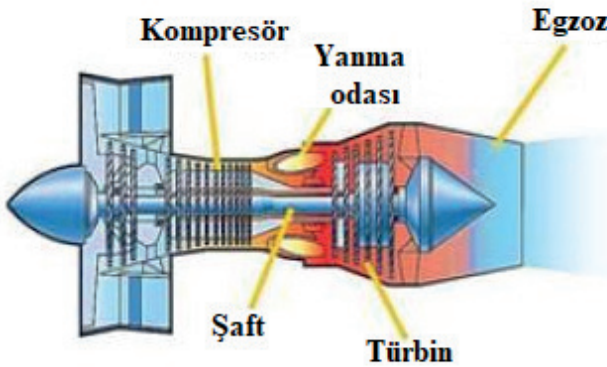


Şekil-1. *Titanyum, alaşım ve kompozitlerinin vucuttaki farklı kullanım alanları (Najafizadeh et. al. 2024).*

Ticari üretimi yirminci yüzyılın ilk yarısında başlamasına karşın tıpta sarf edilmeleri yaklaşık olarak yirmi yıl sonra gerçekleşmiştir. İmplant yapımındaki tüketiminin ardından artan yaşlı nüfus ve talepler titanyum, alaşım ve esaslı malzemelere ilgiyi çoğaltmıştır. Fakat karoyolu ulaşım araçlarında yanmadan sonra ortaya çıkan karbondioksit salınımını azaltma çabaları otomotiv endüstrisinde titanyum esaslı malzemelerin kullanımına önemli ivme kazandırmıştır. Her ne kadar yüksek maliyet ciddi bir engel teşkil etmişse de atmosfer kirliliğinin canlılar üzerindeki kötü etkisi ün edinmesini sağlamıştır. İlk uygulamaları yarış araçlarında hafiflikleri ile olmuştur. Sonraki yıllarda şasi, süspansiyon ve aktarma organlarında sarf edilmiştir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda sergiledikleri iyi mukavemet egzoz donanımında yaygın kullanımınlarına yol açmıştır. Ayrıca servis koşullarında ağır yük ve büyük ısılar altında çalışan çeşitli motor parçalarının imalatında da tercih edilmiştir (Destefani 1990, Leyens and Peters 2003, Schauerte 2003, Fujii et. al. 2003, Mallick 2012, Furuta 2019, Salihu et. al. 2019, Takahashi et. al. 2020, Isaka at. al. 2022, Pushp et. al. 2022, Besisa and Yajima 2024). Şekil 2’de titanyum esaslı malzemelerin otomotiv temel sistem ve bileşenlerdeki mevcut ve muhtemel uygulamaları gösterilmektedir.



Şekil-2. Titanyum esaslı malzemelerin otomobil sistem ve bileşenlerindeki mevcut ve muhtemel uygulamaları (Leyen and Peters 2003).

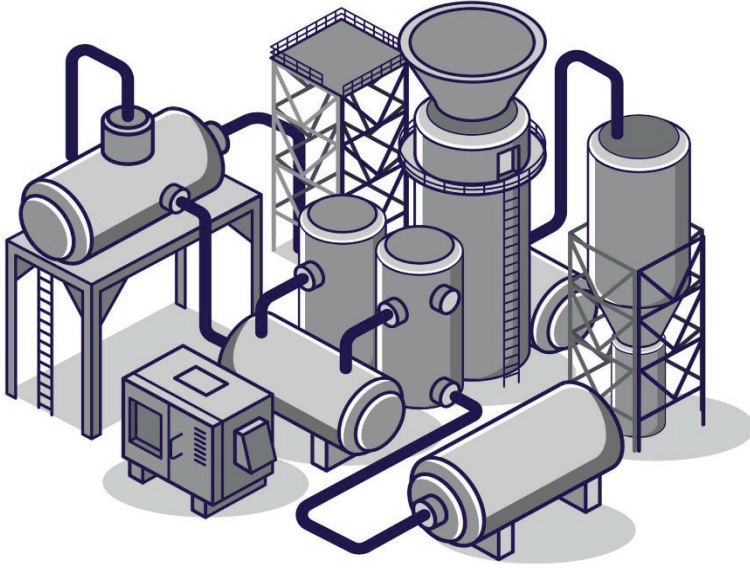


Şekil-3. Uçak motorlarında titanyum matrisli malzemelerin tüketimi (www.twi.org).

Titanyum esaslı malzemelerin üstün karakteristik özellikleri nedeni ile otomotivlerdeki tüketim miktarının hızlı artışı diğer ulaşım araçlarında da kullanımına olumlu yansımış ve motosikletlerin parça ve aksamalarının imalatında terih edilmeye başlanmıştır. Yakıt deposu üretiminde düşük yoğunluğu ile ön plana çıkarken yüksek dayanımı da biyel kolu yapımında sarf edilmelerini sağlamıştır. Dahası yüksek korozyon dayanımı ve düşük temas direnci gibi spesifik nitelikleri akümülatörlerin seperatör geliştirme çalışmalarında yer almasına olanak tanımıştır. Zırhlı araçların gövdesinde kullanılan titanyum matrisli materyaller bu alanda gösterdikleri yüksek mukavemet ile dikkat çekmiştir. Zırhlı savaş araçların imalatında yüksek mekanik davranışları ile birlikte ağırlıkta meydana getirdiği kritik azalma ile konvansiyonellere kıyasla ciddi bir potansiyel hasıl etmiştir. Bilhassa çelik tüketimi açısından önemli bir tehdit doğurmuştur. Şekil-3'te titanyum matrisli malzemelerin uçak motorlarının farklı kısımlarındaki kullanımları verilmiştir. Kanat, kuyruk, iniş takımları ve diğer çeşitli aksamaları ihtiva eden gövde yapımında alüminyum, demir ve karbon elyaf takviyelilere göre nispeten daha az sarf edilirken motor imalatında bunlardan çok daha fazla tüketilmektedir. Bu alandaki sarfiyat hacimleri nikel esaslılara son derece yakındır. Kanat yapımında alüminyum esaslılara nazaran daha yüksek mekanik özellikler sergilemelerine karşın ağırlık ve maliyetleri dezavantaj teşkil etmiştir (Crossley 1981, Ward-Close, et. al. 1996, Brewer et. al. 1998, Boyer 2010, Ahmed et. al. 2014, Singh et. al. 2017, Takahashi et. al. 2020, Williams and Boyer 2020). Fakat hava araçları üzerindeki yeşil teknoloji gibi küresel baskılar titanyum esaslılar için yeni uygulama alanları ortaya çıkartmaktadır. Bu bağlamda gövde yapımında yüksek yoğunluklu malzemelerde kısıtlamaya gidilerek titanyum vb. materyallerin sarf edilmesi planlanmaktadır.

Yüksek korozyon direnci, iyi mukavemet ve kolay şekillendirilirlilik gibi üstün karakteristikler titanyum esaslı malzemelerin petrol endüstrisinde alternatif bir materyal yapmıştır. Muhtevasında çeşitli asit ve aşındırıcılar barındıran petrol ve gazlar borularda korozyona yol açarak servis ömrünü kısaltmakta ve ciddi maliyetlere neden olmaktadır. Borular, ayrıca, nakil sırasında yüksek basınç, büyük sıcaklık dalgalanmaları ve sabit gerilmelere maruz kalmaktadır (Popoola et. al. 2013, Al-Janabi 2020). Bu bağlamda, ideal malzeme tercihi sadece çalışma koşulları ve sistem verimliliği değil aynı zamanda güvenlik ve işletme masrafları açısından da oldukça hayatidir. Titanyum matrisli malzemeler yüksek klorür, sülfür vb. içeriğine sahip ortamlarda çukurcuk gibi korozyon türlerine karşı son derece duyarlı kullanılagelmiş materyallere kıyasla yüzeyinde kararlı bir oksit tabakası oluşturmaktadır. Böylece ciddi aşındırıcı koşullarda dahi uzun süre yapılarını muhafaza ederek işlevselliklerini sürdürmektedir. Diğer taraftan iyi süneklik, dış etken ve ani platform hareketlerine karşı yüksek direnç kritik bir avantaj teşkil etmektedir. Dolayısıyla titanyum esaslı malzemeler bu alanda yaygın tüketim ser-

gileyen çeliklere göre hem korozyon, hem gerilme hem de esneklik açısından daha iyi niteikler ortaya koymaktadır. Dahası spesifik karakteristikleri ilk kurulum, bakım ve onarım süreçlerinde maliyet tasarrufunun yanı sıra yapısal destek ve toplam sermaye giderlerini de azaltmaktadır. Bu nedenle petrol endüstrisinde kullanımları sürekli ivme kazanmaktadır. Şekil 4'te titanyum esaslı malzemelerin petrol ve gaz boru hatlarındaki örnek kullanım alanları gösterilmektedir.



Şekil-4. Petrol ve gaz boru hatlarında titanyum esaslı malzeme kullanımı

Titanyum, alaşım ve kompozitleri sağlık, hava, otomotiv ve denizcilik gibi endüstrilerin dışında uzay, kimya, gıda, tarım ve spor gibi farklı sektörlerde de sarf edilmektedir. Bu malzemeler, ayrıca, takı, saat ve gözlük gibi eşyaların yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzay araçlarının gövde imalatında tüketilen titanyum esaslı malzemelerin içeriği sürekli olarak artmaktadır. Geneleksellere göre bunların seçimi teşvik edilmekte ve sarfiyat hacimleri yükseltilmektedir. Kimya endüstrisinde klor alkali, soda külü, vakumlu tuz, petrol kimyasalı elyaf, organik tuz ve propilen gibi alanlarda ekipman ve gereç üretiminde oldukça sık tercih edilmektedir. Bunların yanı sıra film yoğunlaştırıcılarında, besleme tahliye hatlarında, santifirüj tevdi elemanlarında, gaz temizleyici, yüksek etkinli soğutucu, kondansatör, pompa, valf, nakil bileşenleri, yüksek basınçlı mikser gibi donanımların üretiminde de kullanılmaktadır. Gıda sektöründe nihai mamüllün son eldesinde, tarımsal ürünlerde ise besin kalite süreçlerini iyileştirmek amacı ile yararlanılmaktadır. Spor ekipmanlarında işlevsellik ve dayanaklığı geliştirmede kullanılmaktadır. Bu malzemeler özellikle kondisyon bisikletlerin yapımında sarf edilerek ağırlıkta önemli kazanım sağlanmaktadır. Böylece, manevra ve hız kabiliyetleri artırılmaktadır (Sha and Malinov 2009, Dong 2010, Semenova et. al. 2020, Motyka 2021, Krishna 2022, Saurabh et. al. 2022, Besisa and Yajima 2024, Cao and Zhang 2024). şekil 6'da titanyum esaslı malzemelerden imal edilmiş kondisyon bisikleti görölmektedir.



şekil-6. Spor kondisyon ekipmanlarında titanyum, alaşım ve kompozitleri (<https://commercialfitnessequipment.com>).

4. Sonuç

Çevre dostu ve sürdürülebilir teknolojilere olan büyük rağbet endüstrileri modern tasarım ve konstrüksiyonlara sevk etmiştir. Bu yapıların inşası ile ham-madde kaynaklarının verimli kullanımı, enerji sarfiyatının minimize edilmesi ve ekolojik dengenin korunması amaçlanmaktadır. İleri işlevsel dizaynların mimarisi ancak üstün fonksiyonel özelliklere sahip malzemeler ile mümkün olmaktadır. Titanyum esaslı malzemeler yüksek mukavemet, mükemmel korozyon direnci, kolay şekillendirebilirlik, düşük yoğunluk ve iyi yüksek sıcaklık mekanik karakteristikleri ile dikkat çekmektedir. Bu spesifik materyaller pek çok endüstri için önemli bir uygulama alanı teşkil etmektedir. Özellikle yüksek verimlilik, düşük enerji kullanımı ve azami çevre entegresini hedefleyen sağlık, havacılık, uzay, otomotiv, elektronik, elektrik, spor, inşaat ve denizcilik gibi lokomotif sektörlerdeki tüketimleri desteklenmektedir. Titanyum, alaşım ve kompozitleri hafiflikleri ile yapı yük ve ağırlığını azaltmada kritik rol oynamaktadır. Bunlar hem içten yanmalı motorlarda geleneksel malzemelerin yerine tercih edilerek temiz çevre politikasına hem de hibrit ve elektrikli taşıtlarda kullanılarak yüksek menzil taleplerine katkı sağlanmalıdır. Zira yanmadan sonra oluşan egzoz ürünleri atmosfer kirliliği ve ciddi sera gazı etkilerine yol açar iken yüksek enerji tüketimi önemli bir dezavantaj meydana getirerek uzun mesafe maliyetlerini artırmaktadır. Diğer taraftan düşük yapı yükünün önemli olduğu endüstrilerde de benzer yaklaşım sergilenmelidir. Titanyum esaslı malzemeler servis şartlarında plastik deformasyona karşı gösterdikleri iyi dayanım ile birçok malzemeye önemli bir alternatif olmuştur. Dolayısı ile karakteristik niteliği yüksek sıcaklık uygulamalarında titanyum matrislileri vazgeçilmez kılınmaktadır. Bu endüstrilerdeki üretim giderleri optimum düzeye indirilerek tatbik içerikleri artırılmalıdır. Ayrıca hammadde kaynakları ve ülke ekonomileri açısından ciddi tehlike unsuru ihtiva eden paslanma titanyum, alaşım ve kompozitleri vasıtası ile minimize edilebilir. Korozyon mukavemetleri ile bilinen titanyum esaslılar ile oksitlenme ve çürüme ya kısmen ya da tamamen bertaraf edilebilmektedir. Sonuç olarak titanyum, alaşım ve kompozitleri sergiledikleri eşsiz özellikler ile günlük ve endüstriyel uygulamalar için büyük umut vadetmektedir. Bu malzeme grupları modern yaşamın temel ilkelerinden biri olan sürdürülebilirlik için kritik potansiyele sahiptir. Bu nedenle benzersiz özellikleri geliştirilerek kullanım miktarları çoğaltılmalıdır. Bilhassa ekonomik imalat teknikleri tercih edilerek maliyetleri makul düzeylere çekilmelidir. Böylece kullanım ve yaygınlıkları önündeki en büyük engel kaldırılarak avantajlarından ciddi kazanç sağlanmalıdır. Kompozit veya alaşımlama gibi farklı yöntem ve teknikler ile, dahası, karakteristik özellikleri iyileştirilerek endüstriyel taleplerin karmaşık gereksinim ve beklentileri karşılanmalıdır. Lakin titanyum, alaşım ve kompozitleri kalıtsal nitelikleri ile yeşil teknoloji uygulamaları için ideal malzeme konseptine son derece elverişli olmaları ile ön plana çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, Y. M., Sahari, K. S. M., Ishak, M., & Khidhir, B. A. (2014). Titanium and its alloy. *International Journal of Science and Research*, 3(10), 1351-1361.
- Al-Janabi, Y. T. (2020). An overview of corrosion in oil and gas industry: upstream, midstream, and downstream sectors. *Corrosion inhibitors in the oil and gas industry*, 1-39.
- Amin, A. N. (Ed.). (2012). *Titanium alloys: towards achieving enhanced properties for diversified applications*. BoD–Books on Demand.
- Besisa, N. H., & Yajima, T. (2024). Titanium-based alloys: classification and diverse applications. In *Titanium-based alloys-characteristics and applications*. IntechOpen.
- Boyer, R. R. (2010). Attributes, characteristics, and applications of titanium and its alloys. *Jom*, 62(5), 21-24.
- Brewer, W. D., Bird, R. K., & Wallace, T. A. (1998). Titanium alloys and processing for high speed aircraft. *Materials Science and Engineering: A*, 243(1-2), 299-304.
- Caceres, C. H. (2007). Economical and environmental factors in light alloys automotive applications. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 38(7), 1649-1662.
- Cao, P., & Zhang, L. (2024). *Titanium alloys: basics and applications*. World Scientific.
- Crossley, F. J. (1981). Aircraft applications of titanium: A review of the past and potential for the future. *Journal of Aircraft*, 18(12), 993-1002.
- Destefani, J. D. (1990). Introduction to titanium and titanium alloys. In *Properties and selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials* (pp. 586-591). ASM International.
- Dong, H. (Ed.). (2010). *Surface engineering of light alloys: Aluminium, magnesium and titanium alloys*.
- Elanchezhian, C., Ramnath, B. V., Ramakrishnan, G., Raghavendra, K. S., Muralidharan, M., & Kishore, V. (2018). Review on metal matrix composites for marine applications. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 1211-1218.
- Elias, C. N., Lima, J. H. C., Valiev, R., & Meyers, M. A. (2008). Biomedical applications of titanium and its alloys. *Jom*, 60(3), 46-49.
- Emsley, J. (2011). *Nature's building blocks: an AZ guide to the elements*. Oxford University Press.
- Faller, K., & Froes, F. H. (2001). The use of titanium in family automobiles: current trends. *Jom*, 53(4), 27-28.
- Froes, F. H., Friedrich, H., Kiese, J., & Bergoint, D. (2004). Titanium in the family automobile: the cost challenge. *Jom*, 56(2), 40-44.
- Furuta, T. (2019). Automobile applications of titanium. In *Titanium for consumer applications* (pp. 77-90). Elsevier.

- Fujii, H., Takahashi, K., & Yamashita, Y. (2003). Application of titanium and its alloys for automobile parts. *Shinnittetsu giho*, 62-67.
- Geetha, M., Singh, A. K., Asokamani, R., & Gogia, A. K. (2009). Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants—A review. *Progress in materials science*, 54(3), 397-425.
- Ghassemieh, E. (2011). Materials in automotive application, state of the art and prospects. *New trends and developments in automotive industry*, 20, 365-394.
- Guleryuz, H., & Cimenoglu, H. (2009). Oxidation of Ti-6Al-4V alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 472(1-2), 241-246.
- Gurrappa, I. J. M. C. (2003). Characterization of titanium alloy Ti-6Al-4V for chemical, marine and industrial applications. *Materials characterization*, 51(2-3), 131-139.
- Gorynin, I. V. (1999). Titanium alloys for marine application. *Materials Science and Engineering: A*, 263(2), 112-116.
- Gorynin, I. V., Oryshchenko, A. S., Leonov, V. P., Mikhailov, V. I., & Schastliwaia, I. A. (2016, May). Titanium application in marine engineering and nuclear-power engineering. In *Proceedings of the 13th World Conference on Titanium* (pp. 1797-1805). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc..
- Hartman, A. D., Gerdemann, S. J., & Hansen, J. S. (1998). Producing lower-cost titanium for automotive applications. *Jom*, 50(9), 16-19.
- <https://commercialfitnessequipment.com>.
- Isaka, M., Takebe, H., Kawakami, A., & Takahashi, K. (2022). Applications of titanium for the automotive sector. *Nippon Steel Tech. Rep*, 128, 34-37.
- Joshi, V. A. (2006). *Titanium alloys: an atlas of structures and fracture features*. Crc Press.
- Khorasani, A. M., Goldberg, M., Doeven, E. H., & Littlefair, G. (2015). Titanium in biomedical applications—properties and fabrication: a review. *Journal of bio-materials and tissue engineering*, 5(8), 593-619.
- Krishna, R. (2022). *Titanium-Based Alloys with High-Performance: Design and Development*. Titanium Alloys-Recent Progress in Design, Processing, Characterization, and Applications.Leyens, C., & Peters, M. (2003). *Titanium and titanium alloys. Fundamentals and Applications*. WILEY-VCH, Germany.
- Leyens, C., & Peters, M. (Eds.). (2006). *Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications*. Wiley-vch.
- Li, Y., & Zhang, L. (Eds.). (2025). *High-performance Titanium Alloys and Lattice Structures: Design, Processing and Mechanical Properties*. Cambridge Scholars Publishing.
- Lütjering, G., & Williams, J. C. (2003). Commercially pure (CP) titanium and alpha alloys. In *Titanium* (pp. 149-175). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Mallick, P. K. (2012). Advanced materials for automotive applications: An overview. *Advanced materials in automotive engineering*, 5-27.
- Marin, E., & Lanzutti, A. (2023). Biomedical applications of titanium alloys: a comprehensive review. *Materials*, 17(1), 114.
- Moiseyev, V. N. (2005). *Titanium alloys: Russian aircraft and aerospace applications*. CRC press.
- Motyka, M. (2021). Titanium alloys and titanium-based matrix composites. *Metals*, 11(9), 1463.
- Motyka, M., Ziaja, W., & Sieniawski, J. (Eds.). (2019). *Titanium Alloys: Novel Aspects of Their Manufacturing and Processing*. BoD–Books on Demand.
- Najafizadeh, M., Yazdi, S., Bozorg, M., Ghasempour-Mouziraji, M., Hosseinzadeh, M., Zarrabian, M., & Cavaliere, P. (2024). Classification and applications of titanium and its alloys: A review. *Journal of Alloys and Compounds Communications*, 100019.
- Nichul, U., & Hiwarkar, V. (2023). Carbon dot complimentary green corrosion inhibitor for crystallographically textured Beta C titanium alloy for marine application: A state of art. *Journal of Alloys and Compounds*, 962, 171116.
- Peters, M., & Leyens, C. (2003). Fabrication of titanium alloys. *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*, 245-261.
- Peters, M., Hemptenmacher, J., Kumpfert, J., & Leyens, C. (2003). Structure and properties of titanium and titanium alloys. *Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications*, 1-36.
- Peters, O. A., Peters, C. I., Schonenberger, K., & Barbakow, F. (2003). ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *International endodontic journal*, 36(2), 86-92.
- Popoola, L. T., Grema, A. S., Latinwo, G. K., Gutti, B., & Balogun, A. S. (2013). Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation. *International Journal of Industrial Chemistry*, 4(1), 35.
- Pushp, P., Dasharath, S. M., & Arati, C. (2022). Classification and applications of titanium and its alloys. *Materials Today: Proceedings*, 54, 537-542.
- Ranjith Kumar, G., Rajyalakshmi, G., & Swaroop, S. (2019). A critical appraisal of laser peening and its impact on hydrogen embrittlement of titanium alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233(13), 2371-2398.
- Ribeiro, M. V., Moreira, M. R. V., & Ferreira, J. R. (2003). Optimization of titanium alloy (6Al-4V) machining. *Journal of materials processing technology*, 143, 458-463.
- Sachdev, A. K., Kulkarni, K., Fang, Z. Z., Yang, R., & Girshov, V. (2012). Titanium for automotive applications: challenges and opportunities in materials and processing. *Jom*, 64(5), 553-565.

- Saurabh, A., Meghana, C. M., Singh, P. K., & Verma, P. C. (2022). Titanium-based materials: synthesis, properties, and applications. *Materials Today: Proceedings*, 56, 412-419.
- Salihu, S. A., Suleiman, Y. I., & Eyinavi, A. I. (2019). Classification, Properties and Applications of titanium and its alloys used in automotive industry—A Review. *Am. J. Eng. Res*, 4, 92-98.
- Schauerte, O. (2003). Titanium in automotive production. *Advanced engineering materials*, 5(6), 411-418.
- Semenova, I. P., Polyakova, V. V., Dyakonov, G. S., & Polyakov, A. V. (2020). Ultrafine-Grained Titanium-Based Alloys: Structure and Service Properties for Engineering Applications. *Advanced Engineering Materials*, 22(1), 1900651.
- Semiatin, S. L., Seetharaman, V., & Weiss, I. (1997). The thermomechanical processing of alpha/beta titanium alloys. *Jom*, 49(6), 33-39.
- Sha, W., & Malinov, S. (2009). Titanium alloys: modelling of microstructure, properties and applications. Elsevier.
- Sherman, A. M., & Allison, J. E. (1986). Potential for automotive applications of titanium alloys. *SAE Transactions*, 806-817.
- Sherman, A. M., Sommer, C. J., & Froes, F. H. (1997). The use of titanium in production automobiles: Potential and challenges. *JOM*, 49(5), 38-41.
- Sieniawski, J., & Ziaja, W. (Eds.). (2013). Titanium alloys: advances in properties control. BoD—Books on Demand.
- Singh, P., Pungotra, H., & Kalsi, N. S. (2017). On the characteristics of titanium alloys for the aircraft applications. *Materials today: proceedings*, 4(8), 8971-8982.
- Takahashi, K., Mori, K., & Takebe, H. (2020). Application of titanium and its alloys for automobile parts. In *MATEC web of conferences* (Vol. 321, p. 02003). EDP Sciences.
- Ward-Close, C. M., Minor, R., & Doorbar, P. J. (1996). Intermetallic-matrix composites—a review. *Intermetallics*, 4(3), 217-229.
- Welsch, G., Boyer, R., & Collings, E. W. (Eds.). (1993). *Materials properties handbook: titanium alloys*. ASM international.
- Williams, J. C., & Boyer, R. R. (2020). Opportunities and issues in the application of titanium alloys for aerospace components. *Metals*, 10(6), 705.
- www.twi.org. Titanium and titanium alloys, Weldability of materials, TWI Ltd, Granta Park, Great Abington, Cambridge, CB21 6AL, United Kingdom, 2013.
- Zhang, W., Zhu, Z., & Cheng, C. Y. (2011). A literature review of titanium metallurgical processes. *Hydrometallurgy*, 108, 177-188.