

MAKİNE
MÜHENDİSLİĞİ
ALANINDA
ULUSLARARASI
AKADEMİK
ÇALIŞMALAR

Haziran 2024

EDİTÖRLER

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK

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

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

Birinci Basım / First Edition • © Haziran 2024

ISBN • 978-625-6319-66-0

© 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.seruenyayinevi.com

e-mail: seruenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ALANINDA
ULUSLARARASI
AKADEMİK ÇALIŞMALAR

Haziran 2024

Editörler

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP
Prof. Dr. Selahattin BARDAK

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

DİZEL MOTORLARDA FUZEL YAĞININ YAKIT OLARAK KULLANIMININ ÇEVRESEL AÇIDAN İNCELENMESİ

Ervanur AYDOĞDU, Nevin GÜNDEMİN, Battal DOĞAN
Murat Kadir YEŞİLYURT, Erdal TUNÇER 1

Bölüm 2

AKILLI SAAT SPO2 SENSÖRLERİ VE GİYİLEBİLİR ANTENLERLE UYKU TESPİTİ

Burak KAYA, Mustafa Reşit USAL11

Bölüm 3

ATIK PLASTİKLERDEN ELDE EDİLEN PİROLİZ YAĞININ DİZEL MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANIMI

Nevin GÜNDEMİN, Ervanur AYDOĞDU, Battal DOĞAN,
Murat Kadir YEŞİLYURT, Erdal TUNÇER 25

Bölüm 4

GÜNEŞ PANELLERİNDE TOZLANMA ETKİSİ VE TEMİZLEME YÖNTEMLERİ

Dinçer AKAL37



Bölüm 1

DİZEL MOTORLARDA FUZEL YAĞININ YAKIT OLARAK KULLANIMININ ÇEVRESEL AÇIDAN İNCELENMESİ

Ervanur AYDOĞDU¹

Nevin GÜNDEMİN²

Battal DOĞAN³

Murat Kadir YEŞİLYURT⁴

Erdal TUNÇER⁵

1 Öğrenci, Gazi Üniversitesi, ORCID ID: 0009-0005-5391-1339

2 Öğrenci, Gazi Üniversitesi, ORCID ID: 0009-0004-6215-9612

3 Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0002-1439-1570

4 Doç. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0003-0870-7564

5 Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0002-5212-0966

1. Giriş

Enerji geçmişten günümüze insanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için gereken temel ihtiyaçlardan biridir. Enerjiye her alanda gerek duyulmaktadır. Ulaştırma sektöründe enerji kaynağı sıvı yakıtlardır. Yüksek güç gereksinimi nedeniyle yük ve yolcu taşımada dizel motorlar tercih edilmektedir. Dizel motorlarda çevreye atılan zararlı emisyon oranları yüksektir. Ayrıca bu motorlarda egzozdan atılan karbondioksit gazı, sera etkisinin oluşumuna neden olmaktadır [1]. Taşımacılık faaliyetleri için dizel motorlu taşıtların kullanılması sonucunda karbon ayak izi oluştuğu bilinmektedir.

Dizel motorlarda yanma sonucu oluşan NO_x, CO₂, HC ve PM canlı sağlığını olumsuz şekilde etkilemekte olan emisyon gazlarıdır. Dizel motorlar atmosfere, benzinli motorlara oranla daha az HC ve CO gazı salınımına sebep olmalarına rağmen daha fazla NO_x ve PM yaymaktadırlar. Bu nedenle dizel motorlarda egzoz emisyon değerlerinin düşürülmesi her zaman istenilen bir durumdur [2]. Solunum yoluyla alınmakta olan PM ve NO_x'in canlılarda kansere sebebiyet verdiği klinik deneylerle kanıtlanmıştır [3].

Fosil enerji kaynaklarının kullanımında ortaya çıkan gaz ve diğer atıkların çevresel kirlilik oluşturması ve özellikle oluşan gazların sebep olduğu sera etkisinin küresel ısınmaya ve iklim değişimlerine yol açması, çevreyle uyumlu alternatif enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu hale getirmektedir [4]. Son yıllarda geri dönüşümden alternatif yakıt elde edilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Atık malzemelerin çevreye zarar vermelerinden dolayı bertaraf edilmesi gerekmektedir. Fakat bertaraf işleminin maliyetli olması sebebiyle bu atıkların bertaraf edilmek yerine içten yanmalı motorlarda yakıt veya yakıt katkısı olarak değerlendirilmesi için çalışmalar yürütölmektedir. Alkollerin damıtılması sürecinde oluşan fuzel yağının yakıt veya yakıt katkı maddesi olarak kullanılması, bertaraf ikilemini yenmek için yararlı bir çözüm olduğu düşünölmektedir. Fuzel yağı oksijensiz ortamda fermantasyon işlemiyle etil alkol üretimindeki distilasyon yan ürünü olarak oluşmaktadır [5]. Kötü bir kokuya sahip olan fuzel yağının rengi koyu sarıdan kahverengiye kadar değişir. Hacimsel bileşiminde %63,93 i-amil alkol, %16,66 i-bütöl alkol, %0,74 n-butöl alkol, %0,74 n-propöl alkol, %9,58 etöl alkol ve %10,3 su içermektedir [6]. Fusel yağının içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanımı uzun yıllardır araştırılmaktadır [7].

Üstün [8] tarafından yürütölen çalışmada, motor yakıtları içerisine alkol bazlı yakıt olarak etanol, metanol, propanol, bütanol ve bunların türevleri olan yakıtlar belirli oranlarda karıştırılarak zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması hedeflenmektedir. Motor performans ve emisyon değerlerinin elde edilmesi için; tek silindriöl buji ile ateşlemeli bir motor kullanılarak, benzin içerisine %20 oranında metanol ve %20 oranında fuzel yağı karıştırılarak test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, motor performansı ele alındığında,

motor torkunda benzin yakıtına göre F20 yakıtında %11,62, M20 yakıtında ise %6,45 düşüş olduğu saptanmıştır. Emisyon sonuçlarına göre, CO değerlerinde, benzin yakıtına göre ortalama olarak F20 yakıtında %7,31, M20 yakıtında ise %13,40 düşüş elde edilirken, CO₂ ve NO_x değerlerinde ise artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Ardebili ve ark. [9] tarafından yapılan deneysel çalışmada, HCCI motorda farklı fuzel yağı oranlarına sahip yakıt türlerini kullanarak test yapmışlardır. F30 yakıtı kullanımında, fakir karışım koşullarında HC ve CO emisyonlarının azaldığı sonucunu elde etmişlerdir. Özer [10] çalışmasında, tall yağ asitlerini hacimce %20 dizel yakıt ile karıştırmış ve aynı oranda alkol (etanol, metanol, izopropil, n-bütanol ve fuzel yağı) ilave edilerek yanma, yakıt hattı basıncı, motor performansı ve emisyonlar üzerine etkilerini test etmiştir. Tüm test yakıtlarında CO ve duman koyuluğu emisyonlarında düşüş ve HC ve NO_x emisyonlarında artış gözlemlendiğini belirtmiştir. Juntong ve ark. [11] tarafından yürütülen çalışmada, bir dizel motorun yanma ve emisyon özellikleri üzerine etkisini incelenmek üzere üç farklı yakıt kullanmışlardır. Bu yakıtlar %0 su içeriğine sahip %20 fuzel, %6 su içeriğine sahip %20 fuzel ve saf dizel olarak belirtilmiştir. %20 su içeriğine sahip olan %20 fuzel yağının dizele eklenmesinin fren termal verimini yaklaşık %0,7 artırdığını bulmuşlardır. Kurum emisyonunun %47,5'e kadar azaltılabildiğini ve su içeren yakıtın yaydığı NO_x'in yaklaşık %6,4 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, dizel yakıtta %20 oranında fuzel yağ eklenmesinin yakıt olumsuz bir etkisi olmayacağını ve dizel motorlarda doğrudan kullanılabileceğini saptamışlardır. Özgün [12] tarafından yapılan bu çalışmada, bir dizel motorda motorin ve fuzel yağı-motorin karışımı (F10) yakıtının kullanılmasının motor performansını, enjeksiyon özelliklerini, yanma karakteristiklerini ve emisyonlara etkilerini incelemiştir. Sonuçta, F10 yakıtının motorine göre daha yüksek özgül yakıt tüketimine sahip olduğunu, NO_x ve CO emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

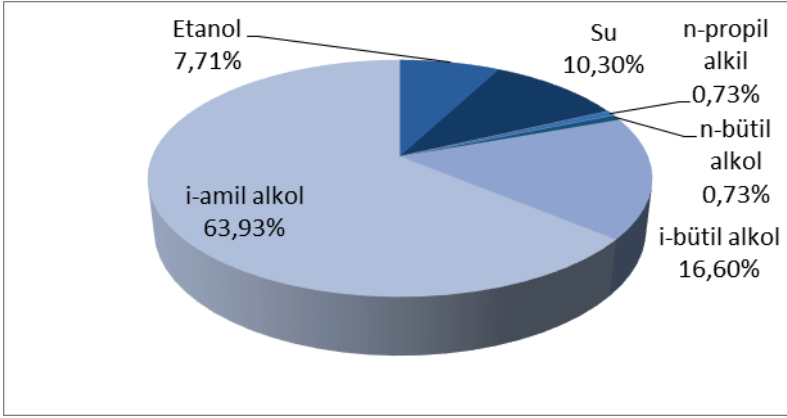
Bu çalışmada, dizel-fuzel yağı yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanımının performans ve emisyonlarına etkisi farklı çalışmalardan alınan verilere dayanılarak değerlendirilmiştir. Fuzele yağı dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilirdiğinden dolayı çalışmadan alınan sonuçlar alternatif yakıt çalışmalarına yol gösterme açısından önemlidir.

2. Fuzele Yağı

Etanol, metanol, bütanol vb. gibi tipik alkollerin etkileri bugüne kadar çok farklı çalışmalarda ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Alkollerin, özellikle zararlı egzoz emisyonlarını azaltması nedeniyle benzin ve dizel yakıtta alternatif yakıt olacağı bilinmektedir. Ancak alkollerin fiyatlarının yüksek olması dezavantajdır. İçten yanmalı motorlarda fuzele yağı kullanımı son on yılda üzerinde durulan bir konudur [13]. Fuzele yağı, fermantasyon işlemi sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan, kaynama derecesi yüksek olan bir alkoldür. Amil propil ve bütül alkollerden oluşmaktadır. Fuzele yağının ısı

iletim katsayısının, saf suyun ısı iletim katsayısına kıyasla %24-29 daha fazla olduğu saptanmıştır [14]. Türkiye’de 1000 L alkol üretiminden 2-3,5 L arası fuzel yağı elde edilmektedir. Fuzel yağına ait özellikler incelendiğinde, içten yanmalı motorlar için alternatif bir yakıt olarak kullanılabilceği değerlendirilmektedir [15].

Fuzel yağının bileşenleri Şekil 1’de verilmiştir. Fuzel yağı, farklı alkollerin ve moleküllerin bir araya gelmesiyle elde edildiği için fiziksel ve kimyasal özellik değerlerinde değişiklik olmaktadır. Fuzel yağı %63,93 oranında i-amil alkol içerirken, bunu sırasıyla %16,60 ile i-bütil alkol ve %10,3 ile diğer organik bileşikler izlemektedir [13, 16]. Genel olarak fuzel yağının yakıt özellikleri değerlendirildiğinde; yoğunluğu 849 kg/m³ oksijen konsantrasyonu %30,32, setan sayısı 17, viskozite 4,162 mm²/s, gizli buharlaşma ısısı 874 kJ/kg, kaynama noktası 395-411 K ve enerji seviyesinin 29,514 MJ/kg olduğu bildirilmektedir [6, 9, 11].



Şekil 1. Fuzel yağının bileşenleri

Biyodizel ile ilgili yürütölen çalışmalarda alkol içerisinde %1’den fazla su bulunması biyodizel üretimi sırasında reaksiyon verimini olumsuz etkilemesi sebebiyle biyodizel eldesinde kullanılacak alkolün derecesi, reaksiyonun sudan olumsuz etkilenmesinden dolayı %99,8 saflıkta olması istenilmektedir. Bundan dolayı da fuzel yağının susuzlaştırılması işlemleri yapılması gerekmektedir. Fuzel yağı kaynatılarak su ve düşük kaynama noktasına sahip alkollerden ayrıştırılır [5].

3. Fuzel Yağının Dizel Motorlarda Kullanımı

İçten yanmalı motorlarda motor performansını etkileyen önemli bir parametre yakıt tüketimidir. Yakıt tüketimi, belirli test koşulları altında belirli bir zaman diliminde ölçölen yakıtın hacimsel veya kütsel tüketimiyle belirlenebilir. Bu tüketim değerleri yakıtın fiziksel özelliklerine,

kalorifik değerine, yanma koşullarına ve motorun çalışma verimliliğine göre değişebilmektedir. Yakıtın yoğunluğunun ve viskozitesinin artması daha fazla yakıt tüketimine neden olabilmektedir.

Ağbulut ve ark. [17] tarafından farklı motor devirlerinde yapılan testlerde ki yakıt harmanlarına ait özgül yakıt tüketim değerleri incelendiğinde, sabit motor hızında (2000 d/dak) gerçekleştirilen testlerde motorin ve fuzel yağı ile karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerleri motor yükü artışı ile olarak azaldığı saptanmıştır. Tüm test şartlarında fuzel yağı-dizel yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketim değerleri motorin yakıtına kıyasla daha fazladır. Fuzel yağının ısıl değerinin (35,32 MJ/kg) motorine (45,94 MJ/kg) oranla daha düşük olduğu ve bu doğrultuda karışım yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin motorine göre daha fazla olduğu bildirilmiştir.

CO₂ emisyonu sera gazları arasında en yüksek paya sahip olan bir gazdır. Sera gazları atmosferde ısı tutma özelliğine sahip olduklarından dolayı atmosferde ki sıcaklığı yükseltmekte ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır [18]. Dizel yakıtla çalışan motorlarda silindir içerisinde karbon içeren yakıtların oksijen molekülüyle reaksiyona girmesiyle oluşan CO₂, yakıtın tam yanması sonucu oluşan bir gazdır [19]. Yakıt karışımlarındaki fuzel yağı oranı arttıkça CO₂ emisyonu artmaktadır. Erol ve ark. [20] çalışmasında, farklı oranlarda fuzel yağı eklenerek oluşturulan yakıt karışımlarından elde edilen CO₂ emisyon verileri değerlendirmiştir. Motor yükünün artmasıyla beraber CO₂ emisyonunun da arttığını bildirmiştir. %25, %50, %75 ve %100 motor yüklerinde F20 yakıt karışımında ki CO₂ emisyon değerlerinin %5,4, %7,4, %10 ve %11,6 olarak değiştiğini tespit etmişlerdir. Yakıt karışımlarındaki fuzel yağı oranı arttıkça CO₂ emisyonunun da arttığı belirtilmekte olup, %75 motor yükünde CO₂ emisyon farkının önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir [20].

CO, yakıtın tam olarak yanmaması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu durum genellikle yakıt ve hava karışımının yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır Fazla motor yüklerinde, katkı maddeli yakıtların sahip olduğu daha yüksek viskozite ve yoğunluk yakıtın hava ile iyi karışmasını engelleyebilir ve bununla birlikte fazla miktarda CO oluşabilmektedir [21]. CO gazı içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtın oksijen miktarı, yanma sıcaklığı ve yanma süresi gibi parametrelerden dolayı oluşan önemli emisyonlardandır [22]. Eksik yanma sonucunda oluşan CO emisyonu, kimyasal enerji kaybının göstergesi olarak değerlendirilebilmektedir [17]. Fuzel yağı fazla oksijen içeriğine sahiptir ve bu sayede CO emisyon değerlerinin düşmesinde oldukça etkilidir. [12]. Yılmaz [23] çalışmasında, dizel yakıtına eklenen fuzel yağı karışımlarının motor devrine bağlı olarak CO emisyonlarındaki değişimine etkisini incelemiştir. Motor devri 2500 d/dak'ya kadar arttıkça CO emisyonlarının azaldığını ve sonrasında motor devrinin artmasıyla artmaya başladığını tespit etmiştir. Sonuç olarak, 2500 d/dak'da; dizelde 2186 ppm, F5'de 2903 ppm ve F10'da 3180 ppm değerleri elde edilerek minimum CO

emisyonu bulunmuştur. Yakıt karışımındaki fuzel yağı konsantrasyonu arttıkça CO emisyonunun arttığı saptanmıştır. Fuzel yağının yapısında su bulunması, yanma odası gaz sıcaklığını dizele göre düşürdüğü bilinmektedir. Dizel yakıt ile karşılaştırıldığında daha soğuk yanma odası koşullarında zayıf oksidasyon reaksiyonları görülmektedir. Daha düşük yanma odası sıcaklığı ve fuzel yağının daha düşük kalorifik değeri sebebiyle CO oluşumunu da hızlandırmaktadır. Silindirde yüksek hızlarda kütle ve akış dirençleri arttığı belirtilmektedir. Yüksek motor devirlerinde meydana gelen hacimsel kayıpların gerekli oksijen kütesinin silindire alınamamış olması eksik yanmaya sebep olarak CO oluşumunu arttırdığı tespit edilmiştir.

Dizel motorlarda HC emisyonu büyük oranda eksik yanma ve dolgu viskozitesine bağlı olarak oluşan bir emisyon türüdür. HC emisyonları yakıtın tutuşma gecikmesi, yanma odasındaki oksijen oranı, yakıtın buharlaşması ve sıcaklık gibi sebeplerden oluşabilir [24]. HC emisyonunun oluşmasının temel nedeni yanma odasınınuzakbölgelerindekalanhavaileenjektördenpüskürtülen yakıtın fakir karışımı sonucu tam yanma olayını gerçekleştirememesidir [25]. Kaplamalı ve kaplamasız bir motorda fuzel yağı eklenerek elde edilen farklı yakıt karışımlarının kullanılmasının HC emisyonları üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışma Özer ve ark. [26] tarafından gerçekleştirilmiştir. İçten yanmalı motorlarda HC emisyonları, yanmamış yakıtların egzozdan uzaklaştırılmasından dolayı kaynaklanmaktadır. Elde edilen veriler sonucunda en yüksek HC emisyonunun 1400 d/dak motor hızında 34 ppm dizel yakıtlı kaplamasız motorda ölçüldüğü tespit edilmiştir. Fuzel yağı katkılı yakıt karışımı ile kaplanmış motorda en düşük HC emisyon değerinin 15 ppm olduğu, araştırmalar doğrultusunda HC emisyonlarının oksijen bakımından zengin yakıtlar tarafından iyileşme gösterdiği belirlenmiştir. Kaplamalı motorlar yanma verimliliğini artırmaktadır. Fuzel yağının oksijen içeriğinin kaplanmış motorla kombinasyonu, HC emisyonlarının dizel yakıtından daha fazla düşüş meydana gelmesine sebep olmuştur [26].

NOx farklı miktarlarda azot ve oksijen içeriğine sahip olan bir emisyon gazıdır. Hava ile yakıt karışımı içindeki NOx, yanma odası sıcaklığının 1800°C'ye ulaşması halinde azot (N₂) ve oksijen (O₂)'nin tepkimeye girmesi sonucu oluşmaktadır. Sıcaklık değeri 1800°C'den fazla olmazsa N₂ ve O₂, NO gazı oluşmadan egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının tepkimeye girmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ gibi çeşitli gazlar meydana gelmektedir ve bu gazlar NOx olarak ifade edilmektedir [27]. NOx emisyonu oluşumunun yanma sıcaklığına, yanma odasındaki oksijen miktarına ve tepkime süresine bağlı olduğu bilinmektedir [28]. Fuzel yağı ilaveli yakıt karışımlarında NOx emisyonlarının dizel yakıtına göre daha düşük olduğu saptanmıştır [29]. Liu ve ark. [11] çalışmalarında üç test yakıtı, dizel, F20NW (susuz fuzelin hacim oranı %20 ve geri kalanı saf dizel) ve F20WW (sulu fuzelin hacim oranı %20), kullanmışlardır. Sonuç olarak, motor yükündeki

artışla beraber üç yakıtın NO_x emisyonları önce azalma, sonra artma ve sonra tekrar azalma eğilimi göstermiştir. Saf dizel ile kıyaslandığında, fuzel yağı ilavesinin NO_x oluşumuna elverişli olan oksijen içeriğini arttırdığı belirtilmiş ve gizli buharlaşma ısısını arttırması sebebiyle silindirdeki sıcaklığı düşürerek NO_x oluşumunu azalttığı saptanmıştır. Bu iki yönün birleşik etkileri, F20NW'nin NO_x emisyonlarını saf dizel yakıtına göre biraz daha yüksek değere ulaştırdığını belirlemiştir. Bununla birlikte, dizel yakıtına sulu fuzel yağı eklenmesi durumunda suyun silindir sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi olmuş, bununla beraber F20WW'nin NO_x emisyonları saf dizelinkine göre önemli ölçüde daha azaldığını bulmuşlardır.

4. Sonuç

DeneySEL olarak yapılan testler sonucunda dizel yakıtına fuzel yağı eklenmesi yakıt tüketimini arttırmaktadır. Yakıt karışımındaki fuzel yağı oranı arttıkça saf dizel çalışmasına göre CO emisyonlarında artış görülmüştür. Fuzel yağı ilavesi HC emisyonlarını ise azaltmaktadır. Motor yükünün artmasıyla beraber CO₂ emisyonunun arttığı tespit edilmiştir. Fuzel yağının dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi için yapılan araştırmalar sınırlı sayıda. Bu nedenle, fuzel yağlarının dizel motorlarda kullanılabilirliği ile ilgili çalışmaların sayısı artırılmalıdır. Bu çalışmada, farklı oranlarda fuzel yağı ve dizel yakıt karışımları kullanılarak bir motorun performans ve emisyon karakteristikleri üzerine araştırmalar değerlendirilmiştir. Fuzel yağının yeni bir alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir. Ancak, yine de daha fazla çalışmanın yapılması fuzel yağının alternatif yakıt olarak önerilebilmesi için gereklidir. Böylece, hem fuzel yağının motor parçalarına olan etkileri araştırılabilir hem de yakıt özelliklerindeki iyileşme çalışmaları ile dizel motorlardaki performans göstergeleri artırılabilir. Bunun yanında, termodinamik, ekonomik ve çevresel analizler ile fuzel yağının alternatif bir yakıt olabileceği ile ilgili daha fazla çalışma yapılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, 2209-B Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı kapsamında 1139B412300175 numaralı proje olarak Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK'a maddi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Kılıç, E., & Önler, E. (2022). Tekirdağ ili çorlu ilçesinde toplu taşıma kaynaklı karbon ayak izinin hesaplanması üzerine bir araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 67-72.
- Akolaş, H. İ., Kaleli, A., & Bakırcı, K. (2020). Dizel motorlarda EGR gazlarının soğutulmasında harici elektronik kontrollü soğutma stratejisinin BSFC ve NOx emisyonlarına etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(3), 1219-1230.
- Akkuş, C. (2020). Bir dizel motorda hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak özgül yakıt tüketimi ve emisyonlar açısından piston çanak geometrisinin optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erdoğan, S. (2020). Enerji, çevre ve sera gazları. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10(1), 277-303.
- Kazanç, A. (2022). Atık yağ ve fuzel yağından biyodizel eldesi. Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karaman.
- Calam, A. (2020). Effects of the fusel oil usage in HCCI engine on combustion, performance and emission. *Fuel*, 262, 116503.
- Simsek, S., & Uslu, S. (2020). Experimental study of the performance and emissions characteristics of fusel oil/gasoline blends in spark ignited engine using response surface methodology. *Fuel*, 277, 118182.
- Üstün, S. (2021). Buji ile ateşlemeli benzinli bir motorda, alkol bazlı yakıt katkısının motor performans ve egzoz emisyonları üzerinde olan etkilerinin araştırılması. *International Symposium on Automotive Science and Technology*, 8-10 September, Ankara.
- Kocakulak, T., Babagiray, M., Nacak, Ç., Ardebili, S. M. S., Calam, A., & Solmaz, H. (2022). Multi objective optimization of HCCI combustion fuelled with fusel oil and n-heptane blends. *Renewable Energy*, 182, 827-841.
- Özer, S. (2020). The effect of diesel fuel-tall oil/ethanol/methanol/isopropyl/n-butanol/fusel oil mixtures on engine performance and exhaust emissions. *Fuel*, 281, 118671
- Liu, J., Dong, J., Li, X., Xu, T., Li, Z., Ampah, J. D., ... & Liu, H. (2023). Technical analysis of blending fusel to reduce carbon emission and pollution emission of diesel engine. *Fuel Processing Technology*, 241, 107560.
- Özgün, B. (2021). Common rail direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda motorin-fuzel yağı karışımının motor karakteristiklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Ardebili, S. M. S., Solmaz, H., İpci, D., Calam, A., & Mostafaei, M. (2020). A review on higher alcohol of fusel oil as a renewable fuel for internal combustion engines: Applications, challenges, and global potential. *Fuel*, 279, 118516.
- Variyenli, H. İ., & Özdemir, M. B. (2017). Silindirik metot yöntemiyle fuzel yağının

ısı iletim katsayısının belirlenmesi. 1st International Conference on Energy Systems Engineering, 2-4 Kasım, Karabük

- Alobaidi, A. F. İ. (2022). Buji ateşlemeli motorlarda benzin alkol karışımlarının kullanımının motor performansına etkisinin teorik incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Awad, O. I., Ali, O. M., Mamat, R., Abdullah, A. A., Najafi, G., Kamarulzaman, M. K., ... & Noor, M. M. (2017). Using fusel oil as a blend in gasoline to improve SI engine efficiencies: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1232-1242.
- Ağbulut, Ü., Sarıdemir, S., & Karagöz, M. (2020). Experimental investigation of fusel oil (isoamyl alcohol) and diesel blends in a CI engine. *Fuel*, 267, 117042.
- Kılınç, E. C., & Altıparmak, H. (2020). Çevre vergilerinin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi üzerine bir uygulama. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 217-227.
- Şimşek, S., Gökçe, İ., & Şimşek, H. (2021). Susam yağından elden edilen biyodizelin dizel motorda performans ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 583-587.
- Erol, D., Yaman, H., Doğan, B., & Yeşilyurt, M. K. (2022). The assessment of fusel oil in a compression-ignition engine in the perspective of the waste to energy concept: investigation of the performance, emissions, and combustion characteristics. *Biofuels*, 13(10), 1147-1164.
- Üstün, S. (2021). Atık fuzel yağı-motorin karışımı içerisinde organik esaslı mangan ilavesinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1515-1530.
- Awad, O. I., Mamat, R., Ali, O. M., Yusri, I. M., Abdullah, A. A., Yusop, A. F., & Noor, M. M. (2017). The effect of adding fusel oil to diesel on the performance and the emissions characteristics in a single cylinder CI engine. *Journal of the energy Institute*, 90(3), 382-396.
- Yılmaz, E. (2019). Investigation of the effects of diesel-fusel oil fuel blends on combustion, engine performance and exhaust emissions in a single cylinder compression ignition engine. *Fuel*, 255, 115741.
- Uçar, M., Kocagul, M., Tanyeri, B., & Fırat, M. (2024). Dizel motorlarda benzin ve atık araç lastiklerinden elde edilen pirolitik yağın dizel yakıt ile karışımlarının araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 36(1), 97-104.
- Sezer, İ. (2022). Dizel motorlarda dimetil eter kullanımının HC emisyonlarına olan etkileri üzerine bir derleme çalışması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(3), 1265-1284.
- Özer, S., Vural, E., & Özel, S. (2021). Effects of fusel oil use in a thermal coated engine. *Fuel*, 306, 121716.

- Göktaş, M., & Sayın, C. (2020). Buji ateşlemeli motorlarda alkol yakıt kullanımının performans, emisyon ve yanma karakteristikleri açısından incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 36(1), 1-21.
- Sezer, İ. (2022). Dizel motorlarda dimetil eter kullanımının NOx emisyonlarına etkileri üzerine bir derleme çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(3), 381-398.
- Doğan, B., Özer, S., & Erol, D. (2022). Exergy, exergoeconomic, and exergoenvironmental evaluations of the use of diesel/fusel oil blends in compression ignition engines. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102475.



Bölüm 2

AKILLI SAAT SPO₂ SENSÖRLERİ VE GİYİLEBİLİR ANTENLERLE UYKU TESPİTİ

Burak KAYA¹

Mustafa Reşit USAL²

1 Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı YL Öğrenci, Orcid No: 0000-0002-8430-4938

2 Prof. Dr., SDÜ, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Orcid No: 0000-0003-1823-4879

1Bu çalışma yüksek lisans tezinden çıkarılmıştır.

Giriş

Uyku apnesi, uyku sırasında solunumda tekrarlanan kesintilerle belirginleşen ve kan oksijen saturasyonunda (SpO₂) önemli dalgalanmalara neden olan ciddi bir sağlık durumudur. Apne ve hipopne olarak adlandırılan bu solunum duraklamalarının farklı etkileri olabilir; nihayetinde, gündüz yorgunluğundan kardiyovasküler ve metabolik bozukluklara kadar sağlıkla ilgili çeşitli sorunlara neden olabilirler. Yüksek prevalansa sahip olmasına rağmen, uyku apnesi genellikle çok geç bir aşamada teşhis edilir çünkü geleneksel teşhis yöntemleri zahmetli, pahalı ve laboratuvar tabanlıdır. Uyku apnesinin olası teşhisini erken bir aşamada tespit etmek için bu araştırma, akıllı saatlerde bulunan SpO₂ sensörlerinin kullanım kapsamını araştırmaktadır. Birden fazla sensörle donatılmış bir akıllı saat, uyku apnesi teşhisi için gerekli verileri sağlamak üzere SpO₂, kalp atış hızı ve hareket gibi fizyolojik parametreleri sürekli olarak izleyebilir. Giyilebilir antenlerle kombine edilen bu sensörlerin pratikliği ve maliyet etkinliği, hasta takibini ve dolayısıyla yaşam kalitesini artırmadaki etkinliği açısından değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, bu yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için veriler PhysioNet.org'un "Oksijen Doygunluğu Değişkenliğinin Örüntü Analizi" adlı veri setinden alınmıştır. Bu çalışmanın bulguları, sadece iki kişiden alınan SpO₂ ölçümlerine ilişkin çok az veriyi ele almasına rağmen, giyilebilir akıllı saat teknolojisi ve apne tespiti için doğru sürekli izleme için algılama konusunda umut vaat ediyor gibi görünmektedir. Gelecekteki araştırmalar bu teknolojileri iyileştirmeye ve daha iyi teşhis doğruluğu ve kişiselleştirilmiş tedavi için sağlam algoritmalar geliştirmeye devam etmelidir.

Uyku apnesi dünya çapında milyonlarca kişiyi etkileyen ciddi bir sağlık sorunudur. Uyku sırasında üst hava yolunun tekrarlayan tam veya kısmi tıkanma atakları ile karakterizedir. Ülkemizdeki yaygınlığı %5 ila 10 arasında değişkenlik gösterirken, çeşitli alt tipleri bulunmaktadır. Bu alt tiplerin belirtileri de çeşitlilik gösterebilir (Bozkurt, 2020). Örneğin, santral uyku apnesi beyin kaynaklı bir solunum bozukluğudur ve beyin, nefes alma komutunu veremediği için ortaya çıkar (Köktürk & Ulukavak Çiftçi, 2003). Tıkaçıcı uyku apnesi ise genellikle üst solunum yolunun daralmasından dolayı solunum sıkıntısına neden olur, örneğin büyümüş bademcikler veya yumuşak damak sarkması gibi (Atılğan, Abakay & Ülgen, 2011). Apne ve hipopne olarak bilinen bu olaylar, kandaki oksijen seviyelerinde düşüslere yol açar ve sonuç olarak kişiyi çok sık uyandırarak uyku kalitesini ve sağlığını ciddi şekilde bozar. Kontrol altına alınmaması ya da doğru teşhis konmaması durumunda kalp hastalıkları, inme, hipertansiyon gibi ciddi sağlık sorunlarının riskini artırabilir (Pazarlı, 2023). En yaygın türleri arasında OSA, CSA ve CompSAS yer almaktadır: OSA veya obstrüktif uyku apnesi, tipik olarak boğazdaki kasların gevşemesi yoluyla fiziksel bir hava yolu tıkanıklığı durumunu tanımlar. CSA veya merkezi uyku apnesinde, beynin solunum kaslarına doğru sinyal-

leri göndermemesi söz konusudur. CompSAS, karmaşık uyku apnesi sendromu anlamına gelir ve bir kişinin her iki türün bir karışımını göstermesi durumunda daha fazla teşhis ve tedavi zorluğuna yol açar.

Polisomnografi (PSG) gibi uyku apnesi teşhisi için kullanılan geleneksel yöntemler, bir uyku laboratuvarında gece boyunca izleme yoluyla gerçekleştirilir ve uzun süredir altın standart olarak kabul edilmektedir. Uyku apnesi tespiti için günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri polisomnografi adı verilen bir yöntemdir (Yıldız, 2021). Polisomnografi beyin dalgalarını, göz hareketlerini, kas aktivitelerini, kalp ritimlerini ve kan oksijen seviyelerini gösteren çeşitli fizyolojik parametreleri kaydeder. Bununla birlikte, PSG zaman alıcı ve pahalıdır ve ayrıca hastalar için çok rahatsız edicidir. Örneğin, teşhis ve tedavi sürecinde gecikmelere neden olmaktadır. Giyilebilir teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürekli sağlık takibinde yeni bir trend mümkün hale gelmiştir. SpO2 sensörleri, ivmeölçerler, kalp atış hızı monitörleri ve mikrofonlar gibi akıllı saat özellikleri, uyku düzenini izlemek ve uyku apnesini uygun bir maliyetle tespit etmek için invazif olmayan bir çözüm sunar. Bu cihazlar, hastanın uyku kalitesi ve solunum sağlığı hakkında bilgi sağlamak için tüm gece boyunca sürekli veri toplayabilir.

SpO2 sensörü, kandaki oksijen doygunluğu seviyelerinin ölçülmesinde kullanılır; solunumun temel bir göstergesidir. Uyku apnesi hastalarında SpO2 seviyeleri, tekrarlayan apne ve hipopneler nedeniyle daha yüksek genlikte değişir. Bunların gerçek zamanlı olarak izlenmesi, bir akıllı saatin erken ve kesin uyku apnesi tespiti için gerçek zamanlı bilgi vermesine yardımcı olabilir. Halihazırda bir akıllı saate yerleştirilmiş olan ivmeölçerlerin yardımıyla, uyku sırasında nadir istisnalar dışında vücutlarının tek bir pozisyonunu korumayan, genellikle eller ve dizler üzerinde olan tüm huzursuz uyuyanlar izlenebilir. Kalp atış hızı monitörleri apneler sırasında nabız hızındaki anormallikleri tespit edebilir ve uyku apnesinin bir başka belirtisi olan horlama, mikrofonlar kullanılarak ses seviyesine göre tespit edilebilir.

SpO2 sensörlerinin akıllı saatlerde kullanılan en yaygın biçimi PPG sensörleridir. Bu sensörler ışıkla çalıştığı için deri rengi, yağlılığı gibi konular sonuçlar için önem teşkil etmektedir. PPG sensörleri, çoklu dalga boyları kullanarak, kan oksijen doygunluğu gibi fizyolojik sinyaller için daha geniş bir sinyal aralığı elde eder ve bu da ölçümlerin doğruluğunu artırır. (Kim & Baek, 2023)

Bununla birlikte, akıllı saatler ve giyilebilir sensörler için bazı potansiyel zorluklar mevcuttur: zayıf sensör doğruluğu, veri entegrasyonu ve büyük miktarda veriyi işlemek için sağlam algoritmaların geliştirilmesi. Bir diğer sınırlama ise, kendi kendine bildirilen verilerin ve hastaların cihazları sürekli takmaya olan bağlılıklarının, etkinliklerini etkileyen iki önemli kısıtlama olmasıdır. Bu çalışmanın birincil amacı, uyku apnesi ile ilgili belirtilerin erken

tespiti için akıllı saatlerde SpO2 sensörlerinin kullanılma potansiyelini doğrulamaktır. Bu şekilde, sensör veri okumaları simüle edilerek ve PhysioNet.org'da bulunan veri kümeleri kullanılarak, potansiyel faydalar ve zorluklar gösterilmiştir. Bu sonuçlar, akıllı saatlerin ve giyilebilir sensörlerin, doğru veri ve uygulama sağlandığında uyku apnesinin daha iyi teşhis edilmesine ve yönetilmesine yardımcı olabileceğini ve bunun hastalar için yaşam sonuçları ve kalitesi üzerinde çok daha iyi etkileri olacağını göstermektedir.

Literatür Taraması

Uyku Apnesi Türleri: Uyku apnesi, temel olarak üç türe ayrılan heterojen etiyojiye sahip bir hastalıktır: Obstrüktif Uyku Apnesi (OSA), Merkezi Uyku Apnesi (CSA) ve Kompleks Uyku Apnesi Sendromu (CompSAS). Bunların her birinin hem patofizyolojik sürecinde hem de klinik sunumunda farklılıklar vardır. Bu sorunlar frontal korteks veya genel beyin fonksiyonlarında tekrarlayan yetersizlik ataklarına neden olabilir (Xu vd., 2023).

1. **Obstrüktif Uyku Apnesi (OSA):** Bu en sık görülen formdur ve devam eden nefes alma çabasına rağmen hava akışını engellemek için boğaz kaslarının gevşemesinden kaynaklanan uyku sırasında üst hava yolunun tekrarlayan kapanmasını içerir. Bu risk faktörleri arasında aşırı kilolu olmak, anatomik anormalliklere sahip olmak ve alkol ve sigara kullanımı gibi bazı yaşam tarzı faktörleri yer alır. Önemli semptomlar arasında yüksek sesle horlama, başkası tarafından gözlemlenen nefes kesilmesi, nefes kesilmesi veya boğulma ile uyanma ve gündüz aşırı uyku hali yer alır. Solunum duraklamaları (apne), hava yolunun yeniden açılması için uyanmayı gerektirir, dolayısıyla rahatsız uykuya ve düşük uyku kalitesine yol açar (Arslan et al, 2020).

2. **Merkezi Uyku Apnesi (CSA):** Merkezi uyku apnesi OSA'dan tamamen farklıdır ve çok daha az yaygındır; burada beyin nefes alan kaslara sinyal göndermez, bu nedenle nefes almak için çaba gösterilmez. Genellikle kalp yetmezliği, inme ve nörolojik hastalıklar gibi çok ciddi durumlarla ilişkilidir. OSA'nın aksine, CSA'da solunumun merkezi olarak düzenlenmesi söz konusudur. Semptomlar: Bunlar arasında nefes nefese kalma hissiyle ani uyanma dönemleri, uykusuzluk ve gündüz aşırı uyku hali yer alır. Bu koşullar beyin solunum komutlarını düzenleyen mekanizmaları etkileyerek merkezi uyku apnesi gelişimine katkıda bulunabilir (Cebeci, 2020).

3. **Kompleks Uyku Apne Sendromu (CompSAS):** Tedaviden kaynaklanan merkezi uyku apnesi olarak da adlandırılan CompSAS, obstrüktif uyku apnesi için CPAP tedavisine başladıktan sonra bir hastada merkezi uyku apnesi geliştiğinde ortaya çıkar. Bu hastalar OSA ve CSA'nın klinik özelliklerine sahiptir ve bu nedenle yönetilmeleri zordur. Belirtiler genellikle huzursuz uyku ve gün içinde aşırı uykululuk hali gibi hem OSA hem de CSA belirtileriyle örtüşür.

- **Polisomnografi:** Polisomnografi (PSG) uzun zamandır uyku apnesi tanısında altın standart olarak kabul edilmektedir ve aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli ilgili fizyolojik değişkenlerin eşzamanlı kaydını kullanarak uyku düzeninin ve solunumun tam bir değerlendirmesini sağlar:

- **Elektroensefalogram (EEG):** Uyku aşamalarının belirlenmesi ve uyarılmaların tanımlanması için beyin dalgası aktivitesinin bir ölçümü. Beyne uygulanan sistem araştırma prensiplerine göre, beynin her durumunun (uyku, uyanıklık vb.) değişik patolojiler (Alzheimer, Bipolar vb.), değişik cinsiyet ve yaştaki insanlar ve değişik girdi türleri (işitsel, görsel vb.) için incelenmesi gerekir (Tülay, 2009).

- **Nabız Oksimetresi:** Kan oksijen saturasyon seviyelerini (SpO2) tespit eder, bu önemli bir parametredir.

- **Solunum Eforu Sensörleri:** Bu sensörler göğüs ve karın bölgesindeki hareketleri tespit eder ve obstrüktif ve santral apneyi birbirinden ayırır.

- **Hava Akışı Monitörleri:** Bu monitörler vücuda giren ve çıkan havanın hızını ve hacmini belirleyerek apne ve hipopne vakalarını tespit eder.

PSG bu nedenle sağlam ve doğru teşhis bilgileri sağlamak için iyi bir donanıma sahiptir; ancak maliyetli olması, özel uyku laboratuvarlarında bir gece kalmayı gerektirmesi ve tamamen yabancı bir ortamda uykuyu engelleyebilmesi ile sınırlıdır.

Giyilebilir Teknolojideki Gelişmeler: Son teknolojik atılımlar, geleneksel uyku çalışmalarına kıyasla düşük maliyetli ve non-invaziv olan ve doğal uyku koşullarında fizyolojik parametrelerin gerçek zamanlı izlenmesini kolaylaştıran giyilebilir cihazların piyasaya sürülmesiyle uyku tıbbında devrim yaratmıştır.

1. **Akıllı saatler:** Akıllı Saatler, çeşitli özelliklere sahip olabilir. Bunlar arasında genellikle bir ekran, dokunmatik kontrol, kablosuz bağlantı seçenekleri, fitness takibi, kalp atış hızı ölçümü, adım sayacı, uyku takibi, telefona bağlanma, müzik çalma, bildirimlerin görüntülenmesi, GPS gibi özellikler bulunur (Doğanalp Çoban & İspirli Turan, 2023). Bu cihazlar, uyku apnesini tespit etmek için kritik veriler olan SpO2 seviyeleri, vücut hareketleri, uyku pozisyonları, kalp atış hızı ve horlama dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere yerleşik sensörleri aracılığıyla sağlıkla ilgili önemli verileri izleyebilir.

2. **Fitness Takip Cihazları:** Bunlar da bir nevi akıllı saat gibidir, ancak genellikle kişinin fiziksel aktivitesini ve uyku ölçümlerini takip etme özelliğine sahiptir. Birçoğu kalp atış hızı monitörü ve SpO2 sensörü içerir, ancak uygun bir fiyata eğilimindedir.

3. **Giyilebilir Sensörler:** Özel giyilebilir sensörler, SpO2 ve kalp atış hızını ölçen halka sensörleri, solunum eforunu ve vücut sıcaklığını izleyen

bantları ve EEG aktivitesini izleyen kafa bantlarını kapsar ve uyku kalitesi ve solunum fonksiyonu hakkında ayrıntılı veriler sağlar (Kumar, Gupta, Albreem, & Ha, 2022).

4. **Mobil Uygulama Entegrasyonu:** Giyilebilir cihazlar çoğunlukla veri analizi için mobil uygulamalarla arayüz oluşturur. Bu uygulamalar uyku düzenleri, uyku skorlaması, trend analizi ve kişiselleştirilmiş uyku hijyeni önerileri hakkında bilgi sağlar. Bazı platformlar ayrıca uzaktan danışma ve teşhis için cihazda yerleşik tele-sağlık hizmetlerine sahiptir.

5. **Beyin-Bilgisayar Arayüzleri:** Beyin bilgisayar arayüzü (BBA), insanların beyin aktivitelerini elektronik cihazlarla etkileşime dönüştüren yeni bir teknolojidir (Aydemir & Kayıkçıoğlu, 2009). Bu teknoloji, beyin sinyallerini yakalayarak bunları bilgisayarlar veya diğer elektronik aygıtlar tarafından anlaşılır komutlara çevirerek çalışır.

Uyku tıbbı, giyilebilir teknolojiyi kullanarak geleceğe bir adım daha yaklaşıyor; sadece kolaylık sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda uyku sağlığını izleme araçlarına erişim ve uyku apnesinin erken teşhisi ve yönetimini potansiyel olarak iyileştiriyor. Bununla birlikte, giyilebilir sensörlerin geleneksel tanı yöntemlerine göre geçerliliğini ve güvenilirliğini kanıtlamak için çok fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Uyku Bozukluğu Uygulamalarında Giyilebilir Sensör Teknolojisi

Uyku Bozukluklarında Uygulamalar: Uyku bozuklukları, bir kişinin normal fiziksel, duygusal, zihinsel ve sosyal işlevlerini bozan uykunun kalitesi, zamanlaması ve miktarından oluşan çeşitli durumları içerir. Bu bozukluklar temel olarak dissomnialar, parasomnialar, bruksizm ve karma olmak üzere çeşitli kategorilere ayrılabilir. Yaygın uyku bozuklukları arasında uyku apnesi, uykusuzluk, huzursuz bacak sendromu, uyurgezerlik ve kabuslar yer alır. Enerjinizi tükettikleri, günlük rutinlerinizi aksattıkları ve zihinsel ve fiziksel sağlığınızı etkiledikleri için uyku bozukluklarını tedavi edin.

Araştırmanın Etkisi ve Önemi: Uyku bozukluklarını araştırın çünkü sayılamayacak kadar çok sağlık sorunuyla ilişkilidirler. Ayrıca, uyku apnesi hastalarının, kalp hastalığı ve Alzheimer gibi dejeneratif beyin hastalıkları riskinin daha yüksek olduğu bilinmektedir (Kumar, Gupta, Albreem, & Ha, 2022). Bu nedenle uyku kalitesini ve sağlığını yükseltmeye yardımcı olacak yeni tedavilerin icat edilmesine ihtiyaç vardır.

Sağlık Tedavisinde Yenilikler: Teknoloji ve klinik gelişmeler uyku bozukluklarının yönetiminde önemli iyileşmelere yol açmıştır. Özellikle uyku apnesi gibi rahatsızlıkları olan bireylerde, giyilebilir ve sensör teknolojileriyle gerçek zamanlı izleme ve uyku kalitesini iyileştirme yoluyla uyku bozukluklarını teşhis ve tedavi etmektedirler.

Gerçek Zamanlı Veri Toplama: Giyilebilir sensörler, bir hastanın genel uyku sağlığı hakkında bilgi sunmak için hastanın kan oksijen seviyeleri, kalp atış hızı ve solunum hızı hakkında fizyolojik veriler toplar. Örneğin, akıllı saatler, apneik olayların tespiti için önemli bir parametre olan gece boyunca kandaki oksijen doygunluğunu tespit eden SpO2 sensörleri ile donatılmıştır. Diğer önemli özellikler arasında uyku apnesini doğru bir şekilde teşhis eden kesintisiz bir izleme tekniği bulunmaktadır: uyku sırasında art arda nefes kesintileri ile karakterize edilen tıbbi bir durum. Giyilebilir sensörler, solunum olaylarıyla birlikte uyku düzenini kolayca takip edebilir ve başarılı tedavi planları oluşturmak için kritik unsurlar olan apneik olayların oranı ve şiddeti hakkında doğru veriler sağlayabilir.

Son Derece Yetenekli Sensörler: Günümüzün gelişmiş sensörleri, sürekli olarak ayrıntılı çevresel verileri yakalama ve bir araya getirme yeteneğine sahiptir. Küçük fizyolojik değişiklikleri tespit edebilirler, bu da erken fark edilirse akıllı saatler kullanılarak uyku bozukluklarında uygun tedavi için gerekli müdahaleye izin verecektir.

Sağlık İzleme Sistemlerini Destekler: Giyilebilir sensörler, tedavi planlarının hazırlanması için verilerin gerçek zamanlı olarak analiz edilebildiği tanısal izleme cihazlarına zahmetsizce bağlanır. Bu tür sistemler, oda sıcaklığını izlemekten uyku aşamalarını takip etmeye kadar her şeyi yapabilen bir dizi sensörden gelen verileri bir araya getirir ve bir hastanın uyurken sağlığının birçok yönünün genel bir resmini verir.

Bulut Entegrasyonu: Klinisyenlerin hastaları uzaktan izlemesi ve elde edilen verileri sağlık hizmeti sağlayıcılarıyla kolayca paylaşması için mobil uygulamaların ve bulut tabanlı M2M platform bağlantılarının kullanılması hasta bakımını geliştirir.

Gelişmiş Teşhis Hassasiyeti: Giyilebilir Sensörler uyku bozuklukları için doğru taramayı mümkün kılar ve külfetli polisomnografiye uygun fiyatlı, kullanışlı, kullanımı kolay bir çözüm sunar. Bu sensörler, uyku aşamalarını ve solunum olaylarını birçok araştırma bağlamında iyi bir şekilde izler ve hastalık teşhisinde PSG'ye eşit veya daha iyi doğrulukla uyku tıbbi alanına önemli bir değer katar.

Avantajlar ve Gelecekteki Yönelimler

- **Geliştirilmiş Hasta Konforu:** Non-invaziv Giyilebilir Sensörler Veri Doğruluğunu ve Kullanıcı Deneyimini İyileştirir.

- **Uygun Fiyat:** Giyilebilir cihazların üretimi nispeten ucuzdur ve sonuç olarak erken teşhis ve tedaviyi daha uygulanabilir hale getirir.

- **Kişiselleştirilmiş Bakım:** Hastalar için özel bakım planlarını destekleyen bir hasta verisi akışı olacak ve bu da daha iyi hasta sonuçları ve yaşam

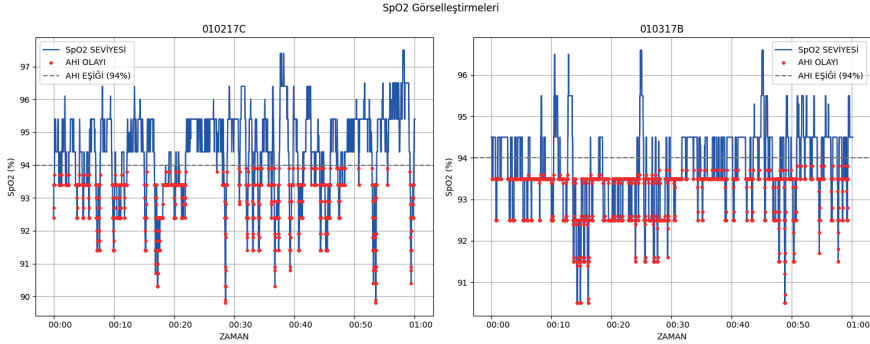
kalitesi sağlayacaktır.

- **Uzaktan İzleme:** Uzaktan izleme sayesinde, sağlık hizmeti sağlayıcıları bir hastanın ilerlemesini görüntüleyebilir ve tedavi planlarını gerçek zamanlı olarak ayarlayabilir; bu da özellikle sürekli gözetim gerektiren kronik durumlar için yararlıdır.

Kandaki oksijen saturasyonu sabit bir değere sahip olmamakla beraber, %94 seviyesinin altına indiğinde bu durum desaturasyon olarak değerlendirilir. Bu değerın saatlik olarak ölçülmesine apne hipopne indeksi (AHI) denir. AHI değeri 1 saatte 5 ve altında ise, diğer bir deyişle kanımızdaki oksijen seviyemiz 1 saat içerisinde 5 ya da 5'ten fazla kez %94 saturasyon değerinin altına düşüyorsa, genel kaniya göre hafif uyku apnesi olarak değerlendirilir.

Uyku apnesinin, orta derece olarak sınıflandırılması için genel kaniya göre saatte 15 ila 35 kez arası desaturasyon yaşanması gerekmektedir. AHI değeri 35 ve üzerinde ise, ağır uyku apnesi olarak değerlendirilir.

Metin dosyası ismi 010217C olan denek 45 yaşında, kadın, sigara kullanıyor, BMI endeksi 23,8, AHI endeksi 30,94 Metin dosyası ismi 010317B olan denek 70 yaşında, erkek, sigara kullanmıyor, BMI endeksi 25,1, AHI endeksi 45,87 (Şekil 1)



Şekil 1 SpO2 Görselleştirmeleri

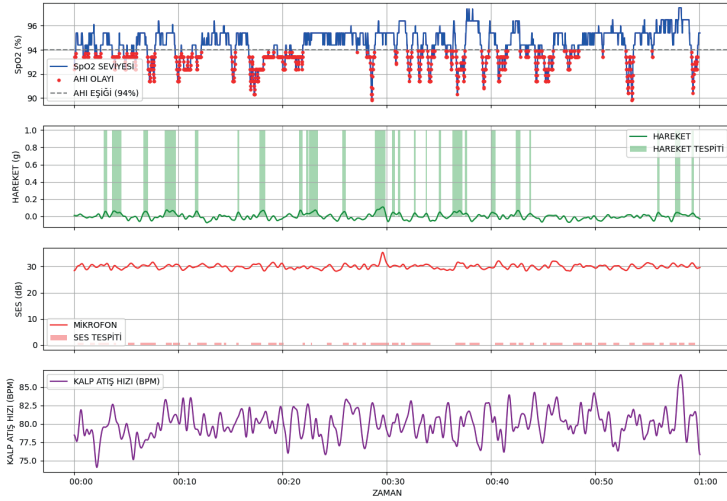
- **Denek 010217C:**
 - Cinsiyet: Kadın
 - Sigara İçme Durumu: sigara içiyor
 - Vücut Kitle İndeksi (BMI): 23,8
 - Yaş: 45
- **Denek 010317B:**
 - Cinsiyet: Erkek
 - Sigara İçme Durumu: sigara içmiyor

- Vücut Kitle İndeksi (BMI): 25,1
- Yaş: 70

Matematiksel Modeli Test Etmek için Numune Verileri: PhysioNet'ten alınan kaynak verilere dayanmaktadır. Okumaları matematiksel bir model içinde kullanmak, qura tarafımızda nasıl geliştirdiğimizdir. Veri seti, kaydedilen 36 birey için bir saatlik bir saniyelik SpO2 okumalarını içermektedir. Yüksek Apne-Hipopne İndeksi (AHI) skorlarına sahip 2 denek üzerinde bir vaka incelemesi gerçekleştirilmiştir. Dosya adları 010217C ve 010317B'dir.

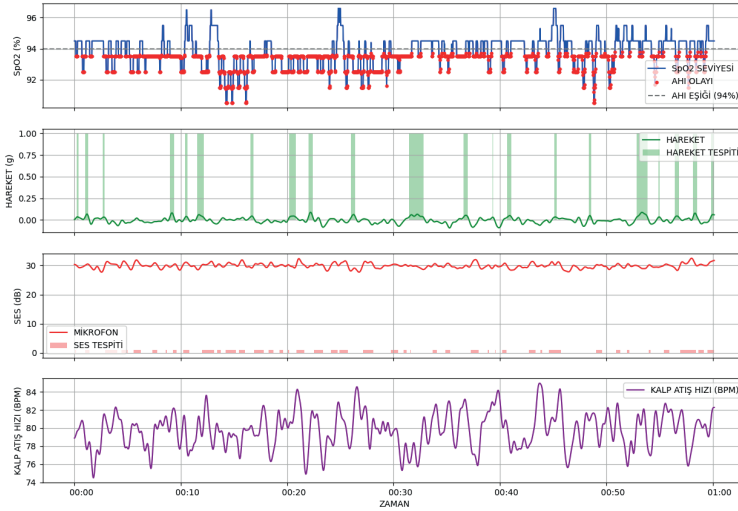
Veri Açıklaması: Veri seti, apne olayını tanımlamak için gerekli oksijen doygunluğu modellerinin ayrıntılı analizi için yüksek çözünürlüklü SpO2 okumaları içerir. SpO2 verilerine eşlik etmek üzere kalp atış hızı, ivmeölçer (hareket) ve bir mikrofon (horlama için) için "kukla" veriler oluşturuldu (Şekil 2 & 3), böylece hem hareket hem de sestten, uyku düzenlerinin daha da ayrıntılı bir incelemesi ile apne olayların belirlenmesi arttırıldı.

Görselleştirme: 010217C



Şekil 2 010217C isimli SpO2 verisinden örnekle üretilen değerlerin görselleştirilmesi

Görselleştirme: 010317B



Şekil 3 010317B isimli SpO2 verisinden örnekle üretilen değerlerin görselleştirilmesi

Matematiksel Formüller ve Model

Modelimiz, uyku apnesi ile ilişkili çeşitli fizyolojik verileri kullanarak uyku apnesi için bir risk puanı (R) hesaplamaktadır:

$$R = \sum_{i \in \{\text{ön}, \text{olay}, \text{sonra}\}} (w1i \cdot f(Si) + w2i \cdot g(Hi) + w3i \cdot h(Ai) + w4i \cdot j(Mi))$$

- S: SpO2 okumaları
- H: Kalp atış hızı ölçümleri
- A: İvmeölçer okumaları
- M: Mikrofon okumaları
- w: apne olayının tespitinde söz konusu parametrenin ağırlıklı önemi
- i: apne olayının aşaması (ön: apne öncesi, olay: apne sırasında, sonra: apne sonrası)

Kukla Veri Üretimi ve Parametre Ağırlıkları: Salınım frekansı verilerini yorumlamak amacıyla, saf SpO2 verileri içindeki enterpolasyonuna dayalı olarak kalp atış hızı ve ivmeölçeri test etmek için kukla veri setleri oluşturduk. Çıktılara, uyku apnesi olaylarının tespitini ne kadar etkileyebileceklerle-

rini tanımlayarak bu çıktılarının beklenen önemini yansıtan ağırlıklar atandı. Örneğin, SpO2 okumalarının apne olaylarıyla doğrudan bir bağlantısı olsa da, gerekçeler bunlara daha büyük bir etki verilmesini sağlamıştır.

Hesaplanan Risk Skorları:

Denek 010217C

$$R_{\text{ön}} = 0.3 \cdot 94.4123 + 0.2 \cdot 79.9954 + 0.1 \cdot 0.0011 + 0.4 \cdot 29.9807$$

$$R_{\text{olay}} = 0.4 \cdot 94.4123 + 0.3 \cdot 79.9954 + 0.1 \cdot 0.0011 + 0.2 \cdot 29.9807$$

$$R_{\text{sonra}} = 0.3 \cdot 94.4123 + 0.2 \cdot 79.9954 + 0.1 \cdot 0.0011 + 0.4 \cdot 29.9807$$

$$R = R_{\text{ön}} + R_{\text{olay}} + R_{\text{sonra}}$$

$$R = 180.3902$$

Denek 010317B

$$R_{\text{ön}} = 0.3 \cdot 93.7483 + 0.2 \cdot 79.7644 + 0.1 \cdot -0.0032 + 0.4 \cdot 29.8508$$

$$R_{\text{olay}} = 0.4 \cdot 93.7483 + 0.3 \cdot 79.7644 + 0.1 \cdot -0.0032 + 0.2 \cdot 29.8508$$

$$R_{\text{sonra}} = 0.3 \cdot 93.7483 + 0.2 \cdot 79.7644 + 0.1 \cdot -0.0032 + 0.4 \cdot 29.8508$$

$$R = R_{\text{ön}} + R_{\text{olay}} + R_{\text{sonra}}$$

$$R = 179.4331$$

Denek 010217C ve 010317B'nin Analizi: Denek 010217C (kadın, sigara içen, BMI: 23,8, yaş: 45) için veriler, uyku sırasında SpO2 seviyesinde dalgalanmalar göstermiştir. Bu dalgalanmalar, uyku sırasında meydana gelen solunum olaylarını ve apne ataklarını düşündürmektedir. Aynı zamanda, denegın uyku esnasında önemli ölçüde hareket ettiği ve yüksek sesli horlama dönemleri yaşadığı belirlenmiştir. Bu bulgular, denekte olası bir uyku apnesinin varlığına işaret etmektedir. Uyku apnesi sırasında SpO2 seviyelerinde gözlemlenen bu tür dalgalanmalar, hastalığın tanı ve takibinde önemli bir biyomarkerdir.

Denek 010317B (erkek, sigara içmeyen, BMI: 25.1, yaş: 70) için veriler ise, SpO2 değerlerinde geniş bir dağılım göstermiştir. Çalışma yazarları, denegın sigara içmemesine rağmen uyku apnesi riskinin yaş ve BMI ile arttığını belirtmiştir. Veriler, uyku sırasında kalp hızı (HR) ve solunum hızı (rR) artışlarını ve SpO2 seviyelerinde belirgin azalmaları ortaya koymuştur. Ayrıca, horlama verileri daha az net olmakla birlikte, bu durum denekte merkezi uyku apnesi olasılığını da düşündürmektedir. Bu tür verilerin analizi, obstrüktif ve merkezi uyku apnesi arasında ayırım yapmada yardımcı olabilir.

Bu analizlerin ve benzeri formüllerin büyük gruplarda uygulanması, uyku apnesinin tanısında ve yönetiminde şablon üretiminde doğruluğu artıracaktır. Apne etkinlik penceresi sürecinin bu formüllerle ölçülmesi, büyük veri setlerinde daha kesin ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Bu, hem bireysel hasta takibinde hem de geniş çaplı epidemiolojik çalışmalarda önemli bir avantaj sunacaktır. Böylece, uyku apnesinin erken teşhisi ve tedavisinde daha etkili stratejiler geliştirilebilir ve hastaların yaşam kalitesi artırılabilir.

Ayrıca, bu tür detaylı analizlerin ve veri tabanlı yaklaşımların, yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesinde ve mevcut tedavi protokollerinin optimize edilmesinde de önemli rol oynayacağı düşünülmektedir. Uyku apnesinin neden olduğu komplikasyonların önlenmesi ve yönetimi için bu tür ileri düzey teknolojik yaklaşımlar, sağlık hizmetlerinde devrim niteliğinde bir dönüşüm sağlayabilir.

Giyilebilir Antenler Kullanılarak Alınan Verinin Doğruluğunun Artırılması

Giyilebilir antenler, bu yeni tıbbi teknoloji çağında büyük bir atılım niteliğindedir. Özellikle uyku apnesi gibi kronik hastalıkların izlenmesi ve yönetiminde, bu anten teknolojisi, ölçüm doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için önemli bir araç olabilir. Beyin-bilgisayar arayüzleri (BCI) ile entegre edilen giyilebilir antenler, fizyolojik indeksleri sürekli olarak izleyebilir ve Beyin Elektriksel Aktiviteleri yoluyla genişletilmiş bir nörometrik ölçüm sunabilir. Bu sistemlerin en önemli faydalarından biri, sürekli bilgi akışı sağlamalarıdır. Bu antenler, bir kişi tarafından giyilebilir ve SpO₂, kalp atış hızı ve solunum sıklığı gibi uyku sırasında kritik parametreleri gerçek zamanlı olarak ölçebilir. Sürekli veri akışı, uyku apnesi olaylarının gerçek zamanlı olarak tanınmasını ve kaydedilmesini sağlar. Bu da hastalık dinamikleri ve hastanın fizyolojik tepkisi hakkında bilgi doğruluğunu ve detayını artırır.

Ayrıca, beyin-bilgisayar arayüzleri ile entegre edilen giyilebilir antenler, EEG sinyallerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlar. Beyin dalgalarının analizi, uyku apnesinin beynimizi ve nörolojik tepkileri nasıl etkilediğinin anahtarıdır. Her nefesle birlikte karbondioksit salınımı, apne olayları sırasında beyin dalgaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir, çünkü kandaki oksijen seviyelerinin düşmesi (hipoksemi) genellikle belirgin değişiklikleri yansıtır. Bu bilgiler, uyku apnesi teşhisi ve yönetimini anlamada yararlı olabilir.

Bununla birlikte, bu sistemler AHI (Apne-Hipopne İndeksi) etkinliğini önleyebilecek ön sinyaller sunar. Sistem, beyin dalgalarının desenine dayalı olarak olası bir apne olayı için erken bir uyarı verebilir. Kişi hafif bir apneye girdiğinde, bu ön sinyal onları hafifçe uyandırabilir ve diyagonal basınçla hava yollarını tamamen tıkamalarını engellemek veya bir olayı tamamen ön-

lemek için hareket etmelerini sağlayabilir. Bu tür önleyici bir yaklaşım, uyku kalitesini ve genel sağlık hissini büyük ölçüde artırabilir. Giyilebilir antenlerin uygulanması, verilerin çözünürlüğünü artırarak ve beyin-bilgisayar arayüzleriyle entegre olarak uyku apnesi yönetimini önemli ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiler, hastaların sürekli izlenmesini, apne olaylarının erken tahmin edilmesini ve nihayetinde önlenmesini sağlar. Bu nedenle, obstrüktif uyku apnesi ile ilişkili sağlık sorunlarının başlangıcını hafifletmeye ve hastaların yaşam kalitesini artırmaya yardımcı olabilir. Bu tür yenilikçi yaklaşımlar, gelecekte uyku apnesi ve diğer uyku bozukluklarının tedavisinde norm haline gelebilir ve sağlık hizmetlerinde önemli bir ilerlemeye yol açabilir.

Referanslar

- Arslan, B. O., Taymaz, Z. S., Hoşgör, Z. Z. U., & Tatar, D. (2020). Stabil Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığında Uyku Kalitesi Ve Obstrüktif Uyku Apne Sendromu Riskinin Değerlendirilmesi. *Journal Of Turkish Sleep Medicine*, 7(3).
- Atılgan, Z. A., Abakay, A., & Ülgen, S. (2011). Tıkayıcı Uyku Apne Sendromu Ve Kardiyovasküler Sorunlar. *Dicle Tıp Dergisi*, 38(2), 253-256.
- Bozkurt, V. (2020). Obstrüktif Uyku Apne Sendromu İle D Vitamini İlişkisi. (Uzmanlık Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Tıp Fakültesi).
- Cebeci, K. (2020). Pediatrik Nöroloji Bilim Dalı İzleminde Olan Ve Polisomnografi İncelemesi Yapılan Hastaların Retrospektif Olarak Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, Hacettepe Üniversitesi Çocuk Sağlığı Ve Hastalıkları Anabilim Dalı.
- Doğanalp Çoban, S. & İspirli Turan, A. (2023). Dijital Yaşam Teknolojileri Bağlamında Akıllı Saat Kullanıcılarının Deneyimleri Üzerine Nitel Bir Çalışma.
- Kim, K.B., & Baek, H.J. (2023). "Photoplethysmography in wearable devices: a comprehensive review of technological advances, current challenges, and future directions."
- Köktürk, O., & Ulukavak Çiftçi, T. (2003). Santral Uyku Apne Sendromu. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi*, *Uykuda Solunum Bozuklukları Dizisi*: 20, 51(3): 349-360.
- Kumar, A., Gupta, M., Albream, M. A., & Ha, D. B. (2022). *Wearable and Neuro-nic Antennas for Medical and Wireless Applications*. Beverly, MA: Scrivener Publishing.
- Pazarlı, A. C. (2023). Uyku Apne Sendromunda Gelecek: Teletıp. *Türkiye Klinikleri Archives of Lung*, 22(2).
- Tülay, E.E., (2009). Beyin Elektriksel Aktivitesinin Ölçümü Ve Sinyal Analizi. *İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 53 S, İstanbul.
- Usal, M.R., Selçuk, E.N., Engineering Use of the Skull Phantom as a biomechatronic Construction Element, 3. International Dicle scientific research and innovation congress , vol.2, no.1, Diyarbakır, Turkey, pp.1611-1639, 2022
- Xu, Y., Ou, Q., Cheng, Y., Lao, M., & Pei, G. (2023). Comparative Study Of A Wearable Intelligent Sleep Monitor And Polysomnography Monitor For The Diagnosis Of Obstructive Sleep Apnea. *Sleep And Breathing*.
- Yıldız, M. (2021). Uyku Apnesi Tespitinde Yenilikler. *Natural And Applied Sciences Journal*, 3(Special Issue: Full Papers Of 2nd International Congress Of Updates In Biomedical Engineering), 32-39.



Bölüm 3

ATIK PLASTİKLERDEN ELDE EDİLEN PİROLİZ YAĞININ DİZEL MOTORLARDA YAKIT OLARAK KULLANIMI

Nevin GÜNDEMİN¹

Ervanur AYDOĞDU²

Battal DOĞAN³

Murat Kadir YEŞİLYURT⁴

Erdal TUNÇER⁵

1 Öğrenci, Gazi Üniversitesi, ORCID ID: 0009-0004-6215-9612

2 Öğrenci, Gazi Üniversitesi, ORCID ID: 0009-0005-5391-1339

3 Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0002-1439-1570

4 Doç. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0003-0870-7564

5 Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0002-5212-0966

1.Giriş

Hava kirleticilerin yaklaşık %80'i; elektrik üretimi, ulaşım, ısıtma ve sanayi amaçlı kömür, petrol, benzin ve dizel yakıtın kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Havadaki ince, solunabilir partikül maddenin %85'ini ve atmosferdeki NO_2 emisyonlarının neredeyse tamamını oluşturmaktadır. Temiz enerjiye ve düşük karbon ekonomisine geçiş yaşanabilir bir çevre açısından önemlidir. Bu durum, aynı zamanda hem en büyük sorun hem de en büyük fırsat olarak görülmektedir [1]. Atmosfere verilen zararın büyük bir kısmı petrol ve bunun türevlerinin kullanımı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi, günlük hayatımızın her alanında kullandığımız plastik içerikli maddelerdir. Plastik atıkların, kullanıldıktan sonra geri dönüşümündeki doğru olmayan yöntemler ve kaybedilen fırsatlar nedeniyle kara ve deniz ekosistemlerinde geniş çapta yayılan plastik kirliliği ile ilgili küresel endişelere yol açmaktadır [2]. Atık plastiklerin doğaya atılmaması ve geri dönüştürülerek yeni kullanılabilir ürün elde edilmesi petrol türevlerinde dışa bağımlı olan ülkeler için alternatif yakıt olarak kullanımı fırsat olarak düşünülmektedir. Bu konuda birçok ülke adım atarak plastik atıklarının bertaraf edilmesi ya da bunlardan değerli ürünler elde edilerek ekonomiye kazandırılması noktasında çaba sarf etmektedirler. Bu noktada, kişi başına en fazla plastik atık üreten ilk on ülkeler incelendiğinde, ABD 105,3 kg/yıl ile dünyada kişi başına en fazla atık plastik üreten ülke konumundadır. ABD'yi 98,66 kg/yıl ile Birleşik Krallık ve 88,09 kg/yıl ile Güney Kore takip etmektedir [3].

Literatürde atık plastikler ve dizel yakıtının karıştırılarak alternatif yakıt olması ile ilgili çalışmalar yer almaktadır [4-6]. Özellikle plastik içerikli maddeler; hafif olmaları, değişken alanlarda kullanım esnekliği ve dayanıklılıkları nedeniyle endüstrinin gelişmesiyle birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle kaynakların verimli kullanılması, kullanım ömrü dolmuş katı atıkların geri dönüştürülmesi ve bu atıkların enerji dönüşüm sistemlerinde değerlendirilmesi sürdürülebilirlik ve çevre açısından büyük önem taşımaktadır [7]. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan bazıları özet olarak sunulmuştur. Ndiaye ve ark. [8] çalışmalarında, çeşitli uygulamalar için alternatif bir enerji kaynağı olarak plastik atıkların dizel motorlarda kullanılabilecek kalitede yağa dönüştürülmesini amaçlamışlardır. Analiz sonrasında; plastik yakıtın 34,132 MJ/kg olan ısıl değeri ve termal pirolizde 2,750 cSt olan kinematik viskozitesi tahmin edilmiştir. Yoğunluk ve akma noktası ile karakterize edildiğinde, plastik yakıtın yoğunluğunun 0,856 g/cm³ olduğu ve akma noktasının -17°C olduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, plastik atıklardan üretilen yağın dizel motorlarda enerji kaynağı olarak kullanılabileceğini ve bu sayede şehirlerdeki plastik atık miktarının azaltılabileceğini ön görmüşlerdir. Behçet ve Eroğlu [9] Malatya'da yürütmüş oldukları çalışmada, atık plastiklerin geri dönüşümünü piroliz yöntemi ile gerçekleştirmişler ve piroliz işleminin sonucu elde edilen sıvı ürünü, bir dizel motorda alternatif yakıt olarak

test etmişlerdir. Bu ilde plastik şişe ve kapakların atıklarını piroliz sıvısı için hammadde olarak kullanmışlardır. Piroliz sıvısı %20 ve dizel yakıtı %80 oranında karıştırılarak yeni yakıt elde edilmiş ve APY20 olarak isimlendirilmiştir. Saf dizel ve APY20 yakıtlarını, sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda test ederek motor performansı ve emisyon verilerini elde etmişlerdir. Yapılan testler sonucuna göre, motor performansı olarak saf dizele kıyasla APY20 yakıtında tork ve güç değerleri azalmakta iken yakıt tüketimi artmıştır. Emisyon bakımından APY20 yakıtının CO, HC ve CO₂ emisyon değerleri dizel yakıtına göre artarken NO_x emisyon değerlerinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Mohan ve ark. [10] tarafından yürütülen çalışmada, saf dizel yakıtının ve piroliz sonucu elde edilen yakıtın (PB2) üç farklı oranda karıştırılması, yani PB2_{@10} (%10 karışım), PB2_{@20} (%20 karışım) ve PB2_{@30} (%30 karışım), sonucu elde ettikleri test yakıtlarını modifiye edilmemiş bir dizel motorda deneyerek performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Testler sonucunda, her üç karışımın fren özgül yakıt tüketiminin yüksek yüklerde hemen hemen aynı olduğunu (0,3 kg/kWh); daha yüksek yüklerde ise fren ısıl veriminin dizel yakıtınıninkine eşit veya %27-30 aralığında olduğunu bildirmişlerdir. Kullanılan üç farklı karışım yakıtının tamamında duman oluşumu azalmıştır (maksimum %22,5) ve hava-yakıt eşdeğerlik oranı veya lambda (λ) farkının saf dizele kıyasla azaldığı, yüksek yüklerde ise bir değerine yakın olduğunu belirtmişlerdir. PB2_{@20} ve PB2_{@30} yakıtlarının maksimum silindir içi basıncı ve sıcaklığının saf dizel yakıtınıninkine oldukça yakın olduğunu rapor etmişlerdir. Çalışmada kullanılan yenilenebilir sıvı yakıtların, saf dizel ile karıştırılarak araçlarda kullanılabilceğini vurgulamışlardır. Faisal ve ark. [11] tarafından yürütülen çalışmada, birebir oranında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polistiren (PS) ve polipropilen (PP) içeren karışık atık plastiklerin (MWP) ve karışık işlenmemiş plastiklerin (MVP) pilot ölçekte termal piroliz işlemi gerçekleştirmişlerdir. Piroliz işlemi, 540°C sıcaklıkta ve atmosferik basınçta 6 saat sürmüştür. Üretilen ham plastik prolitik yağın (CPPO) damıtılmış plastik dizel (DPD) olarak anılan standart dizelin özelliklerine daha yakın olması için vakumlu damıtma metodunu tercih etmişlerdir. CPPO, DPD ve HPD'nin yakıt özelliklerini inceleyerek Avustralya, ASTM ve EN standartlarına göre otomobil yakıtı olarak uygunluğunu standart dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. 20 L'lik bir pirolizör, pilot ölçekli bir damıtma, CPPO'nun dizele yakın özelliklere sahip olabilmesi için damıtma ve hidro-işlemenin önemli olduğunu incelemişlerdir. Aynı zamanda, DPD ve HPD'nin, dizel yakıtı olarak kullanıma çok uygun olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak, doğru arıtma teknolojileriyle atık plastiklerin otomobil yakıtı olarak kullanılabilceği sonucuna varmışlardır. Radhakrishnan ve ark. [12] çalışmalarında, atık plastiklerin piroliz işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin ve yakıtların dönüştürülmesi sürecini ele almışlardır. Hem su hem de karasal ortamlara zararı dokunan plastik çöpler termokimyasal olarak balmumu, benzin ve yakıt gibi tekrar kullanılabilir ürünler haline dönüştürülebilmektedir.

Piroliz yağları polietilen (PE) ve polipropilen (PP) gibi birçok alifatik bileşikten oluşurken, polistiren (PS) daha fazla aromatik hidrokarbon üretmektedir. %50 etilen içeren %70'e kadar olefin monomeri, yaklaşık 950°C'de flaş pirolizi ve 200 ms buhar kalma süresi kullanılarak geliştirilebilmektedir. Bu durum uygun bir monomer geri kazanım tekniği haline getirmektedir. Sonuç olarak, standart dizel motorlarda yakıt olarak plastik yağlarının dizel yakıtına karıştırlarak kullanılmasının uygun olduğunu belirlemişlerdir.

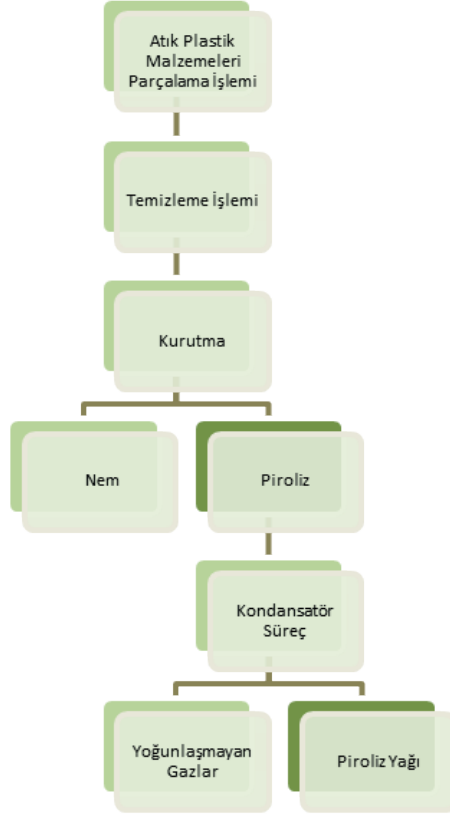
Son yıllarda çevre ve ekonomi açısından atıkların geri dönüşümüne yönelik çalışmaların önemi artmaktadır. Dolayısıyla, bu ve benzer konularda yapılacak olan çalışmaların artması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, atık plastiklerde elde edilen yakıtların dizel motorlarda kullanımının performans ve emisyonlara olan etkisi değerlendirilmiştir. Böylece, atık plastik yağlarının ekonomiye kazandırılması açısından fikir verecek konular ele alınmıştır.

2. Atık Plastik Ve Piroliz İşlemi

Piroliz işlemi, atık maddelerin yanma reaksiyonu için gerekli olan oksijenin bulunmadığı ortamlarda basınç ve sıcaklığın oluşturulduğu bir ortamda işlendiği termokimyasal bir süreçtir. Piroliz işlemi uzun zincirli hidrokarbonları daha kısa zincirli hidrokarbonlara dönüştürmektedir. Bu işlem atık maddelerin atık olmaktan çıkararak yararlı ürün haline getirmektedir. Sisteme atık olarak giren maddelerin katı, sıvı ve gaz halde tekrar kullanılabilir ürünlere dönüşebilmektedir [13]. Ndiaye ve ark. [8] piroliz işlemi sırasındaki çalışma parametrelerinin ürün verimliliğine etkisini inceledikleri çalışmalarında, sıcaklık artışının sıvı ürün verimini artırdığını ancak katı ve gaz ürün verimini azalttığını; reaksiyon süresi artışının ise sıvı ve gaz ürün verimini artırdığını fakat katı madde miktarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Piroliz sonucunda elde edilen katı ürün, reaktörün alt kısmında kül ve dönüşmeyen organik maddeler olarak oluşmaktadır. Üretilen katı ürünlerde geniş kullanım alanları mevcuttur. Katı ürünün verimi, düşük ısıtma hızlarında ve sıcaklıklarda artmaktadır. Sıvı ürün, düşük molekül ağırlıklı ya da yüksek molekül ağırlıklı organik bileşiklerdir ve açık renkte kahverengi tonlarında bir yapıya sahiptir. Piroliz sonucunda elde edilen sıvı ürün direkt yakıt olarak kullanılabilirdiği gibi ileri işlemler (rafinasyon) kullanılarak da değerli sentetik yakıtlara dönüştürülebilmektedir. Gaz ürünün içeriğinde ise CO₂, H₂ ve CH₄ gibi bileşiklere rastlamak mümkündür [14].

Piroliz işleminde ısıtma hızı ve sıcaklığı ürün veriminde etkili parametrelerdir. Piroliz işlemi ısıtma hızı ve süresine göre ikiye ayrılmaktadır. Pirolizde ürünün gaz olması durumunda üretimin yavaş olması verimlidir. Ancak ürün sıvı ise hızlı piroliz yöntemini kullanmak verimi artırmaktadır [15]. Piroliz işlemi birçok atık maddenin geri dönüşümü için kullanılabilir. Şekil 1'de atık plastiklerin piroliz yağına dönüşümündeki süreç gösterilmiştir.



Şekil 1. Atık plastiklerin piroliz yağına dönüşüm süreci

Plastikler, bünyelerinde karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik ya da inorganik elementlerin oluşturduğu monomer olarak adlandırılan yapılardan oluşmaktadır. Monomer olarak isimlendirilen yapı basit yapıdaki molekül gruplarının bağlarının koparılarak polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi sonucunda elde edilen malzemelere denilmektedir [16]. Polimer ısısının parçalanma mekanizması için önerilen dört teknik vardır. Bunlar; (1) uç zincirin kesilmesi veya fermuarın açılması, (2) rastgele zincir kesilmesi veya parçalanması, (3) zincir sıyırma veya yan zincirin silinmesi ve son olarak çapraz bağlamadır.

Polimerin moleküler yapısı, meydana gelecek ayrışması için önemlidir.

$$M_{(n)} \rightarrow M_{(n-1)} + M \quad (1)$$

$$M_{(n-1)} \rightarrow M_{(n-2)} + M \quad (2)$$

$$M_{(n)} \rightarrow M_{(x)} + M_{(y)} \quad (3)$$

Yukarıda verilen 1 ve 2 numaralı eşitlikler termal bozulmayı yansıtır, fakat 3 numaralı eşitlik polimer pirolizi sırasında meydana gelen rastgele bo-

zunmayı ifade etmektedir. Çapraz bağlama işlemi çoğunlukla yüksek sıcaklıkta ısıtma sırasında termoset polimerlerde meydana gelen bir işlemdir [17]. Eşitlik 4'te ise temel piroliz reaksiyonu verilmektedir [18].



3. Atık Plastiklerden Üretilen Yağın Dizel Motorlarda Kullanımı

Alternatif yakıt çalışmalarında dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan birisi de yakıtların fiziksel ve kimyasal karakteristikleridir. Bu anlamda, dizel yakıtların özellikleri ve bunların sınır değerleri EN 590 standardında açıkça belirtilmiştir. Atık plastiklerin dönüşümü sonrasında elde edilen yağlarında dizel motorlarda kullanılmasından önce yakıt özelliklerini incelemek gerekir. Dolayısıyla atık plastik yağlarını dizel motorlarda kullanmadan önce bir fikir elde edilebilir. Plastik piroliz yağı ve dizel yakıtın bazı önemli yakıt özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Plastik piroliz yağı ve dizel yakıtın bazı önemli yakıt özellikleri [3, 8, 9, 12]

Özellik	Birim	Dizel yakıtı	Plastik piroliz yağı
Yoğunluk	kg/m ³	830-837	835-871,9
Kinematik viskozite	mm ² /s	2,30-2,45	1,78-2,78
Parlama noktası	°C	55-72	20-47
Akma noktası	°C	(-17) - (-15)	-30
Üst ısı değer	MJ/kg	42,5-46	43,175-45
Setan indeksi	-	47-52	60-85
Karbon kalıntısı	% ağırlıkça	0,18	0,1
Kül miktarı	% ağırlıkça	0,01	0,01

Birim zamanda üretilen güç başına tüketilen yakıt miktarına özgül yakıt tüketimi denilmektedir. Özgül yakıt tüketimini en aza indirmek için iki farklı seçenek vardır. Birincisi sabit güçte yakıt miktarını en aza indirmek, ikincisi sabit yakıt miktarında gücü maksimuma yükseltmektir [19]. Özgül yakıt tüketimi yakıtın ısı değerine bağlı olarak da değişmektedir [20].

Test yakıtlarının sahip olduğu farklı yoğunluk ve kalorifik değerler yakıt tüketimi değişiminin bir göstergesidir. Yakıtın sahip olduğu kimyasal özellikler, silindir içerisinde gerçekleşen yanma reaksiyonunun verimini belirleyen ve etkileyen ana etkenlerden bir tanesidir. Şimşek [21] çalışmasında, farklı oranlarda harmanlanan yakıt karışımlarının değişen motor yüklerinde ölçülen özgül yakıt tüketimi miktarlarını incelemiştir. EPLY10 (%10 pirolize lastik yağı + %90 dizel) ve EPLY20 (%20 pirolize lastik yağı + %80 dizel) yakıtlarının saf dizel yakıtıninki ile karşılaştırıldığında sırasıyla tüm yüklerde ortalama %5,6908 ve %12,8732 artış olduğunu, yakıt içerisinde lastik yağı oranı arttıkça yakıtın alt ısı değerinin azaldığını ve dizel yakıtına göre daha yüksek yakıt sarfiyatı meydana geldiğini belirtmiştir. Ek olarak, özgül yakıt tüketiminin yük artışıyla ters orantılı olarak değiştiğini, bu davranışın asıl

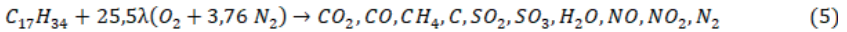
nedeninin silindir içindeki sıcaklık ve basınç değerlerindeki artıştan kaynaklandığını bildirmiştir. Buna karşın, özgül yakıt tüketimindeki düşüş, efektif verim değerlerinde artışa neden olmuştur.

İçten yanmalı motorlarda yakıtların yanması sonucu meydana gelen ve atmosfere salınan CO, eksik yanma sonucu oluşan, çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz etkiye sahip bir sera gazıdır. CO emisyonu, yapısında karbon ve hidrojen bulunan yakıtların, oksijenle oksidasyonu sonucu meydana gelmektedir. Aynı zamanda yanma için yeterli oksijenin olmamasından, kötü hava sürüklenmesinden ve eksik yanmadan dolayı da oluşmaktadır. CO oluşumunun en önemli nedenleri, silindir içi hava-yakıt karışımının yeterince homojen olmaması ya da kısmi yanmayı tetikleyecek bölgesel farklılıklar olduğu bilinmektedir. CO zehirli bir gaz olup kontrol altında tutulmalıdır [22-24]. Farklı motor hızlarında atık plastik yağı ve saf dizelin çeşitli karışımlarının CO emisyonuna etkilerini inceleyen Zhao ve ark. [23], geleneksel dizel yakıtta farklı oranlarda (%10-30) atık plastik yağı ekleyerek elde ettikleri yeni yakıt karışımlarının CO emisyonunu azalttığını gözlemlemişlerdir. Tüm hızlarda en yüksek emisyon seviyesinin saf dizelde 1000 d/dak'da %8,8, 1500 d/dak'da %7,4, 2000 d/dak'da %5,3, 2500 d/dak'da %4,1 ve 3000 d/dak'da %3 olduğunu tespit etmişlerdir. Buna karşın, en düşük değerlerin ise ilgili motor hızlarında %7,5, %6,2, %4, %2,6 ve %1,8 ile WPO30 yakıt karışımında elde edildiğini belirtmişlerdir. WPO10 ve WPO20 yakıt karışımlarının kullanılması durumunda ise %2,6-8,3 ve %2,2-7,9 aralıklarında ölçmüşlerdir. Saf dizel yakıtında CO emisyonunun fazla olmasının ana nedenini karbon içeriğine bağlamışlardır. Ayrıca, dizel yakıtına, plastik yağı eklenerek yakıt karbon içeriğinin azaltılabileceğini ve yeterli oksijen sağlanarak, bunun sonucunda CO emisyonunun düşürülebileceğini rapor etmişlerdir. Sonuç olarak, dizel yakıtına eklenen atık plastik yağı oranının artması ile CO emisyonunun azaldığını belirtmişlerdir.

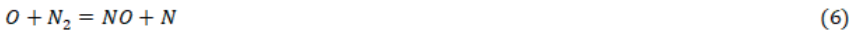
Ham petrolün rafinasyonu sonucu elde edilen sıvı ürünlerden yakıt olarak en fazla benzin ve dizel kullanılmaktadır. Bu yakıtların yanması sonucunda CO₂, CO, HC, SO_x ve NO_x gibi zararlı emisyonlar diğer bir ismiyle sera gazları oluşmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması başlıca CO₂ kaynağı olarak görülmektedir. Karbondioksitin, soğurulma etkisi 12-16,5 mikron dalgadan fazla, 4 mikron dalgadan küçüktür. CO₂ gazı güneşten gelen kısa dalga boyuna sahip ışınları atmosferden geçirmekte ancak yeryüzünden yansıyan uzun dalga boyuna sahip ışınların atmosfer dışına çıkmasını engellemektedir. CO₂ gazının bu özelliği dünyadaki sıcaklığın artmasına neden olmaktadır [24-26]. Das ve ark. [27] dizel yakıt ile atık plastik yağını hacimsel olarak %10-30 oranlarında harmanlamışlar ve bir dizel motorda farklı yüklerde test ederek emisyon düzeylerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, saf dizel yakıtının içerisine karıştırılan atık plastik yağının harmanlanma oranı arttıkça tüm yüklerde dizel yakıtına göre marjinal olarak eşit veya daha yüksek CO₂ emisyonu oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Motor emisyonlarında yanmamış veya kısmi yanmış yakıt olarak bilinen HC emisyonları, silindir içi yakıt/hava oranının ve tutuşma kabiliyetinin bir göstergesidir. HC emisyonlarının oluşması yetersiz oksijen ve düşük yanma sıcaklığı sonucunda silindir içerisindeki yanmanın tam olarak tamamlanamamasının bir göstergesi olarak bilinmektedir. Dizel motorlarda HC emisyonu tam yanmanın gerçekleşmemesi ve dolgu viskozitesine bağlı olarak oluşan bir emisyon türüdür. HC emisyonlarının oluşumu; yakıtın tutuşma gecikmesi, yanma odasının oksijen oranı, yakıtın buharlaşması ve sıcaklıklardan kaynaklanabilmektedir. Motorun zengin karışımli çalışma bölgelerinde özellikle HC emisyonlarında bir artış yatkınlığı gösterdiği bilinmektedir [20, 28, 29]. Yanmanın gecikme durumu, dizel ile atık plastik yağının karıştırılması, yakıt için yetersiz hava-yakıt oranı ve plastik piroliz yağının (PPO) dizele oranla biraz daha düşük viskozitesinden kaynaklanan püskürtme karakteristiği olasılığı, yanmamış HC emisyonlarına neden olabilmektedir. Bu kapsamda, Mangesh ve ark. [30] çalışmalarında, %50 motor yükünde dizel yakıtına eklenen %5 PPO'nun yanmamış HC değerini dizel yakıtınınkinden %30, %10 PPO'nun %100 ve %15 PPO'nun ise %123 daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Motor yükünün en yüksek seviyeye getirilmesi durumunda ise dizel yakıtına ilave edilen %5 PPO'nun dizel yakıtınınkinden %35, %10 PPO'nun %80 ve %15 PPO'nun %90 daha yüksek yanmamış HC değerine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Tüm motor yükleri dikkate alındığında da atık plastik piroliz yağının HC emisyonlarını artırdığını, bu durumun doymamış çift bağ bileşikler ve daha yüksek karbon sayılı bileşiklerin kolay yanıcı olmadıklarına ve sonuç olarak egzozdaki HC emisyonlarının artmasına yol açtığını bildirmişlerdir.

NO₂ gazı keskin bir kokuya ve koyu bir renge sahiptir. Bu gazın düşük miktarları bile akciğere ve dokulara zarar verebilmektedir. Kimyasal bir yapıya sahip olan bu gazın işletme ortamında etkisiz olduğu ve müsaade edilen maksimum konsantrasyon değerinin 9 mg/m² olduğu bilinmektedir. NO_x ise motor silindiri içerisinde sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde, özellikle kıvılcımın (alevin) olduğu bölgeden önce meydana gelen bir kimyasal reaksiyon ürünlerinin toplamıdır. Dizel yakıtının sıkıştırma basıncı etkisiyle hava ile yanması sonucu kimyasal eşitlik 5'teki ürünler atmosfere salınmaktadır [31].



NO_x oluşumunu başlatan ana reaksiyonlar ise eşitlikler 6, 7 ve 8'de verilmiştir [32].



Mohan ve ark. [33] çalışmalarında; atık plastik yağı, dizel yakıtı, %20 atık plastik yağı + %80 dizel yakıtı ve %40 atık plastik yağı + %60 dizel yakıtı

örneklerini sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda sabit sıkıştırma oranı (17,5) ve yakıt enjeksiyon basıncı (210 bar) koşullarında farklı enjeksiyon zamanlarında (17,5°, 20,0°, 22,5° ve 25,0°) test etmişlerdir. Sonuç olarak, geleneksel dizel yakıtı, tüm motor çalışma koşullarında karışım yakıtlardan daha yüksek bir NO_x seviyesi sergilediğini, bu durumun NO_x seviyelerinin yükselişini etkileyen adyabatik alev sıcaklığı, tepki süresi ve oksijen konsantrasyonuna bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Buna karşın test motorunda %20 atık plastik yağı + %80 dizel yakıtı kullanılması durumunda daha yüksek NO_x meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Yüksek ısı salımı hızının getirdiği yüksek silindir sıcaklığı ve %20 atık plastik yağı + %80 dizel yakıtı karışımında ki aşırı oksijen varlığı, yüksek NO_x seviyesinin kaynağı olabileceğini rapor etmişlerdir. Ayrıca bu test yakıtının 17,5°, 20,0°, 22,5° ve 25,0° yakıt enjeksiyon zamanlaması koşullarında NO_x seviyeleri sırasıyla 925,39, 1195,2, 1151,3 ve 1685,8 ppm ve saf dizel yakıtı için ise 821,98, 897,14, 1121,2 ve 1604,7 ppm olarak ölçüldüğünü belirtmişlerdir. Sonuçta, yüksek enjeksiyon zamanının daha fazla miktarda NO_x emisyonuna yol açtığının altını çizmişlerdir.

4. Sonuç

Plastikler; hafif, kolay ulaşılabilir, ucuz, çok yönlü kullanım alanının olması gibi çeşitli özellikleri sayesinde her alanda fazlasıyla kullanılmaktadır. Dünya genelinde plastik ürünlere olan talep yılda yaklaşık olarak %5 artmaktadır. Plastik ürünleri genellikle tek veya birkaç kez gibi kısa kullanım ömrüne sahiptirler. Bir araştırma makalesinde, Avustralya'da tüketilen tüm plastiklerin yaklaşık bir milyon tonunun yalnızca tek kullanımlık olduğu analiz edilmiştir. Bu tek kullanımlık atık plastiklerin %18'i geri dönüştürülmezken, %71'i çöplüklere gitmekte ve %11'i direkt çevreye zarar vermektedir [34]. Yaşamımızda birçok alanda sıklıkla kullandığımız plastik yapıların atık oranları da fazladır. Plastiklerin katma değerli ürünlere geri dönüştürülmediği zaman yakılması önemli miktarda CO₂ emisyonu (plastik atık kütlesinin üç katı kadar), NO_x ve katı partiküller gibi diğer kirleticileri oluşturmaktadır [35]. Bu yüzden atık plastiklerin kullanılabilir yeni ürünlere dönüştürülmesi önemli bir konu haline gelmektedir. Piroлиз yöntemi sayesinde atık plastiklerin yağ haline getirilerek dizel motorlarda dizel yakıt ile birlikte kullanımı sağlanmalıdır. Hem atık maddenin geri dönüşümü yapılarak çevreye verilen tahribat azaltılmakta hem de araçlar için alternatif bir yakıt elde edilebilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, 2209-B Üniversite Öğrencileri Sanayiye Yönelik Araştırma Projeleri Desteği Programı kapsamında 1139B412300175 numaralı proje olarak Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK'a maddi desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Perera, F., Ashrafi, A., Kinney, P., & Mills, D. (2019). Towards a fuller assessment of benefits to children's health of reducing air pollution and mitigating climate change due to fossil fuel combustion. *Environmental Research*, 172, 55-72.
- Guan, Q. F., Yang, H. B., Zhao, Y. X., Han, Z. M., Ling, Z. C., Yang, K. P., ... & Yu, S. H. (2021). Microplastics release from victuals packaging materials during daily usage. *EcoMat*, 3(3), e12107.
- Law, K. L., Starr, N., Siegler, T. R., Jambeck, J. R., Mallos, N. J., & Leonard, G. H. (2020). The United States' contribution of plastic waste to land and ocean. *Science advances*, 6(44), eabd0288.
- Jaiganesh, J. J., Prakash, R., & Krishnan, M. G. (2024). Exploring the Synergistic Potential of Prosopis Juliflora and Waste Plastic Oil Biodiesel through Investigation of Performance, Combustion, and Emission in a CRDI Engine: A Shift towards Sustainable Fuel. *Process Safety and Environmental Protection*, 184, 720-735.
- Auti, S. M., & Rathod, W. S. (2021). Effect of hybrid blends of raw tyre pyrolysis oil, karanja biodiesel and diesel fuel on single cylinder four stokes diesel engine. *Energy Reports*, 7, 2214-2220.
- Zhu, H., He, D., Duan, H., Yin, H., Chen, Y., Chao, X., ... & Gong, H. (2023). Study on coupled combustion behaviors and kinetics of plastic pyrolysis by-product for oil. *Energy*, 262, 125452.
- Bayramoğlu, K., & Nuran, M. (2024). Energy, exergy, sustainability evaluation of the usage of pyrolytic oil and conventional fuels in diesel engines. *Process Safety and Environmental Protection*, 181, 324-333.
- Ndiaye, N. K., Derkyi, N. S. A., & Amankwah, E. (2023). Pyrolysis of plastic waste into diesel engine-grade oil. *Scientific African*, 21, e01836.
- Behçet, R., & Eroğlu, A. (2021). Malatya ilindeki atık plastiklerin dizel motor yakıtı olarak değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 563-574.
- Mohan, I., Yao, Z., Das, A. K., Prakash, R., & Kumar, S. (2023). Performance, emission and combustion characteristics of liquid fuel produced through catalytic co-pyrolysis of waste LDPE and Pongamia pinnata seeds: An experimental investigation in CI engine. *Results in Engineering*, 20, 101499.
- Faisal, F., Rasul, M. G., Chowdhury, A. A., Schaller, D., & Jahirul, M. I. (2023). Uncovering the differences: A comparison of properties of crude plastic pyrolytic oil and distilled and hydrotreated plastic diesel produced from waste and virgin plastics as automobile fuels. *Fuel*, 350, 128743.
- Radhakrishnan, K., Kumar, P. S., Rangasamy, G., Perumal, L. P., Sanaulla, S., Nilavendhan, S., ... & Saranya, K. (2023). A critical review on pyrolysis method as sustainable conversion of waste plastics into fuels. *Fuel*, 337, 126890.
- Eraslan, Ü. (2021). Farklı türden atıkların pirolizi sonucu elde edilen pirolitik yağın

- yanma veriminin ve emisyon değerlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Doğan, S. (2019). Kamışın (*Phragmites australis*) pirolizi ve piroliz ürünlerinin değerlendirilebilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Zhao, B., O'Connor, D., Zhang, J., Peng, T., Shen, Z., Tsang, D. C., & Hou, D. (2018). Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. *Journal of Cleaner Production*, 174, 977-987.
- KAYAN, A., & KÜÇÜK, A. (2020). Plastik kirliliğin çevresel zararları ve çözüm önerileri. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(2), 403-427.
- Mateo, W., Lei, H., Villota, E., Qian, M., Zhao, Y., Huo, E., ... & Huang, Z. (2020). Synthesis and characterization of sulfonated activated carbon as a catalyst for bio-jet fuel production from biomass and waste plastics. *Bioresource technology*, 297, 122411.
- Olam, M. (2019). Atık plastiklerin mikrodalga ve termal yöntemlerle pirolizi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Akkuş, C. (2020). Bir dizel motorda hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak özgül yakıt tüketimi ve emisyonlar açısından piston çanak geometrisinin optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Uçar, M., Kocagul, M., Tanyeri, B., & Fırat, M. (2024). Dizel motorlarda benzin ve atık araç lastiklerinden elde edilen pirolitik yağın dizel yakıt ile karışımlarının araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 36(1), 97-104.
- Şimşek, S. (2020). Pirolize edilmiş lastik yağı kullanılarak elde edilen yakıtın tek silindirli dizel motor performans ve emisyonlara etkisi. *Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi*, (8), 28-36.
- Eroğlu, A. (2019). Malatya'daki atık plastiklerden piroliz yöntemiyle alternatif yakıt üretilmesi ve içten yanmalı bir motorda yakıt olarak kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Zhao, B., Wang, H., Yao, Z., Alfarraj, S., Alharbi, S. A., Krishnan, R., ... & Brindha-devi, K. (2022). Processing and utilization of the solid plastic waste oil as the sustainable substitute for fossil fuel for the CI engine from microwave assisted pyrolysis process. *Fuel*, 327, 125191.
- Gürbüz, H. (2021). Hidrojen enerjisi ve PEM yakıt hücresi sistemi. *Modern Mühendislik Yöntemleri ve Uygulamaları*, Editör: Ordu, M., İKSAD Publishing House, Ankara.
- Kamkeng, A. D., Wang, M., Hu, J., Du, W., & Qian, F. (2021). Transformation technologies for CO₂ utilisation: Current status, challenges and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 409, 128138.
- Demirtürk, D. (2021). Sürdürülebilir ulaşımda sera gazı etkisini azaltmaya yönelik

çalışmalar. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1080-1092

- Das, A. K., Hansdah, D., Mohapatra, A. K., & Panda, A. K. (2020). Energy, exergy and emission analysis on a DI single cylinder diesel engine using pyrolytic waste plastic oil diesel blend. *Journal of the Energy Institute*, 93(4), 1624-1633.
- Solmaz, H., Sürer, E., Yılmaz, E., Calam, A., & Ipci, D. (2023). Investigation of the effect of carbon nanotube addition to diesel-biodiesel blend on engine performance and exhaust emissions. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(2), 1055-1064.
- Gücer, F., Temizer, İ., Cihan, Ö., & Kocagul, M. (2021). Direkt enjeksiyonlu dizel bir motorda dietil-eter/etanol/motorin karışımlarının egzoz emisyonları üzerindeki etkileri. *Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2(2), 61-69.
- Mangesh, V. L., Padmanabhan, S., Tamizhdurai, P., & Ramesh, A. (2020). Experimental investigation to identify the type of waste plastic pyrolysis oil suitable for conversion to diesel engine fuel. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119066.
- Akolaş, H. İ., Kaleli, A., & Bakırcı, K. (2020). Dizel motorlarda EGR gazlarının soğutulmasında harici elektronik kontrollü soğutma stratejisinin BSFC ve NOx emisyonlarına etkisi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(3), 1219-1230.
- Agarwal, D., Singh, S. K., & Agarwal, A. K. (2011). Effect of exhaust gas recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of a constant speed compression ignition engine. *Applied Energy*, 88(8), 2900-2907.
- Mohan, R. K., Sarojini, J., Ağbulut, Ü., Rajak, U., Verma, T. N., & Reddy, K. T. (2023). Energy recovery from waste plastic oils as an alternative fuel source and comparative assessment of engine characteristics at varying fuel injection timings. *Energy*, 275, 127374.
- Faisal, F., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., & Chowdhury, A. A. (2023). Waste plastics pyrolytic oil is a source of diesel fuel: A recent review on diesel engine performance, emissions, and combustion characteristics. *Science of The Total Environment*, 886, 163756.
- Thiounn, T., & Smith, R. C. (2020). Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. *Journal of Polymer Science*, 58(10), 1347-1364.



Bölüm 4

GÜNEŞ PANELLERİNDE TOZLANMA ETKİSİ VE TEMİZLEME YÖNTEMLERİ

Dinçer AKAL¹

Giriş

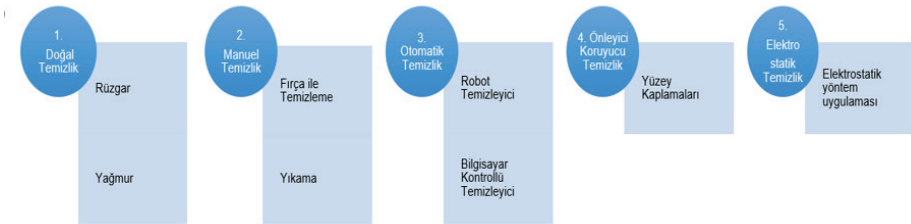
Günümüz şartlarında pek çok güneş enerji santrallerinde, işyerlerinde ve küçük kurulumların yapıldığı evlerde kullanılan güneş panelleri düzenli olarak temizlenmemektedir. Genellikle güneş enerji santrallerinde dışarıdan hizmet satın alınarak profesyonel temizlik firmaları panel temizliğini yapmaktadır. Düzenli olarak temizlenmeyen fotovoltaik panellerin verimi ve kullanım ömrü de azalmaktadır. Güneş panelleri yüzeylerinde oluşan her türlü yüzey kirliliği ve tozlanma sistem verimliliği olumsuz etkilemektedir. Tozlanma ve kirlenme oluşumu engellenmez ise, günümüz şartlarında üretilen fotovoltaik panellerin enerji dönüşüm verimliliği zaten düşük seviyelerde iken (%20) daha da azalmasına sebep olacağı bilinmelidir. Bu olumsuz durum enerji üretimin azalmasına ve kurulum için harcanan yatırımın amortisman süresinin uzamasına sebep olacaktır. Yapılan araştırmalarda kirlilik ve tozlanma miktarına bağlı olarak fotovoltaik hücre performansının %85 oranına kadar azaldığı ifade edilmektedir. Bu nedenle sistem üzerinde meydana gelebilecek olası problemlerin azaltılması için fotovoltaik panellerin düzenli olarak temizlenmesi önerilmektedir[1,2].

Literatürde yapılan pek çok araştırmada panellerin üzerinde biriken tozlanmanın sistem verimini önemli ölçüde azalttığı fotovoltaik hücre sıcaklığını yükselttiği hatta fiziksel hasarlara dahi sebep olduğu belirtilmektedir. Güneş panellerdeki tozlanma için en çarpıcı örnek ise, Dünyanın en tozsuz ülkelerinden birisi olarak bilinen İngiltere’de, fotovoltaik panellerin 30 gün temizlenmemesi halinde güneş ışınımını %5-6 oranında düşürdüğü ifade edilmektedir. Farklı bir araştırmada ise Sudan bölgesindeki güneş enerji santrali kurulumlarında kullanılan fotovoltaik panellerde oluşan tozlanmanın İngiltere’den 9 kat daha fazla olduğu belirtilmektedir[3,4]. Ayrıca güneş panelleri düzenli olarak temizlenmediği takdirde kullanılmaz duruma dahi gelebileceği belirtilmiştir[5].Tüm bunların yanında fotovoltaik hücrelerde çok düşük miktarda tozlanma oluşumunda dahi (1 m² yüzey alanında yaklaşık 1 gr toz oluşumu) bir yıllık üretimde kWp/ 40 € kayıp anlamına gelmektedir[6,7].Tozlanma ve kirlenme güneş enerji sistemlerindeki fotovoltaik panellerin performansını önemli derecede etkileyen fakat insanlar tarafından daha az bilinen bir kavramdır[8].Ayrıca fotovoltaik hücre üzerinde oluşan tozun güneş ışınım geçirgenliğini de olumsuz etkilediği bilinmelidir. Küçük bir miktarda toz partiküllerinin güneş paneli üzerindeki fotovoltaik hücre üzerinde birikmesi halinde ışınım geçirgenliğini % 11 azalttığı ifade edilmektedir[9].Fotovoltaik panel modül performansını önemli derecede etkileyen bir diğer dış faktörde kuş dışkıları (pislikleri)dır. Kuşlar, insanlardan uzak daha sakin yerleri tercih ettikleri için ev, işyeri çatı kiremitleri, baca, anten ve güneş panellerine konma eğilimleri vardır. Bu durum güneş panellerinin üzerinde gölgeleme ve fotovoltaik hücre yüzeylerinin zarar görmesine sebep olmaktadır. Güneş panelleri üzerindeki kuş dışkısı sıvı formda olduğu

için bir miktar yayılır ve güneş ışınımına önemli derecede engel olur[10]. Kuş sayısının artması güneş panelleri üzerindeki gölgelenmeyi ve kuş dışkılarının (pisliklerinin) miktarını da arttırmaktadır. Tüm bunların yanında kuş dışkısı ürik asit ihtiva ettiği için temizlenmeyen güneş panel yüzeylerindeki fotovoltaik hücrelerde zamana bağlı olarak aşınmalar meydana gelerek modül performansını azaltmaktadır. Yapılan pek çok araştırmada güneş panellerinin kurulduğu bölgedeki iklim şartlarına bağlı olarak tozlanma ve kirlenmenin mevcut verimi %1 -%80 arasında azaldığı ifade edilmektedir [11]. Bu oran çok ciddi şekilde elektrik üretimini etkilediği için araştırmacılar orta düzeydeki tozlanma bölgelerinde haftada bir kez panel temizliğini tavsiye etmektedirler. Ayrıca güneş panelleri el fırçası ile temizlenirse insan gücüne bağlı olarak oluşan baskı kişiden kişiye değişeceği için fotovoltaik yüzeylerde çizilmeler meydana gelecek ve fotovoltaik panellerin kullanım ömrü azalacaktır[11]. Sonuç olarak günümüz şartlarında güneş panellerinin el fırçası ile temizlenmesi için kalifiye işçi bulmak hem zor hem de çatı uygulamalarında tehlike arz etmektedir. Bu nedenle güneş panellerinin temizlenmesi için ekonomik, riski az olan, sürdürülebilir ve etkin temizlik yöntemlerinin geliştirilmesi gereklidir.

Güneş Panellerinde Toz Oluşumunu Önleme ve Temizleme Yöntemleri

Güneş panellerinde tozlanmanın sonucunda meydana gelen enerji kayıplarının azaltılması için pek çok toz önleyici ve temizleme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1. Güneş panellerinde tozlanmanın önlenmesi ve temizleme yöntemleri[12].

Güneş Panellerinde Doğal Temizlik (Rüzgar ve Yağmur etkisi ile temizlik)

İklim ve hava koşullarına bağlı olarak güneş panellerinin enerji dönüşüm verimliliği ve yüzeylerde oluşan kirlenme değişkenlik göstermektedir. Güneş panelleri düzenli olarak temizlenmezse yüzeylerde biriken tozlanma ve kirlenme ile birlikte güneş ışınım kayıpları daha da artacaktır. Bu nedenle fotovoltaik hücrelerde enerji dönüşümündeki kayıpların azaltılması için düzenli olarak temizlik yapılması gerekmektedir. İklim şartlarına bağlı olarak rüzgar ve yağmur etkisi ile güneş panelleri temizlenebilmektedir.

Doğal temizlik en basit ve kolay yöntemler olarak kabul edilmektedir. Rüzgar hızı arttıkça fotovoltaik yüzeyler üzerinde toz birikimi engellenmektedir ancak bu durum konum ve mevsimsel özelliklere bağlı olarak değiştiği için sürdürülebilir bir yöntem değildir. Bu nedenle doğal temizlik ile toz birikimini azaltmak ve rüzgar etkisinden faydalanmak amacıyla güneş enerjisi dönüşüm sistemlerinin zeminden daha yüksek yerlerde yapılması önerilmektedir[12]. Ayrıca fotovoltaik panel eğim açısının artması ile yüzeylerde toz birikiminin azaldığı ve yağmurla birlikte doğal temizliğe olumlu etkisi olduğu bilinmelidir. Şekil 2 de güneş panellerinin kurulum yapıldığı alanlardaki tozlanma ve kirliliğin doğal temizlik yöntemi ile giderilmesi görülmektedir. Buna benzer çöl alanlarında meydana gelen tozlanma ile fotovoltaik panel çıkış gücünde çok daha büyük enerji kayıplarına sebep olduğu bilinmektedir[14]. Tüm bunların yanında tozlanma oluşuna bağlı olarak fotovoltaik panel yüzeylerindeki bazı noktalarda meydana gelen yüksek sıcaklık artışı ile enerji dönüşüm sistemindeki bazı bileşenlerin arıza yapmasına sebep olduğu açıklanmıştır[15].



Şekil 2. Güneş panel yüzeylerinde arazi şartlarında oluşan tozlanma [13].

Şekil 3 te endüstriyel kuruluşlara ait çatı kurulumlarında fotovoltaik panel yüzeylerinde oluşan tozlanma görülmektedir. Burada meydana gelen toz türü ve tozlanma miktarı kurulum yapılan bölgedeki çevresel şartlara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ev ve işyeri çatı kurulumlarında daha küçük kapasiteli dönüşüm santralleri gerçekleştirirken arazi ve çöl alanlarında çok daha büyük kurulumlar yapılmaktadır. Bu nedenle tozlanma ile meydana gelen enerji kayıplarının engellenmesi büyük önem arz etmektedir.



Şekil 3. Güneş panel yüzeylerinde endüstriyel çatı kurulumlarında oluşan tozlanma [13].

Şekil 4 te yağmur etkisi ile fotovoltaik yüzeylerin doğal olarak temizlenmesi görülmektedir. Bu doğal temizlik etkisi kurulumun yapıldığı yerde-

ki iklim şartlarına ve fotovoltaik panel eğim açısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.



Şekil 4. Yağmur etkisi ile güneş panellerinin doğal temizlenmesi[16].

Manuel Temizlik (Fırça ile temizlik ve yıkama)

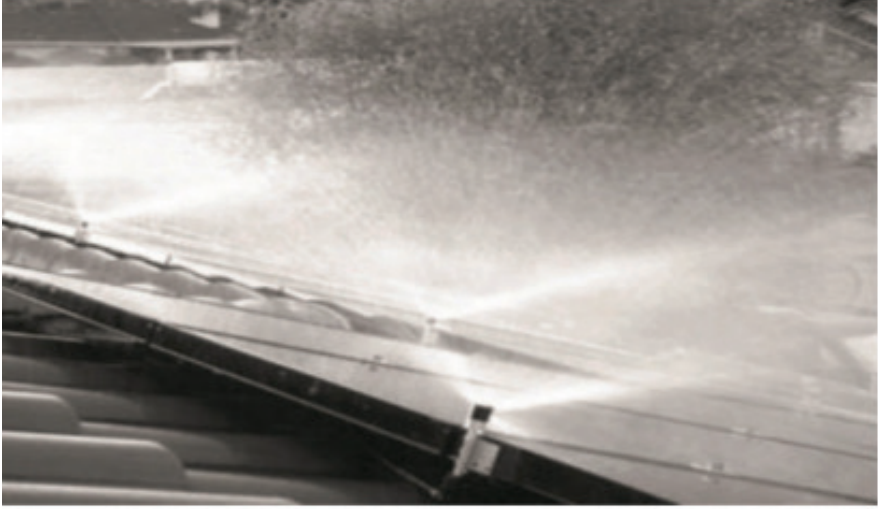
Güneş panellerinde manuel olarak bilinen elle temizlik; toz, kir ve yüzeyi arındırmak için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem de fotovoltaik hücre yüzeylerini temizlemek için yumuşak tüylü fırçalar tercih edilmektedir. Etkili bir temizlik yöntemi olmasına rağmen bazı riskleri barındırmaktadır. Temizliğin etkisi uygulamayı yapan personelin bilgisine, uygulama becerine ve yüzeye uyguladığı basınç kuvvetine göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle manuel temizlik uygulamasında kalifiye işçi ve yüzey fırçaları önem kazanmaktadır. Şayet yeterince su kullanılmazsa manuel temizlik esnasında fırça yüzeylerinde biriken toz ve pislikler fotovoltaik hücrelerin yüzeylerinde çizilmelere sebep olmaktadır. Bu durum hem fotovoltaik hücrenin dönüşüm verimliliğini hem de hücrenin kullanım ömrünü azaltmaktadır. Manuel temizlik etkili olmakla birlikte çok daha fazla zaman ve emek gerektirmektedir. Ayrıca güneş panelleri üzerinde biriken küçük parçacıkların temizleme esnasında kullanılan kimyasal sıvılar ve basınç etkisi ile fotovoltaik yüzeylere fiziksel zararlar verdiği tartışılmaktadır[16].Şekil 5 te manuel fırça ile temizlik ve yıkamada meydana gelebilecek olası riskler görülmektedir.



Şekil 5. Güneş panellerinin fırça ile manuel temizlenmesi ve yıkama [17].

Manuel temizlik yönteminde, doğal temizliğe göre daha etkili sonuçlar alınmasına rağmen kalifiye eleman gerektirdiği için hem daha pahalı hem de daha fazla zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Kısacası manuel temizlik ekonomik bir yöntem değildir ve uygulamalarda bazı olumsuzluklara sebebiyet vermektedir. Ayrıca fotovoltaik panel yüzeylerine verilen fiziksel zararlar dışında insan faktörüne bağlı olarak iş güvenliği riski taşımaktadır.

Şekil 6 da su fıskiye sistemi ile güneş panellerinin yıkanarak temizlenmesi görülmektedir. Bu sistemde güneş panelleri belirli periyotlarla yıkandığı için daha yüzeyler daha iyi temizlenmekte ve daha verimli sonuçlar alınmaktadır. Ancak yüksek miktarda su tüketimine neden olan bu sistem özellikle suyun kısıtlı olduğu bölgelerde tercih edilmemelidir. Yaşam döngüsü içinde kaynaklarının korunması, çevre ve sürdürülebilirlik bakımından yıkama ile temizleme yönteminde daha az su tüketilmesi büyük önem arz etmektedir.



şekil 6. Güneş panellerinin su fıskiye sistemi ile yıkanması[17].

Otomatik Temizlik (Robot ve bilgisayar kontrollü temizleyici)

Otomatik güneş paneli temizleme sistemlerinde su bazlı robotlar, susuz robotlar, otomatik su püskürtme fıskiyeleri ve diğer bilgisayar kontrollü cihazlar kullanılmaktadır. Bu yöntemde bilgisayar kontrollü (Mikro denetleyici kontrollü) mekanik cihazlar kullanarak temizlik süreci belirli bir algoritma ile otomatik hale getirilmektedir. Bu sayede fotovoltaiik panellerde tozlanma ve kirlenmeye bağlı kayıplar minumum seviyeye indirilirken temizlik maliyetleri de daha ekonomik hale gelmektedir. Ayrıca susuz robot kullanımı ile su kaynakları korunarak, ekonomik ve sürdürülebilir bir yaşam döngüsü elde edilmektedir[12].şekil 7 da tam otomatik bir temizleme robotu görülmektedir.

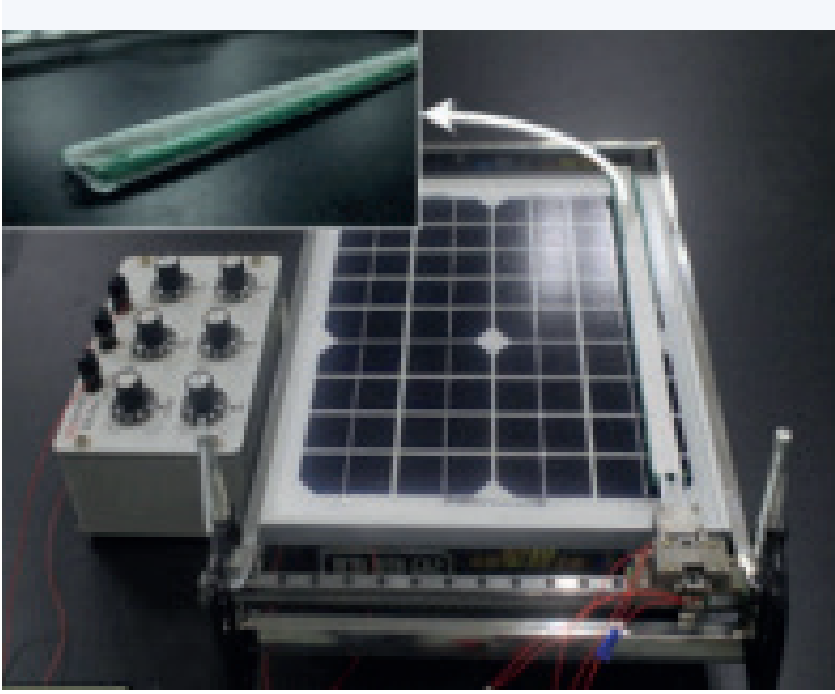


Şekil 7. Güneş panellerinin otomatik robot ile temizlenmesi [17].

Son zamanlarda, küçük veya büyük ölçekli pek çok güneş enerji santral-lerinde otomatik robot temizleme sistemlerinin kullanımı daha yaygın hale gelmiştir. Robot temizleyici sistemlerde otomatik kontrollü aktüatörler, motorlar, dişliler ve diğer devre elemanları kullanılmaktadır. Su kaynağının fazla olduğu bölgelerde su bazlı robot sistemler, suyun kısıtlı olduğu bölgelerde ise susuz robotlar tercih edilmektedir [12]. Temizleyici robotlar, sadece belirlenen algoritmada programlanarak çalıştırıldıkları için daha yüksek verim elde edilmektedir.

Bilgisayar kontrollü temizleyici, güneş panellerinin temizlenmesi için insan müdahalesine ihtiyaç duyulmadan devreye giren sistemdir. Genellikle yıkama için su ve temizlik maddelerini içeren bir otomasyondan oluşmaktadır. Temizleme döngüsü için programlanabilir mikro denetleyiciler kullanılmaktadır [16]. Mikro denetleyiciler, hava koşullarındaki değişikliklere ve geliştirilen programa bağlı olarak çalışmaktadır.

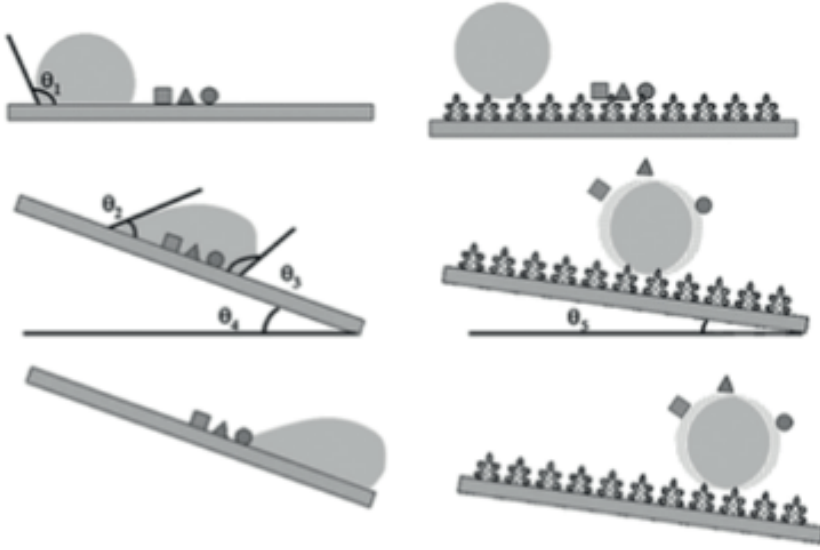
Ayrıca güneş panellerinin tozlanmasına bağlı olarak şekil 8 de görüldüğü gibi, fotovoltaik yüzeylerin temizlenmesi için sistem üzerinde bir silecek kullanılarak doğrusal bir piezoelektrik aktüatör tarafından hareket ile de temizlik yapılabilmektedir. Temizleme sisteminde kullanılan Piezoelektrik aktüatörün hafif ve kompakt yapısı sayesinde daha yüksek enerji kazancı sağlanmaktadır[16-18].



Şekil 8. Güneş panellerinin mikro denetleyici kontrollü aktuatör ile temizlenmesi [17].

Önleyici Koruyucu Temizlik (Yüzey kaplamaları)

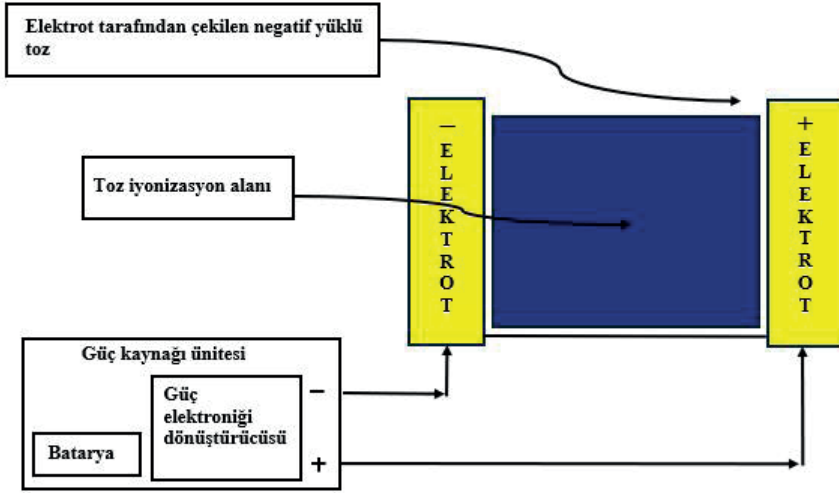
Bu yöntem, güneş panellerinin kirlenmesini önlemek için fotovoltaik yüzeylerde bariyer görevi yapacak hidrofobik tabakanın, boyanır gibi geliştirilen özel bir malzeme ile kaplanması esasına dayanmaktadır. Hidrofobik tabaka sayesinde yüzeyde daha düşük bir ıslaklık elde edilmektedir[19]. Bu sayede su damlacığının yüzeye yapışması engellenmiş olacaktır. Suyun fotovoltaik yüzeyden ayrılması hidrofobik tabakanın mikro yapısına, damlacığın sıçrama sayısına ve damlacığın temas açısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir[19]. Şekil 9 da hidrofobik yüzeyin kendi kendini temizleme prensibi görülmektedir. Böylece su damlacığı yüzeyden ayrılırken beraberinde tozu da toplayarak kendi kendini temizlemektedir.



Şekil 9. Hidrofobik yüzeyin kendi kendini temizlemesi ve su damlacığının hareketi [19].

Elektrostatik Temizlik(Elektrostatik yöntem)

Elektrostatik yöntem kurak bölgelerde güneş panelleri üzerinde oluşabilecek yüksek toz birikimini engelleyen yeni teknoloji bir temizleme sistemidir. Elektrostatik devresinde şeffaf bir elektro-dinamik ekran (EDS: Electro-Dynamic Screen) kullanılmaktadır[12].Daha önceki başlıklar altında açıklanan toz giderme yöntemleri, fırçalama veya yüksek su yoğunluğu uygulaması gibi doğrudan temas nedeniyle güneş paneli üzerinde bulunan fotovoltaik yüzeylerin çizilmesine ve farklı fiziksel hasarlara neden olabilmektedir. Bu yöntemde temassız bir temizleme yapıldığı için fiziksel hasarların meydana gelmesi mümkün değildir. FV panelleri temizlemek için su yerine elektrostatik kuvvet kullanılır. Elektrostatik temizleme bir otomasyona bağlı olarak çalıştığı için fiziksel olarak bir insan gücü gerekli değildir. Yöntemin çalışması, elektrostatik yük kuvveti kullanılarak toz partiküllerinin yüklü elektroda çekilmesi prensibine dayanmaktadır. Negatif yüklü elektrotlar, tozların üzerinde negatif bir yük oluşturur ve sonrasında bu toz parçacıkları pozitif elektrotlar tarafından çekilerek fotovoltaik panel yüzeyinden uzaklaştırılır[12]. Böylece otomatik olarak fotovoltaik panellerin temizlenmesi ve tozlanma engellenmiş olmaktadır. Şekil 10 da elektrostatik temizleme sisteminin çalışma prensibi görülmektedir. Bu sistemin yatırım maliyeti yüksek ve nem oranı düşük olan bölgelerde uygulanması gerekmektedir.



Şekil 10. Elektrostatik temizleme yöntemi çalışma prensibi [12].

Günlük Tozlanma Kaybının Hesabı ve PV Panellere Etkisi

Günlük Tozlanma Kaybının Hesabı

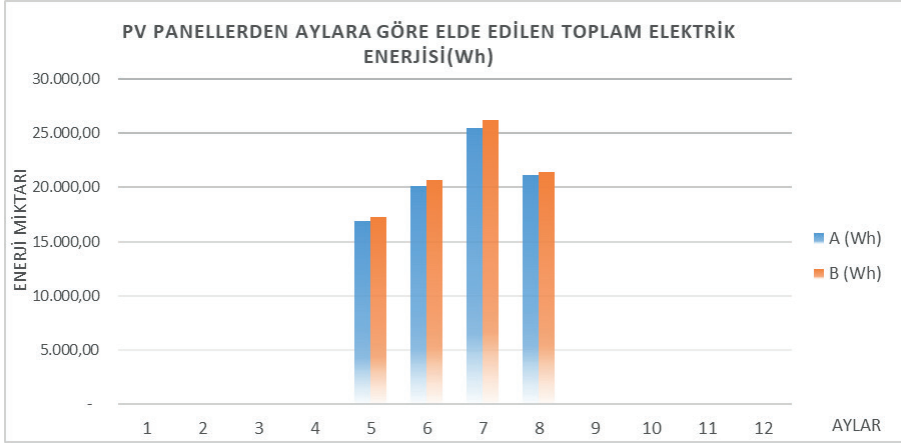
Günlük tozlanma kaybının ve toz birikiminin hesaplanması için, PV panel temizleme öncesi ve temizleme sonrası avometre ile akım değerleri ölçülerek eşitlik 1 ve 2 ile değerlendirilmektedir[3]. Bu ölçüme göre kısa devre akımı I_{kd} , PV panelin tozlu ve tozsuz temizlenmiş durumlarına göre ifade edilmektedir.

$$\text{Günlük tozlanma faktörü (GTF)} = \frac{I_{kd \text{ temizlenmiş}} - I_{kd \text{ tozlu}}}{I_{kd \text{ temizlenmiş}}} \times 100 \quad (\text{Eşitlik.1})$$

$$\text{Tozlanma Kaybı (TK)} = \frac{I_{kd \text{ temizlenmiş}} - I_{kd \text{ tozlu}}}{I_{kd \text{ temizlenmiş}}} \quad (\text{Eşitlik.2})$$

Şekil 11 de fotovoltaik panel yüzeyinde oluşan tozlanma ve kirliliğin aylara göre PV panellerde üretilen enerji miktarı üzerindeki etkisi görülmektedir. Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerleşkesinde 2 adet PV panelden oluşan bir güneş enerji dönüşüm sistemi kurulmuştur.

Sistem üzerindeki A. PV Paneli 4 ay boyunca hiç temizlenmezken diğer B. PV paneli 15 günlük periyotla sadece su ile manuel olarak temizlenmiştir. Şekil 11 incelendiğinde temizlenen B. PV panelinden elde edilen elektrik enerjisinin her ay daha fazla olduğu görülmektedir. Bu 4 aylık deneysel çalışma sonunda, 15 günde bir kez manuel olarak temizlenen B. PV panelinden yaklaşık %2,5 daha fazla elektrik enerjisi elde edilmiştir.



Şekil 11. Tozlanmanın PV Panellerden Elde Edilen Enerjiye Etkisi

Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada ,güneş panelleri üzerinde oluşan tozlanma ve kirliliğin etkileri detaylı olarak açıklanmıştır.Sonrasında güneş enerji dönüşüm sistemlerinde tozlanmanın engellenmesi ve fotovoltaik yüzey temizleme yöntemleri incelenmiştir.Güneş enerjisi santrallerinde elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan fotovoltaik panellerde oluşan tozlanmanın dönüşüm verimliliğini önemli derecede etkilediği görülmüştür.Ayrıca 4 ay boyunca tozlanma etkisinin incelendiği deneysel çalışmamızın sonucunda da sadece 15 günde bir kez su ile manuel olarak temizlenen PV panelden yaklaşık % 2,5 daha fazla elektrik enerjisi elde edilmiştir.

Gerek yapılan literatür araştırmasından gerekse yaptığımız deneysel çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak; küçük veya büyük her türlü güneş enerjisi dönüşüm santrallerinde kullanılan fotovoltaik panellerin düzenli olarak temizlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu nedenle güneş enerji santrallerinin kurulum maliyetleri, sistemde kullanılan tüm devre elemanları , santralin konumu ve bölgenin iklim özellikleri dikkate alınarak bu bölümde açıklanan fotovoltaik panel temizleme yöntemlerinden işletme için uygun olan seçilerek kullanılmasının her bakımdan fayda sağlayacağı anlaşılmıştır.Temizleme sistemlerinin kullanıldığı güneş enerji santrallerinde enerji verimliliğinin artması yanında sistem bileşenlerinin kullanım ömrü de uzamış olacaktır.

Güneş enerji santrallerinde,PV panellerin düzenli olarak temizlenmesi ile hem daha fazla elektrik enerjisi elde edileceği hemde sistem bileşenlerinde meydana gelebilecek arıza riskinin azalacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1]-Gürbüz,D.(2018). Kir ve Tozlanmanın Fotovoltaik Sistem Verimi Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [2]-Sulaiman, S. A., Singh, A. K., Mokhtar, M. M. M., Bou-Rabee, M. A. (2014). The International Conference on Technologies and Sustainability , Energy Procedia, 50, 50-56.
- [3]-Genç, G.(2018). Fotovoltaik Panellerde Gölge ve Toz Etkisinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [4]-Ghazi, S., Ip, K., Sayigh, A.(2013). Preliminary study of environmental solid particles on solar flat surfaces in the UK, Energy Procedia, 42, 765-774.
- [5]-Ghazi, S., Sayigh, A., Ip, K.(2014). Dust effect on flat surfaces-A review paper, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 33, 742-751.
- [6]-Dişli, F.(2018). Fotovoltaik Panellerin Üzerindeki Toz Yoğunluğunun Görüntü İşleme İle Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [7]-Kaldellis, J.K., Kokala, A.(2010). Quantifying the decrease of the photovoltaic panels energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal, Energy, 35, 4862-4869.
- [8]-Mani, M., Pillai, R.(2010). İmpact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations, Renewable and Sustainable Reviews 14, 3124-3131.
- [9]-Ghazi, S., Ip, K.(2014). The effect of weather conditions on the efficiency of PV panels in the southeast of UK, Renewable Energy, 69, 50-59.
- [10]-Sisodia, K.A., Mathur, K.R.(2019). Impact of bird dropping deposition on solar photovoltaic module performance a systematic study in Western Rajasthan, Environmental Science and Pollution Research, 26, 31119-31132.
- [11]-Kazaem, A,H., Chaichan,T.M., Al-Waeli,A.H.A .(2020). A review of dust accumulation and cleaning methods for solar photovoltaic systems, Journal of Cleaner Production, 276, 123187.
- [12]-Aljaghoub, H., Abumadi, F., AlMallahi , N.M., Obaideen, K., Hai Alami, A.(2022). Solar PV cleaning techniques contribute to Sustainable Development Goals (SDGs) using Multi-criteria decision-making (MCDM): Assessment and review, International Journal of Thermofluids, 16, 100233.
- [13]-Huang, P., Hu, G., Zhao, X., Lu, L., Ding, H., Li, J.(2022). Effect of organics on the adhesion of dust to PV panel surfaces under condensation, Energy, 261, 125255.
- [14]-Adiyoni, M.J., Said, S.A.(2013). Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules, Renewable Energy, 60, 633-636.
- [15]-Dhimish, M., Badran, G.(2020). Current limiter circuit to avoid photovoltaic mismatch conditions including hot-spots and shading, Renewable Energy, 145, 2201-2216.

- [16]-Mathew, D., Ram, P.J., Kim, Y.J.(2023). Unveiling the distorted irradiation effect (Shade) in photovoltaic (PV) power conversion – A critical review on Causes, Types, and its minimization methods,Solar Energy, 266, 112141.
- [17]-Kazem, A.H., Chaichan, T.M., Al-Waeli,A.H.A., Sopian, K.(2020). A review of dust accumulation and cleaning methods for solar photovoltaic systems, Journal of Cleaner Production, 276, 123187.
- [18]-Vasiljev, P., Borodinas, S., Bareikis, R., Struckas, A.(2013). Ultrasonic system for solar panel cleaning, Sensor and Actuators A Physical, 200, 74-78.
- [19]-Jamil, J.W., Rahman, A.H., Shaari, S., Salam, Z.(2017). Performance degradation of photovoltaic power system: Review on mitigation methods, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 876-891.