VERİMLİ VE ÇEVRECİ ENERJİ SİSTEMLERİ

EDİTÖR
Dr. Ali TEMURTAŞ

İKSAD
Publishing House

VERİMLİ VE ÇEVRECİ ENERJİ SİSTEMLERİ

EDİTÖR

Dr. Ali TEMURTAŞ

YAZARLAR

Prof. Dr. Ahmet FERTELLİ

Prof. Dr. Elif ORHAN

Arş. Gör. Aslıhan ANTER

Dr. Ahmet YAKIN

İKSAD
Publishing House

Copyright © 2023 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2023©

ISBN: 978-625-367-537-0
Cover Design: İbrahim KAYA
December / 2023
Ankara / Türkiye
Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ
Dr. Ali TEMURTAŞ……..……..……..……1

BÖLÜM 1
GRAFEN KUANTUM NOKTALAR:
MİKROSKOBİK DÜNYANIN BÜYÜLÜ YOLU
Prof. Dr. Elif ORHAN
Arş. Gör. Aslıhan ANTER …….……..……3

BÖLÜM 2
TAŞITLARDA EMİSYON AZALTICI SİSTEMLER
Dr. Ahmet YAKIN …….…….…….……..……39

BÖLÜM 3
HİBRİT VE ELEKTRİKLİ TAŞITLAR
Dr. Ahmet YAKIN …….……..……53

BÖLÜM 3
ISIL KONFOR ÜZERİNE GENEL BİR BAKIŞ
Prof. Dr. Ahmet FERTELLİ ……67

ÖN SÖZ

Enerji kaynaklarının sınırlı olmasının yanında, mevcut enerji üretim yöntemlerinin ve üretilen enerjinin kullanım şekillerinin çevreye verdiği zararlar nedeniyle enerji üretimi ve kullanımı konusu önemli hale gelmiştir. Bu bağlamda, enerji üretimi ve tüketimi konusunda çevreci yaklaşımlara olan ihtiyaç dünya genelinde kabul görmektedir. Bu kitapta farklı disiplinlerden araştırmacılar bir araya gelerek enerji verimliliği ve çevreci enerji konularındaki birikimlerini paylaşmışlardır.

Birinci bölümde (*Grafen Kuantum Noktalar: Mikroskobik Dünyanın Büyülü Yolu*) araştırmacılar geleceğin nanomalzemelerinden biri olarak kabul edilen grafen kuantum noktaları ve kullanım alanlarını detaylı olarak tanıtmaktadır.

İkinci bölümde (*Taşıtlarda Emisyon Azaltıcı Sistemler*) enerji kaynağı olarak fosil yakıt kullanılan taşıtların çevreye verdiği zararları azaltmaya yönelik sistemler tanıtılmaktadır.

Üçüncü bölümde ise (*Hibrit ve Elektrikli Taşıtlar*) enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanımının azaltılmasına yönelik geliştirilen hibrit ve elektrikli araçlar ele alınmaktadır.

Son olarak dördüncü bölümde (*Isıl Konfor Üzerine Genel Bir Bakış*) günlük ve iş hayatında verimliliği etkileyen ısıl konfor konusu ele alınmıştır.

Bu kitabın bölümleri modern dünyanın en önemli ihtiyaçlarından olan enerji konusunu farklı disiplinlerden araştırmacıların bakış açılarıyla ele almaktadır. Faydalı olması dileğiyle, iyi okumalar.

Dr. Ali TEMURTAŞ

Aralık 2023

Not: Bu kitapta yer alan bölümlerin içeriği ile ilgili bütün sorumluluk ilgili yazarlara aittir.

BÖLÜM 1

GRAFEN KUANTUM NOKTALAR: MİKROSKOBİK DÜNYANIN BÜYÜLÜ YOLU

Prof. Dr. Elif ORHAN[1]

Arş. Gör. Aslıhan ANTER[2]

DOI: https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10447749

[1] Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara, Türkiye. eliforhan@gazi.edu.tr, Orcid: 0000-0002-3949-6141
[2] Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara, Türkiye. aslihananter@gazi.edu.tr, Orcid : 0000-0002-5041-2199

GİRİŞ

Grafen kuantum noktalar, son yılların en heyecan verici nanomalzemelerinden biridir. Bu nanoskala yapılar, elektronik, optik ve fizikokimyasal özelliklerindeki benzersiz değişikliklerle, birçok bilim dalında ve endüstride geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır. Nanobilimin bu heyecan verici boyutu, disiplinler arası bir yaklaşımı gerektirerek, fizik, kimya, malzeme bilimi, biyoloji ve tıp alanlarında uzmanlaşmış araştırmacıları bir araya getirmiştir.

Bu derleme kitap bölümü, kuantum noktaları, grafen kuantum noktalarının temel özelliklerini ve çeşitli uygulama alanlarını anlamaya yönelik bir rehber sunmaktadır. Ele alınacak konular arasında optik ve elektronik özelliklerin analizi, sentez teknikleri ve karakterizasyonu gibi temel konular yer almaktadır.

Mikrosistemler (MS), başlangıçta mikro-elektro-mekanik sistemler (MEMS) olarak bilinen, aynı zamanda mikro-makinalar, mikro-dinamikler, mikro-robotlar gibi isimlerle anılır (Cima, 2011). Son 20 yıl içinde, bu alan yüksek teknolojili ve uluslararası bir alan haline gelmiş olup, şu anki ve gelecekteki önemi ve potansiyeli tartışmasızdır. Mikrosistemlerin temel özelliği, bir sistemdeki karakteristik boyutları birkaç nanometreden milimetrelere kadar olan minyatür parçacıklar veya cihazlar üretebilme yetenekleridir.

Nano yapısal malzemeler, özellikle elektronik, optoelektronik ve biyoloji alanlarında olmak üzere pek çok uygulama alanında tamamen yeni yollar açabilen, boyutları hacimli (bulk) ve moleküler boyuttaki malzemeler arasında yer alan malzemelerdir (Henglein, 1989; Kuchibhatla vd., 2007; Trindade vd., 2001). Bir katı, optik ve elektronik özelliklerin belirgin bir şekilde değiştiği bir boyut aralığında (<100 nm) ise, bu bir nano yapı olarak adlandırılabilir ve (1) iki boyutlu, örneğin ince filmler veya kuantum kuyuları, (2) bir boyutlu, örneğin kuantum teller veya (3) sıfır boyutlu örneğin kuantum noktalar (QDots) olarak kategorize edilir (Lee, 2016).

Kuantum noktalar, mikroskobik boyuttaki yapılarıyla, fotonik, elektronik ve optoelektronik alanlarda devrim niteliğinde ilerlemeler sağlamıştır (Patel vd., 2019; Wang vd., 2019). Bu gizemli parçacıklar, modern bilimin sınırlarını zorlayarak gelecekteki teknolojik yeniliklerin temelini atmıştır.

Kuantum noktaların keşfi, 1980'lerin sonu ve 1990'ların başlarında gerçekleşmiştir. İlk olarak, Louis E. Brus'un liderliğindeki bir araştırma ekibi tarafından CdSe (Kadmiyum Selenit) ve CdS (Kadmiyum Sülfür) gibi yarı iletken malzemeler üzerinde yapılan çalışmalarla bu mikro yapılar tanımlandı. 1980'lerin sonlarına doğru, bilim insanları yarı iletken malzemelerin nanokristallerini incelemeye başladılar. Bu dönemde, CdSe gibi malzemelerin nanokristallerinin floresan özellikler gösterdiği keşfedildi. 1983 yılında, Kimya Profesörü Louis E. Brus, CdSe nanokristallerini karakterize etti ve bu mikro yapıların boyutlarına bağlı olarak belirli dalga boylarında ışık emisyonu yaptığını gösterdi. Bu, kuantum noktalarının temel özelliklerinden biri olan boyuta bağımlı optik özelliklerin keşfidir (Brus, 1984). Bu çalışmaları Louis E. Brus ve arkadaşlarına (G. Bawendi, Louis E. Brus ve Alexei I. Ekimov'a) 2023 yılında Kimya dalında "*kuantum noktalarının keşfi ve sentezi*" konusuyla Nobel ödülünü kazandırmıştır (The Nobel Prize in Chemistry, 2023). 1990'ların başlarına gelindiğinde, kuantum noktaları üzerindeki araştırmalar hız kazandı. Diğer araştırmacılar da bu alanı keşfetmeye başladılar ve farklı malzemelerin kuantum noktalarını incelediler. Kuantum noktalarının çeşitli uygulama alanları, bu yapıların özelliklerinin anlaşılması ve geliştirilmesiyle birlikte keşfedildi. Bu alanlar arasında elektronik, optoelektronik, fotovoltaik, tıbbi görüntüleme, enerji depolama ve daha birçok teknolojik uygulama bulunmaktadır.

Kuantum noktalarının keşfi, nanoteknoloji ve nanobilim alanında önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilir. Bu mikro yapılar, elektronların kuantum mekaniği prensiplerine göre davranışlarının

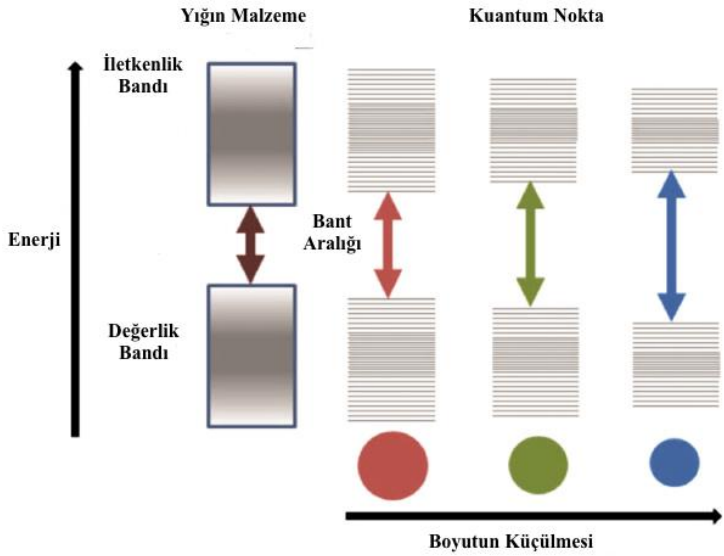
belirginleştiği boyutlardır. Bu keşif, birçok modern teknolojinin temelini atmış ve gelecekteki inovasyonlara önemli bir yol açmıştır.

Kuantum noktalar, atomik ve atom altı (sub-atomik) dünyanın derinliklerine inen bir pencere sunar. Bu yapılar, yarı iletken malzemelerin nanometre (nm) boyutundaki parçacıklarıdır ve özellikle elektronların enerji seviyelerinin kuantum mekaniği tarafından yönetildiği bir ortamda önemli rol oynarlar.

1. KUANTUM NOKTALAR

Kuantum noktalar, çapları 2 ila 10 nanometre (10-50 atom) aralığında olan yarı iletken malzemenin çok küçük parçacıkları veya nanokristalleridir (Sreenivasan M, 1981; Sigma Aldrich, t.y.). Küçük boyutlarından dolayı, bu parçacıklardaki elektronlar küçük bir alanda sıkışıp kalırlar (kuantum kutusu), ve yarı iletken nanokristalin yarıçapı, eksiton Bohr yarıçapından daha küçük olduğunda (eksiton Bohr yarıçapı, iletken bantta bulunan elektron ile valans bandında geride bıraktığı boşluk arasındaki ortalama mesafedir), enerji seviyeleri Pauli'nin dışlama ilkesine göre kuantizeleşir (Şekil 1) (Sigma Aldrich, t.y. ; Reimann & Manninen, 2002; Bawendi vd., 1990). Bu kuantize, ayrık enerji seviyeleri, bu kuantum parçacıklarını, büyük malzemelere göre daha çok atomlara benzetir ve onlara *'yapay atomlar'* lakabını kazandırır. Genellikle kristalin boyutu küçüldükçe, en yüksek valans bandı ile en düşük iletken bandı arasındaki enerji farkı artar. Bu durumda noktanın uyarılması için daha fazla enerji gereklidir ve eş zamanlı olarak kristalin temel durumuna dönmesiyle daha fazla enerji salınır; bu da yayılan ışığın kırmızıdan maviye kaymasına neden olur. Bu fenomenin bir sonucu olarak, bu nanomalzemeler, nokta boyutunu değiştirerek aynı malzemeden herhangi bir renkte ışık yayabilir. Ayrıca, üretilen nanokristallerin boyutu üzerinde mümkün olan yüksek kontrol seviyesi nedeniyle, bu yarı iletken yapılar imalat sırasında herhangi bir renkte ışık yaymak üzere ayarlanabilir (Yoffe, 2001). Şekil 1'de görüldüğü üzere kuantum noktalarda enerji seviyelerinin

ayrılması kuantum sınırlama etkisi nedeniyle olur; yarı iletken bant aralığı, nanokristalin boyutunun azalmasıyla artar.



Şekil 1: *Kuantum noktalarda enerji seviyelerinin ayrılması (Sigma Aldrich, t.y.).*

Kuantum noktalar, bileşim ve yapısına göre farklı tiplere ayrılabilirler. Temelde, çekirdek tipi kuantum noktalar, çekirdek-kabuk tipi kuantum noktalar ve alaşımlı kuantum noktalar olmak üzere üç tip kuantum nokta vardır.

1.1. Çekirdek Tipi Kuantum Noktalar

Bu nano noktalar, içinde homojen kompozisyona sahip tek bileşenli malzemeler olabilir; kadmiyum, kurşun veya çinko gibi metallerin selenitler, sülfürler veya tellüritler gibi bileşikleri, örnek olarak CdTe veya PbS. Çekirdek tipi nanokristallerin foto- ve elektrolüminesans özellikleri, sadece kristalit boyutu değiştirilerek kolayca ayarlanabilir.

1.2. Çekirdek-Kabuk Tipi Kuantum Noktalar

Kuantum noktalarının lüminesans özellikleri, elektron-deşik çiftlerinin (eksiton bozunumu) ışımalı yollar aracılığıyla rekombinasyonundan kaynaklanır. Bununla birlikte, eksiton bozunumu ayrıca ışımasız yöntemler aracılığıyla da gerçekleşebilir ve bu da floresans kuantum verimliliğini azaltır. Yarı iletken nanokristallerin verimliliğini ve parlaklığını artırmak için kullanılan yöntemlerden biri, etrafına daha yüksek bir bant aralığına sahip başka bir yarı iletken malzemenin kabuğunu büyütmektir. Daha geniş bir bant aralığına sahip bir malzemede gömülü olan bir malzemenin küçük bölgeleriyle karakterize edilen bu parçacıklara çekirdek-kabuk kuantum noktaları (CSQDs) veya çekirdek-kabuk yarı iletken nanokristalleri (CSSNc) denir. Örneğin, çekirdek olarak CdSe ve kabuk olarak ZnS içeren kuantum noktalar %50'nin üzerinde kuantum verimliliği sergiler. Kuantum noktalarını kabuklarla kaplamak, kuantum verimliliğini artırarak ışımasız rekombinasyon bölgelerini pasifleştirir ve çeşitli uygulamalar için işleme koşullarına daha dayanıklı hale getirir (Dorfs ve Eychmüller, 2006; Smith ve Nie, 2009).

1.3. Alaşımlı Kuantum Noktalar

Kristalit boyutunu değiştirerek optik ve elektronik özellikleri ayarlama yeteneği, kuantum noktalarının ayırt edici özelliklerinden biri haline gelmiştir. Bununla birlikte, kristalit boyutunu değiştirerek özellikleri ayarlamak, boyut kısıtlamaları olan birçok uygulamada sorunlara neden olabilir. Çok bileşenli noktalar, kristalit boyutunu değiştirmeden özellikleri ayarlamanın alternatif bir yolunu sunar. Homojen ve gradyan iç yapıya sahip alaşımlı yarı iletken nanonoktalar, kristalit boyutunu değiştirmeden sadece kompozisyonu ve iç yapıyı değiştirerek optik ve elektronik özelliklerin ayarlanmasına izin verir. Örneğin, 6 nm çapındaki CdS_xSe_{1-x}/ZnS kompozisyonundaki alaşımlı kuantum noktaları, sadece kompozisyonu değiştirerek farklı dalga boylarında ışık yaymaktadır (Şekil 2) (Sigma Aldrich, t.y.). Farklı bant

aralığı enerjilerine sahip iki yarı iletkeni birleştirerek oluşturulan alaşımlı yarı iletken kuantum noktaları, sadece büyük ölçekli karşıtlarının özelliklerinden değil, aynı zamanda ana yarı iletkenlerinin özelliklerinden de farklı olan ilginç özellikler sergiler. Çok küçük, yarı iletken kuantum noktalarının bu benzersiz boyut ve kompozisyonu, ayarlanabilir elektronik özellikleri, çeşitli uygulamalar ve yeni teknolojiler için bu malzemeleri son derece cazip kılmaktadır (Sigma Aldrich, t.y.).

Şekil 2: Alaşımlı 6 nm çapındaki CdS_xSe_{1-x}/ZnS kuantum noktalarının fotolüminesansı. (Sigma Aldrich, t.y.).

Kuantum noktalar, parlak, saf renklere sahip olmalarının yanı sıra geniş bir renk yelpazesinde ışık yayma yetenekleri, yüksek verimlilikleri, uzun ömürleri ve yüksek sönümleme katsayılarıyla optik uygulamalar için özellikle tercih edilen malzemelerdir. Bu malzemelere LED'ler ve katı hâl aydınlatma, ekranlar ve fotovoltaikler gibi örnekler verilebilir (Nirmal ve Brus, 1999; Sargent, 2012). Sıfır boyutlu olmaları nedeniyle kuantum noktalarının daha yüksek boyutlu yapılarına göre daha keskin bir durum yoğunlukları (density of states) vardır (Zhao ve Burda, 2012). Ayrıca, küçük boyutları elektronların daha az mesafe gitmesi anlamına gelir. Bu benzersiz elektronik özelliklerden

yararlanan uygulama örnekleri arasında transistörler, güneş pilleri, ultra hızlı tüm optik anahtarlar ve mantıksal kapılar ile kuantum hesaplama gibi birçok uygulama bulunmaktadır.

Noktaların küçük boyutu, vücutta herhangi bir yere gidebilmelerini sağlar, bu da onları tıbbi görüntüleme, biyosensörler vb. gibi farklı biyomedikal uygulamalar için uygun kılar (Medintz vd., 2005). Şu anki floresans tabanlı biyosensörler, geniş spektral genişliğe sahip organik boyalara dayanır; bu da etkinliklerini sınırlar ve ajanları etiketlemek için kısa ömürlüdür. Öte yandan, kuantum noktaları tüm spektrumu yayabilir, daha parlak olabilir ve zamanla az bir bozulmaya sahip olabilir; bu da onları biyomedikal uygulamalarda kullanılan geleneksel organik boyalara göre üstün kılar.

Daha önce de bahsettiğimiz üzere, yıllardır yarı iletken boyutlarının azaltılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır; bu da *"yapay atomlar"* veya *"kuantum noktalar"* kavramına yol açmıştır. Nanometre ölçeğinde çapları olan bu yarı iletken nanokristaller, optik ve elektronik özelliklerinde kuantum boyut etkileri sergiler. Özellikle dar emisyonlu ve foto kimyasal kararlılıkla ayarlanabilir fotolüminesans (FL) özellik gösterirler. Çekirdek-kabuk yapıları bugün birçok kuantum nokta malzeme sisteminde yaygın olarak elde edilir. Sonuç olarak, kuantum noktalar birçok cihaz ve uygulamanın aktif elemanları olarak kullanılmıştır. Bu uygulamaların birçoğu şimdi ticari olarak mevcuttur ve günlük yaşamımıza entegre edilmiştir, örneğin kuantum nokta tabanlı ekranlar verilebilir.

Artık olgun teknolojilerin bir parçası olmalarına rağmen, kuantum nokta sentezi, karakterizasyonu ve uygulamaları hala yoğun olarak araştırılan bir alandır. Orijinal kuantum nokta araştırması büyük ölçüde grup IV ve III-V bileşiklerine odaklanmışken, yıllar içinde sentezdeki ilerlemeler elementel kompozisyonu genişletmiştir. Günümüzde kuantum noktalar II-VI ve I-III-VI bileşiklerinin yanı sıra,

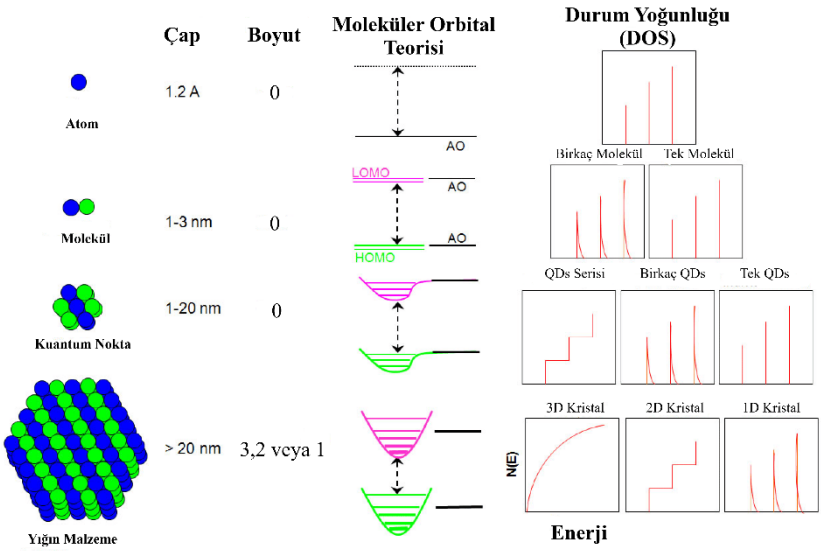
geçiş metali dikalkojenitler, perovskitler ve karbon vb. malzemelerden de sentezlenmektedir (Park vd., 2021).

Kuantum noktaları, esas olarak yarı iletken olduklarından, aynı zamanda yarı iletken nanokristaller olarak da bilinirler. Kuantum noktaları, hacimli yarı iletken malzemelerden önemli ölçüde daha küçük ve bireysel atomlardan biraz daha büyük olduklarından, özelliklerini hacimli malzemeler ile tek atomlar arasında bir yerde olacak şekilde sergilerler. Benzersiz boyutları nedeniyle, kuantum etkileri kuantum noktalarının özelliklerini yönetir.

Kuantum noktalar (QDs-Quantum dots) terimindeki *"kuantum"* kelimesi, parçacığın kuantum sınırlama etkisi sergilediği anlamına gelir. Cayuela ve arkadaşları, 2016 yılında eğer kuantum sınırlama etkisi var ise kuantum nokta teriminin kullanılması gerektiğini ifade ettiler. Bu nedenle grafen kuantum noktaları (GQDs), karbon kuantum noktaları (CQDs) ve karbon nanonoktalarını (CNDs) başarıyla ayırmak mümkün oldu çünkü grafen kuantum noktalar ve karbon kuantum noktalar kuantum sınırlama etkisi gösterirken, karbon nanonoktalar göstermemektedir.

Daha önce de belirttiğimiz üzere, kuantum sınırlama genellikle kuantum noktaların boyutunun azalmasıyla bant aralığının genişlemesine neden olur. Bir malzemenin bant aralığı, bir elektron ve bir deşiği (hole) durgun durumunda (yani, sıfır kinetik enerji ile) oluşturmak için gereken enerjidir. Bu durumda Coulomb çekici kuvvetlerin ihmal edilebilir olduğu bir mesafe kadar uzak olmalıdır. Eğer bir taşıyıcı diğerine yaklaşır ise, bağlı bir elektron-deşik çifti, yani bir eksiton, oluşturabilir. Eksitonun enerjisi, bant aralığından birkaç meV daha düşüktür. Bu eksiton, bir hidrojen atomu gibi davranır, ancak çekirdek oluşturan bir proton değil, bir deşiktir. Açıkçası, bir deşiğin kütlesi bir protonunkinden çok daha küçüktür, bu da Schrödinger dalga denkleminin çözümlerini etkiler. Elektron ile deşik arasındaki mesafe, eksiton Bohr yarıçapı (r_B) olarak adlandırılır. Şekil 3 (Bera vd., 2009;

Bera vd., 2010), enerjinin bir fonksiyonu olarak durum yoğunluklarının şematik diyagramını göstermektedir. Kuantum noktaların atomik ve yığın (hacimli-bulk) malzemeler arasında yer aldığı görülmektedir. Kuantum sınırlama etkisi, boyut yeterince küçük olduğunda, bir nanokristalin enerji seviyesi aralığı kT'yi aştığında gözlenir (burada k Boltzmann sabiti ve T sıcaklıktır) (Bera vd., 2010).



Şekil 3: Malzemelerdeki atom sayısındaki değişikliklerle kuantum durumlarının yoğunluğundaki değişikliklerin şematik gösterimi (MO: moleküler yörünge; HOMO: en yüksek işgal edilen MO; LUMO: en düşük boş MO; AO: atomik yörünge) (Bera vd., 2009; Bera vd.,)

Elektronlar, hacimli yarı iletkenlerde belirli enerji seviyelerinde bulunurlar. Düşük enerji seviyesine değerlik bandı denirken, yüksek enerji seviyesine iletkenlik bandı adı verilir. Bu iki bant arasındaki enerji farkına bant aralığı (boşluğu) denir. Bir elektron, enerjiyi absorplayarak (örneğin, ışık veya ısı ile), değerlik bandından iletkenlik bandına geçebilir. Elektron değerlik bandını terk ettiğinde, geride bir deşik bırakır. Deşik ve elektron bir araya gelerek bir eksiton oluşturur. Elektron ile boşluk arasındaki ortalama mesafe eksiton Bohr yarıçapı olarak adlandırılır. Bir yarı iletkenin boyutu eksiton Bohr yarıçapının

altına düştüğünde, bir kuantum noktası haline gelir ve kuantum sınırlaması ile karşılaşır (Zorman vd., 1995). Burada sınırlama, elektronların rastgele hareketinin kuantum noktalarında sınırlı olduğu gerçeğine atıfta bulunur. Bu, daha fazla ayrık enerji seviyesinin oluşmasına neden olur. Partikül boyutunu azalttıkça, enerji seviyeleri daha ayrık hale gelir ve bunun sonucunda bant aralığı artar. Bu bant aralığındaki artış aynı zamanda artmış bir deşik enerjisine yol açar. Bu nedenle bir kristalin boyutu, bant aralığının enerjisini belirleyebilir ve bu da yayılan fotonun enerjisini belirler (Soloviev vd., 2000). Kuantum noktaların büyük bir emilim spektrumu vardır (Bawendi vd., 1990), yani geniş bir dalga boyu aralığında uyarılabilirler; Ayrıca, boyutları salınan fotonun enerjisini kontrol eder, kullanıcı tarafından emisyon spektrumu mümkün olduğunca daraltılabilir. Mavi renkteki küçük boyutlu kuantum noktalar daha büyük bir bant aralığına sahipken, kırmızı kuantum noktalar daha küçük bir bant aralığına sahiptir.

2. KARBON TEMELLİ KUANTUM NOKTALAR

Karbon temelli malzemeler, geleneksel endüstriyel karbondan (örneğin, aktif karbon, karbon siyahı) yeni endüstriyel karbona (örneğin, karbon fiberler, grafit) ve grafen gibi yeni karbon nanomalzemelere uzanan geniş yelpazeli bir malzeme sınıfıdır. Amorf karbon, grafit, elmas, karbon nanotüpler (CNTs), grafen, grafen oksit (GO), grafen kuantum noktaları (GQDs), karbon noktalar (CN), karbon kuantum noktaları (CQDs) ve fullerenler gibi karbon temelli malzemelerin mevcut allotropları mekanik, elektriksel, optik, termal ve yapısal çeşitlilik de dahil olmak üzere benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle son zamanlarda geniş uygulama alanlarıyla enerji, sağlık ve çevre sektörlerinde de dikkat çekmektedir.

2.1. Karbon Noktalar

Karbon noktalar, genellikle organik moleküllerden oluşan karbon nanopartikülleridir. Avantajları arasında kolay sentezlenebilme, yüksek fotostabilite, geniş uyumluluk (biyomedikal uygulamalarda

kullanılabilirlik) ve çevre dostu olma özellikleri bulunur. Ayrıca, biyolojik sistemlerle uyumlu olmaları ve floresan özellikler göstermeleri nedeniyle biyomedikal görüntüleme, biyolojik etiketleme ve fotodetektörler gibi uygulamalarda kullanımları yaygındır. Dahası, çekirdek yapılarındaki farklılıklara bakılmaksızın, amino, epoksi, hidroksil ve karboksil gibi çeşitli fonksiyonel gruplarla kolayca fonksiyonelleştirilebilir (Wang vd., 2014). Yüzey fonksiyonları, karbon noktaların hidrofilik veya hidrofobik doğasına katkıda bulunur, böylece farklı çözücülerde dağılmasını ve stabil hale getirilmesini sağlar. Elektriksel iletkenliği ve optik özellikleri, kükürt, azot gibi heteroatomların sisteme dahil edilmesiyle de kontrol edilebilir (Qu vd., 2013) Bu avantajlar, karbon noktaları yarı iletken kuantum noktalarının umut vadeden bir alternatifi olarak ön plana çıkarır. Dezavantajı olarak, bazı sentez yöntemleri toksik maddeleri içerebilir ve kuantum verimliliği diğer kuantum noktalara kıyasla daha düşük olabilir.

2.2. Karbon Kuantum Noktalar

İlk kez 2004 yılında Xu ve arkadaşları tarafından tek cidarlı karbon nanotüplerinin preparatif elektroforez ile saflaştırılması sırasında kazara karbon kuantum noktalar (CQDs) elde edildi ve ardından 2006 yılında Sun ve arkadaşları tarafından grafitten lazer ablasyonu ile karbon kuantum noktaları elde edildi. Karbon temelli kuantum noktaları, bol ve ucuz olmaları nedeniyle yeni bir nano karbon üyesi olarak hızla yükselen bir malzeme haline gelmiştir. Karbon genellikle siyah bir malzemedir ve önceleri su içinde düşük çözünürlüğe ve zayıf floresansa sahip olduğu düşünülürdü. Ancak yapılan çalışmaların sayısı arttıkça iyi çözünürlük ve güçlü lüminesansları nedeniyle karbon temelli kuantum noktalara geniş bir ilgi gösterilmiş ve bu nedenle onlara *"karbon nanoışıklar"* denilmiştir (S.N. Baker ve G.A. Baker, 2010; Ahmad ve Khan, 2017).

Son birkaç yılda, karbon temelli kuantum noktalarının sentezi, özellikleri ve uygulamaları konusunda Baker S.N, (2010), Li ve

arkadaşları (2012) ve Shen ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan incelemelerle birlikte önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Geleneksel yarı iletken kuantum noktaları ve organik boyalara göre, fotolüminesans özelliğine sahip karbon temelli kuantum noktalarının yüksek (sulu ortamda) çözünürlüğü, sağlam kimyasal inertliği, kolay modifikasyonu ve foto ağartmaya karşı yüksek dirençli olduğu görülmüştür (Wang ve Hu, 2004). Karbon temelli kuantum noktalarının düşük toksisite ve iyi biyolojik uyumluluk gibi üstün biyolojik özellikleri, onların biyogörüntüleme, biyosensör ve biyomolekül/ilaç taşıma gibi alanlarda potansiyel bir malzeme olmasını sağlamıştır. (Yakusheva vd., 2022).

Karbon allotropları arasında en dikkat çeken malzemelerden biri olan grafen, bir düzlem grafit tabakası olup C-C bağı mesafesi 1.42 Å ve tabakalar arası mesafe 3.4 Å olup sp^2 hibritleşmiş hekzagonal karbon ağı oluşturur ve bu yapı istisnai fizikokimyasal özellikler sunar. Grafen, termal iletkenliği yaklaşık 5000 W/mK düzeyinde olan iki boyutlu bir kristal örgüye sahiptir. Elektron hareketliliği oda sıcaklığında 2.5×10^5 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ olup, mekaniksel dayanıklılığı (içsel) 130 GPa, Young modülü yaklaşık 1 TPa, yüzey alanı yaklaşık 2630 m^2g^{-1}'dir. Kızılötesi bölgede optik absorpsiyonları $\pi\alpha \approx$ %2.3' tür ve kimyasal olarak kolayca fonksiyonelleştirilebilirler (Efil vd., 2019; Orhan ve Yazıcı, 2020). Bu dikkat çekici özellikler grafeni, sensörler, süperkapasitörler ve fotokatalitik malzemeler gibi geniş bir uygulamayelpazesinde tercih edilen benzersiz bir malzeme haline getirir. Ayrıca, inorganik geçiş metal oksitleri (TMO) ve nanopartiküller (NP'ler) ile hibritleştirildiğinde, grafen matrisinin elektriksel ve elektronik özellikleri iyileştirilmiş olur.

Önemli bir not olarak, metoksi (tekli bağ- OCH_3), metil (tekli bağ-CH_3), hidrojen (tekli bağ-H), nitril (tekli bağ-CN) ve nitro (tekli bağ-NO_2) gibi fonksiyonel gruplara sahip dipolar molekülleri grafenle kovalent olmayan bir şekilde birleştirmek, çoğunlukla dipol

momentlerini ve elektronik/optik bant aralığını değiştirmiştir; bu da optoelektronik uygulamalarında kullanımlarını artırmaktadır. Grafenin 2D-düzlemsel yapısı ve optik fotolüminesans (PL) eksikliği nedeniyle bazı uygulamalarda kullanımı daha zor olabilmektedir. Literatür taraması, bize grafenin bant aralığının 2D grafen tabakalarını sıfır boyutlu (0D) grafen kuantum noktalarına dönüştürerek ayarlanabileceğini göstermektedir (Thangadurai vd., 2022). Sonuç olarak, grafen son dönemde yarı iletken cihazlarda, biyolojik ve enerji uygulamaları için hidrojeller ve köpükler gibi farklı formlara dönüştürülmüştür.

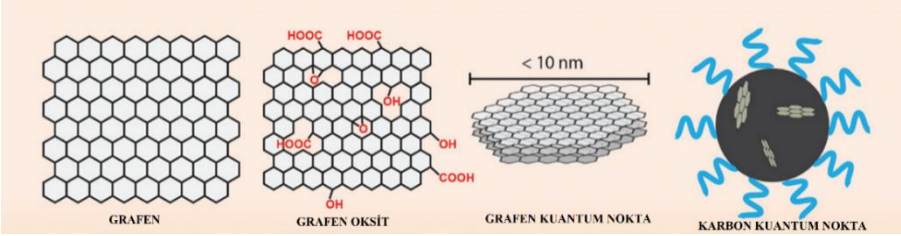
2.3. Grafen Kuantum Noktalar

Son dönemde keşfedilen umut vadeden karbon ailesi lüminesans malzemelerden biri olan grafen kuantum noktalar (GQDs), birkaç katmandan (3-10) daha az olan yanal boyuta sahip 0D grafen tabakaları olarak bilinir. Üretimlerinin kolay olması, kararlı fotolüminesans, yüksek sulu stabilite, uzun süreli florışıldama bozulmasına (photobleaching) karşı direnç, düşük sitotoksisite, mükemmel biyouyumluluk, kimyasal inertlik ve hücre zarı geçirgenliği gibi üstün özellikleri nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmiştir (Chung vd., 2021; Thangadurai vd., 2020; Berktaş vd., 2022).

Aslında, grafen temelli kuantum noktalar da dahil olmak üzere karbon temelli kuantum noktaları genellikle floresans özelliğine sahip olan sıfır boyutlu maddeler olarak sınıflandırılır. Ancak, Sun ve arkadaşları (2006) tarafından karbon kuantum noktaları ilk keşfinden ve Pan ve arkadaşları (2010) tarafından grafen kuantum noktaların keşfinden bu yana, bunların daha düşük toksisite, daha yüksek biyolojik uyumluluk, kabul edilebilir kimyasal inertlik ve çözünürlük nedeniyle yarı iletken kuantum noktalarından önemli ölçüde daha etkili oldukları bulunmuştur (Pan vd., 2010). Grafen kuantum noktaların bu üstün özellikleri, küçük boyutları, ayarlanabilir yüzey fonksiyonları, kuantum sınırlaması ve kenar etkilerinden kaynaklanmaktadır; bu da onları

tarım, elektronik, sağlık, piller ve süperkapasitörler gibi alanlarda umut vadeden adaylar haline getirir (Thangadurai vd., 2020; Tajik vd., 2020).

Grafen, grafen oksit, grafen kuantum noktaları ve karbon kuantum noktaları arasındaki yapısal farklılıkların şematik gösterimi Şekil 4'te (Chung vd., 2021) verilmiştir.



Şekil 4: Grafen, grafen oksit, grafen kuantum noktaları ve karbon kuantum noktaları arasındaki yapısal farklılıkların şematik gösterimi (Chung, vd., 2021)

Grafen kuantum noktalar, THF, DMF gibi inorganik çözücülerde yüksek çözünürlük gösterirler ve ayrıca aseton gibi çözücülerde de çözünürler. Ayrıca, DMSO ve etanol, iyi çözünürlük sağlayan ve yaygın olarak kullanılan çözücülerdir. Grafen kuantum noktaların suda çözünme potansiyeli, kenarlarına bağlı hidroksil ve karboksil içeren birimlerden kaynaklanır çünkü; grafen kuantum noktaların hidrofilikliği yüzeyin fonksiyonelleştirilmesiyle arttırılabilir ve bu nedenle kimyasal özellikler ayarlanarak kontrol edilebilir. Bununla birlikte, grafen kuantum noktaların biyogörüntüleme ve seçici ilaç taşıma sistemlerindeki uygulamaları, sulu çözücülerdeki artmış çözünürlük tarafından büyük ölçüde etkilenmiştir (Jahdaly vd., 2021).

Grafen, Andre Geim ve Konstantin Novoselov tarafından 2004 yılında Manchester Üniversitesi'nde keşfedildi. Geim ve Novoselov, ince bir karbon tabakasını yapışkan bant kullanarak soyarak ince bir grafen tabakası elde ettiler. Bu keşif ile, İspanyol bilim insanları, 2007 yılında, grafenin özelliklerinin incelenmesi ve potansiyel uygulamalarının araştırılmasıyla, grafen tabakalarını bir çözelti içinde karıştırarak küçük parçacıklar oluşturduklarını keşfettiler. Bu küçük parçacıklar, grafen kuantum noktaları olarak adlandırıldı. 2010'lu yıllarda, grafen kuantum noktalarının özellikleri ve potansiyel uygulamaları üzerine yoğun bir araştırma ve çalışma dönemi

başladı. Grafen kuantum noktalarının yüksek fotostabilite, yüksek iletkenlik, geniş enerji seviyeleri aralığı ve floresan özellikleri gibi avantajları keşfedildi. Bu özellikler, fotovoltaik hücreler, görüntüleme teknolojileri, biyolojik etiketleme, sensörler ve katalizörler gibi birçok uygulama alanında kullanılmalarını sağladı. "*İki boyutlu malzeme grafen ile ilgili çığır açan deneyler*" adlı çalışmalarıyla A.Geim ve K. Novoselov 2010 Nobel Fizik ödülünün sahibi oldular (The Nobel Prize in Physics, 2010).

Günümüzde, grafen kuantum noktaları alanında sürekli bir araştırma ve geliştirme faaliyeti devam etmektedir. Grafen kuantum noktalarının sentezi, karakterizasyonu ve uygulamaları üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Balkanloo vd., 2023; Sengupta vd., 2023; Kostramin vd., 2023). Yeni sentez yöntemleri, daha hassas kontrol yöntemleri ve daha ileri teknolojik uygulamalar için çalışmalar devam etmektedir. Grafen kuantum noktalarının gelecekte daha geniş bir kullanım alanına sahip olması beklenmektedir.

Grafen kuantum noktaları, elektronik uygulamalarda önemli bir role sahip olabilir. Grafen kuantum noktaları, grafen tabakalarının küçük parçacıklarının nano boyutlarda düzenlenmesiyle oluşan yapısal özelliklere sahiptir. Elektronik uygulamalardaki potansiyel rolü aşağıdaki şekillerde açıklanabilir:

- *Yüksek Mobilite ve Hız:* Grafen kuantum noktaları, grafenin yüksek mobilite ve hızlı elektron hareketi özelliklerini korur. Bu nedenle, yüksek hızda çalışan transistörler, sensörler ve diğer elektronik cihazlar için potansiyel bir bileşen olarak değerlendirilebilir.
- *Ayarlanabilir Bant Yapısı:* Grafen kuantum noktaları, boyutlarına bağlı olarak ayarlanabilir bir bant yapısına sahiptir. Boyutları değiştirilerek bant aralığı kontrol edilebilir. Bu, farklı enerji seviyelerinde elektronların yakalanması ve serbest bırakılması anlamına gelir. Bu özellik, yarıiletken cihazlar, optoelektronik cihazlar ve enerji depolama sistemleri gibi uygulamalarda kullanılmak üzere özelleştirilebilir cihaz tasarımlarını mümkün kılar.
- *Optoelektronik Uygulamalar:* Grafen kuantum noktaları, üstün optik özelliklere sahip olabilir ve bu nedenle optoelektronik uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin, floresans özelliklere sahip grafen kuantum

noktaları, biyolojik görüntüleme, güneş pilleri, LED'ler ve lazerler gibi alanlarda kullanılabilir.

- *Esnek Elektronik Cihazlar:* Grafen kuantum noktaları, grafenin esneklik özelliğini korur. Bu, esnek elektronik cihazların tasarımı ve üretimi için uygun bir bileşen olabilecekleri anlamına gelir. Esnek elektronik cihazlar, giyilebilir teknolojiler, esnek ekranlar ve akıllı sensörler gibi alanlarda büyük bir potansiyele sahiptir.
- *Enerji Depolama ve Dönüşümü:* Grafen kuantum noktaları, yüksek yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle enerji depolama ve dönüşüm uygulamalarında kullanılabilir. Grafen kuantum noktalarının katodik malzemeler, süperkapasitörler ve pil gibi enerji depolama sistemlerinde kullanımı araştırılmaktadır (Bandara vd., 2023; Anwer, vd., 2023)

Grafen kuantum noktalarının elektronik uygulamalardaki yeri, geniş bir alana yayılan özellikleri ve potansiyeli nedeniyle oldukça önemlidir. Bu uygulamalar, daha verimli, hızlı, esnek ve gelişmiş performansa sahip elektronik cihazların geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Bu elektriksel ve optik özellikler, grafen kuantum noktalarını elektronik cihazlar, sensörler, görüntüleme teknolojileri, güneş hücreleri, katalizörler ve biyomedikal uygulamalar gibi birçok alanda değerli yapar. Bu özellikler, grafen kuantum noktalarının gelecekte daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlar ve yeni teknolojik gelişmelere olanak tanır.

Grafen kuantum noktalarının Schottky diyot uygulamaları üzerine çalışmalar halen aktif bir araştırma alanıdır. Schottky diyotlar, iki farklı malzeme arasında oluşan bir yarıiletken diyottur. Grafen kuantum noktaları, Schottky diyotların performansını iyileştirebilecek birçok özellik sunar (Berktaş vd., 2022; Berktaş vd., 2023).

Şu anda grafen kuantum nokta temelli Schottky diyot uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar aşağıdaki alanlara odaklanmaktadır:

- *Elektriksel Performans İyileştirmesi:* Grafen kuantum noktaların, yüksek hareketlilik, hızlı elektron transferi ve değişen bant aralığı gibi özellikleri, Schottky diyotların elektriksel performansını artırabilir. Araştırmacılar, grafen kuantum noktalarını Schottky diyotlarda kullanarak düşük ters akım, yüksek hızlı anahtarlama ve yüksek frekanslı cihazlarda daha iyi performans elde etmeyi amaçlamaktadır (Bartolomeo, A.D. (2015).
- *Optoelektronik Uygulamalar:* Grafen kuantum noktaların Schottky diyotlarda kullanımı, optoelektronik uygulamalar için ilgi çekicidir. Grafen kuantum noktaları, geniş enerji aralığı ve floresan özellikleri sayesinde optik sensörler, fotodiyotlar ve optik vericiler gibi uygulamalarda kullanılabilir. Bu alanda yapılan çalışmalar, grafen kuantum noktalarının Schottky diyotlarla entegre edilmesi ve optik sinyallerin elektriksel sinyallere dönüştürülmesi üzerine odaklanmaktadır (Ja'farawy vd., 2023).
- *Esnek Elektronik Cihazlar:* Grafen kuantum noktaları, esnek elektronik cihazlarda kullanılmak üzere Schottky diyotlara entegre edilebilir. Esnek alttaşlar üzerindeki grafen kuantum noktaları, esneklik ve yüksek performansı bir arada sunar. Bu alandaki çalışmalar, grafen kuantum noktaların Schottky diyotlara entegrasyon yöntemlerini araştırmaya, esnekliklerini korumaya ve performanslarını artırmaya odaklanmıştır (Berktaş vd., 2022; Berktaş vd., 2023).

Grafen kuantum nokta temelli Schottky diyot uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar, daha yüksek performans, enerji verimliliği, optik ve elektriksel özelliklerin iyileştirilmesi ve yeni uygulama alanlarının keşfi üzerine odaklanmaktadır. Bu alandaki araştırmaların devam etmesiyle daha gelişmiş Schottky diyot yapıları ve uygulamaları ortaya çıkması beklenmektedir.

3. KARBONDIŞI KUANTUM NOKTALAR

Karbon dışı kuantum noktalar, karbon dışındaki elementlerin oluşturduğu nanoparçacıklardır. Karbon dışı kuantum noktalar, bünyesinde bulunan elementlerin özelliklerine göre çeşitli elektronik ve optik özelliklere sahip olabilirler. Örneğin, çeşitli yarı iletken ve yarı

iletken olmayan elementler, karbon dışı kuantum noktalarının farklı uygulama alanları için kullanılmaktadır.

3.1. Yarı İletken Kuantum Noktalar

Yarıiletken bazlı kuantum noktaları, yarıiletken malzemelerden yapılmış olan ve kuantum mekaniğinin etkilerini gösteren nano boyutlu yapılar olarak tanımlanır. Genellikle II-VI (örneğin CdSe, CdTe) veya III-V (örneğin InP, InAs) grup yarıiletken malzemeler kullanılarak üretilirler. Kuantum noktalarının boyutları, elektronların enerji seviyelerinin kuantum mekanik etkilerle belirlenmesine izin verir. Bu, elektronların enerji seviyelerinin ayarlanabilmesi anlamına gelir. Yarı iletken kuantum noktalarının potansiyel uygulama alanları arasında fotovoltaik hücreler, LED'ler, lazerler, fotodetektörler, biyomedikal görüntüleme ve hücre etiketleme gibi teknolojiler bulunmaktadır. Kimyasal yöntemlerle, yarıiletken kuantum noktalarının boyutları ve bileşimi kontrol edilebilir; bu da belirli uygulamalara uygun malzemelerin üretilmesine olanak tanır. Yarı iletken kuantum noktaları çeşitli avantajlara sahip olsa da bazı dezavantajları da vardır. Bazı yarı iletken malzemeler, özellikle ağır metaller, toksik olabilir ve çevresel kirlenmeye neden olabilir. Bu, üretim, kullanım ve atık yönetimi aşamalarında dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Yarı iletken kuantum noktalarının sentezi genellikle karmaşık ve maliyetlidir. Bu, büyük ölçekte üretimlerini sınırlayabilir ve endüstriyel uygulamalarda maliyeti artırabilir. Bazı yarı iletken kuantum noktaları, çevresel koşullara veya uzun süreli depolamaya karşı hassas olabilir. Özellikle hava, nem ve ışık gibi faktörler, malzemenin stabilitesini etkileyebilir (Trindade vd., 2001; Dorfs ve Eychmüller, 2006). Bu dezavantajlar, yarı iletken kuantum noktalarının belirli uygulamaları için seçim yaparken dikkate alınması gereken faktörlerdir. Araştırma ve geliştirme çalışmalarının devam etmesiyle, bu dezavantajların aşılması ve yarı iletken kuantum noktalarının daha geniş uygulama alanlarına yayılması olasıdır.

3.2. Metalik Kuantum Noktalar

Metalik kuantum noktalar, boyutları nanometre düzeyinde olan ve metalik özelliklere sahip kuantum noktalardır. Bunlar, geleneksel yarı iletken kuantum noktalardan farklı olarak, iletkenlikleri yüksek olduğu için özellikle elektronik uygulamalarda önem taşır. Yüksek iletkenlik ve yüzey parlaklığı genellikle yığın soy metallerin özellikleri olarak kabul edilirken, birkaç atomlu metal kümelerinin incelenmesi bilim camiasında büyük ilgi çekmiştir. Nano ölçekli metaller kabaca boyutsal olarak üçe ayrılır: üç farklı karakteristik uzunluk ölçeğine karşılık gelen büyük nanoparçacıklar, küçük nanoparçacıklar ve kümeler. Büyük metal nanoparçacıkların ($R>\lambda$) harici elektromanyetik alanlara optik tepkileri basitçe boyutlarına, serbest elektron yoğunluğuna ve dolayısıyla çevreleyen ortamınkine göre neredeyse yığın benzeri dielektrik fonksiyonlarına bağlıdır ve Mie teorisi ile nicel olarak tanımlanabilir (Kreibig ve Vollmer, 1995). Parçacık boyutu elektron ortalama serbest yoluna yaklaştığında (altın ve gümüş için ~50 nm), dielektrik fonksiyonu ve kırılma indisleri boyuta güçlü bir şekilde bağımlı hale gelir, ancak uygun şekilde dahil edildiğinde, Mie teorisi hala yeterli bir açıklama sağlar. Nihayetinde, parçacık boyutu üçüncü karakteristik uzunlukla - bir elektronun Fermi dalga boyu (yani Fermi enerjisindeki bir elektronun de Broglie dalga boyu veya altın ve gümüş için ~0,5 nm) - karşılaştırılabilir hale geldiğinde, metal kümelerinin optik, elektronik ve kimyasal özellikleri diğer iki boyut rejiminden önemli ölçüde farklılaşır. Bu en küçük boyut rejiminde, metal kümeleri "moleküler türler" haline gelir ve güçlü floresansa sahip ayrık durumlar gözlemlenebilir (Zheng vd., 2007). Metalik kuantum noktalar, genellikle yüksek iletkenlik, yüksek fotostabilite, katalitik aktivite ve manyetik özelliklere sahiptir. Bu özellikler, katalizörler, elektronik cihazlar, manyetik depolama ve biyomedikal uygulamalarda kullanılmalarını sağlar. Dezavantajı olarak, bazı metalik kuantum noktalarının sentezi zor olabilir ve toksik olabilecek kimyasallar içerebilir.

4. GRAFEN KUANTUM NOKTALARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Grafen kuantum noktaların üretimi için yukarıdan aşağıya (top-down) ve aşağıdan yukarıya (bottom-up) olmak üzere iki ana üretim yöntemi vardır (Tian vd., 2018).

4.1. Yukarıdan Aşağıya (Top-Down) Üretim Yöntemi

Nanomalzemelerin büyük boyutlara sahip yapılarından başlayarak, daha küçük boyutlara sahip parçacıkların üretilmesini ifade eder. Bu yöntemde, başlangıçta daha büyük boyutlu bir yapı kullanılır ve bu yapıdan küçük boyutlu parçacıklar oluşturulur.

Yukarıdan Aşağıya Üretim Yönteminin Avantajları:

- *Ölçeklenebilirlik:* Bu yöntem, büyük ölçekte nanomalzemelerin üretilmesine izin verir. Başlangıçta büyük boyutlu bir yapı kullanıldığı için, üretim süreci daha kolay ölçeklendirilebilir ve endüstriyel üretim için uygundur.
- *Kontrollü Boyut:* Yukarıdan aşağıya yöntemi, parçacıkların boyutunu kontrol etme yeteneği sağlar. Başlangıçta kullanılan büyük yapının özellikleri ve işleme adımları ile parçacıkların boyutları belirlenebilir ve istenen boyut dağılımı elde edilebilir.
- *Geniş Malzeme Yelpazesi:* Bu yöntem, farklı malzemelerin kullanılmasına olanak tanır. Başlangıçta büyük yapı olarak metal, seramik veya polimer gibi farklı malzemeler kullanılabilir ve bu malzemelerden nanomalzemeler üretilebilir.

Yukarıdan Aşağıya Üretim Yönteminin Dezavantajları:

- *Yüksek Maliyet:* Büyük boyutlu yapıların kullanılması ve daha sonra küçük boyutlu parçacıkların üretilmesi, maliyetli bir süreç olabilir. Yüksek maliyet, özellikle endüstriyel ölçekte yapılan bir üretimde dezavantaj olabilir.
- *Kısıtlı Kontrol:* Bu yöntemde, parçacıkların boyutu ve şekli belirli sınırlamalara tabidir. Tamamen homojen boyutlu parçacıklar elde etmek zor olabilir ve boyut dağılımında bazı değişkenlikler olabilir.

- *Yüzey Kontaminasyonu:* Büyük yapıdan küçük parçacıkların üretilmesi sürecinde yüzey kontaminasyonu riski vardır. Kontaminasyon, parçacıkların özelliklerini etkileyebilir ve istenen performansı elde etmeyi zorlaştırabilir.

Yukarıdan aşağıya üretim yöntemi, nanomalzemelerin büyük ölçekte üretimi için önemli bir yöntemdir. Ancak, spesifik uygulamalar için daha kesin kontrol gerektiren durumlarda alt yapılandırma yöntemleri gibi diğer yöntemler tercih edilebilir. Her bir üretim yönteminin avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurularak, en uygun yöntem belirlenmelidir.

4.2. Aşağıdan Yukarıya (Bottom-Up) Üretim Yöntemi

Nanomalzemelerde aşağıdan yukarı üretim yöntemi, küçük boyutlardan başlanarak daha büyük boyutlu yapılar oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, nanomalzemeler kontrollü bir şekilde bir araya getirilerek istenen büyük boyutlu yapı oluşturulur (Zhao vd., 2020).

Aşağıdan Yukarıya Üretim Yönteminin Avantajları:

- *Kesin Kontrol:* Bu yöntem, nanomalzemelerin kontrol altında bir araya getirilmesini sağlar. Her bir nanomalzeme parçacığı belirli bir konumda yerleştirilebilir, böylece büyük yapıda istenen şekil ve düzen elde edilebilir. Bu, malzemenin özelliklerini optimize etmek ve istenen fonksiyonları sağlamak için daha fazla kontrol sağlar.
- *İleri Özellikler:* Aşağıdan yukarıya üretim yöntemi, nanomalzemelerin özelliklerinin ölçeklenebilir şekilde aktarılmasını sağlar. Nano boyutlu parçacıkların özellikleri, büyük yapıda da korunur, bu da istenen fonksiyonları ve özellikleri sağlamak için avantajlıdır.
- *Yüksek Verimlilik:* Bu yöntem, materyal kullanımını ve üretim sürecini optimize ederek yüksek verimlilik sağlar. Nanomalzemelerin belirli bir düzende bir araya getirilmesi, gereksiz atık üretimini azaltabilir ve malzeme maliyetlerini düşürebilir.

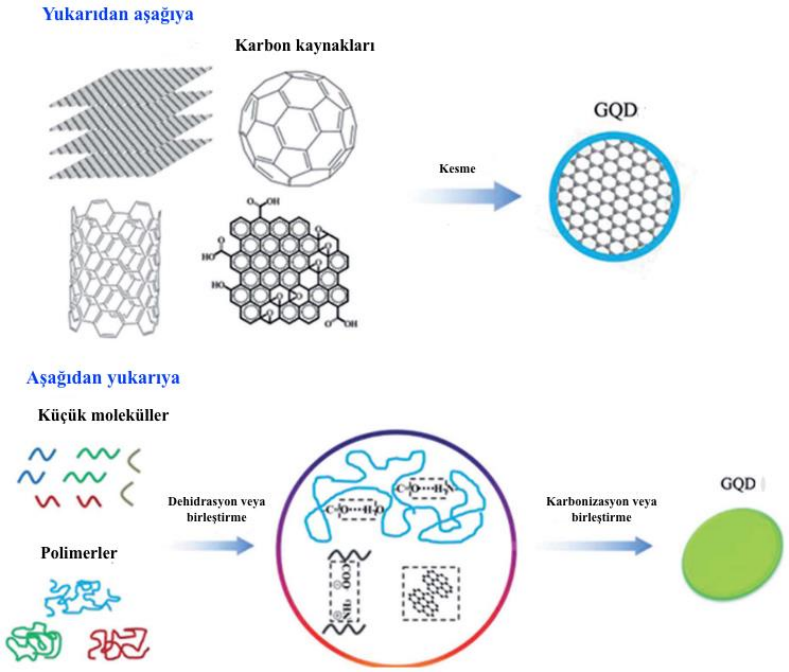
Aşağıdan Yukarıya Üretim Yönteminin Dezavantajları:

- *Zaman Alıcı:* Nanomalzemelerin tek tek yerleştirilmesi veya düzenlenmesi süreci zaman alıcı olabilir. Bu yöntem, büyük yapıların oluşturulmasını tamamlamak için uzun süreler gerektirebilir.

- *Karmaşık Üretim Yöntemleri:* Aşağıdan yukarıya üretim yöntemleri genellikle karmaşık ve özelleştirilmiş üretim tekniklerini gerektirir. Bu, üretim sürecinin karmaşıklığını artırabilir ve maliyetleri yükseltebilir.
- *Sınırlı Ölçeklenebilirlik:* Bu yöntem, büyük ölçekte üretim için sınırlamalar getirebilir. Nanomalzemelerin tek tek düzenlenmesi veya yerleştirilmesi, büyük ölçekte üretimi zorlaştırabilir ve maliyetleri artırabilir.

Aşağıdan yukarıya üretim yöntemi, nanomalzemelerin istenen büyük boyutlu yapılar için kontrollü bir şekilde bir araya getirilmesini sağlar. Bu yöntemin avantajları, malzeme özelliklerinin kontrolünü ve istenen fonksiyonları sağlamayı içerir. Dezavantajları ise zaman alıcı olabilmesi, karmaşık üretim yöntemlerini gerektirmesi ve sınırlı ölçeklenebilirlik olabilir.

Grafen kuantum noktaların üretimi için iki ana yaklaşım Şekil 5'te (Zhoa vd., 2020) gösterilmektedir.



Şekil 5: *Grafen kuantum noktaların üretimi için iki ana yaklaşım (Zhao vd., 2020)*

5. GRAFEN KUANTUM NOKTALARIN KARAKTERİZASYONU

Grafen kuantum noktaların doğru karakterizasyonu, başarılı sentezi sağlamak ve bu 0D nanomalzemelerin uygulamalarını tanımlayan bileşimsel özellikleri tanımlamak için vazgeçilmez bir adımdır. Bu nedenle grafen kuantum noktaların karakterizasyon tekniklerinin ve bunlardan elde edilebilecek bilgilerin sınıflandırılması son derece önemlidir (Ghaffarkhah vd., 2022).

Grafen kuantum noktaların karakterizasyonu için üç tür karakterizasyon metodolojisi vardır: Kimyasal bileşim veya yapısal karakterizasyon, morfolojik karakterizasyon ve optik karakterizasyondur (Das vd., 2023).

Grafen kuantum noktalarının karakterizasyonu, bu nanomaddelerin yapısal, optik, elektronik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesini içerir. Bu karakterizasyon, grafen kuantum noktalarının potansiyel uygulama alanlarını anlamak ve geliştirmek için kritik öneme sahiptir. Kullanılan bazı yaygın karakterizasyon yöntemleri aşağıdaki gibidir:

- *Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM):* TEM, grafen kuantum noktalarının morfolojik özelliklerini incelemek için kullanılır. Bu teknik ile nanomalzemenin boyutları, şekilleri ve dağılımları belirlenir.
- *Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM):* AFM, yüzey topografyasını atomik ölçekte incelemek için kullanılır. Grafen kuantum noktaların yükseklik profilini ve yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için etkili bir yöntemdir.
- *Taramalı Tünelleme Mikroskobu (STM):* STM, yüzeyin elektronik yapılarını incelemek için kullanılır. Grafen kuantum noktalarının elektronik özelliklerini belirlemek için kullanışlıdır.
- *X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS):* XPS, yüzey kimyasını analiz etmek için kullanılır. Grafen kuantum noktaların yüzey bileşimi, kimyasal bağlanma enerjileri ve oksidasyon durumu gibi bilgilere erişim sağlar.
- *Raman Spektroskopisi (RS):* RS, grafen kuantum noktaların yapısal özelliklerini belirlemek için kullanılır. Bu yöntem ile kristallik, defektler ve fonon özellikleri değerlendirilir.

- *UV-Vis Absorbsiyon Spektroskopisi:* UV-Vis absorbsiyon spektroskopisi, grafen kuantum noktaların optik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Bu yöntem ile absorbans profilleri ve enerji bant yapısı hakkında bilgi edinilir.
- *Fourier-Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektroskopi (FTIR*): FTIR, moleküler yapıları analiz etmek için kullanılır. Grafen kuantum noktalarının yüzey kimyası ve bağ yapısı hakkında bilgi sağlar.

Bu yöntemler, grafen kuantum noktalarının bir dizi önemli özelliğini karakterize etmek için kullanılır ve bu malzemelerin farklı uygulama alanlarında nasıl kullanılabileceğini anlamak için temel bilgiler sağlar.

Grafen kuantum noktaların morfolojik analizleri için, tercihli karakterizasyon tekniği; TEM, aynı anda boyut, şekil, katmanlar ve kalınlık hakkındaki ayrıntıları sağlayan yüksek çözünürlüklü versiyonu (HR-TEM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) dur. Grafen kuantum noktaların yanal boyut dağılımını analiz etmek için TEM ve HRTEM yöntemleri yaygın olarak kullanılırken, grafen kuantum noktaların yüksekliği (grafitik katmanların sayısı) AFM tarafından rutin olarak değerlendirilmektedir (Tajik vd., 2020; Berktaş vd., 2022; Berktaş vd., 2023). Ayrıca, HR-TEM kristallik ve kusur durumlarını değerlendirmek için de kullanılır.

Grafen kuantum noktalarda veya işlevselleştirilmiş karbon kuantum noktalarda bulunan gruplar hakkında bilgi almak için çeşitli karakterizasyon yaklaşımları kullanılabilir. Bunlar arasında, FT-IR spektroskopisi, XPS, RS ve enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analizi en yaygın tekniklerdir. FT-IR spektroskopisi, Grafen kuantum noktaların fonksiyonel gruplarını analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir kimyasal karakterizasyon tekniğidir. FT-IR, fonksiyonel grupların Grafen kuantum noktalara eklendiği veya çıkarıldığı reaksiyonların birincil değerlendirmesi için oldukça yararlıdır. XPS, Grafen kuantum noktaların dış yüzeyini oluşturan atomların element bileşimini ve bağ

özelliklerini tanımlamak için en belirgin tekniktir. XPS, Grafen kuantum noktalarda bulunan bağların enerjisini belirler. Bu, belirli mevcut bağlanma türleri (yani, C-O, C = O, C = C, C-O-C) ile ilgili bilgi sağlar. XPS, heteroatomların başarılı bir şekilde eklenmesini ve tam konfigürasyonları, yapıdaki çeşitli atomların göreceli içeriği ve hatta belirli fonksiyonel grupların varlığı hakkında bir fikir verir. XPS analiz sonuçları, Grafen kuantum noktaların esas olarak iki ana tepe noktasına sahip karbon ve oksijenden oluştuğunu göstermiştir: oksijen (531 eV) ve karbon (284 eV). Ayrıca, grafit olarak karbon ile tutarlı olan 1020-970 eV aralığında iki küçük tepe noktası görülmüştür (Reagen vd., 2021). Grafen kuantum noktaların optik karakterizasyon özellikleri rutin olarak UV-Vis ve floresan spektroskopisi ile karakterize edilir. Tipik bir grafen kuantum noktaların UV-Vis spektrumu, yaklaşık 230-270 nm ve 290-340 nm'de iki olası geçiş (spesifik tepe noktası) gösterebilir. UV-Vis absorpsiyon spektrumu GQD'ler için iki olası geçişi: 292 nm'de sp^2 C'nin $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişi ve 340 nm'de $n \rightarrow \pi^*$ geçişi göstermektedir (Permatasari vd., 2016).

SONUÇ

Günümüzde, grafen kuantum noktaların akademik çalışmalarda önemli bir yer tuttuğu, sürekli araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin devam ettiği görülmektedir. Bu nanomalzemenin, sahip olduğu benzersiz özelliklerle birçok alanda sahip olduğu uygulama potansiyeline rağmen, henüz bazı eksikliklerin üstesinden gelinememiştir. Malzeme özelliklerini artırmak ve bazı kısıtlamaları çözmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Grafen kuantum noktalarının sentezi, karakterizasyonu ve uygulamaları üzerine çalışmaların daha da yoğunlaşacağı aşikardır. Yeni sentez yöntemleri, daha hassas kontrol yöntemleri ve daha ileri teknolojik uygulamalar için çalışmalar devam edecektir. Önümüzdeki yıllarda, bu alandaki çalışmaların daha da yoğunlaşarak, yeni sentez ve karakterizasyon yöntemlerinin geliştirilmesi ve pratik uygulamalara yönelik

ilerlemelerin kaydedilmesi beklenmektedir. Grafen kuantum noktalara yönelik bu kitap bölümünde temel bilgi ve konulara yer verilmiş ve uygulama potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu alanda çalışma yapanlara katkı sağlaması dileğiyle.

KAYNAKÇA

Ahmad F, Khan AM. (2017). Carbon quantum dots: nanolights. *Int J Petrochem Sci Eng*. *2*(7):247-250. DOI: 10.15406/ipcse.2017.02.00063

Al Jahdaly, B. A., Elsadek, M. F., Ahmed, B. M., Farahat, M. F., Taher, M. M., & Khalil, A. M. (2021). Outstanding graphene quantum dots from carbon source for biomedical and corrosion inhibition applications: a review. *Sustainability*, *13*(4), 2127. https://doi.org/10.3390/su13042127

Anwer, A. H., & Khan, M. Z. (2023). Graphene quantum dots for clean energy solutions. In *Graphene Quantum Dots* (pp. 183-209). Woodhead Publishing.

Baker, S. N., & Baker, G. A. (2010). Luminescent carbon nanodots: emergent nanolights. *Angewandte Chemie International Edition*, *49*(38), 6726-6744.

Balkanloo, P. G., Sharifi, K. M., & Marjani, A. P. (2023). Graphene quantum dots: Synthesis, characterization, and application in wastewater treatment: A review. *Materials Advances*, *4*(19), 4272-4293.

Bandara, T. M. W. J., Aththanayake, A. A. A. P., Gunasekara, L. B. E., & Wijesundara, W. M. C. Y. (2023). Applications of quantum dots in energy conversion and storage devices. In *Quantum Dots* (pp. 383-419). Woodhead Publishing.

Bartolomeo, A.D. (2015). Graphene Schottky diodes: an experimental review of the rectifying graphene/semiconductor heterojunction. *arXiv: Mesoscale and Nanoscale Physics*.

Bawendi, M. G., Steigerwald, M. L., & Brus, L. E. (1990). The quantum mechanics of larger semiconductor clusters (" quantum dots"). *Annual Review of Physical Chemistry*, *41*(1), 477-496. https://doi.org/10.1146/annurev.pc.41.100190.002401

Bera, D.; Qian, L.; Holloway, P.H. (2009). *Semiconducting Quantum Dots for Bioimaging*. (*Vol. 191*).New York, NY, USA: Informa Heathcare.

Bera, D., Qian, L., Tseng, T. K., & Holloway, P. H. (2010). Quantum dots and their multimodal applications: a review. *Materials*, *3*(4), 2260-2345.

Berktaş, Z., Yıldız, M., Seven, E., Orhan, E. O., & Altındal, Ş. (2022). PEI N-doped graphene quantum dots/p-type silicon Schottky diode. *FlatChem*, *36*, 100436. https://doi.org/10.1016/j.flatc.2022.100436.

Berktas, Z., Orhan, E., Ulusoy, M., Yildiz, M., & Altındal, S. (2023). Negative Capacitance Behavior at Low Frequencies of Nitrogen-Doped Polyethylenimine-Functionalized Graphene Quantum Dots-Based Structure. *ACS Applied Electronic Materials*, *5*(3), 1804-1811. DOI: 10.1021/acsaelm.3c00011

Brus, L. E. (1984). Electron–electron and electron-hole interactions in small semiconductor crystallites: The size dependence of the lowest excited electronic state. *The Journal of chemical physics*, *80*(9), 4403-4409. .doi: 10.1063/1.447218.

Cayuela, A., Soriano, M. L., Carrillo-Carrión, C., & Valcárcel, M. (2016). Semiconductor and carbon-based fluorescent nanodots: the need for consistency. *Chemical Communications*, *52*(7), 1311-1326. DOI: 10.1039/C5CC07754K

Chung, S., Revia, R. A., & Zhang, M. (2021). Graphene quantum dots and their applications in bioimaging, biosensing, and therapy. *Advanced Materials*, *33*(22), 1904362.

Cima, M. J. (2011). Microsystem technologies for medical applications. *Annual review of chemical and biomolecular engineering*, *2*, 355-378. https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-061010-114120

Das, C., Sillanpää, M., Zaidi, S. A., Khan, M. A., & Biswas, G. (2023). Current trends in carbon-based quantum dots development from solid wastes and their applications. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(16), 45528-45554.

Dorfs, D., & Eychmüller, A. (2006). Multishell semiconductor nanocrystals. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, *220*(12), 1539-1552. https://doi.org/10.1524/zpch.2006.220.12.1539

Efil, E., Kaymak, N., Seven, E., Orhan, E. O., Bayram, O., Ocak, S. B., & Tataroglu, A. (2020). Current–voltage analyses of Graphene-based structure onto Al_2O_3/p-Si using various methods. *Vacuum*, *181*, 109654.
https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109654.

Ghaffarkhah, A., Hosseini, E., Kamkar, M., Sehat, A. A., Dordanihaghighi, S., Allahbakhsh, A., ... & Arjmand, M. (2022). Synthesis, applications, and prospects of graphene quantum dots: A comprehensive review. *Small*, *18*(2), 2102683.

Henglein, A. (1989). Small-particle research: physicochemical properties of extremely small colloidal metal and semiconductor particles. *Chemical reviews*, *89*(8), 1861-1873. doi: 10.1021/cr00098a010.

Ip, A. H., Thon, S. M., Hoogland, S., Voznyy, O., Zhitomirsky, D., Debnath, R., ... & Sargent, E. H. (2012). Hybrid passivated colloidal quantum dot solids. *Nature nanotechnology*, *7*(9), 577-582.

Ja'farawy, M. S. A., Thirumalai, D., Lee, J., Jung, H. S., Chang, S. C., Yoon, J. H., & Kim, D. H. (2023). Graphene quantum dot nanocomposites: electroanalytical and optical sensor technology perspective. *Journal of Analytical Science and Technology*, *14*(1), 29.

Kreibig U., Vollmer M. (1995) Optical Properties of Metal Clusters. Almanya: Springer Berlin Heidelberg.

Kuchibhatla, S. V., Karakoti, A. S., Bera, D., & Seal, S. (2007). One dimensional nanostructured materials. *Progress in materials science*, *52*(5), 699-913. doi: 10.1016/j.pmatsci.2006.08.001.

Lee H. (2016) Thermoelectrics: Design and Materials. 1st ed. Wiley Online Library; Hoboken, NJ, USA: 2016. Low Dimension Nanostructures. Chapter 14

Medintz, I. L., Uyeda, H. T., Goldman, E. R., & Mattoussi, H. (2005). Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing. *Nature materials*, *4*(6), 435-446. https://doi.org/10.1038/nmat1390

Nirmal, M., & Brus, L. (1999). Luminescence photophysics in semiconductor nanocrystals. *Accounts of chemical research*, *32*(5), 407-414. https://doi.org/10.1021/ar9700320

Orhan, E. O., Efil, E., Bayram, O., Kaymak, N., Berberoğlu, H., Candemir, O., ... & Ocak, S. B. (2021). 3D-graphene-laser patterned p-type silicon Schottky diode. *Materials Science in Semiconductor Processing*, *121*, 105454. https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105454.

Orhan, E., & Yazıcı, D., (2020). Bilimsel Çalışmalarda Ve Teknolojik Uygulamalarda Grafen. *Enerji Araştırmaları* (pp.126-163), Ankara: İksad Yayınevi.

Qu, D., Zheng, M., Du, P., Zhou, Y., Zhang, L., Li, D., ... & Sun, Z. (2013). Highly luminescent S, N co-doped graphene quantum dots with broad visible absorption bands for visible light photocatalysts. *Nanoscale*, *5*(24), 12272-12277.

Pan, D., Zhang, J., Li, Z., & Wu, M. (2010). Hydrothermal route for cutting graphene sheets into blue-luminescent graphene quantum dots. *Advanced materials*, *22*(6), 734-738.

Park, H., Shin, D. J., & Yu, J. (2021). Categorization of quantum dots, clusters, nanoclusters, and nanodots. *Journal of Chemical Education*, *98*(3), 703-709. DOI: 10.1021/acs.jchemed.0c01403

Patel, K. D., Singh, R. K., & Kim, H. W. (2019). Carbon-based nanomaterials as an emerging platform for theranostics. *Materials Horizons*, *6*(3), 434-469.

Permatasari, F. A., Aimon, A. H., Iskandar, F., Ogi, T., & Okuyama, K. (2016). Role of C–N configurations in the photoluminescence of graphene quantum dots synthesized by a hydrothermal route. *Scientific reports*, *6*(1), 21042.

Reagen, S., Wu, Y., Liu, X., Shahni, R., Bogenschuetz, J., Wu, X., ... & Zhao, J. X. (2021). Synthesis of highly near-infrared fluorescent graphene quantum dots using biomass-derived materials for in vitro cell imaging and metal ion detection. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *13*(37), 43952-43962.

Reimann, S. M., & Manninen, M. (2002). Electronic structure of quantum dots. *Reviews of modern physics*, *74*(4), 1283. https://doi.org/10.1103/revmodphys.74.1283

Sargent, E. H. (2012). Colloidal quantum dot solar cells. *Nature Photon*, *6*(3):133-135. https://doi.org/10.1038/nphoton.2012.33

Sargent, E. H. (2012). Colloidal quantum dot solar cells. *Nature photonics*, *6*(3), 133-135.

Sengupta, S., Pal, S., Pal, A., Maity, S., Sarkar, K., & Das, M. (2023). A review on synthesis, toxicity profile and biomedical applications of graphene quantum dots (GQDs). *Inorganica Chimica Acta*, 121677.

Shen, J., Zhu, Y., Yang, X., & Li, C. (2012). Graphene quantum dots: emergent nanolights for bioimaging, sensors, catalysis and photovoltaic devices. *Chemical communications*, *48*(31), 3686-3699.

Sigma Aldrich. (t.y.). Quantum Dots. Erişim adresi: https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/technical-documents/technical-article/materials-science-and-engineering/biosensors-and-imaging/quantum-dots

Smith, A. M., & Nie, S. (2009). Next-generation quantum dots. *Nature biotechnology*, *27*(8), 732-733. https://doi.org/10.1038/nbt0809-732

Soloviev, V. N., Eichhöfer, A., Fenske, D., & Banin, U. (2000). Molecular limit of a bulk semiconductor: Size dependence of the "band gap" in CdSe cluster molecules. *Journal of the American Chemical Society*, *122*(11), 2673-2674. doi: 10.1021/ja9940367.

Sreenivasan, M. S. (1981). Cytology of a spontaneous triploid Coffea canephora Pierre ex Froehner. *Caryologia*, *34*(3), 345-349. https://doi.org/10.1080/00087114.1981.10796901

Sun, Y. P., Zhou, B., Lin, Y., Wang, W., Fernando, K. S., Pathak, P., ... & Xie, S. Y. (2006). Quantum-sized carbon dots for bright and colorful photoluminescence. *Journal of the American Chemical Society*, *128*(24), 7756-7757.

Tajik, S., Dourandish, Z., Zhang, K., Beitollahi, H., Van Le, Q., Jang, H. W., & Shokouhimehr, M. (2020). Carbon and graphene quantum dots: A review on syntheses, characterization, biological and sensing applications for neurotransmitter determination. *RSC advances*, *10*(26), 15406-15429.

Thangadurai, T. D., Manjubaashini, N., Thomas, S., Maria, H. J. (2020) . Nanostructured Materials. İsviçre: Springer International Publishing.

Thangadurai, T. D., Manjubaashini, N., Nataraj, D., Gomes, V., & Lee, Y. I. (2022). A review on graphene quantum dots, an emerging luminescent carbon nanolights: Healthcare and Environmental applications. *Materials Science and Engineering: B*, *278*, 115633. https://doi.org/10.1016/j.mseb.2022.115633

The Nobel Prize in Chemistry (2023). NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2023. Sun. 22 Oct 2023. https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2023/summary/

The Nobel Prize in Physics (2010). NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2023. Wed. 18 Oct 2023. https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2010/summary/

Tian, P., Tang, L., Teng, K. S., & Lau, S. P. (2018). Graphene quantum dots from chemistry to applications. *Materials today chemistry*, *10*, 221-258. https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2018.09.007.

Trindade, T., O'Brien, P., & Pickett, N. L. (2001). Nanocrystalline semiconductors: synthesis, properties, and perspectives. *Chemistry of Materials*, *13*(11), 3843-3858. doi: 10.1021/cm000843p.

Wang, L., Zhu, S. J., Wang, H. Y., Qu, S. N., Zhang, Y. L., Zhang, J. H., ... & Sun, H. B. (2014). Common origin of green luminescence in carbon nanodots and graphene quantum dots. *ACS nano*, *8*(3), 2541-2547.

Wang, Y., & Hu, A. (2014). Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry C*, *2*(34), 6921-6939. doi: 10.1039/C4TC00988F.

Wang, X., Feng, Y., Dong, P., & Huang, J. (2019). A mini review on carbon quantum dots: preparation, properties, and electrocatalytic application. *Frontiers in chemistry*, *7*, 671.

Yakusheva, A., Sayapina, A., Luchnikov, L., Arkhipov, D., Karunakaran, G., & Kuznetsov, D. (2022). Carbon Quantum Dots' Synthesis with a Strong Chemical Claw for Five Transition Metal Sensing in the Irving–Williams Series. *Nanomaterials*, *12*(5), 806. doi: 10.3390/nano12050806. PMID: 35269294; PMCID: PMC8912369.

Yoffe, A. D. (2001). Semiconductor quantum dots and related systems: electronic, optical, luminescence and related properties of low dimensional systems. *Advances in physics*, *50*(1), 1-208. https://doi.org/10.1080/00018730010006608

Zhao, Y., & Burda, C. (2012). Development of plasmonic semiconductor nanomaterials with copper chalcogenides for a future with sustainable energy materials. *Energy & Environmental Science*, *5*(2), 5564-5576.

Zhao, C., Song, X., Liu, Y., Fu, Y., Ye, L., Wang, N., ... & Liu, J. (2020). Synthesis of graphene quantum dots and their applications in drug delivery. *Journal of Nanobiotechnology*, *18*, 1-32.

Zheng, J., Nicovich, P. R., & Dickson, R. M. (2007). Highly fluorescent noble-metal quantum dots. *Annu. Rev. Phys. Chem.*, *58*, 409-431. doi: 10.1146/annurev.physchem.58.032806.104546. PMID: 17105412; PMCID: PMC2735021.)

Zorman, B., Ramakrishna, M. V., & Friesner, R. A. (1995). Quantum confinement effects in CdSe quantum dots. *The Journal of Physical Chemistry*, *99*(19), 7649-7653. doi: 10.1021/j100019a052

BÖLÜM 2

TAŞITLARDA EMİSYON AZALTICI SİSTEMLER

Dr. Ahmet YAKIN[1]

DOI: https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10447753

[1] Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü Van, Türkiye. ahmetyakin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6716-2811

GİRİŞ

Emisyon azaltıcı sistemler, motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı egzoz gazlarının miktarını azaltmak için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler, egzoz gazlarının yanmasını, reaksiyonunu veya tutunmasını sağlayarak emisyonları azaltır. Emisyon azaltıcı sistemler, hem çevreyi korumak hem de insan sağlığını korumak için önemli sistemlerdir.

1. Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyonlar

Taşıtlar, hava kirliliğinin önemli bir kaynağıdır. Taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, hava kalitesini bozarak hem insan sağlığını olumsuz etkilerler hem de iklim değişikliğine yol açarak çevresel sorunlara neden olurlar.

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, temel olarak beş ana gruba ayrılır:

- Karbonmonoksit (CO): Karbonmonoksit, yakıtın tam yanmadan yanma odasından dışarı çıkmasıyla oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır. Kandaki oksijenin taşınmasını engeller ve solunum sistemini tahriş ederler. Karbonmonoksit zehirlenmesi kendini, baş dönmesi, mide bulantısı, kusma, bilinç kaybı şeklinde gösterir ve hatta ölüme neden olabilir (Agarwal vd., 2006; Amin, 2009; Agarwal vd., 2011; Yakın vd., 2022).
- Hidrokarbonlar (HC): Hidrokarbonlar, yakıtın tam yanmadan yanma odasından dışarı çıkmasıyla oluşan gazlardır. Hava kirliliğine neden olurlar ve ozon oluşumunu desteklerler. Ozon, solunum sistemini tahriş eder ve astım ve bronşit gibi solunum hastalıklarına neden olabilir.
- Azot oksitler (NOx): Azot oksitler, yakıtın yanması sırasında oluşan kimyasal bileşiklerdir. Smog oluşumuna neden olurlar

ve solunum sistemini tahriş ederler. Smog, hava kalitesini bozar ve solunum hastalıklarına neden olabilir.

- Partikül madde (PM): Partikül madde, yakıtın tam yanmadan yanma odasından dışarı çıkmasıyla oluşan katı ve sıvı parçacıklardır. Hava kirliliğine neden olurlar ve solunum sistemini tahriş ederler. Partikül madde, kanser, kalp hastalığı ve felç gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir.
- Kükürt dioksit (SO_2): Kükürt dioksit, yakıtın yanması sırasında oluşan kimyasal bir bileşiktir. Asit yağmurlarına neden olur ve solunum sistemini tahriş eder. Asit yağmurları, bitki ve hayvan yaşamı için zararlıdır, binaları ve altyapıyı tahrip edebilirler.

1.3. Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyonların Etkileri

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, insan sağlığı ve çevre için ciddi riskler oluşturmaktadır. Bu emisyonlar, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli olumsuz etkilere neden olabilir.

- Solunum yolu hastalıkları: Karbonmonoksit, hidrokarbonlar, partikül madde ve SO_2, solunum yolu hastalıklarına neden olabilir. Bu hastalıklar, astım, bronşit, akciğer kanseri ve hatta ölüm dahil olmak üzere çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir.
- NO_x, kalp hastalıklarına neden olabilir. NO_x, kan damarlarını daraltarak ve kan basıncını yükselterek kalp krizi ve felç riskini artırabilir.
- CO_2, iklim değişikliğinin ana nedenidir. CO_2, atmosferde birikerek sera etkisini oluşturur ve gezegenin ısınmasına neden olur.

1.4. Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyonları Azaltmak İçin Yapılan Çalışmalar

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar:

- Emisyon standartlarının sıkılaştırılması: Ülkeler, taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için emisyon standartlarını sıkılaştırmaktadır. Bu standartlar, taşıt üreticilerini daha az emisyon üreten motorlar üretmeye zorlamaktadır.
- Elektronik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi: Elektronik kontrol sistemleri, yakıtın daha verimli yakılmasını ve emisyonların daha iyi kontrol edilmesini sağlar.
- Yeni teknolojilerin geliştirilmesi: Yeni teknolojiler, emisyonların daha etkili bir şekilde azaltılmasını sağlar. Farklı katkı maddelerinin dizel ve benzine eklenmesi, biyoyakıtlar, nano yakıtlar v.s. (Cabir ve Yakın, 2023; Yakın ve Behçet, 2021).. Örneğin, hibrit ve elektrikli araçlar, geleneksel araçlara göre daha az emisyon üretir.

Bu çalışmalar, taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmaya ve çevresel sorunları önlemeye yardımcı olmaktadır.

2. Taşıtlarda Emisyon Azaltıcı Sistemler

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler, yakıtın daha verimli yakılmasını, emisyonların egzoz sisteminden önce veya sonra yakalanmasını veya emisyonların kimyasal olarak dönüştürülmesini sağlar.

2.1. Yakıtın Daha Verimli Yakılmasını Sağlayan Sistemler

- Enjeksiyon sistemi: Yakıtın motor silindirlerine daha doğru bir şekilde enjeksiyonunu sağlayarak, yakıtın daha verimli yakılmasını sağlar.
- Ateşleme sistemi: Motorun daha verimli çalışmasını sağlayarak, yakıtın daha verimli yakılmasını sağlar.
- Soğutma sistemi: Motorun daha düşük sıcaklıklarda çalışmasını sağlayarak, yakıtın daha verimli yakılmasını sağlar.

2.2. Emisyonların Egzozdan Önce Yakalanması

- Katalitik konvertör: Yakıtın tam yanmasını sağlayarak, emisyonların önemli ölçüde azaltılmasını sağlar.
- Partikül filtresi: Partikül maddeyi yakalayarak, emisyonların azaltılmasını sağlar.

2.3. Emisyonların Egzozdan Sonra Yakalanması

- Düşük emisyonlu egzoz sistemi: Emisyonların egzoz sisteminden önce veya sonra yakalanamadığı durumlarda, emisyonların azaltılmasını sağlayan çeşitli teknolojilerden oluşur.

3. Taşıtlarda Emisyon Azaltıcı Sistemlerin Geliştirilmesi

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için geliştirilen sistemler, her geçen gün daha da geliştirilmektedir. Bu gelişmeler, çevresel sorunların azaltılmasına ve insan sağlığının korunmasına katkı sağlamaktadır.

Taşıtlarda emisyon azaltıcı sistemlerin geliştirilmesindeki bazı önemli yeni teknolojiler şunlardır:

- Elektronik kontrol sistemlerinin kullanımının artması: Elektronik kontrol sistemleri, yakıtın daha verimli yakılmasını ve emisyonların daha iyi kontrol edilmesini sağlar.
- Yeni teknolojilerin geliştirilmesi: Yeni teknolojiler, emisyonların daha etkili bir şekilde azaltılmasını sağlar.
- Emisyon standartlarının sıkılaştırılması: Emisyon standartlarının sıkılaştırılması, taşıt üreticilerini emisyon azaltıcı sistemleri geliştirmeye zorlamaktadır.

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için geliştirilen sistemler, çevresel sorunların azaltılmasına ve insan sağlığının

korunmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu sistemlerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, gelecek için önemli bir önceliktir.

4. Benzinli ve Dizel Motorlarda Emisyon Azaltıcı Sistemler

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, hava kirliliğine ve iklim değişikliğine neden olarak önemli çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, taşıtların ürettiği emisyonları azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, benzinli ve dizel motorlar için farklı emisyon azaltıcı sistemlerin geliştirilmesini içermektedir.

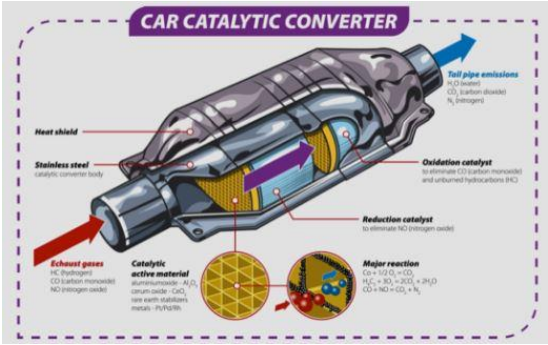
4.1. Benzinli Motorlarda Emisyon Azaltıcı Sistemler

Benzinli motorlarda emisyon azaltıcı sistemler,

- Yakıtın daha verimli yakılmasını sağlar.
- Emisyonların egzoz sisteminden önce veya sonra yakalanmasını sağlar.
- Emisyonları kimyasal olarak dönüştürülmesini sağlar.

Benzinli motorlarda yaygın olarak kullanılan emisyon azaltıcı sistemler şunlardır:

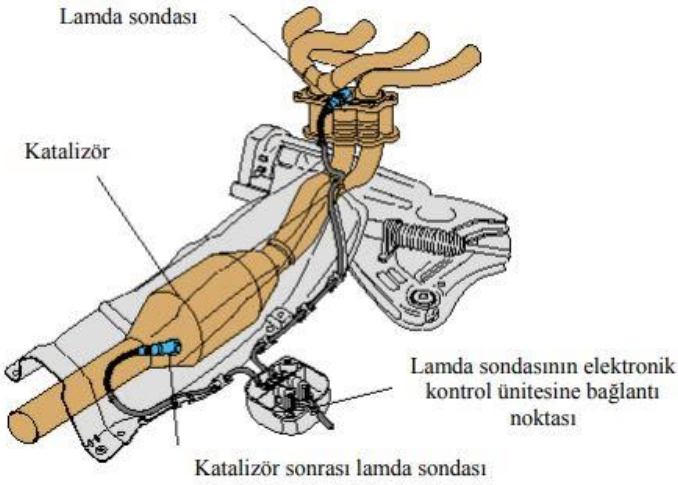
4.1.1. Katalitik konvertör: Yakıtın tam yanmasını sağlayarak, emisyonların önemli ölçüde azaltılmasını sağlar. Şekil 1'de katalitik konvertör gösterilmektedir.



Şekil 1. Katalitik konvertör (Wang vd., 2011).

4.1.1.1 Lamda Sensörü

Lamda sensörü, egzoz gazlarındaki oksijen miktarını ölçerek hava-yakıt karışımının ideal oranını (stokiyometri) korumaya yardımcı olur. Stokiyometri oranında, bir gram yakıt için 14,7 gram hava gerekir. Bu orana yakın bir karışım elde etmek için, lamda sensörü egzoz gazlarındaki oksijen miktarını ölçer ve bu bilgiyi motor kontrol ünitesine (ECU) gönderir. ECU, lamda sensöründen aldığı bilgiye göre yakıt miktarını ayarlar. Karışım fakirse (oksijen miktarı yüksekse), ECU yakıt miktarını artırır. Karışım zenginse (oksijen miktarı düşükse), ECU yakıt miktarını azaltır. Lamda sensörü ve ECU arasındaki bu geri besleme döngüsü, hava-yakıt karışımının stokiyometriye yakın bir değerde tutulmasını sağlar. Şekil 2 lamda sensörünün taşıt üzerindeki yerini göstermektedir.



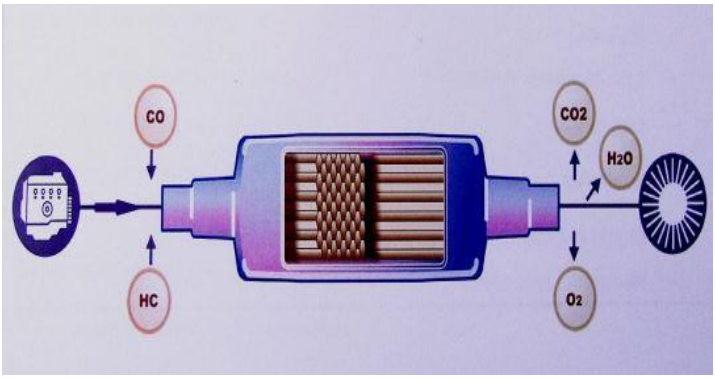
Şekil 2. lamda sensörü (megep.meb.gov.tr, 2013).

4.1.2. Partikül filtresi: Partikül maddeyi yakalayarak, emisyonların azaltılmasını sağlar (Agarwal vd., 2011). Şekil 3 partikül filtrenin iç kısmını göstermektedir.

Şekil 3. Partikül filtresi (Uyumaz vd., 2017).

4.2. Dizel Motorlarda Emisyon Azaltıcı Sistemler

Dizel motorlarda emisyon azaltıcı sistemler, benzinli motorlarda kullanılan sistemlere benzer şekilde çalışır. Ancak, dizel motorların daha yüksek sıcaklıklarda çalışması nedeniyle, bu sistemler genellikle benzinli motorlarda kullanılan sistemlerden daha karmaşıktır. Şekil 4 dizel araçlarda kullanılan oksidasyon katalizörünü göstermektedir.

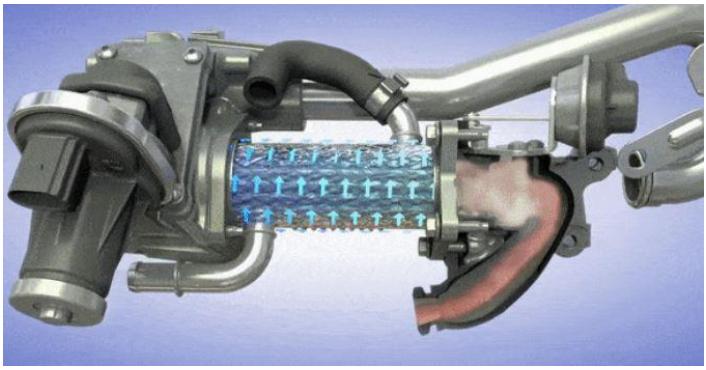


Şekil 4. Dizel motorlu araçlarda kullanılan oksidasyon katalizörü (megep.meb.gov.tr, 2013).

Dizel motorlarda yaygın olarak kullanılan emisyon azaltıcı sistemler şunlardır:

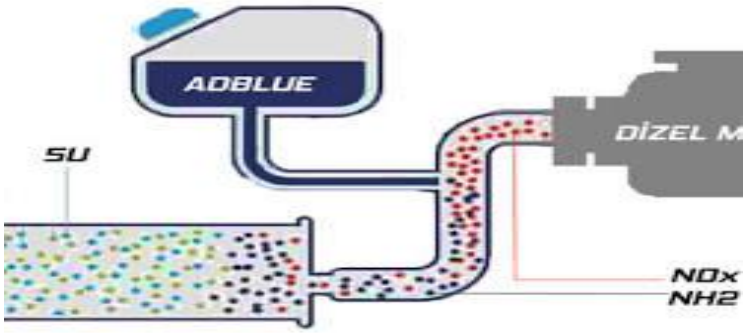
DPF Sistemi: Dizel Partikül Filtresi (DPF), dizel araçlardan çıkan partikül madde emisyonlarını filtreleyerek azaltan bir sistemdir. Bu filtre, egzoz gazlarındaki partikülleri tutar ve düzenli aralıklarla temizlenir.

- Egzoz geri dönüşüm sistemi (EGR): Yanma odasına egzoz gazlarının bir kısmının geri döndürülmesini sağlayarak, azot oksit (NOx) emisyonlarını azaltır. EGR başka bir emisyon azaltıcı teknolojidir (Amin, 2009; Kimura vd., 2001).



Şekil 5. Egzoz geri dönüşüm sistemi (EGR)

- Katalitik konvertör: Yakıtın tam yanmasını sağlayarak, emisyonların önemli ölçüde azaltılmasını sağlar.
- SCR Sistemi: Dizel araçlarda Selective Catalytic Reduction (Seçici Katalitik İndirgeme) sistemi, azot oksit emisyonlarını azaltmak için yaygın olarak kullanılır. Bu sistem, özel bir sıvı olan AdBlue'nun eklenmesi ile azot oksitleri zararsız azota ve suya dönüştürerek çalışır (Sinzenich vd., 2014; Hug vd., 1993).
- AdBlue sistemi: AdBlue, dizel motorlu araçların egzoz gazındaki azot oksitin (NOx) azaltılmasında kullanılan bir sıvıdır. AdBlue, %32,5 üre ve %67,5 sudan oluşur. AdBlue, SCR sistemi adı verilen bir katalitik sistemde kullanılır. AdBlue sistemi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. AdBlue sistemi (megep.meb.gov.tr, 2013).

- Partikül filtresi: Partikül maddeyi yakalayarak, emisyonların azaltılmasını sağlar (Uyumaz vd., 2017).

Taşıtlardan kaynaklanan emisyonları azaltmak için yapılan çalışmalar, devam etmektedir. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi, emisyonların daha etkili bir şekilde azaltılmasını sağlayacaktır. Benzinli ve dizel araçlardaki emisyon azaltıcı sistemler, otomotiv endüstrisinin çevresel sorumluluğunu artırmak ve hava kalitesini iyileştirmek için önemli bir rol oynamaktadır. Sürekli teknolojik ilerlemelerle birlikte, bu sistemlerin etkinliği artacak ve otomobil endüstrisi daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerleyecektir.

5. Yeni Teknolojiler

- Hibrid ve elektrikli araçlar: Bu araçlar, geleneksel araçlara göre daha az emisyon üretir.
- Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) araçlar: Bu araçlar, benzinli ve dizel araçlara göre daha az emisyon üretirler, çevre dostu taşıtlardır.
- Yakıt hücreli araçlar: Bu araçlar, hidrojen ve oksijenin kimyasal reaksiyonu ile elektrik üretir ve bu elektrikle motoru çalıştırır. Yakıt hücreli araçlar, sıfır emisyon üretir.

Bu teknolojilerin geliştirilmesi, taşıtlardan kaynaklanan emisyonların azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır. Taşıtlarda

kullanılan emisyon azaltıcı sistemler, hem çevre kirliliğini azaltmak hem de insan sağlığını korumak için önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, zararlı gaz ve partiküllerin emisyonlarını azaltarak hava kalitesini iyileştirmeye yardımcı olmaktadır. Bu sistemlerin etkinliği, sistemlerin tasarımı ve kalitesine, motorun çalışma koşullarına ve yakıtın kalitesine bağlıdır. Emisyon azaltıcı sistemlerin verimliliğini artırmak için, otomotiv mühendisleri yeni teknolojiler geliştirmeye devam etmektedir. Taşıtlarda emisyon azaltıcı sistemlerin yaygın olarak kullanılması, çevre kirliliğini azaltmakta ve insan sağlığını korumak için büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

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.

Agarwal, D., Sinha, S., & Agarwal, A. K. (2006). Experimental investigation of control of NOx emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine. Renewable energy, 31(14), 2356-2369.

Amin, A. N. (2009). Reducing Emissions from Private Cars: Incentive measures. UNEP-Green Economy Iniciative, Jakarta.

Cabir, B., & Yakın, A. (2023). Evaluation of gasoline-phthalocyanines fuel blends in terms of engine performance and emissions in gasoline engines. Journal of the Energy Institute, 101483.

Uyumaz, A., Fahrettin, B., Yilmaz, E., Solmaz, H., & Polat, S. (2017). Taşıt egzoz emisyonlarını azaltma yöntemlerindeki gelişmeler. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(Özel (Special) 1), 15-24.

Hug, H. T., Mayer, A., & Hartenstein, A. (1993). Off-highway exhaust gas after-treatment: combining urea-SCR, oxidation catalysis and traps (No. 930363). SAE Technical Paper.

Kimura, S., Aoki, O., Kitahara, Y., & Aiyoshizawa, E. (2001). Ultra-clean combustion technology combining a low-temperature and premixed combustion concept for meeting future emission standards. Sae Transactions, 239-246.

Sinzenich, H., & Wehler, K. (2014). Selective Catalytic Reduction: Exhaust aftertreatment for reducing nitrogen oxide emissions. MTU Friedrichshafen GmbH.

Wang, Q., Li, G., Zhao, B., & Zhou, R. (2011). Investigation on properties of a novel ceria–zirconia–praseodymia solid solution

and its application in Pd-only three-way catalyst for gasoline engine emission control. Fuel, 90(10), 3047-3055.

https://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Emisyon%20Azalt%C4%B1c%C4%B1%20Sistemler.pdf (Aralık, 2013).

Yakın, A., & Behçet, R. (2021). Effect of different types of fuels tested in a gasoline engine on engine performance and emissions. International Journal of Hydrogen Energy, 46(66), 33325-33338.

Yakın, A., Behcet, R., Solmaz, H., & Halis, S. (2022). Testing sodium borohydride as a fuel additive in internal combustion gasoline engine. Energy, 254, 124300.

BÖLÜM 3

HİBRİT VE ELEKTRİKLİ TAŞITLAR

Dr. Ahmet YAKIN[1]

DOI: https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10447795

[1] Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü Van, Türkiye. ahmetyakin@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6716-2811

GİRİŞ

Küresel ısınmaya sebep olan taşıt kaynaklı emisyonların azaltılması ve yakıt ekonomisi için günümüzde kullanılan hibrit, elektrikli, güneş enerjili ve hidrojen yakıtlı taşıtlar kullanılmaktadır. Hibrid taşıtlar, yakıt verimliliğini ve performansı iyileştirmek için tasarlanmıştır. Hibrit taşıtta kullanılan elektrik motoru, aracın başlangıçtan itibaren harekete geçirilmesine ve düşük hızlarda sürüş yapmasına yardımcı olur. Benzin veya dizel motor, aracın yüksek hızlarda veya uzun mesafelerde kullanılması gerektiğinde devreye girer. Elektrikli taşıtlar, çevre dostu ve yakıt verimliliği açısından oldukça avantajlı fosil yakıtlı motorlara göre daha az gürültülü taşıtlardır.

1.1 Hibrit ve Elektrikli Araçların Tarihçesi

Otomotiv endüstrisi yıllar içinde dikkat çekici bir dönüşüm geçirdi ve daha sonra sürdürülebilir, çevre dostu seçeneklere doğru önemli bir geçiş yaşadı. İçten yanmalı benzinli ve dizel motorların hem küresel ısınmaya sebep olan zararlı emisyonları hem de petrolün gelecekte tükenecek olmasından dolayı bilim adamları tarafından hem alternatif yakıtların hem de alternatif taşıtların arayışı gün geçtikçe artmıştır. Alternatif yakıtlar olarak; alkoller, biyoyakıtlar, nano yakıtlar ve yakıt katkı maddeleri ve hidrojen gibi yakıtlar sayılırken, alternatif taşıtlar olarak; güneş enerjili taşıtlar, hibrit taşıtlar, elektrikli taşıtlar ve hidrojen yakıtlı taşıtlar sayılabilir.

Hibrit ve elektrikli taşıtlar, çevresel endişeleri ele almak, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve genel enerji verimliliğini artırmak amacıyla ortaya çıkan umut vadeden çözümler olarak ortaya çıkmıştır. Hibrit ve elektrikli taşıtların tarihi serüveni, bir asırdan fazla bir süredir gündeme gelmekte ve ilk prototiplerin geçmişi 1800'lerin sonlarına kadar uzanmaktadır. Ancak 1990'lı yıllara kadar bu teknolojiler hava kirliliği ve iklim değişikliğine ilişkin yeterli endişelerin olmaması nedeniyle ilgi görmedi.

1997 yılında Toyota, ilk hibrit elektrikli araç (HEV) olan Prius'u tanıttı ve seri olarak üretti. Prius anında talep gördü, başarıya ulaştı ve HEV'lerin tüketiciler arasında popülerleşmesine yardımcı oldu. O tarihten bu yana HEV'ler giderek daha popüler hale geldi ve artık küresel otomotiv pazarında önemli bir paya sahip oldukları söylenebilir.

Elektrikli araçlar (EV) da uzun yıllardan beri kara taşıtı olarak kullanılmaktaydı, ancak bu taşıtlar ticari olarak yakın zamanda otomotiv piyasasında yer buldular. Bunun nedeni kısmen elektrikli araçları daha uygun fiyatlı ve pratik hale getiren pil teknolojisindeki gelişmelerdir. 2010 yılında Tesla Motors, seri üretilen ilk EV olan Roadster'ı tanıttı. Roadster marka aracın ardından sırasıyla Nissan LEAF ve Chevrolet Bolt EV dahil olmak üzere başka elektrikli araçlarda takip ettiler.

1.2 Hibrit ve Elektrikli Araç Çeşitleri

Hibritli araçlar Şekil 1. yapılarında hem içten yanmalı bir motor hem de elektrikli bir motor bulundurmaktadır.

Günümüz hibrit araçlarına baktığımızda üç sınıfta toplayabiliriz

a) Hafif hibritler bu araçlar, düşük hız gerektiren durumlar ve dur-kalk trafik sırasında içten yanmalı motora (ICE) yardımcı olmak için küçük bir elektrik motorun kullanıldığı taşıtlardır. Hafif hibrit taşıtların yalnızca elektrik gücüyle sürüş yapma özelliği yoktur.

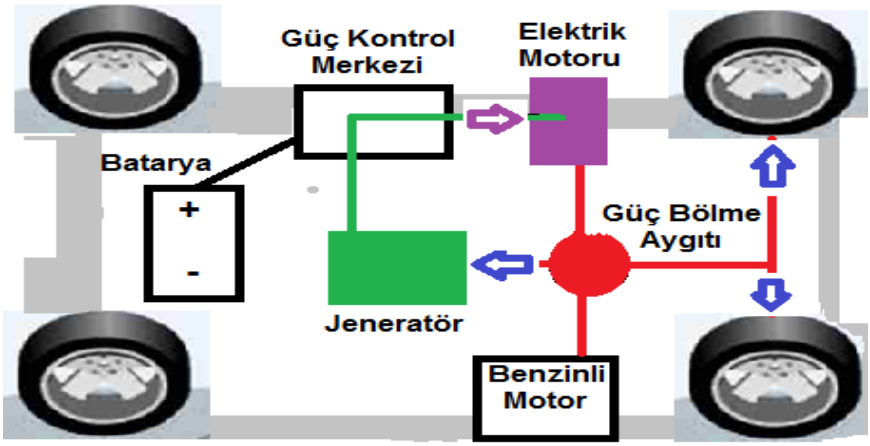
b) Tam Hibrit bu araçlar kısa mesafelerde yalnızca elektrik gücüyle çalışabilen taşıtlardır. Hafif hibrit taşıtlara göre daha büyük bir elektrik motoruna sahiptirler ve yapılarında elektrikli motora güç veren akü bulunmaktadır.

c) Elektrik akımıyla şarj olan hibrit elektrikli araçlar (PHEV) bu araçlar, elektrikli aracın bataryasını şarj etmek için harici bir güç kaynağına takılabilir. PHEV'ler, tam hibritlere göre

yapılarında daha büyük bir aküye sahiptir ve bu da onların elektrik gücüyle daha uzun mesafeler kat etmesine yardımcı olur.

d) Akülü elektrikli araçlar (BEV) bu araçlar yalnızca akülerle çalışır. İçten yanmalı motorları yoktur.

e) Yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV), bu araçlar hidrojenden elektrik üretmek için bir yakıt hücresi kullanır. FCEV'lerin egzoz emisyonları sıfırdır.



Şekil 1. Hibrit aracın yapısı

1.3. Hibrit ve Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları

1.3.1 Hibrit ve elektrikli araçların avantajları

Hibrit taşıtlar, artan yakıt ekonomisi, azalan emisyonlar ve yenilenebilir fren sistemleri gibi birçok avantaj sunar. Elektrik ve içten yanmalı güç arasındaki sinerji, daha iyi performans ve enerji yönetimi sağlar.

a) Daha az yakıt tüketimi ve emisyon**,** Hibrit ve elektrikli araçlar, benzinli araçlara göre çok daha fazla yakıt tasarrufu sağlar. Bu, daha az sera gazı emisyonu ürettikleri anlamına gelir.
b) Sessiz çalışma**,** Hibrit ve elektrikli araçlar, benzinli araçlara göre çok daha sessizdir. Bu kentsel alanlarda, mega kentlerde büyük bir avantaj olabilir.
c) Geliştirilmiş performans, Hibrit ve elektrikli araçlar genellikle benzinli araçlara göre daha çabuk hızlanma ve torka sahiptir.

1.3.2. Hibrit ve elektrikli araçların dezavantajları

Daha yüksek ön maliyet: Hibrit ve elektrikli araçlar genellikle benzinli araçlara göre daha pahalıdır**.** Sınırlı menzil: Elektrikli araçların yeniden şarj edilmeleri gerekmeden önce sınırlı bir menzili vardır. Ülkemizde halen elektrikli araçların şarj alt yapısında eksiklikler bulunmaktadır. Daha uzun şarj süreleri: Bir EV pilinin tamamen şarj edilmesi birkaç saat sürebilir. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Hibrit ve elektrikli araçların yukarıda bahsedilen avantajlarından dolayı bu taşıtların geleceğinin iyi olduğu düşünülmektedir. Pil teknolojisi gelişmeye devam ettikçe bu araçlar daha uygun fiyatlı ve kullanışlı hale gelecektir. Ayrıca dünyanın dört bir yanındaki ülkeler hibrit ve elektrikli araçların benimsenmesini teşvik edecek politikalar uygulamaktadırlar. Sonuç olarak, önümüzdeki yıllarda hibrit ve elektrikli araçların giderek yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

2. Hibrit ve Elektrikli Araçlar için Güç Aktarma Organları

Hibrit taşıtlar, geleneksel içten yanmalı motorları elektrik tahrik sistemleriyle birleştirmektedirler. Bu entegrasyon, yakıt verimliliğini optimize etmeyi ve emisyonları azaltmayı amaçlar. Paralel hibritler, seri hibritler ve güç bölmeli hibritler olmak üzere üç ana hibrit sistemi türü bulunmaktadır, her birinin benzersiz özellikleri ve avantajları vardır. Hibrit ve elektrikli taşıtların bazı türlerinde, içten yanmalı bir motor, bir elektrik üreteci (jeneratör) çalıştırmak için kullanılır. Bu

jeneratör, aracın pillerini şarj etmek veya doğrudan elektrikli tahrik motorlarına güç sağlamak için kullanılabilir. Bu kombinasyon, motor-jeneratör olarak bilinir (Agarwal ve Dev, 2013; Li ve Williamson, 2007; Shen, 2011).

2.1 Hibrit Güç Aktarma Organları

Hibrit; bir güç aktarma organı, bir içten yanmalı motor, bir elektrik motoru ve bir akü paketinden oluşur. İçten yanmalı motor ve elektrik motoru, aracı hareket ettirmek için birlikte çalışır. Pil takımı, elektrik motoruna güç sağlamak için kullanılabilecek enerjiyi depolar.

Hibrit taşıtların güç aktarma organlarını üç başlık altında toplayabiliriz.

2.1.1 Paralel hibritler: Paralel hibritte içten yanmalı motor ve elektrik motorunun her ikisi de araca bağımsız olarak güç sağlayabilir.

2.1.2 Seri hibritler: Seri hibritlerde içten yanmalı motor, elektrik motoruna güç sağlayan elektriği üretir, elektrik motoru daha sonra tekerleklere güç sağlar.

2.1.3 Güç bölmeli hibritler: Güç bölmeli hibritte, içten yanmalı motor ve elektrik motorunun her ikisi de tekerleklere güç sağlayabilir. Ancak daha fazla güç veya daha iyi yakıt ekonomisi sağlamak için birlikte de çalışabilirler.

2.2 Elektrikli Güç Aktarma Organları

Elektrikli güç aktarım sistemi; bir elektrik motoru, bir akü paketi ve bir invertörden oluşur. Elektrik motoru tekerleklere güç verir, akü paketi enerjiyi depolar ve invertör akünün doğru akım (DC) gücünü elektrik motoru tarafından kullanılabilecek alternatif akım (AC) gücüne dönüştürür.

3. Pil Teknolojisi

Günümüzde, pil teknolojileri, anma voltajı ve enerji yoğunluğu gibi temel özellikler açısından sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu gelişmeler, pillerin performansını ve verimliliğini artırarak, daha geniş bir yelpazede uygulama için uygun hale getirmektedir. Örneğin, lityum iyon pillerin enerji yoğunluğu, son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Bu sayede, elektrikli araçların menzilleri uzatılmış ve güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği artırılmıştır.

3.1 Lityum-İyon Piller

Elektrikli ve hibrit taşıtların kalbi, pil sistemlerinde bulunmaktadır. Yüksek enerji yoğunluğu ve uzun ömürleri ile lityum-iyon piller, standart seçenek haline gelmiştir. Devam eden araştırmalar, maliyetleri düşürmeye hem pil performansını hem de sürdürülebilirliği artırmaya odaklanmaktadır (Yong vd., 2015).

3.2 Katı Hal Piller

Katı hal pillerin ortaya çıkışı enerji yoğunluğu, güvenlik ve şarj süreleri gibi mevcut kısıtlamalara çözüm olarak görülmektedir. Bu devrim niteliğindeki teknoloji, elektrikli taşıtların erişilebilirliğini ve cazibesini artırır.

3.3. Şarj Altyapısı

3.3.1 Ev ve Kamu Şarjı

Elektrikli taşıtların başarısı, şarj altyapısının kullanışlılığı ve kolaylığına büyük ölçüde bağlıdır. Ev şarj istasyonları ve genişleyen bir kamu şarj noktaları ağı, elektrikli taşıtların yaygın kabulünü artırmaya katkıda bulunmaktadır. Kablosuz şarj ve hızlı şarj teknolojilerindeki yenilikler, bu altyapının evrimini hızlandırıcı rol oynamaktadır.

3.3.2 Akıllı Grid Entegrasyonu

Elektrikli taşıtların akıllı şebekelerle entegrasyonu önemli bir gelişmedir. Bu sinerji, optimize edilmiş şarj programları, yük dengeleme ve araçlarla şebeke arasında enerji alışverişi sağlar. Bu tür ilerlemeler, şarj süreçlerinin verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda şebeke istikrarına ve direncine katkıda bulunurlar.

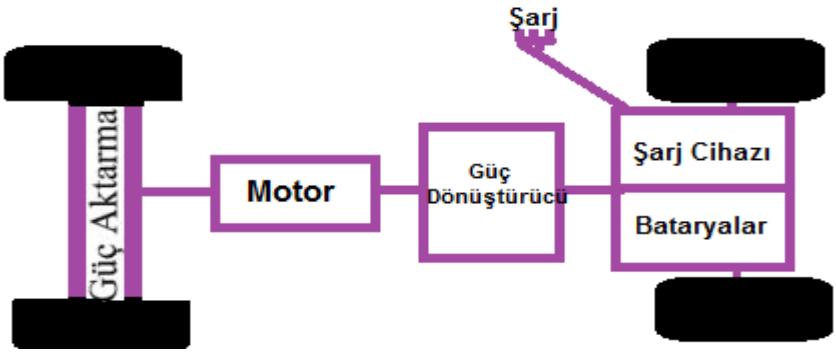
4. Elektrikli Taşıtlar

Elektrikli otomobiller, elektrik enerjisi ile çalışan ve otomotiv endüstrisinde önemli bir yere sahip olmaya başlayan otomobillerdir. Bu model arabalar, yakıt tasarrufu sağladığı gibi şehir kirliliğini ve karbon emisyonunu azaltmaktadır. Karbon emisyonunun azalma oranı, elektrik üretimine bağlı olarak %50'ye kadar çıkabilmektedir (Kerem, 2014).

Elektrikli otomobiller, içten yanmalı motorlu otomobillerden farklı bileşenlere sahiptir. Elektrik motorları, içten yanmalı motorlardan daha sessiz, titreşimsiz ve çevre dostu araçlardır. Ayrıca, daha az parçadan oluşurlar ve daha verimlidirler. Elektrikli otomobillerin aküleri, içten yanmalı motorlu otomobillerin yakıt depolarından daha az enerji yoğunluğuna sahiptir. Dolayısıyla elektrikli otomobiller daha ağırdır ve daha kısa menzil sunar.

Elektrikli otomobillerin bileşenleri, içten yanmalı motorlu otomobillerden farklı bir şekilde yerleştirilebilirler. Bu daha aerodinamik bir ön kısım, iyi bir çarpışma güvenliği daha küçük bir dönüş yarıçapı, daha düşük bir ağırlık merkezi, iyi bir sürüş konforu ve bakım gerektirmeyen bir tahrik sistemi avantajları sağlar.

Bazı elektrikli otomobillerde, büyük tahrik aküsüne ek olarak genellikle 12 voltluk bir kurşun-asit akü bulunur. Bu akü, tahrik aküsü deşarj olduğunda veya bir kazada devre dışı kaldığında araç elektroniğinin ve aydınlatmanın çalışmasını sağlar. Şekil 2 elektrikli aracın yapısını göstermektedir.



Şekil 2. Elektrikli aracın yapısı

4.2. Elektrikli Araçların Ekonomisi

Elektrikli otomobillerin en yüksek maliyetli parçası, elektrikli taşıtlarda kullanılan bataryalardır. Üreticiler, az üretim sayıları için geliştirme maliyetinin daha düşük olduğunu düşündükleri için mevcut araç platformlarını dönüştürmenin ekonomik olduğunu hesaplarlar. Ancak daha yüksek üretim sayıları için özel bir platform tercih edilir bu da tasarımı ve maliyeti optimize etme şansı sunar (Ward, 2017).

Bir yılda gidilen mesafe arttıkça elektrikli otomobilin toplam maliyeti benzinli otomobile göre daha düşük olur. Bu başa baş mesafe; vergilere, sübvansiyonlara, ülkeye ve enerji maliyetlerine göre değişir. Ayrıca araç türünün farklı şehirlerde farklı ücretlere tabi olması nedeniyle şehirlerarası karşılaştırmalar değişkenlik gösterebilir. Birçok ulusal ve yerel hükümet, elektrikli araçların ve ek donanımların fiyatlarını düşürmek için teşvikler sağlamaktadır (Japan Automobile Manufacturers, 2009; Motavalli, 2010).

Elektrikle gidilen her kilometre genellikle benzinle karşılaştırıldığında daha ekonomiktir ancak elektrik fiyatları aracın nerede ve günün hangi saatinde şarj edildiğine bağlı olarak değişebilir (McMahon, 2018). Maliyet tasarrufları, konuma bağlı olarak değişen benzin fiyatlarından etkilenir.

Elektrikli araç motorlarında sadece beş hareketli parça bulunurken benzinli araç motorlarında yüzlerce parça bulunmaktadır. Elektrikli otomobillerin tasarımı, az bakım maliyeti avantajına sahiptir.

Elektrikli aracın kilometre başına maliyetini hesaplarken bataryanın yıpranmasını dikkate almak zordur çünkü batarya her şarjda kapasitesini kaybetmeye başlar. Kullanıcı, bataryanın verimini yetersiz bulduğunda bataryanın ömrü sona erer ancak batarya ömrü bitse bile bataryalar farklı amaçlar için yeniden değerlendirilir, geri dönüştürülür veya yedek olarak kullanılır (energy.gov, 2022).

4.3 Elektrikli araçlarda hava kirliliği

Elektrikli otomobiller, şehirlere temiz hava katkısı sağlar çünkü zararlı atıklar üretmezler. İs, uçucu organik bileşikler, hidrokarbonlar, karbon monoksit, ozon, kurşun ve çeşitli nitrojen oksitleri gibi maddeleri salmazlar (Milliyet gazetesi, 2022). . Salınan karbon dioksit miktarı, aracın şarj edilmesi için kullanılan güç kaynağının emisyon yoğunluğuna bağlıdır. Araç bazında düşünüldüğünde aracın verimliliği ve şarj işlemi sırasında kaybolan enerji miktarı bu etkenlere bağlıdır.

4.4 Sonuç

- Elektrikli otomobillerin avantajları oldukça çeşitlidir. Çevre dostu bir taşıma aracı olarak öne çıkarlar, zararlı emisyonları en aza indirerek çevreye daha az zarar verirler. İçten yanmalı motorlu araçlarda ortaya çıkan is, karbon monoksit ve diğer zararlı maddelerin salınımı elektrikli araçlarda neredeyse sıfırdır.
- Ayrıca elektrikli otomobiller şehirlerde temiz hava katkısı sağlayarak hava kalitesini artırır. Zararlı hava kirleticilerini salmadıkları için özellikle şehir merkezlerinde hava kalitesini iyileştirirler.
- Düşük işletme maliyetleri de elektrikli otomobillerin avantajları arasında yer alır. Elektrikle çalıştıkları için yakıt

maliyeti, benzinli veya dizel araçlara göre daha ekonomiktir. Ayrıca elektrikli araçlarda motor bakımı ve onarımı genellikle daha azdır.

- Enerji verimliliği bakımından elektrikli otomobiller, içten yanmalı motorlara göre daha yüksek bir performansa sahiptir. Bu daha az enerji tüketimi ve daha uzun menzil sağlar.
- Sessiz çalışma özelliği, elektrikli otomobillerin çevreye daha az gürültü kirliliği katkısı sağlar. Özellikle şehir içi trafiğinde bu önemli bir avantajdır.
- Devlet teşvikleri ve vergi avantajları, birçok ülkede elektrikli otomobil kullanımını teşvik etmek amacıyla sunulmaktadır. Bu da elektrikli araçları daha çekici hale getirir.
- Gelişen şarj altyapısı, elektrikli araç kullanımını daha pratik hale getirmektedir. Hızlı şarj istasyonlarının artması kullanıcıların elektrikli araçlarını daha rahat ve hızlı bir şekilde şarj etmelerine olanak sağlar. Sonuç olarak elektrikli otomobiller çevre dostu, ekonomik, sessiz ve giderek daha yaygın hale gelen bir şarj altyapısına sahip olmalarıyla geleceğin taşımacılık sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

KAYNAKÇA

Agarwal, V., & Dev, M. (2013, April). Introduction to hybrid electric vehicles: State of art. In 2013 Students Conference on Engineering and Systems (SCES) (pp. 1-6). IEEE.Motavalli, J. (2010). China to start pilot program, providing subsidies for electric cars and hybrids. New York Times, 2.

https://www.energy.gov/infrastructure/electric-drive-vehicle-battery-recycling-and-2nd-life-apps. Erişim Tarihi: 25 Haziran 2022

https://www.milliyet.com.tr/otomobil/piyasaya-togg-etkisi-ikiye-katlayacak-6733402. Erişim Tarihi: 11 Nisan 2022.

Japan Automobile Manufacturers Association. (2009). Fact sheet: Japanese government incentives for the purchase of environmentally friendly vehicles.

Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 1-13.

Li, X., & Williamson, S. S. (2007, October). Assessment of efficiency improvement techniques for future power electronics intensive hybrid electric vehicle drive trains. In 2007 IEEE Canada Electrical Power Conference (pp. 268-273). IEEE.

McMahon, J. (2018). Electric vehicles cost less than half as much to drive. Forbes.

Piyasaya TOGG etkisi! İkiye katlayacak". Milliyet. 29 Nisan 2022 Erişim tarihi: 25 Haziran 2022.

Sayın, A. A. (2011). Elektrikli taşıt araçlarında kullanılan lityum-iyon bataryaların modellenmesi ve benzetimi (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi).

Shen, C., Shan, P., & Gao, T. (2011). A comprehensive overview of hybrid electric vehicles. International journal of vehicular technology, 2011.

Ward, Jonathan (2017). "EV supply chains: Shifting currents". Automotive Logistics. Erişim tarihi: 13 Mayıs 2017.

Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M., & Mithulananthan, N. (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. Renewable and sustainable energy reviews, 49, 365-385.

BÖLÜM 4

ISIL KONFOR ÜZERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Prof. Dr. Ahmet FERTELLİ[1]

DOI: https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10447797

[1] Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sivas, Türkiye, fertelli@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2279-1918

GİRİŞ

İnsan vücudu farklı hava koşullarına uyum sağlamakta ve hem sıcak hem de soğuk ortamlarda vücut sıcaklığını sabit tutabilmektedir. Bu sıcaklık değerlerindeki değişimler vücut ısıl dengesinin değişmesine, fizyolojik ve psikolojik çeşitli etkilerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Gerek günlük hayat gerekse çalışma koşulları içerisindeki düzensiz ve değişken hava koşullarının olması durumunda vücudumuz belirli bir noktaya kadar bu değişimleri düzenleyebilmektedir. Bir ortamda hava ve yaşam karakteristiklerini (fiziksel aktivitelerdeki rahatlık ve psikolojik değişimler) bozucu etkilerin azaltılması için ortamın iklimlendirilmesi ve konfor parametrelerinin dengede tutulması önem arz etmektedir. Isıl konforun günlük hayattaki tüm kapalı ortamlarda (yaşadığımız mahal, okullar, iş yerleri ve hastaneler vb.) üretkenlik, verimlilik ve sağlık sonuçları üzerinde önemli etkileri vardır. Sağlık etkileri düşünüldüğünde, sıcak ve soğuk hava değişimlerinin astım ve akciğer hastalıklarında etkin olduğu, soğuk ve kuru ortamların virüs yayılımlarını hızlandırdığı, sıcak ortamların ise kalp ve kan akış hızlarındaki değişikler nedeniyle önemli sağlık problemleri yarattığı bilinmektedir.

ISIL KONFOR

Vücut mekanizması, vücut sıcaklığının korunabilmesi (37°C ± 0,6°C) için mevcut iç veya dış hava koşullarına göre soğuk ortamda bulunuyorsa enerji üretecek, sıcak ortamda bulunuyor ise vücuttan dışarı ısı transferi gerçekleştirecektir (Khan ve Karpinski, 2018). Vücudumuz ısı transferini cildimiz, terleme veya nefes alıp verme ile sağlamaktadır. Cilt yüzeyinden ısı transferi ise iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere 3 farklı yolla gerçekleşmektedir. Isınan vücutta kalp tarafından fazla kan pompalanıp, damarların genişlemesi sağlanır ve damarlarla artan yüzey alanı ile hızlı bir ısı transferi gerçekleşmesi sağlanmaktadır.

İletim ile ısı transferi bir katı içerisindeki moleküler hareketlilik ile gerçekleştirilir. Sıcak moleküller daha yüksek enerjili olup, daha düşük sıcaklıktaki moleküllere enerji aktarımını sağlayarak ısı transferini oluşturur. Deri üzerinde bulunan tüm giysi katmanları iletim direncini artırarak iletim ile ısı transferini yavaşlatmaktadır. Taşınım ile ısı transferi ise, bir yüzey ve bir akışkan arasında geçekleşen ısı transferi şeklidir. Yüzey ve ısı transferinin gerçekleştiği ortam sıcaklığı arasındaki farkın, hava akış hızının ve ısı taşınım katsayısının etkin olduğu bir ısı transfer çeşididir. Taşınım, cildimiz üzerinden geçen hava ile cildimiz yüzeyi arasında gerçekleşmektedir. Hava akış hızının olup olmamasına bağlı olarak doğal ve zorlanmış taşınım olarak iki farklı şekilde tanımlanmakla beraber, zorlanmış taşınımda yüksek ısı taşınım katsayılarından dolayı daha fazla ısı transferi gerçekleşmektedir. Diğer bir ısı aktarım yöntemi olan ışınım ile ısı transferi ise, yüzeyler arasında herhangi bir temas olmadan elektromanyetik dalgalar ile ısının bir yüzeyden diğerine aktarılmasıdır (tıpkı güneşin yeryüzünü ısıtabilmesi gibi). Her cisim gözle görülür olsun veya olmasın ışınım yayar. Yayılan ışınım miktarı, siyah bir cisme göre ne kadar enerji yayma potansiyeli olduğunu gösteren yayma oranı değeri ile ifade edilir. Dolayısıyla deri sıcaklığımızdan daha düşük yüzeylerle karşı karşıya durduğumuzda (örneğin bir kişinin kışın pencere camının uzağında oturmasına rağmen soğuk hissetmesi ve rahatsız olması gibi), cildimizden ışınım yolu ile ısı transferi gerçekleşecektir.

Ayrıca maddelerin sıcaklığı değişmeden buharlaşma yoluyla oluşturulan ısı transferi gizli ısı olarak adlandırılır. Vücudumuz için alternatif doğal soğutma yöntemlerinden olan bu yöntemde, deri yüzeyindeki terin buharlaşmasıyla yüzeyden ısının çekilmesi sağlanarak vücut sıcaklığı azalmaktadır. Burada, ortam havasındaki nem miktarı önemlidir. Çünkü doymuş havanın barındırabileceği nem miktarı az olacağından dolayı yüksek bağıl neme sahip bir ortamda buharlaşma beklenenden daha yavaş gerçekleşecektir.

Isıl konfor, bir ortamda bulunan bireyler için farklılık gösteren, günlük hayatımızda da sıklıkla karşılaştığımız kimisi için sıcak veya ılık, kimisi için soğuk veya serin gibi memnuniyet ve memnuniyetsizlik duygularını da içeren hem fiziksel hem de psikolojik algıların bir bütünü olarak ifade edilebilir. Termal konfor tanımlaması ilgili uluslararası standartlar olan ISO 7730'da "*ısıl ortamdan memnuniyeti ifade eden zihinsel durum*" (ISO, 2005, s. 2), ASHRAE 55 standardında ise "*termal çevreden memnuniyeti ifade eden ve öznel değerlendirmeyle değerlendirilen zihinsel durum*" (ASHRAE, 2017, s.3) olarak tanımlanmaktadır. Herhangi bir ortamın ısıl konforunu hava hızı, kuru termometre sıcaklığı, radyan sıcaklığı, elbise yalıtımı, nem ve metabolik hız olmak üzere 6 parametre belirlemektedir (Şekil 1).

Şekil 1: Isıl Konforda Etkili Olan Parametreler

Sıcaklık, ısıl konforda en önemli parametredir. Çünkü ısı transferinin oluşmasını ve hızını belirleyen ana bileşen, kişi ve ortam arasındaki sıcaklık farkıdır. Isıl konforla ilgili olan iki sıcaklıktan birincisi kuru termometre sıcaklığı, ifade edildiği gibi termometre ile ölçülen sıcaklıktır. İş sağlığı açısından çalışılan ortamda inceleme yapılıyor ise, çalışan kişinin bulunduğu ortam, kişinin fiziksel ve psikolojik durumu, giysi, işin çeşidi gibi parametreler uygun hava sıcaklığını tespit etmekte önemlidir. Örneğin döküm, demir-çelik ve cam üretim tesislerinde kuru termometre sıcaklığı yüksek iken, tekstil, kâğıt ve kimyasal üretim tesislerinde nemli ortamlar daha etkindir. İkinci sıcaklık türü olan radyan sıcaklığı, ısı kaynaklarından ışıma ile yayılan ısı miktarının tespitinde kullanılır. Tüm iş ortamlarında sıcak yüzeylerle birlikte gerçekleşen ışıma ile ısı transferi oluşmakta ve çalışanlar üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Ayrıca ölçülen sıcaklığın yanında nem ve hava akış hızı değerlerine bağlı olarak bireylerin algıladığı sıcaklık da farklı olabilmekte ve ısıl konfor için bu yüzden memnuniyetsizlik ifade edilmesine sebep olmaktadır. Hissedilen sıcaklık olarak adlandırılan bu sıcaklığın, hava sıcaklığının bağıl nem ve rüzgâr hızı ile değişimi Tablo 1'de gösterilmektedir. 33 °C sıcaklıkta % 25 bağıl nemde hissedilen sıcaklık 32 °C iken, nem oranı % 85 olduğunda hissedilen sıcaklığın 52 °C'ye yükseldiği görülmektedir. ISO 7730'da ısıl konfor için sıcaklık değerleri belirlenen koşullarda soğutma dönemi için 24,5 °C ± 1,5 °C, ısıtma dönemi için ise 22 °C ± 2 °C sıcaklıklarında kabul edilebilir aralıktadır (Atmaca ve Yiğit,2009).

Tablo 1: Hissedilen Sıcaklığın Bağıl Nem İle Değişimi (MGM,2022)

HAVA SICAKLIĞI (°C)	BAĞIL NEM (%)																	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
50	45	48	53	58	66	69	76	83	91	99									
49	44	47	51	55	61	66	72	79	86	94									
48	43	46	49	53	58	63	68	75	81	88	96								
47	42	45	48	51	55	60	65	70	76	83	90	98							
46	41	43	46	49	53	57	62	67	72	78	85	91	99						
45	41	43	45	48	52	56	62	65	70	76	82	88	96						
44	40	42	44	46	49	52	57	61	66	71	77	83	89	96					
43	39	40	42	44	47	50	54	58	62	67	72	77	83	90	97				
42	38	39	41	43	45	48	51	54	58	62	67	72	78	83	90	96			
41	37	38	39	41	43	45	48	51	55	59	63	67	72	78	83	89	96		
40	36	37	38	39	41	43	46	48	51	55	59	63	67	72	77	83	88	95	
39	35	36	37	38	39	41	43	46	48	51	55	58	62	67	71	76	81	87	93
38	35	35	36	37	38	40	42	44	47	50	53	56	60	64	68	73	78	83	89
37	34	34	35	36	37	38	40	42	44	46	49	52	56	59	63	67	72	76	81
36	33	33	34	34	35	36	38	39	41	43	46	48	51	55	58	62	66	70	74
35	32	32	33	33	34	35	36	37	39	41	43	45	48	50	53	57	60	64	68
34	31	31	32	32	32	33	34	35	37	38	40	42	44	46	49	52	55	58	61
33	31	31	31	31	32	32	33	34	36	37	39	40	42	45	47	49	52	55	58
32	30	30	30	30	31	31	32	33	34	35	36	38	39	41	43	45	47	50	53
31	29	29	29	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	38	40	41	43	45	47
30	28	28	28	28	28	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	38	39	41	42
29	27	27	27	27	28	28	28	28	29	30	30	31	32	32	33	34	36	37	38
28	26	26	26	27	27	27	27	27	28	28	29	29	30	30	31	32	32	33	34
27	26	26	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	31	31	32
26	25	25	25	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	28	28	28	28	29
25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27

Soğuk-Serin (-1°C — 26°C)

Tehlikeli sıcak: >55°C

Nem, hava içerisinde bulunan su buharı olarak tanımlanır; mutlak ve bağıl nem olmak üzere iki şekilde tanımlanabilir. Mutlak nem, kg cinsinden birim hava içerisinde bulunan su buharı olarak tanımlanırken, bağıl nem hava içerisinde bulunan su buharının eş sıcaklıkta bulunabilecek en fazla su buharı miktarına oranı olarak ifade edilir. Bağıl nem, ısıl konfor açısından hem hissedilen sıcaklıkta hem de yüksek nem oranlarının ısı transferini azaltması nedeniyle buharlaşma ile ısı transferinde etkin rol oynamaktadır. Isıl konfor açısından % 30 - % 70 arasında bağıl nem kabul edilebilir aralıktadır (Atmaca ve Yiğit, 2009).

Hava hızı, doğal ve zorlanmış taşınımla gerçekleşen ısı transferinin temel belirleyici noktası ve hissedilen sıcaklığı da etkileyen bir özelliktir. Tablo 2'de hava sıcaklığının -5 °C ve rüzgâr hızının 6 km/h olduğu bir ortamda hissedilen sıcaklık -8°C iken, rüzgâr hızının

40 km/h olması durumunda hissedilen sıcaklığın -14 °C olduğu görülmektir. Gerek yaşam alanlarında gerekse iş çalışma koşullarında havalandırma yapılarak taze havanın ortamlara aktarılması gerekmektedir.

Tablo 2: Hissedilen Sıcaklığın Rüzgâr Hızı İle Değişimi (MGM, 2022)

RÜZGAR HIZI (km/sa)	HAVA SICAKLIĞI (°C)												
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
6	-2	-3	-4	-5	-7	-8	-14	-19	-25	-31	-37	-42	-48
8	-3	-4	-5	-6	-7	-9	-14	-20	-26	-32	-38	-44	-50
10	-3	-5	-6	-7	-8	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51
15	-4	-6	-7	-8	-9	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54
20	-5	-7	-8	-9	-10	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56
25	-6	-7	-8	-10	-11	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57
30	-6	-8	-9	-10	-12	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59
35	-7	-8	-10	-11	-12	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60
40	-7	-9	-10	-11	-13	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61
45	-8	-9	-10	-12	-13	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62
50	-8	-10	-11	-12	-14	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63
55	-8	-10	-11	-13	-14	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63
60	-9	-10	-12	-13	-14	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64
65	-9	-10	-12	-13	-15	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65
70	-9	-11	-12	-14	-15	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65
75	-10	-11	-12	-14	-15	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66
80	-10	-11	-13	-14	-15	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67
85	-10	-11	-13	-14	-16	-17	-24	-31	-39	-46	-53	-60	-67
90	-10	-12	-13	-15	-16	-17	-25	-32	-39	-46	-53	-61	-68
95	-10	-12	-13	-15	-16	-18	-25	-32	-39	-47	-54	-61	-68
100	-11	-12	-14	-15	-16	-18	-25	-32	-40	-47	-54	-61	-69

Soğuk: (-2°C — -9°C)

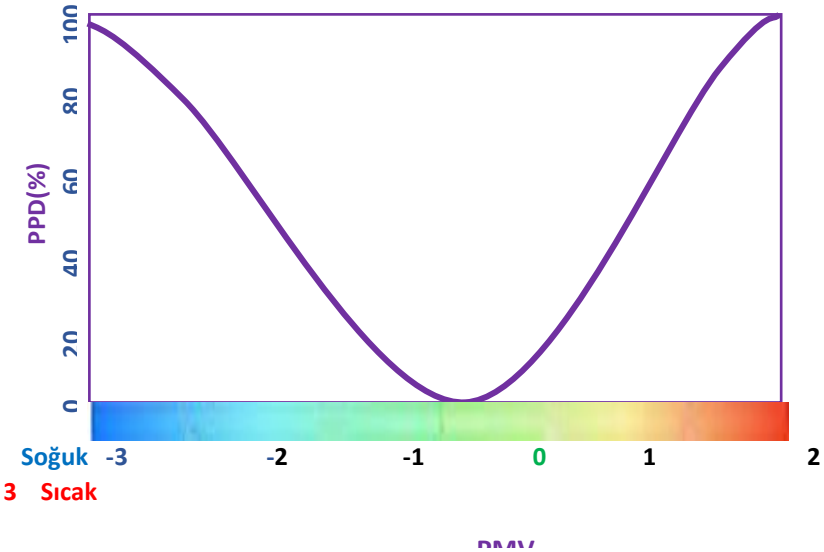
Tehlikeli soğuk: <-60°C

ASHRAE 55 standardına göre, metabolik hız yapılan aktiveler ile insan vücudunda üretilen enerjinin bir göstergesidir. Genellikle vücut birim yüzey alanı cinsinden W/m^2 ya da met olarak ifade dilmektedir (1 Met= 58,2 W/m^2) (ISO,2005; ASHRAE, 2017). Çalışma esnasında yapılan aktiveye göre değişmekle beraber dinlenme pozisyonunda bir kişi için metebolik hız değeri 1 met'dir (ASHRAE, 2017; ISO, 2005).

Tüm ısı transferi vücut üzerinden gerçekleştiğinden dolayı, vücut üzerine giyilen her bir kıyafet aynı zamanda ısı transferini engelleyici bir iletim direnci oluşturmaktadır. Isıl konfor açısından elbise yalıtım direncinin ifadesi "clo" ile gösterilmektedir ve 1 clo = 0.155 m^2 K/ W

olarak ifade edilmektedir. Örneğin kısa kollu gömlek ve yazlık pantolon giyinmiş bir kişi için elbise yalıtım değeri 0,57clo iken, önlük veya tulum giymiş birisi için bu değer 0,72 clo-1,37 clo arasında değişmektedir (ISO, 2005; ASHRAE, 2017).

Isıl konforu etkileyen bu parametreler ilk olarak 1970 yılında Fanger tarafından ısıl konfor matematiksel olarak "Tahmini Ortalama Oy" (PMV- Predicted Mean Vote) ve yapılan deneyler sonucunda "Tahmin Edilebilen Yüzde Memnuniyetsizlik" (PPD-Predicted Percentage Dissatisfied) indeksleri ile ifade edilmiştir (Fanger, 1970). PMV insan vücudunun ısı dengesine odaklı ve 7 noktalı tahmin yapan bir indekstir. Şekil 2'de gösterildiği gibi -3 ile +3 arasında olan bu indekste, 7 noktanın anlamı -3: Soğuk, -2: Serin, -1: Hafif serin, 0: Nötr, 1: Hafif ılık, 2: Ilık, 3: Sıcak olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2: PMV ile PPD'nin Değişimi (ASHRAE, 2017; ISO,2005)

PPD değeri ise PMV sonuçlarından elde edilen ve bir ortamdaki kişilerin ne kadarının ısıl konforla ilgili memnuniyetsiz olduklarının yüzdesini veren bir indekstir (Şekil 2). PMV değerleriyle tanımlanmış

konfor düzeyinde PPD indeksi, ortamdaki kişilerden her zaman % 5'inin ısıl ortamdan memnun olmadıklarını göstermektedir.

SONUÇ

Tam bir ısıl denge sisteminde çalışan insan vücudu, bulunduğu ortam koşullarına uyumu ısı transferi yaparak sağlar. Isı transferinin olması gerekenden fazla veya az olması hem günlük hem de iş koşullarında çeşitli olumsuzluklar yaratabilmektedir Sıcaklık, nem, hava hızı, metabolik hız, yalıtım ve radyan sıcaklıklarının ısıl konfor standartları ile belirlenen değerler arasında olması ortam koşullarına dair memnuniyet oranını artıracaktır.

KAYNAKÇA

Atmaca, İ. ve Yiğit, A. (2009). Isıl konfor ile ilgili mevcut standartlar ve konfor parametrelerinin çeşitli modeller ile incelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, İzmir, 543-555 s.

ASHRAE Standard 55-2017. (2017).Thermal environmental conditions for human occupancy., American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.

Fanger P.O. (1970). Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering, Danish technical press, Copenhagen.

ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and ınterpretation of thermal comfort using calculation of the pmv and ppd ındices and local thermal comfort criteria.

Khan, M.T. ve Karpinski, E.A. (2018). Guideline-Thermal stress in the work place. Employment and Social Development Canada, 1-32.

T.C. Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim adresi: https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=hissedilensicaklik

ISBN: 978-625-367-537-0