

**MULTİDİSİPLİNER  
PRENSİPLERDE  
MÜHENDİSLİK  
ALANINDA YENİLİKLER**

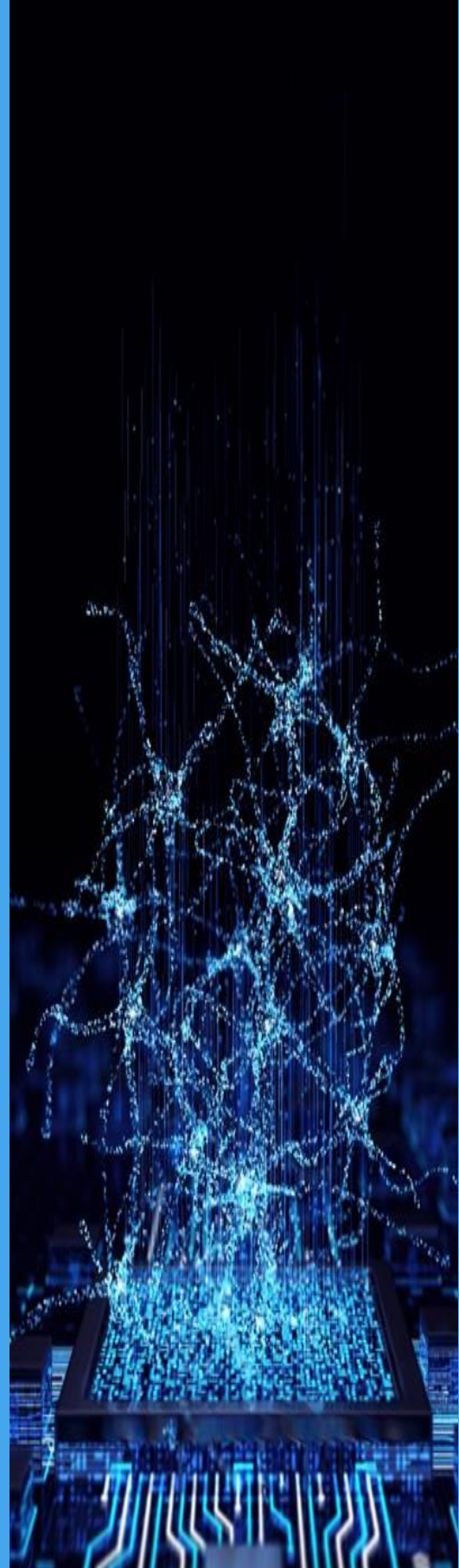
**Doç. Dr. Gülşah ÇAKMAK**

**Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI  
Dr. Alper Fatih İSLİ**

**Dr. Öğr. Üyesi Yusuf FEDAI  
İpek KALYONCU**

**ISBN: 978-625-8151-30-5**

**Ankara -2024**



# MULTİDİSİPLİNER PRENSİPLERDE MÜHENDİSLİK ALANINDA YENİLİKLER

## EDİTÖR

Doç. Dr. İsmail TOPCU  
ORCID ID:0000-0002-2998-6569

## YAZARLAR

Doç. Dr. Gülşah ÇAKMAK<sup>1</sup>

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI<sup>2</sup>

Dr. Alper Fatih İSLİ<sup>3</sup>

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf FEDAI<sup>4</sup>

İpek KALYONCU<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği,  
Elazığ, Türkiye, gulcakmak@firat.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0001-6809-2421

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü,  
Adana, Türkiye, nyapici@cu.edu.tr  
ORCID ID:0000-0001-9761-9122

<sup>3</sup>AkçanSA Çimento A. Ş.  
Çanakkale, Türkiye, afi800@hotmail.com

<sup>4</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri  
Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye,  
yusuffedai@osmaniye.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0003-4546-8830

<sup>5</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri  
Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye,  
ipekkalyoncu1999@gmail.com  
ORCID ID: 0009-0007-5495-6867

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13823411>



Copyright © 2024 by UBAK 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. UBAK International Academy of Sciences Association  
Publishing House®

(The Licence Number of Publicator: 2018/42945)

E mail: [ubakyayinevi@gmail.com](mailto:ubakyayinevi@gmail.com)

[www.ubakyayinevi.org](http://www.ubakyayinevi.org)

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

UBAK Publishing House – 2024©

**ISBN: 978-625-8151-30-5**

September / 2024

Ankara / Turkey

## ÖNSÖZ

Bilgi toplumu olarak bilginin kullanılması ve teknolojiye uyarlanması sonucunda meydana gelen teknolojik gelişim ve dönüşümler söz konusu olmuştur. Günümüzde ortaya çıkan problemlerin çözümüne yönelik farklı uzmanlık alanlarında yapılan akademik çalışmalar geniş ölçüde devam etmektedir. Karşılaşılan ve geçmişten gelen köklü problemler özellikle disiplinler arası yapılan çalışmalar ile çözümlere farklı bakış açısı sağlaması ve disiplinleri bir araya getirmesi nedeniyle oldukça önemlidir. Bütün dünyada ve özellikle ülkemizde lisansüstü eğitim yapan öğrencilerin, akademisyenlerin ve araştırmacıların gelişimine ve çalışmalarına katkıda bulunmak amacıyla bu kitap hazırlanmıştır. Kitabın içeriğinde günümüzde problemlerin çözümüne dönük güncel ve çok önemli farklı mühendislik bilimlerinde çalışan bilim insanlarının araştırmaları bir arada sunulmuştur. Yapılan çalışmalar içerik olarak konular itibari ile konular teorik veya uygulamalı esasları açıklanarak verilmiştir.

Birinci bölümde Makine Mühendisliğinde yenilenebilir enerji alanlarından birisi olan Güneşin gücü: güneş panellerinde verimliliği artırmak için stratejiler incelenerek teorik ve uygulamalı araştırma sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

İkinci bölümde Maden Mühendisliği alanında temel ve güncel konulardan, çimento sanayinde alternatif yakıtların ve atıkların yeşil ekonomiye etkisi açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde ise Endüstri Mühendisliğinde son dönemlerde çığır açan eklemeli imalat alanında, Soğuk püskürtmeli eklemeli imalat: bir

bibliyometrik analiz ve vosviewer ile haritalama incelenmiştir. Kitabın hazırlanmasında emeği geçen herkese teşekkür eder, bu kitaptan faydalanacak araştırmacılara başarılar dilerim.

**Doç. Dr. İsmail TOPCU**



## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....i

## GÜNEŞİN GÜCÜ: GÜNEŞ PANELLERİNDE VERİMLİLİĞİ ARTIRMAK İÇİN STRATEJİLER

Doç. Dr. Gülşah ÇAKMAK

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1. GİRİŞ .....                                                      | 1  |
| 2. Güneş paneli sistem bileşenleri .....                            | 3  |
| 3. Güneş paneli sistemlerinde sıcaklık kontrolü ve verimlilik ..... | 4  |
| 4. Fotovoltaik/Thermal sistemler (PV/T).....                        | 7  |
| 5. Güneş takip sistemleri .....                                     | 9  |
| 6. Sonuç.....                                                       | 13 |
| KAYNAKÇA .....                                                      | 15 |

## BÖLÜM 2

## ÇİMENTO SANAYİNDE ALTERNATİF YAKITLARIN ve ATIKLARIN YEŞİL EKONOMİYE ETKİSİ

Dr. Öğretim Üyesi Nil YAPICI

Dr. Alper Fatih İSLİ

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| GİRİŞ .....                                       | 19 |
| 1. Yeşil Ekonomi Kavramı .....                    | 20 |
| 2. Yeşil Ekonomide Alternatif Yakıtın Önemi ..... | 28 |
| 3. Sonuç.....                                     | 34 |

|                |    |
|----------------|----|
| KAYNAKÇA ..... | 36 |
|----------------|----|

### **BÖLÜM 3**

## **SOĞUK PÜSKÜRTMELİ EKLEMELİ İMALAT: BİR BİBLİYOMETRİK ANALİZ VE VOSVIEWER İLE HARİTALAMA**

End. Müh. İpek KALYONCU

Dr. Öğretim Üyesi Yusuf FEDAI

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| GİRİŞ .....                   | 39 |
| 1. EKLEMELİ İMALAT.....       | 41 |
| 2. MATERYAL VE METOT .....    | 51 |
| 3. BULGULAR VE TARTIŞMA ..... | 53 |
| 4. Sonuç.....                 | 59 |
| KAYNAKÇA .....                | 60 |

## **BÖLÜM 1**

### **GÜNEŞİN GÜCÜ: GÜNEŞ PANELLERİNDE VERİMLİLİĞİ ARTIRMAK İÇİN STRATEJİLER**

Doç. Dr. Gülşah ÇAKMAK

#### **1. GİRİŞ**

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve kullanım oranı, diğer dönemlere kıyasla hızla artmaktadır. Güneş enerjisi, bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkanlardan biridir. Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha düşük kurulum ve işletme maliyetleri, çevre dostu olması ve kolay kurulum avantajlarıyla geleceğin öncü enerji kaynağı olma potansiyeline sahiptir(Gülay,2008).

Isı ve elektrik enerjisi, günümüzde en yaygın ve en gerekli enerji türleridir. Bu sebeple, tüm enerji kaynaklarından elde edilen enerjiler, ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir bölümü; kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır(Atabay, 2001). Fosil yakıtlar, bitkiler ve hayvanların milyonlarca yıl süren çürümesi sonucunda oluşmuşlardır. Yeraltında yüksek ısı ve basınç altında meydana gelen bu yakıtlar, oluşum sürelerinden daha hızlı tüketilmektedir. Bu nedenle, fosil yakıtlar kısa vadede yenilenemeyen kaynaklar olarak kabul edilir. Bu yakıtların tükenmesi ve fiyatlarının sürekli artmasının yanı sıra, yanmaları sonucu çevreye verdikleri zararlar ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri de önemlidir (Öztürk, 2021). Bu nedenlerle, fosil

yakıtların sınırlı olması, çevresel zararları ve fiyat dalgalanmaları gibi sorunlar, özellikle güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklara yönelimi teşvik etmektedir.

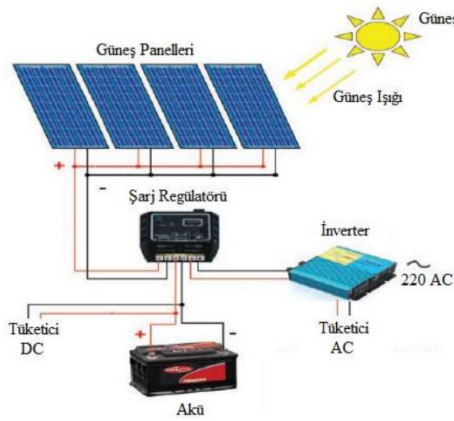
Güneş panelleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemlerdir ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptirler. Ancak, bu panellerin verimliliği genellikle güneş ışığından elektrik enerjisine dönüştürme oranı olarak ifade edilen bir değerle ölçülür. Güneş panellerinin verimliliği, bir dizi faktörden etkilenir ve bu faktörlerin başında güneş ışığının yoğunluğu, panelin eğimi ve yüzeyin temizliği gelir.

Günümüzdeki güneş panelleri, genellikle %15 ila %20 arasında bir verimlilik sağlarlar. Ancak, bu değerler panelin teknolojisine, kalitesine ve kullanım koşullarına göre değişebilir. Düşük verimlilik, genellikle panelin yeterince güneş ışığını elektriğe dönüştürememesi veya teknolojik sınırlamalardan kaynaklanabilir. Bu durum, panelin ekonomik olmayan veya istenilen enerji miktarını sağlamayan bir seçenek olmasına neden olabilir.

Fotovoltaik sistemlerin verimliliği üzerindeki araştırmalar ve geliştirmeler, panel teknolojilerinin ve enerji depolama çözümlerinin ilerlemesiyle beraber devam etmektedir. Bu çalışmalar, güneş enerjisinin daha geniş ölçekte ve daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamayı hedeflemektedir. Ayrıca, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve çevresel etkilerin azaltılması da güneş panellerinin verimliliği üzerinde odaklanılan alanlardan biridir.

## 2. Güneş paneli sistem bileşenleri

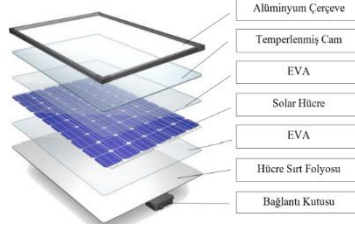
Güneş Paneli Sistemi (GPS) kurulumunda temel sistem bileşenleri Güneş paneli, akü, şarj regülatörü ve inverterdir. Teorik olarak kurulan bir GPS'ten %100 verim almak mümkün değildir. Güneş panelinin yapısına bağlı olarak, elektrik enerjisine dönüştürülebilen verim genellikle %5 ile %20 arasında değişir. Aküler ve inverterler ise genellikle %80 ila %90 arasında bir verimle çalışır. Şekil 1'de GPS modelinin dış görünümü gösterilmiştir.



**Şekil 1.** GPS modelinin dış görünümü (Köroğlu vd., 2010)

Güneş hücrelerinin üretiminde en yaygın kullanılan elementlerden biri olan silisyum, bor ile karıştırılarak ısıtılır. Bu işlemden sonra, her 1 mm kalınlığındaki silisyum numunesinden 0.1 mm kalınlığında iki silisyum levha elde edilir. Bu levhaların absorpsiyon özellikleri kimyasal işlemlerle %10'a düşürülür. Daha sonra, sıcaklığı yüksek olan fosfor levhasının absorpsiyonu kimyasallar kullanılarak daha da düşürülür; bu işlem sonucunda elde edilen yapıya güneş hücresi adı verilir. Bu hücreler, alt ve üst kısımlarına EVA

uygulanarak kaplanır. Hücreler birleştirilerek güneş paneli oluşturulur. Şekil 2'de, güneş panelinin hücre katmanları gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Geleneksel tip fotovoltaik güneş paneli hücre katmanları(Willson vd., 2020)

### 3. Güneş paneli sistemlerinde sıcaklık kontrolü ve verimlilik

Sanayileşme ve şehirleşmenin artmasıyla birlikte, toplumların enerji ihtiyaçları da hızla artmaktadır. Bu nedenle, güneş, rüzgar ve jeotermal enerji gibi çevre dostu, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için yeni teknikler geliştirme gerekliliği doğmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın ve en fazla uygulama alanı bulan kaynak kuşkusuz güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan yöntemlerden biri güneş pilleridir. Güneş pilleri, diğer adıyla fotovoltaik (PV) hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarıiletken cihazlardır(Aktaş ve Efe, 2019). Bu piller, temiz ve yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynar. Ancak, güneş pillerinin verimliliği ve sıcaklık kontrolü, enerji üretiminin etkinliği açısından büyük önem taşır.

Güneş pillerinin yüksek sıcaklıklarda verimlerinin düşmesine neden olan birkaç ana sebep aşağıdaki gibi özetlenebilir:

*Elektron Hareketliliği Azalır:* Yüksek sıcaklıkta, güneş pilinin içyapısındaki yarı iletken malzemenin elektron hareketliliği azalır. Elektronlar daha fazla termal enerji taşıdıklarından, daha fazla termal saçılma meydana gelir. Bu, elektronların hareketini yavaşlatır ve daha düşük hareketlilik, güneş pillerinin elektrik üretim verimini olumsuz etkiler.

*Inverteleme Enerjisi Azalır:* Yarı iletken malzemenin valans bandı ile iletken bandına geçiş yapabilen elektronların enerji seviyeleri vardır. Yüksek sıcaklıkta, bu enerji seviyeleri arasındaki enerji farkı azalır, bu da güneş pillerinin enerji dönüşüm verimliliğini etkiler. Daha düşük enerji farkı, daha az güneş enerjisi emilmesine ve daha az elektrik üretilmesine neden olur. Yüksek sıcaklık, yarıiletken malzemenin *Fermi seviyesini etkiler:* Fermi seviyesi, yarıiletken malzemelerdeki elektronlar arasındaki enerji seviyesini belirler. Yüksek sıcaklık, Fermi seviyesini değiştirerek güneş pilinin performansını düşürür.

*Termal Kayıplar Artar:* Yüksek sıcaklıklarda güneş pili daha fazla ısınır ve bu ısı enerji kaybına yol açar. Isı, elektrik enerjisi üretmek yerine ısı enerjisi olarak kaybolur.

*Isıl Genleşme:* Yarıiletken malzemeler, sıcaklık artışıyla genişir. Bu genleşme, güneş pilinin yapısındaki gerilimleri ve bağlantıları etkiler, bu da verimliliği düşürür.

*Foton Emilimi:* Yüksek sıcaklık, güneş pillerinin fotonları absorbe etme yeteneğini etkiler. Fotonlar, yüksek sıcaklıkta yarıiletken malzemelerde daha fazla enerji kaybeder, bu da güneş pillerinin verimliliğini azaltır.

*Şarj Taşıyıcılarının Rekombinasyonu:* Yüksek sıcaklıklarda, güneş pilinin içyapısındaki taşıyıcıların rekombinasyonu artar. Bu, elektronlar

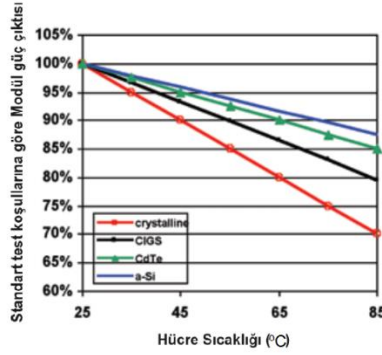
ve boşlukların bir araya gelerek enerjiyi kaybetmelerine neden olur ve bu da verimliliği düşürür.

Bu nedenlerle güneş pilleri, daha yüksek sıcaklıklarda daha düşük verimlilik gösterir. Güneş pillerinin en iyi performansını serin ve ılıman hava koşullarında sergilediği göz önüne alındığında, sıcak iklimlerde bu verim kayıplarını azaltmak için soğutma sistemleri veya daha verimli tasarım yaklaşımları kullanılmalıdır.

PV panellerin üretim teknolojisine bağlı olarak hücre sıcaklığı ile elektriksel verim arasında değişkenlik gösteren bir ilişki vardır. Genel olarak, hücre sıcaklığı ile PV panelin güç çıkışı arasında ters bir orantı bulunur ve bu orantı panelin sıcaklık karakteristiğine göre farklılık gösterir. Sıcaklık katsayısı, her 1°C'lik sıcaklık artışının PV panel verimini ne kadar olumsuz etkilediğini belirten bir parametredir ve üreticiler tarafından panel etiketinde veya teknik özelliklerinde belirtilir. Şekil 3, standart test koşullarında hücre sıcaklığına göre güç çıktısının nasıl değiştiğini göstermektedir. Standart test koşulları 25°C sıcaklık anlamına gelir. Şekil 3'de görülebileceği gibi, sıcaklık artışından en az etkilenen PV panel türü amorf silikon yapısında olmalıdır. Buna karşın, sıcaklığın olumsuz etkilerinden en fazla etkilenen PV türleri ise kristal yapıda olan monokristal ve polikristal PV panellerdir(Akagündüz ve Bulut, 2022).

PV panellerde sıcaklık artışını kontrol altına almak için aktif ve pasif soğutma yöntemleri kullanılmaktadır. Pasif soğutma yönteminde, ısınan yüzeye yerleştirilen bakır veya alüminyum kanatçıklar, üretilen enerjiyi emerek taşınım yoluyla çevreye aktarır. Aktif soğutma yönteminde ise, ısıyı uzaklaştırmak için sıvı veya basınçlı hava

kullanılır. Bu yöntemin avantajı, ısının pasif soğutmaya göre daha hızlı atılmasıdır.



**Şekil 3.** Hücre sıcaklığının PV modül performansına etkisi (Elbreki vd., 2016).

Hava ile aktif soğutmada fanlar ana eleman olarak kullanılır ve fanın tipi ile kapasitesi soğutma uygulamasının etkinliğine göre belirlenir. Sıvılı soğutmada ise kapalı bir sistemde dolaşan akışkan, soğutulması gereken bölgeye soğuk sıvı pompalar ve bu akışkan, ısıyı ortamdan uzaklaştırır. Bu süreç, hedeflenen soğutma seviyeleri elde edilene kadar tekrarlanır.

#### 4. Fotovoltaik/Thermal sistemler(PV/T)

Güneş modülleri fotovoltaik dönüşüm sırasında sıcaklık artışına neden olan ve elektrik üretimini olumsuz etkileyen bir kalorifik enerji oluşturur. Bu enerji, kısmen emilemeyen güneş radyasyonundan kaynaklanan hücre ısısının artışı ve elektrik akımının geçişi sırasında oluşan Joule etkisi tarafından tetiklenir. Bu ısınma, fotovoltaik hücrenin performansını olumsuz etkiler ve bu nedenle birçok araştırma

çalışması, bu ısıyı sınırlamak için çeşitli yöntemler geliştirmeye odaklanmıştır. Bu bağlamda, fotovoltaiik modülün bir termal sisteme entegre edilmesi fikri, fotovoltaiik termal (PV/T) hibrit toplayıcılarının geliştirilmesine yol açmıştır. Bu, hem elektrik üretimi hem de ısı üretimi sağlayabilen bir sistem oluşturmayı amaçlar.

Bir PV/T kollektör, sadece elektrik üretmekle kalmayıp aynı zamanda termal enerji de absorbe eden bir modüldür. Böylece, hem ısı hem de elektrik enerjisi aynı anda elde edilebilmektedir. Fotovoltaiik sistemin enerji dengesi Eşitlik 1'deki gibidir.

$$E_{\eta PV} = E_{\eta PV,elektrik} + E_{\eta PV,termal} \quad (1)$$

$E_{\eta PV,elektrik}$  ile sistemin elektrik üretimi,  $E_{\eta PV,termal}$  ile ise sistemin ısı kayıpları temsil edilmiştir.

PV/T panellerin ve PV panellerin güç analizi için gereken ilk adım, bu sistemlerin gerilim ve akım değerlerinin ölçülmesidir. Bu değerler, aşağıdaki formül kullanılarak güç analizi hesaplanabilir (Çelik ve Çelik, 2018).

$$E_{\eta PV,elektrik} = V_{oc} I_{sc} \quad (2)$$

$V_{oc}$  açık devre voltajını,  $I_{sc}$  kısa devre akımını göstermektedir. Sistemin ısı kayıpları ise 3 numaralı denklemdeki gibidir.

$$E_{\eta PV,termal} = h_{ca} A_c (T_h - T_a) \quad (3)$$

Fotovoltaiik hücrelerden çevreye olan ısı kaybı, rüzgar hızına bağlı olarak aşağıdaki ilişki ile gösterilmiştir.

$$h_{ca} = 2,8 + (0,3xvr) \quad \text{ için } \quad 0 \leq vr \leq 7 \text{ ms}^{-1} \quad (4)$$

Bu denklemdeki  $v$ , PV üzerinde ölçülen rüzgâr hızıdır. Fotovoltaik sistemin toplam enerji dengesi Eşitlik 5 ile hesaplanmıştır.

$$E_{\eta PV} = V_{oc}I_{sc} + h_{ca}A_c(T_h - T_a) \quad (5)$$

Fotovoltaik sistemin enerji verimliliği, fotovoltaik yüzey üzerine ulaşan güneş enerjisinden elde edilen toplam enerji miktarının oranı olarak hesaplanabilir. Bu oranı hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\eta_{PV} = \frac{E_{\eta PV}}{I_s A_c} = \frac{V_{oc}I_{sc} + h_{ca}A_c(T_c - T_a)}{I_s A_c} \quad (6)$$

Fotovoltaik panellerden sadece elektrik enerjisi üretimi açısından faydalandığında, verimlilik hesabı yapılırken sadece elektrik enerjisine dönüşen kısmı dikkate almak önemlidir.

## 5. Güneş takip sistemleri

Dünya genelinde her bölge yıl boyunca belirli bir miktarda güneş ışığına maruz kalmaktadır, fakat güneş radyasyonu miktarı coğrafi konuma bağlı olarak değişmektedir. Bu miktar, fotovoltaik radyasyon olarak adlandırılır. Güneş panelleri güneş ışığına maruz kaldığında, hücreler güneş ışığından gelen enerjiyi emer ve bu enerji, hücrelerde elektrik akışına yol açan bir elektrik alanına tepki olarak elektrik yükleri üretir. Ancak, güneş enerjisi sistemlerinin işletimindeki en büyük dezavantaj, güneş ışınlarının panellerin düşme açısına göre değişmesidir. Bu durum, gün içinde güneşin hareketi nedeniyle üretimin sabit kalamamasına ve hatta azalmasına yol açar. Güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışınları dik açıya yaklaştıkça, panel

verimliliği artar(Gezgin, 2023). Bu nedenle güneş takip sistemleri, panellerin güneş ışınlarından en verimli şekilde faydalanabileceği açıyı bulmak ve güneşi sürekli olarak takip etmek için tasarlanmıştır. Bulutlu hava koşulları, gün içinde güneşin hareketi ve sabit panel konumu, panellerin herhangi bir günün herhangi bir saatinde aynı verimliliğe sahip olmasını engeller. Bu nedenle, izleyici sistemleri üzerinde çalışan araştırmacılar, panellerin gün boyunca güneşin hareketini takip ederek daha fazla güneşe maruz bırakılmasını sağlayan yeni sistem analizleri, simulasyon tasarımları, üretim karşılaştırmaları ve performans analizleri gibi bir dizi çalışma gerçekleştirmektedir.

Güneş panellerinin/kollektörlerin ışığa maruz kalma miktarı, verimlilik ve panellerden elde edilen enerji üzerinde ısınım, sıcaklık, yönlendirme ve eğim gibi faktörler büyük bir rol oynar (Abdeen vd., 2017). Bu nedenle, güneş panellerinin belirli coğrafi konumlarına dayanarak eğim açılarını optimize etmek, belirli bir gün içinde üzerlerine maksimum düzeyde ısınımın düşmesini sağlamak için güneş panellerinin eğim açılarını optimize etmek son derece önemlidir (Hafez, 2017). Bu panellerin yüzeyinin güneş ışınlarına dik bir şekilde konumlandırılması, optimal ve verimli bir yöntem olarak doğrulanmıştır (Fadil vd., 2013). Genel uygulama olarak, güneş PV panelleri, monte edildikleri yarımküreye bağlı olarak Güney veya Kuzey'e doğru bir yönlendirmeye sahip bir şekilde ekvatora bakacak şekilde kurulur. Güneşin konumu sabit değildir ve gün içinde, haftalık ve yıllık olarak değişir. Bu amaçla, güneş takipçisi etkili bir araç olarak hizmet verir. Güneş takipçileri, güneş enerjisini toplamada yardımcı

olur ve dış mekanlarda en az gözetimle otonom olarak çalışır ve zaman içinde güvenilirlikleri önemlidir.

Güneş izleme yöntemlerinin güç çıkışı ile ilgili bir çalışma (Mousazadeh vd., 2009), farklı olası takipçi tasarımları ve düzenlemelerinin sabit mekanizmalara göre karşılaştırmalı değerlendirmesine vurgu yapmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, güneş panellerine hareket özgürlüğü eklemenin, onları güneşle hizalamak suretiyle güç çıkışlarını % 20-% 30 aralığında artırabileceğini doğrulamıştır (Pavel vd., 2004). Başka bir çalışma, çift eksenli takipçiler üzerine (Jamroen vd., 2020) sabit düz levha sistemi ile karşılaştırmalı sonuçlar üretmiştir.

Güneşi takip eden sistemler, özellikle fotovoltaik enerji sistemlerinde, güneş enerjisi panellerinin eğimini ve düşme açısını izleyerek güneşi takip etme avantajlarına rağmen, bazı dezavantajlar içermektedir. Bunlardan en önemlileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

**Yüksek Maliyet:** Güneşi takip eden sistemlerin kurulum maliyeti, sabit sistemlere göre genellikle daha yüksektir. Bu sistemlerin karmaşıklığı ve hareketli parçaların bulunması, ek maliyet ve bakım gereksinimlerine yol açabilir.

**Bakım İhtiyacı:** Hareketli parçaların bulunması, güneşi takip eden sistemlerin bakım ihtiyacını artırır. Bu sistemlerin düzenli bakım gerektirmesi, işletme maliyetlerini artırabilir.

**Daha Fazla Arıza Riski:** Hareketli parçaların bulunması, güneşi takip eden sistemlerin daha fazla arıza riski taşımasına neden olabilir. Bu durum, sistemlerin sürekli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını zorlaştırabilir.

**Enerji Kaybı:** Güneşi takip eden sistemlerin, sabit sistemlere kıyasla enerji kaybı daha fazla olabilir. Hareketli parçaların ve kontrol mekanizmalarının kullanılması, enerjinin dönüşüm sürecinde kayba neden olabilir.

**Sınırlı Uygulanabilirlik:** Güneşi takip eden sistemlerin her koşulda etkili olması mümkün değildir. Özellikle yoğun bulutluluk, yağış veya kar gibi hava koşulları, takip sistemlerinin verimini azaltabilir.

**Daha Az Dayanıklılık:** Hareketli parçaların ve mekanizmaların daha fazla aşınma ve yıpranma eğiliminde olması, güneşi takip eden sistemlerin dayanıklılığını azaltabilir. Bu durum, sistemlerin ömrünü etkileyebilir.

**Toprak İhtiyacı:** Güneşi takip eden sistemler genellikle daha fazla araziye ihtiyaç duyar. Sabit sistemlere göre daha geniş bir alan gerektirebilirler.

Bazı çalışmalarda ise, böcekler, bitkiler ve çiçekler gibi gerçek gibi görünen birçok doğa ilhamlı model önerilmiş ve tasarlanmıştır. *Troides aeacus* (Zhao vd., 2011) ve *Papilio Paris* kelebeğinin kanatları üzerine yapılan ayrı bir araştırma, bunların kısmi bal peteği benzeri bir yapıya (QHS) sahip olduğunu göstermektedir. Bu bal peteği benzeri desenlerdeki uzamsal mikroyapıların varlığı, yoğun ve karmaşık yapısı nedeniyle ışığın etkili bir şekilde saçılmasına yol açar ve bu da ışık emilim verimliliğini artırır (Zhang vd., 2009). Ancak, QHS'nin kalınlığını optimize etmek ve artırılmış ışık toplama özelliklerini geliştirmek için uygun bir üretim yöntemi henüz geliştirilmemiştir. Güneş kolektörlerinin tasarımında biyo-ilhamlı bir yaklaşımı takip eden bir çalışmada (Gilles vd., 2020), üç boyutlu bir Güneş Termal Ağacı

konseptinin açık havada güneş radyasyonunu her yönden daha iyi toplamak için kurulabileceği belirtilmiştir. Tasarlanan model, gövde ve sabit sayıda üç seviyeden oluşan dallardan oluşan simetrik bir yapı olup; her dal bir tüplü güneş kolektörüne karşılık gelmekte ve cam kaplı veya cam kaplı olmayan şeklindedir. Elde edilen sonuç umut vadeden bir perspektif olsa da, bileşenlerin ve hesaplamaların doğası nedeniyle sürdürmesi oldukça karmaşıktır.

## 6. Sonuç

Güneş enerjisi, geleceğin enerji kaynağı olma potansiyeline sahip yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Bu kaynağın en etkin şekilde kullanılması için fotovoltaik panellerin verimliliğini artırmak, enerji maliyetlerini düşürmek ve çevresel etkileri azaltmak büyük önem taşır. Bu bölümde, PV panellerin verimliliğini artırmak için çeşitli stratejiler ele alınmıştır.

Bu stratejilerin her biri, güneş enerjisinin daha geniş ölçekte ve daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamayı hedeflemektedir. Ancak, her bir yöntemin kendi içinde maliyet, bakım gereksinimleri ve uygulanabilirlik gibi zorlukları bulunmaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve kurulumunda bu faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak, güneş enerjisi potansiyelinin en üst düzeye çıkarılması için PV panellerin verimliliğini artırmak amacıyla çeşitli stratejilerin uygulanması gerekmektedir. Bu stratejilerin etkin bir şekilde kullanılması, enerji maliyetlerini düşürecek, çevresel etkileri azaltacak ve güneş enerjisinin daha sürdürülebilir bir enerji kaynağı

olarak benimsenmesini sağlayacaktır. Güneş enerjisi teknolojilerindeki gelişmeler ve yenilikler, gelecekte daha yüksek verimli ve ekonomik çözümler sunarak bu potansiyelin gerçekleştirilmesine katkıda bulunacaktır.

## KAYNAKÇA

- Abdeen, E. Orabi, M. ve Hasaneen, M. (2017). Optimum tilt angle for photovoltaic system in desert environment. *Solar Energy*, 155, 267–280.
- Akagündüz, U. ve Bulut, H. (2022). Farklı geometrik soğutucu tasarımlarının PV panellerde yüzey sıcaklığına etkisinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizi. In *Silk Road International Scientific Research Conference*, Lankaran State University, December 8-9, 2022 (pp. 421-432).
- Atabay, E. (2001). Ceviz kabuklarının yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye.
- Çelik, Z. ve Çelik, H. S. (2018). PV/T sistemlerinin ekserjik verimliliğini etkileyen parametreler ve soğutucu ile hibrit sistem dizaynı. *EJONS International Refereed & Indexed Journal on Mathematics, Engineering and Natural Sciences*, Year 2 (2018), Vol. 3, Issued in September 1, 2018, 107-119.
- Demir Aktaş, D. ve Efe, S. B. (2019). FV-RES ile beslenen anahtarlama relüktans motorun analizi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi BEU Journal of Science*, 8(3), 999-1008.
- Elbreki, A. Sopian, K. Ruslan, M. H. Al-Shamani, A. ve Elhub, B. (2016). A stand-alone Photovoltaic system design and sizing: A greenhouse application in Sabha city as a case study in Libya. *Proceeding of the 3rd Engineering Science and Technology*

- International Conference (ESTIC) 2016 (pp. 30-31). Padang, Indonesia.
- Fadil, S. Capar, A. Ve Caglar, K. (2013). Two axis solar tracker design and implementation, Electrical and Electronics Engineering (ELECO) 8th Int. Conf.
- Gezgin, Ç. D. (2023). Güneş panellerinde, güneş takip sistemlerinin ve panel kirliliğinin panel verimliliğine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne, Türkiye.
- Gilles, F. Gérard, M. Mickael, P. David, C. ve Lucas, B. (2020). New concept of 3D bioinspired solar thermal collector. Solar Energy, 195, 329–339.
- Gülay, A. N. (2008). Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye'nin geleceği ve Avrupa Birliği ile karşılaştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Hafez, A. Z. Soliman, A. El-Metwally, K. A. ve Ismail, I. M. (2017). Tilt and azimuth angles in solar energy applications – a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77, 147-168.
- Jamroen, C. Komkum, P. Kohsri, S. Himananto, W. Panupintu, S. ve Unkat, S. (2020). A low-cost dual-axis solar tracking system based on digital logic design: Design and implementation. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 37, 100618.
- Köroğlu, T. Teke, A. Bayındır, K. Ç. ve Tümay, M. (2010). Güneş paneli sistemlerinin tasarımı. Elektrik Mühendisliği Dergisi, 439, 98-104, TMMOB Yayınevi.

- Mousazadeh, H. Keyhani, A. Javadi, A. Mobli, H. Abrinia, K. ve Sharifi, A. (2009). A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1800–1818.
- Öztürk, H. H. (2021). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Pavel, Y. Gonzalez, H. ve Vorobiev, Y. (2004). Optimization of the Solar Energy Collection in Tracking and Non-Tracking Photovoltaic Solar System. In *International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE) and X Conference on Electrical Engineering*, Acapulco. Guerrero.
- Willson, J. Shaizad, K. Ganesh, G. Gangawane, P. ve Saha, R. (2020). Photovoltaic glazing in buildings. *International Journal of Advance Scientific Research and Engineering Trends*, 5(6), 38-42.
- Zhang, W. Zhang, D. Tongxiang, F. Jiajun, G. Jian, D. ve Hao, W. (2009). Novel Photoanode Structure Templated from Butterfly Wing Scales. *Chemistry of Materials*, 21, 33–40.
- Zhao, Q. Xingmei, G. Tongxiang, F. Jian, D. Zhanga, D. ve Qixin, G. (2011). Art of blackness in butterfly wings as natural solar collector. *Soft Matter*, 7, 11433-11439.



## **BÖLÜM 2**

### **ÇİMENTO SANAYİNDE ALTERNATİF YAKITLARIN ve ATIKLARIN YEŞİL EKONOMİYE ETKİSİ**

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Dr. Alper Fatih İSLİ

#### **GİRİŞ**

Çimento üretimi, hammadde temini, kırma, eleme, öğütme, sınıflandırma, ısıtma işlem ve klinkerin alçı taşı veya tras gibi farklı maddelerle öğütülüp sınıflandırılması gibi bir dizi adımdan oluşmaktadır.

Tesis prosesi yüksek enerji tüketmesinin yanı sıra enerji de üreten bir sistemdir. Bu tesislerin döner fırın ön ısıtıcılarında yüksek ısıtma güçleri açığa çıkmakta ve bu ısıtma güçleri kullanılarak atık ısı tesisleri kurulmaktadır. Böylelikle buhar türbinleri ile elektrik üretimi sağlanarak sıcak su da fabrika bünyesinde kullanabilmektedir. Ayrıca, çimento fabrikalarında atıkların yakılması ile fosil yakıt tüketiminin düşürülmesine katkı sağlanmaktadır. Yakılan atıklardan ortaya çıkan CO<sub>2</sub> salınım miktarı düşürülerek daha çevreci fabrikalar haline gelmesi sağlanmış olacaktır.

Türkiye dünyadaki çimento üreticileri arasında ilk 10 ülke arasında yer almaktadır. 2022 rakamları esas alındığında 119 milyon ton çimento üretim kapasitesi ile dünyanın 5. büyük ve Avrupa'nın da lider üreticileri arasına girmiştir. Türkiye ekonomisinin önemli kalemi olan inşaat sektörünün en önemli alt girdisi olan çimento sektörü,

altyapı gelişimi sanayisinde önemli rol oynamaktadır. Küresel pazarın yaklaşık %2'sini bu sektör oluşturmaktadır.

## **1.Yeşil Ekonomi Kavramı**

UNEP 2011, yeşil ekonominin açılımını ekonomide üretim, tüketim ve dağıtım faaliyetlerin doğa üzerindeki baskısı olarak tanımlamıştır yani gerek mal gerek hizmetlerin üretim-dağıtım ve tüketim sisteminin tekrar yapılandırılmasıdır. Amacı, uzun zaman diliminde yaşam kalitesinin geliştirmek, toplumsal eşitliliği yükseltmek, çevre ekolojik ve riskleri azaltmaktır. Bu bağlamda ekonomik büyümenin gerçekleşebilmesinde kaynak kullanımı ile çevrenin, birbirinden etkilenmemesi için küresel çapta politik reformların yapılması ve uygulanması gereklidir (Abdiraimov, 2016). Günümüzde yeşil ekonominin en önemli alanlarını yenilenebilir altyapı ve sektörleri, organik tarım, enerji, ve yeşil inşaat oluşturmaktadır.

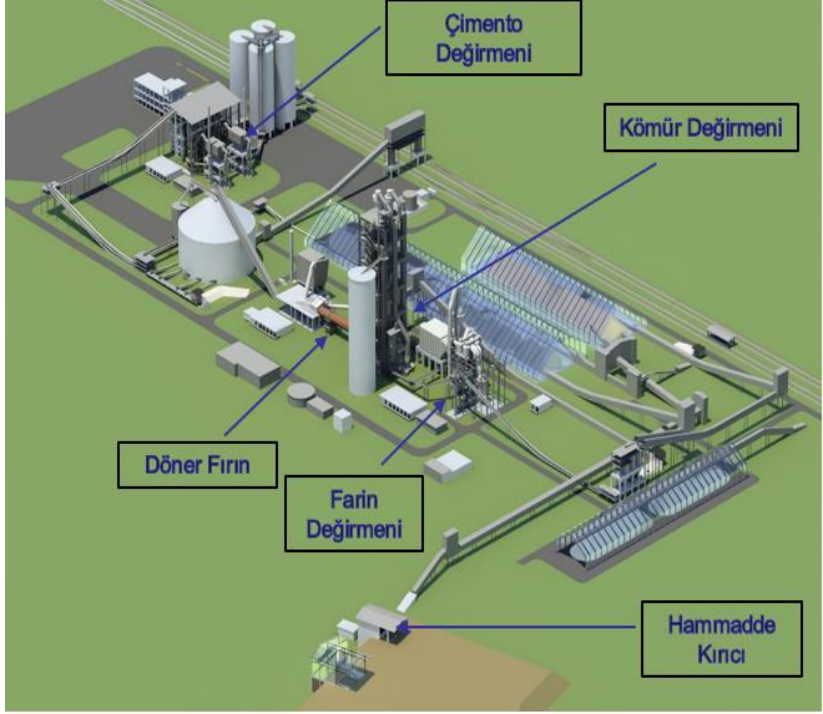
### **1.1.Çimento Sektöründe Yeşil Ekonomi**

Çimento endüstrisi, küresel karbon salınımının %8'inden sorumludur. Üretim kaynaklı karbon emisyonunun doğrudan iki kaynağı bulunmaktadır ve bu durum “Kapsam 1” olarak tanımlanmaktadır. Bunlardan biri kireçtaşının kalsinasyon işlemi sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklıkta karbon salınımına neden olduğu (emisyonun en az %50'sinden sorumlu) proses emisyonudur diğeri ise fırın reaksiyonları için gerekli sıcaklığa ulaşmak için yakılan yakıtlardan kaynaklanan termal emisyondur. Bu emisyonların toplam

miktarı yarı ürün niteliğinde olan klinker üretimine ait yaklaşık 800-900 kg CO<sub>2</sub>/ton dur.

Son yıllarda karbon ayak izinin azalmasının klinker/çimento oranının azalmasına bağlı olduğu anlaşılmış ve ortaya çıkarılan klinker miktarına göre karbon emisyonunun %1 oranında azalmasına neden olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (Türk çimento, 2023). 16 Mart 2024 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan “Kamu İhale Sözleşmelerinde Düşük Karbon Emisyonuna Sahip Yeşil Çimento Kullanımının Yaygınlaştırılmasına İlişkin Tebliğ’in amacı, CEM I-Portland çimentosu yerine çevresel etkileri, maliyet avantajları ve teknik üstünlükleri ile öne çıkan daha düşük klinker oran ve karbon emisyonuna sahip yeşil çimentoların (CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V ve benzeri) kullanımını teşvik etmek ve kamu yapım işi sözleşmeleri ile çimento içerikli mal alımı ihalelerinde belirlenen sınırlamaları tanımlamaktır.

Çimento üretiminde boksit, kil, kaolen, demir gibi diğer yardımcı hammaddeler kullanılmaktadır. Üretim prosesi gereği malzemeler kırıcılardan kırılır, kırılan malzemeler homojenizasyon sistemlerinden geçer, öğütülmek üzere farin değirmenlerine gider. Farin değirmeninde öğütme işlemi tamamlanan malzemelerin daha sonra silolara beslemesi yapılır. Farin silolarında stoklanan malzeme fırına beslemek üzere yola çıkar ve ilk üretilen ara ürüne “klinker” denilir. Klinker çimentonun ana hammaddesidir. Klinker kalker, alçı, uçucu kül ve cüruf gibi katkılar ile de çimento değirmenlerinde öğütülür. Daha sonra piyasanın talepleri doğrultusunda istenilen içeriğe göre hazırlanan çimento üretilir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Çimento Üretim Akış Şeması

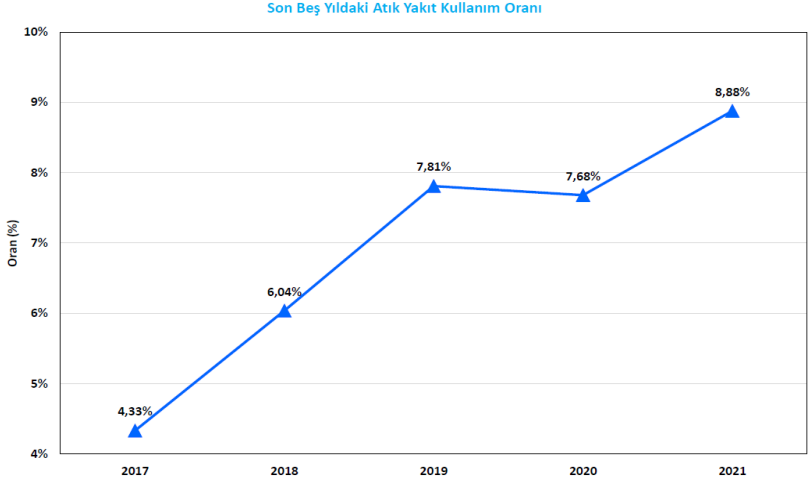
Bu işlemler için gerekli enerjinin büyük bir bölümü yaklaşık %30-40 oranında enerji maliyetine sahiptir. Bu maliyetler, kömür (linyit, taşkömürü, vb.), petrokok, fuel oil, doğalgaz gibi birincil yakıtlardan kaynaklanmaktadır (Singhi ve Bhargava, 2010). Kömür, çimento üretiminde en yaygın kullanılan yakıttır ve bir ton çimento üretimi için yaklaşık 120 kg kömür tüketilmektedir. 2018 yılında dünya çimento üretimi yaklaşık 4,2 milyar ton olup, Çin'de 2,4 milyar ton üretim gerçekleşmiştir. Bu da yıllık yaklaşık yarım milyar ton kömür eşdeğeri fosil yakıt tüketimi anlamına gelmektedir. Çimento sektöründe fosil yakıtların payı yaklaşık %90'dır. Bu nedenle, çimento

sektörü, enerji maliyetlerini yönetmek ve karbondioksit gibi salınımları azaltmak için atıkları alternatif yakıt olarak kullanmayı hedeflemektedir (Moses, 2010).

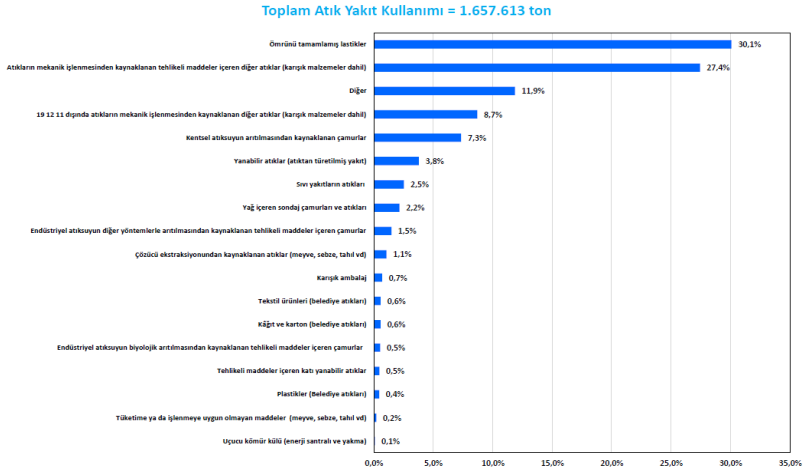
Çağımızda, çimentolarda kullanılan katkı maddeleri, ekonomik ve teknik avantajlarının yanı sıra klinker üretimini minimize ederek CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltma potansiyeli nedeniyle tercih edilen bir hale gelmiştir. Geçmişte, genellikle puzolanik özelliklere sahip malzemeler bu amaçla kullanılırken, kalker katkısı genellikle %5 oranında minör bir bileşen olarak sınırlı tutulmuştur. Ancak günümüzde, EN 197-1 standardı ile birlikte, ek bileşen olarak kalkerin kullanıldığı katkılı çimentoların üretimi yaygınlaşmıştır (Tosun ve ark, 2009).

Son 5 yılda çimento fabrikalarında arıtma çamuru, ömrünü tamamlamış lastik, endüstriyel atık, plastik ve atık yağ gibi atıkların yakılmasında artış olmuştur. Yeni gelişen teknolojiler ile bu oranlar daha da hızlı artış gösterecektir (Şekil 2, 3).

“55’e Uyum Paketi” çerçevesi olarak 2021 yılında yayımlanan beş sektör (elektrik, çimento, alüminyum, gübre ve demir-çelik) için 2023 yılından itibaren emisyon raporlaması yükümlülüğü olarak başlatılması, ve 2026 yılından itibaren söz konusu raporlama sistematğine dayalı olarak vergi uygulamasına geçilmesi öngörülmüştür (BDDK, 2023).



**Şekil 2.** Türkiye Çimento Fabrikaları Son 5 Yıl Atık Yakıt Kullanım Oranı (%) (Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Çimento Sektörü Kıyaslama Raporu 2021).



**Şekil 3.** 2021 Yılı Türkiye Çimento Fabrikaları Atık Türüne Göre Tüketim Tonajı (Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Çimento Sektörü Kıyaslama Raporu 2021).

Çimento sektörünün karbon vergisinden muafiyet için eşik değer klinker üreten tesisler için; üretim başına emisyon miktarı 0,766 ton CO<sub>2</sub>'in altı, çimento üreten tesisler için çimento üretim başına emisyon miktarı 0,498 ton CO<sub>2</sub>'in altı şartı bulunmaktadır. Bu bağlamda karbon ayak izi tanımı Godier, 2010'a göre, bir faaliyetin dolaylı veya doğrudan neden olduğu veya bir organizasyonun, bir ürünün, bireyin, bir kentin veya devletin yaşamı boyunca biriktirmiş olan toplam karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ve diğer sera gazı emisyon miktarının ölçüsüdür.

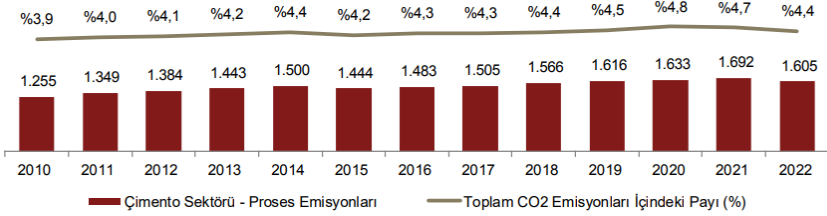
Avrupa'da yüksek oranda CO<sub>2</sub> vergileri 2015-2022 yılları arasında vergi uygulamaları Şekil 4'de verilmiştir.



**Şekil 4.** Avrupa CO<sub>2</sub> Vergi Ödeme Miktarı (€/mt CO<sub>2</sub>)  
(Heidelberg Çimento Global Alternatif Yakıt Raporu, 2021)

Proses emisyonları kelimesi ana bileşen olan kireçtaşının (CaCO<sub>3</sub>) klinker üretim aşamasında kimyasal dönüşüm sonucunda kireç (CaO) oluşumu ile açığa çıkan CO<sub>2</sub> salımını ifade etmektedir.

Proses emisyonları CO<sub>2</sub> salımının yaklaşık yarısını oluşturmaktadır (Şekil 5).



**Şekil 5.** Çimento Sektörü Proses Emisyonları (MtCO<sub>2</sub>) ve Toplam Küresel CO<sub>2</sub> Emisyonu İçindeki Payı (%)

1990 yılında alınan kararlarla klinker üretim süreci olmak üzere farklı aşamalarda alınacak önlemler ile 783 kg CO<sub>2</sub> /t seviyesinde olan CO<sub>2</sub> salımlarının, ağırlıklı olarak 2050 yılına kadar net sıfır seviyesine getirilmesi hedeflenmektedir.

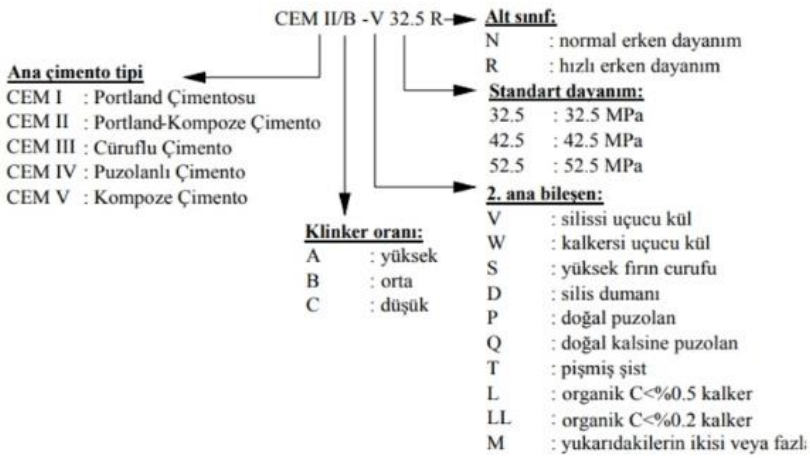
## 1.2.Çimento Çeşitleri

Kaya (2023)'ya göre; çimento, suyla birleştğinde hidratasyon reaksiyonlarıyla sertleşen ve uzun süre dayanıklılığını koruyan inorganik bir malzemedir. Çimento üretimi için gerekli hammadde doğada tek bir kaynakta bulunmadığından, ekonomik ve sürdürülebilir bir tedarik için mümkün olduğunca az çeşit malzeme kullanılması önemlidir. Bu nedenle, genellikle kalker, marn ve kil karışımı gibi malzemeler tercih edilir, tabii ki bu malzemelerin oranları standartlara uygun olmalıdır. Çimento üretimi, hammadde temini, kırma, eleme, öğütme, sınıflandırma, ısıl işlem ve klinkerin alçı taşı veya tras gibi

farklı maddelerle öğütölüp sınıflandırılması gibi bir dizi adımdan oluşur.

Türk standartlarına göre çimento içeriğine katılan malzemelerin bileşenlerine ve oranlarına göre 5 ana başlığa ayrılmaktadırlar (TS EN 191-1). Bunlar (Tablo 1);

**Tablo 1.** TS EN 191-1'e göre çimento çeşitleri



16 Mart 2024 tebliğine göre; CEM I yerine CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V içerikli çimentoların artırılması ve ihalelerde buna göre işlemlerin yapılması istenmiştir.

Katkılı çimento tipleri daha az klinker içermekle, portland çimentosuna göre çimento ve beton performansı üzerinde olumlu etki göstermekte, yoğun çevresel etkilere maruz kalınan ortamlarda kullanılan yapı elemanlarının üretiminde avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca, emisyonların düşürülmesini ve enerji tasarrufunu sağlayan en önemli faktör mineral katkı kullanımıdır. Bu tür çimentolar düşük

karbon emisyonu dolayısı ile çevreye saygılı bir ürün olmasından kaynaklı küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarını azaltmakta ve ülkemizin ‘Uluslararası İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ kapsamındaki yükümlülüklerini yerine getirmesine katkı sağlamaktadır.

Çimento/klinker oranının azaltılması için alternatif ham maddelerin ve karbon çıktısı düşük yakıtların kullanılması karbon ayak izinin azaltılması açısından önemli bir parametredir. Öngörülen model sonuçları, çimento sektörünün emisyon miktarlarındaki düşüş hedeflerine ulaşabilmesi adına alternatif ham madde ve yakıtlara geçişin sağlanmasının ve karbon azaltım teknolojilerine yatırım yapılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur.

## **2. Yeşil Ekonomide Alternatif Yakıtın Önemi**

Klinker üretimi için kullanılan yakıtlar fosil (petrokok, linyit vb.) ve alternatif yakıt (endüstriyel plastikler, arıtma çamurları, atık yağlar, ömrünü tamamlamış lastikler vb.) grubu olarak ikiye ayrılmaktadır. Bir yakıtın değerlendirilmesinde, yanıcı özellikleri belirleyici olan karbon ve hidrojen miktarı dikkate alınmaktadır.

Çimento sektöründe, sürdürülebilirlik, enerji yoğunluğu, hava kirliliği, tükenen doğal kaynakların kullanımı ve fosil yakıt kullanımı gibi konular, çevresel etkileri azaltmak için etkin bir şekilde izlenmekte ve uygulanmaktadır (Çankaya, 2018). İklim değişikliği ve küresel ısınma gibi konular, çimento sektörünün çevresel etkilerinin önemini daha da artırmaktadır. Çimento fabrikaları, üretim faaliyetlerinde hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için

mevzuatlara uyum sağlama zorunluluğundadır. Bu amaçla, klinker/çimento oranının azaltılması, katkılı çimento üretiminin artırılması, teknolojik iyileştirmeler, filtre sistemlerinin geliştirilmesi ve atıkların alternatif yakıt olarak kullanılması gibi değişiklikler yapılmaktadır (Sagastume ve ark., 2017). Çimento sektörü, enerji maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturan yaklaşık %30-40 oranında enerji maliyetine sahiptir. Bu maliyetler, petrokok, kömür (liniyit, taşkömürü, vb.), doğalgaz ve fuel oil gibi birincil yakıtlardan kaynaklanmaktadır (Singhi ve Bhargava, 2010). Sektörde fosil yakıtların payı yaklaşık %90'dır. Bu nedenle, çimento sektörü, enerji maliyetlerini yönetmek ve karbondioksit gibi salımları azaltmak için atıkları alternatif yakıt olarak kullanmayı hedeflemektedir (Moses, 2010).

## **2.1. Alternatif Yakıt Tanımı**

Arıtma Çamuru, endüstriyel plastik atık/ATY (Atıktan Türetilmiş Yakıt /Endüstriyel Katı Atık), atık yağ, ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL), kontamine atık alternatif yakıt kapsamında ele alınmaktadır. Çimento fabrikalarında, atıkların alternatif yakıt olarak kullanılması işlemine birlikte işleme adı verilir. Bu fabrikaların temel amacı çimento üretmek olsa da proses özelliklerine bağlı olarak farklı özelliklere sahip atıkları konvansiyonel yakıtların yerine fırında enerji elde etmek amacıyla kullanabilirler (Öztürk, 2016). Döner fırınlar, atık kullanımında sayısız avantaja sahip olan yüksek sıcaklıklar, alkali ortam, ideal gaz karışımı oranları ve geniş yüzey alanı ile ısı transferini sağlar (Huang ve ark., 2017). Çimentoda

sıklıkla kullanılan birçok alternatif yakıt, yüksek sıcaklıklar (1.450°C), tam yanma ve uzun bekleme süreleri (8 sn) sayesinde organik içeriklerini tamamen bozunurken inorganik bileşikler farinle reaksiyona girer ve klinkerin yapısına bağlanır. Atıkların önlenememesi, azaltılamaması, tekrar kullanılamaması veya geri dönüştürülememesi durumunda, çimento üretim prosesi düzenli depolama veya atık yakma proseslerine göre enerji ve malzeme geri kazanımı sağlayarak sürdürülebilir bir çözüm sunar. Bu nedenle, çimento fabrikalarında birlikte işleme prosesi, atık hiyerarşisinde geri dönüşüm ile atıktan enerji kazanımı arasında bir konuma sahiptir. Bunlardan en önemlileri ele alınacak olunursa;

ÖTL (Ömrünü tamamlamış lastik); tehlikesiz atıklar kategorisine girer ve yaklaşık 7500 kcal/kg kalorifik değeri ve uygun kimyasal bileşimi ile çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak kullanılmaya uygundur. ÖTL'nin ağırlıkça yaklaşık %70-72'si uçucu madde ve %7 ila %10'u kül içeriğine sahiptir. Ayrıca, ÖTL'nin kükürt ve azot içeriği, geleneksel yakıtlara kıyasla daha düşüktür (Giugliano ve ark., 1999).

Endüstriyel Plastik Atık - ATY (Atıktan Türetilmiş Yakıt-Endüstriyel Katı Atık); Çimento üretiminde endüstriyel plastik atık kullanımı çeşitli avantajlar sunar. İlk olarak, çimento fabrikalarında endüstriyel plastik atıkların kullanılması, geleneksel fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilir ve enerji maliyetlerini düşürebilir. Ayrıca, endüstriyel plastik atıkların kullanımı, atıkların değerlendirilmesi ve atık bertarafının azaltılması gibi çevresel faydalar sağlar. Bu sayede çimento üretimi sırasında çevresel etkiler azaltılabilir ve

sürdürülebilirlik hedefleri desteklenebilir. Endüstriyel plastik atıkların çimento üretiminde kullanılmasıyla ilgili bazı teknik zorluklar da vardır. Bu atıkların kalorifik değeri ve bileşimi atık kaynağına bağlı olarak değişebilir, bu nedenle yakıtın doğru kalite ve enerji içeriğine sahip olması önemlidir. Ayrıca, endüstriyel plastik atıkların yanması sırasında çıkan gazların kontrol edilmesi ve çevresel standartlara uygun olması gerekmektedir.

Arıtma Çamuru; alternatif hammadde olarak klinker fırınlarında değerlendirmeye uygun bir malzemedir. Çimento klinker fırınında alternatif hammadde ve enerji kaynağı olarak % 50 oranında kurutulmuş arıtma çamuru kullanılabilir. Klinker üretimi esnasında bir ton klinker başına yaklaşık 0,3-4,7 kg NO<sub>x</sub> oluşmaktadır. Susuzlaştırılmış arıtma çamuru, ön kalsine ünitesinden veya klinker fırını girişinden beslendiğinde arıtma çamuru içinde bulunan amonyum yüksek sıcaklıkta serbest hale geçer ve azot oksitlerle reaksiyona girerek NO<sub>x</sub> emisyonunu % 40 oranında azaltır (Öztürk, 2023).

Sektörde emisyon azaltımı amaçlı diğer bir faaliyet türü konvansiyonel fosil yakıtların yerine alternatif ve yeni yakıtların kullanımını arttırmaktır. Önerilen projelerde, mevcutta ve yeni geliştirilen yakıt türlerinin tamamı alternatif yakıtların (tehlikeli atık, evsel ATY, ömrünü tamamlamış lastikler, belediye arıtma çamuru ve diğer alternatif yakıtlar) tonaj içindeki payının yıllar içinde artacağı varsayılmıştır.

Alternatif hammadde ve alternatif yakıt kullanımı tesis için maliyet açısından değerlendirildiğinde karlılık-maliyet hesabı

çerçevesinde yapılacak karlılık hesaplarında tüm yakıt girdileri dahil edilerek hesaplamalar yapılır. Karlılığa en çok etki eden parametre alternatif yakıtın kalorifik değeri ile beraber klinker üretimi esnasında yanma verimliliğinden dolayı artış gösteren tüketim miktarı olmuştur.

## **2.2. Avrupa’da Çimento Sektöründe Kullanılan Alternatif Atık Materyal Durumu**

Alternatif yakıt, çoğunlukla endüstriyel süreçlerde veya toplumsal sektörlerde atık veya yan ürün olan malzemeler olarak tanımlanmaktadır. 2020 yıl içerisindeki Avrupa ülkelerindeki alternatif atık durum değerlendirilmesi aşağıda verilmiştir.

-Avrupa ülkelerinden Avusturya da mükemmel bir atık yönetim sistemi vardır. Atık seramikler, tuğlalar, atık inşaat ürünleri toplam alternatif materyallerin %50'sinden fazlasını oluşturur. Atıkların kullanılması sonucu klinkerde min/maks 4,1 ila 15,3 kg CO<sub>2</sub>/t emisyonu azalımı söz konusudur.

-Fransa, çimento fabrikalarında çoğu üretimini alternatif atık materyal üzerinden yapmaktadır. Klinker üretimi için %59'luk bir oranı kireç atığı, döküm kumu oluşturmaktadır. Ülkede atıkların kullanılması sonucu klinkerde min/maks 0,7 ila 1,5 kg CO<sub>2</sub>/t emisyonu azalımı söz konusudur.

-Almanya, son 8 yılda 11 çeşit alternatif atık materyal kullanmış, 10 malzeme, tüm Alternatif atık materyallerinin %93'ünden fazlasını oluşturmuştur. Uçucu küller, kullanılmış dökümhane kumu ve ikincil demir oksitler toplamın %70 ini kapsamaktadır. Atıkların

kullanılması sonucu klinkerde min/maks 0,8/ ile 2,2 kg CO<sub>2</sub>/t emisyon azalımı söz konusudur.

-Polonya, çimento sektöründe 13 çeşit alternatif hammadde; uçucu küller, kullanılmış dökümhane kumu ve ikincil demir oksitler, Si-Al-Ca-Fe içeren materyaller, Al-içeren materyaller, hidrate kireç %90'dan fazlasıdır. Ülkede atıkların kullanımı klinkerde min/maks 4,9 ila 9,5 kg CO<sub>2</sub>/t emisyonu azalımına neden olmuştur.

-İspanya, klinker üretiminde kullandığı atık materyaller sıralamasında, cüruf ve kazan dumanı, demir içerikli, Si-Al-Ca-Fe içeren materyaller, kayaç atıkları, uçucu küller, pirit külü, atık dökümhane külü, atık seramik, tuğla, kiremit ve inşaat ürünleri %99 oranındadır. Sonuçta klinkerde min/maks 0,5 ila 2,7 kg CO<sub>2</sub>/t emisyonu azalımı söz konusudur.

-İngiltere de ise en yüksek oranla uçucu kül, kayaç atıkları, kullanılmış alçı malzemeler, Demir oksit / uçucu kül karışımları, alümina katalizörü, hidrate kireç %96,5 oranındadır.

Atıkların kullanılması sonucu klinkerde min/maks 0,9/ ile 5,7 kg CO<sub>2</sub>/t emisyon azalımı söz konusudur.

-İtalya çimento sektörü, Avrupa tüketim ortalamasına kıyasla istatistiksel olarak daha düşük miktarda atık materyaller kullanmaktadır. Klinker üretiminde %2,1 ila %3,6, çimento üretiminde ise %3,5 ila %5,8 oranlarıyla Avrupa Birliği ortalamasının altındadır. Tonda klinkerde min/maks değerlendirmesi 1,2 ila 2,8 kg CO<sub>2</sub> arasında CO<sub>2</sub> tasarrufu sağlamaktadır.

Çimento üretimi açısından Türkiye, Avrupa'nın en büyük, dünyanın ise dördüncü büyük üreticisidir. Çimento üretimi,

malzemelerin geri kazanılmasına ve geri dönüştürülmesine olanak sağlayan özel bir süreçtir. Çimento üretiminde atıkların (endüstriyel atıklar, kullanılmış lastikler, geri kazanılmış katı yakıtlar, kurutulmuş kanalizasyon çamuru gibi) alternatif yakıt olarak kullanılmasıyla enerji geri kazanımı ve malzeme geri dönüşümü gerçekleştirilmektedir. Birincil yakıt ve hammaddelerin, çimento fabrikalarının kabul kriterlerine uygun atıklarla değiştirilmesi mümkündür. Geleneksel yakıtların yerine kalorifik değeri olan atıklar kullanılmaktadır. Mineral değeri olan atıklar, çimento hammaddesi olan kireçtaşı ve diğer minerallerin yerine kullanılmaktadır.

Türkiye’de ‘Çimento Üretim Tesislerinde Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı’ ve ‘Klinker Üretimi’ ‘Beton Atıklarının Geri Dönüşümü Yoluyla Düşük Karbon Ayak İzi’, özellikle Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) yatırım kriterlerine uygunluğu ve dönem sonunda uygulanabilirliği projeleri arasındadır.

### **3. Sonuç**

Çalışmada; endüstriyel ve tarımsal alanlarda meydana gelen atıkların çimento üretim prosesi içerisinde yer alan yarı mamül ürün olan klinkerin elde edilme sürecinde fosil yakıtlara ikame olarak kullanılması incelenmiştir. Ayrıca CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltımı ile çevresel anlamda etkiler gözlemlenmiştir.

\*Klinker üretiminde kullanılan alternatif yakıtlar, üretim prosesi süresince az bir miktarda da olsa klinker dayanımına ve doğrudan çimento dayanımına olumsuz etkiler yaşatmaktadır.

\*Alternatif yakıtların tüketimi ile beraber pişirme şartlarının zorlaşması ile pyroproses olarak spesifik ısı enerjilerde de miktarsal bazda artışlar meydana gelmektedir

\*Çimento fabrikalarının bu denli yüksek atık tüketmesi, fabrikaları “bertaraf tesisi” konumuna getirmektedir.

\*Çimento fabrikaları bu bertarafçı kimlikleri ile bulundukları lokasyonlardaki şehirlerin atıklarına çözüm ortağı olmaktadır.

Çimento üreticileri atıkların bertarafı için gün geçtikçe proses şartlarında iyileştirmeler yapmaktadırlar. Sürdürülebilir üretimin sağlanabilmesi için, üreticiler atıkların bertarafı için göstermiş oldukları mühendislik ve ar ge çalışmalarını sahaya da olumlu bir şekilde yansıtmaktadırlar. Bu nedenle üreticiler kadar atıkların toplanması ve işlenmesi için de atık tesislerinin yatırımlarını sürdürmeleri gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

- Abdiraimov, M. (2016). Sürdürülebilir Gelişme Yaklaşımında Yeşil Ekonominin Önemi, Journal of International Management and Social Researches Uluslararası Yönetim ve Sosyal Araştırmalar Dergisi ISSN:2148-1415, 29-39 syf.
- BDDK, (2023). Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK), Avrupa Birliğine Yapılan İhracatta Karbon Vergisine Tabi Olacak Beş Sektöre Yönelik Etki Analizi Çalışması.
- Çankaya, S., (2018). Çimento Üretiminde Çevresel Sürdürülebilirlik İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 148 s.
- EVÇED Planlama ve Denetim Daire Başkanlığı, 2021 Yılı Çimento Sektörü Kıyaslama Raporu
- Giugliano, M., Cernuschi, S., Ghezzi, U., Grosso, M. (1999). Experimental Evaluation of Waste Tires Utilization in Cement Kilns. Journal of the Air & Waste Management Association, 49(12): 1405-1414.
- Heidelberg Cement Global AF Report, (2021). <https://www.heidelbergmaterials.com/sites/default/files/2022-06/220529-HC-NB-2021-EN.pdf>.
- Huang, M., Ying, X., Shen, D., Feng, H., Li, N., Zhou, Y., Long,, (2017). Evaluation of Oil Sludge As An Alternative Fuel in the Production of Portland Cement Clinker. Construction and Building Materials, 152: 226-231.
- Moses, P. M., (2010). Alternative Fuels in Cement Manufacturing. Open Access Peer-Reviewed Chapter <https://www.intechopen>.

com/books/alternative-fuel/alternative-fuels-incement-manufacturing. [Son erişim tarihi: 30.05.2023].

- Öztürk, E., (2016). Çimento Sektöründe Alternatif Hammadde ve Alternatif Yakıt Kullanımının Çevresel Yararlarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ, 26 s.
- Öztürk, M. (2023). Çimento Sanayinde Arıtma Çamuru Bertarafı ve Sera Gazı Salım Azaltma, Independent Türkiye..
- Sagastume A., Eras J.J.C., Gaviria C.A., Caneghem J.V, Vandecasteele C., (2017). Improved Selection of The Functional Unit in Environmental Impact Assessment of Cement, Journal of Cleaner Production., 168: 463-473.
- Singhi, M. K. ve Bhargava, R., (2010). Sustainable Indian Cement Industry. in Workshop on International Comparison of Industrial Energy Efficiency (Pp. 27-28).
- Türkçimento, (2023). Çimento Mühendisliği El Kitabı Kalite Bölümü. 123s.
- Tosun, K., Felekoğlu, B., Baradan, B., Altun, İ. A., (2009). Portland Kalkerli Çimento Bölüm I-Çimentoların Hazırlanması. Teknik Dergi, 20(98): 4717-4736.
- TS EN 191-1. Çimento ve Mineral Katkı Standartları, (2021).
- Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Çimento Sektörü Kıyaslama Raporu 2021



## **BÖLÜM 3**

# **SOĞUK PÜSKÜRTMELİ EKLEMELİ İMALAT: BİR BİBLİYOMETRİK ANALİZ VE VOSVIEWER İLE HARİTALAMA**

End. Müh. İpek KALYONCU

Dr. Öğretim Üyesi Yusuf FEDAI

## **GİRİŞ**

Eklemeli imalat (Eİ) teknolojisi, Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design, CAD) verilere dayanarak ürünün katman katman eklenmesiyle ürünlerin üretilmesini mümkün olan bir imalat metodudur. Bu teknoloji ile tasarımlar doğrudan üretime geçirilebilir ve geleneksel üretim uygulamalarında rastlanan pek çok kısıtlamadan bağımsız bir şekilde işler. Üretim teknolojisinde meydana gelen bu değişiklik, var olan karışık tasarımların meydana getirilebilmesinin yanı sıra, kısıtlamaları bitirerek ürünlerin baştan tasarlanmasına da verir. Bu sebeple, eklemeli üretim teknolojisi dünya çapında bir ilk niteliğinde görülmektedir (Günaydın 2022).

Yöntemin esas kuralı, ürünlerin kat kat üstüne katılarak üretilmesidir. Eİ, geleneksel metotlarla üretimi meşakkatli veya mümkün olmayan, bilhassa havacılık ve otomotiv sektörlerinde kullanılan karışık geometrili ürünlerin uygulanmasında önemli üstünlük sağlar. Diğer taraftan, malzeme ve zaman tasarrufu sağlama,

az yoğun, üst sağlamlıkla ve üst darbe dayanımına sahip ürünler yapma benzeri ek üstünlükleri de bulunur (Karayel 2022).

Soğuk sprej yöntemi, öteki termal sprej metotlarından ayrıştığı şekilde, parçacıkları ergimeyecek şekilde katı durumda çok üst hızlılıkta ve az sıcaklıkta püskürterek daha etkili kaplamalar yapılmasına olanak tanır. Son zamanlarda, soğuk sprej süreci güvenilir ve çevre dostu bir teknik, kullanılmakta, bilhassa metal bazlı kaplamaların endüstriyel programlarında türlü büyük fırsatlar göstermektedir (Altuncu ve Üstel 2010).

Bu çalışmanın hedefi, soğuk püskürtmeli eklemeli imalat konusunda ulusal alanda gerçekleştirilen çalışmaları dizgeli bir literatür taraması ile ele almaktır. Bu amaç yönünde, Web of Science veri tabanında eklemeli imalat konusunu kapsayan totalde 55,940 çalışma incelenmiş ve bu çalışmalar içinden soğuk püskürtmeli olanlar ele alınarak bibliyometrik analiz incelenmiştir.

Çalışma, soğuk püskürtmeli eklemeli imalat ve bibliyometrik analizle ilgili kavramların incelendiği 2 başlıca bölüm ile bibliyometrik analiz sonuçlarının raporlandığı bulgular ve tartışma bölümünü, arkasından sonuçlar ve ileride yapılabilir çalışmalar için önerilerin bulunduğu sonuç bölümünü kapsamaktadır (Zeren ve Kaya 2020).

## 1. EKLEMELİ İMALAT

1984 tarihinde Fransız bilim insanı Alain Le Mehaute tarafından bulunan 3 boyutlu yazdırma tekniği (Brischetto ve ark. 2017), literatürde eklemeli imalat (additive manufacturing) adıyla anılır ve havacılık, uzay, otomotiv ve biyomedikal benzeri sektörlerde türlü teknik ve teknolojilerle yapılmaktadır. Bir kaç kaynağa bakıldığında, eklemeli imalat teknolojilerindeki ilk buluş, 1980 senesinde Japon incelemeci Doktor Hideo Kodama tarafından yapılan SLA (Stereolithography Apparatus) aygıtıdır (Oliveira 2019). Eklemeli imalat konusundaki ilk buluşun ise Charles Hull tarafından Stereolithography sistemi amacıyla alındığı ifade edilmektedir (Kidwell 2017). Hull'un işletmesi, 3D Systems tarafından geliştirilen SLA-1 formunun bu konudaki birinci yazıcı sistemi olduğu söylenmektedir (Kidwell 2017). 40 senelik bir ilerleme prosesi geçiren 3 boyutlu yazdırma tekniği, gittikçe pek çok işletmede ve disiplinde, eski üretim metotlarıyla yapılamayan karışık geometrilerin yapımında devrim niteliğindedir (Alwoimi 2018), (Çelik ve Özkan 2017).

Eİ, üst düzey tasarım serbestliği sunarak ve imalat sürecindeki ara işlemleri atlayarak parça üretimini çabuklaştıran metottur. Bu özelliklerinden dolayı, geleneksel imalat metotlarına yalnız tek alternatif olmakla kalmayıp bazen bir gereklilik olarak öne çıkmıştır.

Ürünlerin katman katman ilave edilmesi kuralına katlanan eklemeli imalat, bir CAD uygulamasıyla tasarımdan sonuca kadar olan prosesleri kaplar. Elastiki ve hızlı tasarımlar, ucuz ürünler, sağlam ve küçük parçalar gibi pek çok avantaj veren eklemeli imalat, yalnızca

prototip imalatında değil, doğru parça üretiminde de uygulanılmaktadır (Özmen ve Ertek 2022).

Eİ teknolojisi, tasarım esnekliği, üst düzey malzeme imalatı, malzeme tasarrufu ve kalıp gerektirmeme gibi üstünlükler veren inovatif bir metottur. Geleneksel üretim metotlarında rastlanan imalat ve şekillendirme sınırlamaları, Eİ teknolojisinde yoktur.

Örnek verecek olursak, kalıp dövme benzeri şekil verme prosesleri özel aletlere ihtiyaç duyulur ve imalatla esneklik vermez. Eİ ise kalıp olmadan tasarım esnekliği verir, bu ise illa yüksek kalıplardan yararlanılan gemi endüstrisi benzeri sektörler için beklenti yüksektir. Bu teknoloji, türlü endüstrilerde tasarım ve imalat süresiyle alakalı sıkıntılara seçenekli bir çare olarak gösterilmektedir.

Eİ, geleneksel üretim metotlarının tersine, ürünleri üst üste ilave ederek parça elde eder. Parçalar hiç yoktan eklemelerle elde edilir, yani eksiltici metotlar yoktur. Fakat, Eİ öteki üretim metotlarıyla karşılaştırıldığında düşük seviyede atık üretir, bu ise zaman ve malzeme tasarrufu yapar. Son zamanlarda Eİ, bu üstünlükleri neticesinde bilinen bir teknoloji durumuna yükselmiştir. İmalatçılar, tedarik zincirlerini düşürmek, nakliye fiyatını yok etmek ve terminleri düşürmek için bu teknolojiye geçmek isterler.

Küresel rekabet koşulunda, Eİ'nin getirdiği yararlar yok sayılamaz. Pek çok önde işletme, Eİ'yi organizasyonların hepsini ileri bir tarafa yükseltebilecek ve modern iş metotlarının yapılmasına yardımcı olabilecek bir inovasyon adıyla gösterilmektedir.

Son zamanlarda Eİ makinelerinin satışlarındaki yükseliş, tekniğin imalat endüstrisinde çağdaş bir akım durumuna döndüğünü göstermektedir. Hem yurt içinde hem de yurt dışında pek çok modern işletme, Eİ teknolojisinin büyümesi ve sahiplenilmesi amacıyla harcamalar yapmakta ve türlü incelemeler uygulamaktadır (Karayel 2022).

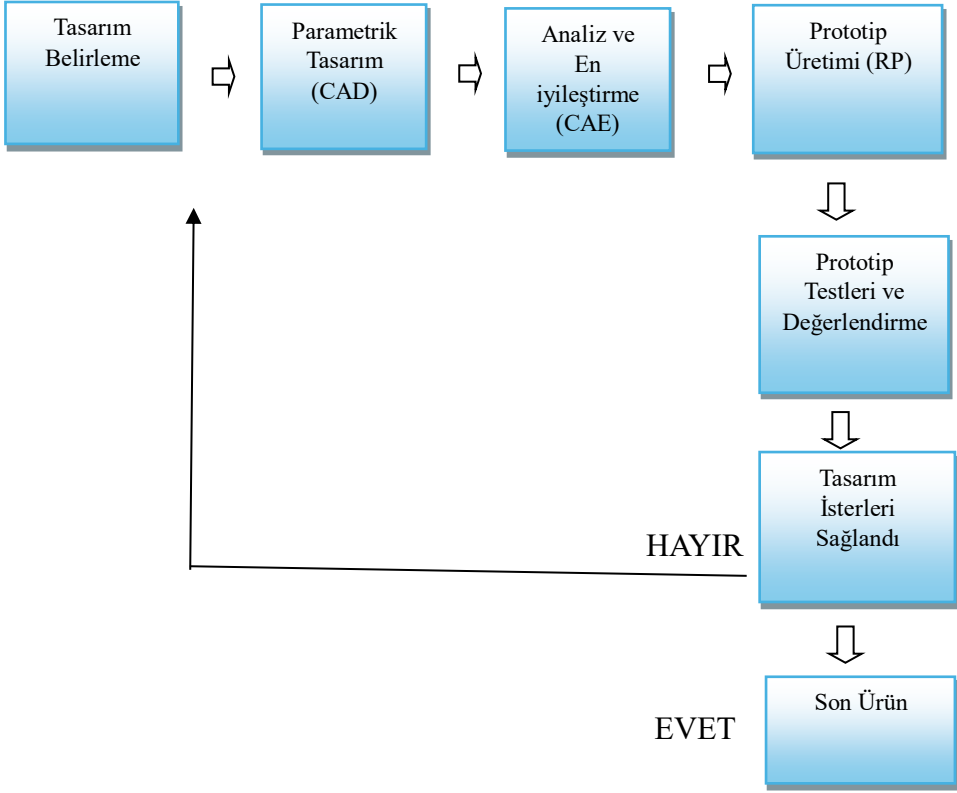
### 1.1. Eklemeli İmalat Yöntemleri

Girişte, eklemeli imalat çoğunlukla prototip imalatı amacıyla uygulanmıştır. Şekil 1'de, eklemeli imalat ile prototip imalatı için başlıca adımlar atılmıştır.

Bu adımlar çoğunlukla, başlıca tasarımın uygulandığı, arkasından bu tasarımın 3 boyutlu olarak tasarlandığı, modellemenin bilgisayar destekli çözümlerle iyileştirildiği ve sonuçta prototipin imal edildiği bir prosesi kaplar.

Prototipler denenir ve uyabilecek olursa, son ürün seri imalat yapılır. Prototip imalatının önemi, eklemeli imalatın ortaya çıkışına sebep olmuştur. Eklemeli imalatın uygulanması 90'lı senelerde çıkmış ve zamanla çoğalmıştır.

Zamanla, prototip imalatı haricinde, imalatı meşakkatli veya üretim sayıları düşük olan parçaların seri üretiminde de eklemeli imalat metodu uygulanmaya başlanmıştır (Çelik ve Özkan 2017).

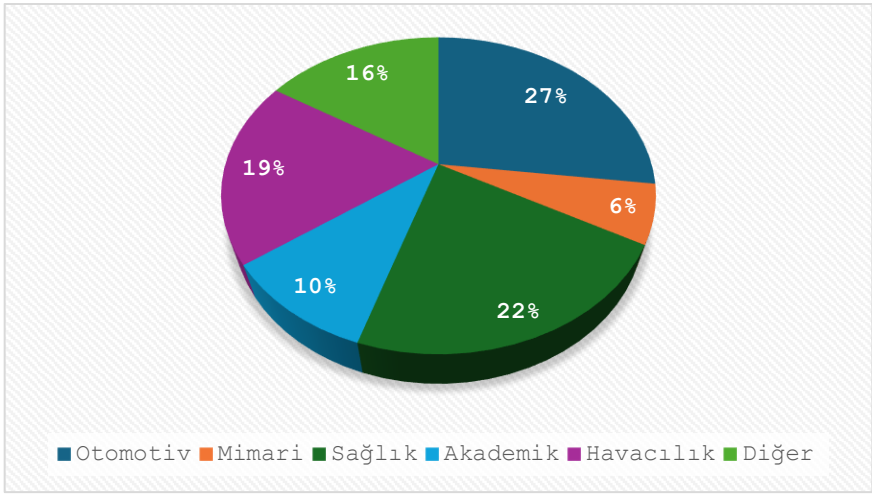


**Şekil 1:** Prototip Üretim Basamakları (Çelik ve Özkan 2017)

## 1.2. Eklemeli İmalat Kullanım Alanları

Eklemeli imalat (Eİ), geleneksel imalat metotlarına bakıldığında pek çok üstünlüğü vardır. Karışık parçalar nedeniyle tasarım özgürlüğü, şahsa özgü imalat olanağı ve kalıp benzeri aletlere ihtiyaç olmaması, bu üstünlüklerin yalnızca bazılarıdır. Diğer taraftan, Eİ çevre dostu bir tekniktir; dolayısıyla yalnızca zorunlu malzeme sayısını kullanarak atık sayısını düşürür. Pek çok Eİ metoduna bakıldığında geri değiştirilebilen veya birden çok yapı için baştan kullanılabilen malzemeler ele alınır,

bu ise atık tasarrufunu fazlalaştırır. Atık sayısının düşürülmesi, endüstrilerde iş olanaklarını yükseltir ve enerji tasarrufu sağlar. Bu üstünlükler neticesinde Eİ teknolojisi bu tarihlerde ünlü olmuştur ve sağlık sektörü, havacılık, otomotiv ve mimari benzeri pek çok konuda uygulanmaya başlanmıştır. Bu uygulama alanları ve kullanım yüzdeleri Şekil 2'de gösterilmektedir (Karayel 2022).



**Şekil 2.** Eİ teknolojinin uygulama alanları (Karayel 2022)

### 1.3. Eklemeli İmalat Yöntemlerinin İmalata Kazandırabilecekleri ve Sınırları

Her imalat metodu, belli sebeplerle kullanılır. Eklemeli imalat, tasarım özgürlüğü, süre tasarrufu ve fiyat üstünlükleri sebebiyle ön plandadır. Bu metodun kullanılma nedenlerinden birkaçı şunlardır:

- Geleneksel metotlarda tasarımcıların, ortaya çıkardıkları yapıların işlenebilirliği konusunda bilgi sahibi olmaları gereklidir.

Eklemeli imalatla ise yapılar direkt baskı ile yapıldığından, bu hal tasarımcılar için daha üstündür.

➤ Geleneksel metotlarla malzeme işlemek amacıyla türlü kesici takımlar gerekir ve bu takımların belli bir zamanı vardır, bu ise üst fiyatlara çıkabilir. Eklemeli imalatla ise buna benzer kesici takımlara gerek yoktur.

➤ Talaş kaldırma uygulaması olmamasından, hurda talaş sorunu da olmaz. Büyümekte olan eklemeli imalat teknolojisi, her ilerleyen gün daha yüksek yapıların imalatına olanak sağlamaktadır.

➤ Endüstriyel uygulamalar anlamında, yekpare parçalar üretilebildiğinden kaynak ve lehimleme benzeri metotlara ihtiyaç duyulmaz. Bu şekilde, malzemeler çoğunlukla daha rijit bir yapı olur. Fakat baskı boyutları sınırlı olduğunda, parçalar yekpare yapılamayabilir ve bu halde cıvata veya kaynak bağlantıları kullanılarak birleştirilebilir.

➤ Kullanılabilecek malzeme çokluğu devamlı yükselmektedir, bu ise imalatçılara daha çok çeşit sunar. Bu halde, baskı ile yapılan yapıların var olan yapılarla denenmesini ve yeni ekonomik sonuçlar üretilmesini sağlar.

➤ Elde edilen bir yapının prototipini çabuk bir şekilde yaparak olası hataları görmeyi sağlar. Bu şekilde tasarımcılar, görünüşte değişim yaparak az parayla iyileştirmeler gerçekleştirebilir.

➤ Eklemeli imalat, bireye özgü medikal tasarımların (implantlar, organlar) imal edilmesine imkân sağlar. Hızlı

prototipleme, özel cerrahi uygulamalar için uygundur ve bu uygulamaların büyümesi konusunda büyük potansiyele sahiptir.

Tabi ki, imalat metotlarının kullanılma veya kullanılmama hallerinde bütçe, süre, malzeme ve işçilik benzeri pek çok etkene bağlıdır. İmalatçı, kendi ihtiyaçlarına en uygun metodu seçerek bu etkenleri en iyi şekilde optimize etmeye çalışır. Bu bağlamda, eklemeli imalat metotlarının da birkaç dezavantajı vardır. Bu dezavantajlardan birkaçı şunlardır:

- Malzeme çokluğu konusunda yenilikler olsa da eklemeli imalat için olması gereken malzeme alternatifleri hâlâ sınırlıdır. Çoğunlukla plastik türevleri kullanılır ve bu malzemelerle üretilen formların mekanik özellikleri her zaman yetmeyebilir. Bu sebeple, endüstriyel taraftan metal veya kompozit yapıların eklemeli imalatla üretilmesi daha iyidir.
- Eklemeli imalat için yaygın kullanılan standartlar yoktur.
- Kapalı alanlarda kullanılan 3D baskı makineleri, potansiyel olarak kanserojen partiküller yayabilir. Nozül ucundan ergiyerek ipince şekilde olan malzeme bazen çapak halini alır. Bu çapakların gevşemesi sağlık açısından sorunlara neden olabilir.
- Eklemeli imalat metotları, seri imalat planlandığında dönem açısından karlı olmaz.
- Birkaç baskılarda yapılan yüzey pürüzlülüğü operatöre bağlıdır.

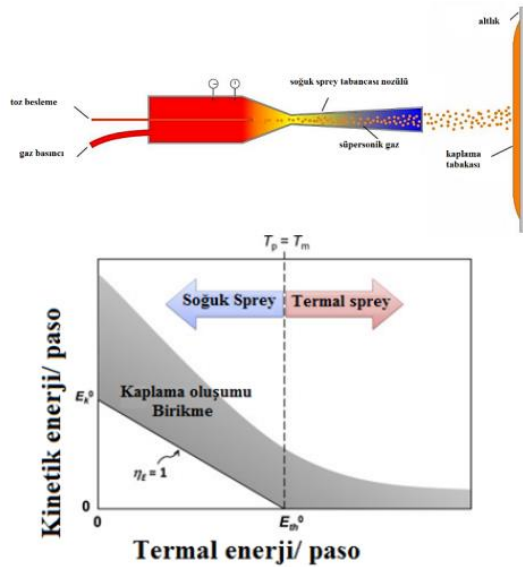
- Duyarlı boyutlara sahip parçaların imalatı için büyük fiyatlı makineler gerekir.
- Eklemeli imalat, pratik olması sebebiyle, insanların tasarladıkları silahları veya patlayıcı maddeleri kolay bir şekilde ortaya çıkarabilmelerine imkan sağlayabilir. Bu konuda, bireysel silahlanmaya yol açar (Özdoğan 2021).

#### 1.4. Soğuk Püskürtme Teknolojisi

Soğuk sprej süreci hususıyla metalik toz parçacıkların çok büyük hızla (süpersonik) ivmelendirilerek yüzeye çarpmaları neticesinde parçacıkların deformasyon kabiliyetine ait olarak yüzeyde toplanmasına fırsat veren güncel bir kaplama sürecidir. Bu büyük ivmelenme proses gazlarının (hava, azot, helyum ve karışım kombinasyonu) önce ısıtılması ve basınç altında sıkıştırılmasının ardından nozülde (Laval Nozül) genişterek çıkışı ile hazırlanmaktadır. Süreç bu sebeple; kinetik metalizasyon, soğuk gaz dinamik sprej, kinetik sprej, büyük hızla yüzeyde toz biriktirme süreci benzeri başka isimlerle beraber gösterilmektedir. Sürecin fiziksel alt yapısı püskürtülen parçacıkların çarpma sonucunda kinetik enerjisinin mekanik enerjiye dönüşmesi ile alakalı bir şekilde yüzey ve parçacıkların diğerleriyle etkileşimi sonucu oluşan termal deformasyon etkisi altında yüzeyde kaplama birikmesi esasına dayanır. Bu şekilde yoğun ve büyük yapışma gösteren bir kaplama tabakası yapılmasına imkan veren bir süreçtir (Altuncu ve Üstel 2010).

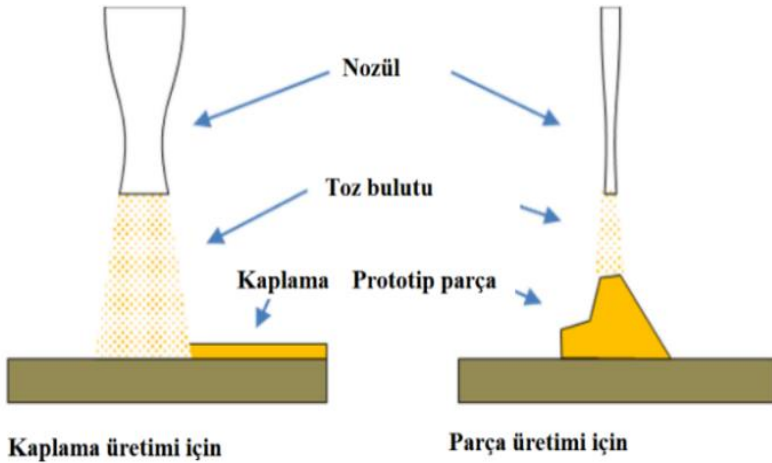
Bu metotta, çoğunlukla metalik (Al, Cu, Ni, Ti, Ta, Zn, Ag, Co, Nb ve belirli metal matrisli kompozitler: örneğin Al-Si-C benzeri) esaslı

toz parçacıkları, spray tabancasından ses hızına yakın hızla püskürtülerek kaplama yapar. Bu metot, termal enerji yerine kinetik enerji uygulanarak kaplama tabakalarının oluşturulmasına imkan sağlar. Soğuk spray, havacılık, otomotiv, enerji benzeri büyük bir endüstri yelpazesi, tıbbi, denizcilik ve öteki konularda dahil olmak üzere türlü endüstrilerde kaplama teknolojisi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Soğuk püskürtmeli tortular büyük sıcaklığa, korozyona, erozyona, oksidasyona ve kimyasallara karşı yoğun savunma yapar. Son zamanlarda, soğuk püskürtme, bağımsız metal bileşenlerin imal edilmesi ve kötü metal bileşenlerin tamir edilmesi amacıyla bir katmanlı imalat teknolojisi olarak başarılı bir şekilde ilerletildi. Bu ilerleme, geleneksel eklemeli imalat teknolojisine güncel bir ışık tutuyor ve soğuk püskürtme işlemlerini büyük ölçüde geliştiriyor (Yin, Cavaliere et al. 2018).



Şekil 3: Soğuk sprej prosesinin termal sprej yöntemlerinden kinetik ve termal enerji açısından farkı (Yin ve ark. 2018)

Kaplama oluşumu, toz ürünlerin deformasyon kabiliyetine binaen gerçekleşir, yani ergime mekanizması yerine deformasyon mekanizması kullanılır. Fakat, kaplama oluşumu amacıyla önemli bir püskürtme hızı aralığı bulunur; bu aralıktan düşük kaplama oluşmazken, çok büyük hızlarda yüzey erozyona uğrar ve az hızlarda ise toz malzemeler dağılır. Yeni olan kaplama tabakasında oksit oluşumu hemen hemen hiç yok denecek kadardır, çünkü ergime olmamaktadır ve büyük hızlarda püskürtülür. Bu özellikler sayesinde, soğuk sprej süreci oksit ve porozite oranını düşüğe tutarak kaplama ve katmanların imalatını sağlamaktadır. Soğuk sprej süreci, bu üstün özellikleriyle hem kaplama imalatında hem de istenilen katmanların elde edilmesiyle parça imalatına olanak sağlayan bir süreç halini almıştır (Altuncu 2010). (Şekil 4)



**Şekil 4:** Soğuk sprey prosesi ile kaplama ve parça üretimi (Altuncu 2010)

## **2. MATERYAL VE METOT**

### **2.1. Veri Kaynağı**

Çalışmada ele alınacak makaleleri belirlemek amacıyla uygulanabilen ortak kaynaklar içinde PubMed, Scopus veya Web of Science benzeri akademik veri tabanları bulunmaktadır. Bu çalışmada akademik çalışmalarda çoğunlukla uygulanan, fen bilimleri, sosyal bilimler, sanat ve beşerî bilimler benzeri birçok disiplini içine alan ve gündelik veriler sunan Web of Science veri tabanı kullanılmıştır. Web of Science, araştırma analizi yapmak ve bu analizi görselleştirmek amacıyla en saydam ve en iyi bibliyometrik araçlardan bir tanesidir. Fakat bilim dünyasında en yaygın bilimsel veri tabanlarından biri kabul edilir (Rinanda ark. 2023).

Web Of Science veri tabanında “additive manufacturing” olarak araştırma yapılmaktadır. Bu araştırma sonucunda 55,940 sonuç bulunmuştur. Bu taramalardan “cold spray” olarak çalışmalar incelenmiştir. İnceleme ile alakalı 2024 senesi yapılmadığından ötürü 2023 senesi ile 2014 senesi aralığındaki 10 yıl ile kısıtlandırılmıştır. Fakat dili İngilizce olarak kabul edilmiştir. Bu şekilde incelenen makale sayısı 429 taneye düşürüldü. Ardından gerekli incelemeler yapılarak 316 tane makale üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

## 2.2. Metot: Bibliyometrik Analiz

Bibliyometri, disiplinlerde, yazar bağlantıları, alıntılar, tartışılan temalar, yayınlanan çalışmalarda ve anahtar sözcüklerde ele alınan yöntemlerin, başlıca / ileri istatistiksel tekniklerinin ilerlemesini incelemek ve değerlendirmek amacıyla uygulanan bir inceleme modeli olarak kullanılmaktadır (Koseoglu ve ark. 2016). Bibliyometrik çalışmalarda, yayımların ve belgelerin oluşturulan özelliklerinin çözümlenerek bilimsel ağla alakalı türlü bulgular bulunmaktadır (Al ve Coştur 2007).

Bibliyometrik analiz, bilimsel başarının ortaya çıkması tarafından akademi yönünden başvurulmuş metotlardan biridir (Zencir ve Kozak 2012). Çalışmada bibliyometrik analiz, bilimsel yayınların faaliyetinin hangi ölçüde çoğaldığının ortaya çıkması ve araştırmacıların, yayınlar ile literatürde bulunan konularla alakalı fikir sahibi olmasını sağladığı için kullanılmıştır (Ergün ve Kalıpçı 2020).

Bibliyometrik analiz, bazı alanlarda yayınlanmış araştırmaların matematiksel ve istatistiksel metotlar kullanılarak ele alınmaktadır (Zencir ve Kozak 2012). Bibliyometrik analizler sayesinde inceleme yapılan konudaki çalışmalar yazar, konu, anahtar sözcük, atıf yapılan eser, atıf yapılan kaynak vb. açılardan istatistiksel olarak araştırılır ve araştırma gerçekleştirilen disiplinin kavramsal, entelektüel ve sosyal yapısı ortaya çıkar (Çetinkaya Bozkurt and Çetin 2016). Bu nedenle yoğun bir şekilde başvurulmuş bir metottur. Literatüre bakıldığında pazarlamadan (Gürbüz ve Bozkurt 2016) psikolojiye; turizmden, spora dek birçok konuda uygulanmış olduğu incelenmektedir (Erkan 2020).

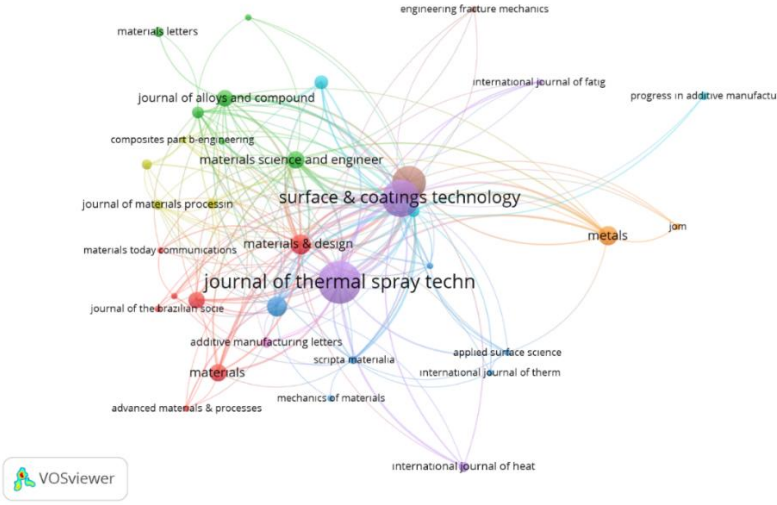
Bu çalışmada VOSviewer programına yer verilmiştir. VOSviewer, bilimsel yayınlar, dergiler, araştırmacılar, araştırma kuruluşları, ülkeler, anahtar sözcükler ve terimlerden elde edilen ağlardaki öğeleri kullanarak; ortak yazar (co-authorship), birlikte bulunma (co-occurrence), atıf (citation), bibliyografik eşleşme (bibliographic coupling) ve ortak atıf (co-citation) analizleri yapılan bir programdır (Arslan 2022).

### **3. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Elde edilen veriler, VOSviewer programından yararlanılarak bibliyometrik haritalar yapılmıştır. Bu bağlamda çalışmalar, atıf-kaynak analizi, yazar-atıf analizi, ortak yazar analizi ve yazar-ülke analizi açısından ayrıntılı şekilde araştırılmıştır. Oluşturulan haritalarda, düğümlerin boyutları soğuk püskürtmeli eklemeli imalat konusundaki makale sayısını göstermektedir; en büyük düğüm en fazla çalışmayı temsil etmektedir. Düğümler arasındaki bağlantılar ve renkler ise konuların benzerliğini ifade etmektedir. (Cao, Wang ve ark. 2023).

#### **3.1. Atıf-Kaynak Analizi**

VOSviewer programıyla gerekli veriler elde edildikten sonra, çalışmalar en az 2 atıf almış olanlarla sınırlandırılarak haritalama yapılmıştır. Bu şekilde, toplam 101 kaynaktan 36 tanesi haritada yer almıştır. Soğuk püskürtmeli eklemeli imalat konusundaki dergilerin atıf analizinin bulunduğu bu harita, Şekil 5'te gösterilmektedir.



**Şekil 5:** VOSviewer programından alınan Atıf-Kaynak Analizi bilimsel haritası

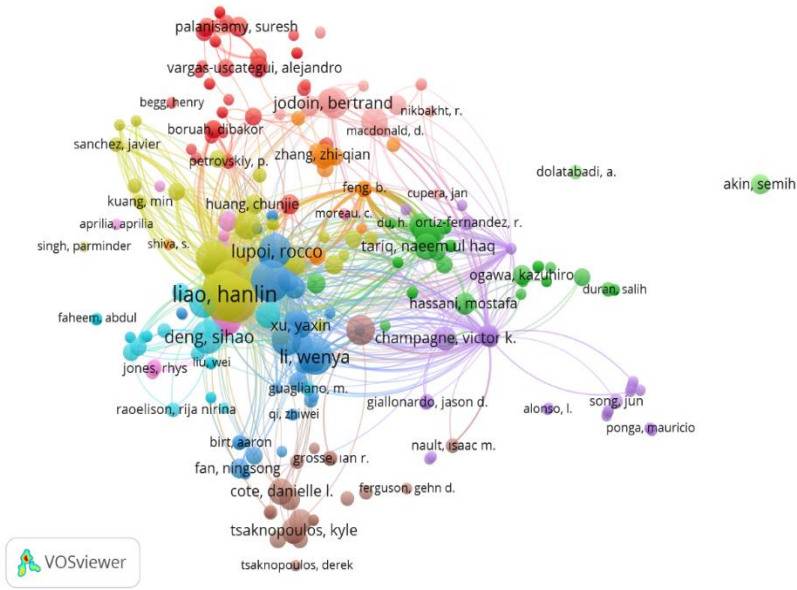
Konu ile ilgili en çok atıf alan kaynaklar, Şekil 3'te de görüldüğü gibi "Journal of Thermal Spray Technology" ve "Surface & Coatings Technology" dergileridir. Bunları "Additive Manufacturing" ve "Materials & Design" dergileri takip etmektedir.

### 3.2.Yazar- Atıf Analizi

VOSviewer programı, yazar-atıf ilişkisini analiz etmek için kullanılmıştır. Analiz sırasında toplam 1130 yazar bulunmaktaydı, ancak en az 2 çalışma şartı getirilerek bu sayı 294'e indirilmiştir. Tablo 1'de, konuya ilişkin çalışmalarıyla en çok atıf alan ilk 10 yazarın çalışma sayıları, aldıkları atıf sayıları ve diğer yazarlarla bağlantı güçleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Soğuk püskürtmeli eklemeli imalat konusunda yapılan çalışmalardan en çok kullanılan anahtar kelimeler

| Sıra | Anahtar Kelime | Atıf sayısı | Makale Sayısı | Diğer anahtar kelimeler ile bağlantı gücü |
|------|----------------|-------------|---------------|-------------------------------------------|
| 1    | Liao, Hanlin   | 24          | 666           | 880                                       |
| 2    | Xie, Yingchun  | 21          | 583           | 850                                       |
| 3    | Chen, Chaoyue  | 17          | 618           | 807                                       |
| 4    | Yin, Shuo      | 18          | 569           | 744                                       |
| 5    | Ren, Zhongming | 12          | 434           | 690                                       |
|      |                |             |               |                                           |



**Şekil 6:** VOSviewer programından alınan Yazar-Atıf Analizi bilimsel haritası

Tablo 1 ve Şekil 6'da görüldüğü üzere, soğuk püskürtmeli eklemeli imalat konusunda en çok atıf alan araştırmacı Liao Hanlin'dir. Yazar, yaptığı 666 çalışmaya 24 atıf almıştır.

İkinci sırada, 583 makale ile Xie Yingchun yer almakta ve 21 atıf almıştır. Üçüncü sırada ise Chen Chaoyue, 618 çalışma ile 17 atıf almıştır. Aynı renkteki çizgilerle yakın konumlanan yazarlar, benzer konularda çalışmalar yapmaktadır.

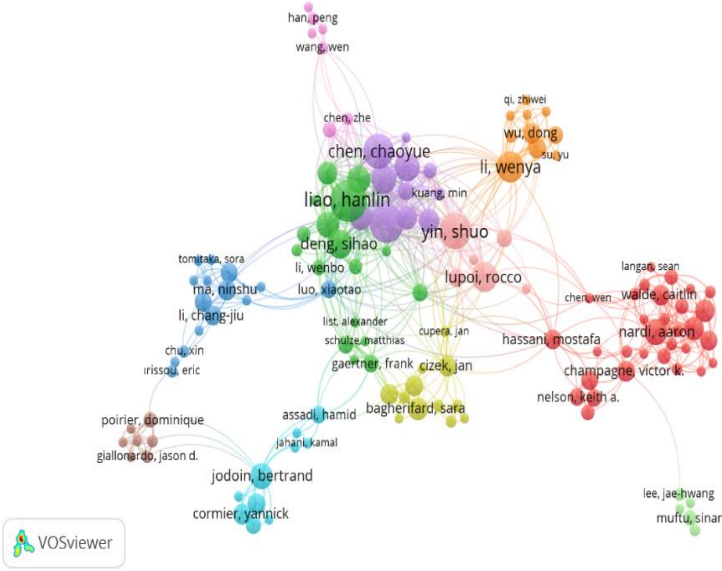
### 3.3. Ortak Yazar Analizi

Soğuk püskürtmeli eklemeli imalat alanındaki araştırmalarda bilimsel iş birliği yapısını belirlemek için VOSviewer programı kullanılarak ortak yazar analizi gerçekleştirilmiştir.

Toplam 1130 yazarın bulunduğu çalışmalardan, haritanın daha anlaşılır olması amacıyla en az 2 makalesi olan araştırmacılar seçilmiş ve bu şekilde 294 yazar üzerinden haritalama yapılarak Şekil 7 oluşturulmuştur.

Şekilden de anlaşıldığı üzere, Lion, Hanlin ve iş birliği yaptıkları yazarlar aynı renkte ve yakın bir şekilde kümelenmiştir. Aynı şekilde, Xie, Yingchun ve birlikte çalıştıkları araştırmacılar da aynı renkte ve yakın konumda yer almaktadır.

Ayrıca, farklı kümelerdeki yazarların birbirleriyle olan bağlantıları da haritada gösterilmektedir.

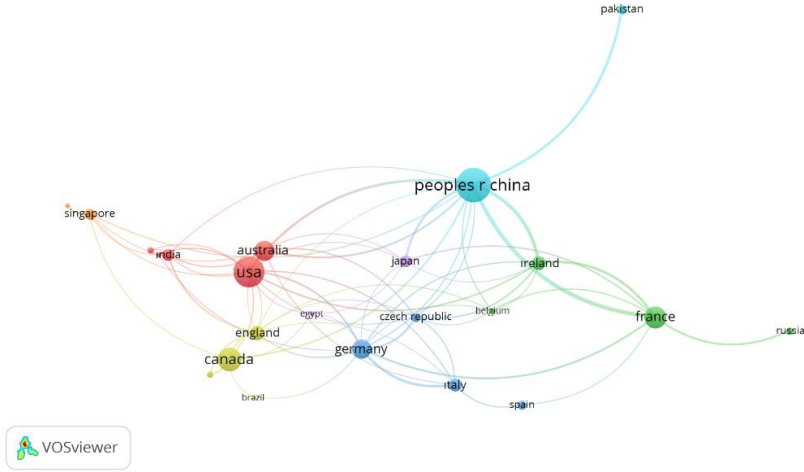


**Şekil 7:** VOSviewer programından alınan Ortak Yazar Analizi bilimsel haritası

### 3.4. Yazar-Ülke Analizi

Toplamda 35 ülkenin yer aldığı çalışmada, haritanın daha anlaşılır olması için en az 2 makalesi bulunan araştırmacılar seçilmiş ve böylece 24 yazar üzerinden haritalama yapılmıştır.

Şekil 8'de de görüldüğü gibi, haritada en fazla atıf alan ülke "Çin Halk Cumhuriyeti'dir." ve onu "Amerika Birleşik Devletleri" takip etmektedir.



**Şekil 8:** VOSviewer programından alınan Yazar-Ülke Analizi bilimsel haritası

**Tablo 2:** VOSviewer programından alınan Yazar-Ülke Analizinde Türkiye'nin yeri

| Sıra | Anahtar Kelime | Atıf sayısı | Makale Sayısı | Diğer anahtar kelimeler ile bağlantı gücü |
|------|----------------|-------------|---------------|-------------------------------------------|
| 22   | Turkey         | 3           | 29            | 6                                         |
| 23   | Egypt          | 2           | 29            | 5                                         |
| 24   | Malaysia       | 2           | 21            | 2                                         |

Toplamda 35 ülkeyi kapsayan bu çalışmada, haritanın daha anlaşılır olabilmesi için en az 2 makalesi olan araştırmacılar seçilmiştir. Bu kriterlere uyan 24 yazar üzerinden haritalama gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre Türkiye, 3 atıf alarak 22. sırada yer almaktadır.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, soğuk püskürtmeli eklemeli imalat konusunda yapılan makalelerin 10 yıllık bir süreyi kapsayacak şekilde bibliyometrik haritalaması, Web of Science veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen makaleler detaylı bir incelemeye tabi tutulmuş ve alakasız olanlar elenerek toplamda 316 çalışma analiz edilmiştir. VOSviewer programı kullanılarak yapılan bu analizde, dergiler, yazarlar, ülkeler, kurumlar ve bunlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Sonuç olarak, soğuk püskürtmeli eklemeli imalat konusunda en fazla çalışma yapan ve diğer araştırmacılardan en çok atıf alan ismin Liao, Hanlin olduğu belirlenmiştir. En çok çalışma yapılan ülkenin ise, diğer ülkelere göre açık ara farkla Çin Halk Cumhuriyeti olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalarda en sık kullanılan anahtar kelimeler "cold spray" ve "additive manufacturing" olmuştur.

Bu araştırma ile soğuk püskürtmeli eklemeli imalat konusunda yapılan çalışmalar, gelecekteki araştırmalara yön verecek şekilde sınıflandırılmış ve görselleştirilmiştir. Gelecekte, farklı veri tabanlarından elde edilen makalelerin de analize eklenerek kapsamın genişletilmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Al, U. And R. Coştur (2007). "Türk Psikoloji Dergisi'nin Bibliyometrik Profili." Türk Kütüphaneciliği **21**(2): 142-163.
- Altuncu, E. "Katmanlı İmalat Teknolojisinde Termal Sprey Teknolojisi İle Üretim Kabiliyeti." 2021
- Altuncu, E. ve F. Üstel (2010). "Soğuk Sprey (Cold Spray) Teknolojisi Ve Uygulama Alanları." Tmmob Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi **157**: 29-40.
- Alwoimi, B. M. (2018). Development Of A Framework For Design For Additive Manufacturing, North Carolina Agricultural And Technical State University.
- Arslan, E. (2022). "Sosyal Bilim Araştırmalarında Vosviewer İle Bibliyometrik Haritalama Ve Örnek Bir Uygulama." Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi **22**(Özel Sayı 2): 33-56.
- Brischetto, S., P. Maggiore And C. G. Ferro (2017). Special Issue On "Additive Manufacturing Technologies And Applications", MDPI. **5**: 58.
- Cao, Y., X. Wang, Z. Yang, J. Wang, H. Wang ve Z. Liu (2023). "Research In Marine Accidents: A Bibliometric Analysis, Systematic Review And Future Directions." Ocean Engineering **284**: 115048.
- Çelik, K. ve A. Özkan (2017). "Eklemeli İmalat Yöntemleri İle Üretim Ve Onarım Uygulamaları." Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi **5**(1): 107-121.
- Çetinkaya Bozkurt, Ö. ve A. Çetin (2016). "Girişimcilik Ve Kalkınma Dergisi'nin Bibliyometrik Analizi." Journal Of Entrepreneurship & Development/Girisimcilik Ve Kalkınma Dergisi **11**(2).

- Ergün, G. S. ve M. B. Kalıpçı (2020). "Turizm Ve Şikâyet: Bibliyometrik Bir Analiz." *Seyahat Ve Otel İşletmeciliği Dergisi* **17**(3): 444-463.
- Erkan, İ. (2020). "Dijital Pazarlamanın Dünü, Bugünü, Geleceği: Bibliyometrik Bir Analiz." *Akademik Hassasiyetler* **7**(13): 149-168.
- Günaydın, A. C. (2022). *Eklmeli İmalat Prosesinde Yapı Oryantasyonunun Çok-Amaçlı Optimizasyonu*, Bursa Uludag University (Turkey).
- GÜRBÜZ, C. ve Ö. Ç. BOZKURT (2016). "Pazarlama Ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi'nin Bibliyometrik Analizi." *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* **5**(3): 1-23.
- Karayel, E. (2022). *Tel Ark Eklmeli İmalat Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Marmara Üniversitesi (Turkey).
- Kidwell, J. (2017). "Best Practices And Applications Of 3D Printing In The Construction Industry."
- Koseoglu, M. A., R. Rahimi, F. Okumus ve J. Liu (2016). "Bibliometric Studies In Tourism." *Annals Of Tourism Research* **61**: 180-198.
- Oliveira, G. (2019). "Accuracy ve Precision Of 3-Dimensional Printed Dental Models Produced By Different Additive Manufacturing Technologies."
- Özdoğan, S. (2021). *Eklmeli İmalat Yöntemleriyle Üretilen Parçaların Baskı Parametrelerinin Üç-Nokta-Eğilme Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi*, Necmettin Erbakan University (Turkey).
- ÖZMEN, E. ve C. ERTEK (2022). "Eklmeli İmalat Teknolojilerinde Kullanılan Biyomalzemeler Ve Biyomedikal Uygulamaları." *Gazi University Journal Of Science Part C: Design And Technology* **10**(4): 733-747.

- Rinanda, R., Y. Sun, K. Chang, R. Sulastri, X. Cui, Z. Cheng, B. Yan ve G. Chen (2023). "Plastic Waste Management: A Bibliometric Analysis (1992–2022)." *Sustainability* **15**(24): 16840.
- Yin, S., P. Cavaliere, B. Aldwell, R. Jenkins, H. Liao, W. Li ve R. Lupoi (2018). "Cold Spray Additive Manufacturing And Repair: Fundamentals And Applications." *Additive Manufacturing* **21**: 628-650.
- Zencir, E. ve N. Kozak (2012). "Sosyal Bilimler Enstitü Dergilerinde Yayımlanan Turizm Makalelerinin Bibliyometrik Profili (2000-2010)." VI. Lisansüstü Turizm Öğrencileri Araştırma Kongresi **12**(15): 673-682.
- Zeren, D. ve N. Kaya (2020). "Dijital Pazarlama: Ulusal Yazının Bibliyometrik Analizi." *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* **17**(1): 35-52.



