

**EĞİTİM**  
yayınevi

# MÜHENDİSLİKTE

## YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR-1

EDİTÖRLER

**DR. ÖĞR. ÜYESİ SEMA SERVİ**  
**ÖĞR. GÖR. ABDULLAH CEM AĞAÇAYAK**

# MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR-1

EDİTÖRLER

DR. ÖĞR. ÜYESİ SEMA SERVİ  
ÖĞR. GÖR. ABDULLAH CEM AĞAÇAYAK

**EĞİTİM**  
yayınevi

## MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR-1

Editörler:

Dr. Öğr. Üyesi Sema Servi

Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Konya /TÜRKİYE  
0000-0003-2069-9085

Öğr. Gör. Abdullah Cem Ağaçaçayak

Konya Teknik Üniversitesi, Konya/Türkiye  
ORCID: 0000-0002-9285-5764

**Genel Yayın Yönetmeni:** Yusuf Ziya Aydoğın (yza@egitimyayinevi.com)

**Genel Yayın Koordinatörü:** Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

**Sayfa Tasarımı:** Kübra Konca Nam

**Kapak Tasarımı:** Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

**Yayıncı Sertifika No:** 47830

**E-ISBN:** 978-625-6613-94-2

1. Baskı, Aralık 2023

**Kütüphane Kimlik Kartı**

### MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR-1

Editörler: Dr. Öğr. Üyesi Sema Servi, Öğr. Gör. Abdullah Cem Ağaçaçayak

IV+115 s., 160x240 mm

Kaynakça var, dizin yok.

E-ISBN: 978-625-6613-94-2

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mechanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

**EĞİTİM**

yayınevi

**Yayınevi Türkiye Ofis:** İstanbul: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Atakent mah.

Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

**Konya:** Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok,

No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye

+90 332 351 92 85, +90 533 151 50 42, 0 332 502 50 42

bilgi@egitimyayinevi.com

**Yayınevi Amerika Ofis:** New York: Egitim Publishing Group, Inc.

P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America

americaoffice@egitimyayinevi.com

**Lojistik ve Sevkiyat Merkezi:** Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah.

10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye

sevkiyat@egitimyayinevi.com

**Kitabevi Şubesi:** Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye

+90 332 499 90 00

bilgi@egitimkitabevi.com

**İnternet Satış:** www.kitapmatik.com.tr

+90 537 512 43 00

bilgi@kitapmatik.com.tr

 **kitapmatik**  
İnternetteki kitabınız

# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

HİYERARŞİK KÜMELEME YÖNTEMLERİ ÜZERİNE KISA BİR DERLEME .....1  
M. YILMAZ, O. İNAN, H. TERZİOĞLU

## BÖLÜM 2

ELEKTRİKLİ VE GÜNEŞ PANELLİ ARAÇLAR ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA ..... 14  
C. YİĞİT, H. TERZİOĞLU, M. AKİF ŞAHMAN

## BÖLÜM 3

MAKİNEDE MİKRO İŞLEME TEKNİKLERİ .....32  
G. YALÇIN, H. SUMAK

## BÖLÜM 4

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENTERKONNEKTE ŞEBEKE SİSTEMİNE  
ZARARLARI .....59  
S. NEŞELİ, Ü. ÖZMEN

## BÖLÜM 5

DERİN ÖĞRENME İLE BİTKİ HASTALIK TESPİTİ 3FARKLI HASTALIK TESPİT ETME.....78  
V. ELALİ, M. ALABDOU

## BÖLÜM 6

STEGANOGRAFI VE KRİPTOLOJİ ARASINDAKİ FARKLAR VE ALGORİTMA  
DÜZEYİNDE KARŞILAŞTIRMA.....98  
Zeynep BAKIRTEMİZLER



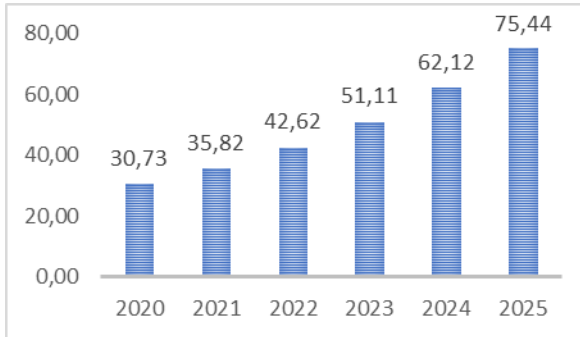
# BÖLÜM 1

## HİYERARŞİK KÜMELEME YÖNTEMLERİ ÜZERİNE KISA BİR DERLEME

M. YILMAZ<sup>1</sup>, O. İNAN<sup>2</sup>, H. TERZİOĞLU<sup>3</sup>

### GİRİŞ

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte bilgisayar, televizyon, mobil cihazlar ve sensörler (RFID, barkod, qrkod) gibi teknolojik aletler yaşam alanımızın her tarafında karşımızda çıkmaktadır. Bu durum ile birlikte bu cihazları kullanmak nerdeyse bir zorunluluk haline gelmiştir. İsviçre Cern kentinde 1989 yılında yapılan çalışmalar sonucu internetin halka açılması ve yine aynı yıl Tim Berners-Lee tarafından geliştirilmeye başlanan HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol) iletişim protokolü ile hyper media denilen ses, görüntü, video gibi medya türlerinin internet üzerinden paylaşımı ile inanılmaz boyutlara ulaşan veri söz konusudur [1-3]. Bununla birlikte M2m (Makine - Makine) ve IoT (Nesinlerin İnterneti) sistemlerinin yaygınlaşmasıyla internete bağlanan cihaz sayısında ciddi rakamlar söz konusudur[4]. Figure 1 'de verilen grafikte 2025 yılında internete bağlı cihaz sayısını 80 milyar civarında olacağı tahmin ediliyor



**Figure 1:** Yıllara Göre İnternete Bağlı IoT Cihaz Sayısı Tahmini [5]

1 Selcuk University, Konya/Turkey, 238273001013@lisansustu.selcuk.edu.tr

2 Selcuk University, Konya/Turkey, oinan@selcuk.edu.tr

3 Selcuk University, Konya/Turkey, hterzioglu@selcuk.edu.tr

İnternet bağlı cihaz sayısının artışıyla birlikte düzenli, düzensiz, anlamlı ve anlamsız büyük miktarlara ulaşan veri ile karşı karşıya kalmaktayız. Bu durum ile birlikte bu verilerden ihtiyaçlara yönelik anlamlı veri çıkarmak ve sonrasında ise bu verileri kullanmak ihtiyacı oluşmuştur[4]. Fakat çok fazla veri ile karşı karşıya kalındığından anlamlı veri çıkarmak için standart programlama algoritmaları ve insanların kısa sürede yorumlama yeterlilikleri yetersiz kalmaktadır [6]. Burada makine öğrenmesi algoritmaları devreye girmektedir. Makine öğrenmesi, Arthur Samuel 'in tanımıyla “bilgisayarı açıkça programlamadan bilgisayara öğrenme yeteneği kazandırma olayıdır” [7]. Böylelikle makine öğrenmesi algoritmaları ile geçmişte verilen verilerle uygun model keşfederek gelecekte anlamlı tahmin yürütme işlevi gerçekleşir [8]. Makine Öğrenime algoritmalarını genel olarak Figure 2 ' de gösterildiği 8 alt başlığa bölmek mümkündür [7].



Figure 2: Makine Öğrenmesi Algoritmaları [7]

Çalışmada Denetimsiz Öğrenme tekniklerinden olan Hiyerarşik kümeleme tekniklerin ve algoritmaları incelenecektir. Çalışmanın ikinci Bölümünde hiyerarşik kümeleme algoritmalarından kullanılan uzaklık-benzerlik metrikleri anlatılacak olup klasik hiyerarşik kümeleme algoritmaları incelenecektir. Üçüncü bölümde ise hiyerarşik kümeleme algoritmalarındaki yeni yaklaşımlar incelenecektir.

## I. HIYERARŞİK KÜMELEME TEKNİĞİ

Hiyerarşik Kümeleme tekniği, birbirine farklı uzaklık metrikleri ile uzaklıkları ölçülen verilerin bir birilerine yakınlık dereceleridir. Hiyerarşik Kümeleme

teknğinde amaç küme içindeki verilerin birbirilerine en yakın, kümelerin ise birbirlerine en uzak olacak şekilde Hiyerarşik olarak kümelenmesidir [9, 10].

Hiyerarşik kümeleme tekniği diğer denetimsiz öğrenme modellerine göre daha fazla bilgilendirme yapar [11].

#### A. Uzaklık-Benzerlik Metrikleri

Literatürde genel olarak öklid, Manhattan ve minkowski uzaklık metrikleri en çok kullanılan uzaklık-benzerlik metrikleridir.[12]

**Öklid Uzaklık Metriği:** Öklid Uzaklığı n boyutlu noktalar arasındaki en kısa mesafeyi hesaplayan uzaklık metriğidir. Öklid uzaklığı formülü aşağıdaki gibidir [13,14].

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P_j)^2} \quad (1)$$

**Manhattan Uzaklık Metriği:** Noktaların farklarının mutlak değer olarak sonucudur. Noktalar (a1,b1) ve (a2,b2) olarak verilirse  $|a1-a2| + |b1-b2|$  işlemi uzaklığı verir[14].

**Minkowski Uzaklık Metriği:** Noktaların, Öklid uzaklığı ve Manhattan genelleştirilmesinin sonucudur [15,16].

$$\left( \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{1/p} \quad (2)$$

Yukarıda verilen uzaklık-benzerlik metrikleri dışında farklı uzaklık-benzerlik metrikleri de maddeler halinde verilmiştir [16].

- Kareli Öklid Uzaklığı
- Karl-Pearson Öklit Uzaklığı,
- Chebyshev Uzaklığı
- Canberra Uzaklığı
- Czekanowski Uzaklığı
- Gower Uzaklığı
- Mahalanobis D2 Uzaklığı
- Hotelling T2 Uzaklığı
- Korelasyon Uzaklığı
- Pearson Korelasyon Benzerliği
- Kosinüs Benzerliği



- İkili Öklit Uzaklığı
- Büyüklük Farklılığı Benzerliği
- Biçim Farklılığı Ölçüsü
- Gamma Benzerliği
- Basit Benzerlik
- Russel Ve Rao Benzerliği
- Jaccard Benzerliği
- Rogers ve Tnimoto Benzerliği
- Parçalı Benzerlik
- Kulczynski Benzerliği
- Phi-Kare Uzaklığı
- Ki-Kare Uzaklığı

Hiyerarşik Kümeleme Tekniği genel olarak Birleştirici (Agglomerative) ve Ayırıcı (Divisive) olmak üzere 2 başlık altında incelenir. Bu yaklaşımların çalışma biçimleri Figure 3 'de gösterilmektedir [18, 19].

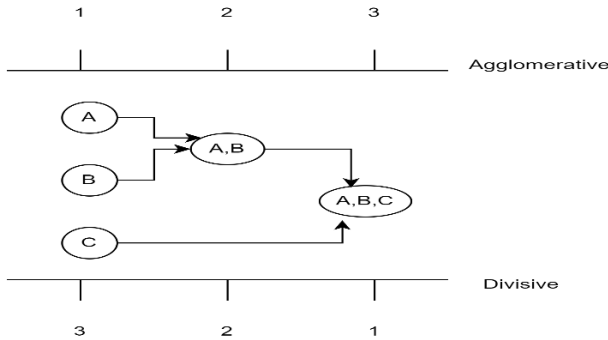


Figure 3: Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımları [18].

**Birleştirici (Agglomerative) Yöntem:** Birleştirici yöntemde başlangıçta her eleman tek bir küme olarak düşünülür. Ardından farklı bağlantı temelli, varyans temelli ve merkezileştirme temelli yaklaşımlar ile kümeler tek küme oluşuncaya kadar birleştirilir. Küme sayısı her işlemde artarak devam eder [20, 21].

**Ayırıcı (Divisive) Yöntem:** Ayırıcı Yöntemde başlangıçta her eleman tek bir küme olarak düşünülür. Ardından farklı bağlantı temelli, varyans temelli ve merkezileştirilme temelli yaklaşımlar ile her eleman tek bir küme oluncaya kadar bölünür. Küme sayısı her işlemde düşerek devam eder [20, 21].

### B. Hiyerarşik Kümeleme Algoritmaları

Literatür incelendiğinde en fazla kullanılan Hiyerarşik kümeleme yaklaşımlarının agglomerative (birleştirici) ve divisive (ayırıcı) yöntemleri olduğu görülür [12, 16-19, 21].

Bu yöntemlerinin sonucunda kümeleri belirlemek için benzerliği bulmak gerekir. Benzerliği bulmak için ise bağlantı, varyans ve merkezileştirme ölçütleri kullanılır [19, 21]. Bu yöntemlerin formülleri Figure 5’ de verilmiştir.

**Tek Bağlantı Algoritması (Single Linkage Clustering):** Tek bağlantı yöntemiyle kümelemede her gözlem noktası tek bir küme olarak düşünülür. Gözlem noktaları arasındaki uzaklıklar uzaklık metrikleriyle bulunur ardından uzaklık matrisine aktarılır. Matriste gözlem noktalarından en yakın olanı seçilir ve bunun sonucunda bu gözlem noktaları aynı kümeye dahil edilir. Ardından yeni oluşan gözlem noktaları ile yeni bir matris oluşturulur ve aynı işlemler tek bir küme kalıncaya kadar devam eder [12, 17].

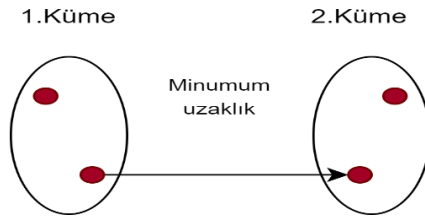


Figure 4: Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımları [20].

**Tam Bağlantı Algoritması (Complete Linkage Clustering):** Tam bağlantı yöntemi tek bağlantı yöntemine benzerdir. Buradaki fark gözlem noktaları arasındaki en yakın uzaklığa değil de en uzak mesafeye bakmaktır. Uzaklık matrisinde en uzak mesafe alınır ve bu işlemler tek küme kalıncaya kadar devam eder. [12, 17].

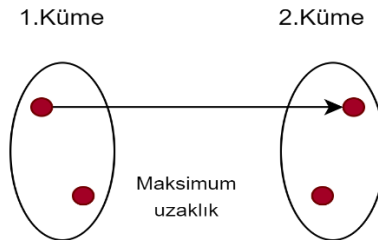


Figure 5: Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımları[20].

**Ortalama Bağlantı Algoritması (Average Linkage Clustering):** Ortalama bağlantı yönteminde diğer bağlantı yöntemleri ile benzerdir. Gözlem noktaları arasındaki uzaklıklar en yakın veya en uzak olarak değil de ortalama uzaklık olarak alınır[167].

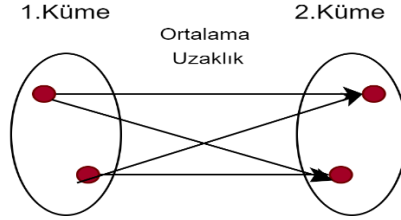


Figure 6: Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımları [20].

**Ward Tekniği ile Kümeleme (Ward Linkage Clustering):** Ward tekniğinde değişkenliği en az olan kümeler ile başlanıp bu kümelerin varyansı minimum olanı yani iç kareler toplamı minimum olan seçilir [17, 21].

**Ward 2 Tekniği ile Kümeleme (Ward 2 Linkage):** Ward 2 tekniğinde , ward tekniğinin aksine oklid mesafesi kullanılmaktadır. [12].

**Centroid Tekniği ile Kümeleme (Centroid Linkage):** Centroid ile kümeleme tekniğinde gözlem noktalarının öklid uzayında olacağı varsayılır. Bu yöntemde kümelerin merkez uzaklığı ölçülmektedir .Uzaklık Squared Euclidean yöntemi ile ölçülür[17, 22].

**Medyan Tekniği ile Kümeleme (Median Linkage):** 1967 yılında Gower tarafından, bileştirilecek centroid tekniğinde kümelerin boyutlarının çok farklı olmasının sonucu ağırlık merkezinden kaynaklanan sıkıntıya çözüm olarak geliştirilmiştir[22].

**McQuitty Tekniği ile Kümeleme (McQuitty Linkage):** McQuitty yöntemi basit bir bağlantı yöntemidir. İki küme arasındaki uzaklıkların yarısının toplamı olarak hesaplanır[12].

Yukarıda tanımları verilen algoritmaların Big O notasyonuna göre en az  $O(n^2)$  hesaplama karmaşıklığı vardır. Bu durum günümüzde büyük miktardaki verinin işlenmesi için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle bu sorunlara çözüm olarak süreci hızlandırmak ve büyük miktardaki veriler ile çalışmak için algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalara,

- BIRCH
- CURE
- ROCK
- CHAMELEON

örnek verilebilir [16, 18, 20].

Table 1: Bağlantı Formülleri[12, 16]

Bağlantı Yöntemleri	Uzaklık Formülleri
Tek Bağlantı	$d_{k(ij)} = \min(d_{ki}, d_{kj})$
Tam Bağlantı	$d_{k(ij)} = \max(d_{ki}, d_{kj})$
Ortalama Bağlantı	$d_{k(ij)} = \frac{\sum_{(ij)} \sum_k d_{k(ij)}}{N_{(ij)} N_k}$
Ward ile Bağlantı	$d = \sum_{i=1}^n x_i^2 \frac{(\sum_{i=2}^n x_i)^2}{n}$
Ward 2 ile Bağlantı	$d(i, i') = \sum_j (x_{ij} - x_{i'j})^2$
McQuitty Tekniği	$d(x_i, x_j) = \frac{d_{xi} + d_{xj}}{2}$

**BIRCH Algoritması:** BIRCH Algoritması büyük veri kümelerinde çalışan tümleşik hiyerarşik kümeleme tabanlı kümeleme algoritmasıdır. Bu algoritma, Clustering Feature (CF) ve Clustering Feature Tree (CF-Tree) ‘den oluşur. Algoritma 2 aşama da gerçekleşir. 1. Aşama da kümelemesi yapılacak olana veri tabanındaki verileri inceleyerek birbirlerine en benzer CF’leri CF-tree ‘düğümüne ekler ve yeni alt kümeler oluşturur.2 Aşamada düğümleri kümelemek için bölümleyici kümeleme kullanır. Buradaki amaç veri setinden en iyi kümeleri bulmaktır. Algoritma adımları Figure 7 ‘de verilmiştir[12, 17, 19, 21].

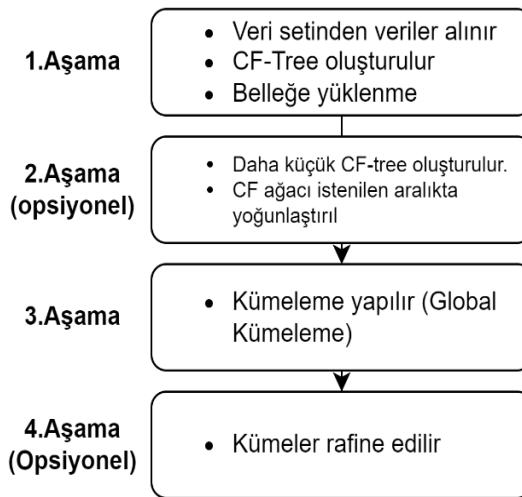


Figure 8: BIRCH Algoritması [16, 22].

**CURE Algoritması:** CURE Algoritması centroid tabanlı tüm noktaların (gözlem noktaları) uç noktaları arasında orta yola odaklanan hiyerarşik kümeleme algoritmasıdır BIRCH Algoritmasının ‘da son etiketleme aşamasında, büyük kümedeki bazı gözlem noktalarının küçük olana kümedeki ağırlık merkezine daha fazla yakın olmasından dolayı ilgili nokta küçük kümeye ait olarak etiketlenir. CURE Algoritması bu soruna yönelik oluşturulmaya başlanmıştır[23].Figure 8’ de CURE algoritmasının genel yapısı gösterilmiştir.

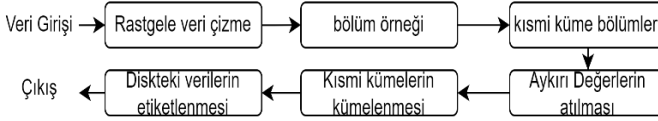


Figure 9: CURE Algoritması Genel Yapısı[16, 23]

**ROCK Algoritması:** ROCK Algoritması agglomerative hiyerarşik kümeleme algoritmalarındandır. Kategorik ve ikili üzerinden çalışır. Algoritmada veri setinden rastgele bir nokta seçilir. Ardından bağlantılar ile hiyerarşik kümeleme tekniği uygulanır ve son olarak veriler etiketlenir. Algoritmanın genel yapısı Figure 9 ‘da verilmiştir[12, 17, 19, 21, 25].

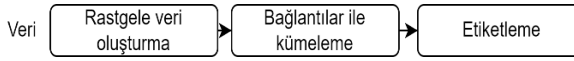


Figure 10: ROCK Algoritması akışı [16]

**CHAMELEON Algoritması:** CHAMELEON dinamik modelleme kullanan hiyerarşik kümeleme algoritmasıdır. ROCK ve CURE algoritmalarının eksiklerinden dolayı ortaya çıkmıştır. Bu algoritmada amaç kümeler arasındaki benzerliği, kümelerin birbirine olan yakınlığına değil de , kümelerin bağlılığını ve yoğunluğunu hesaplayarak bulmaktır. Algoritmada en uygun kümelerle bulunana kadar veriler yer değiştirir. Algoritma 2 aşamadan oluşur. 1. Aşamada veri seti grafik bölümlene algoritması kullanarak alt kümelere ayrılır. 2. Aşamada ise agglomerative kümeleme algoritması ile uygun küme bulana kadar 1. Aşamadaki kümeleri birleştirir. Aşamalar Figure 11’ de gösterilmiştir[16, 19, 21, 27, 28].

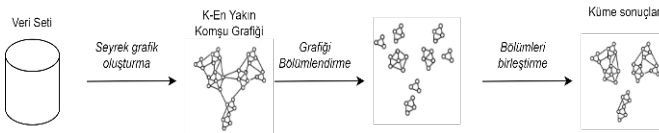


Figure 11: CHAMELEON Algoritmasına genel bakış[20, 26]

Literatürde çok kullanılan yukarıda tanımlamaları verilen hiyerarşik kümeleme algoritmalarının avantajları ve dezavantajları vardır. Demir alay, ve Koldere'nin çalışmalarının bir özeti şeklindedir. Tablo 2'de bunlara yer verilmiştir.

**Table 2:** Hiyerarşik Kümeleme Algoritmaları karşılaştırılması[16, 19, 21].

ALGORİTMA	AVANTAJ	DEZAVANTAJ
BIRCH	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hızlı bir algoritmadır</li> <li>En iyi kümeleri oluşturmaya çalışır</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sadece nicel verilerde kullanılır.</li> <li>Yalnızca benzer boyuttaki kümeleri bulmaktadır.</li> </ul>
CURE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hesaplama karmaşıklığı <math>O(n)</math> olduğu için hızlıdır</li> <li>Aykırı değerlere karşı dirençlidir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parametrelere duyarlıdır</li> <li>Sadece nicel verilerde kullanılır</li> </ul>
ROCK	<ul style="list-style-type: none"> <li>İkili ve kategorik veriler ile çalışabilir.</li> <li>Verinin tamamı üzerinde çalışabilir.</li> <li>Nisbi bağılılığı göz önünde bulundurur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kümeler arasındaki sınır değerlerini göz önünde bulundurmaz.</li> </ul>
CHAMELEON	<ul style="list-style-type: none"> <li>Homejen küme oluşumu sağlar.</li> <li>Daha iyi bir küme bulunduğu veriler iyi kümeğe geçer bu nedenle esnekler.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hesaplama karmaşıklığı <math>O(n^2)</math> dir.</li> <li>Verilerin işlenmesi maliyetlidir</li> </ul>

## II. HİYERARŞİK KÜMELEME TEKNİĞİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR

Büyük veri ve düzensiz veri artışından dolayı klasik hiyerarşik kümeleme Algoritmaları yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı literatürde yeni çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar geliştirilme aşamasındadır. Bu çalışmalara aşağıdakiler örnek verilebilir

Derin Öğrenme tabanlı hiyerarşik kümeleme yaklaşımları.[27-33]

Akan veri tabanlı Dinamik Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımı[34, 35]

Graf Tabanlı Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımı[36-38]

Hybrid Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımı[39-41].

Objekt Tabanlı Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımı[42, 43]

Yeni Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımlarının avantajları olabilir. Bu yaklaşımların Karşılaştırılması Tablo 4' de verilmiştir.

**Tablo 4:** Hiyerarşik Kümelemede Yeni Yaklaşımların Karşılaştırılması [26-40].

Yeni Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımları	Avantajları	Kullanım Alanları
Derin Öğrenme tabanlı hiyerarşik kümeleme yaklaşımları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Büyük veri setlerinde çalışılabilirlik</li> <li>• Karmaşık veriler ile çalışılabilirlik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -Doğal Dil İşleme</li> <li>• Görsel Verilerin Analizi</li> <li>• Tıbbi Görüntüleme</li> </ul>
Akan veri tabanlı Dinamik Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sürekli veri alış-verişi olan yapılarda çalışılabilirlik</li> <li>• Veriler anlık güncellenebilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E-ticaret</li> <li>• Sosyal medya</li> <li>• IoT cihazlar</li> </ul>
Graf Tabanlı Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veri setindeki gözlem noktaları arasında olumlu ilişki kurar.</li> <li>• Anlamlı sonuçlar üretir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biyolojik Veriler</li> <li>• Sosyal Medya</li> </ul>
Hybrid Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hızlıdır.</li> <li>• Ölçeklenebilir</li> <li>• Diğer yaklaşımları birlikte kullanark daha doğru kümeleme yapabilir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borsa</li> <li>• Pazarlama Verileri</li> <li>• E-ticaret Siteleri</li> </ul>
Objeye Tabanlı Hiyerarşik Kümeleme Yaklaşımı	Hızlıdır[39] Esneklik[39] Görsel Kümeleme için uygundur[40]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Görsel Optimizasyon</li> </ul>

### III. CONCLUSION

Çalışmada Hiyerarşik kümeleme tekniğinin ilişkin bilgiler verilmiştir. Çalışmada literatürde çık kullanılan hiyerarşik kümeleme algoritmalarından bahsedilip karşılaştırılması yapılmıştır. Bu algoritmaların avantajları ve dezavantajları olduğu görülmüştür. Sonuç olarak kullanım senaryosuna göre avantaj sağlayan hiyerarşik kümeleme algoritması kullanılabilir. Günümüzde büyük ve düzensiz verilerin artışından dolayı klasik hiyerarşik kümeleme Algoritmaları yetersiz kalabilmektedir. Bundan dolayı yeni çalışmalar yapılmaktadır. Fakat istenilen sonuçlara ulaşılabilinmiş değildir. İlerleyen çalışmalarda bu çalışmalara yer verilecektir.

**REFERENCES**

- [1] V. Ö. Ansiklopedi, “HTTP.” [Online]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/HTTP>
- [2] M. Germeç, “Hiyerarşik Kümeleme Analizi,” 28 February. [Online]. Available: <https://afatsumcemreg.medium.com/hiyerar%C5%9Fik-k%C3%BCmeleme-analizi-db813a75f394>.
- [3] SOFTECH, “İnternetin Tarihçesi,” ed, pp. İnternet İlk Olarak Ne Zaman, Nasıl İcat Edilmiştir?
- [4] M. Atalay and E. Çelik, “Büyük veri analizinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamaları-artificial intelligence and machine learning applications in big data analysis,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 9, no. 22, pp. 155-172, 2017.
- [5] E. ERDAL and A. ERGÜZEN, “Nesnelerin İnterneti (IoT),” *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 12, no. 3, pp. 24-34, 2020.
- [6] Ö. M. GÖKALP, “Makine öğrenmesi,” *Gazi Üniversitesi, Gazi Bilişim Enstitüsü, Adli Bilişim Bölümü*.
- [7] B. Mahesh, “Machine learning algorithms-a review,” *International Journal of Science and Research (IJSR). [Internet]*, vol. 9, no. 1, pp. 381-386, 2020.
- [8] B. Diri, “Makine Öğrenmesine Giriş,” Retrieved from Lecture Notes Online Web site: <https://www.ce.yildiz.edu.tr/personal/banud/file/2634/Makine+Ogrenmesi-ML-10.pdf>, 2014.
- [9] B. DERYA, “FARKLI BAĞLANTI YÖNTEMLERİ İLE HİYERARŞİK KÜMELEME TOPLULUĞU,” *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 154-164, 2019.
- [10] A. İ. Özkan. “MAKİNE ÖĞRENMESİ.” [https://sutef.gen.tr/pluginfile.php/6727/mod\\_resource/content/0/K%C3%BCmeleme.pdf](https://sutef.gen.tr/pluginfile.php/6727/mod_resource/content/0/K%C3%BCmeleme.pdf) (accessed 22.11, 2023).
- [11] E. Uzun. “Hiyerarşik kümeleme (Hierarchical Clustering): Ödev Benzerlikleri Üzerinden Kopya Gruplarını Bulma.” [https://erdincuzun.com/makine\\_ogrenmesi/hiyerarşik-kumeleme-hierarchical-clustering-odev-benzerlikleri-uzerinden-kopya-gruplarini-bulma/](https://erdincuzun.com/makine_ogrenmesi/hiyerarşik-kumeleme-hierarchical-clustering-odev-benzerlikleri-uzerinden-kopya-gruplarini-bulma/) (accessed 22.11.2023).
- [12] M. Akşit, “Büyük veride hiyerarşik kümeleme yöntemlerinin kofenetik korelasyon ile karşılaştırılması,” 2020.
- [13] VİKİPEDIA. “Öklid Uzaklığı.” [https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96klid\\_uzakl%C4%B1%C4%9F%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%96klid_uzakl%C4%B1%C4%9F%C4%B1) (accessed 22.11, 2023).
- [14] A. Atcılı. “Machine Learning Mesafeleri.” [https://medium.com/machine-learning-t%C3%BCrkiye/machine-learning-mesafeleri-8ac88ca393#:~:text=Manhattan%20mesafesi%20%3A%20Manhattan%20mesafesi%2C%20iki,k%C3%BCt%C3%BCp-hanesinde%20%3%B6l%C3%A7%C3%BCm%20metri%C4%9Fi%20olarak%20bulunmaktad%C4%B1r.\(accessed%2030.1,2023\)](https://medium.com/machine-learning-t%C3%BCrkiye/machine-learning-mesafeleri-8ac88ca393#:~:text=Manhattan%20mesafesi%20%3A%20Manhattan%20mesafesi%2C%20iki,k%C3%BCt%C3%BCp-hanesinde%20%3%B6l%C3%A7%C3%BCm%20metri%C4%9Fi%20olarak%20bulunmaktad%C4%B1r.(accessed%2030.1,2023)).
- [15] A. ATCILI, “Machine Learning Mesafeleri,” vol. 2023, ed, 2023.
- [16] Y. Altınok, “Veri madenciliğinde hiyerarşik kümeleme algoritmalarının uygulamalı karşılaştırılması,” Marmara Üniversitesi (Turkey), 2019.
- [17] M. KEZİBAN and Z. CEBECİ, “BAZI BİTKİ UÇUCU YAĞLARININ İN VİTRO GERÇEK SİNDİRİLEBİLİRLİK, BAKTERİ VE PROTOZOA SAYISINA ETKİLERİ BAKIMINDAN HİYERARŞİK KÜMELEME YÖNTEMLERİYLE SINIFLANDIRILMASI.”



- [18] M. Demiralay, "Hiyerarşik Kümeleme Metodları İle Veri Madenciliği Uygulamaları," Marmara Üniversitesi (Turkey), 2005.
- [19] N. Kazaz, "Veri Madenciliğinde Kümeleme Analizi Yöntemlerinin İncelenmesi Ve Sağlık Bilimleri Alanındaki Uygulamaları," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü ..., 2019.
- [20] Y. K. Akın, "Veri madenciliğinde kümeleme algoritmaları ve kümeleme analizi," Marmara Üniversitesi (Turkey), 2008.
- [21] E. K. Ülgen. "Hiyerarşik Kümeleme." <https://www.veribilimiokulu.com/hiyerarşik-kumeleme/> (accessed 23.11, 2023).
- [22] T. Zhang, R. Ramakrishnan, and M. Livny, "BIRCH: an efficient data clustering method for very large databases," *ACM sigmod record*, vol. 25, no. 2, pp. 103-114, 1996.
- [23] S. Guha, R. Rastogi, and K. Shim, "Cure: an efficient clustering algorithm for large databases," *Information systems*, vol. 26, no. 1, pp. 35-58, 2001.
- [24] S. Guha, R. Rastogi, and K. Shim, "ROCK: A robust clustering algorithm for categorical attributes," *Information systems*, vol. 25, no. 5, pp. 345-366, 2000.
- [25] T. YOUSEFİ, M. S. ODABAS, and R. OKTAŞ, "Kümeleme Algoritmalarında Kullanılan Farklı Yöntemlere Genel Bakış," *Black Sea Journal of Engineering and Science*, vol. 3, no. 4, pp. 173-189, 2020.
- [26] G. Karypis, E. Han, and V. Kumar, "A hierarchical clustering algorithm using dynamic modeling," 1999.
- [27] S. Lee, J. Jung, I. Park, K. Park, and D.-S. Kim, "A deep learning and similarity-based hierarchical clustering approach for pathological stage prediction of papillary renal cell carcinoma," *Computational and structural biotechnology journal*, vol. 18, pp. 2639-2646, 2020.
- [28] E. Aljalbout, V. Golkov, Y. Siddiqui, M. Strobel, and D. Cremers, "Clustering with deep learning: Taxonomy and new methods," *arXiv preprint arXiv:1801.07648*, 2018.
- [29] S. Fahad, F. Su, S. U. Khan, M. R. Naeem, and K. Wei, "Implementing a novel deep learning technique for rainfall forecasting via climatic variables: An approach via hierarchical clustering analysis," *Science of The Total Environment*, vol. 854, p. 158760, 2023.
- [30] M. R. Karim *et al.*, "Deep learning-based clustering approaches for bioinformatics," *Briefings in bioinformatics*, vol. 22, no. 1, pp. 393-415, 2021.
- [31] S. Spinelli, M. Farina, and A. Ballarino, "A hierarchical architecture for optimal unit commitment and control of an ensemble of steam generators," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 30, no. 3, pp. 1145-1158, 2021.
- [32] N. Lozhechnikova, "Implementation of the hierarchical approach in the mathematical modelling of once-through steam generators," *Proceedings of Odessa Polytechnic University= Праці Одеського політехнічного університету*, no. 3 (62), pp. 70-79, 2020.
- [33] L. dos Santos Belo, C. A. Caetano Jr, Z. K. G. do Patrocínio Jr, and S. J. F. Guimaraes, "Summarizing video sequence using a graph-based hierarchical approach," *Neurocomputing*, vol. 173, pp. 1001-1016, 2016.

- [34] B. Sabarish, R. Karthi, and T. G. Kumar, "Graph similarity-based hierarchical clustering of trajectory data," *Procedia Computer Science*, vol. 171, pp. 32-41, 2020.
- [35] I. Jonyer, D. J. Cook, and L. B. Holder, "Graph-based hierarchical conceptual clustering," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 2, no. Oct, pp. 19-43, 2001.
- [36] R. Duwairi and M. Abu-Rahmeh, "A novel approach for initializing the spherical K-means clustering algorithm," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 54, pp. 49-63, 2015.
- [37] Y. Liu and B. Li, "Bayesian hierarchical K-means clustering," *Intelligent Data Analysis*, vol. 24, no. 5, pp. 977-992, 2020.
- [38] A. D. Peterson, A. P. Ghosh, and R. Maitra, "Merging K-means with hierarchical clustering for identifying general-shaped groups," *Stat*, vol. 7, no. 1, p. e172, 2018.
- [39] M. Yeşilbudak, H. KAHRAMAN, and H. Karacan, "Veri madenciliğinde nesne yönelimli birleştirici hiyerarşik kümeleme modeli," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 26, no. 1, 2011.
- [40] S. Naumov, G. Yaroslavtsev, and D. Avdiukhin, "Objective-based hierarchical clustering of deep embedding vectors," in *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2021*, vol. 35, no. 10, pp. 9055-9063.
- [41] Ağaçayak A., Terzioğlu Hakan, Özdeş Büşra, (2020). Bölüm 3- Elektrikli Araçlarda Telemetri, İKSAD, Elektrikli Araçlara Genel Bakış 2, ISBN:978-625-7687-48-5.7
- [42] Y. KESKİN, G. OTURANÇ, O. KARAOĞLU & S. SERVİ, Reduced Differential Transform Method For Exact Solutions Of Laplace Equation, Poster Sunumu, Xvi International Congress On Mathematical Physics, 03 Ağustos 2009, 08 Ağustos 2009
- [43] K. İ. ANWER & S. SERVİ, Clustering Method Based on Artificial Algae Algorithm, International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, 2021, 2147-6799, 9, 4, 136-151.
- [44] Servi S., Uymaz S.A., Yel E., Tezel G., "Logistic Regression, as a Tool and as a part of Solution in Engineering Problems", 6th International GAP Engineering Conference – GAP2018, Urfa, Turkey
- [45] Akand M., Buyukaslan A., Servi S., Covicik L., "A hypothetical method for calculation of the access point, direction angle and access angle for percutaneous nephrolithotomy", *Medical hypotheses*, Vol. 124, 101-104.

# BÖLÜM 2

## ELEKTRİKLİ VE GÜNEŞ PANELLİ ARAÇLAR ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

C. YİĞİT<sup>1</sup>, H. TERZİOĞLU<sup>2</sup>, M. AKİF ŞAHMAN<sup>3</sup>

---

### GİRİŞ

ELEKTRİKLİ araçlar, fosil yakıtların kullanımını büyük ölçüde azalttığı için ulaşımın geleceğidir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, verimliliği ve sözde yeşil teknolojisi nedeniyle elektrikli araçların kullanımını teşvik etmektedir. Elektrikli araçların şarj edilmesinin çevre dostu olduğu söylene de raporlar bunu yalanlıyor. Elektrikli araç aküsünün şarjı yine fosil yakıtların kullanımıyla enerji sağlanan şebekeden sağlandığından artık çevre dostu olamaz. Elektrikli araç aküsünü şarj etmek için güneş enerjisinden yararlanmak, elektrikli aracı şarj etmenin en çevre dostu alternatifidir.

Fosil yakıtların kıtlığı ve maliyeti, sera gazı emisyonlarıyla birleştiğinde, fosil yakıtı dayalı olmayan ulaşım yöntemlerinin geliştirilmesini yüksek öncelikli bir görev haline getirir. Bu nedenle güneş enerjisi gibi yenilenebilir ve temiz enerjiye ilişkin akademik çalışmalar son yıllarda hızla artmaktadır. Bu yenileyici, temiz ve ücretsiz enerji çeşitli şekillerde kullanılabilir.

Güneş enerjisi fotovoltaik (PV) modülleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Güneş panellerinden üretilen elektrik, güneş enerjisiyle çalışan araçların DC motorlarını çalıştırmak için akülerde de depolanabilmektedir[1]. Son araştırmalara göre fosil yakıtlar hızla tükeniyor ve dünyadaki fosil yakıtın tamamının 50 yıl içinde tamamen tükenmesi bekleniyor. Bu nedenle, mevcut doğal kaynaklar arasında enerji ve güç gibi doğal kaynakların yeni bir keşfinin yapılması önemli bir ihtiyaçtır; güneş enerjisi ise mevcut enerji kaynakları içinde en umut verici olanıdır. Güneş ışığının çeşitli günlük uygulamalarda uygulanan bir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir[2]. Güneş enerjisiyle çalışan araçların, özellikle yıl boyunca güneş radyasyonunun nispeten yüksek olduğu küçük ve düz yerleşimli şehirler için insanların ulaşımında akıllı bir çözüm olduğu aşikârdır.

<sup>1</sup> Selcuk University, Konya/Turkey, cihad.yigit@selcuk.edu.tr

<sup>2</sup> Selcuk University, Konya/Turkey, hterzioglu@selcuk.edu.tr

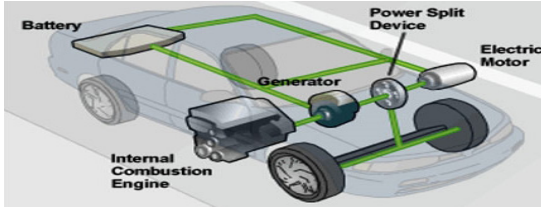
<sup>3</sup> Selcuk University, Konya/Turkey, asahman@selcuk.edu.tr

#### IV. ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ VE YÖNETİMİ

Araçlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarından kaynaklanan iklim değişikliği dünya çapında ciddi bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Son zamanlarda, sera gazı emisyonlarını en aza indirmek ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimini artırmak için çeşitli önlemler başlatılmıştır[3, 4]. Ayrıca, gaz emisyonları ile ilgili olarak ulaşım sektörü, araçlardan kaynaklanan emisyonlara önemli bir katkıda bulunmaktadır[5]. Örneğin, Avrupa'daki sera gazı emisyonlarının %84'ü ulaştırma sektöründen kaynaklanmakta olup, bunun %28'i esas olarak kara taşıtlarından kaynaklanmaktadır. Bu durum otomotiv endüstrisini içten yanmalı motorların yerini alabilecek düşük emisyonlu ve emisjonsuz araçlar geliştirmeye yöneltmiştir[6]. Otomotiv endüstrisi, araştırmacılar ve enerji meraklıları, ulaştırma sektöründe, özellikle karayolu taşıtlarında, fosil yakıt bağımlılığının emisyonunu azaltmak için çalışmaktadırlar[7]. İçten yanmalı motorların gelişimi 1990'lı yıllara göre önemli ölçüde iyileşme göstermiş olsa da, kirletici emisyonların artış eğilimindeki artışla birlikte yollardaki araç sayısı da hızla artmıştır[8]. Otomobil üreticilerinin ve artan nüfusun ilgi odağı haline gelen büyük şehirleri karbondan arındırmak için emisyonlarının ve enerji tüketiminin azalması nedeniyle son zamanlarda elektrikli arabalar önerilmiştir [9]. Birçok araç üreticisi IC motorlu araçları elektrikli ve hibrit araçlarla değiştirmek için sayısız çaba sarf etmektedir [9, 10]. Brtka ve diğerleri gibi araştırmacılar[11], elektrikli araçların (EV) hibrit elektrikli araçlara (HEV) dönüştürülmesinin kentsel alanlarda araç sürüş menzili açısından %87,4 oranında fayda sağlayacağını belirtmişlerdir. Koengkan ve diğerleri tarafından raporlarında [12], pil üretimi için mineral kıtlığı ve önemli çevresel etkileri olan pil minerallerine olan talebin artması gibi zorluklara rağmen, pil bazlı elektrikli araçların CO<sub>2</sub> emisyonunu en aza indirmeye daha uygun olduğunu belirtmiştir. Saf elektrikli araçlar önemlidir çünkü IC motorla çalışan araçlar sabit ve rölantideyken yakıt tüketirler, ancak elektrikli araçlarda enerji tüketimi yoktur[13]. Ayrıca Waseem ve ark[14] güneş PV teknolojisinin elektrikli ve hibrit araçlara entegrasyonunu sunmuştur. Bununla birlikte yazarlar, güneş ışığının bulunmaması, güneş ışımasının değişkenliği, atmosferik sıcaklıktaki değişkenlik ve güneş enerjisiyle çalışan elektrikli araçların tam olarak uygulanması için pillerin fosil yakıtla karşılaştırıldığında çok daha düşük özgül enerjisi gibi çeşitli sınırlamaların önemini belirtmişlerdir . Ayrıca Waseem ve ark[15] güneş enerjili elektrikli araçların IC motorlu araçlara göre çevre dostu olmaları, daha az emisyon üretmeleri ve iletim verimliliğini artırma avantajları gibi önemini ortaya koymuştur.

## V. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Otomotiv endüstrisi, araştırmacılar ve enerji meraklıları, ulaştırma sektöründe, özellikle karayolu taşıtlarında, fosil yakıt bağımlılığının emisyonunu azaltmak için çalışmaktadırlar. Bu araçlarda bataryadan alınan elektrik enerjisi bir elektrik motoru ile mekanik enerjiye çevrilir. Bu mekanik enerji araç üzerindeki tahrik organları yardımıyla tekerleklere aktarılarak hareket sağlanır. Elektrikli araçların temel parçaları; enerji depolama için batarya, tahrik sistemi için elektrik motoru, jeneratör, mekanik iletim ve güç kontrol sistemleridir (Şekil-1). Elektrikli araçlarda tahrik sistemi, sadece elektrik motorundan veya hem elektrik hem de içten yanmalı motordan beslenebilir. Bu parçaların farklı yollarla ve farklı sistemlerde kullanılmasıyla iki tür elektrikli araç geliştirilmiştir.



Şekil 1: Hibrid elektrikli otomobil prensip şeması

Hibrid elektrikli araçlar (HEA); içten yanmalı motor, elektrik motoru, harici enerji kaynağından şarj olabilen batarya depolama sistemi içerir. Hibrid elektrikli araçlar sürüş esnasında; enerji verimliliğini göz önüne alarak sadece elektrikli motor, sadece içten yanmalı motor veya bu ikisini bir arada kullanır. Sadece elektrikli motor ile sürüş için batarya kapasitesi genellikle 4-16 kWh mertebesindedir. Aracın bataryasının şarjının yeterli olmadığı zamanlarda içten yanmalı motor sürüş menzilin artmasına büyük katkı sağlar[16].

Elektrikli araçlar (EA); içten yanmalı motorları olmayıp tamamıyla elektrik enerjisi ile çalışan motorlar ile tahrik edilirler. Bataryalarının imkân verdiği menzillerinin sonunda yeniden yola devam edebilmesi için bataryalarının şarj edilmesi gerekir. Günümüzde elektrikli araçların menzilleri en çok 450-500km'ye, batarya kapasiteleri ise 85-100kWh'e kadar çıkmıştır. Elektrikli araçların menzillerini ve tercih edilebilirliklerini etkileyen en önemli parametre batarya kapasitesi ve tekrar şarj edilebilme zamanıdır. Batarya şarj zamanı elektrikli araçların batarya tipine, batarya kapasitesine ve şarj cihazının çıkış gücüne bağlı olarak değişir. Dolayısıyla günümüz elektrikli araç araştırma geliştirme çalışmaları bu konu üzerine odaklanmıştır.

## VI. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİ

Tarihsel gelişimi 19. yüzyılda başlayan elektrikli araçlar (EA), günümüzde özellikle, içten yanmalı motorların (İYM) sebep olduğu sera gazlarının ve hava kirliliğinin artmasıyla popüler hale gelmiştir. Farklı EA türleri üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün hızla artmaktadır. Mevcut şartlarda kullanılan EA çeşitleri üç ana grupta toplanabilir. Genellikle akla ilk gelen enerjisini tamamen batarya grubundan sağlayan Tümü Elektrikli Araçlar (TEA) olarak adlandırılan EA'lar gelmektedir. Son zamanlarda batarya teknolojisindeki gelişmelerin artmasıyla TEA'lara olan ilgi giderek artmaktadır. Fakat hem İYM'yi hem de elektrik motorunu aracın tahrik sisteminde birlikte kullanan Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA) günümüzde en yaygın kullanılan EA'lar sınıfındadır. Diğer EA türü ise hidrojen enerjisi ile çalışan Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (YHEA) olarak literatürde yer almaktadır[17]. Söz konusu EA türlerinin dışında, doğrudan güneşten enerjisini sağlayan güneş panelli araçlar; en çevreci araçlardır.

## VII. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN PERFORMANSI

Elektrikli otomobiller popülerleştikçe verimlilikleri de tartışılıyor. Günümüz dizel motorlarının verimliliğinin %32 olduğu tahmin edilmektedir. Bu tür araçlarda kullanılan yakıtın sürüş performansına katkısını değerlendirdiğimizde yakıtın üçte ikisinin kullanılamaz durumda olduğunu görüyoruz. Elektrikli araçlar için bu değer %88 olarak hesaplanmaktadır[18]. Bu fark, elektrikli otomobillerin sürüşe önemli katkı sağladığını gösteriyor. Sürüş verimliliği, konforu ve ulaşım maliyeti düşünüldüğünde elektrikli araçlara yönelimin başlangıcını da beraberinde getirmektedir.

Ayrıca Elektrikli araçların gücü tahrik sistemindeki gelişmelerden meydana gelmektedir.

Günümüzde otomobillerde tekerlekleri tahrik etmek için genellikle mekanik sistemler kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde, dizel veya benzinli içten yanmalı motorlar, mekanik sistemlerle taşıt aracının şaftına doğrudan bağlanmıştır. Motorlarda yakıtın yanması sonucu elde edilen mekanik enerji, tekerleklerle aktarılarak taşıt aracının hareketi sağlanmaktadır. Teknolojik gelişmeler ile birlikte son yıllarda elektrikli tahrik sisteminin araçlarda kullanılması yaygınlaşmıştır. Bu gelişmeler; elektrik motor sürücü sistemlerinde kullanılan güç elektroniği elamanlarındaki gelişmeler, motor kontrol sistemlerindeki gelişmeler, jeneratör ve motor teknolojisindeki gelişmeler, araçlardaki elektriksel yük artışları şeklinde ifade edilebilir.

Araçlardaki elektrik tahrik sistemlerinde, elektrik motoru olarak genellikle asenkron motor veya sürekli mıknatıslı motor kullanılmaktadır. Elektrikli tahrik sistemleri mekanik sistemlere göre birçok avantajlara sahiptir. Elektrikli tahrik sistemlerinde, bağlantının elektrikselsel olarak yapılması, mekanik sürücü sistemlerinde olmayan bir esneklik, yüksek kontrol kabiliyeti sağlamakta, ayrıca gelişen teknoloji ile birlikte daha yüksek güçlere daha düşük boyut ve daha düşük ağırlıklarda ulaşabilme imkânı doğmaktadır. Bu tür sistemlerin veriminin yüksek olması, gürültü seviyesinin düşüklüğü ve daha fazla çevre dostu olması, elektrikli tahrik sistemlerinin diğer özellikleridir. Elektrikli otomobiller, Nissan, Renault ve Tesla gibi otomobil şirketlerinin öncülüğünde 2008 yılından bu yana dünya çapında yaygın olarak kullanılıyor. Nissan'ın 2010 yılında piyasaya sürdüğü Nissan Leaf modeli, Avrupa'nın en çok satan otomobillerinden biri haline geldi[19]. Tüketicilerin elektrikli otomobillere bu kadar ilgi duymasının temel nedenlerinden biri de her yıl istikrarlı olarak piyasaya sunulmasıdır.

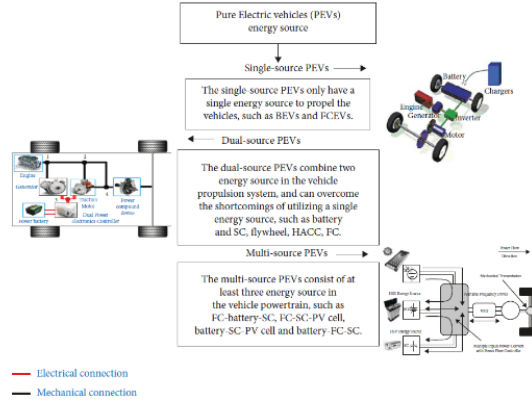
### **VIII. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ YÖNTEMLERİ VE SINIFLANDIRILMASI**

İlk elektrikli araç, 1881 yılında Fransız Gustave Trouve tarafından gerçekleştirilen üç tekerlekli araç olarak kabul edilmiştir. Bu araçta 0,1 beygir gücünde DC motor kullanılmıştır. Aracı kurşun-asit batarya beslemektedir. Bunun yanı sıra başka elektrikli araçlar da ticari olarak kullanılmıştır. 1894 yılında Henry G. Morris ve Pedro G. Salom geliştirilmiş olduğu Electroboat aracı kullanılan ilk elektrikli ticari taksi olmuştur[20].

Elektrikli araçlar sürüşe direk katkı yapan içten yanmalı bir motora sahip değildir. Hareketi sağlayabilmek için içerisinde bir veya daha çok sayıda elektrik motorunu barındırır. Elektrik motorunu çalıştırabilmek için bataryada depolanan enerji kullanır. İçten yanmalı araçlar gibi çalışma esnasında çevreyi kirletmediğinden sıfır emisyonlu araç (Zero Emmision Vehicle, ZEV) olarak da adlandırılır. Elektrikli araçları birçok kritere göre tasnif etmek mümkündür. Fakat en iyi sınıflandırma enerjiyi elde etme yöntemlerine göre yapılan sınıflandırma olacaktır. Bu sınıflandırmada elektrikli araçlar, depolanmış enerji kullanan, kendi enerjisini üreten ve harici enerji beslemeli araçlar olarak sıralanabilir[21].

Ticari anlamda ilerleme kaydetmiş ve üretim aşamasına geçmiş hibrit (HEA), Plug-in hibrit (PEHA), tam elektrikli araçların (TEA) yanında yakıt hücreli elektrikli araçlar (YHEA) ve Genişletilmiş Menzilli Elektrikli Araçlar (GMEA) mevcuttur. Hibrit araçlar fosil yakıt da kullanması sebebiyle tamamen

elektrikli otomobillere kıyasla daha az doğa dostu olarak kabul edilmektedir. Elektrikli araçların sınıflandırılması; kullanılan teknolojiye bağlı olarak beş aşamada ele alınabilir (Şekil 2).



Şekil 2: Elektrikli Araçların Enerji Kaynakları

**Tam Elektrikli Araçlar (TEA):** Tam elektrikli araçlar yalnızca bir elektrik motoru aracılığıyla hareketi sağlar. Elektrik, şarj olabilen batarya paketleri ve bazı durumlarda kapasitör veya volan aracılığıyla üretilmektedir. Bataryanın şarjı plug-in hibrit araçlarla benzer şekilde yapılabilir. Hibrit araçlarla birlikte tam elektrikli araçlar da ciddi anlamda zararlı sera gazı salınımını düşürse de aslında tam elektrikli araçların salınım seviyelerini düşürme noktasında potansiyeli hibrit araçlara göre çok daha büyüktür[22].

**Plug-in elektrikli Hibrit Araçlar (PEHA):** PEHA otomobiller içten yanmalı motora ve batarya paketine sahip olması sebebiyle temelde hibrit otomobillere benzemektedir. Aslında bu araçlar dış enerji kaynaklarından şarj olabilen batarya depolama sistemi bulunan hibrit otomobiller olarak tanımlanmaktadır[22]. Bu modellerde bir elektrik motoru 50 km mesafe ek katkıda bulunur.

**Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA):** Hibrit araçlarda hareketi sağlayan geleneksel bir içten yanmalı motor ve batarya/elektrik motor sistemi vardır. Batarya/elektrik motoru sisteminin varlığı ile yakıt ekonomisi ya da geleneksel içten yanmalı motora kıyasla daha iyi performans amaçlanmaktadır. Hibrit araç sistemlerinin temel özelliği jeneratör olarak çalıştığında elektrik üretirken bataryayı şarj eden, motor olarak kullanıldığında tekerleklere güç sağlayan motor/jeneratör sisteminin varlığıdır. Sistemin şarj olması içten yanmalı motora bağlanmış motor/jeneratör sisteminden ya da rejeneratif fren sistemi



aracılığıyla elde edilen kinetik enerji ile sağlanır[22]. Bu elektrik motorlarının sürüşe katkısı 30-40 km olmaktadır.

**Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (YHEA):** Yakıt hücreli araçlar da tam elektrikli araçlar başlığı altında değerlendirilebilse de itiş gücünü sağlayan elektrik enerjisi, şarj olabilen bir batarya paketi yerine yakıt hücreleri aracılığıyla sıkıştırılmış hidrojen ve oksijenden üretilir.

**Genişletilmiş Menzilli Elektrikli Araçlar (GMEA):** bu araçlarda ana tahrik olarak bir elektrikli motor bulunur. Bunun yanında ise bir içten yanmalı motor ile gerektiğinde bataryanın şarj edilmesi sağlanır. Batarya maksimum seviyeye ulaştığında ise artık motor bataryayı şarj etmeyi durdurur. Elektrikli motorun menziline ek olarak 150km bir mesafe katkıda bulunabilir.

Tablo 1’de elektrikli araç tipine göre karbon salınımları belirtilmiştir.

**Tablo1:** Farklı tipte elektrikli araçların km başına CO2 salınımı[23]

ARAÇ TİPİ	HEA	PEHA	TEA
CO2 WLTP (g/km)	110	31	0

## IX. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ YERİ

Dünyada iklim değişikliği kaynaklı çevresel kaygılar artarken bu iklim değişikliğine sebep olan sera gazı salınımının en büyük sebeplerinden biri olan ulaşım sektöründe de büyük gelişmeler kaçınılmaz olmuştur. Bu bağlamda elektrikli araçlara yönelik gerekli Ar-Ge çalışmaları ile birlikte altyapı çalışmaları da hızlanmıştır. Son yıllarda elektrikli otomobil teknolojisi bu araçların ticari anlamda yaygınlaşmasının önünü açacak şekilde gelişmiştir.

Elektrikli araçların 2016’daki %2’lik küresel payını 2030 %22’ye çıkarması beklenmektedir. 2017’de küresel çapta elektrikli araç satışı ilk kez milyon adeti geçmiştir. Mevcut gidişatta, elektrikli araç üreticileri küresel hafif araç pazarının %5’ine tekabül eden 4,5 milyon adetle 2020’de bu başarıyı neredeyse dörde katlamıştır. 2025’e kadar elektrikli araç satışlarının 10 milyon, 2030’a kadar 28 milyon ve 2050’e kadar 56 milyon adede çıkması beklenmektedir [24].

Çin an itibariyle %94 satış payıyla ABD ve Avrupa Birliği’nin toplamından daha büyük bir elektrikli araç pazarına sahiptir. Yerel orijinal ekipman üreticileri Çin elektrikli araç pazarını domine etmektedir [25].

## X. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN TEKNOLOJİLER

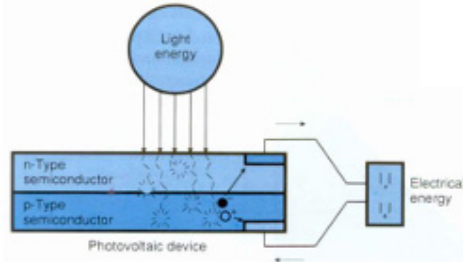
Elektrikli araçlar, motor türleri ve menzilleri bakımından tercih edilme veya tercih edilmeme gibi sınıflandırılabilir.

Elektrikli araçlarda tahrik sistemi (elektrik motoru), enerji depolama sistemleri, jeneratör, güç aktarım organı ve elektronik kontrol sistemi yer almaktadır. Bu parçaların farklı yollarla ve farklı teknolojilerle kullanılmasıyla elektrikli araç teknolojisi de farklılık göstermektedir.

## XI. FOTOVOLTAİK PİLLERİN ÇALIŞMA İLKELERİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

“Güneş Elektrikliği (solar electricity)” veya “güneş pili” olarak da bilinen ve güneş ışığından elektrik enerjisi üreten PV’ler, ilk kez 1839 yılında Becquerel tarafından araştırılmış, 1954 yılında ise modern anlamdaki PV hücreler (solar cell) geliştirilerek uzay teknolojisi uydu araçlarında pahalı bir elektrik üretici olarak kullanılmaya başlanmıştır [26, 27].

Fotovoltaik hücreler yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 25 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş hücresi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir[28] (Şekil 3).



Şekil 3: Güneş Pili çalışma şeması

Fotovoltaik pillerin üretimi sırasında, pilin ön yüzeyine yakın yerde bir iç elektrostatik bölge oluşturularak, elektronların serbest duruma geçmesi sağlanır. Silisyum kristali içine diğer elementler yerleştirilmiştir. Bu elementlerin kristal içinde bulunması, kristalin elektriksel olarak dengede olmasını önler. Işıklı karşılaşılan malzemede, bu atomlar dengeyi bozar ve serbest elektronları diğer pile veya yüke gitmeleri için pilin yüzeyine doğru süpürürler. Milyonlarca foton pilin içine akarken, enerji kazanıp bir üst seviyeye çıkar, elektronlarda pil içindeki elektro-statik bölgeye ve oradan da pil dışına akarlar. İşte bu oluşan akış elektrik akımıdır[29].

Fotovoltaik pillerin performansını etkileyen en önemli hususlar güneş ışınlarının pil yüzeyine düşme açısı, fotovoltaik pillerin ısınması ve yüzey

kirlenmesi problemidir. Türkiye’de 1000 W/m<sup>2</sup> ışıınım altında yapılan bir çalışmada da PV modül sıcaklığının artması durumunda gücün düştüğü, her 10 0C sıcaklık artışında verimin %1 düştüğü saptanmıştır. PV panelin arka yüzeyinin havalandırılması ve ışıınım açısının panel eğiminin uygun seçilmesi durumunda, aşırı ısı yükleri de azaltılabilmektedir[30]. Kullanıldığı yerde PV panellerin etkinliğinin düşmesine neden olan önemli faktör de yüzey kirlenmesidir[31]. Yapılan araştırmalar, kirlenme durumunda PV performansının %3.5 oranında düştüğünü göstermektedir[32]. Bu durum panel yüzeylerinin belirli zaman aralıklarıyla temizlenmesini zorunlu kılmaktadır. Yapılan parametrik çalışmalara göre, şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız fotovoltaiik uygulamaların yıllık ürettikleri güç miktarı kullanılarak her iki sistem için ömür boyu maliyet sırasıyla 0.40 ve 0.67 \$/kWh olarak bulunmuştur[33]. Bu sonuçlarla fotovoltaiik sistemlerin yakıt maliyeti olmamasına rağmen kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu üretilen enerjinin birim fiyatının 4 ila 6,5 katı olmasıyla sonuçlanmaktadır. Buna rağmen şebeke bağlantısı bulunmayan bölgelerde fotovoltaiik uygulamalar kullanılabilir.

## **XII. GÜNEŞ ENERJİSİNİN YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

Güneşten üretilen elektrik enerjisinin direkt yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmasına 2006’ dan sonra başlanmıştır. 2000’ li yılların başlarından itibaren yenilenebilir yeşil enerji kaynaklarının üretimi yüksek oranla farkındalık yaratmış ve özellikle hidrolik enerjiden yararlanılarak üretim alanları farklı olan yenilenebilir enerji kaynakları üretimleri % 70’ lerin üzerine çıkmıştır. Güneş enerjisi için bunu söylemek mümkün değildir. 2007 yılı öncesinde güneş enerjisi üretiminde kullanılan fotovoltaiik panellerin ve diğer ekipmanlarının, üretim maliyetlerinin yüksek oluşu bu gelişmenin gecikmesinin ana nedenleri arasındadır. 2007 yılından sonra gelişen teknoloji ile birlikte maliyetlerin çok aşağılara inmesi güneş tarlalarının çoğalmasına destek olmuştur. Liman, kıyı bölgelerinde enerji ihtiyacını karşılamada sorun yaşanmadan ihtiyacı giderir. Altyapı eksikliği oluşturmaz, arabaların, binaların, yatların üzerinde kullanılabilir[34]. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi (fotovoltaiik piller) güneş pilleri olarak bilinen yarıiletken materyaller ile sağlanmaktadır. Fotovoltaiik piller, güneş bataryaları veya güneş hücreleri olarak da adlandırılan mekanizmalar, algıladıkları ışınların foton enerjisinden birbirine eşit sayıda negatif (-) ve pozitif (+) enerji yükleri meydana getirerek güneş enerjisini direkt kullanılabilir yararlı elektrik enerjisine çevirirler[35]. Güneş enerjisinden elektrik üretim sistemini iki grupta 236 toplamak mümkündür bunlar; termal sistemler ve fotovoltaiik sistemler adı altında incelenebilirler[36].

### **XIII. GÜNEŞ (YAKIT) PİLLERİ**

Fotovoltaaj (FV) güneş pilleri algıladıkları ışın ve foton diye tabir edilen enerjiden eşit sayıda negatif ve pozitif yükler meydana getirerek, güneş enerjisini elektrik enerjisi tüketen cihazlarda kullanılabilir hale getiren mekanizmalardır [37]. Güneşten elde edilen enerjiler güneş pilleri sayesinde 12 Voltluk doğru akım olarak üretilirler. Evlerde 220 V alternatif akım enerji kullanılmaktadır. Bunların dışında gün ışığı haricinde de elektrik kullanım ihtiyacı söz konusu olacaktır. Bu nedenle PV sistemler çok farklı özelliklerde ekipmanlardan meydana gelmektedirler. Bunlar; şarj kontrol cihazları, çevirici ve eviriciler, solar aküler ile güneş panelleridir. Ayrıca bunların yanında birçok yardımcı cihazlar da bulunmaktadır [38]. Yakıt pilleri teknik olarak içerisinde hareketli parça olmayıp güç iletim aletleri olan fan ve pompa gibi yardımcı ekipman gerektirmemektedir. Tepkime iki reaktif madde olan oksijen ve hidrojenin arasında olduğundan düşük miktarda sıcaklık, su ve elektriksel enerji açığa çıkar [39]. Açığa çıkan enerjisi çeşitli ortamlarda ve değişik şartlarda kullanmak mümkündür. Yakıt pilleri birçok önemli özelliği ile diğer enerji üretim kaynaklarından daha efektif olarak insanlara sunmaktadır: Bunlar;

- Yakıt hücreleri üzerlerinde hareketli parça bulundurmazlar, dolayısıyla bildiğimiz geleneksel enerji üretim makinelerine göre gürültü yapmazlar.
- Yakıt olarak hidrojen ve oksijenin tepkimesi kullanıldığından karbon salımı meydana gelmez.
- Atmosfere zarar vermeyen sera gazı üretmeyen yakıtlar kullanıldığı için kloro flor karbon gazı salımı olmaz.
- Kullanım ömürleri uzundur (ortalama yirmi yıl).
- Bakım maliyetlerinin çok düşüktür.
- Küçük birimler halinde kullanılabilirler.

Dezavantajları ise;

- Fosil yakıtlar ile çalışan motorlara göre birim hacimde güç yoğunluğu daha düşüktür, yani birim hacmine göre daha az enerji üretir [38].
- Kullanılan sistemler karmaşık üretim yapıları, lojistik sistemleri ve depolama süreçleri oluşturduğu için fosil yakıtı göre ekonomik maliyeti yüksek olabilmektedir.

### **XIV. GÜNEŞ ENERJİSİNİN TAŞITLARDA KULLANILMASI**

Fotovoltaik uygulamalarda elektrik enerjisinin üretilmesi kadar depolanması da güneş enerjisinin taşıtlarda kullanılabilirliğini etkilemektedir. Bu sebeple

güneş enerjisinin taşıtlarda kullanımı, fotovoltaik piller ile batarya gruplarının birlikte değerlendirilmesini gerektirir.

Taşıtlarda alternatif enerji kullanımıyla ilgili tüm çalışmaların temelinde aracın bağımsız seyir mesafesini kullanım şartlarının altına düşürmeme gerekliliği bulunmaktadır. Yakıtlarının yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları dolayısıyla benzinli ve dizel motorlu araçların menzilleri ulaşılması güç değerler olarak görülmektedir.

Aşağıdaki tabloda toplam hareket dirençlerinin 1000N olacağı bir taşıtta farklı yakıt ve batarya türleri için enerji yoğunlukları ve menzil değeri verilmiştir. Menzil değerleri 100kg'lık ve 100 lt'lik yakıt/batarya'dan düşük enerjili olanı ile ulaşılacak en uzak mesafeyi göstermektedir (Tablo 2). (İlk 4 yakıtın %30 verimle işe dönüştükleri, hidrojen yakıt pilinin %55 verimle elektrik ürettiği ve elektrik motorlarının %90 verimle çalıştığı kabul edilmiştir.)

**Tablo 2:** Taşıtlarda enerji kaynağı ve menzil kıyaslaması

Enerji Kaynağı	Enerji Yoğunluğu		Menzil (km)
	Hacimsel	Kütlesel	
Benzin	34,8 MJ/l	44,4 MJ/kg	1044
Dizel	36,8 MJ/l	45,4 MJ/kg	1104
LPG	26,8 MJ/l	46 MJ/kg	804
CNG	9,7 MJ/l (@250bar)	55 MJ/kg	291
Hidrojen	1,876 MJ/l (@300bar)	142 MJ/kg	92,862
Li-Ion	146,1 Wh/l	92,5 Wh /kg	29,97
Pb-Asit	83,08 Wh/l	30 Wh /kg	10,8

Güneş enerjili araçlarda ise; taşıtın ihtiyaç duyacağı enerji eşzamanlı olarak araç üzerine yerleştirilmiş fotovoltaik pillerden karşılanmaktadır.

Bu durum söz konusu taşıtın fonksiyonel bir araç olarak kullanılabilmesi noktasında bir batarya grubunun kullanılmasını zaruri kılmaktadır.

Bununla birlikte araç üzerine yerleştirilecek PV modüllerinin alan kısıtlaması mevcuttur. Fotovoltaik pillerin performans değerlendirmesi ile ışınım miktarı birlikte düşünüldüğünde güneş enerjisi uygulamaları için taşıtlarda ışınım muhatap panel alanı değeri de önem arz etmektedir. Ayrıca güneş enerjili araçların tasarım ilkeleri ve malzeme kriterleri elektrikli araç tasarım şartlarını sağlamalıdır. Otomotiv sektöründe kullanılan malzeme ve tasarım özelliklerinin

güneş enerjisiyle çalışan taşıtlara uygun olmadığından alternatif yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir [40]. Ayrıca özellikle yaz aylarında aracın klima yükünün hafifletilmesi için araç yüzeyindeki güneş ışınımının yutulması değil yansıtılması istenmektedir [41].

Aracın üzerine yerleştirilen fotovoltaik piller ısı üretmeleri bakımından bu noktada bir dezavantaj göstermektedirler.

## **XV. GÜNEŞ PANELLİ ARAÇLARIN SEYAHAT MESAFESİ**

Alternatif enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların sayısında ciddi bir artış vardır. Bu nedenle elektrikli bir aracın tek şarjla kat edebileceği mesafeyi artırmak için yeni teknik çözümlere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri aracılığıyla elektrikli bir aracın kilometresinin artma olasılığını değerlendirmektedir. Söz konusu elektrikli otomobil, park etme aşamalarında çatısına monte edilen güneş panellerinden şarj edilebilmektedir. Fotovoltaik modüller aracın çekişine katkıda bulunabilir veya havalandırma, klima, ısıtmalı yolcu koltukları, iç aydınlatma gibi aksesuarlarına enerji verebilmektedir. Sonuçlar, güneş panellerinin güneş izleme ayarının olduğu ve olmadığı her iki durum için önerilen çözümlerin uygulanabilirliğini göstermektedir. Hesaplamalar, araca entegre fotovoltaik panellerin, en güneşli yaz aylarında akü tam şarjıyla menzilin %6,32'sine, en az güneşli kış aylarında ise menzilin %1,16'sına kadar enerji sağlayabildiğini gösteriyor.

Çalışmanın başlangıç koşulları Bir güneş arabasının tasarımı, ona yatırılan enerji miktarıyla kesinlikle sınırlıdır. Güneş panelli araçlar, şu anda otomobil alıcıları için gerçeğe dönüşme konusunda bazı önemli engellerle karşı karşıyadır. Birincisi, güneş panelli bir arabanın üretebileceği güç miktarı muhtemelen tüm araca enerji sağlamaya yetmeyecektir. Mevcut fotovoltaik modüllerin güneş ışığını yaklaşık %20 oranında faydalı elektriğe dönüştürdüğü göz önüne alındığında, güneş pilleriyle kaplı bir araba, 32-40 km'lik bir mesafe boyunca kendi hareketini sağlamaya yetecek kadar enerjiyi her gün alabilirler [42]. Bu tahmin, gün boyunca güneşli havanın varlığını, bulutların olmadığını, güneş pillerini kirleten tozun bulunmadığını ve mükemmel yerleştirilmiş güneş panellerinin olduğunu varsaymaktadır. Ayrıca mesafe, güneş ışınımı ve iklim koşullarına [43] atıfta bulunan coğrafi konuma ve aracın parametrelerine bağlı olacaktır. Yılda güneşli günlerin çok olduğu bölgelerde kısa mesafeler kat eden sürücüler için, arabaya entegre edilen fotoseller, yalnızca güneş enerjisiyle fazladan birkaç kilometre kat etmenin bir yolu olabilir. Ayrıca güneş pillerinden elde edilen enerji, radyolar, elektrikli camlar, gösterge paneli, iklim kontrol sistemi, ısıtmalı yolcu koltukları gibi içerideki elektrikli cihazlara güç sağlamak

için de kullanılabilir. Modern bir elektrikli otomobilin enerji tüketimi oldukça düşüktür; modele, mevsime, sürüş tarzına ve yol kalitesine bağlı olarak yaklaşık 120–300 Wh/km. Elektrikli otomobillerin ortalama tüketiminin 200 Wh/km’ye yakın olduğu düşünülebilir [44]. Menzil pil kapasitesine ve tüketimine bağlıdır. Genellikle standart araba testlerinden biri tarafından elde edilen değerle ifade edilir: NEDC, WLTP veya EPA. Bu testler, bir EV’nin tüketimini ve menzilin belirlenmesi için gerçek koşulları simüle etmek üzere tasarlanmıştır. NEDC standardının en eski ve fazla iyimser olduğu düşünülür (yüksek menzil sağlar, gerçek koşullarda neredeyse elde edilemez) ve bu nedenle nadiren kullanılır. WLTP Avrupa’da kullanılmaktadır ve yaz aylarında karma sürüş (şehir içi ve otoyol değil) menzilin daha doğru bir şekilde tanımlarken, Amerikan standardı olan EPA, gerçek koşullara en yakın olanı olarak kabul edilebilir [44]. Güneş panelleri güneşe dönük olduklarında ve yüzeyleri güneş ışınlarına dik olduğunda en verimli şekilde çalışırlar. Bu çalışmada güneş panellerinin otomobilin tavan kısmına düz ve zemin seviyesine paralel olarak monte edildiği varsayılmıştır. Panellerin bu şekilde düzenlenmesi ile maksimum enerji verimliliği ancak güneşin tepede olduğu saatlerde sağlanabilmektedir. Dünyanın Güneş etrafındaki hareketi nedeniyle mevsimsel değişiklikler de meydana gelir. Kışın Güneş yazla aynı açıya ulaşmaz. İdeal olarak, güneş panelleri yaz aylarında kış aylarına göre daha yatay olarak yerleştirilmelidir. Bu nedenle yaz için en uygun eğim açısı kışa göre daha küçüktür. Elektrikli aracın çatısındaki güneş panellerinin, özellikle kış aylarında, Güneş’e göre optimal olmayan bir dönüş açısına sahip olabileceği göz önüne alındığında, bu açığı, elektrikli aracın tavanında kılavuzları bulunan özel bir platform aracılığıyla park etme sırasında ayarlamayı düşününce, NEDC’ye göre, EA’nın tek bir şarjla kat edebileceği ek mesafeye dayalı olarak, açık bir durakta park etme sırasında akülerin şarj edilmesi için bir EA’nın tavanına yerleştirilen PV panellerin kullanım olasılığı ve uygunluğu tahmin edilecektir. EPA araba testleri. Gün ışığında sürüş sırasında aşırı şarj dikkate alınmaz çünkü otomobil gibi bir EA’nın yerleşik kontrol sistemleri aynı anda şarj ve sürüşe izin vermez. Park etme aşamalarında yakalanan enerjiyi en üst düzeye çıkarmak için güneşi takip eden bir çatı platformunun fizibilitesi de değerlendirilecektir. En iyi sonuçlar güneş aktivitesinin en yüksek olduğu yaz aylarında gözlemlenebilir. Elektrikli aracın bir temmuz günü pili şarj etmek için alabileceği 1587,56 kWh enerji, EPA standardına göre 7,98 km, hatta NEDC standardına göre 12,64 km yol kat etmesine olanak tanımaktadır. Bunlar, pilin tam şarjı ile maksimum yolculuk menzilinin sırasıyla %3,99’u ve %6,32’sidir. Aksine, kışın EV’nin PV modüllerinden aldığı enerjiyle kat edebileceği en kısa mesafedir. Ocak gününde

güneş panelleri tarafından dönüştürülen 291,32 kWh enerji, maksimum menzilden sırasıyla %0,77 ve %1,16 olan EPA standardına göre 1,55 km veya NEDC standardına göre 2,32 km menzil sağlar.

Bu sonuçlardan, PVA sonucunun büyük ölçüde ortam koşullarına bağlı olduğu sonucu çıkarılabilir. Kışın, düşük sıcaklıklar nedeniyle PV panellerin verimliliği artar, ancak güneş ışınımının azalması nedeniyle verim (yani enerji üretimi) azalır. Kış gibi güneş ışınımının düşük olduğu dönemlerde çatıya monte PV paneller, güneş ışınımının yüksek olduğu yaz dönemlerine kıyasla çok az fayda sağlar. En güneşli yaz ayları ile en az güneşli kış ayları arasında PVA'dan gelen enerjiyle gidilebilecek mesafe farkı yaklaşık 5 kattır. Ayarlanabilir bir güneş çatısı (tek eksenli izleme) kullanıldığında, gelen enerjide ve katedilen mesafede bir artış olur. Göreceli faydalar açısından, PV panelli hareketli güneş izleme platformu, güneş enerjisi katkısını ilkbaharda yaklaşık %7'den kışın %95'e çıkaracaktır. Nisan ayının bir gününde EV, EPA standardına göre 6,16 km, daha iyimser NEDC standardına göre ise 9,67 km yol kat edebiliyor. Bunlar, pilin tam şarjı ile maksimum seyahat menzilinun sırasıyla %3,08'i veya %4,88'idir. Kışın mesafe, EPA standardına göre 3,01 km veya NEDC standardına göre 4,52 km olacaktır; bu, tek bir pil şarjıyla mümkün olan maksimum kilometrenin %1,51 ve %2,26'sına karşılık gelir. Benzer şekilde, PVA performansı güneş ışınımının daha yüksek olduğu aylarda belirgin şekilde daha iyidir. Bununla birlikte, hareketli platformun benimsenmesi, yaz ve kış aylarında PV panellerin güç çıkışı arasındaki farkı azaltabilir: yüksek güneş enerjisinin olduğu dönemler lehine 2,64 katına (EPA standart senaryosu) ve hatta 1,8 katına (NEDC standart senaryosu) kadar ışınlama olur. Hareketli bir platformun benimsenmesinin yalnızca kişiye özel park alanlarında mümkün olabileceğini, öte yandan birçok otomobil kentsel ortamlarda zamanlarının çoğunu geçirmektedir. Güneşi izleyen çatı platformunu ayarlamak böyle durumlar için mümkün olmamaktadır.

## **XVI. SONUÇ VE TARTIŞMA**

Yakıt maliyetleri ve ulaşım araçlarının sınırlamaları dikkate alındığında elektrikli araçlara yönelik artan bir eğilimin olduğu ve elektrikli araçların elektrikselleştirilmesi ve verimliliğine daha fazla önem verildiği gözlemlenmiştir. Ancak elektrikli otomobiller daha verimli olsa da tek şarjla daha uzun mesafeler kat edebilmeleri için pillerinin geliştirilmesi ve şarj istasyonlarının daha yaygın hale getirilmesi gerekiyor. Elektrikli araçların artmasıyla birlikte enerji talebinin de artması kaçınılmaz hale gelmiştir. Enerji ihtiyacımızı karşılamak için yenilenebilir enerji sistemlerini kullanmamız gerektiği açıktır. Enerji



ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtların kullanılması, yakıt maliyetlerini ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırarak geleceği tehdit ediyor. Bunun yerine yenilenebilir enerjinin, özellikle de güneş enerjisinin kullanılması maliyetleri azaltabilir ve dünyayı CO<sub>2</sub> emisyonları gibi zararlı gazlardan koruyabilir. Güneş enerjisinden yararlanmanın önünü açmak amacıyla devletimizin fotovoltaik modül üretimine yönelik teşvik ve teşvik politikaları getirmesi ülke açısından faydalıdır. Elektrikli araç aktarma organlarında verimlilik kayıplarının önlenmesi ve tork üretiminin artırılması da konforlu ve sürdürülebilir araçlar için kullanıcı tercihlerinde ön sıralarda yer alıyor. Elektrikli otomobillerin satış fiyatları kullanılan teknolojiye bağlı olarak yüksektir. Artan benimseme ve yatırımla birlikte üretim maliyetleri düştükçe satış fiyatlarının da düşmesi muhtemeldir. Savunma sanayinde de elektrikli araç kullanımının artırılması gerekmektedir. Ülkemizde elektrikli araçların kullanımının artması; içten yanmalı motorların karbon salınımını ortadan kaldıracaktır.

Ayrıca ülkemizin daha temiz ve enerji konusunda bağımsız olmasını sağlayacaktır.

**REFERANSLAR**

- [1] Abdel Dayem, A.M., *Set-up and performance investigation of an innovative solar vehicle*. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2012. **4**(3).
- [2] Ahmet, K. and M.E. AKSAL, *Güneş Enerjisinin Taşıtlarda Kullanımı ve Kırıkkale Üniversitesi Güneş Enerjili Araç Projesi Örneği*. International Journal of Engineering Research and Development. **4**(2): p. 15-20.
- [3] Reddy, K., S. Aravindhan, and T.K. Mallick, *Techno-economic investigation of solar powered electric auto-rickshaw for a sustainable transport system*. Energies, 2017. **10**(6): p. 754.
- [4] Maennel, A. and H.-G. Kim, *Comparison of greenhouse gas reduction potential through renewable energy transition in South Korea and Germany*. Energies, 2018. **11**(1): p. 206.
- [5] Feng, S. and C.L. Magee, *Technological development of key domains in electric vehicles: Improvement rates, technology trajectories and key assignees*. Applied Energy, 2020. **260**: p. 114264.
- [6] Qin, Z., et al., *Optimal design of a novel hybrid Electric powertrain for tracked vehicles*. Energies, 2017. **10**(12): p. 2141.
- [7] Jayakumar, A., A. Chalmers, and T.T. Lie, *Review of prospects for adoption of fuel cell electric vehicles in New Zealand*. IET Electrical Systems in Transportation, 2017. **7**(4): p. 259-266.
- [8] Åhman, M., *Government policy and the development of electric vehicles in Japan*. Energy Policy, 2006. **34**(4): p. 433-443.
- [9] Saleh, N., et al., *Design and performance analysis of a solar powered hybrid rickshaw for commercial use in Pakistan*. Journal of Environmental Science and Technology, 2016. **9**(6): p. 472-480.
- [10] Binali R., Yalçın G.,Ağaçayak A.C., (2021). Bölüm 1: Modern İmalat Yöntemlerine Genel Bakış. Elektrikli Araçlara Genel Bakış 1, İksad Yayınevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-625-8423-15-0. pp. 3- 33.
- [11] Dong, H., et al., *A comparative study on the energy flow of a conventional gasoline-powered vehicle and a new dual clutch parallel-series plug-in hybrid electric vehicle under NEDC*. Energy Conversion and Management, 2020. **218**: p. 113019.
- [12] Brtko, E., et al., *Model of hybrid electric vehicle with two energy sources*. Electronics, 2022. **11**(13): p. 1993.
- [13] Koengkan, M., et al., *The capacity of battery-electric and plug-in hybrid electric vehicles to mitigate CO2 emissions: macroeconomic evidence from european union countries*. World Electric Vehicle Journal, 2022. **13**(4): p. 58.
- [14] Sharmila, B., et al., *Modelling and performance analysis of electric vehicle*. International Journal of Ambient Energy, 2022. **43**(1): p. 5034-5040.
- [15] Waseem, M., A.F. Sherwani, and M. Suhaib, *Integration of solar energy in electrical, hybrid, autonomous vehicles: a technological review*. SN Applied Sciences, 2019. **1**: p. 1-14.
- [16] Waseem, M., A. Sherwani, and M. Suhaib. *Simscape modelling and analysis of photovoltaic modules with boost converter for solar electric vehicles*. in *Applications of Computing, Automation and Wireless Systems in Electrical Engineering: Proceedings of MARC 2018*. 2019. Springer.

- [17] Gül, Ö., *Elektrikli Araç Ve Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Güncel Durumu*.
- [18] Özbay, H., et al., *Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar*. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 2020. **3**(1): p. 34-50.
- [19] Gürbüz, Y. and A.A. KULAKSIZ, *Elektrikli araçlar ile klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması*. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2016. **6**(2): p. 117-125.
- [20] Kocabey, S., *Elektrikli otomobillerin dünü, bugünü ve geleceği*. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 2018. **1**(1): p. 16-23.
- [21] Üstkoyuncu, N., *Hibrid ve Elektrikli Arabalar Ders Notu*. Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri, 2018.
- [22] Ataner E., Terzioğlu H., Yalçın G., (2020). Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi. Elektrikli Araçlara Genel Bir Bakış-2, İksad Publishing House, Basım sayısı: 1, 31-52. ISBN: 978-625-7687-48-5, pp. 31- 52.
- [23] KAYMAZ, H. and Y. HANÇAR, *Elektrikli araç batarya yönetim sistemleri için hücre eşitleme yöntemleri*. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 2021. **4**(1): p. 59-73.
- [24] Ali Atakan TURGUT-Hakan TERZİOĞLU-Abdullah Cem AĞAÇAYAK, (2022). CHAPTER 20: Electric Vehicle Charging Station. New Trends in Engineering, Tablet Kitapevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-5447-74-8. pp. 221-232.
- [25] Poullikkas, A., *Sustainable options for electric vehicle technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. **41**: p. 1277-1287.
- [26] Andersson, Ö. and P. Börjesson, *The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications*. Applied Energy, 2021. **289**: p. 116621.
- [27] Agrawal, M. and M.S. Rajapatel, *Global perspective on electric vehicle 2020*. International Journal of Engineering Research & Technology, 2020. **9**(1): p. 8-11.
- [28] Hertzke, P., et al., *The global electric-vehicle market is amped up and on the rise*. McKinsey Cent. Futur. Mobil, 2018. **1**: p. 1-8.
- [29] Markvart, T., *Solar electricity*. Vol. 6. 2000: John Wiley & Sons.
- [30] Sick, F. and T. Erge, *Photovoltaics in buildings: a design handbook for architects and engineers*. 1996: Earthscan.
- [31] Pilleri, G., *Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü Yayını*. 1992, Ankara.
- [32] Karamanav, M., *Güneş enerjisi ve güneş pilleri*. 2007, Sakarya Üniversitesi (Turkey).
- [33] Alaçakır, B., *Didim'de Kurulan Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sisteminin Tanıtılması ve Performansının İncelenmesi*. Güneş Günü Sempozyumu, Kayseri, 1999: p. 25-27.
- [34] Eiffert, P., *Building-integrated photovoltaic designs for commercial and institutional structures: a sourcebook for architects*. 2000: Diane Publishing.
- [35] Yalçın G., Ağaçayak A.C., Bozkır M., (2020). Bölüm 4: Elektrikli Araçlarda Direksiyon Sistemi. Elektrikli Araçlara Genel Bakış 1, İksad Yayınevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-625-7687-47-8. pp. 67- 91.
- [36] Goulding, J.R., J.O. Lewis, and T.C. Steemers, *Energy in architecture: the European passive solar handbook*. (No Title), 1992.
- [37] Öztürk, M., B.B. Çirak, and Ö. Nuri, *Evsel Fotovoltaik Sistemlerin Ömür Boyu Maliyet Analizi*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2012. **18**(1): p. 1-11.

- [38] Çolak, Ş.Ç., *Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu*. 2010.
- [39] Ali Atakan TURGUT-Hakan TERZİOĞLU-Abdullah Cem AĞAÇAYAK, (2022). CHAPTER 7: Photovoltaic System Integrated Electric Vehicle Charging Station. *New Trends in Engineering*, Tablet Kitabevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-5447-74-8. pp. 73-84.
- [40] Issaadi, W., *An improved MPPT converter using current compensation method for pv-applications*. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 2016. **6**(3): p. 894-913.
- [41] Gugulothu, R., et al., *A review on solar powered air conditioning system*. *Procedia Earth and planetary science*, 2015. **11**: p. 361-367.
- [42] Altaş, İ.H., *Fotovoltaik güneş pilleri: yapısal özellikleri ve karakteristikleri*. *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 1998. **47**: p. 66-71.
- [43] Özbay, k. And m. Sarişik, *Yatlarda Kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Üzerine Bir Değerlendirme*. *Journal of Gastronomy Hospitality and Travel*, 2020. **3**(2): p. 234-243.
- [44] Parker, G., *Future Ship Powering Options*. Royal Academy of Engineering, London, 2013.
- [45] ÖZKAN, T., et al., *Hafif kara taşıtlarında güneş enerjisi kullanımının araç tasarımı ve malzeme seçimi üzerine etkileri*. *Mühendis ve Makina*, 2005. **46**(548): p. 43-51.
- [46] Levinson, R., et al., *Potential benefits of solar reflective car shells: Cooler cabins, fuel savings and emission reductions*. *Applied Energy*, 2011. **88**(12): p. 4343-4357.
- [47] Nachinarkiniyan, S. and K. Subramanian, *Off-board electric vehicle battery charger using PV array*. *IET Electrical Systems in Transportation*, 2020. **10**(3): p. 291-300.
- [48] Wetzal, G., et al., *High time resolution measurement of solar irradiance onto driving car body for vehicle integrated photovoltaics*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2022. **30**(5): p. 543-551.
- [49] Diahovchenko, I., et al., *Application of photovoltaic panels in electric vehicles to enhance the range*. *Heliyon*, 2022. **8**(12).
- [50] Ağaçayak, A.C., Yalçın G., Neşeli, S., (2019). "Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi," *Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri*, Gece Akademi, pp. 121- 130.

# BÖLÜM 3

## MAKİNEDE MİKRO İŞLEME TEKNİKLERİ

G. YALÇIN<sup>1</sup>, H. SUMAK<sup>2</sup>

---

### GİRİŞ

Son zamanlarda, minyatür ürünler ve “daha küçük, daha hızlı ve daha ucuz” [7] cihazlar üretme eğilimi elektronik, havacılık, tıp ve otomobiller [3, 8, 9] gibi sektörlerde ana odak noktası haline geldi. PCB (baskılı devre kartı), mikroskobik nozüller, mikro kalıplar ve kimyasal mikro reaktörler, diş implantları, yüksek teknoloji medikal gibi minyatür bileşen cihazları, yakıt filtreleri ve yakıt ateşleme sistemleri, mikro işleme yardımı ile üretilmektedir. Bunlar arasında mikro delme, en temel mikro işleme tekniklerinden biridir ve genel olarak 1 µm ile 1 mm arasındaki çapların delinmesi olarak tanımlanır

Minyatürleştirme eğilimine paralel olarak, mikro delme artık hassas mühendislik, mikro-elektro mekanik sistemler (MEMS), mikro toplam analiz (µTAS), tüketici ürünleri, biyomedikal ve kimya mühendisliği, optik göstergeler, akışkanlar gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [10, 12-14]. Tüm bu endüstriler arasında PCB, mikro delikten en çok yararlanan sektördür. Anahtar bir elektronik bileşen olarak bir PCB, elektronik parçaları önceden belirlenmiş bir devre tasarımına göre bağlamak için yüzlerce, hatta binlerce mikro delik gerektirir [15]. Akıllı telefonlara, tablet bilgisayarlara ve dizüstü bilgisayarlara, dijital kameralara ve video kayıt cihazlarına ve diğer elektronik cihazlara yönelik sürekli artan talepten hareketle PCB endüstrisi dünya çapında çok hızlı bir şekilde büyümektedir. Araştırmalar, PCB pazarının 2015-2020 [17-20] döneminde %4'lük bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) ile büyümesinin beklendiğini gösteriyor.

Ürünler küçülürken, hafiflerken, incelirken, daha çok işlevli ve daha yoğun hale gelirken, delik kalitesinin artmasıyla birlikte sınırlı bir alanda daha fazla hat ve delik gereksinimi ortaya çıkıyor. Bu amaca ulaşmak için çeşitli

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Konya/Turkey, gyalcin@ktun.edu.tr

<sup>2</sup> Selcuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, Konya/Turkey

araştırmacılar, farklı imalat yöntemleri, kullanılan fabrikasyon malzemeleri [27], mikro matkabın şekli ve mekanik özellikleri [31-36], doğruluk ve deliklerin kalitesi, inceleme mekanizmaları [37-38], makine çalışma koşulları (yani kesme hızı, kesme yükü ve soğutma sıvısı), talaş oluşumu ve çıkarma işlemi [39], ısı üretimi [40] ve kaplamalı mikro matkap. Özellikle, uygulama tipine, boyutsal 3 kesinlik gerekliliğine, delik duvarı yüzey kalitesine ve üretim hızına bağlı olarak devam eden mikro delme talebini karşılamak için bir dizi farklı geleneksel ve geleneksel olmayan mikro delme teknikleri kullanılmıştır. Bu mikro delik tekniklerinin her birinin avantajları ve dezavantajları vardır.

Rajan ve ark. [42], üç mikro delme tekniği ile sınırlıdır: mekanik mikro delme, elektro deşarj işleme (EDM) ve lazerli mikro delme. Şen ve ark. [1], elektrokimyasal delme (ECD), asit bazlı ECM delme işlemleri, şekilli boru elektrolitik işleme (STEM), kılcal delme (CD), elektro-akım delme (ESD) dahil olmak üzere yalnızca elektrokimyasal işleme (ECM) mikro delme tekniklerini gözden geçirdi ve jet elektrolitik delme (JED). Ayrıca EDM (elektro deşarj işleme) mikro delme, lazerli mikro delme ve çeşitli ECM mikro delme işlemlerini karşılaştırdılar, ancak karşılaştırma yalnızca birkaç geleneksel olmayan mikro delme tekniğiyle sınırlı. Zheng ve ark. [43], alet malzemeleri ve geometrileri, itme kuvveti ve torku, mikro delmenin hasarı ve kırılması dahil olmak üzere PCB endüstrilerindeki mikro delmeyi gözden geçirdi. EDM, titreşim ve lazer delme gibi birkaç mikro delme tekniğinden bahsettiler. Bununla birlikte, diğer delme teknikleriyle ilgili tartışmalar sınırlıdır. Kim ve ark. [44], mekanik mikro matkapların imalat sürecini bildirdi. Ayrıca, 21. yüzyılda mikro delmenin önemi, şekil tasarımı ve bir mikro matkabın uzun ömürlülüğü ve kesme kabiliyeti dahil olmak üzere mikro delmenin çeşitli yönlerini ele aldılar, ancak makaleleri yalnızca mekanik mikro delmenin özelliklerini açıklıyor. Tüm bu önceki çalışmalar yalnızca birkaç mikro delme tekniğiyle ilgilidir ve mevcut tüm mikro delme tekniklerine ilişkin net bir genel bakış sağlamaz.

Bu derlemede mevcut tüm mikro delme teknolojileri gözden geçirilmiştir. Farklı yöntemlerin mekanik, termal, kimyasal ve hibrit delme işlemleri gruplandırılarak özellikleri, avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte açıklanmıştır.

## I. MİKRO DELİĞİN TARİHÇESİ

En yaygın kullanılan işleme tekniklerinden biri olan delme, eski Mısır döneminden beri kullanılmaktadır. Çalışmalar, üretim süresinin %25'inin delme işlemlerine dahil olduğunu ortaya koymaktadır [51]. Yalnızca ABD endüstrisinde yılda yaklaşık 250 milyon matkap ucunun kullanıldığı tahmin edilmektedir [51]. Mikro delme ihtiyacı ilk olarak 1940'larda [54] fark edilmiş

ve daha sonra yüksek kalitede mikro matkaplar üretmek için girişimlerde bulunulmuştur. 1958'de Levin [55], bir aletli torna tezgâhı yardımıyla 0,015 mm kadar küçük bir delik açmış ve bu, mikro delme gerçekleştirmeye yönelik ilk girişim olabilir. 1960-1970 yılları arasında, tipik olarak Japonya ve ABD'de sınırlı sayıda mikro menzilli delik çalışmaları yapılmıştır [56,60]. Önümüzdeki on yıl, hem geleneksel hem de geleneksel olmayan mikro 4 delik arenasında mikro deliğin başlaması olarak görülebilir. Dönem boyunca birkaç farklı araştırma deneyi gerçekleştirildi, ancak kapsamı sınırlıydı. Yüksek hız çeliği ve karbid malzemelerden yapılan burgulu ve kürek tipi matkaplar genellikle taşlanarak hazırlanmış ve çoğunlukla 0,025 mm'ye kadar olan delikleri delmek için kullanılmıştır. Delme makinesi olarak torna tezgâhları kullanıldı ve bu da iş mili hızının yetersiz kalmasına neden oldu. Şu anda iş parçaları pirinç, çelik, bakır, paslanmaz çelik, altın ve plastik ile sınırlıydı. Mikro delikte tork ve itme analizi gibi bazı teorik araştırmalar da yapılmıştır. Konvansiyonel olmayan yaklaşımlar arasında, bu on yılda yalnızca lazer delme fark edildi [72-76]. 1980'de Sugawara [80], matkabın şekli, ilerleme hızı, kesme hızı, iş parçası yapısı, talaş oluşumu ve kesme kuvvetleri dahil olmak üzere mikro delmenin farklı parametrelerini tartıştı. Iwata ve ark. 1981'de yayınlanan [81], 18000 rpm'ye varan hızlarda bir yüksek hızlı çelik mikro derin delme bildirdi. 1980'lerin sonlarından itibaren, CNC'nin (bilgisayar sayısal kontrolü) piyasaya sürülmesiyle büyük baskılı devre kalıplarının üretimiyle başa çıkmak için küçük delikler açmaya yönelik talep arttı ve o zamandan beri mikro delmede yenilikçi bir evrim yaşandı. Çeşitli sektörlerde sürekli artan endüstriyel talebi karşılama amacını taşımaktadır.

Öte yandan geleneksel olmayan mikro delme, gelenekselden nispeten daha yeni bir yaklaşımdır. Tüm geleneksel olmayan teknikler arasında lazer mikro delmenin 1970'lerin on yılında kullanıldığı fark edildi [75-76,82]. Bu dönemde lazer delme işlemlerinin çoğu, uzun darbeli CO2 ve YAG lazer sistemine dayanıyordu. Bu sistemlerde malzeme çıkarma, zayıf boyutsal hassasiyete ve delinmiş deliklerin duvarlarında mikro çatlaklara yol açan eriyik çıkarma ile gerçekleşir. Bu dezavantajlar, bu teknolojinin sınırlı kullanımına yol açmıştır. Sonraki on yılda, düşük güçlü dalga kılavuzu excimer lazerlerin ve frekansı dört katına çıkmış Nd-YAG lazerlerin [86-87] ilerlemesiyle bazı dezavantajlar çözüldü, ancak metalik olmayan malzemeler ve daha büyük delik çapları ile sınırlıydı. Bu dönemde, mikro delme için EDM gibi diğer bazı geleneksel olmayan mikro delme tekniklerinin kullanıldığı bildirildi. 1986'da Kagaya ve ark. [88], S45C, SUS304, Cu, Bs, Pb dahil olmak üzere çeşitli malzemeler üzerinde EDM mikro delmeyi başarılı bir şekilde inceledi ve 10-17 en-boy

oranıyla 0,17 mm çapında mikro delikler elde etti. 1990-2000 yılları arasında lazer ve EDM ile birlikte, ECM aracılığıyla mikro delme ve ultrasonik vibrasyon da sınırlı kullanımla rapor edilmiştir [90-93]. Lazerle mikro delme, bu on yılda daha çok yüksek hassasiyet ve yüksek en-boy oranlı mikro delmeye odaklanmıştır. Polimerler ve PCB'ler üzerinde Excimer lazer tabanlı delmenin, bu dönemde [87, 94-98] araştırmacılar arasında popüler olduğu bildirilirken, metallerde devam eden mikro delme sorunlarıyla karşı karşıya kalınmaktadır. 1999'da Lazare [99], UV lazer tabanlı mikro delmeyi tanıttı ve PMMA, PC, PET, PI, PS ve PEEK dahil olmak üzere çeşitli malzemelerde  $5 \Phi/d \approx 600$  kadar yüksek en boy oranına ulaştı. Metallerde mikro delme için 1990'lı yılların sonunda bir takım girişimlerde bulunulmuştur. Zhu ve ark. [100] femtosaniye Ti: safir lazer darbeleri kullanarak Al, Mo, Ti, Cu, Ag, Au ve pirinç gibi metal folyoların mikro delmesini araştırdı. 2000'den itibaren, yalnızca lazerli mikro delmenin endüstrilerde metallere dahil hemen hemen tüm malzeme türlerinde yaygın olarak kullanıldığı bildirilmedi, aynı zamanda EDM, BE, SACE ve ultrasonik titreşimi içeren geleneksel olmayan diğer tüm mikro delme teknikleri de kullanıldı. BE ve SACE teknolojisi sırasıyla 1952 ve 1968'de icat edilmiş olsa da mikro delme sırasına göre kullanımları 21. yüzyılın başlarından itibaren rapor edilmektedir [60,101].

## II. MEKANİK YÖNTEMLER

### A. MEKANİK DELME

Mekanik delme, mikro delikler açmak için en geleneksel ve nispeten düşük maliyetli yöntemdir. Çoğu zaman, gaga delme (kesme derinliği küçük delme döngülerine bölünür [22]), delme sırasında deliklerin içinde oluşan talaşları boşaltmak için uygulanır [23].

Bildirilen en boy oranları, sırasıyla 130  $\mu\text{m}$  ile 4 mm'lik karşılık gelen derinliklerle 0,33 ile 3,96 arasında değişir. Tipik delme besleme hızları yaklaşık 5  $\mu\text{m/s}$ 'dir [24], bu özel koşullar altında 125  $\mu\text{m/s}$ 'ye kadar artırılabilir [25].

Mekanik delme basit, uygun maliyetli ve maskesiz bir süreç olduğu için hızlı prototipleme için potansiyel olarak uygundur. Ancak iş parçasının alt yüzeyine etki eden matkabın itme kuvveti ile malzemenin deforme olması nedeniyle kolayca çatlaklara neden olabilir [23–25]. Çatlaklar deliklerin çıkışında girişlerinden daha belirgindir. Plakalar üzerindeki çıkış çatlakları esas olarak nispeten büyük çaplı konik çatlaklardır. [25]'te, çatlak boyutunun (tipik olarak 50  $\mu\text{m}$ ) itme kuvvetlerini azaltarak (2,5 N'lik tipik değerlerden 0,8 N'ye düşürülen) 15  $\mu\text{m}$ 'ye düşürülebileceği, ancak düşük itme kuvvetlerinde delme işleminin uzun ve pratik olmadığı bildirilmiştir. Ayrıca, işlenecek



malzeme örneğini desteklemek için koruyucu pedlerin kullanılması ufanma ve çatlak oluşumunu azaltır [23–25]. Kesme koşullarının değiştirilmesi, [23]' te gösterildiği gibi, 35.000 dev/dak iş mili hızında ve 3 mm/dak ilerleme hızında 0,3 mm sement karbür mikro matkaplarla delerken çatlakları (29  $\mu\text{m}$ 'ye kadar) azaltabilir. Elmas aşındırıcı matkaplar, büyük koni çatlaklarına (390  $\mu\text{m}$ ) neden olur, dolayısıyla radyal ve orta çatlaklar nadiren oluşur [23]. Takım aşınması, elmas takımlarla karşılaştırıldığında sement karbür takımlarda tipik olarak çok daha yüksektir (>%40). Başka bir yaklaşım, minimum talaşla [24] optimal bir ilerleme hızı (5–7  $\mu\text{m}/\text{s}$ ) sağlamak için delme kurulumunda kuvvet geri bildirimini (tipik kuvvetler yaklaşık 8 N'dir) entegre etmektir.

Araştırmalar, alkol, su ve yağ dahil olmak üzere sıvılarla destekleyici bir arka plaka takıldığında çıkış çatlaklarının da azaltılabileceğini (50  $\mu\text{m}$ 'den 10  $\mu\text{m}$ 'ye kadar) göstermiştir [24,25]. Mekanik delme sırasında çatlakları azaltmak için çeşitli yöntemler bildirilmesine rağmen [23–25], işlenmiş yüzeyler normalde pürüzlüdür. Bu, hassas mikro cihaz imalatına mekanik delme uygulanabilirliğini sınırlar. Ek olarak, işlenebilen deliklerin çapları 100  $\mu\text{m}$  [25] ile sınırlıdır ve işleme sırasında numuneleri yerinde tutmak için maliyetli, yüksek mukavemetli aletler gerekir.

Matkap boyutunun küçültülmesi, mikro delme işlemi ve çıktısı üzerinde önemli etkisi olan çok sayıda sorunu ortaya çıkarsa da makro delme ve mikro delme birçok yönden aynıdır. Mikro delme ve makro delme arasındaki temel farklar arasında daha büyük shaft çapı, ağ kalınlığı, büyük titreşimlere yol açan yüksek dönme hızları ve farklı arıza modları bulunur [195]. Mikro matkaplar, normal menzilli matkaplardan çok daha fazla kırılma probleminde muzdariptir, çünkü daha büyük çaplı matkap ucu genellikle kırılma gerçekleşmeden çok önce aşınma nedeniyle başarısız olur [128], oysa mikro matkaplar aşınmadan çok önce kırılır [196]. Mikro matkaplarda, mil tarafından başarılı bir şekilde tutulabilen minimum çap nedeniyle, sapın çapı genellikle oluk bölgesindeki matkap çapından daha büyüktür. Bunun nedeni, mikro matkap olduğundan gelen gücün, ucu mil içinde tutmak için yeterli olmamasıdır. Bu, normalde sap çapının ve kesme parçası çapının aynı boyutta kaldığı makro matkaplardan farklıdır. Olukların mukavemetini artırmak için, mikro matkapların ağ kalınlığı makro matkaplara kıyasla artırılır [21]. Diğer fark ise, mikro matkaplarda uzunluk-çap oranının, yüksek en-boy oranı elde etmek için makro matkaplara göre daha büyük olmasıdır. Genellikle mikro matkaplar daha yüksek dönme hızlarında çalışır ve bu onları kırılmaya karşı daha savunmasız hale getirir. Daha yüksek üretkenlik, daha iyi kalite ve uygun güvenlik sağlamak için mikro

matkabın kırılmasını önlemek çok önemlidir. Mikro delmede meydana gelen matkap kırılması çoğunlukla, daha yüksek kesme kuvvetinin uygulanması sırasında oluşan aşırı itme kuvveti ve/veya torktan kaynaklanır [97]. Bu, mikro matkapların tork-burulma analizi, matematiksel modelleme, dönme ve eğilme özellikleri, kesme kuvveti etkileri, takım aşınma mekaniği ve kırılma özellikleri gibi mekanik özelliklerinin analizinin, mikro delme performansını iyileştirmek ve önlemek için elzem olduğu anlamına gelir. Mikro delme performansı, kendi farklı üretim teknolojilerinden dolayı şirketten şirkete de değişebilir.

Her türden geleneksel mikro matkapların kalitesi ve performansı ile ilgili olarak belirtilmesi gereken bir diğer önemli husus, mikro matkap malzemelerinin mikro yapısıdır. Atomların farklı tane dağılımına sahip aynı malzeme bile malzeme özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir ve bu nedenle mikro matkapların performansına ve dayanıklılığına 7 doğrudan katkıda bulunabilir. Nano boyutlu tozlardan yapılan mikro matkapların sertliğinin, geleneksel mikro aralıklı tozların kullanıldığı duruma göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ultra ince tane boyutlarından yapılan sinterlenmiş malzemelerin son derece yüksek eğilme mukavemetine sahip olduğuna dair güçlü kanıtlar vardır [115]. Her türden geleneksel mikro matkapların kalitesi ve performansı ile ilgili olarak belirtilmesi gereken bir diğer önemli husus, mikro matkap malzemelerinin mikro yapısıdır. Atomların farklı tane dağılımına sahip aynı malzeme bile malzeme özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir ve bu nedenle mikro matkapların performansına ve dayanıklılığına 7 doğrudan katkıda bulunabilir. Nano boyutlu tozlardan yapılan mikro matkapların sertliğinin, geleneksel mikro aralıklı tozların kullanıldığı duruma göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ultra ince tane boyutlarından yapılan sinterlenmiş malzemelerin son derece yüksek eğilme mukavemetine sahip olduğuna dair güçlü kanıtlar vardır [115].

Gelecekte, mikro matkapların türü ne olursa olsun, ultra ince tane boyutuna sahip uygun malzemelerin seçimi ve optimize edilmiş bir üretim yöntemi, mikro matkapların maliyetini, performansını ve dayanıklılığını doğrudan etkilediği için büyük önem taşıyacaktır. Simülasyon teknolojisindeki ilerlemeyle, pratik üretimden önce etkilerini ve performanslarını incelemek için mikro delme parametreleri simüle edilebilir. Mikro matkapların mekanik özelliklerini geliştirmek için ultra ince mikro tanelerin etkinliğini doğrulamak için moleküler dinamikler veya toz simülasyonu uygulanabilir. Taşlama ve talaşlı imalattan farklı bir üretim tekniğine adapte olma olasılığı, gelişmiş simülasyon tekniği yardımıyla incelenebilir. Örneğin, doğrudan toz katılaştırma-

ekstrüzyon şekillendirme teknolojisi aracılığıyla mikro matkaplar üretmek için bir şekillendirme yönteminin simülasyonu, simülasyon başarılı olursa mikro matkaplar üretme konusunda yeni bir ufuk açabilir.

### B. TOZ PÜSKÜRTME

Aşındırıcı jet işleme (AJM), darbeli aşındırıcı işleme veya kumlama olarak da adlandırılan toz püskürtme, mekanik malzeme çıkarma için bir parçacık jetinin iş parçasına yönlendirildiği bir tekniktir [7,26–30]. İnce aşındırıcı parçacıklar ( $< 25 \mu\text{m}$ ) işlenebilir. Meme ile numune arasındaki açının ayarlanması ve çoklu memelerin kullanılması, bu teknikle işlenmiş özelliklerin genişlik ve derinlik bağımlılığını kontrol etmek ve/veya azaltmak için bazı seçeneklerdir. Resist-folyo maskeleri tipik olarak oda sıcaklığında %10 KOH solüsyonunda çıkarılır, ardından aşındırılmış yapıların içinden partikül çıkarılmasını sağlamak için ultrasonik temizleme yapılır [30].

Toz püskürtme, işlenmiş deliklerin çevresinde çapak, yüzey mikro çatlakları veya ısıdan etkilenen bölge (HAZ) olmaksızın kırılğan malzemeler üzerinde hızlı bir delme işlemidir. 8 Ancak elde edilen işlenmiş yüzey pürüzlüdür (Ra birkaç mikrondur). Bu teknik, bir temiz oda ortamının dışında çalıştığı [30] ve maske tabanlı olduğu için delikleri paralel olarak işleyebildiği için nispeten büyük parti boyutları için uygun maliyetlidir.

30 m'ye kadar olan özellik boyutları, genellikle 2,5'e kadar olan en boy oranlarıyla elde edilebilir. Delme hızları 0,1 m/s ile 32 m/s arasında değişmektedir. Toz püskürtme fiziğine göre, açık delikler için bir koniklik açısı ( $\sim 15$  [2]) üretilir ve bu da girişine kıyasla dar bir delik çıkışına yol açar. Bu, en-boy oranını maksimum 2,5 [28,29] ile sınırlandırır; bu, iş parçasının her iki tarafından patlatma yapılırsa geliştirilebilir; ancak bu, iş parçasının hassas şekilde hizalanmasını gerektirir. Patlatma için maskeler ve küçük aşındırıcı parçacıklar ( $< 30 \mu\text{m}$  [28]) gereklidir, bu da delik çapının alt sınırını 50  $\mu\text{m}$  civarında yapar. Gerçek araştırma, maske malzemesinin delik boyutunu etkilediğini göstermektedir. Elektrolizle kaplanmış bakır gibi daha yüksek dirençli maske malzemesinin kullanılması, özellik boyutlarını 75  $\mu\text{m}$ 'den 50  $\mu\text{m}$ 'ye düşürebilir [28]. Ayrıca, daha küçük kesme parçacıklarıyla ( $\sim 9 \mu\text{m}$ ) çalışmak, en-boy oranını daha da artırır. İşleme işlemi sırasında, parçacıklar genellikle iş parçası yüzeyine yapışır ve bu da alt tabakaların yapıştırılması gibi diğer imalat adımlarında zorluklara yol açar. Toz püskürtülen iş parçasının örneğin ıslak aşındırma yoluyla sonradan işlenmesi olası bir çözümdür. Toz püskürtme temiz olmasa da binlerce açık deliği aynı anda yüksek doğrulukla işleyebildiğinden (örneğin, Philips tarafından erken tanındı) farklı şirketler için

özellikle ilgi çekicidir, bu da onu mikro üretimde köklü bir teknoloji haline getirir

Aşındırıcı jet işlemeye benzer teknikler bildirilmiştir [31–33]. Bu yöntemler, aşındırıcı bulamaç jet mikro işlemeyi (ASJM) ve aşındırıcı bulamaçları veya camda makine körlüğüne ve açık deliklere su kullanan aşındırıcı su jeti mikro işlemeyi (AWJM) içerir. İşlenmiş çaplar için rapor edilen değerler, karşılık gelen 4,4  $\mu\text{m/s}$  ve 0,6  $\mu\text{m/s}$  ilerleme hızlarında işlenmiş sırasıyla 0,9 ve 1,5 en boy oranlarıyla 390  $\mu\text{m}$  ila 2 mm arasında değişmektedir.

Bu teknikler aşağıda tartışılmaktadır:

a) *Aşındırıcı bulamaç jet mikro işleme (ASJM)*

ASJM’de, aşındırıcı partiküller (tipik olarak ağırlıkça %1 10  $\mu\text{m}$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri [33]) içeren bir bulamaç, küçük bir delikten (~180  $\mu\text{m}$ ) pompalanır ve elde edilen jet, malzemenin çıkarılmasına neden olacak şekilde iş parçasına yönlendirilir. ASJM normalde 1 MPa ila 14 MPa [32] arasındaki basınçlarda çalışır. Bu teknik maske malzemeleri gerektirmese de araştırmalar kurbanlık polimerik veya cam yüzeyler kullanıldığında deliklerin etrafındaki donmuş alanları azaltma olasılığını göstermektedir [33].

Bu teknolojinin özellikleri, işleme esnekliği, deliklerin etrafında HAZ olmaması ve belirgin olmayan takım aşınmasıdır. Ancak ortaya çıkan deliklerin girişlerinde buzlu alanlar 9 vardır ve iç duvarlar düz değildir. Buzlu alanların üstesinden gelmek için farklı bulamaç katkı maddeleri, örneğin polietilen oksit (PEO) kullanmak gibi ek işlem adımları uygulanabilir [33].

b) *Aşındırıcı su jeti mikro işleme (AWJM)*

AWJM’deki işleme mekanizması ASJM teknolojisi ile pek çok benzerlik gösterse de temel fark, AWJM’nin düşük basınçlı ASJM’ye (345 MPa’ya [33] kadar) kıyasla yüksek basınçlı çalışmasıdır (tipik olarak yaklaşık 1–14 MPa, ancak 70 MPa’ya kadar bildirilmiştir [32]). ASJM’ye benzer şekilde takım aşınması ölçülebilir değildir ve HAZ yoktur. Bununla birlikte, açık deliklerin çıkışında, büyük olasılıkla yüksek çalışma basıncından dolayı ufalanma meydana gelir [33].

### C. *ULTRASONİK DELİK*

Bu aşındırma işlemi, titreşimli bir alet, bir bulamaç besleme ünitesi ve iş parçasının monte edildiği hareketli bir makine gövdesinden oluşur. Ultrasonik işleme (USM) sırasında, alet (sonotrode olarak adlandırılır) yüksek ultrasonik frekanslarda, genellikle birkaç mikron salınım genliğiyle 20–40 kHz’de salınır ve aşındırıcı parçacıkları (örn. m) içine sert-kırılğan iş parçası [34].

Bu, çentiklenmeye, mikro çatlaklara ve son olarak malzemenin çıkarılmasına neden olur. Takım çapını, aşındırıcı tane boyutunu ve titreşim genliğini mikro ölçeğe indirirken, bu teknolojiye mikro ultrasonik destekli alıştırma [35] denir. Bu teknik için, makineye helisel takım dönüşü (50 rpm), hizalama sorunlarını önlemek için elektrikli boşaltma işleme (EDM) ile tezgâh üzerinde takım hazırlığı, iş parçası titreşimi ve kuvvet geri besleme kontrol döngüleri gibi çeşitli yenilikçi stratejiler uygulanır [35– 39]. Mikro-ultrasonik destekli alıştırma, düz yan duvarlara [35,40] ve yüksek en boy oranlarına (10'a kadar) sahip çok küçük çaplı delikler (10 m'ye kadar) üretebilir. Bununla birlikte, takım aşınması yüksektir ve özellik bozulmasını önlemek için işlenmiş her 25 ila 50 delik için düzeltme işlemlerini gerekli kılar. USM, oldukça büyük sermaye yatırımı gerektirir ve nispeten düşük besleme oranlarında çalışır. Ayrıca, işlenmiş yüzeyde bazen yüzey altında ufalanma ve çatlaklar görülür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü tipik olarak >10 m iken, taşlama işlemi için mikro pimler kullanıldığında 1 m Ra'ya kadar geliştirilebilir [41,42].

Ultrasonik işleme ile elde edilen minimum delik çapları tipik olarak 4 en boy oranıyla yaklaşık  $150 \mu\text{m}$ 'dir ve  $0,15 \mu\text{m/s}$  besleme hızında delinir; ancak cam üzerindeki en düşük USM çapı  $10 \mu\text{m}$  olarak bildirilmektedir [41]. Burada, EDM ile işlenmiş çimentolu tungsten karbür mikro pimler konuşlandırıldı. Ayrıca, elmas karot matkapları kullanılırken ve nispeten büyük delikler ( $\sim 950 \mu\text{m}$ ) işlenirken  $16,67 \mu\text{m/s}$ 'lik ilerleme hızlarına ulaşılabilir.

#### D. TERMAL YÖNTEMLER

##### 1) Lazer İşleme

Termal şok veya ablyasyon yoluyla materyalin uzaklaştırılması, lazer tabanlı işlemlerle gerçekleştirilebilir. Bu, camda mikro delikler açmak için kullanılabilir. Lazer ışığının foton enerjisini cama aktarmak zordur, ancak sonucusu geniş bir dalga boyu aralığına şeffaf olduğundan [43,44], bu da doğrusal olmayan bir absorpsiyon etkisini tetiklemek için yüksek tepe yoğunluklarının oluşturulmasını gerektirir. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) lazerleri, ekipmanı nispeten basit olduğundan ve düşük sermaye yatırımı gerektirdiğinden, endüstriyel uygulamalarda uzun süreler boyunca en sık kullanılan lazerler arasındadır [45]. Şu anda, yenilikçi hibrit teknolojilerle sonuçlanan farklı lazer süreçleri, Femtoprint [46] ve Fraunhofer ILT [47] gibi birçok araştırma grubu ve endüstri tarafından geliştirilmektedir. Bu ikisi, istenen yapıyı elde etmek için ön işleme 'esnek maskeleme yöntemi' olarak ultra kısa darbeleri (USP) lazer ve ikinci adım olarak ıslak aşındırma kullanır. (Lazerle işlenmiş alanlar, yüksek aşındırma oranlarına sahiptir (işlenmemiş yüzeylere göre 20-50 kat daha yüksek) ve bu

nedenle bu alanlarda aşındırma tercih edilir (yani, yapı geometrisini tanımlamak için bir maske gibi hareket eder)).

Tüm kapsamlı araştırma ve geliştirmelere rağmen, lazer sistemleri hala mikron altı (USP-lazer) boyutlardan onlarca mikrona (CO2-lazer) kadar HAZ'dan ve yeniden biçimlendirme (döküntü) nedeniyle işlenmiş deliklerin kenarlarında çıkıntılardan muzdariptir. Bu, işlemeden sonra cam alt tabakanın yapıştırılmasında zorluklara neden olur. Sıvı yardımcı femtosaniye lazerlerle işlenmiş, 5  $\mu\text{m}$ 'ye kadar inen delik çapları ve 70'e varan en boy oranları bildirilmiştir [48]. Erişilebilir delik boyutlarında bir üst sınır yoktur ve tipik bir pürüzlülük değeri olan Ra, yaklaşık 1  $\mu\text{m}$ 'dir. Delik başına işleme hızı, lazer tipine ve istenen kaliteye bağlı olarak 30  $\mu\text{m/s}$  [48] ila 2000  $\mu\text{m/s}$  [13] arasında değişir.

PDMS maskeleme [49] ve ultra kısa darbeleri lazerler (femtosaniye darbeler) [48,50–57] kullanma gibi yeni stratejiler, lazer işleminin istenmeyen yan etkilerini azaltmayı çoktan başardı. Delik girişlerinin etrafındaki çıkıntı yükseklikleri, 150  $\mu\text{m}$  kalınlığında PDMS maskeleri ve 10–15 W CO2 lazer kullanılarak 13 faktörle 1,2  $\mu\text{m}$ 'ye düşürülebilir [49]. Ayrıca, iş parçasının önceden ısıtılmasının sıcaklık gradyanını [49,51,54,58] azaltarak termal gerilimleri azalttığı kanıtlanmıştır. Karşılıklı cam yüzeylerde iki lazer ışını kullanılarak mikro deliklerin iyileştirilmiş en-boy oranları elde edilebilir [45,59]. CO2 lazerler ve ultra kısa darbeleri lazerlerin yanı sıra, teknolojik karmaşıklık, maliyetler ve kalite açısından iyi bir takas olan nanosaniye darbeleri, Q-anahtarlı diyot pompalı katı hal (DPSS) lazerdir [45,60]. Gorilla 11 glass®'ta [61] DPSS lazerlerle 5 mm deliklerin işlenmesi için 200  $\mu\text{J}$  civarında atım enerjileri ve 100 kHz tekrar oranları rapor edilmiştir.

Genel olarak, lazer sistemleri esnekler. Doğrudan yazma teknolojileri oldukları için çoğunun maskeleme katmanlarına ihtiyacı yoktur, ancak yine de pahalıdırlar. En popüler lazer delme türleri aşağıda özetlenmiştir:

## 2. Karbon dioksit (CO2) lazeri

CO2 lazer tekniği, malzemeyi nispeten uzun atımlarla keserek uzaklaştıran bir seri termal lazer işlemidir. Bu, malzeme üzerinde termal bir etkiye neden olur ve soğutma sırasında çatlak oluşumuna yol açan mekanik stres oluşturur. Bu fenomeni azaltmak için, iş parçasının yerel ön ısıtması, delme sırasında tüm iş parçasının ısıtılması ve bir fırın kullanılarak delinmiş alt tabakanın termal son işlemi gibi birçok çözüm araştırılmaktadır [13,25,51,62]. Aslında, üretilen ısı nedeniyle pürüzsüz yüzeyler (Ra ~birkaç mikron) elde etmek mümkündür [63]. En boy oranı 4 olan ve delik başına 20.000  $\mu\text{m/s}$ 'de işlenmiş malzeme üzerinde

25  $\mu\text{m}$ 'ye kadar delik çapları iddia edilmektedir [64]. Malzemenin CO2 lazerle delinmesinin güvenilirliği düşük olsa da yüksek delme hızı ve düşük ekipman maliyetleri onu endüstri için iyi bir seçenek haline getiriyor. 500  $\mu\text{m}$  kalınlığındaki malzemede (Schott D263Teco, SCHOTT AG, Mainz, Almanya) CO2 lazerle işlenmiş mikro deliklerin bazı örnekleri [63]' te gösterilmektedir. Bu delikler nispeten yüksek en boy oranına ve yüksek konikliğe sahiptir.

### 3. Excimer lazer

Excimer lazerler, kısa atım hızları ve süreleri (sırasıyla 1–100 Hz ve 5–50 ns) ile ultraviyole (UV) veya derin UV bölgesine erişim sağlayan gaz tipi lazerlerdir. Bu, yüksek darbe yoğunluğu ve yüksek çözünürlükle sonuçlanarak excimer lazerleri, yüksek hassasiyet ve iyi yüzey kalitesinin gerekli olduğu malzemeleri işlemek için uygun hale getirir. İşleme sırasında CO2 ve katı hal Nd:YAG lazerler genellikle doğrudan yazmada (seri mod) kullanılırken, excimer lazerler normalde daha yüksek verime sahip projeksiyon baskısında (paralel mod) kullanılır [6]. 500 Hz tekrarlama hızında ve 4–5 J/cm<sup>2</sup> enerji seviyelerinde işlenmiş bazı tipik excimerlazerle delinmiş mikro delikler, delik girişindeki kenarların çevresinde çıkıntılar gösterir (10  $\mu\text{m}$  civarında çıkıntı yükseklikleri) [59]. Ancak, daha düşük lazer akıcılığı kullanıldığında, daha az çatlak ve malzeme kırılması sonuçları. Her iki taraftan delmek, iş parçasının arka tarafındaki çapı büyütürken koniklik açısını düşürürken bu sorunları da ortadan kaldırılabılır [59,65]. Bildirilen delik çapları, 2,2 [53] ila 16,7 [65] en boy oranlarıyla 30  $\mu\text{m}$  ila 200  $\mu\text{m}$  [59] arasında değişmektedir

### 4. Sıvı destekli lazer işleme (LALP)

Sıvı destekli lazer işleme (LALP), işlenmiş deliklerin kenarlarında çıkıntı oluşumunu azaltmak ve artık gerilimi azaltmak için geliştirilmiştir [62]. İşleme, sıcaklık gradyanını, çıkıntıları ve HAZ bölgesini azaltmak için alt tabaka suya daldırılırken yapılır. Chung ve ark. [62] 6 W'lık bir CO2 lazer kullandılar ve ayrıca LALP işlemede etkili lazer gücündeki azalmayı ölçtüler, örneğin dört geçişte ve sabit başlangıç lazer gücünde (6 W), makine derinliği 0,5 mm su üzerinde 100  $\mu\text{m}$  azaldı derinlik. Numune 1 mm suya daldırıldığında ve 100  $\mu\text{m}$ 'lık bir delik açıldığında artık gerilim 136 MPa azalır.

Çıkıntılar esas olarak buharlaşan kalıntıların yeniden katılaşmasından kaynaklanır. LALP, birikintileri uzaklaştıran lazer ısıtması nedeniyle sudaki daha güçlü doğal konveksiyonla çıkıntı yüksekliğini azaltır [51,62].

Bu teknoloji, teknolojik olarak karmaşık ve pahalı yöntemlere (örn. USP lazer) geçiş maliyetlerinden tasarruf sağlayarak gelişmiş CO2 lazer işleme

için caziptir. 280  $\mu\text{m}$ 'lik işlenmiş delikler, 11.400  $\mu\text{m/s}$  hızında  $\sim 2$   $\mu\text{m}$  en boy oranıyla rapor edilir.

#### 5. Polidimetilsiloksan (PDMS) koruma maskesi

İş parçasının bir polidimetilsiloksan (PDMS) tabakası ile korunması üzerine, lazer işlemede sıcaklık gradyanı azaltılır. Bu, HAZ oluşumunu azaltır ve Pyrex malzemenin çatlaksız işlenmesiyle sonuçlanabilir [49]. PDMS koruma katmanı ayrıca yaygın kusurları ortadan kaldırır ve delik girişi etrafındaki çıkıntı yüksekliğini havadaki işleme kıyasla (PDMS örtü tabakası olmadan) 13 kat 1,2  $\mu\text{m}$ 'ye düşürür. Ayrıca, işlenebilen özellik boyutları 10 azaltıldı. 150  $\mu\text{m}$  kalınlığındaki PDMS maskeleriyle birlikte CO2 lazer işleme, Chung ve arkadaşları tarafından kullanılmaktadır. [49], en boy oranı 4 olan 120  $\mu\text{m}$ 'lik delik çaplarını bildiriyor.

#### 6. Ultra kısa darbeleri (piko/femtosaniye) lazer

Ultra kısa lazer darbeleri, malzeme örneğine daha az miktarda ısı nüfuz etmesi nedeniyle büyük bir HAZ üretmez [52,53]. Bu lazerler, lazer dalga boyuna şeffaf olan malzemelerde bile güçlü absorpsiyona neden olabilir. Bu yöntem, mikro çatlaklar veya yüzey oyukları oluşturmadan, erimiş silikada küçük çaplı (7-10  $\mu\text{m}$ ) ve 30  $\mu\text{m}$  derinlikte pürüzsüz delikler üretebilir [52].

#### 7. Lazer kaynaklı plazma

Çok düzgün yüzey kaplamalı ( $R_a = 50$  nm) küçük boyutlu sıg özellikleri işlemek için lazer kaynaklı plazma kullanılabilir. Bu yöntemin anahtarı, odaklanmış lazer ışınını metal bir yüzey üzerine hedefleyerek yüklü parçacıkların üretilmesidir [50]. 13 Tipik çapı 15  $\mu\text{m}$  ve derinliği 4,5  $\mu\text{m}$  olan küresel krater benzeri kör delikler oluşur. Bu teknik, yüksek en-boy oranını deliklerden işleyemez.

#### 8. Emici Tozlu UV lazer

Mikro çatlakları azaltılmış yüksek en-boy oranlı mikro delikleri işlemek için nanosaniye darbeleri lazer ve emici tozla araştırma yapılır. Bu toz, malzeme yüzeyinde ve işlenmiş deliklerin altında biriktirilir. Biriktirme işleme sırasında tekrarlanır. Bu durumda daha az çatlak oluşmasına rağmen, deliğin şeffaf olmamasının da gösterdiği gibi, birkaç mikro çatlak mevcuttur [58]. 12 ve daha yüksek en-boy oranları ve 100  $\mu\text{m/s}$ 'de 200  $\mu\text{m}$  delik çapları, Kono ve diğerleri tarafından elde edilmiştir. [58].

#### 9. Odaklanmış Elektrik Boşaltma Yöntemi

Son zamanlarda, elektrik deşarjı ile bir malzemedan geçiş (TGV) oluşturma yöntemi tanıtıldı: odaklanmış elektrik deşarjı yöntemi [4,5]. Hedeflenen



malzemenin aksenal olarak hizalanmış iki elektrot arasındaki boşlukta tutulduğu bu teknoloji temel olarak iki adımdan oluşuyor. İlk olarak, elektrik boşalması, malzeme viskozitesini yerel olarak azaltan ısı üretmek için odaklanır ve kontrol edilir. İkincisi, Joule ısınması nedeniyle dielektrik bozulma ve dahili yüksek basınç oluşur. Bu, malzemenin fırlamasına neden olur. Bu işlem, nispeten kısa bir süre boyunca (200 ms ile 500 ms) ince iş parçalarında (100 µm ile 500 µm) tam olarak küçük çaplı delikler (20 µm [4]'e kadar) üretebilir. 5 ile 7,6 en boy oranları ve 200–500 µm/s işleme hızları Takahashi ve diğerleri tarafından elde edilmiştir. [4]. Artık gerilmeleri gidermek için tavlama gereklidir. Yüksek en-boy oranı ve düzgün işlenmiş yüzeyler elde edilir.

Lamine yarı iletkenlerde ultra ince cam araçların üretilmesi, bu yöntemin ana hedeflenen uygulamasıdır [5].

## E. KİMYASAL YÖNTEMLER

### 1. Islak Aşındırma

Islak aşındırma ile cam işleme, camın iş parçasının bir dağılayıcı, en yaygın olarak hidroflorik asit (HF) içine daldırılmasıyla çözülmesinden kaynaklanır. Aşındırmaya dayanıklı olması gereken maske malzemesi, çıkarılacak deseni tanımlamak için kullanılır [1,66,67]. Ara maskeleri uygularken, bu işlem kullanılarak birden fazla seviye işlenebilir. Camın şekilsiz doğası nedeniyle, süreç izotropiktir, yuvarlak yan duvarlar, alttan kesme ve düşük en/boy oranlı işleme (<1) ile sonuçlanır. Kazınmış yapıların kenarlarındaki iğne delikleri ve çentik kusurları, bu işlemin diğer sınırlamalarıdır.

Bu kusurlar esas olarak maskedeki artık gerilimden, sıkıştırma veya çekme geriliminden, gerilim gradyanlarından (çok katmanlı maske için) ve maskeleme yüzeyinin hidrofobikliğinden kaynaklanmaktadır [66]. Maske malzemesini optimize ederken, yani dağlama direncini artırırken ve iş parçasının tavlansını sağlarken kısmi iyileştirmeler elde edilebilir. Bu, daha yüksek aşındırma oranlarıyla sonuçlansa da daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne neden olur. Pürüzsüz yüzeylere (30 nm ile 60 nm Ra [26]) ve <1 en boy oranına sahip küçük, son derece ayrıntılı özellikler (1 m'den büyük delik çapları [68]), doğru litografi fabrikasyon maskeler kullanılarak ıslak dağlama ile oluşturulabilir. Pürüzlülük ve aşındırma oranı, cam bileşiminden büyük ölçüde etkilenir. Cam bileşiminde bazı oksitlerin (CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi) bulunması HF çözeltisinde çözünmeyen ürünler verir [69]. Teknik bir toplu işlem olduğu için çok sayıda delik aynı anda işlenebilir. Tipik aşındırma hızları 0,07 µm/s ile 0,24 µm/s arasında değişir. Özelliklerin etrafında mikro çatlaklar ve HAZ oluşmaz [3,66]. Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlu HF (yaklaşık %50) ile ıslak

dağlama, asit dağlayıcı kullandığından çevre ve insanlar için tehlikelidir— düşük konsantrasyonlar (>%2) bile zaten ciddi şekilde toksiktir.

Son zamanlarda, yeni bir ıslak dağlama teknolojisi, florür içeren solüsyonun elektrokimyasal lokal asitlenmesi tanıtıldı [70]. Temel fikir, yüksek derecede toksik hidroflorik asidin (HF) yerel olarak bir alet elektrodunun yakınında üretilmesidir; bu, alet ucunun etrafındaki cam alt tabakanın yerel olarak aşınmasına neden olur. Bu yöntem kullanılarak delikler, standart HF dağlamadan biraz daha yüksek bir hızda (0,45  $\mu\text{m/s}$ ) işlenebilir ve maske gerekmez [70]. Belirli uygulamalar için bu teknolojiyi optimize etmek için sistematik çalışma gerekli olacaktır

## 2. Derin Reaktif İyon Aşındırma (DRIE)

Derin reaktif iyon aşındırma (DRIE) veya derin plazma aşındırma, hem kimyasal hem de fiziksel için ana asitleme öncüleri (radikallere ve iyonlara ayrılmış) olarak kükürt hekzafloreür [71,72], perflorosiklobutan [73] veya triflorometan [74] gazlarına dayanır. Gaz kimyası daha çok silikon aşındırmaya yönelik olsa da cam da işlenebilir [2]. Camda flor radikalleri silikatu uzaklaştırır ve karbon diflorür radikalleri oksijeni uçucu bileşikler olarak uzaklaştırır. İyonları yönlendirmek ve istenen özellikleri oluşturmak için altın-krom tohum tabakalı nikel gibi metal maskeler kullanılabilir. Diğer çalışmalar maske malzemesi olarak silikon gofret, a-silikon ve SU-8'in kullanımını araştırmıştır [71,73,75,76]. DRIE, en boy oranı, duvar dikeyliği, özellik derinliği ve verim açısından diğer cam derin oyma teknolojileriyle rekabet edebilir. Bu oldukça anizotropik süreçte pürüzsüz yüzeyler ( $R_a = 2 \text{ nm}$  [77]) ve yüksek 15 en boy oranı (40'a [77] kadar) ile çok küçük, doğru özellikler (1  $\mu\text{m}$ 'ye kadar çaplar) elde edilebilir.

DRIE'nin en büyük dezavantajları, aynı anda üretilen deliklerin sayısı 200.000'den fazla olmasına rağmen, ihtiyaç duyulan işlem adımlarının miktarı (örneğin, farklı maskeler) ve son derece düşük aşındırma hızıdır (yaklaşık 0,009  $\mu\text{m} / \text{s}$ ). Ayrıca, camın nispeten düşük ısı transferiyle (camın tipik termal iletkenliği silikondan 100 kat daha düşüktür) işlem sınırlıdır ve bu da derin aşındırma ve yüksek aşındırma hızlarına ulaşmayı zorlaştırır.

## F. HİBRİT YÖNTEMLER

Araştırmacılar, yukarıda listelenen teknolojileri kullanırken karşılaşılan sınırlamaların üstesinden gelmek için farklı işleme süreçlerini birleştirerek hibrit işleme olarak adlandırılan şeye yol açtı. Hibrit işleme için birçok tanım önerilmiştir; en yaygın olanı, hibrit işlemenin, iki veya daha fazla işleme sürecinin bağımsız olarak veya aynı anda tek bir makinede uygulandığı bir

yöntem olmasıdır. Son zamanlarda hibrit işleme, College International Pour la Recherche en Productique (CIRP) tarafından işleme performansını artırmak için çeşitli işleme mekanizmalarının, takımlarının ve enerji kaynaklarının eşzamanlı ve kontrollü etkileşimini kullanan bir süreç olarak tanımlandı [19]. Bu tanıma dayanarak, Chavoshi ve ark. [16] hibrit mikro işleme süreçlerini iki gruba ayırdı: yardımcı ve kombine hibrit mikro işleme süreçleri.

Destekli hibrit mikro işlemede, diğer enerji türlerinden girdi eklenirken ana işleme süreci uygulanır [78,79]. Kombine hibrit mikro işlemede, tüm birleşik mikro işleme süreçleri aynı anda malzeme kaldırma ve işleme özelliklerine katkıda bulunur.

Bu kategoride araştırma, iletken olmayan malzemeleri işlemek için elektrokimyasal işlemlere odaklanırken malzeme kaldırma oranını ve işlenmiş yüzey kalitesini iyileştirir ve işleme süresini azaltır.

Başlıca destekli hibrit cam mikro işleme teknikleri ve kombine hibrit mikro işleme süreçleri aşağıda tartışılmaktadır.

#### i. 6.1. Destekli Hibrit Mikro İşleme Teknikleri

##### *Titreşim Destekli Mikro İşleme*

Bu süreçte, ana işleme sürecine esas olarak takım titreşimi (ayrıca bazen iş parçası veya işleme sıvısı titreşimleri) eklenir. Bu, mikro öğütme ve mikro elektrokimyasal boşaltma işleme (ECDM) [16] dahil olmak üzere çeşitli işlemlere uygulanmıştır. Uygun kesme hızı, titreşim genliği ve frekansı kombinasyonları için takım periyodik olarak talaşla temasını kaybeder, bu da işleme kuvvetlerinin azalmasına ve takım ömrünün ve yüzey kalitesinin artmasına neden olur [18]. Ayrıca, geleneksel işlemeye [80–82] kıyasla daha yüksek kesme derinliği, daha 16 pürüzsüz yüzeyler ve sığa yakın çapak elde edilir. Öte yandan, bu teknik, aletin [78] çekiçlenmesi nedeniyle yüzey çatlaklarına neden olabilir.

##### *Lazer Destekli Mikro Kesme/Frezeleme*

Bu teknik, lazer ışını işlenecek malzemeleri yumuşattığı için özellikle sert ve kırılğan malzemelerin işlenmesini geliştirir. İşlem sırasında malzemenin yerel yumuşamasının geometrik olarak tanımlanmış kesme kenarı, düzgün yüzeyler ve azaltılmış yüzey pürüzlülüğü sağladığı seramik ve camı işlemek için kullanılır [19]. Yüzey kalitesinin ve işleme doğruluğunun daha da iyileştirilmesi için bu işlemler diğerleriyle birleştirilebilir.

### *Lazer Kaynaklı Plazma Mikro İşleme (LIPMM)*

Bu yöntemde, lazer ışınının odak noktasındaki bir sıvı içinde plazma indüklenir, bu da parlak malzemelerin ve cam gibi yüksek yansıtıcılığa sahip şeffaf malzemelerin mikro işlemesine olanak tanır [83].

Plazmanın şekli, işleme süresini azaltırken belirli mikro desenler elde etmek için optik veya manyetik olarak manipüle edilebilir.

### *Su Destekli Mikro İşleme*

Lazerle işleme, işlenmiş yüzey kalitesini düşüren birikintiler üretir. İşleme sırasında bu birikintileri gidermek için alt tabakanın üzerine su eklenir, bu da daha iyi işlenmiş bir yüzey (daha az koniklik ve ısıdan etkilenen bölgeler) ve hızlandırılmış bir kesme hızı (havada lazer işleme durumunda iki kat daha hızlı) ile sonuçlanır [16]. Bu teknikle, su destekli femtosaniye ve CO<sub>2</sub> lazer darbeleri ablasyon ile silikon, LCD cam ve alüminada yüksek en-boy oranına sahip delikler kesilebilir. Ancak erimiş malzemenin hızlı katılaşması nedeniyle pürüzlü yüzeyler oluşur [84].

### *Kimyasal Destekli Mikro İşleme*

Bu teknikte, lazerle işlenecek altlık yüzeyine metanol eklenir. Metanol, sudan daha iyi ıslanabilirliğe ve daha düşük kaynama sıcaklığına sahiptir, bu da lazerle işleme sırasında üretilen kesilen parçacıkların soğumasını ve temizlenmesini geliştirir. Sonuç, daha temiz ve pürüzsüz yüzeylerdir [16].

### *Kimyasal Destekli Ultrasonik İşleme (CUSM)*

Camın ultrasonik işleme verimliliğini artırmak için, aşındırıcı bulamaca hidroflorik (HF) asit eklenir, ancak düşük konsantrasyonlarda, normalde %5'ten daha az HF çözeltisi [85]. Bu, mikro delme için malzeme kaldırma oranının %40'a kadar artmasına ve HF asit Si bağlarını zayıflattığı için yüzey kalitesinin artmasına yol açar. Ancak delik büyür.

### *Elektroreolojik (ER) Sıvı Destekli Ultrasonik İşleme*

Sert ve kırılğan malzemelerin mikro-ultrasonik işlenmesinde genellikle ufulanma ve düşük işleme hassasiyeti ortaya çıkar. Bu sorunları azaltmak için elektroreolojik (ER) sıvı destekli ultrasonik işleme kullanılır. Bu yöntemde elektroreolojik (ER) akışkan aşındırıcı parçacıklarla karıştırılarak işleme bölgesine eklenir. Bu sıvı, artan elektrik alan yoğunluğunun artan viskozite ile sonuçlandığı dielektrik parçacıklara sahiptir.

İş parçası yüzeyinde bulunan katot ile titreşimli mikro alet olan anot arasına gerilim uygulandığında işleme gerçekleşir. Takım ucunun yakınındaki işleme bölgesinde ortaya çıkan elektrik alanı, ER sıvı viskozitesini artırır ve böylece

aşındırıcı parçacıkları (ER sıvısındaki) alet ucunun yanında yakalar. Bu, geliştirilmiş işleme hassasiyeti ve verimliliği ile sonuçlanır [86–88].

#### *Bir Yardımcı Elektrotla Elektrik Deşarjlı İşleme (EDM)*

Mikro delik delmek için kullanılabilecek başka bir işleme yöntemi, yardımcı bir elektrotla mikroelektrik deşarj işlemesidir (EDM). EDM işlemi, malzemenin elektrik deşarjlarıyla eritilmesi ve buharlaştırılması yoluyla çıkarılmasına dayanır. Bu deşarjlar, bir dielektrik ortam ile ayrılmış olan alet elektrodu ile elektriksel iletken iş parçası arasında bir voltaj uygulandığında gerçekleşir. Mikro EDM’li iletken olmayan malzemelerin işlenebilirliğini sağlamak için, işlem başlangıçta iş parçasının üzerinde iletken bir başlangıç tabakası ile başlatılmalıdır [89,90]. Başlangıç tabakası işlenirken, dielektrik (tipik olarak bir hidrokarbon yağı) parçalanarak cam yüzeye yerleşen iletken karbon sağlanır ve sonraki deşarjların gerçekleşmesini sağlayan yeni bir iletken tabaka oluşturulur. Altta yatan hedeflenen malzeme dahil olmak üzere katmanın çıkarılması ve yeni ince iletken katmanların oluşturulması dizisi, işlem ortamı kontrol edilerek tekrarlanabilir. İletken olmayan seramikler, Schubert ve diğerleri tarafından bildirildiği gibi  $>5$  en boy oranlarıyla işlenebilir. [89]. Bu süreç, hem tek bir takım kullanılarak seri prototipleme için kullanılabilir hem de aynı anda birçok delik üretmek için çok takımlı kafalar kullanıldığında parti bazlı üretim için kullanılabilir. Bununla birlikte, iletken başlangıç tabakasının biriktirilmesi için ön işleme ve kararlı çalışma için karmaşık işlem kontrolü gereklidir.

#### *Sıcak Kabartma*

Camın mikro yapılandırılması, camın yüksek sıcaklıklarda viskoz akışına dayanan sıcak kabartma gibi şekillendirme işlemleriyle de yapılabilir. Bu teknoloji, mikro desenli bir kalıp ve ısıtılmış bir cam iş parçasından yararlanır ve çoğunlukla optik lenslerin büyük parti boyutunda imalatı için kullanılır [91]. Metal kalıp üzerinde desenlenebilen hemen hemen her 18 olası şekil cam iş parçasına aktarılabilir. Kritik bir parametre proses sıcaklığıdır. Sıcaklık yüksekse, bu camın viskozitesini düşürerek camın kalıp yüzeyine yapışmasına neden olur. Bununla birlikte, işlem daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilirse, cam nispeten daha yüksek viskoziteye sahip olacak ve onu şekillendirmek için daha yüksek mekanik kuvvetler gerektirecektir. Bu sorunların üstesinden gelmek için, camın kalıba yapışmasını önlemek için kalıp yüzeyi veya cam alt tabaka kaplanabilir [91]. Bu teknoloji, kalıp imalatı ihtiyacı ve bu işlem için gerekli kurulum, örneğin gelişmiş ısı kontrolü nedeniyle, camdaki özelliklerin büyük parti boyutunda üretimi için en uygun olanıdır.

### *Kombine Hibrit Mikro İşleme Prosesleri*

Mikro elektrokimyasal boşaltma işleme (ECDM) veya kıvılcım destekli kimyasal gravür (SACE). İletken olmayan malzemeleri işlemek için kullanılan bu süreçte, her ikisi de bir alkalın solüsyona daldırılmış alet elektrodu (alt tabakanın üzerinde konumlandırılmış) ve karşı elektrot arasına bir voltaj uygulanır. Kritik voltajın (yaklaşık 30 V) üzerindeki voltajlarda, aletin etrafındaki kabarcıklar bir gaz filmi halinde birleşir ve içinden deşarjlar üretilir. Cam işleme, termal olarak teşvik edilen aşındırma ve deşarjların bombardımanı nedeniyle mümkündür [8,92]. Bu işlemin performansı aletin şekli ve hareketi, voltaj, elektrolit ve işleme boşluğu, işleme voltajının malzeme kaldırma oranı üzerinde daha önemli bir etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır [93,94].

SACE, küçük ve büyük deliklerin ( çapı 2000  $\mu\text{m}$ 'ye kadar) üretilmesine izin verir ve cam üzerinde nispeten şeffaf ve pürüzsüz işlenmiş yüzeyler ( $R_a = 0,13 \mu\text{m}$  ) elde ederken yüksek en boy oranları ( $>10$ ) üretebilir [92,95–97] . Lazer işlemleriyle karşılaştırıldığında, azaltılmış işleme sıcaklığı nedeniyle HAZ, SACE'de daha az belirgindir ( lazer için  $\sim 2000 \text{ C}$ 'ye kıyasla tipik olarak  $\sim 500 \text{ C}$  ). Ayrıca, ultrasonik delme ile karşılaştırıldığında, delik başına işleme hızının ıslak ve kuru aşındırması yüksektir. Bununla birlikte, yüzey pürüzlülüğü çoğu geleneksel ıslak ve kuru dağlama tekniğinden daha yüksektir

Kritik voltajı [98,99] düşürerek veya darbeleri voltajı [95,100,101] kullanarak mümkün olan en düşük sıcaklıkta işleme yaparak HAZ'ı ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için önemli araştırma çalışmaları yapılmıştır . Elektroforetik biriktirme taşlama (EPDG) ile işlenmiş deliklerin sonradan işlenmesiyle daha fazla iyileştirme sağlandı, bu da azaltılmış HAZ, pürüzsüz yüzey ve mükemmel konik açılar (0,2 dereceye kadar düşük) [92] ile sonuçlanırken işleme süresini (5 kat) artırır).

SACE ile karşılaşılan önemli bir sorun, hem işleme hızını hem de kaliteyi azaltan yüksek işlenmiş derinliklerde işlenmiş malzemenin sınırlı yıkanmasıdır. İşleme bölgesinin daha lokalize yıkanmasına izin vermek için aşağıdakiler de dahil olmak üzere birkaç yöntem önerildi:

- Takım şeklinin ayarlanması: yan yalıtımlı, düz yan duvarlı ve küresel uçlu takım dahil olmak üzere farklı takım şekillerinin konikliği ve aşırı kesimi [102] azalttığı, işleme hassasiyetini arttırdığı [103–105] ve delik giriş çapını 65'e kadar azalttığı kanıtlanmıştır. 500 mm derinliğindeki bir delik [106] için işleme süresini % 83'e kadar azalttı.
- Takım dönüşü: pürüzsüz yan duvarlar ( $R_a 0,13 \mu\text{m}$ 'ye kadar [95]) ve azaltılmış koniklik [96] ile sonuçlanır.

- Alet, elektrolit veya iş parçası titreşimleri: Silindirik 400 µm aletin düşük frekanslı titreşimleri (0–30 Hz), malzeme kaldırma oranını (MRR) iki kat artırır [104] burada kare dalga formu sinüzoidal alet titreşimine kıyasla daha iyi gelişmiştir [108,109 ]. Elektrolit ultrasonik titreşim (1,7 MHz) , elektrolite ultrasonik titreşimler uygulandığında işleme derinliğinde (320 µm ila 550 µm) iyileştirmeler ve koniklik ve fazla kesimde azalma gösterir [105].
- Darbeli voltaj: daha iyi işleme ve yüzey kalitesi sağlar [106].
- Yerel bir manyetik alan oluşturmak: elektroliti yerel olarak karıştırarak yüzey kalitesini ve işleme derinliğini artırırken işleme süresini (%57,4 civarında) ve aşırı kesimi (%23,8) ve düşük elektrolit konsantrasyonunda azaltır [107].
- Delme için kuvvet geri bildirim kontrol algoritmalarının kullanılması: delme sırasında takım hareketini kontrol etmek için uygulanan algoritmalar, işleme kalitesini ve hızını iyileştirme konusunda umut vericidir [107–107].

#### IV. SONUÇ

Mikro delik delmek için yaygın olarak kullanılan teknolojilere genel bir bakış sunulmaktadır. Mikro delme teknolojileri dört kategoriye ayrılır: mekanik, termal, kimyasal ve hibrit delik teknolojileri. Delik teknolojilerinin her birinin belirli sınırlamaları vardır. Lazerle delme gibi termal işlemler hızlı ve esnek olsa da, yüksek yüzey kalitesinden yoksundur. Islak aşındırma gibi kimyasal işlemler pürüzsüz yüzeyler oluşturur; ancak, maskeler gereklidir, bu da sürecin daha fazla karmaşıklığına, düşük esnekliğine ve daha yüksek maliyetine neden olur. Geleneksel delme gibi mekanik yöntemler nispeten yavaştır ve zayıf yüzey pürüzlülüğü sergiler. Bu özelliklere bakılarak istenilen delme yöntemi belirlenebilir.

## V. KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Sen, M. and H.S. Shan, A review of electrochemical macro- to micro-hole drilling processes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2005. 45(2): p. 137-152
- [2] Sarvela, D. Overview of Glass Micromachining Processes for MEMS Applications. *MEMS J.* 2010. Available online: <http://www.memsjournal.com/2010/11/overview-of-glass-micro-machiningprocesses-for-memsapplications.html> (accessed on 7 February 2017)
- [3] Egashira, K. and K. Mizutani, Micro-drilling of monocrystalline silicon using a cutting tool. *Precision Engineering-Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*, 2002. 26(3): p. 263-268.
- [4] Takahashi, S.; Horiuchi, K.; Tatsukoshi, K.; Ono, M.; Imajo, N.; Mobely, T. Development of through glass via (TGV) formation technology using electrical discharging for 2.5/3D integrated packaging. In *Proceedings of the 2013 IEEE 63rd Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, 28–31 May 2013; pp. 348–352.
- [5] Yoshida, S. AGC Succeeds in Developing Micro Hole Drilling Processing Technology for Ultra-Thin Glass with a Thickness in the Order of Microns. Available online: <http://www.agc.com/english/news/2012/0305e.pdf> (accessed on 7 February 2017).
- [6] Tseng, A.; Chen, Y.T.; Chao, C.L.; Ma, K.J.; Chen, T.P. Recent developments on microablation of glass materials using excimer lasers. *Opt. Lasers Eng.* 2007, 45, 975–992.
- [7] Corbett, J., et al., Nanotechnology: international developments and emerging products. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2000. 49(2): p. 523-545.
- [8] Horiuchi, O., M. Masuda, and T. Shibata, Bending of Drill and Radial Forces in Micro Drilling. *Advanced Materials Research*, 2013. 797: p. 642-648.
- [9] Fu, W.K., et al., Research on Micromechanical Drilling of Micro-hole Array in PVC Mask. *Advances in Materials Manufacturing Science and Technology Xv*, 2014. 770: p. 239-243.
- [10] Yalçın G, Neşeli S, Terzioğlu H, Ağaçayak A.C., (2019). Design and Construction of Compact CNC Router, *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'19)*, 474-478, E-ISBN: 978-605-68537-9-1
- [11] Li, B.H., et al., Study on the Stainless Steel 1Cr18Ni9Ti Micro-Hole Drilling Experiment. *Applied Mechanics and Materials*, 2014. 596: p. 43-46.
- [12] Muhammad, A., et al. The performance of micro long flat drill with a diameter of 20  $\mu\text{m}$  in drilling into duralumin and stainless steel. in *8th International Conference on Progress of Machining Technology, ICPMT2006*. 2006. Matsue.
- [13] Klocke, F., K. Gerschwiler, and M. Abouridouane, Size effects of micro drilling in steel. *Production Engineering*, 2009. 3(1): p. 69-72.
- [14] Brusberg, L.; Queisser, M.; Gentsch, C.; Schröder, H.; Lang, K.-D. Advances in CO<sub>2</sub>-laser drilling of glass substrates. *Phys. Procedia* 2012, 39, 548–555.
- [15] Yongchen, P., T. Qingchang, and Y. Zhaojun, A study of dynamic stresses in microdrills under high-speed machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006. 46(14): p. 1892-1900.



- [16] Liang, X., et al., Mechanical drilling of PCB micro hole and its application in micro ultrasonic powder molding. *Circuit World*, 2015. 41(2): p. 87-94.
- [17] Chavoshi, S.Z.; Luo, X. Hybrid micromachining processes: A review. *Precis. Eng.* 2015, 41, 1–23.
- [18] Lucintel, Global PCB Industry Trends Forecast and Opportunity Analysis 2015- 2020, in Report Buyer. 2015: United Kingdom.
- [19] Brehl, D.E.; Dow, T.A. Review of vibration-assisted machining. *Precis. Eng.* 2008, 32, 153–172.
- [20] Lauwers, B.; Klocke, F.; Klink, A.; Tekkaya, A.E.; Neugebauer, R.; McIntosh, D. Hybrid processes in manufacturing. *CIRP Ann.-Manuf. Technol.* 2014, 63, 561– 583.
- [21] Lucintel. Global PCB Industry Trends Forecast and Opportunity Analysis 2015- 2020. 2015 [cited Feb 2015; Available from: <https://www.reportbuyer.com/product/2788888/global-pcb-industry-trendsforecast-and-opportunity-analysis-2015-2020.html>].
- [22] Iliescu, C.; Taylor, H.; Avram, M.; Miao, J.; Franssila, S. A practical guide for the fabrication of microfluidic devices using glass and silicon. *Biomicrofluidics* 2012, 6, 016505. [PubMed]
- [23] Jain, A.K.; Pandey, P.M. Study of Peck drilling of borosilicate glass with rUM process for MEMS. *J. Manuf. Process.* 2016, 22, 134–150.
- [24] Kim, H.-H.; Chung, S.; Kim, S.-C.; Jee, W.-H.; Chung, S.-C. Condition monitoring of micro-drilling processes on glass by using machine vision. In *Proceedings of the ASPE Challenges at the Intersection of Precision Engineering and Vacuum Technology*, Pittsburgh, PA, USA, 1–2 May 2006; pp. 535–538.
- [25] Chen, S.T.; Jiang, Z.H.; Wu, Y.Y.; Yang, H.Y. Development of a grindingdrilling technique for holing optical grade glass. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2011, 51, 95– 103.
- [26] Park, B.J.; Choi, Y.J.; Chu, C.N. Prevention of exit crack in micro drilling of sodalime glass. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 2002, 51, 347–350.
- [27] Solognac, D.; Sayah, A.; Constantin, S.; Freitag, R.; Gijss, M.M. Powder blasting for the realisation of microchips for bio-analytic applications. *Sens. Actuators A Phys.* 2001, 92, 388–393.
- [28] Binali, R., YALDIZ, S., & Neşeli, S. (2021). S960QL Yapı Çeliğinin İşlenebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 85-91.
- [29] Namık Kemal YALÇIN-Süleyman NEŞELİ-Hakan TERZİOĞLU, (2022). BÖLÜM 7: Prototip Ürün Üretmek İçin 3 Eksenli Masa Üstü Cnc Router Tasarımı. *Mühendislikte Yeni Araştırmalar, Tablet Kitapevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-5447-75-5.* pp. 81-90.
- [30] Egashira, K., et al., Fabrication and cutting performance of cemented tungsten carbide micro-cutting tools. *Precision Engineering*, 2011. 35(4): p. 547-553.
- [31] Wensink, H.; Berenschot, J.W.; Jansen, H.V.; Elwenspoek, M.C. High resolution powder blast micromachining. In *Proceedings of the Thirteenth Annual International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, Miyazaki, Japan, 22–27 January 2000; pp. 769–774.

- [32] Wensink, H. *Fabrication of Microstructures by Powder Blasting*; University of Twente: Enschede, The Netherlands, 2002.
- [33] Schlautmann, S.; Wensink, H.; Schasfoort, R.; Elwenspoek, M.; van den Berg, A. Powder-blasting technology as an alternative tool for microfabrication of capillary electrophoresis chips with integrated conductivity sensors. *J. Micromech. Microeng.* 2001, 11, 386–389.
- [34] Gong, Y., K.F. Ehmann, and C. Lin, Analysis of dynamic characteristics of microdrills. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003. 141(1): p. 16-28.
- [35] Nouraei, H.; Kowsari, K.; Spelt, J.K.; Papini, M. Surface evolution models for abrasive slurry jet micromachining of channels and holes in glass. *Wear* 2014, 309, 65–73.
- [36] Kowsari, K.; Nouraei, H.; James, D.F.; Spelt, J.K.; Papini, M. Abrasive slurry jet micromachining of holes in brittle and ductile materials. *J. Mater. Process. Technol.* 2014, 214, 1909–1920.
- [37] Schorderet, A.; Deghilage, E.; Agbeviade, K. Tool type and hole diameter influence in deep ultrasonic drilling of micro-holes in glass. *Procedia CIRP* 2013, 6, 565–570.
- [38] Zhang, C.; Rentsch, R.; Brinksmeier, E. Advances in micro ultrasonic assisted lapping of microstructures in hard–brittle materials: A brief review and outlook. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2005, 45, 881–890.
- [39] Irfan, M., et al., Analysis of Stresses in Microdrills. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, 2014. 3(4): p. 199-205.
- [40] Huang, C.K., et al., Investigation of machine vision assisted automatic resharpener process of micro-drills. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009. 209(18-19): p. 5944-5954.
- [41] Zheng, H.M. and D.H. Wang, Study on the Fuzzy Control System of Micro-Hole Drilling. *Advanced Materials Research*, 2012. 580: p. 126-129.
- [42] Zheng, L., et al., Characteristics of chip formation in the micro-drilling of multimaterial sheets. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2012. 52(1): p. 40-49.
- [43] de Sousa, P.F.B., et al., Estimation of heat flux and temperature field during drilling process using dynamic observers based on Green's function. *Applied Thermal Engineering*, 2012. 48: p. 144-154.
- [44] Egashira, K.; Kumagai, R.; Okina, R.; Yamaguchi, K.; Ota, M. Drilling of microholes down to 10  $\mu$ m in diameter using ultrasonic grinding. *Precis. Eng.* 2014, 38, 605–610.
- [45] Rajan K, P.N., Nagarajan N, A Review of Current Micro Drilling Processes. *International journal of innovative science, engineering & technology*, 2016. 3(1): p. 60-64.
- [46] Zheng, L.J., et al., A Review on Drilling Printed Circuit Boards. *Advanced Materials Research*, 2011. 188: p. 441-449.
- [47] Kim, G. and S. Lee, Manufacturing Process of Micro-drill. *한국공작기계학회지*, 2001. 10(3): p. 18-26.
- [48] Bovatsek, J.; Patel, R.S. DPSS Lasers Overcome Glass Process Challenges. Available online: <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=51733&PID=5&VID=100&IID=63> 1 (accessed on 7 February 2017).

- [49] Femtoprint SA. 3D printing for glass microdevices. Available online: <http://www.femtoprint.ch> (accessed on 10 January 2017).
- [50] Fraunhofer ILT, Selective Laser Etching of Glass and Sapphire. Available online: <http://www.ilt.fraunhofer.de/en/media-center/brochures/brochure-Selective-LaserEtching-of-Glass-and-Sapphire.html> (accessed on 7 February 2017).
- [51] Hwang, D.J.; Choi, T.Y.; Grigoropoulos, C.P. Liquid-assisted femtosecond laser drilling of straight and three-dimensional microchannels in glass. *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.* 2004, 79, 605–612.
- [52] Chung, C.K.; Lin, S.L.; Wang, H.Y.; Tan, T.K.; Tu, K.Z.; Lung, H.F. Fabrication and simulation of glass micromachining using CO<sub>2</sub> laser processing with PDMS protection. *Appl. Phys. A* 2013, 113, 501–507.
- [53] Nikumb, S.; Chen, Q.; Li, C.; Reshef, H.; Zheng, H.Y.; Qiu, H.; Low, D. Precision glass
- [54] Figueroa, M., et al., Preliminary Tribological Study and Tool Life of Four Commercial Drills. *Tribology Transactions*, 2014. 57(4): p. 581-588.
- [55] Castillejo, M.; Ossi, P.M.; Zhigilei, L. *Lasers in Materials Science*; Springer: Cham, Switzerland, 2014.
- [56] Brusberg, L.; Schroder, H.; Topper, M.; Reichl, H. Photonic system-in-package technologies using thinglass substrates. In *Proceedings of the 2009 11th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC '09)*, Singapore, 9–11 December 2009.
- [57] Wagner, W.R., An experimental micro-drill. *Science*, 1945. 101(2614): p. 127-128.
- [58] Levin, S., Instrument Lathes Used in Drilling Holes as Small as 0.0006 Inch. *Machinery*, Mar. 1958, 126 through *Machinery* (in Japanese), 1958. 9: p. 1461.
- [59] Michelson, R.P., Miniature air drill for micro-tympanic procedures. *Laryngoscope*, 1960. 70: p. 1448-51.
- [60] Huang, H.; Yang, L.; Liu, J. Micro-hole drilling and cutting using femtosecond fiber laser. *Opt. Eng.* 2014, 53, 51513.
- [61] Kono, I.; Nakanishi, A.; Warisawa, S.; Mitsuishi, M. Study on non-crack laser machining of glass by using absorbent powder. In *Proceedings of the American Society for Precision Engineering*, Norfolk, VA, USA, 9–14 October 2005; pp. 1793–1997.
- [62] Basting, D.; Marowsky, G. *Excimer Laser Technology*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2005.
- [63] Kurafuji, H. and K. Suda, Electrical Discharge Drilling of Glass I. *Ann. CIRP*, 1968. 16: p. 415-419.
- [64] Corning, Corning Gorilla Glass. Available online: <https://www.corning.com/gorillaglass/worldwide/en.html> (accessed on 7 February 2017).
- [65] Chung, C.K.; Lin, S.L. CO<sub>2</sub> laser micromachined crackless through holes of Pyrex 7740 glass. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2010, 50, 961–968.
- [66] Fraunhofer Institute for Reliability and Micro-Integration IZM, CO<sub>2</sub>-Laser Drilling of through Glass Vias (TGVs). Available online: [http://www.izm.fraunhofer.de/en/abteilungen/system\\_integrationsinterconnectivetechnologies/leistungsangebot/prozessdienstleistungenprototypen/co2-laserbohrenvon-loechern-in-glas-tgv-.html](http://www.izm.fraunhofer.de/en/abteilungen/system_integrationsinterconnectivetechnologies/leistungsangebot/prozessdienstleistungenprototypen/co2-laserbohrenvon-loechern-in-glas-tgv-.html) (accessed on 7 February 2017).

- [67] Mitsubishi Electric Corporation. Mitsubishi Electric Develops Micro Glass Processing Technology Incorporating Pulsed CO<sub>2</sub> Laser. 2014. Available online: <http://www.mitsubishielectric.com/news/2014/pdf/0213-c.pdf> (accessed on 7 February 2017).
- [68] Keiper, B.; Exner, H.; Loschner, U.; Kuntze, T. Drilling of glass by excimer laser mask projection technique. *J. Laser Appl.* 2000, 12, 189.
- [69] Iliescu, C.; Chen, B.; Miao, J. On the wet etching of Pyrex glass. *Sens. Actuators A Phys.* 2008, 143, 154–161. [CrossRef]
- [70] Iliescu, C.; Chen, B.; Miao, J. Deep wet etching-through 1mm Pyrex glass wafer for microfluidic applications. In Proceedings of the IEEE 20th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, Hyogo, Japan, 21–25 January 2007; pp. 393–396.
- [71] Fertig, N.; Meyer, C.; Blick, R.H.; Trautmann, C.; Behrends, J.C. Microstructured glass chip for ion-channel electrophysiology. *Phys. Rev. E. Stat. Nonlinear Soft Matter Phys.* 2001, 64, 40901. [PubMed]
- [72] Iliescu, C.; Jing, J.; Tay, F.E.H.; Miao, J.; Sun, T. Characterization of masking layers for deep wet etching of glass in an improved HF/HCl solution. *Surf. Coat. Technol.* 2005, 198, 314–318.
- [73] Sugita, T.; Tsujino, K.; Matsumura, M. Making microholes in glass by electrochemical local acidification of fluoride-containing solution. *ECS J. Solid State Sci. Technol.* 2012, 1, P1–P4.
- [74] Li, X.; Abe, T.; Liu, Y.; Esashi, M. Fabrication of high-density electrical feedthroughs by deep-reactive-ion etching of Pyrex glass. *J. Microelectromech. Syst.* 2002, 11, 625–630.
- [75] Tsukada, T., Micro-Drilling with Twist Drill. *Journal of the JSPE*, 1971. 37(1): p. 33-41
- [76] Akashi, T.; Yoshimura, Y. Deep reactive ion etching of borosilicate glass using an anodically bonded silicon wafer as an etching mask. *J. Micromech. Microeng.* 2006, 16, 1051.
- [77] Leech, P.W. Reactive ion etching of quartz and silica-based glasses in CF<sub>4</sub>/CHF<sub>3</sub> plasmas. *Vacuum* 1999, 55, 191–196.
- [78] Das, S.C. and C. Prabhu Das, TORQUE AND THRUST IN MICRO-DRILLING. *Journal of the Institution of Engineers (India): Mechanical Engineering Division*, 1974. 55(pt ME 4): p. 188-195.
- [79] Keenan Jr Bernard, J., Laser beam drill, U.S.Pa.T. Office, Editor. 1975: USA.
- [80] Queste, S.; Salut, R.; Clatot, S.; Rauch, J.Y.; Khan Malek, C.G. Manufacture of microfluidic glass chips by deep plasma etching, femtosecond laser ablation, and anodic bonding. *Microsyst. Technol.* 2010, 16, 1485–1493.
- [81] Lauwers, B. Surface integrity in hybrid machining processes. *Procedia Eng.* 2011, 19, 241–251.
- [82] Heisel, U.; Eisseler, R.; Eber, R.; Wallaschek, J.; Twiefel, J.; Huang, M. Ultrasonic assisted machining of stone. *Prod. Eng.* 2011, 5, 587–594.
- [83] Sugawara, A., STUDY ON MICRO DIAMETER DRILL WORKING - EFFECTS OF WORKING CONDITIONS ON BURR AND CUTTING FORCE. *Science*

- Reports of the Research Institutes, Tohoku University, Series A: Physics, Chemistry and Metallurgy, 1980. 29(1): p. 122-140.
- [84] Iwata, K., T. Moriwaki, and T. Hoshi, Basic Study of High Speed Micro Deep Drilling. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 1981. 30(1): p. 27-30.
- [85] Ellers, R.C. and R.J. Spies, SOME ASPECTS OF MICRO-DRILLING TECHNOLOGY. SME Tech Pap MR74-944, 1974.
- [86] Malhotra, R.; Saxena, I.; Ehmann, K.; Cao, J. Laser-induced plasma micromachining (LIPMM) for enhanced productivity and flexibility in laser-based micromachining processes. CIRP Ann. Manuf. Technol. 2013, 62, 211–214.
- [87] Choo, K.L.; Ogawa, Y.; Kanbargi, G.; Otra, V.; Raff, L.M.; Komanduri, R. Micromachining of silicon by short-pulse laser ablation in air and under water. Mater. Sci. Eng. A 2004, 372, 145–162.
- [88] Choi, J.; Jeon, B.; Kim, B. Chemical-assisted ultrasonic machining of glass. J. Mater. Process. Technol. 2007, 191, 153–156.
- [89] D. Poulin, J.R., and T. Znotins, Materials processing with excimer lasers. International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics (ICALEO), San Diego, CA, 1987.
- [90] Chang, J.J., et al., Precision Micro-Drilling with Copper Vapor Lasers. Laser Materials Processing - ICALEO 94, 1994. 2500: p. 323-332.
- [91] Kagaya, K., Y. Ōishi, and K. Yada, Micro-electrodischarge machining using water as a working fluid—I: micro-hole drilling. Precision Engineering, 1986. 8(3): p. 157-162.
- [92] Schubert, A.; Zeidler, H.; Oschätzchen, M.H.; Schneider, J.; Hahn, M. Enhancing micro-EDM using ultrasonic vibration and approaches for machining of nonconducting ceramics. Strojniški Vestnik 2013, 59, 156–164.[CrossRef]
- [93] Somashekhar, S.H. and K. Sadashivappa, Micro drilling of non conducting materials using electro chemical spark machine (ECSM). Proceedings of the Fourteenth Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering, 1999: p. 188-191.
- [94] Edelmann, J.; Worsch, C.; Schubert, A.; Rüssel, C. Micro structuring of inorganic glass by hot embossing of coated glass wafers. Microsyst. Technol. 2010, 16, 553– 560.
- [95] Yan, B.-H.; Yang, C.-T.; Huang, F.-Y.; Lu, Z.-H. Electrophoretic deposition grinding (EPDG) for improving the precision of microholes drilled via ECDM. J. Micromech. Microeng. 2007, 17, 376–383.
- [96] Zhaojun, Y., et al., Study for increasing micro-drill reliability by vibrating drilling. Reliability engineering & system safety, 1998. 61(3): p. 229-233.
- [97] Wiener-Avneer, E., Lasers cut microscopic paths with major potential. Laser focus world, 1993. 29(7): p. 75-80
- [98] . Kim, D.J.; Ahn, Y.; Lee, S.H.; Kim, Y.K. Voltage pulse frequency and duty ratio effects in an electrochemical discharge microdrilling process of Pyrex glass. Int. J. Mach. Tools Manuf. 2006, 46, 1064–1067.
- [99] Lee, E.S.; Howard, D.; Liang, E.; Collins, S.D.; Smith, R.L. Removable tubing interconnects for glass-based micro-fluidic systems made using ECDM. J. Micromech. Microeng. 2004, 14, 535–541.

- [100] Jui, S.K.; Kamaraj, A.B.; Sundaram, M.M. High aspect ratio micromachining of glass by electrochemical discharge machining (ECDM). *J. Manuf. Process.* 2013, 15, 460–466.
- [101] Chen, Y., et al. Excimer laser drilling of polymers. in *ISMA'97 International Symposium on Microelectronics and Assembly.* 1997. International Society for Optics and Photonics.
- [102] Lazare, S., J. Lopez, and F. Weisbuch, High-aspect-ratio microdrilling in polymeric materials with intense KrF laser radiation. *Applied Physics A Materials Science & Processing*, 1999. 69(S1): p. S1-S6.
- [103] Zhu, X., et al., Influence of laser parameters and material properties on micro drilling with femtosecond laser pulses. *Applied Physics a-Materials Science & Processing*, 1999. 69: p. S367-S371.
- [104] GMBH, S.S. History of EB Technology. Available from: <http://www.steigerwalde>
- [105] Han, M.-S.; Min, B.-K.; Lee, S.J. Modeling gas film formation in electrochemical discharge machining processes using a side-insulated electrode. *J. Micromech. Microeng.* 2008, 18, 45019.
- [106] Yang, C.K.; Wu, K.L.; Hung, J.C.; Lee, S.M.; Lin, J.C.; Yan, B.H. Enhancement of ECDM efficiency and accuracy by spherical tool electrode. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 2011, 51, 528–535.
- [107] Wüthrich, R.; Despont, B.; Maillard, P.; Bleuler, H. Improving the material removal rate in spark-assisted chemical engraving (SACE) gravity-feed micro-hole drilling by tool vibration. *J. Micromech. Microeng.* 2006,16, N28.
- [108] Neşeli S.,Yalçın G.,Terzioğlu H.,Ağaçayak A.C. (2019). Nano Yüzey Kalitesi Oluşturmak İçin Lepleme Makinesi Tasarımı. V Science Technology and Innovation Congress, 374-380. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5601104)
- [109] Neşeli, S., Yalçın, G., & Yaldız, S. (2018). Surface Roughness Estimation for Turning Operation Based on Different Regression Models Using Vibration Signals. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering.*
- [110] Han, M.-S.; Min, B.-K.; Lee, S.J. Geometric improvement of electrochemical discharge micro-drilling using an ultrasonic-vibrated electrolyte. *J. Micromech. Microeng.* 2009, 19, 65004.
- [111] Cao, X.D.; Kim, B.H.; Chu, C.N. Micro-structuring of glass with features less than 100  $\mu$ m by electrochemical discharge machining. *Precis. Eng.* 2009, 33, 459–465.
- [112] Cheng, C.-P.;Wu, K.-L.; Mai, C.-C.; Hsu, Y.-S.; Yan, B.-H. Magnetic fieldassisted electrochemical discharge machining. *J. Micromech. Microeng.* 2010, 20, 75019.
- [113] Abou Ziki, J.D.; Wüthrich, R. Nature of drilling forces during spark assisted chemical engraving. *Manuf. Lett.* 2015, 4, 10–13.
- [114] hemical engraving. *Manuf. Lett.* 2015, 4, 10–13. 109. Pavius, M.; Hibert, C.; Fluckiger, P.; Renaud, P.; Rolland, L.; Puech, M. Profile angle control in SiO<sub>2</sub> deep anisotropic dry etching for MEMS fabrication. In *Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, Maastricht, The Netherlands, 25–29 January 2004; pp. 669– 672.

- [115] Yalçın G, Neşeli S, Terzioğlu H, Ağaçayak A.C., (2019). Design and Construction of Compact CNC Router, International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'19), 474-478, E-ISBN: 978-605-68537-9-1
- [116] Neşeli S, Terzioğlu H, Yalçın G., (2018). Üç Eksenli Masa Tipi CNC Router Tasarımı, VII. International Vocational Schools Symposium (UMYOS), 449-458, ISBN: 978-605-68882-4-3

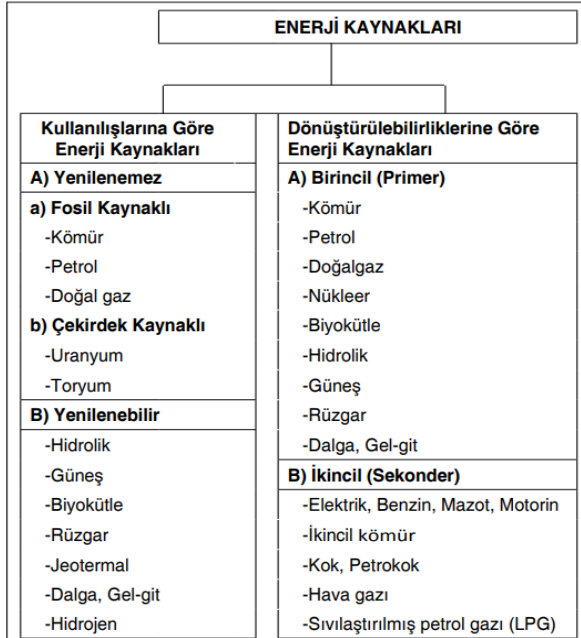
# BÖLÜM 4

## GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ENTERKONNEKTE ŞEBEKE SİSTEMİNE ZARARLARI

S. NEŞELİ<sup>1</sup>, Ü. ÖZMEN<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve dünya nüfusundaki artış enerjeye olan talebi hızla arttırmaktadır. Üretimde temel girdi olan enerji, toplumların refah seviyesinin yükselmesi için gerekli bir unsur olup, günlük yaşamda hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Kısaca, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji, mekanik (potansiyel ve kinetik), ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi değişik türlerde bulunabilmekte, uygun yöntemlerle bir türden diğerine dönüştürülebilmekte olup, farklı şekillerde sınıflandırılabilir [1].



Şekil 1 - Enerji Kaynaklarının Genel Sınıflandırılması

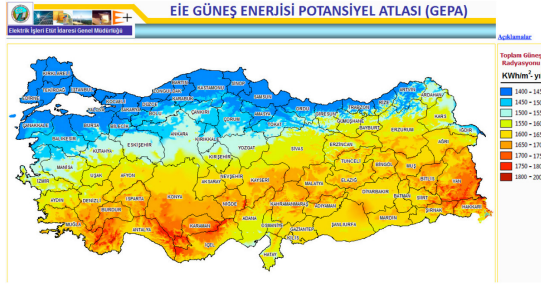
1 Selcuk University, Konya/Turkey, sneseli@selcuk.edu.tr

2 Selcuk University, Konya/Turkey, ycaclarkagitci@selcuk.edu.tr



Günümüzde ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma için en önemli sorunlarından birisi de ucuz, temiz, güvenilir ve kolay elde edilebilen bir enerji kaynağı sağlamaktır. Bu amaçla, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile etkin ve ucuz enerji üretim/kullanım teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik yoğun araştırmalar sürdürülmektedir [2].

Dünyada üzerinde en çok çalışılan ve en çok istikbal görülen enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden; bina ısıtılması ve sıcak su elde edilmesinde, kurutmada, güneş fırınlarında, kaynak yapımında, havalandırma sistemlerinde, doğrudan elektriğe dönüştürerek enerji elde edilmesinde yararlanılmaktadır [3].



Şekil 2 - Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası

Fotovoltaik teknoloji ile güneş enerjisinden doğrudan elektrik elde edilmesi için tasarlanan düzenekler güneş pili olarak adlandırılır. Günümüzde güneş pillerinin geniş kullanım alanları mevcuttur. Özellikle ana elektrik şebekesine uzak bölgelerdeki telefon vericileri, aydınlatmalar, ışıklı uyarı levhalarının elektrik ihtiyacı fotovoltaik panellerden karşılanabilmekte, ayrıca evsel ya da endüstriyel enerji ihtiyacı da karşılanmaktadır. Günümüzde fotovoltaik panellerden oluşturulmuş güneş tarlaları ile elektrik üretim santrallerinin kurulumu yaygınlaşmaktadır [4].



Şekil 3 - Güneş Enerjisi Santrali

Güneş Enerjisi Santralleri kurulumu için 5 temel bölümden oluşan bir yapının tesis edilmesi gerekir;

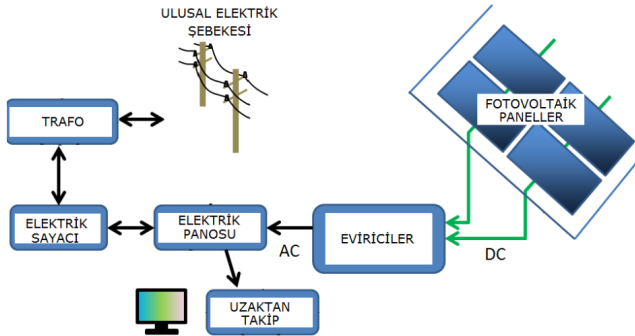
1.Fotovoltaik (PV) Panel: Yüzeilerine gelen güneş ışını yardımıyla doğru akım (DC) elektrik üreten yarı iletken (genellikle silisyum) PV hücrelerin bir panel üzerinde birleştirilmesinden oluşmaktadır.

2.İnvertör (Evirici): PV panellerin ürettiği doğru akım (DC) elektriği, alternatif akıma (şebeke elektriği) dönüştürür.

3.Panel Taşıyıcı Sistemi: Arazi ve çatı tipi olarak ikiye ayrılmakla birlikte, genellikle galvanizli çelik veya alüminyumdan mamul panel taşıyıcı sistemleri ve montaj aparatlarından oluşmaktadır.

4.Elektrik Panosu: Kısa devre, şebeke dalgalanmaları, aşırı gerilim gibi pozisyonlarda olumsuz etkiyi en aza indirerek, GES'in güvenli bir biçimde ağa (trafoya) bağlanması sağlar.

5.Trafo: Eviriciden gelen AG (400 Volt) şebekesini ulusal şebeke hattına uygun OG gerilim seviyesine (31,5 kV- 15,8 kV gibi) ayarlamasına yarar [5].



Şekil 4 - Güneş Enerjisi Santrali Kurulum Planı

Güneş enerjisi sistemleri temel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Birinci sistem, kurulan Güneş panelleriyle tamamen elektrik enerjisi üreterek şebekeye destek sağlama ya da elektrik enerjisi satma amacıyla kurulan tiplerdir. Bu sistemler üretilen enerjinin büyük yükleri beslemek için değil, doğrudan şebekeye iletilmesi ve satışı nedeniyle çeşitli ölçeklerde kurulabilir. Ayrıca üretilen enerjiyi uzak noktalara taşımadan en yakında bulunan dağıtım şebeke sistemine bağlanarak iletim/dağıtım kayıplarının en az oranda tutabilmektedir [6].

İkinci sistemler ise, kullanıcının hem elektrik ihtiyacını karşılayarak kullanımın düşük olduğu durumlarda ya da paneller ile üretilen enerji üretiminin yüksek olduğu zamanlarda şebekeye satılmasına böylelikle kullanıcının gelir

elde etmesine dayanmaktadır [7]. Şebekeye bağlantılı FV sistemlerin bir başka avantajı, bakım maliyetinin önemli ölçüde düşük olmasıdır ve uzun süre bakıma ihtiyacı olmadan çalışmaya devam edebilmeleridir. Bu sistemlerin elektriğin tüketildiği yere yakın olarak üretilmesi, enerji iletim kayıplarını azaltmaktadır [8]. Biz bu çalışmada şebeke bağlantılı (On Grid) güneş enerjisi sistemlerinin şebeke üzerinde olan etkilerini inceleyeceğiz

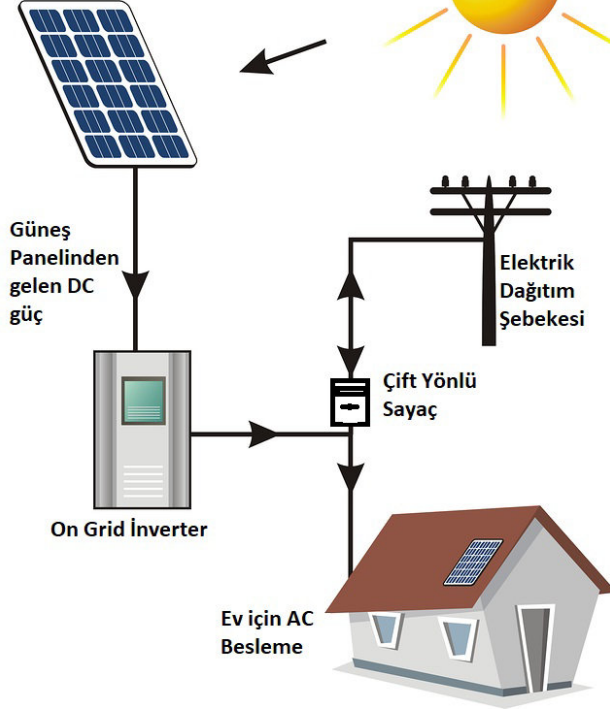
## 2. On Grid Sistem

Şebeke bağlantılı FV sistemler şebeke yükünü hafifleterek gerekli şebeke yatırımlarını geciktirmekte ve hatta yatırımlara olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır [8]. Bu tip sistemlerde, oluşabilecek problemlerin önüne geçme amacıyla, FV sistem çıkış gerilim karakteristiği, şebekenin gerilimine oldukça yakın olmak zorundadır. Bilindiği üzere, elektrik iletim ve dağıtım şirketlerinin uyması gereken en önemli kurallardan bazıları şebeke gerilim seviyesi ve frekans değeridir. Bu nedenle elektrik şebekesine bağlanması düşünülen bir sistemin hem kendi güvenliği hem de elektrik şebeke güvenliği ve kalitesi için senkronizasyon oldukça önemlidir. Temel olarak şebekeye enterkonnekte olacak bir sistemde aranması gereken dört ana madde sıralanabilir [7].

- FV sistem çıkış gerilim frekansı şebeke frekansı ile senkronize olmalıdır.
- FV sistem çıkış terminal gerilim büyüklüğü şebeke gerilim seviyesi ile aynı olmalıdır.
- Şebeke üç faz sırası, FV sistem çıkış fazlarının sırasıyla aynı olmalıdır.
- Faz açısı şebeke ve FV sistem arasında senkronize olmalıdır.

## ON GRID GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

### SOLAR PANEL



Şekil 5 – On Grid Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sistemi

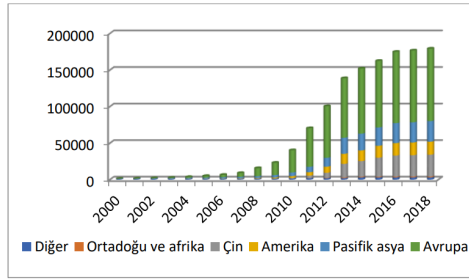
Aynı zamanda Fotovoltaik sistemde oluşabilecek bir problemde, şebeke bağlantısının çeşitli kontrol sistemleriyle kesilerek, elektrik şebekesine yansımalarının önüne geçilmelidir. Şebeke frekans dalgalanmaları ve gerilim yükselmelerinde aynı şekilde FV sistemi korumak için devre dışı hale gelmelidir [11].

Fotovoltaik sistemler şebekeye doğru akım vermemeli ve şebekeye bağlantısında kullanılan eviricilerin filtre devreleri içermesi gerekir. Gerilim sınırları için uluslararası standart olan EN50160 geçerli olup, alçak gerilimde nominal gerilimin  $\pm\%10$ 'una kadar bir değişime izin verilmektedir. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğe göre, can ve mal emniyetinin sağlanması için şebekeyle paralel çalışan yerel üretim sistemlerinin şebeke kaybı veya kısa devre arızasının oluşması durumuna göre şebeke bağlantısının kesilmesini zorunlu kılar. Enerji depolama sistemleri olsa dahi bu bağlantı türünde yerel yükler beslenemez ve kritik yük durumunda da maddi

kayıplar oluşabilmektedir. Bu sorunlar şebeke bağlantısının eviriciler yerine ayrı bir bağlantı sistemi üzerinden yapılması gerekir [12].

### 3. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Güneş enerjisi, yeryüzünün her yerinde geniş ölçüde mevcut olan bir enerji türüdür ve fotovoltaik yolla (PV) enerji üretimi sırasında kirletici madde yaymayan ve çok az su tüketen temiz, yenilenebilir bir enerji kaynağı sunar. Fotovoltaik enerji üretim sistem kurulum maliyetlerinin hızla düşmesiyle dünya genelinde enerji üretiminde güneş enerjisinin payı da hızla artmaktadır. Elektrik enerjisinin ihtiyacı karşılayabilmek için şebeke bağlantılı fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin kurulumu yönünde destek ve teşvikler çıkarılmıştır [9].



Şekil 6 – 2000 ve 2018 Yılları Arasında Kurulmuş Fotovoltaik Santral Kapasitesinin Gelişimi

Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapılırken, fotovoltaik pillerden yardım alınır. Fotovoltaik piller, üzerlerine gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Fotovoltaik piller, yarı iletken maddelerden yapılır. Bulunacağı zemine göre paralel ya da seri bağlanabilirler. Kalınlıkları 0.2-0.4 mm arasında değişebilmekte. Panelin üzerine güneş ışığı geldiği zaman uçlarda bir gerilim oluşur ve elektrik elde edilir. Öncelikle güneş ışığı panele çarptığında, fotovoltaik piller bu ışığı emer. Piller fotonu alır ve ışık elektriğe dönüştürülür. Buradan elde edilen elektrik doğru akımla çalışır. DC gerilimi, evlerimizde kullanabilmemiz AC gerilime çevirmemiz gerekir ve bunun için eviricilere (inverter) ihtiyacımız vardır. Panellerinizde bulunan solar kablolar, DC gerilimli elektriği inventere iletir ve bu sayede şebekelere dağıtılabilecek ve evlerde kullanılabilecek AC elde edilir.

### 4. Enterkonnekte Şebeke

Enterkonnekte şebekeler, bir ülkenin, bölgenin veya ülkeler arası elektrik enerji ihtiyaçlarını karşılayabilen bir şebeke türüdür. Kurulu olduğu bölgenin veya ülkenin, termik veya hidroelektrik farkı gözetilmeksizin bütün santralleri,

trafo ve iletim merkezleri ve alıcıların dâhil olduğu sistemdir. Çok önemli bir arıza olmadığı takdirde tüketim merkezlerine gelen elektrik enerjisinde kesinti söz konusu olmaz. Enterkonnekte sistemlerde enerji kesilmesi çok rastlanır bir durum değildir, verimleri yüksek ve maliyetleri uygundur.

Bu avantajlarının yanında, sistemin kısa devre akımı çok fazladır, sistemin kısa devresi iyi hesaplanmazsa alıcılar ciddi sıkıntılarla karşılaşabilir ve sistemin kararlılığını sağlamak oldukça zor olması Enterkonnekte Şebeke sistemlerinin dezavantajlarıdır [10].



Şekil 7 - Türkiye Enterkonnekte Şebeke Haritası

## 5. Güneş Enerjisi Santrallerinin Enterkonnekte Şebekeye Zararları

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin şebekeye bağlantısı, güvenlik, güç kalitesi ve yönetim açısından önem arz etmektedir. Azalan kurulum maliyetleri güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır [9].



Şekil 8 - Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sistemi

Güneş santralleri Dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayabilecek potansiyele sahiptir ve güneş enerjisi santralleri, yenilebilir enerjiden faydalanmak için kullanılan sistemlerin başında gelmektedir. Bu enerji türü elektrik sistemlerine çok önemli yararları sağlarken bazı olumsuzlukları da bulunmaktadır [13]. Şimdi şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin şebekeye bağlantılarında karşılaşılan sorunları aşağıda sırasıyla inceleyelim.

### 5.1. Harmonikler

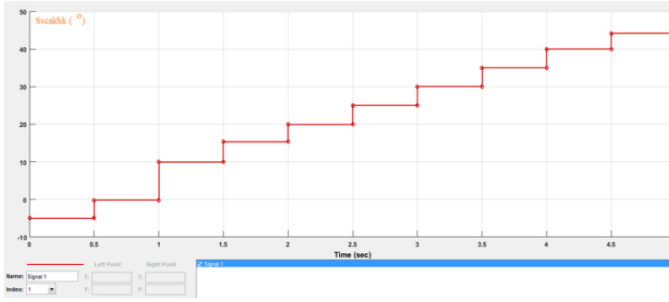
Harmonik dalgalar, şebeke frekansının birkaç katı şeklinde ortaya çıkan frekans salınımlarıdır. Fotovoltaik sistemde buna neden olan durum, bu sistemlerde kullanılan ve nonlineer karaktere sahip yarı iletken anahtarlardır. Anahtarlama da kullanılan yöntem de harmoniklere çok etki eder [9].

Fotovoltaik güneş santral kurulumları şebeke gerilimini, özellikle gerilim dalgalanmalarını, kırışmayı, harmonik bozulmayı ve yüksek frekans bozukluklarını önemli ölçüde etkileme potansiyeline sahiptir [14]. PV santralleri, eviricilerin oluşturduğu akım harmoniklerini şebekeye enjekte ederek ve tesis içindeki kapasitif elemanlar nedeniyle şebekede harmonik empedans rezonanslarına neden olarak şebekenin harmonik performansını etkiler. Eviricilerin güç devrelerindeki yarı iletken anahtarların yüksek frekansla anahtarlanması yüksek frekanslı bozulmalara, neden olabilir [15-17].

Eviricilerden kaynaklanan harmonikler, anahtarlama kontrol yöntemi olan PWM (pulse width modulation) modülasyon şeması, kontrol tekniği ve benimsenen anahtarlama sırasına bağlıdır. AC akımlarının harmonik bozulması, bir PWM şemasındaki anahtarlama frekansının artmasıyla doğrusal olarak azalır. Bununla birlikte, yüksek güç dönüştürücülerinin anahtarlama frekansı, yarı iletken cihazların anahtarlama kayıpları ve elektromanyetik uyumluluk hususları nedeniyle genellikle birkaç kilohertz ile sınırlıdır [18].

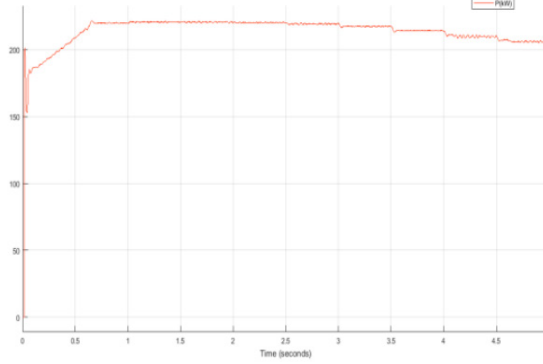
#### A. *Harmoniklere Sıcaklık Etkisi*

Harmoniklere sıcaklık değişiminin etkisini incelemek üzere santral benzetiminde sabit ışınma değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  olarak alınmış sıcaklık değeri  $5 - 45$  derece arasında Şekil 9'da gösterildiği gibi her 0,5 saniyede bir değiştirilmiştir.



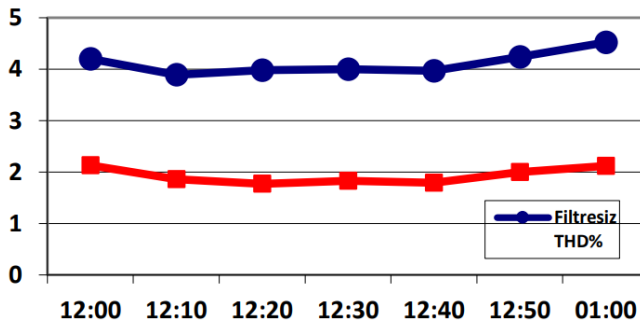
Şekil 9 - Sıcaklığın -5 ile 45 Derece arasındaki değişimi

Şekil 10'da ortalama ışıma miktarı  $1000 \text{ W/m}^2$  'de sabit tutularak sıcaklık değeri değiştirildiğinde sistemden elde edilen güç ile şebekeye verilen güç miktarı gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde yüksek sıcaklıkta üretilen güç miktarı azalmış ve sistemin performansı da azalmıştır.



Şekil 10 - Sıcaklık Değiştirildiğinde Sistemin Ürettiği Güç

Sıcaklık etkisinden oluşan güç kaybının azaltılması için RC tipi alçak geçiren bir filtre kullanılmıştır. Saat 12.00 – ile 13.00 arasında gözlemlenen değerler Şekil 11'de belirtilmiştir.



Şekil 11 - Filtreli ve Filtresiz Sistemde Akım İçin Toplam Harmonik Bozulma Faktörünün Değişimi



Filtre kullanılmadığı zaman toplam harmonik bozulma faktörü kabul edilen %5 sınırına yaklaşmıştır. Buna karşılık filtre kullanıldığında toplam harmonik bozulma faktörü bu sınırdan uzak kalmıştır.

### B. *Geçici Rejim Gerilimi*

Şebekede oluşan kısa devreler, doğa olayları ve yük değişimi gibi nedenlerle ortaya çıkan geçici rejimlerde yaşanan gerilim bozulmaları ve dengesizlikleri sistemin anma geriliminden farklı gerilimler ile çalışmasına neden olabilmektedir [9].

### C. *Kısa Devre Etkisi*

Kısa devre meydana geldiğinde, mevcut sistemin eşdeğer empedansı generatörün iç empedansı ve kısa devre yolu üzerindeki empedansın toplamına indirgenir. Bu durumda hesaplanan eşdeğer empedans, sistemin çalışması planlanan empedans değerine göre çok küçük olacağından, kısa devre akımı nominal akıma göre çok büyük değerler alır ve sisteme ciddi zararlar verir. Bu zararlı etkiler akımın karesiyle artan sisteme kalıcı zarar veren mekanik ve ısı etkiler, kısa devre arkının yakıcı etkisi, nötrü topraklanmış olan sistemlerde faz toprak kısa devresinde ölüme yol açabilecek temas ve adım gerilimleri meydana gelmesi olarak sıralanabilir [19].

Bu etkilerden korunmak için, hat üzerindeki devre elemanlarının yalıtımı iyi yapılmalıdır. Ayrıca hattın topraklanması topraklama mevzuatına uygun yapılmalı ve rutin kontrolleri sağlanmalıdır.

### D. *Doğa Olayları*

Güneş enerji santralının güneşlenme süresi yani aldığı ışınım (radyasyon) miktarı, santralin üretimini etkileyen en önemli husustur. Santralin coğrafi konumu güneşlenme süresini yani ışınım miktarını doğrudan etkiler, bu yüzden Fotovoltaik santraller üzerinde coğrafi konumunun direkt etkisi bulunmaktadır. Bu konum matematiksel ve özel konum olarak ikiye ayrılmaktadır. Matematiksel konumunun etkisi ile yılın her ayında farklı bir güneşlenme süresine sahip olabileceği gibi güneşin konumu gereği ışınım açısının yılın her ayında farklı olmasıdır. Güneş panelleri zaman zaman güneş tutulmasının etkisi altında da kalmaktadır. Ayrıca santralin özel konumu gereği özellikle ilk ve sonbaharda oluşan ani hava değişimleri bulutlanmalarda ani değişken bir ışımaya etkisi oluşturmaktadır.

### E. *Işıma Şiddetinin Süresi ve Açısı*

Işıma şiddetinin süresi ve açısı özellikle matematiksel konum gereği yaz ve kış ayların değişkenlik göstermekte, yazın daha uzun süreler ve daha dik açı ile

ışırma alan güneş santralleri, kışın daha az süre dik olamayan ışırma almakta, bu durum santralin üretim düzenin etkilemekte. Bu konuyu daha ayrıntılı anlata bilmek için Türkiye’de yer alan ve 37°47’27’’K 33°35’05’’D koordinatlara sahip kurulu gücü 1000 MW/saat olan Karapınar Güneş Enerji Santralinin farklı mevsimlerdeki saatlik üretimi inceleyerek açıklayalım.Aşağıdaki grafikte santralin 21 aralık günü 24 saatlik üretimi MW/saat cinsinden verilmiştir.

Üretim > Gerçekleşen Üretim > Uzlaştırma Esas Veri Miktarı (UEVM)

Uzlaştırma Esas Veri Miktarı (UEVM) **i**

Veri Kaynağı: TEİAŞ / Dağıtım Lisansına Sahip Tüzel Firmalar

Başlangıç Tarihi: 21.12.2022 Bitiş Tarihi: 21.12.2022 Santral Adı: KARAPINAR YEKA-1 GES- Uygula

Tarih	Saat	Toplam (MWh)	Doğal Gaz	Barajlı	Linyit	Akarsu	İthal Kömür	Güneş
21.12.2022	00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	02:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	03:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	04:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	05:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	06:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	07:00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
21.12.2022	08:00	37.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.34
21.12.2022	09:00	286.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	286.04
21.12.2022	10:00	459.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	459.44
21.12.2022	11:00	339.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	339.20
21.12.2022	12:00	235.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	235.87
21.12.2022	13:00	190.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.70
21.12.2022	14:00	153.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	153.14
21.12.2022	15:00	92.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	92.43
21.12.2022	16:00	44.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.37
21.12.2022	17:00	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70
21.12.2022	18:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.12.2022	23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Grafik 1 – Karapınar YEKA 1 GES’in 21.12.2022 tarihli üretim verileri [20]**

Grafığı incelediğimizde Karapınar YEKA-1 GES üretiminin saatlik olarak maksimum seviyesi olan 1000 MW/saatın saatlik olarak yarısını bile sağlayamadığı açıkça görülmektedir.Aynı santralin 01 nisan 2023 günü 24 saatlik üretimi Grafik 2 ‘de MW/saat cinsinden verilmiştir.

Üretim > Gerçekleşen Üretim > Uzlaştırma Esas Veri Miktarı (UEVM)

Uzlaştırma Esas Veri Miktarı (UEVM) **i**

Veri Kaynağı: TEİAŞ / Dağıtım Lisansına Sahip Tüzel Firmalar

Başlangıç Tarihi: 01.04.2023 Bitiş Tarihi: 01.04.2023 Santral Adı: KARAPINAR YEKA-1 GES- Uygula

Tarih	Saat	Toplam (MWh)	Doğal Gaz	Barajlı	Linyit	Akarsu	İthal Kömür	Güneş
01.04.2023	00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	02:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	03:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	04:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	05:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	06:00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77
01.04.2023	07:00	62.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.69
01.04.2023	08:00	205.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	205.86
01.04.2023	09:00	769.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	769.97
01.04.2023	10:00	998.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	998.69
01.04.2023	11:00	998.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	998.49
01.04.2023	12:00	998.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	998.59
01.04.2023	13:00	998.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	998.02
01.04.2023	14:00	930.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	930.97
01.04.2023	15:00	745.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	745.63
01.04.2023	16:00	846.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	846.00
01.04.2023	17:00	176.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	176.44
01.04.2023	18:00	62.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.25
01.04.2023	19:00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
01.04.2023	20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01.04.2023	23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Grafik 2 – Karapınar YEKA 1 GES’in 01.04.2023 tarihli üretim verileri [20]**

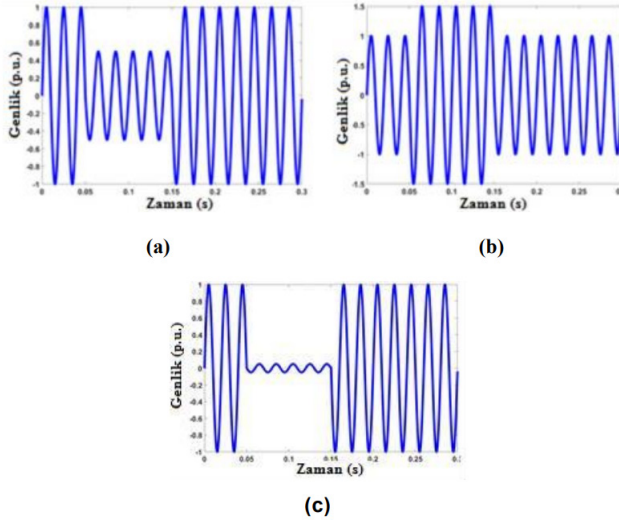
Grafik 2'deki grafiği incelediğimizde ise öğle saatlerinde santralin 1000 MW/saat üretim hedefine ulaştığı görülmektedir. Karapınar YK-1 Güneş Enerjisi Santralının aylara göre, günlere göre ve hatta günlük bulut oranına göre bu düzensiz ve değişken üretiminden dolayı enterkonnekte sistem üzerinde istenmeyen olumsuz yük değişimleri meydana gelmektedir. Enterkonnekte sistem böyle olumsuzluklar karşısında ihtiyacı olan gücü farklı santrallerden giderme ihtiyacı duyacaktır. Bu sorunun giderilmesi amacıyla GES kurulu güç oranı artırılıp, fazla enerji depolanıp ihtiyaç halinde devreye alınabilir. Fakat böyle bir işlem günümüz şartlarında çok maliyetli olacağından dolayı, bu tip doğa olayları kabul edilebilir zararlar çerçevesinde değerlendirilmektedir.

#### F. *Sürekli Gerilim Değişimleri ve Bozulmaları*

Yenilenebilir enerji kaynaklarında, çıkış gücü gerilim seviyesinde genel anlamda artış veya düşüşler gözlenebilmektedir. Uluslararası standartlara göre yüksek gerilim sistemlerinde bu değişim  $\pm 10\%$  Vrms toleransını sağlamalıdır [9].

Bir dakikadan daha uzun süre boyunca meydana gelen nominal gerilimin etkin değerindeki değişimler uzun süreli gerilim bozulmaları olarak adlandırılır. Gerilim genlik değerine bağlı olarak bu değişim sistemdeki kalıcı arızalar, yük değişimi ve anahtarlama işlemleri ile ilişkili olabilir. Gerilim değişiminin büyüklüğüne bağlı olarak, uzun süreli gerilim değişimleri düşük gerilim, aşırı gerilim ve sürekli kesinti durumları olarak sınıflandırılabilir. Şebeke nominal geriliminin etkin değerinde meydana gelen kısa süreli değişimler kısa süreli gerilim bozulmaları olarak adlandırılır. Aşırı güç çeken motorlar, aşırı yüklenme ve hat boyunca meydana gelen arızalar gerilim çökmesine neden olmaktadır. Gerilim çökmesi olayı, şebeke frekansında çalışan bir güç sisteminde 10ms-60s zaman aralığında sınırlı olmak kaydıyla, gerilimdeki  $\%10-90$  arasında meydana gelen azalma olarak tanımlanır [21].

Gerilim sıçraması olayı, şebeke frekansında çalışan bir sistemde 10ms-60s zaman aralığında sınırlı olmak kaydıyla, gerilimdeki  $\%110-180$  arasında meydana gelen artış olarak tanımlanır. Büyük endüktif yüklerin devreden alınması veya büyük kapasitör banklarının devreye alınması gibi güç sistemindeki manevralar ile simetrik olmayan arızaların, arızasız fazlarında gerilim sıçramaları oluşur. Konumuna ve güç sistemi koşullarına bağlı olarak bir arıza veya güç kalitesi problemi, gerilim çökmesine, gerilim sıçramasına veya gerilim kesintisine neden olabilir. Şekil 12'de arıza sonrasında oluşan gerilim şekilleri gösterilmiştir [22].



Şekil 12 - (a) Gerilim Çökmesi (b) Gerilim Sıçraması (c) Gerilim Kesintisi

### G. Gerilim Dengesizliği

Güç kalitesini etkileyen diğer bir önemli etken de gerilim dengesizliğidir. Gerilim dengesizliği, dengeli ve eşit olması gereken üç fazlı sistemlerde, fazlar arasındaki gerilim farklarından kaynaklanır. Fotovoltaik sistemde buna benzer meydana gelen faz farkları, dağıtım şebekesinin fazlarını da etkiler [9].

Alçak gerilim şebekesi için sadece gerilimin negatif bileşeni dikkate alınarak oluşturulan EN 50160 standartlarına göre ölçüm süresinin %95'inde gerilim dengesizliği %2'yi geçmemelidir. Gerilim dengesizliğinin önlenmesi amacıyla her bir faza eşit miktarda FV santral bağlanarak, güç fazlara mümkün olduğunca eşit olarak dağıtılmalıdır.

### H. Gerilim Dalgalanmaları

Sağlıklı bir şebekede, 50 Hz frekansında ve saf bir sinüs dalgası şeklinde olması gerekir. Fakat her zaman bu durum geçerli değildir. Şebeke gerilimi bazen daha düşük frekanslarda salınımlar yapabilir. Gerilim titremeleri, sürekli yükteki gerilim dalgalanmalarından kaynaklı aydınlatma armatürlerinde titremelere neden olan 50 Hz'den düşük gerilim salınımlarıdır. Titreme şiddeti, gerilim dalgalanmalarının genlik, şekil ve tekrarlanma sıklığı gibi faktörlerine bağlı olup birtakım yaklaşımlar ile tahminleri mümkündür [9].

PV sanraller devreye girip çıkarken, gerilim düşümü veya yükselmesine neden olabilir. Bu değerler ise IEC 61000-3-3 standartlarına göre şebeke bağlantılı sistem devreye girerken ve çıkarken nominal gerilimin  $\pm\%3,3$ 'ünü aşmayacak şekilde sınırlandırılmıştır(Çizelge 1) [23].

PV Sistem Çalışma Durumu	Maksimum Değer
Şebeke Bağlantılı PV Sistem Devreye Girerken	$\pm \%3,3$ V
Şebeke Bağlantılı PV Sistem Devreden Çıkarken	$\pm \%3,3$ V
Devrede olduğu sürede (%95)	$\pm \%10$

**Çizelge 1** - Gerilim dalgalanması için sınır değerleri (Limit values for voltage fluctuation) [24].

Ayrıca güç sisteminin devrede olduğu sürenin %95'inde standartlar gereği nominal gerilim değerinin  $\pm \%10$ 'unu aşmamalıdır. Özellikle gerilim analizi yapılırken sistemin dayanabileceği sınır değerlerinde analiz yapılması bu açıdan önemlidir [22].

### **I. Güç Frekans Değişimleri**

Frekans güç kalitesi hususunda en önemli etkenlerden bir tanesidir. Güç arzında ve talebindeki dengesizlikler, frekans salınımlarına neden olurlar. Bundan ötürü şebeke bağlantılı sistemlerde, şebeke frekansı ile sistem frekansı senkronize edilmelidir [25]. Güç kalitesi standartları, IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) ve IEC (International Electrotechnical Commission) konsorsiyumuyla hazırlanmaktadır. Güç kalitesini etkileyen sebepler;

- Yarı iletken teknolojisiyle üretilmiş ekipmanların güç elektroniği ekipmanlarına göre daha hassas olması durumu, güç kalitesinin düşümüne neden olabilmesi,
- Şebekelerde kullanılan kondansatör ve verimi yüksek motor sürücüleri gibi ekipmanların harmonik bozunumları arttırması,
- Birbiriyle enterkonnekte olan şebeke elemanlarından birinde yaşanan sıkıntının diğer noktaları da etkilemesi, olarak sıralanabilir [26].

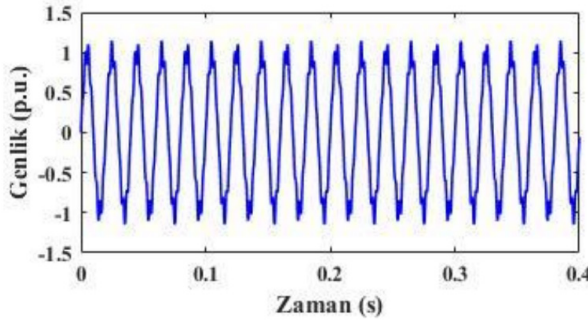
Frekans değişimi, güç sistemindeki frekans değerinin nominal değerinden sapmasıdır. Güç sistemdeki yük miktarı ile üretilen güç miktarının uyuşmaması frekans değişimine yol açar. Frekans değişiminin boyutu ve süresi ise yük kontrol sisteminin cevabına bağlıdır. TS EN 50160 standartlarına göre normal çalışma şartları altında şebeke bağlantılı bir FV sistemde ve şebekede yıl içindeki çalışma sürelerine göre sınır aralıkları Çizelge 2'de verilmiştir.

TS EN 50160	Yüzde sınırı	Değer Aralığı	Çalışma Süresi
Frekans	50 Hz $\pm \%1$	49,5 Hz-50,5 Hz	99,50%
	50 Hz +%4/ -%6	47 Hz-52 Hz	100%

**Çizelge 2** - Frekans Ortalama Değer Sınırları

### J. Kırpışma

Gerilim dalgalanması sonucunda oluşan kırpışma dağıtım şebekesinden bağımsız, tüketici yüklerden kaynaklanan bir güç kalitesi olayıdır. Güç kalitesi olayları arasında en sık karşılaşılan problemlerden biri olan kırpışma, güç sistemi nominal frekans ve gerilimde çalışırken, gerilimin çeşitli nedenlerden dolayı daha düşük bir frekansta ve genlikte salınmasının sonucunda oluşur. Kırpışma, bir lambada parlaklığın dalgalanmasına, manyetik çekirdeğe sahip cihazlarda arızalara ve elektrik motorlarında hız değişimlerine neden olur. Kırpışmanın büyüklüğü, gerilimdeki değişime ve bu değişimin frekansına bağlıdır. Kırpışma içeren bir gerilim sinyali Şekil 8’de verilmiştir. Kırpışma sınır değerleri IEEE Std. 1453-2004 ve IEC 61000-2-2 standartlarına uygun olmalıdır [27].



Şekil 13 - Kırpışma İçeren Gerilim Dalga Şekli

Standartlarla sınırları çizilen kırpışma olayı kısa dönem ve uzun dönem olmak üzere iki başlık altında incelenir. Uzun dönem kırpışma için hesaplanan PLT değeri ise 2 saat boyunca onar dakika aralıklarla yapılan ölçümler sonucu elde edilen PST değerlerinden hesaplanır [22].

$$P_{LT} = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{n=1}^{\infty} P_{ST}^3}$$

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna ait Elektrik Şebekesi Yönetmeliği’nde 1 saat içinde 10 seferden fazla gerçekleşen hızlı gerilim değişimleri kırpışma olarak değerlendirilmiştir. IEC 61000-2-2 ve IEC 6100-3-3 standartlarına göre uzun dönem ve kısa dönem kırpışma sınır değerleri Çizelge 3’te verilmiştir [28].

EC 61000	PV Santral (IEC 100-3-3)	Tüketici (IEC 6100-2-2)
P <sub>ST</sub> (Kısa Dönem)	≤ 1.00	≤1.00
P <sub>LT</sub> (Uzun Dönem)	≤ 0.65	≤ 0.80

Çizelge 3 - Kırpışma Sınır Değerleri

### K. Doğru Akım Enjeksiyonu

AG şebekesine bağlı Fotovoltaik üretim santralindeki inverterler sisteme DC akım verebilirler. DC akım enjeksiyonu dağıtım transformatörünü doyuma götürerek dalga şeklinin nominal koşulların dışına çıkmasına neden olur. IEEE Std 929-2000 standartlarına göre inverterler üzerinden sisteme verilen bu DC akım, nominal akımın %0,5'i ile sınırlandırılmıştır [20].

## XVII. PUBLICATION PRINCIPLES

The contents of SUTIS 2023 are peer-reviewed. The symposium will publish scholarly articles of archival value as well as tutorial expositions and critical reviews of classical subjects and topics of current interest.

Authors should consider the following points:

- 1) Technical papers submitted for publication must advance the state of knowledge and must cite relevant prior work.
- 2) The length of a submitted paper should be commensurate with the importance, or appropriate to the complexity, of the work.
- 3) Authors must convince both peer reviewers and the editors of the scientific and technical merit of a paper; the standards of proof are higher when extraordinary or unexpected results are reported.
- 4) Because replication is required for scientific progress, papers submitted to the symposium must provide sufficient information to allow readers to perform similar experiments or calculations and use the reported results.

### Sonuç

Bu çalışmada öncelikle enerji, enerji çeşitleri, yenilenebilir enerji ve güneş enerjisi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, enterkonnekte sistem, şebeke çeşitleri, on grid şebeke konularından bahsettikten sonra güneş enerjisi sistemlerinin enterkonnekte şebeke üzerindeki etkilerini

incelenmiştir. Tüm incelemeler sonucunda güneş enerjisi sistemlerinin şebekeye verdiği zararlar ve korunma yöntemleri aşağıda belirtilmiştir.

- Sistemde oluşan harmonikleri azaltmak amacıyla kullanılan filtrelerin önemini ortaya çıkarmak için bir inceleme yapılmıştır. İncelemenin sonucunda filtre kullanmadığımız zaman üretilen güç miktarının ve sistemin performansının azaldığı görülmüştür.
- Kısa devre etkisinden korunmak için, hat üzerindeki devre elemanlarının yalıtımı iyi yapılmalıdır. Ayrıca hattın topraklaması topraklama mevzuatına uygun yapılmalı ve rutin kontrolleri sağlanmalıdır.
- Güneş enerji santralının güneşlenme süresi yani aldığı ışınım (radyasyon) miktarı, santralin üretimini etkileyen en önemli husustur. Santralin coğrafi konumu güneşlenme süresini yani ışınım miktarını doğrudan etkiler. Coğrafi konunun yanında mevsimsel değişiklikler, günlük bulutluluk oranı, güneş tutulması gibi doğal olaylar üretilen güç miktarını olumsuz olarak etkilemekte, ihtiyaç duyulan enerji diğer santrallerin devreye girmesiyle karşılanmaktadır. Bu olumsuzluktan en az şekilde etkilenmek için, tüm santrallerdeki kurulu güç oranı yükseltilmeli, olası bir ihtiyaç durumunda sorunsuz bir şekilde devreye alınmalıdır.
- Güneş enerji santralının çıkış gücü gerilim seviyesinde genel anlamda artış veya düşüşler değişim  $\pm$ %10 Vrms toleransını sağlamalıdır.
- Enterkonnekte sistemde oluşan gerilim dengesizliğinin önlenmesi amacıyla her bir faza eşit miktarda Fotovoltaik santral bağlanarak, güç fazlara mümkün olduğunca eşit olarak dağıtılmalıdır.
- Sistem üzerinde gerilim kontrol rölesi gibi koruma elemanları kullanıp gerilim dalgalanmalarının önüne geçilmelidir.
- Şebeke bağlantılı (On Grid) sistemlerde, şebeke frekansı ile sistem frekansı senkronize edilmelidir, aksi takdirde sistemdeki güç arzı ve talebinde dengesizlikler meydana gelir.
- Sistem üzerinde 50 Hz altındaki gerilim salınımları kırışıma yol açar. Kırışıma, motor ve generatörlerin performansını negatif etkiler, elektronik cihazların kullanım süresini azaltır, bilgisayar dünyasında işlem kayıplarına neden olur, ve ışık kaynaklarının etkinliğini bozar. Bu nedenle sistem üzerinde frekans değerimizi 50 Hz'in altına düşürmemeliyiz.
- Dağıtım transformatörünün dalga şeklinin nominal koşulların dışına çıkmasına engel olmak için inverterler üzerinden sisteme verilen DC akım, nominal akımın %0,5'ini geçmemelidir.



## KAYNAKLAR

- [1] Enerji Kaynakları - Yenilenebilir Enerji Durumu, Erdem Koç, Kadir Kaya.
- [2] H. H. Öztürk. Yenilenebilir Enerji Kaynakları. İstanbul: Birsen Yayınevi 2021, Pp.667.
- [3] Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ayşe Rüya Ataman.
- [4] Fotovoltaik Paneller Yardımı İle Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi Ve Gelecekteki Projeksiyonu, Şevki Çağlar Çolak.
- [5] Güneş Enerji Santrali (Ges) Geliştirme: Uşak Örneği, Fatih Taktak, Mehmet İli.
- [6] Bellia, H., Youcef, R., Mouley, F., “A Detailed Modelling Of Photovoltaic Module Using Matlab”, National Research Institute Of Astronomy And Geophysics Journal, 53-61, (2014).
- [7] Doğan, S., “Şebeke Etkileşimli Fotovoltaik Güç Sistemlerinin İncelenmesi Ve Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (2018).
- [8] Çubukçu, M. “Türkiye’nin Farklı Konumlarında Farklı Topolojilerde Fotovoltaik-Rüzgar-Yakıt Pili Hibrid Güç Sistemlerinin Modellenmesi Karşılaştırmalı Simülasyonu Ve Uygulamalı Performans Analizi”.
- [9] Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Santrallerinin Harmoniklerine Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, Emre Nedimoğlu, Bilal Gümüş.
- [10] Tedaş, 2016.
- [11] Peren, V. “Fotovoltaik Su Pompalama Sistemi Tasarımı Ve Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (2016).
- [12] Kandemir Ç, Bayrak, M., Fotovoltaik Sistemler Şebekeye Bağlı Olduğunda Oluşan Sorunlar, Elektrik Mühendisleri Odası
- [13] Çelebi Ve Çolak, 2005.
- [14] Terzioğlu H.,Ağaçayak A.C.,Yalçın G.,Neşeli S. (2019). Alternatif Akım Ölçme ve Kaydetme Sistemi. 8thInternational Vocational Schools Symposium (UMYOS`xx19), 2(8), 69-77 (Yayın No:5219069)
- [15] Ağaçayak A.C., Terzioğlu H., Neşeli S., Yalçın G., “Small Power Wind Turbine Design,” Acad. Studies in Eng., Gece Publishing, pp. 121-130, 2018.
- [16] Akdeniz, 2006; Moazzenzadeh, Şekerci, 2010; Şimşek, Bizkevelci 2013; Du, Lu, 2018)
- [17] Schlabbach Ve Gross, 2007; Hong Ve Zuercher, 2010; Sefa Ve Altın, 2009.
- [18] (Rao Ve Srikanth, 2016).
- [19] Kurt G. Enerji Dağıtım Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2009
- [20] <https://Seffaflik.Epias.Com.Tr/Transparency/Uretim/Gerceklesen-Uretim/Uevm.Xhtml>
- [21] Fotovoltaik Güneş Santrallerinde Şebeke Bağlantı Sorunları Ve Çözümleri, Nursal Arıcı , Aslı İskender
- [22] Ağaçayak, A.C., Yalçın G., Neşeli, S., (2019). “Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi,” Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri, Gece Akademi, pp. 121- 130.
- [23] Yılmaz, A., “Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik (Pv) Sistemlerin Mevcut Elektrik Şebekesi İle Entegrasyonu Ve Güç Sistemine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, (2018).
- [24] [http://Www.Emo.Org.Tr/Ekler/0f027d0cc62ecbd\\_Ek.Pdf](http://Www.Emo.Org.Tr/Ekler/0f027d0cc62ecbd_Ek.Pdf)

- [25] Electromagnetic Compatibility (Emc), Limits – Limitation Of Voltage Changes, Voltage Fluctuations And Flicker In Public Low-Voltage Supply Systems, For Equipment With Rated Current  $\leq 16$  A Per Phase And Not Subject To Conditional Connection”, Iec 61000-3-3, (2002).
- [26] (Kocatepe Ve Ark., 2003).
- [27] (Rashid, 1995, Arillaga 1997).
- [28] (Hernández, J. C., Ortega, M. J., De La Cruz, J., And Vera, D., “Guidelines For The Technical Assessment Of Harmonic, Flicker And Unbalance Emission Limits For Pv-Distributed Generation”, Electric Power Systems Research, 81(7): 1247-1257, (2011).
- [29] Epdk, “Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ”, T.C. Resmi Gazete, 28783, (2013).

# BÖLÜM 5

## DERİN ÖĞRENME İLE BİTKİ HASTALIK TESPİTİ 3FARKLI HASTALIK TESPİT ETME

V. ELALİ<sup>1</sup>, M. ALABDOU<sup>2</sup>

---

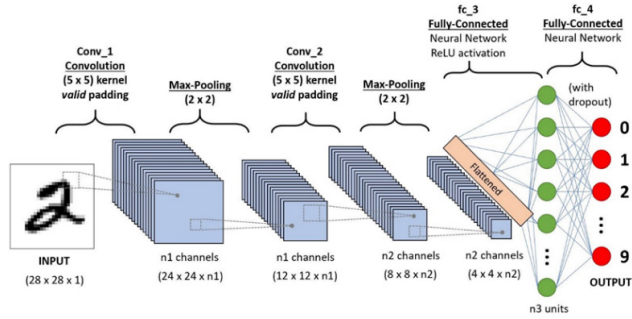
### GİRİŞ

Canlıların dünyasının en önemli gruplarından biri olan bitkiler, genel olarak fotosentezle kendi besinini kendisi üretebilen, kökü, gövdesi ve yaprakları olan canlılar olarak tanımlanır. Bitkilerin yüz binlerce değişik türü vardır. Bu türlerin boyutları, ancak mikroskopla görülebilen bazı yaprak Yosunları gibi çok küçük bitkilerden başlayıp, Kaliforniya'nın kıyı sekoyaları gibi yaklaşık 90 metre boyundaki dev bitkilere kadar uzanır. Fotosentez, su ve karbondioksitin hammadde olarak kullanıldığı, güneş ışığı ile etkileşime giren ve sonucunda glikoz ve oksijen ürünlerinin sentezlendiği fotokimyasal bir olaydır. Klorofil yardımı ile gün ışığını enerji kaynağı olarak kullanan bitki, bir dizi kimyasal reaksiyon sonucunda şeker türevleri organik bileşikler üretir

Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks - CNN) derin öğrenme algılayıcıların bir türüdür. CNN, derin öğrenme alanında genelde büyük veri kümelerinde sıkça kullanılan çok katmanlı yapay sinir ağıdır. Son dönemlerde derin öğrenme algoritmaları özellikle tıp ve görüntü işleme alanlarında sıkça kullanılmıştır ve görüntü işleme alanlarında genelde evrişimsel sinir ağları kullanılmaktadır. Evrişimsel sinir ağları, özellikleri saptamak için kullanılan "convolutional layer", sisteme doğrusal olmayanlığın (non-linearity) tanıtılması için kullanılan "Non-Linearity Layer", ağırlık sayısını azaltılması ve uygunluğunun kontrol edilmesi için kullanılan "Pooling (Downsampling) Layer", özellik sayısının tek boyuta dönüştürülmesi için kullanılan "Flattening Layer" ve sınıflama için kullanılan "Fully-Connected Layer" benzeri birçok katmandan oluşmaktadır. Temel olarak CNN, sınıflandırma sorununun çözümü için standart sinir ağı kullanır, ancak ayrıştırıcı bilgileri belirlemek ve bazı özellikleri tespit etmek amacıyla diğer katmanları kullanır. İlk evrişimsel sinir ağı 1988 yılında Yann LeCun tarafından ortaya atılan ve 1998'lere

<sup>1</sup> Selcuk University, Konya/Turkey, 203302080@selcuk.edu.tr

kadar iyileştirmeleri devam eden LeNet isimli mimaridir. LeNet ağında, alt katmanlar art arda yerleştirilmiştir ve ağ evrimsel ve maksimum havuzlama katmanlarından oluşur. Sonraki üst katmanlar ise tamamen bağlı geleneksel çok katmanlı yapay sinir ağlarına karşılık gelmektedir.



Şekil 1. Konvolüsyonel sinir ağları mimarisi

CNN'ler görüntü ve ses işleme alanı başta olmak üzere doğal dil işleme, biyomedikal gibi birçok farklı alanda uygulanmaktadır. Bu tez çalışmasında, CNN bitki hastalık tespiti için kullanılmıştır. Hastalığın iyi bir şekilde anlaşılması, rastlandığında yeni veya nadir türlerin belirlenmesine yardımcı olmak için esastır. Bu sınıflandırma, ilaç endüstrisinin gelişmesine yardımcı olacaktır. Tezde önerilen sistem, bilişim uzmanlarının yanı sıra botanikçiler, kampçılar ve doktorlar tarafından da kullanılabilir. Bu, konu hakkında daha fazla bilgi edinmek, en iyi eşleşen sonuçları bulmak ve buna göre arama yapmak için fotoğrafın metin yerine girdi olarak alınabileceği bir resim arama çözümü olarak ele alınabilir genişletilebilir (Gurnani, 2017). Hastalık türlerinin tespiti önemli bir görev olduğundan, sıklıkla araştırılmaktadır ve birçok farklı yaklaşım araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Önceden, deforme edilebilir parça modelleri, yönlendirilmiş gradentlerin histogramı ve ölçek değişmez özellik dönüşümü gibi yöntemler, özellik çıkarımı, doğrusal hastalık sınıflandırıcılar ve nesne dedektörlerinde girdi oluşturmak amacı için kullanılmıştır. Daha sonra çalışma, manuel özellik mühendisliği kullanılarak bölümlendirme ve sınıflandırma ve hastalık tespit üzerinde durulmuştur. Ancak günümüzde, en iyi performanslar CNN'ler ile sağlanmıştır. CNN'ler sağlamlık ihtiyacını yerine getirmiş ve manuel özelliklere duyulan ihtiyacı gidermiştir. CNN'ler, yapay sinir ağlarına benzerler ancak özellik mühendisliği gerektirmezler. Her bir nöron bazı girdiler alır, bir nokta ürünü yapar ve isteğe bağlı olarak doğrusal olmayan bir işleme takip eder. CNN'ler ayrıca optimizasyon için en aza indirilecek olan bir kayıp fonksiyonuna sahiptir

(Gurnani, 2017). CNN'ler son yıllarda birçok görüntü sınıflandırma ve işleme görevinde bilgisayar doğruluğunu büyük ölçüde arttırmıştır. Bununla birlikte, daha geniş görüntü gruplarının hastalık tespiti konusunda çok fazla çalışma yapılmış olsa da, dar kapsamdaki tespit problemleri daha az araştırılmıştır. bitki taksonomisi böyle bir sorunun başlıca örneğidir - bitki örtüsü farklı ve çeşitli olsa da, temel konu aynıdır, bu yüzden görüntülerin çoğu hala özelliklerde büyük bir örtüşmeyi paylaşır bitki rijit olmayan cisimlerdir ve görüntüden görüntüye farklı şekillerde deforme olabilirler. Daha genel olarak, taksonomi kendi başına ilginç bir görüntü sınıflandırma, tespit problemidir; insanlar bazı hastalık türleri arasında doğru şekilde ayırım yapılması için önemli bir eğitim alır ve çoğunlukla zaman çok özel morfolojik özellikler birbiriyle yakından ilişkili organizmaları birbirinden ayıran tek şeydir. Ayrıca, bu belirli özellikler, belirli bir bitki türünden diğerine tamamen farklı olabilir (örneğin, gövde uzunluğu - taç yaprağı şekli) (Mignot, 2016). Evrimsel sinir ağları ilk olarak Fukushima tarafından tanıtılmıştır ve daha sonra LeCunn ve ark. öğrenme için backpropagation algoritmasını kullanmıştır. Bu çalışmalar başarılı derin mimarilerin ilk örnekleridir. Seksenlerin ortasından beri kullanılmaktadırlar ve belirli alanlarda da ticari başarı elde etmişlerdir. LeCunn'un LeNet mimarileri, belge mektubu, sayı tespiti ve yüz tanıma gibi belirli görevlerde mükemmel performanslar göstermiştir. 2006 yılına kadar, çok özel görevler için tasarlanan CNN'ler dışında derin öğrenme için uygun araçların tasarlanmasında çok fazla bir başarı elde edilememiştir. O zamandan bu yana çok sayıda çalışma yapılmıştır ve her birinin kendi yararına sahip olduğu birçok yeni mimar mevcuttur. Özellikle denetlenmeyen özellik öğrenmesi için açgözlü katman bilge eğitim stratejisi büyük potansiyel göstermiştir. Derin denetimsiz öğrenme, büyük etiketli veri setlerine daha az dayanır ve bu nedenle transfer öğreniminde, örneğin eğitim ve test dağılımları arasında küçük farklılıklar olduğunda olağanüstü sonuçlar üretir. Bir örnek daha önce bulunmayan kategoriler hakkında bilgi yakalayabilmektir. Bazı çalışmalar, belirli bir veri kümesinden öğrenilen özelliklerin, tamamen farklı veri kümeleriyle denetimli ortamlarda bile kullanılabilceğini göstermiştir. Öte yandan, derin denetimli öğrenme mimarileri, özellikle derin evrimsel sinir ağları, çok sayıda etiketlenmiş veri ile denetlenen öğrenme görevlerine gelince olağanüstü performans göstermektedir. CNN'ler, belge tanıma gibi belirli alanlara başarıyla uygulanmıştır. Son üç veya dört yıl boyunca, daha karmaşık vizyon temelli sınıflandırma problemleri konusunda olağanüstü performans gösteren CNN mimarilerini sunan makaleler yayınlanmıştır. Ciresan ve ark. NORB ve CIFAR-10 veri setlerinde en gelişmiş performansı göstermektedir. En dikkat çekici performans sonucu Krizhevsky

ve ark. ImageNet 2012 sınıflandırma kriterlerinde, tamamen denetimli on katmanlı CNN modeliyle elde edilmiştir. Son geliştirmeler ile hatayı %26,1'den %15,3'e düşürmeyi başarmışlardır. O zamandan bu yana, birçok yarışmayı kazanan AlexNets (ana yazarın ilk isminden türetilmiş) denilen genişlemelerle elde edilmiştir. ImageNet 2012 kıyaslama kriterinin daha derin ağ hata oranı kullanılması ile %6,5'e getirilmiştir (Karagöz, 2015).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bugüne kadar CNN modeli araştırmacılar tarafından hastalık teşhisi, yüz tanıma ve nesne tanıma gibi birçok sınıflandırma probleminde kullanılmıştır. Son yıllarda, CNN modeli ile ilgili yapılan çalışmalar bu bölümde incelenmiştir.

İnik, Ö. ve Ülker yaptıkları çalışmada, derin öğrenme modelleri ve evrişimsel sinir ağları hakkında detaylı bilgi vermişlerdir. Yazarlar çalışmada özellikle evrişimsel sinir ağı mimarisinin katmanları olan evrişimsel, havuzlama, ReLu, DropOut, tam bağlantılı ve sınıflandırma katmanı hakkında detaylı bilgiler vermişlerdir. Bu çalışmada ayrıca derin öğrenmede temel mimariler olarak kabul edilebilecek AlexNet, ZFNet, GoogLeNet, Microsoft RestNet ve RCNN mimarileri anlatılmıştır (İnik, 2017). Büyükyılmaz yaptığı çalışmada, evrişimsel sinir ağı derin öğrenme algoritması tasarlayarak, Eimeria parazit türlerini otomatik olarak algılamışlar ve bunların hastalıklı olup olmadığını tespit etmişlerdir. Tasarlanan çok katmanlı sinir ağı ve evrişimsel sinir ağı sistemine giriş olarak tavuk ve tavşanlara ait Eimeria mikroskopik görüntüleri verilmiş, daha sonra bu hayvanlarda görüntülerine göre hastalığı tespit edilmiştir. Sistemin yazılım kısmında var olan OpenCV ve Keras gibi kütüphanelerden faydalanarak farklı modeller oluşturulmuş ve testler yapılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre tavuk veri kümesi için %87.75 doğruluk oranıyla, tavşan veri kümesi için %78.42 doğruluk oranıyla hastalıklı hücreler sınıflandırmıştır (Büyükyılmaz, 2017). Powell yaptığı çalışmada, sosyal sanal gerçeklik (SG) için bir kıvrımlı nöral ağlar (KNA) sistemi tasarlamıştır. Bu sistemin ilk adımında sosyal SG platformları tarafından uygulandığında, kullanıcılar arasındaki tacizi engelleme konusunda etkili bir araç olmaktadır, aynı zamanda KNA ile sosyal SG'de üretilen üç boyutlu bayağı görsel unsurları sınıflandırmak için de bir metot sunulmuştur. Sistemin test aşamasında %78 tutarlılık oranıyla ayıklamak için kullanılabilir bir sınıflandırma modeli üretmiştir (Powell, 2018). Ergün yaptığı çalışmada, video verileri içindeki görsel kavramların arama ve geri getirme uygulamalarına yönelik bir sınıflandırma sistemi tasarlamıştır. Tasarlanan sistemde kelime kümesi yaklaşımı ve evrişimsel sinir ağları olarak iki görsel sınıflandırma yaklaşımı kullanılmış, kelime kümesi

temsili ve evrişimsel sinir ağları aşamalarında optimizasyonlar yaparak, öğrenme algoritmalarının başarımları artırılmaya çalışılmıştır. Önerilen algoritmalar Oxford buildings ve Paris (Ergün, 2016) veri kümeleri üzerinde test edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre kelime kümesi temsili ve evrişimsel sinir ağları aşamalarında yapılan optimizasyonlar yüksek performans sergilemiştir (Ergün, 2016). Yurdakul yaptığı çalışmada, evrişimsel yapay sinir ağları mimarisinde video semantik bölütlenmesine derinlik ve zaman bilgilerinin katkılarını araştırmak için bir sentetik ve bir gerçek RGBD video veri kümesi uygulamıştır. Deneysel sonuçlar, derinlik bilgisinin semantik bölütleme sonuçlarını geliştirdiğini ve zaman bilgisinden faydalanmanın daha yüksek kaliteli çıktı bölütlemeleriyle sonuçlandığını göstermektedir (Yurdakul, 2017). Anwer yaptığı çalışmada, derin öğrenme CNN algoritmasını tıp alanında kullanmıştır. Anwer tez çalışmasında, göğüs kanseri teşhisi için derin öğrenme CNN tabanlı bir sistemi önermiştir. Önerilen CNN tabanlı sistemi Wisconsin UCI makine öğrenme deposundaki göğüs kanseri veri setleri üzerinde test etmiştir. Deneysel sonuçlara göre önerilen sınıflandırma tabanlı göğüs kanseri teşhis sistemi çok başarılı bir şekilde hasta teşhisi yapmıştır (Anwer, 2017). Mignot ve Siegelman çalışmalarında 102 sınıfı bir resim veri kümesini sınıflandırmak için evrişimsel bir sinir ağı kullanmışlardır. Çalışmada orijinal görüntüler 32 x 32 piksel olacak şekilde yeniden boyutlandırılmış ve küçük bir evrişimsel ağı ve çeşitli veri büyütme stratejileri ile (rastgele kırpma, yansıtma) 0,61'lik göreceli olarak yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Ayrıca, son katmanları ince ayarlayarak önceden tanımlanmış daha derin bir mimari test edilmiş, ancak yüksek doğruluk elde edilememiştir. Naif otomatik taksonomi görevinin daha klasik görüntü tanıma görevlerinden hem zor hem de farklı olduğu sonucuna varılmıştır (Mignot, 2016). Gurnani ve ark. çalışmalarında farklı çiçeklerin sınıflandırılması için derin bir öğrenme ağı geliştirmişlerdir. Bunun için Oxford üniversitesi'nden görsel geometri grubunun 102 çiçek kategorisinde 8189 çiçek verisini kullanmışlardır. Yazarların metodları temel olarak iki bölüme ayrılmaktadır; görüntü bölümlendirme ve sınıflandırma. Sınıflandırma amacıyla iki farklı evrişimsel sinir ağı mimarisi GoogleNet ve AlexNet'i karşılaştırmışlardır. Her iki mimaride de aynı hiper parametreleri koruyarak, GoogleNet'in Top-1 ve Top-5 doğruluğunun sırasıyla %47,15 ve %69,17 olduğunu, AlexNet'in ise Top-1 ve Top-5'in doğruluğunun %43,39 ve %68,68 olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlar, %0,98'lik rasgele sınıflandırma doğruluğuyla karşılaştırıldığında oldukça iyidir (Gurnani, 2017). Lin ve ark. çalışmalarında, başka bir alanda yeni bir görev yapmak için geniş çaplı bir veri kümesinde (örneğin, ImageNet) önceden eğitilmiş CNN

özelliklerini genellemeye / aktarmaya odaklanmışlardır. CNN özelliklerini başka alanlara uyarlayarak üstün sonuçlar elde edilmiş olmalarına rağmen çok az sayıda eğitim örneğiyle derin bir CNN’de ince ayar yapılması sorun olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, bir CNN’de ince ayar yapmak için eğitim örneklerini zenginleştirebilecek bir çerçeve önerilmektedir. Çalışmanın temel fikri, önceden eğitilmiş modelden benzer kalıpları hatırlamak ve bu geri kazanılmış görüntüleri ağına yeniden eğitilmesine dahil etmektir. Oxford 17 ve 102 kategori çiçek veri setleri üzerinde deneyler yapmışlardır. Deneysel sonuçlar, eğitim verilerinin zenginleştirilmesinin ince ayarlı ağına performansını iyileştirdiğini göstermektedir. Yazarların metodları ayrıca diğer modern yaklaşımlara göre üstün performans göstermektedir (Lin, 2015). Nkemelu ve ark. bitki fidelerinin sınıflandırılmasında iki geleneksel algoritma olan destek vektör makinesi ve k-en yakın komşu ile derin öğrenme modellerinden CNN ile çalışmışlardır. 12 tür ve yaklaşık 960 fide için 4.275 farklı görüntü içeren bir veri kümesi kullanmışlardır. Evrimsel sinir ağının diğer algoritmalarından daha başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmanın, CNN verimini optimize etmek ve verimliliğini arttırmak için önemli bir potansiyele sahip olduğu bulunmuştur (Nkemelu, 2018). Hershey ve ark. CNN’lerin görüntü performansındaki başarılarından ilham alarak CNN’nin ses performansındaki başarısını araştırmışlardır. 70M eğitici video veri kümesinin müziğini sınıflandırmak için, tam bağlantılı derin sinir ağları (DNN’ler), AlexNet, inception, VGG ve ResNet kullanılmıştır. Eğitim veri kümesinin boyutunun arttırılmasının başarıyı bir dereceye kadar arttığını göstermişlerdir. Modellerin en iyi performansı ResNet-50 modeli tarafından sunulmaktadır (Hershey, 2017). Şeker ve ark. yaptıkları çalışmada, derin öğrenmenin tarihçesini, derin öğrenmede kullanılan yöntemleri ve derin öğrenmenin uygulama alanlarını anlatılmışlardır. Çalışmada ayrıca, son yıllarda derin öğrenmede kullanılan kütüphaneler ve derin öğrenme üzerine yoğunlaşan çalışma grupları hakkında da bilgiler verilmiştir. Çalışmanın amacı, hem araştırmacılara derin öğrenme konusundaki gelişmeleri anlatmak, hem de derin öğrenme ile çalışılacak muhtemel konuları göstermektir (Şeker, 2017). Karagöz yaptığı çalışmada, derin mimarilerini uydu görüntülerine uygulamıştır, sistemin performansını ve uygunluğunu analiz etmiştir. Derin evrimsel sinir ağlarının başarısı çek okuma, el yazısı tanımlama ve yüz tanımlama gibi birçok görüntü tanıma probleminde evrimsel. Karagöz, tezinde belirli bir derin evrimsel sinir ağı mimarisini seçmiş ve bu mimari denetlemeli öğrenmeyle eğitilmiştir. Deneysel sonuçlarına göre %90 ortalama kesinlik oranı elde etmiştir ve bu rakam uzaktan algılamada derin evrimsel sinir ağlarında umut verici olarak belirtilmiştir



(Karagöz, 2015). Zia yaptığı çalışmada, derinlik ve renk bilgisinin birleştirilmesi problemini geniş çapta araştırmıştır. Yazar, RGB bilgisi için bir 2-D CNN transfer öğrenme ve derinlik bilgisini kodlamak için 3-D evrişimsel Sinir Ağı'nı kullanmıştır. Evrişimsel sinir ağı ile daha iyi özellikler üretmiştir ve RGB-D nesnesi üzerinden iyi bir performansı sergilemiştir (Zia, 2016). Abdunabi yaptığı çalışmada, CNN'yi küçük boyuttaki veriler üzerinde çalıştırıp daha iyi bir sınıflandırma yapısını amaçlamıştır. çalışmasında sunulan CNN, bir çok katmandan oluşmaktadır. Birinci katmanda cümleler ikili tabandaki sayı sistemlerine dönüştürülmektedir. Bir sonraki katmanda cümlelerin özellikleri çıkarılmıştır. CNN ve yapay sinir ağı blokları cümlelerin özelliklerinin öğrenilmesini etkin bir hale getirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, CNN'in sayesinde sınıflandırma çok kısa sürmüştür ve anlaşılması zor olan cümlelerin sınıflandırılması mümkün olmuştur (Abdunabi, 2016). Bhandare ve ark. yaptıkları çalışmada, CNN algoritmasını açıklanmışlar ve algoritmanın ne tür sınıflandırma problemlerinde daha iyi sonuçlar üretebileceğini göstermişlerdir. Çalışmada, yüz tanıma, sahne etiketleme, görüntü sınıflandırması, aksiyon tanıma, insan pozlama tahmini ve belge analizi gibi problemlerin CNN'de nasıl çözülebilir olduğu gösterilmiştir. Ayrıca CNN'nin doğal dil işleme konuşma tanıma ve metin sınıflandırması alanında nasıl kullanıldığı anlatılmıştır (Bhandare, 2016). Taşhan yaptığı çalışmada, evrişimsel sinir ağlarını veri depolama elemanları, hafıza birimleri ve çoklu çekirdek destekli mikro işlemci maliyetlerinin düşmesi için kullanılmıştır. Maliyet düşümünün yanında bu aygıtların birbiri ile uyumlu çalışması ve inter-net teknolojileri ile toplanan veriler ve bu verilerin işlenmesi için gelişmeye başlayan derin öğrenme teknikleri de göz önünde bulundurulmaktadır. Önerilen yöntem başarılı bir şekilde veri depolama elemanları, hafıza birimleri ve çoklu çekirdek destekli mikro işlemci tasarımında kullanılmıştır (Taşhan, 2017). Mercan yaptığı çalışmada, göğüs radyografisini evrişimsel sinir ağları ile göğüs kanseri tespiti için kullanılmıştır. Evrişimsel sinir ağları tabanlı C++ dilinde kodlanan bir yazılım geliştirmiştir. Bu yazılım bir kütüphane şeklinde tasarlanıp ve evrişimsel sinir ağlarının farklı yapılarla çalışmasına yardımcı olmuştur. Bu yazılımın en büyük avantajı görüntülerden hızlı bir şekilde özellik çıkarım işlemini gerçekleştirmesidir. Geliştirilen yazılımın testi ve performansı piksel tabanlı ROC analizi ile gerçekleştirilmiş ve test aşamasında ortalama doğruluk, hassasiyet, özgünlük, yüzdeleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak %99.99 doğruluk, %59 hassasiyet, %99.99 özgünlük değerleri elde edilmiştir (Mercan, 2015). Küçüksubaşı yaptığı çalışmada, otonom İnsansız Hava Araçlar (İHA)'lar ile görsel yapı denetiminde belirlenen konumların yeniden ziyaret edilebilmesi

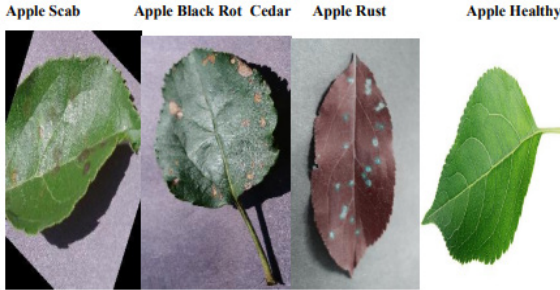
için bir karar destek aracı sunmuştur. Önceden eğitilmiş bir yapay sinir ağı'nın yeniden eğitilmesiyle, araç yüzey çatlaklarını tespit edip noktasal olarak belirlenen konumların denetim sırasında tekrar gözden geçirilebilmesi için görev planlamasında kullanımına yönelik bir yöntem sunmuştur. GPS erişimsiz ortamlarda otonom olarak gezinebilen dört pervaneli bir İHA sistemine entegre edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre sistemin bina denetimi için GPS erişimsiz ortamlarda otonom seyruşeferi ve çatlak algılamayı gerçekleştirdiğini göstermiştir (Küçüksubaşı, 2017). Orhan yaptığı çalışmada, hayvanların sahip oldukları desenleri CNN ile ayırt etmek (örneğin; benekli leoparlar, siyah beyaz çizgili zebra vb) ve konumunu bulmak için EANN kullanan yeni bir yaklaşım önermiştir. Desen özelliklerini öğrenmek için, hayvan vücudunun çeşitli bölgelerinden küçük parçalar alınmış ve bu parçalar modellerin eğitimi için kullanılmıştır. Önerilen CNN algoritmasının eğitim performansı güncel algoritmalarından biri olan Faster R-CNN ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, önerilen eğitim yöntemi Faster R CNN'e göre daha iyi bir performans göstermiştir (Orhan, 2017). Tıp alanında, Anthimopoulos ve ark. (2016), 7 tip interstisyel akciğer hastalığını sınıflandırmak için 2x2 boyutunda kernellere sahip 5 evrişimli katmanından, ardından bir alt örnekleme katmanından ve üç tam bağlantılı katmandan oluşan bir CNN tasarladı. Araştırmacılar, 14696 etiketli görüntü içeren bir veri seti kullandılar ve %85,5'lik bir sınıflandırma performansı elde ettiler. Polat ve Koç (2020) tarafından yürütülen bir başka çalışmada, araştırmacılar CNN'leri cilt kanseri dahil 7 tür cilt hastalığını tespit etmek için kullandılar. Araştırmacılar, CNN'nin sınıflandırma performansını iyileştirmek için toplam eğitim görüntüsünün sayısını artırmak için veri kümesindeki orijinal görüntülere döndürme, ölçekleme, çeviri, gürültü ekleme gibi görüntü artırma teknikleri uygulamışlardır. Araştırmacılar %92,90'lık bir sınıflandırma performansı elde ettiler. Bilgisayar görmede, birçok araştırmacı yüz tanıma görevi için CNN'leri kullandı. Örneğin Coşkun ve Ark. (2017), iki katmana iki normalizasyon işlemi ekleyerek değiştirilmiş bir CNN mimarisini tasarlamıştır. Normalizasyon operasyonu CNN'nin eğitim sürecini hızlandırdı. Araştırmacılar, 50 farklı kişinin etiketlenmiş görüntülerini içeren Georgia Tech veri setini kullandılar ve %94,8'lik bir sınıflandırma performansı elde ettiler. Robotik görmede Liu ve Ark. (2017), CNN'leri kullanarak engellerden kaçınmak için bir mobil robotu eğitti. Eğitim verileri, engellerle çarpışmadan bir ortamı keşfetmek için tasarlanmış, uzaktan insan kontrollü bir mobil robot tarafından toplandı. CNN'nin çıktısı sınıfları, robota belirli bir engelden kaçınmak için nereye gideceğini söyleyen 3 tip komuttur. Eğitilmiş CNN'nin genel doğruluğu %81,72 idi.

Güvenlik alanında Morris ve ark. (2018), CNN'leri kullanarak otomatik patlayıcı tespiti amacıyla yolcu bagajının x-ray görüntülerini tarayan bir sistem tasarladı. Araştırmacılar, çok sayıda bagajı farklı açılardan tarayarak kendi veri setlerini oluşturdu. Araştırmacılar, CNN'nin farklı modellerini karşılaştırmalı olarak incelediler ve en iyi önerilen model %95'lik bir sınıflandırma doğruluğu elde etti. Akçay ve Ark. (2016) tarafından yürütülen benzer bir çalışmada, sınırlı x-ray görüntüleri kaynağı sorununun üstesinden gelmek için transfer öğrenme adı verilen bir yaklaşım kullanılmıştır. Transfer öğrenmede, bir CNN'yi sıfırdan oluşturmak ve eğitmek yerine, araştırmacılar, genelleştirilmiş görüntü sınıflandırma görevleri için büyük miktarda veri ile eğitilmiş bir CNN modeli kullandılar. Araştırmacıların kullandığı önceden eğitilmiş model "AlexNet" olarak adlandırılıyor ve 5 evrişimli katmanı, 3 tam bağlantılı katman, 60 milyon parametre ve 650.000 nörondan oluşuyor. Yolcu bagajında tabanca tespit görevi için bu çalışmada elde edilen sınıflandırma performansı %98,92'dir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Veri Kümesi (Datasets)

Önerilen CNN modeli bitki resimleri veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Bitki veri kümesinde 3 farklı hastalık türünün resimleri bulunmaktadır. Bu hastalık türleri arasında Apple Scab, Apple Black Rot, Cedar Apple Rust, Apple Healthy bulunur. Veri kümesi 256x256 boyutunda 6000 görüntüye sahiptir. Görüntüler PNG veri formatındadır. Bitki görüntülerinin %80'i eğitim ve %20'si test verisi olacak şekilde ikiye bölünmüştür. Veri kümesi "104 Flowers: Garden of Eden" olarak adlandırılmaktadır ve Kaggle web sitesinde yer almaktadır[1]. Uygulama için Matlab derin öğrenme algoritmalarından faydalanılmıştır. Hastalık tespit ve Sınıflandırma için AlexNET öğrenme mimarisi kullanılmıştır. Hastalık tespit ve sınıflandırma için kullanılan sınıflar ve bunlara ait örnek görüntüler Şekil 2.'de görülmektedir.



Şekil 2. Örnek bitki hastalık resimleri

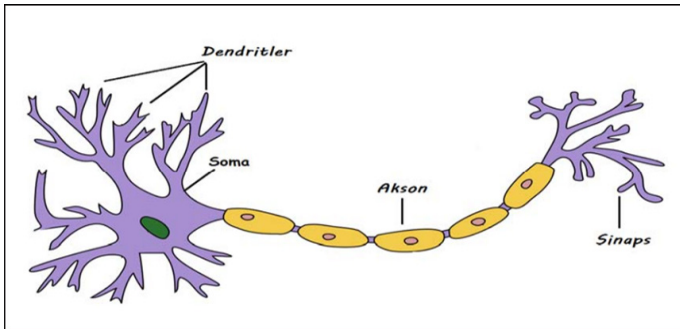
### 3.2. Sinir Ağları

İnsan beyni yaklaşık olarak her bir nöronun yaklaşık 10.000 diğer nöronla bağlandığı yaklaşık 86 milyar nörondan oluşmaktadır. Biyolojik sinir ağının temsili gösterimi Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Biyolojik sinir ağının temsili gösterimi (Webb, 2018)

Bir nöron, giriş ve çıkış kanalları olan ve nöronları birbirine bağlayan soma (vücut), dendritler ve aksonlardan oluşur. Her bir nöron dendritler üzerinden diğer nöronlardan elektrokimyasal sinyaller/girdiler almaktadır. Bu elektrokimyasal girdilerin toplamı nöronu etkinleştirmek için yeterince güçlü olduğunda, nöron, sinyali akson boyunca iletir ve bu elektromekanik sinyali aksonlara bağlı olan sonraki nöronlara iletir. Eşik değerini geçince birbirine bağlanan nöronlar aktif edebilir (tetiklenebilir). Biyolojik bir nöronun temsili gösterimi Şekil 4.'te verilmiştir.



Şekil 4. Biyolojik nöron (Lagandula, 2018)

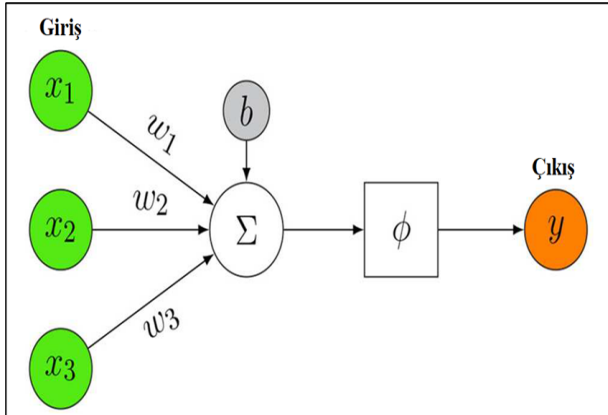
### 3.2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarından ilham alan bir makine öğrenme sınıfıdır. YSA'ların arkasındaki fikir, basitleştirilmiş matematiksel modeller kullanarak dendritler, hücre gövdeleri ve aksonlar gibi nöronların belirli kısımlarını taklit etmenin mümkün olmasıdır (Nagyfi, 2018). Her bir YSA, bağlantılar (aksonlar ve dendritlere benzer) aracılığıyla diğer düğümlerle iletişim kuran düğümler (hücre gövdelerine benzer) içerir. Nöronları biyolojik bir sinir ağında ilişkili çıktılara sahip olduğunda nöronlar arasındaki sinapsların güçlendirilmesinde olduğu gibi, bir YSA'daki düğümler arasındaki bağlantılar, istenen sonucu sağlama yeteneklerine göre ağırlıklandırılır (Choi ve ark., 2020, Mirjafarli ve ark., 2022 ).

#### 3.2.1.1.Yapay Nöron Modeli

Yapay sinir ağının temel yapı taşı yapay nöron modelidir. Şekil 3.4 yapay bir nöronun modelini göstermektedir. Bir yapay nöron modelinin temel fikri, bir x girdisinin  $w$  ile ağırlıklandırılması ve ardından bir aktivasyon fonksiyonunun  $\phi$  argümanını oluşturmak için bir bias  $b$  ile toplanmasıdır. Hem  $x$  hem de  $w$ ,  $n$  büyüklüğünde vektörlerdir, burada  $n$  girdinin boyutunu temsil eder (Svozil ve ark.,1997). Bias terimi her zaman mevcut değildir, ancak bazen atlanır. Aktivasyon fonksiyonunun çıktısı  $y$ , nöronun çıktı sinyalıdır ve aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$y = \phi(z) = \phi(\sum_{i=1}^n x_i w_i + b)$$



Şekil 5. Yapay nöron modeli (Emmert-Streib ve ark., 2020)

### 3.2.1.2. Aktivasyon Fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonları, nöronun çıkışını belirlemek için kullanılır. Aktivasyon fonksiyonları, fonksiyona bağlı olarak 0 ile 1 veya -1 ile 1 arasındaki sonuç değerlerini eşler. Aktivasyon fonksiyonlarının lineer ve lineer olmayan olmak üzere iki ana kategorisi vardır. Aşağıdaki tablo en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonlarını özetlemektedir. Aşağıdaki tablo en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonlarını özetlemektedir (Sharma, 2017).

**Tablo 2.** En sık kullanılan aktivasyon fonksiyonları

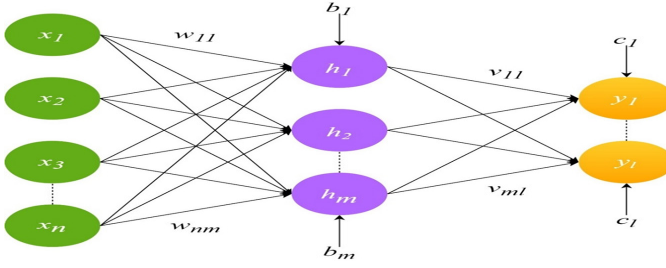
Aktivasyon Fonksiyonu	$\phi(z)$	Çıkış aralığı
Doğrusal Aktivasyon fonksiyonu	$\phi(z) = z$	(3.2) $(-\infty, \infty)$
Hiperbolik tanjant	$\phi(z) = \tanh(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}$	(3.3) $(-1, 1)$
Sigmoid	$\phi(z) = s(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$	(3.4) $(0, 1)$
Signum	$\phi(z) = \text{sgn}(z) = \begin{cases} -1 & \text{eğer } z < 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{eğer } z = 0 \text{ ise} \\ 1 & \text{eğer } z > 0 \text{ ise} \end{cases}$	(3.5) $[-1, 1]$
Basamak fonksiyonu	$\phi(z) = R(z) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } z < 0 \text{ ise} \\ 1 & \text{eğer } z \geq 0 \text{ ise} \end{cases}$	(3.6) $[0, 1]$
ReLU fonksiyonu	$\phi(z) = H(z) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } z \leq 0 \text{ ise} \\ z & \text{eğer } z > 0 \text{ ise} \end{cases}$	(3.7) $[0, \infty)$
Softmax	$\phi(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^n e^{z_j}}$	(3.8) $(0, 1)$

Softmax aktivasyon fonksiyonu, bir sonraki bölümde ele alınacak olan çok katmanlı yapay sinir ağlarında esas olarak son katmanda kullanılır. Sınıflandırma görevleriyle ilgili sinir ağlarında kullanılır. Yani, sinir ağının çıktıları, belirli bir girdi grubunun veri kümesinin hangi sınıfına ait olduğunu söyleyen sınıflar şeklindedir. Softmax aktivasyon fonksiyonu, n-boyutlu bir z vektörünü,  $\sum_i \phi(z_i) = 1$  özelliğine sahip olan n-boyutlu bir  $\phi(z_i)$  vektörüne eşlemektedir. Softmax katmanın çıktılarının toplamı 1 olacaktır. Bu çıktıların her biri, her bir sınıfın olasılığını temsil etmektedir. Ondan sonra olasılığı en büyük olan çıkışın değeri 1 olacak ve diğer sınıfların değeri 0 olacaktır. Bu işlemeye “Sıcak Kodlama” denilmektedir (Emmert-Streib ve ark., 2020).

### 3.2.1.3. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Artık yapay nöron modelini tanıttığımızı göre, çok katmanlı yapay sinir ağlarının yapısını tanıtıyoruz. Çok sayıda nörondan oluşan bir sinir ağı oluşturmak için nöronların birbirine bağlı olması gerekir. Tipik bir çok-katmanlı yapay sinir ağı, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşur. Belirli bir katmandaki her nöron, bir sonraki katmandaki

tüm nöronlarla birbirine bağlıdır.  $i$ . ve  $j$ . nöron arasındaki bağlantı  $w_{ij}$  ağırlık katsayısı ile karakterize edilir (Svozil ve ark.,1997). Şekil 6 çok katmanlı sinir ağlarının modelini göstermektedir.



Şekil 6. Çok katmanlı sinir ağlarının modeli

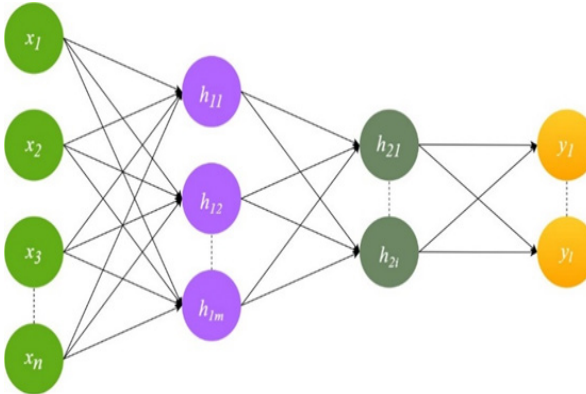
Ve bu durumda gizli katmanın çıktıları aşağıdaki gibidir:

$$h_m = \phi_1 \left( \sum_{i=1}^n w_{im} x_i + b_m \right) \quad (2.9)$$

Benzer şekilde sinir ağının çıktıları da aşağıdaki gibidir:

$$y_l = \phi_2 \left( \sum_{j=1}^m v_{jl} h_j + c_l \right) \quad (2.10)$$

$\phi_1$  ve  $\phi_2$  aktivasyon fonksiyonlarında mevcut olan alt notları, aynı sinir ağı içinde farklı aktivasyon fonksiyonlarının kullanılabilceğini gösterir. Örneğin, hastalık tespit ve sınıflandırma görevlerinde birçok araştırmacı gizli katmanlarda ReLU aktivasyon fonksiyonunu ve çıktı katmanında Softmax aktivasyon fonksiyonunu kullanır. Sinir ağının optimal parametreleri (ağırlıklar ve biaslar) bulmak için bir optimizasyon algoritması ile birlikte bir hata fonksiyonu tanımlanmalıdır.

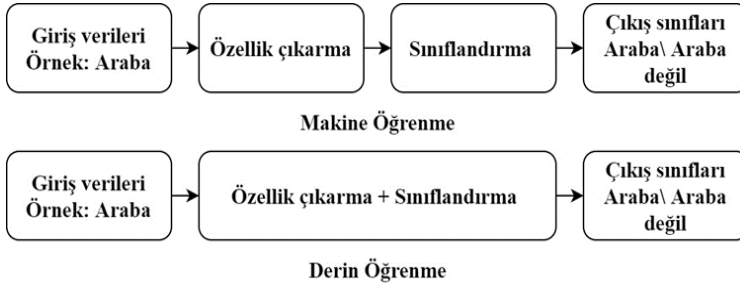


Şekil 7. Derin sinir ağlarının genel yapısı

### 3.2.2.2. Özellik Çıkarma

Görüntü sınıflandırmada özellik çıkarma hastalık tespit etme, filtreleme, kenar algılama ve segmentasyon gibi görüntü işleme yaklaşımlarından

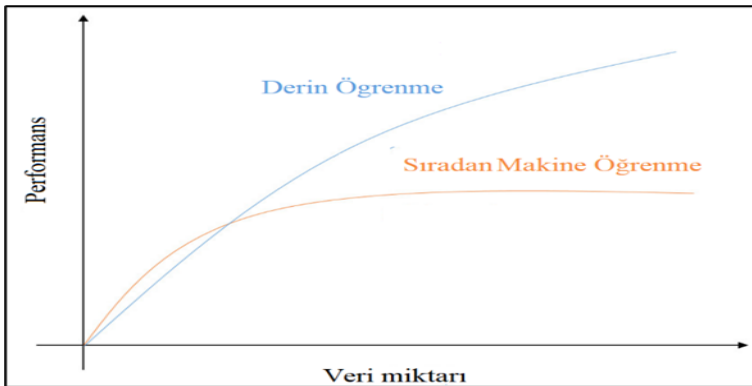
bazılarını içerebilir (Yadav ve ark. ,2013). Öte yandan, derin öğrenmede, doğrusal olmayan işlemenin birden çok aşaması, özellik çıkarma görevini otomatikleştirmeye yardımcı olur. Diğer bir deyişle derin öğrenme, sistemin karmaşık algılama görevlerini maksimum doğrulukla ve daha az ön işleme veya veri hazırlama ile anlamasına yardımcı olan bir yaklaşımdır (Dragan ve ark., 2019). Şekil 8, derin öğrenme ile sıradan makine öğrenme yaklaşımları arasındaki farkı göstermektedir.



Şekil 8. Sıradan makine öğrenme ile derin öğrenme arasındaki farkı

### 3.2.2.3 Veri Miktarı

Öğrenme yaklaşımının performansı, ele alınan problemin girdi verilerinin miktarı ile ilgilidir. Daha az miktarda veri için, sıradan makine öğrenimi yaklaşımları daha iyi bir performans gösterir. Veri miktarı belirli bir sayının üzerine çıktıkça, sıradan makine öğrenme yaklaşımlarının performansı sabit hale gelirken, derin öğrenme yaklaşımlarının performansı, veri miktarının artışına göre artar. Veri miktarı ile öğrenme yaklaşımının performansı arasındaki ilişki Şekil 9'da gösterilmektedir (Dixit ve ark., 2018).



Şekil 9. Veri miktarı ile öğrenme yaklaşımının performansı arasındaki ilişki



### 3.2.3. PARAMETRELERİN ÖĞRENİLMESİ VE OPTİMİZASYONU

Sinir ağlarında farklı öğrenme yaklaşımlarının temel hedefi, eğitim sırasında sınıflandırma modelinin hatasını en aza indirecek şekilde optimum parametreleri (ağırlıklar ve biaslar) elde etmektir. Bunu gerçekleştirmek için, bir kayıp fonksiyonu (hata fonksiyonu) belirlemek ve tekrarlamalı eğitim süreci sırasında bu kayıp fonksiyonunu optimize etmek için bir optimizasyon algoritması belirlemek gerekir.

#### 3.2.3.1. Kayıp Fonksiyonları (Hata Fonksiyonları)

Sinir ağının performansını ölçmek için kayıp veya hata fonksiyonları kullanılır. Temel olarak bir sınıflandırıcının veya tahmin edicinin ne kadar iyi olduğu hakkında bir fikir verirler. Kayıp fonksiyonlarının iki ana kategorisi vardır (Parmar, 2018). Sinir ağının görüntü sınıflandırma gibi sınıflandırma görevleri için kullanılması durumunda, kayıp fonksiyonlarına sınıflandırma kayıpları denir. Buna karşılık, sinir ağı, belirli bir matematiksel fonksiyonun çıktısını tahmin etmek gibi belirli bir değeri tahmin etmek için kullanılıyorsa, o zaman kayıp fonksiyonlarına regresyon kayıpları denir.

#### 3.2.3.2. Sınıflandırma kayıp fonksiyonları

En yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kaybı fonksiyonlarından biri çapraz entropidir. Bölüm 2.2’de Softmax’ın her bir çıktı sınıfı için bir olasılık verdiğiinden bahsedilmiştir. Bir sinir ağının çıktıları olasılık biçiminde olduğunda çapraz entropi kullanılır. (Zhu, 2020). Buna göre çapraz entropi kaybı fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$E = -1/N \sum_{i=1}^N y_i T \log(\hat{y}_i) \quad (3.9)$$

Burada  $N$  çıkış sayısı,  $y_i T$  hedef çıkış ve  $\hat{y}_i$ , bu çıkış için Softmax aktivasyon fonksiyonunun elde ettiği olasılıktır

#### 3.2.3.3. Regresyon kayıp fonksiyonları

**Tablo 2.** Regresyon kayıp fonksiyonları

Kayıp fonksiyonu	Matematiksel modeli	Açıklama
Ortalama kare hatası	$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.10)$	Kare değeri almak, bazı tahmin edilen değerler (aykırı değerler) karşılık gelen hedef değerlerden çok uzak olduğunda toplam hatanın büyük ölçüde artmasına neden olur.
Ortalama mutlak hatası	$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  y_i - \hat{y}_i  \quad (3.11)$	Karelerden yararlanmadığı için aykırı değerlere karşı daha dayanıklıdır.
Ortalama önyargı hatası	$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i \quad (3.12)$	Daha az doğrudur çünkü negatif hatalar pozitif hataları ortadan kaldırır.

### 3.2.3.4. Optimizasyon Algoritmaları

Bu bölümde bahsedilen tüm optimizasyon algoritmaları, gradyan inişinin varyantları olarak kabul edilir. Standart gradyan iniş algoritması, kaybın negatif gradyanı yönünde her iterasyonda küçük adımları atarak kayıp fonksiyonunu en aza indirmek için ağırlıklarını (ağırlıkları ve biasları) aşağıdaki gibi güncellemektedir:

$$\theta_{l+1} = \theta_l - \alpha \nabla E(\theta_l) \quad (3.13)$$

Burada  $\theta$  parametre vektörü,  $l$  itirasyon sayısı,  $\alpha$  Öğrenme oranı ve  $\Delta E(\theta_l)$  optimize edilmesi istenen kayıp fonksiyonunun gradyanıdır.  $\Delta E(\theta_l)$  terimi, kayıp fonksiyonunun  $\theta_l$  parametresine göre kısmi türevinden başka bir şey değildir ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\nabla E(\theta_l) = \partial E / (\partial \theta_l) \quad (3.14)$$

### 3.2.3.5. Toplu gradyan inişi

Bu algoritma, tüm veri kümesi için kayıp fonksiyonunun gradyanını hesaplar ve ardından sinir ağınnın parametrelerini günceller. Bu, bir güncelleme yapmak için veri setindeki tüm eğitim örnekleri için gradyanların hesaplanması gerektiği ve bu gradyanların ortalamasının parametreleri güncellemek için kullanılması gerektiği anlamına gelir. Bu algoritma, büyük veri kümeleri için büyük miktarda bellek gerektirir (Patrikar, 2019).

### 3.2.3.6. Stokastik gradyan inişi

Bu algoritmada, sinir ağınnın parametreleri, toplu gradyan inişi ile karşılaştırıldığında daha sık güncellenir. Sinir ağınnın parametreleri, mini-batch adı verilen orijinal veri kümesinin bir alt kümesinden sonra güncellenir. Her alt kümeyi geçmek ve parametreleri bir kez güncellemek itirasyon olarak adlandırılır. Eğitim algoritmasının tüm eğitim seti üzerinde mini-batch'lar kullanarak tam geçişi bir epoch'tur. Stokastik gradyan inişi gürültülüdür, çünkü bir mini-batch kullanılarak hesaplanan parametre güncellemeleri eğitim performansında salınımlara neden olur. (Patrikar, 2019).

### 3.2.3.7. Momentum ile stokastik gradyan inişi

Stokastik gradyan iniş algoritması, en dik iniş yolu boyunca optimuma doğru salınım yapabilir. Parametre güncellemesine bir momentum terimi eklemek, bu salınımı azaltmanın bir yoludur. Momentum ile stokastik gradyan inişi kullanılarak parametre güncellemesi aşağıdaki gibidir:

$$\theta_{l+1} = \theta_l - \alpha \nabla E(\theta_l) + \gamma(\theta_l - \theta_{l-1}) \quad (3.15)$$

Burada  $\gamma$ , bir önceki itirasyondaki gradyan adımının yeni itirasyona katkısını belirler (Anonymos, 2018).

### 3.2.3.8. Adam optimizasyon algoritması

Adam optimizasyon algoritması, parametrelere göre farklılık gösteren ve optimize edilmekte olan kayıp fonksiyonuna otomatik olarak adapte edilebilen öğrenme oranlarını kullanarak ağ eğitimi iyileştirmeye çalışmaktadır. Aynı zamanda, en dik iniş yolu boyunca optimum seviyeye doğru salınımı azaltmanın bir yolu olarak parametre güncellemesine bir momentum terimi ekler.

Her parametre için benzersiz bir öğrenme oranı elde etmek için bu algoritma, öğrenme oranının ölçekleme parametresi v aşağıdaki gibi tanımlar:

$$v_l = \beta_{-2} v_{l-1} + (1 - \beta_{-2}) \left[ \left[ \nabla E(\theta_{l-1}) \right] \right]^2 \quad (3.16)$$

Momentum terimi de aşağıdaki gibidir:

$$m_l = \beta_{-1} m_{l-1} + (1 - \beta_{-1}) \nabla E(\theta_{l-1}) \quad (3.17)$$

Ve en sonunda parametre güncellemeleri aşağıdaki gibidir:

$$\theta_{l+1} = \theta_l - (\alpha m_l) / (\sqrt{v_l} + \epsilon) \quad (3.18)$$

Burada  $\beta_{-1}, \beta_{-2} \in [0, 1]$  ve  $\epsilon$  sıfıra bölmeyi önlemek için eklenen küçük bir sabittir. Birçok iterasyonun gradyanları benzerse, parametre güncellemeleri belirli bir yönde bir momentum kazanmaktadır. Gradyanlar tutarlı değilse, gradyanın hareketli ortalaması küçülmekte ve bu nedenle parametre güncellemeleri de yavaşlamaktadır (Kingma ve Ba, 2015).

### 3.2.4. EVRİŞİMLİ SINIR AĞLARI

Evrışimli sinir ağları (CNN), esas olarak görüntü sınıflandırma ve hedef tanıma için kullanılan gözetimli derin öğrenme yaklaşımlarından biridir. Bu ağ yapısı ilk olarak 1988'de Fukushima tarafından önerilmiştir. Ancak, ağ eğitmek için hesaplama donanımının sınırları nedeniyle yaygın olarak kullanılmadı. LeCun ve ark. (1998) CNN'lere gradyan tabanlı bir öğrenme algoritması uygulamışlar ve elle yazılmış rakam sınıflandırma problemi için başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. CNN'lerin, insan görsel işleme sistemine daha çok benzemesi, 2B ve 3B görüntülerin işlenmesi için yüksek düzeyde optimize edilmesi ve 2B özelliklerin öğrenilmesi ve çıkarılmasında etkili olma gibi diğer derin YSA'lara göre çeşitli avantajları vardır (Alom ve ark. 2019).

Bu bölümde, (Albawi ve ark., 2017), (Alom ve ark., 2019) ve (Emmert-Streib ve ark., 2020)'de açıklanan CNN yapısından bahsedilecektir. Daha sonra CNN'lerin sınıflandırma performansını iyileştirmek için bazı tekniklerden

bahsedilecektir. Son olarak, CNN'lerde transfer öğrenme kullanımından bahsedilecektir.

### 3.2.4.1 CNN Yapısı

Herhangi bir Evrişimli Sinir Ağı en azından 1 evrişimli katmanı, 1 alt örnekleme katmanı ve 1 sınıflandırma kısmından oluşmaktadır. Evrişimli katmanı ve alt örnekleme katmanı beraber özellik çıkarma kısmını oluşturmaktadır. Aynı CNN'de 1'den fazla Evrişimli katmanı ve alt örnekleme katmanı eklenebilmektedir. Özellik çıkarma kısmında, iki katman arasındaki yalnızca birbirine yakın nöronlar birbirine bağlıdır. Sınıflandırma kısmında ise iki katman arasındaki tüm nöronlar birbirine bağlıdır.

### 3.2.4.2 Evrişimli katmanı

Evrişimli katmanında giriş katmanından veya önceki katmanlardan gelen veriler "kernel" denilen bir kare matris ile arasında konvolüsyon işlemi yapılmaktadır. Bu katmandaki kernel'ler rastgele değerlerden oluşturulmakta ve bu değerleri eğitim esnasında öğrenme algoritmaları kullanılarak güncellenmektedir. Her kernel tek bir özellik çıkarıcı olarak kabul edilmekte ve 1'den fazla kernel kullanılabilir. Bu işlemde üç önemli faktör vardır. Bunlar kernel'lerin boyutu (N), her çarpımdan sonra atılan adım (S), ve giriş verilerin boyutu bozmamak için yapılan sıfır doldurma (P). Giridin boyutu  $W \times H \times Z$  ise çıktının boyutları  $W_{out} \times H_{out} \times Z$  olmakta ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$[H_{out}, W_{out}] = ((H, W - N + 2P)) / (S + 1) \quad (3.19)$$

Daha sonra bu veriler bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmektedir. Bu aktivasyon fonksiyonunun çıktılara özellik haritaları denilmektedir. Araştırmacıların çoğu bu aşamada ReLU aktivasyon fonksiyonunu kullanmaktadır.

Bu katmanda aynı evrişimli katmanında gibi giriş verileri "kernel" denilen bir matris ile arasında konvolüsyon işlemi yapılmaktadır. Ancak bu katmandaki kernel'ler 1'lerden oluşacak ve bu kernel'ler eğitim esnasında güncellenmemektedir. Bu katmanın çıkış özellik haritalarının sayısı önceki katmana göre aynı sayıda ama boyutları daha küçüktür [5]. Kernel'in boyutu 2 ise çıkış özellik haritasının boyutu 2'ye bölünür. Konvolüsyondaki çarpma işlemlerinin toplamı almaktansa, ya en büyük sonuç (max-pooling) ya da sonuçların ortalaması (average-pooling) alınmaktadır.3.2.4.3. Alt örnekleme katmanı(Pooling Kısmı)

**EN SON:**

Bu araştırma sonunda bu adımları izliyerek hastalık tespit ve sınıflandırma yapılacaktır

**KAYNAKLAR**

- [1] <https://www.kaggle.com/datasets/msheriey/104-flowers-garden-of-eden>
- Abdulnabi, N. Z. T., 2016, Semantic Analysis Using Natural Language Processing Methods, Master's Thesis, Yıldız Technical University, Istanbul, 53.
- Anwer, A. M. O., 2017, Derin Öğrenme Yöntemleri ile Göğüs Kanseri Teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara, 91.
- Belitskaya, O., 2017, Flower Color Images, <https://www.kaggle.com/olgabelitskaya/flower-color-images>: [20.06.2018].
- Bhandare, A., Bhide, M., Gokhale, P. and Chandavarkar, R., 2016, Applications of Convolutional Neural Networks, International Journal of Computer Science and Information Technologies, 7 (5), 2206-2215.
- Bircanoğlu, C., 2017, A Comparison of Loss Functions in Deep Embedding, Master's Thesis, Bahçeşehir University, Istanbul, 65.
- Büyükyılmaz, M., 2017, Mikroskopik Görüntüler Üzerinde Derin Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Hastalıklı Hücrelerin Otomatik Tanımlanması, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 56.
- Cengil, E. v. Ç., A., 2016, Görüntü Sınıflandırma için Yeni Bir Yaklaşım: Evrimsel Sinir Ağları, European Journal of Technic, 6 (2), 96-102.
- Das, M., Manmatha, R., Riseman, E., 1999, Indexing flower patent images using domain knowledge, IEEE Intelligent Systems and their Applications, 14 (5), 24-33.
- Demir, U., 2017, Deep Convolutional Neural Networks for Image Inpainting, Master's Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, 50.
- Ergün, H., 2016, Video Concept Classification and Retrieval, Master's Thesis, Başkent University, Ankara, 56.
- Fauske, K. M., 2006, Example: Neural network, Artificial Neural Network with a hidden layer, <http://www.texample.net/tikz/examples/neural-network/>: [24/06/2019].
- Gurnani, A., Mavani, V., Gajjar, V. and Khandhediya, Y., 2017, Flower Categorization using Deep Convolutional Neural Networks, ArXiv, 4321-4324.
- Hebb, D. O., 1949, The organization of behavior; a neuropsychological theory, p. 62.
- Anonymous, 2018, Deep Learning Toolbox, Mathworks, [https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainingoptions.html#bu80qkw-3\\_head](https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainingoptions.html#bu80qkw-3_head) [Ziyaret Tarihi: 28 Haziran 2021].
- Anwar, A., 2019, Difference between Local Response Normalization and Batch Normalization [online], Towards data science, <https://towardsdatascience.com/difference-between-local-response-normalization-and-batch-normalization-272308c034ac> [Ziyaret Tarihi: 3 Haziran 2002].
- Brownlee, J., 2019, How to Configure Image Data Augmentation in Keras [online], Machine Learning Mastery, <https://machinelearningmastery.com/how-to-configure-image-data-augmentation-when-training-deep-learning-neural-networks/> [Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2021].

- Jimoh, H., 2020, How Transfer Learning works [online], Towards data science, <https://towardsdatascience.com/how-transfer-learning-works-a90bc4d93b5e> [Ziyaret Tarihi: 3 Haziran 2021].
- Joshi, A., Shan, I. and Liu, R., 2020, Deep Vein Thrombosis Detection from CT Scans, Stanford Uni., [https://cs230.stanford.edu/projects\\_fall\\_2019/reports/26252384.pdf](https://cs230.stanford.edu/projects_fall_2019/reports/26252384.pdf) [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2021].
- Servi S., Uymaz S.A., Yel E., Tezel G., “Logistic Regression, As A Tool And As A Part Of Solution İn Engineering Problems”, 6th International GAP Engineering Conference – GAP2018, Urfa, Turkey
- Servi Sema, Reduced Differential Transform Method For Improved Boussinesq Equation, Tam Metin Bildiri, Proceedings Of The International Conference On Numerical Analysis And Applied Mathematics 2014 (ICNAAM-2014), 22 Eylül 2014, 28 Eylül 2014.
- Y. Keskin, A. B. Koç & S. Servi, Reduced Differential Transform Method For Solving High-Dimensional Pdes, Sözlü Sunum, 1st Int. Eurasian Conf. On Mathematics Sciences And Applications, 03 Eylül 2012, 07 Eylül 2012.

# BÖLÜM 6

## STEGANOĞRAFİ VE KRİPTOLOJİ ARASINDAKİ FARKLAR VE ALGORİTMA DÜZEYİNDE KARŞILAŞTIRMA

Zeynep BAKIRTEMİZLER<sup>1</sup>

---

### GİRİŞ

Veri gizleme ve veri şifreleme işlemleri, son yıllarda kişisel verilerin korunmasının öneminin de artması ile oldukça önemli hale gelmiştir. Yapılan çalışmalarda; iletişimde kullanılan verilerin, kötü niyetli kişiler tarafından ele geçirilmemesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmalarda kullanılmakta olan iki önemli koruma modeli bulunur. Bunlar; kriptoloji ve steganografi. Her iki işlem de çok uzun yıllardan beri kullanılmakta ve bir çok algoritma geliştirilmeye devam etmektedir. Gelişmekte olan bu süreçte, bu iki kavram birbirine benzetilmekte ve amaçları genellikle karıştırılmaktadır. Bu nedenle de projelere yönelik algoritma seçimlerinde doğru kullanımlar olmadığı görülebilir.

Bu çalışmada, yapılan projelerde doğru algoritma seçimlerinin yapılabilmesi adına; kriptoloji ve steganografi alanlarının karşılaştırılarak anlatımları yapılmıştır. Öncelik olarak her iki kavramın da araştırılması ve açıklaması yapılmıştır.

Bilgi güvenliği açısından, kriptografi ve steganografi en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Kriptografi, bir metni şifreleyerek içeriğini anlaması yetkili olmayan kişilere karşı korur. Öte yandan steganografi, bir veriyi başka bir veri içine gizleyerek, genellikle bir kapak dosya kullanarak veriyi korur. Bu iki yöntemin birleştirilerek kullanılması, gizlilik sağlamak için etkili bir yol sunar.(Serhat Çelik, 2023) Burada her iki alanda da temel düzeyde verilen algoritma örneği ile karşılaştırma yapmak mümkündür. Algoritmalar arası yapılan karşılaştırmada temel mantık daha net bir şekilde kavranacak ve amaçlar daha doğru bir şekilde anlaşılabilir olacaktır.

---

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, Konya/Türkiye

Çelik ve Yalçın tarafından yapılan çalışmada (Serhat Çelik, 2023), veri gizliliğini sağlamaya yönelik kriptografi ve steganografi yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir yaklaşım önerilmiştir. Bu çalışmada ise kriptoloji ve steganografi arasındaki farklara değinilmektedir.

Makalenin sonuç kısmında, karşılaştırma sonucunda ortaya çıkan farklılıklar tablo halinde özetlenerek daha anlaşılır bir anlatım tercih edilmiştir. Son olarak her iki alanın da etkin olarak kullanıldığı bir çalışmadan bahsedilerek, çalışmalarda birlikte de kullanılacaklarına vurgu yapılmıştır.

## 1. Kriptoloji

### 1.1. Kriptoloji

Kriptografi terimi, Yunanca kökenli “gizli-saklı” anlamına gelen “kryptos” sözcüğü ile “yazmak” anlamına gelen “graphien” sözcüklerinden türetilmiştir. Kriptografi, gizlilik, kimlik denetimi, bütünlük gibi bilgi güvenliği kavramlarını sağlamak amacıyla kullanılan matematiksel yöntemlerin bütünüdür. Basitçe ifade etmek gerekirse, anlaşılır bir mesajın şifrenip anlaşılmaz hale getirilmesi ve bu şifrenmiş mesajın daha sonra orijinal haline dönüştürülmesi işlemidir. Kriptoloji ise, gizlilik, veri bütünlüğü, varlık doğrulanması, veri kaynağının doğrulanması gibi bilgi güvenliği konularını matematiksel teknikleri kullanarak inceleyen bir bilim dalıdır.(Yeşilbaş, 2016)



Şekil 1. Kriptografi

Kriptografideki temel amaç, gönderici ve alıcı bulunan kanallar üzerinden örneğin; telefon hattı, bilgisayar ağları gibi, dışarıdan bir başka kimsenin, iletişim halinde olan tarafları anlamamasını sağlamaktır. Gönderici tarafından, iletilen mesaja bir kapama kuralı uygulanır ve böylece anlaşılmasız bir mesaj ortaya çıkar. Bu mesaj alıcıya gönderilir. Gönderim sırasında kanalı dinleyen bir başkası, şifreli mesajdan anlaşılabilir bir mesaj elde edememelidir. Mesaj alıcıya iletiildiğinde ise alıcı, bir açma kuralı uygulayarak mesajın orijinaline ulaşabilir.(Üniversitesi, 2023) Şekil 1’de kriptografinin genel mantığını gösteren resim bulunmaktadır. Burada, kriptografi adımları gösterilmiştir.

Kriptoloji, şifre bilimi (kriptografi) ve şifre analizi (kripto analiz) konularını içeren bir bilim dalıdır. Temel amacı, veri güvenliğini sağlamak için açık verileri gizli verilere dönüştürme işlemlerini içerir. Gizlilik, kimlik doğrulama, güvenilirlik ve bütünlük gibi bilgi güvenliği gerektiren konular, kriptografinin



üzerine çalıştığı önemli alanlardandır. Kriptografi, genel olarak anlaşılır bir metni anlaşılmaz hale getirme ve anlaşılmaz bir metni tekrar anlaşılır hale getirme işlemlerini ifade eder.(Beşkirli ve ark., 2019)

## 1.2. Kriptoloji Tarihi

Kriptoloji, çok eski zamanlarda kullanılmaya başlanmış ve günümüzde dijital ortamlara da aktarılmış bir bilimdir. Kriptolojinin tarihi ve gelişme aşamaları;

- MÖ. 60-50 yılları arasında Julius Caesar, alfabedeki harflerin yerlerinde değişiklik yaparak devlet yazışmalarında bu şifreleme yöntemini kullandı.(Tuncal, 2008) Yıllar sonra bu model halen Caesar Şifreleme Algoritması olarak kullanılmaktadır.
- Blaise de Vigenere 1586 yılında şifreleme üzerine bir kitap yazdı. Yazdığı bu kitapta ilk kez açık metin ve şifreli metin için otomatik anahtarlama yöntemlerinden bahsedildi. (Tuncal, 2008)
- 1917 yılında, Joseph Mauborgne ve Gilbert Vernam tarafından, mükemmel şifreleme sistemi olarak tanımlanan “one-time pad” bulundu. (Tuncal, 2008)
- İkinci Dünya savaşında Almanlar Arthur Scherbius’un icadı olan Enigma makinası kullandı. Bu makine Alan Turing liderliğindeki ekip tarafından çözüldü.(Tuncal, 2008) Bu sayede Bilgisayar biliminin de temeli atılmış oldu. Böylece dijitalleşmenin ilk adımları atılmış oldu.
- Devamında 1970, 1976, 1978, 1985, 1990, 1991, 1995, 1997 yıllarında bilim adamları tarafından Lucifer, DES, RSA, IDEA, PGP, AES algoritmaları bulunarak geliştirmeleri yapıldı. Günümüzde halen bu algoritmalar kullanılmaktadır. (Tuncal, 2008)

## 1.3. Kriptolojinin Amacı

Verilerin açık halden kapalı, yani gizli hale getirilmesi işlemine kriptografi denir. Kriptografi, verilerin gizliliğini, bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılan bir süreçtir. Bu işlemi gerçekleştiren kişilere kriptograf adı verilir. Başlangıçtaki metin, anlaşılabilir haliyle düz metin veya açık metin olarak adlandırılır. Düz metin, çeşitli işlemlerden geçirilerek anlaşılamayacak bir forma dönüştürüldüğünde elde edilen yeni forma ise şifreli metin denir. (Coşkun ve Ülker, 2013)

Kriptoloji, temelde dört ana konuyu ele almaktadır: Gizlilik, Bütünlük, Kimlik Doğrulama ve Reddedilemezlik. Bu dört konu üzerinden çalışmalar

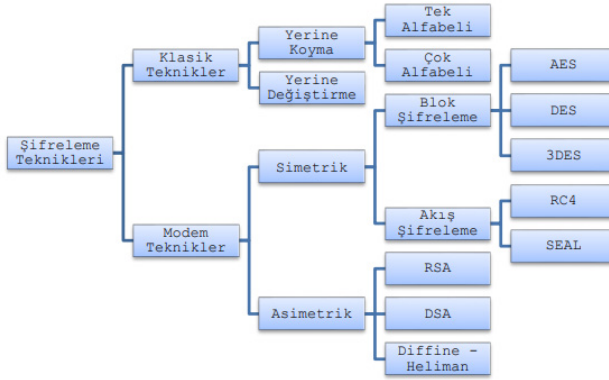
yürütülürken, kriptoloji aynı zamanda diğer konuları da içerebilmektedir.(Türk, 2023)

- **Gizlilik (Confidentiality):** Bu, bilginin içeriğinin sadece yetkilendirilmiş kişiler tarafından görüntülenmesini sağlar.
- **Bilgi Bütünlüğü (Data Integrity):** Bilginin göndericiden çıktığı durumda alıcısına ulaşmasını ifade eder. Bu sayede bilgi, iletişim sırasında değiştirilmemiş, yeni veriler eklenmemiş, tekrar edilmemiş ve sırası değiştirilmemiş olarak alıcıya ulaşır.
- **Kimlik Doğrulama (Authentication):** Bu, bilgiyi gönderen kişinin kimliğinin doğruluğundan emin olma sürecidir. İletişimde yer alan taraflar, birbirlerinin kimliklerini tespit edebilmelidirler. Gönderilen bilgi, kaynağına, kaynak tarihine, içeriğine ve gönderildiği tarihe göre doğrulanabilmelidir.
- **Reddedilemezlik (Non-Repudiation):** Bu, bilgiyi gönderen, yanıtlayan veya görüntüleyen kişinin kendisini inkar edememesini ifade eder.

#### 1.4. Kriptolojinin Kullanıldığı Alanlar ve Teknikleri

Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde, internet ve bilgisayarlar hayatımızın vazgeçilmez birer unsuru haline gelmiştir. Ancak, bu gelişmelerle beraber ortaya çıkan güvenlik açıkları da büyük bir önem arz etmektedir. İnternet üzerinden gerçekleştirilen işlemler, e-ticaret, bankacılık ve kredi kartı işlemleri gibi yüksek güvenlik gerektiren uygulamalarda en güvenilir şifreleme metotlarının kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu noktada, verilerin güvenli bir şekilde iletilmesi ve saklanması için kriptografi bilimi çeşitli şifreleme, anahtar yönetimi ve çözümlenme algoritmalarını sunmaktadır.(Günden, 2010)

Kriptografik algoritmaların çalışacağı ortamlar, ihtiyaca yönelik olarak farklılık göstermektedir. Örneğin, kredi kartları, akıllı kartlar ve uydu alıcıları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Burada, sadece akıllı kartların bazı kullanım alanlarından bahsedeceğiz. Akıllı kartların uygulama alanları oldukça geniş kapsamlıdır, örneğin e-kimlik (Akıllı kart tabanlı elektronik kimlik kartı) ve e-pasaport (elektronik pasaport) gibi uygulamalar bu alana örnektir. Bu tür uygulamalarda sayısal kimlik bilgileri ve biyometrik bilgiler akıllı kart içine yerleştirilmektedir. Kimlik doğrulama yöntemleri ve akıllı kart üzerindeki verinin güvenli bir şekilde saklanması için kriptografik yöntemlerin düzgün bir biçimde kullanılması gerekmektedir.(Akleylek ve ark., 2011) Şekil 2’de kriptolojiye ait alt alanların genel şeması verilmiştir. Bu makalede, klasik teknikler bölümünden Sezar şifrelemeye örnek verilecektir.



Şekil 2. Kriptoloji

### 1.4.1. Klasik Teknikler

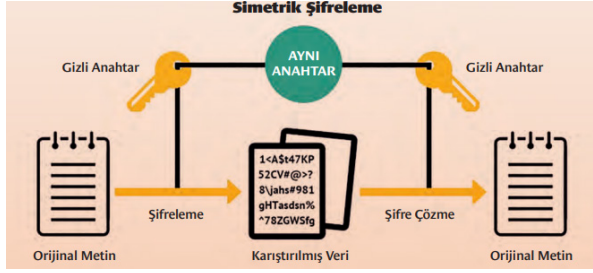
Geçmişte, sadece askeri ve belirli ileri akademik alanlarda kullanılan klasik şifreleme yöntemleri, algoritması gizli olan şifreleme tekniklerini içermekte ve genellikle basit işlemlerle hesaplanabilen algoritmaları barındırmaktadır. İkinci Dünya Savaşı döneminde kullanılan ENIGMA, klasik yöntemlere örnek teşkil eder. Sezar, Vigenére, Vernam, Playfair, Hill sistemleri gibi şifreleme yöntemleri de klasik şifreleme tekniklerine örnektir. Metin şifrelenirken, kullanılan dildeki harf sayısına göre şifreleme işlemi gerçekleştirilir. (Obaid ve ark.)

### 1.4.2. Modern Teknikler

#### 1.4.2.1. Simetrik Şifreleme

En basit ve yaygın model, gönderici ve alıcının başkalarının bilmemesi için özel bir anahtar kullanarak şifreleme yapmaktır. Bu simetrik model, tüm şifreleme ve şifre çözme işlemlerini aynı anahtara dayandırır. Güvenli iletişim başlamadan önce, gönderici ve alıcı taraflar, bir şekilde ortak bir anahtar (şifre) belirlemelidir. Her iki tarafın da bu şifreyi bildiği ve üçüncü tarafın bu şifreyi ele geçiremeyeceği varsayılır. Simetrik algoritma, bir şifreleme algoritması ve anahtar şifre kullanarak açık metni anlamsız bir hale getirir. Ayrıca, mesajın yolda değiştirilmediğini doğrulamak için mesaj kimlik kodu (MAC) adı verilen bir etiket de mesaja eklenir. Gönderici, bu etiketi oluşturmak için şifreli metin ve anahtarı birlikte kullanır. Eğer metin içinde küçük bir kısım değişse bile, bu etiket geçersiz olacaktır. Üçüncü bir kişi, bu şifrelenmiş metni ele geçirse bile başlangıçtaki açık metinle ilgili hiçbir bilgiye ulaşamamalıdır. Ancak simetrik modelde, bir saldırgan şifreli metnin uzunluğunu analiz ederek orijinal metnin uzunluğunu çözebilir. Ayrıca, taraflarla ilgili sahip olduğu ek bilgiler (kim oldukları, ne amaçla konuştukları, konunun ne olduğu gibi) şifrenin kırılmasına

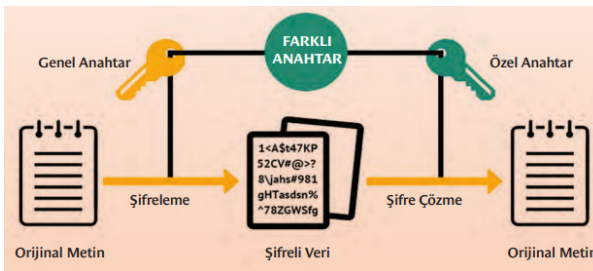
yardımcı olabilir. (Birer, 2022) Simetrik şifreleme ile ilgili görsel anlatım Şekil-3'te verilmiştir.



Şekil 3. Simetrik Şifreleme

#### 1.4.2.2. Asimetrik Şifreleme

Asimetrik model olarak bilinen açık anahtarlı modelde, iletişim kurmak isteyen taraflar arasında önceden bilinen bir anahtar şifre kullanılmaz. Her iki tarafın da herkesle (üçüncü kişiler dâhil) paylaştığı bir açık anahtar ve kimseye paylaşmadığı bir gizli anahtar bulunur. Gönderici gizli bir mesaj göndermek istediğinde, alıcının açık anahtarını kullanarak bu mesajı şifreler. Bu şifreyi çözmek için ise alıcının gizli anahtarı gerekir, aksi takdirde bu şifre çözülemez (daha doğrusu çözülmesi mevcut bilgisayarların kapasitesiyle son derece zordur). Alıcı, kendi gizli anahtarını kullanarak şifreli metni anında çözebilir. Mesajın belirli bir göndericiden geldiğini teyit etmek için şifreli mesaja bir imza bölümü eklenir. Bu bölüm, göndericinin gizli anahtarıyla şifrelenmiş olsa da göndericinin açık anahtarıyla çözülebilir. Böylece alıcı, mesajdaki imza bölümünü göndericinin açık anahtarıyla çözerek, bu mesajın gerçekten de o belirli göndericiden geldiğini anlar. Bir önceki bölümde bahsettiğimiz asal çarpanlara ayırma konusu burada kullanılır. Açık anahtar büyük sayı iken, gizli anahtar bu sayıyı oluşturan asal sayılardır. Asal sayılardan açık anahtara ulaşılabileceği halde, açık anahtardan çarpanları oluşturan sayılara ulaşılamaz. (Birer, 2022) Asimetrik şifreleme ile ilgili görsel Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Asimetrik Şifreleme

### 1.4.2.3. Hashing Algoritmaları

Modern teknolojinin hızla gelişmesiyle, yeni ve benzersiz algoritmalar geliştirmek amacıyla çabalar artmıştır. Bu çabaların önemli örneklerinden biri, Hashing (Özetleme) Algoritmalarıdır. Hashing, rastgele miktarda girdi alan ve sabit uzunlukta bir veri üreten algoritma işlemidir. Girdi ne kadar büyük olursa olsun, sabit bir bit boyutunda şifreleme yapar. Normal algoritmalar şifreleme ve şifre çözme işlemi yapabilirken, Hashing Algoritmaları sadece şifreleme sağlar; yani tek taraflı bir şifreleme işlemi sunar. Bu durum, Hash uygulamalarını diğer şifreleme algoritmalarından ayıran bir özelliktir. Bir kez üretilen Hash değerinin sonraki kullanımlarda yine aynı özetini (sonucunu) vermesi, genellikle veritabanı uygulamalarında tercih edilmesini sağlar. Kullanılırken, birincil olarak üretilen özet şifre ile sonradan girilen verinin özet şifresinin veritabanında eşleşip eşleşmediğine bakılarak kullanıcı doğrulama yapılır. Bu, yetkisiz kişilerin verilere erişimini kısıtlar ve verilerin gizliliği, bütünlüğü, erişilebilirliği gibi standartların korunmasını sağlar. Ayrıca, Hash fonksiyonlarının elektronik posta ve elektronik imza uygulamalarında da kullanıldığı gözlemlenmektedir.(İnan, 2020)

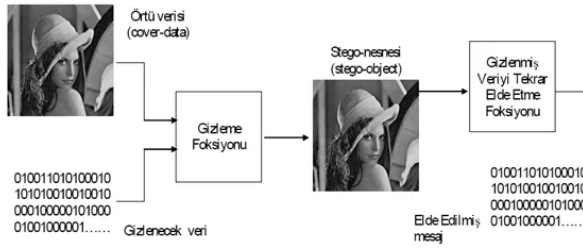
## 2. Strganografi

### 2.1. Steganografi

Steganografi, kökeni eskiye dayanan bir veri gizleme sanatıdır. “Steganografi” kelimesi, Yunanca “steganos” (örtülü, gizli veya korumalı) ve “graphtein” (yazma) kelimelerinin birleşiminden türetilmiş olup, “gizlenmiş yazı” anlamına gelir. (DOĞAN ve ark., 2016)

Steganografi kullanımı için bir taşıyıcı nesne gereklidir. Bu taşıyıcı nesne, verinin gömüleceği dosyadır ve genellikle ‘örtü dosyası’ (Cover-File) olarak adlandırılır. Örtü, nesnelere gizlenecek veri, metin gibi dosyalardan oluşabileceği gibi farklı resim veya ses dosyalarını da içerebilir. Veri örtü resme gömüldükten sonra elde edilen sonuca ‘stego resim’ denir. Örtü nesne içine gizli veri gömme işlemi ve daha sonra stego nesneden gizli verileri çıkarmak için kullanılan gizleme fonksiyonları, genellikle bir anahtar ile belirlenir. (Kurnaz, 2019) Aşağıdaki Şekil-5’te temel Steganografi mantığı anlatılmaktadır.

Buradaki şekle göre; ilgili görüntünün içerisine, gizleme fonksiyonu kullanılarak veri gizlenmektedir. Oluşan Stego-nesnesi verinin gizlenmiş halini temsil eder. Bu gizlenmiş veri çözümlenmek istendiğinde, gizlenmiş veriyi çözen fonksiyon kullanılır. Bu sayede gizlenen mesaj çözümlenir.



Şekil 5. Steganografi (Berker, 2009)

## 2.2. Steganografi Tarihi

Gizli mesajların içerisine yerleştirilerek, yalnızca alıcı tarafından fark edilebilen bir iletişim tekniği olan ‘steganografi’ veya ‘veri gizleme’, gönderici dışındaki herkesin bu mesajları algılayamayacağı bir yöntemdir. Steganografi, alıcı tarafından sadece doğru anahtar bilgisiyle gizli mesaja ulaşılabilen bir yöntemdir. Hong Kong Üniversitesi Mimarlık Bölümü Öğretim Üyesi Stepen LAU’ya göre steganografi, ‘Görünüşte zararsız olan iletişimin içine gizli mesaj ekleyerek iletişim kurma’ olarak tanımlanır. (Dolay, 2009). Steganografinin amacı, iletilmesi gereken mesajın varlığını gizlemektir. Bu amaçla, yazı tipi değişiklikleri, mürekkep seçimi gibi birçok farklı teknik kullanılabilir.

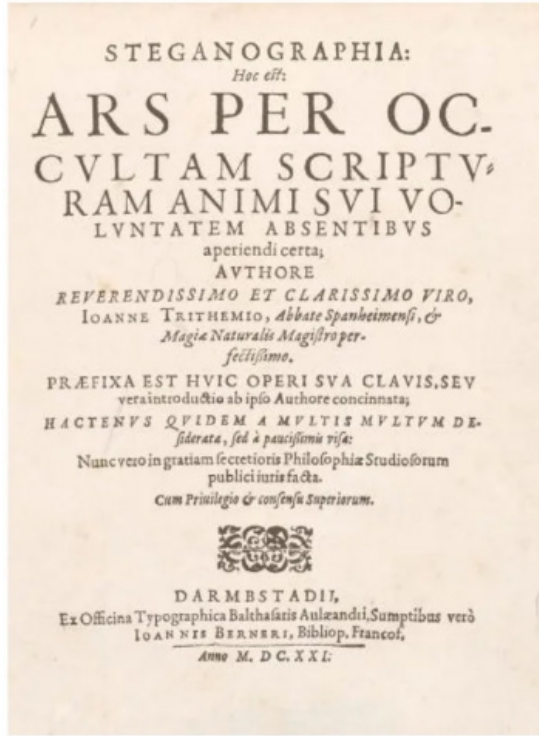
Steganografi, bilgiyi saklamanın bir sanat ve bilim olduğu bir yaklaşımdır. Genelde bir nesnenin içine mesaj gömme yoluyla gerçekleştirilir. Bu yöntem, ses dosyaları, sayısal resimler, video görüntüleri gibi farklı medya araçlarının içerisine veri saklamayı amaçlar. Örneğin, bir görüntü dosyası içinde saklanan veri bir metin dosyası olabilir veya başka bir görüntü dosyası olabilir. Bu yöntemde, bilgi saklanan ortama “örtü verisi” (cover data) denirken, oluşan ortama ise “stego-metin” (stego-text) veya “stego-nesnesi” (stego-object) adı verilmektedir. (Berker, 2009)

## 2.3. Steganografi Amacı

Tarih boyunca, steganografi tekniklerinin çeşitli alanlarda kullanıldığı düşünülüyor ve bu kullanımlar ulaşılabilir yazılı kaynaklara dayandırılıyor. Savaş öncesi hazırlıklardan savaşlara, politik ve diplomatik görüşmelere, istihbarat faaliyetlerine (casusluk - espionage), hapis kaçışlarına, isyanlara ve hazırlıklarına kadar birçok alanda steganografi teknikleri kullanılmış veya kullanılabilir potansiyele sahip olmuştur. (Özcan, 2016) Bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir;

- Herodot'a göre, tahta tabletlerin üzerine kazılan yazıların ardından mumla kaplanması, tarihteki en eski steganografi örneklerinden biri olarak kabul edilebilir.
- Kafa derisini tıraş edip içinde gizli mesaj bulunan bir dövme yaptıran bir kişi, saçlarının uzamasını bekler. Saçları uzadığında, dövme görünmez hale gelmiş ve kişi istenilen mesajı istenilen yere, mesajı deşifre etmeden ulaştırmış olur.
- İşkence gören bir mahkumun gözlerini mors alfabesine uygun olarak açıp kapaması da steganografi kullanımına örnektir.
- İkinci Dünya Savaşı sırasında, bir Japon ajanının Amerikan planlarını, bebek siparişleri içeren mektuplar arasına gizleyerek ilettiği, steganografi tarihindeki çarpıcı örneklerden biridir.
- Yine İkinci Dünya Savaşı sırasında radyo haberlerinde yayınlanan, oldukça sıradan görünen cümlelerle (masa kapının yanında gibi) düşman birliklerinin, ertesi gün şehri bombalayacağı gibi bazı mesajlar iletilmiştir.
- Akıl Oyunları (A Beautiful Mind) adlı filmi de bulunan kitapta, matematik ve kendisinin şifre çözme dehası olarak gösterilen John Nash, gazete ve dergilere gizlenmiş mesajlar arıyordu.
- Sadece mor ötesi ışıqla görülebilen yazılar yazmayı sağlayan kalemler de bir dönemin steganografisi sayılabilir.
- Tarihin en büyük trajedilerinden birini gerçekleştiren Nazi rejiminin, steganografi alanında "mikro noktalama", "görünmez mürekkep" ve "boş şifreleme (null cipher)" gibi teknikleri başarıyla kullanmış olduğu bilinmektedir. Örneğin, mikro noktalama tekniği ile 200 kez büyütülmüş çiplerle oluşturulan yazılarda, Nazi yetkilileri bir daktilo noktasının içine sayfalar dolusu bilgi, resim ve çizelge sığdırabiliyorlardı. Boş şifreleme tekniğinin etkileyici sonuçlarını gösteren bir örnek olarak, aşağıda belirtilen mesajın her kelimesinin ikinci harflerini alarak ortaya çıkan gizli mesaj, boş şifrelemenin aslında oldukça etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. (Dolay, 2009)

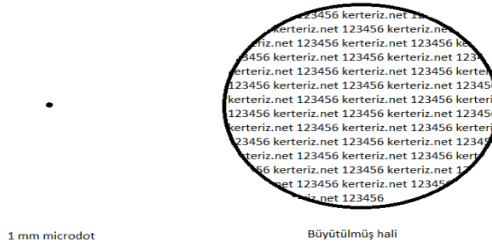
15. ve 16. yüzyıllarda yaşamış olan Johannes Trithemius (1462-1516), Steganografi adlı bir kitap yazmıştır. Bu eser, Steganografi teriminin ilk defa kullanıldığı kaynaklardan biridir. Kitap, gizli mesajların taşıyıcı metinlere nasıl gizlenebileceği konusunda çeşitli yöntemleri ele almaktadır. Şekil-1'de kitaba ait kapak yer almaktadır. Kitapta tarih boyunca Steganografi alanında yazılan yazılar ve incelemeler bulunmaktadır.



Şekil 6. (Özcan, 2016)

İkinci Dünya Savaşı zamanlarında birçok yeni teknik kullanılmıştır. Fotoğrafçılığın gelişmesi ile birlikte Almanlar “mikro noktalama” (mikrodots) tekniğini kullanmışlardır. Mikro noktalama tekniğinde yazılan mesaj fotoğraf teknikleri ile 200 kat ve üstünde küçültülüp bir nokta boyutuna getirilir ve dergi, gazete ya da herhangi bir taşıyıcı üzerine yerleştirilip gönderilir. Şifrenmesi gerekmez, başarılı olmasının nedeni gönderilen mesajların gözle fark edilemeyecek kadar çok küçük olmasından dolayı kimsenin dikkatini çekmemesidir. Şekil-7’de (Mikro noktalama) örnek bir mikro noktalama tekniği olarak görülebilir. 1 nokta yaklaşık 1 milimetre boyutuna kadar küçültülebilmektedir ve içerisine büyük boyutlarda mesaj sığdırılabilmektedir. Sadece metin değil, aynı zamanda resim, harita grafik gibi mesajlar da mikro noktalama ile gizlenerek gönderilmiştir.(Özcan, 2016)





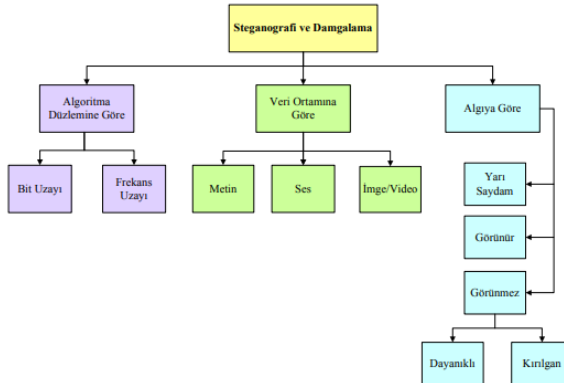
Şekil 7. Mikro Noktalama (Ünal, 2020)

## 2.4. Steganografinin Kullanıldığı Alanlar

Bilgisayar dünyasında steganografinin kullanımı, temelde iki prensibe dayanır. İlki metin içine veri gömme, ikincisi ise görüntü ve ses dosyalarına veri gömme prensibidir. Bu uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir prensip, görüntü ve ses dosyalarının içeriğinin bir dereceye kadar değiştirilebilmesidir, bu da veri gömme işlemi yapılırken asıl içeriğe zarar verilmeden gerçekleştirilebilir. Diğer yaygın bir prensip ise insan duyularının, görüntü, ses veya renkteki küçük değişiklikleri fark edememesidir. (Çözümleri, 2018)

### 2.4.1. Steganografi ve Uygulama Alanları

Steganografinin kullanıldığı uygulama alanları aşağıdaki Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Steganografi (Yalman, 2010)

Steganografi teknikleri, insan gözünün görsel algılama yeteneğine uygun olarak geliştirilmiştir. Bu nedenle, İnsan Görme Sistemi (İGS) yapısının ve sınırlarının bilinmesi, birçok konunun daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

Çünkü sayısal görüntülere veri gizleme yöntemleri, İGS'nin algılamadaki hassasiyetinin nispeten düşük olmasından faydalanır. (Kurnaz, 2019)

Bu makalede veri ortamına göre steganografi çeşitleri incelenecektir.

#### **2.4.1.1. Ses Steganografi**

Ses steganografisi, bir ses sinyalinin içindeki bilgiyi gizlemeyi amaçlar. Veri, sinyalin içine gömüldükçe değişir ve bu modifikasyonun insan kulağı tarafından ayırt edilemez olması gerekmektedir. Ses sinyalinin iletim kanalı, kodlayıcıdan kod çözücüyeye kadar sinyalin geçebileceği ortamları belirler.

En yaygın ses steganografi yöntemlerinden biri LSB algoritmasıdır. Bu yöntemde, mesajı gizlemek için kapak sinyalinin en az anlamlı biti kullanılır. Bu basit bir yöntemdir çünkü LSB bitinde yapılan değişiklikler, stego sinyaline yansıtıldığında insan kulağı tarafından fark edilmez. LSB algoritmasının temel özellikleri arasında dosya boyutunun kodlamadan sonra değiştirilmemesi ve bit seviyesi manipülasyonları tarafından oluşturulan ses değişimine karar verecek bir yazılımın bulunmaması yer alır.(Gine, 2022)

Veriler, her karakterin sekiz adet 254/255 bayta ihtiyaç duyduğu bir yöntemle yerleştirilir. Frekans grafiği analizi, algoritmanın güvenlik açısından etkin olduğunu, ancak ses kalitesinin seçilen sesin boyutuna ve gömülü mesajın uzunluğuna bağlı olduğu kısıtlamasını gösterir. Aynı zamanda bazı ses formatlarını da destekler. (Gine, 2022)

#### **2.4.1.2. Video Steganografi**

Video Steganografisinde, gizlenecek veri sınırlanmamaktadır. Bu sayede mesaj ne kadar uzun olursa, mesaja uygun uzunlukta bir video seçildiğinde sağlıklı bir gömülme işlemi yapılır. Gizlenecek verinin boyutu hesaplanarak, buna uygun seçilen video dosyası uygun bir gömme algoritması ile gömme işlemi gerçekleştirilir. Gömme işleminden sonra steganografi uygulanan dosya, çözümlenir. Çözümleme işlemi ile veri açığa çıkmış olur. (Yıldız ve Özcerit, 2015)

#### **2.4.1.3. Metin Steganografi**

Görüntü içerisine veri gizlemek için en sık kullanılan bazı yöntemler şunlardır:

- En Az Önemli Bit'e (LSB) Ekleme
- Maskeleye ve Filtreleme
- Algoritmalar ve Dönüşümler

İletilecek verinin önemine bağlı olarak gizleme işlemi sıklıkla şifreleme ile birleştirilir. Şifreleme, veri güvenliği seviyesini artırmak için tercih edilen bir yöntemdir. Şifreleme ve veri gizleme bir araya geldiğinde, veri güvenlik seviyesi daha da artmaktadır. Şifrelemenin türleri arasında, Sezar, Vigenere gibi eski şifreleme yöntemleri ve modern şifreleme metotları olan DES (Data Encryption Standard - Veri Şifreleme Standartı) ve AES (Advanced Encryption Standard - Gelişmiş Şifreleme Standartı) yer almaktadır. (Özbilgin ve ark., 2018)

#### **2.4.1.4. Network Steganografi**

Bu yöntemde, genellikle gönderilen gizli verinin bant genişliği yüksek olsa da; diğer yöntemlere kıyasla, zamanlama, sıralama gibi faktörler nedeniyle gizli verinin varlığının güvenlik duvarlarına, steganalitik yöntemlere veya saldırı tespit sistemlerine hissettirilme riski daha yüksektir. Temelde, paket başlıklarına veri gizleme işlemi, genellikle o anda kullanılmayan veya isteğe bağlı alanlara gizli veri gömmenin yanı sıra, iletişimde gerekli olan, yani kullanılan alanlara da kısmi müdahaleyle gizli verinin bozulmadan gömülmesini içerir ve paket alıcıya iletilir. (KARADOĞAN ve ark.)

#### **2.4.1.5. Görüntü Seganografi**

Steganografi uygulamalarında en yaygın kullanılan örtü nesnelere biri resimlerdir. Genellikle bu yöntemde piksel yoğunlukları, verilerin gizlenmesi için kullanılır. Resim steganografisi için birçok farklı yöntem ve algoritma bulunmaktadır.(Kurnaz, 2019)

### **3. Kriptoloji ve Steganografi Arasındaki Fark**

Bilgi güvenliğini sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılan iki yöntem mevcuttur: kriptografi ve steganografi. Her iki yöntemin de amacı, gönderen ile alıcı arasında aktarılan verinin üçüncü kişiler tarafından öğrenilmemesidir. Kriptografide, farklı algoritmalar ve bazı matematiksel hesaplamalar kullanılarak; verinin, üçüncü taraflarca anlaşılmasını güçleştirecek şekilde değiştirilmesi amaçlanır. Gönderen ve alıcı, bu algoritmaları çözebilecek bilgiye sahip olduğu için kısa sürede veriyi anlamlı hale getirebilir. Ancak üçüncü taraflar, veriyi çözebilmek için çok fazla kaynak ve zaman harcamak zorundadır.

Steganografi ise, iletilmek istenen önemli verinin gizli olmayan bir dosya veya mesaj içerisine gizlenmesi tekniğidir. Dosya veya mesaj açıktır, ancak içinde gizli bir veri olup olmadığı üçüncü taraflarca anlaşılabilir. Kısacası,

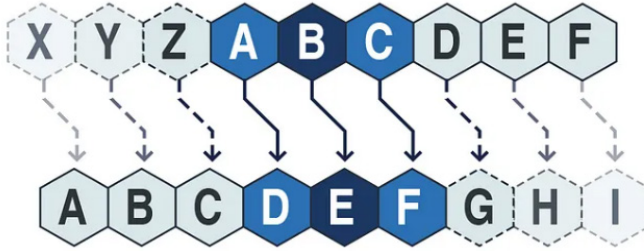
verinin varlığını gizleyerek üçüncü tarafların bu veriden haberdar olması engellenmeye çalışılır.

Şifreleme, gizliliğe yapılan saldırılar için kullanılan bir çözümdür. Paylaşılan gizliliğin ya da iletilen verinin sadece taraflar için anlamlı olabilecek şekilde kodlanması esasına dayanır. Şifreleme, nerede yapılacağı ve nelerin şifrenmesi gerektiği gibi önemli kararları içeren bir protokol tasarımı gerektirir.(Uğur, 2005)

Şimdi her iki başlığı da basit metotlar ile inceleyelim;

- Kriptoloji için Sezar şifreleme örneği;

Sezar şifrelemesi, en basit ve en eski şifreleme tekniklerinden biridir. İsmi, Romalı general Jül Sezar'dan gelir. Bu şifreleme yöntemi, her harfi belirli bir sayıyla (genellikle 3) kaydırarak metni şifreler. Çalışma prensibi oldukça basittir. Öncelikle, alfabedeki her harfe bir sayı değeri atarız. Örneğin, A=1, B=2, C=3, ve böyle devam eder. Ardından, şifrelemek istediğimiz metindeki her harfi belirli bir sayı birimiyle kaydırırız. Bu kaydırma işlemi genellikle sağa doğru yapılır. Örneğin, 3 birim sağa kaydırırsak, A harfi D'ye, B harfi E'ye dönüştür.(Yazılımcı, 2022)



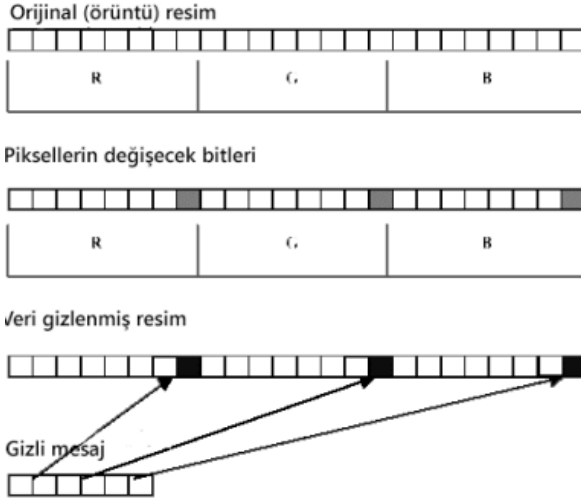
Şekil 9. Sezar Şifreleme

Şifreleme işlemi tamamlandığında, metnin her harfi kaydırılmış haliyle değiştirilir. Şifrenmiş metin elde edilir. Şifreyi çözmek için ise aynı kaydırma miktarını kullanarak her harfi geriye doğru kaydırırız ve orijinal metni elde ederiz.

Sezar şifrelemesi, basitliği ve anlaşılabilirliği nedeniyle daha çok eğlence veya hafif güvenlik amaçları için kullanılır. Ancak, güvenlik açısından zayıf bir yöntemdir. Çünkü sadece 26 farklı kaydırma miktarı vardır (A'dan Z'ye kadar), bu da şifrenin kolayca kırılmasını sağlar. Dolayısıyla, gerçek güvenlik ihtiyaçları için modern ve güçlü şifreleme algoritmalarının tercih edilmesi önemlidir.

- Steganografi için LSB örneği;

Steganografi, bir verinin başka bir veri içine gömülerek gizlenmesini sağlayan bir yöntemdir. Görüntü steganografisinde, LSB (Least Significant Bit) yöntemi en yaygın kullanılanlardan biridir. LSB yönteminde, gizlenen mesajın her bir biti, resim dosyasını oluşturan verinin bir baytının en son bitine yazılır. Aşağıda, LSB yöntemiyle veri gizleme işlemini gösteren bir örnek bulunmaktadır:



Şekil 10. LSB Örneği

Bu yöntem, gizli mesajın görüntü dosyasının en az anlamlı bitlerine yerleştirilmesi prensibine dayanır. Bu sayede, görseldeki değişiklik insan gözü tarafından genellikle fark edilemez ve gizli mesajın taşıyıcı veri içinde gizli kalması sağlanır.(Yiğit, 2018)

## Sonuç

Steganografi, kriptografiye göre önemli bir avantaja sahiptir. Gönderilen bilgiyi gören bir kişi, ileti içinde gizli bir mesaj olup olmadığını hiçbir zaman bilemez. Günümüzdeki gelişmiş teknolojilere baktığımızda, şifreleme yöntemlerinde ne kadar güçlü olursa olsun, kırılma olasılığı her zaman mevcuttur. Ancak steganografi, bu bilgiyi gizlilik ilkesinden alır ve gönderilen içerikteki gizli mesajı ortaya çıkarmak neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, dikkat çekmeyen bir güvenlik yöntemi olarak öne çıkar. Kriptografi ise bu işlemi güçlü şifreleme algoritmaları aracılığıyla gerçekleştirir.

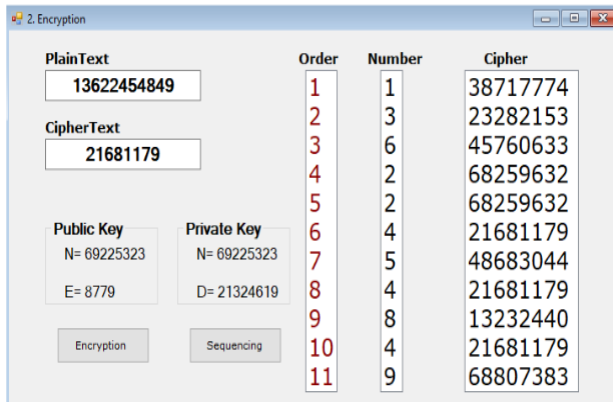
	<b>Steganografi</b>	<b>Kriptoloji</b>
<b>Tanım</b>	İletişim sırasında mesajı gizlemek.	İletişim sırasında mesajı anlaşılamaz hale getirmek.
<b>Amaç</b>	Güvenli iletişim	Veri koruma
<b>Veri Görünürlüğü</b>	Hiçbir zaman	Her zaman
<b>Anahtar</b>	Kullanılan algoritmaya göre değişiklik gösterir, isteğe bağlıdır. Kullanıldığında daha güvenli bir yapı oluşur.	Kullanmak zorunludur.
<b>Dezavantaj</b>	İletilen mesaj fark edildiğinde, kolayca okunabilir.	Anahtara ulaşıldığında, şifre kolayca çözülerek mesaja ulaşılabilir.

Yukarıda verilen tabloda steganografi ve kriptoloji arasındaki farklar bir tablo ile daha anlaşılır bir şekilde gösterilmiştir. Tabloda en çok göze çarpan iki nokta, veri görünürlüğü kısmıdır. Steganografi tekniğinde hiçbir zaman veri görünmez fakat kriptoloji için aynısı söylenemez.

Günümüzde, kriptoloji ve steganografi bilimlerinden yararlanılarak birçok yazılım geliştirilmektedir. Her iki alanda da öne çıkan birçok algoritma ve ürün bulunmaktadır. Bu alanlar birbirine çok benzer gibi gözükse de aslında amaçları bakımından farklılıkları ortaya çıkmaktadır.

Örnek çalışma:

Bu çalışma, kriptoloji ve steganografi tekniklerini kullanarak bilgi güvenliğini artırmayı amaçlamaktadır. Literatürde genellikle bilgi güvenliği için alternatif olarak sunulan veri şifreleme ve veri gizleme konuları, bu çalışmada birbirlerini tamamlayıcı bir şekilde kullanılmıştır. Yeni ve özgün bir uygulama geliştirilmiş olup, sayısal resimlere farklı ve rasgele noktalara gizlenen verilerin başarıyla deşifre edilerek orijinal verilere ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Uygulama, C# programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.(AYDOĞAN ve Engin, 2020)



## Kaynaklar

- Akleylek, S., Yıldırım, H. M. ve Tok, Z. Y., 2011, Kriptoloji ve uygulama alanları: açık anahtar altyapısı ve kayıtlı elektronik posta, *Akademik Bilişim*, 11, 2-4.
- AYDOĞAN, M. ve Engin, A., 2020, KRİPTOLOJİ VE STEGANOĞRAFİ TEKNİKLERİ İLE GELİŞTİRİLMİŞ BİR BİLGİ GÜVENLİĞİ UYGULAMASI, *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7 (13), 63-76.
- Berker, S., 2009, Steganografi ve LSB, bilgisayar kavramları, <https://bilgisayarkavramlari.com/2009/06/05/steganografi-ve-lsb/>: [22.11].
- Beşkirli, A., Özdemir, D. ve Beşkirli, M., 2019, Şifreleme yöntemleri ve RSA algoritması üzerine bir inceleme, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 284-291.
- Birer, G. C., 2022, Kriptoloji, *Bilim ve Teknik*, 16.
- Coşkun, A. ve Ülker, Ü., 2013, Ulusal Bilgi Güvenliğine Yönelik Bir Kriptografi Algoritması Geliştirilmesi ve Harf Frekans Analizine Karşı Güvenlilik Tespiti, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 6 (2), 31.
- Çözümleri, U. K. T., 2018, Steganografi Nedir?, univera-ng.blogspot, <https://univera-ng.blogspot.com/2018/06/steganografi-nedir.html>: [22.11].
- DOĞAN, F., Resul, D. ve TÜRKÖĞLU, İ., 2016, İmgeler için yeni bir veri gizleme yaklaşımı, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7 (3), 501-514.
- Dolay, B., 2009, Veri Gizleme Bilimi, e-bergi, <https://e-bergi.com/y/veri-gizleme-bilimi/>: [22.11].
- Gine, 2022, What is Audio Steganography?, tutorialspoint, <https://www.tutorialspoint.com/what-is-audio-steganography/>: [22.11].
- Günden, Ü., 2010, Şifreleme algoritmalarının performans analizi, *Sakarya Üniversitesi (Turkey)*.
- İnan, A., 2020, Kriptoloji ve Kriptografi, *academia*, 42.
- KARADOĞAN, İ., DAŞ, R. ve KARCI, A., Bilginin Gizli İletimi İçin Yeni Ağ Steganografi Yaklaşımları, IDAP.
- Kurnaz, H., 2019, Hibrit yaklaşımlı yeni bir steganografi yönteminin geliştirilmesi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Obaid, Z., Sabonchi, A. ve Akay, B., KLASİK KRİPTOLOJİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI ÖZ.
- Özbilgin, F., Durmuş, F. ve Karagöl, S., 2018, Yazılı metni şifreleyip LSB yöntemi ile gizleme, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (3), 676-685.
- Özcan, S., 2016, Steganografi Nedir Nasıl Çalışır ve Araçları, bgasecurity, <https://www.bgasecurity.com/makale/steganografi-nedir-nasil-calisir-ve-araclari/>: [22.11].
- Servi S., Uymaz S.A., Yel E., Tezel G., "Logistic Regression, as a Tool and as a part of Solution in Engineering Problems", 6th International GAP Engineering Conference – GAP2018, Urfa, Turkey
- Servi Sema, Reduced differential transform method for improved Boussinesq equation, Tam Metin Bildiri, Proceedings Of The International Conference On Numerical Analysis And Applied Mathematics 2014 (ICNAAM-2014), 22 Eylül 2014, 28 Eylül 2014.
- Serhat Çelik, N. Y., 2023, Kriptografi ve Görüntü Steganografi Tabanlı Bir Veri Gizleme Uygulaması, *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*.

- Seyidkhadija MİRJAFARLİ-Hakan TERZİOĞLU-Abdullah Cem AĞAÇAYAK, (2022). BÖLÜM 9: Yapay Zeka Ve Makine Öğrenme Metodlarının Tıp'ta Kullanım Alanlarına Genel Bakış. Mühendislikte Yeni Araştırmalar, Tablet Kitapevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-5447-75-5. pp. 101-116.
- Tuncal, T., 2008, Bilgisayar güvenliği üzerine bir araştırma ve şifreleme-deşifreleme üzerine uygulama, *Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Türk, Y., 2023, Kriptoloji Nedir, yazilimturkiye, <https://www.yazilimturkiye.com/kriptoloji-nedir/>: [25.11].
- Uğur, A., 2005, Uzaktan erişimli kriptografik güvenli haberleşme protokolü, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ünal, B., 2020, Steganografi Nedir? Kriptografi İle Farkı Nedir?, [kerteriz.net](https://kerteriz.net), <https://kerteriz.net/steganografi-nedir-kriptografi-ile-farki/>: [22.11].
- Üniversitesi, A., 2023, Kriptolojiye Giriş, [acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=220](https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=220):
- Yalman, Y., 2010, Sayısal görüntüler için histogram temelli veri gizleme yöntemi ve uygulama yazılımı.
- Yazılımcı, Ç., 2022, Sezar Şifreleme Nedir?, [Medium](https://caylakyazilimci.medium.com/sezar-%C5%9Fifrelemesi-nedir-9dc54b18e56d), <https://caylakyazilimci.medium.com/sezar-%C5%9Fifrelemesi-nedir-9dc54b18e56d>: [26.11].
- Yeşilbaş, E., 2016, Cebirsel kriptoloji yöntemleri ve bazı uygulamaları, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Y. Keskin, A. B. Koç & S. Servi, Reduced Differential Transform Method For Solving High-dimensional Pdes, Sözlü Sunum, 1st Int. Eurasian Conf. On Mathematics Sciences And Applications, 03 Eylül 2012, 07 Eylül 2012.
- Yiğit, Y., 2018, Sayısal İmgelerde Güvenli Veri Gizlemeye Yönelik Uygun Maske Belirleme, *Ulusal Tez Merkezi*, 60.
- Yıldız, Y. ve Özcerit, A. T., 2015, bit renkli hareketli resimler (video) üzerinde geliştirilen sır örtme yöntemi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri dergisi*.