

EĞİTİM
yayınevi

MÜHENDİSLİKTE

YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR-2

EDİTÖRLER

PROF. DR. SÜLEYMAN NEŞELİ
DR. ÖĞR. ÜYESİ HAKAN TERZİOĞLU

MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR-2

EDİTÖRLER

PROF. DR. SÜLEYMAN NEŞELİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ HAKAN TERZİOĞLU

EĞİTİM
yayınevi

MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR-2

Editörler: Prof. Dr. Süleyman Neşeli, Dr. Öğr. Üyesi. Hakan Terzioğlu

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: 978-625-6613-95-9

1. Baskı, Aralık 2023

Kütüphane Kimlik Kartı

MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR-2

Editörler: Prof. Dr. Süleyman Neşeli, Dr. Öğr. Üyesi. Hakan Terzioğlu

IV+144 s., 160x240 mm

Kaynakça var, dizin yok.

E-ISBN: 978-625-6613-95-9

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

BİLGİSAYAR GÖRÜŞÜ TABANLI MASA BAŞI ÇALIŞANLARA YÖNELİK MEDIAPIPE İLE POSTÜR ANALİZİ.....	1
C. KÖSTEKLİ, H.E. KOÇER, M.K. ALTUNOK	

BÖLÜM 2

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ	12
H. TERZİOĞLU, G. YALÇIN, E. ÖKSÜM	

BÖLÜM 3

ELEKTRİKLİ ARAÇ VE HİDROJENLİ (YAKIT PİLLİ) ARAÇ TEKNOLOJİSİNDE KULLANILAN BATARYALAR.....	30
H. TERZİOĞLU, A.C.AĞAÇAYAK, E. ÖKSÜM	

BÖLÜM 4

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA DAİR TEKNOLOJİK GELİŞMELERE BAĞLI OLARAK MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	59
R. ESEN, G. YALÇIN	

BÖLÜM 5

KOMPOZİT DİŞLİ ÇARKLARIN SOĞUK ORTAMLARDA ÖZELLİKLERİ	91
Sanan ZAKARİYAYEV	

BÖLÜM 6

SANTRAL SERÖZ KORYORETİNOPATI HASTALIĞININ DERİN ÖĞRENME İLE TEŞHİSİ: DERLEME MAKALESİ.....	112
A. E. GÖK, Ş. TAŞDEMİR	

BÖLÜM 7

YAPAY ZEKA VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE İNSAN İLİŞKİLERİ ANALİZİ.....	123
K. DÜNDAR, A.C.AĞAÇAYAK	

BÖLÜM 1

BİLGİSAYAR GÖRÜŞÜ TABANLI MASA BAŞI ÇALIŞANLARA YÖNELİK MEDIAPIPE İLE POSTÜR ANALİZİ

C. KÖSTEKLİ¹, H.E. KOÇER², M.K. ALTUNOK³

GİRİŞ

Sağlık alanında görüntü işlemenin kullanımı son yıllarda daha yaygın hale gelmekte ve bu alandaki uygulamaların gelişmesi ile birlikte iş yükünü hafifletmektedir. Görüntü işlemenin insanlar üzerinde kullanılması ile insan yüzü tespiti, işaret dili tespiti [1], poz tespiti vb. gibi alanlarda çalışmalar yapılmıştır. Literatürde fizyoterapi ve rehabilitasyon alanına yönelik çalışmalarda poz tespiti yönteminin kullanıldığı çalışmalar gözlemlenmiştir. Bunlardan bazıları; vücut egzersiz uygulamaları [2], parkinsonizm hastalarında hem klinik pratikte hem de klinik uygulamalarda kullanılabilen ekstenel postüral anormalliklerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi [3], simetrik kaldırmanın 3 boyutlu duruş tahmini [4] gibi çeşitli sorunları ele alan çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Modern yaşam tarzları, masa başı çalışma gibi uzun süreli oturma alışkanlıkları nedeniyle kötü vücut postürü yaygın hale gelmiştir. Dünya genelinde yaygınlaşan bir halk sağlığı sorunu olan hareketsiz davranış, özellikle gelişmiş ülkelerde insanların günlük hayatta işe, ofise veya eve giderken ortalama 8,3 saat boyunca oturmasından kaynaklanmaktadır [5]. Bir sandalyede otururken bel ağrısının genel rahatlık üzerinde en fazla etkili olduğu ve bunu boyun ve sırt ağrısının izlediği doğrulanmıştır [6]. Sırt ve boyun ağrısının yanı sıra masa başı çalışan idari personelin KİSR'na (Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları) bölgesel olarak bakıldığında sırasıyla en çok sırt %54.8, bel %54.8, boyun %50.4, sağ omuz %36.5, sol omuz %30.6, sağ diz %27, sağ el bileği, sağ ayak %24.6, sol ayak %23.8, sol diz %23.4, kalça %20,6 bölgelerinde görülmektedir [7]. Bu rahatsızlıklara çözüm olarak ergonomi, çalışma ortamlarındaki fiziksel koşulları değerlendirmek ve iyileştirmek amacıyla çeşitli analiz yöntemlerini

1 Selcuk University, Technology Faculty, Electrical and Electronics Department, Student, Konya/Türkiye, cerenkostekli@icloud.com

2 Selcuk University, Technology Faculty, Electrical and Electronics Department, Konya/Türkiye, ekocer@selcuk.edu.tr

3 Selçuk University, Health Sciences Faculty, Physiotherapy and Rehabilitation Department, Konya/Türkiye, mehmetkaan.altunok@selcuk.edu.tr

içeren önemli bir disiplindir. Bu bağlamda, CO-OWAS (Computerized Ovako Working Posture Analysis System) gibi bilgisayar destekli sistemler, çalışanların iş sırasındaki postürlerini değerlendirmek ve potansiyel sağlık risklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır[8].

Bu çalışmalardan yola çıkarak, çalışmamızda koruyucu rehabilitasyona kapsamında masa başı çalışmalarında önleyici önlem alabilmek için web kamerası aracılığı ile gerçek zamanlı elde edilen görüntünün görüntü işleme ile vücudun ilgili noktaları tespit edebilmek amaçlanmaktadır. Kullanıcıya kötü duruşun farkındalığını oluşturmak için web kamerası ile MediaPipe ve OpenCV (Open-Source Computer Vision) kütüphanesi kullanılarak geliştirdiğimiz sistemde, gerçek zamanlı kamera verileri üzerinden kötü vücut duruşunu tespit etmeyi ve kullanıcıları görsel ve işitsel geri bildirim ile uyarı vermeyi amaçladık.

2. YÖNTEM

Çalışmamız Python programlama dili kullanarak Visual Studio Code program üzerinden gerçekleştirilmiştir.

2.1. Gerekli Kütüphaneler

2.1.1. OpenCV Kütüphanesi

OpenCV, bilgisayarla görme ve görüntü işleme uygulamaları geliştirmek için kullanılan bir açık kaynaklı kütüphanedir. OpenCV, gerçek zamanlı görüntü işleme, nesne tanıma, yüz tanıma, hareket analizi, kamera kalibrasyonu, stereo görüntü işleme, 3D modelleme ve daha birçok bilgisayarla görme görevini gerçekleştirmek için kullanılabilir. OpenCV, C++ ve Python gibi programlama dillerini destekler ve Linux, Windows, macOS, Android ve iOS gibi çeşitli platformlarda çalışabilir. Kütüphane, geniş bir algoritma koleksiyonu ve işlevsellik sağlar, bu nedenle bilgisayarla görme projelerinde sıkça tercih edilir. OpenCV'nin temel özellikleri arasında görüntü işleme işlevleri, kamera kalibrasyonu, nesne tespiti ve izleme, stereo görüntü işleme, yapay zekâ tekniklerini (örneğin, derin öğrenme) entegre etme yeteneği bulunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde araştırma, endüstri ve hobi projelerinde geniş bir uygulama yelpazesi bulunmaktadır.

2.1.2. MediaPipe Kütüphanesi

MediaPipe, Google tarafından geliştirilen bir açık kaynaklı bir proje ve yazılım kütüphanesidir. MediaPipe, bilgisayarla görme uygulamaları geliştirmek için kullanılan bir araçtır. Özellikle, gerçek zamanlı video analizi ve

işleme uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. MediaPipe, görüntü işleme ve makine öğrenimi tekniklerini bir araya getirerek çeşitli görevleri gerçekleştirmek için kullanılır. MediaPipe, bir dizi hazır yapının yanı sıra özelleştirilebilir modüller sunar. Bu modüller, örneğin el takibi, yüz takibi, vücut tutumu analizi, nesne tanıma ve daha birçok uygulama için kullanılabilir. Kullanıcılar, bu modülleri kendi projelerine entegre edebilir veya ihtiyaçlarına göre özelleştirebilirler. MediaPipe'in kullanımı genellikle geliştiricilere ve araştırmacılara, özellikle mobil ve gömülü sistemlerde gerçek zamanlı bilgisayarla görme uygulamaları geliştirmek isteyenlere hitap eder. MediaPipe, çeşitli programlama dilleri ve platformlarla uyumludur, bu da geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmesini sağlar. MediaPipe modelinin kalitesini diğer iyi performans gösteren halka açık çözümlere göre değerlendirmek için farklı sektörleri temsil eden üç farklı doğrulama veri kümesi kullanılmaktadır: Yoga, Dans ve HIIT (High intensity interval training). Her görüntü, kameradan 2-4 metre uzakta bulunan yalnızca tek bir kişiyi içermektedir [9]. Diğer çözümlerle tutarlı olmak amacıyla, COCO topolojisinden [10] yalnızca 17 anahtar nokta için değerlendirme yapılmaktadır.

2.1.3. NumPy Kütüphanesi

Python programlama dilinde bilimsel hesaplamalar, veri analizi ve matematiksel işlemler için kullanılan güçlü bir kütüphanedir. NumPy, çok boyutlu dizilerin ve matrislerin işlenmesi için temel veri yapısını sağlar ve bu veri yapısı üzerinde hızlı ve etkili hesaplamalar yapılmasına olanak tanır. NumPy, aşağıdaki gibi temel özellikleri içerir: Çok boyutlu diziler, hızlı ve etkin hesaplamalar, matematiksel işlemler, rastgele sayı üretimi ve veri analizi.

2.1.4. math Kütüphanesi

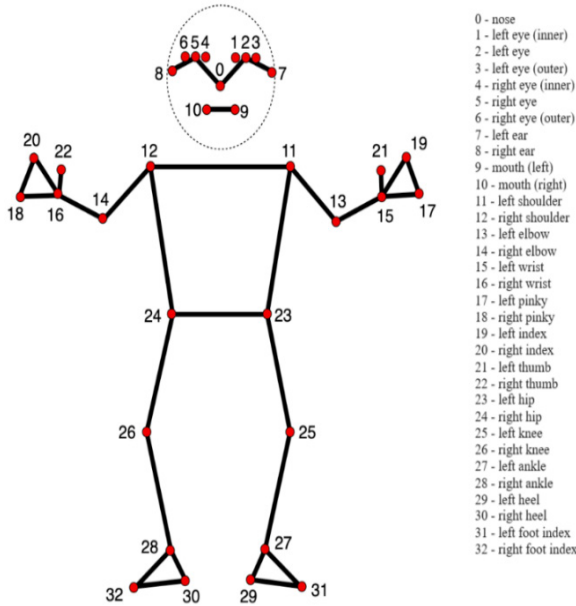
Python programlama dilinde matematiksel işlemleri gerçekleştirmek için kullanılan bir standart kütüphanedir. Bu kütüphane, bir dizi matematiksel fonksiyon, sabit ve matematiksel operasyon içerir. Bu fonksiyonlar, trigonometrik, logaritmik, üs alma, kök alma gibi çeşitli matematiksel işlemleri gerçekleştirmenizi sağlar.

- `math.sqrt(x)`: Karekökünü alır.
- `math.exp(x)`: e üzeri x'in değerini verir.
- `math.log(x, base)`: x'in belirtilen tabanda logaritmasını alır.
- `math.sin(x)`, `math.cos(x)`, `math.tan(x)`: Sırasıyla sinüs, kosinüs ve tanjant fonksiyonları.
- `math.radians(x)`, `math.degrees(x)`: Derece-radyan dönüşümleri.

- math.pi: Pi sayısının değeri.
- math.e: Euler sayısının değeri.

2.2. MediaPipe ve Duruş Analizi

Bu proje, MediaPipe'in vücut takibi özelliklerini kullanarak kullanıcının duruşunu değerlendirir. Kullanıcıların vücut duruşunu değerlendirmek için gerçek zamanlı kamera verilerini kullanılmaktadır. OpenCV kütüphanesi gerçek zamanlı kamera görüntüsünü okumamıza olanak sağlamaktadır. Mediapipe kitaplığı görüntüleri RGB(Red-Green-Blue) biçiminde işler ve BGR (Blue-Green-Red) biçiminde bir görüntüde sonuçlar doğru olmayabilir. Bu nedenle çerçeveyi MediaPipe'tan pose.process() fonksiyonuna geçirmeden önce renk alanı RGB olarak değiştirilir. Bu değişimin sonrasında görüntü MediaPipe eğitim sürecinden geçmektedir. MediaPipe kütüphanesi Şekil 1'de gösterilen vücut anahtar noktalarını sağlamaktadır. Kamera verileri üzerinden elde edilen vücut anahtar noktaları, duruş analizi ve açı hesaplamaları için temel veri sağlar.



Şekil 1. MediaPipe vücut işaret noktaları.

2.3. Kullanıcının Konumu

Kullanıcının servikal fleksiyon ve lumbal fleksiyon açılarının doğru bir şekilde belirlenebilmesi için, kamera kullanıcıyı sagittal açıda görmesi gerekmektedir. Kullanıcının sağ ve sol acromion noktaları arasındaki uzaklığını belirleyerek kullanıcının kamerada önündeki konumunun kullanılabilir olup

olmadığını tespit ederek kullanıcıya bildirilir. İki nokta arasındaki mesafenin hesaplanması için kullanılan ifade (1) eşitlikte verilmektedir. Kodda kullanılan fonksiyon Şekil 2’de verilmektedir.

$$Mesafe = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

```
# Calculate distance
def findDistance(x1, y1, x2, y2):
    dist = m.sqrt((x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2)
    return dist
```

Şekil 2. Mesafe Hesaplama Kodu

2.4. Servikal Fleksiyon ve Lumbal Fleksiyon Açısı Hesaplama Yöntemi

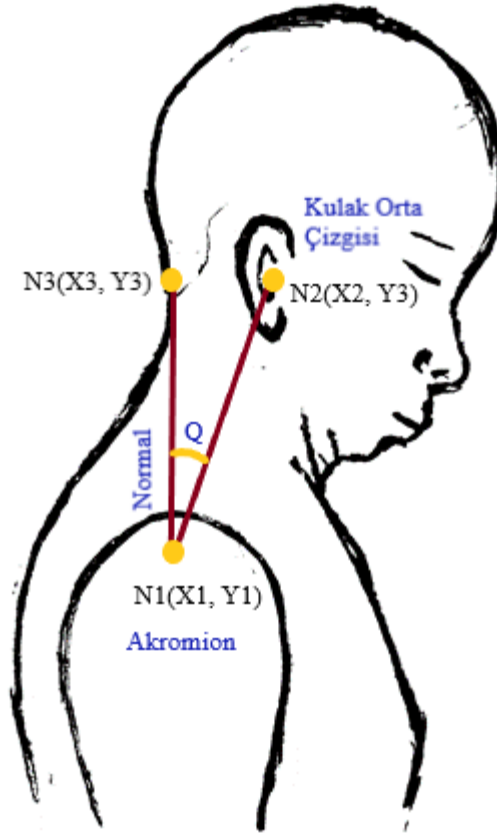
Fizyoterapistler, klinikte normal eklem hareketlerini normalde gonyometre aracılığı ile ölçmektedirler. Servikal fleksiyon açısı gonyometre kullanılarak ölçüldüğünde, pivot nokta akromion olarak belirlenir ve gonyometre burada konumlandırılır. Sabit kol yere paralel iken hareketli kol ise kulak orta çizgisini takip edecek şekilde ayarlanır. Servikal fleksiyon yapan kişide hareketli kol kulak orta noktasını takip eder ve aradaki açı gonyometre üzerinden okunur [11]. Bu yöntem çalışmamızda, Şekil 4’teki gösterildiği gibi uygulandı. Akromion noktasından normal olarak adlandırdığımız yere dik bir doğru çizilmektedir. Normal, akromion ve kulak orta çizgisindeki açının değeri servikal fleksiyon açısını vermektedir. Bu açının hesaplanması için kullanılan ifade (2) eşitlikte verilmektedir. Bu eşitliğin kodda karşılığı Şekil 3’te verilmektedir.

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{(\vec{N}_{12} \times \vec{N}_{13})}{|\vec{N}_{12}| \times |\vec{N}_{13}|} \right)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{y_1^2 - y_1 \times y_2}{y_1 \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \right) \quad (2)$$

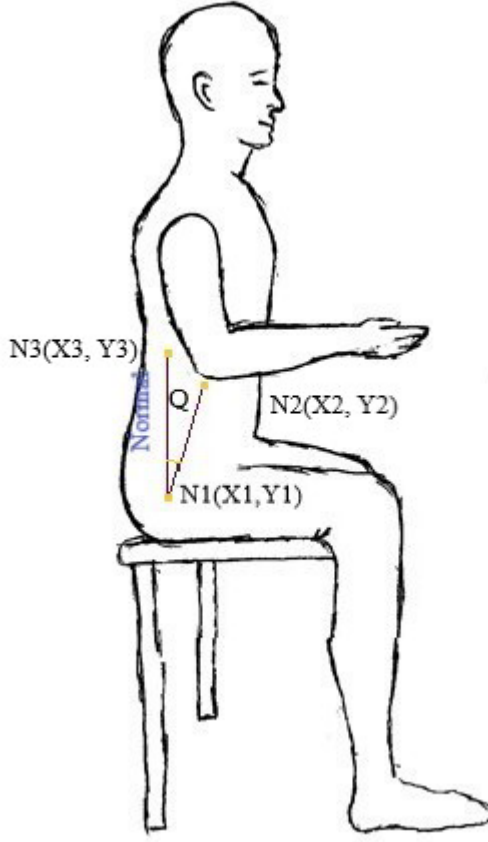
```
# Calculate angle.
def findAngle(x1, y1, x2, y2):
    theta = m.acos((y2 - y1) * (-y1) / (m.sqrt(
        (x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2) * y1))
    degree = int(180 / m.pi) * theta
    return degree
```

Şekil 3. Açılı Hesaplama Kodu



Şekil 4. Servikal Fleksiyon

Gövde fleksiyon açısı gonyometre kullanılarak ölçülmek istendiğinde ise, pivot nokta gövdenin lateralinde lumbosakral eklemin iz düşümü hayali bir nokta olarak belirlenerek gonyometre burada konumlandırılır. Sabit kol yere dik bir pozisyonda, femur orta hattına paralel olarak sabitlenirken hareketli kol gövdenin lateral orta noktasında aksilla çizgisine doğru ayarlanır. Ölçüm alınan kişi gövde fleksiyonu yaptığıında hareketli kol aksilla çizgisini takip eder ve aradaki açı gonyometre üzerinden okunur [11]. Bu yöntem çalışmamızda, Şekil 5'te gösterildiği gibi uygulandı. Lumbosakral eklemin iz düşümü olan noktadan normal olarak adlandırdığımız yere dik bir doğru çizilmektedir. Normal, akromion ve femur orta hattı noktaları arasındaki açının değeri gövde fleksiyon açısını vermektedir. Bu açının hesaplanması için kullanılan ifade (2) eşitlikte verilmektedir.

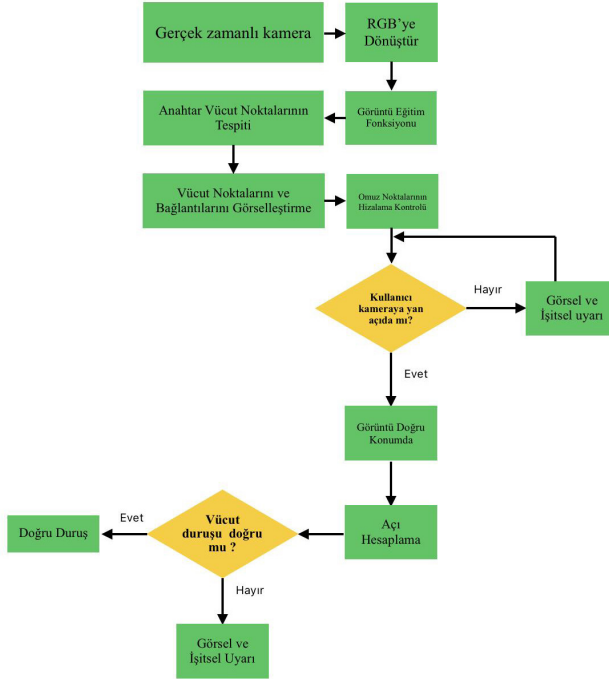


Şekil 5. Lumbal Fleksiyon

2.6. Servikal ve Lumbosakral fleksiyon Açılarının Nominal Değerleri

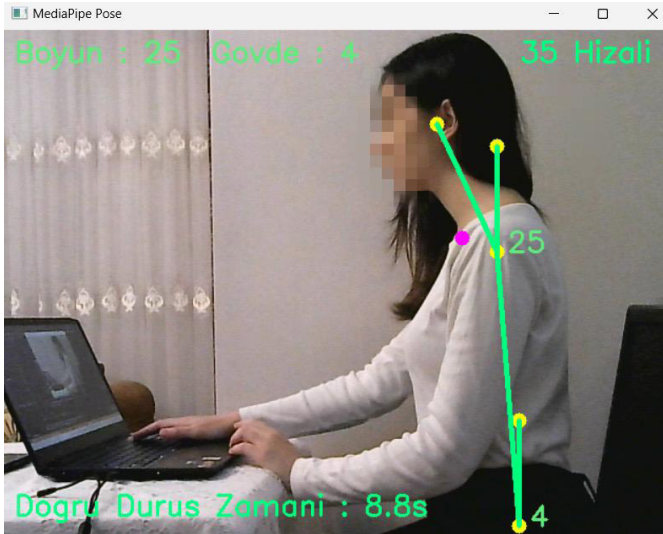
Midde [12] yapmış olduğu çalışmasında, servikal radyografinin sagittal görünümünde ölçülen servikal lordozun ortalaması 32,60 ve SD (standart sapma) 5,89'dur.

Çalışmamızda servikal ve lumbosakral fleksiyon açılarının nominal değerleri dikkate alındığında çalışmamızda kullanılan değerler servikal fleksiyon açısı için 10° değeri, lumbosakral fleksiyon açısı için ise 10° değeri temel alınmıştır. Hem servikal fleksiyon açısında hem de lumbosakral fleksiyon açısında bu değerlerin üstünde kullanıcıya işitsel ve görsel geri bildirim verilmektedir. Algoritma yapılandırması ise şekil 6'daki gibi gerçekleştirilmiştir.

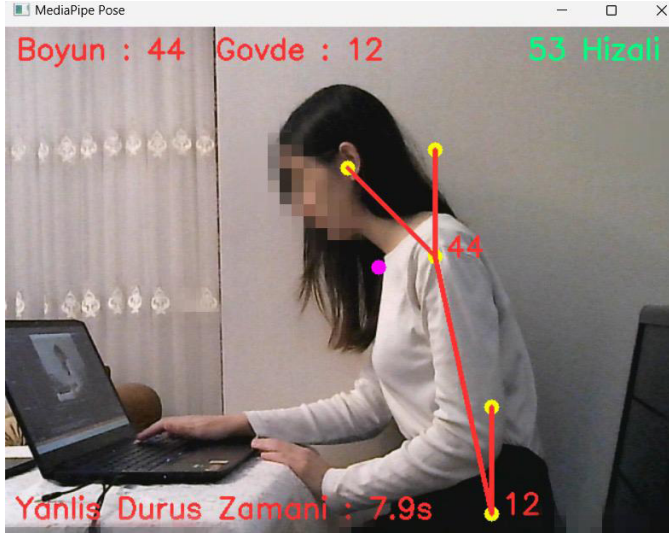


Şekil 6. Algoritma

Sistem arayüzünde kullanıcının açılarını, kullanıcının kamereye göre konumunun doğru olup olmadığını ve ilgili anahtar noktaları verilmektedir. Kullanıcı Şekil 7’de gösterildiği gibi doğru duruşta ise yeşil renkte eğer Şekil 8’de gösterildiği gibi yanlış duruşta ise kırmızı renkte görsel olarak belirtilmiştir.



Şekil 7. Doğru Duruş Arayüzü



Şekil 8. Yanlış Duruş Arayüz

3. SONUÇ

Çalışmanız, koruyucu rehabilitasyonun önemli bir parçasını oluşturarak, özellikle masa başında çalışan bireylerin omurga sağlığını korumayı hedefleyen bilgisayar tabanlı bir inovatif yaklaşımı tanıtmaktadır. Web kamerası aracılığıyla elde edilen görüntü üzerinde gerçekleştirilen görüntü işleme yöntemiyle vücudun belirli noktalarını tespit etmek, OpenCV ve MediaPipe kütüphanelerini kullanarak başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu noktalar, masa başında duruşun doğruluğunu değerlendirmek amacıyla kullanılmış ve ilgili açılar hesaplanarak yanlış sergilenen postür, kullanıcıya görsel ve işitsel geri bildirim ile bildirilmiştir. Özellikle modern yaşam tarzlarından kaynaklanan kötü vücut postürünün yaygınlığını vurgulayan çalışmanız, hareketsiz davranışın sıkça karşılaşılan bir halk sağlığı sorunu olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, özellikle masa başında çalışanların sırt, bel ve boyun ağrıları gibi kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açmaktadır. Ergonomi ve fiziksel koşulların değerlendirilmesi konusundaki yöntemlere ek olarak, çalışmanızın sunduğu görüntü işleme tabanlı yaklaşım, kullanıcılara postür farkındalığı kazandırarak omurga sağlığını koruma potansiyelini artırmaktadır. Sonuç olarak, geliştirilen sistem sayesinde kullanıcıların kötü duruşlarından haberdar olmaları ve doğru postürü korumaları konusunda bir adım atılmıştır. Bu, masa başında uzun süreli oturma alışkanlıklarına sahip bireylerin omurga sağlığını önleyici bir perspektiften ele alarak önemli bir katkı sunmaktadır. Çalışmanızın, bilgisayar tabanlı postür izleme sistemlerinin omurga sağlığını desteklemede etkili bir

araç olabileceğine dair umut verici bir başlangıç olduğunu söyleyebiliriz. Önerilen sistem, masa başında çalışan bireylerin günlük yaşamlarında doğru postür alışkanlıkları geliştirmelerine yardımcı olabilir.

Bir kullanıcının servikal ve lumbosakral fleksiyon ve ekstansiyon açıları Tablo 1’de verilmektedir. Ancak, gelecekteki çalışmalarda sistem performansının

geniş bir kullanıcı kitlesi üzerinde değerlendirilmesi ve kullanım kolaylığına yönelik iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma, omurga sağlığına odaklanan önleyici yaklaşımların, teknolojik gelişmelerle birleştirilerek daha etkili hale getirilebileceği konusunda bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, bilgisayar tabanlı postür izleme sistemlerinin, masa başında çalışan bireylerin omurga sağlığını destekleme potansiyelini ortaya koymaktadır. Gelecekteki çalışmaların, sistem performansının genişletilmiş kullanıcı kitlesi üzerinde değerlendirilmesi ve sistemin günlük kullanıma uygunluğunu artıracak yönleri odaklanması önemlidir.

Tablo 1: Gerçek ve Ölçülen Değerler (Gerçek: Gonyometre ile ölçülen değerler. Ölçülen: Görüntü işleme ile ölçülen değerler.)

	Servikal Açısı		Lumbosakral Açısı	
	Gerçek Değer	Ölçülen Değer	Gerçek Değer	Ölçülen Değer
Fleksiyon	46°	48°	20°	25°
Ekstansiyon	25°	20°	15°	14°

4. TARTIŞMA

Bu çalışma, masa başı çalışan bireylerin vücut duruşunu izlemek ve düzeltmek için bir araç sağlamaktadır. Geliştirilen sistem, kullanıcıların bilinçli bir şekilde vücut duruşlarına dikkat etmelerine yardımcı olabilir.

Gelecek çalışmalar projemizin gelecekteki geliştirmeleri arasında, daha fazla vücut duruşu kriterinin eklenmesi, kullanıcı profillerinin oluşturulması ve uzun vadeli duruş iyileştirmelerini takip etmek için analitik özelliklerin entegrasyonu bulunmaktadır. Literatür genellikle uzun oturma süreleri boyunca düzenli postüral aktivitenin kas-iskelet sistemi bozukluklarını önlemede etkili olabileceğini vurgular [13]. Yüksek düzeyde postüral aktivitenin, yani oturma duruşunun periyodik olarak değiştirilmesinin, çökmüş oturma omurga kasları üzerindeki olumsuz etkilerini azalttığı savunulmaktadır. Kullanıcının hareketsiz durumunu önlemek için kullanıcıya egzersiz önerileri sunulan ve bu egzersizlerin takibi gerçekleştire bilen bir çalışma yapmak düşünülmektedir. Çalışmaya ek olarak masa başı çalışmaları dışında İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) kapsamında doğru yük kaldırma ve kullanıcıya bedenen risk oluşturabilecek ortamlardaki hareketlerini kullanıcıya uyarma vb. uygulamalarda gerçekleştirebilir.

KAYNAKLAR

1. Bora, J., et al., *Real-time assamese sign language recognition using mediapipe and deep learning*. Procedia Computer Science, 2023. **218**: p. 1384-1393.
2. Kwon, Y. and D. Kim, *Real-Time Workout Posture Correction using OpenCV and MediaPipe*. 한국정보기술학회논문지, 2022. **20**(1): p. 199-208.
3. Artusi, C.A., et al., *Assessment of Axial Postural Abnormalities in Parkinsonism: Automatic Picture Analysis Software*. Movement Disorders Clinical Practice, 2023.
4. Mehrizi, R., et al., *A computer vision based method for 3D posture estimation of symmetrical lifting*. Journal of biomechanics, 2018. **69**: p. 40-46.
5. Lis, A.M., et al., *Association between sitting and occupational LBP*. European spine journal, 2007. **16**(2): p. 283-298.
6. Vergara, M. and Á. Page, *Relationship between comfort and back posture and mobility in sitting-posture*. Applied ergonomics, 2002. **33**(1): p. 1-8.
7. Çelik, F., *Masa başı çalışanlarda fiziksel aktivitenin kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına etkisi: Bir üniversite örneği*. 2022, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
8. Akay, D., M. Dağdeviren, and M. Kurt, *Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2003. **18**(3).
9. Bazarevsky, V., et al., *Blazepose: On-device real-time body pose tracking*. arXiv preprint arXiv:2006.10204, 2020.
10. Lin, T.-Y., et al. *Microsoft coco: Common objects in context*. in *Computer Vision–ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6-12, 2014, Proceedings, Part V 13*. 2014. Springer.
11. Otman, A.S., H. Demirel, and A. Sade, *Tedavi hareketlerinde temel değerlendirme prensipleri*. 11 ed. 2019: Pelikan yayıncılık.
12. Midde, A.K., et al., *Normative values for cervical lordosis: A cross sectional study*. Journal of Musculoskeletal Research, 2017. **20**(04): p. 1750020.
13. Öngel, Y., *Egzersiz yapan ve yapmayan ofis çalışanlarının fonksiyonel hareket taraması skorlarının karşılaştırılması*. 2019, İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

BÖLÜM 2

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

H. TERZİOĞLU¹, G. YALÇIN², E. ÖKSÜM³

GİRİŞ

Günümüzde kullanımları hızla artan elektrikli araç (EA) teknolojisinin çıkışı 1800 yıllarına dayanır. İlk elektrikli araç 1835 yılında çıkmış olmasına rağmen kullanım açısından iyi bir izlenim yaratmıyordu. Bunun asıl sebebi performansı ve menzili etkileyen bataryalardan dolayıydı. Şarj edilemeyen diğer bir adıyla alkali bataryalar kullanıldığı için menzili ve performansı içten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslanamayacak kadar düşük kalmıştı. 1859 yılında ilk şarj edilebilir bataryanın bulunmasıyla beraber EA teknolojisinde büyük bir dönüm noktası oldu ve bataryalar üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştı. 1970 yılındaki petrol krizi ve içten yanmalı motorlu araçların atmosfere kötü etkisinin büyük oranda fark edilmesiyle beraber popülerliği hızla artmış ve gelişen batarya teknolojisi sayesinde elektrikli araçların piyasada rekabet etmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde gelişen batarya teknolojilerinden biri olan ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip, depolamada diğer bataryalardan daha iyi olan ve ağırlık oranlarının çok düşük olması avantajlarıyla Lityum-iyon bataryaları kullanılmaktadır ve bataryalar üzerindeki gelişmeler devam etmektedir. Bu gelişen ve kullanılan batarya teknolojileri beraberlerinde, içerdikleri hücrelerin kontrolünü sağlayacak bir sisteminde gelişmesine yol açmıştır. Bunun ana nedeni bataryaların parametrelerinden olan akım ve sıcaklık gibi verilerin anlık olarak işlenmesi, şarj deşarj oranlarının kontrol edilmesi ve oluşabilecek kötü durumlarda sistemin izlenip bu durumların oluşmasını önlemektir. Bu anlamda Batarya Yönetim Sistemi (BYS) olarak adlandırılan bataryaları denetleyici bir sistem geliştirilmiştir. Günümüzde hem batarya teknolojisi hem de bu bataryaları daha iyi denetlemesi yönünden BYB' ler üzerindeki araştırmalar hızla devam etmektedir.

1 Sclucuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Konya/Turkey, hterzioglu@sclucuk.edu.tr
2 Konya Teknik Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Konya/Turkey, gyalcin@ktun.edu.tr
3 Sclucuk University, Konya/Turkey, 238270001002@lisansustu.sclucuk.edu.tr

Bu makalede EA teknolojisinde kullanılan ve bataryalar üzerinde kritik rol oynayan batarya yönetim sistemleri, özellikleri, görevleri ve batarya yönetim sistemi üzerinde yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

I. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYALAR

Son yüzyıllarda kullanımı artan EA teknolojisinde, 1859 yılına kadar şarj edilemez piller yani alkali bataryalar kullanılmıştır. Alkali bataryaların özelliklerinden dolayı elektrikli araçların menzillerinin ve performanslarının yetersiz olmasından dolayı kullanımları fazla olmamıştır. Sonraki yıllarda bu sorunlara çözüm getirmek için çalışmalar yapılmış ve 1859 yılında ilk şarj edilebilir batarya olan Kurşun-asit bataryasının çıkmasıyla beraber EA teknolojisinde farklı bir devir açılmıştır ve bataryalar üzerindeki araştırmalar da daha büyük bir hıza ulaşmıştır. Kurşun asit bataryasının zayıf yönlerinden dolayı Nikel Kadmiyum bataryası bulunmuştur. Ancak bu bataryalar kadmiyum elementi sebebiyle çevreye zararlı olduklarından bu sorunun çözümü olarak Nikel-Metal-Hidrat bataryaları bulunmuştur. Bu bataryalar kendinden önceki bataryalara göre daha iyi depolamaya sahip olmaları ve enerji yoğunluklarının yüksek olması sayesinde piyasada yerini almıştır. Ancak içten yanmalı motorlu (İYM) araçlara oranla yetersiz kalıyordu. Bunun sonucu olarak günümüzde kullanılan ve çalışmaların devam ettiği batarya teknolojisi olan Lityum-iyon bataryaları bulunmuştur. Bu bataryalar enerji yoğunluklarının fazla olması, enerji depolamada çok daha iyi olması ve kapladıkları alanın çok küçük olması gibi büyük avantajlara sahiptirler. Günümüzde Lityum iyon bataryaları ve lityum bazlı batarya teknolojileri üzerindeki araştırmalar devam etmektedir.

II. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ

İlk şarj edilebilir batarya olan kurşun asit bataryasının çıkışından sonra bataryaların daha verimli olması gerektiği fikri oluşmuştu. Bu nedenle kurşun asit bataryaların verimliliklerine etki eden parametrelerin ayrı bir donanım yardımıyla gözlemlenerek kontrol edilmesi gerektiği fikri 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır[1]. Sonrasında bataryaların parametreleri incelenerek verimi artırma yönünde adımlar atılmış ve batarya yönetim sisteminin temeli oluşmuştur. Diğer bir ifade ile gelişen EA teknolojisinde kritik rol oynayan bataryaların denetlenmesi ve kontrol edilmesi gerekir. Bataryaların etkin ve verimli bir biçimde kullanılabilmesi için batarya yönetim sistemlerine ihtiyaç vardır[2]. Teknolojinin gelişmesiyle beraber yaygınlaşan ve halen gelişim aşamaları devam eden "Batarya Yönetim Sistemi (BYS)", depolama sistemlerinin maksimum verim ve güvenlikle, süreklilik arz edecek şekilde çalışmasını

sağlayan kontrol sistemleridir[3]. BYS' ler batarya parametrelerinden olan sıcaklık, gerilim, akım, şarj ve deşarj verilerini izler, işler ve oluşabilecek arıza durumlarında sistemi uyarır. Bu uyarılar sonucu sistemdeki arızaların giderilmesi sağlanır. Ayrıca bu durumlara ek olarak , aşırı şarj olma, zamansız deşarj olma, yüksek akım, yüksek sıcaklık gibi durumlarda gerekli işlemleri yaparak bataryayı korur[4]. BYS, pilin güvenli çalışması, genel performansı ve uzun ömürlülüğü için kritik öneme sahiptir[5,6]. Batarya yönetim sistemleri pil teknolojileri için farklı görevlere sahiptirler bu görevler Şekil 1.' de detaylı olarak ifade edilmiştir.



Şekil 1. BYS görevleri[4]

- Bataryayı izleme görevi hücrelerin gerilimlerinin ölçülmesi, ortam ve hücre sıcaklığının ölçümü, ortamın neminin ölçülmesi ve kapakların konumunun izlenmesi gibi görevleri vardır. Hücre gerilimlerinin doğru ölçülmesi bu izleme görev listesinin en önemli parçasıdır. Bu sayede şarj ve deşarj sırasında her bir hücre güvenli çalışma bölgesi içinde tutulabilmektedir[6].
- Bataryayı koruma görevi gerilim, sıcaklık, akım gibi verileri inceler. Gerekli durumlarda batarya paketini yükten veya şarj cihazından ayırarak bataryayı korur[7].
- Bataryanın ana kullanım amacı, araç içindeki elektrik motorunu güçlendirmektir. Bu işlem, bataryanın çıkışlarının bir motor sürücü birimine bağlanmasıyla gerçekleşir ve batarya, motor çalıştırıldığında enerji tüketir. Bataryanın şarjı ise araç üzerinde ve/veya araç dışında yer alan bir şarj cihazıyla gerçekleşir[4, 6]. Bu durumlarda BYS görev alır. BYS kontrol algoritması ile şarj sırasında şarj ve deşarj akımlarını düzenler, batarya hücre gerilimlerini dengeler, sıcaklık değerlerini

kontrol eder ve batarya doluluk oranını izler[3].BYS' nin en önemli görev kısmı olarak nitelendirilebilir.

- Teşhis ve kestirim görevinde BYSS yaptığı hesaplamalar sonucu bir teşhis ve kestirim yapar. Bu değerlendirmelerden temel olanlara değinmek gerekirse: ilkinin “batarya doluluk durumu (SOC: State of Charge) belirleme” ve ikincisinin ise “batarya sağlık durumu (SOH: State of Health) kestirimi” olduğunu söylemek mümkündür[3].
- Veri yönetme görevinde kontrol ve kumandanın sağlanabilmesi için merkezi ya da merkezi olmayan sistem farkı olmaksızın, depolama sisteminin üst seviyede verim ve hızlı koruma sağlamak için, BYSS izleme yeteneği sayesinde birçok veri toplanır[3].Bu verilerin işlenmesi ve yönetimi ile önlemler alınabilir.

Elektronik bir donanım ve yazılımdan oluşan batarya yönetim sistemi, akü üreticisinden temin edilebilen bir sistem olabileceği gibi araç kontrol sistemine tümleşik bir alt sistem olarak da tasarlanabilir[8].

III. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ ÇEŞİTLERİ

Elektrikli araçlar üzerinde bulunan batarya sistemlerinin yönetilmesinden ve araca elektrik enerjinin sağlanmasından sorumlu olan üniteye batarya yönetim sistemi denir[9]. Batarya yönetim sistemleri güvenilirlik, maliyet, bakım kolaylık derecesi gibi unsurlara bağlı olarak üretilirler. Bu üretilere bakıldığında zaman 4 farklı BYSS yapısı ortaya çıkar. Bunlar: merkezi batarya yönetim sistemi, modüler tip batarya yönetim sistemi, kontrolcü batarya yönetim sistemi ve dağıtılmış batarya yönetim sistemidir. Batarya yönetim sistemi çeşitlerinin karşılaştırması Tablo 4.1' de verilmiştir.

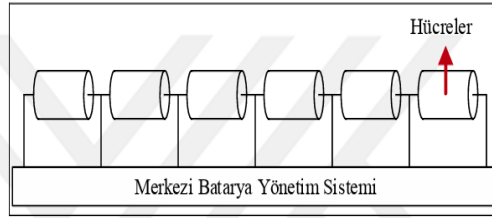
Tablo 1. Kullanılan BYSS türlerinin karşılaştırılması[4]

BYSS Türleri	Ölçüm Kalitesi	Gürültü	Güvenlik	Malzeme Maliyeti	Montaj Maliyeti	Bakım Maliyeti
Merkezi	++	+++	+	+	++	+
Modüler	++	+++	+	+++	++	+
Ana kart-Yardımcı kart	++	+++	+	+++	++	+
Dağıtılmış	+++	++	+++	+++	+	++

(+++ : iyi ++ : orta + : kötü)

A. Merkezi Batarya Yönetim Sistemi

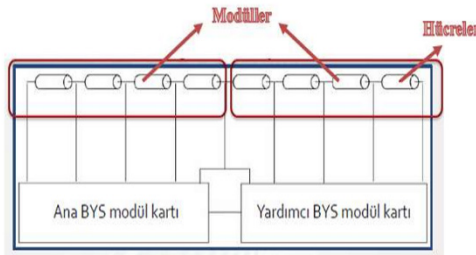
Bu topolojide tek bir kontrolör vardır ve bataryalara kablolar yardımıyla bağlanır[10]. Bu kart BYS'nin bütün görevlerini yapar. Sistemde tek bir kontrolcü olduğu için maliyet açısından ucuzdur. Tek bir işlemci olduğu için ek olarak bir haberleşme birimine ihtiyaç duyulmaz[4, 11-14]. Ancak kurulum aşamasında fazla kablo kullanımı sebebiyle BYS'nin kurulumu karmaşıktır. Ayrıca hücre sayısının çok fazla olduğu bataryalarda tüm işlem yükü tek bir elektronik kartta olacağı için gömülü yazılım karmaşıklaşacak ve yavaşlayacaktır[6]. Şekil 4.1 merkezi batarya yönetim sisteminin şemasını gösterir.



Şekil 2. Merkezi Batarya Yönetim Sistemi Yapısı[13]

B. Modüler Tip Batarya Yönetim Sistemi

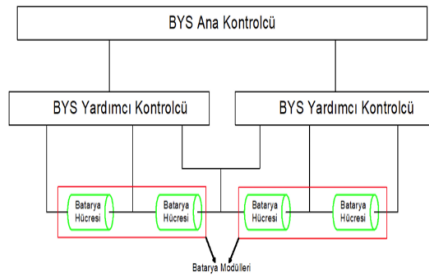
Modüler batarya yönetim sisteminde her modül belirli bir sayıda hücre için tasarlanmıştır[13]. Modül sayısı tasarımcı tarafından değiştirilebilir. İşlem yükü paylaştırıldığından dolayı merkezi tip BYS'ye göre daha iyidir. Ancak maliyet açısından pahalıdır. Ana modül dışında yardımcı modüller vardır. Haberleşmede yardımcı modülden veri alınarak ana modüle aktarılır. Ana modül alınan verilerin kontrolünü yapar. Modüller arası haberleşme sistemi için kablolar kullanılır ve merkezi tipe göre daha fazla kablo gerektirir. Şekil 4.2 modüler tip BYS topolojisini gösterir.



Şekil 3. Modüler tip BYS yapısı[11]

C. Ana Kontrolcü-Yardımcı Kontrolcü Tip Batarya Yönetim Sistemi

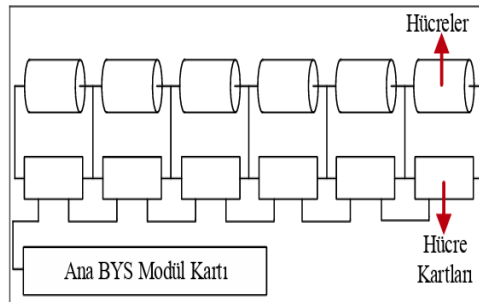
Bu batarya yönetim sisteminde iki farklı modül kullanılır. Bunlar elektronik kart (yardımcı kart) ve ana karttır[4]. Ana Kontrolcü-Yardımcı Kontrolcü yapıda BYS' ler için gerilim, akım, sıcaklık gibi veriler yardımcı kontrolcü tarafından izlenir ve ölçülen değerler ana kontrolcüye iletilerek burada işlenir[3]. Yardımcı kart diğer bir adıyla uydu kart, ölçümleri gerçekleştirir ve bazı hücrelerin kontrolünü sağlar, ardından elde edilen verileri işler ve iletişim ana kartıyla paylaşır. Maliyet yönünden uygundur ve uygulamalarda kurulumları daha kolaydır. Otomotivde kullanılan bataryalarda genellikle bu BYS kullanımı yaygındır. Şekil 4.3 anakart-yardımcı kart BYS yapısını ifade eder.



Şekil 4. Ana kart-yardımcı kart BYS topolojisi[3]

D. Merkezi Olmayan (Dağıtılmış) Batarya Yönetim Sistemi

Bu batarya yönetim sistemi diğerlerinden biraz farklı bir yapıdadır. Bu sistemde her bir batarya hücresine bir yardımcı kart bağlanır. Bu kartlar sıcaklık, akım gibi değerleri ölçer. Her bir kart farklı hücrelerin ölçümünü yaptığı için ölçümlerin güvenilirlikleri daha yüksektir. Arıza durumlarında bakım daha kolaydır. Bütün sistem kontrolöre tek bir haberleşme hattı üzerinden bağlıdır[10]. Sistemde her hücre için ayrı kart kullanımından dolayı maliyeti diğer sistemlere oranla daha yüksektir. Şekil 4.4 dağıtılmış batarya yönetim sistemi yapısını göstermektedir.



Şekil 5. Merkezi olmayan batarya yönetim sistemi yapısı[13]

IV. BYS HÜCRE DENGELEME TEKNİKLERİ VE YÖNTEMLERİ

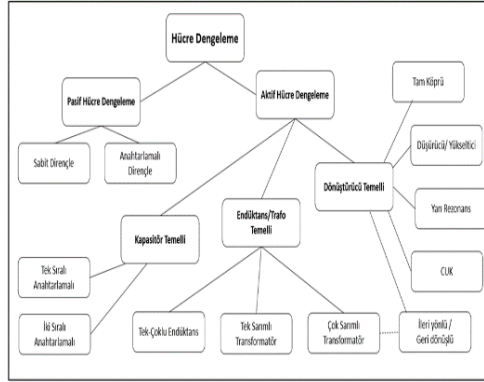
BYS' nin temel görevlerinden bir tanesi de batarya grubu içerisinde bulunan pillerin dengede (aynı kapasitede) durmasını sağlamaktır[14]. Dengeleme işleminde amaç şarj/deşarj işleminde tüm batarya hücrelerinin aynı gerilim düzeyinde tutulmasıdır[15]. Hücre dengeleme, EA' larda sıkça kullanılan lityum pil uygulamalarında özellikle rejeneratif frenleme veya şarj iledeşarjın sık meydana geldiği uygulamalar için gereklidir[14]. Depolama sisteminde kullanılan batarya hücreleri, marka, model ve kapasite yönünden aynı veya benzer olabilir; ancak kimyasal bileşenleri ve çevresel etmenlere maruz kalma durumları nedeniyle farklı özelliklere sahip olabilirler. Bu özellikler dengesizliğe neden olabilirler. Dengesizliğe sebebiyet veren etkenler iç ve dış etken olarak kategorize edilmişlerdir. Bataryalar aynı ortamda üretilmiş olmalarına rağmen yapıları gereği farklılıklar gösterebilirler. Bu farklılardan biri olan kapasite değeri aynı özellikte olması istenen bataryalarındeşarj oranlarının farklı olmasına yol açar ve bu iç etken olarak nitelendirilmiştir. Bataryaların bağlanma şekline, ortam sıcaklığına ve tasarıma etki eden faktörler dış etken olarak nitelendirilmişlerdir. Dengesiz bir batarya paketinde, şarj sırasında seri bağlı hücrelerden bir veya birden fazlası diğerlerinden önce maksimum şarj düzeyine ulaşacaktır ve bataryanın şarj olmadığı durumda, tam şarj edilmemiş hücreler serideki diğer hücrelerden daha önce tükenecektir[13]. Çünkü seri bağlı bir pil grubunundeşarj durumunu gruptaki en düşük gerileme sahip hücre belirlemekte ve pil grubu ömrünün azalmasına neden olmaktadır[8]. Bu sebeplerden dolayı BYS' ler önemli role sahiptirler. Batarya dengeleme sistemleri, her bir hücrenin gerilim seviyesini en uygun düzeyde tutarak, dolayısıyla batarya grubunun ömrünü maksimize etmeyi amaçlar. Şekil 5.1 görselleştirilmiş batarya hücrelerinin dengelenmesini göstermektedir.



Şekil 6. Dengeleme işlemi[14]

Hücre dengeleme yöntemleri aktif ve pasif dengeleme olarak kategorize edilmiştir. Aktif dengeleme sistemleri enerji aktarımını esas alır ve bu sistemlerde gerilim seviyesi yüksek olan pil hücresinden düşük olan pil hücresine enerji aktarımı yapılarak hücreler dengelenir; pasif dengeleme sistemlerinde ise fazla

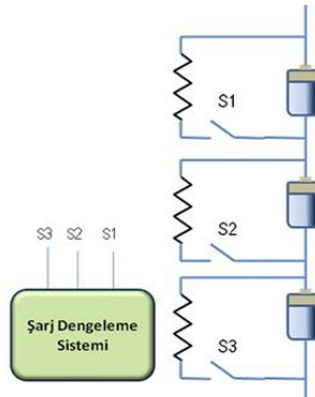
enerji ısıya dönüştürülerek harcanır bu sayede tüm sistemin dengede kalması sağlanır[20]. Şekil 5.2 ve aktif ve pasif dengeleme yöntemlerinin şemasını ifade etmektedir.



Şekil 7. Aktif ve pasif dengeleme yöntemleri[8]

E. Pasif Dengeleme

En elementer hücre dengeleme yöntemlerinden biridir; diğer tekniklere göre kurulumu daha sade ve maliyeti daha ekonomiktir. Ana prensip olarak gerilim farkı olan batarya hücrelerinin bir direnç üzerinden deşarj edilmesi yani kanatılması (bleeding) prensibi ile çalışır[16]. Pasif dengeleme devresi pil hücrelerinin en düşük voltaj seviyesini tespit eder ve diğer pil hücrelerinin voltaj seviyelerini paralel dirençler üzerinden harcayarak referans aldığı bu voltaj seviyesine düşürür[17]. Bu prosedür, şarj işlemi tamamlandıktan sonra, diğer bataryaların enerji seviyelerini, en düşük enerjiye sahip olan bataryanın seviyesine uygun hale getirmeyi amaçlar. Pasif dengeleme, şarj durumunu belirli bir noktada genellikle ya “en üst şarj seviyesinde” ya da “en alt şarj seviyesinde” iken eşitler[8]. Pasif dengeleme işlemi yapısı Şekil 5.3’te verilmiştir.



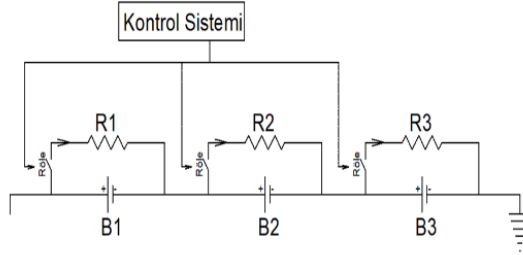
Şekil 8. Pasif dengeleme yapısı[15]

Bu yöntemin en büyük dezavantajı yüksek enerjili hücrelerin enerjisinin ısı olarak yayılması ve deşarj sırasında kullanıldığında pilin toplam kapasitesini düşürmesidir[2]. Ayrıca pasif dengeleme yöntemleri aktif dengeleme yöntemlerine göre daha düşük verimli olmalarından kaynaklı dezavantaja sahiptirler.

Pasif dengeleme yöntemleri anahtarlamalı(kontrollü) sabit dirençli ve anahtarlamasız sabit dirençli olmak üzere ikiye ayrılır.

1) Anahtarlamalı sabit dirençli pasif dengeleme

Anahtarlamalı sabit dirençli sistemde, paralel bağlı dirençlerden akımın ne zaman geçeceğini kontrol etmek için transistör veya röle anahtarlamalı yöntem kullanılır, bu da anahtarlamasız dengeleme sisteminden farklı bir yaklaşımdır. Hücreler arasında bir dengesizlik algılandığında, Batarya Yönetim Sistemi (BYS) bu durumu belirleyip, enerjisi daha yüksek olan hücrenin anahtarını kapatarak, enerjisinin direnç üzerinden tüketilmesini sağlar. Dengeleme işlemi sona erdiğinde anahtar tekrar devreye alınır ve bu işlemler batarya dolum sürecinde kullanılabilir. Şekil 5.4'te anahtarlamalı pasif dengeleme şeması gösterilmiştir.



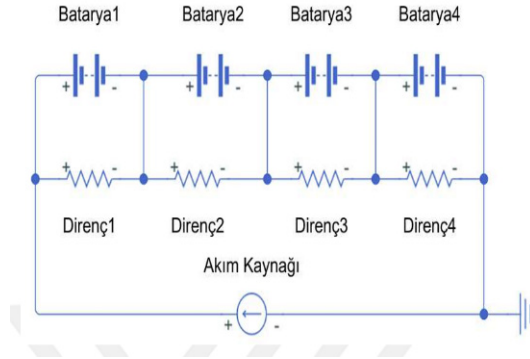
Şekil 9. Anahtarlamalı pasif dengeleme şeması[3]

Tasarlanması ve uygulanması kolay olan, kontrollü kolay olan bu yöntem en çok tercih edilen dengeleme yöntemidir[16]. Lityum-iyon bataryalarda kullanıma daha elverişlidir. Piyasada kullanımı yaygındır fakat genel anlamda verimi düşüktür. Her batarya sırayla dengelenmelidir yani aynı zamanda birden çok dengeleme yapılamaz bu yönden kullanım yönünden dezavantajlara sahiptir. Ayrıca dengeleme süresi karşılaştırması yapıldığı zaman aktif dengeleme yöntemlerine göre uzun sürede dengeleme yapar.

2) Anahtarlamasız sabit dirençli (sabit şönt dirençli) pasif dengeleme

Bu dengeleme metodu, seri bağlı bataryalarda birbirine bağlanan dirençler aracılığıyla uygulanmaktadır. Bu şekilde, bir batarya hücresinde diğerlerine

göre daha yüksek bir gerilim olduğunda, bu dirençler aracılığıyla dengeleme sağlanarak enerji deşarj edilmektedir. Sabit dirençle dengeleme yöntemi, hücrelerden devamlı akım çekilmesi sonucunda etkinliğin azaldığı bir süreci içinde barındırmaktadır. Dengeleme yöntemleri arasında verimsiz olmasıyla bilinir. Herhangi bir kontrol yapısı gerektirmeden devrenin kendi doğal davranışı ile dengeleme yapılmaktadır[16]. Maliyeti ucuzdur ve kurulum yönünden kolaydır. Şekil 5.5'te anahtarlamasız pasif dengeleme devre şeması verilmiştir.



Şekil 10. Sabit dirençli pasif dengeleme devre şeması[11]

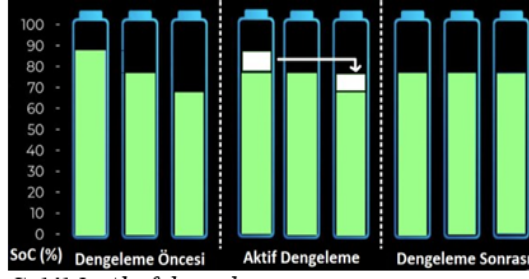
Sabit şönt dirençli sistem kurşun-asit ve nikel bazlı bataryalar için uygundur[14]. Kurşun-asit ve nikel bazlı bataryaların aşırı şarj durumuna karşı direnç gösterme özelliği taşımalarına karşılık, Li-iyon bazlı bataryalar bu tür aşırı şarj durumlarına karşı daha duyarlı bir tepki verme eğilimindedir. Bu yüzden bu yöntem Lityum-iyon batarya gruplarında uygulanmaya elverişli değildir. Bataryaların gelişimiyle beraber piyasada kullanımını azalmıştır.

F. Aktif Dengeleme

Aktif dengeleme sistemlerinde temel mantık enerjisi yüksek olan hücreden düşük olan hücreye enerji transferidir[2]. Bu transfer sürecinde kapasitör ve bobinler kullanılır. Aktif dengeleme devresi, hesapladığı batarya hücrelerinin gerilim seviyelerini gerektiğinde gerilim transferi yaparak ortalama bir seviyede dengeler[15, 17]. Verimleri diğer dengeleme yöntemlerine göre daha fazladır. Ancak, bu yöntem pasif dengeleme teknolojisine kıyasla daha fazla eleman ve karmaşık bir algoritma gerektirir. Ek olarak maliyetleri de diğer yöntemlere göre yüksektir. Günümüzde kullanılan Lityum-iyon bataryalar için en uygun yöntemdir.

Enerjinin bir bataryadan diğer bataryalara dağıtılması işlemi, anahtarlamalı kondansatör tekniği gibi bir bataryanın örneklenmesi mantığına dayanan tekniklerle yapılabileceği gibi, dengeleme işleminin daha hızlı olmasını

sağlayan gerilim yükseltici teknikleri kullanılarak da yapılabilir[10].Aktif dengeleme yöntemi Şekil 5.6'da ifade edilmiştir.



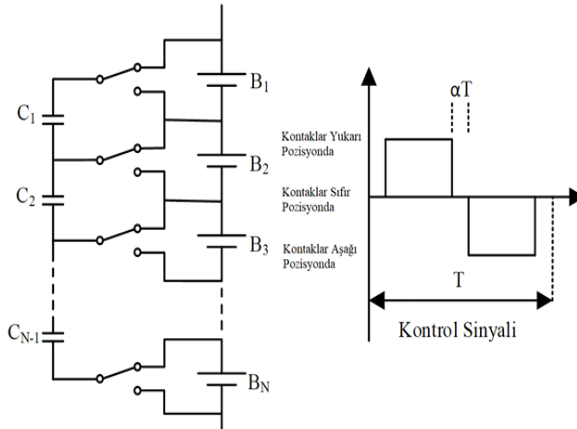
Şekil 11. Aktif dengeleme[8]

1) Kapasitörlü Aktif Dengeleme

Aktif dengeleme yöntemlerinden biridir. Kapasitör içeren hücre dengeleme yöntemlerinde, enerjisi fazla olan hücredeki kapasitör şarj edilir ve enerjisi daha düşük olan hücreye aktarılır. Bobinli aktif dengelemeye göre hızı yetersiz kalır. Dört kategoride toplanır.

a) Anahtarlamalı kapasitör

Anahtarlamalı kapasitör yönteminde n sayıda hücre dengelemesi için $(n-1)$ tane kapasitör ve $2n$ tane anahtar gereklidir[2, 4]. Kondansatörler gerilimi yüksek olan hücrede şarj olur ve gerilimi düşük olan hücre üzerine aktarılır; bu sayede enerjisi yüksek olan hücreden düşük olan hücreye doğru enerji akışı söz konusudur[13]. Şekil 5.7 anahtarlamalı kondansatör dengelemesini göstermektedir.

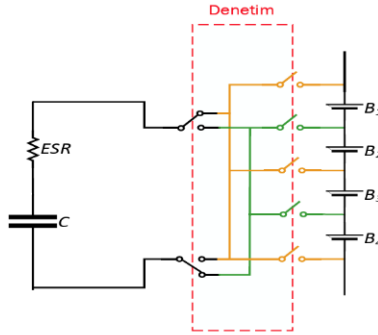


Şekil 12. Anahtarlamalı Kapasitör Dengelemesi[3]

Bu yöntemde elemanlar sabit çalışma sıcaklığında görev alır ve bunun sayesinde akıllı algoritmaya ihtiyaç duyulmaz. Şarj ve deşarj sürecinde kullanılabilir olması yönünden avantaja sahiptir. Fazla elemanın kullanımı sonucu kurulumları zorlaştırır. Ayrıca bunun sonucu olarak dengeleme yaparken hız azalır. Ek olarak fazla eleman kullanımı maliyeti de artırır. Verimlerine bakıldığında zaman yüksek verimli sistemdir.

b) Tek anahtarlama kapasitör

Bu yöntemde bir kapasitör kullanılır ve n tane hücreyi dengelemek için $n+5$ anahtara ihtiyaç vardır[2]. Çalışma prensibi karmaşık değildir; basit kontrolcü tarafından en dolu ve en boş hücreler belirlenir, kapasitör dolu hücreden şarj edilir ve daha sonra uygun anahtarlama yapılarak kapasitöre depolanan enerji, az dolu olan hücreye aktarılır ve dengeleme sağlanır[3]. Dengeleme hızı yönünden hızlı bir yapıdadır. Anahtarlama kapasitör sürecinde olduğu gibi şarj ve deşarj zamanı kullanılabilirler. Bu yöntemde verimin yüksek olması için en boş ve en dolu hücreleri dikkatli şekilde inceleyerek belirlemek gerekir. Şekil 5.8 topolojisini göstermektedir.



Şekil 13. Tek anahtarlama kapasitör topolojisi[4]

c) Çift anahtarlama kapasitör

Anahtarlama kondansatörle benzer özelliklere sahiptir. Bu dengeleme yöntemi ile anahtarlama kapasitör yöntemi arasındaki tek fark sistemin ikinci bir kapasitör katmanına sahip olmasıdır[2]. Bu katman sayesinde dengeleme süresi azalır. Dengeleme şarj ve deşarj süresince olabilir. Verimleri fazladır.

d) Modülerize kapasitörle dengeleme

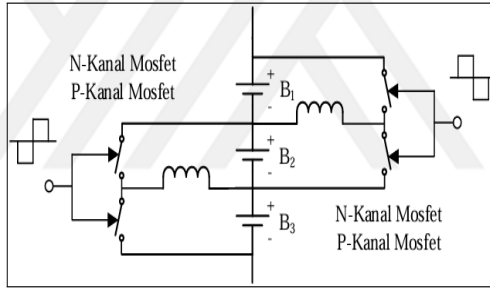
Batarya hücreleri eşit sayıda gruplandırılarak kondansatörlü modüller meydana getirilir. Sabit bir anahtarlama ön planıdır bu basit bir algoritmaya imkan sağlar, ancak çok sayıda anahtarlama olduğundan kurulumu zordur[3]. Dengeleme hızları ve verimleri diğer yöntemlere oranlara daha yüksektir.

2) İndüktörlü ve Transformatörlü Aktif Dengeleme

Enerjinin bir hücre veya hücre grubundan diğer hücelere veya hücre gruplarına transfer edilmesi için indüktör ve transformatörlerin kullanıldığı aktif dengeleme tekniklerindedir. Kapasitörlü aktif yöntemlere göre dengeleme hızları fazladır ve bunun sonucu olarak dengeleme süresi azdır. Ancak transformatörlerin piyasadaki maliyetlerinin fazla olması nedeniyle bu sistemler pahalıdır ve manyetik kayıpların olması da ek bir eksi yönüdür.

a) Anahtarlamalı endüktans yöntemi

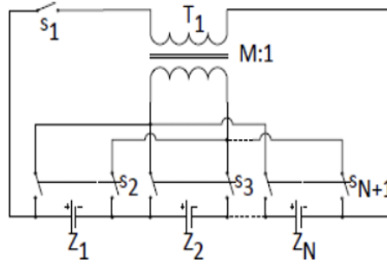
Dengeleme işlemi komşu bataryalarla yapılmaktadır. Kontrol devresi tarafından komşu hücreler arasındaki gerilim farkı hesaplanır ve dolu hücredeki fazla enerji indüktöre depolanır[2]. Bu sistemde anahtarlardan biri kapalıysa diğeri açık olur ve anahtarlar belirli aralıklarla sabit şekilde çalışırlar. Anahtarlar sayesinde depolanan enerji diğer hücelere aktarılır. Süreç bütün hücelere eşitleninceye kadar devam eder. Dengeleme hızı ve verim yüksektir. Anahtar fazlalığından dolayı pahalıdır ve kurulumu zordur. Şekil 5.9 anahtarlamalı indüktör yöntemini ifade eder.



Şekil 14. Anahtarlamalı endüktans[13]

b) Tek sarımlı transformatör yöntemi

Anahtarlamalı transformatör olarak bilinen bu yöntem anahtarlama transformatörü aracılığı ile fazla enerjinin depolanmasına ve ilgili anahtarlar kullanılarak fazla enerjinin zayıf hücreye aktarılmasına dayanır[2]. Bu yöntemde 2 teknik vardır: paketten hücreye ve hücreden pakete teknikleri. Paketten hücreye tekniğinde, batarya paketinden gelen enerjiyi anahtarlama transformatörü aracılığıyla taşıyarak, bu enerjiyi ilgili anahtarı kullanarak güçsüz hücelere aktarmayı sağlar. Hücreden pakete tekniği, yüksek enerjili hücrelerin enerjisini, bir transformatör yardımıyla pil takımına iletmek amacıyla kullanılır. Verim ve dengeleme hızı yüksektir. Anahtar elemanlarının fazla olması sebebiyle kurulumda zorluklar yaşanır. Şekil 5.10' da devre şeması verilmiştir.

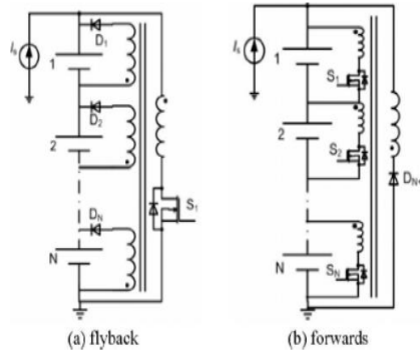


Şekil 15. Tek sarımlı transformör devre şeması[2]

c) Çok sarımlı transformör yöntemi

Bu yöntemde enerji aktarımı süreklidir. Bu aktif dengelemede, dönüştürücü temelli tasarım mevcut olduğundan, geri dönüşlü ve ileri yönlü dönüştürücü dengeleme olarak iki başlık altında toplanır. Geri dönüşlü (flyback) devre yapısında; transformörün birincil sargısındaki anahtarların açılmasıyla, transformörde enerji depolaması olur. Daha sonra, anahtarlar kapatıldığında, enerji transformörün ikincil sargısına transfer edilir. Bu sayede enerji diğer hücrelere aktarılabilir. Bu yöntemde bir anahtar bulunur.

İleri dönüşlü (forward) devre yapısında; gerilim farkı tespit edildiğinde, en yüksek gerilime sahip hücreye bağlı anahtar açılır ve bu hücreden, trafo ve anahtar yardımıyla enerji diğer hücrelere iletilir. Bu yöntemde hücre sayısı kadar anahtar bulunur. Şekil 5.11 bu iki yapının şemasını göstermektedir.

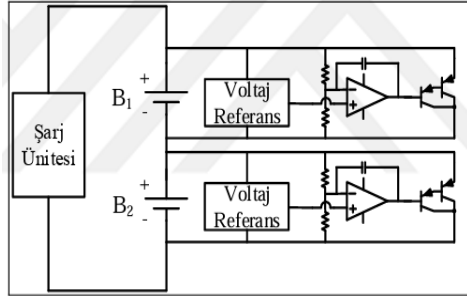


Şekil 16. Geri ve ileri dönüşlü çok sarımlı transformör şeması[2]

Çok sarımlı transformörlü dengeleme yöntemlerinde devre karmaşıktır ve maliyeti yüksektir, ayrıca çok sarımlı trafolarında doyma sorunundan dolayı problemler yaşanabilmektedir[3].

3) Paralel Transistör Aktif Dengeleme

Anahtarlama direnç yöntemine benzer prensipte çalışırlar. Fazla enerji transistörler üzerinde harcanır. Deşarj süresinde kullanılamazlar. Hızı ve verimi yetersiz kalır fakat maliyet yönünden ucuzdur. Şekil 5.12’de bu dengeleme yönteminin şeması verilmiştir.



Şekil 17. Paralel Transistör Aktif Dengeleme Şeması[3, 13]

V. DENGELEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 6.1 pasif ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırmasını vermektedir.

Tablo 2. Pasif ve aktif dengeleme yöntemlerinin karşılaştırma tablosu

Pasif Dengeleme	Aktif Dengeleme
Fazla enerjinin ısıya dönüştürülerek boşa harcanması olur	Fazla enerji diğer hücreler veya bataryalara gönderilir
Sistem gereksiz yere ısınır	-
Kontrolcü ve devre elemanlarının azlığı sebebiyle ucuzdur ve yapımı basittir	Kontrolcü ve devre eleman sayısı fazladır bu yüzden maliyeti fazladır ve kurulumu karmaşıktır
Ortalama olarak hücre başına 1 birimlik maliyet düşer	Ortalama olarak hücre başına 10 birimlik maliyeti vardır, pasif dengelemeye göre birim maliyeti yüksektir
Uykuda harcadığı enerji azdır (yaklaşık 0 mW)	Uykuda harcadığı enerji fazladır (yaklaşık 50mW)
Elektrikli araçlardan bir tanesi için ortalama olarak 100 birime yaklaşık maliyeti vardır	Elektrikli araç için yaklaşık 1000 birimlik maliyeti olur
Aktif dengelemeye göre hızları düşük olduğu için yani düşük akımları transferinden dolayı dengeleme süreleri uzundur	Yüksek akım transferi olduğu için dengeleme süreleri pasif dengelemeye göre kısadır
Bu yöntem uzun süre uykuda bekleyen sistemler için daha verimli olabilir	Elemanların fazlalığından dolayı uzun süre uykuda olan sistemlerde kullanımı verimsizleşir ve böyle sistemlerde pasif dengeleme kullanmak verimi artırır

VI. SONUÇLAR

Günümüzde artan hava kirlilikleri ve çevreye zarar veren içten motorlu araçların kullanımını azaltmak ve piyasadan tamamen kaldırmak için firmalar yoğun bir çalışma sürdürmektedir. Bu süreçte çevreci ve gelişen bir teknoloji olan elektrikli araçların kullanımını ve popülerliği artmaktadır. Elektrikli aracın en önemli parçalarından biri güç sağlayıcı bataryalardır. İlk şarj edilebilir bataryanın bulunmasıyla elektrikli araçlar piyasada önemli roller almışlardır. Bataryalar elektrik enerjisini depolayarak reaksiyonlar sonucu motora iletir ve aracın çalışmasını sağlar. Buna ek olarak bataryalar aracın performansını, verimini ve menziline etkiledikleri için çok önemlidirler. İlk şarj edilebilir batarya olan kurşun-asit bataryasının ortaya çıkmasıyla beraber araştırmacılar bataryadaki verimi arttırmak için araştırmalara başlamışlardır. Ayrıca bataryaların yüksek şarj ve deşarjdan korunması gerekiyordu. Bunun sonucu olarak bataryaları koruyucu ve denetleyici olan bir sistem geliştirdiler. Bu sistem batarya yönetim sistemi olarak adlandırılmıştır. Bataryaların gelişmesi yönündeki adımlar batarya yönetim sistemleri içinde yapılmaktadır. Günümüzde kullanılan lityum-iyon bataryaları da batarya yönetim sistemine ihtiyaç duyarlar. BYS' ler farklı yapılarda olabilirler ve bu yapıların kullanım yerleri ve avantajları değişkenlik gösterir. Dağıtılmış topolojisi aralarında en güvenilir olmasına rağmen çok pahalı olmasıyla bilinir. Batarya yönetim sistemlerinin birçok farklı görevi olmasına rağmen hücre dengeleme görevi aralarında en önemli olanıdır. Hücre dengeleme yöntemlerinden aktif dengeleme pasif dengelemeye göre çok daha avantajlıdır. Ancak kullanılacak sisteme göre, uzun süre uykuda kalan sistemler için pasif dengelemeyi kullanmak gerebilir. Batarya yönetim sistemi, bataryayı yüksek şarj ve deşarj faktöründen korumalıdır. Günümüzde kullanılan lityum-iyon bataryası da bu yönden dezavantaja sahiptir ve batarya yönetim sistemi bu dezavantajı ortadan kaldırır. Kötü durumlarda BYS bildirim gönderimi yapar ve sistem kendini düzeltebilir. Aslında batarya yönetim sistemi, bataryalar için sistem beyni görevi yapar. BYS' ler için çalışmalar ve geliştirmeler yapılarak daha iyi verime sahip, daha iyi korunan ve denetlenen bir elektrikli araç teknolojisi ortaya çıkacaktır ve bataryaların gelişimine öncülük ederek daha temiz ve güvenilir enerji kullanımına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. DİKMEN, İ.C. and T. KARADAĞ, *ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ VE YENİ TRENDLER*.
2. Ataner, E., H. Terzioğlu, and G. Yalçın, *Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi. Elektrikli Araçlara Genel Bir Bakış-2*. İksad Publishing House, Basım sayısı, 2020. **1**: p. 31-52.
3. Orbeyi, Ö., *PLC Kontrollü Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı*. 2022.
4. Rigan, M., *Elektrikli araçlarda batarya yönetim sistemi tasarımı*. 2020, Fen Bilimleri Enstitüsü.
5. Ağaayak A.C., Terzioğlu Hakan, Özdeş Büşra, (2020). Bölüm 3- Elektrikli Araçlarda Telemetri, İKSAD, Elektrikli Araçlara Genel Bakış 2, ISBN:978-625-7687-48-5.
6. TOREN, M., H. MOLLAHASANOĞLU, and S.M. KAYA, *ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN SOĞUTMA SİSTEM TASARIMI VE KONTROLÜ*. Journal of Scientific Reports-B, 2022(005): p. 11-21.
7. Gül, H., *Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü/Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı/Elektrik Programı, 2018.
8. Kılıç, A., *Batarya yönetim sistemlerinde ana ve uydu denetleyici modül tasarımı ve can protokolü kullanımı*. 2016, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. 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.
10. Özcan, M.E. and B. Oral, *Elektrikli araç mimarileri ve batarya teknolojilerinin değerlendirilmesi*.
11. Aldoğan, E., *Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Donanımı Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2012.
12. Baygüneş, B., *Elektrikli araçlarda batarya yönetim sistemi*. 2019, Fen Bilimleri Enstitüsü.
13. Ali Atakan TURGUT-Hakan TERZİOĞLU-Abdullah Cem AĞAÇAYAK, (2022). CHAPTER 7: Photovoltaic System Integrated Electric Vehicle Charging Station. New Trends in Engineering, Tablet Kitapevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-5447-74-8. pp. 73-84.
14. Aktaş, M., et al., *Elektrikli araç için düşük maliyetli bir batarya yönetim sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi*. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2020: p. 227-238.
15. Turgut, M., *Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarım ve Gelistirilmesi*. 2018, Karabük Üniversitesi.
16. MENAK, R., et al., *Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemleri Üzerine Bir Derleme Çalışması*. Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, 2021: p. 46-87.
17. Akgundogdu, A., et al. *Elektrikli araçlar için batarya paketi ve batarya yönetim sisteminin gerçekleşmesi*. in *World electro mobility conference*. Retrieved September. 2017.
18. Özdemir, M., *Li-İyon Batarya Karakterizasyonu, Modellemesi ve Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı/Elektronik Mühendisliği Programı, 2017.
19. Muratoğlu, Y. and A. Alkaya, *Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme*. Elektrik Mühendisliği, 2016. **458**: p. 10-14.
20. Doğan Can ŞAHİN-Mustafa Ziya COBULOĞLU-Abdullah Cem AĞAÇAYAK, (2022). BÖLÜM 2: Fırçasız Doğru Akım Bldc Sürücü Tasarımı. Mühendislikte Yeni Araştırmalar, Tablet Kitapevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-5447-75-5. pp. 9-18.

21. H. Terzioglu, F. A. Kazan, and C. Sungur, "The Irrigation System Fed from Biaxial PV Panels," in *Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 2015 2nd International Conference on, Shanghai, China, 24-26 April 2015 2015, pp. 981-987, doi: 10.1109/ICISCE.2015.222.
22. H. Terzioglu, F. A. Kazan, and M. Selek, "The Designing of an Educational Solar Panel That Can Be Controlled in Different Ways," in *Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 2015 2nd International Conference on, Shanghai, China, 24-26 April 2015 2015, pp. 960-964, doi: 10.1109/ICISCE.2015.217.
23. H. Terzioglu, F. A. Kazan, and M. Arslan, "A New Approach to the Installation of Solar Panels," in *Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 2015 2nd International Conference on, Shanghai, China, 24-26 April 2015 2015, pp. 573-577, doi: 10.1109/ICISCE.2015.133.
24. F. A. Kazan, C. Sungur, and H. Terzioğlu, "The Extension of Battery Lives Used in Solar Irrigation System With Regards to Charge-Discharge Numbers," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 752-753, pp. 988-994, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.752-753.988.

BÖLÜM 3

ELEKTRİKLİ ARAÇ VE HİDROJENLİ (YAKIT PİLLİ) ARAÇ TEKNOLOJİSİNDE KULLANILAN BATARYALAR

H. TERZİOĞLU¹, A.C.AĞAÇAYAK², E. ÖKSÜM³

GİRİŞ

Son yüzyıllarda içten yanmalı motorların egzozlarından salınan gazların atmosfere kötü etkisi ve insan sağlığını tehdit etmesiyle yaşanan ölüm sayılarındaki artış sebebiyle, fosil yakıtların azalmasından ve ileride tükeneceğinin öngörülmesiyle beraber araç teknolojisinde büyük bir devrim yaşanmıştır. Devletler ve üretici firmalar bu sebeplerden dolayı fosil yakıtların kullanımının azalması ve bitmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş ve bu alanda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde tarihi 19.yy'a dayanan elektrikli araç teknolojisi ve günümüzde çalışmaları devam eden elektrikli araçlarla benzer çalışma prensibi olan hidrojenli araçlar üretilmeye başlanmıştır. Geçmişten günümüze gelen bu teknolojiler, avantajları olduğu gibi hâlâ devam eden araştırmalar ve çalışmalarla beraber bazı eksik yönlerinden dolayı bu araç teknolojileri piyasada tam hakimiyet kuramamışlardır. Bunun ana sebebi ise mimari yapıda kullanılan ve en önemli parça olan bataryalardır. Bataryalar bu teknolojide güç faktörü olarak işlev görür ve araçların piyasaya hakimiyet sağlaması için özelliklerinin çok iyi olması gereklidir. Bataryaların özellikleri performansı, menzili ve aracın kullanım ömrünü belirlediği için EA ve YPA da tarihsel anlamda dönüm noktaları oluşturmuş ve bu araçların gelişimlerini sağlamıştır. 19.yy'da 2 çeşidi olan bataryalardan ilki yani şarj edilemez bataryalar kullanıldığı için menzili, ömrü çok kısaydı bu yüzden popüler olsalar da çok tercih edilmiyordu. Sonraki yıllarda gelişen pil teknolojisiyle beraber ortaya çıkan şarj edilebilir piller sayesinde gelişmelerin önü açılmıştır. Fakat gelişim sürecinde pillerin özelliklerinin yetersiz kalmasıyla beraber bir dönem yaşanan bazı sebeplerden duraksama noktasına gelmişlerdir sonrasında çevre

1 Selcuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Konya/Turkey, hterzioglu@selcuk.edu.tr

2 Konya Teknik Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Elektrik ve Enerji Bölümü, Konya/Turkey, acagacayak@ktun.edu.tr

3 Selcuk University, Konya/Turkey, 238270001002@lisansustu.selcuk.edu.tr

kirliliği ve petrol kriziyle dünyada tekrar popüler hale gelmeye başlamışlardır. Sonraki zaman diliminde yeni çıkan pil teknolojileri gelişmelerin öncüsü olmuş günümüzde kullanılan Lityum-iyon pil ve türevleri ile bu araçlar piyasada hakimiyet kurmaya başlamışlardır. Aynı zamanda yakıt pillerinin gelişimleri devam etmiştir ve günümüzde az da olsa kullanımı vardır. EA ve İYM 'lerden daha büyük avantaja sahip yakıt pilleri devam eden çalışmalar sonucu gelişim aşamasındadır. Devletlerin yatırımları ve desteği ile araştırmalar ve çalışmalar hızla devam etmektedir. Gelecek zamanda da gelişen pil teknolojileriyle bu araç teknolojilerinin büyük oranda piyasada kullanılacağı ve içten yanmalı motorlu araçların yerlerini tamamıyla alacakları öngörülmüştür. Gelişimin etkili faktörü bataryalar olduğu için bu makalede geçmişten günümüze kadar ortaya çıkan ve geliştirilen bataryaların EA ve YPA'larda kullanımı tarihçesi avantaj ve dezavantajları, gelecekte nasıl etkileri olabileceği anlatılmıştır.

I. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Yaşadığımız yüzyıl teknolojisinde kullanılan 3 çeşit araç çeşidi vardır; bunlar içten yanmalı motorlu araç teknolojisi, hibrit araçlar ve tümü elektrikli araçlardır. Fosil yakıtları kullanan konvansiyonel araçlar (içten yanmalı motorlu araçlar- internal combustion engine vehicle (ICEV)), sera gazlarının aşırı atmosferik konsantrasyonlarına neden olmaktadır [1]. Günümüzde petrol rezervlerinin azalarak bitme derecesine gelmesi, egzozlardan çıkan dumanların havayı kirlletmesi, sera gazının küresel ısınmaya sebebiyet vermesiyle otomotiv sanayisinde değişim başlayarak temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Günümüzde, petrol tüketimini azaltmak ve gelecekte oluşabilecek potansiyel enerji krizlerinin önüne geçmek için elektrik enerjisi ile çalışan otomobiller geliştirilmeye başlanmıştır. [2]. Elektrikli araçların (EV) piyasaya sürülmesi, CO2 emisyonlarının ve petrol ürünlerine bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olabilir [3]. Bu anlamda ön plana çıkan elektrikli araçlar üzerine yapılan çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.[4]. Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçların yakıtı olan benzin veya dizel yerine bataryalar sayesinde enerji depolayıp sonrasında bu enerjiyi kimyasal tepkimelerle elektrik enerjisine dönüştürüp bu elektrik enerjisinin gücüyle çalışan araçlardır. Bu araçlarda, araç hareketi ve motor tahriki pil paketlerinden (bataryalar) sağlanan elektrik enerjisiyle sağlanmaktadır. Bir elektrikli araç sadece elektrik motoru kullanır ve içten yanmalı motora ihtiyaç duymaz.[5]. Elektrikli araçlar, tamamen elektrikli araç, hibrit araç ve yakıt hücreli araç olmak üzere üç ana sınıfa ayrılırlar [6]. Bu araçların hepsinde batarya sistemi bulunur ve elektrik enerjisinin kullanımı sağlanır. EA'lar ne kadar son yıllarda

piyasada yer tutup kullanılsa bile araştırmalar sonucu tarihçesi eskiye dayanır; Elektrikli araçlar her ne kadar 20. yüzyılda ortaya çıksa da aslında geçmişi 18. yüzyıla kadar dayanmaktadır [1]. Geçmişten günümüze gelen EA teknolojisi gelecek zaman içinde önem arz etmektedir ve bundan dolayı çalışmalar yapılmaya devam etmekte ve geliştirmeler yapılmaktadır.

G. Elektrikli Araçların Tarihçesi

EA'lar son yüzyıllarda rövanşa olsa da EA fikri ve ortaya çıkışının 1800'lü tarihine kadar gittiği araştırmalar sonucu görülmüştür. 1900 ve sonrasındaki yıllar itibari ile fikirler ortaya çıkmış ve sonrasında birçok EA üretimi sağlanmıştır. 1800'lerin son çeyreğinde yollarda çok sayıda elektrik motoru ile tahrik edilen araçlar görülmeye başlanmıştır. Karayolu uzunluklarının az olması elektrikli araçların menzillerini zorlamadığı için bu yıllarda elektrikli araçlar oldukça yaygınlaşmıştır [7]. İlk elektrikli araç modeli Profesör Stratingh tarafından 1835 yılında Hollanda'da geliştirmiştir [1]. Bu gelişmeden hemen öncesinde ise bir prototip yapılmıştı ve bu prototipi tam tarih belli olmasa da 1832-1839 yılları arasında Robert Anderson ilk binek araç prototipini geliştirmiştir fakat bu araçta şarj edilebilir batarya kullanılmamıştır. 1834-1836 yılları arasında Thomas Davenport tarafından ABD'de elektrikli yol aracının geliştirildiği ve uygulamasının yapıldığı raporlanmıştır[8]. Ardından 1838 yılında Robert Davidson 6.4 km/h hıza ulaşabilen elektrikli lokomotifini üretmiştir[9]. Şarj edilebilir bataryalardan ilk olan Pb-asit(Kurşun-asit) bataryası 1859 yılından sonra 1860 yılında üretilmiştir. 19.yy sonunda, 1897 yılında Electric Carriage ve Wagon Company New York şehir taksilerinde elektrikli araçların ilk ticari uygulamasını başlattılar[10]. 1900-1912 yılları arası elektrikli araçların altın çağı olarak kabul edilmektedir[11]. EA'larda üretimler ve gelişmeler olsa dahi menzili kısıydı ve depolama sorunları devam ediyordu. Bu sorunlara ek olarak 1920 yıllarında aynı zamanda İYM'lerde gelişim göstermeye başlamış ve 1960-1970 yılına kadar EA üstünlüğü son bularak İYM'li araçlar rövanşa geçmiş oldu. Bunun en önemli sebepleri olarak EA'larda kısa sürüş mesafesi, elektrik depolama sorunu, üretilen EA'ların fiyatının İYM'li araçlara yaklaşık veya aynı olması sebepleriyle yerini İYM'lere devretmiştir. Kaynaklara göre 1920-1960 yılları arasındaki EA çağına karanlık çağ ismi verilmiştir. Tarihlere baktığımızda; 1908 yılında Henry Ford tarafından ilk seri üretilen Model T adlı benzinli araç 1912 yılına gelindiğinde Amerikan araç piyasasında büyük değişikliklere yol açmıştır. Bu değişikliklerin başında seri üretildikleri için benzinli araçların fiyatlarının düşük ve menzillerinin ise daha yüksek olması gelmiştir [6]. 1912 yılında elektrikli araçların satış fiyatı 1,750\$ civarında iken

benzinli araçlar 650\$ sularındaydı [9, 12].1960 yılına kadar İYM'ler popüler olsa da İYM'lerin sebep olduğu gazlar hava kirliliğine sebep oluyordu. Bu sorun zamanla bazı üreticiler tarafından fark edilip sonrasında tekrar EA üretimine başlamışlardır.1960 yıllarında herkes tarafından görülen bu sorundan dolayı tekrar EA araçlara ilgiler artmıştır. 1965 tarihli Temiz Hava Yasası, elektrikli araçlarla ilgili araştırma yapmak için çok sayıda araştırma enstitüsünü ve firmayı da tetiklemiştir [1].1970 yılına gelindiğinde ortaya çıkan petrol kriziyle beraber artan petrol fiyatıyla devletlerin çoğunluğu EA araştırmalarını hızlandırmak için çalışmalara destek vermiştir.1975 yılında Fiat deneysel bir EA prototipi yapmıştır ve bu araçta Pb-asit bataryası kullanmışlardır. 1980'li yıllarda EA'ların çevre dostu olmaları nedeniyle bu araçlarla da ilgilenilmeye başlanması ile 1990'dan sonra yeni gelişen batarya teknolojileri ile birçok araç firması; Ford-Think City, Nissan-Altra EV ve Peugeot 106-Electric gibi EA modellerini geliştirmeye başlamıştır [8, 9, 12].2003 yılında kurulan TESLA şirketi en önemli EA üreticilerinden biri olarak 2012 yılında TESLA Model-S arabasını piyasaya sürmüş ve bu alanda öncü liderlerden biri olmayı başlamıştır. Ardından diğer araç firmaları da bu alanda daha çok çalışma yaparak piyasada yer tutmuştur. Bu teknolojideki gelişmeler ve çalışmalar ile EA'lar gelecek yüzyıllarda da yerini alacaktır. Geçmişten günümüze EA'larda bazı dönüm noktaları olmuştur (Şekil 1.1.).

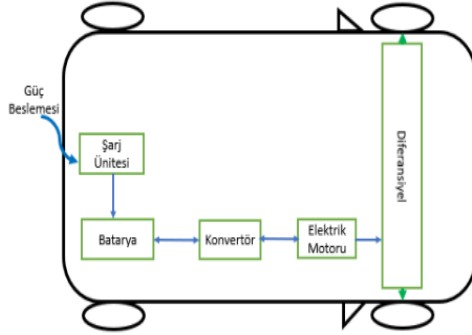
EA'ların tarihçesindeki dönüm noktaları :

1800	Volta primer hücre ve bataryayı geliştirdi.
1821	Faraday elektrik motorunun temel prensibini ortaya koydu.
1834	Davenport primer bataryalı ilk elektrikli yol aracının uygulamasını yaptı.
1859	Plante sekonder hücre ve bataryayı geliştirdi.
1869	Gramme 1 BG' den daha fazla ilk DC elektrik motorunu yaptı.
1881	Trouve sekonder bataryalı ilk elektrikli aracı yaptı.
1885	Benz ilk İYM'lu aracın uygulamasını gerçekleştirdi.
1887-98	Avrupa'da ve Amerika'da kullanılan EA'ların menzili geliştirildi.
1899	Jenatzy 105.9 km/saat ile dünya hız rekorunu kırmış ve bu rekoru 3 yıl elinde tutmuştur.
1900	Eşit sayıdaki buharlı, elektrikli ve benzinli araçlar birbirleriyle yarıştı.
1900-12	EA'ların altın dönemi yaşandı.
1921-60	Benzin motorlu araçlar tamamen yaygınlaşmaya EA'lar ise yok olmaya başladı.
1960-90	EA'lar çok az sayıda da olsa tekrar görünmeye başladı.
1990	Yeni batarya teknolojileri ile artan sayıda elektrikli araç görülmeye başladı.

Şekil 1. Elektrikli araç tarihçesi özeti ve dönüm noktaları [8]

H. Elektrikli Araçların Çalışma Prensibi

Elektrikli araçlar İYM'lerden farklı bir teknoloji kullanarak çalışırlar. Sadece elektrikli araçlar bataryalarında depolanmış olan kimyasal enerjisi elektrik enerjisine çevirerek hareket eden araçlardır [13]. Araç sadece bataryalar veya diğer elektrik enerjisi kaynakları ile çalıştırıldığı için, çalışma sırasında hemen hemen sıfır emisyon elde edilebilir [1]. Elektrikli arabalarda, bataryalar kimyasal tepkimelerle beraber depoladıkları enerjisi elektrik enerjisine dönüştürürler. Sonrasında dönüştürdükleri yani ürettikleri elektrik enerjisi, elektrik motoruna transfer edilir ve motor bu elektriği mekanik enerjiye dönüştürür, daha sonra ise enerjiyi kullanarak tekerler yardımıyla araç hareket eder. Terimlerle ifadesi ise; elektrikli aracın gaz pedalına basıldığında elektrik motoru için gerekli olan güç, doğru akımdan alternatif akıma dönüştürülür. Gaz pedalı, çeviriciden motora akan AC elektrik gücünün frekansını değiştirir. Ardından aracın hızını ayarlamakla görevli olan kontrolöre sinyal gönderir. Motor, bir dişli aracılığıyla tekerlekleri döndürür. Frene basıldığında ya da araç yavaşladığında, motor bir alternatöre dönüşür. Ardından aküye geri dönen gücün üretilmesini sağlar. Elektrikli araçların temel parçaları; enerji depolama için batarya, tahrik sistemi için elektrik motoru, jeneratör, mekanik iletim ve güç kontrol sistemleridir [7]. Çalışma prensibine bakıldığı zaman ve kaynaklar incelendiğinde özetle EA için en önemli parça güç üreten batarya kısmıdır.



Şekil 2. Sadece Elektrikli Araç Mimarisi [13]

I. Elektrikli Araçlarda Bataryalar

Gündelik yaşamda kullandığımız birçok elektrikli alet içerisinde güç yönetimi olarak bataryalar veya piller kullanırız. Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek bünyesinde depolayan cihazlar pil, çoğunlukla aynı kimyasal yapıya, ölçüye ve elektrik kapasitesine sahip pillerin bir araya getirilerek oluşturdukları gruplara da batarya adı verilir [2]. Piller enerji

depolar ve kimyasal reaksiyonlarla bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Bataryalar iki gruba ayrılırlar: şarj edilebilir bataryalar (ikincil batarya) ve şarj edilemez(alkali) bataryalar (birincil batarya). Şarj edilebilir bataryalar alkali bataryalardan daha sonra bulunmuştur ve günlük hayatta yerini almıştır. Kurşun-asit (Pb-asit), nikel-kadmiyum (Ni-Cd), nikel-çinko, nikel-demir, gümüş-kadmiyum, gümüş-çinko, çinko-mangan, nikel-metal hidrit (Ni-MH) ve lityum-iyon (Li-iyon) pilleri ikincil pillerdendir [14]. Her batarya çeşidi kendine has elektrokimyasal özelliklere sahip olup şarj ve deşarj süreçlerinde bu hususlara uyulması gereklidir [15]. Bataryaların sıvı yakıtlara göre bazı avantajları vardır; sıvı yakıtlara göre yanıcı olmadıkları için daha güvenlidirler, sıvı yakıtların aksine çevrecidirler. Kullanım alanları çoğaldıkça ve popüler hale geldikçe maliyetleri azalır. Batarya şarj cihazından istenen bazı özellikler; yüksek verimlilik, uygun maliyet, aşırı akım, gerilim ve şarj-deşarj durumu gibi bazı kriterlerdir [16]. Başka bir ifadeyle ideal bir batarya uzun ömürlü olmalı, ucuz olmalı, yüksek enerjili olmalı, stabil olmalı ve ağır metaller içermemelidir.

EA ve YPA'larda pil grupları yani bataryalar kullanılır. Bataryalar güç depolaması ve bu gücü elektrik enerjisine çevirip kullanıma sunması sebebiyle EA ve YPA'larda büyük rol oynar. Elektrikli araçlar yüksek güç uygulaması olduğu için Pb-asit, NiMH, NiCd, Lityum-iyon ve türevleri bataryaları kullanılır.

Elektrikli araç teknolojisinde kullanılan bataryaların kendilerine özgü özellikleri, avantajları ve dezavantajları vardır. Kullanılan bataryaların temel ve detaylı özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2 de gösterilmiştir.

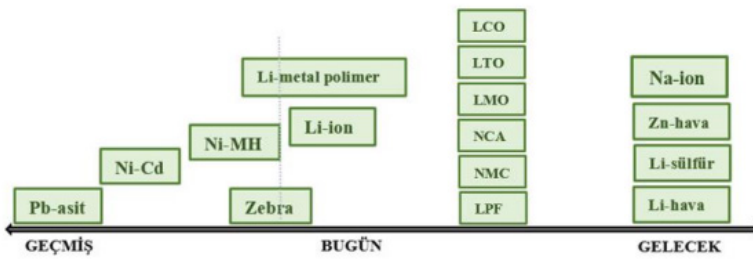
Tablo 1. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Teknolojileri ve Özellikleri [17, 18]

Pil Çeşitleri	Nominal Voltaj (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü (#)	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı
Pb-acid	2	35	1000	Yok	-15, +50
NiCd	1.2	50-80	2000	Var	-20, +50
NiMH	1.2	70-95	<3000	Nadir	-20, +60
Zebra	2.6	90-120	>1200	Yok	+245, +350
Li-ion	3.6	118-250	2000	Yok	-20, +60
LiPo	3.7	130-225	>1200	Yok	-20, +60
LiFePO ₄	3.2	120	>2000	Yok	-45, +70
Zn-air	1.65	460	200	Yok	-10, +55
Li-S	2.5	350-650	300	Yok	-60, +60
Li-air	2.9	1300-2000	100	Yok	-10, +70

Tablo 2. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Teknolojilerinin Detaylı Özellikleri [12]

Pil Çeşitleri	Nominal Voltaj (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Hacimsel enerji yoğunluk (Wh/L)	Özgül Enerji (W/kg)	Çevrim Ömrü	Kendi kendini deşarj etme	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı	Üretim maliyet (\$ / kWh)
Lityum asit (Pbasit)	2	35	100	180	1000	<5	Yok	-15, +50	60
Nikel-Kadmiyum (NiCd)	1,2	50-80	300	200	2000	10	Var	-20, +50	250-300
Nikel metalhidrit (NiMH)	1,2	70-95	180- 220	200-300	<3000	20	Nadiren	-20, +60	200-250
Zebra	2,6	90-120	160	155	>1200	<5	Yok	+245, +350	230-345
Lityum iyon (Li-ion)	3,6	118- 250	200- 400	200-430	2000	<5	Yok	-20, +60	150
Lityum iyon polimer (LiPo)	3,7	130- 225	200- 250	260-450	>1200	<5	Yok	-20, +60	150
Lityum demirfosfat (LiFePO4)	3,2	120	220	2000-4500	>2000	<5	Yok	-45, +70	350
Çinko-hava (Znhava)	1,65	460	1400	80-140	200	<5	Yok	-10, +55	90-120
Lityum sülfür(LiS)	2,5	350- 650	350	-	300	8- 15	Yok	-60, +60	100-150
Lityum-hava (Lihava)	2,9	1300-2000	1520-2000	-	100	<5	Yok	-10, +70	-

Bahsedilen bataryaların çalışmaları ve üretimleri 19.yüzyıldan itibaren başlayıp 21.yüzyıl olan günümüze kadar ulaşan bir tarih çizelgesi içinde olmuştur. Bu tarih çizelgesi Şekil 3 de belirtilmiştir.

**Şekil 3.** Elektrikli araçlarda kullanılan pillerin temsili zaman çizelgesi [19, 20]

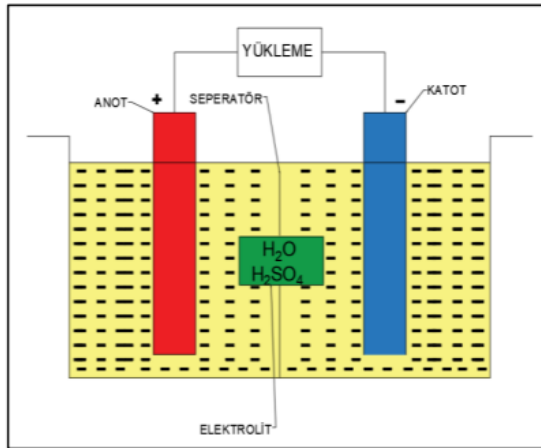
1) Kurşun asit (Pb-asit) Bataryaları

EA'larda kullanılan ilk şarj edilebilir batarya olan kurşun asit bataryalarının çalışmaları 1800'lü yıllara dayanır ve EA'lardaki dönüm noktalarından biri olmuştur. Fransız fizikçi Gaston Plante tarafından 1859 yılında icat edilen ilk ticari ve şarj edilebilir pil türüdür [21]. Çevreci ve temiz enerji kaynaklarındandır. En önemli çevresel etkisi yapısında bulunan asidin ve kurşunun işlenmesi ve

kullanım sonrası bertaraf edilmesidir [2]. Ucuz pil gruplarından biridir. Enerji depolama ve boşaltma işlemi elektrokimyasal reaksiyonlarla meydana gelir [12].

Diğer bataryalar gibi kullanılmalarında bazı avantajlar ve dezavantajlar vardır. Yüksek deşarj akımına sahip olması, hafıza etkisinin olmaması, ucuz olması, enerji depolamada iyi olması ve düşük öz boşalım bu akülerin avantajlarıdır. Ancak ağırlıklarının fazla olması, düşük nominal voltaj değerine sahip olmaları, enerji yoğunluklarının diğer bataryalardan oldukça düşük olması, düşük özgül enerjiden dolayı kısa menzilde hareket etmeleri, sıcaklık aralıklarının geniş olmaması dezavantajlarıdır. Bu batarya tipini kullanan elektrikli araçların daha düşük ortam sıcaklıklarında çalışması durumunda yardımcı bir batarya ısıtmasına ve izolasyonuna ihtiyaç duyulur [22]. Ayrıca kullanılmadıkları zaman pil ömürleri düşmektedir [17, 18]. Kurşun asit bataryaların ömrü yaklaşık %80 derin deşarj koşulunda 1000 çevrimdir [22]. Artı yönlerinden daha fazla eksi yönleri olduğu için ve en önemlisi menzilin az olmasından dolayı EA teknolojisinde geçmiş yıllarda kullanılmış sonraki zamanlarda çıkan yeni pil teknolojilerinin gelişmiş olmasından, özellikle Lityum-iyon pillerinin avantajlarından dolayı kullanımı azalmıştır. Kurşun-asit bataryanın 2 V gerilim değerine sahipken lityum iyon bataryaları ile karşılaştırıldığında yetersiz kalmakta ve bu gerilim değerine ulaşabilmek için daha fazla hücrenin kullanımı nedeniyle son yıllarda üstün özelliklere sahip piller daha fazla tercih konusu olmaktadır [21].

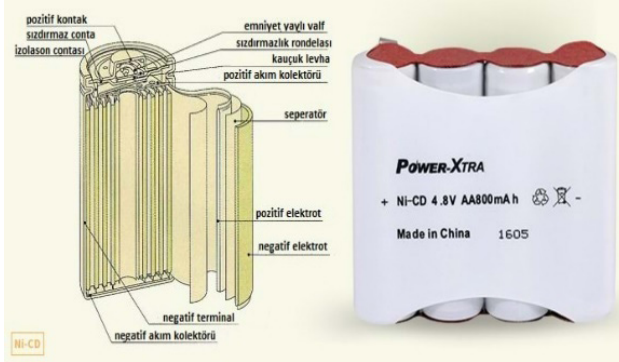
Şekil 4'te Pb-asit şeması gösterilmiştir. Kurşun asit bataryalar 2 gruba ayrılırlar: Sulu tip bakım gerektiren ve kuru tip bakım gerektirmeyen batarya olarak



Şekil 4. Kurşun-asit pil şeması [21].

2) Nikel-Kadmiyum (NiCd) Bataryaları

Şekil 2.3. te belirtildiği gibi en eski ikincil pil gruplarından biridir. Kurşun asit bataryasından sonra 1899 yılında Waldemar Jungner tarafından bulunan pil grubudur. İlk başlarda Pb-asit pilinden zayıftı fakat prototiplerin gelişim sonrası yüksek enerji kapasitesi sayesinde Pb-asit bataryalara göre avantajlı olmuştur ve tercih edilmişlerdir. Şekil 5'te NiCd bataryanın kesit görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. NiCd batarya ve kesit görüntüsü

NiCd bataryaların, Pb-asit bataryalarda ve diğer bataryalarda olduğu gibi artı ve eksi yönleri vardır ve bunlar sayesinde farklı kullanım alanları olmuştur. Ni-Cd çifti; yüksek enerji kapasitesine, uzun çalışma ömrüne, yüksek güvenilirliğe, daha hızlı şarj ve yüksek deşarj hızları gerektiren uygulamalarda kullanılır [21]. Maliyet açısından ucuzdurlar. Yapısında bulunan Ni elementi sayesinde yüksek dirençli olduğu için korozyona karşı koruma sağlar. Nikel kadmiyum bataryaların belki de en büyük avantajı, uzun ömürlü olmaları ve fiziksel ve kimyasal tepkilere karşı daha dayanıklı olmalarıdır [5]. Çalışma sıcaklık aralıklarının geniş olması kullanım alanını genişletmiştir. EA'larda bu avantajlarından dolayı kullanımı olmuştur. Ancak eksi yönleri tespit edildikçe kullanımı azalmış ve yeni pil teknolojilerine yönelim olmuştur. Ağır olmaları, hafıza etkisine sahip olmaları, nominal gerilimlerinin düşük olması, kendi kendine deşarj yüksekliği, Cd elementinin çevreye verdiği olumsuz zararlar, enerji yoğunluğunun düşük olması ve kısa menzilli araçlara daha uygun olması bu bataryaların dezavantajlarıdır. Bu bataryaların EA'larda kullanımının azalması ve tercih edilmemesinin en büyük sebebi kadmiyum elementinin doğaya verdiği zararlardan dolayıdır. Başka bir ifade ile; yapısında bulunan kadmiyum nedeniyle çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğundan kullanımı sınırlandırılmıştır [2]. Özellikle çevreye olumsuz etkilerinin bertaraf edilmesi amacıyla Cd kullanılmayan nikel metal hidrit

bataryaların oluşumuna neden olmuştur[21]. Bu sebeple bu pillerin gelecekteki kullanımını tamamıyla bitecektir [23]. Tablo 3 te bazı avantajlar ve dezavantajlar gösterilmiştir.

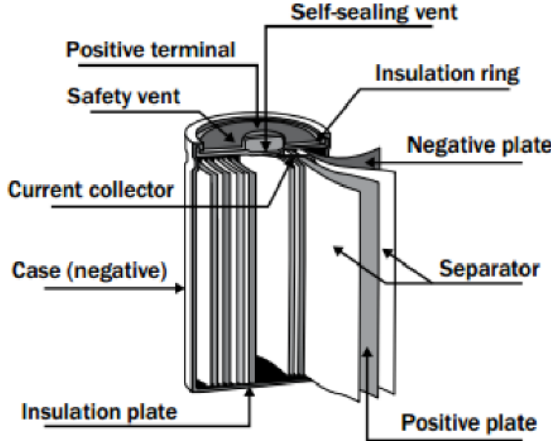
Tablo 3. NiCd bataryaların avantaj ve dezavantajları [14]

Madde	Avantajları	Dezavantajları
1	İç gerilimi yüksek olmadığı için yüksek akım elde edilebilmektedir.	Spesifik hacimleri küçüktür.
2	Kendi kendine deşarj olma özelliği diğer pillere göre daha düşüktür.	Klasik hafıza durumunda ani gerilim dalgalanmalarında problemler yaratabilmektedir.
3	Soğuk ortamlarda verimli çalışabilmektedir.	İçerdiği toksik maddeler nedeniyle çevre dostu bir yapıya sahip değildir.

Günümüzde nikel-kadmiyum piller, başka bir alkalın çifti olan nikel-metal hidrit ve şarj edilebilir lityum piller gibi piyasaya yeni giren pillerle yüzleşmek zorundadır; bu yeni pil sistemleri bazı alanlarda daha iyi performansa sahiptir [24]. EA'lar temiz ve çevreci oldukları için bu araçlarda kullanılacak bataryaların da çevreci olması gerekir. Eksi yönlerinin fazlalığı ve çevreci olmaması sebepleriyle kullanımları sınırlandırılmıştır ve üretici firmalar EA için farklı bataryalar kullanmayı tercih etmişlerdir.

3) *Nikel-Metal-Hidrit(NiMH) Bataryaları*

NiMH bataryaları çalışmaları Battelle-Cenevre Araştırma Merkezi'nde 1967 tarihinde başlamıştır. NiMH bataryaların patenti Stanford R. Ovshinsky tarafından alınmıştır. Çalışma prensibi NiCd bataryalara benzer. Araştırmacılar ve üreticiler NiCd bataryasının eksikliklerini ve doğaya verdiği zararı görünce Cd elementi yerine farklı elementler kullanarak NiMH bataryasını üretmişlerdir. Nikel-kadmiyum pillerin dezavantajlarına bir alternatif olarak geliştirilen bu piller, kadmiyum elektrot yerine metal hidrat kullanır [10].Bu sayede çevreye olumsuz etkiler ortadan kalkmış ve çevreci bir batarya olan NiMH bataryaları piyasa yerini almıştır ve hibrit araçlarda kullanılmıştır. Şekil 6'da NiMH bataryası kesiti gösterilmiştir.



Şekil 6. NiMH batarya kesit görüntüsü

Ni-MH piller, özellikle enerji yoğunluğu ve yaşam döngüsü açısından diğer ikincil pil türlerine göre birçok avantaja sahiptir [14]. Ni-MH pilleri eşdeğer Ni-Cd hücresine göre 2-3 kat daha fazla kapasiteye sahiptir [16]. Nominal voltaj değerleri eşit iken nikel metal hidrat piller daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak nikel metal hidrat piller nikel kadmiyum pillerine göre daha yüksek öz boşalım oranına ve aşırı şarj durumunda daha düşük güvenilirliğe sahiptir [18]. Ağırlıkları Pb-asit ve NiCd bataryalarına göre azdır. Maliyeti son yılların pil teknolojisi olan Lityum-iyon bataryalara göre azdır fakat ilk pillere göre fazladır. Şekil 7’ de pil gruplarının karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli Tipte Piller Enerji ve Güç Yoğunlukları [3,4]

Pil Tipi	Spesifik Enerji (Wh/kg)	Enerji Yoğunluğu (Wh/L)	Kapasite (Wh/kg)
Kurşun – Asit	30-50	70	120
Ni-Cd	45-80	100	181
NiMH	60-120	240	178
Li-iyon (LiCoO ₂)	150-190	400	140
Li-iyon (LiMnO ₂)	100-130		100
Li-iyon (LiFePO ₄)	90-120	220	150

Şekil 7. Pil gruplarının karşılaştırılması

NiMH bataryaların EA teknolojisinde kullanımının artmasının ana sebepleri:

- Sıcaklık aralığının geniş olması ve düşük sıcaklıklarda yüksek deşarj kapasitesine sahip olması
- Yüksek güç çıkışına sahip olmaları ve yüksek enerji depolama yoğunluğuna sahip olması; NiMH batarya 70 Wh/kg’dan fazla enerji yoğunluğuna ve 200 W/kg’dan daha fazla güç yoğunluğuna sahiptir [22].

- Hafıza etkisinin olmaması ve uzun çevrim ömrüne sahip olması ve çevreci olmaları

NiMH bataryalarının son yıllarda yerini Lityum iyon tabanlı pillere devretmesinin başlıca sebepleri:

- Aşırı şarj durumunda düşük güvenilirliğe ve yüksek öz boşalıma sahip olmaları
- Yüksek sıcaklıkta ısı üretme problemi ve enerji yoğunluğunun son teknolojiye göre yetersiz kalması
- Son teknolojideki bataryalara göre enerji-maliyet açısından uygun olmaması
- Gücü aniden kesmeye eğilimli olmaları

Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan Li-Ion bataryalar ile karşılaştırıldığında yüksek deşarj katsayıları ve düşük enerji depolama kapasiteleri sebebiyle çok fazla tercih edilen bir batarya tipi değildir [13]. Avantajlarının ilk üretilen sekonder pil gruplarına göre fazla olmasıyla EA'larda kullanımı popülerdi. Ancak gelişen teknolojiyle beraber çıkan yeni özellikler ve devam eden gelişmeler sayesinde yerini yeni pil teknolojilerine devretmiş ve kullanımını azalmıştır.

4) Zebra (Sodyum Nikel Klorid (NaNiCl)) Bataryaları

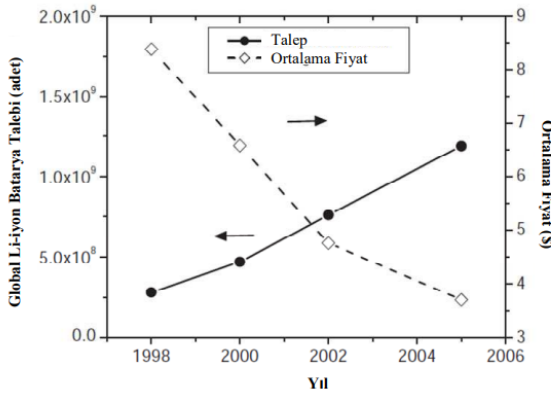
Zebra adıyla bilinen NaNiCl bataryalarının kökeni 1978 yılında bu batarya teknolojisinin ödül aldığı Güney Afrika patentine uzanır.1984 yılında Zebra bataryası kullanılmış ilk araç İngiltere'de sürüşe çıkmıştır. Zebra ismi "Sıfır Emisyon Batarya Araştırma Faaliyeti" (Zero Emission Battery Research Activity) projesinden türetilmiştir [25].NaNiCl bataryasında, katot için aktif malzeme olarak nikel klorürü ve anot için sıvı sodyum kullanır. Nominal voltajı ve enerji yoğunluğu Pb-asit,NiCd,NiMH pillerine kıyasla daha fazladır. Zebra bataryalar 270-350 derece sıcaklıkları arasında çalışırlar ve bu aralıkta erimiş tuz elektroliti bulundurlar. Yüksek enerji yoğunluğuna ve yüksek güç yoğunluğuna sahip oldukları için EA teknolojisinde genellikle filo uygulamalarında kullanılırlar. EA teknolojisinde ThinkEA,Iveco Electric Daily,Modec EA Van modellerinde NaNiCl bataryaları kullanılmıştır.

Bununla birlikte, aşırı çalışma sıcaklığı, termal yönetimi ve güvenlik endişeleri üzerinde büyük baskı oluşturmuştur [17,25]. Yüksek enerji depolama kapasitesi ile avantaja sahip olsalar da kullanım sırasında güvenliklerinin düşük olması ve depolama sürelerinin kısa olması sebebiyle çok fazla tercih edilen bir batarya tipi değildir [13].

5) Lityum-İyon (Li-Ion) Bataryaları

Lityum iyon bataryalar, tekrar şarj edilebilen pil kategorisinin bir üyesidir. Bu bataryalar birçok EA dışında birçok alanda da kullanılır. Lityum iyon piller sergiledikleri yüksek enerji yoğunlukları ve toksik olmamaları nedeniyle cep telefonu, diz üstü bilgisayarlar ve küçük ev aletlerinde ve salgıladıkları düşük seviyedeki CO2 gazı salınımı sebebiyle de çevre bilincine sahip tasarımcılar ve tüketiciler tarafından tercih edilmektedirler [26].

EA teknolojisinde yüksek kapasiteye sahip pil ihtiyacı sorunu batarya alanında yeni bir çalışmaya ve üretime öncülük etmiştir. Çalışmalar sonucu bu soruna büyük oranda çözüm getiren Lityum-iyon bataryalarının üretimi olmuştur. Temeli M.Stanley Whittingham tarafından 1970 yılında atılan Lityum iyon bataryaları 1991 yılında Yoshio Nishi liderliğindeki Sony ve Asahi Kasei ekibi tarafından ticarileştirilmiştir. İlk zamanlar maliyetinin yüksek olması nedeniyle fazla talep görememiştir. Ancak sonraki zamanlarda avantajları sayesinde ve maliyetinin düşmesiyle talep miktarı artmış ve kullanımı yaygın hale gelmiştir. Şekil 8'de 1998-2006 yılları arası Li-Ion batarya talep ve maliyetleri gösterilmiştir.



Şekil 8. Li-iyon batarya pazar talebi ve ortalama fiyat grafiği [27]

Günümüz EA teknolojisinde en çok kullanılan bataryalardır. Özellikleri bakımından diğer pil gruplarına göre avantaja sahip oldukları için diğer bataryaların yerini almışlardır. Bu bataryalar yüksek enerji yoğunlukları nedeniyle, elektrikli araç uygulamaları için en uygun potansiyele sahip bataryalar olarak günümüzde değerlendirilmektedir [22]. Çevreye zarar vermediği ve temiz enerji kaynağı olduğu için kullanımı önemlidir. Bu batarya gruplarının EA'larda kullanımı sera gazı emisyonlarını önemli derecede azaltacağı düşünülmektedir [19].21.yy olan günümüzde birçok araç firması elektrikli araç üretiminde bu

bataryaları kullanıyor. Tablo 4 2018 yılına ait bazı araç modellerinin kullandığı batarya modelini göstermektedir.2023 yılında,2018 yılında olduğu gibi araç firmaları Lityum-iyon bataryasını kullanmaktadırlar.

Marka / Model	Batarya Tipi
Tesla Model S P100D	Lityum İyon
Tesla Model X P100D	Lityum İyon
Tesla Model 3	Lityum İyon
BMW i3	Lityum İyon
Nissan Leaf	Lityum İyon
Ford Focus EV	Lityum İyon
Renault Zoe	Lityum İyon
Chevrolet Bolt EV	Lityum İyon
Volkswagen e-Golf	Lityum İyon
Kia Soul EV	Lityum İyon
Fiat 500e	Lityum İyon
Smart ED	Lityum İyon

Tablo 4. 2018 yılında bazı EA modellerinin kullandığı batarya modeli [13]

Lityum-iyon bataryaların yapısında diğer pil gruplarından farklı materyaller kullanılmıştır; Lityum iyon bataryalarda pozitif elektrot olarak diğer materyallere göre düşük toksit, yüksek kapasite ve ucuz olması avantajları sebebiyle lityum metal oksitler kullanılmaktadır [28]. Yaygın olarak kullanılan lityum tabanlı oksitler: Lityum Kobalt Oksit (LCO), Lityum Manganez Oksit (LMO), Lityum-Nikel-Kobalt-Alüminyum (NCA), Lityum-Nikel-Manganez-Kobalt (NMC), Lityum Titanat (LTO) ve Lityum-Demir-Fosfat (LFP) olarak sınıflandırılır [25]. Bu pillerin özellikleri ve açıklamaları aşağıda belirtilmiştir ve detaylı olarak Tablo 5’de gösterilmiştir:

1. LCO piller yüksek özgül güce sahiptirler. EA’larda kullanılmazlar çünkü düşük güç yoğunlukları vardır, kimyasal yapılarında termal olarak kararsızlık vardır yani düşük güvenliğe sahiptirler ve en önemli problemi ise maliyetleri çok yüksektir.
2. NCA pilleri LCO pillerine benzer özelliklere sahip görünseler de daha avantajlıdır. Güvenlik olarak daha iyidirler. Ayrıca, NCA tabanlı piller güç yoğunluğu, enerji yoğunluğu ve kullanım ömrü açısından iyi performans gösterir [25]. Maliyelerinin yüksek olmasından kaynaklı piyasada tam hakimiyet kuramamışlardır fakat son yıllarda Elon Musk’ın sahibi olduğu Tesla firması bazı arabalarında kullanmıştır.

3. LMO pilleri termal olarak daha sağlamdırlar ve sıcaklık aralığı olarak 250 dereceye kadar dayanım sağlayabilirler ve iç dirençleri düşüktür. Bu avantajlara sahip olmalarına rağmen EA'larda tek başına kullanılamazlar. Elektrikli araçlarla kullanımı NMC piller ile karıştırılarak sağlanabilmektedir.[25].
4. NMC pilleri yüksek enerjiye sahip oldukları için EA'larda kullanımı fazladır.
5. LFP pillerin enerji depolama alanı diğerlerine göre yeterli değildir. Fakat genel özellikleri bakımından avantajlı konumdadırlar. Termal ve kimyasal stabilitesi iyi olup ayrıca düşük maliyetinden dolayı elektrikli araçlara yaygın olarak uygulanırlar [25].
6. LTO piller diğer pillere göre çok büyük artılara sahiptirler. Bu artılar: yüksek güç yoğunluğuna sahip olma, döngü kararlılığının fazla olması ve hızlı şarj özelliğine sahip olmalarıdır. Bu artılara rağmen en büyük eksisi maliyetinin çok pahalı olmasıdır bu yüzden günümüzde piyasada çok tercih edilmese de bazı EA firmaları tarafından kullanılmaktadırlar.

Kimya	Lityum Kobalt Oksit	Lityum Manganez Oksit	Lityum Nikel Manganez Oksit	Lityum Demir Fosfat	Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit	Lityum Titanat Oksit
Kısaltma	LiCoO ₂ (LCO)	LiMn ₂ O ₄ (LMO)	LiNiMnCoO ₂ (NMC)	LiFePO ₄ (LFP)	LiNiCoAlO ₂ (NCA)	Li ₂ TiO ₃ (ortak) (LTO)
Nominal Voltaj	3.60V	3.70V (3.80V)	3.60V (3.70V)	3.20, 3.30V	3.60V	2.40V
Tam Şarj	4.20V	4.20V	4.20V (veya üstü)	3.65V	4.20V	2,85V
Özgül Enerji	150-200Wh/kg	100-150Wh/kg	150-220Wh/kg	90-120Wh/kg	200-260Wh/kg	70-80Wh/kg
Şarj Oran	0,7-1C (3 saat)	0,7-1C (3 saat)	0,7-1C (3 saat)	1C (3h)	1C	1C (5C maks)
Deşarj Oranı	1C (1 saat)	1C, 10C	1-2C	1C	1C	10C
Döngü Ömrü (İdeal)	500-1000	300-700	1000-2000	1000-2000	500	3.000-7.000
Uygulamalar	Cep Telefonları, Tabletler, Dizüstü Bilgisayarlar, Kameralar	Elektrikli Aletler, Tıbbi Cihazlar, Güç Aktarma Organları	E-Bisikletler, Tıbbi Cihazlar, Elektrikli Araçlar	Elektrikli Araçlar	Tıbbi, Endüstriyel, Elektrikli Araç (Tesla)	UPS, Elektrikli Araçlar, Güneş Sokak Aydınlatması
Üstün ve Zayıf Yönleri	Yüksek Enerji, Sınırlı Güç, Pazar Payı Durağan.	Yüksek Güç, Daha Az Kapasite, Li-Kobalttan Daha Güvenli, Performansı Artırmak için Genellikle NMC ile Karıştırılır.	Yüksek Kapasite ve Yüksek Güç, Pazar Payı Artıyor.	Düz Deşarj Voltajı, Yüksek Güç, Düşük Kapasite, Çok Güvenli, Yüksek Kendi Kendine Deşarj.	Orta Güçte En Yüksek Kapasite, Li-Kobalt'a Benzer.	Uzun Ömür, Hızlı Şarj, Geniş Sıcaklık Aralığı, Güvenli, Düşük Kapasiteli, Pahalı.

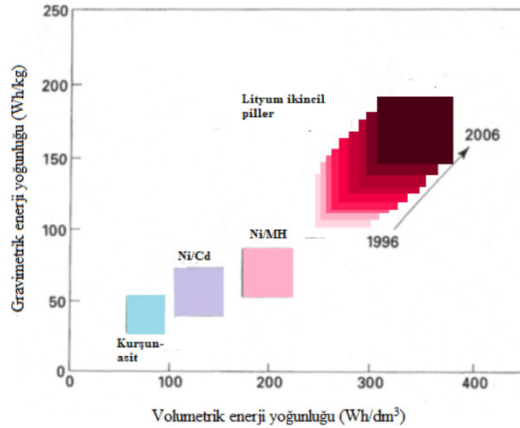
Tablo 5. Lityum iyon bazlı pillerin özellikleri [25]

Lityum-iyon bataryalar diğer pil gruplarında olduğu gibi avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Günümüze kadar üretilen bataryalar arasındaki

karşılaştırma yapıldığında Li-Ion bataryalar daha fazla avantaja sahiptirler. Tüm detaylarıyla bu avantaj ve dezavantajlar Tablo 6’ da belirtilmiştir. Ek olarak, Lityum-iyon bataryaların kendilerinden önceki üretilen sulu elektrolitli bataryalarla enerji yoğunluğu yönünden karşılaştırma yapılması Şekil 9’da verilmiştir.

Hafifliği, yüksek esnekliği, yavaş deşarj oranı, yüksek hızlı şarj özelliği sayesinde yenilenebilir kaynakları ve yüksek güç uygulamalarını bütünleştirmek için umut verici enerji kaynakları olup uzun pil ömrü ile çevreye zarar vermezler	Pahalı olması
Uzun ömürlü olması, çalışma sıcaklık aralığının genişliği (-20oC-60oC), bakım gerektirmemesi, yüksek enerji yoğunluğu (200-400 Wh/L), verimliliği ve hafıza etkisinin olmamasıdır.	2V altında deşarj edildiklerinde bozulmaları, aşırı şarj edildiklerinde bu aşırı yüklemeyi önleyecek bir kimyasal mekanizmaya sahip olmadıklarından kaçak yapmalarıdır(hava alması).
Yüksek özgül enerji (118-250 Wh/kg), yüksek özgül güç (200-430 W/kg), yüksek çevrim ömrü (2000)	Kullanım ömürlerinin üretim tarihlerinden itibaren başlamasıdır.
Mikro güç kaynaklarına olan ihtiyacı karşılayabilecek özelliklere sahiptirler ve uzun sürüş menziline sahiptirler.	Düşük yaşam döngüsü;Yaşlanma çoğu lityum-iyon bataryanın genel sorunudur,pil kullanımında olsun veya olmasın bir yıl sonra kapasitede düşmeler gözlenir.
Lityum piller ayrıca diğer pillere göre daha az yerleştirme sorununa sahiptir. Saklanması ve çok az endişe ile paketlenmesi kolaydır.	Yüksek sıcaklıklarda bozulması ve yüksek sıcaklıklarda kalıcı kapasite kayıplarına uğramalarıdır.

Tablo 6. Li-Ion bataryaların detaylı avantaj ve dezavantajları



Şekil 9. Li-Ion bataryaların kendilerinden önceki ikincil bataryalarla enerji yoğunluğu karşılaştırması [29]

Lityum iyon bataryalar, taşınabilir elektrokimyasal enerji depolamada ilk akla gelen kaynak olduğundan, performansı artırma uygulamalarını büyük ölçüde genişletebilmekte ve enerji depolamasına bağlı olarak yeni teknolojiler sağlayabilmektedir [5]. Bu bataryalar günümüzde tam olarak istenilen özelliklerde olmadıkları için bazı eksiklikleri vardır ve bunlar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Lityum iyon pil teknolojisi her ne kadar elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılsa da petrol (13000 Wh/kg) ile mukayese edildiğinde enerji yoğunluğunun düşük olması nedeniyle hala petrole rakip bir teknoloji haline gelememiştir [30,31]. Yeni teknolojik gelişmeler ve araştırmalarla gelecek zamanda da Li-Ion bataryaların piyasada büyük ölçüde etki sahibi olacağı ve gelişen özellikleriyle dünya üzerinde büyük değişimlere öncü olacağı öngörülmüyor. Tablo 7’de gelecek zaman için Lityum-iyon bataryalarında olması gereken özelliklerin planlaması belirtilmiştir.

Zaman Dilimi	150 Km Menzilli EA		200 Km Menzilli EA		400 Km Menzilli EA	
	Yakın Dönem	Uzun Dönem	Yakın Dönem	Uzun Dönem	Yakın Dönem	Uzun Dönem
Enerji (kWh)	33	27	44	36	88	72
Güç (kW)	75	75	75	75	75	75
Ağırlık (kg)	180 ~ 240	130 ~ 200	235 ~ 315	170 ~ 270	415 ~ 555	310 ~ 470
Batarya Maliyeti (\$)/kWh	470 ~ 620	350 ~ 530	445 ~ 590	330 ~ 505	405 ~ 535	300 ~ 460
Toplam Batarya Fiyatı (\$)	16000 ~ 20000	9000 ~ 14000	20000 ~ 26000	12000 ~ 18000	36000 ~ 47000	22000 ~ 33000

Tablo 7. Gelecek zamanda Li-Ion bataryalar için planlanan hedefler [31]

6) *Lityum-İyon Polimer (LiPo) Bataryaları*

Bu bataryalar Lityum-iyon bataryaya oldukça benzer yapıdadır ve Li-Ion pil tabanlıdır. Lityum iyon bataryadan farklı olarak yapısında kullanılan elektrolit malzeme polimer maddedir yani jel tipi maddedir. Polimer maddenin diğer adıyla jel tipi maddenin iletkenliği diğer pil gruplarındaki sıvı tip maddelerin iletkenliğine oranla daha fazladır ve bu özelliğiyle diğer bataryalara göre avantajlıdır. Ayrıca bu materyalin kullanımı lityum polimer pillerinin daha kolay, daha hızlı ve farklı şekillerde üretilmelerine olanak sağlamaktadır [17, 18]. Bu bataryalar özellikle nikel temelli olanlara göre çok daha hafif, hemen hemen her boyutta veya şekilde yapılabilen, daha yüksek kapasiteli, enerji yoğunluğu yüksek, yüksek deşarj oranları ve kendiliğinden deşarj olma oranının düşük olması gibi avantajlara sahiptirler [15]. Ek olarak, LiPo bataryalar sıvı tip madde kullanan Li-Ion bataryalardan daha iyi performans gösterirler. Bunu sağlayan özellikleri ise yüksek özgül enerjiye sahip olmaları ve enerji depolamalarının daha iyi olmasıdır. Diğer bir artışı ise maliyetlerinin

ucuz olmasıdır. Lityum-iyon bataryalarla karşılaştırıldıklarında daha güvenli ve kullanım ömrü bakımından daha fazla kullanılabilmesi bu bataryaların EA teknolojisinde fazlasıyla kullanılmasına yol açmıştır.

7) *Lityum-Demir-Fosfat (LiFePO₄) Bataryaları*

LiPo piller gibi Lityum-iyon tabanlı bataryadır. Li-Ion pillerden farkı pozitif elektrot malzemesidir bu malzeme lityum demir fosfattır. LiFePO₄ bataryaların bazı artıları ve eksileri vardır. Enerji yoğunluğunun diğer bataryalara oranla daha yüksek olması, yüksek çevrime sahip olmaları, hızlı ve güvenilir olmaları en büyük artılarıdır. Ancak lityum iyon pillerle karşılaştırıldığında daha performansı daha düşüktür [18]. Bundan dolayı EA'larda kullanımı olsa dahi Lityum-iyon bataryalarının kullanımı daha çok tercih edilir.

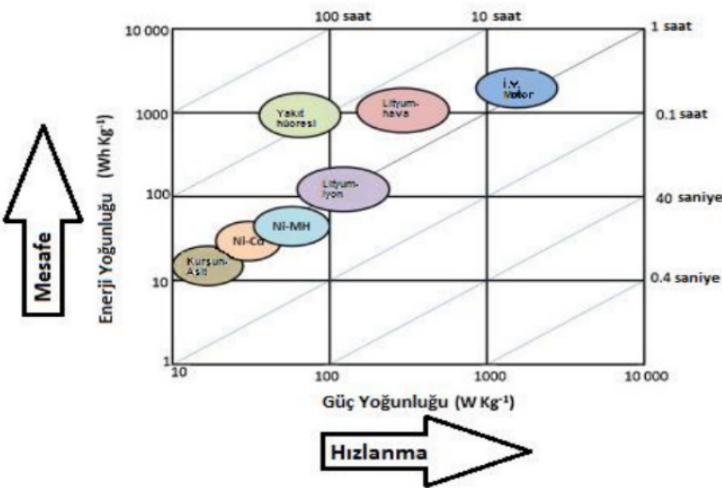
8) *Lityum-Sülfür (Li-S) Bataryaları*

Katot olarak sülfür maddesinin kullanıldığı Lityum-iyon tabanlı bataryalardır. Sülfür maddesinin avantajlarının çok olması sayesinde bu maddenin kullanımı tercih edilmiştir. Sülfürün yüksek enerjiye sahip olması ve çevreci olması en önemli kullanım sebebidir. Sülfür maliyet yönünden ucuzdur. Bataryalarda S'ün katot materyali olarak kullanımı ilk olarak 1962 yılında Ulam ve Herbert tarafından yapılmış ve 1967 yılında Argon Ulusal Laboratuvarında yürütülmeye başlatılmıştır [21]. Diğer bataryalarla karşılaştırıldıklarında bazı avantajlara sahip olsalar da dezavantajları da vardır ve gelişim aşamasında olan batarya grubudur. Yüksek enerji yoğunluğu en önemli avantajıdır, Lityum iyon piller 200 Wh/kg enerji yoğunluğuna sahipken lityum kükürt piller teorikte 2600 Wh/kg'lık oldukça yüksek bir kapasiteye sahiptir [29]. Yüksek şarj verimlerinin olması, düşük hücre gerilimine sahip olmaları diğer avantajlarıdır. Ek olarak sülfür maddesinin ucuz olması sayesinde maliyeti ucuz bataryalardır. Li/S bataryalar, yeni nesil batarya sınıfında, yüksek enerji potansiyeline sahip (Li-iyon bataryalardan 3,5 kat daha yüksek), diğer bataryalara göre hafif, ani ısı değişimine, geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına, ezilmelere gibi birçok olumsuz etkiden uzaktır [21]. Bu avantajları sayesinde elektrikli araçlar için umut verici bir teknoloji olarak kabul edilmektedir [25]. Ancak bu bataryalar bazı eksilere sahiptir. Lityum kükürt pillerin en büyük dezavantajı katottan gelen polisülfürlerin anoda giderken indirgenerek çözünmeyen Li₂S oluşturarak anodu kaplamaları ve bunun sonucunda anot malzemesinin pasivasyona uğramasıyla birlikte düşük çevrim ömrü sorunu ortaya çıkar ve bu durum pratik uygulamalar için önemli bir zorluk teşkil etmektedir [29]. Ek olarak yüksek deşarj olmaları da eksilerinden biridir.

Dezavantajlarındaki sorunların tam olarak giderilmemesi sebebiyle EA'larda kullanımı sınırlıdır ve uzun menzilli EA'larda çok kullanışlı değildir. Li-S bataryalarının gelecek zamanda ön plana çıkması ve sorunların aşılmış şekilde kullanımının yaygınlaşması için araştırmalar ve çalışmalar devam etmektedir.

9) Lityum-Hava (Li-Air) Bataryaları

Lityum iyon bataryalarının EA teknolojisinde büyük bir ilerlemeye yol açtığı açıkça görülmektedir. Ancak çalışmalar devam etmekle birlikte günümüzdeki İYM'lerin yerini alacak konumda değildir. Bunun en önemli sebebi Lityum iyon bataryalarının enerji yoğunluklarının İYM'li araçlara göre düşük ve yetersiz olmasıdır. Bu sebeple yeni teknolojik gelişmelerle, araştırma ve çalışmalarla yeni batarya sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışma alanlarından biri de Lityum-hava batarya grubudur. Lityum-hava piller 1976 yılında ilk kez Lockheed firması tarafından geliştirilmeye başlanmıştır [29]. Ancak bu çalışma lityum materyalinin su ile tepkimesinde kötü sonuçlar açığa çıkarması sebebiyle iptal edilmiştir. 1990 yılında Abraham ve çalışma arkadaşları susuz bir çalışmayla beraber Li-hava pilinin tekrar gelişme sürecine dahil etmişlerdir. Metal hava pil grubundan olan Li-hava bataryaları çok önemli artılara sahiptirler. Bu artılardan en büyüğü bu bataryaların çok yüksek enerji yoğunluğuna ve güç yoğunluğuna sahip olmalarıdır. Bu teknoloji (fosil yakıtların enerji yoğunluğuna yakın) bir değer olan 3.500 Wh kg⁻¹ gibi yüksek bir teorik ağırlıksal enerji yoğunluğu sunmaktadır [25]. Şekil 2.8. de İYM'lerinde olduğu bu avantajın gösterildiği ragone haritası verilmiştir.

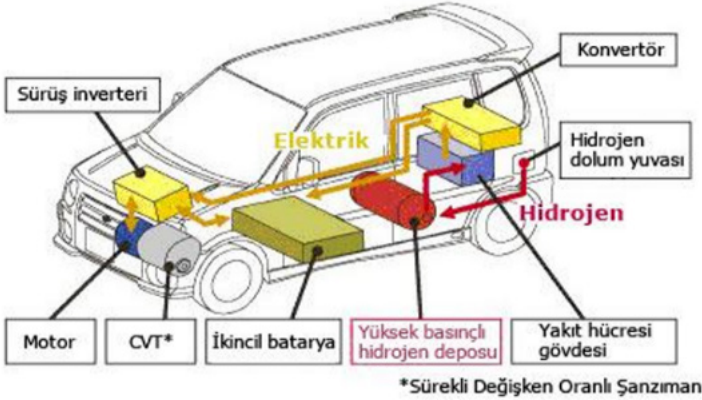


Şekil 10. Lityum-havanın karşılaştırıldığı ragone haritası [36]

Bu pillerde anot lityum olduğundan ayrıca oksijen temininde de sıkıntı duyulmadığı için 13000 Wh/kg'lık teorik bir kapasite söz konusudur [29]. Yani enerji depolama kapasiteleri gayet iyidir. Ayrıca bu bataryaların boyutu küçük olduğundan hafiftirler, yani EA için uygundur. Fakat Şekil 2.8. de görüldüğü üzere İYM'lere göre enerji yoğunlukları yeterli seviyeye daha ulaşmamıştır. Güvenlik açısından ve çevrim ömürleri bakımından belirli zorluklara maruz kalmışlardır. Ek olarak diğer eksi yönleri Li-Ion bataryalarındaki eksilerle örtüşmektedir. Bu zorlukların birkaçının üstesinden gelinmesi durumunda 1000 Wh kg-1 veya daha fazlasının elde edilmesi mümkün olabilecektir [25]. Ayrıca lityum hava pilleri elektrikli araçlarda ticari kullanım için üretilmek isteniyorsa, üzerinde yoğun araştırmalar yapılması gereken, henüz başlangıç düzeyinde bir teknoloji olarak görülmektedir [30]. İleride çalışmalar iyi sonuç getirip eksiklikler giderilince gelecek zaman teknolojisi olarak öngörülmektedirler.

II. YAKIT PİLLİ (HİDROJENLİ)ARAÇLAR

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı açısından yükseliş trendinde olan ve üzerinde çalışmaların devam ettiği araç teknolojilerinden biri de yakıt pilli araçlardır. Yakıt pilli EA'lar, tümü EA'lardaki saatler alan batarya şarj süresi ve kısa menzil problemlerine karşı geliştirilmiştir [9]. Mimari yapı olarak EA teknolojisine benzerliği olmasına karşın farkları da vardır. Şekil 2.9 Yakıt Pili Aracı temsil etmektedir. Bu araçların yakıt hücrelerinde yakıt olarak; metanol, etanol, doğalgaz, LPG ya da hidrojen kullanılabilir. Ama tüm bu yakıtlar arasında enerji verimi en yüksek olanı hidrojendir [39]. Bu yüzden bu araçlara Hidrojenli Araçlar da denilmektedir. Son zamanlarda üretilen yakıt hücreli elektrikli araçlara; General Motors tarafından geliştirilen Precept, Ford tarafından geliştirilen Ford Focus FCV ve P2000, Nissan tarafından geliştirilen Xterra FCV örnek olarak verilebilir [40]. Yakıt pilli olarak farklı pillerin kullanımı mevcuttur. Bu teknolojinin avantajları çok olmasına rağmen eksi yönleri de vardır. Üzerindeki çalışmalar sayesinde ileride eksik görülen yönleri tamamlandıkça gelecek zamanda piyasada elektrikli araçlar gibi büyük oranda yer kaplayacağı öngörülen teknolojidir.



Şekil 11. Yakıt pilli araç [9]

J. Yakıt Pilleri Araçların Tarihçesi

Yakıt pillerinin tarihçesine baktığımızda 19.yy'a dayanır. İlk yakıt pili üzerinde çalışmalar 1838 yılında Sir William Grove tarafından yapılmıştır. Sonrasında 1893 ve 1896 yıllarında çalışmalar farklı kişiler tarafından devam etmiştir. Fakat en büyük gelişme 1939 yılında Thomas Bacon tarafından olmuştur ve alkalin yakıt pilleri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmanın önemini anlayan Pratt&Whitney şirketi bu projeye lisans vererek NASA programlarında kullanılmasını sağlamıştır. Elektrikli araçlarda olduğu gibi 1970 petrol kriziyle bu pillerde ve bu pilleri kullanan araç teknolojisi de önem kazanmıştır ve günümüzde çalışmaları devam etmektedir.

K. Yakıt Pilleri Teknolojisi

Hücresinin anot ve katot bölmelerinde reaktanların kimyasal tepkimeler sonucu açığa çıkarmış olduğu elektrik enerjisi üreteçlere yakıt hücresi denir. Bunları seri halde bağlanması halinde yakıt pili meydana gelmektedir [39]. Bu pilleri elektrokimyasal pil olarak da adlandırmışlardır. Herhangi bir işleme ihtiyaç duyulmadan bataryada herhangi bir zayıflama durumu olmaması, içerisine çeşitli yakıtlar (N, CH₄, H ve LPG) doğrudan beslendiği sürece kesintisiz şekilde çalışan cihazlardır [39]. Aslında EA teknolojisindeki bataryalarla aynı işlevdedirler. Fakat bataryalara göre en büyük avantajı şarj edilmeye ihtiyaç duymazlar. Yakıt pilleri, batarya gibi enerjiyi depolamaktan çok enerji üretir ve bu esnada temel yakıt olarak hidrojen kullanırlar [9].

Yakıt pilli araçlarda güç elemanı olarak yakıt pilleri kullanılır. Yakıt pilleri hidrojen kullanır. Bu yüzden Hidrojenli araçlar olarak da adlandırılmışlardır. Yakıt pili (yakıt hücresi), enerji üretiminde kullanılan verimli, sessiz, çevre

ile uyumlu ve elektrokimyasal prensipte yakıt enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güç üretim elemanıdır [40]. Araç teknolojisinde yakıt pili kullanımının artıları vardır ve bu artılar:

- Yakıt pilleri doğrudan hidrojendeki kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek oluşan saf suyu sadece üretimde kullanılabilir potansiyel ısıya çevirebilecek bir yapıya sahiptir, Hidrojen destekli yakıt pilleri sadece temiz bir teknoloji değil aynı zamanda geleneksel yakıt teknolojilerinden 2-3 kat daha verimlidir [41].
- Elektrik üretiminin verimini yüksek seviyelere çıkartır ve yakıt tüketimini azaltır. Ayrıca doğaya zarar vermezler yani çevrecidirler.
- Yakıt pillerinin hareket parçaları diğer araçlara göre az olduğu için çalışırken ses kirliliğini azaltır. Ekstra olarak, yakıt pili ile çalışan araçların menzili, yakıt pilinde depolanan enerji miktarı ile doğru orantılıdır. Yakıt pilli araçlarda enerji üretimi esnasında hareketli parçalar kullanılmadığından dolayı verim %60 ile %70 arasında değişmektedir [42].
- Mimari yapıları basittir. Yakıt pillerinin yüksek sıcaklıkta çalışan çeşitlerinde elektrik üretiminin yanı sıra yan ürün olarak meydana gelen atık ısı geri kazanılabilir ve buhar santrallerinde kullanılır [42].

L. Yakıt Pili Çeşitleri

Yakıt pilleri yakıt, sıcaklığa, elektrolite göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma genel anlamda Proton Geçirgen Zarlı (Proton Değiştiren Membranlı Yakıt Pili), Doğrudan Metanol Yakıt Pili, Fosforik Asit Yakıt Pili, Erimiş Karbonat Yakıt Pili, Katı Oksit Yakıt Pili, Alkali Yakıt Pili olarak ayrılmıştır. Bu pillerin özellikleri Tablo 2.9. da verilmiştir [43-47].

	PEMYP	DMYP	AYP	FAYP	EKYP	KOYP
Elektrolit	Katı Polimer Membran	Katı Polimer, sıvı alkalın	KOH	Sıvı fosforik asit	Sıvı erimiş karbonatlar	Y ₂ O ₃ içeren zirkonya
Çalışma Sıcaklığı	80°C	50°C-90°C	65°C- 220°C	150°C-220 °C	650 °C	600°C-1000°C
Katalizör	Platinyum	Pt veya Pt/Ru	Platinyum	Platinyum	Nikel	Perovskites
Transfer edileniyon	H ⁺	H ⁺	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ⁻²	O ⁻²
Yakıt ıslahı	Pil dışı	Gerekmez	Pil dışı	Pil dışı	Pil içi	Pil içi
Anot Gazı	Hidrojen	Su içinde metanol	Gerekmez	Hidrojen	Hidrojen Metan	Hidrojen-Metan
Katot Gazı	Saf Oksijen yada hava	Havadan oksijen	Saf oksijen	Havadan oksijen	Havadan oksijen	Havadan oksijen
Isı yönetimi	Soğutucu	Soğutucu	Soğutucu	Kojenerasyon	Kojenerasyon	Kojenerasyon
Verim	%35-60	%35-40	%50-70	%35-50	%40-55	%45-60

Tablo 9. Yakıt pillerinin karşılaştırılması

1) Alkali Yakıt Pili (AYP)

Alkali yakıt pilleri tarihi bakımından ve kullanımı bakımından ilk yakıt pilidir. Üretimi 1960 yıllara dayanır ve bu tarihlerde NASA bu yakıt pilini Apollo uzay mekiğinde kullanmıştır. Çalışma sıcaklıkları 100 °C ile 250 °C arasında değişmektedir [38]. Alkali yakıt pili verimleri %70'leri bulmaktadır [39]. Performansları bakımından H₂ ve O₂ bu verim sayesinde iyi performans gösterir. Dezavantaj olarak membranlarında CO₂ birikmesi gösterilir. YPA'larda kullanımı sınırlıdır.

2) Erimiş Karbonat Yakıt Pilleri (EKYP)

Bu yakıt pilleri elektrolit olarak karbonat tuzlarından olan lityum, sodyum ve potasyum malzemelerini kullanır. Karbonat tuzlarının özelliklerinden dolayı bu yakıt pillerinin çalışma sıcaklığı 600 °C ile 700 °C arasındadır. Çok yüksek çalışma sıcaklıklarına ihtiyaç duyduğundan ancak sabit ve büyük santrallerde yerleşimleri mümkün olmaktadır [42]. Yani yakıt pilli araç teknolojisinde kullanımları sınırlıdır. Ayrıca havadaki karbon oksitlere duyarlı olmaları da günümüzde karada kullanımını zorlaştırmaktadır.

3) Fosforik Asit Yakıt Pilleri (FAYP)

Fosforik asit yakıt pillerinde diğer pillerden farklı elektrolit kullanımı vardır ve bu pillerde sıvı fosforik asit kullanılır. Günümüzde ticari anlamda birçok yerde kullanılan bu piller YPA teknolojisinde de kullanılır. Ayrıca halk otobüslerinde de kullanımı mevcuttur. Bu pillerin elektriksel verim değerleri %40 civarındadır ve çalışma sıcaklık aralıkları 150 °C ile 200 °C arasındadır. Saf olmayan hidrojeni kullanabilirler ve bu özellik bu pillere büyük avantaj sağlar. Ancak diğer pillerle kıyaslandığı zaman akım ve güçleri yetersiz kalmaktadır. Anotta kullanılan platinin reaksiyonlar sonucu CO çıkarması zehirlenmelere sebep olabilir ve bu durum FAYP'lerin en büyük dezavantajıdır. Ek olarak maliyetlerinin fazla olması ve düşük sıcaklıklarda çalışmaması sorunları sebebiyle YPA teknolojisinde kullanımı azdır.

4) Proton Geçirgen-Proton Değişim Membranlı Yakıt Pilleri (PEMYP)

Bu pillerin keşfi General Elektrik tarafından 1960 yılına dayanır.20. yy. ortalarında ise NASA tarafından Gemini isimli projede kullanılmıştır. Bu pillerin yapısında elektrolit olarak ince polimer zar kullanılır. Anot ve katotta katalizör olarak Pt (platin) veya Pd (paladyum) gibi metaller kullanılmaktadır; yakıt olarak hidrojen, oksitleyici olarak da havada bulunan oksijen kullanılır [38]. PEMYP'LERİN çalışma sıcaklık aralıkları 60-100 °C arası değişir ve diğer pillere göre daha uygun sıcaklıkta çalıştığı için YPA'larda kullanımı diğerlerine göre daha çok tercih edilir. Bu yakıt pillerinin birçok avantajı vardır. Hareketli parçaya sahip olmadıklarından sessiz çalışırlar. Atık ortaya çıkarmazlar ve verimleri oldukça yüksektir. Yakıt pilleri arasında yüksek verimliliğin yanı sıra, hacim ve ağırlık açısından sahip olduğu avantajları sebebiyle, PEMYP'ler günümüzde taşıt uygulamaları için en uygun yakıt pili sistemleridir [42].

5) Doğrudan Metanollü Yakıt Pilleri (DMFC)

DMFC'ler yapılarında elektrolit olarak polimer membran kullandıklarından dolayı PEMYP'lere benzer özellikler taşırlar. DMFC'yi PEM yakıt pillerinden ayıran en önemli özellik yakıt dönüştürücü gereksizinin metanol / etanolün doğrudan yakıt olarak kullanılabilmesidir [39]. Metanolün reaksiyona girmesi sonucu hidrojen açığa çıkar ve bu piller bu açığa çıkan hidrojeni yakıt olarak kullanırlar. Diğer bir ifadeyle sıvı yakıt kullanılırlar. Bu yakıt pilleri, yakıt dönüştürme alt sistemi içermezler ve bunun sayesinde ağırlıkları azdır ve maliyetleri düşüktür. Çalışma sıcaklık aralıkları 50°C-100°C arası değişmektedir.YPA'larda kullanımı mevcuttur ve sıcaklık aralığı sayesinde kullanımı uygun pil teknolojilerinden biridir.Gelecekte araç teknolojisi dışında birçok alanda da kullanılması için çalışmalar devam etmektedir.

6) *Katı Oksit Yakıt Pili (KOYP-SOFC)*

SOFC'ler zirkonyum elektroliti kullanırlar. Yakıt olarak hidrojen kullanırlar. Bu pillerin çalışma sıcaklıkları çok yüksektir ve rakamsal olarak 1000 °C'yi görebilir. Bu çalışma sıcaklığından kaynaklı olarak yüksek güç isteyen uygulamalarda veya kojenerasyon uygulamalarında kullanımı mevcuttur. Verimleri yüksektir. Yakıt pilli araçlarda kullanımı sınırlandırılmıştır.

III. SONUÇLAR

Zamanla artan fosil yakıtların doğaya zarar vermesi ve insan sağlığına zararlı olması, yakın tarihte petrolün tükenecek olması faktörleri temiz ve çevreci enerji kaynaklarının kullanımına yönelim sağlamıştır [48-50]. Bu kaynaklardan elektrik enerjisinin kullanımı araç piyasasında önemli değişikliklere yol açmıştır. İki önemli araç teknolojisi piyasadaki İYM'lerin yerini almak için yükseliş göstermiştir. Bunlar EA ve YPA teknolojisidir. Araç piyasasına yön veren değişiklikteki bu araçlar için bataryaların önemli rol oynadığı ve batarya gelişimleri sayesinde dönüm noktalarını oluşturdukları tespit edilmiştir. Bataryalar, aracın birçok özelliğini belirler ve en önemlisi de bataryaya göre menzil artışı olabilir. Günümüzde hem EA hem de YPA'lar için farklı türde bataryalar bulunmakta ve kullanılmaktadır. Bu bataryalar her ne kadar avantajlı olsalar da dezavantajlara da sahiptirler.

EA teknolojisi günümüzde hızlı bir şekilde artış göstermeye başlamıştır. Kullandıkları bataryalar sayesinde önemli role sahiptirler. Bu bataryaların farklı özellikleri vardır ve gelişim aşamasındadırlar. Ancak günümüzde batarya teknolojisinin devam eden sorunları da bulunmaktadır. Bu sorunlardan en büyüğü enerji yoğunluğunun İYM'lerinkine göre yeterli seviyede olmayışıdır. EA teknolojisinde günümüzde kullanılan Lityum-iyon bataryalar kendilerinden önceki bataryaların sorunlarına çözüm olmuştur fakat İYM'li araçlardaki enerji yoğunluğunun çok altında kalması yönünden üzerlerindeki çalışmalar devam etmektedir ve Lityum tabanlı bataryaların çalışmalarına hız verilmiştir. Son teknoloji olan lityum tabanlı Li-air bataryaları enerji yoğunluğu sorunun çözümüne yaklaşmış olmasına rağmen henüz yeterli seviyeye ulaşamamıştır. Günümüzde EA batarya teknolojisindeki çalışmalar devam etmekte olup sorunların çözülmesiyle gelecekteki piyasada İYM'lerin yerini alacak bir teknoloji olarak görülmektedir. Yakıt pilli araç teknolojisi de EA teknolojisine benzer. Fakat EA teknolojisine göre daha üstün avantajlara sahiptirler. Bu avantajlar, yapılarında bulunan yakıt pillerinin kullanımı sayesinde. En büyük avantajları ise yakıt pillerinin enerji yoğunluklarının İYM'leri geride

bırakmasıdır. Bu araçlarda PEMYP pillerinin kullanımı yaygındır. Ancak yakıt pillerinin gelişim aşamasında olması ve devam eden hidrojen depolama, maliyetin fazla olması, güvenlik sorunları nedeniyle YPA'lar için çalışmalar devam etmektedir. Gelecekte bu araçlardaki yakıt pillerinin sorunlarının çözülmesiyle beraber EA'lar gibi piyasada önem arz edeceği hatta EA'lardan daha fazla kullanımının olacağı öngörülmektedir. Bu iki araç teknolojisinde batarya bölümündeki eksikliklerin giderilmesi yönünde çalışmaların devam etmesiyle beraber gelecekte piyasada büyük oranda yer alacakları araştırmalar sonucu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Eğin, G., *Elektrikli araçların batarya sistemlerinde ısı yönetimi*. 2019, Bursa Uludağ University (Turkey).
- [2] GÜVEN, E.C. and K. Gedik, *Ömrünü Tamamlamış Elektrikli Araç Bataryalarının Çevresel Yönetimi*. Journal of the Institute of Science and Technology, 2019. **9**(2): p. 726-737.
- [3] Buekers, J., et al., *Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2014. **33**: p. 26-38.
- [4] ŞEFKAT, G. and M.A. ÖZEL, *ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN PİL HÜCRESİNİN ELEKTRİKSEL VE TERMAL MODELİ*. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 2020. **25**(1): p. 51-64.
- [5] ÇETİN, M.S., B. KARAKAYA, and M. GENÇOĞLU, *Elektrikli araçlar için lityum iyon bataryaların modellenmesi*. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2021. **33**(2): p. 755-763.
- [6] KABA, M.Y., O. KALKAN, and A. CELEN, *ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYALAR VE TERMAL YÖNETİM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ*. Konya Journal of Engineering Sciences, 2021. **9**(4): p. 1119-1136.
- [7] Kocabey, S., *Elektrikli otomobillerin dünü, bugünü ve geleceği*. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 2018. **1**(1): p. 16-23.
- [8] Ünlü, N., et al., *Elektrikli Araçlar: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü*, Gebze, 2003. **2**: p. 75-82.
- [9] Kerem, A., *Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2014. **5**(1): p. 1-13.
- [10] Mühendis, V., *Li-İon pillerin farklı kullanım koşullarında performanslarının ölçülmesi*. 2019, Konya Teknik Üniversitesi.
- [11] Durmuş, F.S. and H. Kaymaz, *Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri*. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 2020. **3**(2): p. 123-139.
- [12] Yalçınsoy, E., *Hibrit ve elektrikli araç bataryalarının soğutulmasının hesaplamalı olarak araştırılması*. 2023, Bursa Uludağ Üniversitesi.
- [13] Özcan, M.E. and B. Oral, *Elektrikli araç mimarileri ve batarya teknolojilerinin değerlendirilmesi*.
- [14] SEZER, K.C. and G. BASMACI, *ŞARJ EDİLEBİLİR PİLLERE GENEL BAKIŞ*. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2022. **10**(1): p. 297-309.
- [15] GELEN, A. and E. TÜFEKÇİOĞLU, *Lityum-polimer piller için şarj ve dengeleyici devre tasarımı*. Erzincan University Journal of Science and Technology, 2020. **13**(2): p. 839-846.
- [16] Hamurcu, M., E. ÇAKIR, and E. Tamer, *Kullanıcı perspektifli çok kriterli karar verme ile elektrikli araçlarda batarya seçimi*. International Journal of Engineering Research and Development, 2021. **13**(2): p. 733-749.
- [17] Yong, J.Y., et al., *A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects*. Renewable and sustainable energy reviews, 2015. **49**: p. 365-385.
- [18] Muratoğlu, Y., *Elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon pillerin şarj durumlarının kokusuz Kalman filtresi ile kestirilmesi*. 2017, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [19] BALCI, E., et al., *Elektrikli Araç Teknolojisinde Kullanılan Kurşun Asit ve Li-iyon Bataryaların Galvanostatik Test Sonuçlarının Karşılaştırılması*. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2023. **35**(2): p. 691-697.
- [20] Catenacci, M., et al., *Going electric: Expert survey on the future of battery technologies for electric vehicles*. Energy Policy, 2013. **61**: p. 403-413.
- [21] Şükran, E. and Z.A. Güngör, *Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi*. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2021(32): p. 947-955.
- [22] Aras, U.T., *Hibrit elektrikli araçların batarya sistemlerinin bilgisayar destekli performans analizi*. 2009, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23] Denizli, F., *Lityum İyon Pilleri İçin Elektronik Demeti İle Fiziksel Buhar Biriktirme (ebpvd) Yöntemi Kullanılarak İnce Film Anot Malzemesi Üretimi Ve Karakterizasyonu*. 2011, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] Putois, F., *Market for nickel-cadmium batteries*. Journal of Power Sources, 1995. **57**(1-2): p. 67-70.
- [25] ÖZCAN, Ö.F., et al., *Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Kimyasallarının Özellikleri ve Üstün Yönlerinin Kıyaslanması Üzerine Bir Derleme Çalışması*. Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, 2021. **8**(2): p. 276-298.
- [26] Polat, B.D. and Ö. Keleş, *Lityum iyon pil teknolojisi*.
- [27] Sayın, A.A., *Elektrikli taşıt araçlarında kullanılan lityum-iyon bataryaların modellenmesi ve benzetimi*. 2011, Uludağ Üniversitesi.
- [28] Akgundogdu, A. *Elektrikli araçlar için batarya paketi ve batarya yönetim sisteminin gerçekleştirilmesi*.
- [29] Şahin, B., *Li-S piller için nanokompozit katot üretimi*. 2019, Sakarya Üniversitesi (Turkey).
- [30] 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)
- [31] Ağaçayak A.C.,Terzioğlu H.,Neşeli S.,Yalçın G., (2018). Small Power Wind Turbine Design, Academic Studies In Engineering, Gece Kitaplığı, ISBN:978-605-288-611-3,
- [32] Ağaçayak, A.C., Yalçın G., Neşeli, S., (2019). "Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi," Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri, Gece Akademi, pp. 121- 130.
- [33] Ataner E., Terzioğlu H., Yalçın G., (2020). Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi. Elektrikli Araçlara Genel Bir Bakış-2, iksad Publishing House, Basım sayısı:1, 31-52.ISBN: 978-625-7687-48-5, pp. 31- 52.
- [34] F. A. Kazan, C. Sungur, and H. Terzioğlu, "The Extension of Battery Lives Used in Solar Irrigation System With Regards to Charge-Discharge Numbers," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 752-753, pp. 988-994, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.752-753.988.
- [35] Akbulut Uludağ, A., *Lityum Hava Pillerde Enerji Depolama ve Yaşam Döngüsü Analizi*. 2021.
- [36] Ataner E., Terzioğlu H., Yalçın G., (2020). Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemi. Elektrikli Araçlara Genel Bir Bakış-2, iksad Publishing House, Basım sayısı:1, 31-52.ISBN: 978-625-7687-48-5, pp. 31- 52.

- [37] Sen, G., A.R. Boynuegri, and M. Uzunoglu, *ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞARJ YÖNTEMLERİ VE ARAÇLARIN ŞEBEKEYLE BAĞLANTISINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLERE YÖNELİK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ*. DOI, 2011. **10**(2.1): p. 1956.8648.
- [38] Kartal, M., *Lityum hava pilleri için yüksek kararlılıkta elektrolitlerin geliştirilmesi*. 2014, Sakarya Üniversitesi (Turkey).
- [39] Demir, A., *HİBRİD, TAM ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ ARAÇLAR TRENDİ VE EMNİYET YÜKÜMLÜLÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ*. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2022. **21**(41): p. 136-155.
- [40] KUZU, Z., *ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN BATARYA VE*
- [41] *ULTRAKAPASİTÖRDENOLUŞAN HİBRİT ENERJİ*
- [42] *DEPOLAMA SİSTEMİNİN YÖNETİMİ*. 2017.
- [43] Zengin, Y., *Yakıt hücresinde hidrojen tüketiminin zamana bağlı değişiminin incelenmesi*. 2019, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44] Şenaktaş, B., *Hidrojen enerjisi, üretimi ve uygulamaları*. 2005, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [45] BARIN, A., *DÜNYADA VE TÜRKİYEDE HİDROJEN ENERJİSİ ÖNEMİ VE UYGULAMALARI*. 2. TOPLU ULAŞIM HAFTASI, 2011: p. 26.
- [46] Keskin, F., *Yakıt pilli-bataryalı hibrid bir elektrikli araçta enerji yönetiminin sağlanması*. 2014.
- [47] Akfıdan, T., *Bir hibrit (yakıt pilli & güneş pilli) enerjili aracın modellenmesi, simülasyonu ve prototip uygulaması*. 2011.
- [48] H. Terzioğlu, F. A. Kazan, and C. Sungur, "The Irrigation System Fed from Biaxial PV Panels," in *Information Science and Control Engineering (ICISCE), 2015 2nd International Conference on*, Shanghai, China, 24-26 April 2015 2015, pp. 981-987, doi: 10.1109/ICISCE.2015.222.
- [49] H. Terzioğlu, F. A. Kazan, and M. Sele, "The Designing of an Educational Solar Panel That Can Be Controlled in Different Ways," in *Information Science and Control Engineering (ICISCE), 2015 2nd International Conference on*, Shanghai, China, 24-26 April 2015 2015, pp. 960-964, doi: 10.1109/ICISCE.2015.217.
- [50] H. Terzioğlu, F. A. Kazan, and M. Arslan, "A New Approach to the Installation of Solar Panels," in *Information Science and Control Engineering (ICISCE), 2015 2nd International Conference on*, Shanghai, China, 24-26 April 2015 2015, pp. 573-577, doi: 10.1109/ICISCE.2015.133.
- [51] F. A. Kazan, C. Sungur, and H. Terzioğlu, "The Extension of Battery Lives Used in Solar Irrigation System With Regards to Charge-Discharge Numbers," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 752-753, pp. 988-994, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.752-753.988.

BÖLÜM 4

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA DAİR TEKNOLOJİK GELİŞMELERE BAĞLI OLARAK MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

R. ESEN¹, G. YALÇIN²

GİRİŞ

Günümüzde otomotiv sektöründe alüminyum alaşımlarının sağladığı avantajlar nedeniyle kullanım oranı arttıkça seri halde üretim kabiliyetini ve verimliliğini artıran döküm yöntemlerine ve üretim proseslerine ilgi de artmaktadır. Çok çeşitli otomotiv parçalarının üretiminde düşük yoğunluğun önem kazandığı endüstriyel uygulamalarda alüminyum döküm alaşımları kolay dökülebilirlik, düşük yoğunluk, alaşımlandırılabilme, yüksek korozyon direnci ve yüksek mekanik dayanım ve sızdırmazlık özellikleri gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.[1]

Alüminyum alaşımları uzay, uçak ve gemicilik sanayileri için de vazgeçilmez malzemelerdir. Bununla beraber, düşük montaj ve bakım maliyeti ve yüksek atmosferik korozyon direnci ile beraber hafifliği, inşaat sektöründe alüminyumu çok cazip bir malzeme yapmaktadır.[2]

Alüminyum, esnek, çok yönlü ve yeniden değerlendirilebilme yeteneğinden ötürü enerji tüketen değil enerji depolayan bir metaldir. Bu özellikleri işlevselliği, ekonomikliği ve kolay işlenebilirliği ile kombine edildiğinde bugün ve gelecek için alüminyum ve alaşımlar bütün sektör ve endüstrilerde kullanım alanı bulan bir malzemedir.[3]

2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARIN SINIFLANDIRILMASI

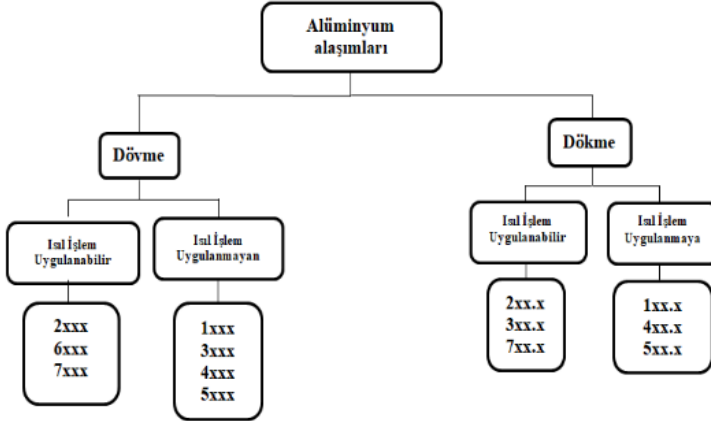
Alüminyum alaşımları genellikle bakır, magnezyum, çinko, silisyum, manganez ve lityum gibi elementlerle alaşım yapmaktadır. Düşük oranda krom, titanyum zirkonyum, kurşun, bizmut ve nikel gibi elementlerde eklenmektedir.

Alüminyum alaşımları iki ana gruba ayrılır; dövme alaşımları ve döküm alaşımları. Bir çok alaşım ısı işlem ile faz çözünürlüğüne dayanmaktadır.

1 Selcuk üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Konya, Türkiye

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

Bu işlemler çözelti ısıl işlem, su verme ve çökeltme, ya da yaşlandırmayı içermektedir. Hem döküm hem de dövme alaşımlarının bazıları ısıl işlem yapılabilir olarak tanımlanmaktadır. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması Şekil 1’de verilmiştir.[4]



Şekil 1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması[5]

2.1. ALÜMİNYUM DÖVME ALAŞIM GRUPLARI

1XXX: Saf (yüksek saflıktaki) Al. Çoğunlukla elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır.

2XXX: Al-Cu alaşımları. Temel alaşım elementi Cu olup bileşiminde Mg da bulunabilmektedir. Yüksek dayanım gerektiren havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır.

3XXX: Al-Mn alaşımları. Temel alaşım elementi Mn olup boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.

4XXX: Al-Si alaşımları. Temel alaşım elementi silisyumdur. Isıl genleşme katsayısı düşük, aşınma ve korozyon direnci yüksek alaşımlardır.

5XXX: Al-Mg alaşımları. Temel alaşım elementi Mg olup ve Mg oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artmakta ancak süneklik azalmaktadır. Deniz korozyonuna karşı yüksek dirence sahip olduğundan, bu tip ortamlarda çalışacak parçaların üretiminde kullanılmaktadır.

6XXX: Al-Mg-Si alaşımları. Ana alaşım elementleri Mg ve Si olup yüksek şekillendirilme kabiliyetine sahiptirler. Ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılmaktadırlar.

7XXX: Al-Zn alaşımlar. Temel alaşım elementi Zn olup, Mg, Cr ve Zr diğer ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, Al alaşımlarının en yüksek

mukavemete sahip olanı olup uçak parçaları gibi yüksek dayanım istenen uygulamalarda kullanılmaktadır.

8XXX: Al-Li alaşımları: Temel alaşım elementi Li olup, Sn ilavesi de yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu alaşım sınıfı, yüksek yorulma direnci ve tokluğa sahiptir. [5-8]

2.2. ALÜMİNYUM DÖKÜM ALAŞIM GRUPLARI

1XX.X: Saf alüminyum. Döküm içerisinde çok düşük miktarda element bulunduğundan ötürü saf alüminyum serisi olarak da adlandırılmaktadır. Isıl işleme uygun değildir.

2XX.X: Esas alaşım elementi bakır olup ısıl işleme uygundur.

3XX.X: Bu döküm alaşımlarında Si + Cu + Mg veya Si + Mg alaşımlarının olduğu döküm alaşım serisidir. Uygulamada kullanılan döküm alaşımlarının % 90'ı bu alaşımdır. Isıl işleme uygundur.

4XX.X: Temel alaşım elementi Si.

5XX.X: Temel alaşım elementi Mg.

6XX.X: Kullanılmayan seri numarası.

7XX.X: Temel alaşım elementi Zn.

8XX.X: Temel alaşım elementi Sn[5-8]

4XX.X şeklinde gösterilen Al-Si grubu alaşımlar, otomotiv sektöründe, yüksek sıcaklık ve aşınmaya maruz kalan pistonlar, silindir blokları ve süspansiyon parçaları gibi yapısal parçaların uygulamasında termal genleşme katsayısının düşük olması, aşınma direncinin oldukça yüksek olması ve yapısında bulundurduğu Si miktarına bağlı olarak ergiyik metalin akışkanlığı gibi sağladığı birçok avantajdan dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır[9]

Al-Si alaşımları, yapısında bulundurduğu Si miktarına bağlı olarak üç ayrı şekilde gruplandırılmaktadır.

- **Ötektikaltı Alaşımlar:** Ötektik kompozisyonun altında %5-10 arasında Si içermektedir. Yüksek mukavemet ve süneklik beklenen uygulamalarda kullanılmaktadır.[9-11]
- **Ötektik Alaşımlar:** Ötektik kompozisyonunda %10-13 arasında Si ve Al-Si ötektik fazını içermektedir. Alaşımların dökülebilirliği ve akışkanlığı iyi olup; katılma aralığı dardır. Aşınma davranışı iyi olup; alaşımlama işlemi yapılmadığında ve ısıl işlem gördüğünde sünekliği epeyce iyileşmektedir. Cu, Mg ve bazen de Ni içeren ötektik alaşımları pistonların üretiminde tercih edilmektedir.[9-11]

- **Ötektiküstü Alaşımlar:** Ötektiküstü kompozisyonun %15-20 arasında Si ve birincil Si parçacıklarını içermektedir. Alaşımların aşınma davranışı ve yüksek sıcaklık uygulamalarındaki mukavemeti oldukça iyi olup; pistonlarda, motor bloklarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak bu alaşımların işlenebilme durumları oldukça zordur.[9-11]

Sınıflandırmada 4XX.X olarak numaralandırılan bu alaşımların içerisinde magnezyum ve/veya bakır dâbulunuyorsa 3XX.X olarak numaralandırılmaktadır. Al-Si-Cu ve Al-Si-Mg 3'lü alaşımları olarak da kendi içerisinde gruba ayrılır. [6]

- **Al-Si-Cu alaşımı:** Silisyum ve bakır oranlarının varlığı alaşımlarda geniş ölçüde değişmektedir. Bakır dayanım ve işlenebilirlik sağlarken silisyum dökülebilirlik sağlayıp ısıl gerilme çatlamasını önlemektedir. % 5,6 oranından daha az bakır içeren Al-Si-Cu alaşımları ısıl işlemlerle sertleştirilebilirken, bu alaşım ailesindeki en önemli alaşımlar magnezyum içerenlerdir, çünkü magnezyum ısıl işlemin etkisini arttırmaktadır.[12-14]
- **Al-Si-Mg alaşımı:** Al-Si ikili alaşımına magnezyum çökelti sertleştiricisi olarak eklenmektedir. Uygulanan çökelti sertleştirme ısıl işlemi sonrasında Mg₂Si bileşiği matrisle homojen şekilde dağılarak mekanik özellikleri arttırmaktadır. Mekanik özellikler Al-Cu ve Al-Si-Cu kadar yüksek olmasa da birkaç Al-Si-Mg alaşımı yüksek mukavemet değerlerine sahiptir. Bunun yanında bu alaşım grubu çok iyi korozyon direnci ve düşük bir termal genişleme katsayısına sahiptir.[12-14]

3. AL – Sİ ALAŞIMLARININ ALAŞIM ELEMENTLERİN ETKİSİYLE MEKANİK ÖZELLİKLERE YÖNELİK ARAŞTIRMALAR

Bakırın etkisi

Alüminyumda alaşım elementi olarak kullanılan ilk element bakırdır. Bakır, alaşıma sertlik kazandıran başlıca elementtir [13,14]. Döküm alaşımlarında ise en fazla % 12 oranında kullanılır ve bu orana kadar mukavemeti artırır. % 12'den fazlası yapıda gevreklik meydana getirir. Dövme alaşımlarında % 3 ila % 5 oranında kullanılır. % 5'ten fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlüğü artırır. Ayrıca elektrik iletkenliği ve korozyon direncini düşürür.[15-17]

Silisyumun etkisi

Alüminyuma ilave edilen elementler içerisinde Cu'dan sonra en önemli element silisyumdur. Alüminyum içerisinde en fazla % 13 oranında bulunmalıdır. % 13'den fazla silisyum içeren alüminyum alaşımlarının işlenmesi çok zor

olmaktadır. Özellikle bakır, nikel ve magnezyum ile birlikte ilave edilirse ısı işlem görebilen alaşım elde edilir. Silisyum ilavesi ile akışkanlık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilirlik özelliği sağlanır. Ayrıca sıvı alüminyumun akışkanlığını artırır ve sıcak çatlama eğilimini azaltır.[15-17]

Magnezyumun etkisi

Magnezyum, ısı işlem görmüş alüminyum-silisyum alaşımlarında dayanıklılık ve sertlik gelişiminin temelidir ve aynı amaç için bakır, nikel ve diğer elementler içeren daha karmaşık alüminyum-silisyum alaşımlarında yaygın olarak kullanılır. Yaygın yüksek mukavemetli alüminyum-silisyum bileşimleri ağırlıkça %0,40 ile %0,070 aralığında magnezyum içermektedir. [15-17]

Mangan etkisi

Alaşım içinde dökülebilirliği arttırmak için demirle birlikte kullanılır. Aynı zamanda metaller arası bileşiklerin özelliklerini değiştirir. Alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır ve işlenebilirliği olumlu yönde etkiler.[15-17]

Titanyumun etkisi

Titanyumun tane küçültücü etkisi vardır. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesini ve artmasını sağlar. Alüminyuma ilave edilme miktarı en fazla % 20'dir. En iyi etkisi bor ile kullanıldığı zaman görülür. Titanyum, çekme mukavemetini ve sünekliği artırır ve ısıl iletkenliği düşürür.[15-17]

Demirin etkisi

Demir, alüminyum cevheri içerisinde doğal olarak bulunur. Bazı alaşımların sertlik ve dayanımlarını az miktarda arttırmaktadır. Döküm alaşımların sıcak çatlama eğilimini azaltıcı yönde etki etmektedir.[15-17]

Zirkonyum etkisi

Zirkonyum, alüminyum veya mangan içeren alaşımlarda pek kullanılmaz çünkü zirkonyum bu elementlerle kararlı bileşikler oluşturmakta ve bu şekilde katı eriyikten uzaklaşmaktadır. Zirkonyum yapıda katı eriyik halinde bulunması durumunda tane inceltici etkisi oluşmaktadır.[15-17]

Nikel etkisi

Nikel (Ni) Al alaşımlarına düşük miktarlarda ilave edildiğinde dayanım ve sertliği artırır. Alaşıma parlaklık ve yansıtıcılık vererek yüzey kalitesini yükseltir.[15-17]

Kalay etkisi

Kalay (Sn) genellikle metal ergidikten sonra eklenen alaşım elementidir. Alüminyum alaşımlarına Cu ve Ni ilave edildiğinde dayanıklı bir alaşım meydana getirir. Kalay servis sıcaklığını düşülmeksizin mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir.[15-17]

HEKİMOĞLU'nun [18], Al – Si alaşımlarına Cu ve Mg ilavesi ile yaptığı çalışmasında birer adet ikili Al-17Si, üçlü Al-17Si-4Cu ve dördü Al-17Si-4Cu-0,6Mg alaşımı 770 °C döküm sıcaklığında çelik kalıba dökülerek elde edilmiş ve yapısal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi için sertlik ölçümleri için Ø15×10 mm, çekme deneyleri için Ø8×40 mm, sürtünme ve aşınma deneyleri için ise Ø22×7 mm boyutlarındaki numuneler hazırlanmıştır.

İkili Al-17Si alaşımının iç yapısının primer silisyum, ötektik Al-12Si, alüminyumca çok zengin α (dendrit) ve β (Al-Fe-Si) fazlarından oluştuğu gözlenmiş ve primer silisyum parçacıklarının iri (kaba) ve köşeli, ötektik faz içerisindeki silisyum parçacıklarının ise ince ve uzun bir yapıya sahip oldukları görülmüştür.

Al-17Si alaşımına % 4 oranında bakır ilavesi yapıldığında iç yapıda bakırca zengin θ (CuAl₂) fazının oluştuğu gözlenmiş ve söz konusu θ (CuAl₂) fazının alüminyumca zengin α dendirit sınırlarında yer aldığı görülmektedir.

Dördü Al-17Si-4Cu-0,6Mg alaşımının iç yapısında üçlü Al-17Si-4Cu alaşımının iç yapısında görülen fazlara ilave olarak Mg₂Si fazının oluştuğu ve ayrıca β (Al-Fe-Si) fazının form değiştirerek π (Al-Mg-Fe-Si) fazına dönüştüğü görülmüştür.

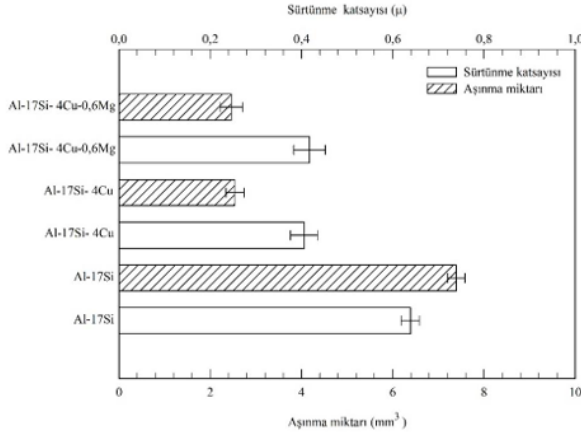
Al-17Si alaşımına bakır katılması (ağırlıkça %4) durumunda alaşımın sertlik, akma ve çekme dayanımı değerlerinin sırasıyla %59, 52 ve 20 oranlarında arttığı, kopma uzaması değerinin ise %57 oranında azaldığı tespit edilmiş sertlik ve mukavemet değerlerindeki artışın hem bakırın alüminyum içerisinde çözünmesiyle oluşan katı çözelti hem de θ fazının neden olduğu ikinci faz sertleştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Al-17Si-4Cu alaşımına %0,6 oranında magnezyum katılması durumunda oluşan dördü alaşımın sertlik, akma ve çekme dayanımı değerlerinin sırasıyla %19, 2 ve 4 oranlarında arttığı, kopma uzaması değerlerinin ise %3 oranında azaldığı belirlenmiştir. (Tablo 1)

Tablo 1. İncelenen alaşımların mekanik özellikleri

Alaşım	Yoğunluk (gr × mm ³)	Sertlik (BSD)	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (Mpa)	Kopma uzaması (%)
Al-17Si	2,56	54±1	94±2	128±2	2,1
Al-17Si-4Cu	2,69	86±1	143±2	154±2	0,9
Al-17Si-4Cu-0.6Mg	2,72	102±1	146±2	100±2	0,8

Alaşımın hacim kaybı değerlerinin bakır ve magnezyum katkılarıyla sırasıyla %57 ve 11 oranlarında azaldığı belirlenmiştir. Hacim kaybının kuru sürtünme durumunda uygulanan yük ile doğru orantılı, alaşımların akma dayanımı ile ters orantılı ve sertlik ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla mukavemet sertlik arttıkça hacim kaybının azalması bir başka deyişle aşınma direncinin artması ile uyumludur. (Şekil 2)

**Şekil 2.** Alaşımların sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı değerlerini gösteren çubuk diyagram

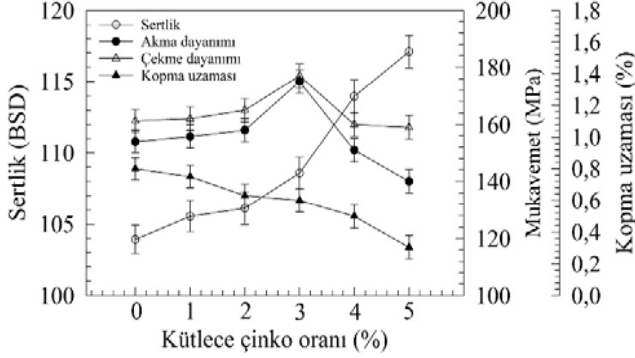
HEKİMOĞLU'nun [19], daha başka yaptığı çalışmada, EN AC-48100 alaşımının esasını oluşturan bir adet Al-17Si-4Cu-0,6Mg-0,2Ti ve farklı oranlarda çinko (Zn) içeren beş adet Al-17Si-4Cu-0,6Mg-0,2Ti-(1-5)Zn alaşımı kokil kalıba döküm yapılmış ve içyapıları (SEM) taramalı elektron mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca alaşımların sertliği ve mikro sertlikleri Brinell ve Vickers olarak ölçülmüş, farklı oranlarda Zn ilavesi ile çekme, akma dayanımı ve aşınma dirençleri incelenmiştir.

Bu incelemeler sonucunda Al-17Si-4Cu-0,6Mg-0,2Ti-(0-5)Zn alaşımlarının içyapısının alüminyumca zengin α, ötektik Al-Si, primer silisyum, bakırca zengin θ (CuAl₂), Mg₂Si ve π fazlarından oluştuğu, çinko ilavelerinin Al-17Si-4Cu-0,6Mg-0,2Ti alaşımının içyapısında yeni bir fazın oluşmasına yol

açmadığı görülmüştür. Bu durum ilave edilen çinkonun alaşımların içyapısında bulunan alüminyum içerisinde (α ve ötektik Al fazı) tamamen çözünmesinden kaynaklanmaktadır.

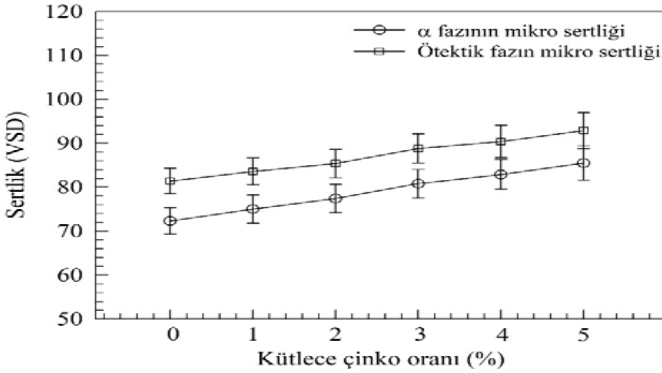
Ayrıca %3 Zn ilave oranından sonra primer silisyum parçacıklarının büyüdüğü ve bu parçacıkların rastgele bir şekilde birbirlerine daha yakın olarak konumlandıkları görülmüştür.

Al-17Si-0,6Mg-0,2Ti-(0-5)Zn alaşımlarının sertlik, akma ve çekme dayanımları ile kopma uzaması değerlerinin çinko oranına göre değişimini gösteren eğriler Şekil 3’de verilmiştir. Bu eğriler çinko oranı arttıkça söz konusu alaşımların sertliğinin de arttığını ve artan çinko oranı ile Al-17Si-0,6Mg-0,2Ti-(0-5)Zn alaşımlarının akma ve çekme mukavemeti değerlerinin % 3 Zn oranına kadar arttığı, bu orandan sonra ise azaldığı, kopma uzaması değerlerinin ise sürekli azaldığı görülmektedir.



Şekil 3. Al-17Si-4Cu-0,6Mg-0,2Ti-(0-5)Zn alaşımlarının sertlik, akma ve çekme dayanımı ile kopma uzaması

Ayrıca artan çinko oranı ile Al-17Si-0,6Mg-0,2Ti-Zn alaşımının içyapısındaki α ve ötektik fazın mikro sertliğinin arttığı da belirlenmiştir. (Şekil 4)

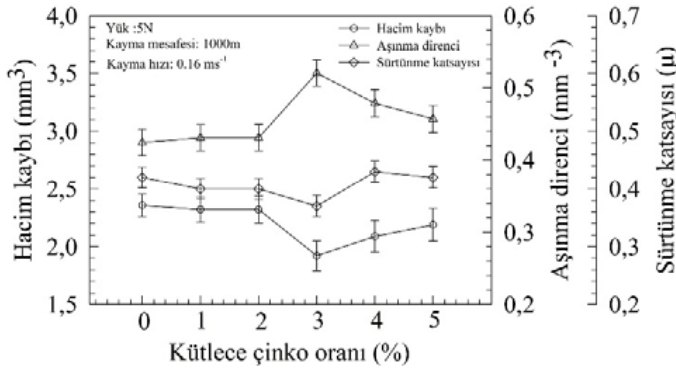


Şekil 4. Al-17Si-4Cu-0,6Mg-0,2Ti-(0-5)Zn alaşımlarındaki α ve ötektik Al fazının mikro sertliğinin çinko oranına göre değişimini gösteren eğriler

Genel olarak Çinko oranı arttıkça sertlikteki artışın alüminyumca zengin fazlar içerisinde çözünen çinkonun yol açtığı katı çözelti sertleşmesinin etkisinden ve nispeten sert olduğu bilinen primer silisyum parçacıklarının oranının ve büyüklüklerinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Son olarak aşınma direnci incelendiğinde (Şekil 5) çinko katkısı ile Al-17Si-4Cu-0,6Mg-0,2Ti alaşımlarının sürtünme katsayısının azaldığı, ancak %3 Zn oranından sonra arttığı görüldü. Alaşımların sürtünme katsayılarında meydana gelen azalmanın söz konusu katkı nedeniyle alaşımların sertlik ve mukavemetlerinin artması sayesinde uygulanan yükün daha kolay taşınmasından kaynaklandığı söylenebilir. Çinko oranının %3 değerini aşması sonucunda sürtünme katsayısında meydana gelen artış ise mukavemetin azalmasından ve içyapıdaki sert ve gevrek silisyum parçacıkların irileşmesi ve dolayısıyla abrasiv etkisinin artmasından kaynaklanmış olabilir.

EN AC-48100 alaşımı %3 oranında çinko içermesi durumunda en üstün çekme mukavemeti ve aşınma direnci değerlerini sergilemektedir.



Şekil 5. Al-17Si-4Cu-0,6Mg-0,2Ti-(0-5)Zn alaşımlarında artan çinko oranına göre sürtünme katsayısı, hacim kaybı ve aşınma direncinin değişimini gösteren eğriler

CANBAZ' ın [6], yaptığı çalışmada AlSi10Mg alaşımının mevcut mekanik özelliklerinin Zr ve/veya V ilavesi ile artırılması amaçlanmıştır ve kullanılan alaşımlar metal kalıba döküm yöntemi ile üretilmiş ve farklı sürelerde T6 ısıl işlemi (500 °C'de 1 saat çözeltiye alma-190 °C'de 1, 4, 16 ve 64 saat yaşlandırma) uygulanmıştır. Bu çalışmada karşılaştırılan AlSi10Mg , AlSi10Mg + 0,2 Zr ve AlSi10Mg + %0.2 Zr +0.5V 3 farklı alaşımın mikroyapısına, faz ilişkilerine, dönüşüm sıcaklıklarına ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Termal analiz sonuçları incelendiğinde (Tablo 2) % 0,2 Zr ilavesinin ötektik sıcaklığı 2 °C azalttığı, % 0,5 V ilavesinin ise ötektik sıcaklığı 3 °C arttırdığı gözlemlenmiştir. Alaşımların likidüs sıcaklığının ise Zr ve/veya V ilavesi ile birlikte bir miktar azaldığı ortaya çıkmıştır.

Tablo 2. Termal analiz eğrilerinden ölçülen dönüşüm sıcaklıkları.

Alaşım	T ötektik (°C)	T likuidus (°C)
AlSi10Mg	573	592
0,2 Zr	571	582
0,2 Zr + 0,5 V	576	589

Sertlik sonuçlarına bakıldığında (Tablo 3), standartta AlSi10Mg alaşımının dökülmüş hali ve T6 ısıl işlemi görmüş hali için sertlik değerleri 50 ve 75 HB olarak verilmiştir ve yaşlandırma ısıl işleminden sonra tüm alaşımların sertlik değerlerinde artış olduğu ve 16 saat yaşlandırma süresinde en yüksek sertlik değerine ulaşmıştır. Ayrıca % 0,2 Zr + % 0,5 V içeren alaşımın en yüksek sertlik değerine sahip olduğu ve % 0,2 Zr içeren alaşımın ise en düşük sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Zr ilavesinin AlSi10Mg alaşımının sertliğini az miktarda azaltmasının sebebi tam olarak bilinmemektedir. Zr, Al içerisinde çok sınırlı katı hal çözünürlüğüne sahip olup az oranda ilave edildiğinde bile Al3Zr metaller arası bileşiği oluşturmaktadır. Zr miktarına kıyasla daha yüksek oranda yapılan V ilavesinin katı çözeltili sertleşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3. Sertlik testi sonuçları.

Alaşım	Sertlik (HB)				
	Döküm	1 saat	4 saat	16 saat	64 saat
AlSi10Mg	64,8 ± 6,7	70,0 ± 2,8	73,5 ± 1,9	82,1 ± 3,1	70,6 ± 6,6
0,2 Zr	60,5 ± 3,2	66,0 ± 4,8	68,8 ± 3,7	74,8 ± 3,0	70,3 ± 3,2
0,2 Zr + 0,5 V	69,0 ± 2,0	67,6 ± 1,6	82,8 ± 9,6	88,5 ± 10,6	70,0 ± 7,4

Çekme sonuçlara bakıldığında (Tablo 4), % 0,2 Zr + % 0,5 V içeren alaşım en iyi mekanik özellikleri sergilemiştir. Bu alaşımın akma ve çekme dayanımı yaşlandırma süresinin artmasıyla birlikte artmış ve 64 saat (en uzun) yaşlandırma süresinde sırasıyla 212 Mpa ve 250 MPa, değerlerinde sahip olmuştur. Ayrıca 64 saat yaşlandırma süresi % 3,9 uzama göstermesi diğer büyük bir avantaj olmuştur. Akma ve çekme dayanımında meydana gelen önemli artışların katı çözeltili sertleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4. Çekme testi sonuçları.

Numune	AlSi10Mg			0,2 Zr			0,2 Zr + 0,5 V		
	Akma Day. (Mpa)	Çekme Day. (Mpa)	% uzama	Akma Day. (Mpa)	Çekme Day. (Mpa)	% uzama	Akma Day. (Mpa)	Çekme Day. (Mpa)	% uzama
Döküm	178	219	7,8	168	203	3,4	180	213	4,4
1 saat	174	202	6,6	167	203	3,3	176	207	3,6
4 saat	205	220	4,6	160	197	1,7	183	223	2,7
16 saat	155	201	3,2	162	197	2,1	194	228	2,8
64 saat				167	213	2,4	212	250	3,9

Genel olarak sonuçlar düşünüldüğünde Zr'un yapı içerisinde kararlılığı sağlarken daha fazla oranda ilave edilen V'un yapı içerisinde katı çözelti sertleştirilmesi oluşturduğu tahmin edilmektedir.

İRİZALP ve arkadaşları [20], yaptığı çalışmada, A360 (Al-%10 Si-%0.5Mn-%0.3Mg) alaşımının %0.2 - %0.4 - %0.8 Mg ilavesi ile sertlik etkisi incelenmiş ve ayrıca oluşan intermetalik fazların mikrosertlikleri ölçülmüştür. Mg oranının artışı ile sertlik değerler sürekli artmış ve en yüksek sertlik değerini %0.8 Mg ilavesi ile 90 HB'den 115 HB' ye yaklaşık olarak %27 oranında artış göstermiştir. A360 döküm mikroyapılarına bakıldığında a-Al dentritleri, ayrık Si partikülleri, plaka şeklinde AlFeMnSi ve AlFeSi intermetalikleri, ötektik Si ve Mg₂Si fazlarından oluşmaktadır. Mikrosertlik değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

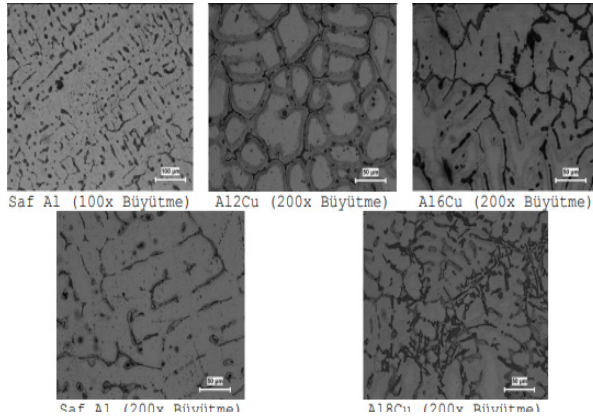
Tablo 5. A360alaşımında oluşan fazların mikrosertlik değerleri (HV)

Malzeme	a-Al	Ötektik Si	Mg ₂ Si	AlFeMnSi
A360	90.1	222.7	---	503
%0.8 Mg	90	262.8	2088.2	514

Fazların spesifik değerlerine göre en sert faz Mg ilave edilmesi oluşan Mg₂Si fazıdır. Mg oranının artması ile intermetalikler ve ötektik Si fazı incelmıştır ve malzemenin genel sertliği arttırmıştır.

Çatar ve arkadaşları [21], bu çalışmasında, ticari saflıkta (%99.8 Al) Alüminyum alaşımına farklı oranlarda (%2-%6-%8) Cu ilave edilerek kum kalıba döküm yöntemi ile Al-Cu alaşımları üretilmiş ve mikro yapı, SEM incelemeleri ile elektrokimyasal davranışları incelenmiştir. Cu ilavesinin alüminyum alaşımlarının korozyon özelliklerine etkisi; %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ile araştırılmıştır.

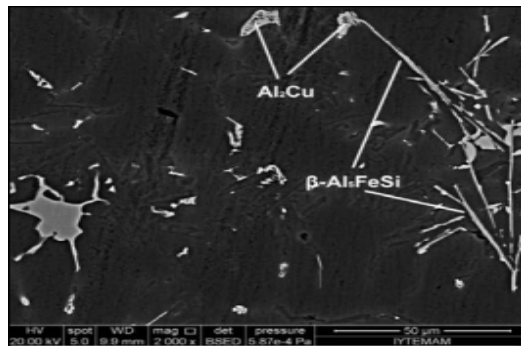
Mikroyapı resimlerinde görüldüğü gibi yapı, α ana matrisi ile Cu içeriğine bağlı olarak değişen oranlarda AlCu bileşikleri içermektedir. Bileşimindeki Cu miktarının artmasıyla daha fazla oranda AlCu bileşikleri görülmektedir. (Şekil 6)



Şekil 6. Deney alaşımların mikroyapı resimleri

Korozyon deneyleri sonucunda Cu içeriği arttıkça alüminyum alaşımının korozyon direncinin azalmakta ve saf alüminyum alaşımı %2, %6, %8 Cu oranı içeren alüminyum alaşımlarına göre en yüksek korozyon direncine sahip olmuştur. Cu ilavesinin mikro-galvanik etki oluşturduğu ve bu sebeple Cu oranı arttıkça korozyon direncinin azaldığı düşünülmektedir.

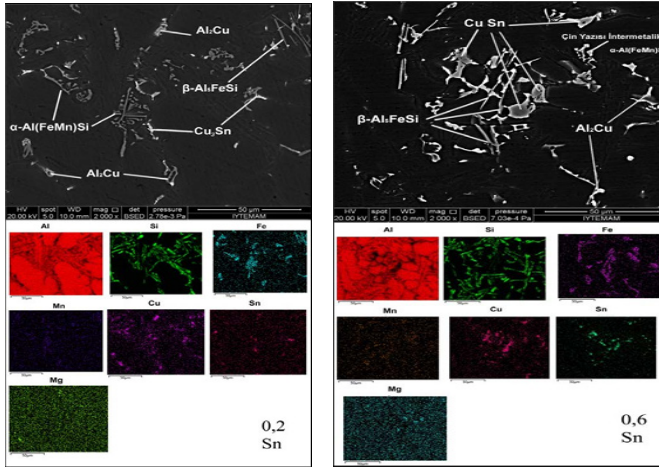
MUSTAFA'nın [22], bu çalışmasında otomatik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ETİAL 180 alüminyum alaşımına ağırlıkça % 0.2-0.4-0.6 Sn ve ağırlıkça % 0.4-0.6-0.7 Mg ilave edilerek numune hazırlanmış ve SEM (taramalı electron mikroskobu) bakılmıştır. SEM analizlerine göre ETİAL 180 alaşımında Fe, Si ve Mn elementlerince zengin malzeme üzerinde ince çubuksu partikül şeklinde intermalik bileşikler görülmüştür. Şekil 7'de ETİAL 180 alaşımının SEM görüntüsü görülmektedir.



Şekil 7. ETİAL 180 Alaşımının SEM görüntüsü

Sn ilave edilen ETİAL 180 alaşımında çok küçük miktarda da olsa uyumsuz katılaştırma doğurduğu görülmektedir. Şekil 3 ve 4 detaylı incelendiğinde Sn'in Cu' a eşlik ettiği ve çoğunlukla merkez kısmında intermetalik

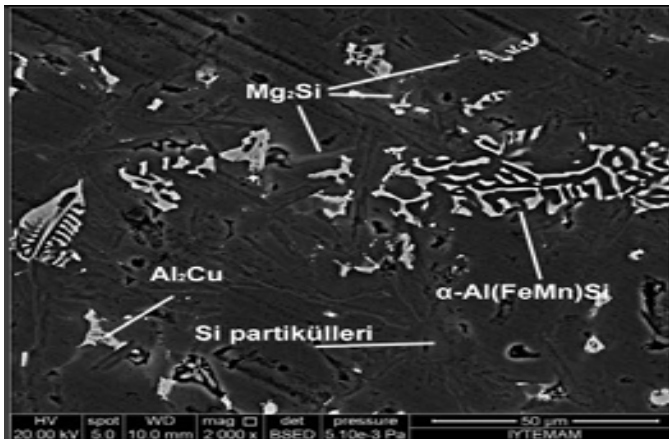
bileşiklerin yoğunlaştığı görülmekte olup oluşan intermetaliklerin merkez ile kenar bölgelerinde renk farklılığının meydana gelmesi segregasyon olduğunun göstergesidir. Söz konusu Sn ilavesi arttıkça intermetalik bileşik büyümüş ve segregasyon miktarı artmıştır. Sn ve Mg ilavesi ile çin yazısı morfolojisine sahip intermetalikler elde edilmiştir. Şekil 8’de sn ilave edilen ETİAL 180 alaşımının Sn’ca olan alaşımların SEM görüntüsü verilmektedir.



Şekil 8. 0.2 ve 0.6 oranındaki alaşımların SEM görüntüleri

Mg ilavesinin Sn gibi çin yazısı şekilli α -Al(FeMn)Si intermetaliklerin oluşumunu tetiklediği ve ayrıca Mg ve Si elementlerince zengin Mg₂Si intermetaliklerin oluştuğu görülmektedir. Mg miktarının artması ile de Mg₂Si bileşiğin mikroyapıda daha fazla rastlanır hale geldiği gözlenmektedir.

Şekil 9’da çeşitli oranlarda Mg ilave edilen alaşımların SEM görüntüsü aşağıda verilmektedir.



Şekil 9. 0.6 Mg oranındaki alaşımların SEM görüntüsü

4. AL – Sİ ALAŞIMLARINDA TANE İNCELTME VE MODİFİKASYON ÇALIŞMALARI

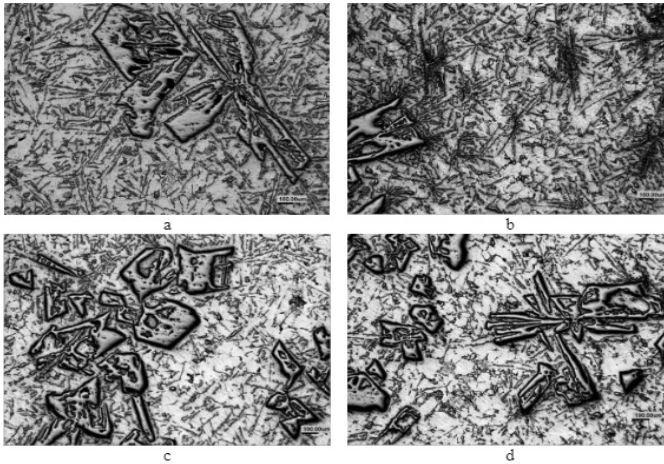
Günümüzde, tane küçültme işlemi ile alüminyum ve alaşımlarının ergitme ve döküm süreçleri içinde rutin bir işlem olarak yerini almıştır. Tane inceltme ile çekirdek sayısındaki artış, katılaşmanın çok değişik noktada başlamasına ve sonlanmasına neden olur. Böylece birim hacimde büzülme kaynaklı gerilim çok daha yoğun tane sınırları boyunca dağıtılacağı için dökümlerde sıcak veya soğuk yırtılma çatlaklarının oluşumu önlenmektedir. Diğer bir kazanım ise, tane sayısındaki artışla birlikte sertlik ve çekme mukavemetinin artışıdır. Dahası ince taneler, işlem alaşımları üzerinde gerçekleştirilen termo-mekaniksel fabrikasyon süreçlerinde, malzemelerin çalışabilme hızını artırmakta ve fire oranlarını düşürmektedir. Bu nedenlerden dolayı alüminyum endüstrisi, döküm yapılarını kontrol ederek yüksek döküm kalitesine ve işlenmiş ürün özelliklerine ulaşabilmede en etkili araçlardan biri olarak, tane küçültücü mastır alaşımları kullanılmaktadır.

Alüminyum ve alaşımlarında tane küçültme amacıyla Al-Ti-B, Al-Ti-C, Al-Ti ve Al-B mastır alaşımları kullanılmaktadır. Al-Ti-B grubu içinde farklı Ti:B oranlarına sahip günümüzde en etkili olanı Al - %5Ti - %1B alaşımı çubuk formunda kullanılmaktadır. Al - %5Ti - %1B alaşımlarında teşekkül eden TiAl₃ ve TiB₂ fazlarının boyut dağılımı ve morfolojileri tane küçültme etkinliği üzerinde büyük rol oynamaktadır. Mastır alaşımlarında var olan bu fazların heterojen çekirdekleyici noktaları olarak görev yaparak çekirdeklenmeyi sağlamaktadır.[23]

Alüminyum silisyum alaşımlarda modifikasyon, katılaşma sonrası ötektik silisyumun kaba ve plaka halindeki yapısını yada ötektik üstü alaşımlarda birinci silisyumu, ufaltıp hem daha ince yapı haline getirmek hemde bütün yapıya dağıtmak olarak tanımlanır. Günümüzde kullanılan başlıca modifikasyon elementleri Na, Sr ve P' dur. Bunların yanısıra Ca, Ti, Li, Sb ve K elementlerde kullanılmaktadır. Ötektiküstü ve ötektikaltı alaşımlarda modifikasyon farklı şekilde gelişmekte ve farklı etkileri olmaktadır. Bu nedenle Na, Sr, Ca elementleri ötektikaltı Al – Si alaşımlarında kullanılırken, P ise ötektiküstü alaşımlarda kullanılır. Modifikasyon elementleri özellikle Na ve P zamana bağlı olarak ilave edildikleri sarj içerisinde azalma göstermekte ve modifiye etkisini azaltmaktadır. Bunun sebebi elementlerin reaktif olmaları ve eriyik içerisinde diğer elementlerle reaksiyona girerek bileşikler oluşturup curufa geçmeleri yada bu bileşiklerin modifikasyon etkilerinin bulunmamasıdır. Bir diğer sorunda banyo içerisinde hidrojen miktarını artırmaktadır.[10]

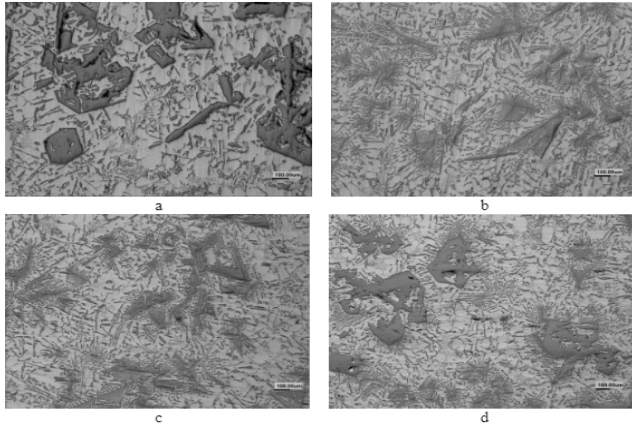
Muhammet ve arkadaşların [24], yaptığı bu çalışmasında, LM28 alaşımına inceden kalına doğru 4 farklı basamak şeklinde kum kalıplara dökümler yapılmış ve tane inceltme olarak AIB3, modifiye edici olarak Sr kullanılmıştır. Burada farklı kesitlerde ilavesiz, tane inceltmeli, modifiyeli ve hem tane inceltmeli hem modifiyeli olmak üzere parametleri oluşturularak soğuma hızının tane inceltme ve modifikasyon işlemlerin Si morfolojisine etkisi araştırılmak istenmiştir.

Şekil 10'da ilavesiz yapılmış dökümden farklı kesitlere mikro görüntü incelendiğinde, 30mm kalınlığındaki kesitlerde kaba ve rastgele büyümuş primer silisler etrafında da ince ve uzun sekonder silisler yapıda oluşmuş, kesit kalınlığı sırasıyla 20, 15 ve 10 mm'ye düştüğünde primer silislerin ya daha düzenli bir geometride ya da en kalın kesite nazaran daha ince ve parça parça oluştuğu görülmektedir. Sekonder silislerin küçüldüğü ve α dendritlerinin kalın kesite kıyasla daha geniş yer kapladığı gözlenmiştir. Ayrıca sekonder silislerin primer silislerden uzaklaştığı görülmüştür.



Şekil 10. İlavesiz dökümün kesit kalınlığına göre mikroyapı resimleri. a) 30 mm kesit kalınlığı, b) 20 mm kesit kalınlığı, c) 15 mm kesit kalınlığı, d) 10 mm kesit kalınlığı

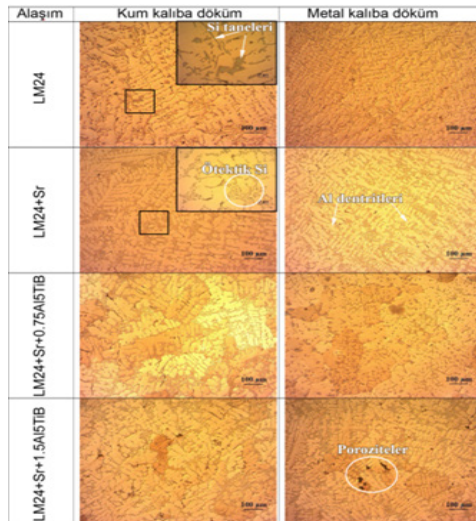
Sr + B ilaveli döküm mikro yapılarında en kalın üç kesit karşılaştırıldığında, kesit kalınlığı azaldıkça primer silislerin kaba yapıdan daha küçük yapıya ve rastgele şekillenip dağılmaktan daha eş şekillenip homojen dağılmaya yönlendiği görülmektedir. İnce kesite baktığımızda primer silislerin daha küçük yapıda oluştuğu en kalın kesitteki gibi rastgele şekillendiği görülmektedir. Primer silisler ne kadar küçülürse etrafında o kadar fazla miktarda sekonder silislerin çekirdeklendiği ve büyüdüğü görülmektedir. Şekil 11'de mikroyapı verilmektedir.



Şekil 11. Sr+B ilaveli dökümün kesit kalınlığına göre mikroyapı resimleri. a) 30 mm kesit kalınlığı, b) 20 mm kesit kalınlığı, c) 15 mm kesit kalınlığı, d) 10 mm kesit kalınlığı

Genel olarak soğuma hızı arttıkça primer silislerin Sr ve B ilavesine nazaran Sr + B ilaveli dökümde çok daha homojen ve eş şekillidir. Bunun yanında yine Sr + B ilaveli dökümde diğer tüm dökümlere kıyasla primer silislerin etrafında sekonder silislerin çekirdeklenmesi ve büyümesi artmıştır.

TUNCAY'ın [25], yaptığı çalışmasında ise AlSiCu alaşımı yaklaşık 150-200 ppm Sr ile modifikasyon ve %0,75 ve 1,5 Al5TiB ile tane inceltme işlemi uygulandıktan sonra metal ve kum kalıba döküm yapılarak mekanik özellikler; çekme testi ve sertlik ölçümleri değerlendirilmiştir. Modifikasyon ve tane inceltme işlemi uygulanmış LM 24 alaşımların optik mikroskop (OM) ve tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, Şekil 12' de verilmiştir.



Şekil 12. Modifikasyon ve tane inceltme işlemi uygulanmış LM24 alaşımların optik mikroskop (OM) görüntüleri

LM24 alaşımların optik mikroskop görüntülerinde, modifikasyon ile yapıdaki Al-Si ötektiğinin metal kalıplarda daha ince tane yapısına sahip olduğu ve al- dendritlerin daha düzenli ve kolonsal morfolojide olduğu görülmektedir. Ayrıca LM24+Sr+1,50Al5TiB alaşımında dendrit kollar arasında porozitenin varlığı göze çarpmaktadır. Bunun çekirdeklenme için ilave edilen Ti-B bileşik formların sıvı metal içinde birbirinden bağımsız alanlarda katılaşmaya sebep olmasından dolayı boşluk oluşmasında artış olabileceği düşünülmektedir.

LM24 alaşımına Sr ilavesi ile Al-Si ötektiğinin morfolojik yapısı keskin köşeli plakalı formundan küresel şekle dönüşmektedir. LM 24 alaşımların makro sertlik ve çekme test sonuçları, Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. alaşımların makro sertlik ve çekme test sonuçları

Alaşımlar	Makrosertlik Ortalama		Çekme Test Sonuçları Ortalama			
	Kum Kalıp	Metal Kalıp	Kum Kalıp		Metal Kalıp	
			UTS	E%	UTS	E%
LM24	108.00	108.80	226	8,6	250	9,5
LM24+Sr	74.63	101.93	196	9,5	246	10,4
LM24+Sr+0.75Al5TiB	80.37	102.77	209	10	270	12,2
LM24+Sr+1.5Al5TiB	75.60	102.33	199	9,45	250	13,9

LM24 alaşımı kum ve metal kalıba döküm sonrasında alaşımın makro sertlik değerlerinde fark görülmemektedir. Ayrıca Sr modifikasyonu ve tane inceltme işlemi ile üretilen alaşımların makro sertlik değerlerinin düştüğü görülmektedir.

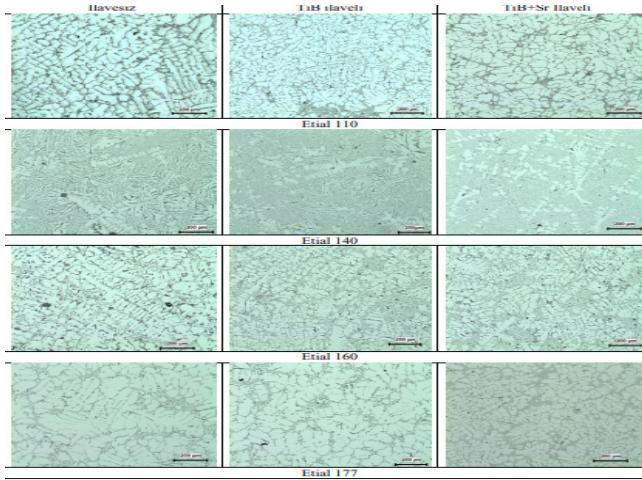
Bu düşüşün Al-Si ötektiği küresel şekline dönüşmesi yapıda baskın olan fazın dolayısı ile alaşımların sertliklerinde etkin rol oynamamasından kaynaklanmaktadır.

Çekme test sonuçları maksimum dayanım ve yüzde uzama değerleri üzerinden değerlendirildiğinde modifikasyon ve tane inceltme işleminin yüzde uzama değerini net olarak artırdığı görülmektedir. Makro sertlik ve yüzde uzama değerleri birbirini desteklemektedir. Çekme testinde elde edilen bu süneklikteki artış sertlik değerlerinde düşme olmaktadır.

ASLAN’ın [29], yaptığı çalışmasında döküm sektöründe yaygın kullanılan tüm alüminyum döküm alaşımları hakkında bilgi sahibi olunabilmesi için gerekli ve yeterli alaşım seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Böylelikle yapılan çalışmalar sonucunda genel olarak Alüminyum alaşımları hakkında fikir sahibi olunması amaçlanmıştır. Bu nedenle Etial 110, Etial 140, Etial 160 ve Etial 177 alüminyum döküm alaşımlarının ilavesiz, tane inceltici ve Modifiye edici ilaveli döküm koşullarında mikroyapı üzerinde değişiklikler incelenmiştir.

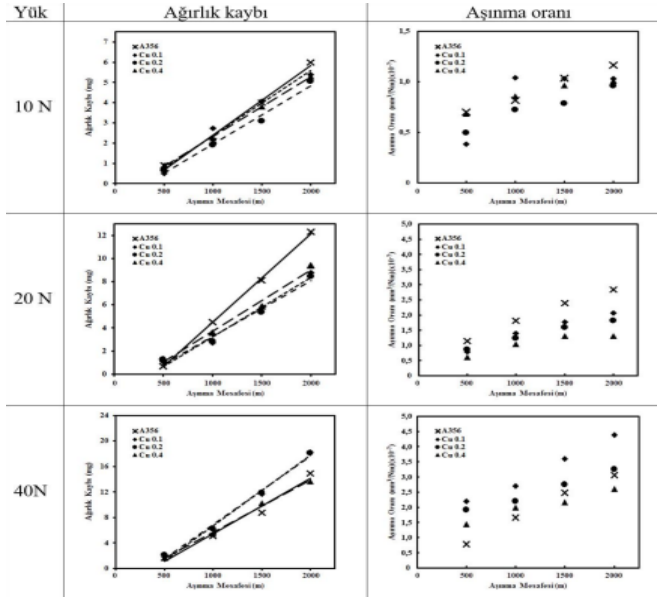
Sonuçlar değerlendirildiğinde en iyi tane inceltme etkisinin alaşımlara ağırlıkça % 0,2 Ti ilavesi ve 20 dk. bekletme süresi ile elde edilebildiğini göstermiştir. Modifiye olarak Ötektik silisyum içeren döküm alaşımlarında en iyi sonucun % 0,1 Sr ilavesi ile elde edildiği tespit edilmiştir.

Mikroyapı görüntülere bakıldığında (Şekil 13) alüminyum alaşımları kimyasal bileşimlerine bağlı olarak çeşitli şekilde katılaşma sergilemiştir. Bileşiminde Si içeren alaşımlar ötektik öncesi α ve ötektik $\alpha + \text{Si}$ yapısı içerdiği anlaşılmıştır. Ötektik (%12 Si içeriğine sahip olan) Etial 140 alaşımının katılaşması sonucu içyapıda ötektik yapı $\alpha + \text{Si}$ şeklinde olduğu gözlenmiştir. Alaşımların her birinde tane inceltici ilavesi ile döküm yapısında ortaya çıkan dentritik ve kaba yapının yerine daha ince taneli bir yapı ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Al10Sr modifiye edici ilavesi ise döküm içyapısında oluşan Si kristallerinin biçim ve boyutlarında değişikliğe sebep olduğu lamel şeklinde yapısının fiberimsi yapıya döndüğü görülmüştür.



Şekil 13. Döküm numunelerine ait mikroyapı resimleri

TUNÇAY'ın [28], yaptığı çalışmasında A356 alaşımına %0.1 -%0.2-%0.4 ilave edilerek mikroyapı ve 10N aşınma davranışı incelenmiştir. Farklı miktarlarda Cu ilave edilen A356 optik mikroskop bakıldığında Cu miktarın artmasıyla Si parçacıkların boyutları azalarak incelendiği morfolojisinin lamel şeklinde yapının küresele çevrildiği gözlenmiş ve ayrıca yaşlandırma ile yapıda Al₂Cu fazı oluşmuş hem miktarı hem de boyutu artarak sertlik değerleri artmıştır.



Şekil 14. Farklı Cu içerikli A356 alaşımların farklı yüklerde ağırlık kaybı ve aşınma oranları

Şekil 14'te ağırlık grafikler incelendiğinde yükün artması ile ağırlık kaybın arttığı, 10 ve 20N yük altında en düşük ağırlık kaybı 0.2 ve 0.4 Cu alaşımında, 40N yük altında ise A356 alaşımlarında, 40N yük altında ise 0.4 Cu alaşımında elde edilmiştir. Bununla birlikte, 40N yük altında Cu ilave edilmeyen A356 alaşımı da hemen hemen 0.4 Cu alaşımına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bunun sebebi sürtünme sırasında meydana gelen deformasyondan etkisi ile yumuşak matriksten kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AKAR ve arkadaşların [28], bu çalışmada Al-%4.3Cu alaşımına kokil kalıba 3 farklı ön ısıtma (100 °C 155 °C 210 °C) uygulanarak ve tane inceltmeli, inceltmesiz döküm yapılarak farklı tane boyutlarına bağlı olarak katı-sıvı aralığında beslenmenin devam edebileceği kritik katı oran (KKO) değeri belirlenerek döküm parçaların katılaşmasında beslenme üzerine etkileri araştırılmıştır.

Tane inceltmesiz işleminde Al-%4.3Cu alaşımının ortalama tane boyutu 1142 µm, tane inceltme işleminde ortalama tane boyutu 220 µm olmuş ve tane inceltme ile dentritlerin küçüldüğü ve dentritler arası kalan sıvının tane inceltmesiz duruma göre daha çok beslendiğini göstermektedir.

Tablo 7. Döküm parça çekme çubuğu hacimleri ve yoğunlukları

Kalıp sıcaklığı °C	Tane inceltmesiz			Tane inceltmeli		
	Parça yoğunluğu (gr/cm ³)	Boşluk hacmi		Parça yoğunluğu (gr/cm ³)	Boşluk hacmi	
		cm ³	%		cm ³	%
100	2,79	2,3	2	2,8	1,7	1,5
155	2,79	1,46	1,3	2,8	1,25	1,1
210	2,79	1,16	1	2,8	0,94	0,8

Tablo 7’de boşluk hacimlerinden görüldüğü gibi 100 °C sıcaklıkta besleyici boğazın çok erken katılaştığı ve parçanın besleyiciden çok fazla beslenememiştir. 155 °C ve 210 °C kalıp sıcaklıklarında beleyici boğazından 100 °C sıcaklığa kalıba göre besleme metalin parçaya aktığı söylenebilir.

Tablo 8. Kalıp sıcaklığına ve tane inceltme işlemine bağlı olarak KKO değerinin değişimi

Kalıp sıcaklığı °C	Tane inceltmesiz		Tane inceltmeli	
	Boşluk hacmi (cm ³)	KKO (%)	Boşluk hacmi (cm ³)	KKO (%)
100	2,3	30	1,7	45
155	1,46	40	1,25	52
210	1,16	55	0,94	65

Tablo 8’de Al-%4,3Cu alaşımında tane inceltme işlemi uygulanmış dökümlerde tane inceltme işlemi uygulanmamış dökümlere göre kaplamasız çelik kalıplar için 100°C, 155°C ve 210°C kalıp sıcaklıklarında sırası ile %15, %12 ve %10 daha yüksek katı oranlarında besleme sağlanabildiğini göstermiştir.

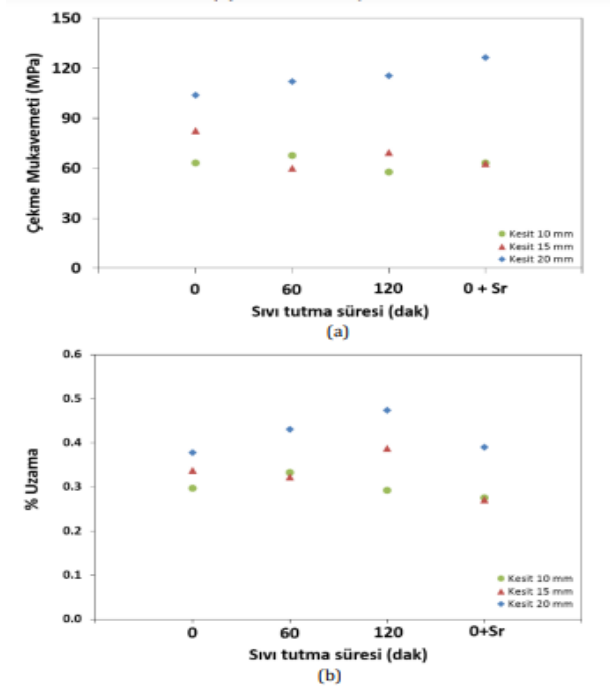
ULUDAĞ’ın [31], yaptığı çalışmasında ETİAL 195 (Al - 17Si) alaşımına döküm sıcaklığını 800 °C seçilerek 3 farklı bekleme süreleri 0 (ergidikten sonra hemen döküm), 1 ve 2 saat süreleri belirlenmiş ve bu ergitme sıcaklığında Sr ilave edilerek dökümler üç farklı kesit kalınlığına (10, 15 ve 20 mm) sahip basamak tipli dikey kum kalıplara yapılmıştır. Farklı kesit kalınlıkları kullanılmasındaki amaç farklı soğuma hızlarındaki Si morfolojisinin değişimini incelemektir. Üretilen numunelerin mikroyapıları üzerinde de görüntü analizi yapılarak Si morfolojisindeki değişim incelenmiş ve aynı zamanda her parametre için çekme testi yapılarak Si morfolojisi ile mekanik özellikler arası ilişki incelenmiştir.

Ergime sonrasında, 60 dk bekleme sonrasında ve 120 dk bekleme sonrasında yapılan dökümlerden alınan mikroyapılar kesit farkına göre incelendiğinde kesit kalınlığı azaldıkça primer silislerin küçüldüğü ve sayıca arttığı ve en ince kesitte primer silislerin daha düzgün bir geometride olduğu görülmüştür. Genel olarak soğuma hızı arttıkça daha ince taneli yapı oluşmakla beraber ötektik silislerin küçülme ve sayıca artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. En

uzun bekletme süresi 120 dk. olan dökümde primer silislerin daha karmaşık ve daha büyük geometride oluşmuş ve bekleme süresi 60 dk. olan dökümde primer silislerin boyutlarında küçülme eğilim gösterdiği görülmüştür.

Stronsiyum modifiyeli bekletmesiz dökümde ilavesiz dökümlere nazaran ötektik silislerin daha homojen ve ince yapıda oluştuğu gözlenmiştir. Soğuma hızı dikkate alındığında ötektik silislerle beraber tane yapısının da küçüldüğü görülmüştür.

Çekme test sonuçlarına bakıldığında (Şekil 15) en optimum değerler 20 mm kesit kalınlığına sahip soğuma gösteren 20 mm kesitte primer silislerin kaba ve az oranda oluşmasının mekanik özellikleri iyileştirdiği düşünülmektedir. Diğer ince kesitlerde daha küçük yapıda fakat çok daha fazla sayıda oluşan primer silislerin çentik etkisi oluşturarak mukavemet ve % uzama değerlerinin iyileşmesine engel olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 15. Sıvı tutma süresi ile; (a) çekme mukavemeti ve (b) % uzama ilişkisi.

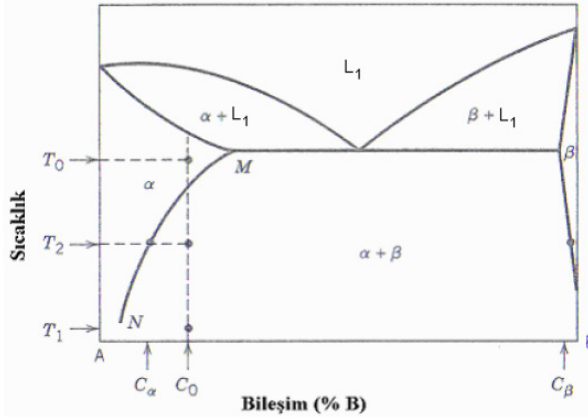
5. AL - Sİ ALAŞIMLARINDA ISIL İŞLEM ÇALIŞMALARI

Alüminyum ve alaşımlarda yüksek akıcılık, yüksek korozyon dayanımı, kaynaklanabilirlik, mukavemet artışı, dar katılaşma aralığına sahip olma gibi özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımları içerisinde Al-10Si-Mg ve Al-7Si-Mg gibi hipo-ötektik Al-Si-Mg alaşımları dikkat çekmektedir.[32]

Alüminyum alaşımlarda ısıtma işlemi; çözeltiye alma, su verme ve yapay olarak yaşlandırma adımlarından oluşmaktadır. Çözeltiye alma işlemi alaşımın mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyen Cu ve Mg gibi elementlerin çözünürlüğünün yüksek olduğu katılaşma (solidüs) sıcaklığı üzerindeki bir sıcaklığa alaşımın ısıtılarak bu sıcaklıkta bir süre beklenmesi suretiyle söz konusu alaşım elementlerinin katı hal çözünürlüklerinin artırılmasını amaçlayan bir işlemdir. Çözeltiye alma adımından sonra gelen su verme işlemi ile alaşım aniden soğutulmuş olan elementlerin çökmesi engellenerek düşük sıcaklıkta aşırı doymuş bir yapı elde edilir. Isıtma işleminin son aşamasını oluşturan yaşlandırma işlemi, dayanım artışı sağlayan elementlerin yapıda kararlı çökeltiler oluşturarak dayanımın artmasını sağlamaktadır. [33,35]

Çözeltiye alma işleminde dikkat edilmesi gereken husulardan biri eriyebilen elementlerin alüminyum içinde katı ergiyik halinde kalması için işlem sıcaklığı dikkatli seçilmesi gerekir.

Şekil 16'da faz diyagramına göre T_0 sıcaklığından daha fazla bir sıcaklık üzerine yani ötektik ergime sıcaklığı üzerine çıkılmamalıdır. Alt sıcaklık değeri ise, katı ergiyiğe alma işlemlerinin tamamlandığı sıcaklıktan biraz yüksek olmalıdır. Yani T_0 sıcaklığından daha az bir sıcaklık seçilir.



Şekil 16. Yaşlandırma ısıl işleminde faz diyagramına göre işlem sıcaklıklarının gösterilmesi [34]

Bu aşamada alaşımın ötektik ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklığa kadar ısıtılmalıdır. Eğer alaşımın ötektik ergime sıcaklığı aşırsa tane sınırı ergimesi meydana gelir. Malzeme kırılgan olur ve mekanik özelliklerinde azalma olur.

Solüsyona alma işleminde diğer önemli bir husus ısıtma hızıdır. Çözünebilen alaşımların difüzyonunu engellemek ve tane büyümesine fırsat vermemek için ısıtma hızı yeterli dereceye kadar yüksek olmalıdır.

Solüsyona alma işleminde diğer önemli nokta ise solüsyonda bekleme süresidir. Bu süre, malzeme yapısında çözünmemiş faz bırakmayacak ve homojen bir yapı verecek şekilde ayarlanmalıdır. Solüsyona alma süresi, ince kesitli malzemelerde düşük olup artan kesit miktarıyla birlikte artmaktadır.

Yaşlanma ısıl işleminin en önemli aşaması su verme işlemi olarak düşünülebilir. Su verme işleminde kritik faktörler, su verme aralığı ve su verme ortamıdır. Su verme aralığı fırın kapaklarının açılıp, yükün daldırılmasına kadar geçen zaman olup, mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Su verme aralığı 10 ile 20 saniyelik sürelerde olmalıdır. Su verilmediği takdirde katı ergiyikler tane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde çökelerek şekil değiştirme kabiliyetini azaltır, taneler arası korozyon mukavemeti düşer.

Katı eriyiğe alma ısıl işleminden sonra uygulanan su verme sonucu alüminyum alaşımları, tam olarak uygun bir sertlik ve mukavemete ulaşamazlar. Bu alaşımlarda maksimum sertlik ve mukavemeti elde etmek için alaşım yaşlandırılır. Yaşlandırma işleminin yapılabilmesi için alaşımın hangi sıcaklıklarda yaşlandırılması gerektiği bilinmelidir.[33]

HASAN'ın [34], ısıl işlem yönelik çalışmasında Cu ilave edilmiş ETİAL 171 Al-Si alaşımının özelliklerinin geliştirilmesi için sıcaklık ve süre olarak en uygun ısıl işlem şartların belirlenmesi amaçlanmıştır. Burda %0.35 Cu ilave edilerek 610 °C'de döküm yapılarak (Ø20 x 200mm) silindirik numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerin; kriyojenik işlemi çözeltiye almanın ardından -140°C azot banyosu içerisinde, yaşlandırma işlemleri su verme ve 190°C fırında bekletilerek, normalizasyon işlemi çözeltiye almanın ardından havada soğutulmak süretiyle ısıl işlem tabi tutulmuştur. (Tablo 9)

Çözeltiye alma işlemi tüm deneylerde aynıdır. Üretilen numunelerden TS 138 standardına uygun çekme deney cubukları hazırlanmış ve çekme dayanımı, akma dayanımı ve %uzama değerleri belirlenerek sonuçlar incelenmiştir.

Tablo 9. Uygulanan ısıt işlemler

Numune No	Isıl işlem - Isıl işlem Kodu
N1	D, Alaşimsız
N2	D, Cu ilve edilmiş
N3	N
N4	N + Yaşlandırma
N5	Çözündürme + 16 saat kroyojenik ortamda yaşlandırma
N6	Çözündürme + 8 saat kroyojenik ortamda yaşlandırma
N7	T6
N8	Çözündürme + 16 saat kroyojenik işlem + yaşlandırma
N9	Çözündürme + 8 saat kroyojenik işlem + yaşlandırma

D: Döküm ısıt işlemsiz, T6: Çözündürme+suverme+yaşlandırma, N: Normalizaasyon

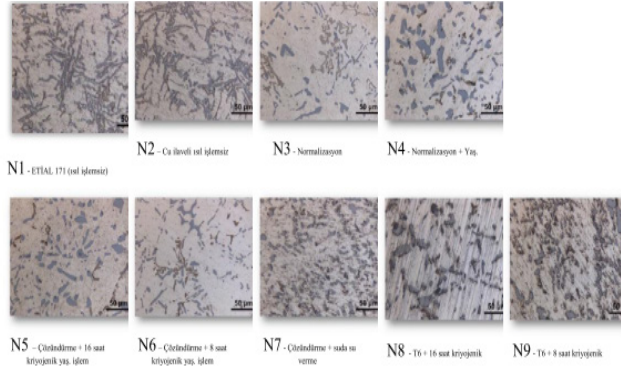
Mekanik özellikleri incelendiğinde (Şekil 17) alaşimsız numuneye göre (N1) Cu ilave edilen mununenin dağılım sertleşmesi göstermesi ve daha iyi mekanik özellikleri sahip olması görülmekte olup ısıt işlem uygulanabilirlik bakımından önem taşımaktadır.

Normalize edilmiş numune (N3) ısıt işlemsiz numunelere göre (N1 ve N2) mekanik özellikleri %12 oranında artmıştır.

Normalizasyon + yaşlandırma uygulandığında (N4) ise N1, N2 ve N3 numunelere göre özelliklerin biraz daha geliştiği ve normalizasyon ile azalan sünekliğin yaşlandırma kriyojenik işlem ile süneklik artmıştır.

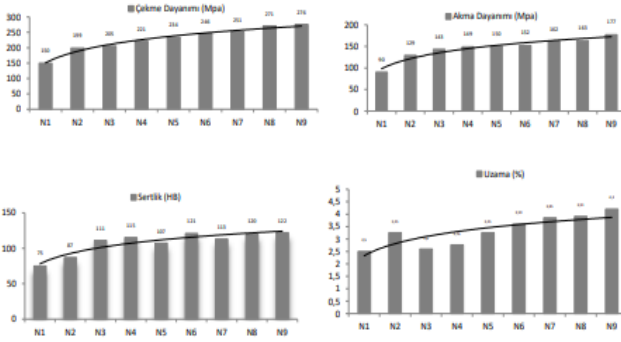
Yaşlandırma + kriyojenik işlem birlikte uygulandığında ısıt işlem sıralaması çözündürme + kriyojenik işlem + yaşlandırma (N7,N8) ve çözündürme + kriyojenik işlem (N5,N6) numuneler karşılaştırılmıştır ve ısıt işlemlerde 8 ve 16 saat iki farklı yaşlandırma süresi denenmiştir. sonuçlar bakıldığında her ikisinde de süre arttıkça özelliklerin geliştiği görülmüştür.

Yaşlandırmanın kriyojenik ortamda yapılması (N5,N6) veya kriyojenik işlemden sonra (N8,N9) yaşlandırma işlemin yapıldığı numuneler karşılaştırıldığında ise çözündürme işleminden sonra numunenin kriyojenik ortamda sogutulması ardından kısmi difüzyon ve çökeltilerin oluşması için yaşlandırmanın gerekli olması görülmekte ve diğer yandan hem T6 ısıt işlem ile hemde kriyonik ortamdan yaşlandırmaya kıyasla çözündürme + kriyojenik işlem + yaşlandırma işlemin seçilmesiyle daha iyi özelliklerin elde edilmesi görülmektedir.



Şekil 17. Uygulanan ısıl işleme bağlı olarak alaşımın mikro yapısındaki değişimler

ETİAL 171 alaşımının çekme, akma ve % uzama değerleri incelendiğinde (Şekil 18) çekme dayanımı 150 Mpa'dan yapılan işlemler sonucunda %33.84 oranında, akma dayanımı 90 Mpa'dan %30.96 oranında, sertlik değeri 60 BSD'den %16.63 oranında ve süneklik ise %2.5 'den %7.68 oranında artış göstermiştir.



Şekil 18. Isıl işlemin şartlarına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi

TUNAY'ın [35], yaptığı bu çalışmasında yatak malzemelerinde görülen aşınma problemi ile ilgili Al-25Zn-1Mg alaşımında 20mmx20mm boyutlarında numuneler hazırlanarak işlemsiz, solüsyona alınmış, 1saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat ve 24 saat yaşlandırılma işlemi yapılarak numunelerin vickers sertlik değerleri ölçülmüştür. Numunelerin ölçülen sertlik değerleri Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19. Numunelerin sertlik değerleri

Sertlik sonuçlarına bakıldığında yapılan deneyler neticesinde yaşlandırma işlemine bağlı olarak tüm numunelerin sertlik miktarlarında artışlar olduğu tespit edilmiştir. En küçük sertlik değeri solüsyona alınan numunelerde HV90 olarak; en büyük sertlik değeri ise 12 saatlik suni yaşlandırma işleminde elde edildiği ve sertlik değerinin HV175 olduğu tespit edilmiştir. 24 saatlik yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin sertlik değerinin ise düşüşe geçmeye başladığı tespit edilmiş olup; bu değer HV170'dir.

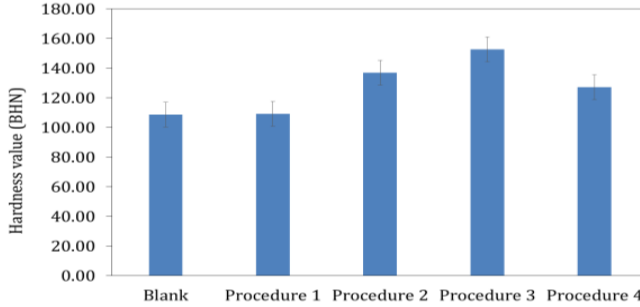
AZADİ ve arkadaşlarının [36], yapmış olduğu bu çalışmada A332 alüminyum alaşımlarının sertliğini artırmak için çeşitli yeni ısıtma işlemlerinin etkilerini araştırmak amaçlanmıştır. Bu alayla işlem 5 prosödur uygulanmış,

1. 480 °C - 6 saat çözelti alma ve 220 °C - 6 saat yaslandırma,
2. 500 °C - 5 saat çözelti alma ve 180 °C - 9 saat yaşlandırma,
3. 515 °C - 7 saat çözelti alma ve 205 °C - 7 saat yaşlandırma,
4. Çözelti işlemi yok ve 230 °C - 5 saat yaşlandırma,
5. Isıl işlemsiz (boş) numene,

Elde edilen numuneler 2000 mesh kadar aşındırma yapıp metagrofik numune hazırlanmış ve Keller çözeltisi ile dağlanarak mikroyapıları oluşturulmuştur. Optik mikroskopi (OM: Olympus model) ve alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM: MIRA3-TSCAN) kullanılmıştır ve ayrıca çeşitli fazların tespiti için 30 keV'lik hızlandırma voltajına sahip bir enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) ve. Brinnell sertlik testi için 30 kg yük ve 2,5 mm uç çapı kullanılmıştır.

Sonuçların daha iyi alınabilmesi için ısıtma işlemsiz numuneye göre kıyaslanarak en düşük maliyette aşınma direnci artırarak en ekonomik yöntem araştırılmak istenmiştir. A332 alaşımlarının yüksek korozyon direnci düşük ısıtma

işlem ve aşındırma direnci yüksek olması gerekmektedir. Aşınma direncinin artırmanın bir yolu da sertlik artırmaktır. Elde edilen numune numunelerin sertlik sonuçları bakıldığında (Şekil 20),



Şekil 20. Numunelerin sertlik değerleri

1. Presödürde uygulanan ısı işlem ile Si faz molekülünün boyutunu 150 μm 'nin üzerine çıkılmıştır ve oluşan intermetalik bileşiklerin boyutu da artmıştır. Normal numuneye göre sertlikte %2 lik artış sağlamıştır.

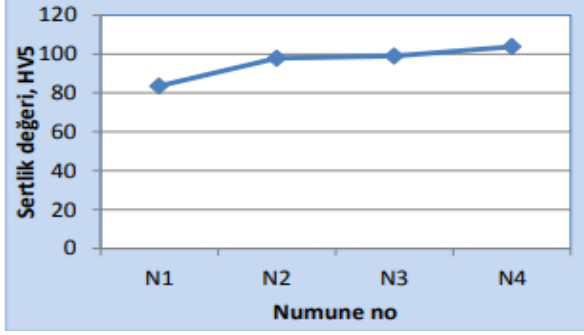
2. Presödürde Si moleküllerinin boyutlarının küçüldüğü ve homojen şekilde dağılım göstermiş diğer faz intermetalik bileşiklerinin artmasıyla 137 HBN yükselmiştir.

3. Presödürde 515 $^{\circ}\text{C}$ 'de 7 saat çözüldürmenin ve 205 $^{\circ}\text{C}$ 'de 7 saat yaşlandırmanın, piston alüminyum için sertlik değerini en yüksek değerine (153 BHN) çıkarması nedeniyle üstün ısı işlem olduğunu göstermiştir. Bu ısı işlem Si parçacıklarının boyutunun belirgin bir şekilde artmasına ve Al (Ni,Cu) ve Ni-Si'nin diğer intermetalik fazlarının çökmesine neden olmuştur. Ayrıca si morfolojisinin intermetalik bileşiklerin keskin köşeli yapıdan yuvarlak yapıya bürünmüştür.

4. Presödürde Çözelti aşaması olmadan yaşlandırma işlemi uygulandığında, intermetalik faz hemen hemen tane sınırlarında düzenlenmiş ve sertlikteki artış, döküm numunenin değerlerine göre yaklaşık %20 olmuştur. Al-Mg-Si-Cu, Mg₂Si, NiAl₃ ve Al (Ni, Si) fazlarının varlığı tahmin edilmiştir.

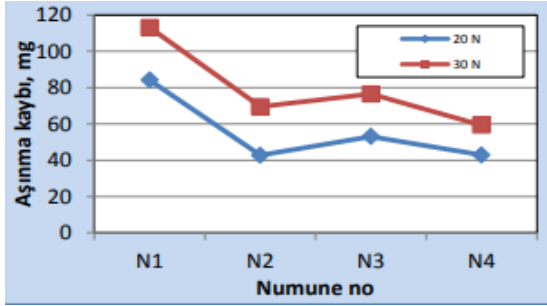
FERHAT'ın [37], çalışmasında ise kullanılan AlSi10Mg alaşımına ısı işlemsiz N1, 530 $^{\circ}\text{C}$ 'de 4 saat ısı işlem 60 $^{\circ}\text{C}$ 'de suda soğutma 170 $^{\circ}\text{C}$ 'de 4 saat yaşlandırma N2, 530 $^{\circ}\text{C}$ 'de ısı işlem 60 $^{\circ}\text{C}$ 'de suda soğutma 170 $^{\circ}\text{C}$ 'de 10 dk. ve 30 dk. yaşlandırmış olan numuneler 100 $^{\circ}\text{C}$ 'de 135 saat yeniden ikincil yaşlandırma N3 ve N4 numuneler elde edilerek sertlik ve 20 N ve 30 N yük altında aşınma testleri uygulanmıştır. Sertlik sonuçlar incelendiğinde geleneksel T6 ısı işlemi ile sertlik değerinin yaklaşık % 17 oranında artış göstermiştir.

170 °C‘de 30 dk yaşlandırma numunede ise sertlik de %24.4 oranında artış ve 170 °C‘de yapılan işlemin 30 dk. dan 10 dk. a düşürülmesi ile döküm durumuna göre sertlik değerinde ki artış %18.3 düşmüştür. Elde edilen numuneler sertlik değerinde Şekil 21’de gösterilmiştir.



Şekil 21. Numunelerin sertlik değerleri, HV5

Abrasif aşınma sonuçlarına bakıldığında döküm durumu numunenin 20 N ve 30 N yük altında sırasıyla 84.15 mg ve 113.15 mg aşınma sergilemiştir. Geleneksel yaşlandırma işlemi uygulanmış N2 numunesinde 20 ve 30 N yük için aşınma miktarlarında azalma sırasıyla %49 ve %38 olarak elde edilmiştir. İkincil yaşlandırma işlemi yapılan N3 numunesi sırasıyla %37 ve %32, N4 numunesinde ise %49 ve %47 oranında azalma olmuştur. Numunelere uygulanan aşınma deney sonuçları Şekil 22’de görülmektedir.



Şekil 22. Numunelerin 20 ve 30 N ve 180 mesh zımparada aşınma miktarlar

6. SONUÇLAR

Alüminyum döküm alaşımlarının mikroyapısal, mekanik ve ısıl işlem özelliklerinin geliştirilmesi, alaşım elementlerinin etkilerinin teorik, deneysel çalışmaları ile aydınlatılması, tane inceltme ve modifikasyon süreçlerinde master alaşımlar ve mekanizmalar temelinde yenilikçi çalışmaların

gerçekleştirilmesine yönelik endüstriyel uygulama ve akademik araştırma çalışmaları alüminyum döküm endüstrisine bugüne kadar yön vermiştir.

Hafifliği, enerji verimliliği, gelişmiş termal ve elektriksel özellikleri, görselliği ve daha birçok karakteristik yönü ile pek çok endüstriyel alanda çelik malzemelerin yerini alacak olan alüminyum döküm alaşımları ve üretim süreci geliştirilmeye son derece açık bir konudur. Bu derleme makale çalışması, konuyla ilgili çalışan endüstriyel sektöre ve akademisyenlere verimli bir kaynak niteliği taşımaktadır.

Özellikle son yıllarda alüminyum alaşımlarda hesaplamalı malzeme mühendisliği ve döküm simülasyon programları kullanımıyla mekanik özelliklerin geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar alt başlıkta araştırılması gereken diğer bir konudur.

KAYNAKLAR

1. Kenar, O., *Yüksek basınçlı döküm prosesi ile üretilen alüminyum otomotiv parçalarında kalıp tasarım değişikliklerinin parça döküm kalitesi üzerine etkilerinin araştırılması*. 2019, Sakarya Üniversitesi (Turkey).
2. ÇAKANYILDIRIM, Ç. and G. Metin, *Alüminyum üretim teknolojilerindeki gelişmeler; çevreye etkisi ve uygulama alanları*. Politeknik Dergisi, 2021. **24**(2): p. 585-592.
3. Erman, C., *İKİNCİL ALÜMİNYUM ÜRETİMİNE GENEL BİR BAKIŞ*.
4. YAŞAR, A.C., et al., *ALÜMİNYUM DÖVME VE EKSTRÜZYON ALAŞIMLARINDA AŞIRI YAŞLANDIRMANIN MİKROYAPI ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ*.
5. DOĞU, B.S., *VE ALÜMİNYUM ALAŞIM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ*.
6. Canbaz, E., *Zr ve/veya V ilavesinin Al-Si alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi*. 2021, Konya Teknik Üniversitesi.
7. Tımaç, G., *Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi*. 2006, Marmara Üniversitesi (Turkey).
8. Alam, T. and A.H. Ansari, *Review on Aluminium and Its Alloys for automotive applications*. Int. J. Adv. Technol. Eng. Sci, 2017. **5**(5): p. 278-294.
9. Sapmaz, İ., *AlSi12 (Fe) yüksek basınçlı döküm alaşımında SR ilavelerinin alaşımın mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi*. 2021, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
10. Ermiş, H.M., *Al-Si alaşımlarının üretiminde kullanılan ergitme sıvı metal işlemlerinin incelenmesi*. 2000.
11. Çetin, A., *Alüminyum Döküm Alaşımları*. Dökümcünün El Kitabı Serisi-04, Dökümhane Akademi Projesi, 2017.
12. Güven, O., *Alüminyum silisyum magnezyum döküm alaşımlarının yapı incelemesi*. 2005, Fen Bilimleri Enstitüsü.
13. Aslandoğan, R., *Dökümde akıcılık ve akıcılığı etkileyen faktörlerin araştırılması*. 2009.
14. Zeren, M., *Demir Dışı Düşük Sıcaklık Metal ve Alaşımları*. 2010, Kocaeli Üniversitesi.
15. Ay, A.Y., *Döküm Al-Cu-Mg Alaşımında Tane İnceltme Metodunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
16. Taşkin, N., *Magnezyum talaşlarından malzeme üretimi*. 2012, Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. Arslan, İ., *Alüminyum alaşımlarının değişen döküm şartlarında mekanik ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
18. Hekimoğlu, A.P. and M. HACIOSMANOĞLU, *Bakır ve Magnezyum Katkılarının Al-17Si Alaşımının Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi*. International Journal of Engineering Research and Development, 2019. **11**(2): p. 685-694.
19. Hekimoğlu, A.P., M. HACIOSMANOĞLU, and B. Muzaffer, *Farklı oranlardaki çinko katkılarının AC-48100 (Al-17Si-4Cu-Mg) alaşımının yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerine etkisinin incelenmesi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2020. **35**(4): p. 1799-1814.
20. İRİZALP, S.G., et al., *A360 alüminyum alaşımına Mg ilavesinin malzeme yapısındaki sertlik dağılımına etkisinin incelenmesi*. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 2011. **2**(2): p. 87-93.

21. Çatar, R., U. Emin, and M. Çolak, *Cu İLAVESİNİN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KOROZYON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ*. Technological Applied Sciences. **12**(2): p. 66-72.
22. BAŞARANEL, M., N. SAKLAKOĞLU, and S.G. İRİZALP, *ETIAL 180 ALÜMİNYUM ALAŞIMINA İLAVE EDİLEN Mg ve Sn ELEMENTLERİNİN İNTERMETALİK FAZLARA ETKİSİ*. 2013.
23. Haydar, H., *Alüminyum alaşımlarının dökümünde kullanılan tane küçültücüler*. 2012.
24. Uludağ, M., et al., *LM28 Alaşımında tane inceltme ve sr modifikasyonun si morfolojisine etkisi*. 2. Uluslararası Mühendislik Ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, KARABÜK, TÜRKİYE, 2014: p. 17-19.
25. TunÇay, T., *AlSiCu (LM24) Alüminyum Alaşımında Modifikasyon ve Tane İnceltmenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi*. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2019. **8**: p. 21-28.
26. Yalçın G., Neşeli S., Terzioğlu H., Ağaçayak A.C. (2018). Fatigue Tester Design and Frame Analysis for Estimation of Fatigue Life of Helical Compression Springs. International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'1 8), 563-566. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4509752)
27. Binali, R., Coşkun, M., & Neşeli, S. (2022). An Investigation of Power Consumption in Milling AISI P20 Plastic Mold Steel By Finite Elements Method. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(34), 513-518.
28. Arslan, İ., E. Gavgali, and M. Çolak, *KUM KALIBA DÖKÜLEN FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE Al5Ti1B VE Al10SR İLAVESİNİN MİKROYAPI ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ*. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 2019. **7**(2): p. 237-244.
29. TUNÇAY, T., *A356 Alaşımında Cu Miktarının Mikroyapı ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi*. Politeknik Dergisi, 2016. **19**(4): p. 585-592.
30. AKAR, N., R. KAYIKCI, and A.K. KISAOĞLU, *Kokil kaliba dökülen Al-4, 3cu alaşımının kritik katı oranı faktörünün kalıp sıcaklığı ve tane boyutuna bağlı olarak modellenmesi*. Politeknik Dergisi, 2014. **17**(2): p. 83-89.
31. Uludağ, M., et al. *Etial 195 Alaşımında Sr Modifikasyonu ve Tutma Süresinin Si Morfolojisi Ve Mekanik Özelliklere Etkisi*. in *15th International Materials Symposium, Denizli, Turkey*. 2014.
32. AKYILDIZ, Y., O. ÖZTÜRK, and B. SİMSAR, *Al-10Si-xMg Alaşımının CALPHAD Metodolojisi ile Termodinamik Karakterizasyonu*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2021. **25**(3): p. 699-704.
33. Neşeli, S., Yalçın, G., & Yıldız, 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.
34. VATANSEVER, F., A.T. ERTÜRK, and S. KARABAY, *Alüminyum-Silisyum Alaşımlarının Mikroyapısal ve Mekanik Özelliklerinin T6 Isıl İşlemi ile İyileştirilmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2018. **20**(60): p. 797-803.
35. Geçkinli, E., *Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi*, 2. Isıl İşlem Sempozyumu CD'si, 2002. **7**(08).

36. Ak, M., *AA206 alüminyum döküm alaşımında empürite demirin mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi*. 2012, Fen Bilimleri Enstitüsü.
37. Hasırcı, H., *DETERMINATION OF OPTIMUM CRYOGENIC HEAT TREATMENT CONDITIONS FOR ETİAL 171 ALLOY ETİAL 171 ALAŞIMI İÇİN EN UYGUN KRİYOJENİK ISIL İŞLEM ŞARTLARININ BELİRLENMESİ*.
38. Tunay, R.F. and H.I.A. Al-Saadi, *Sunİ Yaşlandırma İşlemİnİn AlÜmİnyum AlaŞımınin Sertliği Üzerİne Etkİsİ*. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2017: p. 525-532.
39. *Effects of Various Ageing Heat Treatments on Microstructural Features and Hardness of Piston Aluminum Alloy*. International Journal of Engineering, 2019. **32**(1).
40. Ferhat, G., *AlSi10Mg Döküm Alaşımının Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine İkincil Yaşlandırma İşleminin Etkisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2014. **18**(1): p. 30-37.
41. Binali, R., YALDIZ, S., & Neşeli, S. Investigation of Power Consumption in the Machining of S960QL Steel by Finite Elements Method. European Journal of Technique (EJT), 12(1), 43-48.
42. Binali, R., YALDIZ, S., & Neşeli, S. (2021). S960QL Yapı Çeliğinin İşlenebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(31), 85-91.

BÖLÜM 5

KOMPOZİT DİŞLİ ÇARKLARIN SOĞUK ORTAMLARDA ÖZELLİKLERİ

Sanan Zakariyayev¹

GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında günümüzde tercih edilen kompozit malzemeler yapı ve makine elamanları seçiminde, üstün mukavemet, rijitlik ve stabilite durumlarındaki avantajları ile tercih edilmektedirler. Kompozit malzemelerin çatısı altında olan hibrit kompozitler, iki veya daha fazla farklı fiber takviyesinin aynı matris içinde bulunduğu kompozit malzeme grubu olarak adlandırılabilirler. Günümüz teknolojisinde çok yaygın olarak kullanılan dişli çarklar hemen hemen her makinede kullanılan güç ve hareket iletim elemanıdır. Dişli imalatlarında önemli hususlar, dişlinin kullanılacağı yere göre yeterli mukavemet, hafiflik, ekonomiklik, sessiz çalışma, kolay üretilebilirlik vb. olarak sıralanabilir. Enerjinin ve malzemenin ekonomik bir şekilde kullanılarak kayıpların önlenmesi için öncelikle ideal çalışma şartlarının bulunması lazımdır. Kullanım alanları çok yaygın olan dişli çarklarda malzeme olarak, metaller özellikle AISI 8620 ve dökme demir bunun yanında bakır, çinko, alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan metal dışı malzemeler olarak özellikle kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelere, poliamid (naylon), asetal (derlin) v.b. olarak sayılabilir. Bu malzemelerin kullanılmalarıyla dişli çarklarda sessiz çalışma, yağsız çalışma, hafif olma, seri üretime uygun olma, darbe ve titreşimleri sönmeme, üretim ekonomisi gibi özellikler sağlanmıştır. Bunların dezavantajlı tarafları ise düşük yük taşıma kapasiteleri, düşük ısı iletkenliği, ömürlerinin tayin edilmesindeki tutarlılığın fazla olmaması olarak gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda elde edilen yeni tasarımlarla, kullanılan tasarım teknikleriyle, yapılan sonlu elemanlar analizleriyle araştırmacılara ve sektöre yeni bilgiler kazandırılmıştır. Literatür incelemesinde kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesiyle ilgili çalışmaların olduğu görülmüştür.

¹ Selcuk üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Konya, Türkiye

Örneğin; Tabakalı hibrit kompozit malzemelerin mekanik özellikleri oda koşullarında incelenmiştir Ünal vd, (2018), tabakalı kompozit numunelerin çekme ve eğilme yükleri altında mekanik davranışı üzerine nanokil ilavesinin etkilerini araştırmışlardır. Nanokil ilavesi ile çekme ve eğme dayanımının pozitif olarak arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Okutan ve Karakuzu (2003), E-cam ve epoksiden oluşan hibrit kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemiştir. Kayıran (2018) yapmış olduğu bir çalışmada, farklı çevresel koşullara maruz bırakılan hibrit kompozit malzemelerin burkulma davranışlarını araştırmıştır. Öndürücü ve Kayıran (2018), yapmış oldukları diğer bir çalışmada, hibrit kompozit kirşilerin yanal burkulma davranışlarına soğuk ortamın etkisini araştırmışlardır. Sathishkumar (2014), hibrit elyaf takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Altan (2009) tarafından farklı sıcaklıklara maruz bırakılan kompozit malzemelerde sıcaklığın artmasıyla mekanik özelliklerinin değiştiği sonucuna ulaşmıştır. Boukhoulde ve Adda-Bedia, (2006), kompozit malzemelerde fiber açısının nem tutma ve malzeme de meydana gelen bozulmaları incelemiştir. Bu deneysel çalışmada ağırlık olarak, poliamid 6 (PA6), döküm poliamid 6 (PA6G), poli-oksi-metilen (POM), poli-eter-eterketon (PEEK) ve polietilen-tereftalat (PET) mühendislik polimerleri kullanılmıştır. PA6 özellikle kaymalı makine elamanları için mühendislik malzemesi olarak kullanılır. Polimerlerin kaymasındaki bir problem bünyesine elektrik yük almasıdır. Bu problem için genel çözüm polimer içerisine karbon siyahı yada grafit ilave edilmesidir. Ye.L ve Hoplam.P, cam fiber takviyeli naylon(PA6) kompozitlerin pim-disk aşınma makinesinde, % 0.15 C’lu pürüzsüz bir çelik yüzeye karşı oda sıcaklığında kuru kayma şartları altında, sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Ayrıca bu incelemede, naylon içerisindeki cam fiberlerin kayma yönüne göre farklı yönlerde dizilmelerinin sürtünme ve aşınma davranışlarına etkisini görmek için çalışma yapılmıştır. POM, özellikleri bakımından yüksek dayanıma sahip, iyi boyutsal stabilite, düşük sürtünme katsayısı, düşük sıcaklarda bile iyi basma ve darbe dayanımı, özellikle otomatik ekipmanlarda mükemmel işlenebilme yeteneğine sahiptir. Aşınma ve sürtünme ye dirençli olan diğer bir mühendislik polimeri olan poliamid 6 (PA6) ile kıyaslandığında aşınmaya karşı özellikle de pis ve tozlu ortamlarda daha dayanıksızdır. POM tesisat malzemesi olarak; çatlamaya karşı dirençli, suya ve uzun süreli yüklemelere karşı dayanıklı, sürtünmenin düşük olması ve mineral birikimini engellemek gibi özellikleri karşılayacak şekilde uzun yıllardır su ve kanalizasyon sistemlerinin çeşitli kısımlarında farklı amaçlarla kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler ile bağı literatürde çok fazla araştırmanın olduğu gözlemlenmiştir. Lakin kompozit dişli çarkların farklı sıcaklık değerlerinde en çokta soğuk ortamlarda özellikleri ile bağı bilgi bulunamamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak için soğuk ortamlarda kompozit dişli çarkların davranışları araştırılmış ve bulunan sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Bu verilere göz atarak soğuk ortamlarda teste maruz bırakılan kompozit dişlilerin özelliklerinin oda koşullarında test edilen numunelerin mekanik özelliklerine göre daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

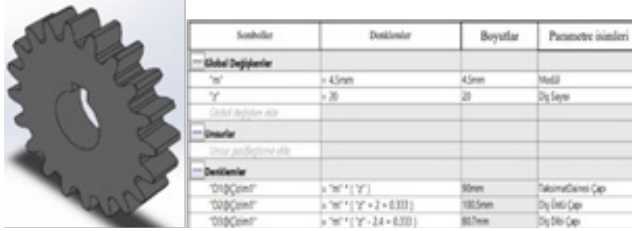
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kullanılan Materyaller

“Teknolojik gelişmelere bağı olarak, bu malzemelerden iki veya daha fazlasının üstün özelliklerini tek bir malzemede toplanması amacıyla makro düzeyde birleştirilerek üretilen yeni malzeme kompozit malzemedir” (Kaya, 2015; s.46). Kompozit malzemelerin kullanım şartlarına göre farklı çevresel koşullara maruz kaldığı aşıkardır. Çalışmada kullanılacak kompozit dişlilerin üretimi bu alanda uzmanlaşmış Fibermak Mühendislik firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile farklı ortam koşullarının hibrit kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisi deneysel olarak araştırılacak ve bulgular kayıt altına alınacaktır. Yapılan bu çalışmada Takviye faz, üretim esnasında matris fazın tane büyüklüğünü kontrol eder ve iletilen yükleri paylaşarak karşı koyar. “Matris yapı ile takviye elemanı arasında bağlayıcılık görevi yapan ara yüzey bağı ise, genellikle kırılğan özellik göstermesine rağmen oluşan herhangi bir kuvveti çözülmeye ve kırılmaya uğramadan takviye fazına iletir. Bu bölge malzemenin melestikiyet modülünü etkileyen en önemli bölgedir. Bu yüzden kompozit malzemenin dayanıklılığı ara yüzey bağının istenilen şekilde olmasına bağıdır” (Qu, 1993; s 21).

“Aşınma ve sürtünme deneyleri pim disk cihazı kullanılarak AISI 1040 çeliğine karşı gerçekleştirilmiştir. POM mühendislik plastiği granül halde temin edildikten sonra Ø6x50 mm ölçülerinde pim şeklinde enjeksiyonla kalıplanmıştır. Enjeksiyonla kalıplama ve kalıp sıcaklıkları sırasıyla 210°C ve 80 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca enjeksiyon basıncı ise 100 MPa olarak ayarlanmıştır. Numuneler kalıplanmadan önce 80°C de 3 saat kurutulmuşlardır. Aşınma deneylerinden önce pim numunelerinin çelik disk ile temas edecek alın yüzeyi 1200 nolu SiC zımpara kağıdı kullanılarak temizlenmiştir. Mühendislik plastiklerini aşındıracak çelik disk AISI 1040 çeliğinden olup Ø100x10 mm ölçülerinde olacak şekilde talaşlı imalat yöntemi

ile işlenmiş olup sertleştirilmiş ve taşlanmışır”(Recep KOÇ Mühendislik Plastiklerinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, 2011; s.30).



Şekil 1. Solidworks programında tasarımı yapılan dişi çark.

“Evolvent bir dişli profilinde profil kaydırması yapmak, aynı modül ve diş sayısı ile dişliyi normal diş üstü çapından daha büyük (pozitif) veya daha küçük (negatif) bir çapa sahip yapar. Bu da kavrama açısını ($\alpha = 20^\circ$) teorik olarak büyütme veya küçültme demektir. Kavrama açısı 20° olan evolvent dişlilerde profil kaydırma yapılmadan imal edilebilecek minimum diş sayısı 14’ tür”(Polimer esaslı dişli çarkların nanopartükül katkıyla yağlayıcı ortamındaki tribolojik performanslarının incelenmesi, Ömer KARTALTEPE, 2021; s.31).

“Polimer matrisli kompozit malzemeler; polimer matrisli kompozitler, çoğunlukla petrokimya esaslı ürünlerdir ve günümüzde en yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. Polimerik kompozitler korozyona dirençli, uzun süreli kullanıma uygun, işlenmesi kolay, şekillendirilebilen, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelerdir” (Vasiliev ve Morozov, 2001; s.14). Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır.

“Termoset matrisler; lif takviyeli kompozit yapımında daha fazla kullanılır ve sıvı halde bulunurlar, katılaştırıcı ilavesi ile önce jel haline gelir ve sonra da katılırlar. Termoset reçineler izotropiktirler. Lif takviyeli kompozit yapımında genellikle düşük viskozitede olmaları tercih edilir. Poliamidler, plastikler arasında olan, şekil verilebilen, ısıl direnci en yüksek polimerlerdir” (Itoh vd., 2002)

“Termoplastik matrisler; genellikle sünek ve ısı ile eritilebilir, soğutma ile katılaştırılırlar. Bu da onlara tekrar şekil verdirilebilme kabiliyeti sağlar. Termoplastikler amorf veya yarı kristalin yapıda olabilirler. Amorf termoplastiklerde moleküller gelişigüzel düzenlenmiş bir yapıdadır. Kristalin bölgede ise moleküller sıkı paketlenmiş düzenli bir yapıdadır“ (Kaya, 2015; s.37).

“Elyaf takviyeli kompozitler; kompozit malzemelerin en yaygın türü elyaf takviyeli kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam almıştır. Matris malzeme olarak plastik reçineler en fazla kullanılan tür olup bunlardan da polyester ucuzluğu sebebiyle ilk sırayı almaktadır. Lif takviyeli kompozit malzemelerde bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdır ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Matris (reçineler) termoset veya termoplastik olabilir. Takviye lifleri, uzun liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler vb. değişik formlarda olabilirler. Her biçim ayrı özelliklerle sonuçlanır. Kompozit malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığına bağlıdır” (Vasiliev ve Morozov, 2001).

Kurokawa ve arkadaşları (2000), beş çeşit PEEK/CF (poly-ether-ether-ketone / karbon elyaf) bileşiği ile dış içine enjeksiyon modellemeyle üç çeşit PAN carbon fiber (CFs) ve sırasıyla iki çeşit dış açıklığı tipi Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) ile karıştırılarak yapılmıştır. Yük kapasitesi ve dişli kökü aşınması gibi dişli performansları gösterilmiştir. Yüksek bir yük altında dönme şartlarının yük kapasitesi (PAI) polyamid bileşikli dişli ve (PPS) polyphenylenesulphide bileşikli dişlilerde yüksek olduğu bulunmuştur.

Kukureka ve arkadaşları (1999), PA66' nın sürtünme ve aşınması üzerine lif takviyesinin etkisi araştırılmıştır. Bir çift disk test cihazı ile üç çeşit kısa lif-aramid, karbon ve cam incelenmiştir. Aramid-lif takviyesinin, matris maddesinin sürtünmesini önemli ölçüde değiştirmedeği görülmüştür. Bununla beraber hem karbon-lif hem de cam lif takviyesi sürtünmenin katsayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Aramid ve karbon lif bileşenlerinin aşınması zaman ile doğrusal ve genellikle takviyesiz materyallerden yaklaşık on kat daha az olduğu bulunmuştur.

Bloom ve arkadaşları (2000), polimer / yarı kristal polyamid şeklinde yeni bir malzeme üzerinde çalışmışlar ve uygulamalarda kuru yataklar ve birleşik dişliler gibi polimer bileşiklerle belli organik polimerlerin özelliklerinin arttığını göstermişlerdir. Yarı kristal malzemeler Al-Cu-Fe, polimer bazlı bileşiklerdeki hacim kaybı için aşınma dayanıklılığını önemli ölçüde geliştirmişlerdir. Ayrıca termal, mekanik ve aşınma özellikleri yeni geliştirilen polimer / yarı kristal polyamid ile gösterilmiştir.

Chen ve arkadaşları (2000), yağlamasız bir ortamda ve pürüzlü bir yüzeye sahip temas noktaları üzerinde birbirleriyle çalışan polyamid 66 (PA66)'nın tribolojik hareketiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Testler, çift diskli test aleti kullanılarak geniş oranda yükler ve kayma oranları üzerinde yapılmıştır.

Luscher ve Houser (2000), enjeksiyon kalıplama ile yapılmış dişlilerin transmisyon hatalarını ve geometrilerini araştırılmıştır. Dolgu baskısı, bu çalışmada araştırılan basınç seviyeleri için bütün geometrik ve iletim hatalarını azalttığı görülmüştür.

Andrei ve arkadaşları (2001), geleneksel düz dişlilerde standart olmayan bir eğri yüzeyli geniş dişli geliştirmişler, bununla birlikte yüksek hızlı bir bağlantı oranı elde etmişler, eğilme basıncını azaltmışlar ve kayma hızlarını kıyaslamışlardır.

Apichartpattanasiri ve arkadaşları (2001), enjeksiyon sistemiyle dökümü yapılan PA66, dişli çarklarda ve yüksek yükler altında yaygın olarak kullanıldığını göstermişlerdir. Farklı hacimlerde ve yüzey yapılarında, benzer ve benzer olmayan malzemelerden yapılmış ürünler karşılaştırıldığında, aşınma performansına bağlı oldukları görülmüştür.

Wright ve Kukureka (2001), fiber ile güçlendirilmiş termoplastikler kullanılarak plastik enjeksiyon sistemiyle dökümü yapılan kompozit dişliler, güçlendirilmemiş polimerden yapılanlarla karşılaştırıldığında daha fazla performans sergiledikleri görülmüştür. Yapılan çalışmada, çeşitli polimer matriks karışım dişlisi maddelerinin ölçümlerinin karşılaştırılma metodlarını açıklamışlar ve onların performansını bu konuyla ilgili yapılan başka çalışmaların deney sonuçları ile ilişkilendirmeye çalışmışlardır.

Eritenel ve arkadaşları (2003), plastik materyaller, metallere daha düşük modüle sahip oldukları için yük uygulanan plastik dişlilerdeki kırılmalar AISI 8620lerdeki kırılmalardan daha yüksektir. Kırılma analizi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak dişlilerin esnemesi, yükün etkisini ve diş kırılmaları üzerindeki çalışmalarını incelenmiştir. Kırılma analizine ek olarak plastik dişlilerin kenarları boyunca yükler ve uç bölgesindeki değişikliklerin etkisi incelenmiştir. Analiz metodolojisini göstermek için örnek bir düz dişli parçası ve spiral bir dişli kullanılmış, analizin sonuçları plastik dişlilerde artan yük ile birlikte diş kırılması olarak meydana gelmediği görülmüştür.

Can ve diğerleri (2004a), içine 1.2 mm tel çapına sahip yaylar yerleştirilmiş polipropilenden üretilmiş kramayer dişli çarkların özelliklerini incelenmiştir. Yaylar, enjeksiyon kalıplama öncesi çekilip; kalıplama sonrası bırakılarak ön gerilme oluşturulmuştur. Yorulma deneyleri gerçekleştirilmiş ve takviye yapılmasının dayanımı artırdığı görülmüştür. Deneyler sonucunda ön gerilmenin, kramayer dişlinin yorulma ömrünü takviyesiz numuneye göre 12 kata kadar artırdığı bulunmuştur.

Hirogaki ve diğerleri (2004), pamuk lifi destekli plastiklerden yapılan endüstriyel dişli tasarımı geliştirmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada, kuvvet etkisinde olan dişin eğilme gerilmesinden oluşan diş kök gerilmesini tespit eden yeni bir metot geliştirmeye çalışmışlar. Bu çalışma için 3-5 modül ve 25 mm diş eni ebatlarında dişliler kullanılmıştır. İlk olarak dinamik performansı göstermek için hareket koşulları altında dişlilerin hızları ölçülmüştür. Daha sonra eğilme yükleri altında dişli dişlerinin kırılma testleri uygulanmıştır.

Kim (2006), plastik dişlilerin güç aktarımının deneysel araştırılmasında, hem yorulma hem de dayanıklılık karakteristikleri incelenerek yapılmıştır. Dişli çark dişlisinin dayanıklılığını arttırma metodu, diş üzerine bir delik açma veya dişli dişinin içindeki deliğe AISI 8620 pim takmayı önermiştir. Asetal dişlilerde plastik deformasyonun artmasıyla yorulma miktarının arttığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, naylon dişlilerde bu metodun orijinal dişli ile karşılaştırıldığında diş sıcaklığını azalttığı ve böylece yorulma zamanını düşürüp alıştırma süresini arttırdığı görülmüştür.

Senthilvelan ve Gnanamoorthy (2006a), Naylon 66, %20 cam ve %20 karbon lif destekli Naylon 66 dişli malzemeleri üzerinde uygulanan dinamik analiz, liflerin birleşimi sebebiyle sönüm faktörünün azalmasını göstermişlerdir. Katkılı ve katkısız malzemelerden yapılan enjeksiyon modelleme, düz dişli çark FZG test cihazında test edilmiştir. Test dişlilerinin yüzey sıcaklığı ve dişlinin birleştiği bölgedeki gürültü sürekli ölçülmüştür. Test sonuçları, katkılı dişlilerin katkısız dişlilerden daha fazla temas gürültüsü oluşturduğunu göstermiştir.

Unal ve Mimaroglu (2006), saf polyetheretherketone (PEEK) ve %30 karbon lifdestekli PEEK bileşiminin sürtünme ve aşınma performansını, kayma ve su damlasıyla yağlama altında değerlendirmişlerdir. Kayma değerleri pinon-disk test cihazı üzerinde uygulanmıştır. Aşınma testleri, 50oC, 100oC, 150oC oda sıcaklığında ve 200 N yükleme ve 0.40 m/s kayma hızında çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın sonunda, %30 karbon lifdestekli PEEK' in sürtünme kat sayısının yükteki artıştan önemli ölçüde etkilenmediğini, saf PEEK' in ise sürtünme kat sayısının yükteki artışla arttığını göstermişlerdir. Saf PEEK ve PEEK + %30 CF bileşimi için özel aşınma oranları su-yağlama durumlarında 10-15 m²/N iken, kuru kayma durumlarında bu değer 10-14 m²/N bulunmuştur.

Mao (2007a), polimer dişli çarkların aşınma oranı ve yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntıya dayanan yeni bir metodu geliştirmiştir. Bu metoda göre; spesifik bir geometri için yük kritik bir değere ulaştığı zaman polimer dişli aşınma oranı kademeli olarak artabileceği görülmüş ve kritik bir yük altındaki dişlinin aşınma oranı yavaşlamıştır. Dişli yüzey sıcaklığı detaylı olarak

incelendiğinde; çevre, hacim ve ani sıcaklık unsurları bulunmuştur. Farklı çevre sıcaklığındaki çalışma şartları ve dişli geometrisi altında bu metodu test sonuçları ilişkili bulunmuştur.

“PA66 GFR 30, ABS/PC ve PA66 GFR 30 + %2 borik asit, içerikli enjeksiyon yöntemi ile imal edilen termoplastik dişli çarkların yük taşıma kapasitesini ve hasar oluşumunu değişik yük ve devir sayılarında deneysel olarak incelemiştir” (Rifat YAKUT. Bazı termoplastik dişli çarkların yük taşıma kapasitesi ve hasar oluşumunun deneysel olarak incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, 2008; s.46)). POM, Ticona firmasının bir ürünü olup, asetal kopolimer ticari ürün ismiyle, katkısız standart enjeksiyon kalıp ürünüdür. Katkısız poliasetallerde dayanıklılık ve çarpma direnci düşüktür. Delrin, Celcon ve Hostaform ticari adları ile bulunmaktadır. Özellikleri bakımından, yüksek dayanıma sahip, boyutsal stabilitesi iyi, düşük sürtünme katsayısı, düşük sıcaklarda bile basma ve darbe dayanımı iyi, özellikle otomatik ekipmanlarda mükemmel işlenebilme yeteneğine sahip olup, rengi doğal ve siyahtır. Zayıf noktası, PA6’ya kıyasla aşınmaya karşı özellikle pis ve tozlu ortamlarda daha dayanıksızdır. “Poliasetal malzemeler son zamanlarda özellikle güç ve aktarımı alanlarında metallerin yerini almakta ve dişlilerin çoğu poliasetallerden yapılmaktadır. Bulaşık makinelerinde kullanılan malzemelerin aşırı bazik olan deterjanlara karşı dayanıklı olması gerektiğinden bu amaçla asetal kopolimerler kullanılmaktadır. Konveyör ruloları gibi boyutsal stabilite ve hassas toleranslar gerektiren mekanik parçaların yapımında en çok kullanılan malzemelerden birisidir” (TICONA, “Asetal kopolimer (POM)”, TICONA Mühendislik Polimerleri Kataloğu, İstanbul, 2001).



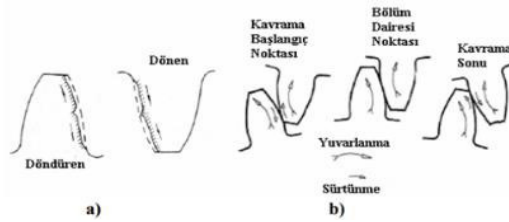
Şekil 2. Pom ve PA66 malzemelerinden üretilen dişli çarklar

Yapılan literatür araştırmasında, kompozit dişli çarkların soğuk ortamlarda hasar analizleri ve yeni nesil malzemelerden üretilmiş dişli çarkların üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalardan anlaşıldığı gibi, kompozit dişli çark hasar analizine matematiksel bir yaklaşım yapmak ve buna göre

dişli çarkın ömür tayinini tespit etmek oldukça zordur. Yeni nesil kompozit malzemeler ve dişli çark üzerinde yapılan modifikasyonlar ile kompozit dişli çarkların ömürleri arttırılmaya çalışılmaktadır.

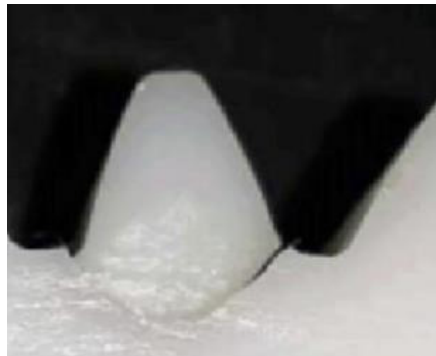
2.2. Dişli Çarklarda En Çok Görülen Deformasyonlar

“Karşılıklı dişlisinde kayma hızı diş başı ve diş dibinden taksimat çizgisine doğrudur. Bu da kayma yönünün diş dibinde yuvarlanma yönüne zıt, diş başında ise aynı olmasına sebep olur. Bu nedenle döndüren dişli ve dönen dişli profilindeki aşınma miktarı farklı olmaktadır” (Küçükçongar, 2004; s.19). Bu durum şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Dönen ve döndüren dişli görünümü, a) Dişli yüzey aşınması, b) Dişli yuvarlanması (Mao, 2006)

“Diş kökü gerilimi, pozitif profil kaydırma yapılarak diş şekli değiştirilerek de azaltılabilir. Diş kökü kırılması, eğilme yorulması veya aşırı diş dibi gerilmesinin bir sonucudur. Merkezler arası mesafe sabitse, modül küçüldükçe (diş sayısı arttıkça) diş kökü gerilimi önemli ölçüde artar. Fakat modül küçüldükçe dişli sıcaklığı azalır” (J. Tavčar, B. Černe, J. Duhovnik, and D. Zorko, “A multicriteria function for polymer gear design optimization, (J. Comput. Des. Eng., 2021; 1-19).



Şekil 4. Diş kökü kırılması

“Kısa süreli dinamik yükte yine elastisite modülü aşılır. Her iki durumda diş başı boşluğu azalır ve dişli mekanizmasının kasmaına yol açabilir. Kısa süreli aşırı yük, özellikle yüksek dönme hızlarında, diş deformasyonuna ve hatta polimer dişlinin erimesine neden olan yüksek sıcaklık üretir. Deformasyonun sebebi aşırı gerilmedir” (B. Trobentar, S. Kulovec, G. Hlebanja, and S. Glodež, “Experimental failure analysis of Spolymer gears,” Eng. Fail. Anal., 2020; 111).



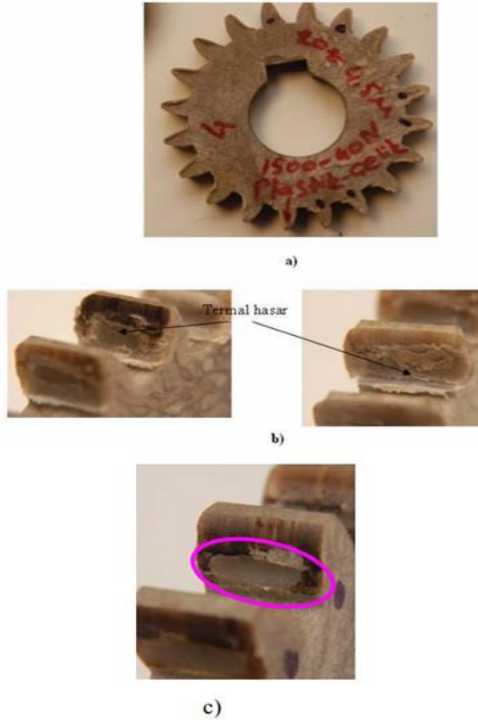
Şekil 5. Diş deformasyonu,

“Aşınma kuru çalışma ortamında kısa sürede, gresle yağlama durumunda ise biraz daha uzun sürede görülür. Yukarıda listelenen mekanizmalar, aşınma sürecinin temelidir. Yine de, mekanizmaların büyük çeşitliliği ve birbirleriyle olan ilişkileri, aşınma süreçlerinin tam olarak sınıflandırmasını imkansız kılmaktadır” (J. Tavčar, B. Černe, J. Duhovnik, and D. Zorko, “A multicriteria function for polymer gear design optimization,” J. Comput. Des. Eng., 2021; 1-19).



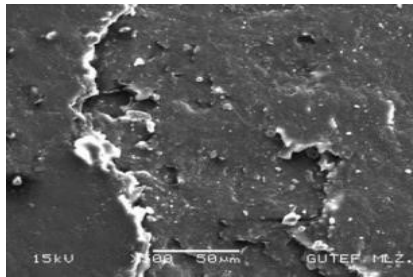
Şekil 6. Diş aşınması

“1500 dev/dak’da 65,53 N/mm diş yükünde diş dibinde meydana gelen aşınma derinliği görülmektedir. Yükün artışı ile birlikte bu aşınma miktarı da arttığı gözlenmiştir” (Rifat YAKUT. Bazı termoplastik dişli çarkların yük taşıma kapasitesi ve hasar oluşumunun deneysel olarak incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, 2008; s.65)).



Şekil 7. 1500 dev/dak 91,89 N/mm diş yükü , a) Modül 4.5 PA 66 GFR 30 – AISI 8620 eş dişli, b)Diş hasarı, c) termal hasar bölgesi

Plastiklerin, plastik deformasyonu elastik kaymadan daha çok viskoz akış ile olmaktadır. Viskoz akış, polimerdeki zincirlerin birbiri üzerinde kayması ile oluşmaktadır. Bu nedenle diş yüzeyinde yumuşama meydana gelmektedir. Şekil 8’deki SEM görüntüsünde görüldüğü gibi plastik malzemelerinin üzerinde kopmalar meydana gelmiştir.



Şekil 8. Modül 4.5 ABS/PC- AISI 8620 eş dişli 1000 dev/dak 29.7 N/mm diş yükü, SEM görüntüsü

2.3. Deney Şartları

Kompozit malzemelerin kullanım şartlarına göre farklı çevresel koşullara maruz kaldığı aşıkardır. Aşınma deneyleri kuru ortam şartlarında ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olup, her bir numunenin deney şartları aşağıda görüldüğü gibidir. Deneylerin yapılısı sırasında ortamın nemi ve sıcaklık değişimi ortalama olarak kaydedilmiştir. Ortam nemindeki farklılıkların sebebi deneyin farklı zamanlara tasmaıdır. Günün farklı zamanlarındaki sıcaklıklarında deney ortamının nemi değişmektedir. Her bir numune 0.5 m/s ve 1 m/s kayma hızında, 60- 80-100 N'luk yüklerde ve 60 dakikalık kayma zamanı ile denenmiştir. Her bir deney üç kez tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Hibrit kompozit plakaların mekanik davranışlarına farklı ortam şartlarının etkisini araştırmak için numuneler gruplara ayrılarak, oda koşulları ve soğutucu ortamlarında önceden belirlenen sürelerde maruz bırakılmışlardır Tablo 1'de bu çalışma için belirlenen farklı ortam koşulları ve farklı ortamlardaki bekleme süreleri yer almaktadır.

Tablo 1. Farklı ortam koşulları ve bekleme süreleri

Belirlenen Gruplar ve Bekleme Süreleri		
1.grup	2.grup	3.grup
Oda koşulları-90 gün	Soğutucu (-18 °C)-90 gün	Soğutucu (-18 °C)-150 gün

Numunelerin farklı ortam koşullarındaki bekleme süreleri tamamlandıktan hemen sonra mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çekme deneyleri yapılmıştır. 12 tabakalı hibrit kompozit plakalar sıcak presleme yöntemiyle imal edilmiştir. Hibrit kompozit malzemelerin yanal burkulma davranışına soğuk ortamın etkisini araştırmak amacıyla [(0/90)3]s, [(30/-60)3]s, [(45/-45)3]s simetrik ve [(0/90)3]as antisimetrik yönlenme açılına sahip 12 tabakalı hibrit kompozit plakalar üretilmiştir. Hibrit kompozit malzemelerin üretiminde fiber olarak karbon dimi (twill) dokuma, E-cam dimi (twill) dokuma, aramid dimi (twill) dokuma olmak üzere üç farklı fiber; matris malzemesi olarak da Araldite LY1564 / Aradur 3486 reçine sistemi kullanılmıştır. Tablo 2'de hibrit kompozit üretiminde kullanılan fiberlerin genel özellikleri yer almaktadır.

Tablo 2. Hibrit kompozit üretiminde kullanılan fiberlerin genel özellikleri

Mekanik Özellikler	Karbon	E-Cam	Aamid
Ağırlık (g/m ²)	245	300	300
Çekme dayanımı (MPa)	3800	2306	3000
Elastisite modülü (GPa)	240	81,50	112
Şekil değiştirme oranı (%)	1.60	2.97	2.40
Yoğunluk (g/cm ³)	1.78	2.58	1.44

Tablo 3’te tabloda ise deney numunelerinin mekanik özellikleri belirlenmeden önce hassas terazi ile tartılarak ortalama nem tutma oranları belirlenmiştir.

Tablo 3. Deney numunelerinin ortalama nem tutma oranları

Ortam Koşulları	C12	CG	CAG	CAG*	GAC
Soğuk ortam 90	5,550	2,560	34,62	4,350	1,160
Soğuk ortam 150	12,11	5,290	38,54	7,250	3,650

“Hibrit kompozitlerde yanal burkulma davranışı istifleme dizilimi, kompoziti oluşturan fiber malzemelerinin mekanik özellikleri, çekme ve basma dayanımları, matris yapısı gibi etkenlere göre değişebilmektedir. Aramid fiberin oldukça esnek, karbon ve E-cam fiberlerin ise gevrek olduğu bilinmektedir. Karbon ve E-cam fiberlerin aramide göre rijitlikleri yüksek olduğu için dış tabaka olarak kullanılmaları uygun olacaktır. Üç farklı ortam için de, her iki dış yüzeyinde karbon bulunan CAG (karbon/aramid/cam) hibrit kompozitinin kritik yanal burkulma yükünün, her iki dış yüzeyinde de cam fiber bulunan GAC (cam/aramid/karbon) hibrit kompozitine nazaran daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin, karbon fiberin güçlü ve yüksek rijitliğe sahip olmasından dolayı, uygulanan kuvveti taşıma kapasitesinin E-cam’a göre daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir” (Öndürücü ve Kayıran, 2018, s. 163).

Genel olarak dişli çarklarda kullanılan kompozit malzemelerin soğuk ortamlarda özellikleri tabloda olduğu gibidir.

Tablo 4. Kompozit malzemelerin soğuk ortamlarda özellikleri

Sıra No	Numune Adı	Yoğunluk(gr/cm ³)	Yük (N)	Hız (m/s)	Sıcaklık (°C)
1	PA6	1.14	60 80 100	0,5 1	-30
2	PA6G	1.15	60 80 100	0,5 1	-33
3	POM	1.41	60 80 100	0,5 1	-42
4	PEEK	1.31	60 80 100	0,5 1	-27
5	PET	1.44	60 80 100	0,5 1	-30

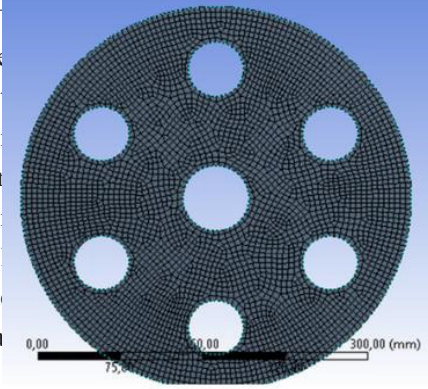
“Döndüren ve döndürülen dişlilerin yan ve yüzey boyutları farklı olmasından dolayı, kayma sürekli olarak kök ve uç kısmında meydana gelmektedir. Kayma oranları dişlilerin kavrama boyunca değişmekte, yuvarlanma dairesi temas noktasında sıfır olmaktadır. Yuvarlanma ve kayma tekrar meydana gelmekte (Şekil 3.4b), bununla birlikte sürtünme kuvvetleri ilk temas noktasına göre ters yönde olmaktadır. Kayma hareketinden dolayı oluşan sürtünme kuvvetlerinin yönleri Şekil 3.4c’de görülmektedir. Sürtünme kuvvetlerinin yönü üst dişlide (döndürülen) dişlilerin temas noktasına doğrudur, alt dişlide (döndüren) ise temas noktasından dışarı yöndedir (Rifat YAKUT. Bazı termoplastik dişli çarkların yük taşıma kapasitesi ve hasar oluşumunun deneysel olarak incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, 2008; s.52)). Kompozit malzeme uzun süre nemli ortamda bulunması sonucu su emdiği, kompozit malzemede şişme ve kalıcı şekil değiştirmeler olduğu, fiber matris arasına yerleşen tuzlu suyun korozif etkisi nedeniyle matriste mikro bozunmalar, fiber-matrislerin ara yüzeyinde zayıflamalar oluştuğundan mekanik özelliklerde düşüş meydana gelebileceği kanaatine varılmıştır.

3. ANSYS Sonlu Elemanlar Analizi

3.1. Kompozit Dişlinin Analizi

Hazırlanan farklı tasarımlar için ANSYS 15.0.7 sonlu elemanlar yazılımında yapısal analizler yapılmıştır. Yapısal analizlerin yapılabilmesi için ANSYS Workbench ortamına “Static Structural” analiz tanımlanmıştır. “Analizin “Engineering Data”, “Geometry”, “Model”, “Setup”, “Solution” ve

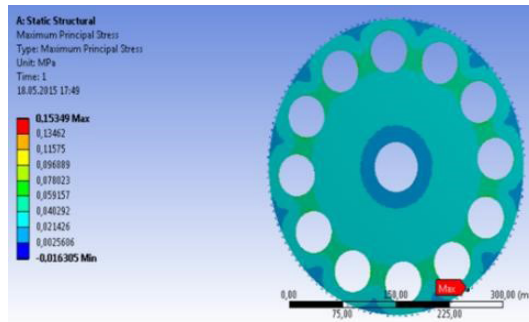
“Re
bu
tan
Vor
tan
ve
eld
ana



erekir. Yazılımın arayüzünde sırasıyla
çalışmada bunlara ek olarak parametre
ksenindeki açısal hızı giriş parametresi,
leğıştirmeleri sonuç parametresi olarak
açısal hızları (300, 400, 500, 600, 800
nuçları her bir tasarım için tek analizde
npozit bir dişlinin tasarımı, üretimi ve
5)).

Şekil 9. Karbon fiber pre-preğin sonlu eleman modeli

ANSYS Malzeme kütüphanesinden malzeme tanımlamaları yapılır. Malzeme kütüphanesi içerisinde “Composite Materials” sekmesinden Karbon pre-preg, epoksi reçine ve köpük malzemeleri, “General Materials” sekmesi altında ise dişli ve alüminyum parçanın malzemeleri seçilmiştir. Bu seçimler malzemelerin analiz ortamına gelmesini ve kullanıcının analiz ortamında istediği malzemeyi, istediği parçaya tanımlamasını sağlar. Şayet analizde kullanacağı malzeme malzeme kütüphanesinde tanımlı değilse, kullanıcı özelliklerini bildiği malzemeyi malzeme kütüphanesi ara yüzünde tanımlayabilme kolaylığına sahiptir.



Şekil 10. Analiz sonuçlarının gösterilmesi

“Engineering Data” sekmesinde ANSYS malzeme kütüphanesinden analizde kullanılacak malzemeler seçilir. “Geometry” sekmesinde dişlinin katı modellerinin analiz ortamına getirilmesi sağlanır. “Model ve Setup” sekmelerinde dişlinin sonlu eleman ağı oluşturulur, dişlinin sınır koşulları tanımlanır ve dişliye maruz kaldığı yükler uygulanır. “Solution ve Results” sekmelerinde hangi sonuçları görmek istediğimiz tanımlanır. “Parameters” sekmesinde ise analiz girdilerinde ve çıktılarında hangi değişkene göre analiz yapmak istediğimiz tanımlanır.

Engineering Data Sources		
A	B	C
1	Data Source	Location
		Description
		magnetic analysis.
8	Thermal Materials	Material samples specific for use in a thermal analysis.
9	Fluid Materials	Material samples specific for use in a fluid analysis.
10	Composite Materials	Material samples specific for composite structures.
* Click here to add a new library		

Outline of Composite Materials		
A	B	C
1	Contents of Composite Materials	Add
		Description
5	Epoxy_Carbon_UD_395GPa_Prepeg	
6	Epoxy_Carbon_Woven_230GPa_Prepeg	
7	Epoxy_Carbon_Woven_230GPa_Wet	
8	Epoxy_Carbon_Woven_395GPa_Prepeg	

Properties of Outline Row 7: Epoxy_Carbon_Woven_230GPa_Wet		
A	B	C
1	Property	Value
		Unit
2	Density	1,451E-09
		mm ^{^-3} t
3	Orthotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	
4	Coefficient of Thermal Expansion	
5	Coefficient of Thermal Expansion X direction	2,2E-06
		C ^{^-1}
6	Coefficient of Thermal Expansion Y direction	2,2E-06
		C ^{^-1}

Şekil 11. ANSYS' de malzeme tanımlamalarının yapılması

Sonlu elemanlar metodunun önemli bir özelliği, tüm problemi temsil etmek üzere elemanları bir araya getirmeden önce, her bir elemanın ayrı ayrı formüle edilebilmesidir. Örneğin; bir gerilme analizi probleminde her bir elemana etki eden dış kuvvetler ile elemanın düğüm noktalarının, yer değiştirme bağlantıları bulunarak tüm sistem çözülebilir.

3.Sonuç

Yapılan bu çalışmada, bazı termoplastik dişli çarkların soğuk ortamlarda yük taşıma kapasitesi ve hasar oluşumunun deneysel olarak incelenmesi yapılmıştır. Son yıllarda dişli çarklarda performans / ağırlık oranının geliştirilmesi için birçok inovatif tasarım literatürde ve uygulamada görülmektedir. Kompozit malzemeler yüksek dayanımlarının yanında sahip oldukları düşük yoğunlukları ve yüksek sönümleme kabiliyetleri nedeniyle birçok yapısal elemanda olduğu gibi dişli çarkların tasarımında da artık iyi bir alternatif olarak görülmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Hibrit kompozit malzemelerin İstifleme diziliminin, farklı fiber ve oryantasyon açılarının mekanik özellikleri etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

- Soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin, oda koşullarında bekletilen malzemelerin E1 elastisite modüllerinin ve kopma mukavemetlerine nazaran daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.
 - Tüm çevresel koşulları için; en yüksek mekanik özelliklerin 150 gün soğutucuda bekletilen numunelerde ortaya çıktığı belirlenmiştir.
 - Hibrit kompozit numunelerden; simetrik dizilişli malzemelerin E1 elastisite modülünün antisimetrik dizilişli malzemelerin E1 elastisite modülüne göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.
 - Hibrit kompozit numunelerden; simetrik dizilişli malzemelerin E1 elastisite modülünün antisimetrik dizilişli malzemelerin E1 elastisite modülüne göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.
 - Nemin ve tuzlu suyun hibrit kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini ve dayanımını olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.
1. Deneylerde kullanılan PA6 ve POM mühendislik plastik malzemelerinin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artışı ile azalma gösterirken, PA6G, PEEK ve PET mühendislik plastiklerinin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artışı ile artma eğilimi göstermiştir.
 2. 0.5m/s kayma hızında PA6G, PEEK ve PET mühendislik plastikleri için yük 60 N'dan 100 N'na artırıldığı zaman sürtünme katsayısındaki artış sırasıyla % 52, % 22 ve % 5 oranında artmıştır.
 3. Deneylerde kullanılan malzemeler içerisinde sürtünme katsayısı en düşükten en büyüğe sıralandığında aşağıdaki gibi bir sıralama çıkarılabilmektedir. PET<PA6G< POM<PEEK<PA6
 4. Deneylerde kullanılan malzemelerin aşınma ve sürtünme katsayısındaki değişikliği artan yük, hızla veya zamanla pim ve disk arasında oluşan ara tabakanın etki ettiği sonucu çıkarılabilir.
 5. PA6 polimer malzemesinin 0.5m/s kayma hızındaki aşınma oranı incelendiğinde yükün %66 oranında artırılması sonucunda aşınma oranı dikkate değer oranda artmaktadır. Bu artış yaklaşık olarak %100 civarındadır.

KAYNAKLAR

1. Abdel, B.M.A.M, Mourad, A.H, Idrisi, A.H, Wrage, M.C. (2019).Longterm durability of thermoset composites in seawater environment.Composites Part B,168, pp. 243–253.
2. Abdullah, M.Z.B.; Ahmad, M.A.; Abdullah, A.N.; Othman, M.H.; Hussain, P.; Zainuddin, A. Metal release of multilayer coatings by physical vapour deposition (PVD). *Procedia Eng.* 2016, 148, 254–260.
3. Abdurohman, K,Adhitya, M. (2019).Effect of water and seawater on mechanical properties of fiber reinforced polymer composites: a review for amphibious. *ISAIME 2019, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*,694-012035.
4. A. Pogačnik, A. Kupec, M. Kalin, Tribological properties of polyamide (PA6) in selfmated contacts and against steel as a stationary and moving body, *Wear* 378–379 (2017) 17–26, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.118>.
5. Barut, C. 2015. Aramid esaslı kompozit malzemelerin balistik performanslarının ve mekanik davranışlarının incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 66s, Afyonkarahisar.
6. Babtista, A.; Silva, F.; Porteiro, J.; Miguez, J.; Pinto, G. Sputtering Physical Vapour Deposition (PVD) Coatings: A critical Review on Process Improvement and Market Trend Demands. *Coatings* 2018, 8, 402.
7. Bijwe J., Rajesh J. J., Jeyakumar A., Ghosh A. K., Tewari U. S., “Influence of solid lubricants and fibre reinforcement on wear behaviour of polyethersulphone”, *Tribology Int.*, 33 (2000), p. 697-706
8. B. Cerne, D. Zorko, J. Duhovnik, J. Tavcar, R. Zavbi, Flash Temperature Analysis Method for Polymer Gears with.
9. Consideration of Deviations in Meshing Kinematics, in *ASME 2019 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 18–21 August, Anaheim, California, USA, 2019, American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, doi: 10.1115/DETC2019-97824.
10. Binali, R., Coşkun, M., & Neşeli, S. (2022). An Investigation of Power Consumption in Milling AISI P20 Plastic Mold Steel By Finite Elements Method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(34), 513-518.
11. Binali, R., YALDIZ, S., & Neşeli, S. Investigation of Power Consumption in the Machining of S960QL Steel by Finite Elements Method. *European Journal of Technique (EJT)*, 12(1), 43-48.
- 12.Binali, R., YALDIZ, S., & Neşeli, S. (2021). S960QL Yapı Çeliğinin İşlenebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(31), 85-91.
13. Bowden, F.P. and Tabor, D., “Friction, lubrication and wear: a survey of work during the last decade”, *Br. J. Applied Physics* 17, 1966, 1521.
14. Crino M., Pipes R. B., Friedrich K., “The abrasive wear behaviour of continuous fibre polymer composites”, *J. Material Science*, 22, (1987), p. 2481-2492.
15. Elmquist, J.L. Deciding when to go plastic. *Gear Technol.* 2014, 46–47.
16. Erhard, G. *Konstruieren mit Kunststoffen*; Carl Hanser Verlag: Wien, Austria, 2008.
17. Erklığ, A., Yeter, E., Bulut, M. 2013. The Effects of CutOuts on Lateral Buckling Behavior of Laminated Composite Beams. *Composite Structures*, 104, 54-59.

18. Evans, S.M.; Keogh, P.S. Wear mechanisms in polyoxymethylene spur gears. *Wear* 2019, 428–429, 356–365.
19. F.R. Stohler, K. Berger, Stabilization of polyacetals, *Die Angewandte Makromolekulare Chemie: Applied Macromolecular Chemistry and Physics*, vol. 176, iss. 1, pp. 323-332, 1990, doi: 10.1002/apmc.1990.051760125. 16. G. Kalacska, An engineering approach to dry friction behaviour of numerous engineering plastics with respect to the mechanical properties, *Express Polym. Lett.* 7 (2012) 199–210, <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.201318>.
20. Hlebanja, J.; Hlebanja, G. Lubrication Efficiency of SGears; VDI-Berichte: Düsseldorf, Germany, 2002; pp. 1065–1076.
21. Hoskins, T.J.; Dearn, K.D.; Chen, Y.K.; Kukureka, S.N. The wear of PEEK in rolling-sliding contact simulation of polymer gear applications. *Wear* 2014, 309, 35–42.
22. Itoh, M., Inoue, K., Hirayama, N., Sugimoto, M., Seguchi, T. (2002). Fiber reinforced plastics using a new heat-resistant silicon based polymer. *Journal of materials science*, 37 (17), 3795-3801.
23. Kayıran, H.F. (2018). Farklı ortam koşullarına maruz hibrit kompozit plakalarda burkulma davranışının incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 139, Isparta.
24. K. Mao, P. Langlois, Z. Hu, K. Alharbi, X. Xu, M. Milson, W. Li, C. Hooke, D. Chetwynd, The wear and thermal mechanical contact behaviour of machine cut polymer gears, *Wear*, vol. 332-333, pp. 822- 826, 2015, doi: 10.1016/j.wear.2015.01.084.
25. Li, W., A. Wood, R. Weidig and K. Mao. “An Investigation on the Wear Behavior of Dissimilar Polymer Gear Engagements,” *Wear*, Vol. 271, pp. 2176–2183, 2011.
26. L. Zumofen and A. Kirchheim, “Feasibility Investigation of Gears Manufactured by Fused Filament Fabrication,” *Ind. Addit. Manuf.*, 304–320 (2021).
27. *Materials for Plastic Gears*, AGMA 920- A01, American Gear Manufacturers Association, (2001).
28. Martinez, D.; Hosson, J.M.T. On the deposition and properties of DLC protective coatings on elastomers: A critical review. *Surf. Coat. Technol.* 2014, 258, 677–690.
29. M. H. Cetin and S. Korkmaz, “Investigation of the concentration rate and aggregation behaviour of nano-silver added colloidal suspensions on wear behaviour of metallic materials by using ANOVA method,” *Tribol. Int.*, 147: 106273 (2020).
30. Mourad, A. H. I., Magid, B. M. A., Maaddawy, T. E. Grami, M. E. (2010). Effect of seawater and warm environment on glass/epoxy and glass/polyurethane composites. *Applied Composite Materials*, 17, 557-573.
31. 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*.
32. Öndürücü, A., Kayıran, H.F., (2018). Hibrit Kompozit Kirişlerin Yanal Burkulma Davranışlarına Soğuk Ortamın Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 22, Özel Sayı, 156-164.
33. Öndürücü, A. (2012). The effects of seawater immersion on the bearing strength of woven glass-epoxy prepreg pinloaded joints. *International Journal of Damage Mechanics*, 21, 153-170.
34. Öndürücü, A., Kayıran, H.F., (2019). Effect of Seawater on the Buckling Behavior of Hybrid Composite Plates. *Journal of Composite Materials*, 53 (9), 1135-1144.

35. Pişkin, E., “Poliasetaller”, Polimerler II Mühendislik Polimerleri, Pagev, s. 53-66, İstanbul, 2000.
36. P. Navet, C. Changenet, F. Ville, D. Ghribi, and J. Cavoret, “Thermal Modeling of the FZG Test Rig: Application to Starved Lubrication Conditions”, *Tribol. Trans.*, 63(6): 1135- 1146 (2020).
37. Pedrosa, P.; Rodrigues, M.S.; Neto, M.A.; Oliveira, F.J.; Silva, R.F.; Borges, J.; Amaral, M.; Ferreira, A.; Godinho, L.H.; Carvalho, S.; et al. Properties of CrN thin films deposited in plasma-activated ABS by reactive magnetron sputtering. *Surf. Coat. Technol.* 2018, 349, 937–945.
38. Rajesh J. J., Bijwe J., Tewari U. S., “Influence of fillers on abrasive wear of short glass fibre reinforced reinforced polyamide composites”, *J. Material Science*, 36, (2001), p. 351-356.
39. Ramakrishnan, R. and K. Mao. “Minimization of Shrinkage in Injection Molding Process of POM Polymer Gear Using Taguchi DOE Optimization and ANOVA Method,” *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, Vol. 4, Issue 2, pp. 72–79, 2017.
40. R. Hertzberg, M. Skibo, J. Manson, Fatigue crack propagation in polyacetal, *Journal of Materials Science*, vol. 13, iss. 5, pp. 1038-1044, 1978, doi: 10.1007/BF00544699.
41. Sayman, O., Benli, S., Arman, Y., Doğan, T. 2009. Karbon cam lifi hibrit kompozit malzemelerin farklı ortam koşulları altında düşük hızlardaki darbe dirençlerinin geliştirilmesi. Tübitak Projesi, Proje No: 107M332, 81s, İzmir.
42. Singh, A.K.; Siddhartha. Noise Emission form Functionally Graded Materials based Polypropylene Spur Gears—A Tribological Investigation. *Mater. Today Proc.* 2018, 5, 8199–8205.
43. S. Ahmed, M. Basiti, J.C. Suhling, P. Lall, Characterization of Doped SAC Solder Materials and Determination of Anand Parameters, Vol. 2, *Advanced Electronics and Photonics, Packaging Materials and Processing; Advanced Electronics and Photonics: Packaging, Interconnect and Reliability; Fundamentals of Thermal and Fluid Transport in Nano, Micro and Mini Scales of International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition*, (2015), <https://doi.org/10.1115/IPACK2015-48624>.
44. S. Kirupasankar, C. Gurunathan, R. Gnanamoorthy, Transmission efficiency of polyamide nanocomposite spur gears, *Mater. Des.* 39 (2012) 338–343, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.02.045>.
45. Sobolak, M.; Połowniak, P.; Cieplak, M.; Oleksy, M.; Bulanda, K. Application of polymeric materials for obtaining gears with involute and sinusoidal profile. *Polimery* 2020, 65, 563–567.
46. Sugözü D., Mutlu D., “Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme ve Aşınmaya Etkisinin İncelenmesi” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2008, (4) 33-40.
47. Torabizadeh, M. A. (2013). Tensile, compressive and shear properties of unidirectional glass-epoxy composites subjected to mechanical loading and low temperature services. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 20, 299-309.
48. Vasiliev, V. V., Morozov, E. (2001). *Mechanics and analysis of composite materials*: Elsevier Publ.
49. Yadagiri, N.Naresh, B. Phanindra,Varalaxmi, P.(2020).Mechanical Properties of Coconut–Carbon Fiber Reinforced Hybrid Composites.Recent Trends in Mechanical Engineering, 519-526.

50. Yalçın G., Neşeli S., Terzioğlu H., Ağaçayak A.C. (2018). Fatigue Tester Design and Frame Analysis for Estimation of Fatigue Life of Helical Compression Springs. International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'18), 563-566. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4509752)
51. Y. Savion, A. Sharon-Buller, Y. Kalisker, N. Kalisker, M. Sela, The use of Dental D (polyacetal resin) as an alternative for chrome-cobalt removable partial denture: a case report, Refuat Hapeh Vehashinayim (1993), vol. 18, iss. 3-4, pp. 30- 1, 108, 2001.
52. Yılmaz S.S., Ünlü B. S., Varol R., “Borlanmış ve Bilyalı Dövuşmüş Demir Esaslı T/M Malzemelerin Aşınma ve Mekanik Özellikleri” Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2008, (1) 7-16.
53. Zor, M. 2003. Delamination Width Effect on Buckling Loads Simply Supported Woven-Fabric Laminated Composite Plates Made of Carbon/Epoxy. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 22(17), 1535-1546.
54. Zorko, D.; Kulovec, S.; Duhovnik, J.; Tavčar, J. Durability and design parameters of a Steel/PEEK gear pair. Mech. Mach. Theory 2019, 140, 825–846.
55. Zorko, D.; Demšar, I.; Tavčar, J. An investigation on the potential of bio-based polymers for use in polymer gear transmissions. Polym. Test. 2021, 93, 106994.
56. Z. Hu, K. Mao, An investigation of misalignment effects on the performance of acetal gears, Tribology International, vol. 116, pp. 394-402, 2017, doi: 10.1016/j.triboint.2017.07.029.
57. Xiansong, H.; Wangqing, W. A Practical Numerical Approach to Characterizing Non-Linear Shrinkage and Optimizing Dimensional Deviation of Injection-Molded Small Module Plastic gears. Polymers 2021, 13

BÖLÜM 6

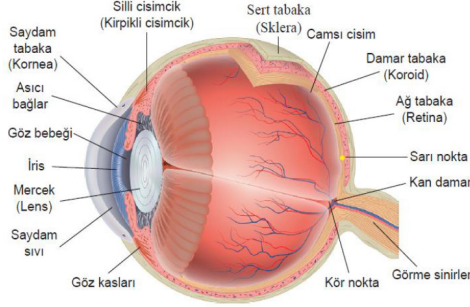
SANTRAL SERÖZ KORYORETİNOPATİ HASTALIĞININ DERİN ÖĞRENME İLE TEŞHİSİ: DERLEME MAKALESİ

A. E. GÖK¹, Ş. TAŞDEMİR²

GİRİŞ

İnsanların, çevreden gelen uyarıyı algılamasını sağlayan beş duyu organından biri olan göz, katmanlı ve küresel bir yapıdadır. En iç kısımda retina katmanı, orta kısımda iris, koroid ve siliyer cisimden oluşan orta katman ve en dış kısımda da kornea ile skleradan oluşan sert katman olmak üzere üç ana katmandan oluşur [1].

Retina katmanında, sinir sistemiyle birlikte çalışarak, görme işleminin gerçekleşmesini sağlayan, ışığa ve renklere duyarlı hücreler bulunmaktadır. Orta katman, gözün beslenmesinden sorumlu olan kan damarlarının bulunduğu kısımdır. En dıştaki sert katman ise, gözü dış etkilerden koruyan ve gelen ışınların ilk kez kırıldığı katmandır [1-3]. Göz anatomisi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Göz anatomisi [3]

Günümüzde, milyonlarca insanı etkileyen, santral seröz koryoretinopati veya santral seröz retinopati (SSKR), diyabetik retinopati, yaşa bağlı maküla dejenerasyonu, maküler açıklık, diyabetik maküla ödemi, retina dekolmanı ve retinit pigment dökülmesi gibi çeşitli göz hastalıkları bulunmaktadır [4, 5].

1 Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir/ Türkiye, aliemregok@nevsehir.edu.tr

2 Selçuk Üniversitesi, Konya/Türkiye, stasdemir@selcuk.edu.tr

Bu hastalıkların teşhisi ve uygun tedavi yöntemlerinin belirlenmesinde, optik koherens tomografi (OKT), fundus floresein anjiyografi (FFA), indosiyenin yeşili anjiyografi ve fundus fotoğraflama (FF) gibi çeşitli görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır [6-9].

Derin öğrenme ve retinal görüntü analizi, bu tarz görüntüleme tekniklerinin kullanıldığı alanlarda artan veri sayısı nedeniyle uzayan teşhis süreleri, uzmanlar arasında yaşanan görüş farklılıkları ve verilerin işlenmesinde yaşanan zorluklar gibi olumsuz durumlara çözüm getirmiştir [5, 10, 11].

Bu çalışmada, SSKR hastalığının derin öğrenme ile teşhisi için gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir. SSKR teşhisi için kullanılan farklı görüntüleme teknikleri ve bu görüntülerin işlenmesi için kullanılan derin öğrenme modelleri açıklanmıştır. Çalışmanın ana yapısı şu aşamalardan oluşmaktadır:

- SSKR nedir? Çeşitleri ve tedavisi, kullanılan görüntüleme yöntemleri
- Derin öğrenme nedir?
- SSKR teşhisinde derin öğrenme yaklaşımları
- Çalışmalarda kullanılan veri setleri

Çalışmada kullanılan kaynaklar için aşağıdaki veri tabanlarında “deep learning, central serous chorioretinopathy, image process, fundus images, optical coherence tomography” anahtar kelimeleri kullanılarak literatür taraması gerçekleştirilmiştir:

1. Web of Science (<https://www.webofscience.com>)
2. ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com>)
3. Springer (<https://www.springer.com/gp>)
4. MDPI (<https://www.mdpi.com>)
5. Dergipark (<https://dergipark.org.tr/tr>)
6. Google Scholar (<https://scholar.google.com>)
7. IEEE Xplore (<https://ieeexplore.ieee.org>)

IV. SANTRAL SERÖZ RETİNOPATİ

Santral seröz koryoretinopati veya diğer adıyla santral seröz retinopati (SSKR), en sık karşılaşılan göz hastalıklarından biridir. SSKR, sinirsel retinanın ayrılması sonucu, sinirsel retina ve retina pigment epiteli arasında sıvı birikmesinden kaynaklanmaktadır. Başlangıçta hafif veya orta düzeyde görme bozukluğuna yol açmaktadır [12-15]. Ancak, retina altı sıvının temizlenememesi durumunda, görme yetisinin kaybına kadar varan ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Bazı hastalarda herhangi bir tedaviye ihtiyaç

duyulmadan iyileşebilen SSKR, akut ve kronik olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, tedavide uygulanacak yöntemin belirlenmesinde önem taşımaktadır [16-18]. Bu sınıf ayrımı için kesin olarak belirlenmiş kurallar bulunmamaktadır. Akut veya kronik olma durumuna, hastadan gelen değerlendirmeye göre karar verilmektedir [18].

Akut SSKR, küçük bir ayrılmadan kaynaklanan ani görme bozukluğuna neden olmaktadır ve genellikle 2-3 ay içerisinde kendiliğinden düzelmektedir. Kronik SSKR ise daha büyük ve tehlikeli ayrılmalardan kaynaklanmaktadır. Bu hastalarda görme problemleri tam olarak iyileşmemektedir [12, 19]. Şekil 2’de sağlıklı ve SSKR teşhisi koyulmuş gözlerin görüş farkı verilmiştir.

Erkeklerde, kadınlara oranla daha sık rastlanılan SSKR, çoğunlukla 25-50 yaş aralığındaki kişilerde görülmektedir [14, 19, 20]. Akut SSKR teşhisi, orta yaşlı kişilerde daha kolay gerçekleştirilmektedir. Yaşlı kesimde ise, yaşa bağlı maküla dejenerasyonu gibi çeşitli hastalıkların da ortaya çıkması nedeniyle, teşhis işlemi daha zordur. Buna ek olarak, steroid tedavisi uygulanan kişilerde de SSKR teşhisi zorlaşmaktadır [21]. SSKR için, kortikosteroid kullanımı, anksiyete, gebelik, stres, kan basıncı gibi çeşitli risk faktörleri bulunmaktadır [22, 23]. SSKR ile ilişkili durumlar Tablo 1’de verilmiştir.

Teşhis ve sınıf ayrımının ardından, SSKR tedavisi için uygun olan yöntem belirlenmektedir. Tedavi için, anti vasküler endotelial büyüme faktörü tedavisi, verteporfin fotodinamik tedavisi, lazer fotokoagülasyon, kortikosteroid inhibisyonu, adrenerjik reseptör inhibisyonu ve eşik altı mikropulse lazer gibi yöntemler bulunmaktadır [9, 24].

SSKR teşhisinde genellikle OKT, FFA ve FF görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır [24]. 1990’lı yıllarda geliştirilen OKT, ultrason görüntülemeye benzer bir yapıya sahiptir. Ultrasonda ses kullanılırken, OKT’de ışık kullanılmaktadır [7, 25, 26]. Geniş bantlı bir ışık kaynağından çıkan ışınlar, bir referans ışınıyla birlikte, retinaya gönderilmektedir. Retinadan yansıyan ışınlar, referans ışınına müdahale etmekte ve bu modelin incelenmesiyle dokunun derinliği ölçülmektedir [25, 26]. Örnek bir OKT görüntüsü Şekil 3’te verilmiştir.



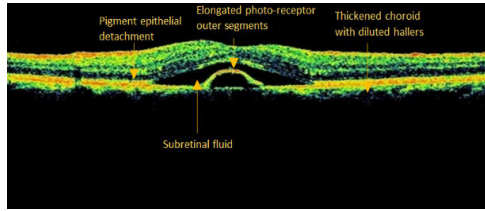
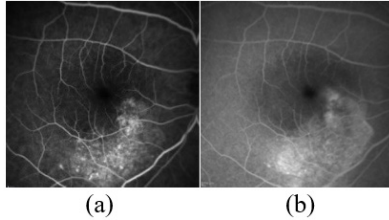
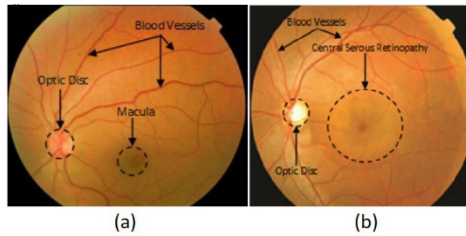
(a)

(b)

Şekil 2. Sağlıklı göz (a) ve SSKR hastası göz(b) [27]

Tablo 1. SSKR ile ilişkili durumlar [15]

Ülseratif kolit	Gebelik
Hiperkortizolizm	Alerjik rinit
Crohn hastalığı	Sarkoidoz
Kortikosteroid tedavisi	Sinüzit
Böbrek hastalıkları	Organ nakli
Kelebek hastalığı(Lupus)	Romatizmal artrit
Astım	Sjögren Sendromu

**Şekil 3.** SSKR hastası bir gözün OKT görüntüsü [7]**Şekil 4.** FA öncesi (a) ve sonrası (b) fundus görüntüleri [28]**Şekil 5.** Sağlıklı (a) ve SSKR hastası (b) gözlerin FF görüntüleri [7]

Bir diğer görüntüleme tekniği olan FFA'da, gözdeki kan damarlarına floresan bir madde enjekte edilmektedir. Bu işlem sonrasında daha belirgin hale gelen kan damarları sayesinde daha net bir görüntü elde edilmektedir [7, 28]. FA uygulanan ve uygulanmayan fundus görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir.

Son olarak, OKT alternatifi olarak kabul edilen FF, retinal kırmızı olmadan gerçekleştirilen bir görüntüleme tekniğidir. Yüksek çözünürlüklü ve tutarlı görüntüler elde edilmesini sağlayan bu teknik, muayenelerde ve hastalık kayıt işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [7, 28, 29]. Şekil 5'te FF tekniğiyle elde edilen görüntüler verilmiştir.

V. DERİN ÖĞRENME

Makine öğrenmesinin bir alt dalı olan derin öğrenme, büyük miktarda veri kullanarak, verilerde bulunan karmaşık yapıları ve modelleri öğrenebilen bir yapay sinir ağı türüdür. Sahip olduğu çok sayıda işlem katmanı sayesinde verileri soyutlayarak çeşitli işlemler gerçekleştirmektedir. İşlemler sonrasında, bir geri yayılım algoritması kullanarak parametrelerini düzenlemektedir [30, 31]. Diğer bir deyişle, derin öğrenme, çeşitli algoritmaların bir araya getirilmesiyle oluşturulan kütüphaneleri kullanarak, kendisine sunulan problemleri çözmeyi amaçlayan sistemlerdir [32].

Günümüzde oldukça yaygınlaşan derin öğrenme uygulamaları, medikal görüntü işleme, metin işlemleri, doğal dil işleme, sınıflandırma, segmentasyon, görüntü tanıma, veri sıkıştırma, ses işleme gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Derin öğrenmenin bu kadar yaygınlaşmasında, artan veri setleri, artan veri boyutu, geliştirilen çeşitli derin öğrenme kütüphaneleri, artan model sayısı ve gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen başarılı sonuçlar etkili olmuştur [33, 34]. Bazı derin öğrenme kütüphaneleri şu şekildedir: PyTorch, Keras, Caffe, Theano, Tensorflow, MATLAB Deep Learning Toolbox ve CNTK. Bu kütüphanelerin hepsi NVIDIA tarafından geliştirilmiş olan Cuda veya CUDNN ara yüzleri sağlamaktadır [35, 36].

VI. SSKR TEŞHİSİNDE DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI

Derin öğrenme ve görüntü işleme teknolojilerinin hastalık teşhisindeki başarılı performanslarıyla birlikte, medikal alandaki çalışmalar da hız kazanmıştır. Literatürde bu konuyla ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. 2020 yılında, Yi Zhen ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, renkli fundus fotoğrafları üzerinde derin öğrenme teknikleri kullanarak SSKR hastalığının teşhis edilme durumu araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, 1329 tanesinde SSKR teşhis edilmiş olmak üzere, 2504 adet fundus fotoğrafından oluşan, özel bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti, eğitim, doğrulama ve test işlemleri için 8:1:1 oranında 3 parçaya ayrılmıştır. Inception-V3 mimarisiyle gerçekleştirilen çalışmanın sonucunda, sistemin %85.7 oranında doğru sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. İki farklı uzmanla yapılan kıyaslamada ise, uzmanların %83.3 ve %70.9 oranlarında doğru teşhisler koyduğu görülmüştür [37].

Yang Wen ve arkadaşları tarafından, 2020 yılında yapılmış olan bir diğer çalışmada, fundus fotoğrafları üzerinden SSKR ve santral eksüdatif koryoretinopatiyi (SEKR) teşhis etmek için iki dallı bir derin öğrenme ağı geliştirilmiştir. Dallardan birisi sağlıklı/hasta ayrımını gerçekleştirirken, diğeri ise retinopatileri sınıflandırma işlemini gerçekleştirmiştir. İçerisinde 4231 hastaya ait 15163 görüntü bulunan ve özel bir veri seti olan SPPH setinden, 240'ı sağlıklı, 478'i hasta (409 SSKR, 69 SEKR) olmak üzere toplamda 718 görüntü seçilmiştir. Seçilen görüntülerin %80'i eğitim için, kalan kısmı ise test işlemlerinde kullanılmıştır. ShuffleNet-V2 mimarisi kullanılan çalışmanın sonuçlarına göre, %97.69 doğruluk, %99.58 kesinlik, %98.87 hassasiyet elde edilmiştir [38].

2020 yılında Jeewoo Yoon ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, OKT görüntüleri kullanarak SSKR teşhisi ve akut-kronik ayrımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, 900 adet sağlıklı ve 1460 adet hastalıklı fotoğraf kullanılmıştır. CNN temelli bir derin öğrenme modeli oluşturularak gerçekleştirilen çalışmada, SSKR teşhisinde %93.8 ve akut-kronik sınıflandırmasında %97.6 doğruluk payına sahip sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen performans kıyaslamasına göre, önerilen derin öğrenme modeli, VGG-16 ve Resnet-50 gibi modellerden daha başarılı sonuçlar üretmiştir [39].

Junseo Ko ve arkadaşları tarafından, 2022 yılında yapılan bir çalışmada, SSKR hastalığının OKT görüntülerinden teşhisi için, derin öğrenme temelli bir sınıflandırma modeli geliştirilmiştir. Hangil Göz Hastanesi'nden alınan, 5375 tanesi SSKR ve 2050 tanesi sağlıklı olmak üzere, toplamda 7425 adet görüntünün kullanıldığı bu sistem, tek görüntü tahmin ve nihai karar sınıflandırma modüllerinden oluşturulmuştur. Yapılan testler sonucunda, CNN ve CNN-LTSM gibi diğer uçtan uca modellere göre %10 daha başarılı olan bu sistemin doğruluk payının %94.2 olduğu görülmüştür [16].

2021 yılında, Fabao Xu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, lazer tedavisi sonrası SSKR hastalığının yineleme durumunun derin öğrenme ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, 6 farklı derin öğrenme modeli ve bir topluluk öğrenmesi modeli eğitilmiştir. Çeşitli görüntüleme teknikleri kullanılarak elde edilen 6732 görüntü Zhongshan Oftalmik Merkezi'nden (ZOM) ve 554 görüntü de Xiamen Göz Merkezi'nden (XGM) alınarak bir veri seti oluşturulmuştur. ZOM'den alınan görüntüler eğitim ve test amaçlı kullanılırken, XGM'den alınan görüntüler yalnızca test amaçlı kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, topluluk öğrenmesi modelinin %94 ile en yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür [40].

Tae Keun Yoo ve arkadaşları tarafından 2022 yılında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, SSKR hastalığının tespiti için subretinal sıvı lezyon segmentasyonunun derin öğrenme kullanılarak analiz edilmesi önerilmiştir. SSKR hastası kişilerden elde edilen 194 adet fundus görüntüsü, eğitim için %90 ve test için %10 oranlarında iki parçaya ayrılmıştır. Pix2pix algoritması temelli bir U-Net modeli kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, %86.2 oranında doğru sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, pix2pix algoritması temelli U-Net modeli, SSKR hastalığının subretinal sıvı lezyon segmentasyonu üzerinden teşhisi için uygundur [41].

2021 yılında, Syed Al E Hassan ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, OKT görüntülerinden SSKR tespiti gerçekleştirmek için bir çerçeve önerilmiştir. Önceden eğitilmiş derin öğrenme modelleriyle birlikte kullanılan bu çerçeve, modellerin performansını arttırmayı, daha doğru ve hızlı bir şekilde teşhis işlemini gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Herkese açık bir veri seti olan OKT Görüntü Veri Tabanı (OCTID) kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, 102 tanesi SSKR, 207 tanesi sağlıklı olmak üzere toplamda 309 adet OKT görüntüsü kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, önerilen çerçevenin AlexNet ile %99.64, GoogleNet ile %96.39 ve ResNet-18 ile de %98.19 oranlarında doğru sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir [42].

Son olarak, Yukihiro Aoyama ve arkadaşları tarafından 2021 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, OKT ile elde edilen koroid damar görüntülerinin derin öğrenme ile analiz edilerek SSKR hastalığının teşhis edilmesi amaçlanmıştır. Tokyo Kadın Tıp Üniversitesi Oftalmoloji Bölümü'nden elde edilen, 53 tanesi SSKR, 47 tanesi sağlıklı olmak üzere toplamda 100 adet görüntü üzerinde gerçekleştirilen bu çalışmada, eğitim için 80 adet görüntü, test için 20 adet görüntü ayrılmıştır. Sony tarafından geliştirilen Sinir Ağı Konsolu (NNC) ve Google tarafından geliştirilen Keras-Tensorflow yazılımları, 16 katmanlı CNN modelleri hazırlamak için kullanılmıştır. Çalışmada, NNC için %95, Keras için %88 oranlarında doğru sonuçlar elde edilmiştir [43].

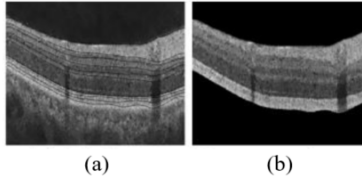
VII. VERİ SETLERİ

Medikal alanda kullanılan görüntüleme çeşitlerinin artmasıyla birlikte, özel veya herkese açık veri tabanlarının sayılarında da artış görülmüştür. OKT ve FF gibi farklı görüntüleme teknikleri için farklı veri tabanları oluşturulmuştur. Bu alanda herkese açık olarak, DRIVE, STARE, ARIA, ImageNet, Messidor, Review, ROC mikroanevrizma seti ve VICAVR veri tabanı gibi birçok veri seti bulunmaktadır [44].

Bu alanda her ne kadar fazla veri bulunsa da, ortamdan veya kullanılan cihazlardan kaynaklı olarak bazı görüntülerin kalitesinde istenmeyen sonuçlar elde edilebilmektedir [45]. Bu kalitesiz ve gürültülü görüntüler üzerinden teşhis gerçekleştirmek oldukça zordur [46]. Bu nedenle, elde edilen görüntülerin derin öğrenme modellerinde veya uzmanlar tarafından verimli bir şekilde kullanılabilmesi için bazı ön işlemlerden geçirilmeleri gerekmektedir. Genelde, kontrast artırma, bulanıklık filtreleme ve gürültü azaltma gibi ön işlemler gerçekleştirilmektedir [45, 46].

Fundus fotoğraflarında, kontrast artırma, renk uzayı dönüştürme, gürültü azaltma, görüntüde ilgilenilen alanın kırılarak alınması, görüntüyü döndürme, yeniden ölçeklendirme gibi çeşitli işlemler uygulanmaktadır [45]. Filtreleme işlemiyle görüntülere keskinlik kazandırılırken, kontrast artırma işlemiyle de görüntülerin histogramları dağıtılmaktadır [46].

OKT görüntülerinde ise, teşhis işlemlerini ve model eğitimi olumsuz yönde etkileyen benek gürültüleriyle karşılaşmaktadır [47]. OKT görüntülerinde, benek gürültüsünü giderilmesi, arka planın kaldırılması, görüntünün küçültülmesi, histogram eşitleme gibi ön işlemler uygulanmaktadır [46, 48]. Şekil 6'da ön işlem öncesi ve sonrası elde edilen OKT görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6. Ön işlem öncesinde (a) ve sonrasında (b) örnek bir OKT görüntüsü [46]

KAYNAKLAR

- [1] C. E. Willoughby, D. Ponzin, S. Ferrari, A. Lobo, K. Landau, and Y. Omid, "Anatomy and physiology of the human eye: effects of mucopolysaccharidoses disease on structure and function—a review," *Clinical & Experimental Ophthalmology*, vol. 38, pp. 2-11, 2010.
- [2] H. E. Grossniklaus, E. E. Geisert, and J. M. Nickerson, "Introduction to the Retina," *Progress in molecular biology and translational science*, vol. 134, pp. 383-396, 2015.
- [3] Y. B. Özçelik and A. Altan, "Diyabetik retinopati teşhisi için fundus görüntülerinin derin öğrenme tabanlı sınıflandırılması," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 29, pp. 156-167, 2021.
- [4] D. S. Kermany *et al.*, "Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning," *cell*, vol. 172, no. 5, pp. 1122-1131. e9, 2018.
- [5] M. Badar, M. Haris, and A. Fatima, "Application of deep learning for retinal image analysis: A review," *Computer Science Review*, vol. 35, p. 100203, 2020.
- [6] J. Ker, L. Wang, J. Rao, and T. Lim, "Deep learning applications in medical image analysis," *Ieee Access*, vol. 6, pp. 9375-9389, 2017.
- [7] S. A. Hassan, S. Akbar, A. Rehman, T. Saba, H. Kolivand, and S. A. Bahaj, "Recent developments in detection of central serous retinopathy through imaging and artificial intelligence techniques—a review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 168731-168748, 2021.
- [8] G. Litjens *et al.*, "A survey on deep learning in medical image analysis," *Medical image analysis*, vol. 42, pp. 60-88, 2017.
- [9] G. Quin, G. Liew, I. V. Ho, M. Gillies, and S. Fraser-Bell, "Diagnosis and interventions for central serous chorioretinopathy: review and update," *Clinical & experimental ophthalmology*, vol. 41, no. 2, pp. 187-200, 2013.
- [10] J. De Fauw *et al.*, "Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease," *Nature medicine*, vol. 24, no. 9, pp. 1342-1350, 2018.
- [11] A. G. EKER and D. Nevcihan, "Medikal görüntü işlemede derin öğrenme uygulamaları," *Acta Infologica*, vol. 5, no. 2, pp. 459-474, 2021.
- [12] M. B. Breukink *et al.*, "Chronic central serous chorioretinopathy: long-term follow-up and vision-related quality of life," *Clinical Ophthalmology*, pp. 39-46, 2016.
- [13] M. Wang, I. C. Munch, P. W. Hasler, C. Prunte, and M. Larsen, "Central serous chorioretinopathy," *Acta ophthalmologica*, vol. 86, no. 2, pp. 126-145, 2008.
- [14] M. Khairallah, R. Kahloun, and I. Tugal-Tutkun, "Central serous chorioretinopathy, corticosteroids, and uveitis," *Ocular immunology and inflammation*, vol. 20, no. 2, pp. 76-85, 2012.
- [15] J. Marcuson and T. Riley, "Central serous chorioretinopathy," *Optometry-Journal of the American Optometric Association*, vol. 79, no. 5, pp. 241-251, 2008.
- [16] J. Ko *et al.*, "Assessing central serous chorioretinopathy with deep learning and multiple optical coherence tomography images," *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, p. 1831, 2022.
- [17] B. Nicholson, J. Noble, F. Forooghian, and C. Meyerle, "Central serous chorioretinopathy: update on pathophysiology and treatment," *Survey of ophthalmology*, vol. 58, no. 2, pp. 103-126, 2013.
- [18] I. S. Song, Y. U. Shin, and B. R. Lee, "Time-periodic characteristics in the morphology of idiopathic central serous chorioretinopathy evaluated by volume scan using spectral-

- domain optical coherence tomography,” *American journal of ophthalmology*, vol. 154, no. 2, pp. 366-375. e4, 2012.
- [19] A. Ross, A. H. Ross, and Q. Mohamed, “Review and update of central serous chorioretinopathy,” *Current opinion in ophthalmology*, vol. 22, no. 3, pp. 166-173, 2011.
- [20] R. Haimovici, S. Koh, D. R. Gagnon, T. Lehrfeld, S. Wellik, and C. S. C. C. C. S. Group, “Risk factors for central serous chorioretinopathy: a case-control study,” *Ophthalmology*, vol. 111, no. 2, pp. 244-249, 2004.
- [21] A. Daruich *et al.*, “Central serous chorioretinopathy: recent findings and new physiopathology hypothesis,” *Progress in retinal and eye research*, vol. 48, pp. 82-118, 2015.
- [22] M. Vilela and C. Mengue, “Central serous chorioretinopathy classification,” *Pharmaceuticals*, vol. 14, no. 1, p. 26, 2020.
- [23] T. J. Van Rijssen *et al.*, “Central serous chorioretinopathy: towards an evidence-based treatment guideline,” *Progress in Retinal and Eye Research*, vol. 73, p. 100770, 2019.
- [24] M. Chen *et al.*, “Automatic detection of leakage point in central serous chorioretinopathy of fundus fluorescein angiography based on time sequence deep learning,” *Graefe’s Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, vol. 259, pp. 2401-2411, 2021.
- [25] M. Adhi and J. S. Duker, “Optical coherence tomography-current and future applications,” *Current opinion in ophthalmology*, vol. 24, no. 3, p. 213, 2013.
- [26] C. A. Puliafito *et al.*, “Imaging of macular diseases with optical coherence tomography,” *Ophthalmology*, vol. 102, no. 2, pp. 217-229, 1995.
- [27] S. Khalid, M. U. Akram, T. Hassan, A. Nasim, and A. Jameel, “Fully automated robust system to detect retinal edema, central serous chorioretinopathy, and age related macular degeneration from optical coherence tomography images,” *BioMed research international*, vol. 2017, 2017.
- [28] F. Semeraro *et al.*, “Central serous chorioretinopathy: pathogenesis and management,” *Clinical Ophthalmology*, pp. 2341-2352, 2019.
- [29] M. U. Akram, S. Akbar, T. Hassan, S. G. Khawaja, U. Yasin, and I. Basit, “Data on fundus images for vessels segmentation, detection of hypertensive retinopathy, diabetic retinopathy and papilledema,” *Data in brief*, vol. 29, p. 105282, 2020.
- [30] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep learning*. MIT press, 2016.
- [31] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” *nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436-444, 2015.
- [32] Y. Dong, Q. Zhang, Z. Qiao, and J.-J. Yang, “Classification of cataract fundus image based on deep learning,” in *2017 IEEE international conference on imaging systems and techniques (IST)*, 2017: IEEE, pp. 1-5.
- [33] H. Schulz and S. Behnke, “Deep learning: Layer-wise learning of feature hierarchies,” *KI-Künstliche Intelligenz*, vol. 26, pp. 357-363, 2012.
- [34] J. Schmidhuber, “Deep learning in neural networks: An overview,” *Neural networks*, vol. 61, pp. 85-117, 2015.
- [35] C. Wick, “Deep learning,” *Informatik-Spektrum*, vol. 40, no. 1, pp. 103-107, 2017.
- [36] P. Kim, *Matlab deep learning with machine learning, neural networks and artificial intelligence*. Springer, 2017.

- [37] Y. Zhen, H. Chen, X. Zhang, X. Meng, J. Zhang, and J. Pu, "Assessment of central serous chorioretinopathy depicted on color fundus photographs using deep learning," *Retina*, vol. 40, no. 8, pp. 1558-1564, 2020.
- [38] Y. Wen *et al.*, "On automatic detection of central serous chorioretinopathy and central exudative chorioretinopathy in fundus images," in *2020 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, 2020: IEEE, pp. 1161-1165.
- [39] J. Yoon *et al.*, "Optical coherence tomography-based deep-learning model for detecting central serous chorioretinopathy," *Scientific reports*, vol. 10, no. 1, pp. 1-9, 2020.
- [40] F. Xu *et al.*, "Predicting central serous chorioretinopathy recurrence using machine learning," *Frontiers in Physiology*, vol. 12, p. 649316, 2021.
- [41] T. K. Yoo, B. Y. Kim, H. K. Jeong, H. K. Kim, D. Yang, and I. H. Ryu, "Simple code implementation for deep learning-based segmentation to evaluate central serous chorioretinopathy in fundus photography," *Translational Vision Science & Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 22-22, 2022.
- [42] S. A. E. Hassan, S. Akbar, S. Gull, A. Rehman, and H. Alaska, "Deep learning-based automatic detection of central serous retinopathy using optical coherence tomographic images," in *2021 1st International Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics (CAIDA)*, 2021: IEEE, pp. 206-211.
- [43] Y. Aoyama *et al.*, "Diagnosis of central serous chorioretinopathy by deep learning analysis of en face images of choroidal vasculature: A pilot study," *PLoS One*, vol. 16, no. 6, p. e0244469, 2021.
- [44] M. M. Fraz *et al.*, "Blood vessel segmentation methodologies in retinal images—a survey," *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 108, no. 1, pp. 407-433, 2012.
- [45] B. Goutam, M. F. Hashmi, Z. W. Geem, and N. D. Bokde, "A Comprehensive review of deep learning strategies in retinal disease diagnosis using fundus images," *IEEE Access*, 2022.
- [46] O. Sheeba, "A Review on Imaging Techniques and Algorithms for the Detection of Central Serous Retinopathy," in *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 2021: IEEE, pp. 1244-1248.
- [47] T. N. Rao, G. Girish, A. R. Kothari, and J. Rajan, "Deep learning based sub-retinal fluid segmentation in central serous chorioretinopathy optical coherence tomography scans," in *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2019: IEEE, pp. 978-981.
- [48] B. Hassan, R. Ahmed, and B. Li, "Computer aided diagnosis of idiopathic central serous chorioretinopathy," in *2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, 2018: IEEE, pp. 824-828.

BÖLÜM 7

YAPAY ZEKA VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE İNSAN İLİŞKİLERİ ANALİZİ

K. DÜNDAR¹, A.C.AĞAÇAYAK²

GİRİŞ

1.1 Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesinin Hızlı Gelişimi

Yapay zeka (AI) ve makine öğrenimi (ML) son yıllarda hızla gelişti. Bu teknolojiler, bilgisayar sistemlerine insan benzeri yetenekler kazandırmayı amaçlar. AI ve ML, karmaşık verileri analiz etme, kalıpları tanıma, karar verme ve öğrenme gibi görevleri gerçekleştirebilen algoritmaların ve modellerin geliştirilmesini içerir. AI ve ML'nin hızlı gelişimi birkaç faktöre dayanmaktadır. Birincisi, büyük veri kaynakları ve veri işlemedeki artış. İnternetteki büyük miktarda veri, AI ve MO modellerinin daha doğru ve güvenilir sonuçlar üretmesini sağlar. İkinci faktör, bilgi işleme yeteneğinin geliştirilmesidir. Gelişmiş bilgisayar donanımı ve paralel bilgi işlem teknolojisi, AI ve ML algoritmalarının daha hızlı çalışmasını ve daha karmaşık sorunları çözmesini sağlar. Üçüncü faktör, gelişmiş algoritmaların ve derin öğrenme yöntemlerinin benimsenmesidir. Derin öğrenme, çok katmanlı sinir ağları ve büyük miktarda veri kullanarak karmaşık kalıpları ve ilişkileri tanımlayabilir. Bu, hızlı gelişimi birçok endüstride uygulama bulan yapay zeka ve makine öğreniminden daha iyi sonuçlar alınmasını sağlar. Örneğin sağlık sektöründe, hastalık teşhis ve tedavi planlamasında kullanılabilir. Otomotiv endüstrisinde otonom araçlar ve gelişmiş sürücü destek sistemleri için kullanılmaktadır. Perakende sektöründe müşteri davranışını ve hedeflenen pazarlamayı analiz etmek için kullanılır. [1-3]

Ancak yapay zeka ve makine öğreniminin hızlı gelişimi bazı zorlukları da beraberinde getiriyor. Veri gizliliği ve güvenliği, etik kaygılar, önyargı ve eşitsizlik gibi konular dikkate alınmalıdır. Bu teknolojilerin kullanımına ilişkin düzenlemeler ve politikalar geliştirilmelidir. Ayrıca insan unsurunun önemi

¹ Selcuk University, Konya/Turkey, 22827000014@lisansustu.selcuk.edu.tr

² Konya Teknik Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Elektrik ve Enerji Bölümü, Konya/Turkey, acagacayak@ktun.edu.tr

unutulmamalı ve insan-yapay zeka işbirliği teşvik edilmelidir. Yapay zeka ve makine öğreniminin toplumsal etkisi ve insan ilişkileri üzerindeki etkisi de dikkate alınmalıdır.

1.2 İnsan İlişkilerinin Önemi ve Analizine Olan İlgisi

İnsanlarda tükenmişlik üzerine araştırmalar yaklaşık 35 yıldır yapılıyor. Bu çalışmalar iki farklı başlık altında incelenmiştir.

- Bir bireyin enerjilerini veya duygusal kaynaklarını tüketen bir tükenmişlik nedeni olan çevresel ilişkiler üzerine
- İnsanların içsel özellikleri üzerine

Tükenmişlik terimini tanımlarsak, bilimsel açıklaması stresli bir çalışma ortamına uzun süre maruz kalmanın çalışma ortamına yansıyan duygusal tepkisidir. Yeni araştırmaların gösterdiği gibi, tükenmişliğin ilişkiler dışındaki alanlarda da ortaya çıktığı tespit edilmiştir. [1]

2013 yılında Schultz ve Peltier Sosyal Medyanın Kaygan, Yokuşu adında bir makale yayınladılar. Burada dikkat çekmek istediğim bir diğer husus ise insan ilişkilerinde, iş ortamlarının da sosyal medyanın çok büyük bir etkisi olduğudur. Son büyük ölçekli ticari çalışmalar, tüketici etkileşiminin hala sosyal medya kullanıcıları için bir sorun olduğunu göstermektedir. Örneğin IBM'nin CMO Insights global c-Suits Study adlı çalışması şirketlerin sosyal medya aracılığı ile insanlara ulaşamadığını fark etmiştir. İnsan ilişkileri ve kitlelere hitap etme açısından sosyal medyayı iyi analiz etmesinde büyük payı olduğunu gözlemlemiştir. [1]

1.3 İnsan İlişkileri Analizi ve Yapay Zeka

Kişilerarası ilişki analizi, insanların duygusal durumlarının, davranışlarının ve ilişkilerinin incelenmesidir. Bu tür analizler sosyal bilimlerde önemli bir rol oynar çünkü insanlar arasındaki etkileşimleri anlamak toplumları ve organizasyonları daha iyi yönetmek ve geliştirmek için önemlidir. [2] Yapay zeka, bilgisayar sistemlerinin insan benzeri zeka ve yeteneklere sahip olmasını sağlayan bir teknolojidir. yetenek. Yapay zeka, makine öğrenimi, derin öğrenme ve doğal dil işleme gibi alt alanları içerir ve karmaşık verileri analiz etme, kalıpları tanıma ve tahminlerde bulunma yeteneğine sahiptir. [3-5]

Kişilerarası analiz ve yapay zeka birleştiğinde insanların duygu durumlarını ve davranışlarını daha etkin bir şekilde analiz etmek ve anlamak mümkün hale geliyor. AI algoritmaları ve modelleri, büyük veri kaynaklarından gelen verileri kullanarak insanların duygusal tepkilerini, sosyal ilişkilerini ve sosyal etkileşimlerini analiz edebilir. [2]

II. İNSAN İLİŞKİLERİ ANALİZİ

Analiz edilen verilerin sonuçlarına göre çalışma ortamı ile çalışan performansı arasında bir ilişki vardır. Günümüz koşullarında iş dünyasında fabrikaların ve işletmelerin devamlılığını korumak adına uzun vadeli başarı elde etmek oldukça zordur. Çalışmalar sonrasında bu başarıya ulaşmak için kişisel gelişim ve iş imkanları açısından memnuniyet üzerinde durulmuştur. Bu şekilde, bir çalışanın verimliliği ve fedakarlığı ile uzun vadeli başarıya ulaşma hedefleri vardır. Günümüz koşullarında piyasada başarılı olmak doğru adımlar atılmadığı takdirde mümkün değildir. [2, 3].

Toparlayacak olursak bir çok araştırmalarında üzerine yoğunlaşmış olduğu insan ilişkilerinin analizi büyük ölçüde ilgi odağıdır. Doğru tespit ve müdahaleler ile doğru sonuçlar elde edilebilir.

2.1 Temel kavramlar

Giriş bölümünde de bahsettiğimiz temel kavramlar şu şekilde sıralanabilir;

- İş ortamı verimlilik
- Kişisel gelişim
- Duygu analizi
- Sosyal ilişkiler

vb. gibi birçok alanda incelenebilir.

2.2 Analiz yöntemleri

Analiz yöntemleri ise her kavram için farklı olabilmektedir. Bu analiz yöntemlerinden bazıları;

2.2.1 Metin Madenciliği

Büyük miktarda metin verisini inceleyerek anlamlı bilgileri ortaya çıkarmaya çalışan bir veri analizi yöntemidir. Metin madenciliği teknikleri genellikle doğal dil işleme, makine öğrenimi ve istatistiksel analiz gibi disiplinlerin birleşimidir. Yapay zeka, metin madenciliğinde büyük rol oynayabilir. Yapay zeka, metin madenciliğinde büyük rol oynayabilir. Yapay zeka algoritmaları, metin analiz etmek, kategorize etmek, özetlemek, duygusal tonu anlamak ve anlamsal ilişkileri ortaya çıkarmak gibi görevleri gerçekleştirebilir. [2]

- Metin Gruplama ve İlişkilendirme

Metinlerde benzerlikleri ve ortak temaları bulmak için yapay zeka algoritmaları kullanılabilir. Bu büyük metin veri kümelerindeki gizli desenleri ve ilişkileri keşfetmek için yararlı olabilir.

- **Metin Sınıflandırma**

Yapay zeka algoritmaları, farklı metin kategorilerini ayırmak için kullanılabilir. Örneğin, e-postaları spam veya spam değil olarak sınıflandırmak veya metni haberler, spor, ekonomi vb. farklı kategorilere yerleştirmek için kullanılabilir. Metin verilerinin sınıflandırılması için yapay zeka algoritmaları kullanılarak ve çeşitli ağırlıklandırma yöntemleri ile ilgili programlama dilleri kullanılarak kategori algoritmaları yazılarak sınıflandırılabilir. Ve metni görüntüleyebilir. [3]

- **Duygu Analizi**

Metinler deki duygusal tonu anlamak, kullanıcı yorumlarını analiz etmek veya sosyal medya mesajlarını değerlendirmek gibi görevlerde kullanılabilir. [3]

- **Metin Özetleme**

Metinleri özetlemek uzun metinleri kısaltmak ve önemli bilgileri çıkarmak için yapay zeka algoritmaları kullanılabilir. Bu haber makaleleri, araştırma yazarları veya blog gönderileri gibi uzun metinlerdeki ana noktaları belirlemek için yararlı bir yöntemdir. [4]

2.2.1 Görüntü İşleme

Görüntü işleme dijital görüntüler üzerinde bilgisayar tabanlı yöntemlerin uygulanmasıdır. Görüntü işleme teknikleri görüntülerin elde edilmesi, işlenmesi, analiz, iyileştirilmesi ve yorumlanması gibi çeşitli amaçlar ile kullanılır. Görüntü işleme, piksel düzeyinde işlemlerden başlayarak daha karmaşık işlemlere kadar geniş bir yelpazede çalışır. Görüntüler, bir yada daha fazla görüntü işleme algoritması kullanarak işlenir. Bu algoritmalar görüntülerdeki desenleri tanımaya özellikleri çıkarmaya iyileştirmeye sınıflandırma ve nesnelere algılamaya yönelik işlemleri gerçekleştirir. [5]

2.2.2 Ses Analizi

Ses analizi ses sinyallerinin matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle incelenmesi ve anlaşılması için kullanılan bir disiplindir .Bu analiz sesin farklı özelliklerini ölçerek ve çeşitli parametreleri hesaplayarak gerçekleştirir .Ses analizi, ses sinyallerinin frekans, genlik ,zaman spektral bileşenler ,harmonik yapı, periyodisite, enerji dağılımı ve diğer karakteristiklerini inceleyebilirler. Bu analiz yöntemleri, sesin özelliklerini sayısal verilere dönüştürerek, sesin yapısal veya akustik özelliklerini daha iyi anlamamızı sağlar. Örnek olarak psikiyatrik hastalar üzerine bunun ile alakalı çalışmalar yapılmaktadır. Sonuç olarak ses sinyallerinin matematiksel ve istatistiksel analizlerini içeren bir disiplindir.[6]

Analiz yöntemleri bunun gibi hayatımızda birçok yönden değerlendirilebilir. Sosyal ağ analizi ,regresyon analizi, korelasyon analizi, faktör analizi ve benzeri gibi yöntemler de bulunmaktadır.

III. YAPAY ZEKA VE MAKİNE ÖĞRENMESİNİN İNSAN İLİŞKİ ANALİZİNDEKİ ROLÜ

İnsanların davranışlarını etkileşimlerini ve duygusal durumlarını anlamak amacıyla yapay zeka ve makine öğrenmesi tekniklerinin kullanıldığı bir alanı ifade eder. Bu analizlerin, metin ,ses ,görüntü ve benzeri türleri kullanılarak insan ilişkilerini, duygusal tepkilerini ve iletişim örüntülerini anlamayı hedeflediğini söyledik. Buradaki rolü ise;

- Duygu ve İfade Analizi

Yapay zeka ve makine öğrenimi teknikleri, insanların duygusal durumlarını ve ifadelerini anlamak için metin, ses veya görüntü verilerini analiz eder. Bu sayede, toplantılarda veya müşteri hizmetleri aramalarında insanların duygusal tepkileri, memnuniyetleri veya hayal kırıklıkları hakkında bilgi edinilebilir.[3, 7, 8]

- Kişiselleştirilmiş iletişim

Yapay zeka, müşteri verilerini analiz ederek müşteri tercihlerini, ilgi alanlarını ve ihtiyaçlarını anlayabilir .Bu sayede işletmeler, müşterilere daha iyi ve etkileşimli bilgi sunabilir. Örneğin, Netflix şirketi kullanıcılarının daima izlediği film analizini yaparak bir benzerlik oranını yakalayıp farklı film önerileri yapmaktadır.[9, 10]

- Sosyal Ağ Analizi

Yapay zeka ve makine öğrenimi, insanlar arasındaki ilişkileri ve etkileşimleri anlamak için sosyal ağ verilerini analiz edebilir. Bu sayede işletmeler, potansiyel müşterileri ve iş ortaklarını belirlemek için sosyal ağ analizini kullanabilir. Aynı zamanda sosyal medya aracılığıyla müşterilerin bir marka veya ürüne verdiği duygusal tepkileri analiz ederek müşteri memnuniyetini ölçebilir. Ancak çevrimiçi ağlarda nefret tespiti konusunda yapılan bazı çalışmalar oldukça önemlidir.[11, 12]

Bu ve benzeri çalışmalar hukuk alanında da veya emniyet güçleri tarafından da kullanılarak büyük bir analiz yetkinliği kazandırılabilir. Yapılan incelemeler neticesinde NS Tespit yönetimi derin öğrenme ile birlikte %97 hassasiyet,%88 duyarlılık ve %92 F-skoru oranları elde edilmiştir.[11]

- İnsan Kaynakları Yönetimi

Yapay zeka ve makine öğrenmesi, işletmelerin insan kaynakları verilerini analiz ederek çalışan performansını, memnuniyetini ve işe uyumunu değerlendirebilir. Bu sayede işletmeler, işe alım süreçlerini iyileştirebilir ve çalışanların yeteneklerini, gelişim ihtiyaçlarını ve çalışanların motivasyonunu arttırmak için kişiselleştirilmiş stratejiler geliştirebilir. Yapay zeka ve makine öğrenmesi insan ilişkilerini potansiyel faydalarını veri tabanlı kararlar ,kişiselleştirme, iletişim ve müşteri hizmetleri ,risk analizi ve iş verimliliği gibi birçok alanda potansiyel faydalar sunar. Bu yöntemler işletmelerin daha iyi sonuçlar elde etmesini sağlar.[7, 13, 14]

3.1 Potansiyel Faydaları

Veri toplama ve insan ilişkileri analizi ,işletmelerin ve araştırmacıların insan ilişkileriyle ilgili verileri toplaması ve analiz etme sürecini ifade eder. zeka ve makine öğrenmesi gibi teknolojiler ,bu süreçte önemli bir rol oynayabilir. İşletmelerde veri toplama ve insan ilişkileri analizindeki potansiyel faydaları;

- Kapsamlı Veri Toplama

Yapay zeka ve makine öğrenimi, büyük miktarda veriyi hızlı ve doğru bir şekilde toplama yeteneğine sahiptir. İnsan ilişkileri alanında anketler, röportajlar, sosyal medya verileri, e-posta yazışmaları gibi çeşitli kaynaklardan toplanabilmektedir. Bu veriler daha sonra insan ilişkileri, çalışan memnuniyeti, müşteri deneyimi ve diğer ilgi alanları hakkında bilgi için analiz edilebilir.[15, 16]

- Hızlı ve Doğru Sonuçlar

Yapay zeka ve makine öğrenimi, veri analizi sürecini otomatikleştirir ve sonuçları hızlı bir şekilde üretir. Kişilerarası analizde, bu teknikler daha hızlı veri tabanlı kararlar alınmasını sağlar. Örneğin, işletmeler, çalışan performansını değerlendirmek için nesnel veriye dayalı ölçümler kullanabilir.[15, 17]

- Öngörü ve Strateji Geliştirme

Yapay zeka ve makine öğrenimi, verileri analiz ederek gelecekteki eğilimleri ve olası senaryoları tahmin etmeye yardımcı olur. Kişilerarası analizde, bu içgörüler işletmelere stratejik planlamada ve gelecekteki sorunları tahmin etmede bir avantaj sağlar.[18, 19]

3.2. Veri Toplama Ve insan İlişkileri Analizi

3.2.1 Veri Kaynakları

- Sosyal Medya Verileri

Sosyal medya verileri kullanıcıların sosyal medya platformları üzerinde paylaştıkları bilgileri ve etkileşimlerini içeren verilerdir. Bu veriler, kullanıcıların profil bilgileri paylaşımları, beğenileri, yorumları paylaşımlara verilen tepkiler gibi çeşitli bilgileri kapsayabilir .Sosyal medya verileri büyük miktarda ve çeşitlilikte kullanıcı etkileşimlerini içerdiği için analiz açısından değerli bir kaynak haline gelir. Bu veriler pazarlama, müşteri ilişkileri yönetimi, hedef kitle analizi, kampanya değerlendirmesi, marka itibarı analizi ve trend analizi gibi birçok alanda kullanılabilir. Sosyal medya içerisinde internet platformlarını, bloglar ve forumları da içerisinde barındıran bir terimdir .Bu araştırmalar veri analizi sürecinde dikkatli bir şekilde yönetilmeli ve sonuçların yorumlanması doğru bir şekilde yapılması büyük önem arz ediyor.[20]

- Metin Verileri

E-postalar, mesajlaşma uygulamaları notları, raporlar, anketler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerdir.

- Görüntü ve Video Verileri

Fotoğraflar, videolar ,video konferans kayıtları gibi çeşitli görüntülerden elde edilen verilerdir.

- Ses Kayıtları

Telefon görüşmeleri, konuşmalar ,podcastler vb. kayıtlardan elde edilen verilerdir.

3.2.2 Veri Toplama Süreci

- Toplama Süreci

Veri temizleme ve ön işleme adımları, etik sorunlar ve gizlilik önlemleri, veri güvenliği ve koruma gibi konular veri toplama sürecinde önemli adımları içerir. Aşağıda bu konulara dair genel açıklamalar bulunmaktadır:

- Veri Temizleme ve Ön İşleme Adımları

Veri temizleme ve ön işleme adımları, toplanan verilerin analiz için hazırlanmasını içerir. Bu adımlar arasında veri eksikliklerinin giderilmesi, gereksiz verilerin çıkarılması, veri dönüşümleri, veri standardizasyonu ve normalizasyonu gibi işlemler yer alır. Veri temizleme ve ön işleme adımları, veri analizinde doğru sonuçlar elde etmek için önemlidir.[19]

- Etik Sorunlar ve Gizlilik Önlemleri

Veri toplama sürecinde etik konular ve gizlilik önlemleri çok önemlidir. Bu süreçte, etik ve katılımcıların mahremiyetini koruyan bir şekilde veri toplanmalıdır. Araştırmacılar, veri toplama sürecinde katılımcıların onayını almak, verilerin gizliliğini sağlamak için gerekli önlemleri almak, toplanan verilerin doğru bir şekilde saklanmasını ve kullanılmasını sağlamak zorundadır. [22]

- Veri Güvenliği ve Koruma

Veri güvenliği ve koruma, toplanan verilerin yetkisiz erişim, değiştirme veya kaybolma risklerine karşı korunmasını içerir. Veri güvenliği önlemleri, veri şifreleme, güvenli veri depolama yöntemleri, erişim kontrolü ve izleme gibi önlemleri içerebilir. Araştırmacılar ve veri toplayan kuruluşlar, veri güvenliği ve koruma konusunda gerekli önlemleri alarak, toplanan verilerin güvenliğini sağlamalıdır. [11, 23]

Veri toplama sürecinde veri temizleme, ön işleme, etik sorunlar ve gizlilik önlemleri, veri güvenliği ve koruma gibi konular dikkate alınmalıdır. Bu adımların doğru şekilde uygulanması, veri toplama sürecinin kalitesini artırır ve güvenilir sonuçlar elde etmeyi sağlar.

IV. YAPAY ZEKA VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE İNSAN İLİŞKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMLERİ

4.1 Doğal Dil İşleme ve Metin Madenciliği

Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing, NLP) ve Metin Madenciliği (Text Mining), metin verilerinin anlamsal analizini ve duygu çıkarımını gerçekleştirmek için kullanılan tekniklerdir. Bu alanlar, metinlerdeki dilbilgisel yapıları ve anlamsal ilişkileri anlamak, metinlerdeki duygusal ifadeleri tespit etmek ve metinlerden anlamlı bilgiler çıkarmak için çeşitli yöntemler ve algoritmalar kullanır. [10, 24, 25]

Metinlerin anlamsal analizi, bir metnin içeriğini anlama, kelime ve cümle düzeyinde anlam çıkarımı yapma, anlam ilişkilerini belirleme gibi işlemleri içerir. Bu sayede metinlerin içerdikleri bilgiler daha anlaşılır hale gelir ve istenen bilgilerin çıkarılması kolaylaşır. Örneğin, bir metinde geçen cümlelerin yapısı ve kelimelerin anlamları analiz edilerek, metnin konusu veya metindeki önemli bilgiler belirlenebilir. [10, 26, 27]

Duygu çıkarımı ise metinlerdeki duygusal ifadeleri tespit etme ve bu ifadelerin pozitif, negatif veya nötr olup olmadığını belirleme işlemidir. Bu sayede sosyal medya mesajları, ürün incelemeleri veya müşteri geri bildirimleri

gibi metinlerdeki duygu durumları hakkında bilgi edinilebilir. Bu bilgiler, pazarlama stratejilerinin geliştirilmesi, marka itibarının takibi veya müşteri memnuniyetinin ölçülmesi gibi alanlarda kullanılabilir.[10, 13, 24, 28]

- Sosyal Medya Verilerinin Analizi ve Sosyal Etkileşimlerin Anlaşılması

Sosyal medya verilerinin analizi ve sosyal etkileşimlerin anlaşılması da doğal dil işleme ve metin madenciliği tekniklerinin sıkça kullanıldığı bir alandır. Sosyal medya platformları üzerinde paylaşılan metinlerin analizi, kullanıcıların eğilimlerini, tercihlerini veya görüşlerini anlamak için önemli bir kaynaktır. Bu sayede, hedef kitleye yönelik pazarlama stratejileri geliştirilebilir, kampanyaların etkisi ölçülebilir veya sosyal trendler ve duygusal tepkiler takip edilebilir.[3, 10, 28]

Doğal Dil İşleme ve Metin Madenciliği, büyük veri setlerindeki metinleri anlamlandırma ve değerli bilgiler çıkarma potansiyeline sahiptir. Ancak, dilin karmaşıklığı, anlam kaymaları ve dil bağlamlarının çeşitliliği gibi zorlukları da içerir. Bu nedenle, doğal dil işleme ve metin madenciliği alanında geliştirilen yöntemler ve algoritmalar, doğru sonuçlar elde etmek ve metinlerden anlamlı bilgiler çıkarmak için sürekli olarak geliştirilmekte ve iyileştirilmektedir.[10, 17, 30]

4.2 Görüntü İşleme ve Görsel Analiz

Görüntü İşleme ve Görsel Analiz, görüntülerden bilgi çıkarılması ve anlamlı analizlerin yapılması amacıyla kullanılan bir alanı kapsar. Bu alanda iki önemli konu yüz tanıma ve ifade analizi ile vücut dili analizi ve hareket algılamadır.

- Yüz Tanıma ve İfade Analizi

Yüz tanıma, görüntülerdeki yüzleri tespit etme ve bu yüzleri tanıma sürecidir. Yüz tanıma teknikleri, yüzün temel özelliklerini belirleyerek bireyleri tanımak için kullanılır. Gelişmiş algoritmalar ve yapay zeka teknikleri sayesinde yüz tanıma, güvenlik sistemlerinde, kimlik doğrulama uygulamalarında ve kişiye özel hizmetlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.[29, 30] Görüntü işleme alanında, 3D yüz tanıma, yüzün üç boyutlu özelliklerini kullanarak daha doğru ve güvenilir bir tanıma süreci sunan bir tekniktir. 3D yüz tanıma, yüz yüzeyinin derinlik bilgisiyile birlikte analiz edilmesini içerir.[31, 32] 3D yüz tanıma teknikleri, 3D görüntüleme yöntemleri veya 3D sensörler aracılığıyla yüzün derinlik bilgisini elde eder. Bu bilgi, yüzün üç boyutlu geometrisini ve yüzdeki detayları daha hassas bir şekilde temsil etmeye yardımcı olur. Bu, yüz tanıma sistemlerinin daha doğru ve güvenilir olmasını sağlar, çünkü yüzün sadece 2D görüntüsünden daha fazla bilgiye sahip olunur.[32, 33]

İfade analizi ise yüz ifadelerini tanıma ve yüzdeki duygusal durumları belirleme sürecidir. Görüntülerdeki yüz ifadeleri analiz edilerek, kişinin neşeli, üzgün, kızgın ve ya şaşkın gibi duygusal durumları tespit edilebilir. Bu bilgi, pazarlama araştırmalarında, kullanıcı deneyimi analizinde veya sosyal etkileşimlerin anlaşılmasında kullanılabilir.[33]

- Vücut Dili Analizi ve Hareket Algılama

Vücut dili analizi ve hareket algılama ise kişilerin vücut hareketlerini ve jestlerini analiz ederek duygusal durumları, niyetleri veya davranışlarını anlama sürecidir. Görüntü işleme ve makine öğrenmesi teknikleriyle vücut dili analizi yapılırken, kamera veya sensörler aracılığıyla elde edilen veriler kullanılır. Bu bilgiler, insan-robot etkileşimi, sosyal etkileşim analizi veya hareket tabanlı kullanıcı arabirimleri gibi alanlarda kullanılabilir.[33, 34]Görüntü işleme ve görsel analiz teknikleri, video izleme sistemleri, güvenlik sistemleri, sağlık uygulamaları, otomasyon sistemleri ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Bu teknikler sayesinde görüntülerden anlamlı bilgiler çıkarılarak, insanların davranışları, ifadeleri ve hareketleri hakkında değerli bilgiler elde edilebilir.

4.3 Ses İşleme ve Ses Analizi

Ses işleme, ses sinyallerini analiz etmek ve anlamak için kullanılan bir dizi teknik ve yöntemlerin uygulanmasıdır. Ses analizi, ses verilerinin farklı özelliklerini çıkarmak, anlamak ve yorumlamak amacıyla kullanılır. İki önemli alanı, konuşma tanıma ve tonlama/duygusal ifade analizidir.

- Konuşma Tanıma ve Transkript Analizi

Konuşma Tanıma: Konuşma tanıma, insanların konuşmalarını ses verileri aracılığıyla anlama ve metin olarak transkript etme sürecidir. Bu süreç, bir konuşmacının söylediklerini yazılı metne dönüştürmek için ses verilerini analiz etmeyi içerir. Konuşma tanıma teknikleri, sesin özelliklerini çıkarmak, sesi metinle eşleştirmek ve dil modellerini kullanarak metni anlamlandırmak için kullanılır. Bu alandaki gelişmeler, dijital asistanlar, konuşma tabanlı arayüzler ve otomatik transkript hizmetleri gibi uygulamalarda büyük önem taşır.[6]

- Tonlama ve Duygusal İfade: Analizi

Tonlama ve duygusal ifade analizi, ses verilerindeki ton, ritim, vurgu ve duygusal ifadeleri analiz ederek konuşmacının duygusal durumunu belirlemeyi amaçlar. Bu analiz, konuşma sesinin müzikal ve duygusal özelliklerini çıkararak konuşmacının duygusal durumunu, neşe, üzüntü, öfke gibi ifadelerini anlamlandırmayı hedefler. Bu alanda kullanılan teknikler arasında ses özelliklerinin çıkarılması, ses sınıflandırma yöntemleri ve makine öğrenme

algoritmaları bulunur. Tonlama ve duygusal ifade analizi, müşteri hizmetleri, pazarlama araştırmaları, sosyal medya analizi ve duygusal zeka uygulamaları gibi birçok alanda kullanılır.[6, 34, 35] Ses işleme ve ses analizi, insan sesini anlamak ve yorumlamak için önemli araçlar sağlar. Bu teknikler, konuşma metinlerini otomatik olarak transkript etmek, konuşmacının duygusal durumunu anlamak ve sosyal etkileşimleri analiz etmek gibi birçok uygulamada kullanılır. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanımıyla ses verilerinin daha karmaşık analizleri de mümkün hale gelmiştir.[36, 37]

V. UYGULAMA ALANLARI

5.1 Pazarlama ve Müşteri İlişkileri

- Müşteri Duygusal Tepkilerinin Analizi ve Memnuniyet Değerlendirmesi

Ses analizi, müşteri hizmetleri çağrı kayıtlarından ve sosyal medya paylaşımlarından müşterilerin duygusal tepkilerini anlamaya yönelik kullanılabilir. Müşterilerin ses tonu, vurgu ve ifade biçimlerini analiz ederek, müşteri memnuniyetini değerlendirmek ve pazarlama stratejilerini geliştirmek için önemli bilgiler elde edilebilir.[6, 38]

- Hedef Kitle Belirleme ve Pazarlama Stratejilerinin Geliştirilmesi

Ses analizi, pazarlama çalışmalarında hedef kitleyi daha iyi anlamak ve pazarlama stratejilerini şekillendirmek için kullanılabilir. Ses verileri aracılığıyla hedef kitleyi tanımlamak, müşterilerin tercihlerini ve davranışlarını anlamak, reklam ve pazarlama iletişimlerini kişiselleştirmek ve hedef kitleye daha etkili bir şekilde ulaşmak mümkün olabilir.[6, 7, 38]

5.2 Sağlık Hizmetleri

- Hastaların Duygusal Durumlarının İzlenmesi ve Tedaviye Yönlendirme

Ses analizi, hastaların duygusal durumlarını izlemek ve anlamak için kullanılabilir. Ses verilerindeki tonlama ve duygusal ifadeler analiz edilerek, hastaların stres, endişe, depresyon gibi duygusal durumları değerlendirilebilir. Bu bilgiler, sağlık hizmeti sağlayıcılarının hastaları daha iyi anlamalarına ve tedavi planlamasında daha etkili kararlar almalarına yardımcı olabilir.[39-41]

- Otomatik Teşhis Destek Sistemleri ve Tedavi Planlaması

Ses analizi, hastaların ses kayıtlarından belirli hastalıkların teşhisinde ve tedavi planlamasında kullanılabilir. Örneğin, bir ses analizi sistemi, öksürük sesleri üzerinden solunum yolu hastalıklarını tanımlayabilir veya bir kişinin konuşmasındaki özelliklerden ses bozukluklarını tespit edebilir. Bu tür otomatik

teşhis destek sistemleri, sağlık profesyonellerine doğru teşhis koymada ve tedavi planlamasında yardımcı olabilir.[39, 41, 42]Yukarıda belirtilen uygulama alanları, ses analizinin pazarlama ve müşteri ilişkilerinde daha iyi hedefleme ve müşteri memnuniyeti değerlendirmesi sağlamak, sağlık hizmetlerinde ise hastaların duygusal durumunu izlemek, teşhis destek sistemleri ve tedavi planlamasında kullanmak için nasıl kullanılabilceğini göstermektedir. Bu alanlarda ses analizi, daha etkili pazarlama stratejileri geliştirmek, müşteri memnuniyetini artırmak, hastaların sağlık durumunu izlemek ve doğru teşhis ve tedavi planlaması yapmak için değerli bir araç olabilir.[42]

5.3 İnsan Kaynakları ve İş Performansı

- Çalışanların Memnuniyetinin Analizi

YZ, çalışanların memnuniyetini analiz etmek için metin analizi ve duygu çıkarımı gibi doğal dil işleme yöntemlerini kullanabilir. İşte yüz ifadeleri ve ses tonu analizi gibi görüntü ve ses işleme teknikleriyle çalışanların duygusal durumlarını anlayabilir. Bu sayede, çalışan memnuniyetini etkileyen faktörleri belirleyebilir ve iyileştirme stratejileri geliştirebilir. Örneğin, çalışanların konuşma tonlarındaki negatiflik veya stres belirtileri memnuniyetsizlik veya işyerindeki sorunlara işaret edebilir.[43, 45]

- Stres Düzeylerinin İzlenmesi

YZ, çalışanların stres düzeylerini izlemek için sensör teknolojilerini kullanabilir. Örneğin, giyilebilir cihazlar aracılığıyla kalp atış hızı, deri direnci veya beyin dalgaları gibi fizyolojik verileri toplayabilir. Bu verilerin analiziyle, çalışanların stres düzeylerini belirleyebilir ve gerekli önlemlerin alınması için uyarılarda bulunabilir.Ses analizi, çalışanların konuşma özelliklerini değerlendirerek stres düzeylerini belirlemeye yardımcı olabilir. Konuşma hızı, enerji düzeyi ve tonlama gibi faktörler stres seviyelerini yansıtabilir. Bu bilgiler, işyerindeki stres faktörlerini anlamak ve çalışanların stres yönetimi ihtiyaçlarını belirlemek için kullanılabilir. Böylece, uygun stres azaltma stratejileri veya destek programları geliştirilebilir.[46, 47]

- İş Performansının Tahmini

YZ, çalışanların iş performansını tahmin etmek için makine öğrenmesi ve veri analizi tekniklerini kullanabilir. Geçmiş performans verileri, eğitim ve deneyim gibi faktörlerle ilişkilendirilerek, gelecekteki performans tahmin etmek için algoritmalar geliştirilebilir. Bu tahminler, işe alım sürecinde aday değerlendirmesinde, terfi kararlarında veya performans değerlendirmelerinde kullanılabilir.Ses analizi, çalışanların konuşma hızı, ses tonlaması, vurgu ve

kelime seçimi gibi faktörleri değerlendirerek iş performansını tahmin etmeye yardımcı olabilir. Örneğin, yüksek enerji düzeyi ve güçlü vurgu, bir çalışanın motivasyonunu ve performansını yansıtabilir.[48]

- İyileştirme Stratejileri

YZ, iş performansını iyileştirmek için öneriler ve stratejiler sunabilir. Örneğin, performans analizleri ve veri madenciliği yöntemleriyle çalışanların güçlü ve zayıf yönleri belirlenebilir. Ardından, kişiye özgü gelişim planları ve eğitim önerileri sunularak iş performansının artırılması hedeflenebilir. Ses analizi sonuçları, işyerindeki iyileştirme stratejilerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Örneğin, çalışanların memnuniyetsizlik veya stres belirtileri tespit edildiğinde, uygun eğitim veya destek programları geliştirilebilir. Ayrıca, iş performansını tahmin etmek için kullanılan ses analizi sonuçları, çalışanların güçlü yönlerini ve geliştirilmesi gereken alanları belirlemek için kullanılabilir. Böylece, performansı artırmak için hedeflenmiş eğitim veya yönlendirme stratejileri oluşturulabilir.[15, 48]

Bu şekilde, YZ ile insan kaynakları ve iş performansı alanında kullanılarak çalışanların memnuniyeti, stres düzeyleri, iş performansı ve iyileştirme stratejileri hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. Bu bilgiler, işyerinde daha iyi bir çalışma ortamı oluşturmak ve iş performansını artırmak için kullanılabilir.

VI. ZORLUKLAR VE ETİK SORUNLAR

6.1 Veri Gizliliği Ve Güvenliği

- Kişisel Verilerin Korunması ve İzinsiz Kullanım Riskleri

Ses analizi için kullanılan veriler arasında kişisel bilgiler de olabilir. Ses kayıtları, konuşmacının kimliği, duygusal durumu ve sağlık durumu gibi hassas bilgiler içerebilir. Bu nedenle, verilerin gizliliği ve izinsiz kullanım riskleri önemli bir endişe kaynağıdır. Görüntü işleme uygulamalarında kullanılan görüntüler, kişisel verileri içerebilir. Örneğin, yüz tanıma teknolojisi kullanıldığında, kişilerin yüzleri tespit edilebilir ve tanınabilir hale gelir. Bu durumda, kişisel verilerin korunması önemlidir ve izinsiz kullanım riskleriyle karşılaşılabilir. Veri sahiplerinin izni olmadan kişisel verilerin toplanması veya paylaşılması etik sorunlara yol açabilir. Veri şifreleme, veri erişim kontrolleri, veri depolama güvenliği veri anonimleştirme, kullanıcı izinleri ve bilgilendirme, veri paylaşımı ve sözleşmeler gibi teknikler kullanılarak bu önlemler alınabilir. [22, 47]

- Anonimleştirme Teknikleri ve Veri Paylaşımı Politikaları

Veri gizliliğini korumak için anonimleştirme teknikleri kullanılabilir. Bu teknikler, kişisel verilerin tanımlanamaz hale getirilmesini sağlar. Ancak, anonimleştirme sürecinde hala bazı riskler bulunabilir ve veri yeniden kimliklendirilebilir hale gelebilir. Ayrıca, veri paylaşımı politikaları oluşturulmalı ve uygulanmalıdır. Bu politikalar, veri paylaşımının nasıl yapılacağını, hangi verilerin paylaşılacağını ve kimlerle paylaşılacağını belirlemelidir.[46, 47]Veri güvenliği sağlanmadığın da, verilere izinsiz erişim riski ortaya çıkar. Bu, verilerin yetkisiz kişiler tarafından kullanılması veya manipüle edilmesi anlamına gelebilir. Veri güvenliği için gerekli önlemler alınmalı, veriler şifrelenmeli ve güvenli bir depolama ortamı sağlanmalıdır. Ses analizi için kullanılan verilerin doğru bir şekilde toplanması, işlenmesi ve kullanılması önemlidir. Veri sorumluluğu, veri sahibi veya veri işleyen bu sorumluluğu yerine getirmesi gerektiğini ifade eder. Ayrıca, veri işleme süreçlerinin şeffaf olması ve hesap verebilirlik sağlanması da önemlidir.[48, 50]

Bu zorluklar ve etik sorunlar, YZ(Yapay Zeka) uygulamalarında veri gizliliği ve güvenliği konusunda dikkate alınması gereken konuları temsil etmektedir. Veri güvenliği önlemleri alınmalı, kişisel verilerin korunması sağlanmalı ve veri işleme süreçlerinde etik ilkeler gözetilmelidir.

6.2 Önyargı ve Eşitsizlik

- Yapay Zeka'nın Ayrımcılık Yapma Potansiyeli ve Önyargıları

Yapay zeka sistemlerinin önyargı ve ayrımcılık yapma potansiyeli, önemli bir endişe kaynağıdır. Bu nedenle, yapay zeka sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması aşamasında eşitlik ilkesi gözetilmeli ve toplumsal etkileri değerlendirilmelidir. İşte bu konuda alınması gereken bazı önlemler:

- Veri Seçimi ve Temsiliyet

Yapay zeka sistemlerinin önyargılı olmaması için kullanılan veri setlerinin dikkatlice seçilmesi ve temsiliyetin sağlanması önemlidir. Veri setlerinde çeşitlilik sağlamak, farklı demografik gruplara ve toplumun tüm kesimlerine ait örnekleri içermek, önyargıları azaltmada yardımcı olabilir.[49]

- Önyargı Kontrolü

Yapay zeka algoritmaları, önyargılı sonuçlara yol açabilecek özellikleri veya desenleri öğrenebilir. Bu nedenle, önyargı kontrolü için algoritmaların düzenli olarak gözden geçirilmesi, önyargılı sonuçlara neden olabilecek faktörlerin belirlenmesi ve düzeltici önlemlerin alınması önemlidir.[48]

- İnsan Denetimi ve Etik İnceleme

Yapay zeka sistemlerinin tasarımı ve uygulanması sürecinde etik incelemeler yapılmalı ve insan denetimi sağlanmalıdır. İnsanlar, yapay zeka sistemlerinin kararlarını anlamalı, sonuçları değerlendirmeli ve gerekirse düzeltici önlemler almalıdır.[50, 52]

- Şeffaflık ve Açıklanabilirlik

Yapay zeka sistemlerinin karar süreçleri şeffaf olmalı ve kullanıcıların kararları anlayabilmesi için açıklanabilir olmalıdır. Bu, sistemlerin nasıl çalıştığı, hangi verilerin kullanıldığı ve hangi özelliklerin kararları etkilediği gibi bilgilerin kullanıcılara sunulması anlamına gelir.[41, 53]

- Eğitim ve Farkındalık

Yapay zeka alanında çalışanların ve sistemleri kullananların eğitimi ve farkındalığı önemlidir. Bu, önyargılar, ayrımcılık ve etik konularında bilinçlendirme programlarının düzenlenmesini içerebilir.[52]

- Toplumsal Etki Değerlendirmesi

Yapay zeka sistemlerinin toplum üzerindeki etkileri değerlendirilmeli ve olumsuz etkileri minimize etmek için önlemler alınmalıdır. Bu, sistemlerin kullanımıyla ilgili politika ve düzenlemelerin yapılması, denetim mekanizmalarının oluşturulması ve halkın katılımının sağlanması anlamına gelebilir.[53]

Özet olarak, yapay zeka sistemlerinin önyargı, ayrımcılık ve eşitsizlik sorunlarına yol açmaması için etik ilkeler gözetilmeli, veri gizliliği ve güvenliği sağlanmalı, toplumsal etkiler değerlendirilmeli ve insan denetimi sağlanmalıdır. Bu şekilde yapay zeka sistemleri daha adil, eşitlikçi ve toplumsal olarak kabul edilebilir bir şekilde kullanılabilir.

6.3 İnsanlık ve Otomasyon Dengesi

- İnsan Faktörünün Önemi ve Yapay Zeka ile İşbirliği

İnsanlık ve otomasyon dengesi, yapay zeka ve otomasyon teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan bir konudur. Bu konu, yapay zeka ve otomasyonun insan faktörüyle nasıl etkileşime girdiğini, insan faktörünün önemini ve yapay zeka ile işbirliğini ele alır. İnsan faktörü, hala birçok iş sürecinde kritik bir öneme sahiptir. İnsanlar, yaratıcılık, eleştirel düşünme, empati, problem çözme yetenekleri gibi birçok alanda değerli ve benzersiz becerilere sahiptir. İş süreçlerinde insan faktörünün önemi, karmaşık karar verme süreçlerinde, etik değerlendirmelerde, yaratıcılık gerektiren işlerde ve müşteri hizmetlerinde özellikle belirgindir.[54]

- İnsanlığın Kaybolması Riski Ve Etkileşim Kalitesinin Korunması

Yapay zeka ve otomasyon teknolojileri, bazı görevleri otomatikleştirmek ve verimliliği artırmak için kullanılır. Ancak, insan faktörünün tamamen ortadan kalkması veya ihmal edilmesi, bazı riskleri beraberinde getirebilir. İnsanlığın kaybolması riski, insanların yerini tamamen yapay zeka veya otomasyonun alması durumunda ortaya çıkar. Bu durum, insanların işlerini kaybetmesine ve toplumda ekonomik ve sosyal dengenin bozulmasına yol açabilir.[8, 54, 55] Bu nedenle, insanlık ve otomasyon dengesini sağlamak önemlidir. Yapay zeka ve otomasyonun, insanlarla işbirliği içinde çalışması ve onları desteklemesi gerekmektedir. İnsanlar, yapay zeka sistemlerini eğitebilir, denetleyebilir ve yönlendirebilir. Yapay zeka sistemleri, rutin ve tekrarlayan görevleri üstlenebilirken, insanlar karmaşık karar verme süreçlerine, stratejik planlamaya ve yaratıcı çözümlere odaklanabilir.[56]Etkileşim kalitesinin korunması da önemli bir noktadır. İnsanlarla yapılan etkileşimlerde insan duyarlılığı, empati, anlayış ve sosyal bağ kurma becerileri ön planda olmalıdır. Yapay zeka ve otomasyonun insanlarla etkileşimde kullanıldığı durumlarda, insan benzeri bir davranış sergileme, ses tonunu ve ifadeleri anlama gibi özellikler geliştirilmelidir. Bu şekilde, etkileşimler daha insan odaklı ve tatmin edici olabilir.[8]

VII. GELECEKTE İNSAN İLİŞKİLERİ ANALİZİ

Gelecekte insan ilişkileri analizi, yeni teknolojik gelişmelerin etkisiyle önemli bir dönüşüm geçirecektir. İşte bu dönüşümü etkileyen iki ana faktör

- Yeni Teknolojik Gelişmeler

İnsan ilişkileri analizi, daha gelişmiş algoritmalar ve derin öğrenme yöntemleri gibi yeni teknolojik araçlarla desteklenecektir. Bu araçlar, daha fazla veriyi işleyebilme kapasitesine sahip olacak ve daha karmaşık ilişki modellerini anlamlandırabileceklerdir. Örneğin, duygusal ifadeleri daha hassas bir şekilde tanıyabilen, sosyal etkileşimlerin altında yatan dinamikleri çözebilen algoritmalar geliştirilebilir. Bu sayede, insan ilişkileri analizi daha kesin ve kapsamlı sonuçlar üretebilir.[38, 50, 57]

- Toplumsal Etkiler

İnsan ilişkileri analizindeki teknolojik gelişmeler, toplumda etik normlar ve kabul sürecini etkileyecektir. Bu teknolojilerin insanların özel hayatlarına ve kişisel verilerine erişim sağlaması, veri gizliliği ve güvenliği konularında endişelere yol açabilir. [49] Bu nedenle, etik standartların ve düzenlemelerin belirlenmesi, toplumun teknolojik gelişmelere uyum sağlama sürecinde önemli

bir adımdır. Ayrıca, yapay zekanın önyargıları ve ayrımcılık potansiyeli gibi konular da göz önünde bulundurulmalıdır. İnsan ilişkileri analizinde kullanılan algoritmaların ve yapay zeka sistemlerinin tarafsız ve adil olmasını sağlamak için önlemler alınmalıdır.[49, 58]

Bu değişim ve gelişmeler, insan ilişkileri analizini daha etkili ve verimli hale getirebilir. Örneğin, şirketler müşteri memnuniyetini artırmak için daha iyi hedefleme stratejileri geliştirebilir, sağlık hizmetleri hastaların duygusal durumlarını izleyerek daha iyi tedavi yöntemleri belirleyebilir, insan kaynakları departmanları çalışanların memnuniyetini artırmak ve iş performansını iyileştirmek için daha veriye dayalı stratejiler uygulayabilir. Ancak, bu teknolojik gelişmelerin toplumsal etkilerini dikkate alarak, insanların haklarını ve değerlerini korumak önemlidir.[24, 33, 44, 46, 51]

Sonuç

Bu eserde insan ilişkilerinin analizi yapay zeka ile bağlantılı olarak irdelenmiştir. Bu makalede amaç, yapay zeka ve makine öğrenmesinin insan ilişkileri analizi için sunduğu fırsatları ve zorlukları ortaya koymaktır. Makine öğrenimi ve yapay zekadaki gelişmeler, bu analiz için muazzam umutlar sunuyor. Temel kavramları duygu analizi, sosyal ilişkiler, insan ilişkileri analizi ve sosyal etkileşimi içerir. Bu analizde ses analizi, metin madenciliği, görüntü işleme ve sosyal ağ analizi gibi çeşitli yöntemlerin uygulanması mümkündür. Sosyal medya, metin, resim ve video verilerinin yanı sıra ses kayıtları da dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan veri toplama, insan ilişkilerini analiz etmek için yapay zeka ve makine öğrenimini kullanmak için çok önemlidir. Bu teknolojiler, duygusal tepki tahminlerini geliştirebilir, ilişki kalitesi değerlendirmesini ilerletebilir ve genel olarak kişilerarası bağlantıların algılanmasını ve anlaşılmasını iyileştirebilir. Bununla birlikte, veri toplama sürecinde etik kaygıların uygun şekilde ele alınması, gizlilik önlemlerinin yanı sıra veri temizleme ve ön işleme esastır.

Yapay zeka ve makine öğrenimi ile insan ilişkileri analizinde kullanılan birçok tekniğin bir parçası olarak doğal dil işleme ve metin madenciliği yoluyla duygu çıkarımı ve metinlerin anlamsal analizi gerçekleştirilir. Buna ek olarak, tonlama, konuşma tanıma ve duygusal ifade analizi gibi yönleri inceleyen ses analizi de önemli bir bileşendir.

Geniş bir olasılık yelpazesi olarak, bu teknolojiler birçok farklı alanda uygulanabilir. Örneğin pazarlama ve müşteri ilişkileri, müşterilerin duygusal tepkilerini analiz etmek ve belirli demografik bilgileri hedeflemek için bunları kullanabilir. Sağlık alanında, hastaların duygu durumlarının izlenmesi,

otomatik teşhis destek sistemlerinin sağlanması ve tedavi planlarının yapılması için teknolojilerden yararlanılmaktadır.

Sonuç olarak, yapay zeka ve makine öğrenmesiyle insan ilişkileri analizi, birçok potansiyel fayda ve uygulama alanı sunmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin etik sorunlarının ve zorluklarının dikkate alınması önemlidir. İnsan faktörünün önemi ve insanlığın korunması da göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Riyanto, S., A. Sutrisno, and H. Ali, The impact of working motivation and working environment on employees performance in Indonesia stock exchange. *International Review of Management and Marketing*, 2017. 7(3): p. 342-348.
- [2] Seker, S.E., *Metin Madenciliği (Text Mining)*. YBS ansiklopedi, 2015. 2(3): p. 30-32.
- [3] TUZCU, S., Çevrimiçi Kullanıcı Yorumlarının Duygu Analizi ile Sınıflandırılması. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, 2020. 1(2): p. 1-5.
- [4] Ataner, E., Özdeş, B., Öztürk, G., Çelik, T. Y. C., Durdu, A., & Terzioğlu, H. (2020). Deep Learning Methods in Unmanned Underwater Vehicles. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 345-350.
- [5] Seyidkadija 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.
- [6] Erhandı, B., Derin öğrenme ile metin özetleme. 2020, Sakarya Üniversitesi.
- [7] Perihanoğlu, G.M., Dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntülerden detay çıkarımı. 2015, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Fatih, Ö., Objektif Ses Analizi.
- [9] Misican, D.Ö., İnsan Kaynakları Profesyonellerinin Perspektifinden Dijitalleşen Çalışma Hayatında Yapay Zekâ. 2020.
- [10] Güzel, Ş., H.A. Dömbekci, and E. Fettah, Yapay Zekânın Sağlık Alanında Kullanımı: Nitel Bir Araştırma. *Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 9(4): p. 509-519.
- [11] Pekkan, N.Ü., Kişisel Gelişim Olanakları ve İş Tatmini İlişkisinde A Tipi Kişilik Özelliğinin Etkisi. *Third Sector Social Economic Review*, 2022. 57(3): p. 2174-2191.
- [12] Çetin, H., Kişisel veri güvenliği ve kullanıcıların farkındalık düzeylerinin incelenmesi. *Akdeniz İİBF Dergisi*, 2014. 14(29): p. 86-105.
- [13] BAYDOĞAN, V.C. and B. ALATAS, Çevrimiçi Sosyal Ağlarda Nefret Söylemi Tespiti için Yapay Zeka Temelli Algoritmaların Performans Değerlendirmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2021. 33(2): p. 745-754.
- [14] Altunbey, F. and B. Alataş, Sosyal ağ analizi için sosyal tabanlı yapay zekâ optimizasyon algoritmalarının incelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 2015. 1(1): p. 33-52.
- [15] ÇİFTÇİOĞLU, B.A., M. MUTLU, and S. KATIRCIOĞLU, ENDÜSTRİ 4.0 VE İNSAN KAYNAKLARI YÖNETİMİNİN İLİŞKİSİ. *Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 2019. 2(1): p. 31-53.
- [16] ELTİMUR, D., İNSAN HAKLARININ KORUNMASI BAĞLAMINDA YAPAY ZEKA UYGULAMALARI. *Akdeniz Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*. 12(II): p. 559-594.
- [17] YILDIZ, A., BÜYÜK VERİ'NİN V'leri ve VERİ ANALİTİĞİ. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (51): p. 377-394.
- [18] Atalay, M. 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, 2017. 9(22): p. 155-172.
- [19] Sevda, Ü. and A.A. SEZGİN, Büyük Veri (Big Data)'nin Yapay Zekâ Uygulamalarında Toplumsal Sınıflandırmaya Yönelik Kaygılar. AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi, 2021. 12(44): p. 47-70.
- [20] PİRİM, A.G.H., Yapay zeka. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 2006. 1(1): p. 81-93.
- [21] Oğuzlar, A., Veri ön işleme. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2003(21).
- [22] İpek, S., Yapay zekanın toplum üzerindeki etkisi ve yapay zekâ (AI) filmi bağlamında yapay zekaya bakış. Uluslararası Ders Kitapları ve Eğitim Materyalleri Dergisi, 2019. 2(2): p. 203-215.
- [23] TEKİNDAL, M. and U. Şerife, Nitel araştırma yöntemi olarak fenomenolojik yaklaşımın kapsamı ve sürecine yönelik bir derleme. Ufku Ötesi Bilim Dergisi, 2020. 20(1): p. 153-172.
- [24] EYÜPOĞLU, C., et al., Büyük veride kişi mahremiyetinin korunması. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 2017. 10(2): p. 177-184.
- [25] ALBAYRAK, A., Doğal dil işleme teknikleri kullanılarak disiplinler arası lisansüstü ders içeriği hazırlanması. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 2020. 13(4): p. 373-383.
- [26] Adalı, E., Doğal dil işleme. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 2012. 5(2).
- [27] ÖZTÜRK, A., Ü. DURAK, and F. BADILLI, Twitter verilerinden doğal dil işleme ve makine öğrenmesi ile hastalık tespiti. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2020. 8(4): p. 839-852.
- [28] KAMBUR, E., YAPAY ZEKA ÇAĞINDA İNSAN KAYNAKLARI YÖNETİMİ KONUSUNDA YAZILMIŞ TÜRKÇE MAKALELER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2022(48): p. 139-152.
- [29] Pilavcılar, İ.F., Metin madenciliği ile metin sınıflandırma. 2007.
- [30] Barger, V., J.W. Peltier, and D.E. Schultz, Social media and consumer engagement: a review and research agenda. Journal of Research in Interactive Marketing, 2016. 10(4): p. 268-287.
- [31] Eldem, A., H. Eldem, and A. Palalı, Görüntü işleme teknikleriyle yüz algılama sistemi geliştirme. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2017. 6(2): p. 44-48.
- [32] Durmuş, H., Görüntü işleme teknikleri ile 3B yüz tanıma. 2019, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [33] Bayrakdar, S., D. Akgün, and İ. Yücedağ, Video dosyaları üzerinde yüz ifade analizi için hızlandırılmış bir yaklaşım. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2017. 23(5): p. 602-613.
- [34] Polattimur, R., Derin öğrenme yöntemi ile köpek davranışlarının analizi ve sınıflandırılması. 2019, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35] Ahmed, M.J., Çağrı merkezleri için derin öğrenme tabanlı interaktif konuşma tanıma. 2020, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [36] ÇERÇİ, A., TELAFFUZ VURGU VE TONLAMA KONULARININ DİNLEME DESTEKLİ ÖĞRETİMİ. Electronic Turkish Studies, 2014. 9(3).
- [37] ÇİNÇİN, K., Yapay Zeka ve” Dostluk” Arasındaki İlişki. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, (54): p. 239-247.

- [38] Emin, A. and B. ERBAY, Yapay zekâ sosyolojisi üzerine bir değerlendirme. Gaziantep University Journal of Social Sciences, 2022. 21(1): p. 326-337.
- [39] YÜNDEM, S., PSİKİYATRİK HASTALIKLARDA SES ANALİZİ. Current Research and Reviews in Psychology and Psychiatry, 2022. 2(2): p. 201-216.
- [40] Coşkun, F. and H.D. GÜLLEROĞLU, Yapay zekânın tarih içindeki gelişimi ve eğitimde kullanılması. Ankara University Journal of Faculty of Educational Sciences (JFES), 2021. 54(3): p. 947-966.
- [41] Doğan, O. and N. Baloğlu, ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMSAL FARKINDALIK ÖLÇEĞİ. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 2020. 22(38): p. 58-81.
- [42] ÇAVUŞOĞLU, K., ZEKÂ TÜRLERİNİN MUHASEBE UYGULAMALARI AÇISINDAN KAVRAMSAL BAĞLAMDA İNCELENMESİ. Muhasebe ve Denetim Bakış, 2023. 23(69): p. 347-364.
- [43] Mete, M.H., Sosyal bilimlerde büyük veri analitiği, yapay zeka ve makine öğreniminin kullanımı. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2023. 23(1): p. 99-120.
- [44] Ahmet, E. and M. TUNÇBİLEK, YAPAY ZEKÂ ALGORİTMALARI İLE DÖNÜŞEN DENETİM ARAÇLARI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME. Denetim, (27): p. 72-102.
- [45] ÇALIŞKAN, Z.D., YAPAY ZEKÂ STRATEJİ BELGESİ ÜZERİNE BİR İNCELEME.
- [46] İŞGÜZAR, S., ÇELİK İRADE: GÜVEN BAĞLAMINDA YAPAY ZEKÂ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME. 2021.
- [47] Tiftik, C., İnsan kaynakları yönetiminde yapay zekâ teknolojileri ve uygulamaları. IBAD Sosyal Bilimler Dergisi, 2021(9): p. 374-390.
- [48] Kulaklı, A. and B. Kulaklı, Yapay Zeka Algoritma Önyargılarına Yönelik Analiz: Kalitatif Ön Test Çalışması.
- [49] TURAN, T., G. TURAN, and E. KÜÇÜKSİLLE, Yapay Zekâ Etiği: Toplum Üzerine Etkisi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 13(2): p. 292-299.
- [50] HENKOĞLU, T., Bilgi Saklama Süreçlerinde Yapay Zekâ Sistemlerinin Kullanımına Yönelik Risk Değerlendirmesi. Arşiv Dünyası, 2019. 6(2): p. 134-147.
- [51] KÜÇÜKVARDAR, M., A. ASLAN, and S. BAYRAKCI, YAPAY ZEKÂ VE ETİK ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA. Atlas Journal, 2020. 6(36): p. 1065-1077.
- [52] Coşkun, A., Yetenek Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulamaları. Ahi Evran Akademi. 4(1): p. 49-63.
- [53] YEŞİLKAYA, N., Yapay Zekaya Dair Etik Sorunlar. Şarkiyat. 14(3): p. 948-963.
- [54] Akbaba, A.İ. and Ç. Gündoğdu, Bankacılık Hizmetlerinde Yapay Zekâ Kullanımı. Journal of Academic Value Studies, 2021. 7(3): p. 298-315.
- [55] Gülsen, I., İşletmelerde yapay zeka uygulamaları ve faydaları: perakende sektöründe bir derleme. Tüketici ve Tüketim Araştırmaları Dergisi= Journal of Consumer and Consumption Research, 2019. 11(2): p. 407-436.
- [56] Özdemir, L. and A. Bilgin, Sağlıkta Yapay Zekanın Kullanımı ve Etik Sorunlar. Sağlık ve Hemşirelik Yönetimi Dergisi, 2021. 8(3): p. 439-445.
- [57] FİLİZ, E., Ş. GÜZEL, and A. ŞENGÜLab, Sağlık profesyonellerinin yapay zekâ kaygı durumlarının incelenmesi. Journal of Academic Value Studies, 2022. 8(1): p. 47-55.

- [58] AKALIN, B. and Ü. VERANYURT, SAĞLIKTA DİJİTALLEŞME VE YAPAY ZEKÂ. SDÜ Sağlık Yönetimi Dergisi, 2020. 2(2): p. 128-137.
- [59] Şen, Y.F. and D. Yurtoğlu, Teknoloji ve Güvenlik İlişkisi Bağlamında Yapay Zekânın İstihbarat Analizindeki Önemi. Güvenlik Çalışmaları Dergisi, 2020. 22(1): p. 24-48.
- [60] ZENGİN, F., Yapay Zekâ ve Kişiselleştirilmiş Seyir Kültürü: Netflix Örneği Üzerinden Sanat Eserinin Hiper Kişiselleştirilmesi. TRT Akademi, 2021. 6(13): p. 700-727.
- [61] 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
- [62] 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.
- [63] 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.