

2024 Haziran

# MÜHENDİSLİK VE ÇEVRE BİLİMLERİNDE

Araştırmalar ve  
Değerlendirmeler

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP  
Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN

gece  
kitaplığı

**İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız**  
**Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel**  
**Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı**  
**Editörler • Prof. Dr. Coşkun ÖZALP**  
**Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN**

**Birinci Basım • Haziran 2024 / ANKARA**

**ISBN • 978-625-425-763-6**

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan  
hiçbir yolla çoğaltılamaz.

**Gece Kitaplığı**

**Adres:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt  
**No:** 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

[www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com)  
[gecekitapligi@gmail.com](mailto:gecekitapligi@gmail.com)

**Baskı & Cilt**  
**Bizim Buro**  
**Sertifika No: 42488**

# **Mühendislik ve Çevre Bilimlerinde Araştırmalar ve Değerlendirmeler**

**Haziran 2024**

**Editörler:**

**Prof. Dr. Coşkun ÖZALP**

**Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN**



# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

### BASIM SANAYİSİNDE ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN ETKİSİ

*Mustafa Batuhan KURT, Halil Yekin GÜZEL*.....1

## BÖLÜM 2

### BİR GIDA GÜVENLİĞİ SORUNU: GIDA SAHTEKÂRLIĞI

*Ayla HANÇER*.....21

## BÖLÜM 3

### GÜNEŞ PANELİ VERİMLİLİĞİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK OTOMATİK TEMİZLEME TEKNOLOJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Beytullah BOZALI, Kemal Enes YİĞİT,  
Buğra ŞENDOĞAN* ..... 43



# BÖLÜM 1

## BASIM SANAYİSİNDE ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİNİN ETKİSİ<sup>1</sup>

*Doç. Dr. Mustafa Batuhan KURT<sup>2</sup>*

*Halil Yekin GÜZEL<sup>3</sup>*

1 Bu kitap bölümü Doç. Dr. Mustafa Batuhan KURT danışmanlığında “Basım Sanayisinde Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Sürdürülebilir Üretime Etkileri” başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır (Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2024).

2 Marmara Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Basım Teknolojileri Bölümü

batuhan@marmara.edu.tr / ORCID:0000-0002-8276-0024

3 Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Eğitimi Bölüm Yüksek Lisans Öğrencisi

hyuzel@fsm.edu.tr / ORCID: 0009-0003-5815-6278

## 1. GİRİŞ

Son dönemlerde sıklıkla kullanılmaya başlanan Endüstri 4.0 kavramı ve teknolojilerinin, endüstriyel üretimde birçok teknolojik inovasyonun sağlanmasında önemli rol üstlenmesi beklenmektedir. Ancak Endüstri 4.0 ile birlikte birçok ekonomik ve sosyal değişim de gerçekleşmektedir. Endüstri 4.0'ın hâkim olduğu bu çağda, üretim faaliyetlerini gerçekleştiren şirketlerin temel hedefi, iletişim, bilgi yönetimi ve akıllı süreçler aracılığıyla sürdürülebilir üretimde esneklik ve verimliliği artırmaktır. Bu sayede, şirketler uzun vadede rekabet avantajlarını güçlendirmeyi amaçlamaktadırlar (Gabriel ve Pessl, 2016). Endüstri 4.0 (I4.0), yapay zekâ (AI), endüstriyel nesnelerin interneti (IoT) ve benzeri teknolojilerden yararlanarak, üretim faaliyetlerini gerçekleştirme amacı için farklı teknolojilerden oluşan bir araç olarak kullanılabilir. Bu teknolojiler, üretim süreçlerinde büyük verimlilik artışları sağlarken, küresel sürdürülebilirlik hedeflerini de desteklemektedir. Bu bakış açısı ile verimlilik artışı neticesinde mevcut sorunlardan ekonomiye yönelik çözümlerin kolaylaştırılması, yalın, şeffaf ve izlenebilirliği yüksek üretim sistem ürünlerinin müşteri talep ve ihtiyaçlarına göre özelleştirilmesiyle Endüstri 4.0, bütün değer zincirinde olumlu etki yaratmada önemli potansiyele sahiptir (Wagner, 2016).

Basım sanayisi, kitaplar, dergiler, gazeteler, ambalaj malzemeleri ve diğer basılı ürünlerin geniş bir yelpazesini içermekte olan, Endüstri 4.0 teknolojilerinin getirdiği yeniliklerden etkilenen önemli sektörlerden biridir.

Bu bölümde Endüstri 4.0 ve baskı teknolojileri arasındaki bağlantı incelenerek, basım endüstrisindeki dijital dönüşüm ele alınmıştır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin basım sanayisinde sürdürülebilir üretim hedeflerine nasıl katkı sağladığına odaklanan bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Dijital baskı teknolojileri, veri analitiği, yapay zekâ ve nesnelerin interneti gibi yenilikler, üretim süreçlerinde verimliliği artırırken sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin basım endüstrisindeki etkileri hakkındaki literatür, genellikle bu teknolojilerin tek bir boyutunu ele almakta veya üretim genelindeki etkileri üzerine odaklanmaktadır. Ancak, özellikle basım endüstrisi içinde, bu teknolojilerin ürün, süreç ve sistem düzeyindeki etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmediği gözlemlenmektedir. Bu çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin basım endüstrisindeki etkilerini bu farklı düzeylerde inceleyerek mevcut üretim sistemlerinden farklılıkları ortaya koymayı amaçlamaktadır. Formun Üstü

## 2. GENEL TANIMLAR VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Endüstri 4.0 veya 4. Endüstri Devrimi kavramı, 2011 yılında Almanya Hannover Fuarı'nda tanıtıldığından beri işletmeler üzerinde ekonomik



büyüme, istihdam kapasitesinin artırılması, gelirlerin adil bir şekilde paylaşılması, yoksulluğun azaltılması ve üretkenliğin artırılması gibi önemli etkiler yaratmaktadır. Dijitalleşme ve otomasyon sayesinde Endüstri 4.0, işletmelerin daha verimli, esnek ve sürdürülebilir bir şekilde faaliyet göstermelerine olanak tanırken, ulusal düzeyde ekonomik iyileşmeye ve kalkınmaya katkı sağlamaktadır (Bakkari ve Khatory, 2017). Endüstri 4.0'ın akıllı ve otonom üretimin yeni bir paradigması olduğu iddia edilmektedir (Jeschke ve ark., 2017). Üretim operasyon sistemlerini iletişim, bilgi ve veri toplama teknolojileriyle daha derinlemesine entegre etmektedir (Liu ve ark., 2017). Yaşanan teknolojik gelişmelerle Endüstri 4.0 paradigmasının sürdürülebilir endüstriyel kazanımlar oluşturmaya yönelik olduğu söylenebilir. Araştırmalar, işletmelerin Endüstri 4.0 teknolojilerini başarılı olarak benimsenmesi, örgütsel ve yönetsel uygulamalar geliştirmeleri gerektiğini ortaya koymaktadır (Agostini ve Filippini, 2019).

Endüstri 4.0 teknolojilerinin basım endüstrisindeki uygulanışı, gelişmekte olan ülkelerde faaliyet gösteren küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ) için yeni bir olgu olarak kabul edilmektedir. Bu teknolojilerin daha geniş çapta benimsenmesi, özellikle temsil edilmeyen nüfusları içeren derinlemesine anlayış ve gelişmelere ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın sürdürülebilir üretim üzerindeki etkisinin de bu anlayışın bir parçası olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu, sadece çevresel boyutları değil, sosyal ve ekonomik unsurlarını da içermelidir (Müller ve ark., 2018).

### 2.1. Endüstri 4.0 Kavramı

Endüstri 4.0, işletmelerin finansal performansı, satış hacmi, üretim miktarı, kapasite kullanım oranı, üretim hızı, ürün kalitesi ve maliyet etkinliği gibi kritik performans göstergelerinde önemli gelişmeler sağlayarak kurumsal başarıyı artırmıştır. Bu teknoloji bileşenleri, işletmelerin rekabet avantajını güçlendirirken aynı zamanda karlılığı optimize etme, satışları artırma, üretim miktarını artırma ve maliyetleri düşürme yetenekleri sunmaktadır. Endüstri 4.0'a geçiş, işletmelerin daha verimli, esnek ve rekabetçi bir yapıya dönüşmesinde önemli bir adım olarak öne çıkmaktadır (Çalış Duman ve Akdemir, 2021).

Endüstri 1.0, buhar makinelerinin 18. yüzyılda kullanılmaya başlamasıyla gerçekleşen bir devrimdir ve üretimi artırmayı hedeflemiştir. Endüstri 2.0 ise, 20. yüzyılın başlarında seri üretime geçilmesi ve enerjinin elektrikle sağlanmasıyla şekillenmiştir. Bu dönem, üretim sistemlerinin analog olmaktan çıkıp dijital sistemlere evrildiği bir dönemi temsil eder. Sonrasında gelen Endüstri 3.0 ise, bilgi teknolojisinin sanayide etkin bir şekilde kullanılmasıyla karakterizedir. İlk üç endüstri devrimi, üretime mekanik, elektrik ve bilgi teknolojilerini getirerek endüstriyel pek çok alanda önemli değişikliklere yol açmıştır (Yıldız, 2018). Teknolojinin hızlı evrimi

endüstriyel sektörlerde köklü değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişikliklerin odak noktası, üretim süreçlerini optimize etmek, verimliliği artırmak ve rekabet avantajı elde etmektir. Bu bağlamda, Endüstri 4.0 kavramı ortaya çıkmıştır ve endüstriyel dönüşümün yeni bir aşamasını temsil etmektedir. Endüstri 4.0, operasyonel ve bilgi teknolojilerini entegre ederek en yeni teknolojik gelişmeleri kullanarak üretimi yeniden değerlendiren bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Shi ve ark., 2020).

Endüstri 4.0'ın temel amacı, üretim süreçlerini daha uyarlanabilir, etkin ve akıllı bir hale getirerek rekabet avantajı sağlamaktır. Bu hedefin ana özelliği, üretim süreçlerinin dijitalleştirilmesidir. Geleneksel mekanik ve analog sistemler, Endüstri 4.0'ın getirdiği dijital teknolojilerle yer değiştirmektedir. Endüstri 4.0, IoT, IoS ve siber-fiziksel sistemler gibi yeni teknolojilerin üretim ortamına entegrasyonu ile dördüncü bir sanayi devriminin temellerini atmaktadır (Kagermann ve ark., 2013). Çeşitli teknolojiler arasındaki etkileşimi vurgulayan bir bakış açısı, şirketlerin operasyon yönetimini temelden değiştirmektedir. Bu teknolojilerin etkin kullanımı, çeşitli faaliyet alanlarında uygulama potansiyeli taşımakta ve şirketlerin operasyonel süreçlerini daha esnek, verimli ve yenilikçi bir şekilde yönetmelerini gerektirmektedir. Teknolojik entegrasyonlar, iş dünyasında önemli bir dönüşümü beraberinde getirerek rekabet avantajı sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır (Fettermann ve ark., 2018).

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından yapılan bir çalışma, Türkiye'nin endüstri devrimleri içindeki konumunu değerlendirmeyi ve gelecekte atılacak adımları belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma, Türkiye'nin sanayide dijital olgunluk seviyesinin 2016 yılı için Endüstri 2.0 ile Endüstri 3.0 geçiş aralığını ortaya koymaktadır (Yıldız, 2018). Çalış Duman ve Akdemir (2021) tarafından yapılan bir araştırma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanmasındaki zorlukları değerlendirmiştir (Tablo.1). Araştırmaya göre, işletmelerin %44,3'ü, Endüstri 4.0 teknolojilerini etkin bir şekilde uygulayabilmek için kalifiye çalışan eksikliğiyle karşı karşıyadır. İkinci olarak, işletmelerin %20'si maliyetlerle ilgili araştırma ve eğitimde zorluk yaşamaktadır. Bu sonuçlar, Türkiye'nin Endüstri 4.0 geçiş yol haritasında öncelikli olarak ele alınması gereken alanları belirleme noktasında önemli bir perspektif sunmaktadır.

**Tablo 1.** Endüstri 4.0 uygulama zorlukları (Çalış Duman ve Akdemir, 2021)

Nedenler	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde (%)
Finansman eksikliği	6	7,6	7,6
Bilgi eksikliği	9	11,4	19,0
Nitelikli çalışan devamsızlığı	35	44,3	63,3
Siber güvenlik	6	7,6	70,9
Standardizasyon sorunu	6	7,6	78,5
Araştırma ve eğitim maliyetleri	16	20,3	98,7
Diğer	1	1,3	100,0
Toplam	79	100,0	

### 2.1.1. Endüstri 4.0'ın Getirdiği Avantajlar

Endüstri 4.0, üretim gerçekleştirilen sektörlerde yüksek kâr oranları, artan verimlilik seviyeleri ve daha kaliteli, iyileştirilmiş çalışma koşulları gibi birçok fayda sağlamaktadır (Hofmann ve Rüşch, 2017). Verimlilik, esneklik, kişiselleştirme, büyük veri analitiği, insan-makine iş birliği ve sürdürülebilirlik gibi alanlarda sağlanan gelişmeler, işletmelerin rekabetçiliğini artırarak yenilikçi ve verimli üretim ortamı oluşturur. Bu sebeple, şirketlerin Endüstri 4.0'a uyum sağlamaları ve bu teknolojileri etkin bir şekilde kullanmaları önemlidir. Endüstri 4.0 uygulamaları, ürün, malzeme, enerji ve kaynak tahsisinde akıllı ve birbiriyle bütünleşmiş değer oluşturma aşamalarında etkili şekilde kullanılabilir (Stock ve Seliger, 2016).

### 2.1.2. Endüstri 4.0 Uygulama Zorlukları

Endüstri 4.0'ın uygulanması çeşitli zorluklar içerir. Teknolojik açıdan, farklı üreticilerden gelen endüstriyel cihazların uyumsuzluğu, büyük veri setlerinin etkili bir şekilde analiz edilmesi ve uyumlu bir şekilde kullanılması, karmaşık algoritmaların oluşturulması ve optimize edilmesi gibi zorluklarla karşılaşılabilir. Yönetimsel açıdan, Endüstri 4.0'a geçiş için gereken yatırımların karşılanamaması, uzmanlık gerektiren yeni teknolojilere hâkim personel eksikliği, veri güvenliği ve siber güvenlik konularındaki endişeler gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Endüstri 4.0'ın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için teknolojik, yönetimsel ve operasyonel alanlarda çeşitli sorunlara karşı etkili çözümler geliştirilmesi önemlidir (Bajic ve ark., 2021).

## 2.2. Basım Endüstrisi

Basım endüstrisi, dünyadaki tüm ülkeler için önemli bir sektördür. Gelişmiş ekonomilerde matbaacılık ve bağlantılı endüstriler, büyüklük açısından ilk on endüstri sektörü arasında yer alır. Basım sektörünün tüm dalları, yayıncılık ve ilgili endüstriler olan ambalaj, kâğıt ve karton yapımı, mürekkep yapımı ve makine imalatı ile birleştirildiğinde, havacılık ve otomobil imalatı gibi endüstrilere eşit bir sektörü temsil etmektedir (Blunden ve Birkenshaw, 1988). Yüzyıllardır kitaplar, dergiler, gazeteler ve diğer yayınlar aracılığıyla bilgiye erişim sağlamıştır. Ancak son yıllarda dijitalleşme ve teknolojiadaki hızlı ilerlemeler, basım sanayisini derinden etkilemiştir (Sunesti, 2011).

### 2.2.1. Baskı Teknolojileri

Matbaanın icadı, modern toplum yapısı için önemli bir adım olarak kabul edilir. İletişimde devrim niteliğinde bir gelişme olan bu icat, sosyal, kültürel ve politik değişimlerde önemli bir rol oynamıştır. Avrupa’da erken modern dönemde icat edilen matbaa tekniği, ileri teknolojinin hızlı büyümesiyle birlikte sürekli olarak dönüşmüş ve toplumsal yaşama katkı sağlamıştır. Matbaa, modern dönemin yükselişiyle birlikte milliyetçiliğin, medya endüstrilerinin, rasyonel düşüncenin, kamusal alanın ve modern devlet sisteminin ortaya çıkmasını teşvik ederek Batı toplumunun modernleşmesine önemli katkılarda bulunmuştur (Sunesti, 2011).

Basım sanayisindeki teknolojik gelişmeler, üretim süreçlerini daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmiştir. Günümüzde matbaacılıkta Şekil 1’de gösterildiği gibi ofset baskı, flekso baskı, gravür baskı, serigrafik baskı ve dijital baskı kullanılmaktadır. Bu baskı yöntemleri, gelişen teknoloji ile daha yüksek kaliteli baskılar, daha hızlı üretim süreçleri ve daha esnek baskı seçenekleri sunmaktadır. Ayrıca, mürekkep ve kâğıt tasarrufu sağlayarak çevresel etkiyi azaltma potansiyeline sahiptirler (Tunçel, 2019).



Şekil 1. Temel baskı yöntemleri

- **Ofset Baskı**

Ofset baskı, yüksek kaliteli ve büyük miktarda baskı yapmanın etkili bir yöntemidir. Ofset baskı kalıbı üzerindeki görüntünün doğrudan baskı malzemesine aktarılması yerine, önce blanket silindirine ve ardından blanket silindir üzerinde oluşan görüntünün de baskı altı materyaline aktarılması prensibine dayanır. Bu süreç, daha keskin hatlar, daha zengin renkler ve daha yüksek baskı çözünürlüğü elde etmeyi mümkün kılar. Ofset baskı, geniş bir renk yelpazesi ve yüksek baskı çözünürlüğü sunmasıyla birlikte çeşitli kâğıt türleri ve malzemeler üzerine baskı yapma yeteneği ile esneklik sağlar (Şimşeker, 2007a). Endüstri 4.0 perspektifinden bakıldığında, baskı sonucunun görsel kalitesi, baskı altı malzemesi ve mürekkebin optimize edilmiş entegrasyon sürecine büyük ölçüde bağlıdır. Kâğıdın yapısal özellikleri, kayıpsız baskı ve istenen renk değerlerinin elde edilmesi açısından büyük öneme sahiptir (Özomay, 2019).

Ofset baskı, ekonomik ve verimli bir çözüm sunan bir baskı tekniğidir ve özellikle yüksek adetli baskılarda tercih edilir. Bu yöntem, çeşitli endüstrilerde geniş bir kullanım yelpazesi sunar ve hedeflenen sonuca kısa sürede ve ekonomik olarak ulaşmayı sağlar. Başarılı bir baskı süreci için zaman, ekonomi ve kalite unsurlarının dengeli bir şekilde bir araya getirilmesi önemlidir. Kaliteli sonuçlar elde etmek için baskı tekniğinin iyi bilinmesi ve kalite kontrol standartlarının uygulanması gereklidir. Bu faktörler, ofset baskının tercih edilmesini ve başarılı sonuçların elde edilmesini sağlar (Ünal, 2007).

- **Flekso Baskı**

Flekso baskı, esnek ambalaj malzemeleri, karton kutular, etiketler, karton gibi yüzeylere baskı yapmada ve gazete, dergi gibi birçok ürünün baskısında yaygın olarak kullanılır. Gıda sektörü, ilaç endüstrisi, hızlı tüketim malları üretimi ve perakende sektörü gibi birçok sektörde flekso baskıya ihtiyaç duyulur. Bu teknoloji, hızlı baskı süreleri, düşük maliyetler ve dayanıklı baskılar sağlayan bir yöntemdir (Kurt, 2012).

Flekso baskı sistemi, yüksek baskı sistemleri içinde yer almaktadır. Bu baskı sistemine ait olan baskı ünitesi, mürekkep ünitesi, baskı kalıbı silindiri, Dr. blade olarak da adlandırılan sıyırıcı rakle, aniloks merdane ve baskı silindirini içermekte ve bu öğeler yüksek baskı sistemlerinin temel bileşenleridir (Hofstrand, 2006). Tram sıklığının yüksek olduğu alanlarda, yüzey düzgünlüğü arttıkça tram noktalarında meydana gelen görüntü kayıpları azalır. Bu durum, görsel kalitenin artmasına yol açar (Sönmez, 2017). Flekso baskı yöntemi, yüksek hızlarda çalışabilen makinelerle kullanılabilir ve büyük miktarlarda baskı yapma kapasitesine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde flekso baskı, endüstriyel baskı alanında geniş bir kullanım alanına sahip ve yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Şimşeker, 2007b).

- **Gravür Baskı**

Gravür, metal plakaların oyma teknikleriyle baskı yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Yüksek kaliteli ve detaylı baskılar elde etmek için tercih edilir ve özellikle güvenlik baskıları, banknotlar ve sanat baskıları gibi alanlarda kullanılır. Sanatçılar, tasarımcılar ve baskı uzmanları tarafından uzun süredir tercih edilmektedir. Gravür, farklı endüstrilerde geniş bir kullanım alanına sahiptir ve kaliteli sonuçlar elde etmek için ideal bir seçenektir (Grau ve ark., 2016; Lee, 2002). Gravür baskıda öncelikle görüntü bir metal plakanın yüzeyine kazıma veya oyma işlemiyle aktarılır. Bu plaka genellikle bakır, çelik veya pirinç gibi metal malzemelerden yapılmıştır (Aydemir ve Özhakun, 2014). Görüntü aktarımı için kullanılan plaka, mürekkep ile kaplanır ve fazla mürekkep silinerek sadece görüntünün olduğu alanlar mürekkeple kaplanır. Ardından, bu plaka bir baskı presine yerleştirilir ve mürekkepli yüzey, baskı altı materyaline bastırılarak görüntü kalıptaki oymalarının bu materyale aktarılmasını sağlar.

- **Serigrafi Baskı**

İpek baskı veya serigrafi baskı, yüzeyinde delikli gözeneklerden oluşan kalıba mürekkep uygulanarak görüntünün aktarılmasını sağlayan bir baskı tekniğidir. Bu yöntem, kumaş, kâğıt, cam, metal ve plastik gibi çeşitli malzemelere baskı yapmak için kullanılabilir. Bu esneklik, serigrafi baskının geniş bir uygulama yelpazesi içinde kullanılmasına olanak tanır.

Serigrafi baskı, özel tişörtler, posterler, tabelalar, etiketler ve diğer birçok basılı materyalin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu baskı tekniği, çok yönlülüğü, dayanıklılığı ve çeşitli yüzeylerde canlı ve opak baskılar üretebilme yeteneği ile bilinir. Ancak, küçük tirajlar veya karmaşık tasarımlar için diğer baskı yöntemleri, özellikle dijital baskı ile karşılaştırıldığında maliyet açısından verimli olmayabilir. Serigrafi baskının dezavantajları arasında daha yavaş baskı hızı ve daha uzun baskı ön hazırlık aşamalarının bulunması öne çıkar (Akgül, 2011).

- **Dijital Baskı**

Dijital baskı, bilgisayar kontrollü bir yöntem olup dijital dosyaların doğrudan bir baskı makinesine aktarılmasıyla gerçekleştirilen bir teknolojidir. Geleneksel baskı yöntemlerine göre daha hızlı, hassas ve esnek bir baskı süreci sunar. Dijital baskı, daha az işgücü gerektirir ve kısa baskı öncesi süreleriyle düşük tirajlı işlerde zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Ayrıca özelleştirilmiş baskılar için ideal bir seçenektir (Şimşeker, 2007a). Dijital baskı, düşük tirajlı baskıları ekonomik bir şekilde gerçekleştirebilir, hatta tek bir kopya bile ekonomik olabilir. Bu durum, kişiselleştirilmiş ürünlerin veya özel projelerin basımını kolaylaştırır (Kipphan, 2001).

Dijital baskı sistemleri, geleneksel baskı sistemlerine alternatif olarak hızla gelişmekte ve teknolojik ilerlemelerle birlikte kendi benzersiz baskı metodunu oluşturmaktadır. Bu süreçte dijital baskı, kendine özgü bir yer edinmektedir (Şahinbaşkan, 2011). Baskı sistemlerinde en son geliştirilen dijital baskı sistemleri, Endüstri 4.0'ın tam olarak kullanılmasını sağlayan baskı sistemidir. İnsanların ve robotların iş birliği içinde çalıştığı, sürdürülebilir ve esnek üretim sistemlerinin benimsendiği bir endüstriyel dönüşüm konsepti olması beklenen Endüstri 5.0 teknolojisine de dijital ve esnek üretime uyumundan dolayı dijital baskı sistemlerinin ilk olarak uyum sağlaması beklenmektedir. .

### 2.2.2. Baskı Teknolojilerindeki Gelişmeler

Baskı teknolojilerindeki ilerlemeler, basım sanayisinde daha etkili, yüksek kaliteli ve sürdürülebilir baskı süreçlerini mümkün kılmıştır. Dijital, ofset, flekso, serigrafi ve gravür gibi çeşitli baskı yöntemleri, farklı ihtiyaçlara özel çözümler sunarak işletmelerin rekabet avantajını artırır ve müşteri beklentilerini karşılar. Bu teknolojilerin çevresel etkiyi azaltma potansiyeli, sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sağlamaktadır (He, 2019).

2017’de yapılan bir Smithers Pira araştırmasına göre, katılan şirketlerin %96’sı sürdürülebilir ambalajlamanın kritik bir unsur olduğunu belirtmiştir (Smithers Pira, 2019). Endüstri 4.0 teknolojilerinin basım sanayisinde kullanımı, sürdürülebilir üretim hedeflerini desteklemektedir. Önde gelen firmalar, ürünlerinin enerji verimliliğini artırmak ve çevresel etkilerini azaltmak için çeşitli stratejiler benimsemektedir. Endüstri 4.0 teknolojileri, baskı süreçlerinin genel verimliliğini optimize etmek için kullanılmaktadır. Matbaalarda hala en çok kullanılan baskı sistemi ofset baskı sistemidir. Bu nedenle, araştırmada inovasyonlar ofset baskı sistemleri üzerinde anlatılmıştır, ancak bu gelişmeler (nemlendirme sistemleri hariç) diğer baskı sistemleri için de geçerlidir.

- **Baskı makinesi enerji verimliliği**

Endüstri 4.0, modern üretim süreçlerine entegre edilen akıllı teknolojilerin evrimini temsil eder. Bu kapsamda, üretici firmalar tarafından geliştirilen yeni nesil baskı makinelerinde avantajlı özellik olarak bulunan bekleme modu, Endüstri 4.0’ın sunduğu yenilikçi çözümlerden biridir. Bekleme modu, özellikle sistem enerji tüketimini, işletim moduna kıyasla önemli ölçüde azaltma kapasitesine sahiptir. Bu modun sistem enerji tüketimi, işletim modu ile karşılaştırıldığında enerji sarfiyatını 10 kW’dan 3 kW’a kadar azaltarak, ideal üretim pratiğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Heidelberg, 2021).

Bu özellik, enerji verimliliğini artırmak için etkili bir çözüm sunar. Makinelerin kullanılmadığı veya düşük kapasitede çalıştığı durumlarda devreye girer, enerji tüketimini düşürerek çevresel etkileri minimize eder. Bekleme modu sayesinde sistem enerji tüketimini önemli ölçüde azaltarak enerji tasarrufu sağlanmasına ve karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlar. Bu mod ayrıca, makinelerin ömrünü uzatarak sürdürülebilir üretim sürecine katkıda bulunur. Bu akıllı teknoloji, üretici firmaların çevresel sürdürülebilirlik odaklı üretimde önemli bir rol oynamasını sağlar. Bekleme modu gibi inovatif özellikler, baskı endüstrisinin çevresel etkiyi azaltma ve enerji verimliliğini artırma hedeflerine ulaşmasına yardımcı olur.

- **Yüksek verimli kurutucular**

Endüstri 4.0 teknolojileri, baskı makinelerinde hassas ve verimli işleme imkânı sağlar. Özellikle gelişmiş kurutucular, baskı işlemi sırasında ıslak mürekkebin hızla kurummasını sağlayarak üretkenliği artırır. Yeni nesil baskı makineleri, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği odaklı tasarımlarla dikkat çeker. Bu tasarımlar, baskı işleminin çevresel uyumluluğunu artırmayı, enerji ve malzeme kullanımını optimize etmeyi amaçlar. Yüksek verimli kurutucular, enerji tasarrufunu sağlar ve baskı sürecinin karbon ayak izini azaltmaya yönelik bir adımdır. Bu geliştirmeler, üretkenlik ve kaliteyi artırmanın yanı sıra endüstriyel süreçlerin çevresel etkileri-



ni minimize etmeyi hedefler. Baskı makineleri, teknik açıdan mükemmel sonuçlar elde etmenin yanı sıra sürdürülebilir baskı uygulamalarına geçişi teşvik eder. Bu özellikler, çevresel sorumluluk ve kalite standartlarına önem veren endüstri profesyonelleri için önemli bir çözüm sunar.

- **Dijital kontrollü nemlendirme ünitesi (Ofset baskılarda)**

Bu sistemde, nemlendirme çözeltilisinin miktarı döner ve dozaj merdaneleri ile belirlenir ve ölçülür. Geliştirilen otomasyon sistemi, baskı merkezi üzerinden presleme/sıkma artıklarını otomatik olarak kontrol edebilir, böylece zaman ve emek tasarrufu sağlar. Nemlendirme ünitesinin temel ayarları dijital olarak kaydedilebilir ve kontrol edilebilir. Bu gelişme, matbaalardaki nemlendirme ünitesi ayarlarının yanlış konfigürasyonundan kaynaklanan servis çağrılarını azaltmayı amaçlar. Baskı operatörleri, kontrol paneli üzerinden nemlendirme ayarlarını daha hassas bir şekilde kontrol edebilir, böylece daha hızlı tepki verebilirler. Bu, daha az kâğıt atığını ve daha istikrarlı bir baskı üretimini destekler. Bu gelişmeler, matbaalarda sürdürülebilir ve etkili üretim koşulları sağlamak adına önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Özellikle ambalaj baskısı süreçlerinde, yıkama sürelerini azaltmak için merdaneler ve yıkama sistemlerinde iyileştirmeler yapılmaktadır. Yeni kontrol ünitesi yazılımları, kirlilik derecesi ve optimal yıkama programını akıllıca belirleme konusunda yardımcı olur. Ayrıca, su ve çeşitli yıkama sıvılarının mürekkepleme ünitesinde ölçülmesine imkân tanır.

Bu sistem flekso baskı sistemlerinde Dr.Blade'in açısının otomatik olarak makinenin kendini ayarlamasıyla, dijital baskı sistemlerinde yeterli mürekkep miktarının optik okuyucular tarafından ilgili alanlardan okunup otomatik olarak düzeltme yapmasıyla, serigrafi baskıda rakle basıncını ve açısını otomatik olarak ayarlanmasıyla aynı prensibe dayanır.

- **Yeni nesil mürekkep merdaneleri, genişletilmiş akıllı yıkama sistem ve programları**

Modüler yapıdaki blanket yıkama cihazlarının bileşenlerinde yapılan iyileştirmeler, özellikle %20'lik bir hafifletme sağlayarak sektöre önemli katkılar sunmuştur (Heidelberg, 2021). Kaplama üniteleri için geliştirilen tam otomatik baskı silindiri yıkama cihazı, endüstriyel baskı makinelerinde etkili bir performans sergilemektedir. Yeni nesil mürekkep merdaneleri, operasyonel verimliliği artırırken yeniden yıkanma ihtiyacını minimize etmektedir. Bu gelişmeler, özellikle ambalaj baskı sektöründe önemli bir tercih sebebi haline gelmiştir. Yüksek kaliteli baskıların yanı sıra operasyonel verimliliğin artırılması, endüstriyel baskı süreçlerinde rekabet avantajı sağlamaktadır. Yeni teknolojilerle donatılmış blanket yıkama cihazları, ambalaj ve baskı endüstrisindeki hızlı ve yoğun üretim taleplerine karşı etkili çözüm sunarak sektördeki paylarını artırmaktadır. Üretici firmaların

blanket yıkama cihazları ve mürekkep merdaneleri alanındaki yenilikçi geliştirmeleri, endüstriyel baskı süreçlerinde verimliliği artırmaya yönelik önemli katkılar sağlamaktadır.

- **Baskı kalıbı yönetimi dijital çözümleri**

Manuel kalıp değiştirme işlemlerinden dolayı operatörler üzerinde oluşan gerginlik, bu işlemin uzun vadede sürdürülebilir olmasına engeldir. Direkt kalıptan üniteye sistemler, tam otomatik kalıp değiştirme sağlayarak bu soruna çözüm sunar. Bu sistemler, dijital iş akışı entegrasyonu ile çalışır ve operatörlere gerçek zamanlı iş bilgileri sağlar. Sensör kontrolü bir süreçle kalıplar taranır, iş bilgileri alınır ve veriler önceden yüklenir, bu da hızlı hazırlıklara olanak tanır. Bu süreç, manuel müdahaleleri azaltarak zaman ve işgücü tasarrufu sağlar. Tam otomatik kalıp değiştirici teknolojisi, kalıp değişimi için gerekli süreyi %30'un üzerinde azaltır (Heidelberg, 2021) ve sürdürülebilir üretimi artırır. Sonuç olarak, Endüstri 4.0 teknolojileri, baskı sanayisinde üretimin bu aşamasına önemli katkılar sağlar. Önemli pazar payına sahip öncü firmaların benimsemiş olduğu bu teknolojiler, çevre dostu üretim ve enerji verimliliği konularında sektöre öncülük etmektedir.

- **Baskı üretim süreçlerinin uzaktan izlenmesi**

Baskı ve ambalaj endüstrisinde, makinelerin ve baskı süreçlerinin uzaktan izlenmesi, kalite, verimlilik ve esneklik taleplerini karşılamak amacıyla kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu uzaktan izleme, çalışma süresini en üst düzeye çıkarma, erken arıza tespiti, verimli bakım, maliyet tasarrufu ve optimize edilmiş küresel üretim ve lojistik gibi bir dizi avantaj sunmaktadır. Uzaktan izleme için temel araçlar; telemetri ve sensör teknolojisi, Nesnelerin İnterneti platformları, uzaktan erişim yazılımları, veri analizi araçları, alarm ve bildirim sistemleri olarak öne çıkmaktadırlar. Bu araçlar ve teknolojiler, baskı ve ambalaj endüstrisindeki makinelerin verimli uzaktan izlenmesi ve bakımı ile çalışma süresini maksimuma çıkarmak, arıza süresini en aza indirmek ve genel verimliliği artırmak gibi önemli avantajlar sunmaktadır.

### 2.3. Basım Sanayisinde Endüstri 4.0 Teknolojileri

Endüstri 4.0, üretim süreçleri ile bütünleşen otomasyon ve dijitalleşme gibi teknolojik ilerlemeleri temsil eden bir kavramdır. Bu dönüşüm, çeşitli sektörlerde verimliliği artırmak, süreçleri optimize etmek ve rekabet gücünü yükseltmek amacıyla benimsenmiştir (Bai ve ark., 2020). Endüstri 4.0, gelişmiş birçok ülke tarafından temelleri atılmış ve devamı için güçlü adımlar atmaktadırlar. Amerika, Almanya, Finlandiya ve Çin gibi ülkelerde Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmalar yapılmakta olduğu görülmektedir (Yıldız, 2018). Basım sanayisi, Endüstri 4.0 teknolojileriyle büyük bir

dönüşüm sağlamaktadır. Otomasyon, veri analitiği, yapay zekâ ve diğer ileri teknolojiler, baskı süreçlerini daha verimli, esnek ve özelleştirilebilir hale getirmektedir. Bu teknolojilerin kullanımı, basım sanayisinin rekabet gücünü artırırken aynı zamanda kalite kontrolü, bakım ve servis gibi alanlarda da önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Gelecekte, Endüstri 4.0'ın etkisiyle basım sanayisinde daha fazla inovasyon ve gelişim beklenmektedir. (Kluczek ve ark., 2023).

### 2.3.1. Otomasyon ve verimlilik

Endüstri 4.0, otomasyon ve verimlilik odaklı bir dönüşüm sürecidir. Akıllı makineler, sensörler ve veri analitiği gibi teknolojiler, üretim süreçlerini daha etkin ve hızlı hale getirerek işletmelere önemli avantajlar sunar. Bu teknolojiler ayrıca, hataların gerçek zamanlı izlenip düzeltilmesine olanak tanır, tedarik zinciri yönetimi ve işgücü dönüşümü gibi alanlarda olumlu etkiler sağlar. Çalışanların yeni teknolojilere uyum sağlaması için verilen eğitim ve destek bu süreçte kritik bir rol oynar (Bal ve Erkan, 2019).

Otomasyon, üretim süreçlerinde insan müdahalesini azaltarak işleri hızlı ve hatasız bir şekilde gerçekleştirmeyi amaçlar. I4.0 teknolojileri, baskı makinelerinde oluşan renk hatalarını optik okuyucular ve kameralarla tespit ederek otomatik olarak düzeltme yeteneği sunar. Bu teknolojiler, akıllı sensörler ve yapay zekâ sistemleri gibi araçlarla istenilen baskı hedeflerine ulaşmayı sağlar. Otomasyon, tekrarlayan görevleri otomatize ederek işçilerin daha karmaşık görevlere odaklanmasını sağlar (Janczar, 2024). I4.0 teknolojileri aynı zamanda tedarik zinciri yönetiminde de büyük faydalar sağlar. Akıllı lojistik sistemleri, ürünlerin takibini ve yönetimini kolaylaştırır. Bu sayede, stok düzeyleri optimize edilebilir, malzeme kayıpları azaltılabilir ve tedarik süreçleri daha verimli hale getirilebilir. Ayrıca, tedarik zinciri içinde farklı bileşenler gerçek zamanlı veri paylaşımı, daha iyi koordinasyon ve hızlı reaksiyon imkânı sağlar (Gabriel ve Pessl, 2016).

Ancak Endüstri 4.0'ın getirdiği otomasyon ve verimlilik işletmelerin büyümesini ve yenilenmesini sağlaması gibi avantajlarıyla birlikte bazı zorluklar da vardır. Özellikle, mevcut işgücünün bu teknolojilere uyum sağlaması ve yetkinliklerini geliştirmesi gerekmektedir. Eğitim ve dönüşüm programlarıyla işçilerin yeni teknolojileri kullanma becerileri geliştirilmelidir. Ayrıca, veri güvenliği ve altyapı gibi konular da dikkate alınmalıdır (Blunck ve Werthmann, 2017). Chris Janczar'a (2024) göre, otomasyon sistemleri sadece verimsizlikleri ortadan kaldırarak süreçleri kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda insan sermayesini katma değerli görevlere odaklanması için güçlendirir.

### 2.3.2. Esneklik ve özelleştirme

I4.0 bileşenleri ile geliştirilmiş akıllı fabrikalarda gerçekleştirilen üretimler yeniden planlanabildiklerinden hammadde, malzeme, ürün veya program değişikliği gibi etkenlere bağlı olarak senkron biçimde güncelenebilmektedirler. Bu esneklik ile üretim değişikliklerine asgari düzeyde müdahale ile entegre olmasına izin vermektedir. Endüstri 4.0'ın basım sanayisine getirdiği esneklik ve özelleştirme imkânları, müşteri taleplerine hızlı yanıt verme yeteneğini artırır (Şekkeli ve Bakan, 2018). I4.0, üretim süreçlerindeki veri toplama ve analiz yeteneklerini artırır. Bu sayede, üretim süreçlerinin izlenmesi, sorunların tespit edilmesi ve iyileştirmelerin yapılması kolaylaşır. Veri analitiği, kalite kontrolünü iyileştirir ve hataları azaltır (Bal ve Erkan, 2019). Basım şirketlerinin çeşitli müşteri talep ve beklentilerini karşılayabilmesi için üretim süreçleri daha kolay uyarlanabilir. I4.0'ın ilerleyen dönemlerde daha da gelişmesiyle birlikte, basım sanayisinde esneklik ve özelleştirme potansiyeli daha da artacak ve müşteri taleplerine hızlı yanıt verme imkânı sağlanacaktır. Bu sayede, basım şirketleri müşteri beklentilerini daha kolay karşılayabilir ve rekabet avantajı elde edebilir (Villalba-Diez ve ark., 2019).

### 2.3.3. Kalite kontrolü

Kalite kontrolü, üretim süreçlerinde kritik bir role sahiptir. İleri teknolojiler, geleneksel yöntemlere kıyasla daha verimli ve hatasız bir kalite kontrol sağlar. Sensörler ve görüntü işleme teknikleriyle gerçek zamanlı kontrol, hatalı üretimi önler ve kalite standartlarını sağlar. Bu da şirketlerin rekabet gücünü artırırken müşteri memnuniyetini ve üretim verimliliğini artırır (Şekkeli ve Bakan, 2018).

Endüstri 4.0'ın kalite kontrol süreçlerine getirdiği en büyük yeniliklerden biri sensör teknolojileridir. Üretim hatlarına entegre edilen sensörler, ürünlerin çeşitli özelliklerini ölçerek gerçek zamanlı veriler elde eder. Bu sensörler, ürünlerin boyutlarını, ağırlıklarını, sertliklerini, renklerini ve diğer kalite kriterlerini sürekli olarak izleyebilir. Görüntü işleme teknikleri ise kameralar ve bilgisayar algoritmalarını kullanarak ürünlerin görüntülerini analiz eder, istenmeyen hataları veya kusurları tespit eder. Bu teknolojiler, hataların erken tespitini sağlar, üretim hattındaki problemleri hızla çözer ve insan hatasını en aza indirerek daha objektif bir kalite kontrol süreci sunar (Blunck ve Werthmann, 2017).

Endüstri 4.0 teknolojileri, veri analitiği ve yapay zekâ algoritmalarıyla entegre olarak kalite kontrol süreçlerini daha da geliştirir. Büyük veri analizi, üretim sürecindeki verilerin anlamlı bilgilere dönüştürülmesini sağlar. Yapay zekâ algoritmaları ise hataları tahmin eder ve kalite kontrolünde iyileştirmeler için öneriler sunar (Bal ve Erkan, 2019). Bu katkılar, basım

sanayisinde daha kaliteli ve sürdürülebilir üretimi mümkün kılar. Ayrıca, I4.0 teknolojisinin uygulanmasıyla optik okuyucular, densitometreler ve spektrofotometreler gibi cihazlar makineler üzerine uyarlanarak baskı sırasında kalite kontrolü sağlanır. Bu da zaman, enerji, hammadde ve insan gücü tasarrufu sağlar.

#### 2.3.4. Bakım yönetimi

Endüstri 4.0 teknolojileri, basım makinelerinin bakım ve servis süreçlerini optimize eder. Sensörler ve veri analitiği ile makinelerin durumu ve performansı izlenir. Gerçek zamanlı veriler toplanarak analiz edilir, böylece bakım ihtiyaçları önceden tespit edilir, arıza süreleri minimize edilir ve makinelerin verimliliği artırılır (García ve García, 2019). Sensörler, makine parametrelerini izleyerek anormal durumları tespit eder ve operatörlere ve bakım ekiplerine bildirim gönderir. Bu sayede, planlı bakım yapılabilir ve beklenmedik üretim duruşları önlenir. Erken bakım tespiti, makinelerin ömrünü uzatır ve işletmelere maliyet tasarrufu sağlar. Örneğin, aşınma veya hatalı bileşenlerin erken tespiti, daha büyük arızaların önlenmesini sağlar ve üretim sürekliliğini artırır. (MacArthur ve Waughray, 2016).

I4.0 teknolojileri, veri analitiği ve makine öğrenimi gibi yöntemlerle makinelerin performansını optimize eder. Bu sayede, makineler daha verimli çalışır, enerji tüketimi azalır ve üretim kapasitesi artar. Bu da işletmelere maliyet tasarrufu, üretim sürekliliği ve rekabet avantajı sağlar. Basım sektörü, I4.0 teknolojilerinin kullanımıyla daha akıllı, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde gelişmeye devam eder (Bal ve Erkan, 2019).

### 3. SONUÇLAR

Endüstri 4.0 ve baskı teknolojilerine yönelik literatürde, sürekli artan talebe rağmen kavramsal ve uygulanabilirlik perspektiflerinin eksik olduğu görülmektedir. Mevcut eğilimleri ve gelecek perspektiflerini belirleyerek süreç entegrasyonunu ve sürdürülebilir sonuçları içeren bir Endüstri 4.0 çerçevesi önerilmektedir. Bu çerçeve, baskı endüstrisinde I4.0 teknolojilerinin benimsenmesine yönelik stratejik bir yaklaşım sunarak uygulayıcılar ve akademisyenler için bir rehber niteliği taşır. Basım sektörü, dijitalleşme aracılığıyla üretim performansını artırarak iş akışlarını otomatikleştirmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonu, sürdürülebilir üretimi destekler. Verimlilik artışı, kaynak tasarrufu, ürün kalitesinin iyileştirilmesi, esnek üretim ve lojistik yönetimi gibi faktörler, sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, Endüstri 4.0 teknolojilerinin atıkların en aza indirilmesine, enerji tasarrufuna ve malzeme israfını azaltan yeni malzemelerin geliştirilmesine katkıda bulunduğu gösterilmiştir. Ayrıca, Endüstri 4.0'ın

benimsenmesinin, kurumsal performansı olumlu yönde etkileyen yalın üretim uygulamalarını mümkün kıldığı ve üretimi desteklemede önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Bu teknolojilerin üretim süreçlerine entegrasyonu sonucunda basım endüstrisinde verimli, esnek ve ileri üretim sistemleri oluşturmada çeşitli etkiler yaratmaktadır. Bu etkiler:

- **Verimlilik ve üretkenlik artışı:** Endüstri 4.0 teknolojileri, otomasyon ve dijitalleşme ile baskı endüstrisinde süreçlerin hızlı, hassas ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar. Operasyonel verimliliği artırarak tekrarlayan görevleri otomatikleştirir ve insan hatasını minimize eder. Bu çözümler, kaynak tüketimini azaltarak sürdürülebilirliği destekler. Dijitalleşmeyle birlikte baskı makineleri daha hızlı hale gelirken, kalite kontrolleri baskı sırasında otomatik olarak yapılır, bu da günlük farklı ürün baskı miktarını artırır.
- **Azaltılmış kaynak, atık ve enerji verimliliği:** Endüstri 4.0 teknolojileri, üretim süreçlerinde enerji ve malzeme tüketimini optimize ederek kaynak tasarrufunu artırır. Baskıda dijitalleşmiş ve otomatikleştirilmiş sistemler, malzeme israfını azaltırken enerji verimliliğini artırır ve sürdürülebilir kaynak kullanımına olanak tanır.
- **Artırılmış ürün baskı kalitesi:** Baskı süreçlerindeki otomasyon, hata ve kalite kontrol sistemleri, üretimdeki kusurları tespit ederek geri bildirim sağlar, bu da hatalı üretimi azaltır ve kalite standartlarını karşılar. Bu süreç sonucunda daha az kaynak tüketen ve yüksek kaliteli ürünler elde edilir, bu da basım sektörüne önemli avantajlar sağlar.
- **Esnek ve özelleştirilmiş baskı:** Hızlı ve esnek baskı üretim süreçleri, atıl kapasiteyi azaltır ve baskı kaynakları daha optimal şekilde kullanmayı sağlar. Akıllı baskı üretim sistemleri, üretim hatlarının hızlı ve kolay bir şekilde değiştirilmesine olanak tanır. Bu da müşteri taleplerine hızlı yanıt verebilme yeteneğini artırır. Ayrıca, dijital teknolojiler özelleştirme ve kişiselleştirme seçeneklerini artırarak seri baskıdan, hedefli baskıya geçişi destekler.
- **İyileştirilmiş lojistik zinciri yönetimi:** Tedarik zinciri genelinde gelişmiş görünürlük ve bağlantı sağlayarak süreçlerin daha iyi koordine edilip optimize edilmesini sağlar. Gerçek zamanlı veri paylaşımı ve analitik, darboğazları belirlemeye, lojistiği optimize etmeye ve ulaşım ile ilgili emisyonları azaltmaya yardımcı olur.

Bu araştırma, basım sektöründeki paydaşların Endüstri 4.0 teknolojilerinin sürdürülebilir üretimi teşvik etme potansiyelini göz önünde bulundurmalarını önermektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerine geçiş, operasyonel verimliliği artırmanın yanı sıra ideal baskı hedeflerine ulaşmayı ve daha sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunmayı sağlar. Çalışma sonuçları, Endüstri 4.0'ın basım endüstrisinde verimlilik artışı, kaynak tasarrufu, ürün kalitesinin iyileştirilmesi, esnek üretim ve daha iyi lojistik yönetimi gibi potansiyellerini vurgulayarak, gelecekteki araştırmalar ve sektöre yönelik stratejilere rehberlik edecektir.

## KAYNAKLAR

- Agostini, L., Filippini, R. (2019). Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0. *European Journal of Innovation Management*, 22 (3), 406-421.
- Akgül, A. (2011). Serigrafi baskı Yöntemi kullanılan porselen çıkartma baskısında optimum dokuma sıklığı, sıcaklık ve renk değerlerinin tespiti. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 77-81.
- Aydemir, C., Özakhun, C. (2014). *Matbaa Malzeme Bilimi*, Marmara Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A Sustainability Perspective, *International Journal of Production Economics*, 229, 2020, 107776,
- Bajic, B., Rikalovic, A., Suzic, N., Piuri, V. (2021). Industry 4.0 implementation challenges and opportunities: A Managerial Perspective. *IEEE Systems Journal*, 15 (1), 546-559.
- Bakkari, M., Khatory, A. (2017). Industry 4.0: Strategy for more sustainable industrial development in SMEs. In *Proceedings of the IEOM 7th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2017 April, Rabat, Morocco
- Bal, H. Ç., Erkan, Ç. (2009). Industry 4.0 and competitiveness. *Procedia Computer Science*, 158, 625-631.
- Blunck, E., Werthmann, H. (2017). Industry 4.0 - An opportunity to realize sustainable manufacturing and its potential for a circular economy. In *DIEM: Dubrovnik International Economic Meeting* (3 (1), 644-666.
- Blunden, B. W., Birkenshaw, J. W. (1988). *The Printing Processes*. In *The Printing Ink Manual* (10-68). Boston, MA: Springer US.
- Çalış Duman, M., Akdemir, B. (2021). A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120615.
- Fettermann, D., Cavalcante, C., Almeida, T., Tortorella, G. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35, 255 - 268.
- Gabriel, M., Pessl, E. (2016). Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara International Journal of Engineering*, 14(2), 131-136.
- García, S. G., García, M. G. (2019). Industry 4.0 implications in production and maintenance management: An overview. *Procedia Manufacturing*, 41, 415-422.



- Grau, G., Cen, J., Kang, H., Kitsomboonloha, R., Scheideler, W. J., Subramanian, V. (2016). Gravure-printed electronics: Recent progress in tooling development, understanding of printing physics and realization of printed devices. *Flexible and Printed Electronics*, 1(2), 023002.
- He, M. (2019). Research on the status quo and development of digital printing technology. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1168 (2), 022037
- Heidelberg, (2021). Özel Rapor: Sürdürülebilir Ambalaj.
- Hofmann, E., Rüsç, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.
- Janczar, C., (2024). Digital transformation in the packaging industry: Increasing efficiency, reducing costs and driving sustainability, *ESKO 2024 Packaging Trends*, (2024) 6-8, <https://brands.esko.com/2024-packaging-trends/> (06.01.2024).
- Jeschke, S., Brecher, C., Meisen, T., Özdemir, D., Eschert, T. (2017). Industrial internet of things and cyber manufacturing systems. In *Industrial Internet of Things* (3-19). Springer, Cham
- Kagermann, H., Wahlster, H., Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative. *Acatech – National Academy of Science and Engineering*, 1-82, 678
- Kipphan H., (2001). *Handbook of print media technologies and production methods*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kluczek, A., Gladysz, B., Buczacki, A., Krystosiak, K., Ejsmont, K., Palmer, E. (2023). Aligning sustainable development goals with Industry 4.0 for the design of business model for printing and packaging companies. *Packaging Technology and Science*, 36(4), 307-325.
- Kurt, M.B. (2012). Flekso baskı sisteminde kullanılan baskı altı malzemelerinin ve kalıbın basan yüzey yüksekliğinin, kaliteye etkisinin tespit edilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 3-17, 83-85
- Lee, B. (2002). Gravure multi-copy printing. *Encyclopedia of Imaging Science and Technology*.
- Liu Z., Zhang M., Bhandari B., Wang Y. (2017). 3D Printing: Printing precision and application in food sector. *Trends In Food Science & Technology*, 69 (A), 83-94.
- MacArthur, E., Waughray, D. (2016). *Intelligent Assets: Unlocking the circular economy potential*. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK.
- Müller, M., Jürgens, J., Redaelli, M., Klingberg, K., Hautz, W. E., Stock, S. (2018). Impact of the communication and patient hand-off tool SBAR on patient safety: a systematic review. *BMJ Open*, 8(8), e022202.

- Şahinbaşkan, T., (2011). Elektrofotografik Dijital Baskı Sistemlerinde Renk Stabilesinin Belirlenmesi. IV.Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu (pp.87-93). İstanbul, Turkey
- Şekkeli, Z. H., Bakan, İ. (2018). Akıllı Fabrikalar. Journal of Life Economics, 5(4), 203-220.
- Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L., Xu, X. (2020). Smart factory in Industry 4.0. Systems Research and Behavioral Science, 37, 607-617.
- Şimşeker, O. (2007a). Dijital ofset baskı yöntemi ile konvansiyonel ofset baskı yönteminin karşılaştırılması, II. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu, Ekim 2007, Ankara
- Şimşeker, O. (2007b). Flekso baskı sistemi kalıp hazırlama yöntemleri. II. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu, Ekim 2007, Ankara
- Sönmez S., (2017). Ultraviyole flekso mürekkeplerin karboksimetil selüloz ve polivinil alkol ile kaplanmış kartonların basılabilirlikleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. Politeknik Dergisi, 20(4): 985-99.
- Özomay, Z., Aydemir, C., Özakhun, Ş. C. (2019). Determination Of The Most Suitable Option For Production With Uncoated Papers In Offset Printing By Multi-Criteria Decision Making Method. Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(2), 667-672.
- Stock, T., Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. Procedia CIRP, 40, 536-541.
- Smithers Pira. (2019). The Future of Global Packaging 2024
- Sunesti, Y. (2011). Media and Modernity: The role of the printing press in the modernization of western society. Komunika: Jurnal Dakwah dan Komunikasi, 5(2), 291-301.
- Tunçel, O. (2019). Dijital Çağda Baskı Teknolojileri. Sanat ve Tasarım Dergisi, 23, 361-377.
- Ünal, H. (2007). Dijital ofset baskı yöntemi ile konvansiyonel ofset baskı yönteminin karşılaştırılması, II. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu, Ekim 2007, Ankara
- Villalba-Diez, J., Schmidt, D., Gevers, R., Ordieres-Meré, J., Buchwitz, M., Wellbrock, W. (2019). Deep learning for industrial computer vision quality control in the printing industry 4.0. Sensors, 19(18), 3987.
- Wagner, T. (2016). Industry 4.0 as enabler for sustainable lifestyles. Unconference 2016–Insights Workstudio, 4, 1-7.
- Yıldız, A. (2018). Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. Sakarya University Journal of Science, 22(2), 546-556.

## BÖLÜM 2

### BİR GIDA GÜVENLİĞİ SORUNU: GIDA SAHTEKÂRLIĞI

*Ayla HANÇER<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Ayla HANÇER, Dr. Öğr. Üyesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Gürün Meslek Yüksekokulu, ORCID: 0000-0002-4370-8039

## GİRİŞ

Gıda sahtekârlığı, bir gıda işletmecisinin kendileri için genellikle ekonomik olmak üzere haksız bir avantaj elde etmek amacıyla, müşterileri satın aldıkları gıdanın kalitesi ve/veya içeriği hakkında kasıtlı olarak aldatmaya karar verdiğinde gerçekleştirilen şüpheli herhangi bir kasıtlı eylem olarak tanımlanmaktadır (FAO, 2021: 3). Kısmen tedarik zincirlerinin küreselleşmesine ve giderek daha karmaşık hale gelen dağıtım sistemlerinin uygulanmasına bağlı olduğu düşünülen gıda, gıda bileşenleri ve emtialardaki tağşiş vakaları son yıllarda artmaktadır. Bu gibi konular, itibarsız işletmelere tespit edilmesi giderek zorlaşan hileli mallar yaratma fırsatı sunmaktadır. Bu uygulama, tüketiciler üzerinde yaşamı değiştiren yaralanmalara ve hatta ölüme neden olma potansiyeline sahip yıkıcı bir etkiye ve olumsuz sonuçlara sahip olabilmektedir (van Ruth vd., 2017: 74; Brooks vd., 2021: 1).

Gıda tağşişi ve sahtekârlığı eski zamanlardan beri var olan bir olaydır ancak yakın geçmişte daha karmaşık bir hale gelmiştir. Tağşiş veya sahtekârlık hedefi olma olasılığı en yüksek olan gıdalar veya ham maddeler, ekonomik değeri yüksek olanlar veya büyümeleri, hasatları, depolanmaları veya naklieleri sırasında hava durumu veya ortam şartlarındaki beklenmedik değişikliklere maruz kalanları içermektedir. Genel olarak tağşiş uygulamasının iki ana nedenden kaynaklandığı kabul edilmektedir: birincisi kârlı olabilmektedir ve ikincisi tağşiş edici maddeler kolaylıkla karıştırılabilmektedir ve dolayısıyla gıdalarda tespit edilmesi zordur (Cozzolino, 2016: 4).

Tedarik zincirinin karmaşık doğası ve uzunluğu, gıda sahtekârlığını daha büyük ölçekli ve coğrafi kapsamı daha büyük olan, gelişmekte olan küresel bir tehdit haline getirmiştir. Yakın zamana kadar, tarladan çatala kadar olan alım satım işlemleri yerel üreticilerden alıcılara kadar basitti. Yiyecekler yerel olarak üretilmekte ve fazla işlenmeden evde hazırlanmakta idi. Ancak teknoloji geliştikçe gıda sektörünün karmaşıklığı ve dinamizmi de paralel olarak artmıştır. İlk olarak, gıda tedarik zinciri daha uzun hale gelmiştir ve tüketicilere ulaşmadan önce üreticilerden toptancılara, distribütörlerden perakendecilere kadar çok sayıda işlem noktasıyla küresel olarak birbirine bağlanmıştır. Bir ülkenin, tüketicilerden gelen talep veya arz eksikliği nedeniyle başka bir kıttadan gıda ürünleri ithal etmesi yaygın bir durumdur. Bu nedenle gıda, nihai olarak büyük veya küçük perakende satış noktalarında satılmadan önce üretim, hasat sonrası muamele, işleme, depolama, nakliye ve dağıtımı içeren karmaşık bir sistemden geçmektedir ve düşük izlenebilirliğe sahip karmaşık bir ağ olarak görülmektedir (Ahmad ve Khairatun, 2020: 31-32).

Gıda sahtekârlığının ele alınması, sorunun doğasını ve zarar kapsamını belirlemekle başlamaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde gıda sahtekârlığının boyutu ve kapsamı hakkında organize bilgi eksikliği, bu sahtekârlığı denetim altına almak için stratejiler ve yasal araçlar geliştirmeyi zorlaştırmaktadır. Kesin olarak bilinen şey, sahtekârlığın her zaman gıdanın kalitesiyle ilişkili olduğu, ürünle (zeytinyağında fındık yağı) veya süreçle (peynirin olgunlaşma süresi) ilgili olabileceği ve halk sağlığı ve güvenliği riskini etkileme potansiyeline sahip olduğudur (sütte melamin). Denetlenmeyen gıda sahtekârlığı, daha fazla suistimali ve gıdayla ilgili uygunsuz risk almayı teşvik etmektedir. Ayrıca, gıda sahtekârlığı, bu tür sistemlerin güvenli olduğu ve daha güvenli hale geldiği durumlarda bile tüketicilerin ülkenin gıda tedarik zincirlerine olan inancını ve güvenini sarsabilmekte ve bu da tüketicilerin gıda güvenliği sistemi hakkında olumsuz yöndeki algılarına katkıda bulunabilmektedir (Roberts vd., 2022: 1).

Gıda sahtekârlığı geçmiş dönemlerden itibaren gıda sektörü açısından önemli bir sorun olmakla birlikte günümüzde hala varlığını sürdürmektedir. Bu çalışmada, bir gıda güvenliği sorunu olarak gıda sahtekârlığı konusuna dikkat çekilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında gıda güvenliği kavramı, gıda sahtekârlığının tanımı ve türleri, gıda sahtekârlığının tespiti ve önlenmesi, tüketicilerin gıda sahtekârlığı konusundaki farkındalığı ve gıda sahtekârlığı olaylarına dair örneklerle yer verilmiştir. Dolayısıyla, çalışmanın hem gıda sektörü hem de tüketiciler için farkındalık yaratması açısından katkı sağlaması hedeflenmektedir.

## **GIDA GÜVENLİĞİ ve GIDA SAHTEKÂRLIĞI**

Son yıllarda, gıda sahtekârlığı olaylarının çok fazla gündeme gelmesi nedeniyle, gıdanın güvenilirliğini ve bütünlüğünü korumaya yönelik odaklanma artmıştır (Brooks vd., 2021: 2). Gıda sahtekârlığı, bir gıda tedarikçisi, müşterisini satın aldıkları gıdaların kalitesi ve içeriği hakkında kasten aldattığında ortaya çıkmaktadır. Gıda sahtekârlığı genellikle kâr amaçlı olsa da bazı gıda sahtekârlığı türleri, müşterilerin ve tüketicilerin sağlığı için doğrudan bir tehdit oluşturabilmektedir. Olumsuz halk sağlığı etkisinin yanı sıra, gıda sahtekârlığı, tüketicilerin gıda endüstrilerine ve devlet kurumlarına olan güvenini olumsuz yönde etkilemede önemli bir rol oynamaktadır. Dünyanın dört bir yanındaki gıda güvenliği uzmanları kendilerini gıdanın güvenli olmasını sağlamaya adanmış olsa da gıda tedarik zincirlerindeki kör noktalar, bireylere ve işletmelere gıda sahtekârlığı yapma fırsatları sağlayabilmektedir (FAO, 2021: 1). Gıda sahtekârlığına müdahale etmenin son derece maliyetli olduğu belirtilmektedir. Küresel gıda endüstrisi için gıda sahtekârlığının maliyetinin her yıl yaklaşık 30 milyar Euro olduğu tahmin edilmektedir (European Commission, 2018; FAO, 2021: 1).

Ekonomik amaçlı tağşiş (EMA) alt kategorisini de içeren ve gıdaları kullanarak ekonomik kazanç elde etmek amacıyla yasa dışı aldatma olarak nitelendirilen gıda sahtekârlığı konusunda farkındalık ve endişe artmaktadır. Gıda sahtekârlığı vakaları ile ilgili ciddi halk sağlığı sonuçları, olumsuz etkilerini azaltmak için eşgüdümlü eylemlere ihtiyaç olduğunu önemle belirtmektedir. Öğütülmüş kırmızı biberde Sudan Kırmızısı boyası, bebek mamalarında ve evcil hayvan yiyeceklerinde melamin, sığır ürünlerinde at eti, kimyonda yer fıstığı alerjeni, yemeklik yağda atık yağ ve diğerleri gibi olayların tümü karmaşık uluslararası tepkiler gerektirmiştir ve dünya çapında gıda düzenleme sistemlerindeki güvenlik açıklarını göstermiştir (Spink vd., 2019: 1).

Gıda sahtekârlığı; gıda kalitesi, gıda güvenliği ve gıda savunmasını da içeren gıda riski süreci ya da döngüsü içinde bir kategori olarak anlaşılabilir. Bu kategoriler, kasıtlı ve kasıtsız eylemlerin yanı sıra halk sağlığına zarar veren ve vermeyen diğer olayları da kapsayan farklı gıda risklerini ifade etmektedir. Önleme faaliyetlerini desteklemek amacıyla motive edici faktörlere odaklanmak üzere gıda risklerinin türleri tanımlanmıştır. Bu riskler şunları içermektedir (Spink vd., 2019: 1-2):

- Gıda kalitesi riski: Bir gıda ürününün belirtilen veya gerekli nitelikleri veya standartları karşılamamasına neden olan kasıtsız bir eylemdir.
- Gıda güvenliği riski: Bir gıda ürününün amaçlandığı şekilde tüketilmesi durumunda sağlık sorunu oluşturmasına neden olan kasıtsız bir eylemdir.
- Gıda sahtekârlığı riski: Bir gıda ürününe yönelik ekonomik amaçlı ve halk sağlığı açısından tehdit oluşturması amaçlanmayan kasıtlı bir eylemdir.
- Gıda savunma riski: Kötü niyetli tahrifat veya terörizm gibi bir halk sağlığı açısından tehdit oluşturması amaçlanan bir gıda ürününe yönelik kasıtlı bir eylemdir.

Şekil 1’de gıda riskleri arasındaki farkları açıklamak için gıda risk matrisi kullanılmıştır.

Gıda Kalitesi	Gıda Sahtekârlığı (a)	Motivasyon: Ekonomik Kazanç
Gıda Güvenliği	Gıda Savunması (b)	Sağlık, ekonomik, terör dâhil olmak üzere zarar
Kasti olmayan	Kasti olan	

Şekil 1. Gıda Riski Matrisi: (a) Ekonomik amaçlı tağşiş veya EMA alt kategorisini içermektedir. (b) Terör eylemlerini içermektedir (Spink ve Moyer, 2011: 160).

Şekil 1, bir gıda koruma riski matrisi sunmakta ve gıda sahtekârlığının gıda güvenliği, gıda savunması ve gıda kalitesi gibi daha geniş politika alanına nasıl uyduğunu göstermektedir. Bu kavramlar her zaman bu kategorilere tam olarak uymayabilir ve bu kategoriler arasında örtüşme olabilmektedir, ancak bu matris, bu gıda koruma alanları arasında ayırım yapmak için yararlı ve geniş çapta atıfta bulunulan bir çerçeve sağlamaktadır (FDA, 2014: 7).

Genel olarak, gıda sahtekârlığı ve gıda savunması (tarımsal terörizm) kasıtlıdır. Gıda sahtekârlığı olayı her zaman ekonomik olarak motive edilmektedir. Gıda savunması durumunda ise motivasyon, halka zarar verme veya tüketicileri tehdit etme niyetini içermektedir ve gıda sahtekârlığı olarak kabul edilmektedir. Gıda sahtekârlığı suçu, genellikle gıda ürününe düzenli erişimi olan gıda zincirinde yer alan aktörler (örneğin, üreticiler veya distribütörler) tarafından işlenmektedir. Gıda savunması ile ilgili sorunlar genellikle, normalde gıda ürününe erişimi olmayan teröristler de dâhil olmak üzere yabancılar tarafından gerçekleştirilmektedir (FDA, 2014: 7). Gıda sahtekârlığı olaylarının büyük çoğunluğu bir halk sağlığı tehdidinde neden olmazken, gözetim, kontrol eksikliği veya “iyi üretim uygulamala-

rının” onaylanmaması sistemde bir güvenlik açığı oluşturmaktadır (Spink vd., 2019: 2).

Yakın zamandaki gıda sahtekârlığı skandalları, tedarik zincirlerinde sahtekârlıkla mücadele ihtiyacını daha da arttırmıştır (Manning ve Soon, 2014). Bununla birlikte, mevcut gıda güvenliği yönetim sistemleri, sahtekârlığın kontrolü veya azaltılması için özel olarak tasarlanmamıştır. Sahtekârlığın kasıtlı doğası gereği, mevcut gıda güvenliği yönetim sistemleri, yaygın güvenlik hilelerinden farklı bir yaklaşım gerektirmektedir (Spink vd., 2017: 217; van Ruth vd., 2017: 70). Olağan mevcut gıda yönetimi yaklaşımlarında dürüstlük olduğu kabul edilmektedir. Bu varsayım tüketicileri genellikle aldatmaya karşı savunmasız kılmaktadır, ancak buna ek olarak, gıda sahtekârlarının yasa dışı faaliyetlerini gizlemek için tüm çabalarını sarf edecekleri de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, gıda sahtekârlığının üstesinden gelmek için güvenliğe dayalı yaklaşımdan sahteciliği önleme ve savunmasızlığı azaltma yaklaşımına geçilmesi ve bu kasıtlı ve gizlenen yönlerin dikkate alınması gerekmektedir. Sahtekârlık zafiyeti, sistemle ilgili istenmeyen olaylara fırsat yaratan bir zayıflık veya kusur olarak tanımlanmaktadır (Spink vd., 2017: 216; van Ruth vd., 2017: 70).

Son on yılın önemli gıda sahtekârlığı skandalları, şirketlerin kendi organizasyonlarında ve tedarik zincirlerinde sahtekârlıkla mücadele etme becerilerini güçlendirme ihtiyacı konusunda farkındalık yaratmıştır. Skandallar, gıda şirketlerini ve bir bütün olarak gıda endüstrisini harekete geçmeye ve şirketleri ve endüstrileri gıda sahtekârlığı tehdidine karşı korumaya zorlamıştır. Paydaşlar, gıda şirketlerinin, gıda sahtekârlığı risklerini azaltmak için proaktif davranmasını beklemektedir. Sertifikasyon programları, gıda üreticilerinin gıda sahtekârlığını dikkate almalarını, gıda sahtekârlığı güvenlik açığı değerlendirmeleri yapmalarını ve sahtekârlık risklerini azaltmak için kontrol planları hazırlamalarını beklemektedir (Huisman ve van Ruth, 2022: 559).

Gıda güvenliği yönetim sistemleri, dolandırıcılığı tespit etmek veya azaltmak için özel olarak tasarlanmamıştır. Mevcut risk değerlendirmeleri, öncelikle kasıtsız ve kazara gıda kalitesindeki yanlış uygulamalara ve gıda savunma sorunlarına odaklanmaktadır. Bununla birlikte, çok azı kasıtlı gıda kalitesi sorunlarını dikkate almaktadır (Huisman ve van Ruth, 2022: 560).

## GIDA SAHTEKÂRLIĞI TANIMI VE TÜRLERİ

Gıda sahtekârlığı, çok çeşitli kuruluşlar tarafından genellikle “gıdaları kullanarak ekonomik kazanç elde etmek için aldatma” olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım, uluslararası düzeyde ve endüstri standartlarını belirleyen kuruluşlar tarafından yaygın olarak benimsenmiştir (Spink vd.,



2016: 320). Gıda sahtekârlığına yönelik Spink ve Moyer (2011: 158) tarafından yapılan tam tanım şu şekildedir: “Gıda sahtekârlığı, ekonomik kazanç amacıyla gıdalar, gıda bileşenleri veya gıda ambalajlarının kasıtlı ve planlı olarak ikame edilmesini, eklenmesini, tahrifatını veya yanlış beyan edilmesini ya da bir ürün hakkında yapılan yanlış veya yanıltıcı beyanları kapsamak için kullanılan genel bir terimdir. Gıda sahtekârlığı, Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından tanımlanan ekonomik amaçlı taşıyıcı (EMA) veya daha spesifik olan genel gıda sahteciliği kavramından daha geniş bir terimdir.”

Bazı durumlarda, EMA terimi gıda sahtekârlığı ile birbirinin yerine kullanılmıştır. Alternatif olarak EMA, gıda sahtekârlığının bir alt kategorisi olarak sınıflandırılmıştır (Spink ve Moyer, 2011: 157; van Ruth vd., 2017: 70; Robson vd., 2021: 2). FDA, EMA’yı “ürünün görünen değerini artırmak veya üretim maliyetini düşürmek, yani ekonomik kazanç sağlamak amacıyla bir ürüne bir maddenin hileli, kasıtlı ikamesi veya eklenmesi” olarak tanımlamıştır. FDA, “EMA’nın, halihazırda mevcut bir maddenin artan miktarlarıyla (örneğin, son ürünün gücünde bir azalmayla sonuçlanacak şekilde bir ilacın aktif olmayan bileşenlerini artırmak veya meyve suyunun sulandırılması) ürünlerin seyreltilmesini, böyle bir seyrelmenin olması halinde tüketiciler için bilinen veya olası bir sağlık riski oluşturmasının yanı sıra seyreltmeyi maskeleyerek için maddelerin eklenmesi veya ikame edilmesini de içerdiğini” belirtmiştir (FDA, 2009).

Gıda sahtekârlığı dünya çapında endüstri, tüketiciler ve hükümetler için ekonomik ve potansiyel bir gıda güvenliği sorununu temsil etmektedir. Küresel olarak kabul görmüş bir tanım olmasa bile, ekonomik kazanç için gıdanın kasıtlı olarak yanlış beyan edilmesi olarak kabul edilmektedir ve genellikle gıda ve/veya ilgili belgelerde yapılan değişiklikleri içermektedir. 2017/1371 sayılı (AB) direktifine göre sahtekârlık; yanlış, hatalı veya eksik beyan veya belgelerin kullanılması veya sunulması ya da belirli bir yükümlülüğü ihlâl edecek şekilde bilgilerin ifşa edilmemesi ve Avrupa Birliği’nin (AB) mali çıkarlarını etkileyen diğer yasa dışı faaliyetler ile ilgili herhangi bir eylem veya ihmaldir (Visciano ve Schirone, 2021: 424).

Spink ve Moyer (2011: 159), halk sağlığı açısından üç farklı gıda sahtekârlığı riski türünü tanımlamışlardır: doğrudan, dolaylı ve teknik. Doğrudan gıda sahtekârlığı riski, tüketici akut olarak toksik veya ölümcül bir kontaminantın dahil edilmesi gibi acil veya yakın bir riske maruz kaldığında ortaya çıkmaktadır; yani, bir maruziyet risk altındaki popülasyonun tamamında veya daha küçük bir kısmında olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Dolaylı gıda sahtekârlığı riski, tüketicinin düşük dozların yutulması yoluyla vücutta kronik olarak toksik bir kirletici maddenin birikmesi gibi uzun süreli maruz kalma yoluyla riske atılması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu risk aynı zamanda koruyucular veya vitaminler gibi yararlı içerik

maddelerinin ihmal edilmesini de içermektedir. Teknik gıda sahtekârlığı riski doğası gereği önemsizdir. Bu risk; gıda belgeleri sahtekârlığı, ürün içeriği veya menşe ülke bilgileri kasıtlı olarak yanlış sunulduğunda ortaya çıkmaktadır.

Gıda sahteciliğinin hızla büyümesinin bir nedeni, dünya ticaretindeki ve ortaya çıkan yeni pazarlardaki artışla birlikte gıda fiyatlarında küresel istikrarlı bir artışın olduğu gerçeğine bağlanabilir. Üreticiler ve distribütörler, hedeflenen bir pazar için uygun bir fiyat belirlemek amacıyla sıklıkla belirli içerikleri veya hatta tüm ürünleri ikame etme eğilimindedirler. Kaynaklardaki darboğazlar, daha fazla kâr elde etme şansı, farklı ülkelerdeki yetersiz mevzuat, yanlış etiketlemeyi teşvik ederek genellikle tüketici dolandırıcılığına neden olmaktadır (Huck vd., 2016: 32).

ABD Federal Gıda, İlaç ve Kozmetik Yasası Madde 342, tağşiş edilmiş gıdayı esas olarak şunları taşıyan veya içeren gıda olarak tanımlamaktadır: “gıdayı sağlığa zararlı hale getirebilecek herhangi bir zehirli veya zararlı madde; ancak, maddenin katkı maddesi olmaması durumunda, söz konusu gıdadaki bu maddenin miktarı gıdayı normal olarak sağlığa zararlı hale getirmiyorsa, bu maddeye göre tağşiş edilmiş kabul edilmez.” Buradan hareketle, tağşiş edici madde herhangi bir zehirli veya zararlı madde olarak düşünülebilir. Aynı mevzuatın 343. maddesi yanlış markalanmış gıdayı, yanlış veya yanıltıcı bir şekilde etiketlenmiş, başka bir isim altında satışa sunulan, başka bir gıdanın taklidi olan ve bir kabın içeriği konusunda yanıltıcı olan gıda olarak tanımlamaktadır. Yukarıda açıklandığı gibi, tağşiş edilmiş gıda terimi, bir tağşiş maddesinin kasıtlı veya kasıtsız olarak eklenmesi arasında açık bir şekilde ayırım yapmamaktadır (Manning ve Soon, 2016: 823). Lipp (2011), kontaminasyon ve tağşiş terimlerini ve buradan çıkarım yoluyla kontaminant ve tağşiş edici maddeyi birbirinden ayırmak için, birincisinin kasıtsız faaliyet ve teknik olarak kaçınılmaz olması açısından düşünülmesi gerektiğini, tağşişin ise özellikle amaçlı, örneğin ekonomik veya ideolojik kazanç amaçlı olarak bir bileşenin kasıtlı olarak değiştirilmesi olduğunu belirtmiştir (Manning ve Soon, 2016: 823)

Gıda sahtekârlığı türlerine dair sınıflandırma Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Gıda sahtekârlığı türleri

Terim	Tanım	Örnek	Hastalığa veya ölüme yol açabilecek potansiyel halk sağlığı tehdidi
Tağışış	Son ürünün bir bileşeni hilelidir.	Süte eklenen melamin	Hileli bileşen
Tahrifat ve yanlış etiketleme	Yasal ürünler ve ambalajlar hileli bir şekilde kullanılmaktadır.	Değiştirilen son kullanma bilgileri; üretim yönteminin veya menşeinin hileli açıklaması.	Hileli ambalajlama bilgileri
Hacim artışı (Şişirilme)	Yasal ürün, üretim sözleşmelerinden fazla olacak şekilde yapılmaktadır.	Üretimin eksik raporlanması	Hileli ürün, düzenlemeye tabi veya kontrollü tedarik zincirinin dışında dağıtılmaktadır.
Hırsızlık	Yasal ürün çalınır ve meşru bir şekilde satın alınmış gibi başkasına verilir.	Çalıntı ürünler yasal ürünlerle karıştırılmaktadır.	Hileli ürün, düzenlemeye tabi veya kontrollü tedarik zincirinin dışında dağıtılmaktadır.
Yanıltma	Yasal ürünlerin amaçlanan pazarların dışında satışı veya dağıtımı.	Yardıma ihtiyaç duyulmayan pazarlara yönlendirilen yardım amaçlı yiyecekler.	Yoksul nüfus için yardım amaçlı yiyeceklerin yetersizliği veya gecikmesi.
Benzetme	Yasadışı ürün, yasal ürüne benzeyecek ancak tam olarak kopyalanmayacak şekilde tasarlanmıştır.	Popüler gıdaların, aynı gıda güvenliği garantileriyle üretilmeyen "sahte ürünleri".	Daha düşük kalitede hileli ürün.
Taklit etme	Hileli ürün ve ambalajın tüm yönleri tamamen kopyalanmıştır.	Popüler gıdaların, aynı gıda güvenliği garantileriyle üretilmemiş kopyaları.	Hileli ürün

Kaynak: FAO, 2021: 5.

Gıda hileleri, doğrudan müdahil olan gıda firmaları ve sanayi kuruluşlarına ekonomik ve itibari zararlar verebildiği gibi, gıda güvenliğini sağlamakla yükümlü yetkili merciler de tüketici sağlığına yönelik gerçek bir tehdit nedeniyle halkın güvenini kaybedebilirler. Tüketiciler, patojenik mikroorganizmalar veya kimyasal kalıntılar gibi gıdalarla ilgili birçok tehlikenin yanı sıra gıda sahtekârlıkları konusunda her zaman daha fazla endişe duymaktadır. Gıda güvenliğinin birincil sorumluluğunun gıda işlet-

mecilerine ait olduğu iyi bilindiğinden, en düşük güvenin gıda endüstrisine ait olduğu görülmektedir. Bu kötü uygulamalar, ülkeler arasındaki gıda mevzuatı farklılıkları, kontrolün işlevini kaybetmesi, izlenebilirlik eksikliği, gıdayı taşıyıcı etmenin kolaylığı ve sahtekârlıkların izlenmesi ve tespit edilmesindeki zorluklar gibi birçok faktör tarafından kolaylaştırılmaktadır. Ayrıca, dolandırıcılık faaliyetleri, tek bir dolandırıcı veya küçük bir suçlu grubu tarafından gerçekleştirilebilse ve organize suçların bir parçası olsa bile, diğer ihlaller kadar ağır olmayan cezalarla cezalandırılmaktadır (Visciano ve Schirone, 2021: 424).

## GIDA SAHTEKÂRLIĞININ TESPİTİ ve ÖNLENMESİ

Gıda sahtekârlığı, şarapların tat ve renk verici maddelerle taşıyıcı edilmesine ilişkin yasaların olduğu antik Roma ve Atina'ya kadar uzanmaktadır (Sumar ve Ismail, 1995). Gıda sahtekârlığı eski bir sorun olmasına rağmen hala meydana gelmektedir. Gerçek boyutu bilinmemekle birlikte, gıda sahtekârlığı şüphesiz, yalnızca İngiltere'de gıda endüstrisinden ve tüketicilerden her yıl yüz milyonlarca sterlin dolandırmaktadır (Shears, 2010). Gıda sahtekârlığı, tüm gıda tedarik zincirlerini ve dolayısıyla tüm gıda endüstrisini, müşterileri ve tüketicileri etkileyen bir sorundur. Gıda tedarik zincirleri, küreselleşme ve tedarik zincirlerinin uzaması nedeniyle giderek daha savunmasız hale gelmektedir. Bu nedenle, çok yönlü bir gıda sahteciliği önleme ve hafifletme ihtiyacı her zamankinden daha fazladır (Robson vd., 2021: 1).

Hem önleme hem de azaltma, gıda sahtekârlığını kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Azaltma, gıda sahtekârlığı olaylarının sıklıkla meydana geleceğini varsaymaktadır ve olumsuz sonuçları hafifletmeye veya azaltmaya odaklanmaktadır. Önleme, olayın temel nedeninin ortadan kaldırılabileceğini veya en azından meydana gelme olasılığının önemli ölçüde azaltılabileceğini varsaymaktadır. Gıda sahtekârlığının önlenmesi, gıda sahtekârlığının gerçekleşmeden önce azaltılmasını amaçlamaktadır. Gıda sahtekârlığının önlenmesi ve hafifletilmesi, güvenlik açığının belirlenmesine, azaltılmasına veya ortadan kaldırılmasına bağlıdır. Güvenlik açığı, fırsatlar yaratan bir zayıflık veya kusurdur; ya da gıda sahtekârlığına yönelik sisteme yatkınlıktır (Robson vd., 2021: 8; Spink vd., 2017: 216).

Gıda endüstrisi, gıda sahtekârlığının kurbanı olma ve aynı zamanda gıda sahtekârlığı olaylarından büyük ölçüde sorumlu olma konusunda benzersiz bir konumdadır. Bu nedenle, gıda endüstrisinin, gıda sahtekârlığının açık bir şekilde anlaşılmasına ve ayrıca gıda sahtekârlığının önlenmesi ve hafifletilmesi konusunda rehberliğe ihtiyacı vardır. Gıda endüstrisi, ürünlerinin kalitesinden ve güvenliğinden sorumludur ve bu nedenle kendileri de dolandırıcılığın kurbanı olsalar bile gıda sahtekârlığından sorumludurlar. Bu nedenle, gıda sahteciliğini azaltma ve önleme sorumluluğu öncelik-

le gıda endüstrisine düşmektedir (Wisniewski ve Buschulte, 2019: 324). Gıda endüstrisi, ham maddeleri insan tüketimi için güvenli bir forma dönüştüren birincil işleyicileri, ürünleri ham maddeye veya bileşenleri perakende birimlere veya tedarikçi ürünlere dönüştüren imalatçıları, tüketiciye ürün satan perakendecileri ve gıdaların işlenmesi, üretilmesi, paketlenmesi, depolanması, taşınması, ithalatı, dağıtımını veya satışını gerçekleştiren herhangi bir işletme veya operatörü içermektedir. Dolandırıcılığın nerede meydana gelebileceği ve ne tür dolandırıcılık olduğunun anlaşılması, gıda endüstrisini savunmasız bırakmıştır (Robson vd., 2021: 1; Spink vd., 2019: 4).

Bazı temel zorluklar, gıda sahtekârlığının tespit edilmesini ve önlenmesini zorlaştırmaktadır. İlk olarak, gıda sahtekârlığı ile neyin kastedildiği ve gıda sahtekârlığı ile pazarlama arasındaki çizginin nerede olduğu her zaman açık değildir. İkincisi, uzmanlaşmış araçlar ve bilgi olmaksızın, tüketicilerin süpermarketlerde veya pazar tezgâhlarında gıda sahtekârlığını tespit etmesi zor veya imkânsız olabilir. Ürün acil bir sağlık tehlikesi oluşturmadığı sürece tüketiciler, ürünü tükettikten sonra bile gıda sahtekârlığının kurbanı olduklarını bilmeyebilirler. Bu durum, gıda sahtekârlığına karşı mücadelenin tüketicilere bırakılamayacağı, bunun yerine hükümetler ve gıda endüstrisi tarafından ele alınması gerektiği anlamına gelmektedir. Üçüncüsü, gıda dolandırıcıları aktif olarak tespit edilmekten kaçınırlar ve bir dolandırıcılık yöntemi bir kez keşfedildiğinde, farklı bir yöntemle geçerek potansiyel olarak uzun süre tespit edilmekten kaçınırlar. Bu üçüncü sorun, melamin ve diğer kimyasallar gibi gıdayı taşıyıcılar için kullanılan ürün çeşitlerinin, dünya çapında gıda güvenliği yetkilileri ve kolluk kuvvetleri tarafından kullanılan düzenli gıda güvenliği ve kalite testleri ile kolayca tespit edilememesi gerçeğiyle daha da kötü bir hale gelmektedir. Bu durum, izlenebilirlik konusunda yeni teknolojilerin ve dijital yeniliklerin benimsenmesi gibi hem gıda sahtekârlığının önlenmesinde hem de tespit edilmesinde yenilik gerektirmektedir (FAO, 2021: 4-5).

Çeşitli girişim ve düzenlemeler, gıda sahtekârlığının yalnızca sağlık tehlikelerine odaklanmaktadır. FDA gibi kuruluşların halk sağlığına odaklanmaya yönelik yasal yönergeleri bulunmaktadır. Dolayısıyla, bir gıda kurumunun tamamen tüm ekonomik kırılmalara odaklanmak yerine gıda sahtekârlığıyla ilişkili sağlık tehlikelerine odaklanması mantıklı ve verimlidir. Bu sağlık esaslı risk yaklaşımı, gıda sahtekârlığı olaylarının ekonomik etkisinin önemini azaltmaktadır. Bu, gıda dışı kuruluşların gıda sahtekârlığının ekonomik suç boyutuna odaklanmasına neden olmaktadır. ABD’de bunlara Federal Soruşturma Bürosu (FBI), ABD Gümrük ve Sınır Devriyesi (CBP) veya Ticaret Bakanlığı (DOC) dahildir. Genellikle, diğer suç türlerine nazaran, gıda sahtekârlığı olaylarının ekonomik etkisi genellikle oldukça zayıftır. Gıda sahtekârlığının önlenmesi bir öncelik ola-

arak belirlendikten sonra, gıda risklerinin nasıl sınıflandırılacağı veya sıralanacağı sorusu ortaya çıkmaktadır. Gıda sahtekârlığını önleme planlarını yönetmek ve uygulamaktan kimin sorumlu ve hesap verebilir olduğunu tanımlamak için bir sisteme ihtiyaç vardır (Spink vd., 2016: 322).

Robson vd. (2021: 9), gıda sahtekârlığının önlenmesi ve azaltılması konusunda gıda işletmecileri için verilen temel tavsiyeleri şu şekilde sıralamışlardır: (i) tedarikçileri kontrol etmek ve onaylamak için bir sistem geliştirme, (ii) tedarikçi denetimleri, (iii) tedarikçilerle açık ilişkiler ve nakliyeyle dair ilişkiler oluşturma, (ix) ufuk taraması; ekonomik anormallikler, coğrafi hususlar, siyasi huzursuzluk ve iklim değişikliği dâhil olmak üzere ortaya çıkabilecek dış tehditler ve fırsatları arama ve analiz etme eylemi (x) güvenlik açıklarının belirlenmesi ve (xi) risk değerlendirmesi. Bu tavsiyelerin tümünün, gıda sahteciliğini önleme ve hafifletme planlarında gerekli olduğu konusunda mutabık kalınmıştır.

### **GIDA SAHTEKÂRLIĞININ BELİRLENMESİ İÇİN KULLANILAN ANALİTİK YÖNTEMLER**

Gıda maddeleri, diğer faktörlerin yanı sıra kaynağına ve coğrafi kökenine bağlı olarak hayvan veya bitki kökenli maddelerden elde edilen, değişen oranlarda çeşitli bileşiklerden oluşan heterojen malzemelerdir. Gıdanın orijinalliğinin korunması, piyasada bulunan gıda maddelerinin tüketicinin beklediği özellikte, içerikte ve kalitede olmasını sağlamaktadır. İzlenebilirlik sistemlerinin ve analitik tekniklerin uygulanması yoluyla yapılan gıda analizi, bu bileşiklerin izolasyonuna, tanımlanmasına ve miktarının belirlenmesine izin vererek gıda maddesinin bileşimi, fizikokimyasal özellikleri ve yapısı hakkında temel bilgiler sağlamaktadır. Bu aynı zamanda kontaminasyonun, tağşişin tespit edilmesini ve gıda maddesinin orijinalliğinin doğrulanmasını sağlamaktadır (Brooks vd., 2021: 2).

Gıdanın orijinalliğini belirlemek için kullanılan çok sayıda farklı teknik bulunmaktadır. Bunlar kimyasal/biyokimyasal ve moleküler teknikler olarak gruplandırılabilirler. Herhangi bir şüpheli gıda sahtekârlığı durumunu belirlemenin karmaşıklığı nedeniyle de gıda orijinalliğini belirlemek için kullanılan çok çeşitli tekniklere gereksinim duyulmaktadır. Kromatografik ve moleküler yöntemler, yayımlanan araştırmaların neredeyse yarısını oluşturan ve hileli gıdaların tespitinde uygulanan başlıca yaklaşımlardır, ancak çok sayıda analitik teknik sanayileşmiştir (Brooks vd., 2021: 10; Danezis vd., 2016: 2).

Genel olarak, gıda sahtekârlığıyla yaygın olarak ilişkilendirilen gıdalar ve gıda bileşenleri arasında yağ, balık, bal, süt ve süt ürünleri, et ürünleri, tahıl bazlı gıdalar, meyve suları, şarap ve alkollü içecekler, organik gıdalar, baharatlar, kahve, çay ve yüksek oranda işlenmiş bazı gıdalar yer

almaktadır. Dünya çapında gıda sahtekârlığının ne kadar yaygın olduğu kesin olarak bilinmemektedir. Önceki araştırmalar, esas olarak, belirli gıdalarda ve gıda ürünlerinde tağşiş tespit etme tekniklerine dayanan analitik yöntemlere odaklanmıştır. Bununla birlikte, tağşiş edilen her bir gıda kategorisi için kullanılan analitik yöntemler hakkında çok az sistematik inceleme mevcuttur. (Hong vd., 2017: 3878).

Gıda sahtekârlıklarının tespit edilmesi, özellikle çok çeşitli gıda kategorilerinin tağşiş edilebilmesi, değiştirilebilmesi veya yanlış etiketlenbilmesi nedeniyle sürekli bir mücadeleyi temsil etmektedir. Analitik yöntemlerin çoğu, önceden seçilmiş analitlerin tanımlanmasını amaçlamak suretiyle hedeflenen yaklaşımlara odaklanmaktadır. Bu yöntemler, spesifik belirteç bileşiklerini ve tespit edildiğinde maksimum limitlerin aşılp aşılmadığını kontrol etmektedirler, ancak gıda dolandırıcıları genellikle bu tür analizleri ve örneğin kullanılan tağşiş maddelerinin türünü gizleyerek veya değiştirerek ya da bunların gıdadaki mevcudiyetini analiz yönteminin saptama sınırından daha düşük bir seviyeye azaltmak suretiyle bu tağşiş maddelerinin tespit edilmesinden nasıl kaçınacaklarını bilmektedirler (McGrath vd., 2018: 39; Visciano ve Schirone, 2021: 435).

Gıdalarda tağşiş ve sahtekârlığı tespit etmek amacıyla birçok teknik kullanılmaktadır (Hong vd., 2017: 3878). Bunlar:

- Kromatografik analiz
  - İnce tabaka kromatografisi (TLC)
  - Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC)
  - Gaz kromatografisi (GC)
- Kütle spektrometrisi (MS) tabanlı/esaslı yöntemler
  - Sıvı kromatografisi (LC)-MS/MS, GC/MSD
- Elektroforetik yöntemler
  - Sodyum dodesil sülfat-poliakrilamid jel elektroforezi (SDS-PAGE)
  - Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR)
  - PCR-kısıtlama fragman uzunluğu polimorfizmi (RFLP)
  - Rastgele amplifiye edilmiş polimorfik DNA (RAPD)
  - Güçlendirilmiş parça uzunluğu polimorfizmi (AFLP)
  - Basit dizi tekrarları (SSR)
- Spektroskopik yöntemler
  - Kızılötesi (IR)

Yakın kızılötesi (NIR)

Orta kızılötesi (MIR)

Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR)

Raman, nükleer manyetik rezonans (NMR)

Bölgeye özgü doğal izotop fraksiyonasyonu (SNIF)-NMR,

Endüktif olarak eşleşmiş plazma-atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES)

- İmmünojenik testler

Enzime bağlı immünosorbent testi (ELISA)

Tagış edici maddeleri tespit yöntemleri literatürdeki kullanım sayılarına göre sıralanmıştır. MS, %20,6 ile en büyük oranı oluşturmaktadır; PCR %18,5 ve LC %11,6 oranında kullanılmaktadır. MS ayrıca Asya ülkeleri ve Güney Kore’de (sırasıyla %20,7 ve %38,1 olmak üzere) en büyük kullanım oranına sahiptir. Dikkate değer bir gözlem, MS’in çoğu gıda kategorisinde yaygın olarak kullanılması ve ayrıca baharatlar, ekstraktlar, tahıllar ve bakliyatların analizinde en sık kullanılan yöntem olmasıdır. Bununla birlikte, LC ve GC de baharatlar, yağlar ve organik gıdalarda analiz amacıyla önemli ölçüde kullanılmaktadır. NMR, yağların, tahılların, alkollü içeceklerin ve meyve sularının orijinalliğini ayırt etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. PCR, et ve et ürünleri, balık ve deniz ürünleri, süt ve süt ürünleri gibi gıda kategorileri için kullanılan baskın tespit teknolojisi. MS’e ek olarak, HPLC ve LC genellikle meyveler, meyve suları ve tatlandırıcılar için kullanılmaktadır. IR spektroskopisi, Raman, immünosorbent deneyleri (örneğin, ELISA) ve biyosensörler, diğer tespit yöntemlerine göre daha az kullanılmaktadır (Hong vd., 2017: 3878-3879).

Bu analitik tekniklerin kullanılması, yönetici ekipler tarafından belirlenen seviyelerin veya özel spesifikasyonların tespit edilmesini mümkün kılmaktadır ve gıda zincirinde kullanımını önlemek için ham maddenin alımından önce uygulanabilmektedir. Ancak, sahtecilik vakaları gıda güvenliği için önemli bir riske neden olmadığında, bazı orijinallik test sistemleri etkisizdir. Bunların yanı sıra, tespit için mevcut güncel araçlar, gıda sahtekârları için etkisiz bir caydırıcı olabilmektedir (Brooks vd., 2021: 11; Kearney, 2010: 12-13). Gıda endüstrisinin tüm alanları ve hükümet, savunma prosedürlerini kullanmak suretiyle tüketicileri ve işletmeyi korumak için müşterek olarak hareket etmelidir (Brooks vd., 2021: 12).



## GIDA SAHTEKÂRLIĞI VAKALARI

Gıda sahteakrılığı amacıyla kullanılan bazı suçlar ve tağşışler şunları içermektedir: (1) orijinal bir bileşenin, tağşış edici bir madde veya bu maddelerin bir karışımı ile değıştirilmesi (2) daha düşük kaliteli bir bileşeni maskelemek için orijinal olmayan bir maddenin eklenmesi ve (3) alıcının bilgisi dışında değerli bir bileşenin çıkarılması veya dahil edilmemesi (Brooks vd., 2021: 5).

Süt ve süt ürünleri, et ve et ürünleri, balık ve deniz ürünleri, sıvı ve katı yağlar, meyve suları, kahve ve çay, baharatlar ve bal, doğası gereği sahtekârlığa en açık ürünler olarak kabul edilmektedir (Hong vd., 2017: 3878). Zeytinyağı, balık, bal, süt ürünleri ve et gibi gıdaların dolandırıcılık faaliyetlerinden en çok etkilenen gıdalar olduğu Avrupa Komisyonu tarafından da tekrarlanmıştır. Süt yağı gibi yüksek değerli süt bileşenleri daha ucuz, daha düşük kaliteli katkı maddeleri ile ikame edildiğinde süt ürünleri genellikle tağşış edilmektedir. Meyve suları; su ile seyreltme, renklendirici, şeker ve daha ucuz meyve suyu alternatiflerinin eklenmesi gibi birçok hileli eyleme karşı hassastır (Brooks vd., 2021: 5).

FDA (2023), gıda sahtekârlığına dair çeşitli vakaları bildirmiştir. Bu örneklerden biri bal ve akçaağaç şurubudur. Etiketleri, bu gıdaları saf bir ürün olarak gösterse de bazı vicdansız şirketler daha önce bal veya akçaağaç şurubunu mısır şurubu, pirinç şurubu, şeker pancarı şurubu veya şeker kamışı gibi daha ucuz tatlandırıcılarla karıştırmışlardır. Bu, üretim maliyetini düşürmüştür, ancak tüketiciler, şirketlere giden fazladan kârla birlikte saf bal veya akçaağaç şurubu ürününün tam fiyatını ödemeye devam etmişlerdir. Bal ve akçaağaç şurubuna benzer şekilde, bazı şirketler daha pahalı sızma zeytinyağını daha ucuz bitkisel yağla seyreltmış ancak karışımı saf zeytinyağı olarak daha yüksek bir fiyata satmışlardır. Deniz ürünleri sahtekârlığı genellikle, birisi daha ucuz bir balık türünü daha pahalı bir türle ikame ettiğinde gerçekleşmektedir. Bir yiyeceğin içinde daha pahalı olan kırlangıç balığı (*Lutjanus campechanus*) yerine daha ucuz levrek (*Lutjanus spp.*) veya kaya balığı (*Sebastes spp.*) satmak buna örnek verilmiştir. Başka bir örnek, bir satıcının donmuş deniz ürünlerini kiloyla satmadan önce daha ağır hale getirmek için buz eklemesidir. Gıda sahtekârlığına maruz bırakılan bir diğer ürünün meyve suyu olduğu belirtilmiştir. Üreticiler sitrik asit, tatlandırıcı ve su karışımını “%100” limon suyu olarak sattıklarında veya “%100” nar suyuna üzüm suyunu karıştırdıklarında, tüketici zararı çoğunlukla ekonomik olmaktadır. Bununla birlikte, bir şirket, son kullanma tarihi geçmiş pis meyve suyunun düşük kalitesini gizlemek amacıyla kirli koşullarda saklanan, son kullanma tarihi geçmiş, kontamine meyve suyunu taze meyve suyuyla karıştırdığında, ortaya çıkan meyve suyunun onu içen kişiye zarar vermesi muhtemeldir. Pahalı bir baharat (safran gibi), baharat olmayan diğer bitkisel materyallerle (bitki sapları gibi) karıştırdığında bir

tür baharat sahtekârlığı ortaya çıkmaktadır. Başka bir sahtekârlık türü de özellikle renk kalite algısını güçlü bir şekilde etkilediğinden, baharatlara belirli bir renk vermek için boya kullanmaktır. Kurşun bazlı boyalar ve kanser gibi olumsuz sağlık sorunlarına neden olabilen diğer endüstriyel boyalar, pul biber, zerdeçal ve kimyon gibi baharatlarda belirlenmiştir.

FDA (2023) tarafından, geçmiş yıllarda gerçekleşen gıda sahtekârlığına dair bildirilen diğer örnekler ise bebek maması ve çam fıstığıdır. Bilim adamlarının bir gıdada ne kadar protein olduğunu tahmin edebilmelerinin bir yolu, ne kadar nitrojen bulunduğuna bakmaktır. 2008’de Çin’deki üreticiler, ürünlerinde yeterli protein varmış gibi göstermek için bebek mamalarına melamin (yüksek nitrojen içeriğine sahip plastiklerde sıklıkla kullanılan sentetik bir kimyasal) eklemişlerdir. Bu, bebeklerde böbrek yetmezliğine yol açmıştır ve yeni raporlar, sahtekârlığın 300.000’den fazla hastalığa, 50.000 hastanın hastaneye yatışına ve en az 6 ölüme neden olduğunu göstermiştir. 2008’den 2012’ye kadar bazı insanlar, çam fıstığı yedikten sonra bazen haftalarca süren acı bir metalik tat (“çam ağzı”) bildirmişlerdir. Uluslararası bir araştırmadan sonra, bazı üreticilerin daha pahalı yenilebilir çam fıstığı türleri yerine gıda dışı bir çam fıstığı türü kullandığı ortaya çıkmıştır (FDA, 2023).

FAO (2021: 7), son beş yılda Asya ve Pasifik’ten bildirilen bazı gıda sahtekârlığı vakalarına değinmiştir. Buna göre, Avustralya pazarındaki balın neredeyse %20’si şeker kamışı veya mısır şurubu gibi maddelerle karıştırılmaktadır. Asya’dan yapılan ithalatlarda tağşiş edilmiş numunelerin oranının %50’ye kadar çıktığı belirtilmiştir (Zhou vd., 2018, s. 3). Bangladeş’te, herhangi bir meyve içermeyen, bunun yerine tehlikeli kimyasal maddeler kullanılarak üretilen meyve suları üreten bir sentetik meyve suyu üretim tesisinin, ulusal makamlar tarafından kapatılmak zorunda olduğu bildirilmiştir. Dünyanın en büyük beşinci süt üreticisi olan Pakistan’da, yetkililerin genellikle üre ve kirli su ile karıştırılmış sütlere el koydukları belirlenmiştir. Çinli ve İtalyan bilim adamları arasındaki bir iş birliği ile, 30 farklı markaya ait kızartılmış Xue Yu (bir tür morina balığı) filetosundan alınan 153 örnek üzerinde DNA testleri gerçekleştirilmiş ve örneklerin %58’inin diğer balık türleri ile ikame edildiği belirtilmiştir (Xiong vd., 2017). Tayvan’da bir gıda işleme şirketinin başkanının, düşük kaliteli palm yağı ile diğer ucuz yağları karıştırıp bunları yüksek kaliteli zeytinyağı olarak etiketlemekten suçlu bulunduğu ifade edilmiştir. Karışımında, daha düşük kaliteli yağlar kullanılması gerçeğinin yanı sıra insan sağlığına zararlı yapay renklendiriciler de bulunduğu bildirilmiştir. Çin ve Vietnam’da, ağırlıklarını artırmak ve daha çekici görünmelerini sağlamak için karideslere jel enjeksiyonunun büyüyen bir sorun olduğu belirtilmiştir (FAO, 2021: 4).

## TÜKETİCİLERİN GIDA SAHTEKÂRLIĞI ALGISI/ FARKINDALIĞI

Gıda sahtekârlığı, gıda zinciri boyunca herhangi bir noktada herhangi bir gıda ürününü kasıtlı olarak değiştirme, yanlış tanıma, yanlış etiketleme, ikame etme veya değiştirerek bozulmasına yol açma eylemidir. Gıda sahtekârlığı, gıda endüstrisine zarar verdiği ve tüketici güvenini azalttığı için, bazı araştırmalar satın alma davranışındaki değişiklikleri değerlendirmişlerdir (Moreira vd., 2021: 2).

Son zamanlardaki gıda sahtekârlığı skandalları, yanlış etiketleme uygulamalarıyla ilişkilendirilmiştir. Yapılan bir araştırmada, tüketicilerin gıda etiketleme ve gıda sahtekârlığı hakkındaki bilgilerini değerlendirmek için çevrimiçi bir anket tasarlanmıştır ve toplam 308 kişi çevrimiçi anketi yanıtlamıştır. Gıda etiketlerinde gösterilen bilgiler konusunda, tüketici güveni ile ilgili olarak katılımcıların yalnızca %52'si sağlanan bilgilerin güvenilir olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, %60'tan fazlası gıda etiketlerinde yer alan bilgilerin gıda sahteciliğini önlemediğini ve izlenebilirliği garanti etmediğini beyan etmiştir. Gıda bileşimi konusunda ise katılımcıların %55'inden fazlası gıda üreticileri tarafından sağlanan bilgilere güvenmediğini beyan etmiştir. Farklı gıda maddeleri arasında, katılımcılar et ürünleri, önceden pişirilmiş gıdalar veya yemeye hazır gıda ürünleri gibi daha fazla endüstriyel işleme tabi tutulan ürünlere kıyasla süt, yağlar veya dondurulmuş ürünler gibi daha az işlenmiş ürünlere daha fazla güven göstermiştir. Bununla birlikte, tüketiciler, ambalajlarında korumalı menşei işareti veya korumalı coğrafi işaret ile etiketlenmiş gıda maddelerine daha fazla güven duyduklarını beyan etmişlerdir. Gıda sahtekârlığıyla ilgili olarak, katılımcıların %75'inden fazlası yanlış etiketlemenin tüketiciler için bir sağlık riski veya gıda endüstrisi için ekonomik bir fayda anlamına gelmediğini belirtmişlerdir. Genel olarak, katılımcıların %55'i gıda sahtekârlığı hakkında bir miktar bilgi sahibi olduğunu göstermiştir. Bunların arasında %61'i gıda sahtekârlığının halk sağlığı için bir risk oluşturduğunu kabul ederken, yalnızca %51,8'i bunu ekonomik bir uygulama olarak ilişkilendirmiştir. Ayrıca yaş ve eğitim, gıda sahtekârlığına dair farkındalığı etkilemiştir. Ek olarak, diyet kısıtlamaları olduğunu beyan eden veya sağlıklı bir yaşam tarzına sahip olan katılımcıların, gıda içeriklerinin yanlış etiketlenmesinden daha fazla endişe duydukları belirlenmiştir. Gıda etiketi algısı, etiket bilgisine güven ve ayrıca gıda sahtekârlığı konusunda farkındalık ile ilgili en önemli sosyodemografik faktörlerin yaş ve eğitim olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle, gıda etiketleme ve gıda sahtekârlığı konusunda tüketici farkındalığını artırmaya yönelik eğitim programlarının uygulanmasının esas olduğu ifade edilmiştir (Moreira vd., 2021: 3-5).

Gıda sahtekârlığı ve gıdalardaki ekonomik amaçlı tağşişler hakkında halkın algılarını değerlendirmek amacıyla bir araştırma yapılmış ve Ame-

rikalı tüketicilerin gıda sahtekârlığı konusunda ne düşündükleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, 18 yaş ve üstü yetişkinler arasında çevrimiçi olarak 1.000 görüşme gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların yaklaşık yarısının gıda sahtekârlığı terminolojisi hakkında bilgi sahibi olmadığı, %48'inin sahte gıda, gıda özgünlüğü, gıda dolandırıcılığı, EMA (ekonomik amaçlı taşıma) gibi terimleri daha önce duymadığı belirlenmiştir. Kontamine evcil hayvan yemi (%38), fıstık ezmesi (%30) ve bebek maması (%25) en çok bilinen gıda dolandırıcılığı olayları olmuştur. Katılımcıların bazıları (%18) yiyecek içecek alışverişi yaparken gıda sahtekârlığı konusunda endişe duyduğunu belirtirken, büyük bir kısmı (%42) bu konu hakkında düşünmediğini ifade etmiştir. Katılımcılar, gıda sahtekârlığı açısından en yüksek risk taşıyan gıdaların et ve et ürünleri (%35) olduğuna inanırken, bunu sırasıyla balık ve deniz ürünleri (%30) takip etmiştir. Katılımcıların yaklaşık yarısı (%47) güvenilir markaları tercih etmenin gıda sahtekârlığı riskini azaltacağını, %40'lık bir bölümü ise güvenilir satıcılardan alışveriş yapılması gerektiğini belirtmiştir (Anonymous, 2020).

Kendall vd. (2019: 339) Çinli tüketicilerin gıda sahtekârlığını nasıl algıladıklarını ve denetleyici sistemlere güven olmadığında nasıl seçimler yaptıklarını incelemiştir. Gıda sahtekârlığına yönelik tutum ve algıyı araştırmak amacıyla birinci ve ikinci kademe şehirlerde (Pekin, Guangzhou ve Chengdu) orta sınıf Çinli katılımcıların oluşturduğu yedi odak grubu ile bir çalışma yürütülmüştür. Bebek sütü formülü, zeytinyağı ve Scotch viski, tüketicilerin tutumsal ve algısal çıkarımları için yönlendirici olarak kullanılmıştır. Araştırma bulgularına göre, Çinli tüketicilerin gıda sahtekârlığını, gıdanın orijinalliyi, kalitesi ve güvenilirliyi için tehdit oluşturan ve güvenli olmayan gıdaları satın alma ve tüketme riskini artıran bir gıda tehlikesi olarak gördükleri ifade edilmiştir. Tüketicilerin, gıda ürünlerinin orijinalliyi ve güvenliği ile ilgili güvenilir bilgi kaynakları olarak gayri resmi akraba gruplarına güvendikleri belirlenmiştir. Denetleyici bir koruma sisteminin olmadığı algılandığında, tüketicilerin davranışsal tepkilerinin gıda satın alma kararlarını desteklemek için bir dizi risk hafifletme stratejisini içerdiği bildirilmiştir. Bu stratejiler; ürün özelliklerinin güvenilirlik ipuçları olarak kullanılması, dikkatle seçilmiş tedarik kaynaklarının yanı sıra yerleşik bir dizi gıda uygulaması olarak ifade edilmiştir. Çin'de, çoğu gıda sahtekârlığıyla bağlantılı olan çok sayıda sansasyonel gıda skandalının bir sonucu olarak yerel gıda sistemine olan güvenin düşük olduğu, gıda şirketleri ve politikası için stratejik çıkarımların tartışıldığı belirtilmiştir.

Bir çalışmada, gıda sahtekârlığı ve kalpazanlığının meydana gelmesi konusunda tüketicilerin, alandaki uzmanların ve perakendecilerin tutum ve görüşleri araştırılmıştır. Hırvatistan'da 326 katılımcıya çevrimiçi bir anket uygulanmış ve tüketicilerin gıda sahtekârlığına ilişkin farkındalıklarının düşük olduğu belirtilmiştir. Tüketicilerin çoğunun, gıda sahtekârlığına kıs-

men aşına olduğu veya bu konu hakkında hiçbir şey bilmediği ifade edilmiştir. Katılımcıların en çok organik ürünlerin yanlış etiketlenmesine, et paketleme tarihi sahtekârlığına ve coğrafi işaretlerin kötüye kullanılmasına aşına olduğu bildirilmiştir. Tüketicilerin, kendilerini gıda sahtekârlığından koruması gereken tüm kuruluşlara (örneğin, Hırvat ulusal kurumları ve yetkilileri) güvenlerinin düşük olduğu görülmüştür. Sekiz gıda uzmanıyla (zeytinyağı, şarap, süt ve süt ürünleri, bal, güçlü alkollü içecekler) bir anket yapılmış, işlerinde genellikle yılda iki veya daha fazla olmak üzere gıda sahtekârlığıyla çok nadiren karşılaştıkları ortaya konulmuştur. Perakendecilerin, gıda sahtekârlığının varlığından haberdar oldukları, ancak kalite güvence sistemlerinde yine de olağan düzeyin ötesinde önlemler almadıkları belirtilmiştir. Gıda sahtekârlığı konusunda farkındalığın artırılması için ilgili kurumlar tarafından tüm paydaşların eğitilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Mesić ve Juraćak, 2022).

## SONUÇ

Gıda sahtekârlığı, ikame, ekleme, tağşiş ve değiştirme dâhil olmak üzere kullanılan çeşitli sahtecilik yöntemleriyle uzun süredir sektörde bir sorun olmuştur. Gıda sektöründe tedarik zincirinin giderek karmaşık bir yapı kazanması, gıda sahtekârlığının daha büyük ölçekli bir sorun haline gelmesine yol açmıştır. Gıda sahtekârlığına yaygın olarak maruz kalan gıdalar arasında süt ve süt ürünleri, et ürünleri, balık, tahıl ürünleri, baharatlar, bal, yağ, meyve suları ve alkollü içecekler yer almaktadır.

Gıda sahtekârlığı, finansal kazanç amacıyla gıda maddelerini ikame etmeye, değiştirmeye veya yanlış tanıtmaya yönelik kasıtlı ve maksatlı bir eylemdir. Gıda sahtekârlığına yönelik ekonomik motivasyonlar, suçluların belirli ürünleri hedeflemek yerine dolandırıcılık yapma fırsatlarına odaklanmasına neden olarak gıda sahtekârlığının tespit edilme olasılığını azaltmaktadır. Esasen mali kazanç için olmasına rağmen, gıda sahtekârlığı tüketici sağlığını etkileyebilmektedir. Aynı zamanda tüketicilerin gıda sektörüne olan güvenini de azaltmaktadır. Bu nedenle gıdanın belgelenmesi, tüketicileri ve tedarik zincirini korumada kilit bir aşamadır.

Hem gıda sahtekârlığı olaylarının mağduru hem de büyük ölçüde gıda sahtekârlığı olaylarının sorumlusu olması nedeniyle gıda endüstrisine bu konuda büyük sorumluluk düşmektedir. Gıda sahtekârlığı olayları daha yaygın hale geldikçe gıda üreticileri, işleyicileri ve perakendeciler giderek daha fazla mücadele etmekte ve bu da tespit ve önleme konularına daha fazla odaklanılmasını sağlamaktadır. Gıda sahtekârlığının önüne geçme ve gıda güvenliğini sağlama noktasında gıda sektörünün üretim, işleme, ambalajlama, depolama, taşıma, dağıtım gibi süreçlerde gerekli önlemleri alması, bu sorunun çözümlenebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ahmad, N. N., Khairatun, S. N. (2020). The understanding of food fraud among consumers in Klang Valley, Malaysia. *Journal of Sustainable Tourism and Entrepreneurship*, 2(1), 31-40. <https://doi.org/10.35912/joste.v2i1.355>
- Anonymous (2020). International Food Information Council (IFIC), Consumer Perceptions of Food Fraud [www.foodinsight.org](http://www.foodinsight.org) (Erişim tarihi 11.05.2023).
- Brooks, C., Parr, L., Smith, J.M., Buchanan, D., Snioc, D., Hebshy, E. (2021). A review of food fraud and food authenticity across the food supply chain, with an examination of the impact of the COVID-19 pandemic and Brexit on food industry. *Food Control*, 130 (108171), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108171>
- Cozzolino, D. (2016). Editorial overview: Innovation in food science — food fraud. *Current Opinion in Food Science*, 10, 4-5.
- Danezis, G.P., Tsagkaris, A.S., Georgiou, C.A., Camin, F., Brusica, V. (2016). Food authentication: Techniques, trends and emerging approaches. *Trends in Analytical Chemistry*, 85(1), 123-132. doi: 10.1016/j.trac.2016.02.026
- European Commission. (2018). The EU food fraud network and the system for administrative assistance- food fraud. annual report 2018. [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/ff\\_ffn\\_annual-report\\_2018.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/ff_ffn_annual-report_2018.pdf)
- FAO. 2021. Food fraud – Intention, detection and management. Food safety technical toolkit for Asia and the Pacific No. 5. Bangkok.
- FDA, Food and Drug Administration (2009). Economically Motivated Adulteration; Public Meeting; Request for Comment, [Docket No. FDA-2009-N-0166]. Federal Register 74, 15497.
- FDA, Food and Drug Administration (2023). Economically motivated adulteration (food fraud). <https://www.fda.gov/food/compliance-enforcement-food/economically-motivated-adulteration-food-fraud>. (Erişim tarihi 16.03.2023)
- FDA, Food and Drug Administration. (2014). Food Fraud and “Economically Motivated Adulteration” of Food and Food Ingredients. Congressional Research Service. R43358. <https://crsreports.congress.gov>
- Hong, E., Lee, S.Y., Jeong, J.Y., Park, J.M., Kim, B.H., Kwon, K., Chun, H.S. (2017). Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 3877-3896. DOI 10.1002/jsfa.8364
- Huck, C.W., Cornelia K Pezzei, C.K., Huck-Pezzei, V. AC. (2016). An industry perspective of food fraud. *Current Opinion in Food Science*, 10, 32-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2016.07.004>
- Huisman, W., van Ruth, S. (2022). Risky business: food fraud vulnerability assessments. *Crime, Law and Social Change*, 78, 559-576. <https://doi.org/10.1007/s10611-021-10008-9>

- Kearney, A. (2010). Consumer product fraud: Deterrence and detection. Washington DC, USA: Grocery Manufacturers Association. Washington.
- Kendall, H., Kuznesof, S., Dean, M., Chan, M-Y., Clark, B., Home, R., Stolz, H., Zhong, Q., Liu, C., Brereton, P., Frewer, L. (2019). Chinese consumer's attitudes, perceptions and behavioural responses towards food fraud. *Food Control*, 95, 339-351. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.006>
- Lipp, M. (2011). A closer look at chemical contamination. Food Safety Magazine. <https://www.food-safety.com/articles/3759-a-closer-look-at-chemical-contamination>.
- Manning, L., Soon, J.M. (2014). Developing systems to control food adulteration. *Food Policy*, 49, 23-32.
- Manning, L., Soon, J.M. (2016). Food safety, food fraud, and food defense: A fast evolving literature. *Journal of Food Science*, 81(4), 823-834. doi: 10.1111/1750-3841.13256
- McGrath, T. F., Haughey, S. A., Patterson, J., Faulh-Hassek, C., Donarski, J., Alewijn, M., van Ruth, S., Elliot, C.T. (2018). What are the scientific challenges in moving from targeted to nontargeted methods for food testing and how can they be addresses? – spectroscopy case study. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 38-55.
- Mesić, Ž. and Juračak, J. (2022), Frauds in Food Supply Chains: The Case of Croatian Market. Soucie, S. and Peštek, A. (Ed.) Counterfeiting and Fraud in Supply Chains, Emerald Publishing Limited, Bingley, pp. 49-72. <https://doi.org/10.1108/978-1-80117-574-620221003>
- Moreira, M.J., García-Díez, J., de Almeida, J.M.M.M., Saraiva, C. (2021). Consumer knowledge about food labeling and fraud. *Foods*, 10(1095), 1-12. <https://doi.org/10.3390/foods10051095>
- Roberts, M.T., Viinikainen, T., Bullon, C. (2022). International and national regulatory strategies to counter food fraud. Rome, FAO and UCLA. <https://doi.org/10.4060/cb9035en>
- Robson, K., Dean, M., Haughey, S., Elliot, C. (2021). A comprehensive review of food fraud terminologies and food fraud mitigation guides. *Food Control*, 120 (107516), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107516>
- Shears, P. (2010). Food fraud – a current issue but an old problem. *British Food Journal*, 112(2), 198-213. DOI: 10.1108/00070701011018879.
- Spink J., Fortin, N.D., Moyer, D.C., Miao, H. and Wu Y. (2016). Food fraud prevention: Policy, strategy and decision-making – implementation steps for a government agency or industry. *Chimia*, 70(5), 320-328. doi:10.2533/chimia.2016.320
- Spink, J., Embarek, P.B., Savelli C.J., Bradshaw, A. (2019). Global perspectives on food fraud: results from a WHO survey of members of the Internatio-

- nal Food Safety Authorities Network (INFOSAN). *Science of Food*, 3(12), 1-5. <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0044-x>
- Spink, J., Moyer D.C. (2011). Defining the public health threat of food fraud. *Journal of Food Science*, 76(9), 157-163. doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02417.x
- Spink, J., Ortega, D.L., Chen, C., Wu, F. (2017). Food fraud prevention shifts the food risk focus to vulnerability. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 215-220.
- Sumar, S., Ismail, H. (1995). Adulteration of foods – past and present. *Nutrition and Food Science*, 95(4), 11-15. <https://doi.org/10.1108/00346659510088663>.
- van Ruth S.M., Huisman, W., Luning, P.A. (2017). Food fraud vulnerability and its key factors. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 70-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.017>
- Visciano, P., Schirone, M. (2021). Food frauds: Global incidents and misleading situations. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 424-442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.010>
- Wisniewski, A., Buschulte, A. (2019). How to tackle food fraud in official food control authorities in Germany. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 14(4), 319-328. <https://doi.org/10.1007/s00003-019-01228-2>.
- Xiong, X., Yao, L., Ying, X., Lu, L., Guardone, L., Armani, A., Guidi, A., Xiong, X. (2017). Multiple fish species identified from China's roasted Xue Yu fillet products using DNA and mini-DNA barcoding: Implications on human health and marine sustainability. *Food Control*, (88), 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.12.035>
- Zhou, X., Taylor, M.P., Salouros, H., Prasad, S. (2018). Authenticity and geographic origin of global honeys determined using carbon isotope ratios and trace elements. *Scientific Reports*, 8(1), 14639. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32764-w>



## BÖLÜM 3

### GÜNEŞ PANELİ VERİMLİLİĞİNİ ARTIRMAYA YÖNELİK OTOMATİK TEMİZLEME TEKNOLOJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Beytullah BOZALİ<sup>1</sup>*

*Kemal Enes YİĞİT<sup>2</sup>*

*Buğra ŞENDOĞAN<sup>3</sup>*

1 Öğr. Gör. Dr., Beytullah BOZALİ, Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, beytullahbozali@duzce.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3633-5780

2 Kemal ENES YİĞİT, Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Orcid ID: 0009-0007-9528-5668

3 Buğra ŞENDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Orcid ID: 0009-0009-1292-9646

## 1. GİRİŞ

Güneş paneli temizliği, panellerin yüzeyinde biriken toz ve kirlerin enerji üretim verimliliğini düşürmesini engellemek için kritik öneme sahiptir. Düzenli temizlik, güneş ışığının panele maksimum düzeyde ulaşmasını sağlar, böylece enerji üretimi optimize edilir. Bu nedenle, güneş panellerinin performansını ve uzun vadeli ekonomik verimliliğini artırmak için etkili bir temizleme sistemi gereklidir. Yüzeydeki toz birikimi, güneş ışığının Fotovoltaiklere (FV) girmesini sınırlar ve dolayısıyla FV panele çıkışını azaltır. Temizlenmeyen modüllerde verimlilik bir ay içinde %50'ye kadar düşebilir (Nahar Myyas ve ark., 2022). Yapılmış olan deneylerde, tamamen tozlanmış ve güç üretimi olmayan bir FV panelin, mekanik titreşim yöntemiyle göreceli maksimum güç çıkışının %53.80, yüzey akustik ses dalgalarıyla %55.48'e ve hibrit yöntemle %68.6'ya çıkarılabildiğini belirtmiştir. Güneş panel verimliliğini artırmak için mekanik ve temassız temizleme yöntemlerinin etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirlemektedir (Erişgin, 2022). FV panellerin gölgelenmesi verimi yaklaşık %9 oranında düşürdüğü dikkate alarak, Doğrusal Fırçasız Doğru Akım Motoru (FDAM) tasarlamışlardır. Bu şekilde, FDAM gibi mekanizmalar, panel temizliğini otomatikleştirerek sistem performansını optimize edebileceğini ve yatırımın geri dönüş süresini kısaltabileceğini ifade etmişlerdir (Eker ve ark., 2021). Türkiye'deki en büyük güneş enerjisi santrali için yapılan hesaplamalar, yağmur suyuyla temizlik için gereken su miktarının farklı senaryolarda %29 ila %76 arasında karşılanabileceğini göstermektedir. Bu uygulamaların, fotovoltaik panel verimliliğini artırarak sürdürülebilir enerji üretimine önemli katkılar sağladığını vurgulamışlardır (Uysal & Çeliktaş, 2023). Erişgin ve arkadaşları çalışmalarında, mekanik ve temas olmayan kendi kendini temizleme yöntemlerinin FV panel performanslarına etkisini araştırmışlardır (Erişgin ve ark., 2022). FV panellerin verimliliği, yüzeylerinde oluşan toz, kum, yosun gibi maddelerin birikmesiyle önemli ölçüde etkilenebilir. Araştırmalar, bu birikintilerin panellerin üretim gücünü %85'e kadar düşürebileceğini göstermektedir. Ancak, düzenli temizlik işlemlerinin, panellerin üretim değerlerini artırabileceği belirtilmektedir (Altıntaş, 2021). Yaptıkları çalışmalarda, temizleme işleminden sonra güneş panelinin çıkış voltajında %8,02 ve akımında %18,78 artış gözlemlenmiştir (Park ve ark., 2019). Fotovoltaik panellerdeki verimlilik, çevresel koşullara ve özellikle sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu yaklaşım, sistem

verimliliğini artırabilir ve performans düşüşlerini minimize edebilir (Selbaş & Çetin, 2022). Parrott ve arkadaşları çalışmalarında, güneş paneli verimliliğini artırmak için silikon köpük fırça ile donatılmış otomatik bir robotik temizleme sistemi geliştirmişlerdir (Parrott ve ark., 2018). FV panellerin temizlenmesi için çeşitli yöntemler uygulamışlardır. Bu yöntemler arasında fırça kullanılarak yapılan klasik mekanik temizleme, kompresör ile basınçlı hava kullanılarak yüzeydeki tozun uzaklaştırılması, yağışa bağlı doğal temizlenme, nano silika parçacıklarından oluşan inorganik-organik hibrit kendini temizleyen kaplama malzemeleri kullanımı ve robotik temizleme sistemleri yer almaktadır (Deb D, 2018; Khadka N, Bista A, Adhikari B, Shrestha A & B., 2020). FV panellerin temizlenmesinde nispeten yeni sayılabilecek robotik sistemler, hem sulu hem de susuz temizleme yöntemleriyle çalışabilmektedir (Ak & Bansal, 2015). Fırça kullanılarak FV panel yüzeyine temas edip biriken kirleri temizleyen robot prototiplerinin yanı sıra, vakum yöntemiyle FV yüzeyindeki tozları emen sistemler de bulunmaktadır. Geliştirilen robotun farklı çalışma periyotlarında temizleme işlemi gerçekleştirmesinin FV panel verimliliğine etkisi incelenmiştir. Bu sayede, en verimli temizleme periyodu, hem panel verimi hem de robotun tükettiği saf su miktarı açısından analiz etmişlerdir (Jaradat ve ark., 2015; Karaman & Taşkın, 2022)

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, yeryüzüne 90 dakikada düşen güneş enerjisi, tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir. IEA, 2050 yılında küresel elektrik enerjisi üretiminin %11'inin güneş enerjisinden sağlanacağını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının 2030 yılına kadar yıllık %7.6 büyüme oranı ile en hızlı büyüyen enerji kaynakları olacağını öngörmektedir (Kargacıoğlu, 2017). Güneş panellerinin kirli olması verimlerini %10-%20 oranında düşürebilmekte ve bu oran zamanla artabilmektedir. Araştırmalar, güneş panelleri temizlenmezse ilk yılın çeyreklerinde sırasıyla %5, %10, %15 ve %20, ikinci yılın çeyreklerinde ise %25, %30, %35 ve %35 enerji kaybı olacağını göstermektedir (Piagrid, 2024). Türkiye'de güneş enerjisi hızla büyümekte olup, enerji geleceğinde önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisinin bu potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için panellerin düzenli olarak temizlenmesi ve bakım yapılması gerektiğini belirtmiştir (Yesilhaber, 2024).

Güneş paneli temizliği, panellerin verimliliğini ve ömrünü artırmak için önemli bir konudur. Literatürde bu konuda çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Güneş paneli temizliği ile ilgili bazı çalışmalar (Ekinci ve

ark., 2022; Farrokhi Derakhshandeh ve ark., 2021; Gümüş & Çubukçu, 2023; Jaiganesh ve ark., 2021; Nomeir ve ark., 2023; Tilmatine ve ark., 2023) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar, güneş panellerinin verimliliğini artırmak için temizliğin önemini vurgulamakta ve farklı yöntemlerin etkinliğini ortaya koymaktadırlar.

Çalışmamızda kullanılan Prototip güneş paneli temizleme sistemi, güneş paneli yüzeyindeki tozları ve kirleri temizlemek için özel olarak tasarlanmıştır. Güneş paneli temizleme sistemimiz, ekonomik, kolay kurulabilir, düşük maliyetli ve verimli bir çözüm sunarak kullanıcılarımızın beklentilerini fazlasıyla karşılamaktadır. Yenilikçi tasarımı, üstün performansı ve uygun fiyatıyla bu prototip, güneş enerjisi sistemlerinizin vazgeçilmez bir parçası olabilir. Bu ürünün tercih edilmesi hem ekonomik kazanç sağlayabilecek hem de çevreye duyarlı bir enerji üretim sürecine katkıda bulunabilecektir.

## 2. MATERYAL VE METOD

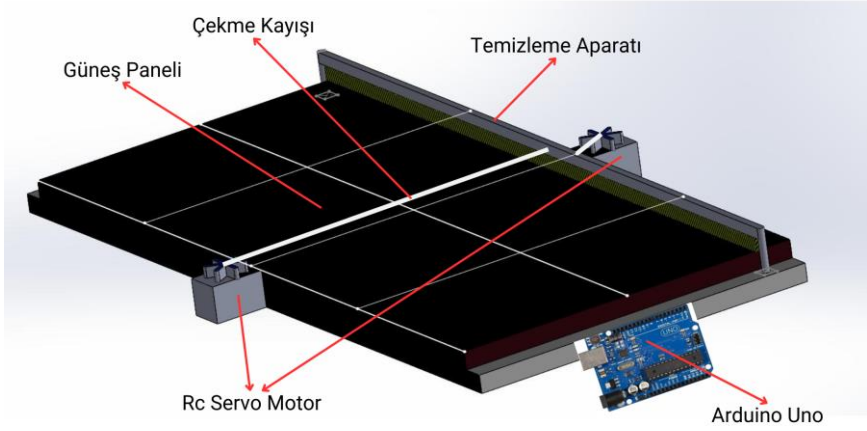
Güneş paneli verimliliği için temizlik, panel yüzeyinde biriken toz, kir ve diğer dış etkenlerin uzaklaştırılmasını sağlayarak önemli bir rol oynar. Temizlik işlemi, güneş panellerinin maksimum düzeyde güneş ışığını absorbe etmesini ve dönüştürmesini sağlar, bu da panelin daha fazla enerji üretmesini sağlar. Dolayısıyla güneş paneli temizliği, panelin maksimum verimlilikle çalışmasını sağlayarak ekonomik ve çevresel açıdan kritik bir öneme sahiptir. Düzenli temizlik ve bakım, güneş enerjisi sistemlerinin etkinliğini ve uzun ömürlü performansını artırabilir. Güneş panellerinde enerji kaybı aşağıdaki gibi faktörlere bağlıdır.

1. **Yansıma ve soğurma:** Güneş ışığının bir kısmı panelden yansır, bir kısmı ise emilir. Yansıma ve soğurmanın kontrol edilmesi önemlidir.
2. **Sıcaklık:** Yüksek sıcaklıklar panel verimliliğini azaltır. Her santigrat derecede %0,5'e kadar bir düşüş yaşanabilir.
3. **Gölgeleme:** Panelin kısmi gölgelenmesi güç üretimini azaltır. Gölgelemiş hücreler elektrik üretemez.
4. **Kablo direnci:** Panelleri bağlamak için kullanılan kablolar direnç oluşturabilir, voltaj düşüşüne yol açabilir.
5. **Kirlenme:** Panel yüzeyinde biriken kir, güneş ışığının emilmesini azaltabilir.
6. **İnvertör kayıpları:** Doğru akımı alternatif akıma dönüştürme sırasında enerji kaybı yaşanabilir.

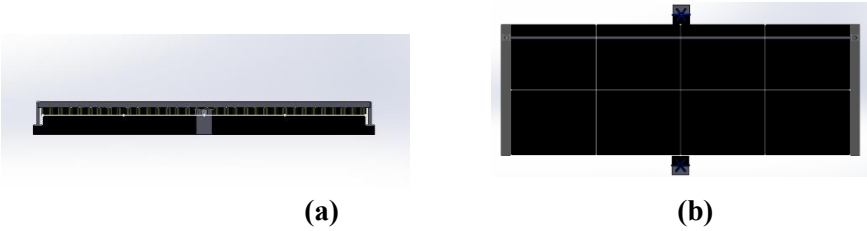
7. **Yaşlanma ve yıpranma:** Zamanla, panellerin verimliliği düşer, düzenli bakım önemlidir (Rob-sys, 2024).

## 2.1. Güneş Paneli Temizleme Prototipi

Güneş paneli temizleme prototipi, enerji üretim verimliliğini artırmak ve bakım maliyetlerini azaltmak amacıyla geliştirilen ileri teknoloji bir sistemdir. Bu sistem, güneş panelinin yüzeyinde biriken kir ve tozun otomatik olarak temizlenmesini sağlar. Proje kapsamında güneş paneli, çekme kayışı, temizleme aparatı, RC servo motor ve Arduino Uno mikrodenetleyici kullanılmıştır. Şekil 1’de, güneş paneli temizleme projesinin bilgisayar çizimini üst çapraz görünümü verilmiştir. Şekil 2’de güneş paneli temizleme projesinin bilgisayar çizim, (a) yandan görünüm, (b) üstten görünüm verilmektedir.



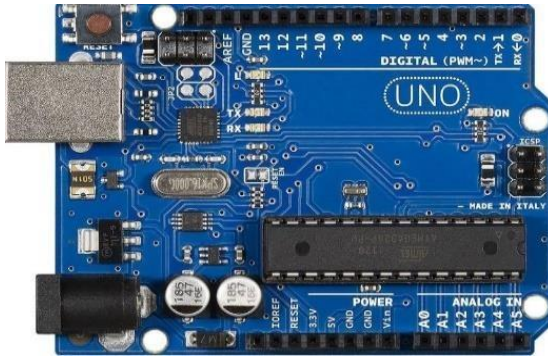
Şekil 1. Güneş paneli temizleme projesi bilgisayar çizim üst çapraz görünümü



Şekil 2. Güneş paneli temizleme projesi bilgisayar çizimi, (a) yandan görünüm, (b) üstten görünüm

## 2.2. Arduino

Arduino Uno, elektronik projelerde yaygın olarak kullanılan popüler bir geliştirme kartıdır. ATmega328 mikrodenetleyiciye sahiptir ve dijital ile analog giriş/çıkış pinleri bulunur. USB bağlantısı aracılığıyla bilgisayara bağlanabilir ve Arduino IDE gibi yazılımlar kullanılarak programlanabilir. Çeşitli sensörler, motorlar, ekranlar ve diğer bileşenlerle kolayca entegre edilebilir. Arduino Uno'nun düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı hem hobi projelerinde hem de profesyonel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı sağlamaktadır. Arduino projelerinde birçok farklı sensör kullanılabilir. Örneğin, sıcaklık ve nem sensörleri, ışık sensörleri, hareket sensörleri (PIR), gaz sensörleri (CO2 gibi) ve su seviyesi sensörleri yaygın olarak kullanılır (Electronicshacks, 2024). Bu sensörler, çevredeki değişiklikleri algılayarak projelerde olayları tetiklemek için kullanılır. Ayrıca, alev IR sensörleri, foto direnç sensörleri, toprak nem sensörleri, hız sensörleri, mikrofon sensörleri, pasif buzzer sensörleri, dijital termal sensörler ve MQ-2 gaz sensörleri gibi diğer sensörler de projelere eklenebilir (Microsoft Bing, 2024). Sensör seçimi, projenin amacına ve gereksinimlerine bağlıdır. Arduino Uno R3, 8-bit ATmega328P tabanlı bir mikrodenetleyici kartıdır (Amestica ve ark., 2019). Arduino platformu, mikrodenetleyici kartlarının programlanması için Arduino programlama dilini kullanır. Arduino programlama dili, C++ diline dayalı olup, basit ve anlaşılır bir sözdizimine sahiptir. Şekil 3'te çalışmamızda kullandığımız Arduino Uno R3 görseli verilmiştir (Arduino+uno&source, 2024; Bozali ve ark., 2023).



Şekil 3. Arduino Uno R3

Güneş paneli temizleme prototipine entegre edilebilecek çeşitli sensörler, örneğin toz ve yağmur sensörleri gibi, otomatik bir sistem geliştirmek için kullanılabilir. Bu sistem, güneş panelinin yüzeyindeki toz birikimini sürekli olarak izleyerek belirli bir eşik aştığında temizleme mekanizmasını otomatik çalıştırabilir. Ayrıca, atmosferik koşulları takip eden yağmur sensörleri, yağmur başladığında temizleme işlemine başlamak için tetikleyici olarak kullanılabilir. Bu tür otomatik sistemler, temizlik işlemlerini zamanında ve gereksinim duyulduğunda gerçekleştirerek manuel müdahaleyi en aza indirebiliriz.

### 2.3. Arduino C++ Programlama Dilini

Arduino örnekleri ve kütüphaneleri genellikle C++ dilinde yazılmaktadır (Arduino, 2024). Bu projede programlama dili olarak Arduino'nun C++ tabanlı dili kullanılmıştır. Güneş paneli temizleme prototipine entegre edilebilecek çeşitli sensörlerle uyumlu şekilde çalışabilen bu programlama dili, aşağıda verilmektedir.

```
#include <Servo.h>
// İki servo nesnesi oluşturuyoruz
Servo myServo1;
Servo myServo2;
// Servo hareket süresi (milisaniye cinsinden)
const unsigned long duration = 10000; // 10 saniye
// Servo başlangıç ve bitiş açıları
const int startAngle = 0; // Başlangıç açısı (derece)
const int endAngle = 180; // Bitiş açısı (derece)
void setup() {
  // İlk servo motorunu pin 9'a bağlıyoruz
  myServo1.attach(9);
  // İkinci servo motorunu pin 10'a bağlıyoruz
  myServo2.attach(10);
  // Her iki servo motorunu başlangıç pozisyonuna ayarlıyoruz
  myServo1.write(startAngle);
  myServo2.write(startAngle);
}
void loop() {
  unsigned long startTime = millis(); // Başlangıç zamanını kaydet
  // Servoları başlangıç açısından bitiş açısına doğru döndür
  while (millis() - startTime < duration) {
    float progress = (millis() - startTime) / (float)duration;
    int currentAngle = startAngle + progress * (endAngle - startAngle);
    myServo1.write(currentAngle);
```

```

myServo2.write(currentAngle);
delay(15); // Hareket hızını kontrol etmek için gecikme süresi
}
// Servoların bitiş açısına ulaştığından emin ol
myServo1.write(endAngle);
myServo2.write(endAngle);
// Yön değiştirmeden önce 5 saniye bekle
delay(5000);
// Geri dönüş hareketi için başlangıç zamanını kaydet
startTime = millis();
// Servoları bitiş açısından başlangıç açısına doğru döndür
while (millis() - startTime < duration) {
    float progress = (millis() - startTime) / (float)duration;
    int currentAngle = endAngle - progress * (endAngle - startAngle);
    myServo1.write(currentAngle);
    myServo2.write(currentAngle);
    delay(15); // Hareket hızını kontrol etmek için gecikme süresi
}
// Servoların başlangıç açısına ulaştığından emin ol
myServo1.write(startAngle);
myServo2.write(startAngle);
// Tekrar başlamadan önce 5 saniye bekle
delay(5000);
}

```

Arduino C++ programlama dili üzerinde yapılacak küçük değişikliklerle, günlük kullanımda bulunan güneş panellerine uyarlanabilir bir temizleme prototipi geliştirilebilir. Bu yöntemle, düşük maliyetlerle fotovoltaik panellerin temizliği sağlanarak enerji verimliliği artırılabilir.

```

myServo1.write(currentAngle);
myServo2.write(currentAngle);

```

Kodda bulunan myServo1 ve myServo2 tanımlamaları, iki motorun kullanıldığını belirtmektedir. Her bir motor için ayrı bir myServo tanımlaması yapılması gereklidir, bu da kullanılan motor sayısına göre tanımlama sayısını artırma esnekliği sağlar. Bu şekilde, ihtiyaca bağlı olarak motor sayısı istenildiği kadar artırılabilir.

```

const unsigned long duration = 10000; // 10 saniye

```



Bu kod, servo motorların çalışma sürelerini ayarlamaktadır. Temizleme aparatının güneş paneli dışına çıkmamasını sağlamak için gereken zaman bu kod ile belirlenir. Güneş panelinin boyutlarına bağlı olarak bu süre değişiklik gösterebilir. Süre, milisaniye cinsinden ifade edilmektedir.

```
myServo1.write(endAngle);  
myServo2.write(endAngle);  
// Yön değiştirmeden önce 5 saniye bekle  
delay(5000);
```

Yukarıdaki kodda, motorlar bir tam tur hareket ettikten sonra ne kadar süre bekleme moduna geçeceklerini ayarlamaktadır. Bu bekleme süresi, güneş panelinin koşullarına ve kullanıcının tercihlerine göre düzenlenebilir.

## 2.4. Güneş Paneli

Güneş paneli, güneşten gelen ışığı elektrik enerjisine dönüştüren bir cihazdır. Genellikle silikon tabanlı fotovoltaiik hücrelerden oluşur. Fotovoltaiik etki, güneş panelinin içindeki yarı iletken malzemeler aracılığıyla güneş ışığını alır ve elektrik üretir. Elde edilen elektrik enerjisi doğrudan kullanılabilir veya akülerde depolanabilir. Güneş panelleri, çatılar, araziler veya özel güneş tarlaları gibi yerlerde kullanılarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için yaygın olarak kullanılır. Tablo 1'de kullandığımız güneş panelinin özellikleri ayrıntılı olarak verilmiştir.

**Tablo 1.** Projede kullanılan güneş panelinin özellikleri

Nominal Güç / P Max (Wp)	40W
Nominal Güç Toleransı / (Wp) Tolerance	(-3, +3)%
Nominal Güç Akımı / Imp (A)	2.22A
Nominal Güç Voltajı / Vmp (V)	18V
Açık Devre Akımı / Isc (A)	2.44A
Açık Devre Voltajı / Voc (V)	21.6V
Nominal Sıcaklık Kat Sayısı (NOCT)	45+/-2° C
Ağırlık / Weight	4.8kg

Maksimum Sistem Gerilimi / Max System V	1000V DC
Diyot Akımı / Max Series Fuse Rating (A)	10A

## 2.5. Rc Servo Motor

Tower Pro MG996, bir tür servo motor modelidir ve genellikle robotik uygulamalarda, uzaktan kumandalı araçlarda ve diğer hareketli sistemlerde tercih edilirler. MG996, yüksek tork sağlayan ve hassas bir dişli mekanizması ile donatılmıştır. Özellikle metal dişlileri sayesinde dayanıklı ve güçlü bir yapıya sahiptir. Bu özellikler, motorun uzun süreli ve ağır yük altında bile güvenilir performans sergilemesini sağlar. Standart olarak 180 derece dönme açısına sahip olan MG996 servo motorlar, 4.8V ila 7.2V arasındaki voltajlarla çalışabilirler. Hızlı tepki süresi ve yüksek hassasiyetleriyle tanınan RC servo motorlar, geniş bir kullanım alanına sahiptirler (Robotistan, 2024).

Panel temizleme sisteminin daha sağlam ve uzun ömürlü olabilmesi için dört motor kullanılması önerilmektedir. Özellikle temizleme aparatı gibi ağır yük taşıyan parçalar için bu önemlidir. Dört motorlu bir yapı, yükün daha dengeli bir şekilde dağılmasını sağlar ve her motorun üzerine düşen yükü azaltarak uzun süreli ve verimli çalışmayı destekler. Bu sayede temizlik işlemleri daha verimli ve istikrarlı bir şekilde gerçekleştirilebilir.

## 2.6. Temizleme Aparatı

Temizleme aparatının tasarımında yapılan iyileştirmelerin bilimsel temelleri ve mantığı şu şekilde açıklanabilir:

**1. Tekerlekli Ayaklar ile Hareket Kolaylığı ve Verimlilik Artışı:** Araştırmalar, tekerlekli yapıların hareket mekanizmalarında kullanılmasının, sistemlerin akıcılığını ve verimliliğini artırdığını göstermektedir. Tekerlekli ayaklar, raylar üzerinde daha düşük sürtünme ile hareket eder, bu da temizleme aparatının yüzey üzerinde daha kolay ve hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlar. Ayrıca, takılma veya sıkışma riskini azaltarak bakım gereksinimlerini minimize eder.

**2.Fırça Sayısının ve Tipinin Etkinliği:** Daha fazla sayıda ve yuvarlak fırça kullanılması, temizleme aparatının etkinliğini artırır. Araştırmalar,

yuvarlak fırçaların, düz fırçalara göre daha geniş bir alanı kapsayarak daha derinlemesine temizlik sağladığını göstermektedir. Ayrıca, fırçaların kendi etraflarında dönme yeteneği, yüzeydeki kirlerin daha etkin bir şekilde temizlenmesini sağlar. Bu tasarım değişiklikleri, güneş panellerinin etkinliğini korumak ve verimliliğini artırmak için düzenli bakım sağlayan temizleme aparatının performansını artırır. Bunun sonucunda, daha uzun ömürlü ve güvenilir bir temizlik çözümü elde edilir. Bu bilimsel prensiplere dayalı olarak yapılan iyileştirmeler, temizleme aparatının işlevselliğini ve kullanılabilirliğini artırarak, güneş enerjisi sistemlerinin performansını optimize eder.

## 2.7. Çekme Kayışı

Güneş paneli temizleme aparatı, RC servo motorlar tarafından kontrol edilen çekme kayışları aracılığıyla yukarı ve aşağı hareket ederek panelin yüzeyini etkili bir şekilde temizler. Bu sistem, servo motorlara bağlı kayışlar ile temizleme aparatını hassas ve kontrollü bir şekilde hareket ettirerek güneş panelinin her noktasına erişim sağlar. Bu sayede güneş panelinin yüzeyinde biriken kir ve partiküller etkin bir şekilde temizlenir ve panelin verimliliği artırılır. Servo motorlar, hassas pozisyon kontrolü sağlayarak temizleme aparatının istenilen noktalara doğru yönlendirilmesini mümkün kılar. Bu kontrol, servo motorlar tarafından kayışların uygun hız ve ivmelerle çekilmesiyle gerçekleşir. Böylece, temizleme aparatı güneş panelinin her noktasına erişebilir ve yüzeyde biriken kirleri etkin bir şekilde temizleyebilir. Bu sistem, güneş enerjisi sisteminin uzun ömürlü ve yüksek verimli çalışmasına katkıda bulunur. Güneş paneli temizliği düzenli olarak gerçekleştirilerek panelin performansının korunması ve enerji üretiminin optimize edilmesi sağlanır. Ayrıca, servo motorlar sayesinde kontrol edilen hareket, sistemin güvenilirliğini ve hassasiyetini artırır, böylece güneş paneli temizliği daha etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir.

## 3. PROJENİN ÇALIŞTIRILMASI VE ALINAN SONUÇLAR

Tasarlanan güneş paneli temizleme uygulaması, güneş enerjisi sistemlerinin etkin ve sürdürülebilir bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Uygun yöntem ve ekipmanlarla panel temizliği düzenli olarak yapılması, panel enerji verimini artırır ve panelin ömrünü uzatır.

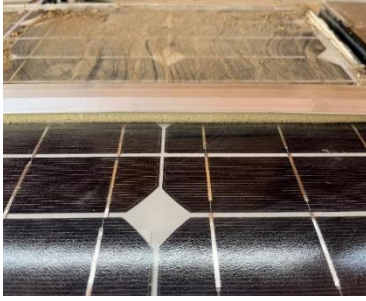
### 3.1. Güneş Paneli Temizlik Prototip Tasarımı



Şekil 4. Panelinin temiz hali



Şekil 5. Panelinin kirli hali



Şekil 6. Panel temizlendikten sonraki yüzey



Şekil 7. Paneli temizlendikten sonra alınan voltaj

Şekil 4'te güneş panelinin temiz olduğu durumu gösterir. Temiz bir panel, maksimum güneş ışığı emilimini sağlar. Yüzeyde herhangi bir toz, kir veya kalıntı bulunmaması, panelin verimini artırır ve daha yüksek enerji üretimi sağlar. Temiz paneller, optimum performans için gereklidir ve düzenli bakım ile bu durum sağlanabilir. Şekil 5'te, güneş panelinin kirli olduğu durumu gösterir. Toz, kir, yapraklar ve diğer çevresel kalıntılar panelin yüzeyini kapladığında, güneş ışığı panel hücrelerine ulaşmakta zorlanır. Bu da panelin verimini düşürür ve enerji üretimini olumsuz etkiler. Kirli paneller genellikle düşük voltaj üretir ve bu nedenle daha az elektrik enerjisi üretirler. Şekil 6'da güneş panelinin temizlendikten sonraki yüzeyini gösterir. Temizlik işlemi, panel yüzeyindeki tüm kir ve kalıntıların uzaklaştırılmasını sağlar. Bu da panelin yeniden maksimum

verimle çalışmasına olanak tanır. Temizleme işlemi sonrası panelin yüzeyi, güneş ışığını daha iyi emer ve enerji üretim kapasitesini artırır. Şekil 7’de güneş panelinin temizlendikten sonra ürettiği voltajı gösterir. Temiz bir panel, kirli bir panele göre daha yüksek voltaj üretir. Verilen verilere göre, temiz paneller genellikle 19.8 V ile 20.1 V arasında voltaj üretirken, kirli panellerin voltajı 18.68 V ile 19.6 V arasında değişmektedir. Bu fark, temizlik işleminin enerji üretimine olan pozitif etkisini açıkça gösterir. Temizlenmiş bir panel, daha verimli çalışır ve daha fazla elektrik üretir.

Bu sonuçlar, güneş panellerinin düzenli olarak temizlenmesinin önemini vurgulamaktadır. Temizlik işlemi, panelin verimini artırarak enerji üretimini maksimize eder ve uzun vadede daha ekonomik ve çevre dostu bir enerji kaynağı sağlar.

**Tablo 2.** Sunlike SL040-12M güneş paneli temizlendikten sonra ve kirli durumda ölçülen gerilim değerlerinin karşılaştırması

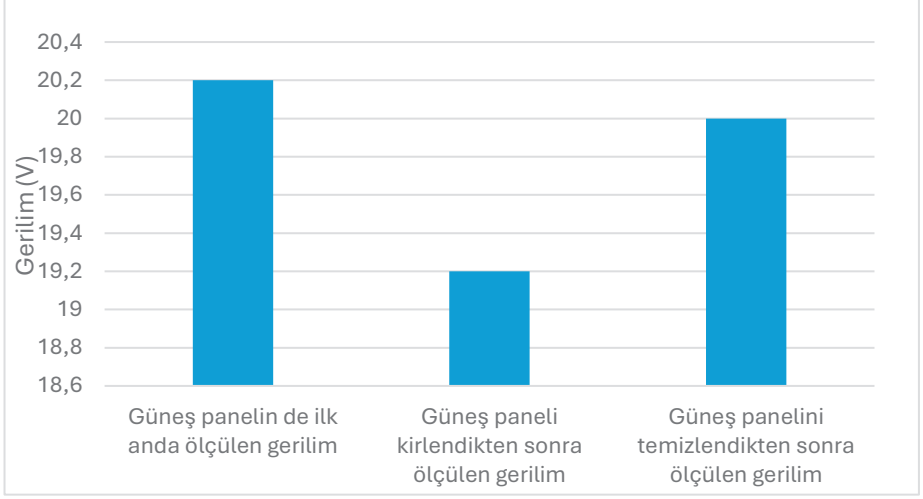
Bağlı Yük	Tarih	Gerilim	Panel Temizlendikten Sonra Ölçülen Gerilim (V)	Panel Kirliyen Ölçülen Gerilim (V)
YÜK YOK	12.03.2024	Voc	20	19,2
YÜK YOK	20.03.2024	Voc	19,86	19,4
YÜK YOK	29.03.2024	Voc	19,95	19,2
YÜK YOK	05.04.2024	Voc	20,1	19,6
YÜK YOK	11.04.2024	Voc	19,9	19,5
YÜK YOK	19.04.2024	Voc	19,91	19,4
YÜK YOK	26.04.2024	Voc	19,77	18,68
YÜK YOK	02.05.2024	Voc	19,8	19,01
YÜK YOK	09.05.2024	Voc	19,96	19,2
YÜK YOK	17.05.2024	Voc	19,82	18,9
YÜK YOK	25.05.2024	Voc	20,03	19,2

Tablo 2’de, Sunlike SL040-12M güneş panelinin temiz ve kirli durumlarında gerilim ölçümlerini karşılaştırmaktadır. 12 Mart 2024 ile 25 Mayıs 2024 tarihleri arasında, saat 12.00’da veya 19.00’da yapılan bu ölçümler sırasında güneş paneline herhangi bir yük bağlanmamıştır; sadece güneş panelinin + ve – uçları multimetreye bağlanarak gerilim değerleri kaydedilmiştir. Genel olarak, panel temizlendiğinde ölçülen voltaj değerleri, panel kirliyken ölçülen değerlere göre daha yüksek çıkmıştır, bu da temizliğin panel verimliliğini artırdığını göstermektedir. Örneğin, 12 Mart’ta temiz panelde 20V ölçülürken, kirli panelde 19.2V ölçülmüştür.

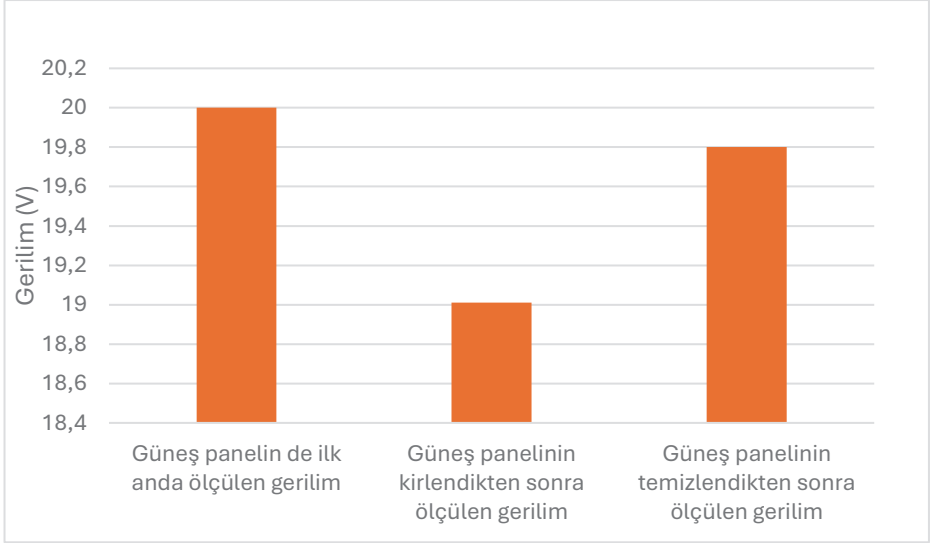
Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10, belirli tarihlerde ve saatlerde yapılan güneş paneli temizleme uygulamalarındaki ölçülen gerilim değerlerini göstermektedir. Şekil 8’de panelin temizlenmesinin hemen ardından yapılan ölçümde, voltajın 0.8V arttığını göstermektedir. Temiz panelin verimliliği belirgin şekilde daha yüksek olmuştur. Şekil 9’da temizlenmiş panelde voltajın yaklaşık 0.79V daha yüksek olduğu görülmektedir. Yine temizlik sonrası gerilimde önemli bir artış gözlenmiştir.

Şekil 10’da akşam saatinde yapılan bu ölçümde, temiz panelde voltajın 1.09V daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Bu, diğer ölçümlere kıyasla daha büyük bir farktır ve panelin günün ilerleyen saatlerinde bile temizlendiğinde verimliliğinin arttığını göstermektedir.

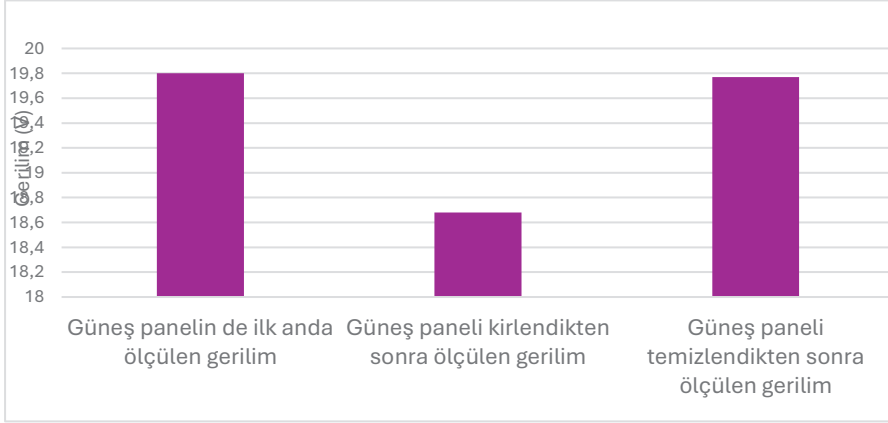
Genel olarak, bu ölçümler güneş panelinin düzenli olarak temizlenmesinin, verimliliği artırmak ve enerji üretimini optimize etmek için önemli olduğunu göstermektedir. Her üç tarihte de temiz panelin gerilim değeri, kirli panele kıyasla daha yüksek bulunmuştur.



**Şekil 8.** 12.3.2024 Tarihinde saat 12.00 da yapılan güneş paneli temizleme uygulamasındaki ölçülen gerilim.



**Şekil 9.** 2.5.2024 Tarihinde saat 12.00 da yapılan güneş paneli temizleme uygulamasındaki ölçülen gerilim.



**Şekil 10.** 26.4.2024 Tarihinde saat 19.00 da yapılan güneş paneli temizleme uygulamasındaki ölçülen gerilim.

Geliştirdiğimiz güneş paneli temizleme sistemi, yenilikçi ve etkili bir temizlik yöntemi sunarak mevcut çözümlerden farklılaşmaktadır. Sistem, güneş paneli yüzeyindeki tozları ve kirleri temizlemek için özel olarak tasarlanmıştır ve aşağıdaki şekilde çalışmaktadır:

- 1. Temizleme Aparatı ve Hareketi:** Güneş panelinin uzunluğu boyunca uzanan temizleme aparatı, panelin yüzeyini yukarı ve aşağı hareket ederek temizler Şekil 11 ve Şekil 12’de gösterilmektedir.
- 2. Alüminyum Ray ve Tahta Ayaklar:** Temizleme aparatının yukarı ve aşağıya hareket edebilmesi için alüminyum rayda kayabilen tahta ayaklara sahiptir.
- 3. Servo Motorlar ve Çekme Kayışları:** Panelin her iki ucunda, panelin tam ortasında yer alan iki adet Tower Pro MG996 RC servo motor bulunur. Servo motorların dönen mil kısımlarına bağladığımız çekme kayışları, temizleme aparatını yukarı ve aşağı çekmekle görevlidir.
- 4. Arduino Uno ve Kod Senkronizasyonu:** Motorların hareketleri, Arduino Uno devre kartına yazdığımız özel bir kod ile senkronize edilir. Bu kod sayesinde, temizleme aparatı yukarı çekileceği zaman her iki motor da sağa doğru döner, aşağı çekileceği zaman ise sola doğru döner.
- 5. Bekleme Modu:** Temizleme işlemi tamamlandığında, motorlar belirlenen süre boyunca bekleme moduna geçer.



Bu sistem sayesinde güneş paneli üzerinde biriken toz ve kirler düzenli olarak temizlenir, panelin verimliliği korunur ve enerji üretimi maksimize edilir. Bu yenilikçi yaklaşım, güneş paneli temizliği konusunda etkili ve pratik bir çözüm sunar.

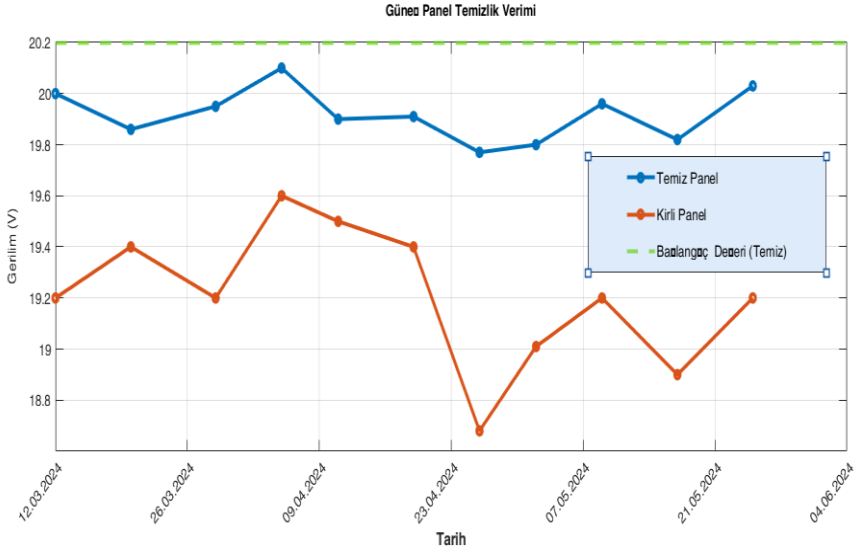


Şekil 11. Paneli temizleme projesi görüntüsü



Şekil 12. Paneli temizleme projesi üstten görünümü

### 3.2. Güneş Panel Temizliği Verimliliğinin Değerlendirilmesi



Şekil 13. Güneş panel temizliğinin verim grafiği

Şekil 13'teki grafikte, güneş panelinin temiz ve kirli durumdaki gerilim değerlerinin zaman içindeki değişimini görebilirsiniz. Başlangıçta temiz bir panelin gerilim değeri 20.2 V olarak ölçülmüştür ve bu değer grafikte yeşil kesik çizgi ile gösterilmiştir.

**Temiz Panel (Mavi Çizgi):** Temizlendikten sonra ölçülen gerilim değerleri, genellikle 19.8 V ile 20.1 V arasında değişmektedir. Bu değerler, panelin temiz olduğu durumu yansıtmaktadır ve oldukça sabit bir seviyede kalmıştır.

**Kirli Panel (Turuncu Çizgi):** Kirli durumdaki gerilim değerleri ise genellikle 18.68 V ile 19.6 V arasında değişmektedir. Kirli panelin gerilim değerleri, temiz panele göre daha düşük ve daha değişken bir eğilim göstermektedir.

Şekil 13'te, güneş panelinin temizlenmesiyle elde edilen verim artışını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Temiz bir panel, daha yüksek ve daha stabil gerilim değerleri üretirken, kirli bir panelin verimi belirgin bir şekilde düşmektedir. Bu nedenle, güneş panellerinin düzenli olarak temizlenmesi, optimum performans ve enerji üretimi için önemlidir.

#### 4. SONUÇLAR

Güneş enerjisi sistemlerinde verimliliği maksimize etmek, sürdürülebilir enerji üretiminin temel hedeflerinden biridir. Ancak, güneş panellerinin yüzeyinde biriken toz ve kir, enerji üretim kapasitesini olumsuz etkileyerek verim kaybına yol açmaktadır. Bu çalışmada, geliştirilen prototip güneş paneli temizleme sistemi, ekonomik, kolay kurulabilir ve düşük maliyetli bir çözüm sunarak bu sorunu gidermeyi amaçlamaktadır. Yenilikçi tasarımı ve üstün performansı ile öne çıkan bu sistem, güneş panellerinin yüzeyini düzenli olarak temizleyerek maksimum güneş ışığı emilimini sağlar ve enerji üretimini artırır.

Prototip temizleme sistemi, güneş paneli yüzeyindeki toz ve kirleri etkili bir şekilde temizlemek için çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Temizleme aparatı, alüminyum ray ve tahta ayaklarla desteklenen bir yapıya sahip olup, servo motorlar ve çekme kayışları yardımıyla yukarı ve aşağı hareket eder. Arduino Uno devre kartı ve özel yazılım senkronizasyonu sayesinde, temizleme işlemi otomatik olarak gerçekleştirilir. Bu sistem, kullanıcı dostu tasarımı ve kolay kurulumu sayesinde hem profesyonel hem de bireysel kullanıcılar için idealdir.

Yapılan voltaj ölçümleri, temiz ve kirli güneş panelleri arasındaki verim farkını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Temiz panellerin voltaj üretimi, kirli panellere göre belirgin bir şekilde daha yüksektir. Örneğin,

12 Mart 2024'te temiz bir panelde ölçülen voltaj 20V iken, aynı panel kirli durumda 19.2V ölçülmüştür. Bu veriler, temizleme işleminin enerji üretimini olumlu yönde etkilediğini ve düzenli bakımın güneş panellerin ömrünü uzattığı belirlenmiştir. Geliştirilen sistemle elde edilen verilere göre, temiz paneller genellikle 19.8V ile 20.1V arasında voltaj üretirken, kirli panellerin voltajı 18.68V ile 19.6V arasında değişmektedir.

Sonuç olarak, güneş paneli temizleme sistemi, enerji üretim verimliliğini artırarak güneş panellerinin performansını maksimize etmek için etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu yenilikçi yaklaşım, güneş enerjisi sistemlerinin sürdürülebilir ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Ekonomik ve çevre dostu bu çözüm, güneş enerjisi kullanıcıları için hem maliyet tasarrufu sağlar hem de uzun vadeli verimliliği artırır. Güneş paneli temizleme sistemi, temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi için kritik bir rol oynamakta olup, güneş enerjisi sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olarak öne çıkmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ak, M., & Bansal, K. (2015). A brief history and future aspects in automatic cleaning systems for solar photovoltaic panels. *Advanced Robotics*, 29(8), 515–524.
- Altıntaş, M. (2021). Elektrostatik Yöntemle Güneş Panelinin Temizlenmesi. *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1–135. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=9MiDp3x86xrwjpi5-14w-QKLpdv2DTpN8ZbaUYrz4vEWMO4QYuZX2oSO1L0hY38J>
- Amestica, O. E., Melin, P. E., Duran-Faundez, C. R., & Lagos, G. R. (2019). An Experimental Comparison of Arduino IDE Compatible Platforms for Digital Control and Data Acquisition Applications. *2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies*, 1–6.
- Arduino+uno&source. (2024). [https://www.google.com/search?q=Arduino+uno&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewj6uKez5K7\\_AhVYRvEDHTDqBNEQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=568&dpr=1](https://www.google.com/search?q=Arduino+uno&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewj6uKez5K7_AhVYRvEDHTDqBNEQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=568&dpr=1) (Erişim Tarihi: 07.05.2024).
- Arduino. (2024). <https://www.arduino.cc/en/tutorial/libraryexamples/robotIRremote> (Erişim Tarihi: 12.05.2024).
- Bozali, B., Pirpir, C. B., & Çarmuk, F. (2023). Deprem ve Acil Durumlarda Etkili Bilgi Sağlama: Arduino Temelli Akıllı Güvenlik Sistemi. *International Marmara Sciences Congress (Imascon Spring) 2023 Proceedings Book*, 278–286.
- Deb D, B. N. (2018). Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water free automated cleaning solution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3306–3313.
- Eker, M., Avşar, Y., & Fenercioğlu, A. (2021). FV Panel Temizliği için Doğrusal Motor ve Mekanizma Tasarımı. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 21(3), 570–578. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.890076>
- Ekinci, F., Yavuzdeğer, A., Nazlıgül, H., Esenboğa, B., Doğru Mert, B., & Demirdelen, T. (2022). Experimental investigation on solar PV panel dust cleaning with solution method. *Solar Energy*, 237(November 2021), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.03.066>

- Electronicshacks. (2024). <https://Electronicshacks.Com/> (Erişim Tarihi: 07.04.2024).
- Erişgin, D. (2022). Otomatik Güneş Paneli Temizleme Yöntemlerinin Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, 1–58.
- Erişgin, D., Kara, G., & Özcan, H. (2022). Fotovoltaik Panel Temizliğinde Yüze Akustik Dalgaları Kullanımının Fotovoltaik Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi. *OMÜ Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi*, 2(June), 137–154. <https://ojs.omu.edu.tr/jest/article/view/60/13>
- Farrokhi Derakhshandeh, J., AlLuqman, R., Mohammad, S., AlHussain, H., AlHendi, G., AlEid, D., & Ahmad, Z. (2021). A comprehensive review of automatic cleaning systems of solar panels. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47(August), 101518. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101518>
- Gümüş, H., & Çubukçu, M. (2023). Fotovoltaik Modüllerde Elektrostatik Temizleme Yöntemiyle Tozlanma Kayıplarının Azaltılması Üzerine Deneysel Bir Çalışmanın Değerlendirilmesi. *Deu Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik*, 25(73), 205–216. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2023257317>
- Jaiganesh, K., Bharath Simha Reddy, K., Shobhitha, B. K. D., & Dhanush Goud, B. (2021). Enhancing the efficiency of rooftop solar photovoltaic panel with simple cleaning mechanism. *Materials Today: Proceedings*, 51, 411–415. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.565>
- Jaradat, M., Tauseef, M., Altaf, Y., Saab, R., Adel, H., Yousuf, N., & Zurigat, Y. (2015). A fully portable robot system for cleaning solar panels. *Mechatronics 10th International Symposium on and Its Applications (ISMA), United Arab Emirates*.
- Karaman, B., & Taşkın, S. (2022). Development of autonomous photovoltaic panel surface cleaning robot and analyzing of cleaning interval on energy efficiency. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 28(2), 234–239. <https://doi.org/10.5505/pajes.2021.45014>
- Kargacıoğlu, T. (2017). Sensör Tabanlı Otomatik Güneş Paneli Temizleme Sistemi Prototipi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 1–54.
- Khadka N, Bista A, Adhikari B, Shrestha A, B. D., & B., A. (2020).

Current practices of solar photovoltaic panel cleaning system and future prospects of machine learning implementation. *IEEE Access*, 8, 135948–135962.

Microsoft Bing. (2024). <https://www.bing.com/?ToWww=1&redig=FCBE64A0460E4211B4826CBB52CE058A> (Erişim Tarihi: 08.04.2024).

Nahar Myyas, R., Al-Dabbasa, M., Tostado-Véliz, M., & Jurado, F. (2022). A novel solar panel cleaning mechanism to improve performance and harvesting rainwater. *Solar Energy*, 237(February), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.03.068>

Nomeir, B., Lakhoul, S., Boukheir, S., Ali, M. A., & Naamane, S. (2023). Recent progress on transparent and self-cleaning surfaces by superhydrophobic coatings deposition to optimize the cleaning process of solar panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 257(May), 112347. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112347>

Park, H., Öztürk, A., Park, H., & Khan, M. U. (2019). Utilization of Robotics for Solar Panel Cleaning and Maintenance. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 7(4), 768–775. <https://doi.org/10.36306/konjes.654942>

Parrott, B., Carrasco Zanini, P., Shehri, A., Kotsovos, K., & Gereige, I. (2018). Automated, robotic dry-cleaning of solar panels in Thuwal, Saudi Arabia using a silicone rubber brush. *Solar Energy*, 171(June), 526–533. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.06.104>

Piagrid. (2024). <https://www.piagrid.com/rehber/gunes-paneli-temizligi>, (Erişim Tarihi: 18.04.2024).

Rob-sys. (2024). <https://rob-sys.com/gunes-panellerinde-enerji-kaybi-neden-olur/> (Erişim Tarihi: 18.05.2024).

Robotistan. (2024). <https://www.robotistan.com/mg996r-yuksekk-hizli-servo>, (Erişim Tarihi: 20.05.2024).

Selbaş, R., & Çetin, H. (2022). Fotovoltaik Güneş Santrallerinin Verimlerinin Değişiminin İncelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6, 10–17.

Tilmatine, A., Kadous, N., Yanallah, K., Bellebna, Y., Bendaoudi, Z., & Zouaghi, A. (2023). Experimental investigation of a new solar panels cleaning system using ionic wind produced by corona discharge. *Journal of Electrostatics*, 124(June), 103827. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2023.103827>

Uysal, S., & Çeliktaş, M. S. (2023). Güneş enerjisi santrallerinde yağmur suyu hasadı. *Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci*, 12(2), 334–342. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.1124588>

Yesilhaber. (2024). <https://yesilhaber.net/gunes-panellerimi-nasil-temizleyebilirim/> (Erişim Tarihi: 18.03.2024).

