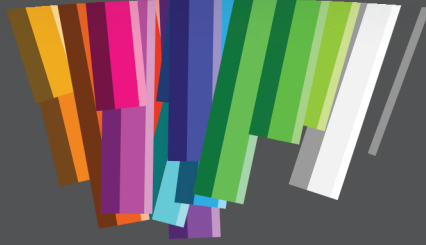




# MÜHENDİSLİK ALANINDA ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER

MAYIS, 2021

CİLT I



## EDİTÖRLER

DOÇ.DR.BELMA HASDEMİR  
DR. MAHMUT TURHAN

### YAZARLAR

CEYDA BİLGİÇ  
ŞAFAK BİLGİÇ  
AHMET ARİF ULUSLU  
ÖMER KASIM  
EYYÜP YILDIZ  
AHMET BARAN  
FULYA ASLAY  
DİNÇER AKAL  
ZÜLAL BÜYÜK  
DİLEK DÜLGER ALTINER  
RAMAZAN DEMİRCİOĞLU  
PINAR YOLCU  
HÜSEYİN ÜNAL

**İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız**  
**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel**  
**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı**  
**Editörler / Editors • Doç. Dr. Belma Hasdemir**  
Dr. Mahmut Turhan  
**Birinci Basım / First Edition • © Mayıs 2021**  
**ISBN • 978-625-7411-69-1**

**© copyright**

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

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.  
Citation can not be shown without the source, reproduced in any way  
without permission.

**Gece Kitaplığı / Gece Publishing**  
**Türkiye Adres / Turkey Address:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt.  
No: 22/A Çankaya / Ankara / TR  
**Telefon / Phone:** +90 312 384 80 40  
**web:** [www.gecekitapligi.com](http://www.gecekitapligi.com)  
**e-mail:** [gecekitapligi@gmail.com](mailto:gecekitapligi@gmail.com)



**Baskı & Cilt / Printing & Volume**  
**Sertifika / Certificate No: 47083**

# Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler

**CİLT I**

**EDİTÖRLER**

**DOÇ. DR. BELMA HASDEMİR**

**DR. MAHMUT TURHAN**

**gece**  
kitaplığı



# İÇİNDEKİLER

## Bölüm 1

İLERİ MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNİN ÜRETİMİNDE  
AKILLI (FONKSİYONEL) YÜZEYLERİN KULLANIMLARI

Ceyda BİLGİÇ & Şafak BİLGİÇ ..... 1

## Bölüm 2

GENİŞ BANT MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN YAPAY  
SİNİR AĞLARI İLE İŞARET PARAMETRELERİNİN  
MODELLENMESİ

Ahmet Arif ULUSLU..... 21

## Bölüm 3

FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI

Ömer KASIM..... 35

## Bölüm 4

RANSOMWARE TEHDİDİNİN EVRİMİ, BİLİŞİM SİSTEMLERİN  
KORUNMASI VE ZARAR HAFİFLETME STRATEJİLERİ

Eyyüp YILDIZ & Ahmet BARAN & Fulya ASLAY ..... 61

## Bölüm 5

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA AŞIRI DOLDURMA  
(TURBOŞARJ) VE ARA SOĞUTUCU (INTERCOOLER)  
UYGULAMALARI

Dinçer AKAL ..... 83

## Bölüm 6

ÇEKİRDEKTEN FİNCANA KAHVE ÜRETİMİ VE KAHVE  
ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

Zülal BÜYÜK & Dilek DÜLGER ALTINER ..... 105

## Bölüm 7

AKSARAY VE CİVARINDA TUZGÖLÜ FAY ZONU İLE HEYELAN  
BÖLGELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ramazan DEMİRCİOĞLU..... 131

## Bölüm 8

PAI VE PES ASTAR KAT POLİMER KATKILI TEFLON  
(PTFE) KAPLAMALARIN FARKLI TABAN MALZEMELERE  
BAĞLANMA MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

Pınar YOLCU & Hüseyin ÜNAL..... 147

# Bölüm 1

## İLERİ MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNİN ÜRETİMİNDE AKILLI (FONKSİYONEL) YÜZEYLERİN KULLANIMLARI

*Ceyda BİLGİÇ<sup>1</sup>*  
*Şafak BİLGİÇ<sup>2</sup>*

1 Doç.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye. Orcid No: 0000-0002-9572-3863

2 Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye. Orcid No: 0000-0002-9336-7762





## 1. GİRİŞ

Yapraklar kirli su veya tozla kaplı olmasına rağmen, Lotus yaprakları gibi birçok bitkinin yapraklarının, toksin benzeri bir aktivite, su iticilik ve yüzeyden kolayca yuvarlanma gibi belirli özellikler gösterdiği iyi bilinmektedir. Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi, yağmur suyu nilüfer yapraklarından herhangi bir tutunma olmadan sorunsuzca yuvarlanabilir (Feng ve ark., 2002:1857; Barthlott ve Neinhuis, 1997:1; Neinhuis ve Barthlott, 1997:667; Yan ve ark., 2011:80; Zhang ve ark., 2012:11217; Koch ve ark., 2009:137). Lotus yapraklarının özellikleri çeşitli metal veya katı yüzeylerde işlevselleştirilebiliyorsa, bu durum enerji tasarrufu sağlayan birçok uygulamaya yararlı ve yardımcı olacaktır. Örneğin, sıvı akışının sürtünmesini azaltabilir, kirlenmeyi önleyebilir ve ısı transfer performansını artırabilir.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 1.** Süperhidrofobik yüzeyler ve uygulamaları. (a) Lotus yaprağı (Feng ve ark., 2002:1857); (b) güneş pili paneli (Jelle, 2013:334); (c) süperhidrofobik yüzeyli gemi; (d) süperhidrofobik uçak (Ball, 1999:507).

Çeşitli metaller veya katılar üzerinde süperhidrofobik yüzeylerin imalatındaki gelişmelerle, son derece düşük yüzey enerjisine sahip bu işlevselleştirilmiş metal yüzeyler, kademeli olarak endüstrilerde

ve günlük hayatta uygulanmaktadır. Örneğin, mikroakışkan cihazının yüzey hacim oranının yüksek olması akış davranışını güçlü bir şekilde etkiler ve bu da basınç kaybını önemli ölçüde artırır. Bu nedenle, süperhidrofobik yüzeyler, basınç kaybını etkili bir şekilde azaltmak için mikroakışkan cihaza veya mikrokanallara uygulanır (Yao ve ark., 2011:719). Diğer bir örnek, bu tür işlevsel yüzeylere sahip plakalı ısı değiştiricilerin pastörizasyon işlemi sırasında sütün kirlenmesini etkili bir şekilde engelleyerek ısı transfer performansının düşmesini önleyebilmesidir (Rungraeng ve ark., 2012:218).

Zorlu hava koşulları altında çalışan güneş pilleri ve rüzgâr türbinlerinin verimliliğinin, buz ve kar birikimi nedeniyle büyük ölçüde azalması nedeniyle, bu yüzeylerden buzun giderilmesi büyük ilgi uyandırmaktadır (Carriveau ve ark., 2012:447; Cucchiella ve D'Adamo, 2012:5245). Yüzeylerden buzun giderme yöntemleri iki kategoriye ayrılabilir; birincisi, ısı işlemleri, mekanik kazımayı içeren aktif yöntemlerdir ikincisi ise buz çözücü kimyasal maddelerin kullanımınıdır. Aktif metot, buzlanma gerçekleşikten sonra uygulanan, buzun yüzeyden ayırmak için çok fazla çabaya gereksinim duyan bir metottur. İkinci metot ise buzlanma gerçekleşirken buz oluşumunu ve yüzeyde buz birikmesini engelleyen pasif metottur.

Pasif metot, buzun yüzeye daha düşük bağlanma kuvveti sebebiyle, yüzeylerden buzun daha etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlayan daha az enerji tüketimine ve sonuçta enerji tasarrufuna sebep olan bir metottur. Pasif metodun, Şekil 1 (b) ve (c) 'de gösterildiği gibi, uçaklar, rüzgâr türbinleri, fotovoltaik cihazlar (Jelle, 2013:334), elektrik güç hatları (Laforte ve ark., 1998:143), gemiler gibi birçok potansiyel uygulamaları bulunmaktadır. Süperhidrofobik yüzeye dayalı pasif yöntem, buz birikimini önleyebilir ve yüzeye buz yapışmasını (adezyon) azaltabilir. Buzlanma meydana geldiği, donma sıcaklığı bölgelerinden geçerken buzun uçak yüzeyine yapıştığı ve bunun da büyük risklerine neden olacağı iyi bilinmektedir (Gent ve ark., 2000:2873; Çalışkan ve Hajiyev 2013:12; Mohseni ve Amirfazli 2013:47; Ke ve Wang 2011:151). Buzlanma deneylerinin sıcaklıkları, donma sıcaklığı bölgelerinden geçerken uçak yüzeylerine kıyasla yeterince düşük olmasa da, yine de deneysel sonuçlar uçağın uçuş performansını iyileştirmesi için eğitici ve yararlı olabilir (Tarquini ve ark., 2014:50; Malshe ve ark., 2013:607). Şekil 1 (d), süperhidrofobik kaplamalı uçağın görüntüsünü göstermektedir (Ball, 1999:507). Antonini ve akadaşları rüzgâr tüneline yerleştirdikleri uçak kanadı (NACA0021) ile yaptıkları deneysel çalışmada, gerileyen temas açısı düşük olan bir süperhidrofobik malzeme ile kaplanmış uçak kanadının üzerinde %80 oranında daha az buz birikmesi oluştuğunu rapor etmişlerdir (Antonini ve ark., 2011:58). Süperhidrofobik yüzeye

buz adezyon mukavemeti, normal yüzeye göre çok daha düşüktür. Bu nedenle, süperhidrofobik yüzey, buzlanmayı giderme uygulamalarında gerekli olan buz önleme özelliklerini gösterir.

Yoğuşma, endüstride ısı değiştiricileri ve soğutma sistemleri başta olmak üzere birçok alanda karşılaşılan bir süreçtir. Özellikle film tip yoğuşma, çeşitli metal yüzeyler gibi yüksek yüzey enerjili yüzeyde meydana gelir. Çünkü metal yüzeydeki sıvı film ısı transferini engeller. Süperhidrofobik kaplama ile metal yüzeyde film tip yoğuşma yerine damla tip yoğuşma meydana gelmektedir. Yüzeyde oluşan damlalar yüzeyden yerçekimi veya küçük bir dış kuvvet etkisiyle uzaklaştırılabilmektedir. Böylece, düşük ısıl direnç nedeniyle ısı transfer performansı artar (Miljkovic ve Wang, 2013:397). Süperhidrofobik yüzeyler, laminer veya türbülanslı akışlarda sürüklenmeyi azaltan özellikleri gösterir. Örneğin süperhidrofobik yüzeylere sahip tüpler veya kanallar yoluyla basınç kaybı etkili bir şekilde azaltılabilir ve akış hızının artması nedeniyle konvektif ısı transfer katsayısı da belirli bir dereceye kadar iyileştirilir (Enright ve ark., 2006:599; Forrest ve ark., 2010:58). Süperhidrofobik yüzeylerin birçok uygulama alanı vardır. Örneğin soğutucu akışkan (buz bulamacı), klimalarda enerji tüketimini azaltmak için ısı transfer sıvısı ve ayrıca enerji depolama ortamı olarak hizmet veren ikincil döngü soğutucu olarak kullanılabilir. Buz bulamacı genellikle, buz parçacıklarının yüzeye daha az yapışacağı veya tüpleri tıkayacağı süperhidrofobik yüzeye sahip üretim sistemi kullanılarak hazırlanabilir. Bu nedenle, buz bulamacı üretiminde süperhidrofobik yüzey potansiyel uygulamalara sahiptir (Wang ve ark., 2012:526). Süperhidrofobik yüzeylerin üretim maliyetinin yüksek değildir, çünkü kimyasal ajanların maliyeti düşüktür ve imalatları karmaşık değildir. Süperhidrofobik yüzeyler, enerji ile ilgili uygulamalarda enerji tasarrufunu etkili bir şekilde artırabilir. Maliyetin faydaya oranı, büyük ölçekli uygulamalar gerçekleştirildiğinde daha da azalacaktır.

Akıllı fonksiyonel yüzeyler endüstrilerde, özellikle enerji ile ilgili alanlarda birçok potansiyel uygulamaya sahiptir. Bu makale, akıllı yüzeylerin ve uygulamalarının bir incelemesini sunmaktadır. Süperhidrofobiklik ya da yüzeyin şiddetli su iticiliği, kendini temizleme, kaplama, korozyon dayanımı, biyoteknoloji ve düşük sürtünme kaplamaları gibi bir çok uygulama alanında önemli çözümler bulmaktadır. Yüzeyin dizayn parametrelerini uygun şekilde seçerek yüzey topografyasını ayarlamak ve böylelikle sonrasında hidrofobikliği elde etmek mümkündür.

## 2. AKILLI YÜZEYLERİN UYGULAMA ALANLARI

Çeşitli uygulamalara sahip birçok Akıllı yüzeyler, farklı yöntemlerle üretilmiştir. Bu bölümde bu yüzeylerin temel uygulamaları kısaca tartışılmaktadır. Eşsiz oleofobik-hidrofilik yüzeyler, özel ıslatma

davranışları nedeniyle birçok önemli uygulamada oldukça arzu edilir. Bu makale esas olarak korozyon dayanımının artması, paslanmanın önlenmesi, buğulanmayı önleme, anti bakteriyel yüzeyler, buzlanmayı önleyici yüzeyler, deterjansız kendi kendini temizleme, su ve yağ ayırma ve kirlenmeyi önleme gibi seçilmiş uygulamalara odaklanmaktadır.

## 2.1. Korozyon Dayanımının Artması

Toplumlarda korozyon en önemli sorunlardan biri olarak bilinir. Bu olay büyük hasarlara yol açtığından, yüzey korozyon dayanımının artması büyük ilgi görmektedir. Yüzeylerin korozyon oranını önlemek veya azaltmak için çok sayıda yöntem uygulanmıştır. Ancak, son zamanlarda süperhidrofobik kaplamalar alüminyum (Barkhudarov ve ark., 2008:897; Hintze ve Calle, 2006:1761; Skorb ve ark., 2010:722), bakır (Cui ve ark., 2009:179; Zhang ve ark., 2008:1199), magnezyum (Ishizaki ve Saito, 2010:9749), çelik (Luo ve ark., 2008:970), titanyum (Zhang ve ark., 2011:2587), ve çinko (Hermelin ve ark., 2008:4447; Ning ve ark., 2011:1359) gibi tüm metallere uygulanarak korozyon oranını önlemek için kullanılmaktadır.

## 2.2 Buğulanma Önleyici Yüzeyler

Genel olarak buhar, günlük yaşamda ve endüstriyel uygulamalarda bilinmeyen risklere ve sorunlara neden olabilecek aynalar, cam ve diğer farklı katı yüzeylerde oluşur. Bu problem, katı yüzey ile sıvılar arasındaki arayüzeyi kontrol ederek çözülebilir. Kısaca, bu stratejiler süperhidrofilik tabakaları (sıfır temas açılı) (Dong ve ark., 2010:15567; Lu ve ark., 2011:1490; Luo ve ark., 2008:970) ve 150°'den daha büyük temas açılı süperhidrofobik yüzeyleri ve hidrofilik/oleofobik tabakaları içermektedir (Howarter ve Youngblood, 2007:3838, Howarter ve Youngblood, 2008:455).

Katı yüzeylerde su buharının yoğunlaşması nedeniyle buğulanma (sislenme) meydana gelir. Yüzey hidrofilik olduğunda, homojen bir su filmi oluşur ve buğulanma meydana gelmez, hâlbuki yüzey hidrofobik olduğunda yüzeyde bir su damlası oluşur ve buğulanma meydana gelir. Genellikle buğulanma önleyici yüzeyler süperhidrofilik yüzey uygulanarak elde edilir (Shimomura ve ark., 2010:813; Zhang ve ark., 2008:10851; Cebeci ve ark., 2006:2856; Lia ve ark., 2012:7420). Bununla birlikte, bu yüzeyin dezavantajı, ortam havasındaki hidrokarbon kirlenmesinden kolayca zarar görebilmesi, bunun da yüzey enerjisini düşürmesidir, dolayısıyla yüzeyi hidrofilikten hidrofobik hale getirmesidir (Howarter ve Youngblood, 2008:455). Ya da parmak izleri gibi yağ kirlenmesi nedeniyle bozulabilir (Howarter ve Youngblood, 2007:3838). Bir yüzey ancak hidrofilik/oleofobik ise, hidrokarbon kirlenmesini azaltabilir ve hidrofilik özelliği

koruyabilir. Böylece uzun süreli buğulanmama özelliği sağlanabilir (Howarter ve Youngblood, 2007:3838, Howarter ve Youngblood, 2008:455; Wang ve ark., 2015: 30570).

Örneğin, Howarter ve Youngblood, aynı anda hidrofilik/oleofobik olan f-PEG (perflorlu polietilen glikol oligomerleri) kaplı cam slaydın iyi bir buğu önleme özelliği gösterebileceğini kanıtlamıştır. Farklı ıslatma davranışlarına sahip üç cam slayt kaynar su üzerinde tutulmuştur. Hidrofobik cam slayt, hidrofobikliği nedeniyle yoğun buğulanma sergilemiştir. Temiz cam, laboratuvar ortamında yağ ile kirlendiğinden, hidrofilik özelliği azaldığı için hafif buğulanma göstermiştir. f-PEG ile modifiye edilmiş yüzey, yağı itme özelliğine sahiptir ve hidrofilik özelliği koruyabilmiştir; bu nedenle, su yoğunlaşarak yüzeyde bir su filmi oluşturmuş ve buğulanma önlenmiştir (Howarter ve Youngblood, 2008:455).

Wang ve arkadaşları (2015), deneysel olarak eşzamanlı hidrofilik/oleofobik yüzeyin hidrokarbon kirlenmesini azaltarak uzun süreli buğu önleyici performansla sonuçlanabileceğini kanıtlamıştır. PFPE (perfloropolieter) nanofilmlerinin kalınlığı, farklı örneklerde üç tekrara dayalı ortalama kalınlık, Z-03, Zdol ve Z-tetraol için sırasıyla;  $1,6 \pm 0,2$  nm,  $1,7 \pm 0,2$  nm ve  $2,0 \pm 0,2$  nm'dir. Z-tetraol, hidrofobitesinden dolayı hem 1. günde hem de 14. günde kötü bir buğu önleyici performans göstermiştir. Taze numuneler yüksek hidrofilik özelliğe sahip olduklarından Zdol ve Z-03'ün her ikisi de 1. günde iyi bir buğu önleme performansı göstermişlerdir. Ancak, 14. günde hala Zdol buğulanmama özelliğini koruyabilirken, Z-03 bunu yapamamıştır. Bu, oleofobik Zdol yüzey tarafından kendi kendini iten hidrokarbon kirlenmesine (kontaminasyonuna) atfedilirken, oleofilik Z-03 yüzeyini tahrip etmiştir. Hidrokarbon kirlenmesinin yüzdesi, XPS ile ölçülmüş, bu gerçekten de Zdol'un Z-03'e kıyasla hidrokarbon kirlenmesini azaltabileceğini kanıtlamıştır. Bu nedenle, eşzamanlı olarak hidrofilik/oleofobik Zdol, uzun vadeli bir buğulanma önleme yeteneği sergileyebilir (Wang ve ark., 2015:30570).

### 2.3. Anti Bakteriyel Yüzeyler

Tıp endüstrisi de dâhil olmak üzere birçok sektördeki ana endişelerden biri, malzeme ve ekipmanların çevre kirliliğidir. Biyofilmlerin doğal bir olay olarak kendiliğinden büyümesi, hastane enfeksiyonları durumunda bir sorun haline gelebilir. Biyofilmi öldürmek veya yapışmasını azaltmak için, bakteri yok edici veya biyo yapışmayı önleyici yüzeyler gibi iki strateji vardır ve Süperhidrofobik yüzeylerde bu amaçla kullanılmaktadır.

## 2.4. Buzlanmayı Önleyici Yüzeyler

Çevreye maruz kalan katı yüzeylerde buz oluşumu, otoyollar, hava taşıtları, nakliye ve iletişim ekipmanları gibi birçok endüstrinin işleyişinde önemli rol oynar. Bu problemin ortadan kaldırılmasına yönelik stratejilerin çoğu, buzun fiziksel veya kimyasal formda önlenmesini içerir, bu da hasara neden olur ve çok fazla enerji tüketir. Son zamanlarda, sorunu çözmek için alüminyum (Jung ve ark., 2012:1; Kulinich ve ark., 2010:25; Kulinich ve Farzaneh, 2009: 8854, Kulinich ve Farzaneh, 2009: 8153), bakır (Tourkine ve ark., 2009:7214) ve çelik (Meuler ve ark., 2010:3100) yüzeyler üzerinde Süperhidrofobik yüzeyler oluşturulmuştur. Süperhidrofobik yüzeylerin olağanüstü özellikleri sayesinde yüzeylerde buz oluşumunu ve birikmesini engelleyebilirler.

## 2.5. Yağ ve Su Ayırma

Yağ ve su ayrımı, yalnızca endüstrilerden kaynaklanan çeşitli petrolle ilgili kirlilikler nedeniyle değil, aynı zamanda son zamanlarda sıkça meydana gelen petrol kazaları nedeniyle de çevrenin korunması için çok önemli bir teknolojidir (Kavalenka ve ark., 2014:31079; Qing ve ark., 2017:1878; Singh ve Singh, 2016:103632). Membran filtrasyon yöntemi, yağ ve su ayırmada yaygın olarak kullanılmaktadır ve membranın yüzey özelliği, ayırma verimliliği için çok önemlidir (Tang ve ark., 2011:84; Hsieh ve ark., 2009:14). Petrol ve suyun yerçekimine dayalı ayrılmasında, farklı ıslatma davranışlarına sahip membranların (zarların) seçimi, su ve yağın yoğunluk farkına bağlıdır (Xue ve ark., 2014:2445; Yu ve ark., 2016:46; Cheryan ve Rajagopalan, 1998:13; Elmaleh ve Ghaffor, 1996:111, Shannon ve ark., 2008:301).

Yağ sudan daha ağır olduğundan süperhidrofobik/oleofilik membran, yağ ve su emülsiyonunu ayırmak için kullanılmaktadır (Singh ve Singh, 2016:103632). Bununla birlikte, bu membran yağ ile kirlenebilir, bu da uzun süre ayırma seçiciliğinin ve veriminin azalmasına neden olmaktadır. Dahası, doğada suyun yoğunluğu genellikle yağların ve organik çözücülerin çoğundan daha büyüktür. Süperhidrofobik/oleofilik membran, petrol sudan daha hafif olduğunda yerçekimine dayalı ayırma için kullanılamazken, hidrofilik ve oleofobik membran bu sorunu çözebilir. Sadece yağ kirliliğini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda su ve daha hafif yağ emülsiyonlarını da ayırabilir (Xue ve ark., 2014:2445).

Jiang'ın grubu (2011), çok iyi bir yağ ve su ayırma özelliği olan bir dizi hidrofilik/su altında oleofobik yüzey imal ederek ve geliştirmişlerdir (Xue ve ark., 2011:4270; Su ve ark., 2016:1727). Örneğin, bir PAM (poliakrilamid) hidrojel kaplamalı paslanmaz çelik kullanmışlardır. Yağ-su ayrımı için gözenekli paslanmaz çelik elekler üzerinde fotobaşlatıcılı

radikal polimerizasyon ile pürüzlü nanoyapılı hidrojel kaplama içeren yağ-su-katı üç fazlı bir sistemde yeni bir süperhidrofolik ve su altında süperoleofobik hidrojel kaplı elek hazırlamışlardır. Kimyasal çapraz bağlayıcı olarak N,N-metilen bisakrilamid (BIS) kullanarak 34-380 µm gözenek çaplarına sahip elekler üzerinde fotobaşlatıcılı radikal polimerizasyon ile hidrojel poliakrilamid kaplamalar hazırlanmış ve hazırlanan hidrojel kaplı eleklerle ekstra güç harcamaksızın bitkisel yağ, mazot, benzin, ham yağ/su karışımlarından suyun seçici ve verimli (>%99) bir şekilde ayrımı gerçekleştirilmiştir (Xue ve ark., 2011:4270)

Dahası, hidrofilik/su altında süperoleofobik membranlar, sadece yüksek bir yağ/su ayırma etkinliği sunmakla kalmamış, aynı zamanda mükemmel dayanıklılık ve stabilite, (Su ve ark., 2016:1727; Zhang ve ark., 2014:856), protein adsorpsiyonu, (Zhang ve ark., 2016:1600291) kirlenme önleyici, korozyona dayanım (Xue ve ark., 2011:4270; Wen ve ark., 2013:591) ve sağlamlık özelliklerinede sahip olmuşlardır (Lin ve ark., 2010:4826). Örneğin, Raza ve arkadaşları (2014) süperhidrofilik ve oleofobik poliakrilonitril/polietilen glikol nanofiber (x-PEGDA@PG NF) membranının, ultra hızlı bir yağ ve su ayırma oranına ve yüksek ayırma verimliliğine sahip olduğunu göstermişlerdir (Raza ve ark., 2014:10137). Dahası, bu membranın özel ıslatma davranışı sayesinde uzun süre ayırma performansını koruduğunu kanıtladılar: sıvının akışını azaltmadan 10 L su ve yağ karışımı çözeltisini sürekli olarak ayırabilmişlerdir. Bu kirlilik önleyici su ve yağ ayırma membranları, gelecekte endüstride ve günlük yaşamda yüksek potansiyelli uygulamalara sahiptirler.

Ek olarak, Zhang ve arkadaşları (2016), Polidopamin(PDA)/ polietilenpoliamin (PEPA) PDA/PEPA/disülfür köğprüsünden oluşmuş membranın yağ ve su ayırma performansını test etmişlerdir. Bu su altında süperoleofobik zarın ayırma verimliliğinin, heksan, benzin ve metilbenzen gibi çeşitli yağlar için % 99,9'dan daha büyük olabileceğini bulmuşlardır. Ayrıca, ayırma işlemi sırasında suda çözünen tüm proteini (sığır serumu) adsorbe edebilmiştir (Zhang ve ark., 2016: 1600291). Lin ve diğerleri (2010) hidrojellerin basınç özelliklerini araştırmışlardır. Sualtındaki süperhidroforobik yüzeyleri imal etmek için kullanılan C-hidrojellerin yüksek gerilime dayanımı ve çok iyi mekanik özellik sunduğunu bulunmuşlardır. Bu sağlam özellik, gerçek yaşamdaki farklı su altı ortamlarındaki uygulamalar için uyarlayabilir (Lin ve ark., 2010:4826).

Petrol içeren endüstriyel suyun artması nedeniyle, yağ ve su karışımının ayrılması küresel zorluklardan biri haline gelmiştir. Yağ ve suyu ayırmak için süperhidroforobik ve süperoleofilik (Gui ve ark.,2011:4798; Pan ve ark., 2008:6002; Wang ve ark., 2009:2613; Wang ve ark., 2006:015103), süperhidrofilik ve su altı süperoleofobik (Liu ve ark., 2009:655; Tian ve ark., 2012:19652; Wen ve ark., 2013:591) ve

süperhidrofilik ve süperoleofobik (Darmanin ve ark., 2014:382, Darmanin ve ark., 2014:2052; Kota ve ark., 2012:5838) kombinasyonları kullanılır. Farklı stratejilerin kullanılmasıyla, su ve yağ ayırmak için membranlar, dokular, köpükler ve sorbentler gibi bir dizi malzeme geliştirilmiştir.

## 2.6. Kendi Kendini Temizleyen Yüzeyler

Kendi kendini temizleyen yüzey, el işçiliğine gerek kalmadan doğal olarak kendini temiz tutabilen bir yüzey olarak tanımlanır. Hidrofobik veya hidrofilik kavramları, kendi kendini temizleyen yüzey işlemi için en çok kullanılan yaklaşımlardır (Ragesh ve ark., 2014:14773). Hidrofobik yüzeyler, kirle birlikte yuvarlanan su damlacıklarının oluşumuna bağlı olarak kiri temizlerken, hidrofilik yüzeyler kiri uzaklaştıran kaplama suyu oluşumuyla kiri temizler. Son yıllarda, fotokataliz aynı zamanda bina yüzeyindeki kirleticileri ışıkla uzaklaştırmak için de kullanılmaktadır, böylece kirli havada biriken kirletici maddeler yıkanabilir veya mineralize bileşiklere dönüşmektedir (Cassar ve ark., 2003:2012).

Çoğu hava içi süperoleofobik yüzey genellikle süperhidrofobikliğe sahip olduğundan, bu tür süper amfifobik yüzeyler de sıradan süperhidrofobik yüzeyler gibi kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir. Düşük sıvı yapışmasına sahip süper amfifobik yüzeyler kendi kendini temizleme davranışına sahiptirler. Genel bir yüzeyle karşılaştırıldığında, süper amfifobik bir yüzey üzerindeki su/yağ damlacığı yarı küresel bir şekil göstermektedir. Hafif eğimli süper amfifobik bir yüzeye bir su/yağ damlacığı yerleştirilirse, damlacık kolayca yuvarlanabilmektedir. Yuvarlama işlemi sırasında kendi kendini temizleme özelliğine sahip olan lotus yaprağına benzer şekilde, damlacık malzeme yüzeyindeki yabancı kir parçacıklarına yapışarak uzaklaştıracaktır. Çünkü toz parçacıklarının sıvı damlacığa yapışması katı substrat tabakaya yapışmasına göre daha kolaydır (Ragesh et al., 2014:14773; Nishimoto ve Bhushan, 2013:671; Yong ve ark., 2014:5499; Zorba ve ark., 2008:4048; Zhang, ve ark., 2012:4858; Ge ve ark., 2015:6149). Bu şekilde süper amfifobik yüzeyler temiz tutulabilir. Buna karşılık, sıvı damlacıklar normal düz yüzeydeki tozun üzerinden geçerken toz parçacıklarını geride bırakırlar. Ultra düşük yağ yapışma özelliğine sahip su altında süperoleofobik malzemeler de mükemmel bir kendi kendini temizleme işlevine sahiptirler (Wu ve ark., 2011:2927; Zhang ve ark., 2015:19293).

Sun ve diğerleri (2008), Polidimetilsiloksan (PDMS) ile fotolitografik ve yumuşak litografiyi birleştirerek geko kertenkelesi ayağı benzeri hiyerarşik mikro yapılar hazırlamıştır (Sun ve ark., 2008:1; Wu ve ark., 2011:2927). Daha sonra oksijen plazma işlemini uygulayarak, hazırladıkları pürüzlü yüzey ise aşırı su altı süperoleofobikliği göstermiştir. Kasıtlı olarak yüzeye, hava ortamında kirleticisi olarak, bir



damla soya fasulyesi yağı damlatılmıştır. Yağ, numune yüzeyine hızla yapışmış ve yüzeyi ıslatmıştır. İlginç bir şekilde, kirli numunenin suya daldırılmasıyla, sadece muamele edilmiş pürüzlü yüzeydeki yağ tamamen çıkarılabilirken, muamele edilmemiş düz bölgedeki yağ kaybolmamış; yani, yağ yıkanmamıştır. Bu sonuç, su altı süperoleofobik yüzeylerin güçlü kendi kendini temizleme özelliğine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kendi kendini temizleme özelliğine sahip lotus yaprağı, su altında hem süperoleofobik hem de süperhidrofobik yüzey işlevleri olmasına rağmen, kendi kendini temizleme yeteneklerine farklı fiziksel mekanizmalar da neden olmaktadır. Su damlacıkları bir lotus yaprağı üzerinde kolayca yuvarlanırken, yaprak üzerindeki toz parçacıklarını da uzaklaştırabilir (Ragesh ve ark., 2014:14773; Yong ve ark., 2014:5499; Mazumder ve ark., 2014:4677; Zorba ve ark., 2008:4048; Zhang ve ark., 2012:4858). Bununla birlikte, su altında süperoleofobik yüzeyin kendi kendini temizleme etkisi, yağı su enjeksiyonu ile uzaklaştırılabildiğinden, kendine özgü (içsel) süperhidrofilitesinden kaynaklanmaktadır (Nishimoto ve Bhushan, 2013:671). Su/yağ/hava arayüzeyinin yüzey geriliminin yanı sıra, yağ kirliliğini katı mikro yapılardan uzaklaştırmak için başka bir ana hidrofilik kuvvet vardır (Wu ve ark., 2011:3873). Daha yüksek bir hidrofiliklik seviyesi genellikle daha güçlü bir hidrofilik kuvvet ile sağlanmaktadır. Yağla kirlenmiş numune yavaş yavaş suya daldırıldıktan sonra, su mikro yapılara girer (enjekte edilir) ve yağı dışarı iter, bu da yağ kirliliğinin giderilmesine neden olur.

## 2.7. Diğer Uygulamalar

Akıllı yüzeylerin şimdiye kadarki uygulamalarına ilaveten, endüstriyel gelişmelerin devamında ve yeni yöntemlerin ortaya çıkışında, akıllı yüzeyler için her geçen gün yeni uygulama alanları bulunacaktır. Tıp ve sağlık alanındaki birçok uygulamada kullanılmaktadır (Bormashenko ve Bormashenko, 2011:3266; Song ve ark., 2010:1180; Yohe ve ark., 2012:2016). Dahası, dünyadaki su kıtlığı ve sağlıklı içme suyunun bulunmaması günümüzün zorluklarından biridir.

Yine doğadan ilham alarak, dünyanın birçok bölgesinde suyu atmosferden doğrudan sağlayarak, su kıtlığını gidermek için alternatif yöntemler üretebiliriz. Bu hedefe, çeşitli ıslatılabilirliğe sahip farklı bir yüzey kullanılarak ulaşılabilir (Choi ve ark., 2009:7156; Garrod ve ark., 2007:689; Zhai ve ark., 2006:1213). Ayrıca, akıllı yüzey teknolojisinin kullanılması kâğıt sektöründe kâğıt yüzeyinin boyanabilirliğinin ve baskı kalitesinin artmasını sağlamıştır. Yüzeyin ıslatılabilirliği bu sektörde önemli bir rol oynadığından, bu konuda kapsamlı çalışmalar yapılmıştır (Cui ve ark., 2009:179; Zhao ve ark., 2009:225). Nanoteknolojinin bir ürünü

olan hidrofobik yüzeyler endüstride birçok alanda kullanılmaktadır ve bu alanlara her geçen gün yenileri eklenmektedir.

### 3. SONUÇLAR

Teknolojinin gelişimi, üretim alanlarında kullanılan malzeme çeşitliliğini arttırmaktadır. İleri mühendislik malzemeleri günümüzde her alanda yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle endüstriyel alanda sağlanan gelişmeler ile malzeme yüzeyinde sağlanabilecek yüzey enerji iyileştirmeleri yapıştırma alanında da akıllı (çok fonksiyonlu) yüzeylerde ciddi gelişmelerin oluşmasını sağlayacaktır. Uygulanan yüzey geliştirme işlemleri ile akıllı yüzeyler elde edilerek, daha fazla uygulama alanı bulabilecek, tasarımı hafifleten ve çok daha ekonomik çözümler geliştirilebilir. Akıllı yüzeyler ıslanmaya, yapışmaya ve kir tutmaya karşı gösterdikleri direnç nedeni ile birçok bilimsel ve endüstriyel uygulama için arzu edilen malzemelerdir. Günümüzde tekstil kumaşlarına, cam, seramik, plastik vb. birçok farklı fonksiyonel yüzeylere çok fonksiyonlu özellikler kazandırmak mümkündür.

Günümüz dünyasında çevresel kirliliğin, su ve kimyasalların kullanıldığı geleneksel yöntemlerle giderilebilmesi artan nüfus ve azalan enerji kaynakları göz önüne alındığında yakın dönemde imkânsız hale gelecektir. Dolayısıyla son yıllarda bireysel ve endüstriyel düzeyde temizlik ve çevresel arıtım konuları araştırmacıların yoğun ilgi gösterdiği konular arasında yer bulmuştur. Bu amaca yönelik olarak ileri mühendislik malzemeleri üretilmeye başlanmış ve fonksiyonel yüzey özellikleri kazandırılmıştır. Bu akıllı yüzeylerin günlük hayatta kullanılmaya başlanmasıyla temizlik maliyetlerinde azalma, su ve elektrik kullanımı minimize edilerek enerji kaynaklarının korunması ve böylece sürdürülebilir yenilikçi üretim yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi tarafından desteklenen (2020-3139) nolu projenin bir parçasıdır.

## Kaynaklar

- Antonini C., Innocenti M., Horn T., Marengo M., Amirfazli A., (2011), Understanding the effect of superhydrophobic coatings on energy reduction in anti-icing systems, *Cold Regions Science and Technology*, 67(1-2), 58-67, 2011.
- Ball P., (1999), Engineering shark skin and other solutions, *Nature*, 400, 507-509.
- Barkhudarov, P.M., Shah, P.B., Watkins, E.B., Doshi, D.A., Brinker, C.J., Majewski, J., (2008), Corrosion inhibition using superhydrophobic films, *Corrosion Science*, 50 (3), 897-902.
- Barthlott, W., Neinhuis, C. (1997), Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces, *Planta*, 202, 1-8.
- Bormashenko, E., Bormashenko, Y., (2011), Non-stick droplet surgery with a superhydrophobic scalpel, *Langmuir*, 27 (7), 3266-3270.
- Brown, P.S., Atkinson, O.D.L.A., Badyal, J.P.S., (2014), Ultrafast oleophobic–hydrophilic switching surfaces for antifogging, self-cleaning, and oil–water separation, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6, 7504-7511.
- Carriveau, R., Edrisy A., Cadieux, P., Mailloux, R., (2012), Ice adhesion issues in renewable energy infrastructure. *Journal of Adhesion Sciences Technology*, 2012, 26, 447-461.
- Cassar, L., Pepe, C., Pimpinelli, N., Tognon, G., Guerrini, G.L., Amadelli, R., (2003), White cement for architecture concrete, possessing the photocatalytic properties, in: *Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement*, Durban, 2003, pp.2012-2021.
- Cebeci, F.Ç., Wu, Z., Zhai, L., Cohen R.E., Rubner, M.F., (2006), Nanoporosity-Driven Superhydrophilicity: A Means to Create Multifunctional Antifogging Coatings, *Langmuir*, 22(6), 2856-2862.
- Cheryan M., Rajagopalan, N., (1998), Membrane processing of oily streams. Wastewater treatment and waste reduction, *Journal of Membrane Science*, 151, 13-28.
- Choi, J.H., Kim, Y.M., Park, Y.W., Park, T.H., Dong, K.Y., Ju, B.K., (2009), Hydrophilic dots on hydrophobic nanopatterned surfaces as a flexible gas barrier, *Langmuir*, 25 (12), 7156-7160.
- Cucchiella, F., D’Adamo, I., (2012), Estimation of the energetic and environmental impacts of a roof-mounted building-integrated photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5245-5259.
- Cui, Z., Zhang, F., Wang, L., Xu, S., Guo, X., (2009), In situ crystallized zirconium phenylphosphonate films with crystals vertically to the substrate and their hydrophobic, dielectric, and anticorrosion properties, *Langmuir*, 26 (1), 179-182.

- Çalışkan, F., Hajiyeve, C., (2013), A review of in-flight detection and identification of aircraft icing and reconfigurable control, *Progress in Aerospace Sciences*, 60, 12-34.
- Darmanin, T., Tarrade, J., Celia, E., Bellanger, H., Guittard, F., (2014), Superoleophobic meshes with relatively low hysteresis and sliding angles by electropolymerization: importance of polymergrowth control, *Chem Plus Chem*, 79 (3), 382-386.
- Darmanin, T., Tarrade, J., Celia, E., Guittard, F., (2014), Superoleophobic meshes with high adhesion by electrodeposition of conducting polymer containing short perfluorobutyl chains. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (4), 2052-2057.
- Dong, H., Ye, P., Zhong, M., Pietrasik, J., Drumright, R., Matyjaszewski, K., (2010), Superhydrophilic surfaces via polymer-SiO<sub>2</sub> nanocomposites, *Langmuir*; 26 (19), 15567-15573.
- Elmaleh, S., Ghaffor, N., (1996), Cross-flow ultrafiltration of hydrocarbon and biological solid mixed suspensions, *Journal of Membrane Science*, 118(1), 111-120.
- Enright R., Eason C., Dalton T., Hodes M., Salamon T., Kolodner P., Krupenkin T., (2006), Friction factors and Nusselt numbers in microchannels with superhydrophobic walls. In: ASME 4th international conference on nanochannels, microchannels, and Minichannels, *American Society of Mechanical Engineers*; pp. 599-609.
- Feng, L., Li, S., Li, Y., Li, H., Zhang, L., Zhai, J., Song, Y., Liu, B., Jiang, L., Zhu, D., (2002) Super-hydrophobic surfaces: from natural to artificial, *Advanced Materials*, 14, 1857-1860.
- Forrest E., Williamson E., Buongiorno J., Hu L.W., Rubner M., Cohen R., (2010), Augmentation of nucleate boiling heat transfer and critical heat flux using nanoparticle thin-film coatings, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(1-3), 58-67.
- Garrod, R., Harris, L., Schofield, W., McGettrick, J., Ward, L., Teare, D., Badyal, J., (2007), Mimicking a stenocara beetle's back for microcondensation using plasmachemical patterned superhydrophobic-superhydrophilic surfaces, *Langmuir*; 23 (2), 689-693.
- Ge, D., Yang, L., Wang, C., Lee, E., Zhang Y., Yang, S., (2015), A multi-functional oil-water separator from a selectively pre-wetted superamphiphobic paper, *Chemical Communication*, 51, 6149-6152.
- Gent R.W., Dart N.P., Cansdale J.T., (2000), Aircraft icing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 358, 2873-2911.
- Gui, X., Li, H., Wang, K., Wei, J., Jia, Y., Li, Z., Wu, D., (2011), Recyclable carbon nanotube sponges for oil absorption, *Acta Materialia*, 59 (12), 4798-4804.

- Hermelin, E., Petitjean, J., Lacroix, J.C., Chane-Ching, K.I., Tanguy, J., Lacaze, P.C., (2008), Ultrafast electrosynthesis of high hydrophobic polypyrrole coatings on a zinc electrode: applications to the protection against corrosion, *Chemical Materials*, 20 (13), 4447-4456.
- Hintze, P.E., Calle, L.M., (2006), Electrochemical properties and corrosion protection of organosilane self-assembled monolayers on aluminum 2024-T3, *Electrochimica Acta*, 51 (8), 1761-1766.
- Howarter, J.A, Youngblood, J.P., (2007), Self-Cleaning and Anti-Fog Surfaces via Stimuli-Responsive Polymer Brushes, *Advanced Materials*, 19(22), 3838-3843.
- Howarter, J.A., Youngblood, J.P., (2008), Self-Cleaning and Next Generation Anti-Fog Surfaces and Coatings, *Macromolecules Rapid Communication*, 29(6), 455-466.
- Hsieh, C., Wu, F., Chen, W., (2009), Superhydrophobicity and superoleophobicity from hierarchical silica sphere stacking layers, *Materials Chemistry and Physics*, 121, 14-21.
- Ishizaki, T., Saito, N., (2010), Rapid formation of a superhydrophobic surface on a magnesium alloy coated with a cerium oxide film by a simple immersion process at room temperature and its chemical stability, *Langmuir*, 26 (12), 9749-9755.
- Jelle, B.P. (2013), The challenge of removing snow downfall on photovoltaic solar cell roofs in order to maximize solar energy efficiency-research opportunities for the future, *Energy and Buildings*, 67, 334-351.
- Jung, S., Tiwari, M.K., Doan, N.V., Poulidakos, D., (2012), Mechanism of supercooled droplet freezing on surfaces, *Nature Communication*, 3, 615, 1-8.
- Kavalenka M.N., Hopf A., Schneider M., Worgull M., Hölscher H., (2014), Wood-based microhaired superhydrophobic and underwater superoleophobic surfaces for oil/water separation, *RSC Advances*, 4, 31079-31083.
- Ke, P., Wang, X.X., (2011), Super-cooled large droplets consideration (2014) in the droplet impingement simulation for aircraft icing, *Procedia Engineering*, 17, 151-159.
- Koch K., Bhushan B, Barthlott W., (2009), Multifunctional surface structures of plants: an inspiration for biomimetics. *Progress in Materials Science*, 54(2), 137-178.
- Kota, A.K., Li, Y., Mabry, J.M., Tuteja, A., (2012), Hierarchically structured superoleophobic surfaces with ultralow contact angle hysteresis, *Advanced Materials*, 24 (43), 5838-5843.
- Kulinich, S., Farhadi, S., Nose, K., Du, X., (2010), Superhydrophobic surfaces: are they really ice-repellent?, *Langmuir*, 27 (1), 25-29.

- Kulinich, S., Farzaneh, M., (2009), How wetting hysteresis influences ice adhesion strength on superhydrophobic surfaces, *Langmuir*, 25, (16), 8854-8856.
- Kulinich, S., Farzaneh, M., (2009), Ice adhesion on super-hydrophobic surfaces, *Applied Surface Science*, 255 (18), 8153-8157.
- Laforte, J.L., Allaire, M.A., Laflamme, J., (1998), State-of-the-art on power line de-icing, *Atmospheric Research*, 46, 143-158.
- Lai, Y., Tang, Y., Gong, J., Gong, J.D., Chi, L., Lin, C., Chen, Z., (2012), Transparent superhydrophobic/superhydrophilic TiO<sub>2</sub>-based coatings for self-cleaning and anti-fogging, *Journal of Materials Chemistry*, 22, 7420-7426.
- Lin, L., Liu, M., Chen, L., Chen, P., Ma, J., Han, D., Jiang, L., (2010), Bio-Inspired Hierarchical Macromolecule–Nanoclay Hydrogels for Robust Underwater Superoleophobicity, *Advanced Materials*, 2010, 22(43), 4826-4830.
- Liu, M., Wang, S., Wei, Z., Song, Y., Jiang, L., (2009), Bioinspired design of a superoleophobic and low adhesive water/solid interface, *Advanced Materials*, 21(6), 665-669.
- Lu, X., Wang, Z., Yang, X., Xu, X., Zhang, L., Zhao, N., Xu, J., (2011), Antifogging and antireflective silica film and its application on solar modules. *Surface and Coatings Technology*, 206 (6), 1490-1494.
- Luo, Z., Zhang, Z., Hu, L., Liu, W., Guo, Z., Zhang, H., Wang, W., (2008), Stable bionic superhydrophobic coating surface fabricated by a conventional curing process, *Advanced Materials*, 20 (5), 970-974.
- Malshe, A., Rajurkar, K., Samant, A., Hansen, H.N., Bapat, S., Jiang, W.P., (2013) Bio-inspired functional surfaces for advanced applications, *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 62(2), 607-628.
- Mazumder, P., Jiang, Y., Baker, D., Carrilero, A., Tulli, D., Infante, D., Hunt A.T., Pruneri, V., (2014), Superomniphobic, transparent, and antireflection surfaces based on hierarchical nanostructures, *Nano Letters*, 14, 4677-4681.
- Meuler, A.J., Smith, J.D., Varanasi, K.K., Mabry, J.M., McKinley, G.H., Cohen, R.E., (2010), Relationships between water wettability and ice adhesion, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2 (11), 3100-3110.
- Miljkovic, N., Wang E.N., (2013) Condensation heat transfer on superhydrophobic surfaces, *MRS Bulletin*, 2013, 38, 397-406.
- Mohseni, M., Amirfazli, A., (2013), A novel electro-thermal anti-icing system for fiber-reinforced polymer composite airfoils, *Cold Regions Science and Technology*, 87, 47-58.
- Neinhuis, C., Barthlott, W., (1997), Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces, *Annals of Botany*, 79(6), 667-677.
- Ning, T., Xu, W., Lu, S., (2011), Fabrication of superhydrophobic surfaces on zinc substrates and their application as effective corrosion barriers, *Applied Surface Science*, 258 (4), 1359-1365.

- Nishimoto S., Bhushan, B., (2013), Bioinspired self-cleaning surfaces with superhydrophobicity, superoleophobicity, and superhydrophilicity, *RSC Advances*, 3, 671-690.
- Oberli, L., Caruso, D., Hall, C., Fabretto, M., Murphy, P. J., Evans, D., (2014), Condensation and freezing of droplets on superhydrophobic surfaces, *Advances of Colloid and Interface Science*, 210, 47-57.
- Pan, Q., Wang, M., Wang, H., (2008), Separating small amount of water and hydrophobic solvents by novel superhydrophobic copper meshes, *Applied Surface Science*, 254 (18), 6002-6006.
- Qing Y., Yang C., Zhao Q., Hu C., Liu C., (2017), Simple fabrication superhydrophobic / superoleophobic surfaces on copper substrate by two-step method, *Journal of Alloys and Compounds*, 695, 1878-1883.
- Ragesh, P., Ganesh, V.A., Naira, S.V., Nair, A.S., (2014), A review on 'self-cleaning and multifunctional materials', *Journal of Materials Chemistry A*, 2(36), 14773-14797
- Raza, A., Ding, B., Zainab, G., El-Newehy, M., Al-Deyab, S.S., Yu, J., (2014), In situ cross-linked superwetting nanofibrous membranes for ultrafast oil/water separation, *Journal of Materials Chemistry A*, 2, 10137-10145.
- Rungraeng, N., Cho, Y.C., Yoon, S.H., Jun, S., (2012), Carbon nanotube polytetrafluoroethylene nanocomposite coating for milk fouling reduction in plate heat exchanger, *Journal Food Engineering*, 111, 218-224.
- Shannon, M.A., Bohn, P.W., Elimelech, M., Georgiadis, J.G., Marinas B.J., Mayes, A.M., (2008), Science and technology for water purification in the coming decades, *Nature*, 452, 301-310.
- Shimomura, H., Gemici, Z., Cohen R.E., Rubner, M.F., (2010), Layer-by-Layer-Assembled High-Performance Broadband Antireflection Coatings, *ACS Applied Materials Interfaces*, 2, 813-820.
- Singh, A.K., Singh, J.K., (2016), Fabrication of zirconia based durable superhydrophobic–superoleophilic fabrics using non fluorinated materials for oil-water separation and water purification *RSC Advances*, 6, 103632-103640.
- Skorb, E.V., Shchukin, D.G., Möhwald, H., Andreeva, D.V., (2010). Ultrasound-driven design of metal surface nanofoams, *Nanoscale*, 2, (5), 722-727.
- Song, Y.Y., Schmidt-Stein, F., Berger, S., Schmuki, P., (2010), TiO<sub>2</sub> nano test tubes as a self-cleaning platform for high-sensitivity immunoassays, *Small*, 6(11), 1180-1184.
- Su, B., Tian, Y., Jiang, L., (2016), Bioinspired Interfaces with Superwettability: From Materials to Chemistry, *Journal of American Chemical Society*, 138(6), 1727-1748.
- Sun, C.H., Gonzalez, A., Linn, N. C., Jiang P., Jiang, B., (2008), Templated biomimetic multifunctional coatings, *Applied Physics Letters*, 92, 051107(1-3).

- Tang W., Huang Y., Qing F.L., (2011), Synthesis and Characterization of Fluorinated Polyacrylate Graft Copolymers Capable as Water and Oil Repellent Finishing Agents, *Journal of Applied Polymer Science*, 119, 84-92.
- Tarquini, S., Antonini, C., Amirfazli, A., Marengo, M., Palacios, J., (2014), Investigation of ice shedding properties of superhydrophobic coatings on helicopter blades, *Cold Regions Science and Technology*, 100, 50-58.
- Tian, D., Zhang, X., Tian, Y., Wu, Y., Wang, X., Zhai, J., Jiang, L., (2012), Photo-induced water–oil separation based on switchable superhydrophobicity–superhydrophilicity and underwater superoleophobicity of the aligned ZnO nanorod array-coated mesh films, *Journal of Materials Chemistry*, 22 (37), 19652-19657.
- Tourkine, P., Le Merrer, M., Quere, D., (2009), Delayed freezing on water repellent materials, *Langmuir* 25 (13), 7214-7216.
- Wang, C., Yao, T., Wu, J., Ma, C., Fan, Z., Wang, Z., Yang, B., (2009), Facile approach in fabricating superhydrophobic and superoleophilic surface for water and oil mixture separation. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 1 (11), 2613-2617.
- Wang H., He G.G., Tian Q.Q., (2012), Experimental study of the supercooling heat exchanger coated with fluorocarbon coating, *Energy and Buildings*, 55, 526-532.
- Wang, S., Song, Y., Jiang, L., (2006), Microscale and nanoscale hierarchical structured mesh films with superhydrophobic and superoleophilic properties induced by long-chain fatty acids, *Nanotechnology*, 18 (1), 015103.
- Wang, Y., Knapp, J., Legere, A., Raney J., Li, L., (2015), Effect of end-groups on simultaneous oleophobicity/hydrophilicity and anti-fogging performance of nanometer-thick perfluoropolyethers (PFPEs), *RSC Advances*, 5, 30570-30576.
- Wen, Q., Di, J., Jiang, L., Yu, J., Xu, R., (2013), Zeolite-coated mesh film for efficient oil–water separation, *Chemical Science*, 4 (2), 591-595.
- Wu, D., Wang, J.N., Wu, S.Z., Chen, Q.D., Zhao, S., Zhang, H., Sun, H.B., Jiang, L., (2011), Three-Level Biomimetic Rice-Leaf Surfaces with Controllable Anisotropic Sliding, *Advanced Functional Materials*, 21(15), 2927-2937.
- Wu, D., Wu, S.Z., Chen, Q.D., Zhao, S., Zhang, H., Jiao, J., Piersol, J.A., Wang, J.N., Sun H.B., Jiang, L., (2011), Facile creation of hierarchical PDMS microstructures with extreme underwater superoleophobicity for anti-oil application in microfluidic channels, *Lab on a Chip*, 11, 3873-3879.
- Xue, Z., Wang, S., Lin, L., Chen, L., Liu, M., Feng, L., Jiang, L., (2011), A novel superhydrophilic and underwater superoleophobic hydrogel-coated mesh for oil/water separation, *Advanced Materials*, 23, 4270-4273.



- Xue, Z., Cao, Y., Liu, N., L. Feng L., Jiang, L., (2014), Special wettable materials for oil/water separation, *Journal of Materials Chemistry A*, 2, 2445-2460.
- Yan Y.Y., Gao N., Barthlott W., (2011), Mimicking natural superhydrophobic surfaces and grasping the wetting process: a review on recent progress in preparing superhydrophobic surfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*, 169(2), 80-105.
- Yang, R., Asatekin, A., Gleason, K.K., (2012), Design of conformal, substrate-independent surface modification for controlled protein adsorption by chemical vapor deposition, *Soft Matter*, 8, 31-43.
- Yao, X., Song, Y., Jiang, L., (2011), Applications of Bio-Inspired Special Wettable Surfaces, *Advanced Materials*, 23(6), 719-734.
- Yao, L., He, J., (2014), Recent progress in antireflection and selfcleaning technology-From surface engineering to functional surfaces, *Progress in Materials Science*, 61, 94-143.
- Yohe, S.T., Colson, Y.L., Grinstaff, M.W., (2012), Superhydrophobic materials for tunable drug release: using displacement of air to control delivery rates, *Journal of American Chemical Society*, 134 (4), 2016-2019.
- Yong, J.L., Yang, Q., Chen, F., Zhang, D., Farooq, U., Du, G., Hou, X., (2014), A simple way to achieve superhydrophobicity, controllable water adhesion, anisotropic sliding, and anisotropic wetting based on femtosecond-laser-induced line-patterned surfaces, *Journal of Materials Chemistry A*, 2, 5499-5507.
- Yu, Y., Chen, H., Liu, Y., Craig V.S., Lai, Z., (2016), Selective separation of oil and water with mesh membranes by capillarity, *Advances in Colloid and Interface Science*, 235, 46-55.
- Zhai, L., Berg, M.C., Cebeci, F.C., Kim, Y., Milwid, J.M., Rubner, M.F., Cohen, R.E., (2006), Patterned superhydrophobic surfaces: toward a synthetic mimic of the Namib Desert beetle, *Nano Letters*, 6(6), 1213-1217.
- Zhang, E., Cheng, Z., Lv, T., Li, L., Liu, Y., (2015), The design of underwater superoleophobic Ni/NiO microstructures with tunable oil adhesion, *Nanoscale*, 7, 19293-19299.
- Zhang, F., Chen, S., Dong, L., Lei, Y., Liu, T., Yin, Y., (2011), Preparation of superhydrophobic films on titanium as effective corrosion barriers, *Applied Surface Science*, 257 (7), 2587-2591.
- Zhang, Q., Xia, F., Sun, T., Song, W., Zhao, T., Liu, M., Jiang, L., (2008), Wettability switching between high hydrophilicity at low pH and high hydrophobicity at high pH on surface based on pH responsive polymer, *Chemical Communication*, 10, 1199-1201.
- Zhang, Q., Cao, Y., Liu, N., Zhang, W., Chen, Y., Lin, X., Tao, L., Wei Y., Feng, L., A Facile Approach for Fabricating Dual-Function Membrane: Simultaneously Removing Oil from Water and Adsorbing Water-Soluble Proteins, *Advance Materials Interfaces*, 2016, 3, 1600291.

- Zhang, W., Zhu, Y., Liu, X., Wang, D., Li, J., Jiang, L., Jin, J., (2014), Salt-Induced Fabrication of Superhydrophilic and Underwater Superoleophobic PAA-g-PVDF Membranes for Effective Separation of Oil-in-Water Emulsions, *Angewandte Chemie International Edition*, 2014, 53(3), 856-860.
- Zhang, L., Li, Y., Sun J., Shen, J. (2008), Mechanically Stable Antireflection and Antifogging Coatings Fabricated by the Layer-by-Layer Deposition Process and Postcalcination, *Langmuir*, 24, 10851-10857.
- Zhang, Y.L., Xia, H., Kim E., Sun, H.B., (2012), Recent developments in superhydrophobic surfaces with unique structural and functional properties, *Soft Matter*, 8, 11217-11231.
- Zhang, Y.L., Chen, Q.D., Jin, Z., Kim, E., Sun, H.B., (2012) Biomimetic graphene films and their properties, *Nanoscale*, 4(16), 4858-4869.
- Zhao, K., Liu, K., Li, J., Wang, W., Jiang, L., (2009), Superamphiphobic CaLi-based bulk metallic glasses, *Scripta Materialia*, 60(4), 225-227.
- Zorba, V., Stratakis, E., Barberoglou, M., Spanakis, E., Tzanetakos, P., Anastasiadis, S.H., Fotakis, C., (2008), Biomimetic Artificial Surfaces Quantitatively Reproduce the Water Repellency of a Lotus Leaf, *Advanced Materials*, 20(21), 4049-4054.

# Bölüm 2

## GENİŞ BANT MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜNÜN YAPAY SINIR AĞLARI İLE İŞARET PARAMETRELERİNİN MODELENMESİ

*Ahmet Arif ULUSLU<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Öğr. Gör. Dr., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, ORCID ID: 0000-0002-5580-1687

\*Yüksek Lisans Tezinden Üretilmiştir. (Çizimler ve sonuçlar bu çalışmaya özgüdür. Tezde yoktur.)



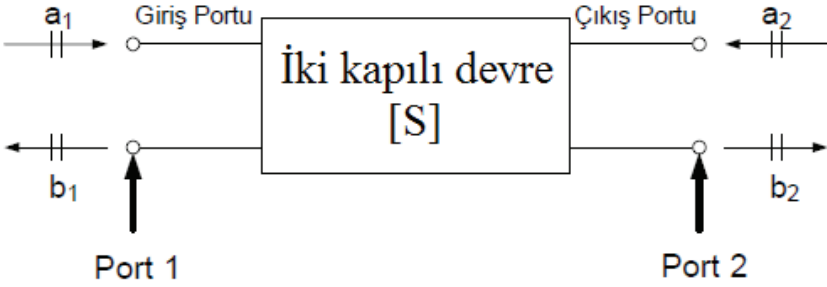
## 1- MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜ PARAMETRELERİ

Bu kısımda transistör işaret parametreleri hakkında bilgi verilmiştir.

### Saçınım Parametreleri (S- Parametreleri)

Hemen hemen bütün ders kitaplarında ve RF sistemlere dair teknik literatürde saçınım yani S-parametre gösterimi önemli bir rol oynamaktadır. Bunun sebebi yüksek frekanstaki pratik sistem karakterizasyonlarının düşük frekans uygulamalarında yapılan basit açık veya kapalı devre ölçümleriyle artık yapılamamasındandır [1].

Şekil 1’de iki-kapılı bir devre için giren ve yansıyan dalgalar görülmektedir. Port 1’e giren dalga  $a_1$ , yansıyan dalga ise  $b_1$  ile gösterilirken port 2’ye giren dalga  $a_2$ , yansıyan dalga ise  $b_2$  ile gösterilmektedir.



Şekil 1 İki-kapılı devre için S- parametrelerini tanımlayacak giren ve yansıyan dalgaların gösterimi

Port 1 ve port 2’de ölçülen  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$  ve  $S_{22}$  parametreleri, iki kapılı devrenin saçınım parametreleridir ve gösterim şekli

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

[S] ifadesi bu ağın saçınım matrisidir [2].

S- parametreleri yansıma veya iletim katsayılarını simgelerler. Port 1 ve port 2’nin özel durumlarında ölçülen S- parametreleri aşağıdaki ifadelerle tanımlanmaktadır:

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (\text{Uygun çıkış sonlandırma ile giriş yansıma katsayısı}) \quad (1.2)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0}$$

katsayısı)

(Uygun çıkış sonlandırma ile ileri iletim  
(1.3)

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

katsayısı)

(Uygun giriş sonlandırma ile çıkış yansıma  
(1.4)

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

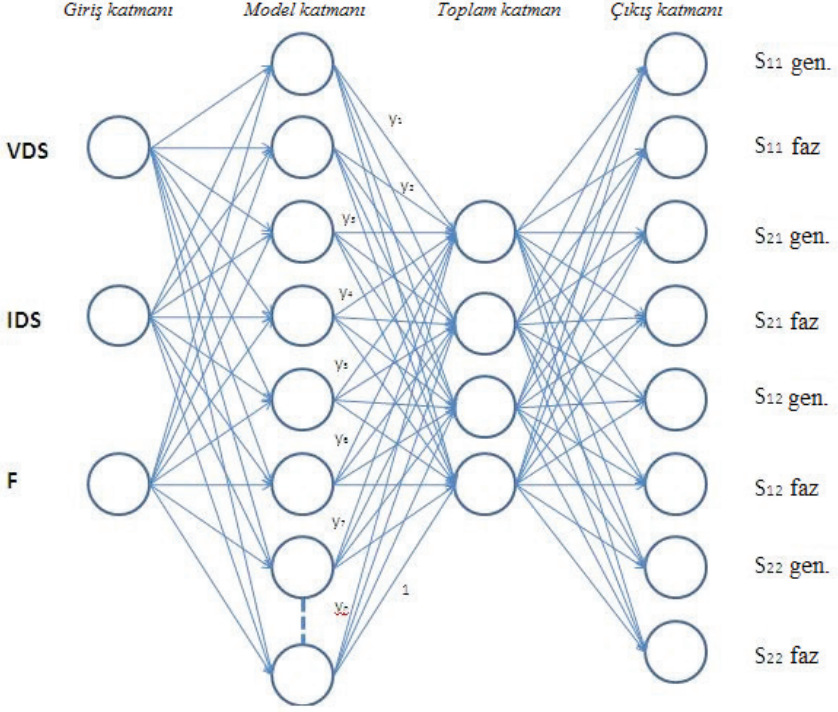
katsayısı)

(Uygun giriş sonlandırma ile ters iletim  
(1.5)

Eğer iki-kapılı devre bir transistörü simgelerse bu durumda transistör uygun bir biçimde kutuplandırılır ve böylece transistörün S- parametreleri küçük-sinyal koşulları altında, verilen bir Q çalışma noktasında ölçülür. Ayrıca S-parametreleri frekansla değiştiğinden dolayı ölçümler çeşitli frekans değerlerine göre yapılmaktadır [2].

## 2- İŞARET SINIR AĞI MODELLERİ

Belirlenen aktif elemanın işaret modelinin oluşturulması amacıyla kutuplama parametreleri ile işaret parametrelerinin ilişkilendirilmesi yapay sinir ağı yapıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sinir ağı modeli mimarisinde, Şekil 2'de gösterildiği gibi işaret ağın giriş katmanında 3 adet ve çıkış katmanında ise 8 adet nöron kullanılmıştır.



Şekil 2 İşaret GRNN mimarisinin şematik diyagramı

## GRNN Temelli Sinir Ağı Modelleri

Genelleştirilmiş Regresyonlu Ağlar (GRNN), radyal tabanlı ağların genellikle fonksiyon yaklaşım problemleri için kullanılmakta olan özel bir halidir. Bu ağlar, belirli sayıda ara katman nöronu ile önemli ölçüde iyi başarı sağlayarak sürekli fonksiyona yaklaşımı gerçekleştirirler. Çok katmanlı ağlardaki gibi sürekli bir eğitime ihtiyaç duymamaktadırlar. Giriş ve çıkış arasında eğitim setinden elde ettiği ilişkiyle herhangi sıradan bir fonksiyona yaklaşabilir. Anlaşılacağı üzere, eğitim kümesinin boyutları büyüdükçe yaklaşımdaki hata oranı sifıra yakınsar. GRNN, standart teknikler gibi sürekli değişkenler üzerinde yargıya varılabilmesi için de kullanılır. Temelinde standart bir istatistiksel yöntem olan Kernel yaklaşımını kullanmaktadır. Bu tanıma göre, bağımlı bir  $y$  değişkeninin bağımsız bir  $x$  değişkenine göre regresyonu, verilen  $x$  girişleri ve eğitim kümesine göre  $y$  için en çok olasılığa sahip değere yaklaşır. Yaklaşım yöntemi ortalama karesel hatayı (mse) en düşük değere yaklaştıracak şekilde belirlenir. Bu yöntem, belirli bir eğitim kümesinde giriş ve çıkışlar için bileşik olasılık yoğunluk fonksiyonunun da tahmini için kullanılmaktadır. Ağırlık vektörleri eğitilmez, eğitim setinden belirlenen hedef değerler ağırlık matrisi olarak atanır [3].

## Hata Analizi Hesaplamaları

GRNN temelli sinir ağı modellerinin eğitim-test performanslarını incelemek ve karşılaştırmak amacıyla (2.1)'de ifade edilen ortalama karesel hata hesabı kullanılmıştır. Sinir ağı modellerinin işaret parametreleri için ortalama karesel hata (mse) oranına göre matlab kodunda bir döngü yapılarak en düşük ortalama karesel hatadaki düzeltme değeri seçilerek o sonuçlar için çalışma gerçekleştirilmiştir.

$$E_{Tr} = \frac{1}{m} \sum_{k \in T_r} \sum_{j=1}^m (y_j(x_k, w) - d_{jk})^2 \quad (2.1)$$

Burada;  $d_{jk}$ , j. hedef çıkışını,  $Y_j(X_k, W)$   $X_k$  girişi için j. ağ çıkışını ve  $T_r$  ise eğitim verisi indeksini sembolize etmektedir.

## 3- UYGULAMA ÖRNEĞİ: VMMK-1218'İN İŞARET MODELİ

Çalışmada, modellenecek aktif mikrodalga eleman olarak VMMK-1218 transistörü seçilmiştir. Transistörün işaret parametreleri,  $V_{ds} = \{1,5V, 2V, 3V, 4V\}$  kutuplama gerilimi ve her kutuplama gerilimi için  $I_{ds} = \{5mA, 10mA, 15mA, 20mA\}$  kutuplama akımından oluşan toplam 16 adet kutuplama koşulunda 2 GHz-17 GHz frekans aralığında elde edilmiş olan üretici verilerinden elde edilmiştir. İşaret verileri 16 ayrıık frekans noktasında tanımlanmıştır.

### İki Kutuplamalı Eğitim Modeli ve Test Verisi

Modelin eğitim ve test verisi 4 farklı veri grubu için oluşturulmuştur.

- İnterpolasyon-I: Eğitim Verisi,  $V_{ds} = (1,5, 4) V$  &  $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$  olmak üzere 352 veri, test verisi ise  $V_{ds} = 2V$  &  $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$  olmak üzere 176 adet veri içermektedir.

- İnterpolasyon-II: Eğitim Verisi,  $V_{ds} = (1,5, 4) V$  &  $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$  olmak üzere 352 veri, test verisi ise  $V_{ds} = 3V$  &  $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$  olmak üzere 176 adet veri içermektedir.

- Ekstrapolasyon-I: Eğitim Verisi,  $V_{ds} = (2, 3) V$  &  $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$  olmak üzere 352 veri, test verisi ise  $V_{ds} = 1,5V$  &  $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$  olmak üzere 176 adet veri içermektedir.

- Ekstrapolasyon-II: Eğitim Verisi,  $V_{ds} = (2, 3) V$  &  $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$  olmak üzere 352 veri, test verisi ise  $V_{ds} = 4V$  &  $I_{ds} = (5, 10, 15, 20) mA$  olmak üzere 176 adet veri içermektedir.



## Sinir Ağı Model Sonuçları

Transistörün işaret davranışını modellemek amacıyla sinir ağı yapıları oluşturulmuş ve bu ağların eğitim ve test performansları ise farklı veri grupları kullanılarak normalize verilerle değerlendirilmiştir (Tablo 1 ve Tablo 2). GRNN temelli sinir ağlarının elde ettikleri optimum ağırlık kümesi, aynı verilerle eğitim işlemi farklılık göstermediğinden, eğitim veya test performansları da aynı uygulamayı her denemede aynı değerleri vermektedir. VMMK transistörüne özgü bir özellik olarak tahminlerde  $|S_{12}|$  ve  $|S_{22}|$  ye özgü sabit oranda bir sapma olmaktadır. Bu sabit sapma oranı eğitilen verilerin kendi içinde eğitilip test etmesinde de aynı olmaktadır. Eğitilen veriler kendi içlerinde eğitilerek oraki oran bulunup daha sonra tüm yapay sinir ağına ek olarak bu düzeltme yapılmıştır. Elde edilen sinir ağı modellerinin farklı veri kümeleri için eğitim ve test performansları takip eden alt bölümlerde verilmiştir.

Tablo 1 Sinir ağı modellerinin eğitim performansları

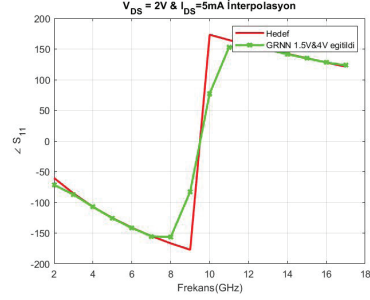
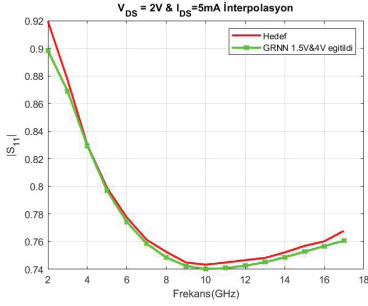
Ortalama Eğitim Hatası (mse)	
İnterpolasyon-I Uygulaması	0,0041
İnterpolasyon-II Uygulaması	0,0016
Ekstrapolasyon-I Uygulaması	0,0042
Ekstrapolasyon-II Uygulaması	0,0042

Tablo 2 Sinir ağı modellerinin test performansları

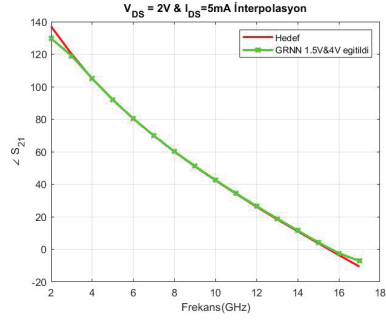
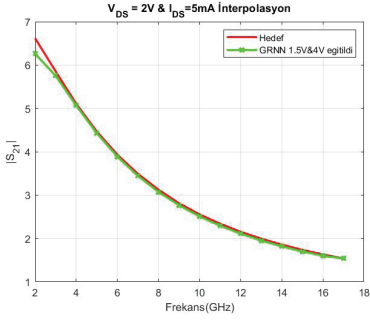
Ortalama Test Hatası (mse)	
İnterpolasyon-I Uygulaması	0,0244
İnterpolasyon-II Uygulaması	0,0122
Ekstrapolasyon-I Uygulaması	0,0260
Ekstrapolasyon-II Uygulaması	0,0131

## İnterpolasyon-I Uygulaması

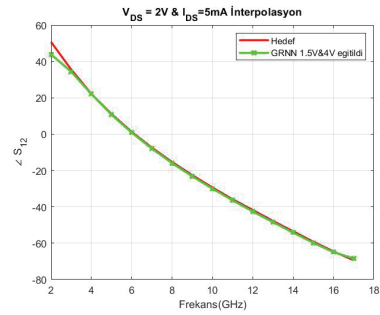
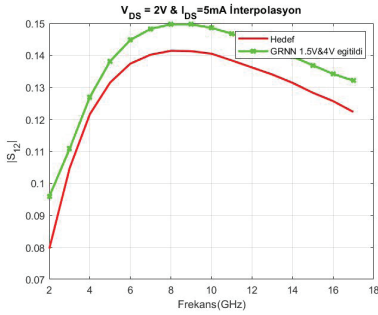
Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.  $V_{DS} = 1,5V$  ve  $V_{DS} = 4V$  eğitim dataları kullanılarak  $V_{DS} = 2V$  ve  $I_{DS} = 5mA$  için elde edilen işaret parametrelerinin kartezyen koordinatlarda  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  ve  $S_{22}$  ‘de frekansla değişimleri sırası ile Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterilmiştir.



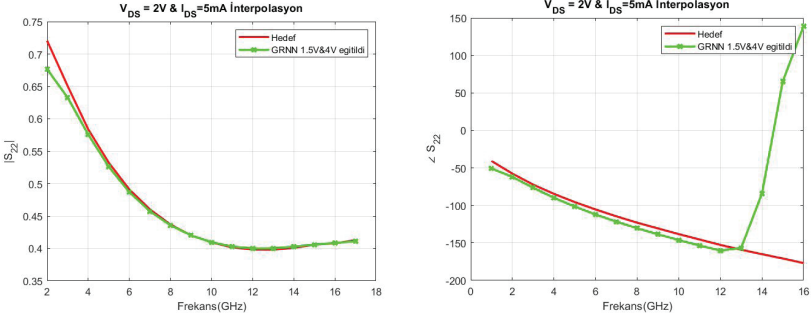
Şekil 3  $|S_{11}|$  ve  $S_{11}$  (açı) nın frekans ile değişimi



Şekil 4  $|S_{21}|$  ve  $S_{21}$  (açı) nın frekans ile değişimi



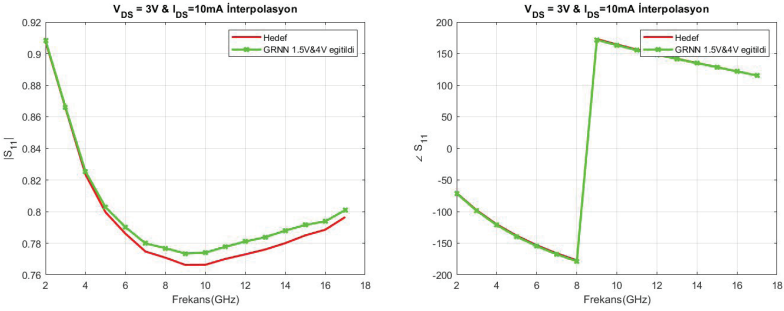
Şekil 5  $|S_{12}|$  ve  $S_{12}$  (açı) nın frekans ile değişimi



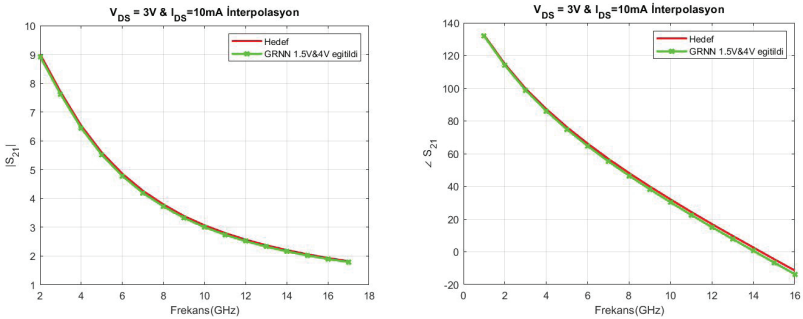
Şekil 6  $|S_{22}|$  ve  $S_{22}$  (açı) nın frekans ile değişimi

## İnterpolasyon-II Uygulaması

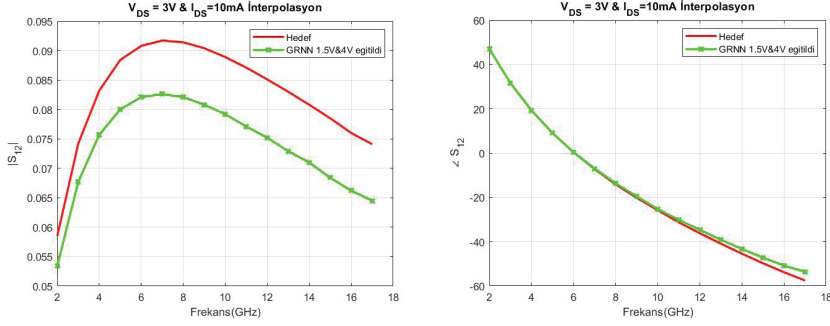
Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.  $V_{DS} = 1,5V$  ve  $V_{DS} = 4V$  eğitim dataları kullanılarak  $V_{DS} = 3V$  ve  $I_{DS} = 10mA$  için elde edilen işaret parametrelerinin kartezyen koordinatlarda  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  ve  $S_{22}$  ‘de frekansla değişimleri sırası ile Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmiştir.



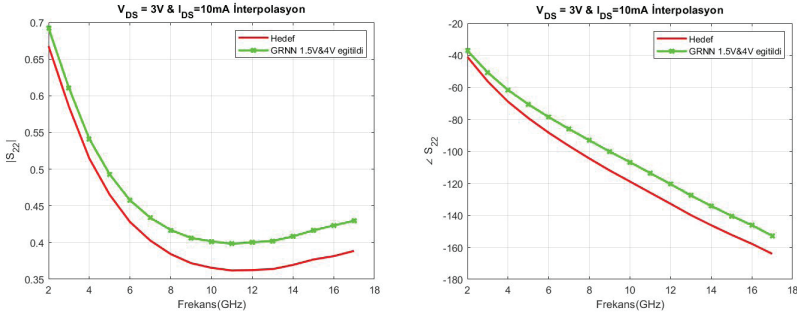
Şekil 7  $|S_{11}|$  ve  $S_{11}$  (açı) nın frekans ile değişimi



Şekil 8  $|S_{21}|$  ve  $S_{21}$  (açı) nın frekans ile değişimi



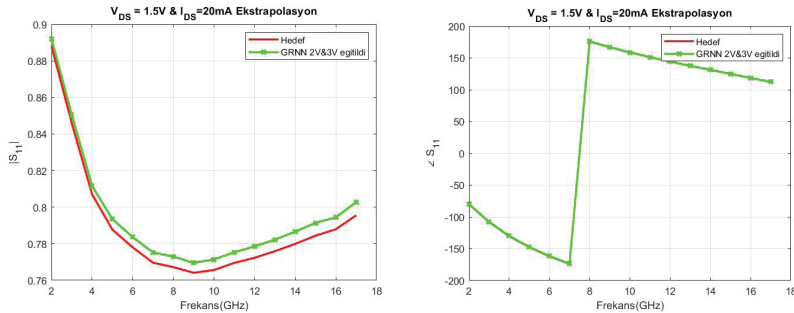
Şekil 9  $|S_{12}|$  ve  $S_{12}$  (açı) nın frekans ile değişimi



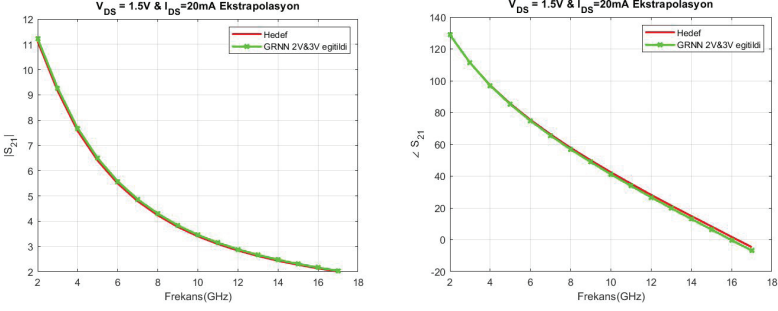
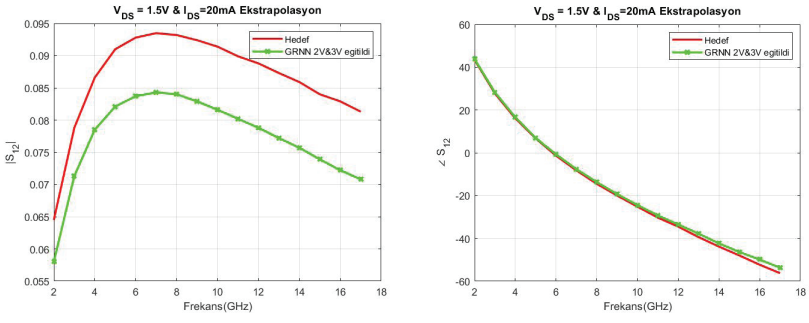
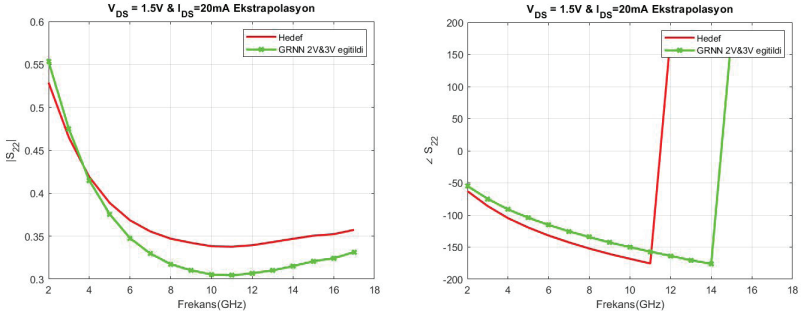
Şekil 10  $|S_{22}|$  ve  $S_{22}$  (açı) nın frekans ile değişimi

## Ekstrapolasyon-I Uygulaması

Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.  $V_{DS} = 2V$  ve  $V_{DS} = 3V$  eğitim dataları kullanılarak  $V_{DS} = 1,5V$  ve  $I_{DS} = 20mA$  için elde edilen işaret parametrelerinin kartezyen koordinatlarda  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  ve  $S_{22}$  ‘de frekansla değişimleri sırası ile Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14’de gösterilmiştir.

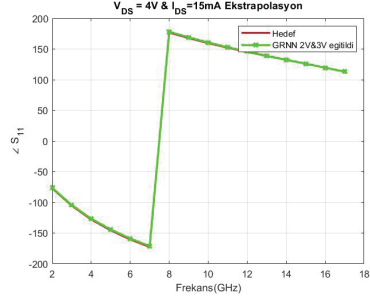
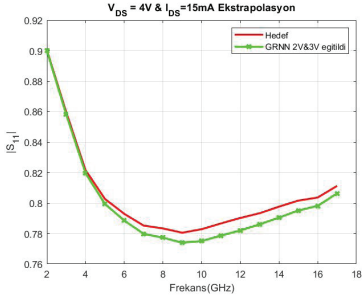


Şekil 11  $|S_{11}|$  ve  $S_{11}$  (açı) nın frekans ile değişimi

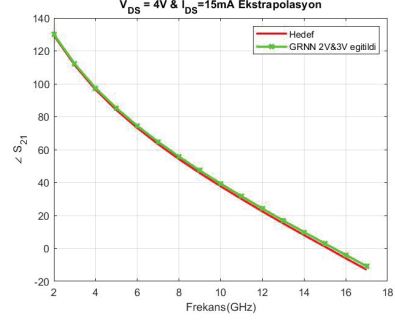
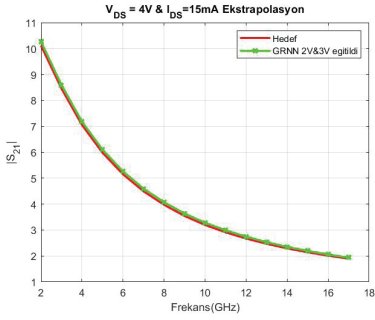
Şekil 12  $|S_{21}|$  ve  $S_{21}$  (açı) nın frekans ile değişimiŞekil 13  $|S_{12}|$  ve  $S_{12}$  (açı) nın frekans ile değişimiŞekil 14  $|S_{22}|$  ve  $S_{22}$  (açı) nın frekans ile değişimi

## Ekstrapolasyon-II Uygulaması

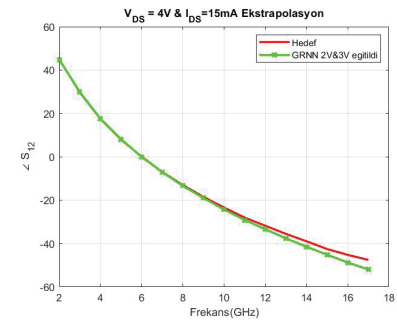
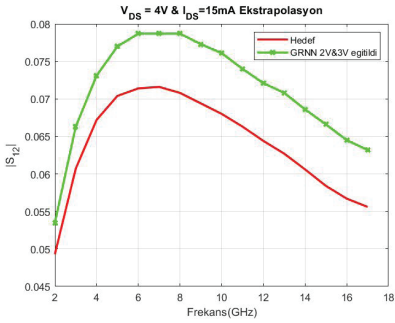
Eğitim uygulaması sonucunda elde edilen eğitim ve test performansları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.  $V_{DS} = 2V$  ve  $V_{DS} = 3V$  eğitim dataları kullanılarak  $V_{DS} = 4V$  ve  $I_{DS} = 15mA$  için elde edilen işaret parametrelerinin kartezyen koordinatlarda  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  ve  $S_{22}$  'de frekansla değişimleri sırası ile Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmiştir.



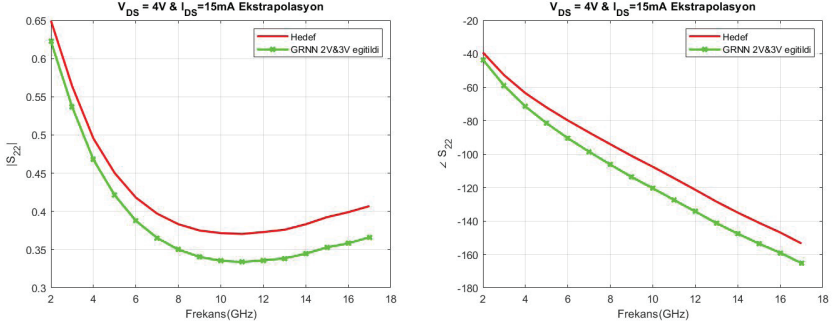
Şekil 15  $|S_{11}|$  ve  $S_{11}$  (açı) nın frekans ile değişimi



Şekil 16  $|S_{21}|$  ve  $S_{21}$  (açı) nın frekans ile değişimi



Şekil 17  $|S_{12}|$  ve  $S_{12}$  (açı) nın frekans ile değişimi



Şekil 18  $|S_{22}|$  ve  $S_{22}$  (açı) nın frekans ile değişimi

Bu çalışmada, basit, doğru, hızlı ve güvenilir modelleme verilerin optimum miktarda veri kullanarak mikrodalga transistör saçılma parametrelerinin karakterizasyonu yapılmıştır. Biz sadece iki kutuplama geriliminin dört akımlar için ölçülen saçılma verileri transistörün tüm alanı içine genelleme için yeterli olduğunu gösterdik. Gelişen teknoloji, her araştırma çalışmasında daha hızlı, daha hassas ve kolay uygulanabilme özellikleri göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ludwig, R., Bretchko, P., (2000). RF Circuit Design, Prentice-Hall, Inc.
- [2] Gonzalez, G., (1997). Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice-Hall, Inc.
- [3] Specht, D. F., (1991). A general regression neural network, IEEE Trans. Neural Netw. 2 (6): 568–576.
- [4] Güneş, F., Gürgen, F., Torpi, H., (1996). “Signal-noise neural network model for active microwave devices,” IEE Proc Circuits Devices Syst 143, 1–8.
- [5] Güneş, F., Torpi, H., Gürgen, F., (1998). “Multidimensional signal-noise neural network model,” IEE Proc Circuits Devices Syst 145, 111–117.
- [6] Güneş, F., Tokan, N.T., Gürgen, F., (2007). “Signal - noise support vector model of a microwave transistor,” Int J RF Microwave CAE 17, 404–415.
- [7] Özkaya, U., (2011). Parçacık Sürü Algoritmalarının Mikrodalga Kuvvetlendirici Uygulamaları, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Werbos, P., (1974). Beyond regression: New tools for prediction and analysis in behavioral sciences, PhD thesis, Harvard University, Cambridge MA.
- [9] Fernandes, F.A.N., Lona, L.M.F., (2005). Neural network applications in polymerization processes, Braz. J. Chem. Eng. 22 (3 Temmuz- 3 Eylül 2005): 401–41
- [10] Cengiz, Y., Güneş, F., (2010). “Bir Mikrodalga Transistorunun İşaret Parametrelerinin Bulanık Mantık Temelli Adaptif Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi”, V. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi, 25 - 27 Ağustos 2010: 387-390.
- [11] Gülez K., (2004). A general regression neural network. (31): 761-777
- [12] Nadaraya, E.A., (1964). On estimating regression, Theory Probab. Appl. 10: 186–190.
- [13] Tsoukalas, L. H., Uhrig, R. E., (1997). Fuzzy and Neural Approache in Engineering: New York, John Wiley and Sons, Inc., 87.
- [14] Schioler, H., Hartmann, U., (1992). Mapping neural network derived from the Parzen window estimator, Neural Netw. 5 (6): 359–372.
- [15] Rumelhart, D.E., Hinton G.E., Williams R. J., (1986). Learning Representations by back-propagating errors,” Nature 323: 533-536.



# Bölüm 3

## FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI

*Ömer KASIM<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi Ömer KASIM, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Simav Muradınlar Kampüsü, Simav Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Müh. Bölümü Simav/Kütahya, Müh. Bölümü Simav/Kütahya, Orcid id: <https://orcid.org/0000-0003-4021-5412>



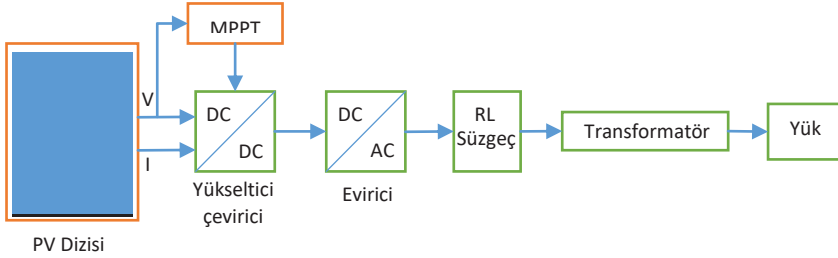
## 1.GİRİŞ

Dünya genelinde elektrik enerjisine olan artan talep, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımının bir sonucudur [1]. Son zamanlarda yoğun olarak incelenen en iyi yenilenebilir kaynaklardan biri fotovoltaiik (PV) enerjisidir. PV enerjisinin, aralarında kirletici etkisi olmayan, çok güvenilir ve esnek boyutta temiz bir enerji kaynağı olduğu ve minimum bakım gerektiren birçok bariz avantajı vardır [2].

PV sisteminin düşük verimliliği, PV sistemleri tarafından üretilen maksimum gücü izlemek için itici bir güçtür. Pek çok makale, son birkaç yılda Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) yöntemleriyle PV sisteminin bir gelişimi olarak sınıflandırılmıştır [3]. Karıştır ve izle (P&O) MPPT tasarımında kullanılan algoritmalarından birisidir. Yükseltici devresinin kapalı çevrim olarak tasarlanmasıyla gerilimdeki hataya göre Oransal integral (PI) kontrolör ile PV'nin verimliliğinde önemli bir faktör olan en yüksek güç durumunun takibi gerçekleştirilebilmektedir [4].

PV sistemler güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmede kullanılan yenilenebilir enerjinin elde edilmesine yönelik bir sistemdir. Bu sistem genel olarak PV hücresi, PV modülü, PV dizisi, enerji depolama birimi, PV sistem yükü, PV sistem kullanılabilirliği, elektronik bileşenler, jeneratör, kablolama-kod uyumu ve sistem bileşenlerinin dengesi olmak üzere 11 bileşenle incelenir [5]. Bu bileşenlerin merkezinde PV hücre tasarımı bulunur. Tipik bir PV hücreye bakıldığında yaklaşık 0,5 volt Doğru akım (DC) 3 Watt gibi az miktarda enerji üretebilme yetisinde bir birim olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek güçlü uygulamalar için yeterli güç üretmek için ise bu hücreler seri-paralel yapılandırma bağlanmaktadır. Bu yapılandırma ile hücrelerin modüller tasarımı gerçekleştirilir. Modüler tasarlanan hücreler ise diziler haline getirilerek yaklaşık 300 Watt'ın üzerinde değişen tepe çıkış güçlerine ulaşılmaktadır [6]. PV dizileri yalnızca güneş ışığı yansıdığı anda güç üretebilmektedir. Bu sebeple genellikle bir enerji depolama mekanizması tasarımın içerisinde yer alır. Enerji depolama ile sürekli kullanılma yönelik bir çözüm üretilmiş olmaktadır. Genel olarak PV sistem tasarımlarında depolama birimi şarj edilebilen akülerden oluşur. Bu aküler, aynı zamanda geçici bastırma, sistem gerilim regülasyonu ve PV dizisi ile birlikte çalışan bir akım kaynağı sağlar [7]. Aküler ile tasarlanan modelde akülerle ilgili şarj denetleyicisi kullanılır. Bu denetleyici aşırı şarj olmayı önlemenin yanında aşırı deşarj durumunun da idare edilmesinde etkin rol oynar. DC olarak elde edilen enerjinin Alternatif akım (AC) olarak kullanımında ise eviriciler kullanılır. Dolayısıyla eviriciler DC olarak

üretileen enerjinin AC'ye dönüştürülmesini sağlamaktadır [8]. Ancak ihtiyaç duyulandan fazla miktarda enerjiye ihtiyaç olduğunda denetleyici içeren yedek enerji ünitesinin devreye alınması gereklidir. PV sistemler şebeke ile de birlikte kullanımı da mümkündür. Bu durumda ihtiyaç olduğunda şebekeden besleme yapılır. Diğer taraftan fazla üretim olduğunda ise şebeke beslenir [9]. Bir PV sistemin genel akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.

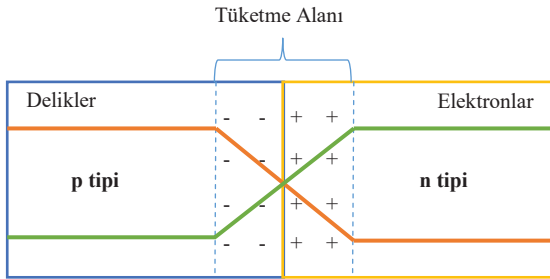


Şekil 1. PV Sistemin akış diyagramı

Bu çalışmada PV sistemler ile temel bileşenler hakkında kısa bilgiler verilerek özellikle elektronik bileşenler ile ilgili süreç incelenmiştir. Şarj denetleyicisi, Maksimum Güç İzleyiciler ve Doğrusal Akım Arttırıcılar ve eviriciler ile ilgili açıklayıcı bilgiler sunulmuştur.

## 2. PV SİSTEMLERE AİT TEMEL BİLEŞENLER

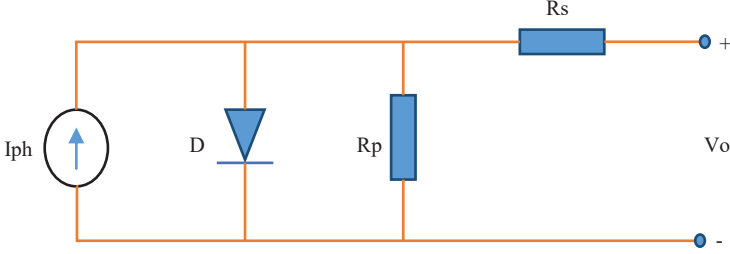
### 2.1. PV Hücresi



Şekil 2. Schottky Bariyer Cihazı

Bir PV hücresi akım kaynağına paralel bağlı bir diyot ile  $R_p$  ve  $R_s$  dirençleri ile modellenen devredir. Bu devreye p-n bağlantı noktası ya da

Şekil 2’de gösterilen Schottky bariyer cihazı ismi de verilmektedir. Hücre üzerine ışık düştüğünde devreye ulaşan fotonlar hücre atomları ile etkileşime girer. Bu etkileşim ile elektron deliği çiftleri oluşur. Bu çiftlerden elektronlar N bölgesine delikler ise P bölgesine doğru sürüklenir. Bu hücre bağlantısının özünde yer alan elektrik alanı ile mümkün olmaktadır [10]. Şekil 3’de tipik bir PV hücresinin devre şeması verilmiştir.



Şekil 3. Tek Diyotlu PV Hücresi

Şekil 3’de gösterilen hücreden temin edilebilen akım ve gerilim miktarları hücre aydınlatma seviyesine bağlı olarak elde edilmektedir. İdeal şartların elde edildiği varsayıldığında I-V karakteristik denklemi Denklem 1 ile elde edilir [11].

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left[ e^{\frac{q(V+I_{pv}R_s)}{NKT}} - 1 \right] - \frac{V + I_{pv}R_s}{R_p} \quad (1)$$

Denklem 1’de  $I_{ph}$  fotoakımıdır,  $I_0$  diyotun ters doyma akımıdır.  $T$  bağlantı sıcaklığını Kelvin olarak gösterir.  $N$  ifadesi diyotun ideal olma faktörü olarak tanımlanır.  $R_s$  seri direnci  $R_p$  ise şönt direncini gösterir.  $V$  ise diyottaki gerilim düşümü miktarıdır. Elektron şarj sabiti  $q$  ile ifade edilir ve değeri  $1,602 \cdot 10^{-19}$  C’dur. Boltzman sabiti  $K$  ile gösterilir ve değeri  $1,381 \cdot 10^{-23}$  J/K’dır.

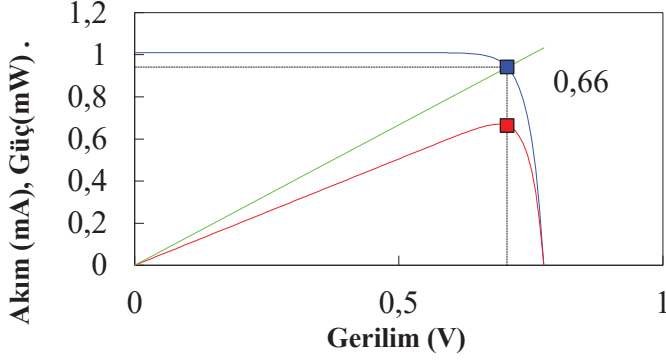
PV tasarımında maksimum güç noktasının belirlenmesi önemlidir. Bunun için hücre güç denklemi sonucu sıfıra eşitlenerek elde edilir. Bu koşulun karşılandığı gerilim değerinin bir maksimumu temsil edip etmediğini kontrol edilerek maksimum güç noktası öğrenilir.  $I_m$  ifadesi

maksimum güçte hücre akımını ifade eder.  $V_m$  ise maksimum güçte hücre gerilimidir [12]. PV hücresindeki maksimum güç  $V_m$  ve  $I_m$ 'ye bağlı olarak Denklem 2 ile hesaplanır.

$$P_{max} = (I_m V_m) FF I_{SC} V_{OC} \quad (2)$$

Denklem 2'deki FF ifadesi hücre doldurma faktörüdür. Bu faktör hücrenin kalitesinin belirlenmesinde önem arz etmektedir. Doldurma faktörü PV hücresinin iç direncine bağlıdır. İdeal hücreye ait doldurma faktörü PV hücresini akım gerilim karakteristiğinde belirleyicidir. Eğer ideal PV hücresi ile çalışılırsa ideal akım ya da ideal gerilim kaynağı elde edilir.  $V_{OC} = 0,596$  V ve  $I_{SC} = 2,0$  A ile tarafından yönetilen ideal bir akım gerilim karakteristiğine sahip hücre için, doldurma faktörü yaklaşık 0,83 olarak hesaplanır. Gerçek dünya uygulamalarında ideallik durumu olmadığı için PV hücreleri için tipik doldurma faktörleri 0,5 ile 0,82 arasındadır [13]. Doldurma faktörünü en uygun değer olarak elde etmek için ise seri direncin en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu durumda şönt direnci ve fotoakımın ters doyma akımına oranı ise maksimize edilmelidir. Ayrıca PV gücü sıcaklığı da bağlıdır. Hücre sıcaklığı ortam sıcaklığından üretim esnasında daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Ancak hücrenin fazla ısınması verimi düşürecektir. Genel olarak bakıldığında ortalama olarak ışımının %20'sinden az kısmı ancak enerjiye dönüştürülebilmektedir [14].

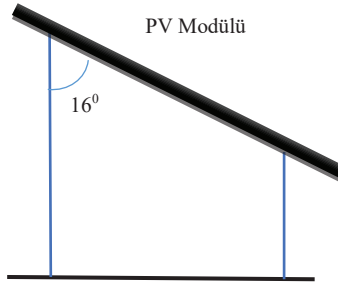
Yukarıda sayılan özelliklerin dışında bir PV hücresinde elde edilen fotoakımı hücredeki ışık olayının yoğunluğuna, kullanılan malzemenin verimliliğine, yansıma önleyici kaplama, bazı hücre tasarımlarının daha kalın yapılması ve gelen ışığın dalga boyuna da oldukça bağlıdır. Şekil 4'de yük 700 ve harici yük 750  $\Omega$ olarak ayarlandı. Eğriler kullanılarak gerilim 0,71V, akım 0,94A ve güç 0,66mW olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Farklı Işımlarda I-V ve P-V Karakteristik Eğrileri

## 2.2. PV Modülü

PV panellerinin kullanıldığı ortam için gerekli enerji miktarını elde etmek amacıyla yeterli sayıda PV hücreleri seri olarak bağlanmaktadır. Bu bağlantı ile oluşan yapıya PV modülü ismi verilir. Oluşturulan PV modüllerindeki genel yapı 12V ve katları şeklinde tasarlanmaktadır. Bu tasarım ile bataryaların şarj edilmesinde  $V_m$  parametresinin optimize edilmesini içerir. Seri bağlantı ile modülün çıkış gücü maksimuma yakın tutulabilmektedir.  $V_m$  genel prensip olarak  $V_{OC}$ 'nin %80'i olduğu için yaklaşık olarak  $V_m$ 'nin 16V civarı  $V_{OC}$ 'nin de 20V olması gerektiği sonucunu ortaya çıkarır. Bu koşullar altında her bir PV paneli 3 Watt civarı bir enerji ürettiği varsayılırsa 36 hücre ile yaklaşık 100W enerji üretilebilir [15]. Bu durum ışığın panel üzerine düşmesi ve gece koşulları altındaki etkisini ortaya koymamıza yardımcı olmaktadır. Güneş olduğunda akü 14,6V ile şarj olacaktır. Karanlık olduğunda ise yaklaşık olarak 0,457V deşarj durumu söz konusudur.



Şekil 5. PV Modülü

PV hücreleri Şekil 5'de gösterildiği üzere dikeyde  $16^0$  bir açık yapacak şekilde monte edilirler. Bu tip montajda nominal çalışma hücresi sıcaklığına (NOCT) sahip olarak PV modülü karakterize edilmektedir. NOCT, hücrelerin AM 1.5 ışınım koşullarında  $20^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığında,  $G = 0.8 \text{ kW/m}^2$  ve  $1 \text{ m/s}$ 'den az rüzgar hızında çalıştırıldığında ulaşacağı sıcaklık olarak tanımlanmıştır [16]. PV hücresinin sıcaklığı ışınım ve ortam sıcaklığı değiştiğinde Denklem 3 kullanılarak hesaplanır.

$$T_c = T_A + \left( \frac{NOCT - 20}{0,8} \right) \cdot G \quad (3)$$

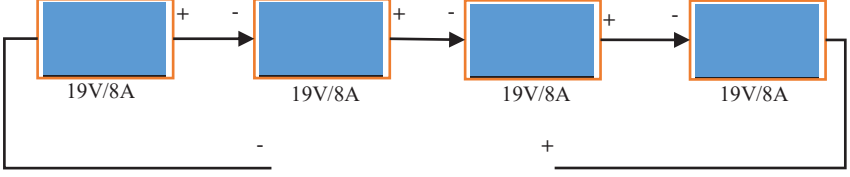
Örneğin 36 hücreli bir PV modülünde  $V_{OC} = 19,40\text{V}$  ve  $40^{\circ}\text{C}$  NOCT değerine sahip olduğunda  $G=0,8 \text{ kW/m}^2$  olarak alındığında hücre sıcaklığı  $55$  dereceye yükselecektir. Hücre sıcaklığındaki bu  $15^{\circ}\text{C}$  artış, açık devre geriliminin %6 oranında düşmesine neden olacaktır. Bu düşüş  $V_{OC}$ 'nin  $18,16\text{V}$ 'a düşmesiyle sonuçlanacaktır.

### 2.3. PV Dizisi

Enerji gereksinimi genellikle tek bir modülle sağlanamayacak kadar yüksek olmaktadır. Daha yüksek gerilim ya da daha yüksek akım ihtiyacına göre PV dizileri oluşturulmaktadır. PV dizileri oluşturulurken seri ya da paralel bağlantı tipi kullanılmaktadır. Seri bağlantıda akım sabit tutularak gerilim yüksek olarak elde edilir. Paralel bağlantıda ise gerilim sabit tutularak akım yükseltilir. Her iki koşulda da maksimum güç elde edilmesi temel hedeftir.

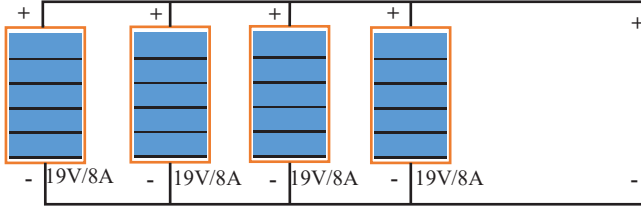
Seri bağlantıda PV panelin negatif ucu diğer PV panelin pozitif ucuna denk gelecek şekilde bir tasarım gerçekleştirilir. İhtiyaç duyulan güç miktarı kadar PV panel birbirinin ucuna verilen mantık ile bağlanır. Bu bağlantıda PV dizisinin toplam çıkış akımı tek bir PV panelde geçen akıma eşit olmaktadır. Toplam çıkış gerilimi ise her bir PV paneldeki gerilim düşümlerinin toplamı kadar olacaktır. Buradaki temel tasarım ilkesi ise her bir PV panelin benzer özelliklerde olmasını gerektirmektedir [17]. Seri bağlantı ile tasarlanan PV dizisi örneği Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde her biri  $19\text{V}$  gerilim ve  $8\text{A}$  akım üretebilen PV panelleri kullanılmıştır. Bu panellerin toplam gücü  $608\text{W}$  olarak elde edilmektedir. Çıkış akımı  $8\text{A}$  olarak sabit tutulurken çıkış gerilimi  $76\text{V}$  olarak elde edilir. Eğer eş değerdeki PV panel kullanılmaz ise sistemde kayıp oluşur.





Şekil 6. PV Panellerinin Seri bağlanması

Paralel bağlantı tasarımında ise gerilim sabit tutulurken üretilen akım miktarı artırılmaktadır. Uygulamalarda genelde uzakta olan sistemler için daha ideal bir tasarım kolaylığı sunulur. Bu bağlantıda PV panellerin pozitif uçları bir araya ve negatif uçları bir araya toplanır. Bu uçlar ise dönüştürücü ya da şarj kontrol ünitesine bağlanır. Oluşturulan paralel bağlı tasarımda gerilim tek bir PV panelin gerilimi ile aynı kalmaktadır. Her bir PV panelin sayısının ürettiği akımların toplanmasıyla ise akım hesaplanmaktadır [17]. Paralel bağlı tasarıma ait görüntü Şekil 7’de verilmiştir. Burada eş paneller kullanılması önemlidir. Eş panel kullanılmadığında yine kayıplar olacağı için verim düşecektir. Verilen tasarımda gerilim 19V olarak elde edilirken akım 32A olarak elde edilecektir. Bu da toplamda 608W güç edileceği anlamına gelmektedir.



Şekil 7. PV Panellerinin paralel bağlanması

Seri ve paralel bağlı tasarımlar da yapmak mümkündür. Eş PV panelleri ile farklı kombinasyonlar ile farklı gerilim ve akımlarda aynı gücü elde etmek mümkün olmaktadır [17].

## 2.4. Enerji Depolama

PV enerji sistemi, tek yönlü bir DC/DC güçlendirme dönüştürücüsünden güç çıkışı sağlayan PV dizilerinden oluşmaktadır. İki

biçimde tasarlanabilmektedir. Bunlardan ilki yalnızca akü içeren bir enerji depolama sistemi iken diğeri akü ve kısa devre (SC) kombine edilmiş biçimini barındırmaktadır. Her iki tasarımda enerji depolama sistemi, PV enerji sistemi ve her bir enerji depolama bankası ile ilişkili çift yönlü olarak DC/DC dönüştürücüler ile paralel olarak bağlanmaktadır. Ayrıca PV Enerji sistemi ve Enerji depolama sistemi DC bara görevi gören DC bağlantı kondansatörüne paralel olarak bağlanmaktadır. Bu DC bağlantısındaki gerilim seviyesini kontrol etmek için ise bir DC/AC dönüştürücü veya şebekeye bağlı dönüştürücü kullanılır. Böylece DC/DC dönüştürücüler üzerinden akım akışı değiştirilerek kontrol edilebilir bir güç akışı tasarımı elde edilir [18].

Enerji depolamada en önemli faktör maliyet analizidir. Özellikle akünün yapısı ve özellikleri bu maliyeti doğrudan etkilemektedir. Nikel kadmiyum içeren bir akü yüksek enerji yoğunluğu ihtiva eden PV sistemlerinde tercih edilmektedir. Ancak bu akülerde depolanan Joule başına kurşun asit içeriği daha maliyetlidir [19].

## 2.5. PV Sistem Yükleri

PV modüllerinin maksimum güç noktalarının yakınında çalıştırılması sistemden akım çekecek yükün her zaman PV sisteminden mevcut tüm gücü kullanabilmesini gerektirdiğinden, zorlu bir sorundur. Bu sorunun en temel kaynağı ise panel üzerine düşen ışık yoğunluğunun farklılıklar göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu yoğunluk seviyeleri dikkate alınarak PV dizisinin sahip olduğu akım gerilim karakteristiği eğrisindeki maksimum güç noktalarının koordinatları ile kesişecektir [20].

Bir yükün akım gerilim karakteristiğinin bir PV kaynağınınikiyle kesişmesi, PV kaynağının maksimum güç noktasından uzaklaşması önemli bir problem olacaktır. Bu problemin çözümünde genellikle maksimum güç izleyicisi (MPT) kullanılarak çözülmektedir. MPT, anahtarlamalı bir DC güç kaynağına benzer biçimde faaliyet göstermektedir. Darbe genişliği modülasyon yöntemi DC giriş geriliminden farklı bir seviyede bulunan DC çıkış gerilimine geçmek için kullanılmaktadır. MPT, çıkış gücünü algılamak ve çıkış gücü maksimize edilene kadar çıkış gerilimini buna göre değiştirmek için bir geri besleme döngüsü amacıyla da kullanır. Ancak MPT'de de bir miktar güç kaybı vardır. Bu kayıp yüke ait akım gerilim karakteristiğinde yer alan kaynak

maksimum güç noktası ile kesişene kadar ayarlanabilmektedir. Böylece güç kaybı probleminin önüne geçilmektedir [20].

## 2.6. PV Sistem Hazır Bulunması

Enerjinin son kullanıcıya ulaştırılmasında sistem kullanılabilirliği açısından iki önemli metrik bulunmaktadır. Bu metrikler enerjinin üretimi ve iletiminde meydana gelen aksaklıklara göre belirlenmektedir. Kritik olan yükler açısından bakıldığında bu oran %99 iken diğer yükler için %95 olarak ifade edilmektedir. Kritik yükler açısından bakıldığında sistemin kullanım ömrü boyunca bir ortalama olarak kabul edilir. PV sistemleri de benzer arıza modlarına tabidir. Aküdeki olası arızalar, PV modülünde oluşan hasarlar, gevşek bağlantılar ve kontrolördeki problemler arıza modlarının oluşmasına neden olmaktadır. En önemli önlem ise önleyici bakımdır. Bu süreç arıza modlarını minimumda tutmaya yardımcı olur. Ancak PV sistemler için en önemli parametre ışınım yoğunluğudur. Işınım yoğunluğu azaldığında akü ile depolanan enerji ile besleme desteklenmelidir [21]. Sonuç olarak, farklı coğrafi konumlar için, kritik ve kritik olmayan yükler için farklı miktarlarda akü yedeklemesi gereklidir. % 95 kullanılabilir bir sistemin yılda 438 saat kesinti süresine izin verilmektedir. Kritik sistemlerde ise bu miktar yılda 88 saattir. PV sistemlerde bu süreç akü yedekleme günleri, depolama günleri ve otonomi günleri olarak planlanarak çözüm üretilmektedir. Belirli sahalar için güneşlenme verilerinden belirlenen yıl boyunca minimum ortalama pik güneş saatlerine,  $T_{min}$ 'e dayalı olarak gerekli depolama günlerini tahmin etmek için Denklem 4 kullanılır.

$$D_{cr} = -1,9.T_{min} + 18,3, D_n = -0,48.T_{min} + 4,58 \quad (4)$$

Denklem 4'de kritik olmayan uygulamalar için,  $T_{min} > 1$  saat olması koşulu göz önünde bulundurulmalıdır.

Bir PV sisteminin kullanılabilirliğini %95'ten %99'a çıkarmak ilk bakışta basit, doğrusal bir uzantı gibi görünebilir. Böyle bir doğrusal yapılandırma yalnızca ek bir %4 maliyete neden olacaktır. Ancak ışınım miktarındaki mevsimsel farklılıklar bu maliyetin

önemine olumlu ya da olumsuz olarak katkı sağlar. Bu nedenle, % 100'e yakın kullanılabilirlik, tüm güneşsiz yük ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli enerjiyi depolamak için yeterli akü ve ayrıca aküleri şarj etmek için yeterli sayıda PV modülü gerektirir [21].

## 2.7. Elektronik Bileşenler

Bir PV sisteminde elektronik bileşen olarak 3 temel araç bulunur. Bu araçlar aküler için şarj denetleyicisi, maksimum güç izleyici modülü - akım yükseltme devreleri ve eviricilerdir [22].

### 2.7.1. Şarj Denetleyicisi

PV sistemler yapıları itibariyle enerji depolama yapabilen bir yapıda tasarlanmaktadır. Enerji depolamak için ise temel olarak bir akü birimi sistemde yer almak durumundadır. Dolayısıyla bu akünün enerji depolayabilmesi için bir şarj kontrol cihazına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu cihaz genelde iki işlemin gerçekleştirilmesini sağlar. Bunlardan ilki akü için önceden belirlenmiş bir deşarj durumu olduğunda yükü kapatmak diğeri ise akü tamamen şarj olduğunda PV dizisini kapatmaktır [23].

Seri ve paralel olarak bağlanan akülerin optimum olarak PV sistemine katkı sağlayacak biçimde çalışması önemlidir. Denetleyici, çeşitli şarj, boşalma ve sıcaklık koşullarında optimum akü sistemi performansı sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu ayarlama akü sistemi için bir Thevenin eşdeğer devresi oluşturulur. Buradaki önemli ayrıntı ise şarj sırasında akü terminal geriliminin akü hücresi gerilimini aşması durumudur. Böyle bir durumda terminal gerilimi PV hücre geriliminin ve akü direnci boyunca gerilim düşüşünün toplamı elde edilir. Deşarj esnasında ise terminal gerilimi hücre geriliminden daha düşük olacaktır. Böylece deşarj durumu olduğunda terminal gerilimini hesaplama için hücre gerilimi ile akü gerilim düşüşünün farkı alınır [23].

Akü sistemi için Thevenin eşdeğer devresinin hem açık devre gerilimi hem de direnç için sıcaklığa bağlı olması nedeniyle şarj etme ve boşaltma gereksinimleri daha karmaşık olarak ele alınır. Sıcaklık miktarının düşmesi açık devre geriliminin azalmasıyla sonuçlanır. Ohm Kanunu'na göre gerilimin azalması direncin artması anlamına gelmektedir. Ayrıca, kullanımı uzamış bir akü için Thevenin eşdeğer devresi, aynı tipteki yeni bir akününkinden farklı olacaktır. Bu nedenle, bir şarj kontrolörünün tüm bu parametreleri işleyebilmesi önemlidir. Bu amaçla şarj ve deşarj durumlarının belirlenmesi gerekmektedir [22].

Şarj durumuna bakıldığında şarj akımı ile terminal gerilimi 15 volta ulaştığında akü tamamen şarj olmaktadır. Akünün tamamen şarj olmasıyla PV dizisinin aküler ile bağlantısının kapatılması gerekmektedir. Diğer taraftan terminal gerilimi 15V'un altına düştüğünde ise PV dizisi ile akü arasındaki bağlantının kurulması önemlidir. Akünün iç direncinden dolayı belirli bir süre sonra yeniden şarj ihtiyacı olacağına bu döngü belirli bir salınım ile devam eder. Bu salınım aşırı şarja sebep olur. Salınımdan kaynaklı aşırı şarjı ortadan kaldırmanın en kolay yolu kontrolörün sapma ayar noktasını düşürmektir. Ancak bu işlem akünün yetersiz şarj edilmesine neden olabilir. Daha güvenilir diğer bir yöntem ise devreye histerezis bandı eklemektir. Bu bant ile PV dizisi aküler bir şekilde boşalana kadar akülere yeniden bağlanamayacaktır [22].

Şarj için tasarlanacak kontrol işlemindeki bir diğer nokta ise iyileştirici karşılaştırma devresinin kullanımıyla ilgilidir. Bu devre ile %85'lik şarja kadar akü daha hızlı şarj olacaktır. Ancak bundan sonraki süreçte nispeten daha uzun bir sürede daha düşük gerilim ile şarj %100'e tamamlanacaktır. Bu yöntem, tasarlanan birçok PV sistemleriyle kullanılmaktadır. Bu kullanım için yapılan tasarım içerisinde sistemin ilk başlangıç koşullarında şarj kontrolörü bir akım kaynağı biçiminde davranış gösterir. Şarj mekanizması bir PV dizisi olduğunda muhtemelen tam dizi akımı şarj için kullanılacaktır. Şarj gerilimi önceden belirlenen bir düzey olan yığın gerilimine ulaştığında ise şarj akımının neredeyse doğrusal olarak azaldığı sabit voltaja geçer. Buna emilim modu ismi verilmektedir. Emilim modu kontrol cihazına tanımlanarak belirli bir süre boyunca aktif kalması sağlanır. Belirlenen sürenin sonunda şarj gerilimi tampon gerilimine düşürülür. Bu gerilim düşümü süreç içerisinde şarj kontrolörü ile korunmaktadır [22].

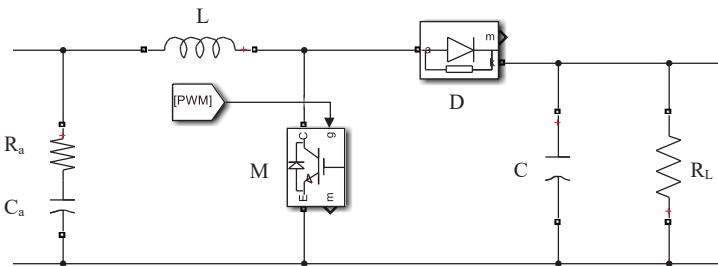
Şarj kontrol cihazlarındaki bir diğer mod ise dengeleme modu olarak isimlendirilir. Bu mod, akülerin şarj edilmesinin ardından oldukça kısa bir süre için yüksek bir gerilimin aküye uygulanmasını sağlar. Bu yüksek gerilim akünün yapısından kaçan gazların neden olduğu hava burgacı nedeniyle elektroliti karıştıran gaz oluşumuna neden olur. Bu durum plakalarda sülfat oluşumunu önlemeye yardımcı olur ve tüm bireysel hücreleri tam şarj durumuna getirir. Yalnızca sızdırmaz veya havalandırılmış akülerin dengelenmesi gerekir. Bu işlem genellikle manuel olarak yapılır. Batarya bağlantısının kesilmesi PV dizisinin kısa devre yapmasına, açık devre olmasına veya aşırı dizi enerjisini kullanacak yardımcı bir yüke bağlanmasına neden olabilir. Eğer PV dizisi akülerden ayrılırken kısa devre yapması sağlanıyorsa bu tip tasarıma sahip denetleyiciye şönt denetleyici ismi verilmektedir. Şönt denetleyici

akünün terminal geriliminin sabit tutulmasına önemli bir role sahiptir. Ancak ısı emici bir tasarımında sürece dâhil edilmesi gerekmektedir [23].

Deşarj durumunun oluşması için akü terminal geriliminin öngörülen minimum seviyenin altına düşmesi gerekmektedir. Bu düşüş ile denetleyici yük bağlantısını kesmelidir. Bu durumda akünün terminal gerilimi minimum düzeyin üzerine çıkacaktır. Böyle bir durumda yükün beslendiği akım yeniden aktif olacaktır. Sonuçta salınım durumu ortaya çıkacaktır. Bu problemin çözümünde ise etkin bir çözüm olan histerezis bandı içeren bir tasarım yapılmalıdır. Ayrıca kontrolörün çıkışı için başka bir iyileştirici karşılaştırma devresi kullanılması gereklidir. Bu devre için doğru sıcaklık düzeltme katsayısı kullanılarak sıcaklığa duyarlı hale getirmek önemlidir. Ancak denetleyici tasarımında aküleri kapatmadan önce aküleri tam şarja getirmek için şarj akımını azaltmak olduğunda akünün en iyi şekilde boşalmasını sağlamak için seçmeli olarak yüklerin kapatılması gerekecektir. Bu şart sağlandığında sistem verimliliği artar. İdeal olarak, bir şarj kontrolörü, PV dizisinin çıkış gücünden tam olarak yararlanacak şekilde aküleri tamamen şarj edecek ve kendi başına herhangi bir güç kullanmadan tam olarak belirtilen ayar noktasında akülerin deşarjını durduracak biçimde tasarlanmalıdır [22].

### 2.7.2. Maksimum Güç İzleyiciler ve Doğrusal Akım Arttırıcılar

MPT, PV dizisi karakteristiği için doğrusal akım kuvvetlendirici (LCB) olarak kullanılan araçtır. LCB'ye ait çıkış gerilimi ve akım miktarı minimum dönüştürme kayıpları dışında girişle aynı miktar güç seviyesi korunur. LCB'nin yüke giden akımı artırmaya göre cihazın ismi verilir [24]. MPPT'nin dahil edildiği yükseltici evirici devresi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. DC-DC Yükselticili Çevirici

Akım kaynağı PV hücresinde, kondansatör (Ca) Denklem kullanılarak değerlendirilir.

$$C_a = D \cdot \frac{V_{PV}}{4 \cdot \Delta V_{PV} \cdot f_s^2 \cdot L_{dc}}, (D = 1 - \frac{V_{PV}}{V_{dc}}) \quad (5)$$

$$L_a = \frac{V_{PV} \cdot (V_{dc} - V_{PV})}{\Delta I_{L_a} \cdot f_s \cdot V_{dc}}, (\Delta I_{L_a} = 0,13 \cdot I_{PV} \frac{V_{dc}}{V_{PV}}) \quad (6)$$

Denklem 5’de  $V_{PV}$  dönüştürücü giriş gerilimi,  $I_{PV}$  ise dizi maksimum akımı,  $P_{PV}$ , PV'nin nominal gücü,  $f_s$ , dönüştürme frekansdır,  $C_a$ , PV'nin bağlantı kapasitansı,  $C$  ise DC bağlantı kapasitansıdır. Denklem 6’da ise  $L_a$  yükseltici dönüştürücünün indüktörü, yükseltici dönüştürücü çıkış dönüştürücüsünün  $L_{dc}$  indüktörü,  $V_{dc}$  yükseltici dönüştürücü çıkış gerilimi,  $D$  yükseltici dönüştürücünün görev döngüsü,  $\Delta V_{PV}$ , voltaj değişimi,  $\Delta I_{L_a}$  takviye indüktörünün akım dalgalanmasıdır [22].

PV sistemlerde MPT ve LCB, DC’de DC’ye anahtarlama yapan gerilim regülatördür. Buradaki temel amaç yükü beslemek için maksimum güç aktarımını sağlamaktır. İki farklı prensip ile bu süreç gerçekleştirilir. Bunlardan ilki düşük akım ile yüksek gerilimi yüke ulaştırmaktır. Diğeri ise yüksek akım düşük gerilimi yüke ulaştırmaktadır. Burada en uygun çıkış gerilimini elde etmek için anahtarlama sürelerini optimize etmek için mikro denetleyici kullanılmaktadır. Yük sisteme geri besleme döngüsü ile bağlanmaktadır. Geri beslemede elde edilen yük gerilimi ve yük akımı algılayıcılarla ölçülerek düzenleyici yükselteç dönüşüm yapısı ile tasarlanmaktadır [24].

Anahtarlama kullanılan Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör (MOSFET) devre elemanı açık konuma geçtiğinde PV dizisinde üretilen akım bobinden paralel RC devresine doğru akmaktadır. Böylece anahtarın açık olduğu durumda kondansatör gerilimi artmakta ve PV dizisi gerilimine kadar şarj olmaktadır. MOSFET kapalı olduğunda ise akım bobinde akmaya devam etmektedir. Anahtarın kapalı olmasıyla bobin akımı kondansatör tarafından sağlanmaktadır. Böylece kondansatör deşarj durumuna geçer. Kondansatörün şarj ve deşarj olma derecesi MOSFET’in görev döngüsüne bağlıdır [25]. Bu durumlar göz önüne

alındığında eviricinin çıkış gerilimi ve çıkış akımı Denklem 7 ile hesaplanır.

$$V_o = D \cdot V_i, I_o = \frac{I_i}{D} \quad (7)$$

Denklem 7'deki D ifadesi, MOSFET'in sıfır ile bir arasında ondalık bir sayı ile edilen görev döngüsüdür. Burada giriş geriliminin polaritesi ile çıkış geriliminin polaritesi aynı olmaktadır. Polaritelerin aynı olması aynı topraklanmış iletkeni dönüştürücünün girişinde ve çıkışında tutma probleminin üstesinden gelinmesini sağlar. Düzenleyici yükselteç olarak tasarlanan devrede giriş geriliminin polaritesi ve çıkış geriliminin polaritesi zıt işaretlidir. Polaritelerin zıt işaretli olması negatif topraklama gereken durumlarda devrenin karmaşıklığının artmasına neden olabilmektedir [25]. Düzenleyici yükselteç evirici tasarımına ait çıkış gerilimi ve çıkış akımı Denklem 8 kullanılarak hesaplanır.

$$V_o = \frac{D}{1-D} \cdot V_i, I_o = \frac{1-D}{D} \cdot I_i \quad (8)$$

Denklem 8'de D değişkeni MOSFET'in görev döngüsünü ifade etmektedir. D 0,5'den küçük olduğunda  $V_{out}$   $V_{in}$ 'den küçük olmaktadır. D 0.5'den büyük olduğunda ise  $V_{out}$   $V_{in}$ 'den büyük olmaktadır. Bu nedenle, MPT, bir dizi maksimum güç noktasını izlemek için çıkış gerilimini artırabilir veya azaltabilir. MPT çıkış gerilimi azaldığında çıkış akımı artmaktadır. Ancak çıkış gücü ve giriş gücü birbirine eşit olmalıdır. MOSFET'in anahtar olarak açık olduğunda enerji bobinde depolanmaktadır. MOSFET anahtarı kapandığında ise indüktör akımı akmaya devam etmektedir. Bu nedenle kondansatör gerilimi çıkış gerilimine eşit olduğundan, akım R, C ve diyottan geçerek C'yi  $V_{out}$ 'a yükler. MOSFET anahtar olarak tekrar aktif olduğunda diyot ters taraflı hale gelir ve kondansatör dirençten boşalırken bobinde akım tekrar oluşur. Döngü böylece devam eder. Kondansatör ve bobin değerleri anahtarlama frekansının ve çıkış gerilimindeki dalgalanma miktarının belirlenmesinde kullanılır. İdeal bobinde ve kondansatörde enerji kaybı olmadığında ideal anahtarlama yaklaşılır. Bu durumda giriş geriliminden çekilen tüm gücün yüke aktarılması gerekir. Normal şartlarda bu bileşenlerin bazı kayıpları olacaktır. Bu kayıplar MPT'nin verimliliğine negatif olarak etki etmektedir. Bununla birlikte, iyi tasarlanmış bir MPT'nin genel verimliliği %90'dan fazla olmalıdır [26]. Ayrıca PV dizisinin maksimum güç noktasının izlenmesiyle MPT ile optimum akü şarj durumunun elde edilmesi de yapılmaktadır.



## 2.8. Eviriciler

Alternatif akımı doğru akıma çeviren veya doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazlara evirici ismi verilmektedir. Yükün gereksinimlerine bağlı olarak farklı tipte evirici kullanmak gereklidir. Uygun eviricinin seçimi, eviricinin verimliliğine, yükün dalga formu gereksinimlerine ve şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız tasarlanan bir PV sistemi parametrelerine bakılarak yapılır [22]. Tablo 1’de eviricilerin tiplerine özgü parametreleri listelenmiştir. Tabloya bakıldığında kare dalgalı eviriciler en iyi dalgalanma kapasitesine sahiptir. Ancak en yüksek harmonik bozucu problemi bulunmaktadır. Modifiyeli sinüs dalga evirici ise çıkış gücü anlamında düşük güçlü uygulamalarda kullanılmaktadır. Bozuculara karşın kare dalga evirici göre daha dayanıklıdır. Verimlilik açısından bakıldığında ise nispeten verimlidir. Darbe genlik modülasyonlu eviricinin verimi yüksektir. Ayrıca harmonik bozulmalardan oldukça az etkilenmektedir. Saf sinüs evirici ise Darbe genlik modülasyonlu evirici gibi harmonik bozulmalardan az miktarda etkilenmektedir. Ancak verim anlamında olumsuz bir dezavantajı bulunmaktadır [27].

**Tablo 1.** *Evirici Tipleri ve Performans Karşılaştırmaları*

Parametre	Kare Dalga	Modifiyeli Sinüs Dalgası	Darbe Genlik Modülasyonu	Sinüs Dalgası
<b>Çıkış Gücü Aralığı</b>	1MW	2,5KW	20KW	100KW
<b>Çıkış Güç çarpanı</b>	20x	4x	2,5x	4x
<b>Verimlilik (%)</b>	70-98	>90	>90	>90
<b>Harmonik Bozucu performansı (%)</b>	Maksimum 40	>5	<5	<5

Evirici performansı genellikle nominal güç çıkışı, aşırı gerilim kapasitesi, verimlilik ve harmonik bozulma açısından değerlendirilmektedir. Nominal çıkışın yakınında maksimum verimlilik elde edilebileceğinden evirici için verimliliğe karşı çıkış gücü eğrisine bakılır. Ayrıca yük dalgalanmaları ve güç kaynaklarındaki harmonik bozulmalar ısınmaya ve istenmeyen gürültüye neden olmaktadır [27].

Kare dalga eviricilerde kararsız multivibratörler veya katı hal anahtarları kullanılır. Kararsız multivibratörlerin kullanılmasının nedeni eviricinin bağımsız bir PV sisteminde kullanılmasını sağlamaktır. Eğer bir evirici, harici AC güç kaynağı ile senkronize edilmesi gerekiyorsa katı hal anahtarı devreye eklenir. Dolayısıyla bir PV dizisinde kare dalga oluşturmak için alternatif olarak pozitif veya negatif anahtarlama yapılır. Verimli bir anahtarlama için ise devreden akım geçtiğinde anahtarlama

elemanı boyunca gerilimi sıfır olarak tutulmalıdır. Bunun için yalıtımın sağlanması gerekmektedir. Yalıtım için MOSFET veya silikon kontrollü doğrultucular kullanılmalıdır. Doğru akımın kare dalga olarak elde edilmesiyle genliğe ait RMS AC dalga formu oluşturulmalıdır. Sonuç olarak bakıldığında DC girişli bir sistemde 10:1 dönüş oranına sahip bir transformatör tercih edilmelidir. Ancak bir transformatör zaman sabiti nedeniyle ancak %90 verimlilik gösterebilmektedir [25].

Kare dalgalar harmonik bozunuma ve gürültüye sebep olmaktadır. Ayrıca frekansın artırılması histerezis ve girdap akımı kayıplarını negatif yönde etkilemektedir. Bu iki durum sebebiyle yüklerin aşırı ısınması problemi ortaya çıkmaktadır. Eğer yük kare dalga uyarımı için uygun değilse modifiyeli edilmiş bir sinüs dalgası içeren evirici tercih edilebilir. Bu durumda dc kaynak çıkışının bir sinüs dalgası formuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu problemin çözümünde çok düzeyli bir H köprüsü tercih edilir. H köprüsü harmonik bozucuları minimuma indirmektedir. Dalga biçiminin bölümlerini elde etmek için anahtarlar, kutuplu transistör, MOSFET, silikon kontrollü doğrultucu (SCR) veya yalıtılmış kutuplu transistör kullanılır [28].

Şebeke hattına bağlı bir PV sistemi tasarımında PV dizisi içeren kaynağın %5'den az harmonik bozulmaya sahip olması gerektiği IEEE Standardı 929-2000 ile belirlenmiştir. Harmonik bozulma miktarı temel frekanstaki harmonik bozulmaların tüm frekanslardaki harmonik bozulmalara oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Ancak 5 seviyeli modifiyeli bir sinüs dalgalı eviricide  $V_{rms}$  sabit tutulurken  $V_{dc}$  değişirse %5 kuralı karşılanamaz. Bu durumda saf sinüs eviricilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Saf sinüs dalgalarına yaklaşmak için daha yüksek seviyeli H-Köprülerini kullanmak gerekmektedir. Diğer bir çözüm ise darbe genişliği modülasyonu tekniğidir [29].

Darbe genişlik modülasyonu (PWM) evirici tasarımında belirli bir dalga seviyesine eşdeğer ortalama değere sahip bir dalga formu üretilmektedir. Üretilen dalga formu görev döngüsünün frekansına bakılarak denetlenir. Bu işlem ile genlik ve frekans belirlenir. Sıfır ortalama değerli dalga formları oluşturmak için darbeleri pozitif seviye ile negatif seviye arasında değiştirmek gerekmektedir. Bu durum DC bileşeninin yükte kayıplara neden olabileceği yükleri sürerken önemlidir. Eğer sıfır ortalama sapma olursa sürülen motor ya a aydınlatma gibi AC araçlarda arızalanmaya ve ısınmaya sebep olmaktadır. Bu nedenle, bir eviricinin çıkışındaki herhangi bir DC bileşeninin filtrelenmesi önem arz etmektedir [22].

PWM dalga formunu elde etmek amacıyla gerilim karşılaştırıcısı kullanılır. Bu karşılaştırıcının girişine uygulanan üçgen dalga modül edici dalga biçimi uygulanır. Karşılaştırıcı çıkışında 1 ya da sıfır sinyali üretilir. Modüle edici sinyal üçgen dalga formunu her aştığında karşılaştırıcı 1 diğer durumlarda ise 0 olmaktadır. Sonuç olarak ortalama değerine sahip bir çıkış PWM dalga biçimi ele edilir. Bu dalga biçimi yükün geriliminin anında değişmesine izin vermemeyi sağlamaktadır. Ayrıca çok seviyeli PWM dalga formundaki harmonik bozulmayı önemli ölçüde azaltmaktadır. Devreye ikinci bir karşılaştırıcı eklenerek üç seviyeli bir PWM dalga biçimi oluşturulabilir, böylece bir karşılaştırıcı, modülasyon sinyali pozitif olduğunda pozitif giden darbeyi kontrol eder ve diğer karşılaştırıcı, modülasyon sinyali negatif olduğunda negatif giden darbeyi kontrol eder. Ayrıca anahtarlama elemanları verimlilik üzerinde etkindir. Burada yapılan işlemde minimum kayıp ile verimliliğe önemli ölçüde pozitif katkı sağlanmaktadır [28].

## 2.9. Jeneratörler

Işınım miktarındaki mevsimsel değişimler ve PV sistemine bağlanan yüklerin farklı zamanlarda farklı enerji ihtiyaçlarının olması PV sisteminin tasarımını etkilemektedir. Belirli zamanlara yüksek miktardaki enerji ihtiyacı olması durumunda daha geniş bir PV panel alanının gereksinimi yerine jeneratörler sisteme entegre edilebilir. Küçük ve portatif jeneratörlerin nispeten düşük edinim maliyetleri ile jeneratörü PV dizisi olmadan basitçe kullanmak daha ekonomik olabilir [5].

## 2.10. Kablolama ve Kod Uyumluluğu

Elektrik sistemlerinin güvenliğinde bazı kod uyumlulukları ve standartları kullanılmaktadır. Bir PV sistemi, potansiyel bir elektriksel güvenlik tehlikesi oluşturmaya yetecek kadar yüksek gerilim üretebilmektedir. Dolayısıyla PV ile elektrik üretim sistemleri bazı kod uyumlulukları ve standartlarına dâhil edilmiştir. Bu kodlardan en önemlileri Ulusal Elektrik Kodu ve yardımcı program arabirimi standardı (IEEE 929 2000) olarak sayılabilir. Ayrıca PV sistemlerinde mekanik bileşenler olması ve bina inşasında temsil edilmesi sebebiyle farklı dizi ve kodlarla içerik genişlemektedir [29].

## 2.11. Sistem Bileşenlerinin Dengesi

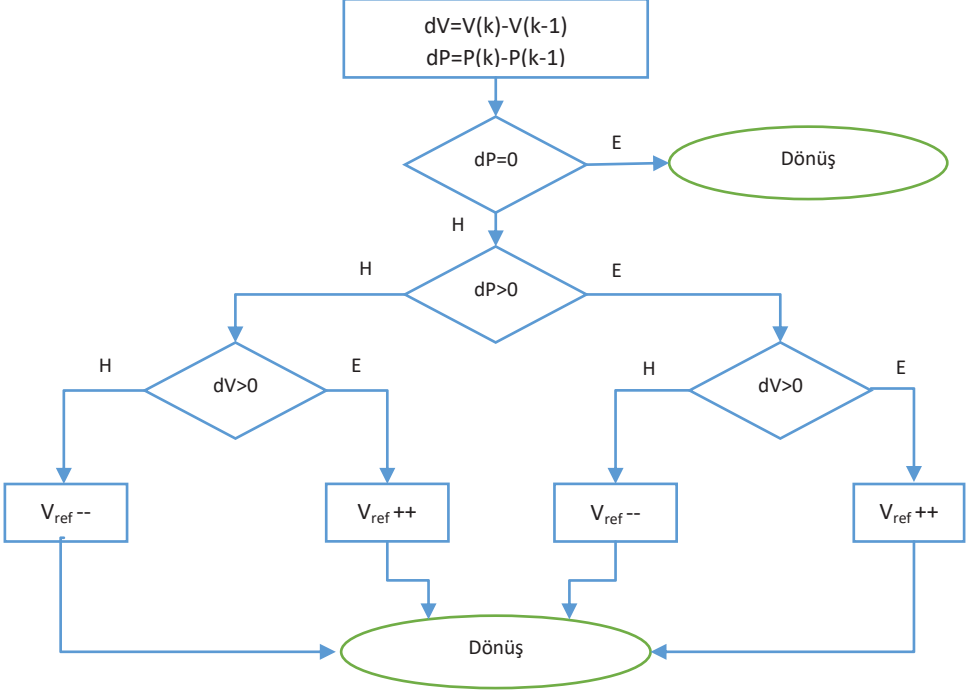
Sistem bileşenlerinin dengesi (BOS) bir dizi modülde oluşmaktadır. Bu modüller içerisinde kablolama, topraklama, koruyucu elemanlar, montaj ve akü kapları yer almaktadır. BOS olarak bakıldığında bir diğer

durum ise bazı yüklerin BOS'un bir parçası olarak kabul edilmesi; ancak diğer durumlarda yüklerin sistemin bir parçası olarak kabul edilmesi ayrımının yapılması gerekmektedir. Bu ayrım genellikle, herhangi bir yükün çalışmasına katkıda bulunan bir kişi olarak kurulmasının aksine, sistem belirli bir yükü çalıştıracak şekilde kurulduğunda yapılır [11].

### 3. PV TASARIMI

Artırıcı dönüştürücü kullanarak maksimum güç noktası izleme benzetim çalışması bu bölümde gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen modelde karıştır ve izle (P&O) algoritması MPPT uygulamasında kullanıldı. MPPT'yi bir yükseltme dönüştürücüde uygulayabileceğimiz iki temel yol bulunmaktadır. İlk yöntemde de hem PV dizisi gerilimi hem de akım algılanır. Bu değerler MPPT'ye uygulanır. MPPT'nin çıkışı doğrudan PWM üretimi için gerekli oran verilir. Bu değer bir taşıyıcı sinyal ile karşılaştırıldıktan sonra MOSFET'in gate girişine verilir.

İkinci yöntemde de ilk yöntemde olduğu gibi PV gerilim ve akım değerleri ölçülerek MPP'ye uygulanır. Burada görev yerine  $V_{ref}$  gerilimi çıkış olarak elde edilir. Sonrasında bu referans gerilimi ölçülen gerilim ile farkı alınarak hata değeri bir PI denetleyiciye uygulanır. PI denetleyici çıkışı görev oranını verecektir. Belirli bir değer ile karşılaştırılan bu sinyal ile taşıyıcı sinyal elde edilir. Bu sinyal MOSFET gate kapısına uygulanır. Bu yöntem kapalı çevrim kontrol mekanizması ile yönetildiği için ilk yöntemde göre daha etkili bir MPPT takibi sağlamaktadır. Bu çalışmada kapalı çevrim olan yöntem daha verimli olduğu için ele alındı. Yönteme ait P&O akış diyagramı Şekil 9'da verilmiştir.

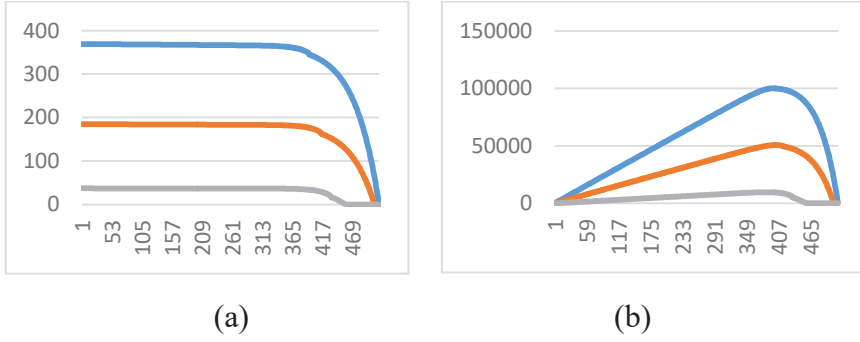


Şekil 9. Karıştır ve izle (P&O) algoritması Akış Diyagramı

Bu tasarımın ilk adımı yükseltme çevirici tasarımıdır. Bu eviriciye ait parametreler Tablo 2’de sunulmuştur. Bu verilerin elde edilmesinde kullanılan PV dizisine ait akım gerilim ve akım güç karakteristikleri Şekil 10a ve Şekil 10b’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Yükseltme çevirici parametre ve değerleri

Parametre	Değer
Giriş gerilimi (Vi)	250-350V
Çıkış gerilimi (Vo)	600V
Anma gücü	100kW
Anahtarlama frekansı (fsw)	5kHz
Akım Dalgalanması ( $\Delta I$ )	%5
Gerilim dalgalanması ( $\Delta I$ )	%1



**Şekil 10.** PV dizisinin maksimum nokta izlemedeki elde edilen (a) I-V ve (b) P-V Karakteristik Eğrileri

MPPT'nin giriş gerilimi 250-350V arasındadır. Giriş akımını hesaplamak için anma gücü giriş gerilimine bölünür. Giriş akımı 400A olarak elde edilir. Dalgalanma %5 olarak verildiği için akım dalgalanması 20A ve gerilim dalgalanması  $600 \times \%1$  ile 6V olarak hesaplanır. Çıkış akımı ise anma geriliminin çıkış gerilimine oranıyla  $100/600=166A$  olarak elde edilir. Yükseltici çeviricinin endüktansı ve kapasitansı ise Denklem 9 ve Denklem 10 ile hesaplanır.

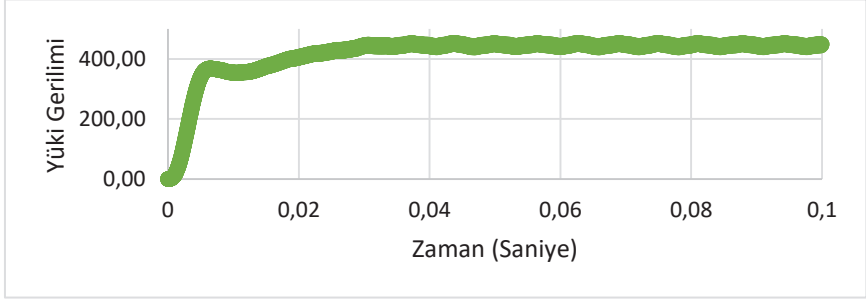
$$L = \frac{v_i(V_o - V_i)}{f_{sw} \cdot \Delta I \cdot V_o} = 1,45mH \quad (9)$$

$$C = \frac{I_o(V_o - V_i)}{f_{sw} \cdot \Delta V \cdot V_o} = 3227\mu F \quad (10)$$

Geleneksel P&O tekniği bazen PV gerilim veya akım kesintileri yoluyla çalışır ve fotoelektrik çıktının gücünü önceki türbülans döngüsü ile karşılaştırır. Geleneksel P&O teknolojisi, gerilim değişiklikleri tarafından üretilen PV gücündeki varyasyon üzerine inşa edilmiştir. Şekil 8, belirli bir radyasyonda PV çıkış gücüne karşı plaka gerilimini göstermektedir. A noktası ( $dP / dV > 0$ ) ve B noktası ( $dP / dV < 0$ ) olmak üzere iki konum vardır. Gerilimin küçük adım boyutu kullanıldığında, yavaş bir MPPT yanıt sonucu ile küçük sabit durum salınımlarına ulaşır

ve güç kaybını artırır. Sonuç olarak, tipik MPPT denetleyicisine bağlı üç kısıtlama vardır. Birincisi, MPPT etrafındaki büyük dalgalanmalardan sorumludur, bir sonraki kısıtlama denetleyicinin kısa hız yanıtıdır ve üçüncüsü, MPPT sürücüsünü hızlı değişen radyasyonun altına düşürebilir.

Hesaplanan değerler ile yapılan deney sonucu Şekil 11'deki gibi bir çıkış elde edilmiştir. Referans giriş olarak verilen 1000 ile kesişen maksimum güce sistem simülasyon ortamında ulaşabilmiştir.



**Şekil 11.** *PI Denetleyiciyle Tasarlanan ve P&O ile kodlanan MPPT içeren PV Sistemin Çıkış Gerilimi*

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada PV sistemlerinin ana bileşenleri tanıtılmıştır. Bu bileşenlerin verimlilik anlamındaki katkıları bölümlerde ifade edilmiştir. En önemli katkı MPPT olarak isimlendirilen en yüksek güç durumunun izlenerek şarj veya yük beslemesinin etkili ve verimli yapılması olarak görülmektedir. Buna yönelik yapılan simülasyon çalışmasında PI kontrolör eklenen bir PV sistemin tasarımı gerçekleştirildi. Yapılan analizler ile MPPT kullanılan PV sistemi referans girişi takip edebildi. P&O algoritmasının kullanıldığı MPPT ile tasarımında sıcaklığın etkisi ve ışınım miktarının önemli derecede PV sistemlerinin enerji üretim miktarını etkilediği gözlemlendi.

## KAYNAKLAR

- [1] Khan, A. S. M., Verzijlbergh, R. A., Sakinci, O. C., & De Vries, L. J. (2018). How do demand response and electrical energy storage affect (the need for) a capacity market?. *Applied Energy*, 214, 39-62.
- [2] Tafarte, P., Kanngießler, A., Dotzauer, M., Meyer, B., Grevé, A., & Millinger, M. (2020). Interaction of electrical energy storage, flexible bioenergy plants and system-friendly renewables in wind-or solar PV-dominated regions. *Energies*, 13(5), 1133.
- [3] Mirza, W. A., Zad, H. S., & Bashir, S. (2020, January). Robust and Optimal Maximum Power Point Tracking Control of Solar PV Power System. In *2020 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)* (pp. 1-6). IEEE.
- [4] Valenciaga, F., & Inthamoussou, F. A. (2018). A novel PV-MPPT method based on a second order sliding mode gradient observer. *Energy Conversion and Management*, 176, 422-430.
- [5] Gonzalez, A., Riba, J. R., Esteban, B., & Rius, A. (2018). Environmental and cost optimal design of a biomass-Wind-PV electricity generation system. *Renewable energy*, 126, 420-430.
- [6] Zicmane, I., Berzina, K., Kuckovskis, J., Berzina-Novikova, N., & Zicmane, I. (2017, October). The model of places for recreation and relaxation of people taking into account the urboecological aspects of evolution of a Modern City. In *2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN)* (pp. 385-390). IEEE.
- [7] Wang, X., Wang, J., & Liu, J. (2020). Vehicle to Grid Frequency Regulation Capacity Optimal Scheduling for Battery Swapping Station Using Deep Q-Network. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(2), 1342-1351.
- [8] Ali, N., Priyadharshini, K. S., Sathiyapriya, S., Soundaryalakshmi, D., & Suganya, V. (2017). A." Performance Analysis of Switched Capacitor Multilevel DC/AC Inverter using Solar PV Cells.". *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, 3, 104-109.
- [9] Wei, D., Guangxiu, Y., Junjun, Z., & Meiyin, L. (2019). Design of demonstration platform for PV DC-DC converter in DC distribution network.
- [10] Hamada, T., Nakamoto, K., Kashiwaya, T., Nanno, I., Ishikura, N., Oke, S., & Fujii, M. (2019, November). Characteristics of Failure SiC Schottky Barrier Diode and Si Schottky Barrier Diode using Induced Lightning Serge Application Test. In *2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)* (pp. 631-634). IEEE.
- [11] Campos, R. E., Sako, E. Y., dos Reis, M. V. G., & Villalva, M. G. (2018, November). A Review of the Main Methods to trace the IV Characteristic



- Curve of PV Sources. In 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON) (pp. 24-30). IEEE.
- [12] Jumaat, S. A., Crocker, F., Abd Wahab, M. H., Radzi, N. H. M., & Othman, M. F. (2018, July). Prediction of Photovoltaic (PV) Output Using Artificial Neural Network (ANN) Based on Ambient Factors. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1049, No. 1, p. 012088). IOP Publishing.
- [13] Hua, C. C., Fang, Y. H., & Wong, C. J. (2018). Improved solar system with maximum power point tracking. *IET Renewable Power Generation*, 12(7), 806-814.
- [14] Reno, M. J., Coogan, K., Seuss, J., & Broderick, R. J. (2017). Novel Methods to Determine Feeder Locational PV Hosting Capacity and PV Impact Signatures (No. SAND2017-4954). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).
- [15] Saleh, M. U., Deline, C., Kingston, S., Jayakumar, N. K. T., Benoit, E., Harley, J. B., ... & Scarpulla, M. (2019). Detection and localization of disconnections in PV strings using spread-spectrum time-domain reflectometry. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10(1), 236-242.
- [16] Yang, J., Yang, Z., & Duan, Y. (2021). Load matching and techno-economic analysis of CSP plant with S-CO<sub>2</sub> Brayton cycle in CSP-PV-wind hybrid system. *Energy*, 223, 120016.
- [17] Pendem, S. R., & Mikkili, S. (2018). Modeling, simulation and performance analysis of solar PV array configurations (Series, Series-Parallel and Honey-Comb) to extract maximum power under Partial Shading Conditions. *Energy Reports*, 4, 274-287.
- [18] Puranen, P., Kosonen, A., & Ahola, J. (2021). Technical feasibility evaluation of a solar PV based off-grid domestic energy system with battery and hydrogen energy storage in northern climates. *Solar Energy*, 213, 246-259.
- [19] Rahimzadeh, A., Christiaanse, T. V., & Evins, R. (2021). Optimal storage systems for residential energy systems in British Columbia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101108.
- [20] Silva, F. D., Vale, M. H. M., & Andrade, M. M. (2020). Impact of local PMU-based equivalent methods on real-time voltage stability assessment. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14(16), 3117-3126.
- [21] Zhu, Y. (2020). Required Accuracy Level of Critical Load Model Parameters. In *Power System Loads and Power System Stability* (pp. 129-142). Springer, Cham.
- [22] Mukherjee, S., Chattaraj, S., Prasad, D., Singh, R. P., & Khan, M. I. (2021). MPPT-Based Solar Powered Water Pumping With RMS: Augmentation of IoE Technology. In *Role of IoT in Green Energy Systems* (pp. 194-224). IGI Global.

- [23] Rokonuzzaman, M., Shakeri, M., Hamid, F. A., Mishu, M. K., Pasupuleti, J., Rahman, K. S., ... & Amin, N. (2020). IoT-enabled high efficiency smart solar charge controller with maximum power point tracking—design, hardware implementation and performance testing. *Electronics*, 9(8), 1267.
- [24] Wongsathan, R. (2020). Simulation model for controlling of the photovoltaic water pumping system. *UBU Engineering Journal*, 13(2), 156-165.
- [25] Kraiem, S., Hamouda, M., & Slama, J. B. H. (2020). Conducted EMI mitigation in transformerless PV inverters based on intrinsic MOSFET parameters. *Microelectronics Reliability*, 114, 113876.
- [26] Lujara, N. K. (2017). Loss Modeling of A Permanent Magnet Dc Motor Drive Water Pumping System. *Tanzania Journal of Engineering and Technology*, 35(2).
- [27] Haq, S., Biswas, S. P., Hosain, M. K., Rahman, M. A., Islam, M. R., & Jahan, S. (2021). A Modular Multilevel Converter with an Advanced PWM Control Technique for Grid-Tied Photovoltaic System. *Energies*, 14(2), 331.
- [28] Yadav, S. K., Mishra, N., Singh, B., Padmanaban, S., & Blaabjerg, F. (2021). Modified SPWM technique for improved harmonic performance of single PV array fed grid-tied five-level converter. *IET Power Electronics*, 13(19), 4498-4506.
- [29] Ghaderi, D., Bayrak, G., & Guerrero, J. M. (2021). Grid code compatibility and real-time performance analysis of an efficient inverter topology for PV-based microgrid applications. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 128, 106712.

# Bölüm 4

## RANSOMWARE TEHDİDİNİN EVRİMİ, BİLİŞİM SİSTEMLERİN KORUNMASI VE ZARAR HAFİFLETME STRATEJİLERİ

*Eyyüp YILDIZ<sup>1</sup>*

*Ahmet BARAN<sup>2</sup>*

*Fulya ASLAY<sup>3</sup>*

---

1 Arş. Gör., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye, [eyyup.yildiz@erzincan.edu.tr](mailto:eyyup.yildiz@erzincan.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0002-7051-3368>

2 Prof. Dr., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye, [baran@erzincan.edu.tr](mailto:baran@erzincan.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0003-2017-799X>

3 Dr. Öğr. Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye, [faslay@erzincan.edu.tr](mailto:faslay@erzincan.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0001-5212-6017>



## 1. GİRİŞ

İnternetin bilgisayarları birbirine bağlamasıyla birlikte yazılımlara ulaşmak oldukça kolay ve hızlı bir hale gelmiştir. Bu durum aynı zamanda zararlı yazılımların çok daha kolay yayılması anlamına da gelmektedir. Gelişen güvenlik önlemlerine rağmen zararlı yazılımlar geçmişte olduğu gibi günümüzde de sistemleri tehdit etmeye devam etmektedir. Yakın zamana kadar bu tip kötü amaçlı yazılımların temel amaçları etkilediği bilgisayara zarar vermek iken, kötü niyetli kişilerin bu yazılımlardan maddi fayda elde edebileceğini fark etmeleri üzerine kötü amaçlı yazılımlar bambaşka bir yöne doğru evrilmiştir.

Üreticisi tarafından maddi fayda amaçlanan en tehlikeli zararlı yazılım türlerinden birisi de Ransomware (fidye yazılımı) yazılımıdır [1]. Ransomware bulaştığı bilgisayarın işletim sisteminin ve kullanıcı dosyalarının kullanılmasını, istediği fidye ödenene kadar engellemeyi amaçlamaktadır. Yazılım kişisel bilgisayarları, ticari şirketleri, akıllı telefonları gibi olmak üzere birçok sistemi etkileyebilmektedir [2]. Zararlı yazılımların temel prensibi sızdıkları sistemin kendilerini fark etmemesi üzerine kurulu olmasına rağmen ransomware diğerlerinden farklı olarak bilgisayara sızdığını kullanıcıya haber vermektedir. Ransomware bu yapısı sebebiyle zararlı yazılımlar arasında farklı bir yere sahiptir [1]. Ransomware istenmeyen mailler (spam), sahte güncelleme indirme veya usb bellekler gibi yollarla bilgisayarlara ve mobil sistemlere girebilmektedir. Yazılım sistemde var olan açıklardan faydalanarak sistemi kilitler ve veya bilgisayarda bulunan kullanıcı dosyalarını (docx, mp4, txt, pdf, jpg gibi) şifreleme algoritmaları vasıtasıyla şifreleyerek dosyaları kendi üzerine yazar. Daha sonra sistem ekranına bir uyarı mesajı yayınlayarak kullanıcıya sistemin eski haline getirilmesi için fidye ödenmesine yönelik talimatlar görüntüler.

Ransomware, en çok tan en aza kullanılan türler olarak, crypto ransomware, locker ransomware, misleading apps ve FakeAV olmak üzere 4 farklı türe sahiptir 1989 yılında oluşturulan AIDS-trojan (PC CRYBORG) adındaki virüs ilk ransomware virüsü olarak kabul edilmektedir. Disketler aracılığıyla yayılan virüs, dosya şifrelemek için basit simetrik şifreleme algoritması kullanmıştır [3]. İlk modern ransomware ise 2005 yılında ortaya çıkmıştır. GP Code olarak adlandırılan yazılım RSA şifreleme algoritması kullanarak bilgisayardaki dosyaları şifrelemiştir İlk locker ransomware olan Trojan.Ransom.C2008 yılında ortaya çıkmıştır [4]. Diğer taraftan sanal para birimlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte 2011 yılında büyük miktarda sistemlere etki eden ransomware'ler ortaya çıkmaya başlamıştır. 2012 yılında resmi kurumlardan gelmiş gibi gösterilen mesajlarla yayılan ransomware'ler ortaya çıkmıştır. 2013 yılında ilk crypto ransomware olan Cryptolocker ortaya çıkmıştır. Belirli

uzantılı dosyaları şifreleyen ve orijinallerini silen Cryptolocker, ödeme yöntemi olarak bitcoin veya ön ödemeli çek kullanmaktadır [2], [5]. 2014 yılında CryptoDefense, CryptoWall ve TorrentLocker gibi yeni crypto ransomware'ler ortaya çıkmıştır. 2015 yılında ransomware-as-a-service (RaaS) ortaya çıkmıştır. RaaS ile birlikte herhangi bir kişi kendi ransomware'ini oluşturabilmektedir. RaaS, oluşturulan ransomware'in aldığı fidyelerin belirli bir kısmını almaktadır. Eylül 2015'te Android telefonların PIN kodlarını resetleyerek telefon ekranını kilitleyen mobil ransomware, LockerPin ortaya çıkmıştır. 2016 yılında CryptXXX, Petya, Cry ve Locky gibi yeni ve güçlü crypto ransomware 'ler ortaya çıkmıştır [5]. Aynı yıl Apple işletim sistemini etkileyen ilk ransomware KeRanger ortaya çıkmıştır [6]. 2017 yılında oluşturulan WannaCry crypto ransomware 150 ülkeyi etkilemiştir [7]. 2018 yılında ortaya çıkan GandCrab isimli ransomware, çoğunluğu Avrupa ülkeleri olmak üzere yaklaşık 50.000 bilgisayarı etkilemiştir. Aynı yıl ortaya çıkan Zenis ransomware'i sadece dosyaları şifrelemekle kalmayıp, var olan yedekleri de silmektedir [5]. GrowdStrike global threat report 2020'ye göre 2019 yılında en fazla mağduriyete sebep olan ransomware'ler Ryuk, DoppelPaymer ve REvil şeklinde sıralanmıştır. Bununla birlikte aynı raporda, sektörler için hangi ransomware tehdidinin öne çıktığı da belirtilmektedir. Buna göre akademik alanda Ryuk, teknoloji alanında BitPaymer, REvil ve Ryuk, sağlık alanında Ryuk ve REvil, finans alanında BitPaymer ve REvil öne çıkan ransomware'lerdir [8].

Sanal para birimlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte hızlı bir şekilde çoğalan ve gelişen ransomware tehdidi dünya çapında büyük maddi zararlara sebep olmaktadır. Dünya çapında 2015 yılında 325 milyon \$ zarara sebep olan ransomware, 2017 yılında 15 kat artarak 5 milyar \$, 2018 yılında 8 milyar \$ zarara sebep olmuştur. 2019 yılında ise 11,5 milyar \$ olarak tahmin edilen ransomware saldırılarının maliyetinin, 2021 yılı için 20 milyar \$'a kadar çıkacağı öngörülmektedir. Buna göre 2021 yılında ransomware'in tüm dünyaya maliyeti, 2015 yılındaki maliyetin neredeyse 57 katına ulaşacaktır [9][7], [10]–[12]. 2020 yılının 2. Çeyreği için ransomware virüslerinin ortalama olarak istedikleri fidye miktarı yaklaşık olarak 234 bin \$ olarak tespit edilmiştir [13].

Ransomware saldırılarının sebep olduğu zararın sadece ödenen fidye olarak görülmemesi gerekir. Verilerin geri getirilmesi süresince kaybedilen zamanın maliyeti, önlemeye yönelik güvenlik harcamaları, şirketler için çalışanların eğitimi ve başarılı saldırının sebep olduğu marka değer kaybı ve veri kaybı gibi sebepler ransomware saldırılarının tüm maliyetini oluşturmaktadır. Bu bağlamda 2017 yılında ransomware'in iş dünyası için ortalama maliyetinin 133000 \$ olduğu gözlemlenmiştir [14]. Malware, DoS atakları gibi siber atakları içerisinde ransomware

için şirketlerin %25'i siber sigorta tercih etmektedir [15]. Küçük ve orta ölçekli işletmeler çeşitli nedenlerle kendilerine yapılan saldırıları resmî kurumlara çoğunlukla rapor etmemektedirler. 2018 yılı verileri, ransomware'den etkilenen işletmelerin %77'sinin güncel güvenlik sistemleri kullanmalarına rağmen yine de saldırı kurbanı olduklarını göstermektedir. Barracuda'nın hazırladığı rapora göre 2019 yılının ilk çeyreğinde Amerika'daki işletmelerin %47'si ransomware saldırılarının hedefi olmuşlardır. Bununla birlikte saldırıya uğrayan bir işletmenin tekrar saldırıya uğramayacağı da garanti değildir. Örneğin dünyada en çok hedef alınan 6 ülkeden birisi olan Hindistan'daki işletmelerin %38'i ransomware saldırısına iki kez maruz kalmıştır [15].

Bu çalışmada global çapta etkisi olan ransomware tehdidinin bilinmesi, korunması ve alınması gereken önlemlerle ilgili olarak ransomware'in teknik tanımı, kurumsal etkileri ve korunma önerilerinden bahsedilmektedir.

## 2. Ransomware

### 2.1. Ransomware Çeşitleri ve Çalışma Şekilleri

Ransomware zararlı yazılımının sisteme bulaşma şekli diğer zararlı yazılımların bulaşma şekilleriyle benzerdir. Ransomware'in mail ekinde gönderilmesi en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Dünya çapında yapılan siber saldırıların %91'i mail ekinde yer alan zararlı dosyalardan (spear phishing) bulaşmaktadır [16]. Yazılım, kullanıcıya güvenilir bir yerden gönderilmiş izlenimi vererek gönderilen mailin ekinde yer almaktadır. Sosyal mühendislik yapılarak kullanıcıdan ekte yer alan dosyanın açılması istenmektedir [4]. Ransomware'in sisteme bulaşması için kullanılan diğer yöntem Exploit kit kullanılmasıdır. Exploit kit sistem açıklarından faydalanarak zararlı yazılımın bilgisayara bulaşmasını sağlamaktadır. Bu araç, genellikle hedef aldığı bilgisayar üzerinde zayıf güvenli veya güncel olmayan yazılımlardan faydalanmaya çalışarak zararlı yazılımı yüklemeye çalışmaktadır [17]. Bunlar haricinde botnet ve downloader, traffic distribution system (TDS), drive-by-downloads gibi yöntemler de zararlı yazılımların sistemlere yüklenmesi için kullanılan araçlardır [4], [18].

Bir sisteme bulaşan ransomware, türüne göre farklı işlemler yapmaktadır. Kullanıcının bilgisayarı kullanmasını engelleme yöntemine göre ransomware'lar misleading apps, FakeAV, locker ransomware ve crypto ransomware olmak üzere 4 farklı sınıfta toplanabilir [4]. Bunlar arasında günümüzde en çok locker ransomware ve crypto ransomware saldırıları gerçekleştirilmektedir.

İlk ransomware örneklerinden olan misleading apps, bulaştığı bilgisayara kendisini antivirüs programı olarak göstermektedir. Kullanıcıya bilgisayarın virüsler tarafından saldırıya uğradığını ve belirli bir ücret karşılığında bilgisayarı bu virüslerden temizleyeceğini söyleyerek çalışmaktadır. Bilgisayarda herhangi bir virüs olmamasına rağmen misleading apps ücret karşılığında, bir işlem yapmadan bilgisayarın temizlendiğini söylemektedir [4].

FakeAV, misleading apps zararlı yazılımının biraz daha gelişmiş sürümü olarak görülmektedir. FakeAV meşru bir antivirüs programını taklit ederek kullanıcıya bilgisayarın tarandığını ve birçok virüs bulunduğunu rapor ederek fidye istemektedir [4].

En çok 2011 ve 2012 yıllarında kullanılan ransomware türü olan locker ransomware, diğerlerinden farklı olarak fidye isteme süreci ile birlikte gerçekten kullanıcının bilgisayar sistemine etki etmektedir. Locker ransomware, bulaştığı bilgisayarın kullanıcı tarafından kullanılmasını kısıtlamak üzerine kurulu bir zararlı yazılımdır. Yazılım bilgisayarın kullanıcı ara yüzünün işlevselliğini devre dışı bırakarak, sistemin kullanılmasını engeller. Çoğunlukla kullanıcıya, sadece fidye ödenmesi için gerekli işlevlere erişim izni sağlanır. Bu kısıtlı kullanımda kullanıcıya verilen yetkiler, istenilen fidyenin ödenmesini sağlayacak şekilde sınırlandırılır [4], [19]. Locker ransomware bilgisayarın kullanımını kısıtlasa da var olan dosyalara ve programlara herhangi bir zarar vermemektedir. Bu durum istenilen fidyenin ödenmeden virüsün başarılı bir şekilde kaldırılması durumunda, bilgisayarın sorunsuz şekilde kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. Bununla birlikte giyilebilir cihazlar ve IoT gibi kullanıcı etkileşimi sınırlı ve birbirleri ile iletişim kuran sistemler için locker ransomware önemli tehditler (örneğin bir soğutma deposunun sıcaklığını otomatik olarak ayarlayan Iot cihazının uzun süre kullanımının önlenmesi) oluşturmaktadır [20]. Locker ransomware başarılı bir şekilde bulaştığı bilgisayar kullanıcılarına kendisini zararlı yazılım olarak göstermekten ziyade farklı yollarla kullanıcıdan fidye istemektedir. Çıkan fidye mesajı çoğunlukla resmi bir kurumdan gelmiş gibi gösterilerek hazırlanmış sahte bir metindir. Metin genellikle kullanıcıyı uygunsuz kara para trafiği, telif hakkı ihlali gibi yasadışı işlere bulaştığını ikna etme üzerine kuruludur. Kullanıcıya bu durumdan kurtulabilmesi için fidye ödemesi gerektiği söylenmektedir. Locker ransomware fidye için genellikle elektronik senet (e-voucher) veya belirli bir siteden bir ürün alınması gibi yöntemleri kullanmaktadır. Kullanıcının bilgisayar kullanması sınırlandırıldığı için bitcoin alımı gibi yöntemler genellikle tercih edilmemektedir [4].

Crypto ransomware günümüzde dünyada en çok kullanılan ransomware türüdür. Crypto ransomware zararlı yazılımını bu kadar etkili



yapan özellik, saldırılarda şifreleme algoritmalarının kullanılmasıdır. Crypto ransomware bulaştığı bilgisayardaki önemli, sık kullanılan gibi hedef dosyaları şifreleyerek şifre çözülmediği sürece onları kullanılamaz hale getirir ve şifreyi çözmek için kullanıcıdan fidye talep eder. Crypto ransomware zararlı yazılımının çalışma adımları dört ana başlık altında ifade edilebilir; sisteme bulaşma, şifreleme, fidye isteme ve şifre çözme [21]. İlk adım olan sisteme bulaşma, zararlı yazılımın saldıracağı sisteme nasıl bulaştığını ve şifreleme adımına geçmeden önce yaptığı işlemleri ifade eder. Sisteme başarılı şekilde bulaşan ransomware, sistem hakkında bilgi toplamaya ve şifreleme yapacağı dosyaları belirlemeye çalışır. Bunun için son açılan dosyalara, sıklıkla kullanılan dosyalara veya resimler, dokümanlar gibi genel klasörler içerisindeki dosyalara bakılarak önemli dosyaların haritası çıkartılır. Çıkarılan dosya haritası içerisinde ransomware önemli olan dosyaları belirlemeye çalışır. Bu işlem için dosyanın oluşturulma ve son değiştirilme tarihleri arasındaki farktan yararlanılarak hesaplanan entropi değeri, kullanılan tekniklerden birisidir [18]. Diğer taraftan bazı crypto ransomware sistem geri yüklemesini önlemek için sistem geri yükleme dosyalarını silmeye çalışır. Sistem geri yükleme dosyalarının silinmeye çalışılması sadece crypto ransomware zararlı yazılımlarına özgü bir işlemdir [17]. Şifreleme adımında ransomware kullandığı şifreleme algoritmasıyla, belirlenen dosyaları şifrelemeye başlar. Kullanıcının şifrelenen belgeleri kendi başına geri getirememesi için, doğru bir şifreleme yolunun izlenmesi hayati önem taşımaktadır. Şifreleme algoritmaları açık anahtarlı (simetrik) ve kapalı anahtarlı (asimetrik) şifreleme olmak üzere iki gruba ayrılır. Simetrik şifrelemede, şifreleme ve şifre çözme için kullanılan anahtar aynıdır. Bu durumda simetrik şifreleme kullanılan ransomware'lerde şifreleme için kullanılan anahtar kullanıcı bilgisayarında bulunduğu için, anahtarı bulan kullanıcı fidye ödemediği şifrelenmiş dosyaları çözebilir. Asimetrik şifrelemede ise public ve private olmak üzere iki anahtar vardır. Public anahtar, şifreleme için kullanılır ve kullanıcı bilgisayarında bulunurken, private key şifre çözme için kullanılır ve sadece saldırganlarda bulunur. Yüksek güvenilirliği sebebiyle, birçok crypto ransomware AES256 gibi asimetrik şifreleme kullanmaktadır [4]. Asimetrik şifreleme kullanan Ransomware genellikle, şifreleme için gerekli anahtarı almak için kendisine özel bir Command&Control (C&C) sunucusuna bağlanır. C&C sunucuları saldırganların kimliklerini gizlemek için kullandıkları genellikle botnet'lerden oluşan bir sistemdir [19]. Gelen talebe göre C&C sunucusu saldırılan bilgisayara özgü bir anahtar oluşturur ve gönderir. Ransomware aldığı bu anahtarla dosyaları şifreler. Bir dosya şifrelenirken doğrudan şifreli dosya orijinal dosyanın üzerine yazılabilir, doysa kopyalanıp şifrelenir ve orijinal hali silinir ya da dosya kopyalanıp şifrelenir ve orijinalinin üstüne yazılır [20]. Şifrelenen

dosyaların isimleri ve uzantıları çoğunlukla saldıran ransomware'a özgü bir şekilde değiştirilir [18]. Birçok ransomware şifreleme işlemi sırasında yaşanabilecek aksaklıklara (bilgisayarın kapanması gibi) karşı bir devam mekanizmasına sahiptir [17]. Crypto ransomware'in bilgisayara sızdığı andan itibaren şifreleme işlemi sonuna kadar yaptığı işlemler kullanıcıdan gizli bir şekilde yapılmaktadır. Şifreleme işlemi bittikten sonra, bilgisayar ekranında kullanıcıya yapılan işlemleri anlatan ve belirli bir süre içerisinde ödenmesi istenen fidye tutarını belirten bir mesaj yayınlanır. Bu aşamada kullanıcıların iki seçeneği vardır; fidyeyi ödemededen bilgisayarı düzeltmeye çalışmak ya da fidyeyi ödeyerek saldırganlardan bilgisayarı düzeltmesini beklemek. Birinci durumda şifreleme algoritmasının gücüne göre yapılacak işlemler değişiklik gösterebilir. İkinci durumda kullanıcı fidyeyi ödese bile saldırgan bilgisayarı düzeltmeyebilmektedir. Fakat çoğunlukla virüsün güvenilirliğinin sürdürülmesi açısından fidye ödenmesi durumunda saldırganlar şifrelenen dosyaları çözmektedirler. Crypto Ransomware'in istediği fidye ödemesi genellikle sanal para birimleri (bitcoin gibi) üzerinden yapılmaktadır [6]. Sanal para birimlerinin sağladığı yüksek gizlilik bu yöntemin seçilmesini sağlamıştır. Sanal para birimlerinin sağladığı bu kolaylık ransomware virüsünün bu derece artmasının sebepleri arasındadır. Kullanıcı fidye mesajında anlatılan yönergeleri uygulayarak fidyeyi ödediğinde ransomware, genellikle dosyaları eski haline getirerek işlemleri sonlandırır.

### 3. Büyük Zararlar Oluşturan Bazı Ransomware'ler

Yalnızca 2015-2019 yılları arasında yaklaşık olarak 900 yeni ransomware virüs ailesi ortaya çıkmıştır [22]. Teknoloji dünyası için büyük tehdit oluşturan ransomware virüslerinden birkaç önemli türü aşağıda açıklanmıştır.

#### CryptoLocker

2013 yılı sonlarında ortaya çıkan CryptoLocker ransomware, Windows işletim sistemine sahip bilgisayarları hedef almıştır. CryptoLocker mail ekinde yer alan zararlı dosya aracılığıyla, bilgisayarlara bulaşmıştır. RSA-2048 şifreleme algoritmasını kullanan CryptoLocker, ortalama olarak 300 \$ tutarında olan fidyenin ödenmesi için 3 gün süre vermektedir. CryptoLocker ortaya çıktığı ilk 4 ayda 250000'den fazla bilgisayara bulaşmıştır ve 27 milyon \$'dan fazla zarara sebep olmuştur [23].



Şekil 1: Cryptolocker [23]

## Wannacry

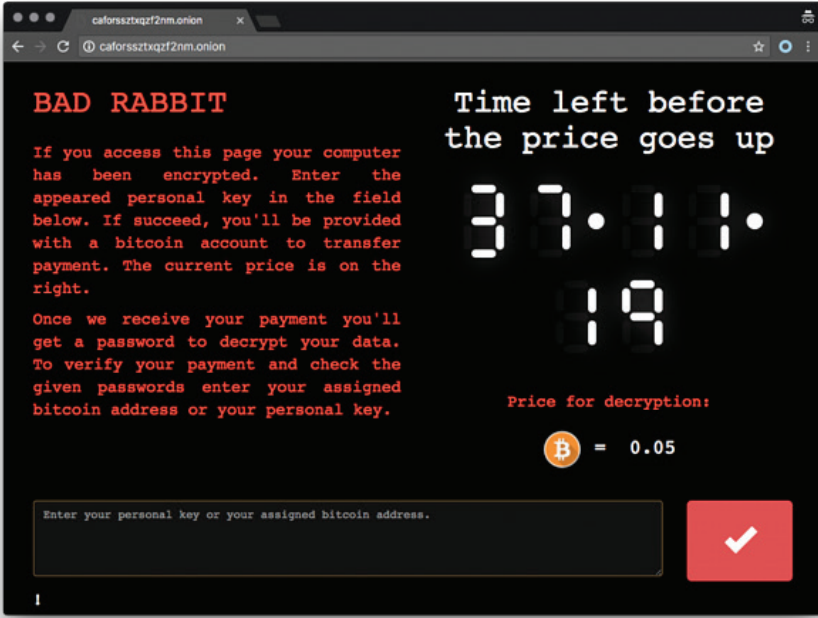
Kripto-solucan olarak nitelendirilen Wannacry, uzmanlar tarafından, ransomware gibi görünmesine rağmen daha çok kalıcı olarak veri silme ve verilerin kullanılmaz hale gelmesi işlemi yapan yazılım olarak görülmektedir [24]. Güncel olmayan işletim sistemlerindeki (Windows 8, XP gibi) dosya paylaşımı ağ protokolleri aracılığıyla yayılan Wannacry, EternalBlue olarak adlandırılan exploit kit kullanmaktaydı. 300.000 bilgisayarı etkileyen Wannacry, tahminlere göre yaklaşık 0.5 milyar dolar zarara sebep olmuştur [7]. Wannacry şifreleme için 128-bit AES şifreleme algoritması kullanmakla beraber, AES algoritmasında kullanılan şifreleme anahtarını ise RSA-2048 şifreleme algoritmasıyla şifrelemekteydi [21]. Fidyeye ödenmesi için kullanıcılara toplamda 7 gün süre veren Wannacry, ödenen fidyeleri takip etmemekteydi [21], [24]. Ayrıca fidye ödeyen birçok kullanıcı, verilerini geri döndürememişlerdir. Bu sebeple Wannacry uzmanlar tarafından kötü bir ransomware, iyi bir data wiper (veri silici) olarak görülmektedir [24]. Dünya çapında 200000 bilgisayarı etkilediği tahmin edilen Wannacry, İngilterenin ulusal sağlık servisine gerçekleştirdiği saldırıyla 100 milyon \$' dan fazla zarara sebep olmuştur [25].



Şekil 2: wannacry [26]

## Bad Rabbit

2017 yılında ortaya çıkan Bad Rabbit ransomware'i büyük oranda Rusya olmak üzere, Ukrayna, Türkiye ve Almanya'da görülmüştür [27], [28]. Sahte bir adobe flash uzantılı (.exe) dosyanın indirilip çalıştırılmasıyla bulaşan Bad Rabbit, ağ içinde bulunan diğer bilgisayarlara bulaşmak için EternalRomance exploit kit'ini kullanmaktadır. AES-128-CBC ve RSA-2048 şifreleme algoritmaları kullanarak şifreleme yapan Bad Rabbit'in şifrelediği dosyaları private key olmadan çözmek imkânsızdır [28]. Yaklaşık olarak 290 \$ fidye isteyen Bad Rabbit, kullanıcılara fidye ödenmesi için 40 saat süre vermekteydi [29].



Şekil 3: Bad Rabbit[29]

### Teslacrypt

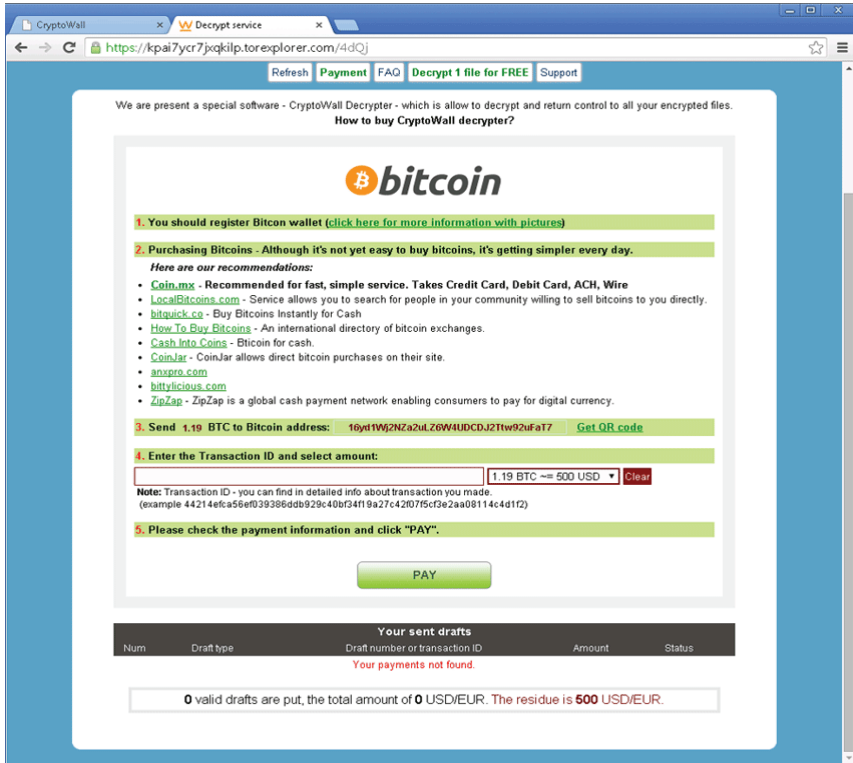
Bir crypto ransomware türü olan Teslacrypt veya Alpha Crypt, ilk olarak 2015 yılında ortaya çıkmıştır. Angler ve Nuclear isimli exploit kitler aracılığıyla yayılan Teslacrypt, 250-1000\$ arası fidye istemektedir. Teslacrypt AES şifreleme algoritması kullanmasına rağmen fidye mesajında yanıltıcı olarak RSA-2048 algoritmasını kullandığını söylemektedir. Kişisel dosya ve resimler gibi verileri şifreleyen Teslacrypt, ses, video dosyalarına ise etki etmemektedir. Teslacrypt, C&C sunucularıyla iletişim kursa da, şifreleme anahtarını local olarak ürettiği için, sunucu bağlantılarını kesmek şifrelemeyi engelleyememektedir [30]. Genellikle bitcoin üzerinden ödeme isteyen Teslacrypt, Amerika bölgesindeki kullanıcılar için paypal ile Avrupa bölgesindeki kullanıcılar içinse Ukash veya paysafecard'la da ödeme kabul etmekteydi [21].



Şekil 4: TeslaCrypt [31]

## Cryptowall

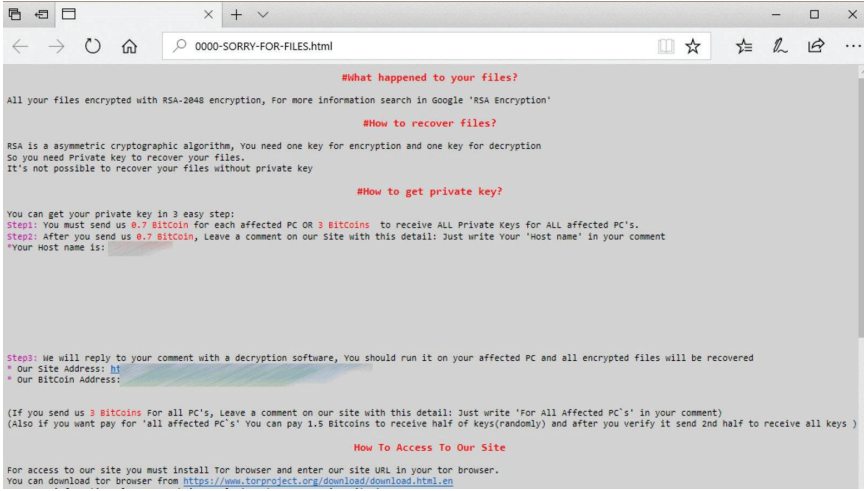
2014 yılında ortaya çıkan Cryptowall'ın ilk versiyonları RSA şifreleme algoritması kullanırken daha sonraki versiyonları AES şifreleme algoritmasını kullanmışlardır. Cryptowall exploit kit, drive-by downloads, mail ekinde yer alan CHM (compiled HTML file) uzantısını içeren RAR dosyası gibi dosyalarla bulaşabilmektedir [32]. Nisan 2014 ile haziran 2015 arasında Amerika'da yaklaşık 18 milyon \$ zarara sebep olan Cryptowall, 200-10000 \$ aralığında fidye istemektedir [25]. Ortaya çıktığı ilk 4 ayda, CryptoWall 600000'den fazla bilgisayarı etkilemiş ve 5 milyondan fazla dosyayı şifrelemiştir [33].



Şekil 5: Cryptowall [33]

## SamSam

İlk olarak 2016 yılında ortaya çıkan SamSam, özellikle ABD sınırları içerisinde aktif olmuştur. Diğer Ransomware yazılımları genellikle rastgele olarak yayılırken, SamSam belirli bir sisteme sızmak için uğraşır. SamSam sisteme sızdıktan sonra fidye istemeden önce ağda olabildiğince çok bilgisayarı şifrelemeye çalışmaktadır [34]. SamSam şifreleme için 2048-bit RSA algoritması kullanmaktadır [35]. SamSam 2018 yılında yapılan saldırıların büyük çoğunluğu sağlık sektörüne yönelik olarak gerçekleşmiştir [34]. Aynı yıl Atlanta (ABD) şehrine yapılan saldırıda beş kurum 10 gün boyunca verilerine ulaşamamıştır ve saldırganların istediği \$51.000 fidye ödenmemiştir [36]. Verilerin geri getirilme maliyeti ise 17 milyon \$'ı bulmuştur [37].



Şekil 6: SamSam [38]

## Ryuk

2018 yılının ağustos ayında ortaya çıkan Ryuk ransomware virüsü, fazla miktarda fidye alabileceği büyük çaptaki organizasyonları hedef almıştır. Fidye ödemelerini kripto para üzerinden alan Ryuk, yaklaşık olarak 3,7 milyon \$fidye toplamıştır. Ryuk ransomware spam mail aracılığıyla veya Emotet yardımıyla bilgisayarlara bulaşmaktadır [39].

Your network has been penetrated.

All files on each host in the network have been encrypted with a strong algorithm.

Backups were either encrypted or deleted or backup disks were formatted.  
Shadow copies also removed, so F8 or any other methods may damage encrypted data but not recover.

We exclusively have decryption software for your situation  
No decryption software is available in the public.

DO NOT RESET OR SHUTDOWN - files may be damaged.  
DO NOT RENAME OR MOVE the encrypted and readme files.  
DO NOT DELETE readme files.  
This may lead to the impossibility of recovery of the certain files.

To get info (decrypt your files) contact us at  
KurtSchweickardt@protonmail.com  
or  
KurtSchweickardt@tutanota.com

BTC wallet:  
14hVKm7Ft2rxDBFTNkkRC3kGstMGp2A4hk

Ryuk  
No system is safe

Şekil 7. Ryuk [39]



## Pay2Key

2020 yılında ortaya çıkan Pey2Key ransomware'i büyük oranda İsrail şirketlerini hedef almaktadır. Fidyeye ödemelerini bitcoin üzerinden yapılmasını talep eden Pay2Key, 7 ile 9 bitcoin arasında fidye istemektedir [40]. Pay2Key Remote Desktop Protocol'ünün zayıflığından yararlanarak sistemlere bulaşmaktadır. C++ dili kullanarak yazılan Pay2Key, RSA ve AES şifreleme yöntemlerini kullanmaktadır [41].



Şekil 8. Pay2Key [42]

## 4. Ransomware'den Korunma Yöntemleri

Ransomware saldırısına maruz kalan bir sistemde verileri geri getirmek oldukça zordur. Özellikle crypto ransomware saldırılarında açık anahtarlı şifreleme algoritması kullanılması durumunda verileri geri getirmek için şifre çözme anahtarının kullanılması gerekmesi sebebiyle (bu kurban tarafından bilinmemektedir) neredeyse imkânsızdır. Bu sebepler Ransomware saldırılarından korunmak için önerilen yöntemler 9 genel başlık altında toplanabilir[43]–[45];

→ Tüm önemli verilerin harici bir belleğe düzenli aralıklarla yedeklenmesi çok önemlidir. Güncel verilerin yedeğinin olması durumunda istenilen fidye ödenmeden saldırı önlenir.

→ Bilgisayarın işletim sisteminin ve bilgisayarda kullanılan yazılımların gerekli güncellemeleri zamanında yapılmalıdır. Güncel yazılımlar güvenlik açıklıklarını azaltmaktadır.

→ Güvenlik sistemlerinin en zayıf halkası olan kullanıcılar, ransomware konusunda eğitilmeli ve bilinçlendirilmelidir.

→ Fidyeye ödenmesi durumunda verilerin geri getirileceği garanti değildir. Bununla birlikte Ransomware için istenen fidye ödendiği takdirde saldırıların %93'ünde şifre çözme anahtarı geri gönderilmektedir. Buna göre de dosyaların %86'sı geri getirilebilmektedir.

→ Sistemlerde bilinmeyen .exe dosyaların çalışmasını engelleyecek protokollerin olması gereklidir. E-posta sunucuları eklentilerdeki .exe dosyaları sıkıştırılmış dahi olsa indirilmeyecek şekilde ayarlanmalıdır.

→ Güncel ve güçlü bir anti virüs programı kullanılmalı ve güvenlik duvarı etkinleştirilmelidir.

→ Güvenirliği şüpheli dosyalar, programlar, e-postalar açılmamalı, bilinmeyen web sayfalarından yazılım indirilmemelidir.

→ İnternet güvenliğini sağlamak için güncel teknolojiler, standartlar kullanılmalıdır.

→ Mümkünse işletmelerin siber sigorta (cyber insurance) yaptırması tavsiye edilmektedir.

Bulut sistemler günümüzde hemen hemen her seviyede kullanıcının kullandığı teknoloji haline gelmiştir. Özellikle cihaza bağıllığı ortadan kaldırması açısından verilere her yerden ulaşılabilme imkânı sağlayan bulut sistemler, diğer sistemler gibi siber saldırılara maruz kalmaktadır. Ransomware virüsü de bulut sistemleri tehdit eden zararlı yazılımlardan birisidir. Örneğin Google drive, DropBox, OneDrive gibi bulut sistemleri lokal makinelerde senkronizasyon sağlayan masaüstü uygulamasına sahiptir. Drive üzerinden birçok kullanıcı tarafından ortak kullanılan bir dosyanın şifrelenmesi mümkündür. Lokal drive uygulamasının kullanıldığı bir bilgisayara bulaşan ransomware driveda bulunan dosyaları da şifreleyebilir. Bu durumda drive dosya içeriği değiştiği için şifreli dosyayı güncel dosya olarak kabul ederek senkronizasyon ile şifrelenmiş dosya tüm kullanıcılarda güncellenir [46], [47]. Bulut sistemlerde paylaşılan dosyalar için versiyon (sürüm) sisteminin olması bu tür saldırılardan kurtulmak için kullanılabilir. Ransomware'ın şifrelediği klasörün bir önceki versiyonunun geri yüklenmesi sorunu büyük oranda ortadan kaldıracaktır [46], [48]. Böyle bir durumda sadece son versiyonla bir önceki versiyon arasında yapılan değişiklikler kaybolacaktır. Bununla birlikte dosya üzerinde yapılabilecek yetkilendirmeye tüm kullanıcıların yazma yetkisi kaldırılabilir ve kullanıcıların yalnızca yetkileri derecesinde işlem yapmalarına izin verilmesi saldırılara karşı alınabilecek bir diğer önlemdir [48].

## 5. SONUÇ

Gelişen teknoloji, beraberinde güvenlik risklerini de beraberinde getirmektedir. Verinin hayati öneme sahip olduğu çağımızda dijital güvenliği sağlamak oldukça önemlidir. Sistemlerin kullanılmasını önlemek veya sistem verilerine ulaşılmasını engellemek amacıyla ortaya çıkan ransomware tehdidi, güçlü şifreleme algoritmaları sayesinde neredeyse çözümsüz bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Şifre çözme anahtarının kısa zamanda elde edilememesi sebebiyle özellikle crypto ransomware virüs türü bulaştığı sistemleri neredeyse çaresiz bırakmaktadır. Yapılan bu çalışmada ransomware virüsünün ne olduğu, ransomware türleriyle birlikte onların nasıl çalıştıkları anlatılmıştır. Global çapta yayılma sağlayan ve büyük maddi zararlara sebep olan bazı ünlü ransomware'ler hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak ransomware tehditlerine karşı alınabilecek önlemler anlatılmıştır.

## 6. KAYNAKÇA

- [1] A. Kharaz, S. Arshad, C. Mulliner, W. Robertson, C. Mulliner, and W. Robertson, “UNVEIL : A Large-Scale , Automated Approach to Detecting Ransomware This paper is included in the Proceedings of the,” 2016.
- [2] KIM ZETTER, “What Is Ransomware? A Guide to the Global Cyberattack’s Scary Method.” [Online]. Available: <https://www.wired.com/2017/05/hacker-lexicon-guide-ransomware-scary-hack-thats-rise/>.
- [3] N. Hampton, “Ransomware : Emergence of the cyber-extortion menace,” vol. 2015, pp. 47–56, 2015.
- [4] K. Savage, P. Coogan, and H. Lau, “The evolution of ransomware,” *Mt. View*, 2015.
- [5] knowbe4, “What Is Ransomware?” [Online]. Available: <https://www.knowbe4.com/ransomware#ransomwaretimeline>.
- [6] R. Richardson and M. North, “Ransomware : Evolution , Mitigation and Prevention,” vol. 13, no. 1, pp. 10–21, 2017.
- [7] A. W. Coburn *et al.*, “Cyber Risk Outlook 2018,” *Univ. Cambridge Risk Manag. Solut. Inc*, p. 37, 2018.
- [8] CrowdStrike, “CrowdStrike 2020 Global Threat Report,” *CrowdStrike*. pp. 1–32, 2020.
- [9] purplesec, “2020 Ransomware Statistics, Data, & Trends.” [Online]. Available: <https://purplesec.us/resources/cyber-security-statistics/ransomware/>. [Accessed: 21-Jan-2021].
- [10] N. Goud, “Global Ransomware damage costs predicted to exceed \$11.5 billion by 2019!” [Online]. Available: <https://www.cybersecurity-insiders.com/global-ransomware-damage-costs-predicted-to-exceed-11-5-billion-by-2019/>. [Accessed: 15-Apr-2019].
- [11] S. Morgan, “Top 5 Cybersecurity Facts, Figures, Predictions, And Statistics For 2019 To 2021,” 2019. [Online]. Available: <https://cybersecurityventures.com/top-5-cybersecurity-facts-figures-predictions-and-statistics-for-2019-to-2021/>. [Accessed: 15-Apr-2019].
- [12] S. Morgan, “Global Ransomware Damage Costs Predicted To Reach \$20 Billion (USD) By 2021,” 2018. [Online]. Available: <https://cybersecurityventures.com/global-ransomware-damage-costs-predicted-to-reach-20-billion-usd-by-2021/>. [Accessed: 15-Apr-2019].
- [13] “Ransomware Demands continue to rise as Data Exfiltration becomes common, and Maze subdues,” *Coveware*. [Online]. Available: <https://www.coveware.com/blog/q3-2020-ransomware-marketplace-report>. [Accessed: 20-Jan-2021].

- [14] “Businesses Impacted by Repeated Ransomware Attacks and Failing to Close the Gap on Exploits, According to Sophos Global Survey,” *Sophos*. [Online]. Available: <https://www.sophos.com/tr-tr/press-office/press-releases/2018/01/businesses-impacted-by-repeated-ransomware-attacks-according-to-sophos-global-survey.aspx>. [Accessed: 16-Jan-2021].
- [15] A. Bera, “Ransomware Statistics,” 2019. [Online]. Available: [https://safeatlast.co/blog/ransomware-statistics/#top\\_ankor](https://safeatlast.co/blog/ransomware-statistics/#top_ankor). [Accessed: 16-Apr-2019].
- [16] knowbe4, “91% of cyberattacks begin with spear phishing email,” 2018. [Online]. Available: <https://blog.knowbe4.com/bid/252429/91-of-cyberattacks-begin-with-spear-phishing-email>. [Accessed: 15-Apr-2019].
- [17] R. Brewer, “Ransomware attacks: detection, prevention and cure,” *Netw. Secur.*, vol. 2016, no. 9, pp. 5–9, 2016.
- [18] G. Hull, H. John, and B. Arief, “Ransomware deployment methods and analysis: views from a predictive model and human responses,” *Crime Sci.*, vol. 8, no. 1, p. 2, 2019.
- [19] A. Zimba, “Malware-Free Intrusion : A Novel Approach to Ransomware Infection Vectors,” *Int. J. Comput. Sci. Inf. Secur.*, vol. 15, no. 2, pp. 317–325, 2017.
- [20] B. A. S. Al-rimy, M. A. Maarof, and S. Z. M. Shaid, “Ransomware threat success factors, taxonomy, and countermeasures: A survey and research directions,” *Comput. Secur.*, vol. 74, pp. 144–166, 2018.
- [21] M. Conti, A. Gangwal, and S. Ruj, “On the economic significance of ransomware campaigns: A Bitcoin transactions perspective,” *Comput. Secur.*, vol. 79, pp. 162–189, 2018.
- [22] “Number of newly discovered ransomware families worldwide from 2015 to 2019,” *statista*. [Online]. Available: [https://www.statista.com/statistics/701029/number-of-newly-added-ransomware-families-worldwide/#:~:text=This statistic depicts the total,95 newly discovered ransomware families](https://www.statista.com/statistics/701029/number-of-newly-added-ransomware-families-worldwide/#:~:text=This statistic depicts the total,95 newly discovered ransomware families.). [Accessed: 15-Jan-2021].
- [23] knowbe4, “CryptoLocker Ransomware.” [Online]. Available: <https://www.knowbe4.com/cryptolocker-ransomware>. [Accessed: 16-Apr-2019].
- [24] Cisco, “Annual Cybersecurity Report,” 2018.
- [25] D. Swinhoe, “Is the world ready for the next big ransomware attack?,” 2019. [Online]. Available: <https://www.csoonline.com/article/3345967/is-the-world-ready-for-the-next-big-ransomware-attack.html>. [Accessed: 15-Apr-2019].
- [26] knowbe4, “WannaCry Ransomware.” [Online]. Available: <https://www.knowbe4.com/wannacry-ransomware>. [Accessed: 23-Apr-2019].

- [27] LogRhythm Labs, “Bad Rabbit Ransomware Technical Analysis,” 2017. [Online]. Available: <https://logrhythm.com/blog/bad-rabbit-ransomware-technical-analysis/>. [Accessed: 25-Mar-2019].
- [28] O. Mamedov, F. Sinitsyn, and A. Ivanov, “Bad Rabbit ransomware.” [Online]. Available: <https://securelist.com/bad-rabbit-ransomware/82851/>. [Accessed: 25-Mar-2019].
- [29] knowbe4, “Bad Rabbit Ransomware.” [Online]. Available: <https://www.knowbe4.com/bad-rabbit-ransomware>. [Accessed: 23-Apr-2019].
- [30] Dell SecureWorks Counter Threat Unit™ Threat Intelligence, “<https://www.secureworks.com/research/teslacrypt-ransomware-threat-analysis>,” 2015. [Online]. Available: <https://www.secureworks.com/research/teslacrypt-ransomware-threat-analysis>. [Accessed: 18-Mar-2018].
- [31] knowbe4, “TeslaCrypt Ransomware.” [Online]. Available: <https://www.knowbe4.com/teslacrypt-ransomware>. [Accessed: 23-Apr-2019].
- [32] B. J. Wyke, S. T. Researcher, S. Emerging, and T. Team, “The Current State of Ransomware,” no. December, 2015.
- [33] knowbe4, “CryptoWall.” [Online]. Available: <https://www.knowbe4.com/cryptowall>. [Accessed: 23-Apr-2019].
- [34] Hunter Team Threat, “SamSam: Targeted Ransomware Attacks Continue,” *Symantec*, 2018. [Online]. Available: <https://symantec-enterprise-blogs.security.com/blogs/threat-intelligence/samsam-targeted-ransomware-attacks>. [Accessed: 19-Sep-2019].
- [35] N. BIASINI, “SamSam: The Doctor Will See You, After He Pays The Ransom,” 2016. [Online]. Available: <https://blog.talosintelligence.com/2016/03/samsam-ransomware.html>. [Accessed: 18-Mar-2019].
- [36] Sonicwall, “Mid-Year Update: 2018 SonicWall Cyber Threat Report,” 2018.
- [37] B. Dobran, “27 Terrifying Ransomware Statistics & Facts You Need To Read,” *phoenixNAP*, 2019. [Online]. Available: <https://phoenixnap.com/blog/ransomware-statistics-facts>. [Accessed: 11-Nov-2019].
- [38] R. England, “A single ransomware creator made almost \$6 million,” 2018. [Online]. Available: <https://www.engadget.com/2018/08/01/a-single-ransomware-creator-made-almost-6-million/>. [Accessed: 23-Apr-2019].
- [39] A. Hanel, “Big Game Hunting with Ryuk: Another Lucrative Targeted Ransomware,” *Crowdstrike*, 2019. [Online]. Available: <https://www.crowdstrike.com/blog/big-game-hunting-with-ryuk-another-lucrative-targeted-ransomware/>. [Accessed: 12-Dec-2020].
- [40] “Newly-discovered active ransomware strain attacking Israeli and European organizations is traced to Iran,” *Check Point*. [Online]. Available: <https://www.globalsecuritymag.com/Newly-discovered->

- active-ransomware,20201113,104913.html#:~:text=Security researchers at Check Point,in less than an hour. [Accessed: 21-Jan-2021].
- [41] A. Asokan, “Pay2Key Ransomware Campaign Tied to Iran,” *bankinfosecurity*. [Online]. Available: <https://www.bankinfosecurity.com/pay2key-ransomware-campaign-targets-israeli-firms-a-15631>. [Accessed: 21-Jan-2021].
- [42] C. Rautmare, “Pay2Key Ransomware Hits Israeli Targets,” *govinfosecurity*. [Online]. Available: <https://www.govinfosecurity.com/pay2key-ransomware-hits-israeli-targets-a-15333>. [Accessed: 21-Jan-2021].
- [43] Cisco, “What Is Ransomware?,” 2019. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/security/ransomware-defense/what-is-ransomware.html>. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [44] Comodo, “How to Protect Against Ransomware,” 2019. [Online]. Available: <https://enterprise.comodo.com/how-to-protect-against-ransomware.php>. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [45] Microsoft, “Protect your PC from ransomware,” 2019. [Online]. Available: <https://support.microsoft.com/en-us/help/4013550/windows-protect-your-pc-from-ransomware>. [Accessed: 09-Apr-2019].
- [46] G. Bourgeois, “Can Ransomware Infect Cloud Storage?” [Online]. Available: [https://www.hubstor.net/blog/ransomware-infect-cloud-storage/#:~:text=Your cloud storage is vulnerable,syncing with local data storage.&text=When ransomware strikes%2C it is,cloud storage copy as well](https://www.hubstor.net/blog/ransomware-infect-cloud-storage/#:~:text=Your cloud storage is vulnerable,syncing with local data storage.&text=When ransomware strikes%2C it is,cloud storage copy as well.). [Accessed: 12-Dec-2020].
- [47] Anna, “How Can Ransomware Infect Google Drive (And How to Prevent It),” *Spin Technology*. [Online]. Available: <https://spinbackup.com/blog/can-ransomware-infect-google-drive/>. [Accessed: 09-May-2020].
- [48] Alex, “Cloud Ransomware Protection for Top Cloud Storage Solutions,” *Spin Technology*. [Online]. Available: <https://spinbackup.com/blog/cloud-ransomware-protection/>. [Accessed: 10-Sep-2020].





# Bölüm 5

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA AŞIRI  
DOLDURMA (TURBOŞARJ) VE  
ARA SOĞUTUCU (INTERCOOLER)  
UYGULAMALARI**

*Dinçer AKAL<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne, Türkiye, e-mail: dincerakal@trakya.edu.tr, orcid:0000-0003-0055-5471



## GİRİŞ

Ulaşım başta olmak üzere, dünyanın pekçok yerindeki endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan petrol ve yan ürünleri ürünleri, nüfusun artması ile tüketime bağlı olarak petrolün de giderek azalmakta olduğu bilinmektedir. Fosil yakıt kullanımını atmosferdeki CO<sub>2</sub> seviyesini arttırarak serbest oksijen miktarını azalttığı için küresel ısınmada sebep olmaktadır. Bu durum başta İnsan sağlığı ve çevre bakımından pek çok olumsuzluklarla sonuçlanmaktadır. Sera etkisine bağlı olarak her geçen gün küresel ısınmanın endişe verici hale geldiği , bilinen gerçeklerdir. Bu nedenle ulaşım sektöründe ve diğer alanlarda kullanılan dizel motorlarda performansın artırılması ve zararlı emisyonların azaltılması konusunda birçok araştırma yapılmaktadır. Motor performansını doğrudan etkileyen faktörlerden biriside ; silindire alınan emme havasının sıcaklık ve basınç değerleridir. Aşırı doldurma uygulanan dizel motorlarında, turbo doldurucu basıncının artması ile birlikte silindir içine giren havanın sıcaklığında bir miktar artmaktadır. Turbo çıkışındaki havanın basıncı ve sıcaklığı artarken yoğunluğu düşmektedir. Bu durum volümetrik verimin azalması ile birlikte motor gücünün düşmesine aynı zamanda yakıt tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Volümetrik verimin azalmasının bir nedenide motor yükünün artması ile birlikte motorun metal sıcaklığının dolayısı ile soğutma suyu sıcaklığının artmasıdır. Bu olumsuz durum özellikle dizel motorlarda daha belirgin hale gelmektedir. Silindir içine gönderilen dolgu havası yoğunluğunun azalmasını önlemek için genellikle turbo dizel motorlarda ara soğutucular kullanılmaktadır.

Ara soğutucunun temel görevi silindire gönderilecek yüksek sıcaklıktaki havayı bir miktar soğutmaktır. Bu şekilde silindire gönderilen havanın soğutulması ile yoğunluğu arttırılarak volumetrik verim de (Hacimsel verim) yükseltilmiş olur. Volümetrik verimdeki bu yükseliş ile birlikte motorun çıkış gücü ve torku da artmış olacaktır. Böylece motorun çalışma şartlarında sıcaklık seviyesinde bir miktar azalma soğutma suyu ile atılan ısıyı da azaltmış olacaktır. Genel olarak son yıllarda üretilen çoğu dizel araçlarda aşırı doldurma sistemi olarak turboşarj sistemi kullanılmaktadır. Turboşarj sisteminde, egzoz gazlarının enerjisi kullanılarak döndürülen türbin mili ile beraber dönen bir kompresör ile temiz havanın emilip basıncının yükseltilerek yanma odasında kütleli

bazda daha fazla havanın verilmesi sağlanmaktadır. Bu anlamda yapılan bazı akademik çalışmalar incelendiğinde;

(Kumar & Raj,2013)çalışmalarında; tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda, yakıt enjeksiyon zamanının ve giriş havası sıcaklığının motorun yanma ve emisyon karakteristiklerine etkisini incelemiştirler. Deneyde kullanılan emme havası giriş sıcaklıkları 40 °C ve 60 °C ayarlanmış ve farklı enjeksiyon zamanlamalarındaki deney sonuçlarına göre silindir içindeki yanma sıcaklığı, aynı enjeksiyon zamanlamasına bağlı olarak giriş hava sıcaklığı düşürüldüğünde emisyonlardaki NO<sub>x</sub> seviyelerinin de azaldığını tespit etmişlerdir.Verimli bir yanma için hava sıcaklığının yüksek sıcaklıkta olması sağlamasına karşın, havada bulunan azot bileşiğinin parçalanıp oksijen ile birleşerek NO<sub>x</sub> oluşmasına sebep olur. Nox bileşikleri doğa ve insan sağlığı için son derece zararlı olan gazların yayılmasına sebep olmaktadır. Bu zararlı NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşmasına engel olmak için yanma odasındaki bölgesel sıcaklıkların ortalama olarak 1800 K'in altında kalması tavsiye edilmektedir. (Haşimoğlu ve diğ. 2002).

(Gowthaman &Sathiyagnanam, 2016) yaptıkları çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu ve homojen dolgululu sıkıştırılmalı bir dizel motorda ,emme havası giriş sıcaklığının ve enjeksiyon basıncının motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştirler.Yaklaşık 5 bar enjeksiyon basıncında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre ; hem enjeksiyon basıncının ve hemde giriş hava sıcaklığının yükselmesi halinde motorun ısıl veriminin arttığını tespit etmişlerdir.

Turboşarjlı motorlarda ara soğutucu kullanılması halinde emme havası sıcaklığının düşürülmesi ile silindir içindeki oksijen seviyesi arttırılmış olur.Bunun sonucunda motor performansını arttırılmış ve motor soğutma suyu sıcaklığı da bir miktar azalmaktadır.Tüm bunların yanında ara soğutucu motor yağı sıcaklığını düşürerek , yüksek ısının sebep olduğu sürtünme ve güç kayıplarında azalmaktadır (Uzun,2011).

## 1.Aşırı Doldurmalı Motorlar (Turboşarjlı Motorlar)

İçten yanmalı motorlardan elde edilen güç yakıtın yanmasını sağlayacak hava miktarı ile orantılıdır. Atmosferik motorlarda pistonun emme kabiliyeti silindire giren hava miktarını direkt etkilemektedir. Motor teknolojisi , imalat özellikleri , subap büyüklükleri ve sayısı , malzeme yapısı , piston, segman, silindir yüzeyi hassasiyetine ayrıca havanın yoğunluğuna bağlı olarak volümetrik verim değişmektedir. Normal şartlarda içten yanmalı motorlarda pistonun bir kursunda yanma için gerekli olan yeterli hava miktarı sağlanamaz. Motorun bir çevriminde silindir içine harici bir kaynakla daha fazla hava alınması işlemine aşırı doldurmalı motor denmektedir. Hava alma işlemine aşırı doldurma adı verilir. Aşırı doldurmanın temel nedeni belirli bir çıkış gücü için motorun boyutlarını arttırmadan daha fazla güç ve tork elde etmektir. Aşırı doldurmalı motorların bazı üstünlüklerini sıralayacak olursak;

1-Daha küçük bir motor hacminden daha yüksek güç ve tork elde edilmesi,

2-Daha küçük motor üretimi ile araç ağırlığının azaltılması ve daha az malzeme kullanıldığı için daha düşük maliyet,

3-Düşük yakıt tüketimi ve zararlı egzoz emisyonlarında azalma,

4-Normal emişli (Atmosferik) motorlara göre daha az ısı kaybı ve daha küçük bir radyatör kullanılabilmesi,

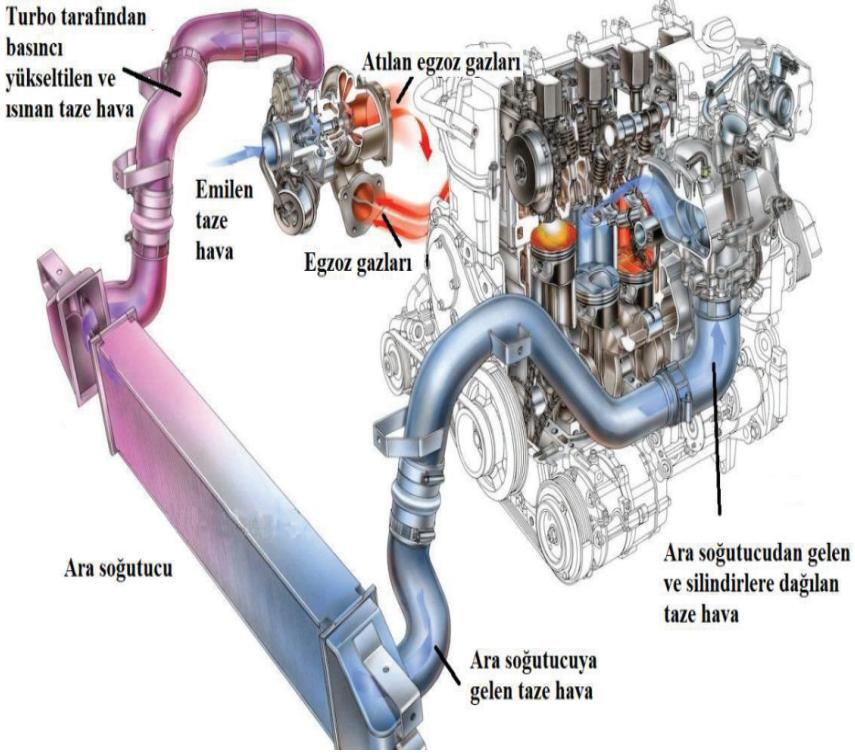
5-Düşük hava basıncından etkilenmeme,

6-Volümetrik verimin artmış olması ile daha iyi bir yanma ve verim elde edilmesi,

7-Aşırı doldurma sistemindeki turbo şarj türbin sisteminden dolayı egzoz gürültüsünde bir miktar ses azalması.

Şekil 1 de görülen aşırı doldurmalı motorda , türbin ve kompresör kısımlarından meydana gelen turboşarj sisteminin temel amacı , silindirlere atmosfer şartlarına bağlı kalmadan her durumda daha fazla hava dolgusu sağlamaktır. Yanma sonunda ortaya çıkan egzoz gazındaki atık enerjinin bir bölümü kullanılarak türbin ve kompresör çevrilmiş

olur.Böylece motor silindirlerine alınan temiz havanın basıncı ve kütleli debisine bağlı olarak yakılabilecek yakıt miktarı da artırılmış olacaktır. Ayrıca turboşarj çıkışındaki basınçlı sıcak hava ara soğutucudan geçtikten sonra sıcaklığı düşer ve yoğunluğu artar .Bunun sonucunda silindir içersine daha fazla hava alınması ile volümetrik verim artışı sağlanarak motordan daha fazla güç elde edilmiş olur.Aynı zamanda turboşarj sistemi ile daha az yakıt tüketilerek çevreye atılan zararlı egzoz emisyonlarında önemli derecede azaltılabilmektedir.Turboşarj sistemi sayesinde silindir hacmini büyütmeden normal emişli (atmosferik) motorlara göre daha fazla güç ve tork elde edildiği için son zamanlarda motor üreticileri tarafından çok daha fazla tercih edilebilir hale gelmiştir.



Şekil 1 : Motor Üzerindeki Turboşarj ve Ara Soğutucu Devresi (Şahin,2019).

Tüm bunların yanında turboşarj sistemi ile ilgili bazı tartışmalı sorularda vardır. Bunlardan en önemlisi turbonun gecikmeli olarak devreye girmesidir. Çünkü düşük devirlerde egzoz basıncı yeterli seviyede olmadığı için turboşarj sistemi ancak motor için belirlenen uygun bir devirden sonra devreye girmektedir.Bu durumda düşük devirlerde

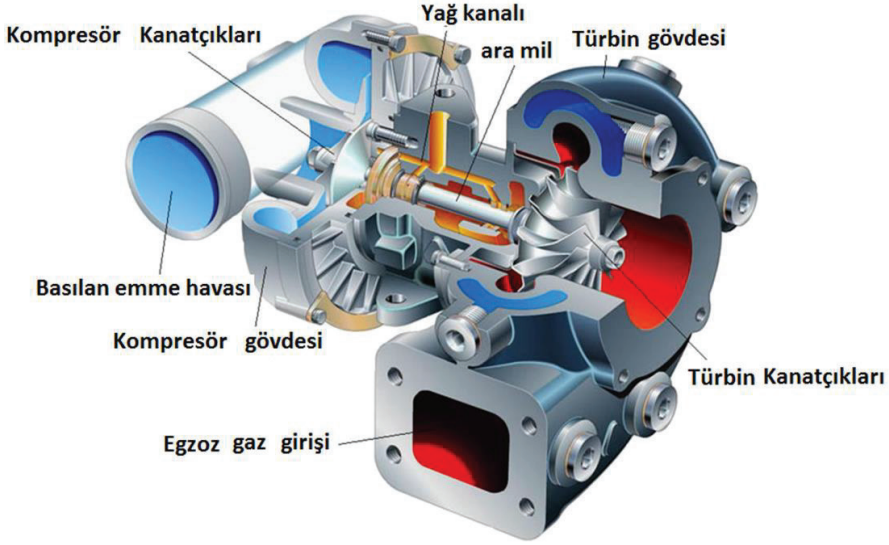
turboşarj ünitesinin kullanımı kısıtlanmıştır. Turbonun çalışma devir aralığına kadar bu kaybedilen zaman için bazı çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin gelişmiş egzoz tasarımları, ara soğutucular ve yüksek kompresyon oranları gibi faktörler biraraya getirilerek daha iyi sonuçlar alınmaktadır(Yüce,1997). Ayrıca daha sık yağ değişimi , yüksek ısı ,detenasyon ,yüksek maliyet ve motor kullanım ömrünün azalması gibi faktörler göz önüne alınmalıdır.Turbo kompresör mili 120.000-150.000 d/dk ile döndüğü için yağlama konusu ve yağ kalitesi büyük önem arz etmektedir.

Yüksek devir yataklarda sürtünme ve yüksek ısı oluşturduğu için soğutma tasarımlarında son derece önemlidir.Kirlenmiş,eskimiş motor yağının yüksek sıcaklığa ulaşması sonucunda içinde parçacıklar ve kömürleşmeler meydana gelmektedir. Kömürleşme yağ sıcaklığının 150°C'nin üzerine çıkması ile birlikte yataklar ve yağ boşluklarında(pasajlarda)meydana gelmektedir.Yataklar üzerinde oluşan bu kömürleşme yağın ısı transferini engeller ve aşınmalara sebep olur.Bunun sonucunda yatak boşlukları artarak türbin/kompresör milinde salgı ve hasara sebep olmaktadır.Tüm bu olumsuz durumların oluşmaması için motor yağı zamanında değiştirilmeli ,hava filtresi temiz tutulmalı ve motor için gerekli olan bakımlar ertelenmemelidir(Yüce,1997).

### **1.1.Turbo Şarj Yapısı ve Çalışma Prensibi**

Turboşarj ünitesi genel olarak iki ana kısımdan oluşmaktadır;

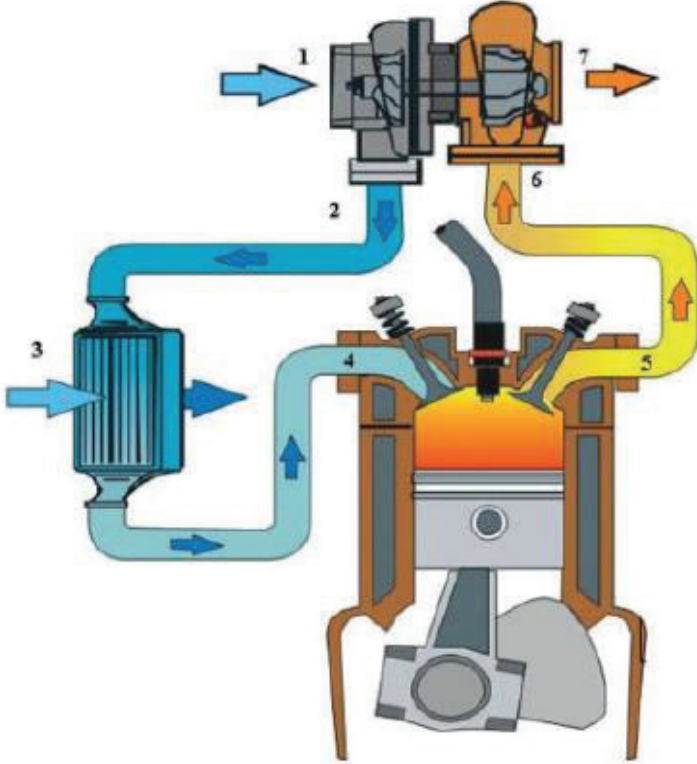
- 1-Egzoz gaz basınç enerjisinin kullanıldığı türbin kısmı,
- 2-Emme havasının basınçlandırıldığı kompresör kısmı.



Şekil 2 : Turboşarj Yapısı(Çıbıkcı,2017).

Turboşarj ünitesi türbin kısmı enerjisini silindirlere dışarı atılan yanmış egzoz gaz basıncından almaktadır. Yanma sonrasında egzoz manifoldundan çıkan basınç ve kinetik enerji içeren egzoz gazları çevresel bir nozuldan geçerek türbini ve aynı mil üzerindeki kompresörü döndürür. Böylece silindirlere yüksek basınçta ve hacimde emme havası şarj edilmiş olur. Atmosferik şartlarda çalışan motorlara göre, Turboşarj teknolojisi kullanılan motorlarda güç/tork atışı sağlanırken, yakıt tüketimi ve zararlı egzoz emisyonlarında azalmalar görülmektedir.



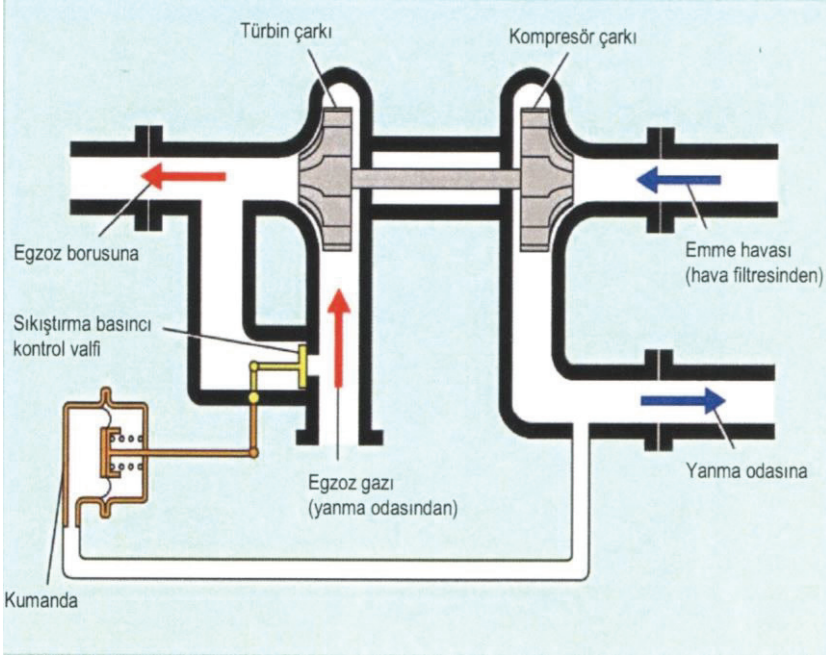


Şekil 3 : Turboşarj ve ara soğutucu çalışma prensibi (Raucini ve diğ,2020).

1-Kompresör girişi 2-Kompresör çıkışı 3-Ara soğutucudan geçiş4-Emme subapı

5-Egzoz subapı6-Türbin girişi 7-Türbin Çıkışı

## 1.2.Turbo Şarj Devresinde Hava Basınç Kontrolü



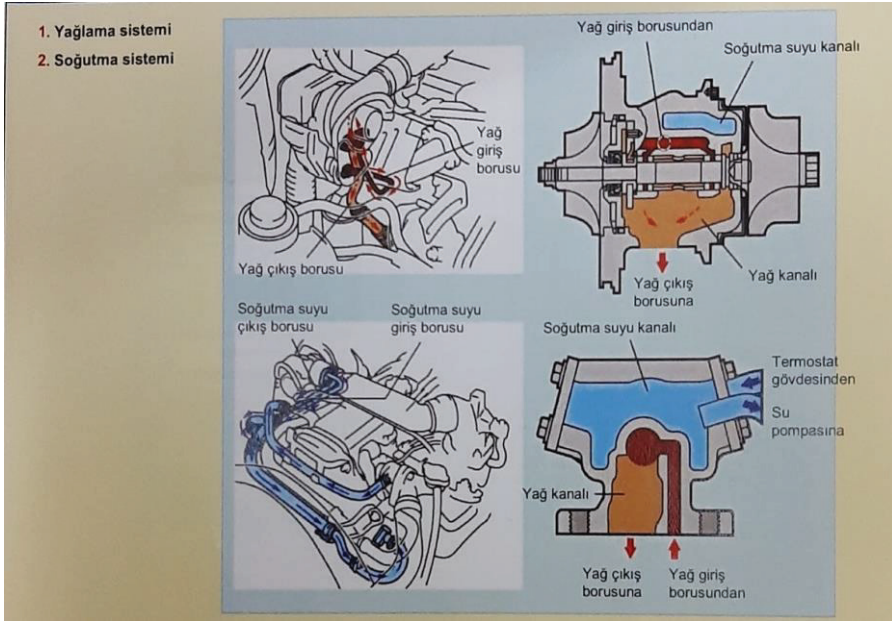
Şekil 4 : Turboşarj Devresinde Hava Basınç Kontrolü (Toyota,2010).

En genel anlamda turboşarj , motor çıkış gücünü arttırmak amacıyla silindire alınacak dolgu havasının atmosfer basıncından daha büyük bir basınç yaratan mekanizmadır.Normal emişli motorlarda silindir içine alınan emme havası volümetrik(hacimsel) verim kayıpları ile birlikte piston tarafından oluşturulan kurs hacmi ile orantılı olarak değişmektedir.Şekil 2 de görüldüğü gibi türbin ve kompresör kısımlarından meydana gelen bu sistemde,egzoz zamanında sonunda dışarıya atılan yanmış gazların basıncı ile türbinin dönmesi sağlanır.Bu esnada türbin mili ile birlikte hareket eden kompresör kanatçıklarında taze havayı basınçlı bir şekilde silindire doldurur.Kompresör tarafından üretilen hava basıncı çok yükselirse sistem bu basınca dayanamayacağı için Şekil 4 te görülen sıkıştırma basıncı kontrol valfi tarafından bu durum engellenir.Motor devri yükseldiğinde turbo basıncı artarak belirlenen değere geldiğinde (kesme noktası)diyafraam yayına bastırarak sıkıştırma basıncı kontrol ayar valfi açılır ve yanmış egzoz gazlarının bir

kısmı bypass edilerek egzoz malifoldu na yönlendirilmiş olur.Böylece turbo çalışma basıncı istenilen değerde tutulmuş olur.

Motorlarda güç genellikle silindir içinde yanan yakıt–hava karışım miktarı ile belirlenmektedir. Bunun anlamı temel olarak motor gücünü arttırmak için ya motorun silindir hacmini büyütmek yada motor devrini yükseltmek gerekecektir. Ancak motorlarda silindir hacminin artırılması öncelikle maliyet ve ağırlığın artmasına sebep olmaktadır.

Ayrıca oluşan sürtünme kayıpları,hareketli parçaların atalet kuvvetleri ,oluşan ses ve titreşim motor devrinin artmasına engel oluşturmaktadır.Bu durumda motor devirlerinde kısıtlamalar zorunlu hale gelmektedir. Turboşarj silindir hacmini ve ölçülerini büyütmeyen daha fazla havanın silindirlerde basılması ile daha fazla yakıtın yakılmasına imkan vermektedir.Böylece motorun hem silindir hacmi artılmamış hemde sözü edilen bu olumsuzluklar engellenmiş olur.Turboşarj ,türbin çarkının çok hızlı dönmesini (120000-150000d/dk) egzoz manifoldunda oluşan yanmış gazların basıncı ile sağladığı için bu bölgede aşırı ısınmalar meydana gelir.Türbin çarkı,mili ve bu kısımdaki parçaların yüksek ısılara dayanabilmesi için özel alaşımlı çelik malzemelerden yapılması gerekmektedir. Turboşarj ünitesi ; çok yüksek devirlerde,yüksek sıcaklıklarda ve hassas yüzey işleme teknikleri ile üretildikleri için maliyetleride yüksektir.Ayrıca sistem üzerindeki yüksek sıcaklıktan dolayı özel yağlama ve soğutma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.Bu sistemlere ait yağlama ve soğutma kanalları şekil 5 te görülmektedir;



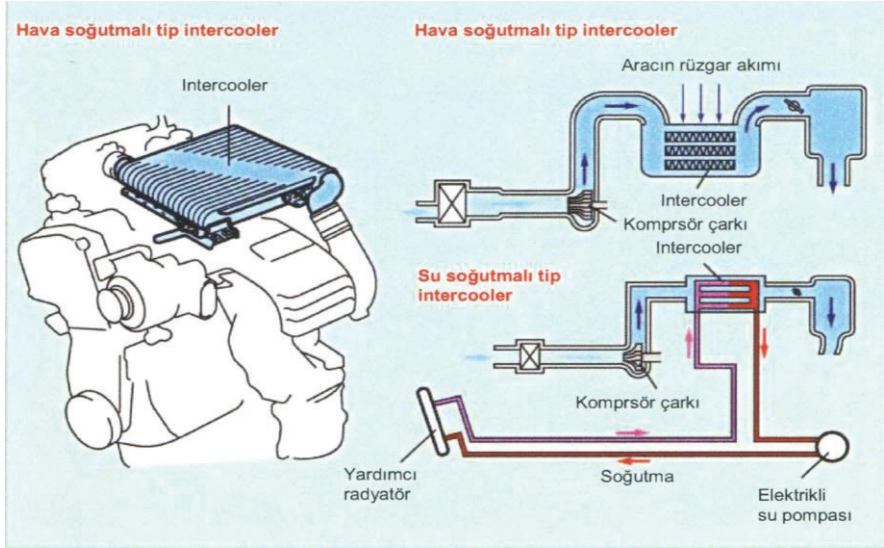
Şekil 5 : Turboşarj üzerindeki yağlama ve soğutma kanalları(Toyota,2010).

## 2.Ara Soğutucular (İntercooler)

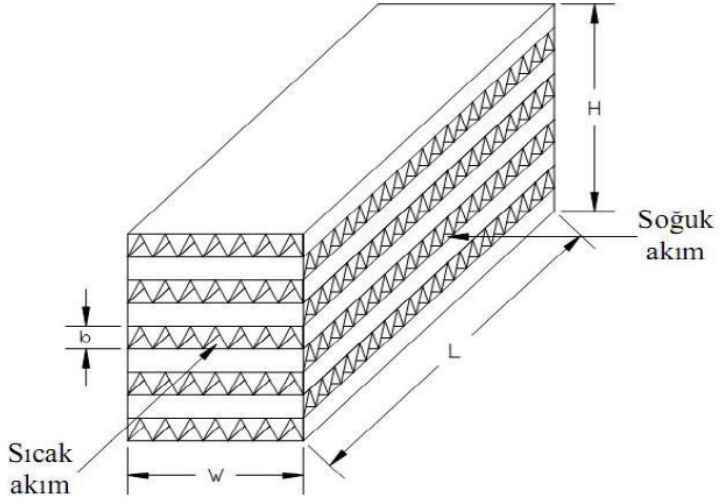
İçten yanmalı turboşarjlı motorlarda ; kompresörde sıkıştırılan havanın basıncı ve sıcaklığı artar.Bu durumda yüksek sıcaklıktaki havanın hacmi arttığı için şarj etkinlik oranı düşmektedir.Silindir içine yeterli miktarda hava alınamaz ve volümetrik verim (hacimsel verim) düşer. Turboşarj çıkışındaki yüksek sıcaklıktaki havanın yoğunluğunu arttırmak ve şarj etkinlik oranını yükseltmek için kullanılan ısı değitiricilerine ara soğutucu (intercooler) adı verilir.Yapısal olarak , hava soğutmalı ve su soğutmalı tip olmak üzere iki gruba ayrılır.

Emme zamanında silindirlere normal atmosfer şartlarındaki basınç ve sıcaklıkta girmiş olan havanın hacminin kurs oranı hacmine volümetrik verim (hacimsel verim) denir.Volümetrik verim motorlardan elde edilen gücü etkileyen en önemli faktörlerden birisidir.Son zamanlarda motorlardaki volümetrik verimi yükseltmek için çok farklı metodlar kullanılmaktadır. Örneğin ; daha geniş subap yuvaları ve silindir başına

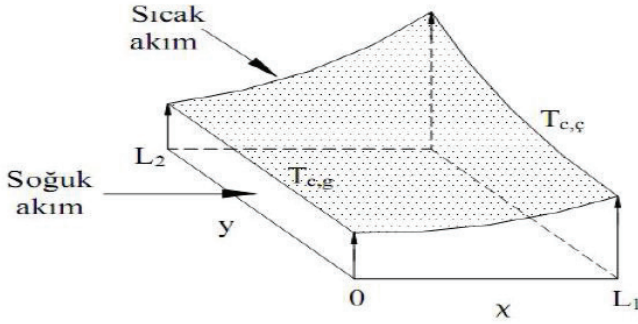
daha fazla adette subap kullanmak,emme subaplarının erken ,egzoz subaplarının geç kapatılması teknolojileri,yanma odalarının daha iyi soğutulması ,motorun devrini gereksiz yere yükseltmemek ,turboşarj ve ara soğutma uygulamaları gibi.



Şekil 6 : Hava ve Su Soğutmalı tip ara soğucu devresi(Toyota,2010).



(a)



(b)

Şekil 7 : (a) Üçgen kanallardan oluşan bir kompakt ısı değıştircisi (b) a'da gösterilen ısı değıştircisi boyunca akışkan sıcaklıklarındaki değışim (Canlı,2011).

### 3.Ara Soğutucu Hesaplamalarında Kullanılabilecek Teorik Yaklaşımlar;

#### 3.1.Volümetrik (Hacimsel) Verim ;

Silindir hacmi  $V_h$  ( $m^3$ ),

Silindir sayısı  $n_c$

$n_s$  sabit (4 zamanlı motorlar için  $n_s = 2$ ) olan bir motorun,  $n$  (d/s) hızla dönerken teorik olarak emmesi gereken yoğunluğundaki hava miktarı ise (Türkcan,2006) ;

$$\dot{m}_{h\text{ teorik}} = \rho \cdot V_h \cdot n_c \cdot n_s \cdot n \text{ (kg/s)} \quad (1)$$

$$\eta_v = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{h\text{ teorik}}} \quad (2)$$

$$\text{Teorik Hava Yakıt Oranı} = \frac{1\text{kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi}}{1\text{kg yakıt}} \quad (3)$$

$$\text{Hava Fazlalık Katsayısı } (\lambda) = \frac{\text{Gerçek Hava Yakıt } t \text{ Oranı}}{\text{Teorik Hava Yakıt } t \text{ Oranı}} \quad (4)$$

### 3.2.Performans için gerekli olan akış hedefi

(Polonec&Janasko,2014) ;

$$Q_v = P_m \times \lambda \times S_{pSB} \quad (5)$$

$Q_v$  =Hava akımı (akış) (kg/min)

$P_m$ =Performans hedefi(kW)

$\lambda$  =Hava yakıt oranı

$S_{p_{SB}}$  =Özgül fren yakıt tüketimi (kg/kW-min)

**3.3.Performans için mutlak gerekli basınç hedefi  $p_{ABS}$  ise (Polonec&Janasko,2014) ;**

$$p_{ABS} = \frac{Q_v \times R \times (255.6 + T_p)}{\eta_{VOL} \times \frac{n}{2} \times V_m} \quad (6)$$

$p_{ABS}$  =Mutlak gerekli manifold basıncı (kPA)

$Q_v$ =Hava akımı (akış) (kg/min)

$R$ =Gaz sabiti (kJ/kg K)

$T_p$ =Emme manifold sıcaklığı ( ° C )

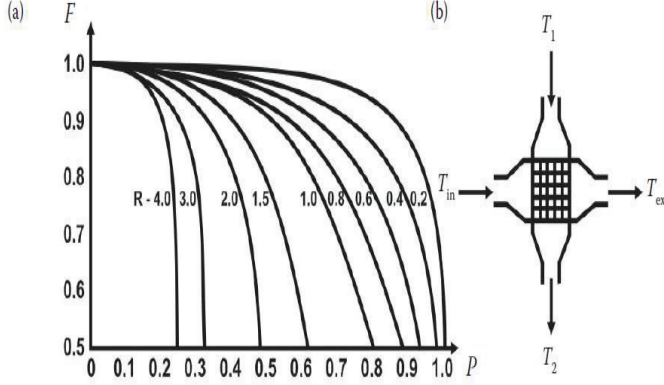
$\eta_{VOL}$ =Volümetrik verim

$n$  =Motor hızı d/dk

$V_m$ =Motor hacmi (cm<sup>3</sup>)

**3.4.İntercooler(Ara soğutucudaki) ısı oranlarının hesaplanması ( Polonec&Janasko,2014);**





Şekil 8 : Düzeltme faktörü F Isı Diyagramı (a) (Polonec&Janasko,2014) ve giriş / çıkış akışının ara soğutucu sıcaklık şemasının ısı diyagramı (b) F - düzeltme faktörü (-); P - sıcaklık oranı (-);  $T_1$  - girişteki dış (soğutma) havası sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_2$  - dış (soğutma) çıkışta hava sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{in}$  - girişteki basınçlı hava sıcaklığı  $T_{ex}$  - Çıkıştaki basınçlı hava sıcaklığı.

$$W = U \times S \times \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2) \div F}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (7)$$

$W$ =Toplan ısı transferi ( J )

$U$ =Isı transfer (iletim)katsayısı ( W / m<sup>2</sup> ·K )

$S$ =Isı transfer yüzey alanı ( m<sup>2</sup> )

$\Delta T_1$ =Ara soğutucu giriş hava sıcaklığı arasındaki fark ve ara soğutucunun arkasındaki soğutma havasının sıcaklığı ( $T_{in}$ ,  $T_2$ )( $^{\circ}\text{C}$ )

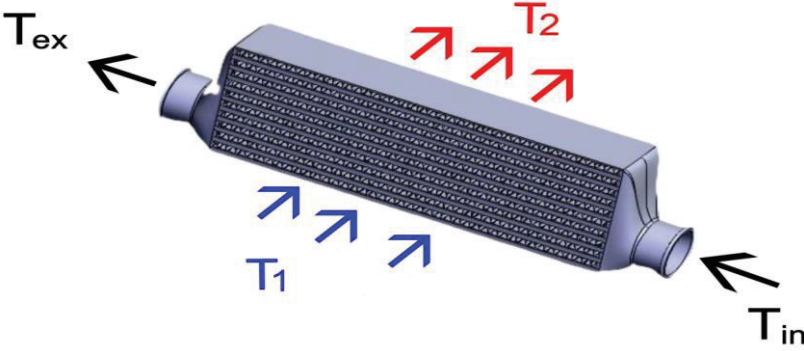
$\Delta T_2$ = Ara soğutucudan çıkan hava sıcaklığı ile ara soğutucunun önündeki soğutma havasının arasındaki fark sıcaklığı ( $T_{ex}$ ,  $T_1$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )

F= Düzeltme faktörü

Düzeltme faktörü  $F'$  'nin belirlenmesi Eşanjör alanındaki eşit olmayan ısı dağılımı dikkate alınarak düzeltme faktörü F, hesaplanan şekile göre diyagramdan okunabilir.

$P$  ve  $R$  sıcaklık oranlarının değerleri ,  $P$  ve  $R$  sıcaklık oranlarının hesaplanması için,

ara soğutucunun giriş ve çıkışlarındaki sıkıştırılmış havanın ( $T_{in}$ ,  $T_{ex}$ ) ve soğutma havasının ( $T_1$ ,  $T_2$ ) sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. ( Polonec&Janasko,2014);



Şekil 9 : Hava soğutmalı tip ara soğutucu (İntercooler)

Buradaki ;  $P$  ve  $R$  Sıcaklık oranlarının belirlenmesi (Polonec&Janasko,2014) ;

$$P = \frac{T_{ex} - T_{in}}{T_1 - T_{in}} \quad (8)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{T_{ex} - T_{in}} \quad (9)$$

$T_{ex}$  = Çıkıştaki basınçlı hava sıcaklığı (°C)

$T_{in}$  = Girişteki basınçlı hava sıcaklığı (°C)

$T_1$  = Girişteki dış (soğutma) hava sıcaklığı (°C)

$T_2$  = Çıkıştaki dış (soğutma) hava sıcaklığı (°C)

### **3.5.Kaybedilen veya alınan ısı miktarının hesaplanması (Polonec&Janasko,2014) ;**

$$W=Q_m \times C_p \times \Delta T \quad (10)$$

$W$  = Isı enerji transferi (J)

$Q_m$  = Kütleli debi(kütle akışı) (kg/min)

$C_p$  = Havanın ısı kapasitesi (J /K.mol)

$\Delta T$  = Giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkı (K)

### **4.Sonuç ve Öneriler**

İçten yanmalı motorlarda emme havası sıcaklığının artması; yanma odasındaki oksijen seviyesini değiştirdiği için verim üzerinde önemli derecede etkiye sahiptir.Yakıtın tam yanabilmesi için ideal orada hava gereklidir.Ancak turboşarj kullanılmayan motorlarda (Atmosferik motorlarda)silindirdeki yanma için gerekli olan emme havasını temin etmek artan devirlerde daha da zor hale gelmektedir.Bu sebeple aynı hacime sahip motorlardan daha yüksek tork ve güç elde etmek için turboşarj kullanmak uygun bir yöntemdir.Aynı zamanda atmosferik motorlara göre ,turboşarjlı motorlarda yakıt tüketimi ve zararlı egzoz emisyonları da daha düşüktür.Bu durum küresel ısınma,çevre kirliliği ve tüm canlılar için hava kalitesine olumlu yönde katkı yapmaktadır. Aşırı doldurmalı motorlarda turboşarj çıkışındaki havanın basıncı artarken sıcaklığında arttığı için volümetrik verim azalmaktadır.Sıcak havanın bir ara soğutucudan geçirilerek yoğunluğunun artırılması ile hacimsel

verimde artış sağlanabilmektedir. Böylece volümetrik (Hacimsel) verimin arttırılması ile motorun güç ve tork değerleride yükseltilmiş olacaktır.

İçten yanmalı motorlarda hacimsel verimin arttırılabilmesi için özellikle havanın atmosfer basıncı, sıcaklığı, motordaki subap portlarının büyüklüğü, silindir başına kullanılan subap adedi, motorun devir sayısı dikkate alınmalıdır. Bu sebeple motorlardan güç ve tork artışı için turboşarj teknolojisi ve ara soğutmanın (İntercooler) birlikte kullanılması önem arz etmektedir. Turboşarjlı motorlarda kullanılan ara soğutucunun etkinliği dış hava sıcaklığına bağlıdır. Ortam sıcaklığının artması ara soğutucuda zorlanmış taşınım ile meydana gelen ısı transferini azalttığı için havanın intercooler dan çıkış sıcaklığı artarak yanma verimini motorun gücünü direkt etkileyecektir. Bu sebeple havanın intercoolerden çıkış sıcaklığı mümkün olduğu kadar düşük olması halinde volümetrik verim ve motorun gücü artmış olacaktır.

## Kaynaklar

- Canlı, E.( 2011). “ Ara Soğutucu Amaçlı Kullanılan Isı Değiştiricilerinin Karakteristiklerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi. Konya.
- Çıbıkcı, Ç.K.(2017). “ Motorlarda Turboşarj Sisteminin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi” .Erzurum.
- Gowthaman S.,& Sathiyagnanam, A, P.(2016). “Effects of charge temperature and fuel injection pressure on HCCI engine”, Alexandria Engineering Journal, 55, 119–125.
- Haşimoğlu, C., İcingür, Y.,& Öğüt, H.,(2002). “Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, Turkish J. Eng. Env. Sci., 26, 127-135.
- Kumar, K. S., & Raj, R. T. K.,(2013).“Effect of Fuel Injection Timing and Elevated Intake Air Temperature on the Combustion and Emission Characteristics of Dual Fuel Operated Diesel Engine”, Procedia Engineering, 64, 1191-1198.
- Roucini, A . Mirzabozorg, M.,& Kheradmand,S.,(2020). “ Developing a Mathematical Modelling Code for Keeping the Power of Multi Turbocharged Engines at Flight Altitudes ”. J Aerosp Technol Manag, 12: e1220.
- Polonec ,T.&Janasko,I ,( 2014) Improving performance parameters of combustion engine for racing purposes , *Vol. 60, No. 3: 83–91* Scientific Grant Agency KEGA of the Ministry of Education of the Slovak Republic and Slovak Academy of Sciences, Grant No. 044SPU-4/2014
- Şahin ,Z.,(2019). “Turboşarjlı Dizel Motorlarda Giriş Havası Sıcaklığının Motor Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi ”.Yüksek Lisans Tezi.Pamukkale Üniversitesi.Denizli
- Toyota,(2010).Team Dizel Motorlar Eğitim Notları .Toyota Eğitim Müdürlüğü .İstanbul.
- Türkcan ,A.,(2006). “Bir Dizel Motorun Performans Parametrelerinin Deneysel Tespiti ”. Yüksek Lisans Tezi ,Kocaeli Üniversitesi.

Uzun ,A ,(2011) “Turbo şarjlı dizel motorda ara soğutucunun motor yağ sıcaklığına etkisi”.

6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, Turkey.

Yüce,A,(1997).Günümüzde Otomotiv Teknolojisi ,Panel Matbabcılık Ltd.Şti .Ankara.

# Bölüm 6

## ÇEKİRDEKTEN FİNCANA KAHVE ÜRETİMİ VE KAHVE ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

*Zülal BÜYÜK<sup>1</sup>*

*Dilek DÜLGER ALTINER<sup>2\*</sup>*

1 Yüksek Lisans Öğrencisi Zülal BÜYÜK, Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Yüksek Lisans Programı, Kocaeli, Türkiye, buyukzual95@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2488-9161

2 Dr. Öğr. Üyesi Dilek DÜLGER ALTINER, Kocaeli Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kartepe/Kocaeli, Türkiye, dilek.dulger@kocaeli.edu.tr, Orcid: orcid.org/0000-0002-7043-2883

\*Sorumlu yazar: dilek.dulger@kocaeli.edu.tr; dilek.dulgeraltiner@gmail.co





## GİRİŞ

Uzun yıllardan beri keyif verici bir içecek olarak tüketilen, gündelik hayatın ve kültürün vazgeçilmez bir ögesi olan kahve farklı proses aşamalarını barındıran son derece popüler bir üründür [1, 2]. Kahve, petrolden sonra gelen dünyadaki en önemli ve en büyük ikinci ticaret alanına sahiptir [3] (Bae ve ark., 2014). Yüzyıllardır toplumun farklı kesimleri tarafından tüketilen kahve, birçok kültür için farklı anlamlar taşıyan başlıca tüketim unsurlarından biridir [4]. Aynı zamanda kahve, yetiştirildiği bölgelerdeki ekonomiyi, kültürü doğrudan etkileyebildiği için sosyolojik unsurları barındıran toplumsal bir olgu haline gelmiştir [1].

Dünyanın bilinen en eski bitkilerinden biri olan kahve bitkisi, “Rubiaceae familyasının ‘*Coffea*’ cinsinden tropik çalı türlerine, bu türlerin tohumlarına ve tohumlardan hazırlanan içeceğe verilen isim” olarak tanımlanmıştır [5]. Rubiaceae familyasında yer alan kahve ağacı, dünya çapında yetiştirilen üretimi ve ticareti en çok yapılan Arabica (*Coffea arabica*) ve Robusta (*Coffea canephora*) cinsi kahve çekirdekleri içermektedir [6, 7, 8]. 70 civarında çeşitli kahve çekirdekleri de olduğu da bilinmektedir [9].

Kahve vitamin, mineral, fenolik bileşenler, alkaloidler vb. karmaşık kompleks yapılar içermesi yanında, tüm çeşitlerde ana kimyasal yapısında kafein içerir ve güçlü antioksidan etkiyi yaratan ana bileşeni polifenol olan klorejenik asittir [10, 3]. Popüler bir içecek olan kahvenin değişik tat duyularını harekete geçirmesi yanında, içerdiği bioaktif bileşikler nedeniyle sağlık açısından da Tip-2 diyabet, kolorektal kanser ve Alzheimer vb. hastalık risklerini azalttığı bilinmektedir [11, 3, 12, 8]. Kahve ile ilgili yapılan bu çalışmada kahvenin etimolojisi, kahve üretim yöntemleri, kahvenin sağlık üzerine etkileri, kahvenin kimyasal özellikleri ve yapılan güncel literatür araştırmalarından örnekler verilmiştir.

## KAHVE

### Kahvenin Etimolojisi

Kahvenin anavatanı bugün Etiyopya ve Kenya’nın bulunduğu coğrafyadır. Etiyopyalılar, Arabistan’ı işgal ettikleri zaman kahve bitkisini Arabistan’a taşıyıp Yemen’in dağlık bölgelerine ekmişlerdir [13]. Kahve’nin etimolojik kökeniyle alakalı farklı yaklaşımlar mevcuttur. Ayrıca, Arapça’da “kahve çekirdeği” veya “kahve bitkisinin meyvesi” manasına gelen “bunn/bun”, Binbir Gece Masalları’da ‘kahve’nin iştah kesen anlamına gelen “akhâ”, insana güç ve kuvvet verdiği düşünüldüğü için “kuvve” kelimesinden geldiği ile ilgili bilgiler mevcuttur. Kahve

kelimesinin, kahve ortaya çıkmadan önce de kullanılması da ihtimal dâhilindedir [5]. İlanıldığı anlamının “şarap” olduğu ve iştah kestiği (kahy) için bu adı aldığı düşünülmektedir. K-h-v veya k-h-y kökünden gelen kahve kelimesi, “bir şeyi tiksiniç hale getirme” veya “bir şeye karşı duyulan arzuyu azaltma” anlamlar da taşır. İnsanın uyuma isteğini kesmesinden dolayı bu kelimenin kullanılmış olabileceği düşünülmektedir. Latince adı ise “*Coffea arabica*” olup “Rubiaceae” familyasına ait bitkiye ve onun tanelerine verilen isimdir. Tanelerin çekirdek kısmı kavruktan ve soğutulup değirmende çekildikten sonra toz haline getirilerek su ile karıştırılan içecek de aynı isimle bilinmektedir [14].

### **Kahvenin Tarihsel Gelişimi**

Kahve, insan toplumunda en az 1200 yıldır önemli bir yer tutmaktadır [3]. 1000 yıllarında kahve, Habeşistan’da yiyecek olarak kullanılmaktaydı. Kahve fırına verilip kavurulduktan sonra değirmende çekilerek un haline getirilir ve çekilmiş kahve elde edilirdi. Daha sonra çekilen kahve su ve yağ ile yoğrulup hamur haline getirildikten sonra tekrar fırına verilip pişirilir ve ekmek olarak tüketilirdi. Bu ekmek genellikle yoksullar tarafından tüketilmekteydi. 500 yıl kadar ekmek olarak tüketilen kahve, 15. yüzyılda Habeşistan’dan Arabistan’a geçmiş oradan da Avrupa’ya yayılmıştır. Araplar da önce kahveden ekmek yapımında yararlanmışlar fakat sonradan tadını beğenmeyip içecek olarak kullanmaya başlamışlardır [15, 3].

İlk olarak keşfedilen ve diğer ülkelere yayılan kahve ağacı çeşidi Arabica’dır. Arabica yeşilimsi sarı renkte, oval şekildeki çekirdek cinsinden üretilen kahvedir ve Robusta kahve çekirdeğine kıyasla daha az kafein içerdiği ve daha lezzetli bir aromaya sahip olduğu bilinmektedir. Kahve tüketiminin %60-70’lik kısmı Arabica cinsi kahve çekirdeğinden, %30-40’lık kısmı Robusta cisinden elde edilir [7]. Kahve ağacının ortalama yaşamı ise 30-40 yıldır. Kahve ağacı meyvesinin kavru olarak öğütülmesi işlemi ve kahve içme geleneği ilk kez 15. yüzyılda Yemenli Sufiler arasında yayılmıştır [16]. Sufiler ilk zamanlarda yapraklarını çay gibi işlemiş daha sonra ise meyvelerinin etli kısımlarını kullanmışlardır. Sonraki dönemlerde ise kahve çekirdeği öğütülerek yağ, un ve su ile top şekline getirilmiş ve yağda kızartılarak denenmiştir. Hazırladıkları toplar Sufilerin ibadetleri sırasında dinç kalmalarına yardımcı olmuştur. Kahve çekirdeklerinin suda kaynatılarak tüketilmesi geleneği yine Sufilerden ortaya çıkmıştır [2018].

Kahveyi ilk kimin içtiğine dair net bir tarihsel kanıt yoktur. En yaygın efsane ise Khaldi adındaki Etiyopyalı bir çoban ile ilgilidir [18]. Kaldi, keçilerinin bazı yemişleri yedikten sonra daha hareketli olduğunu fark eder, bunu gören insanlarda kahve çekirdeklerini toplayıp kullanmaya

başlamışlardır. Kırmızı renkli meyvelerin toplanıp içilebilecek kahve formuna dönüşmesi uzun yıllar almıştır [19]. Başka rivayete göre ise; kahve, Etiyopya'nın yüksek bölgelerinde keşfedilmiş, Yemen'e de Şazeli dervişleri vasıtasıyla getirilmiştir [20].

## Dünya'da ve Türkiye'de Kahve Üretimi

Kahvenin dünyada petrolden sonra ikinci sırada yer alan önemli bir ticari ürün olmasının yanında yaklaşık 25 milyon ailenin kahve tarımıyla ilgilendiği tahmin edilmektedir [21]. Kahve, dünya çapında 100 milyon insanın geçim kaynaklarını destekleyen küresel bir üründür. Kahve yetiştiriciliği büyük ölçüde Latin Amerika, Asya ve Afrika'da küçük ölçekli tarım sistemlerinin dünya kahvesinin yaklaşık % 70'ini ürettiği ülkelerde meydana gelmektedir [22].

Kahve, son 150 yılda ticari önemi giderek artan dünyanın en popüler içeceklerinden biridir. Dünya genelinde geniş ve yaygın kahve yetiştiriciliği ile dünyanın en büyük kahve üreticisi ve ihracatçısıdır Brezilya'dır [2]. Brezilyayı sırasıyla, Kolombiya ve Endonezya takip etmektedir [21]. Ülkelere göre kahve üretim miktarları yıllık olarak Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ülkelere göre kahve üretim miktarları [23]

Ülkeler	Yıllık Üretim Miktarı (metrik ton)
Guatemala	204,000
Meksika	234,000
Uganda	288,000
Hindistan	348,000
Honduras	358,000
Etiyopya	384,000
Endonezya	660,000
Kolombiya	810,000
Vietnam	1.650.000
Brezilya	2.595.000

Bilindiği üzere, kahve çekirdeklerinin yetiştiği kahve ağacı, hassas bir bitki olması sebebiyle her yerde yetiştirilemez. Türkiye'nin konumu ve bulunduğu iklim kuşağı, kahve üretimi için uygun koşullar sağlamadığından dolayı Türkiye'de kahve üretimi gerçekleştirilememektedir [24].

## Kahve Çeşitleri

Bilinen anlamda *Coffea* (kahve) ağacı grubuna ait 70'e yakın bitki çeşidi mevcuttur. Ancak en fazla bilinen iki çeşidi ise, *Coffea arabica* ve *Coffea robusta*'dır [19]. Dünyada üretilmekte olan kahvelerin %70'i ise *Coffea arabica* türüdür. *Coffea arabica*'nın, ilk çıkış 15 yy'da Yemen

olarak belirlenmiştir fakat gerçek anavatanı Etiyopya'dır [25]. *Coffea arabica*, genel olarak yüksekliği 800-2000 metre aralığında olan dağlık platolarda veya volkanik yamaçlarda yetişmektedir. Arabica kahve ağacı, yılda yaklaşık 5 kilogram meyve verebilmektedir ve bu meyvelerden 1 kg kahve çekirdeği elde edilmektedir [26]. Arabica çekirdekleri, Robustaya oranla daha az kafein içermekte olup daha tatlı ve lezzetli bir aromaya sahip olmasından dolayı [21] dünya kahve üretiminin %70'ini oluşturmaktadır [26]. Buna karşın, Arabica türü hastalıklara ve iklim koşullarına fazla dayanıklı olmadığından yetiştirilmesi daha zor ve pahalıdır [21].

*Coffea robusta* ilk kez kaşifler tarafından 1862 yılında Uganda'da keşfedilmiştir [27]. Robusta cinsi kahve ağacı genel olarak deniz seviyesinden 600 metre yükseklikte ve sıcak yerlerde yetiştirilmektedir. Robusta cinsi kahve bitkisi Arabica'ya göre daha farklı yüksekliklere iklim koşullarına ve hastalıklara karşı daha dayanıklı olmasından dolayı yetiştirilmesi daha kolay ve az maliyetlidir [19]. Robusta, Arabica'ya oranla yaklaşık iki kat daha fazla kafein içermektedir. Robusta cinsi kahve odunsu aromasından dolayı kaliteli kahve üreticileri tarafından pek fazla tercih edilmemektedir [26]. Hem ucuz olması hem veriminin fazla olması sebebiyle özellikle hazır kahve üretiminde genellikle Robusta cinsi kahve çekirdeği kullanılmaktadır [19]. Robusta cinsi kahve üretimi dünya kahve üretiminin yaklaşık olarak %30'unu oluşturmaktadır [26].

Liberica cinsi kahve, yalnızca Filipinler'de üretilir ve tüketimi oldukça azdır. Dünya kahve tüketiminde %1 payı vardır [28]. Bunun başlıca sebebi çok pahalı ve az yetiştiriliyor olması ve lezzet kalitesinin düşüklüğüdür. Kahve çekirdek çeşitleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kahve çekirdek çeşitleri [29]

*Coffea arabica* ve *Coffea robusta* kahve çekirdeklerinin kıyaslanmasına ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** *Coffea arabica* ve *Coffea robusta* Kahve Çekirdeklerinin Kıyaslanması [30]

Arabica	Robusta
Deniz seviyesinden 1200-1800 m yükseklikte yetişmektedir.	Çekirdekleri büyüklüklerine, şekillerine, yoğunluklarına ve renklerine göre seçilmektedir.
Daha az nem, kafein ve asitlik içermektedir.	Çekirdekleri hastalıklara ve ortam koşullarına daha dayanıklıdır.
Ağaç 5 senede olgunlaşmasını tamamlar ve yılda 2 kez ürün vermektedir.	Ağaç 2 senede olgunlaşmasını tamamlamakta ve yılda 4 kez ürün vermektedir.
Daha lezzetli ve yumuşak bir aromaya sahip olup iyi kaliteye sahiptir.	Hazır kahve üretiminde kullanılmaktadır.
Çekirdekleri büyüklüklerine, şekillerine, yoğunluklarına ve renklerine göre seçilmektedir.	Yıl içinde daha çok ürün verdiği için daha çok kullanılıp kahve çeşitleri içinde en ucuz olanıdır.

**Şekil 5.** *Kahve üretim akış şeması* [27]

(Fotoğflar yazar tarafından çekilmiştir.)

### **Kahve Fidanının Dikimi:**

Kahve ağaçlarının yetiştirilmesi için, önce fabrikalarda tohumlardan kahve fidanları üretilir ve sonra bu fidanlar kahve üretim plantasyonlarına taşınırlar. 5 yıl sonra ise ağaçlar meyveye yatarlar [41]. Kahve fidanlarının dikimi, kahve çekirdeğinin kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Sıcaklığın yıl boyu ortalama 17-23 derece arasında olması gerekmektedir. Dikim yapılacak yerin yılda 1500 mm'lik yağış alması gerekir. Ekimi genellikle ormandan arındırılmış gölgeli fidanlıklarda büyük yataklara yapılır. Kahve üretimi için öncelikle tohumlar, fideliklerde çimlendirilir ve dikkatlice topraktan ayrılarak yetiştirileceği tohum yatağına dikilir. Ağaçlar toprağa 2-5 m aralıklarla dikilerek doğal ağaçlık alanlar gibi olması için yapay gölgelikler yardımıyla kapatılır. Belli bir boya gelene kadar belirli aralıklarla sık sık sulanır. Kahve ağaçları kökleri sağlam bir şekilde yer edene kadar dikkatli bakım ister. Ekim zamanları ise genç ağaçların etrafında toprağın nemli olduğu dönemlerde gerçekleşir [43].

### **Kahve Kirazı Hasadı ve Hasat Yöntemleri:**

Hasat zamanının doğru belirlenmesi kahve kirazlarının olgunlaşmasını ve kaliteyi doğrudan etkileyen durumlardan biridir. Hasadın doğru mevsimde yapılması, kaliteli kahve çıkmasının birincil faktörüdür.

Farklı kıta ve plantasyonlarda yetiştirilen çekirdeklerin hasat zamanları değişiklik göstermektedir. Kahve meyveleri olgunlaştıktan sonra hemen toplanmalıdır. Bu meyveleri toplamak kolay değildir. Kahve ağacının meyveleri farklı zamanlarda olgunlaştığı için, toplama işlemi yapılırken kahve kalitesine zarar vermemek için olgunlaşmış ve olgunlaşmamış kahve çekirdeklerinin ayrılmasına dikkat edilmelidir [44]. Kahve kirazı hasat yöntemleri; elle toplama, dalı sıyırma ve endüstriyel toplama olmak üzere üç şekilde gerçekleştirilmektedir [21].

Meyveler olgunlaşırken renkleri kırmızıya döner ve olgunlaşan meyveler elle toplamaya hazır hale gelir. Bir kahve ağacı yılda 2000-4000 kadar meyve verir ve her meyvede iki kahve çekirdeği bulunmaktadır [41]. Arabica cinsi kahvenin yetiştirildiği çoğu bölgede toplayan kişiler elleriyle olgunlaşmış olan meyveleri dikkatli bir şekilde seçerek tek tek toplar ve yanlarında taşıdıkları sepetlere koyarlar [21]. Toplayıcılar sepetlerine koydukları meyvelerin ağırlığı karşılığında ücret alırlar [45]. Dalı sıyırma yöntemi daha çok düz ve düzenli bir şekilde olan Brezilya'daki kahve alanlarında uygulanmaktadır. Bu yöntemde dalın sıyırılması ile olgunlaşan ve olgunlaşmayan tüm tanecikler toplanır [21]. Endüstriyel toplama yöntemi ise geniş alanlarda kahve meyvelerini toplamak için kullanılmakta olan bir yöntemdir. Bu yöntem, işgücü maliyetlerini azaltarak hızlı bir şekilde hasat yapılmasına olanak sağlar. Bu yöntem için makinelere ihtiyaç vardır. Makinenin çalışma şekli ise titreşim sağlayan çubukların, ağaçların arasından geçerek kahve kirazlarını vibrasyon sayesinde alt taraftaki bölmeye düşürmesiyle gerçekleşir. Bu yöntem olgunlaşmamış kirazların seçilemesin olanak sağlamadığı için olgunlaşmışların arasında karışması olasıdır [46]. Makineli hasat yapan çiftçiler ise daha sonradan kalite standartlarını yükseltmek için olgunlaşmış meyveleri ayırmayı tercih edebilmektedirler. Ayrıştırma işleminde sadece olgunlaşmamış meyveler değil zarar görmüş meyveler de ayrılmaktadır [44].

### **Çekirdeğin İşlenme Yöntemleri:**

Kahve çekirdeği işleme yöntemleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Bu yöntemlerin seçimi çekirdeğin kalitesine göre belirlenmektedir [47,48].

**Tablo 3.** Kahve İşleme Yöntemleri

## Kahve İşleme Yöntemleri



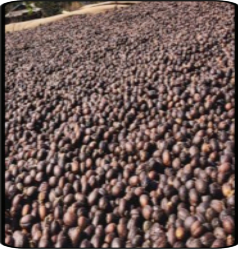
## Yıkamış Yöntem-İslak İşleme

- Yaygın bir yöntem olup bol su gerektirmektedir.
- En kaliteli kahve üretiminde tercih edilmektedir.
- Bol su gerektirmektedir.
- Kahve ıslak işlendiğinde, meyveler hamur haline getirilmekte ve fermente edilmektedir.
- İslak işlemede kahve çekirdeklerinin kurutulması gerekmez, kahve meyveleri ıslak olarak işlenmektedir.
- Dış deri ve hamur mekanik olarak çıkarılır ve daha sonra elde edilen çekirdek 0.5-2 mm kalınlığındaki kalan hamur katmanını çıkarmak ve müsilajı gidermek için için fermente edilmektedir.
- Fermantasyondan sonra, temiz çekirdekler yaklaşık %12 neme gelene kadar kurutulmakta ve daha sonra parşömen çıkarılmak üzere kabukları alınmaktadır. Elde edilen katı atık (parşömen ve kahve çekirdeği zarı) toplu olarak parşömen kabukları olarak adlandırılmaktadır [49, 50, 47].
- Fermantasyon için optimum sıcaklık 30–35 °C'dir.
- Taneler fermantasyon aşamasında bir tarak yardımıyla 2-3 kez karıştırılmaktadır. Müsilajın bozulması, pektinolitik enzimlerin ortam sıcaklığı ve yüksekliğinin doğal konsantrasyonuna bağlı olarak Arabica için yaklaşık 24-36 saat ve Robusta için 72 saat sürmektedir. Sonra çekirdekler tekrar suyla iyice yıkanmaktadır. Yıkadıktan sonra, parşömen 12 saat boyunca temiz suya batırılmaktadır. Bu aşamada yeşil kahve çekirdekleri nem içermektedir. İslatma işlemi, demleme için sertlik veren diterpenler ve polifenolik maddeleri çıkararak çekirdeklerin görünüşünü ve kalitesini iyileştirmektedir [2].
- Kurutma işleminde, çeşitli mikrobiyal kontaminasyonlar olabilmektedir. Bu bulaşma, çekirdeklerin kalitesini ve duyuşal özelliklerini etkilemektedir [27, 51].



#### Yarı Yıkanmış Yöntem

- Çekirdekleri zarından ayırmak için fermentasyon işlemi gerçekleştirmediğinden, kahvede toprak ve bitki kokuları oluşabilmektedir.
- Yarı yıkanmış kahveler orta gövde ve aromada, düşük asitlikte ve bir miktar şekerli lezzette olmaktadır.
- Kahve çekirdekleri bal rengine benzeyen sarımsı bir renk almaktadır.
- Çekirdeklerin üstündeki parşömen ve saydam kabuk kuruduktan sonra kabukları soyma işlemi gerçekleştirilmektedir.
- Kahve çekirdekleri özel makinelerden geçirilerek üzerlerindeki katmanlardan ayrılmaktadır.
- Temizlenen kahve çekirdekleri tekrar kurutmak üzere gönderilmekte ve nem oranı %10-12'ye düşene dek kurutulmaya devam edilmektedir.
- Kurutmadan sonra, sınıflandırma ve paketleme işlemleri yapılmaktadır [48, 51].



#### Kuru/Doğal Yöntem

- İklimin kuru ve sıcak olduğu bölgelerde yapılmaktadır.
- Basit bir yöntemdir.
- Ekonomik bir yöntemdir.
- Güneşte kurutma yapılmaktadır.
- Kahve meyveleri geç hasat edilmektedir.
- Dal sıyırma yöntemi kullanılmaktadır.
- 2-3 hafta boyunca çekirdekler kurumaya bırakılır ve sık aralıklarla çevrilerek her iki yüzeyinin de eşit şekilde kurutma yapılmaktadır.
- Kahve çekirdeklerinin nemi %12'ye düşüncü işlem bitirilmektedir.
- Kurutmadan sonra, kabuk giderme makinesinde sayesinde dış yüzeyini saran küspe tabakası (dış kabuk, parşömen ve kahve çekirdeği zarı) çekirdekten ayrılmaktadır.
- 1 ton kahve meyvesinden ortalama 0.18 ton kabuk üretilmektedir. Robusta kahve çekirdeklerinde daha çok tercih edilir [50, 49, 52, 41, 34, 53, 48, 51].



***Nakliye:***

Kabuklarından ayrılan çekirdekler yetiştirildikleri yere göre, 60 kg'lık çuvallara doldurulmaktadır. Yeşil çekirdekler, nem ve sıcaklığı ayarlanmış depolarda, 1 ila 3 ay arası depolanabilmektedir. Depolama süresi uzadıkça küflenme ve mantar oluşumu ihtimali de artmaktadır. Bu süre kuru depoların saklama koşullarına göre değişim göstermektedir [54].

***Kavurma:***

Kahve çekirdekleri, kavrulma işleminde önce üzerlerindeki kabuktan ve meyvenin etli kısmında ayrılmaktadır. İlk aşamada, kahve çekirdeği yaklaşık %12 nem kaybetmekte ve rengi önce sarıya ardından açık kahverengiye dönmektedir. Piroliz reaksiyonları ikinci aşamada meydana gelmekte ve doğal olarak oluşan polifenollerin karmaşık bir Maillard reaksiyon ürünleri karışımına geçişi ile çekirdeklerinin hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmaktadır [2]. Bu olaylar kahve çekirdeklerinde nemin kaybolmasına ve rengin kararmasına neden olmaktadır [55]. Kavurma sonrasında bu reaksiyonları durdurmak açısından çekirdeklerin hızla soğutulması önem taşımaktadır. Kavrulmuş kahve çekirdekleri oda koşullarında 1 hafta tazeliğini koruyabilmektedir [21].

Kavurma işleminde kahve çekirdekleri istenilen kahverengi tonuna ulaşılan kadar düzenli ısı uygulanmakta ve homojen kavurmayı sağlamak için sürekli karıştırma ile kavrulmaktadır. Her iki sistemde de kahve çekirdekleri alttan ısı uygulanan dönen bir tamburda kavrulmaktadır. Kahve kalitesi açısından çiğ kahve çekirdeklerinin kavurma işlemi sırasında uygulanan sıcaklık ve sürenin kontrol edilmesi önem taşımaktadır [21]. Kahve çekirdeklerinin kavrulması ısıtılmış azot gazının basınç altında uygulanması ile de yapılmaktadır [41]. Kavurma işlemi sırasında, çekirdekteki serbest suyun tamamının uçurulmasına ek olarak bazı uçucu bileşikler de kahve çekirdeğinden ayrılır. Uçucu bileşenlerin uzaklaşması ile üründe oluşan madde kaybı, yeşil çekirdek ağırlığının yaklaşık %5'i kadardır [41]. Yeşil kahve %12 su içerir ve kavurma işlemi sonucu nem %8'e düşer. Tanenin rengi, ısı ile ilişkili olarak değişir. Tane hala su içeriyorsa renk açılacaktır, sıcaklık 240.6 °C'ye yükselince, tamamen koyu kahverengi renk oluşur ve ağırlık kaybı %20'dir. Taneler istenilen ısıya ulaşır, renkleri uygun hale geldiğinde işlem sonlandırılır. Kavrulmuş kahvenin öğütülmesinde, genelde kırıcı çubuklar içeren endüstriyel öğütücüler kullanılır [25].

Aromatik bileşenler kahve için oldukça önemlidir, çünkü kahve içenlerin duyuusal deneyiminin ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Kahvenin duyuusal özelliklerini etkileyen altı faktör bulunmaktadır

bunlar: bitki çeşitleri, büyüme bölgesi-koşulları, işleme yöntemleri, kavurma seviyeleri, öğütme boyutu ve demleme yöntemleridir. Birçok çalışma kahve kökeninin, kavurma ve kavurma derecesinin ve sıcaklık kombinasyonlarının kahve aromaları ve aromalarından sorumlu uçucu bileşiklerin oluşumu üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Aroma ve tatlar yeşil kahvenin kökeni ile karakterize olmasına rağmen, kavurma işlemi farklı kavurmama dereceleri ve koşulları kahve aromasında farklılıklara neden olur [56]. Yeşil kahve çekirdekleri normalde 200°C'nin üzerinde kavrulur. Kavrulmuş kahvenin karakteristik lezzeti, rengi ve aromasıdır. Kavurma işleminin bir sonucu olarak, oluşan gazların % 80'inden fazlasını oluşturan CO<sub>2</sub> üretilir. Kavrulmuş kahvelerde CO<sub>2</sub> oluşumu, Maillard, Strecker ve piroliz reaksiyonlarına bağlanmaktadır [57]. Kahve çekirdekleri, karakteristik lezzet, renkler ve aromaların geliştirilmesi için 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hava kullanılarak kavrulmaktadır. Karbondioksit, kavurma sırasında üretilen ana gazdır. Kavrulmuş kahveden salınan gazların %87'si karbondioksittir. Kavurma sırasında üretilen karbondioksit miktarı kahvenin türüne ve kavurma koşullarına bağlı olmaktadır [55].

### **Öğütme:**

Kahve üretimi sırasında kahve çekirdekleri meyvelerinden çeşitli işlemlerle ayrılmakta, kurutulmakta ve kavrulmaktadır. Kahve çekirdekleri öğütülmelerinin ardından tazeliklerini uzun süreli koruyamadığından dolayı kahve yapımından hemen önce öğütülmeleri gerekmektedir [19]. Yaklaşık olarak her 3000 çekirdekten ½ kg öğütülmüş kahve elde edilir [41]. Öğütülmüş kahvenin parçacık boyutu dağılımı ve boyutunun küçültülmesi, nihai ürünün özelliklerini, ekstraksiyon, yoğurma veya fırınlama gibi birçok işlemin lezzet üzerindeki etkisini belirlemektedir. Öğütülmüş kahve çekirdeğinin, ekstrete edilebilirliği büyük ölçüde çözücülere ve incelik derecesine bağlıdır. Öğütmenin önemli bir süreç olmasının nedeni budur. Kavrulmuş kahvenin içeriğindeki su miktarı, öğütme işlemi, ekstraksiyonu ve aroma tutma dinamiklerini etkilemektedir [58]. Kahve çekirdekleri, çok ince öğütüldüğünde kahve acı tat verirken, çok iri öğütüldüğünde ise kahvenin lezzeti çekirdeklerden tamamen çıkarılmayacağından kahvenin tadı hafif olmaktadır. Öğütülmüş kahve oksijenle ne kadar çok temas ederse hızlı bir şekilde tat ve aroma kaybetmeye başlamaktadır. Kahve kavrulmamış çekirdek ise üç hafta, kavrulmuş çekirdek halinde iki hafta, öğütülmüş (çekilmiş) toz halde ise 10 dakika kadar bozulmadan dayanabilmektedir [52].

### **Kahvenin Sağlık Üzerine Etkisi**

Kahve, dünyada en çok tüketilen içeceklerden biridir, petrolden sonra dünyadaki en değerli ve en büyük ikinci ticari üründür ve alkolsüz

içecek tüketiminin %75'ini oluşturmaktadır [3, 59, 60]. Bu içeceğin aşırı tüketimiyle ilişkili riskler (hipertansiyon, koroner kalp hastalığı, anksiyete, uykusuzluk, depresyon, osteoporoz, anemi, hamilelikle ilgili sorunlar) bulunmasına rağmen fitokimyasal ve biyolojik özellikleriyle ilgili yapılan çalışmalar, kahvenin insan sağlığı üzerindeki faydalarının olumsuz etkilerini geride bıraktığını ve kahvenin potansiyel aynı zamanda işlevsel bir gıda olduğunu ortaya koymuştur [60].

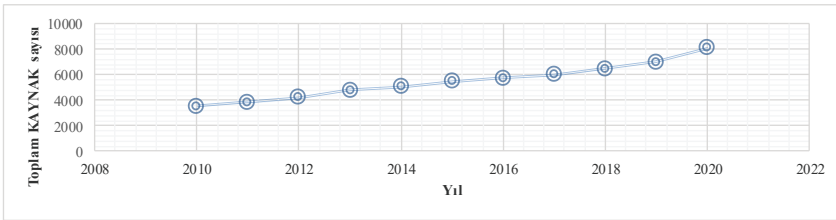
Kahve, en yaygın kafein olarak bilinen birçok karmaşık bileşik içermektedir. Kafein merkezi sinir sistemini uyaran biyolojik özelliklere sahiptir [61, 3]. Bununla birlikte kahve, çok çeşitli fizyolojik etkilere sahip aynı zamanda diğer biyoaktif maddeler açısından da oldukça zengindir. Kahve, 1000'den fazla bileşen ve 1000 taneye kadar tanımlanmış fitokimyasal içeren karmaşık bir içecektir. Bunlar arasında klorojenik ve kafeik asit dahil fenoller, laktonlar, kafestol ve kahveol dahil diterpenler, niasin ve B3 vitamini öncüsü trigonellin bulunmaktadır. Ayrıca kahve, B3 vitamini, magnezyum ve potasyum açısından zengindir [61, 62]. Bunların yanında kahve, karbonhidratlar, lipitler, melanoidinler, azotlu bileşikler, uçucu aroma bileşikleri, vitaminler, mineraller, alkoidler, fenolik bileşikler ve bir dizi pozitif, negatif ve nötr sağlık etkisine sahip diğer nitrojen bileşikler dahil olmak üzere binlerce farklı kimyasal maddeler de içermektedir [3, 63].

Kahvenin sağlık üzerindeki etkilerini anlamak, dünya çapında en çok tüketilen içecekler arasında yer almasından dolayı büyük önem taşımaktadır [64]. Son yıllarda yeşil kahvenin insan sağlığına faydalı özelliklerine dikkat çekilmesi yeşil kahve bazlı içeceklerin tüketiminde artışa yol açmıştır. Yeşil ve kavrulmuş kahvenin bileşimine bakıldığında, klorojenik asitler, trigonellin ve kolin vb. sağlığı güçlendirici etkilere sahip bileşikler ve antioksidan özellikler bakımından zengindir [60]. Kahve tüketimi tıp alanında yapılan çalışmalarda büyük ilgi görmüştür ve çalışmalara göre; kahve tüketiminin genel ölüm oranı ve şeker hastalığı, karaciğer hastalığı, Parkinson hastalığı ve birçok kronik hastalık ile ters ilişkili olduğunu göstermiştir [64]. Deneysel ve epidemiyolojik çalışmalar kahvenin nörolojik hastalıklar (Parkinson ve Alzheimer hastalıkları), kanser (meme ve kolon kanseri), psikoaktif tepkiler (uyanıklık, ruh hali değişikliği), metabolik bozukluklar (tip 2 diyabet) ve karaciğer fonksiyon bozuklukları (siroz) gibi çeşitli patolojilere karşı yararlı etkiler sağlayabileceğini göstermiştir [60]. Bunlara ek olarak kahve, kardiyovasküler hastalık riskini engelleyebilecek kafein, diterpenler ve polifenoller içermektedir. Son yıllarda kahve tüketiminin diyabet, hipertansiyon, felç ve kardiyovasküler hastalıklar üzerindeki faydalarını bildiren birçok çalışma ortaya konmuştur. Ayrıca, günde 3 fincan kahve

tüketimi, tüm (nedenlere bağlı) ölüm ve kardiyovasküler ölüm riskinin daha düşük olmasıyla ilişkilendirilmiştir [65].

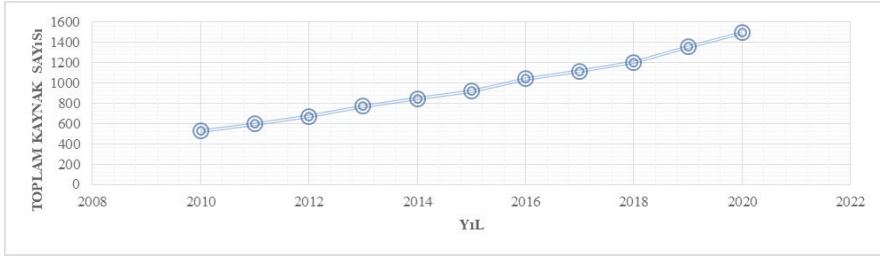
## Kahve ve Kahve Çekirdekleri ile İlgili Yapılmış Güncel Çalışmalar

Bu çalışma için, kahve ile ilgili güncel araştırmaların incelenmesinde, geniş kullanım alanı olan Science Direct elektronik veri tabanı ( <https://www.sciencedirect.com/> ) tercih edilerek, literatür taraması sınırlandırılmıştır. Buna göre; Science Direct elektronik veri tabanı üzerinden “coffee” yani “kahve” başlıklı tarama yapıldığında, 2021 yılının ilk 4 ayında, kahve kelimesinin geçtiği 3461 adet araştırma makalesi, 681 adet derleme makale, 119 adet ansiklopedi, 621 adet kitap bölümünün literatüre katkı sağladığı görülmüştür. Bu veriler 2020 yılı için “coffee” filtresi ile tarandığında; 988 adet derleme, 5334 adet araştırma makalesi, 107 adet ansiklopedi ve 995 adet kitap bölümü olarak literatüre geçmiştir. Science Direct elektronik veri tabanı sonuçlarına göre; 2010 yılında 3555 adet olan kahve kelimesinin geçtiği toplam kaynak sayısı, 2020 yılında 8110 adete ulaşmıştır. Şekil 6’da verilen sonuçlara göre son 10 yılda “kahve” kelimesinin geçtiği çalışma sayıları büyük artış göstermiştir. Yapılan incelemeler kahvenin besleyici, sağlık özellikleri, kimyasal yapısı, kahve çekirdeklerinin yapısı ve özelliklerinin merak uyandırdığını ve araştırmaya açık bir konu olarak tercih edildiğini göstermektedir.



**Şekil 6.** Science Direct elektronik veri tabanı sonuçlarına göre 2010-2020 yılları arasında “coffee” (kahve) kelimesinin geçtiği toplam kaynak sayısı (derleme makale, araştırma makale, ansiklopedi, kitap bölümü)

Şekil 7’ye göre, Science Direct elektronik veri tabanında 2010 yılında “coffee beans” (kahve çekirdekleri) kelimesinin geçtiği toplam kaynak sayısı 526 adet iken, bu sayı 2020 yılında 1498 adet olarak rapor edilmiştir. Kahve çekirdekleri ile ilgili çalışmalarda gün geçtikçe önem kazanmıştır.



**Şekil 7.** Science Direct elektronik veri tabanı sonuçlarına göre 2010-2020 yılları arasında “coffee beans” (kahve çekirdekleri) kelimesinin geçtiği toplam kaynak sayısı (derleme makale, araştırma makale, ansiklopedi, kitap bölümü)

Science Direct elektronik veri tabanında kahvenin, kahve çekirdeklerinin besleyici ve kimyasal özelliklerini inceleyen 2021 yılı tarihli seçilen bazı araştırma makalelerine ait önemli sonuçlar Tablo 4’de özetlenmiştir.

**Tablo 4.** Science Direct elektronik veri tabanı sonuçlarına göre 2021 yılında yapılan bazı kahve araştırmalarına ait sonuçlar

Kaynak	Makale Başlığı	Sonuçlar
Zhu ve ark. [8]	“Comparison of chemical and fatty acid composition of green coffee bean ( <i>Coffea arabica</i> L.) from different geographical origins”	Farklı coğrafi kökenlerden yeşil kahve çekirdeğinin ( <i>Coffea arabica</i> L.) kimyasal yapısı ve yağ asidi bileşiminin karşılaştırıldığı bu çalışmada, yağlı asit bileşimine C18:2 (Linoleik asit), C16: 0 (Palmitik asit), C18:1 (Oleik asit) ve C18:0 (Stearik asit) yağ asitleri hakim olmuştur.  Toplam yağ asitlerinin %51.66-54.28’ini sağlık açısından faydalı doymamış yağ asitleri oluşturmuştur.

Etiyopya, Kenya, Guatemala, Honduras, Brezilya ve Kolombiya bölgelerine ait yeşil kahve çekirdeklerinin yağ asidi içeriklerinin coğrafi kökenli ayırma için önemli bir bileşen olduğu bildirilmiştir. Yeşil kahve çekirdeklerinin kimyasal ve yağ asidi bileşiminde sekiz coğrafi kaynaktan önemli bir ayırım oluşturduğu bildirilmiştir.

---

**Córdoba ve ark. [67]** *“Specialty and regular coffee bean quality for cold and hot brewing: Evaluation of sensory profile and physicochemical characteristics”*

Soğuk ve sıcak demleme yapılarak özel ve normal kahve çekirdeği kalitesi değerlendirilmiştir.

Soğuk demleme, French Press yöntemi ile kahve örnekleri hazırlanmış, kahvelerin duyuusal ve fizikokimyasal özellikleri araştırılmıştır.

Kahve çekirdeklerinin bileşiminin soğuk ve sıcak demlenmiş kahvenin duyuusal profilini etkilediği bildirilmiştir.

İstenmeyen duyuusal özelliklerin sıcak demlenmiş kahvelerde daha çok olduğu belirtilmiştir.

Sıcak demlenmiş kahve, soğuk demlenmiş kahve içeceklerine göre daha yüksek titre edilebilir asitlik gösterdiği bildirilmiştir.

Kahve içeceklerinin özellikleri kullanılan kahve çekirdeği kalitesi ve demleme yönteminden etkilendiği bildirilmiştir.

Soğuk demlenmiş kahvelerde uçucu bileşiklerden 2-metilbutanal, 5-metilfurfural ve dihidro-2-metil-3 (2H)-furanon tespit edilmiştir. Sıcak demlenmiş kahve içeceklerinin ise bazı özel furanlar ve 2-metoksi-4-vinilfenol türlerini içerdiği bildirilmiştir.

---

**Febrina ve ark. [68]** *“Metabolite profiles and antidiabetic activity of the green beans of Luwak (civet) coffees”*

Misk kedisinin kahveyi sindirimi sonucunda değişik özellikler kazanan Luwak (misk) kahvelerinin yeşil çekirdeklerinin metabolit profilleri ve antidiyabetik aktivitesinin incelendiği bu çalışmada, (kafesli ve yabani) Luwak (misk) kahvelerinin metabolit profilleri incelenmiştir.

NMR teknikleriyle incelenen yeşil kahve çekirdeklerinin biyoaktiviteleri, antioksidan testleri ve in vitro antidiyabetik özellikleri incelenmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre, misk kahvelerinin normal kahveye göre diyabet riskini azaltan özelliklerinin olduğu bildirilmiştir. Misk kedisinin sindirim sisteminin, yeşil kahve çekirdeklerinin özelliklerini olumlu yönde değiştirdiği rapor edilmiştir.

---

<b>Ribeiro ve ark. [69]</b>	<i>“Potential of green and roasted coffee beans and spent coffee grounds to provide bioactive peptides”</i>	<p>Bu çalışmada biyoaktif peptidler sağlamak için yeşil ve kavrulmuş kahve çekirdekleri ve kullanılmış kahve telvesinden yararlanılmıştır. Elde edilen proteinlerin gastrointestinal sindiriminin biyoaktif peptidler sağlayabileceğine dair kanıt gösteren ilk çalışma olarak rapor edilmiştir.</p> <p>Çalışma sonuçlarına göre, özellikle kahve telvesinin biyoaktif peptid kaynağı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, kahve işlemenin bir yan ürünü olan kullanılmış kahve telvesinde, protein fraksiyonunda hem antihipertansif hem de antioksidan potansiyellerin yüksek olması nedeniyle, bu proteinin insan beslenmesinde kullanılması hem glisemik hem de hipertansif kontrol için, metabolik bozuklukların neden olduğu oksidatif hasarın önlenmesi için önemli bir bileşen olarak belirtilmiştir.</p> <p>Kahve kavurmanın da protein-melanoidin etkileşimi nedeniyle antioksidan aktiviteyi iyileştirdiği bildirilmiştir. Bununla birlikte <i>in vivo</i> biyoyararlılığı belirlemek ve değerlendirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Genel olarak kahvenin, bulaşıcı olmayan kronik hastalıkların riskini azaltmaya yardımcı olabilecek bir peptid kaynağı olabileceği bildirilmiştir.</p>
<b>Ayseli ve ark. [70]</b>	<i>“Elucidation of aroma-active compounds and chlorogenic acids of Turkish coffee brewed from medium and dark roasted Coffea arabica beans”</i>	<p>Bu çalışmada, orta (OK) ve koyu kavrulmuş Türk kahvesi (KK) demlerinin temel kokuları GC-MS-Olfaktometri kullanılarak incelenmiştir.</p> <p>4 ile 2048 arasında değişen lezzet seyreltme faktörleri ile sırasıyla orta (OK) ve koyu kavrulmuş (KK) kahve örneklerinde toplam 26 ve 28 anahtar koku tespit edilmiştir. En yüksek seyreltme faktörü (2048) 2-etil-3,5- için bulunmuştur. OK ve KK demleme örneklerinde sırasıyla dimetilpirazin ve 2-etil-3-metil pirazin olduğu rapor edilmiştir.</p> <p>Orta ve koyu kavrulmuş <i>Coffea arabica</i> çekirdeklerinden demlenmiş Türk kahvesinin aroma aktif bileşenlerinin ve klorojenik asitlerinin açığa çıkarıldığı bu çalışmada, kahve örneklerindeki en güçlü anahtar koku pirazinler olarak bildirilmiştir.</p> <p>KK'ya kıyasla OK'da daha yüksek miktarda klorojenik asit içerdiği bildirilmiştir.</p> <p>Duyusal analize göre, OK çekirdeklerinden demlenen Türk kahvesi örneği, KK'ya göre daha yüksek bir duyusal özellik ve genel beğeni gösterdiği bildirilmiştir.</p>

**Silva ve ark. [71]** “*Fermentation of Coffea canephora inoculated with yeasts: Microbiological, chemical, and sensory characteristics*” Maya (*Meyerozyma caribbica*) ile fermantasyona uğratılmış, doğal yöntemle işlenen 300 ve 600 m kotlarındaki tarlalarda yetişen Conilon kahvesinin (*Coffea canephora*) mikrobiyolojik, kimyasal ve duyuşal özelliklerinin incelendiği bu çalışma, Conilon kahvesi üretiminde maya kullanımının kahve mikrobiyotası üzerine etkisinin ilk kez araştırıldığı çalışma olarak vurgulanmıştır.

Bu çalışmada uçucu ana bileşik pirazinler olarak bildirilmiştir.

Kahve tüketicilerinin, *M. caribbica* ile aşılanan numunelerde bir farklılık tespit ettikleri ve *M. caribbica* kullanımının duyuşal değerlendirmede kahvelere verilen puanı iki puan arttığı bildirilmiştir. İçecek kalitesini arttırmak için başlangıç kùltürü olarak kahve üretiminde kullanılabileceği tavsiye edilmiştir.

**Mateus ve ark. [72]** “*Selenium biofortification enhances ROS scavenge system increasing yield of coffee plants*” Bu çalışmada selenyum (Se) zenginleştirme kahve bitkilerinin verimini arttıran reaktif oksijen türlerini (ROS) temizleme sistemini geliştirdiği bildirilmiştir.

Se'nin düşük konsantrasyonlarda yapraklardan uygulanması, kahve bitkilerinde antioksidan enzimlerin aktivitesini artırmış ve ROS'ları azalttığı bildirilmiştir.

Bu çalışmada, sırasıyla 120, 40 ve 20 mg/L konsantrasyonlarında nano-Se 1500, nano-Se 5000 ve sodyum selenat kullanılarak, Se yaprak uygulaması yapılmış ve yaprak Se yüksek fotosentetik pigment konsantrasyonuna neden olduğu belirtilmiştir.

Selenyum ile zenginleştirme, kahve bitkilerinde antioksidan metabolizmayı arttığı rapor edilmiştir. Se zenginleştirme ile artan antioksidan aktivite, pigmentasyon ve kahve verimini arttırmıştır.

Lipid peroksidasyonunun Se konsantrasyonuna bağlı olarak azalma gösterdiği bildirilmiştir.

Selenyum uygulamasının kahve yapraklarında fotosentetik pigment oluşumunu arttırdığı belirtilmiştir.

Se uygulamasının yüksek sıcaklıklar gibi abiyotik stres faktörlerini azaltarak daha yüksek kahve bitkisi verimi sağlayabileceği önerilmiştir.

Artan antioksidan içerik, klorofil miktarı ve selenyum tedarikine yanıt olarak daha yüksek kahve verimi olduğu bildirilmiştir.



**Schouten ve ark. [73]** *“Acrylamide formation and antioxidant activity in coffee during roasting- A systematic study”*

Kavurma sırasında kahvede akrilamid oluşumu ve kahvenin antioksidan aktivitesinin incelendiği bu çalışmada, kavurma işleminin meydana getirdiği risk ve faydalar belirlenmiştir.

Arabica ve Robusta yeşil kahve çekirdekleri, beş kavurma derecesinde tutularak, akrilamid trigonellin, nikotinic asit ve kafeoilkinik asit içeriklerinin belirlenmesi HPLC, antioksidan aktivite için (Folin-Ciocalteu, FRAP, DPPH, ABTS metotları kullanılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre; uzun süreli kavurmanın akrilamid ve antioksidan aktiviteyi azalttığı bildirilmiştir.

Robusta kahve çekirdeklerinin en yüksek akrilamid ve antioksidan aktivite gösterdiği bildirilmiştir.

**Montenegro ve ark. [74]** *“Bioactive compounds, antioxidant activity and antiproliferative effects in prostate cancer cells of green and roasted coffee extracts obtained by microwave-assisted extraction (MAE)”*

Mikrodalga destekli ekstraksiyon (MDE) ile elde edilen yeşil ve kavrulmuş kahve ekstraktlarının prostat kanseri hücrelerinde biyoaktif bileşikler, antioksidan aktivite ve antiproliferatif etkilerinin incelendiği bu çalışmada, kavurmanın biyoaktif bileşikleri ve antioksidan aktiviteyi azalttığı bildirilmiştir.

*Coffea arabica* yeşil çekirdekleri açık, orta ve koyu olacak şekilde kavrulmuş ve bu dört kahve numunesi mikrodalga destekli ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Bu numunelerin antioksidan kapasitesi beş farklı yöntemle değerlendirilmiştir.

Yeşil ve hafif kavrulmuş kahve özlerinin en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu, kafein içeriği kavurmadan etkilenmediği, sıcaklık nedeniyle klorojenik asitin azalmış olduğu bildirilmiştir.

Yeşil ve hafif kavrulmuş kahve, hücre büyümesini modüle etmiş ve prostat kanseri hücrelerinde apoptozu teşvik ettiği bildirilmiştir.

Yeşil ve hafif kavrulmuş kahvenin prostat kanserine karşı koruyucu özellikte olduğu vurgulanmıştır.

## SONUÇ

Kahve dünyadaki en popüler içeceklerden biri olup, gün geçtikçe tüketimi artan bir üründür. Kahvenin çekirdekten itibaren uygulanan işleme, kavurma ve demleme yöntemlerindeki farklılıklarından dolayı çok çeşitli, değişik aroma bileşenleri içeren kahve türleri oluşmuştur. Ülkelere göre kimyasal ve besleyici özellikleri değişiklik gösteren kahve çekirdeklerinin, yeşil veya kavrulmuş halleri arasında da farklılıklar bulunmaktadır. Yapılan literatür çalışmaları genellikle yeşil ve kavrulmuş kahve çekirdeklerinin ülkelere göre farklılıklarını, Arabica, Robusta gibi sık kullanılan kahve çekirdeklerinin içerdikleri fitokimyasal bileşikleri, besleyici özelliklerini, kahvenin sağlık üzerine etkilerini ve farklı kahve çekirdeği kullanımının kahvenin duyuşal özelliklerine etkisini incelemektedir. Bunun dışında son dönemde kahve endüstrisi yan ürünleri olan kahve posası, kahve çekirdek zarı, kahve kabuğu, kahve parşömeni ile ilgili çalışmalar da yapılmaya devam etmektedir. Kahvenin sağlık üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalarda diyabet, bazı kanser türleri ve nörolojik hastalıklar ile ilgili olumlu etkilerden bahsedilmiştir. Hem tıbbi anlamda keşfedilmeyi bekleyen hem de duyuşal ve besleyici özellikleri ile dikkat çeken kahve ile ilgili çalışmaların artması ve yeni özelliklerinin araştırılması literatüre ve toplum sağlığına katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Akçaray, E. (2012). Kâh Kahvehane Kâh Caf : Küreselleşen Eskişehir’de Kahve Tüketime  zerine Kuramsal Bir Giriş. *Galatasaray Üniversitesi İletişim Dergisi*, 2, 181-202.
2. Murthy, P.S., Naidu, M. (2012). Sustainable Management of Coffee Industry By-Products And Value Addition-A Review, Resources, Conservation And Recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45–58.
3. Bae, J., Park, J., Im, S., & Song, D. (2014). Coffee and health. *Integrative Medicine Research*, 3, 189 - 191. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2014.08.002>
4. AkŐit AÇık, N. (2017). Değişen Kahve Tüketime AlıŐkanlıkları ve Türk Kahvesi  zerine Bir Araştırma. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 5(4), 310-325.
5. Őahbaz, S. (2007). GeçmiŐten Günümüze Kahvehaneler Kahvehanelerin Sosyal Yaşamdaki Yeri ve  nemi: Aydın Merkez  rneği. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
6. Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H., & Henry, R. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science and Technology*, 57, 20-30.
7. Kath, J., Byrareddy, V.M., Mushtaq, S., Craparo, A., Porcel, M. (2021). Temperature and rainfall impacts on robusta coffee bean characteristics. *Climate Risk Management*, 32, 100281. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212096321000103>
8. Zhu, M., Long, Y., Ma, Y., Chen, Y., Yu, Q., Xie, J., Li, B., & Tian, J. (2021). Comparison of chemical and fatty acid composition of green coffee bean (*Coffea arabica* L.) from different geographical origins. *LWT-Food Science and Technology*, 140, 110802. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110802>
9.  ay, İ.,  iler (2019). Kahvelerdeki Kafein Miktarının Hazırlama Yöntemine Göre DeĐiŐiminin Kromatografik Olarak İncelenmesi. Eskişehir Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
10. Sato, Y., Itagaki, S., Kurokawa, T., Ogura, J., Kobayashi, M., Hirano, T., Sugawara, M., & Iseki, K. (2011). In vitro and in vivo antioxidant properties of chlorogenic acid and caffeic acid. *International journal of pharmaceutics*, 403 1-2, 136-138. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.09.035>
11. Li, G., Ma, D., Zhang, Y., Zheng, W., & Wang, P. (2013). Coffee Consumption And Risk of Colorectal Cancer: A Meta-Analysis of Observational Studies. *Public Health Nutrition*, 16 (2), 346-57.

12. Komes, D., Bušić, A. (2014). Antioxidants in Coffee. *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages*, 25-32. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124047389000039>
13. Gürsoy, D. (2014). *Gastronomi Tarihi*. İstanbul: Oğlak Yayıncılık.
14. Can, M.A. (2018). Osmanlı Toplumunda Kahve ve Kahvehaneler. Bartın Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Lisans Bitirme Tezi, Bartın.
15. Göktaş, E. (1999). Osmanlı Döneminde Kahvehaneler, Kırcaathaneler ve Bunların İşlevleri. *Atatürk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, 11, 67-80.
16. Yardımcı M., 2017. Geleneksel Kültürümüzde Kahve”. Erişim Adresi: Web sitesi:<https://docplayer.biz.tr/8446417-Geleneksel-kulturumuzde-kahve.html>. Erişim Tarihi: 11.05.2020.
17. Yönet Eren, F., Ceyhan Sezgin, A. (2018). Kültürel Miras Açısından Türk Kahvesi. *Turkish Studies*, 13(10), 697-712.
18. Kılınç, F. F. (2018). Bir Çekirdeğin Yolculuğu Kahve. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Bilim Tarihi, Erişim Tarihi:07.04.2020.
19. Gürsoy, D. (2005). *Sohbetin Bahanesi Kahvesi*. İstanbul: Oğlak.
20. Ürer, H. (2010). Osmanlı’da Kahve/ Kahvehane Kültürü ve Salihli’den Bir Kahvehane Örneği “Himaye-i Etfal”. *Sanat Tarihi Dergisi*, 19(2), 1-26.
21. Kıvançlı, J. (2011). Türk Kahvesinin Karakteristik Lezzetinin GC/MS ve Lezzet Profil Analizi Tekniği İle Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi İzmir
22. Guido, Z., Knudson, Finan, C.T., Madajewicz, M., Rhiney, K. (2020). Shocks and Cherries: The Production of Vulnerability Among Smallholder Coffee Farmers in Jamaica. *World Development*, 132, 104979.
23. Oral, O. 2019. Kahve Üreten Ülkeler. Web sitesi: <https://kahlve.com/blog/genel-bilgi/kahve-ureten-ulkeler/>, Erişim Tarihi: 08.05.2020.
24. Polatlı, K. (2015). Türkiye’de Kahve. Web sitesi: <http://akademi.kafeingo.com/turkiyede-kahve/> Erişim Tarihi: 08.05.2020.
25. Rakıcıoğlu, N. (1993). Ratlarda, Diyete Eklenen Kahve ve Kafenin Serum Lipidlerine Etkisi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.
26. Bulduk, S., Tufan S. (2007). *Türk Mutfak Kültüründe Kahve*. 38. ICANAS (Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları Kongresi), Ankara: Kongre Kitabı, 299-309.
27. Durmaz, A., A. (2015). Farklı Kahve Çekirdekleri ve Pişirme Ekipmanlarıyla Hazırlanan Türk Kahvesinin Duyusal ve Kimyasal Analizlerle Optimizasyonu., Okan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

28. Bilişli, A. (2018), Özel Gıdalar, İstanbul: Sidas Medya Ltd. Şti.
29. Anonim 2020. Top Roaster Galeri. Web sitesi: <https://toproasters.com/galeri/>, Erişim Tarihi: 02.05.2020.
30. Bozkurt, B. (2012). Kahve Telvesiyle Atık Sulardan Ağır Metal Adsorpsiyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
31. Bozkırlı, B. (2019). Kahve Çekirdeğinin (*Coffea arabica* L.) Kavurma Süresi Farklılığının Kahvenin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya.
32. Anonim 2020. Kahve Bitkisi. Web sitesi: <https://www.modarituel.com/kahve-bitkisi/>, Erişim Tarihi: 02.05.2021.
33. Esquivel, P., Jiménez V.M. (2012). “Functional Properties of Coffee and Coffee By-Products”. *Food Research International*, 46, 488–495.
34. Evangelista, S.R., Miguel M.G. da C.P., Cordeiro, C.S., Silva, C.F., Pinheiro, A.C.M., Schwan R.F. (2014). Inoculation of Starter Cultures in a Semi-Dry Coffee (*Coffea arabica*) Fermentation Process. *Food Microbiology*, 44, 87-95.
35. Wintengs, J.N. (2004). ‘*Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Corseaux: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
36. Anonim 2020. Kahve Ağacı Meyvesi ve Çekirdeği. Web sitesi: <https://brotherscoffee.com.tr/blog/14/kahve-agaci--meyvesi-ve-cekirdegi>, Erişim Tarihi: 02.05.2021.
37. Çağlarımak, N., Ünal K. (1994). Yeşil Kahve Tanesinin Kavrulması Sırasında Temel Kimyasal Bileşenlerinde Oluşan Değişmeler. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1, 40-47.
38. Sunarharum, W.B., Williams, D.J., Smyth, H.E. (2014). Complexity of Coffee Flavor: A Compositional and Sensory Perspective. *Food Research International*, 61, s. 315-325.
39. Mussatto, S.I., Machado, E.M.S., Martins, S., Teixeira, J.A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food Bioprocess Technol*, 4, 661–672.
40. Aroufai, İdriss, A. (2020). Farklı Ülkelerde Yetiştirilen Kahve Çekirdeklerinin Antioksidan Özelliklerinin ve Biyoalmabilirliklerinin Belirlenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
41. Altan, A. (2013). *Özel Gıdalar Teknolojisi*. Adana: Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayını No: 178, Ders Kitaplar Yayını No: A-55.
42. Anonim 2020. Kahve Bitkisi. Web sitesi: <http://pasadankahve.com/kahve-hakkinda/kahve-bitkisi>, Erişim Tarihi: 02.05.2021.

43. Anonim 2019. Kahve Nerede ve Nasıl Yetiştir. Web sitesi: <https://www.kahvemag.com/kahve-nerede-ve-nasil-yetisir/>, Erişim Tarihi: 29.04.2020.
44. Anonim 2020. Coffee Digital. Web sitesi: <https://coffee.digital/kultur-detay/kahve-tarimi-surecleri>, Erişim Tarihi: 29.04.2020.
45. Anonim 2018. Kahve Nasıl Yetiştirilir. Web sitesi: <https://mehmetefendi.com/kahve-ve-tarihi/kahve-nasil-yetistirilir/tarladaki-uretim>, Erişim Tarihi: 29.04.2020.
46. Yuwana, E., S., Sidebang, B. (2015). Engineering Properties of Coffee Beans from Various Colors of Coffee Cherries. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 274-277.
47. Nilnont, W., Thepa, S., Janjai, S., Kasayapananda, N., Thamrongmas, C., Bala, B. K. (2012). Finite Element Simulation For Coffee (Coffea arabica) Drying. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 341-350.
48. Elmacı, İ. (2018). Hasat Sonrası İşlemlerin, Kavurma İşleminin ve Pişirme/ Demleme İşlemlerinin Türk Kahvesi ve Espresso Kahvesinin Duyusal Özellikleri Üzerine Etkileri (Türkiye ve Brezilya Arasında Kültürlerarası Çalışma). Okan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
49. Gonzalez-Rios, O., Suarez-Quiroz, M.L., Boulanger, R., Barel M., Guyot B., Guiraud J.P., Schorr-Galindo S. (2007). Impact of “Ecological” Post-Harvest Processing on The Volatile Fraction of Coffee beans: I. Green coffee. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 289- 296.
50. Saenger, M., Hartge, E.U., Werther, J., Ogada, T., Siagi, Z. (2001). Combustion of Coffee Husks. *Renewable Energy*, 23, 103-121.
51. Anonim 2018. Kahve İşleme Yöntemleri. Web sitesi: <https://marrone.com.tr/blog/kahve-isleme-yontemleri/>, Erişim Tarihi: 02.05.2021.
52. Yüceşen, D. (2012). Kahve Telvesinin Çeşitli Alanlarda Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
53. Anonim 2017. Kahve İşleme Yöntemleri. Web sitesi: <https://kahverehberi.blogspot.com/2017/03/kahve-isleme-yontemleri.html>, Erişim Tarihi: 01.05.2020.
54. Gornas, P., Siger, A., Pugajeva, I., Czubinski J., Waskiewicz A., Polewski K. (2014). New Insights Regarding Tocopherols in Arabica and Robusta Species Coffee Beans: RPUPLC-ESI/MS and NP- HPLC/FLD Study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 36, 117-123.
55. Anderson, B.A., Shimoni, E., Liardon, R., Labuza, T.P. (2003). The Diffusion Kinetics of Carbon Dioxide in Fresh Roasted and Ground Coffee. *Journal Food Engineering*, 59, 71-78.

56. Bhumiratana, N., Adhikari, K., Chambers, E. (2011). Evolution of Sensory Aroma Attributes From Coffee Beans to Brewed Coffee. *LWT - Food Science and Technology*, 2185-2192.
57. Wang, X., Lim, L.-T. (2014). Effect of Roasting Conditions on Carbon Dioxide Degassing Behavior. *Food Research International*, 61, 144-151.
58. Dziki, D., Gawlik-Dziki U., Pecio Ł., Rozylo R., Swieca M., Krzykowski A., Rudy S. (2015). Ground Green Coffee Beans as a Functional Food Supplement - Preliminary Study. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 691-699.
59. Alperet, D., J., Rebello, S.A., Yin-Hao Khoo, E., Tay Z., Seah, S.S., Tai B., Emady-Azar, S., Chou, C.J., Darimont, C., Van Dam, R.M. (2016). A Randomized Placebo-Controlled Trial of The Effect of Coffee Consumption On İnsulin Sensitivity: Design and Baseline Characteristics of The Coffee for Metabolic Health (COMETH) Study. *Contemporary Clinical Trials Communications*, 4, 105-117.
60. Ciaramelli, Carlotta, P. Alessandro, A. Cristina (2019). "Coffee Variety, Origin and Extraction Procedure: Implications for Coffeebeneficial Effects on Human Health". *Food Chemistry*, 278, 47-55.
61. Cano-Marquinaa, A., Tarınb, J.J., Canoc, A. (2013). The Impact of Coffee on Health. *Maturitas*, 75, 7- 21.
62. O'Keefe, J.H., Bhatti, S.K., Patil, H. R., DiNicolantonio, J.J., Pharmd, Lucan, S.C., Lavie C.J. (2013). Effects of Habitual Coffee Consumption on Cardiometabolic Disease, Cardiovascular Health, and All-Cause Mortality. *Journal of the American College of Cardiology*, 62(12), 1043-1051.
63. Moeenfarda, M., Alves, A. (2020). New Trends in Coffee Diterpenes Research From Technological to Health Aspects. *Food Research International*, 134, 109207.
64. Tzoulaki, I. (2018). Moderate Coffee Intake and Cardiovascular Health; No Grounds for Concern. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 28, 808-809.
65. Bodar, V., Chen, J., Sesso, H.D., Gaziano, J.M., Djousse L. (2020) Coffee Consumption And Risk of Heart Failure İn The Physicians' Health Study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 133-137.
66. Bodar, V., Chen, J., Sesso, H.D., Gaziano, J.M., Djousse L. (2020) Coffee Consumption And Risk of Heart Failure İn The Physicians' Health Study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 133-137.
67. Córdoba, N., LMoreno, F., Osorio, C., Velásquez, S., Fernandez-Alduenda, M., Ruiz-Pardo, Y. (2021). Specialty and regular coffee bean quality for cold and hot brewing: Evaluation of sensory profile and physicochemical characteristics. *LWT Food Science and Technology*, 145, 111363 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111363>

68. Febrina, L., Happyana, N., & Syah, Y.M. (2021). Metabolite profiles and antidiabetic activity of the green beans of Luwak (civet) coffees. *Food chemistry*, 355, 129496. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129496>
69. Ribeiro, E., Rocha, T.S., & Prudencio, S.H. (2021). Potential of green and roasted coffee beans and spent coffee grounds to provide bioactive peptides. *Food chemistry*, 348, 129061. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129061>
70. Ayseli, M.T., Kelebek, H., & Selli, S. (2021). Elucidation of aroma-active compounds and chlorogenic acids of Turkish coffee brewed from medium and dark roasted *Coffea arabica* beans. *Food chemistry*, 338, 127821. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127821>
71. Silva, B.L., Pereira, P.V., Bertoli, L.D., Silveira, D., Batista, N.N., Pinheiro, P.F., Carneiro, J.D., Schwan, R., Silva, S.D., Coelho, J., & Bernardes, P.C. (2021). Fermentation of *Coffea canephora* inoculated with yeasts: Microbiological, chemical, and sensory characteristics. *Food microbiology*, 98, 103786. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103786>
72. Mateus, M.P., Tavanti, R.F., Tavanti, T.R., Santos, E., Jalal, A., & Reis, A.R. (2020). Selenium biofortification enhances ROS scavenge system increasing yield of coffee plants. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 209, 111772. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111772>
73. Schouten, M., Tappi, S., Angeloni, S., Cortese, M., Caprioli, G., Vittori, S., & Romani, S. (2020). Acrylamide formation and antioxidant activity in coffee during roasting - A systematic study. *Food chemistry*, 128514. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128514>
74. Montenegro, J., Santos, L.S., Souza, R.G., Lima, L.G., Mattos, D., Viana, B.P., Bastos, A.C., Muzzi, L., Conte-Junior, C., Gimba, E., Freitas-Silva, O., & Teodoro, A. (2021). Bioactive compounds, antioxidant activity and antiproliferative effects in prostate cancer cells of green and roasted coffee extracts obtained by microwave-assisted extraction (MAE). *Food Research International*, 140, 110014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110014>



# Bölüm 7

AKSARAY VE CİVARINDA TUZGÖLÜ FAY ZONU  
İLE HEYELAN BÖLGELERİ ARASINDAKİ  
İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Ramazan DEMİRCİOĞLU<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Ramazan Demircioğlu, Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fak. Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, ra.demircioglu@gmail.com OrcID: 0000-0003-0616-0331



## 1. Giriş

İnceleme alanı, Türkiye'nin yaklaşık orta kesiminde, İç Anadolu bölgesinde, Aksaray il sınırları içerisindeki alanları kapsar (Şekil 1). İnceleme alanı ve çevresinde önceki araştırmacılar tarafından, sedimantolojik, petrografik, ve yapısal jeolojik vb. çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 1: İnceleme alanı yer bulduru haritası.

Bu çalışmalardan, sedimantolojik olan bazı çalışmalar, Rigo de Righi ve Contesini, (1960); Beekman, (1966); Arıkan, (1975); Görür ve Derman, (1978); Uygun vd., (1981); Görür vd., (1984); Atabey vd., (1987); Dellaloğlu, (1997); Çemen vd., (1999); Dirik ve Erol (2000); Uçar, (2008) tarafından yapılmıştır.

İnceleme alanındaki, petrografik incelemelerden bazıları, Lahn, (1944), Pasquare, (1968); İnnocenti vd., (1975); Ercan vd., (1990); Türeli, (1991), Güleç, (1994); Güleç ve Kadioğlu, (1998); Göncüoğlu vd., (1996); Güllü ve Yıldız, (2012) tarafından yapılmıştır.

İnceleme alanına ait, tektonik-neotektonik özelliklerine ait başlıca çalışmalar, Şaroğlu vd., (1987); Dirik ve Göncüoğlu, (1996); Koçyiğit ve Beyhan, (1998); Dirik ve Erol, (2003); Koçyiğit, (2003); Koçyiğit ve Özacar, (2003) tarafından yapılmıştır. Bu tektonik alan içerisinde bulunan Tuzgölü fay zonuna ait çalışmalardan bazıları ise; Şaroğlu vd., (1987, 1992); Emre, (1991); Koçyiğit, (2000); Özmen, (2008); Kürçer, (2012); Kürçer ve Gökten, (2012); Kürçer ve Gökten, (2014) tarafından yapılmıştır.

Çalışma alanı, Tuzgölü fay zonunun içerisinden geçmesinden dolayı oldukça önemli doğal afet (deprem) bölgesidir. Alandaki kayaçların

litolojik özellikleri de diğer bir afet türü olan heyelan oluşumları için risk teşkil etmektedir.

Bu çalışmada ise, Aksaray ili içerisinde de geçen Tuzgölü fay zonunun, Aksaray ili sınırları içerisindeki heyelan ve heyelan bölgeleriyle ilişkisinin, coğrafik bilgi sistemi ve arazi gözlemleri kullanılarak belirlenmesi ve bu gözlemlerin değerlendirilmesi çalışmanın ana konusunu oluşturur.

## **2. Materyal ve Yöntem**

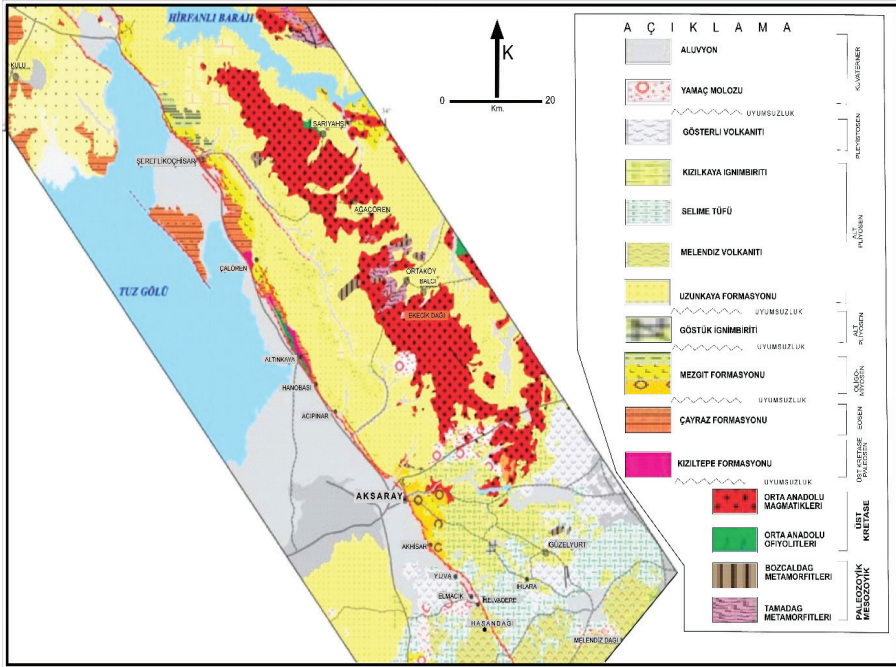
İnceleme alanına ait, önceki çalışmalar değerlendirilmiştir. Önceki çalışmalar ve bu çalışmada elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Arazi gözlemleri ve bilgisayar çalışmaları beraberce ele alınmış ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, Tuzgölü fay zone ve Aksaray ili heyelan alanları arasındaki ilişki ortaya konmuştur.

## **3. Bulgular**

### **3.1. Jeoloji-Stratigrafi**

İnceleme alanı, Aksaray ili sınırları içerisindeki yerleri kapsamaktadır. İnceleme alanında temeli, Kırşehir Masifi'ne ait Tamadağ ve Bozçaldağ metamorfiteeri oluşturur (Seymen, 1981). Tamadağ metamorfiteerinin ana kayalarını, gnays ve şistler oluşturur (Şekil 2).

Bozçaldağ metamorfiteerinin ana kayalarını mermerler ve bunlarla arabantlar halinde bulunan amfibolitler oluşturur. Bu birimler üzerine Orta Anadolu Ofiyolitleri bindirmeli olarak yerleşmişlerdir. Bu birimler Geç Kretase yaşlı, granit, granodiyorit, siyenit gibi kayalar tarafından kesilmişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2: İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Kürçer, 2012'den değiştirilerek alınmıştır).

Bu birimleri, Geç Kretase-Paleosen yaşlı, karasal, bordo-kırmızımsı renkte, gevşek tutturulmuş, çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve çamurtaşından oluşan Kızıltepe formasyonu uyumsuz olarak örter. Kızıltepe formasyonunu, Alt Eosen yaşlı, denizel kökenli, kumtaşı, marn ve kireçtaşlarından oluşan Çayraz formasyonu uyumlu olarak örter (Ayhan ve Papak, 1988). Bu birimleri, Oligo-Miyosen yaşlı, karasal-gösel, çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve evaporitlerden oluşan Mezgit formasyonu uyumsuz olarak örter (Uçar, 2008). Bu birimler, Alt Pliyosen-Pleyistosen yaşlı, genel olarak volkanik malzemeden oluşan, volkanosedimanter, Göstük İgnimbiriti, Uzunkaya formasyonu, Melendiz volkaniti, Selime tüfü, Kızılkaya ignimbiriti, Gösterli volkaniti tarafından uyumsuz olarak örtülür. Tüm bu birimler, güncel, yamaç molozu, travertenler ve alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülür (Şekil 3).

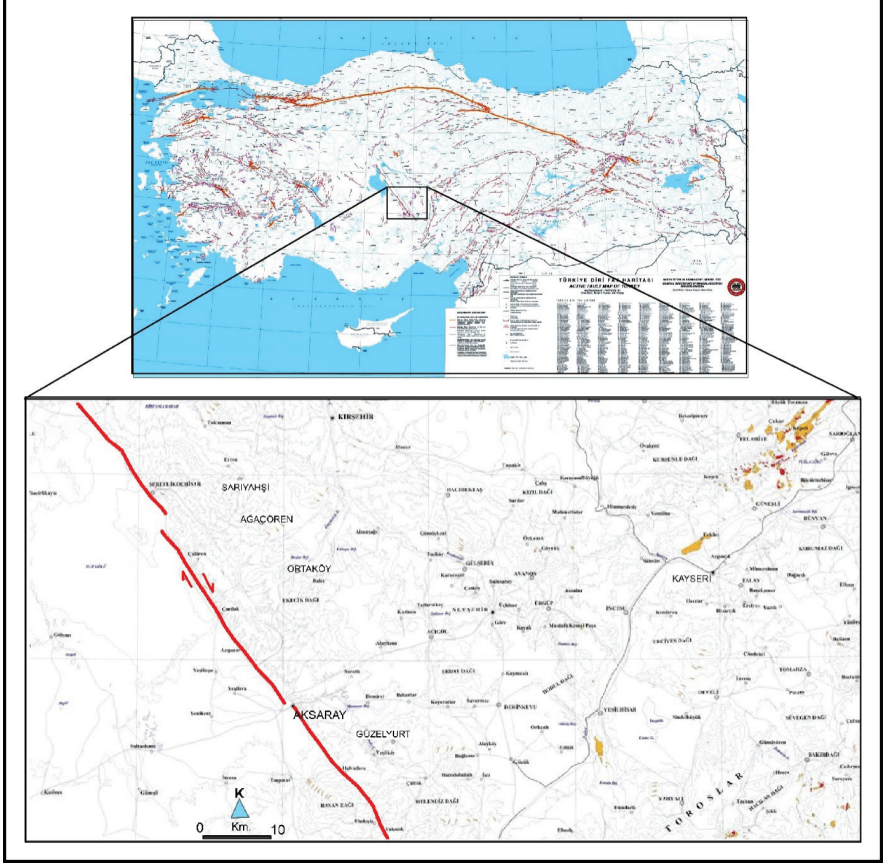
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	KALINLIK(m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR			
									KUVATERNER	PLEİSTOSEN	GÖSTERİMLİ VOLKANİTİ
SENEZOYİK	TERSİYER	ALT PLİYOSEN	KIZILKAYA İGNEBİRİTİ		Qal	50		Çakıl, kum, silt, kilken oluşan alüvyon ve güncel traverten oluşumları.			
					Qym	30		Blok, çakıl, boyutunda yamaç molozları.			
					Qgk	100		UYUMSUZLUK	Siyah renkli lav, lav parçaları, kül.		
					Tk	400			Kırmızı renkli, sık dokulu andezit.		
					Ts	100			Sarımsı, beyaz renkli tüf.		
					Tmy	200			Koyu gri renkli, andezit, bazalt bileşimli lavlar, piroklastikler.		
					Tuk	150-200			Volkanik malzeme arakatlı, çakıltaşı, kumtaşı çamurtaşı, kiltası ardalanması.		
					Tgi	60			UYUMSUZLUK	Gri-mor renkli ignimbirit	
					Tm				UYUMSUZLUK	Sarı, boz, kahve renkli, çakıltaşı kumtaşı, çamurtaşı ve evaporitler.	
					Tç				UYUMSUZLUK	Kumtaşı, marn, kireçtaşı ardalanması	
					Tk					Kırmızı, bordo renkli, Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı.	
										UYUMSUZLUK	ORTA ANADOLU OFİYOLİTLİ KARMAŞIĞI
											TEKTONİK DOKANAK
					PALEOZOYİK-MESOZOYİK		BOZÇALDAĞ			Pb	100-200
Pt			Gnays, amfibolit, kuvarsit ardalanması.								

Şekil 3: İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti (Göçmez, 1997'den değiştirilerek alınmıştır).

### 3.2. Tuzgözü Fay Zonu ve Aksaray iline ait depremsellik

Tuzgözü Fay Zonu (TGFZ) kuzeybatıda Bala (Ankara) ile güneydoğuda Çamardı (Niğde) ilçesi arasında KB-GD doğrultusunda uzanan, yaklaşık 210 km uzunluğunda, önemli miktarda normal bileşeni olan sağ yanal doğrultu atımlı ve birçok segmentten oluşan bir fay zonudur (Şekil 4). Bu

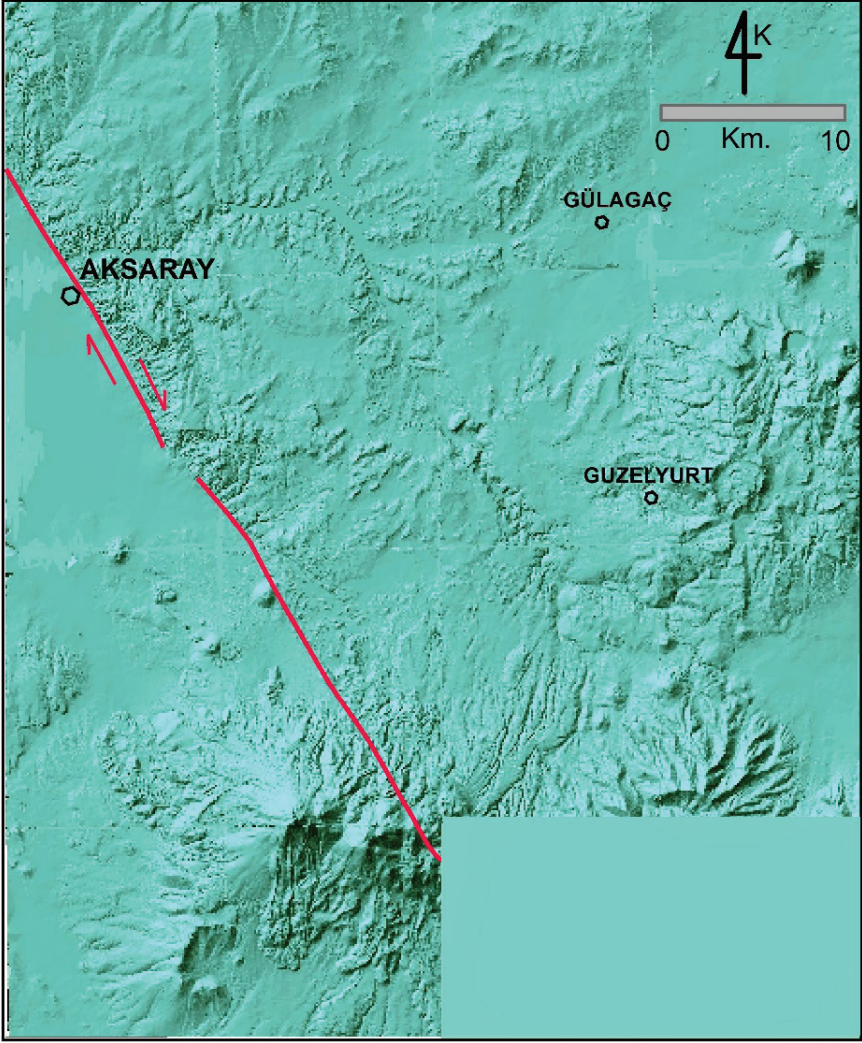
fay zonuna ait bazı segmentler, Aksaray ili içerisinde geçmektedir (Şekil 5). İlk olarak Beckman, (1966) tarafından adlandırılmıştır. Segmentlerden oluşan Tuzgölü fay zonuna ait fayların doğrultuları,  $K 25^{\circ}$  ile  $65^{\circ}$  B arasında değişmektedir (Kürçer ve Gökten, 2012).



Şekil 4: Tuzgölü fay zone ve Aksaray ili sınırları içerisindeki segmentlerinin genel konumu (MTA, 2012).

Tuzgölü fay zonuna ait fay segmentlerinin, Aksaray ili sınırları içerisindeki genel konumu ve morfoloji haritası da hazırlanmıştır (Şekil 5).

Tuzgölü fay zonuna ait, morfolojik ve deprem verileri, bu fay zonunun hala aktif olduğunu göstermektedir. Bu zon üzerinde yapılan, paleosismolojik çalışmalar (Kürçer, 2012, Kürçer ve Gökten, 2012), Kuvaternerde yıkıcı olabilecek depremler ürettiğini kanıtlamıştır.

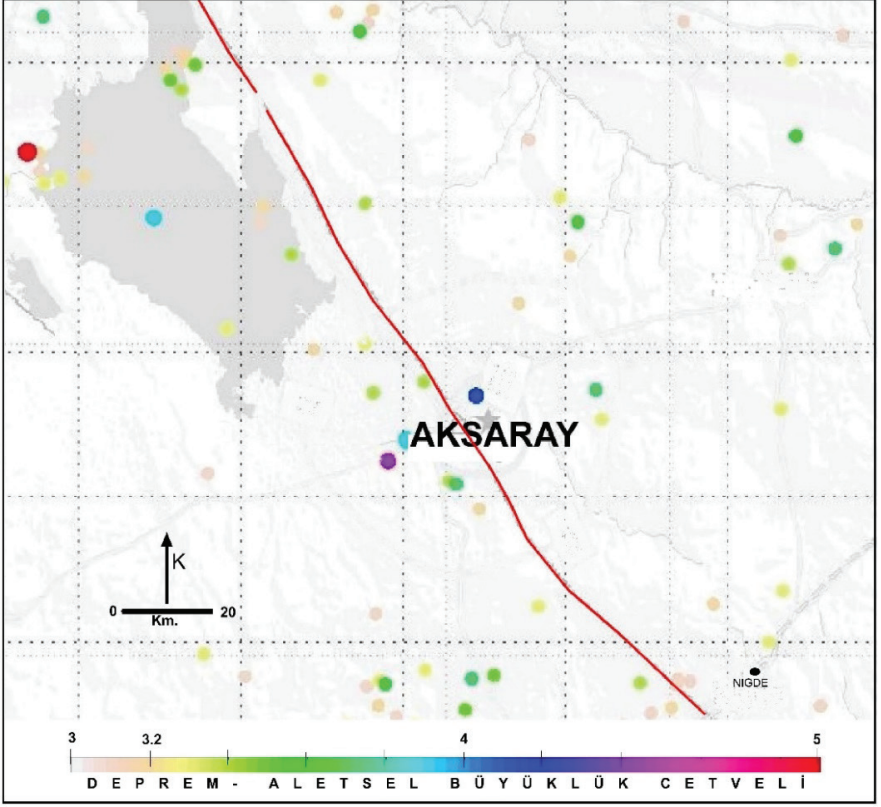


Şekil 5. Tuzgölu fay zonu ile Aksaray ili ve çevresinin genel morfolojik görünümü.

Kandilli rasathanesinin de bu fay zonu üzerinde kaydettiği, yer, konum ve büyüklük olarak verilen deprem bilgileri de, fayın aktifliğini göstermektedir (Şekil 6). Aksaray ili, depremsellik bakımından, tehlikeli bir alanda yer almaktadır.

Bu çalışmada, oluşan depremler ve heyelanlar arasındaki ilişki irdelenmiştir. Oluşan depremlerin, heyelan bölgelerinde, duraylılık sorunu oluşturacağı bilinmektedir. Ancak, Aksaray'daki heyelan bölgelerindeki heyelan oluşumu için, temel etken olup olmadığı tartışmalıdır. İlerleyen bölümlerde bu durum irdelenmiştir.



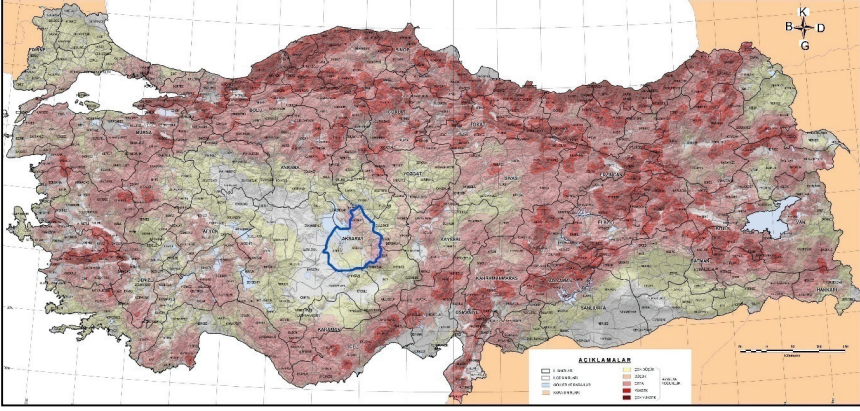


Şekil 6: Tuzgözü fay zonu (TGZF) üzerinde meydana gelen depremler (Kandilli,2017).

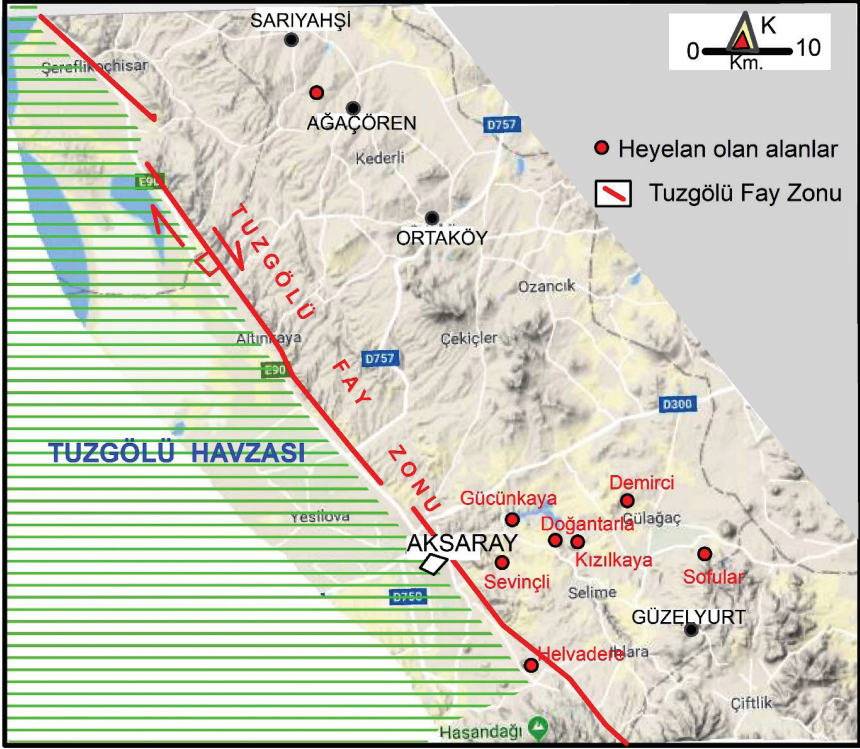
### 3.3. Aksaray ili Heyelan Durumu

Aksaray ili ve çevresine ait heyelan envanteri çalışmaları, özellikle M.T.A. Afet işleri Genel Müdürlüğü ve Afad (Afet ve Acil Durum Müdürlüğü) tarafından yapılan çalışmalarla sınırlıdır. Afet işleritarafından yapılan çalışmada, tüm Türkiye için heyelan oluşum sayılarına göre heyelan haritası hazırlanmıştır (Şekil 7). Aksaray, bu haritaya göre düşük sayıda heyelan mevcuttur.

Aksaray ili sınırları içerisinde, bazı alanlarda heyelanlar meydana gelmiştir (Şekil 8). Sevinçli kasabası, Doğanlarla kasabası, Helvadere kasabası, Gücünkaya köyü, Demirci kasabası, Sofular kasabası, Kızılkaya kasabası, Güzelyurt ilçesi, Ihlara kasabası, Iısu kasabası, Selime kasabası, Belisırma köyü ve Uzun kaya kasabasında heyelanlar gözlenmiştir (Aksaray Afad, 2017).



Şekil 7: Türkiye heyelan haritası (Afet İleri G. Müd, 2008).



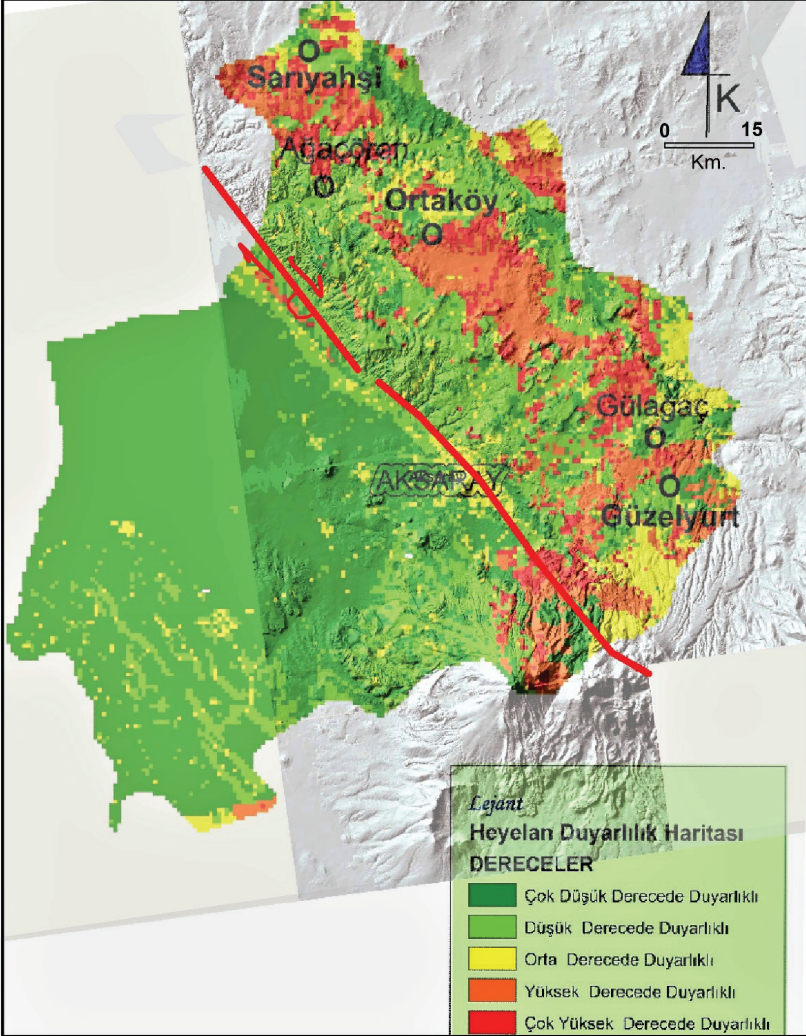
Şekil 8: Aksaray ilinde Tuzgözü Fay Zonu ve heyelan alanları.

Bu heyelanlardan bazıları, büyük ölçekli, aynı zamanda hayatı ve o civarda yaşayanları etkilediğinden afete maruz bölge ilan edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Heyelan olan ve afete maruz bölge ilan edilen alanlar (Aksaray Afad, 2017).

İLİ	İLÇESİ	KASABA/KÖY	MAHALLE	AFET TÜRÜ	RAPOR TARİHİ
AKSARAY	MERKEZ	SAPMAZ		HEYELAN	18.04.85
AKSARAY	MERKEZ	HELVADERE		HEYELAN	09,10,1964
AKSARAY	MERKEZ	SEVINÇLİ		HEYELAN	27.06.2006

Aksaray iline ait, Arc-Gis programında hazırlanan heyelan riski haritasına göre, heyelan alanları bu haritayla bazı alanlarda uyuşum içerisinde (Şekil 9).

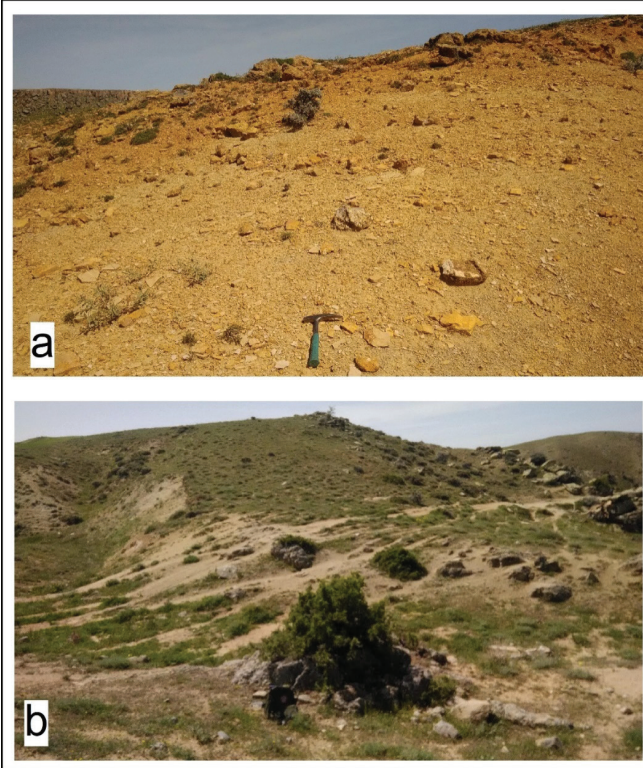


Şekil 9. CBS ortamında oluşturulan, Aksaray ili heyelan risk haritası.

CBS (Coğrafik Bilgi Sistemi) ortamında hazırlanan heyelan risk haritası hazırlanırken, litoloji, baki, eğim gibi faktörler gözönünde bulundurulmuştur. Bu haritaya göre, çok daha fazla alan heyelan bölgesi olarak görülmektedir. Bu durum, morfoloji ve eğim miktarlarının fazla olmasıyla ilgilidir. Arazi çalışmaları, haritada riskli görülen bazı alanlarda, heyelan riskinin olmadığı görülmüştür.

### 3.4. Tuzgölu Fay Zonu ve Heyelan İlişkisi.

Yukarıda açıklanan, Tuzgölu Fay Zonu ile Aksaray ili heyelan bölgeleri arasında yoğun bir ilişki görülmemektedir. Alanda, heyelan bölgeleri, litolojik özellikler ve morfolojiyle daha çok ilişkilidir. İnceleme alanında, kolay ayrışmaya uğrayan, çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ardalanmasından oluşan Oligo-Miyosen yaşlı Mezgit formasyonu ve tuf, tüffit arakatkılı, çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası ardalanmasından oluşan, Alt Pliyosen yaşlı Uzunkaya formasyonlarının yayılım gösterdiği alanlar, heyelan oluşumu açısından en riskli alanlardır (Şekil 10 a,b). Bu alanlarda, morfolojik özellikler ve buna bağlı olarak yüksek yamaç eğimi de heyelan riskini arttırmaktadır.



Şekil 10. Mezgit formasyonu (a) ve Uzunkaya formasyonu (b) arazi görünümü.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Aksaray iline ait heyelan alanları ile Tuzgölü Fay Zonu arasındaki ilişki irdelenmiştir. CBS ortamında heyelan risk bölgeleri belirlenmiştir. Buna göre, heyelan alanlarının, Tuzgölü fay zonu ile yakın bir ilişki bulunamamıştır. Heyelan alanları, litolojik özellikler ve morfoloji ile daha çok ilişkilidir. Yamaç eğimi ve içerisinde özellikle, çamurtaşı, kiltası gibi kayalar bulunduran ve ayrıştığında heyelan oluşumunu kolaylaştıran formasyonlar (Mezgit, Uzunkaya formasyonları), morfolojik açıdan eğimli alanlarda bulunduğu, duraylılık bakımından problem oluşturmakta ve heyelan oluşumu mümkün olmaktadır. İnceleme alanı dışında da Tuzgölü fay zonuna ait segmentler üzerinde, heyelan alanları, segmentlerin uzağında ve litolojik olarak, gevşek-az tutturulmuş kayalardan oluşan alanlarda gelişmiştir.

## Kaynakça

- Aksaray Afet ve Acil Durum M¼d¼rl¼đ¼ (Afad). (2017).
- Atabey, E., Tarhan, N., Akarsu, B., Taşkiran, A. (1987). şereflikoçhisar, Panlı (Ankara) Acıpınar (Niğde) Y¼resinin Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel M¼d¼rl¼đ¼ Raporu, Derleme no; 8155, Ankara.
- Arıkan, Y., (1975). Tuz G¼l¼ havzasının jeolojisi ve petrol imkanları, M.T.A. Dergisi, 85, 17-37.
- Ayhan, A. ve Papak, İ., (1988). Aksaray-Taşpınar-Altınhisar-Çiftlik-Delihebil (Niğde) Civarının Jeolojisi, MTA.Raporu.
- Bayındırılık ve İskan Bakanlığı, (2008). Afet İşleri Genel M¼d¼rl¼đ¼, T¼rkiye Heyelan Yoğunluk Haritası.
- Beekman, P. H., (1966). The Pliocene and Quaternary volcanism in the Hasan Dağ- Melendiz Dağ region, MTA Bulletin, Ankara, 66, 90-105.
- Çemen, İ., G¼nc¼ođlu, M.C., Dirik, K., (1999). Structural evolution of the Tuzg¼l¼ basin in Central Anatolia. Turkey, Journal of Geology, 107 (6). 693-706.
- Dellaloğlu, A., (1997). Ankara ili-Tuz G¼l¼ arasındaki Neotetis'in kuzey kolunun evrimi (Haymana-Tuzg¼l¼ Basenlerinin stratigrafileri ve jeoteknik evrimleri, Ph.D. Thesis, Çukurova University, Adana.
- Dirik, K., Erol, O., (2003). Tuzg¼l¼ ve çevresinin tektonomorfolojik evrimi, Orta Anadolu-T¼rkiye, TPJD Özel sayı, 5, 27-46.
- Dirik, K., G¼nc¼ođlu, M.C., (1996). Neotectonic characteristics of Central Anatolia, International Geology Review 38, 807-817.
- Emre, Ö., (1991). Hasandağı-Keçiboyduran dağı y¼resivolkanizmasının jeomorfolojisi, Tuz G¼l¼ Fay Zonunun Neotektonik Özellikleri, İstanbul Üniversitesi, Deniz bilimleri ve Coğrafya Enstit¼s¼ Doktora tezi, 198 s. İstanbul.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.I., Tokel, S., Notsu, K., Ul, T., Can, B., Selvi, Y., Yıldırım, T., Fisekei, A., Ölmez, M., Akbaşlı, A., (1990). The origin and evolution of the Cenozoic volcanism of Hasandağı Karacadağ area (Central Anatolia). Jeomorfoloji Dergisi, 18, 39- 54.
- G¼çmez, G., (1997). Aksaray Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelemesi, Aksaray Valiliği, Yeni Aksaray Ofset Tesisleri, Aksaray.
- G¼nc¼ođlu, M. C., Dirik, K., Erler, A., Yalınız, K., Özg¼l, L., ve Çemen, İ., (1996). Tuzg¼l¼ havzası batı kısmının temel jeolojik sorunları, TPAO Rapor No: 3753.
- G¼r¼r, N., Derman, A.S., (1978). Tuzg¼l¼-Haymana havzasının stratigrafik ve tektonik analizi, TPAO Rapor no: 1514, 60 s.

- Görür, N., Oktay, F.Y., Seymen, and Şengör, A.M.C., (1984). Paleotectonic evolution of the Tuzgölü basin complex, Central Turkey. Sedimentary record of a Neo-Tethyan closure, The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geology Society Special Publication, 17, In J.E. Dixon, and A.H.F. Robertson (eds.). Oxford, 467-482.
- Güleç, N., (1994). Rb-Sr isotope data from the Ağaçören granitoid (East of Tuz Gölü): Geochronological and genetical implications, Tr. J. of Earth Sciences, 3, 39-43.
- Güleç, N., Kadioğlu, Y.K., (1998). Relative Involment of Mantle and Crustal Components in the Ağaçören Granitoid (Central Anatolia-Turkey): Estimates from Trace Element and Sr-Isotope Data, Chemie der Erde, 58, 23-37.
- Güllü B., ve Yıldız M., (2012). Mamasun (Aksaray) Gabroyidlerinin Petrojenetik Karakteristiği, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15-1, s.28-42
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati, F., Villari, L., (1975). Neogene calc-alkaline volcanism of Central Anatolia: geochronological data on Kayseri-Niğde area, Geological Magazine 112, 349-360.
- Kandilli Rasathanesi Ve Deprem Araştırma Enstitüsü, (2017).
- Koçyiğit, A., Beyhan, A., (1998). A new intracontinental transcurrent structure; the Central Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics, 284, 317-336.
- Koçyiğit, A., (2000). General neotectonic characteristics and seismicity of Central Anatolia, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla basenlerinin uygulamalı çalışması (workshop). Abstracts, 1-26, Aksaray.
- Koçyiğit A., (2003). Orta Anadolu'nun Sismisitesi ve Neotektonik Özellikleri, Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Özel Sayı, 5, 1-26.
- Koçyiğit, A., Özacar, A., (2003). Extensional neotectonic regime through the NE edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field an Seismic Data, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 67-90.
- Kürçer, A., (2012). Tuz Gölü Fay Zonu'nun Neotektonik Özellikleri ve Paleosismolojisi, Orta Anadolu, Türkiye, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 318 s., Ankara.
- Kürçer, A., Gökten, Y.E., (2014). Paleosismolojik Üç Boyutlu Sanal Fotoğraflama Yöntemi, Örnek Çalışma: Duru-2011 Hendeği, Tuz Gölü Fay Zonu, Orta Anadolu, Türkiye, Türkiye Jeoloji Bülteni, s.57-1.
- Lahn, N.E., (1944). Türkiye Deprem Haritası Hakkında Muhtıra, M.T.A.D. Ankara. 10.2: 364-371.
- MTA, (2012). Türkiye Diri Fay Haritası.
- Pasquare, G., (1968). Geology of the Cenozoic Volcanic area of Central Anatolia, Atti Della Accad. Nazio. Dei. Lincei, Memorie, ser. 8, 9/3, 55-204.

- Rigo de Righi, M.,Cortesini, A. (1960). Regional studies of the Central Anatolian basins progress report. PDR Turkish Gulf Oil Co. Rapor No. II / 11-12.
- Seymen, İ., (1981). Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifi'nin stratigrafisi ve metamorfizması, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 7-14.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., (1987). Türkiye Diri Fayları ve Depremsellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Rapor No:8174, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., (1992). Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Türel, T.K., (1991). Geology, Petrology and Geochemistry of Ekecikdağ Plutonic Rocks (Aksaray Region-Central Anatolia). ODTÜ, Doktora tezi, 194s.
- Uçar, L. (2008). Hanobası-Karapınar (KB Aksaray) alanının stratigrafik incelenmesi, Geosound, Adana 52, 1
- Uygun, A., (1981). Tuzgölü havzasının jeolojisi, evaporit oluşumları ve hidrokarbon olanakları, TJK İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu, Ankara, 66-71.



# Bölüm 8

## PAI VE PES ASTAR KAT POLİMER KATKILI TEFLON (PTFE) KAPLAMALARIN FARKLI TABAN MALZEMELERE BAĞLANMA MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ<sup>1</sup>

*Pınar YOLCU<sup>2</sup>  
Hüseyin ÜNAL<sup>3</sup>*

1 Bu çalışma, Pınar Yolcu'nun Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'ndeki Yüksek Lisans tez çalışmasından üretilmiştir. Yazarlar, hammadde tedariki ve karakterizasyon konularındaki teknik desteklerinden dolayı Akcoat (İleri Kimyasal Kaplama Malzemeleri San. ve Tic. AŞ/Sakarya) firmasına teşekkürlerini sunarlar.

2 Prof. Dr. Pınar Yolcu, Mühendis, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya, ORCID ID: 0000-0002-8818-8233

3 Hüseyin Ünal, Prof.Dr., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya, ORCID ID: 00000-0003-0521-6647



## 1. Giriş

Polimerik kaplamalar, malzemeleri dış etkenlerden korumak ve dekoratif görünüm vermek için kullanılan kaplama çeşitleridir. Kaplamalar, dispersiyon ve çözelti gibi farklı teknikler ile hazırlanıp çeşitli malzemeler üzerine püskürtme, daldırma, fırçalama, rulo ile kaplama gibi birçok tekniklerle uygulanabilir. Ağır metaller ve çevresel faktörlerle ilgili artan endişelerden dolayı polimerik kaplamalar, kaplama uygulamalarında ön plana çıkmaktadır (Martin, 2010). Bu kaplamalarda PTFE ve organik-inorganik hibrit polimerlerin kullanılması ise hidrofobik ve oleofobik yüzeyler oluşmasına ve bu altlık malzemelere sentetik maddelerin yapışmasını engelleyerek kolay temizlenebilme gibi fonksiyonel özellikler sunmaktadır. Fakat polimerik kaplamaların en büyük dezavantajı yüzey enerjilerinin düşük olması ve taban malzeme ile yeterli bağlanma için gerekli olan polar gruplarının olmamasıdır. Bu dezavantaj ise ön işlemsiz yüzeylerde ve yapıştırıcı katkı malzemelerinin bulunmadığı formülasyonlarda zayıf yapışma ile sonuçlanmaktadır. Yapışma terimi literatürde altlık ile kaplama bileşeninin birbirine bağlanması olarak tanımlanmaktadır. Bağlanma mukavemeti ise polimerik malzemelerin kimyasına ve türüne, kohezif mukavemetine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle polimerik malzemelerin yapıştırılacak altlıklar ile kuracakları bağı tek bir yöntem ile açıklamak pek mümkün değildir. Bu yüzden, polimerik malzemeleri altlıklara yapıştırabilmek için çeşitli yöntemler ve teoriler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında; mekanik kilitlenme, kimyasal bağlanma, difüzyonla bağlanma, elektrostatik bağlanma ve yüzey pürüzlülüğü, zayıf sınır tabakası, ıslatılabilirlik kabiliyeti, yüzey enerjisi, silan grupları ile bağlanma gibi ön işlemler sıralanabilir (Ghanem & Lang, 2017). Polimerlerin yapıştırılmasında yüzey enerjileri en etkili olanıdır. Yüzey enerjisi moleküller arasındaki kuvvetler ile belirlenmektedir. Bu kuvvetlerin oluşumunda polimerin erime ve kaynama noktaları da etkili olmaktadır (Şekercioğlu & Kaner, 2014). Floropolimerler arasında en yaygın kullanıma sahip olan politetra-flor-etilen (PTFE) polimeri, karbon ve flor elementlerinden meydana gelen yüksek performanslı sentetik bir polimerdir. Üstün ısı ve korozyon direnci nedeni ile günlük yaşamımızda sıklıkla karşımıza tencere ve tavalarda yaygın kaplama malzemesi olarak çıkmaktadır. Bunun yanı sıra elektriksel ve kimyasal inertliği, geniş sıcaklık aralıklarında çalışma olanağı, esnekliği ve uzun hizmet ömrünün değerli olduğu otomotiv, kimya, mühendislik ve medikal endüstrilerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Politetrafloretillen kopolimeri, tetrafloroetilenin serbest radikal polimerizasyonu ile üretilmektedir. Karbon-karbon bağlarının etrafında oluşan flor atomu, moleküle iyi kimyasal direnç ve stabilite kazandırır. Bu tek tip olan flor atomu ayrıca moleküle elektriksel

inertlik kazandırdığı da kanıtlanmıştır. Bu özellikler flor atomunun özel yapısından, kararlı karbon-flor kovalent bağından ve flor atomunun moleküller arası etkileşiminden meydana gelmektedir. Bu polimerden meydana gelen ve adını kaplamanın ismine veren PTFE kaplamalar ise özel formülasyonlarla hazırlanarak ince film kaplamalı üstün yapışmaz özellikler sağlar. Kaplanan ürünler herhangi bir floropolimerden daha yüksek çalışma sıcaklığına, düşük sürtünme katsayısına, aşınma ve korozyon direncine sahip olur. PTFE kaplamaları altlık malzemelere yapıştırabilmek için bilinen birçok kaplama kompozisyonuna rağmen, özellikle metal altlık malzemelerine yapışmasının iyileştirilmesi için başka kompozisyonlar bulma ihtiyacı devam etmektedir. Genel olarak, bu tür kaplama bileşimlerinin uygun maliyetli, kolay üretilmesi ve uygulanabilmesi arzu edilmektedir. Ayrıca, kaplamadan iyi bir ısı, korozyon, hidrofobik, çizilme, aşınma direnci ve altlık malzeme ile mükemmel yapışma gibi bir dizi özellikler beklenmektedir. Bu yüzden kaplamalar endüstrinin ihtiyaç duyduğu özelliklerde farklı sistemlerde formüle edilmektedir. Bu sistemlere tek katlı, iki katlı, üç katlı ve dört katlı kaplamalar örnek verilebilir. Sistemin içeriği ise astar kat, ara kat ve üst katlardan oluşabilir. Astarlar tipik olarak ısıya dayanıklı termoplastik organik bağlayıcı reçine ve floropolimerin yanı sıra çeşitli opak pigmentler ve dolgu maddeleri içermektedir. Ara kaplamalar, bir miktar pigment, dolgu maddeleri ve floropolimer içerirken, üst katmanlar neredeyse tamamen floropolimerden oluşur (Pennsylvania,USA Patent No. US7488515B2, 2004). Son yıllarda, mükemmel ısı direncine sahip mühendislik plastikleri geliştirilmekte ve altlık malzeme ile üst katın bağlanmasında tutucu görevi gören yeni astarlar geliştirilmektedir. Literatürde PES ve PAI polimerinin ortalama partikül boyutunun 0.5 µm ile 8 µm arasında olduğunda ve yeterli polar grupların varlığında uygun astar bileşiminin hazırlanabileceğinden bahsedilmektedir (Osaka,Japan Patent No. US6333372B1, 1998). Bir diğer çalışmada ise yapışmaz kaplama ve kaplama yöntemi açıklanarak antikorozyf, aşınmaya dayanıklı polimerler olarak poli-eter-sülfon (PES), poli-amit-imit (PAI), poli-fenilen-sülfid (PPS), poli-eter-eter-keton (PEEK) ve silikon reçinelerinin astar kat bileşiminde kullanılabileceğinden bahsedilmektedir (Zhejiang,China Patent No. US6333372B1, 1998).

## 2. Bağlanma Mekanizmaları

Bağlanma mukavemeti, kaplamanın kalitesi ve dayanıklılığı ile doğrudan ilişkilidir. Kimyagerler bağlanmayı, iki yüzey buluştuğunda ortaya çıkan enerji ile ilişkilendirerek bu durumu arayüz olarak tanımlamışlardır. Fizikçiler ve mühendisler ise genellikle bağlanmayı kuvvet cinsinden tanımlayıp iki yapıştırılmış malzeme ayrıldığında

uygulanan maksimum kuvvet olarak tanımlamışlardır (Ghanem & Lang, 2017). Van der Waals kuvvetleri, elektrostatik, difüzyon, kimyasal bağlanma ve mekanik kilitlenme gibi bağlanma mekanizmasına ilişkin birçok teori ve öneri literatürde bulunmaktadır. Kaplamayı alt tabakadan ayırmak için gereken enerji, yapışma seviyesinin ve kaplama malzemesinin mekanik ve viskoelastik özelliklerine bağlıdır. Bir kaplamada bağlanma mukavemetinin artırılabilmesi için bu teori modellerin anlaşılması gerekmektedir. (Awaja, Gilbert, Kelly, Fox, & Pigram, 2009). Farklı altlık malzeme ve polimer kaplamalara uygun olarak yedi farklı polimer yapışma mekanizması önerilmiştir. Bunlar mekanik kenetlenme modeli, elektrostatik teori, difüzyon teorisi, ıslatılabilirlik modeli, asit temelli teori, zayıf sınır tabakası teorisi ve kimyasal bağlanma teorisidir. Bu makalede ise mekanik kilitlenme teorisi göz önünde bulundurularak çalışmalar yapılmıştır (Fourche, 1995).

## 2.1 Mekanik Kilitlenme Teorisi

Mekanik kilitlenme modeline göre, yapışmanın yeterli seviyede olabilmesi için boya filminin yüzeydeki düzensizliklere nüfus ederek ara yüzeylerde hapsolan havanın yerini alması ve alt tabakaya kenetlenmesi gerektiği açıklanmıştır. Bu model de bahsedilen ana konu yüzeyde pürüzlülük yaratarak boya ile yapışkan arasındaki toplam temas alanını arttırmaktır. (Ghanem & Lang, 2017). Mekanik ara yüz oluşturma teorisi genel olarak yüzeylerin pürüzlendirilmesinin yapışma mukavemeti için yararlı olduğunu göstermektedir. Bunun nedenini ise alt tabakaya dişler vererek toplam etki alanının artırılmasıdır. Bu model van der Waals kuvvetleri ile çalışmaktadır. (Fourche, 1995).



Şekil 1. Mekanik Kilitlenme Teorisi Şematik Gösterimi

### 2.1.1. Pürüzlendirme İşlemi

Yüzey pürüzlendirme veya aşındırma işlemi yüksek yapışma mukavemeti elde etmek için önemli bir yöntemdir. Bir yüzeyin aşındırılmasındaki amaç, yüzey filmlerini, tortuyu ve oksitlerin giderilmesi ile yapıştırıcının altlık malzemeye tutunması için uygun bir alan sağlanmasıdır. Bu modelde özetle kum püskürtme işleminin,

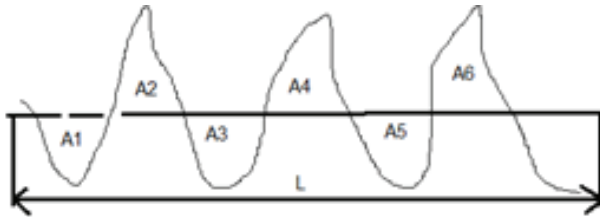
yapıştırma arayüzündeki gevşek maddeleri ortadan kaldırdığı ve yüzey temasını arttırdığı için iyi bir yapışma mukavemetine yol açma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Ghanem & Lang, 2017). Kumlama işlemi, yüzeyde istenmeyen durumların ve aşındırılmanın ne derecede olduğuna göre değerlendirilmektedir. Bu derecelendirme yöntemi için dünyada bazı standartlar mevcuttur. Türkiye’de İsveç standardı olan Swedish Standards for Ground Vibrations and Airblast” SA 1, SA 2, SA 2,5 VE SA 3 dereceleri kullanılmaktadır ve TSE kurumunca TS EN ISO 8501-1 olarak kabul edilmiştir. Kum püskürtme, floropolimer kaplamalarda iyi bir yapışma elde etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Çok sayıda kum türü vardır. (Hilbert, Bagge-Ravn, Kold, & Gram, 2003). Hangi kumun kullanılacağına seçimi tasarlanan amaca, alt tabakaya ve giderlere bağlıdır. Yaygın kum türlerinin özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Kum Püskürtme Ortam Özellikleri (McKeen, 2015).

Ortam	Sertlik [Moh]	Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	Hacimsel Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	Nispi Maliyet [Hacim Bazında]
Alüminyum oksit	9	3,8	125[2,00]	25
Cam boncuk	6	2,2	100[1,60]	18
Çelik Kum	6	7,87	230[3,68]	-

### 2.1.1.1. Pürüzlülük Ortalaması (Ra)

Bu bölüm, ISO 4287: 1997’nin ana parametrelerini açıklamaktadır. Profilin farklı yönlerini değerlendirmek için her parametre birincil profile (P), pürüzlülük profiline (R) ve dalgalılık profiline (W) göre sınıflandırılır. (Dalgaboyu ve birincil profil bileşenlerinin dalga boyları karşılaştırıldığında, yüzey pürüzlülüğü bileşeni, nispeten daha kısa dalga boyuna sahip olanın pürüzlülük bileşenidir) Ra, evrensel olarak tanınan pürüzlülük parametresidir. Pürüzlülük Ortalaması Ra, pürüzlülük profili koordinatlarının mutlak değerinin aritmetik ortalamasıdır ve aşağıdaki formülle hesaplanır.  $Ra = A1 + A2 + \dots + An / L$  ile ölçülür (Ellison & Zisman, 1954).



Şekil 2. Ra değerinin gösterimi

Pürüzlü bir yüzey üzerine tatbik edildiği zaman, kaplamaların bir alt tabakaya yapışma bağ kuvveti her zaman artar. Pürüzlü yüzeyin yüzey alanı, düz bir yüzeye göre daha büyüktür. Yüzey alanını artırmak için çeşitli yaygın yollar vardır. Kum püskürtme, floropolimer kaplamalarda iyi bir yapışma elde etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Kum püskürtmenin oluşturduğu koruyucu oksiti korumak için demirli metalin ön ısıtılması önce gelmelidir. Diğer temiz yüzeylerde ise, bu iki işlem sırası önemli değildir. Kum püskürtme, nispeten basit bir işlemdir. Sert kumlama, alt tabakanın temizleme veya pürüzlendirme ihtiyacı varsa yüksek basınçlı su ile bazen, sıkıştırılmış hava ile yürütülür. 100 mikroiçini [2.5 mikron] aşan yüzey profilleri tavsiye edilir ve 200-250 mikroiç [5,1-6,5 mikron] olanlar sıklıkla kullanılmaktadır. Sert yüzeylerde, 40'dan 80'e alüminyum oksit kumu ile tabancada yaygın olarak 80 ile 100 psi [5.8-7.3 kg/cm<sup>2</sup>] arasında değişen hava basınçları kullanılmaktadır (McKeen, 2015).

## 2.2 Yüzey Serbest Enerji Teorisi ve Islanabilirlik

Yüzey serbest enerjisi (SFE), bir katı fazın yüzey alanını arttırmak için gerekli olan iştir. Yüzey serbest enerjisi, katıların sıvılar tarafından ıslatılabilirliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, kaplama işlemlerinin optimizasyonu için önemli bir parametredir. SFE ve yüzey gerilimi (SFT) terimleri fiziksel olarak eşdeğerdir. "Serbest" kelimesi, ısıyla ilişkili entropiyi de içeren iç enerjinin aksine, enerjinin mekanik işe dönüştürülebilir parçası olduğunu belirtir. Her sistem, mümkün olduğu kadar düşük bir serbest enerji durumu için çabalar. Bu nedenle sıvılar, yüzey gerilimi nedeniyle belirli bir hacimde mümkün olan en küçük yüzey alanını alır; ağırlıksız olarak küresel damlacıklar oluştururlar. Bununla birlikte, katılar deformasyon yoluyla yüzeylerini küçültemezler, ancak serbest enerjiyi azaltmak için bir sıvı ile bir arayüz oluşturabilirler, yani ıslatılabilirler. Bu nedenle, bir katının yüzey serbest enerjisi ve ıslatılabilirliği bağlanma mukavemeti ile yakından ilgilidir. Örneğin yapıştırma, kaplama veya baskı sırasında iyi ıslanabilirlik ve buna uygun olarak yüksek yüzey serbest enerjisi gereklidir. (Jańczuk & Białopiotrowicz, 1989). Korozyon ve nem koruması gibi diğer alanlarda ıslanabilirlik azaltılmalıdır. Çok sayıda teknik işlem, katı yüzeyleri sıvılarla temas için hazırlar. Bunların çoğu doğrudan veya dolaylı olarak yüzey serbest enerjisini değiştirir (Hilbert, Bagge-Ravn, Kold, & Gram, 2003). Nispeten güçlü polar etkileşimler, moleküllerdeki elektron yoğunluğunun kalıcı ve lokalize edilebilir asimetrisinden kaynaklanır. Sıvılarda en iyi bilinen örnek, polaritesi yüksek SFT'den sorumlu olan sudur. Cam, güçlü bir polar katı yüzeye tipik bir örnektir. Dağınık etkileşimler genellikle daha zayıftır; bir moleküldeki elektron yoğunluğu dağılımının farklı yerlerde

geçici yük farklılıklarına neden olan istatistiksel dalgalanmalarından kaynaklanırlar. Bu, moleküller arasında elektrostatik çekime yol açar. Alkanlar, polietilen veya polipropilen gibi bazı plastikler, yalnızca dağıtıcı etkileşimler oluşturur. Bu aynı zamanda birçok plastiğin su ile zayıf ıslatılabilirliğinin de sebebidir (Kaelble, 2008). Yukarıda bahsedilen ön işlem yöntemleri, esasen yüzey serbest enerjisinin polar kısmını artırır ve böylece plastiği suya daha benzer hale getirir. İki bileşenli modele göre, yalnızca katının yüzey serbest enerjisi ile sıvının yüzey gerilimi değil, aynı zamanda ilgili polar ve dispers fraksiyonları da uyuyorsa ıslatma ve yapışma maksimum seviyede demektir (Ellison & Zisman, 1954). Aşağıdaki Tablo 2, bazı malzemelerin serbest yüzey enerjilerini göstermektedir.

*Tablo 2. Altlık malzemelere ait yüzey enerjileri (Şekercioğlu & Kaner, 2014).*

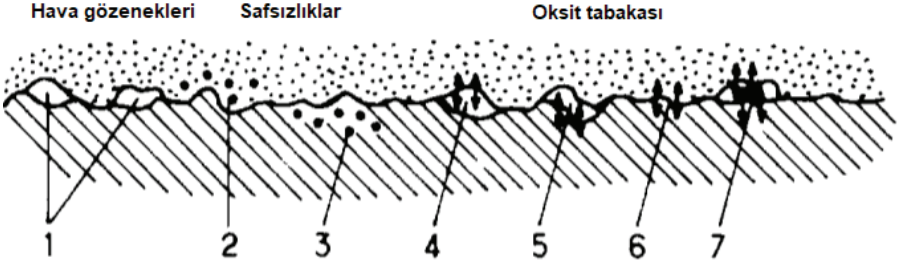
<b>Malzeme</b>	<b>Yüzey Enerjisi mN/m</b>
Alüminyum	850
Cam	250-50
Çelik	700-1100
Politetraflorilen	18,4
Polivinilidenflorür	23,3
Polivinilflorür	31,2
Polietereterketon	36,2
Polidimetilsiloksan	19

### **2.3 Zayıf Sınır Tabakası Teorisi**

Bu teori ilk olarak, Bikerman tarafından “The Science of Adhesive Joints” adlı kitabında çok sayıda düşük yapışma mukavemeti örneğini listelemesi ile açıklanmıştır ve altlık malzeme ile kaplama arasında yer alabilecek zayıf sınır katmanlarının olabileceğini belirtmiştir. Teoriye göre arayüzde veya yakınındaki gerilmelerde başarısızlık meydana gelirse zayıf bir sınır tabakasının mevcut olduğunu varsaymıştır. Bu zayıf sınır tabakalarının arayüzdeki oksit tabakası, alt tabaka üzerindeki kirlilik, hava gözenekleri, safsızlıkların olabileceği ve yapışma mukavemetinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Çoğu durumda kaplama kusurları zayıf bir sınır tabakasından kaynaklanır. Zayıf sınır katmanları boyadan, yapışan kısımdan, çevreden veya üçünün herhangi bir kombinasyonundan kaynaklanabilir. Boya filmi üzerinde zayıf sınır tabakaları oluşabilir veya bir kirlilik altlık malzemenin yakınında yoğunlaşabilir ve bu durum



alt tabakaya zayıf bir yapışma ile sonuçlanacağı açıklanmıştır (Fourche, 1995).



Şekil 3. Zayıf sınır tabakalarının Bikerman modeline göre sınıflandırılması :1) hava gözenekleri, 2 ve 3) arayüzdeki safsızlıklar, 4 ve 7) oksit tabakaları (Fourche, 1995).

### 3. Deneysel Çalışmalar

Bu deneysel çalışmada, su bazlı PTFE yanmaz yapışmaz kaplamaların bağlanma mukavemetlerinin incelenmesi için yeni formülasyonlar geliştirilerek altlık malzeme ile kaplamanın bağlanma mukavemeti karakterize edilmiştir. PTFE kaplama uygulamalarında, 2 katmanlı sistem kullanılmıştır. Birinci katman astar katıdır, ikinci katman ise üst katmandır. Astar katman bileşiminde poli-amid-imid ve poli-eter-sülfon polimerleri bağlayıcı reçine olarak %2, %5 ve %10 gibi farklı oranlarda kullanılmıştır. Üst katman da ise %40 oranında poli-tetra-flor-etilenin (PTFE) sulu dispersiyon formu kullanılmıştır. Bu astar ve üst kat bileşimlerinin yüzey enerjileri birbirinden çok farklı olan cam, alüminyum ve çelik altlık malzemelere uygulanmıştır. Çalışmada, alt katmandaki polimer esaslı astar boya bünyesinde yer alan PAI ve PES oranının yapışma mukavemetine etkisi incelenmiştir.

#### 3.1 Deneysel Kullanılan Hammaddeler

Deneysel çalışmada, üst katman kaplamada kullanılan poli-tetra-flor-etilen polimeri, alt katmanda kullanılan polimerler ise Poli-amid-imid ve Polietersülfon polimerleri Akcoat İleri Kimyasal Kaplamalar A.Ş'den temin edilmiştir. Bunlara ilave olarak Islatma ajanı (Sigma Aldrich), dolgu malzemesi karbon siyahı (Black 10P925, Shepherdcolor), Aromatik hidrokarbon çözümler (Sigma Aldrich) ve deiyonize su, silisyum karbür (-400 mesh particle size,  $\geq 97.5\%$ , Sigma Aldrich), titanyumdioksit (Ataman Kimya), Amonyak (Merck 105432) kullanılmıştır.

### 3.2 Formülasyonun Hazırlanması

PTFE kaplamalarda, formülasyona astar katın hazırlanması ile başlanmıştır. Astar katı hazırlamak için, %2-10 oranında ortalama tanecik boyutu 10-20 µm arasında olan sıvı bağlayıcı reçine, sıvı yüzey aktif ajanı, silisyum karbür ve alümina gibi dolgu malzemesi, amonyak gibi pH düzenleyici bir karıştırıcı altında reaktöre eklenip 2 saat boyunca karıştırılmıştır. 160 cps viskoziteli homojen karışım elde edildiğinde bilyalı değirmende öğütme işlemi uygun ortalama tanecik boyutuna (5-10 µm) ulaşılan dek astar kat boya üretimi devam etmiştir. Ürün tekrar reaktöre alınıp PTFE ilavesi ile nihai hali almıştır. PTFE üst kat formülasyonunu hazırlamak için ise taşıyıcı çözügen, pigment, yüzey aktif ajanı ve PTFE ilave edilerek reaktörde 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Bu karıştırma sonucunda <5 µm boya formatında elde edilmiştir. Böylece, astar kat ve üst kat malzemeleri uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Aşağıdaki Tablo 3’de deneysel çalışmada kullanılan astar kat ve üst katman kompozisyonları verilmiştir. Deneysel olarak kullanılan PAI ve PES alt katman malzemeleri ile üst katmanda kullanılan PTFE polimerinin toz formundaki görüntüleri ile hazırlanmış çözelti formundaki görüntüleri Şekil 4’de verilmiştir.

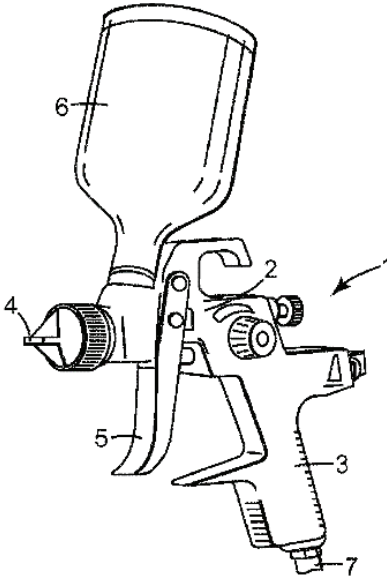
Tablo 3. Astar ve Üst kat kompozisyonları

İçerik	Ağırlık olarak Kullanılabilir Miktar (%)
<b>Üst Kat Formülasyon</b>	
Su	20-40
PTFE	10-60
Yüzey Aktif Ajan	0,5-10
Taşıyıcı Çözgen	13,6-20
Pigment	5,9-10
<b>Astar Kat Formülasyon</b>	
Su	50-70
Bağlayıcı Reçine (PES,PAI)	2-10,0
Yüzey Aktif Ajan	0,04-2
Taşıyıcı Çözgen	2,4-12
Dolgu Malzemesi	7,06-25
pH düzenleyici	0,5-1,5
Pigment	3,0-10
PTFE	15-40

Şekil 4. Kullanılan PAI ve PES alt katman malzemeleri ile üst katmanda kullanılan PTFE polimerinin toz formundaki görüntüleri ile hazırlanmış çözelti formundaki görüntüleri.

### 3.3 PTFE Kaplama Uygulama Yöntemi

PTFE kaplama uygulamalarında basınçlı sprej yöntemi tercih edilmiştir. Deneylerde kullanılan basınçlı sprej tabancasının şematik resmi Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5.’te 6 nolu boya haznesine konan sıvı boya, basınçlı sprej tabancası aracılığıyla 4 no ile gösterilen 1-1,4 mm çapındaki dar bir tabanca memesinden çıkar, yaklaşık 3,5-5 bar basınçlı hava ile karışır ve çok küçük damlacıklar halinde kaplanacak altlık malzemeye püskürtülür. Diğer yöntemlere göre bu yöntem daha pürüzsüz yüzey elde edilmesini ve daha iyi atomizasyon sağlar.



- 1- Boya debisi ayarı
- 2- Huzme Ayarı
- 3- Tabanca tutma yeri
- 4- Hava başlığı ve meme(nozul)
- 5- Tetik
- 6- Boya tankı
- 7- Hava debisi ayarı

Şekil 5. Havalı sprej tabancası parçaları

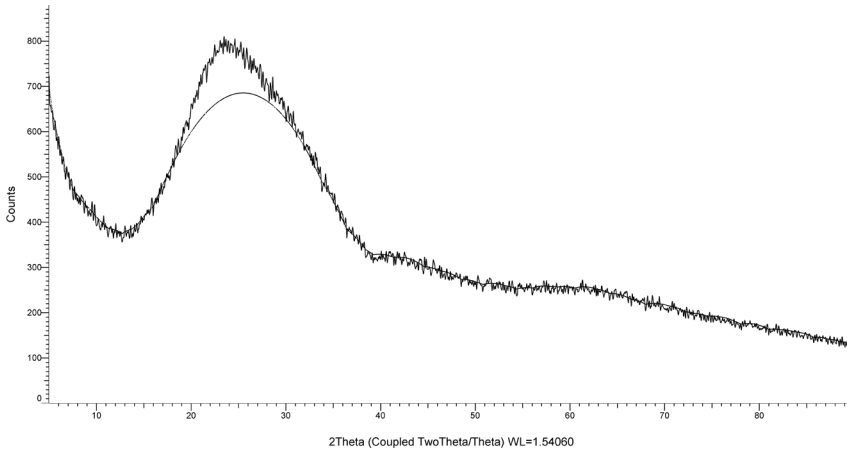
#### 3.3.1 PTFE Kaplama Uygulama Yöntemi

Elde edilen nihai su bazlı astar boya, 1,0 ile 1,4 mm meme çapına sahip sprej tabancası ile 3,5-5 bar basınçta ve 10-12 µm film kalınlığında olacak şekilde 100-130 °C sıcaklık aralığında 5 dakika kurutulmuştur.

Üzerine PTFE üst kat uygulaması 1,0-1,4 mm spreyci tabancası ile 3,5-5 bar basınç altında 15-20 mikron film kalınlığında uygulanarak 100-130°C sıcaklık aralığında 5 dakika kurutulmuş ve 415°C sıcaklıkta 6 dakika kurlenme işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 3.4 Altlık Malzemelerin XRD Görüntüleri

Deneylerde cam, çelik ve alüminyum olmak üzere üç farklı altlık malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemelerin XRD Bruker markalı XRD cihazı kullanılarak yapılmıştır. Altlık malzemelerden birincisi cam malzemedir. Şekil 6. cam malzemeye ait XRD modelini göstermektedir. Şekilde cam malzemenin yüzey enerjisi 250-50 mN/m arasında değişmektedir.



Şekil 6. Cam altlık malzemeye ait X-ışını kırınım modeli.

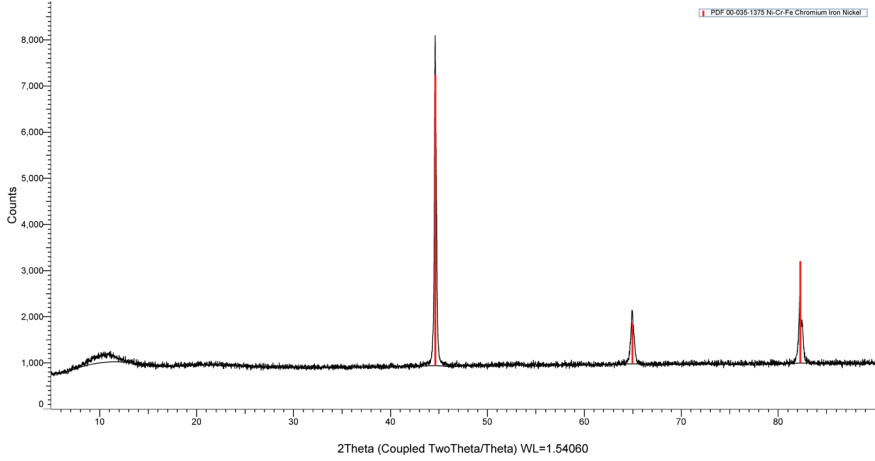
Şekil 6.'da sunulan cam malzemenin kırınım grafiği, kristal fazların yokluğunu gösterir. Bu spektrum, numunede silika varlığından türetilen 27 ° civarında tipik bir amorf bandı temsil eder. Bu cam malzemeyi simetrisi olmayan veya atomik düzenlemede uzun menzilli periyodik olmayan amorf bir katı olarak gösterir (Farias, Mendes, & Galvão, 2015).

Tablo 4. XRF ile elde edilen cam tozu kimyasal bileşimi [oksitler;%]

Oksitler	%	Oksitler	%
SiO <sub>2</sub>	59.245	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.212
CaO	20.436	SO <sub>2</sub>	0.203
Na <sub>2</sub> O	10.712	IO <sub>3</sub>	0.057
MgO	3.969	TiO <sub>2</sub>	0.024
ZrO <sub>2</sub>	3.411	SnO <sub>2</sub>	0.019

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.156	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.006
K <sub>2</sub> O	0.551		

Tablo 4’de ise altlık malzeme olarak kullanılan camın toz haline getirildikten sonra XRF(Bruker AXS S8 Tiger) ile elde edilen kimyasal bileşimi verilmiştir.



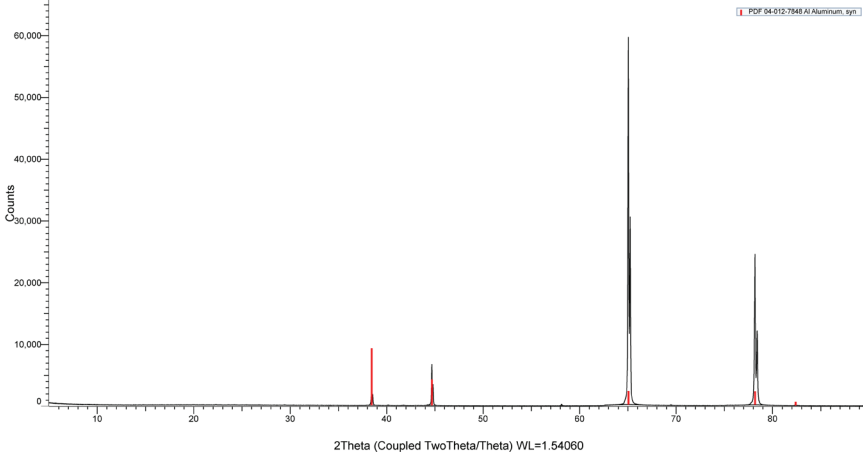
Şekil 7. DIN normu 20MnCr5 malzemeye ait X-ışını kırınım modeli.

Altlık malzemesi olarak kullanılan ikinci malzeme çeliktir. Şekil 7. çelik malzemeye ait XRD modelini göstermektedir. Şekilde çelik malzemenin yüzey enerjisi 700-1100 mN/m arasında değişmektedir. 45 civarında tipik bir östenit bandı, 65 civarında ferrit(200)(Cr3C7)(Cr3Si) bandı ve ferrit (211)(Mn3Ni2Si) bandına rastlanılmıştır. Mario Alberto Alvarado Veloza, Melvyn Álvarez Veraa’nın Lazer kaynak işlemi ile birleştirilmiş çelik 20MnCr5 ve sfero döküm 65-45-12’nin farklı birleşiminin karakterizasyonu adlı çalışmalarında 20MnCr5 çeliğinin ana bölgeleri 45° 65° 82° olarak belirlenmiştir (Veloza & Vera, 2019). 20MnCr5 çeliğinin geliştirilerek yapısal özelliklerinin güçlenmesine ait yapılan başka bir çalışmada da ürünlerin XRD modellemesi yapılarak östenit değerinin 40 ila 65 arasında kabul edildiği belirlenmiştir (Franklin, Perumal, & Vasan, 2020).

Tablo 5. Segment çeliğinin kimyasal kompozisyonu [element,%]

Çelik Normu ve Karşılığı		Kimyasal Analizi (%)					
SAE Normu	DIN Normu	C	Si	Mn	P	S	Cr
5120	20MnCr5	0.42	0.15	0.50	0.0045	0.045	1.0
		0.50	0.35	0.80			1.30

Tablo 5.'de ise altlık malzeme olarak kullanılan çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Kimyasal kompozisyonu verilen segment çeliği, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan, az karbonlu alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir.



Şekil 8. ISO Al99.5 veya 1050 alüminyum malzemeye ait X-ışını kırınım modeli.

Altlık malzemesi olarak kullanılan üçüncü malzeme 1050 alüminyum alaşımı olup Şekil 8. alüminyum alaşımı malzemeye ait XRD kırınım modelini göstermektedir. Şekilde alüminyum alaşımı malzemenin yüzey enerjisi 850 mN/m arasında değişmektedir. Daha önce literatürde yapılan çalışmalarda saf alüminyum için fazlar 38.5°, 44.74° ve 65.13° 'de elde edilmiştir. Deneyde kullanılan alüminyum alaşımının fazları ise daha önce literatürde yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir (Rashad , Pan, Tang, & Asif, 2014). Bir başka çalışmada ise mikrodalgalı ısıtma ile eritilen alüminyum 1050 alaşımının mikroyapısal ve mekanik incelenmesi yapılmış ve 2-teta değerinde tanımlanan dört önemli derecede yüksek yoğunluklu tepe noktasına sahip pik belirlenmiştir. Dominant tepe 65.13 ° 2-teta değerinde tanımlanmıştır (Lingappa, 2017).

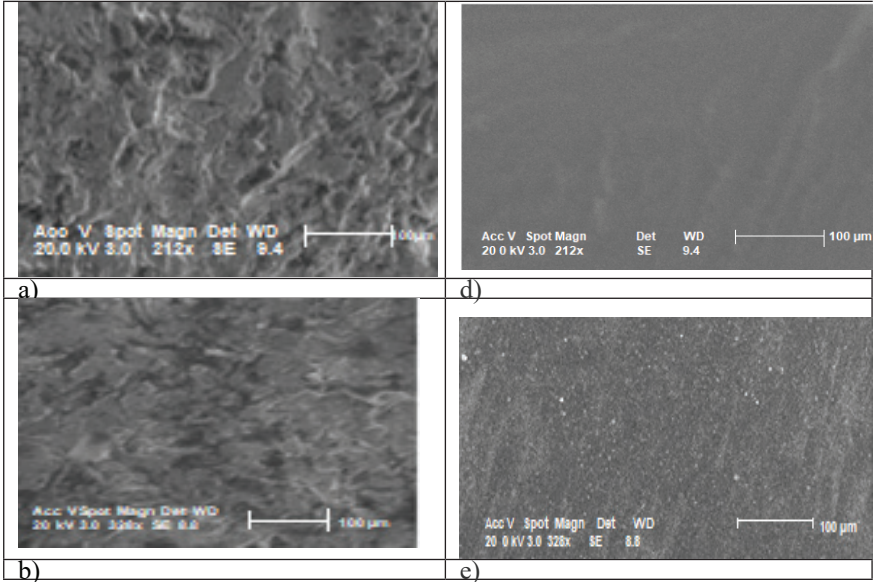
Tablo 6. XRF ile elde edilen 1050 alüminyumun kimyasal kompozisyonu [element,%]

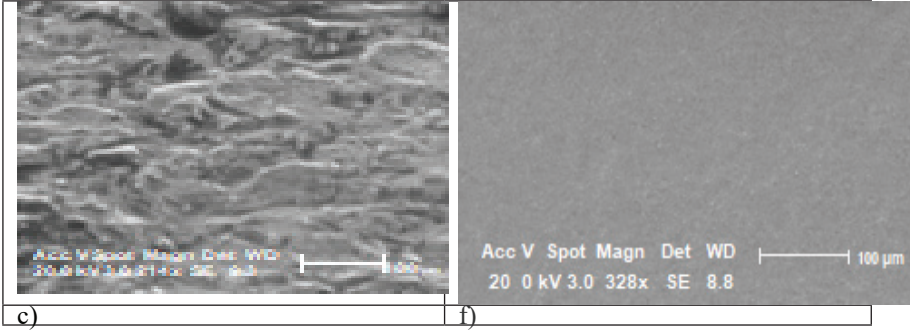
Alüminyum Alaşımı ve Karşılığı	Kimyasal Analizi %							
	Fe	Si	Zn	Ti	Mg	Mn	Cu	Al
ISO Al99.5 1050	0.4	0.25	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	99.5

Tablo 6.'da ise altlık malzeme olarak kullanılan alüminyum alaşımı malzemenin kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Tablo 6.'da kimyasal kompozisyonu verilen 1050 alüminyum alaşımı malzeme orta seviye dayanıma sahip, genel amaçlı kullanımlar için sıkça tercih edilen bir malzemedir. Atmosferik korozyona çok dayanıklı çok iyi şekil alabilir, elektrik ve ısı iletkenliği yüksek, görünümü güzel, dekoratif kaplamalar için uygun, kaynak kabiliyeti yüksek, mekanik özellikleri düşüktür. En yaygın kullanılan uygulama alanlarından birisi mutfak araç ve gereçleridir.

### 3.5 YüzeY Pürüzlendirme ve SEM Görüntüleri

Şekil 9.'da pürüzlendirilmiş ve ptfе ile kaplanmış altlık malzemelerinin Sem görüntüleri verilmiştir. a) alüminyum tozlarının püskürtülmesi ile pürüzlülük ortalaması Ra: 2,5 olan 1050 alüminyum alaşımına, b) çelik kumların altlık malzemesine püskürtülmesi ile pürüzlülük ortalaması Ra: 2,5 olan 20MnCr5 çeliğine, c) cam boncukların püskürtülmesi ile pürüzlülük ortalaması Ra:2,5 olan temperli cam malzemesine aittir. YüzeYdeki oksitler giderilerek girinti ve çıkıntılarının varlığı SEM görüntülerinde görülmektedir. d) pürüzlendirilmiş alüminyum üzerine ptfе kaplanmış, e) pürüzlendirilmiş çelik altlık malzemesi üzerine ptfе kaplanmış f) temperli cam üzerine ptfе kaplanmış SEM görüntülerine aittir. Pürüzlülük yaratılarak boyanın temas edeceği alan artırılmış ve bu alanlar ptfе ile kaplanarak düz bir film oluşturduğu görülmüştür.





Şekil 9. 2,5 Ra yüzey pürüzlülüğüne sahip altlık malzemelere ait SEM görüntüleri a) Alüminyum alaşımı, b) çelik c) Cam d) Alüminyum alaşımına PTFE kaplanmış e) çelik yüzeye PTFE kaplanmış f) cam yüzeye PTFE kaplanmış

### 3.6 Test Standartları ve Yöntemi

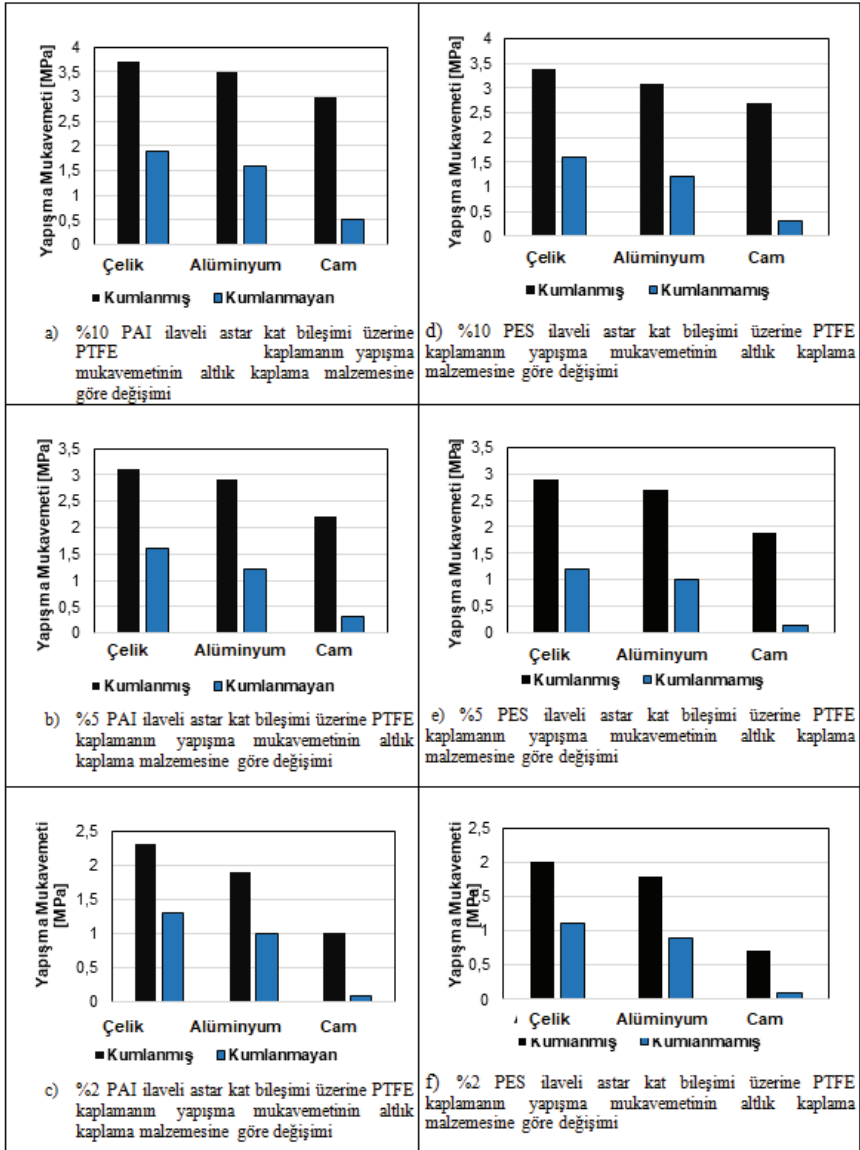
Deneylerde kullanılan çekme testleri ASTM D4541 standardına uygun olarak PosiTest marka bir çekme cihazında manual modda [ ATM50: 0,4-3,5 Mpa / 50-500 psi] gerçekleştirilmiştir. Deneyde kaplama yapılan yüzeye bir yüklemeye fikstürü yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmıştır. Daha sonrası yük uygulanarak kaplamanın yapışma mukavemeti mega Paskal (MPa) cinsinden tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan kareleme (bant testleri) ASTM D3359 standardına uygun olarak Cross-Cut boya yapışma adezyon test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde kaplama yapılan yüzeye her yönde altı veya on bir kesikli dikey bir kafes modeli yapılır ve kafesin üzerine önceden belirlenmiş bir basınca duyarlı bant uygulanır ve ardından çıkarılır. Yapışma daha sonra açıklamalar ve resimler ile karşılaştırılarak değerlendirilir. Kaplamanın yapışması 0 ila 5 ölçeğinde değerlendirilir. Korozyon testinde ise 10x10x2,5 mm ölçülerinde plakalar hazırlanır. Daha sonra kaplama yapılmış numuneler %10 NaCl tuzlu su çözeltisinde 8 saat boyunca kaynatılır ve sonrasında 16 saat süre ile tuz konsantrasyonu sabit kalacak şekilde kapatılarak bekletilir ve yüzeyin kabarcıklanması, yırtılması gibi deformasyon durumları incelenir.

### 4. Karakterizasyon Sonuçları

Su bazlı PTFE kaplama, iki katlı sistemde astar ve üst kat kombinasyonu ile hazırlanmış ve deneysel olarak uygulanmıştır. Astar kat kompozisyonu için %2, %5 ve %10 PAI reçinesi ve %2, %5 ve %10 PES reçineleri ile hazırlanan altı farklı formülasyonun kumlanmış ve kumlanmamış alüminyum, çelik ve cam altlık malzemelerinde çekme, kareleme ve korozyon test sonuçları aşağıda yer almaktadır.



## 4.1 Çekme Testi Sonuçları



Şekil 10. Farklı altlık malzemelere PAI ve PES ilaveli hazırlanan astar kat üzerine yapılan PTFE kaplamaların yapışma mukavemetlerinin kumlanmış ve kumlanmamış yüzeylere göre değişimi.

Şekil 10.'de astar ve üst kat uygulamaları yapılan PTFE kaplamaların hem farklı altlık malzemelerine göre hem de kumlanmış ve kumlanmamış yüzey özelliklerine göre yapışma mukavemetlerinin değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen verilere göre, astar

kat uygulamalarında poliamidimid polimeri içeren formülasyonların, polietersülfon polimerini içeren uygulamalara göre cam, çelik ve alüminyum altlıklarda hem kumlanmış hem de kumlanmamış yüzeylerde daha yüksek yapışma mukavemeti sergilediği görülmektedir. Çok tabakalı yapışmaz kaplama sistemi oluşturmak için amid ve amin fonksiyonel gruplarından en az birine sahip bağlayıcı reçineden ve bu fonksiyonel gruplar ile reaksiyona girebilecek floropolimer reçinesinin astar katta var olması ve yapışma mukavemetini arttırması literatürde sıklıkla yer almaktadır (Netherlands,Arnhem Patent No. WO 2004/024348 A1, 2004). Poliamidimid ve polietersülfon reçinelerinin formülde yüzde oranının artması yapışma mukavemetinin artmasına neden olmaktadır. Bu tip kaplama sistemlerinde astar katmanın kaplanacak altlık malzemeye yapışmasının, altlık malzeme ile kaplama arasındaki ara yüzeyde bulunan PES, PAI gibi organik bağlayıcı reçine miktarlarının bir fonksiyonu olduğu kabul edilmiştir (Netherlands,Arnhem Patent No. WO 2004/024348 A1, 2004). Bu makalede kullanılan PES ve PAI organik reçinenin %2, 5 ve 10 oranlarında formülasyona ilave edilmesi ile yapışma mukavemetindeki artış Şekil 10.'da görülmektedir. Astar kat uygulamalarında %2, %5 ve %10 oranında Poliamidimid ilavesi yapışma mukavemetlerinde kumlanmış yüzeylerde sırasıyla cam altlıklarda yaklaşık olarak 0.1, 2.1 ve 3 MPa alüminyum altlıklarda 1.9,2.9,3,5 MPa oranında ve çelik altlıklarda ise 2.3, 3.1, 3.7 MPa'lık artış göstermiştir. Kumlanmamış yüzeylerde ise sırasıyla cam altlıklarda 0.1,0.25 ve 0.5 oranında, alüminyum altlıklarda 1,1.2,1.55 oranında ve çelik altlıklarda ise 1.25,1.6 ve 1.9 Mpa'lık artış göstermiştir. Benzer şekilde astar kat uygulamalarında %2, %5 ve %10 oranında Polietersülfon ilavesi ile yapışma mukavemetlerinde kumlanmış yüzeylerde sırasıyla cam altlıklarda 0.8,1.8 ve 2 Mpa oranında, alüminyum altlıklarda 1.9, 2.6 ve 2.9 Mpa oranında ve çelik altlıklarda ise 2.6,3.1 ve 3.4 Mpa oranında artış göstermiştir. Kumlanmamış yüzeylerde ise sırasıyla cam altlıklarda 0.08,0.15,0.25 oranında, alüminyum altlıklarda 0.9,1 ve 1.3 oranında ve çelik altlıklarda ise 1.1, 1.3 ve 1.6 Mpa oranında artış elde edilmiştir. Yukarıda ifade edilen %2, %5 ve %10 oranlarında Poliamidimid ve polietersülfon içeren altı formülasyon kıyaslandığında, en yüksek yapışma mukavemeti %10 poliamidimid içeren astar kat için ve çelik altlık malzemede elde edilmiştir. Bunun sebebi alüminyum metalinin oksitlenme meyillidir ve kaplamanın 400 °C üzerinde maruz kaldığı termal döngüler alüminyum substratın dayanıklılığını ve verimliliğini etkileyebilmektedir. Alüminyum floropolimer kaplama ile kaplandığında ve yüksek pişirme esnasında metaldeki hava kabarcıkları genişler ve kabarcık oluşturabilmektedir. Bunun yanında birçok demir elementini içeren metaller yüzeyi geçici olarak paslanmaya karşı dirençli hale getirdiği görülmektedir (McKeen, 2015). Elde edilen sonuçlara göre de kumlanmış yüzeyde yüzey serbest enerjisinin kum püskürtme metodu

ile azaltılarak temas alanının artması yapışma mukavemetinin de olumlu yönde artmasına etkisi belirlenmiştir (Vaca, Tejero, Alabanda, Romero, & Molero, 2020).

## 1.1 Kareleme Testi Sonuçları




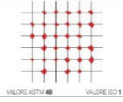
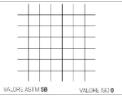
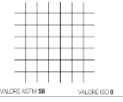

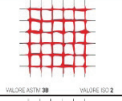
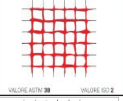
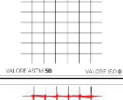

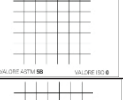
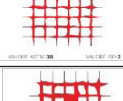
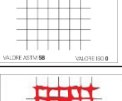
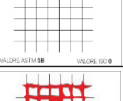



Tablo 7. Kumlanmamış altlıklarda kareleme testi sonuçları

Astar kat bileşeni	Kumlanmamış altlıklar ve kareleme test sonuçları								
	Cam			Alüminyum			Çelik		
%10 PAI	2B		4B		4B				
%5 PAI	1B		2B		2B				
%2 PAI	0B		1B		1B				
%10 PES	2B		3B		3B				
%5 PES	1B		2B		2B				
%2 PES	0B		1B		1B				

Tablo 7.'de gösterilen kareleme(bant) testi sonuçlarına göre poliamidimid ve polietersülfon içeren astar kat bileşenleri kumlanmamış altlıklarda benzer yapışma değerlerini göstermektedir. %2 poliamidimid ve %2 polietersülfon içeren formülasyonlarda kumlanmamış cam altlıklarda bağlanma 0B performans değerini göstermektedir. Yani hiçbir kuvvet uygulanmadan kaplama filmi yüzeyden rahatlıkla ayrılabilmekte hatta dökülmektedir. Bu değer alüminyum ve çelik altlıklar için 1B seviyesine çıkmaktadır. Fakat halen daha endüstrinin ihtiyacını karşılayabilecek yeterli yapışmaya ait hizmet ömrü görülmemektedir. Kaplama filmi altlık malzemeden ayrılmaya, yırtılmaya ve çizilmeye müsait durumdadır. %5 poliamidimid ve %5 polietersülfon içeren formülasyonlarda kumlanmamış cam altlıklarda bağlanma 1B performans değerini göstermektedir. Kaplamadaki kesiklerin kenarları boyunca ayrılmalar mevcuttur. Bu değer alüminyum ve çelik altlıklar için 2B performans puanına ulaşmaktadır. Yapışma yeterli ve istenilen seviye de değildir. Kesiklerin kenarları boyunca kısmen yırtılmalar devam etmektedir. %10 poliamidimid ve %10 polietersülfon içeren formülasyonlarda kumlanmamış cam

altlıklarda bağlanma 2B performans puanını göstermektedir. Yapışma yeterli ve istenilen seviyede değildir. Kesiklerin kenarları boyunca kısmen yırtılmalar devam etmektedir. Bu değer alüminyum ve çelik altlıklar için 4B performans değerine ulaşmaktadır. Kesiklerde, kesişme noktaları arasında ufak yırtılmalar mevcuttur. Bu kaplamanın hizmet ömrünü beklenen seviyede karşılamayabilir. Bu nedenle kaplamanın temas edeceği yüzey alanını arttırmak, oksitleri gidermek ve pürüzlülük yaratarak yapışma kabiliyetini en üst seviyeye çıkartmak için bir yüzey ön işlemi yapılması gerekmektedir. (Fourche, 1995), (Ghanem & Lang, 2017).

Tablo 8. Kumlanmış altlıklarda kareleme testi sonuçları

Bileşen	Kumlanmış Altlıklarda Test Sonuçları		
	Cam	Alüminyum	Çelik
%10 PAI	5B 	5B 	5B 
%5 PAI	4B 	5B 	5B 
%2 PAI	2B 	3B 	3B 
%10 PES	5B 	5B 	5B 
%5 PES	3B 	5B 	5B 
%2 PES	2B 	2B 	2B 

Tablo 8.'de gösterilen kareleme(bant) testi sonuçlarına göre Poliamidimid ve polietersülfon içeren astar kat bileşenleri kumlanmış altlıklarda benzer yapışma değerlerini göstermektedir. %2 poliamidimid ve %2 polietersülfon içeren formülasyonlarda kumlanmamış cam, alüminyum ve çelik altlıklarda bağlanma 2B performans değeri elde edilmektedir. Kaplama filmi altlık malzemeden ayrılmaya, yırtılmaya ve çizilmeye müsait durumdadır. %5 poliamidimid ve %5 polietersülfon içeren formülasyonlarda kumlanmış cam altlıkların bağlanma performansı 3B seviyelerine çıkmaktadır. Yapışma, yeterli ve istenilen seviyede

değildir. Bu değer alüminyum ve çelik altlıklar için 5B performans değerini göstermektedir. Yapışma istenilen değerler arasındadır ve altlık malzeme ile yeterli yapışma sağlanmıştır. %10 poliamidimid ve %10 polietersülfon içeren formülasyonlarda kumlanmamış cam, çelik ve alüminyum altlıklarda bağlanma 5B performans değerini göstermektedir. Bu değer kaplamanın hizmet ömrünü beklenen seviyede karşılayabileceğini göstermektedir. Kumlama yapılan yüzeylerde mekanik kilitlenme teorisi van der Waals kuvvetlerinden etkilenir ve yapışma mukavemetinin artmasına neden olmaktadır. Tablo 8.'de bu teori kanıtlanmaktadır. Yapılan bir çalışmada farklı substratlar üzerine kaplanan floropolimer sonuçları da alüminyum ve çelik yani metalik altlıklarda iyi yapışma sağlarken, cam yüzeylerde kolaylıkla sıyrılan ve iyi yapışma elde edilmediğinden bahsetmiştir (Japan Patent No. JP5273041B2, 2008). Bu sonuç %2 ve %5 pai ve pes ilavelerinde cam altlıklarda da görülmektedir.

## 1.2 Korozyon Testi Sonuçları

Tablo 9. Kumlanmamış alüminyum ve çelik altlıklara ait korozyon test sonuçları




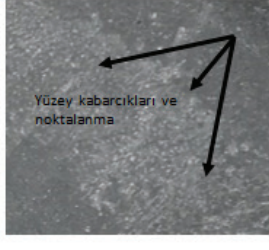

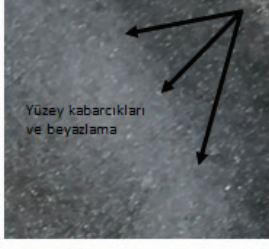
Kumlanmamış Yüzey Korozyon Test Sonuçları (saat)						
Altılık malzeme	PAI			PES		
	2%	5%	10%	2%	5%	10%
Çelik	16	64	128	8	48	104
Alüminyum	16	56	104	8	40	88

Tablo 10. Kumlanmış alüminyum ve çelik altlıklara ait korozyon test sonuçları

2,5 Ra Kumlanmış Yüzey Korozyon Test Sonuçları (saat)						
Altılık malzeme	PAI			PES		
	2%	5%	10%	2%	5%	10%
Çelik	24	72	144	12	56	120
Alüminyum	24	64	120	12	48	104

Tablo 9'da astar ve üst kat uygulamaları yapılan PTFE kaplamaların kumlanmamış çelik ve alüminyum altlık malzemelerinde sırasıyla %2, 5, 10 PAI ve %2, 5, 10 PES içeren formülasyonların korozyon dayanım sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen verilere göre poliamidimid içeren formülasyonların daha yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Poliamidimid ve polietersülfon reçinelerinin formülde yüzde oranının artması korozyon direncinin artmasına neden olmaktadır. %2, %5 ve %10 oranında Poliamidimid ilavesinin korozyon direnci sonuçlar, çelik altlıklarda sırasıyla 16, 64, 128 saat; alüminyum altlıklarda ise 16, 56 ve 104 saat olarak elde edilmiştir. PES içeren

formülasyonlar ise çelik altlıklarda sırasıyla 8, 48, 104 saat ve alüminyum altlıklarda sırasıyla 8, 40 ve 88 saat olarak elde edilmiştir. Veriler sonucunda yüzeylerde kabarcıklanma, pürüzlenme, yırtılma gözlemlenmiştir. PAI, üstün kimyasal dayanımı nedeni ile yüksek performans göstermiştir (Japan Patent No. JP5319282B2, 2006). Tablo 10'da astar ve üst kat uygulamaları yapılan PTFE kaplamaların kumlanmış çelik ve alüminyum altlık malzemelerinde sırasıyla %2, 5, 10 PAI ve %2, 5, 10 PES içeren formülasyonların korozyon dayanım sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen verilere göre poliamidimid içeren formülasyonların daha yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Poliamidimid ve polietersülfon reçinelerinin formülde yüzde oranının artması korozyon direncinin artmasına neden olmaktadır. %2, %5 ve %10 oranında Poliamidimid ilavesinin korozyon direnci sonuçları, çelik altlıklarda sırasıyla 24, 72 ve 144 saat; alüminyum altlıklarda ise 24, 64, 120 saat olarak elde edilmiştir. PES içeren formülasyonlar ise çelik altlıklarda sırasıyla 12, 56 ve 120 saat ve alüminyum altlıklarda 12, 48 ve 104 saat olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kumlanmış yüzeylerde kaplamanın altlık malzeme ara yüzey bağının yeterli derecede olması kimyasal direnci olumlu yönde etkilediği görülmüştür (Pulker, 1999), (Maqsood, Khan, Alamgir, Shah, & Fahad, 2017).

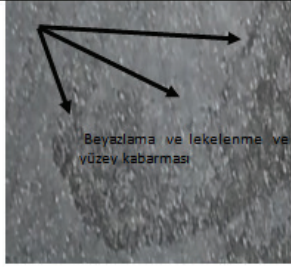


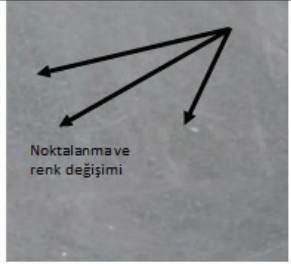
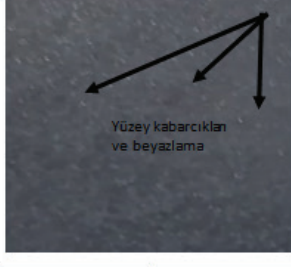
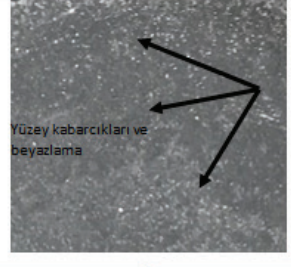
Altlık astar malzeme	Kumlanmış Çelik	Kumlanmış Alüminyum
	 <p>a)</p>	 <p>d)</p>
PAI	 <p>b)</p>	 <p>e)</p>
	 <p>c)</p>	 <p>f)</p>

Şekil 11. PAI içeren astar kaplamaların korozyon testi sonrası optik yüzey görüntüleri

Şekil 11. poliamidimid(PAI) polimerini içeren astar kaplamasının kumlanmış çelik ve alüminyum altlık malzemelerinin Tablo 10.'de belirtilen sürelerde tutulması ile elde edilen sonuçları içerir. a) Astar kat bileşiminde %2 PAI polimerini içeren ptfе kaplamasının çelik altlığa uygulanması ve 24 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir. Burada görülen yüzey kabarcıkları ve beyazlamalar kaplamasının taban malzeme ile arasında zayıf sınırlar oluşturarak bağlanma kabiliyetine olumsuz etkisini göstermektedir. b) Astar kat bileşiminde %5 PAI polimerini içeren ptfе kaplamasının çelik altlığa uygulanması ve 72 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir.

Burada ise termoplastik polimer oranının artması ile yüzey kabarcığı ve beyazlamaların oluşma süresinin uzadığı görülmektedir. c) Astar kat bileşiminde %10 PAI polimerini içeren ptfе kaplamanın çelik altlığa uygulanması ve 144 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir . Burada termoplastik polimer miktarının etkisi açıkça görülmektedir. Yüzey kabarcıkları ve beyazlamaların kaplama performansına olumsuz etkisinin süresi 144 saate çıkmıştır. d) Astar kat bileşiminde %2 PAI polimerini içeren ptfе kaplamanın alüminyum altlığa uygulanması ve 24 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir. Burada görülen yüzey lekelenmeleri ve beyazlamalar taban malzemenin oksitlenme isteğini ve kaplama kimyasının reaksiyona gördüğünü göstermektedir. Bu durum kaplamanın bağlanma kabiliyetine olumsuz etki etmektedir. e) Astar kat bileşiminde %5 PAI polimerini içeren ptfе kaplamanın alüminyum altlığa uygulanması ve 64 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir. Burada termoplastik polimer oranının artması ile yüzey kabarcıkları ve noktalamaların oluşma süresinin uzadığı görülmektedir. Bu durum korozif direnç performansını arttırmaktadır. f) Astar kat bileşiminde %10 PAI polimerini içeren ptfе kaplamanın alüminyum altlığa uygulanması ve 120 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüye aittir. Burada ise termoplastik polimerinin artması ile korozif direncin arttığı görülmektedir. Elde edilen görüntülerde %10 luk tuz konsantrasyonunda yüzeyde kabarcıklanma, lekelenme ve beyazlamalar gözlemlenmektedir. Belirtilen agrasif koşullarda bekletilen ürünlerde görülen yüzey kabarcıklanma,lekelenme, beyazlama gibi korozif durumlar kaplamanın taban malzemeler ile bağ kurma kabiliyetlerini azaltarak kaplama yapısını bozmaktadırlar.



Altlık astar malzeme	Kumlanmış Çelik	Kumlanmış Alüminyum
PES	 a)	 d)
	 b)	 e)
	 c)	 f)

Şekil 12. PES içeren astar kaplamaların korozyon testi sonrası optik yüzey görüntüleri

Şekil 12. polietersülfon(PES) polimerini içeren astar kaplamanın kumlanmış çelik ve alüminyum altlık malzemelerinin Tablo 10.'da belirtilen sürelerde tutulması ile elde edilen sonuçları içerir. a) astar kat bileşiminde %2 PES polimerini içeren ptfе kaplamanın çelik altlığa uygulanması ve 12 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir. Burada görülen yüzey kabarcıkları ve beyazlamalar kaplamanın taban malzeme ile arasında zayıf sınırlar oluşturarak bağlanma kabiliyetine olumsuz etkisini göstermiştir. b) astar kat bileşiminde %5 PES polimerini içeren ptfе kaplamanın çelik altlığa uygulanması ve 56 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu

elde edilen görüntüsünü vermektedir. Burada ise termoplastik polimer oranının artması ile yüzey kabarcığı ve beyazlamaların oluşma süresinin uzadığı görülmektedir. c) Astar kat bileşiminde %10 PES polimerini içeren ptfе kaplamanın çelik altlığa uygulanması ve 120 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir. Yüzey kabarcıkları ve beyazlamalar gibi koroziif etkilerin kaplama performansına olumsuz etkisinin süresi 120 saate çıkmaktadır. Bu durum termoplastik polimer miktarı arttıkça, korozyon direncinin arttığı açıkça göstermektedir. d) Astar kat bileşiminde %2 PES polimerini içeren ptfе kaplamanın alüminyum altlığa uygulanması ve 12 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir. Burada görülen yüzey lekelenmeleri ve beyazlamalar taban malzemenin oksitlenme isteğini ve kaplama malzemesinin reaktif durumunu göstermektedir. Bu durum kaplamanın bağlanma kabiliyetine olumsuz etki etmektedir. e) Astar kat bileşiminde %5 PES polimerini içeren ptfе kaplamanın alüminyum altlığa uygulanması ve 48 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüsünü vermektedir. Burada ise termoplastik polimer oranının artması ile noktalanma ve renk değişimlerinin oluşma süresinin uzadığı görülmektedir. Bu durum koroziif direnç performansını arttırmaktadır. f) Astar kat bileşiminde %10 PES polimerini içeren ptfе kaplamanın alüminyum altlığa uygulanması ve 104 saat boyunca korozyon testine maruz bırakılması sonucu elde edilen görüntüye aittir. Burada termoplastik polimerinin artması ile koroziif direncin arttığı görülmektedir (Osaka, Japan Patent No. US6333372B1, 1998). Polietersülfon polimerini içeren kaplamalar için uygun değer %10 Pes polimeri ve kumlanmış çelik taban malzeme olduğu belirlenmiştir. Agrasif bir malzeme ile kontrollü ortamda kaplamayüzeylerinin bozulmaya, yırtılmaya, kabarcıklanmaya karşı direnci ve hava koşulları, nem, tuzlu su gibi agrasif faktörlerin kaplamanın bağlanma kabiliyetlerindeki etkisini ölçmek amacıyla yapılan bu test ile akma gerilmesi sınırlarına ulaşarak Tablo 10.'da belirtilen sürelerde yüzey kabarcıkları, lekelenmeler ve renk değişimleri elde edilmiştir. Standart pürüzlendirme ve yüzey temizliği yapılan kaplamalarda alüminyum taban malzemenin oksitlenmeye ve koroziif durumlara açık bir altlık olduğu %2, %5 ve %10 polimer içeren kaplamalarda görülmüştür. Bu durum termoplastik polimer miktarının artması ile daha uzun sürelerle çıkmaktadır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, , iki katlı ptfе kaplamaların basınçlı sprey metodu kullanılarak cam, çelik ve alüminyum gibi farklı yüzey enerjilerine sahip altlık malzemeler ile bağlanma çalışmaları yapılmıştır. Floropolimerler metaller ve diğer alt tabakalara yapışmayı yeterli sağlayamadıklarından, PAİ ve PES reçinelerle karıştırılmıştır. Çalışmalar, altlık malzeme ile üst

katın birbirine yapışmasını sağlayan astar kat bileşimlerinde PAI ve PES ilavesiyle gerçekleştirilmiştir.

1- Uygulamalarda kullanılan cam,alüminyum ve çelik altlık malzemeler endüstri ihtiyacına göre; gıda,dekoratif,imalat sektörleri göz önünde bulundurularak farklı yüzey serbest enerjilerine sahip temperli cam, 1050 alüminyum alaşımı ve SAE 5120 olarak belirlenmiştir.Yüzey enerjisi arttıkça kaplamanın temas ettiği yüzey azalmış ve bağlanmanın zayıfladığı görülmüştür. Bu nedenle en düşük yüzey enerjili metal altlıklar üstün bağlama/yapışma mukavemeti göstermiştir.

2- PTFE polimerinin üstün özelliklerini sunabilmesi ve bağlanma mukavemetinin iyileştirilmesi için PAI ve PES reçinelerini içeren astar kat hazırlanmıştır.

3- Astar katın, altlık malzeme ile su bazlı PTFE üst katın birbirine yapışmasında en önemli etken olduğu belirlenmiştir. Arayüzey bağlayıcısı olarak ısı ile sertleşen son derece renkli poliamitimit ve şeffaf renkli yüksek performanlı termoplastik reçine tercih edilmiştir ve bağlanmaya etkileri %2,%5%10 oranlarında incelenmiştir.

4- PES polimerlerinin formülasyona sırasıyla %2,%5 ve %10 ilave edilmesi yapışma mukavemetinde artış göstermiştir.En düşük yapışma mukavemeti 0,02 Mpa ile kumlanmayan cam yüzeyde elde edilirken en yüksek bağlanma 3,4 Mpa sonucu ile kumlanmış çelik altlıkta elde edilmiştir.

5- PAI polimerlerinin formülasyona sırasıyla %2,%5 ve %10 ilave edilmesi yapışma mukavemetinde artış göstermiştir. En düşük yapışma mukavemeti 0,05 Mpa ile kumlanmayan cam yüzeyde elde edilirken en yüksek bağlanma 3,7 Mpa sonucu ile kumlanmış çelik altlıkta elde edilmiştir.

6- Kumlama yapılan yüzeylerde mekanik kilitleme teorisi ispatlanmıştır. Yüzeydeki temas alanının artması, cam, çelik ve alüminyum yüzeylerde yapışma performansının artmasına neden olmuştur. Kumlanmış yüzeylerde PAI ve PES içeren astar kat kaplamalarının yapışma performansı cam, çelik ve alüminyum altlıklarda PAI ve PES polimer miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. En yüksek bağlanma/yapışma performansı cam, çelik ve alüminyum yüzeylerde %10 PAI ve %10 PES polimeri içeren kaplamalarda elde edilmiştir.

7- Kareleme test sonuçlarına göre kumlanmamış alüminyum ve çelik altlıklarda %2,%5,%10 PAI ve PES ilaveli kaplamalarda benzer yapışma sonuçları elde edilirken cam altlıklarda alüminyum ve çeliğe oranla %50'nin altında yapışma performansı göstermiştir. Kumlanmamış altlıklarda en yüksek yapışma performansı %10 PAI ve %10 PES içeren

formülasyonlarda alüminyum ve çelikte 4B olarak sonuçlanırken , %2 PES ve PAI astar kaplamalı cam altlıklarda 0B ile en kötü yapışma performansını göstermiştir.

8- Kumlama yapılan yüzeylerde en yüksek bağlanma/yapışma performansı cam,çelik ve alüminyum yüzeylerde %10 PAI ve %10 PES polimeri içeren kaplamalarda 5B elde edilirken en düşük bağlanma %2 PAI içeren cam altlıkta ve %2 PES içeren cam,çelik ve alüminyum altlıklarda 2B performans puanı elde edilmiştir.

9- Poliamidimid ve polietersülfon reçinelerinin formülde yüzde oranının artması korozyon direncinin artmasına neden olmuştur.

10-Korozyon direncinin iyileşmesi için kumlama işlemi yapılmış ve yüzeydeki kir,pas,tortular alınmış ve pürüzlülük yaratılarak temas alanı artırılmıştır. Bu sayede bağlanma mukavemeti ile korozyon direncinin bağlantılı olduğu belirlenmiştir.

11- Poliamidimidin kumlanmış yüzeylerde polietersülfon polimerine göre daha iyi korozyon direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

12-%10 PAI içeren formülasyonda kumlanmış çelik yüzeylerde 144 saat korozyon direnci edilirken, en zayıf korozyon direnci %2 PES polimeri içeren formülasyonda kumlanmamış alüminyum altlıkta 8 saat olarak ölçülmüştür.

13-Alüminyum metalinin oksitlenmeye olan meyili ve kaplamanın 400 °C üzerinde maruz kaldığı termal döngüler, alüminyum substratın korozyon direncini etkilemiştir. Alüminyum floropolimer kaplama ile kaplanıp NaCl'ye maruz bırakıldığında PES ve PAI'li her iki formülasyonlarda metaldeki hava kabarcıkları genişlemiş ve korozyon dayanımı çelik altlığa kıyasla zayıflamıştır.

## KAYNAKLAR

- Asahi Glass Company, L. (2008). *Japan Patent No. JP5273041B2*.
- Awaja, F., Gilbert, M., Kelly, G., Fox, B., & Pigram, P. (2009). Adhesion of polymers. *Progress in polymer science*, 948-68.
- Ellison, A. H., & Zisman, W. A. (1954). Wettability of Halogenated Organic Solid Surfaces. *The Journal of Physical Chemistry A*, 260-265.
- Farias, A., Mendes, J., & Galvão, A. (2015). Characterization of waste of soda-lime glass generated from lapping process to reuse as filler in composite materials as thermal insulation. *Ceramica* 61, 367-373.
- Fourche, G. (1995). An overview of the basic aspects of polymer adhesion. Part I: Fundamentals. *Polymer Engineering and Science*, 957-967.
- Franklin, M., Perumal, P., & Vasan, K. (2020). Strengthening the Mechanical Properties of 20MnCr5. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 1445-1447.
- Ghanem, D., & Lang, Y. (2017, January). Introduction to Polymer Adhesion. *Department of process engineering and applied science*.
- Groll, W. (2004). *Pennsylvania, USA Patent No. US7488515B2*.
- Hilbert, L. R., Bagge-Ravn, D., Kold, J., & Gram, L. (2003). Influence of surface roughness of stainless steel on microbial adhesion and corrosion resistance. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 175-185.
- Jańczuk, B., & Białopiotrowicz, T. (1989). Surface free-energy components of liquids and low energy solids and contact angles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 189-204.
- Kaelble, D. (2008). Dispersion-Polar Surface Tension Properties of Organic Solids. *The Journal of Adhesion* , 66-81.
- Lingappa, M. S. (2017). Microstructural and mechanical investigation of aluminium alloy (Al 1050) melted by microwave hybrid heating. *Materials Research Express*.
- Maqsood, N., Khan, A., Alamgir, M., Shah, S., & Fahad, M. (2017). PTFE thin film coating on 316L Stainless Steel for corrosion protection in Acidic Environment. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 183-190.
- Martin, P. (2010). *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings*. Amsterdam: William Andrew.
- McKeen, L. (2015). *Fluorinated Coatings and Finishes Handbook: The Definitive User's Guide (Plastics Design Library)*. William Andrew.
- Pulker, H. (1999). *Coatings on Glass*. liechtenstein: Elsevier.

- Rashad, M., Pan, F., Tang, A., & Asif, M. (2014). Effect of Graphene Nanoplatelets addition on mechanical properties of pure aluminum using a semi-powder method. *Progress in Natural Science: Materials International*, 101-108.
- Shah, S., & Padilla, H. (2004). *Netherlands, Arnhem Patent No. WO 2004/024348 A1*.
- SHI, H. (1998). *Zhejiang, China Patent No. US6333372B1*.
- Şekercioğlu, T., & Kaner, S. (2014). Plastiklerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 37-43.
- Tomihashi, N., Ogita, K., & Sanemasa, H. (1998). *Osaka, Japan Patent No. US6333372B1*.
- Vaca, G. G., Tejero, D. C., Alabanda, Ó. R., Romero, P. E., & Molero, E. (2020). Experimental Study for the Stripping of PTFE Coatings on Al-Mg Substrates Using Dry Abrasive Materials. *Materials (Basel)*, 13(3):799.
- Veloza, M. A., & Vera, M. Á. (2019). Characterization of the dissimilar union of steel 20MnCr5 and ductile iron 65-45-12. *MEMORIAS DEL XXV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, 65-45-12.
- Yuqing, L. (2006). *Japan Patent No. JP5319282B2*.