

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK
ALANINDA YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR
(2024)

Editör:

Doç. Dr. Cengiz KAHRAMAN

ARTİKEL AKADEMİ: 324

Sürdürülebilirlik Alanında Yenilikçi Çalışmalar (2024)

Editör:

Doç. Dr. Cengiz KAHRAMAN

İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa

<https://orcid.org/00000-0003-0272-649X>

ISBN 978-625-6627-63-5

Birinci Basım Aralık - 2024

Ofset Hazırlık: Artikel Akademi

Baskı ve Cilt: Uzunist Dijital Matbaa Anonim Şirketi

Akçaburgaz Mah.1584.Sk.No:21 / Esenyurt

Artikel Akademi bir Karadeniz Kitap Ltd. Şti. markasıdır.

©Karadeniz Kitap - 2024

Akademik etik kurallara

bağlı kalınarak yapılacak olan alıntılar ve tanıtım maksadıyla yapılacak olan kısa alıntılar dışında, yazılı izni alınmadan, tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla, basımı, yayımı, kopyalanması, çoğaltımı veya dağıtımı yapılamaz.

KARADENİZ KİTAP LTD. ŞTİ.

Koşuyolu Mah. Mehmet Akfan Sok. No:67/3 Kadıköy-İstanbul

Tel: 0 216 428 06 54 // 0530 076 94 90

Yayıncı Sertifika No: 19708

mail: info@artikelakademi.com

www.artikelakademi.com

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ALANINDA YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR (2024)

Editör:

Doç. Dr. Cengiz KAHRAMAN

YAZARLAR

Prof. Dr. Ayşen E. ÖZEL

Prof. Dr. Mukden UĞUR

Prof. Dr. Sefa ÇELİK

Prof. Dr. Sevim AKYÜZ

Doç. Dr. Abdurrahim AKGÜNDOĞDU

Doç. Dr. Alev ER

Doç. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU

Onur YILDIZ

Seren ÇELİK

İsim sıralaması alfabetik ve
akademik ünvanlar dikkate
alınarak düzenlenmiştir.

artikol
akademi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	7
1. BÖLÜM	
GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ	9
Onur YILDIZ & Doç. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU	
2. BÖLÜM	
MANTARLAR VE TİTREŞİM SPEKTROSKOPİSİ UYGULAMALARI ...	27
Alev ER & Sefa ÇELİK & Ayşen E. ÖZEL & Sevim AKYÜZ	
3. BÖLÜM	
ŞEKERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE SPEKTROSKOPİK UYGULAMALARI	37
Alev ER & Sefa ÇELİK & Ayşen E. ÖZEL & Sevim AKYÜZ	
4. BÖLÜM	
YULAF, YULAF SÜTÜ VE TİTREŞİM SPEKTROSKOPİSİ UYGULAMALARI	45
Alev ER & Sefa ÇELİK	
5. BÖLÜM	
ELEKTRİK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN KATKILI POLYESTER YALITKANLARIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİ	53
Seren ÇELİK & Cengiz Polat UZUNOĞLU & Mukden UĞUR	
6. BÖLÜM	
ATIK YÖNETİMİNDE DERİN ÖĞRENME: EVRİŞİMLİ SİNİR AĞLARI KULLANARAK OTOMATİK ATIK SINIFLANDIRMA	79
Abdurrahim AKGÜNDOĞDU	

ÖNSÖZ

Son yüzyılda meydana gelen teknolojik gelişmeler insan yaşamını kolaylaştırırken diğer diğer taraftan dünyanın doğal dengesine zarar vermekte ve doğal kaynaklar üzerindeki baskısını her geçen gün arttırmaktadır. Bu noktada basit tanımıyla gelecek nesillerin dünyanın doğal kaynaklarından faydalanma yeteneğini azaltmadan bugünkü ihtiyaçların karşılanması olarak tanımlanabilecek sürdürülebilirlik büyük bir önem kazanmakta, demografik ve teknolojik gelişmeler karşısında kıt olan doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi zorunu hale gelmektedir. Artan kaynak tehditlerine karşı sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı inşa etmek, toplumlar ve ülkeler için hayati önem taşımaktadır. Gelişmekte olan ülkeler öncelikle ekonomik kalkınmayı sağlamalı, büyümeye bağlı diğer ihtiyaçlar karşılanmadan önce vatandaşlarının refah seviyesini arttırmak için fizyolojik ve ekonomik ihtiyaçları giderilmelidir.

Öngörülemez ekonomik şoklara dayanıklı bir ekonomi için planlama yaparken daha geniş bir bakış açısı oluşturmak, doğal kaynakları korurken sürdürülebilir bir ekonomi için kaynak kıtlığını azaltmaya yönelik teknik ve beşeri, sonuçlar elde etmek için bilimsel çalışmaların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu çerçevede, sürdürülebilirliği tüm boyutlarıyla hayata geçirebilmek için disiplinler arasındaki engelleri kaldırmak, kaynakları yeniden tanımlamak ve kar ile kaynak korumasının dengelendiği değer zincirlerini yeniden tasarlamak son derece önem arz etmektedir.

Bu düşüncelerle uzun süredir yayınladığımız “Sürdürülebilirlik” temalı kitap serisinin yeni bir kitabını bir araya getirip yayınlamaktan mutluluk duyuyoruz. Kitap içeriğinde çeşitli disiplinlerin mühendislik tabanlı yenilikçi malzemeler ve uygulamalarına yer verilmiştir.

Kitabın basımında emeği geçen Artikel Akademi Uluslararası Yayınevi’ne ve değerli çalışmalarıyla katkı sunan bölüm yazarlarınıza içten teşekkür eder, saygılar sunarım.

Doç. Dr. Cengiz Kahraman

Editör

İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa

Avcılar, Kasım 2024.

1. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Onur YILDIZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,

Elektrik Elektronik Mühendisliği

onur_yldz@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-5134-8316/>

Doç. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

polat@iuc.edu.tr

GİRİŞ

Sanayi, tarım, ulaşım sektörü ve insanların yaşamsal faaliyetlerinin devamı için en önemli ihtiyaçlardan biri enerjidir. Dünya’da enerji ihtiyacının %80’inin fosil yakıtlardan sağlanmakta olup tespit edilmiş fosil yakıtların da 70 yıl sonra tükenmesi beklenmektedir [1]. Fosil yakıtlar azımsanmayacak boyutta çevre kirliliği yaratmaktadırlar ve yakın gelecekte tükenecek olması nedeni ile ülkeler temiz enerji arayışlarına hız vermişlerdir ve ağırlık olarak yenilebilir enerjiye yönelmişlerdir. Ayrıca son yıllarda bu enerji arayışı dünyada çok önemli bir noktaya gelmiştir. Elektrik enerjisi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de geniş bir kullanım ağına sahiptir. Elektrik enerjisi çok farklı kaynaklardan sağlanabilmektedir. Bunlardan ilki fosil yakıtlı elektrik üretim santralleridir.

En klasik elektrik üretim yöntemlerinden biridir. Petro, kömür, doğalgaz fosil yakıtların başlıcalarıdır. En temel problemlerden biri fosil yakıtların çevreyi önemli ölçüde kirletmesi ve giderek azalıyor olmasıdır. Her ne kadar filtre sistemleri geliştirilmiş olsa da fosil yakıtlı sistemlerde çevre kirliliğinin önüne tamamen geçmek mümkün olmamaktadır. Tüm çalışmalar, analizler ve araştırmalar bizleri yenilenebilir enerjiye yönlendirmektedir. Ayrıca, gelecek nesillere daha yaşanabilir ve daha temiz bir dünya bırakmak için yenilebilir enerji en önemli kaynaklardan biridir. Güneş enerjisi bakımından ülkemiz mükemmel bir coğrafyada yer almaktadır.

Temel enerji kaynağı güneştir. Etketif bir şekilde faydalandığı takdirde, ülkemizin tüm enerji ihtiyacını güneşten sağlanabilir. Dünyaya bir günde güneşten gelen enerji miktarı, dünyanın günlük enerji tüketimin yaklaşık 15.000 katıdır [2]. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında gerek maliyet açısından, gerekse gürültü ve çevre kirliliği açısından kolay erişilebilen ve en sorunsuz olanıdır. Ayrıca, diğer enerji kaynaklarına göre güneş enerjisi bizler için en çabuk ve en kolay ulaşılabilenidir. Panellerin temiz kalmasını ve belirli periyotlarda temizliklerinin yapılmasını sağlamak verimliliği ciddi anlamda etkileyecektir. Bu nedenle bakım maliyetleri de oldukça düşüktür.

Güneş Santrallerinin kurulum maliyetleri santralin kurulu gücüne göre büyük değişkenlik göstermektedir. Güneş enerji santralının kurulacağı ilin ve bölgenin güneşlenme süreleri santralden alınacak verimi doğrudan etkileyen faktörlerdendir. Ayrıca santralin tüketim noktasına mesafesi de oldukça büyük öneme sahiptir. Tüketim noktalarına uzak santrallerin, enerji nakil hatları ciddi bir maliyettir. Güneş santrallerinin kurulmadan önce santralin kurulacağı yerin tespiti ve kurulduktan sonra ilgili şebekeye bağlantı noktasında yapılacak detaylı analizler için önceden sanal modellemeler yapmak oldukça önemlidir [3]. Özellikle şebeke bağlantı noktasına olan mesafe, enerji kayıpları ve maliyet açısından ciddi bir öneme sahiptir. Direklerin imalatları, montajları, işçilik giderleri, enerji nakil hatları, bakır ve kablo giderleri, mesafeden kaynaklanacak enerji kayıpları maliyet analizini önemli ölçüde etkilemektedirler.

Bu tez çalışmasında Malatya ilinde kurulacak güneş enerji santrali için önce uygun alanın seçimi, güneş panellerinin belirlenmesi, Malatya'nın güneş ışınım değerlerinin incelenmesi, güneş enerji santralının amortisman süresi ve daha sonra santralin 9 yıllık üretim ve tüketim verileri incelenip, grafiklere dökülerek performansı analiz edilecektir.

1. GÜNEŞ PİLLERİ

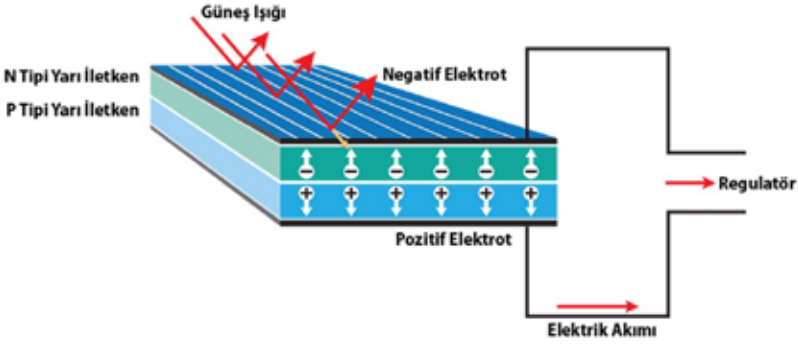
Güneş pilleri (fotovoltaik piller veya güneş hücreleri), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik bir araçlardır. Yarı iletken teknolojisi ile üretilirler. Bir güneş panelinin ortalama olarak alanı 2-2,5 metre kare civarındadır.

Fotovoltaik pillerin birbirine seri ve paralel bağlanmaları ile belirli çıkış güçlerine sahip güneş panelleri elde edilir. [4]. Fotovoltaik pillerin sayılarını arttırıp azaltarak, istenilen çıkış güçlerini elde ederiz. Güneş pilleri, yarı iletken malzemelerdir ve fotovoltaik prensibe göre çalışırlar, üzerlerine ışık düşünce fotovoltaik pillerin uçlarında elektrik gerilimi meydana gelir. Pilden elde edilen bu elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeylerine gelen güneş ışınlarıdır. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir [5]. Malzeme teknolojisi ile beraber, verimlilik alanında yapılan çalışmalarda da olumlu sonuçlar alınmaktadır.

2. GÜNEŞ PİLLERİNİN TEMEL YAPISI

Güneş pilleri, yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilirler. Güneş pili yapımında en çok kullanılan yarı iletkenler; galyum arsenit, silisyum, tellür, kadmiyum vb. şeklindedir. Üretilecek olan güneş panelinin çeşidine bağlı olarak, yarı iletken kullanım oranları farklılık göstermektedir.

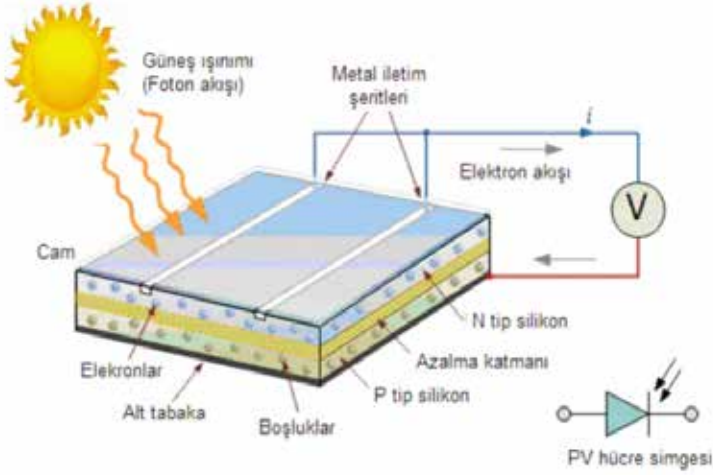
Yarı iletken maddeleri güneş pili olarak kullanabilmek için mutlaka katkılamak gerekir. Bu katkılar "p" veya "n" tipi olarak adlandırılır. Saf yarı iletken eriyiği içerisine belirli oranlarda katkı maddeleri eklenerek katkılama işlemi yapılır. Katı maddesi çeşidine bağlı olarak "p" veya "n" tipi yarı iletken elde edilir. Yarı iletkenler arasında, Silisyum, en yaygın şekilde kullanılan yarı iletken katkıdır. Şekil 1'de güneş pilinin p ve n maddeleri gösterilmiştir.



Şekil 1: Güneş pili p ve n maddeleri [6]

3. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÇALIŞMA MANTIĞI

Güneş pilleri, üzerlerine düşen güneş ışınlarını yarı iletken teknolojisi sayesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Diyot mantığı ile çalışırlar. Diyotlar, yarı iletkenlerdir ve bu nedenle ışık altında dahi az da olsa elektrik üretebilirler. Yani güneş pillerinden elektrik üretebilmek için gün ışığı bile yeterli olabilmektedir. Beklendiği gibi güneşli havalara göre verimleri daha düşük olacaktır. Fotonlar hücreler tarafından soğurulur ve bu enerji n-tipi silikondaki zayıf elektronların pozitif yüklü p-tipi silikonuna serbestçe akmasına izin verir. Bunun sonucunda hücreler akım ve gerilim üretmiş olur. Hücrelerde bulunan arka kontak vasıtası ile elektrik enerjisi alınır ve diğer hücrelerle seri bağlantı yapılarak güneş paneli oluşturulur. Şekil 2’de güneş pillerinin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 2: Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi [7]

4. GÜNEŞ PİLLERİNİN VERİMLERİNİN ARTTIRILMASI

Güneş her gün doğar ve her gün batar. Sonuçta güneş enerjisi, sınırsız bir kaynaktır [6]. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük potansiyele sahip olanıdır. Güneş pillerinin performansı, elektrik üretimindeki başarının temel unsurudur. Güneş enerjisinden ve güneş pillerinden maksimum verim elde etmenin çeşitli yöntemleri vardır. Bunlardan en önemli ve uygulanabilir olanları ise tek veya çift eksenli güneş izleyici sistemler ve maksimum güç noktası izleyicilerdir. Bu sistem güneş ışınlarının geliş açısını takip ederler ve %40 seviyelerine kadar verim artışı sağlarlar. Fakat kurulumu pahalı bir sistem olduğundan, maliyet verim analizi iyi yapılmalıdır. Panellerin düzenli temizlenmesi, montaj esnasında aralarında yeterli boşlukların bırakılması ve yarı iletken malzemelerin değiştirilmesi ve geliştirilmesi ise verimi arttıran diğer yöntemlerdir.

4.1. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş, füzyon enerjisinin en önemli kaynağıdır ve dünyaya zarar vermeyecek bir mesafede bulunmaktadır [7]. Güneş enerjisi, çevreyi kirletmeyen, insan sağlığına zarar vermeyen, temiz bir enerji olduğundan diğer tüm enerji türlerine göre daha üstüne ve daha yaygındır. Türkiye coğrafi konumu sebebiyle,

diğer ülkelere göre çok daha iyi bir güneş enerji potansiyeline sahiptir. Yıllık güneşlenme süresi yaklaşık 2741,07 saat olup, yıllık ortalama ışıınım değeri ise 1527,46 kWh/m² olarak bulunmuştur [8]. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkemizin en çok güneş alan ve ışıınının en yüksek olduğu bölgesidir [9]. Akabinde sırayla Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi ve Marmara Bölgesi gelir. En az güneş alan bölge ise Karadeniz bölgesidir (MGM, 2022). Karadeniz bölgesi yıl içerisinde yoğun yağış almaktadır.

Türkiye’de güneş ışıınımlarının en çok olduğu aylar yaz aylarıdır. Radyasyonun en az olduğu aylar ise Aralık ve Ocak aylarıdır. Kar yağışlı, yağmurlu ve bulutlu günlerin sayıları kış aylarında çok daha fazla olduğundan dolayı, bu aylarda ışıınım değerleri ciddi miktarlarda düşmektedir.

Türkiye 36-42° enlemleri arasındadır [10]. Bu nedenle ülkemiz yıl içerisinde sürekli güneş almaktadır. Türkiye’nin güneşlenme süreleri ve ışıınım değerlerinin yüksek olması sebebiyle, güneş enerjisinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Malzeme teknolojisindeki gelişmeler de bu talebi tetiklemektedirler. Ülkemizde toplam güneş enerjisi kurulu gücü de her yıl düzenli olarak artmaktadır. Ayrıca ülkemizde, konutlarda su ısıtma için çatı güneş kolektörleri yoğun bir ilgi görmektedir. Bu tip uygulamalar özellikle Akdeniz ve Ege Bölgeleri’nde çok yoğun olarak kullanılmaktadır.

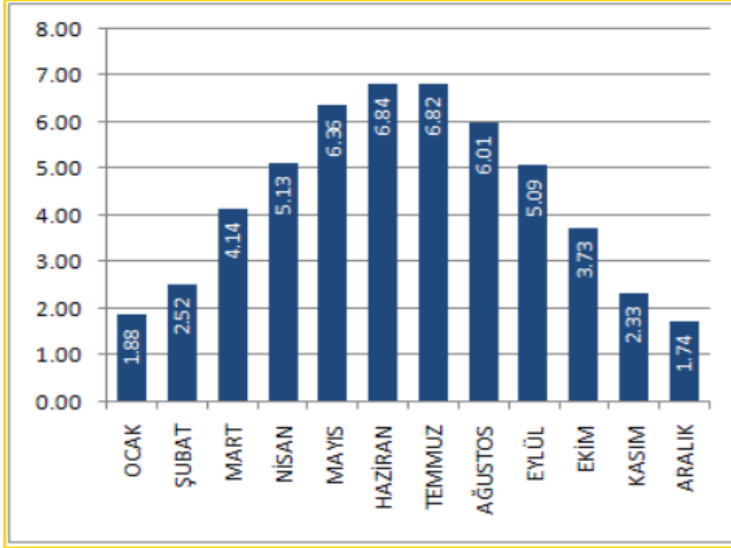
4.2. Malatya İli’nin Güneş Enerji Potansiyeli

Normal şartlar altında, bir ilde kurulması planlanan güneş enerji santralinin en önemli ve ilk aşaması yer tespitinin doğru yapılmasıdır. Bu tespit için ilgili bölgenin güneş ışıınım verileri ölçülüp, analiz edilmelidir. Kurulmuş olan ölçüm istasyonlarından alınan ışıınım değerleri ile o bölgenin güneş enerji potansiyeli belirlenmiş olur.

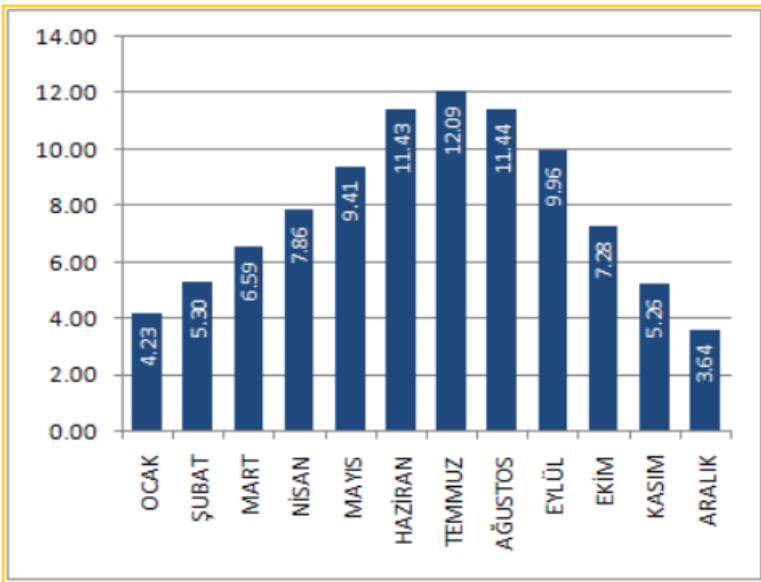
Tabi ki yıllık ışıınım değerlerinin yanında saatlik güneşlenme süreleri de dikkate alınıp, analizlere dahil edilmelidir. Malatya ili için Şekil 10 ve Şekil 11’de grafiklerde saatlik güneşlenme sürelerini görmekteyiz. İlgili grafikler analiz edildiğinde Haziran ve Temmuz aylarında güneş ışıına süresi maksimum değerinde, Aralık ve Ocak aylarında bu değerlerin minimum olduğu görünmektedir. Bu da zaten beklenen bir parametredir. Ek olarak, ortalama güneşlenme süresi günde 7.9 saat olarak okunmaktadır. Aylık bazda ise bu değerler Aralık ayı için 3,64 saat iken Temmuz ayı için 12,09 saat olarak görülmektedir. Aralık ve Ocak

aylarında bulutlardan dolayı oluşan gölgelenmeden ötürü ve yağışlardan dolayı güneşlenme süreleri düşmektedir. Temmuz ayında ise mevsim şartlarından dolayı en yüksek güneşlenme meydana gelmektedir.

MALATYA Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)



Şekil 10: Malatya İli Aylara Global Radyasyon Değerleri



Şekil 11: Malatya Güneşlenme Süreleri

5. YÖNTEM

Malatya Güneş Enerji Santrali'nde kullanılan güneş panelleri, eviriciler, toplama panoları, ana toplama panoları, ve scada sistemine ait tüm veriler, teknik özellikler alt başlıklar altında detaylı verilmiştir.

Güneş Panelleri

Malatya Güneş Enerjisi Santrali Projesi'nde toplamda 21177 adet, 250 Wp'lik Jinko marka çok kristalli panel kullanılmıştır. Bu panellerin 12 yıl ürün garantileri, 30 yıl güç garantileri vardır [11]. Yapılan hesaplamalar neticesinde de projede toplamda 181 adet evirici (inverter) kullanılmıştır. Kullanılan 250 Wp'lik çok kristalli panellerin modül tipi detayları ve modül elektriksel özellikleri, Tablo 1 ve 2'de detaylı belirtilmiştir

Tablo 1: Modül Tipi Detayları

Modül Tipi	JINKO JKM250P çok kristalli yapı
Toplam modül sayısı	21177 adet
Toplam dizi sayısı	1086 adet
Dizi başına modül sayısı	19-20 adet
Toplam evirici sayısı	181 adet
Evirici başına dizi sayısı	6 adet
Evirici başına modül sayısı	117 adet

Tablo 2: Panel Modül Elektriksel Değerleri

Modül elektriksel değerleri	JINKO JKM250P çok kristalli yapı
Panel maksimum gücü	250 Wp
Güç toleransı	%0 / +%3
Maksimum çıkış gerilimi	30,5 V
Maksimum çıkış akımı	8,20 A
Açık devre gerilimi	37,7 V
Kısa devre akımı	8,85 A

Eviriciler (Inverter)

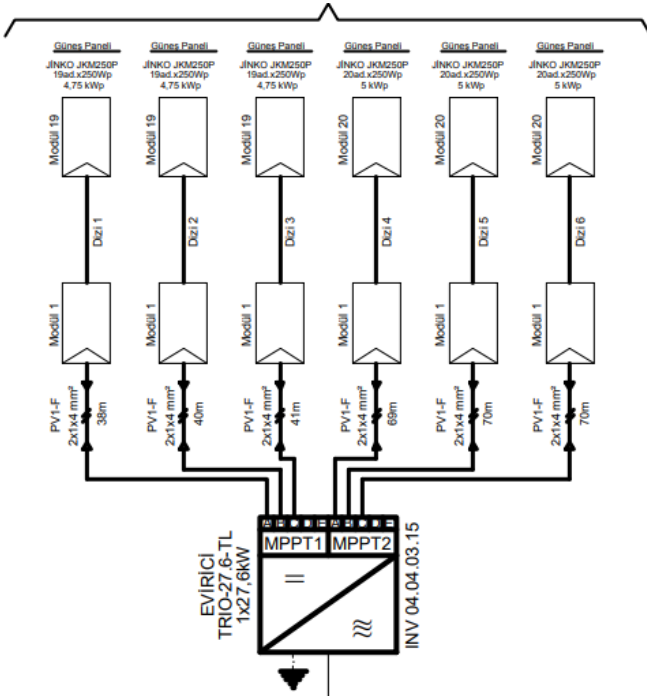
Eviriciler, doğru akımı alternatif akıma çeviren elektrikselsel cihazlardır. Evirici sistemlerinde özellikle saha kurulumlarında merkezi inverter ya da bölünmüş inverter modelleri kullanılmaktadır [12]. Merkezi inverter mantığında tüm inverterler tek bir inverterde toplanırlar. Bu tip uygulamalarda, diğer uygulamalara göre DC kabloların boyları daha fazla uzamaktadır. Ayrıca merkezi inverterin arızaları esnasında diğer inverterler de etkilenmektedir. Hatta santralde oluşabilecek herhangi bir bölgesel arıza durumunda bile merkezi inverter sistemi bağlantı yapısı gereği tüm enerji üretiminin durmasına sebebiyet vermektedir [13]. Malatya Güneş enerji Santrali'nde dizi inverter sistemi kullanılmıştır. Projede 181 adet ABB marka, Trio-27.6 TL modeli evirici kullanılmıştır. Bu model, 27.6 kW çıkışlı 3 fazlı bir modeldir. İki giriş kanallı ve giriş terminaleri vidalı terminal blokludur [14]. Bu sayede kolay montaj ve yüksek dayanım sağlamaktadır. Evirici detayı Şekil 13'de, evirici teknik özellikleri ise Tablo 3'de gösterilmiştir. Malzeme teknolojisi geliştikçe beraber inverter verimleri de paralel olarak artmaktadır. Günümüz teknolojisinden %98 verimle çalışan inverterler mevcuttur [15].

Tablo 3: Evirici Teknik Özellikleri

Evirici Tipi	TRIO-27.6-TL
Giriş Tarafı	
Maksimum DC Giriş Gerilimi	1000 V
Başlama DC Giriş Gerilimi	360 V
Nominal DC Giriş Gücü	28600 W
Bağımsız MPPT Sayısı	2
Her MPPT için Maksimum DC Giriş Gücü	16000
Maksimum DC Giriş Akımı (Idc max.)	64 A
Her MPPT için Maksimum Giriş Kısa Devre Akımı	
Giriş Koruması	
Ters Polarite Koruması	Evet, sınırlı akım kaynağından
Her MPPT için Aşırı Gerilim Koruma Girişi	2
Fotovoltaik Dizi İzolasyon Kontrolü	Yerel standarda göre
Sigorta Değerlendirme	12A / 1000 V

Çıkış Tarafı	
AC Şebeke Bağlantısı Türü	3 Faz 3W ya da 4W+PE
Anma Çıkış Gücü (AC)	27600 W
Max. AC Çıkış Gücü	30000 W
Nomimal AC Şebeke Gerilimi	400 V
Max. Çıkış Akımı	45 A
Anma Çıkış Frekansı	50 Hz
AC Bağlantı Türü	Vidalı terminal bloğu
Çıkış Koruması	
Maksimum AC Aşırı Akım Koruma	46.0 A
Adalanma Koruması	Yerel standarda göre
Çıkış Gerilim Koruması	4

Santralde her bir invertere, toplamda 6 dizi bağlanmaktadır. 6'lı dizi grubuna da toplamda 117 adet panel 250 Wp'lik panel bağlanmaktadır. Bağlantı detayları şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14: Evirici bağlantı detayları

Toplama Panoları (ACP)

Santralde, toplamda 12 adet toplama paneli kullanılmıştır. Her bir toplama paneline toplamda, 15 adet evirici bağlanmaktadır. Her bir eviriciden 5x25'lik 2XR kablo ile ACP paneline bağlantı yapılmaktadır. Her bir ACP panelinin çıkışı da 2x(4x240 2XRY) kablo ile ilgili Ana Toplama Panosu'na bağlanmaktadır. Her bir ACP'ye (Toplama Paneli) ait evirici, dizi, modül sayıları ve kurulu güç değerleri Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4: ACP Detayları

TABLO KODU	ACP 04.04.03
Bağlı evirici sayısı	15 adet
Bağlı dizi sayısı	90 adet
Bağlı modül sayısı	1755 adet
DC Kurulu gücü (kWp)	$1755 \times 0,25 = 438,75$ kWp
AC Kurulu gücü (kWe)	$15 \times 27,6 = 414$ kWe

Ana Toplama Panoları (ATT)

Santralde toplamda 4 adet Ana Toplama (ATT) Panosu bulunmaktadır. Her bir ATT panosuna 3 adet ACP bağlanmaktadır. Dolayısıyla, her bir ATT panosuna toplamda 45 adet inverter ve 270 adet dizi bağlıdır. ATT'nin tüm detayları Tablo 5'te belirtilmiştir.

Tablo 5: ATT Detayları

TABLO KODU	ANA TOPLAMA TABLOSU-1 (ATT-1)
Bağlı evirici sayısı	45 adet
Bağlı dizi sayısı	270 adet
Bağlı modül sayısı	5265 adet
DC Kurulu gücü (kWp)	$5265 \times 0,25 = 1316,25$ kWp
AC Kurulu gücü (kWe)	$45 \times 27,6 = 1242$ kWe

Scada Sistemi

Santralde kurulmuş olan Scada Sistemi ile, üretilen elektrik enerjisi, enerji kalitesi ve santralin iç ihtiyaç enerji tüketimleri düzenli olarak takip edilmektedir. Scada sistemi sayesinde inverter bazlı enerji üretim takibi de yapabilmekteyiz. Ana scada merkezi, santralin idari binasında yer almaktadır. Sistemler arasındaki ana haberleşme fiber optik kablolar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Santralde 2 adet fiber optik ring çekilidir. Ringin bir tanesi, ana dağıtım panolar arasında, diğer ring ise inverterler arasında dönmektedir. İnverterler arasında dönen ring için 120 dönümlük sahada 9 adet termination box diye adlandırdığımız sonlandırma kutuları bulunmaktadır. Sonlandırma kutuları ile kameralardan ve inverterlerden veri toplanıyor. Şekil 17’de Termination box görünümü verilmiştir.



Şekil 17: Malatya GES Termination Box

Sonlandırma kutusunun santral montajlarına ait saha görselleri, Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18: Malatya GES Sonlandırma Kutusu Saha Görselleri

Ayrıca PLC ve Data Logger'ların vasıtası ile Scada Sistemi üzerinden, günlük, haftalık, aylık ve yıllık üretim değerlerini okuyabilmekteyiz. Santralde, Her ana dağıtım panosu içerisinde 1 adet olmak üzere toplam 4 tane datalogger kullanılmıştır. İlgili haberleşmeler RS485 ile sağlanmaktadır. ABB'nin PVI-AEC-EVO modeli kullanılmıştır. Şekil 19'da data logger görünümü gösterilmiştir.



Şekil 19: Datalogger Görünümü [28]

6. BULGULAR

Santralde elektrik üretim verileri haftalık olarak kayıt altına alınmaktadır. Daha sonra, kaydedilen üretim verilerini 4 haftalık olarak toplanıp, ilgili yılın ilgili ayı için kWh olarak kaydedilmektedir. Tablo 7’de Malatya Güneş Enerji Santrali’nin son 9 yıllık üretim değerleri verilmiştir.

MALATYA GES ELEKTRİK ÜRETİMİ (KWH)									
AYLAR	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
OCAK	175.230	186.300	248.400	331.200	372.600	351.072	418.554	326.620	47.400
ŞUBAT	412.625	476.100	579.600	414.000	414.000	442.980	662.400	483.471	447.593
MART	579.600	621.000	693.450	589.950	610.650	662.400	641.700	788.083	598.295
NISAN	534.257	828.000	755.550	765.900	496.800	848.700	822.825	879.388	750.460
MAYIS	786.600	765.900	952.200	828.000	910.800	755.550	791.775	873.714	881.277
HAZİRAN	786.600	869.400	952.200	838.350	869.400	900.450	993.600	987.390	973.319
TEMMUZ	857.625	972.900	952.200	962.550	993.600	993.600	1.014.300	1.066.097	1.044.122
AĞUSTOS	879.750	910.800	828.000	900.450	910.800	931.500	900.450	951.301	944.491
EYLÜL	786.600	796.950	786.600	765.900	817.650	817.650	776.250	847.109	841.132
EKİM	589.950	652.050	703.800	734.850	610.650	537.150	683.100	741.356	588.841
KASIM	414.000	372.600	393.300	445.050	517.500	455.400	455.400	589.000	534.381
ARALIK	215.295	310.500	372.600	289.800	289.800	227.700	303.048	347.346	548.834

2023 yılı Ocak ayı içerisinde, panel temizleme aracı arızalandığından dolayı, diğer yılların Ocak ayına elektrik üretiminde ciddi bir düşüş yaşanmıştır. Buradan da bakımın ve temizliğin önemini reel olarak görebilmekteyiz.

Grafikleri incelediğimizde, 9 yıl boyunca, her yıl Kasım, Aralık ve Ocak ayları üretimin en düşük olduğu aylardır. Bu aylar, Malatya şartlarında ışınımın en az olduğu dönemlerdir. Son bahar ve kış dönemlerinde, güneş ışınlarının açısındaki değişimler ve bulutlu gün sayılarındaki artış nedeniyle ilk bahar ve yaz aylarına oranla, elektrik üretimleri düşer. Zaten bu teoride de bu şekildedir. Malatya GES elektrik üretim verileri de, bunun fiziki bir kanıtı olmuştur. Bulutlu günlere ilave olarak, yağmur, kışın yağın kar yağışları gibi değişkenler nedeniyle panellerin UV ışınları çekmesi oldukça zorlaşır. Tüm bu sebeplerden ötürü, bu aylarda yaz aylarına oranla elektrik üretimi yarı yarıya düşmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

İlgili çalışmada, Malatya Güneş Enerji Santrali'nin 9 yıllık üretim verileri aylık olarak kaydedilip, grafiklere dökülerek, İnönü Üniversitesi Turgut Özal Tıp Merkezi'nin toplam elektrik tüketiminin ne kadarının santralden karşılandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca oluşturulan grafiklerden, santralde yıllar içinde meydana gelen verim kayıplarını da görebilmekteyiz.

İlgili çalışma gösteriyor ki, kış aylarında eğer panel bakımları düzenli yapılmazsa verimlilik yaz aylarına oranla %60-70 kadar düşer. Santralin yaşam alanlarına yakın olması ve ulaşılabilir olması oldukça önemlidir. Ayrıca kurulacak güneş enerji santrallerinin, enejinin tüketileceği noktalara yakın olması enerji nakil hattı giderlerinin ve kayıplarının önüne geçecektir. Tabiki bu tek başına bir seçim kriteri değildir, seçilen bölgenin güneş ışınım değerleri ile beraber analiz edilip, en uygun alanın belirlenmesi gerekir. Malatya Güneş enerji Santrali'nin yeri hem ışınım değerleri hem de Trafo merkezi'nin konumu göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

İlgili üretim verileri analizini özetlersek, 9 yıl boyunca toplamda 63.847.879 kWh elektrik üretilmiştir. Yaklaşık bir maliyet analizine istinaden, Malatya Güneş Enerji Santrali kendisini 5 yıl kadar kısa bir sürede amorti etmiştir. Bu hesaplama yapılırken, ekipmanların yatırım içerisindeki maliyet oranları, Güneş Panelleri (%50), İnverterler (%10), Elektrik malzemeleri (%10), İnşaat giderleri (%10), İşçilik giderleri (%20) şeklinde alınmıştır. Ayrıca işletme maliyetleri (bakım onarım-personel ve öngörülemeyen giderler) de yıllık üretimin %15'i şeklinde hesaplamalara dahil edilir. Sayısal verilerle ifade edecek olursak, 5 yılın sonunda yani santralin elektrik üretmeye başladığı 2015 yılı başından, 2019 yılı Aralık ayının sonuna kadar, grafiklerden açıkça görüldüğü üzere, toplamda, 33.082.679 kWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Bu üretimin fatura karşılığı 17.197.512 TL'ye denk gelmektedir. Santralin üniversiteye maliyenin üzerine işletme giderlerini de eklediğimiz zaman tam 5 yıllık elektrik üretim tutarına denk gelmektedir. "Haydaroğlu (2017) Dicle Güneş Enerji Santralinin Performans Analizi Yüksek Lisans tez çalışmasında, santralin amortisman süresini 5.86 yıl olarak hesaplamıştır. Malatya Güneş Eneji Santralinin kendisini, Dicle Güneş Enerji Santrali'ne göre yaklaşık 1 yıl daha erken amorti etmesinin temel sebeplerinden biri de yıllık ışınım değerleridir. Malatya yıllık 1700kWh/m²-yıl ışınım değerine sahipken, bu değer Diyarbakır için, 1473 kWh/m²-yıl'dır. Diğer

sebepler ise dize kayıpları ve inverter kayıpları olarak açıklanabilir. Malatya Güneş Enerji Santrali'nde ABB'nin İtalya menşeli modeli kullanıldığından inverter kayıpları oldukça düşüktür. Amortisman süresine etki eden önemli etmenlerden biri de kış boyunca meydana gelen yağışlardır. Dicle Güneş Enerji Santrali'nin performans analizinde Ocak ayı içerisinde bazı günlerde elektrik üretilmediğinden ve sebebini ise panellerin üzerlerinin karla kaplı olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir. Malatya Güneş Enerji Santrali'nde gerek Mazaka panel temizleme aracı, gerekse personel gücü ile yağış meydana geldikten sonra en kısa zamanda panel yüzeyleri tekrardan temizlenip, yeniden ışınımına maruz bırakılmaktadırlar. Buradan temizlik ve bakımların zamanında yapılmasının santralin performansına önemli ölçüde katkı sağladığını görmekteyiz.

Santralin ilk 5 yıllık üretim-tüketim dengesini irdelediğimizde, 5 yıl boyunca Turgut Özal Tıp Merkezi'nde tüketilen enerjini ortalama %21'i Malatya Güneş Enerji Santrali tarafından karşılanmıştır. Tüketim miktarlarına bakıldığında, Malatya İnönü Üniversitesi ve ülke ekonomisine katkısı açısından azımsanmayacak kadar ciddi bir kazançtır. Son 4 yıla baktığımızda ise, ilk yıllara oranlara verim kayıplarının başlamış olduğunu görüyoruz. Fakat bu zaten beklenen bir parametreydi. 2023 yılındaki toplam tüketim ve üretim oranını incelediğimizde santralin ilk yıllarına göre yaklaşık %5'lik bir üretim kaybı olduğu gözükmektedir. Bu da zaten beklenen bir kayıptır.

Malatya Güneş enerji Santrali kurulduğu yılda 250 Wp'lik çok kristalli paneller seçilerek kullanılmıştır. Eğer monokristal panel kullanılmış olsaydı santral verimliliği %10 daha fazla olurdu. Fakat santralin kurulumunun yapıldığı 2015 döneminde malzeme ve üretim teknolojisi bu kadar gelişmemiş olduğu için o dönemde panel fiyatları arasındaki ciddi farktan dolayı çok kristalli panel seçimi yapıldı. Ayrıca Malatya İnönü Üniversitesi Turgut Özal Tıp Merkezi içerisinde Trafo Merkezi'de daha yakın bir alanda uygun bir yer sağlanabilmiş olsaydı, 2,224 km'lik enerji nakil hattı kurulumuna gerek kalmayacaktı, bu maliyet enerji kayıpları sistem kurulum maliyetini yaklaşık %15 oranında düşürmüş olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1]. Doğan H. & Yılankırkan N., 2020, *Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji Arz Projeksiyonu*, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 77-92.
- [2]. Haydaroğlu C., 2017, *Dicle Güneş Enerji Santralının Performans Analizi*, Yüksek Lisans, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3]. Akdağ O. & Yeroğlu C., 2019, *Simulation of a Model For A Sun Plant For the Malat Region and Investigation of Network Effects*, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(3), 552 – 560.
- [4]. Nazıksoy, A.S., 2022, *Bilecik İli Akpınar ve Düzdağ Güneş Enerji Santrallerinin Performanslarının PV Syst Programı Yardımı ile Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [5]. <https://www.tesisat.org/gunes-pilleri-calisma-prensibi.html>, [Ziyaret tarihi: 19 Ekim 2023].
- [6]. <https://enerjikaynagim.com/gunes-enerjisinin-avantajlari-ve-dezavantajlari-nelerdir/>, [Ziyaret tarihi: 19 Mart 2024].
- [7]. Varlı H. & Tombul M. & Tuna M., 2022, *Bölgesel Güneş Enerji Potansiyeli ve Enerji Santrali Yatırımı Değerlemesi: Sincan Örneği*, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi, 34(2), 657-666.
- [8]. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, [Ziyaret tarihi: 18 Kasım 2023].
- [9]. Bihan A.K & Emikönel S., 2021, *Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri*, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı 24, S. 289-294.
- [10]. Gönültaş, E., 2017, *Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Performans Analizi*, Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11]. <https://www.jinkosco.com/jinko-solar-panel/>, [Ziyaret tarihi: 20 Nisan 2024].
- [12]. Bayrakçı H.C. & Gezer T., 2019, *Bir Güneş Enerjisi Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği*, Teknik Bilimleri Dergisi Cilt 9, Sayı 2, 46-54.
- [13]. Atalay Ayrın, Z., 2019, *Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması ve Örnek bir Güneş Enerji Santralının Ekonomik Analizi*, Yüksek Lisans, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [14]. <https://new.abb.com/power-converters-inverters/wind-turbines/small-wind/legacy-25>

small wind-inverters-old/trio-20-0-tl-w-trio-27-6-tl-w, [Ziyaret tarihi: 20 Nisan 2024].

- [15]. Çetin Ö. & Işık A.H., 2022, *Monthly Electricity Production Forecast in Solar Power Plants with Deep Learning*, The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University, 13(Supplementary Issue 1), 382-387.

2. BÖLÜM

MANTARLAR VE TİTREŞİM SPEKTROSKOPİSİ UYGULAMALARI

Doç. Dr. Alev ER

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

alever@istanbul.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-3190-5342>

Prof. Dr. Sefa ÇELİK

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

<https://orcid.org/0000-0001-6216-1297>

Prof. Dr. Ayşen E. ÖZEL

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

<https://orcid.org/0000-0002-8680-8830>

Prof. Dr. Sevim AKYÜZ

İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

<https://orcid.org/0000-0003-3313-6927>

GİRİŞ

Mantarlar, gastronomik kültürlerin önemli bir bileşeni olup, besinsel özellikleri ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri ile dikkat çekmektedir. Besinsel açıdan, mantarlar yüksek protein içeriği, diyet lifi, vitaminler ve düşük enerji, kolesterol, lipid ve sodyum içeriği ile öne çıkar. Ayrıca mantarlar, polisakkaritler, proteinler, antioksidanlar, terpenoidler ve steroller gibi çeşitli biyoaktif bileşiklerin zengin

kaynaklarıdır. Bu biyoaktif bileşikler, kanser, diabetes mellitus, kardiyovasküler hastalıklar ve nörodejeneratif bozukluklar gibi çeşitli patolojilerin tedavisinde potansiyel terapötik ajanlar olarak kullanılmaktadır. (Kour vd. 2022). Tıbbi olarak kullanılan mantarların kimyasal profili, tür, yetiştirme koşulları, olgunluk aşaması gibi çeşitli parametrelere göre değişkenlik göstermektedir. Bu parametrelerdeki varyasyonlar, özellikle çevresel ve biyolojik faktörlere bağlıdır. Tıbbi mantarların meyve gövdeleri, yüksek su içerikleri nedeniyle düşük kalorilidir. Mantarlar, karbonhidratlar, diyet lifi, protein, mineraller, yağlar ve vitaminler gibi besin maddelerinin önemli bir kaynağını teşkil etmektedir (Lysakowska vd. 2023; Kakon vd. 2012).

1. MANTARLARIN BİLEŞİMLERİ

Mantarlar önemli miktarda protein, karbonhidrat, lif, vitamin, mineral ve bazı esansiyel amino asitleri (lösin, lizin ve triptofan) içerirler.

Hayvansal ve bitkisel proteinler 20 amino asitten oluşmaktadır. Bu amino asitlerin oranı proteinin karakteristiğine bağlıdır. Amino asitler kreatin, peptid hormonları ve bazı nörotransmitterler gibi azot içeren bileşiklerin sentezinde önemli rol oynar (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234922/>). Mantar türlerindeki proteinler, aminoasit bileşimi açısından hayvansal kaynaklı proteinlerle benzerlik göstermektedir. Ayrıca, doğal ortamlarda yetişen mantar türleri, kültür mantarlarına kıyasla daha yüksek protein içeriğine ve daha düşük yağ miktarına sahiptir (Öztürk vd. 2022).

Karbonhidratlar, karbon, hidrojen ve oksijen içeren nispeten kararlı organik moleküllerdir (Lunn vd. 2007). Karbonhidratlar, doğada yaygın olarak bulunan hayvan, bitki ve mikroorganizma türlerinden elde edilen, oldukça çeşitli bir yapısal çeşitlilik gösteren büyük bir biyomolekül sınıfını temsil eder. Bu moleküller, enerji kaynağı sağlama, hücrel sinyal iletimi ve bağışıklık tepkilerinin düzenlenmesi, kan şekeri ve insülin metabolizmasının kontrolü, kolesterol ve trigliserit metabolizmasında rol oynama ve fermantasyon süreçlerine katkı sağlama gibi hayati biyolojik süreçlerde merkezi bir rol oynarlar. (Gush vd. 2021; Wang vd. 2022). Karbonhidratların biyoaktiviteleri, esas olarak monosakkarit bileşimi, α - ve β -glikozidik bağların bağlantı modları ve N- ve O-glikozidik bağ türleri gibi kendi yapısal özellikleriyle ilişkilidir (Wang vd., 2022). Karbonhidratlar, tek başlarına bulunabildikleri gibi, nükleik asitlerde pürinler ve pirimidinlerle,

glikoproteinlerde polipeptitlerle ve glikolipidlerde lipitlerle birleşmiş halde de bulunurlar (Jeffrey vd. 1991). Sindirim sistemi karbonhidratları glikoza parçalar ve bu glikoz enerji için kullanılır. Kan dolaşımındaki fazla glikoz, daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulana kadar karaciğerde ve kas dokusunda depolanır (Holesh vd. 2023). Kimyasal yapılarına göre karbonhidratlar şekerler, oligosakkaritler ve polisakkaritler olmak üzere 3 sınıfa ayrılır (Gush vd. 2021).

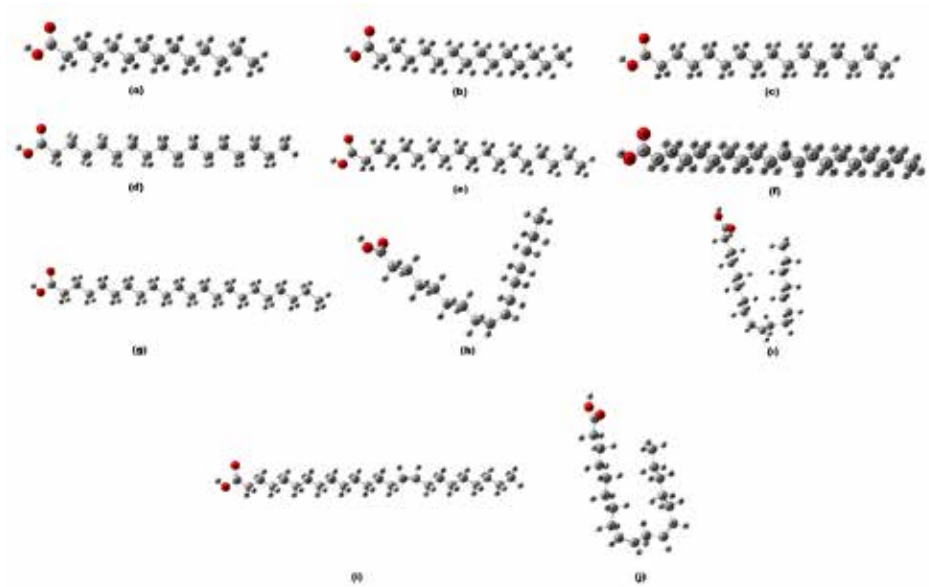
Diyet lifi 1953 yılında Hipsley tarafından bitki hücre duvarını oluşturan bitki bileşenleri olarak tanımlanmıştır. 1976 yılında da bitki hücre duvarı ile ilişkili onun bir parçası olmayan diğer sindirilemeyen polisakkaritlerin de katkı sağladığı bulunmuştur (Buttriss vd. 2008; Trowell vd. 1976). Diyet lif suda çözünen ve suda çözünmeyen olmak üzere ikiye ayrılır. Suda çözünmeyen lifler, lignin, selüloz ve suda çözünmeyen pentozanları içerirken, suda çözünen lifler ise suda çözünen pentozanlar, pektinler ve zamksı maddeleri içermektedir. (Dülger vd. 2011). Diyet lifi beslenmede ve hastalık tedavisinde önemli bir faktördür. Özellikle kolon kanseri üzerinde önleyici etkiye sahiptir. Diyet lifi ayrıca obezitede, kalp-damar ve bağırsak hastalıklarında ve diyabette koruyucu etkiye sahiptir (Yağlı, 2013).

Mantarlar, sağlık açısından önemli mineralleri de yüksek miktarda içermektedir. Özellikle mantarlarda yüksek oranda bulunan mineraller arasında K, P, Na, Ca, Mg yer alırken, Cu, Zn, Fe, Mo ve Cd gibi elementler ise daha düşük miktarlarda bulunmaktadır. Ayrıca mantarlar, Cd, Pb, Ar, Cu, Ni, Ag, Cr ve Hg gibi ağır metalleri biriktirme kapasitesine sahiptir. Mantarların mineral içeriği, tür, yaş ve gövde çapı gibi parametrelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Waktola vd. 2018).

Bazı mantar türleri yüksek düzeyde doymamış yağ asidi depolamaktadır. Bu yağ asitlerinden başlıcaları linoleik asit ve oleik asittir. Ayrıca toplam yağ asidi miktarının %27.4' ü çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır. Doğal ve kültür *Pleurotus ostreatus* ve *Agaricus bisporus* mantarlarının doymuş (myristik asit, pentadekanoik asit, palmitik asit, margarik asit, stearik asit, eikosenoik asit, behenik asit), tekli doymamış (palmitoleik asit, oleik asit, eikosenoik asit, nervonik asit) ve çoklu doymamış yağ asidi (linoleik asit) profiline sahiptir (Şekil 1) (Bengü vd. 2019).

Yenilebilir mantarlar B1, B2, C, E ve D2 vitaminlerini içermektedir. Tiamin, riboflavin, piridoksin, pantotenik asit, nikotinik asit, nikotinamid, folik asit ve kobalamin gibi B vitaminleri en sık gözlemlenenlerdir (Assemie vd. 2022).

Yapılan çalışmalar, UV ışığına maruz kalan mantarların günlük D vitamini gereksiniminden çok daha yüksek miktarlarda D₂ vitamini ürettiğini göstermiştir (Rathore vd. 2017).



Şekil 1. Myristik asit (a), pentadekanoik asit (b), palmitik asit (c), margarik asit (d), stearik asit (e), eikosenoik asit (f), behenic asit (g), palmitoleik asit (h), oleik asit (i), nervonik asit (i), linoleik asit (j) moleküler yapıları

2. MANTARLAR ÜZERİNDE TİTREŞİMSSEL SPEKTROSKOPİK ÇALIŞMALAR

Titreşim spektroskopisi teknikleri, gıdaların analizinde en çok kullanılan tekniklerden biridir. Bu teknik gıda bileşeni ve üründeki yaklaşık kimyasal bileşimi (protein, yağ, lif vb.) ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Cozzolino, 2022). FTIR spektroskopisi süt, et, yağlar, tereyağı, tatlandırılmış süt ve meyve sularının kalite kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır (Van de Voort, 1992). Mantarların kalitesinin, orijinalliğinin ve coğrafi kökeninin değerlendirilmesinde titreşim spektroskopisi etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Meenu vd. 2019). Raman spektroskopisi, tahribatsız, kullanıcı dostu, hassas ve hızlı bir şekilde gıda güvenliği değerlendirmesi sağlayan bir tekniktir. Raman spektroskopisindeki gelişmeler, gıda kontaminantlarının tespitini iyileştirerek

gıda güvenliği uygulamalarının etkinliğini önemli ölçüde artırmaktadır. (Petersen vd. 2021).

Yabani Boletes türü mantarların FTIR spektrumlarında başlıca piklerin proteinler ve polisakkaritler olduğu bulunmuştur (Liu vd. 2006). Karakteristik bantlar mantar polisakkaritlerinde α -glukanların (1155, 1025, 930, 850 cm^{-1}) ve β -glukanların (1160, 1078, 1041, 890 cm^{-1}) varlığını ortaya koymuştur. Infrared spektrumlar, farklı mantar türlerindeki protein içeriğindeki farklılıkları ortaya koymuştur (Liu vd. 2006). Yabani Amanita mantarlarının FTIR spektrumlarında 1655, 1076 ve 1040 cm^{-1} 'de güçlü bantlar gözlenmiş, proteinlerin ve polisakkaritlerin ana bileşenler olduğunu ortaya koymuştur (Meenu vd. 2019).

Shi ve arkadaşları tarafından 2011 yılında gerçekleştirilen çalışmada, Amanita mantar türlerini hızlı ve doğru bir şekilde ayırt etmek amacıyla hiyerarşik kümeleme analizi ve FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. Güneybatı Çin'in çeşitli bölgelerinden toplanan örneklerin ayırt edilmesinde FTIR spektroskopisi uygulanmıştır. Analizler sonucunda spektrumların oldukça benzer olduğu gözlemlenmiştir. Bu benzerliği göstermek amacıyla spektrumlar arasındaki farklar çıkarılarak fark spektrumları elde edilmiştir. 1800 ile 1300 cm^{-1} arasındaki bölgede belirgin farklılıklar saptanmış ve bu farklılıklar, hiyerarşik kümeleme analizinde kullanılmıştır. (Shi vd. 2011).

Liu ve arkadaşları Basidiomycetes Boletes'e ait altı tür yabani yenilebilir mantarı incelemek için Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR) kullanılmıştır. Analiz ile her mantarın, proteinlere ve polisakkaritlere ait karakteristik bantlara sahip olduğu bulunmuştur. Mantar polisakkaritlerinde α -glukanlar ve β -glukanlar gözlenmiştir. Mantarları ayırt etmek için 750-1200 cm^{-1} arası bölge parmak izi görevi görebilir (Liu vd. 2006).

Wickramasinghe ve arkadaşları Sri Lanka'da ticari olarak yetiştirilen dört mantar türünü analiz etmiştir. FTIR ve ATR ile birlikte elde edilen sonuçlar mantar örneklerinde yağ (1740 cm^{-1}), protein (1560 cm^{-1}), polisakkaritler (1500–750 cm^{-1}) ile ilgili fonksiyonel grupların varlığını ortaya koymuştur. Sonuçlara göre *P. ostreatus* en yüksek polisakkarit içeriğine sahipken, *G. lucidum* en düşük polisakkarit içeriğine sahiptir (Wickramasinghe vd. 2023).

Altuğ ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada aynı türe ait iki *Daedaleopsis nitida* mantarının iki farklı ortamda FTIR spektroskopisi kullanılarak analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonucunda aynı türe ait farklı ortamlarda yetişen mantarların kimyasal yapılarındaki değişimin çok küçük olduğu bulunmuştur.

Böylece aynı türe ait olsalar bile mantarların fungusit yapılarının yetiştikleri ortama bağlı olarak değişim gösterebileceğini belirlenmiştir. Bu değişimlerin parmak izi bölgesinde olduğu saptanmıştır (Altuğ vd. 2018).

O’Gorman ve arkadaşları mantarların mekanik hasarı ve yaşlanmasıyla oluşan kimyasal değişikliklerin tespit edilip edilemeyeceğini araştırmışlardır. Hasarlı ve hasarsız mantarların FTIR spektrumlarının temel bileşen analizi, fiziksel hasarın doku yapısı üzerinde bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Mantarlardaki hasarı belirlemek ve hasarlı mantarlar için bir izleme sistemi geliştirmek için kemometrik veri analiziyle birleştirilmiş FTIR spektroskopisinin kullanımı vurgulanmıştır (O’Gorman vd. 2010).

Qi ve arkadaşları farklı coğrafi konumlardan *B. edulis* ve *B. tomentipes* mantarlarının ayırt edilebilmesi için FTIR ve kemometrik analizler gerçekleştirmişlerdir. Mantar örneklerinin karakteristik özelliklerini belirlemek için 1800-400 cm^{-1} aralığı seçilmiştir. Temel bileşen analizi ve hiyerarşik küme analizi yapılarak farklı coğrafi konumlardaki mantar örneklerinin etkili bir şekilde tanımlanabileceği bulunmuştur. FTIR tekniğinin uygun kemometriklerle birleştirilmesi sonucunda coğrafi konumlarına göre *B. edulis* ve *B. tomentipes* mantarlarının kalite kontrolünün etkili ve hızlı bir şekilde yapılabileceği bulunmuştur. Ayrıca, bu tekniğin uygun kemometriklerle birleştirildiğinde başka mantar türlerine de uygulanabileceği belirtilmiştir (Qi vd. 2017).

Mohaček-Grošev ve arkadaşları FT-IR spektroskopisi kullanarak 37 farklı yabani mantar cinsine ait 70’den fazla türün spor ve meyve gövdelerinin titreşim spektrumlarını elde etmişlerdir. İncelenen tüm türlerin, α - ve β -glukanlara karşılık gelen 750-950 cm^{-1} aralığındaki bantları belirlemişlerdir. 1000-1200 cm^{-1} aralığındaki titreşim bandlarının, belirli türleri spektroskopik olarak tanımlanamadığını ancak mantar cinsinin bir göstergesi olarak kullanılabileceğini bulmuşlardır. Aynı cinsin farklı türlerine ait sporların spektrumlarında büyük benzerlikler gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı mantarın şapka, sap ve sporlarına ait spektrumlarının farklı olduğunu bulmuşlar bunun da mantarın farklı kısımlarının farklı kimyasal bileşime sahip olduğunu göstermişlerdir (Mohaček-Grošev vd. 2001).

Zhao ve arkadaşları Çin’in Yunnan eyaletinde işlenmemiş Amanitaceae mantarlarının titreşim spektrumlarını elde etmek için FTIR spektroskopiyi kullanmışlardır. Analiz sonucunda meyve gövdesi ve spor spektrumlarının farklılıklar gösterdiğini gözlenmiştir. Gövde kısmına ait spektrumda, yaklaşık

1655 cm^{-1} 'de amid I bandı ve karbonhidrattaki C-O gerilmesine ait 1077 ve 1042 cm^{-1} 'de iki güçlü bant gözlenmiştir. Titreşim spektrumları, Amanitaceae mantarlarının temel bileşenlerinin protein ve karbonhidrat olduğunu göstermiştir. Amanita fritillaria spor spektrumunda, lipitlere ait 2926, 2855 ve 1747 cm^{-1} 'de güçlü bantlar gözlenmiştir. Meyve gövdesinin spektrumlarında Amanitaceae mantarlarının farklı türlerini ayırt etmek için 1800 ile 750 cm^{-1} arasındaki bölge kullanılmıştır. Ayrıca Amanita manginiana'nın farklı kısımlarının FTIR spektrumlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Böylece FTIR kullanılarak Amanita mantarlarının hızlı ve tahribatsız tanımlanması için önemli bir araç olduğu gösterilmiştir (Zhao vd. 2007).

Baeva ve arkadaşları kültür mantarı Pleurotus ostreatus'un meyve gövdelerini titreşim spektroskopisi ve kemometrik yöntemlerle analiz etmişlerdir. Organik element analizi ve Megazyme analizine göre, mantar gövdeleri ~%6,2-17,5 protein ve ~%18,8-58,2 glukan içermektedir. Bu örneklerin FT-MIR, FT-NIR ve FT-Raman spektrumları kaydedilmiş ve proteinlerin, glukanların ve kitinin karakteristik bantları belirlenmiştir (Baeva vd. 2020).

Yao ve arkadaşları sekiz farklı coğrafi bölgeden gelen 312 mantar örneğinin izlenebilirliği için FT-IR spektroskopisi çok değişkenli istatistiksel analizle birlikte kullanılmıştır. 8 coğrafi kökenden gelen 312 örneğin FT-IR, UV spektrumları ve 14 elementi analiz edilmiştir (Yao vd. 2019).

SONUÇ

Karbonhidratlar, diyet lifi, protein, mineraller, yağlar ve vitaminler gibi besin maddelerinin kaynağı olan mantarlar, önemli sürdürülebilir biyolojik kaynaklardır. Mantarlar, kanser, diabetes mellitus, kardiyovasküler hastalıklar ve nörodejeneratif bozukluklar gibi çeşitli patolojilerin tedavisinde kullanılmaktadır. FTIR ve Raman spektroskopik tekniklerin kullanılması, tedavi amaçlı kullanılan mantarların yapısal karakterizasyonu, kalite, orijinallik ve coğrafi kökeninin değerlendirilmesine yönelik uygulamaların geliştirilmesine önemli katkılarda bulunacaktır.

KAYNAKÇA

- Altuğ, D. T., & Çolak, Ö. F. (2018). Discrimination of *Daedaleopsis nitida* mushrooms that growing in different environments using fourier transform infrared spectroscopy. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(2), 577-582.
- Assemie, A., & Abaya, G. (2022). The effect of edible mushroom on health and their biochemistry. *International journal of microbiology*, 2022(1), 8744788.
- Baeva, E., Bleha, R., Sedliaková, M., Sushytskyi, L., Švec, I., Čopíková, J., ... & Synytsya, A. (2020). Evaluation of the cultivated mushroom *Pleurotus ostreatus* Basidiocarps using vibration spectroscopy and chemometrics. *Applied Sciences*, 10(22), 8156.
- Bengü, A. Ş., Yılmaz, H. Ç., Türkekul, İ., & Işık, H. (2019). Doğadan toplanan ve kültürü yapılan *Pleurotus ostreatus* ve *Agaricus bisporus* mantarlarının toplam protein, vitamin ve yağ asidi içeriklerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(2), 222-229.
- Buttriss, J. L., & Stokes, C. S. (2008). Dietary fibre and health: an overview. *Nutrition Bulletin*, 33(3), 186-200.
- Cozzolino, D. (2022). An overview of the successful application of vibrational spectroscopy techniques to quantify nutraceuticals in fruits and plants. *Foods*, 11(3), 315.
- Dülger, D., & Gahan, Y. (2011). Diyet lifin özellikleri ve sağlık üzerindeki etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2), 147-158.
- Gush, L., Shah, S., & Gilani, F. (2021). Macronutrients and micronutrients. In *A prescription for healthy living* (pp. 255-273). Academic Press.
- Holesh, J. E., Aslam, S., & Martin, A. (2023). Physiology, carbohydrates. In *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing.
- Jeffrey, G. A., Saenger, W., Jeffrey, G. A., & Saenger, W. (1991). Hydrogen bonding in carbohydrates. *Hydrogen bonding in biological structures*, 169-219.
- Kakon, A. J., Choudhury, M. B. K., & Saha, S. (2012). Mushroom is an ideal food supplement. *Journal of Dhaka National Medical College & Hospital*, 18(1), 58-62.
- Kour, H., Kour, D., Kour, S., Singh, S., Hashmi, S. A. J., Yadav, A. N., ... & Ahluwalia, A. S. (2022). Bioactive compounds from mushrooms: Emerging bioresources of food and nutraceuticals. *Food Bioscience*, 50, 102124.

- Liu, G., Song, D., Zhao, D., Liu, J. H., Zhou, Y., Ou, J., & Sun, S. (2006, February). A study of the mushrooms of boletes by Fourier transform infrared spectroscopy. In *ICO20: Biomedical Optics* (Vol. 6026, pp. 124-129). SPIE.
- Lunn, J., & Buttriss, J. L. (2007). Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin*, 32(1), 21-64.
- Lysakowska, P., Sobota, A., & Wirkijowska, A. (2023). Medicinal mushrooms: their bioactive components, nutritional value and application in functional food production—a review. *Molecules*, 28(14), 5393.
- Meenu, M., & Xu, B. (2019). Application of vibrational spectroscopy for classification, authentication and quality analysis of mushroom: A concise review. *Food chemistry*, 289, 545-557.
- Mohaček-Grošev, V., Božac, R., & Puppels, G. J. (2001). Vibrational spectroscopic characterization of wild growing mushrooms and toadstools. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 57(14), 2815-2829.
- National Research Council (US) Subcommittee on the Tenth Edition of the Recommended Dietary Allowances. Recommended Dietary Allowances: 10th Edition. Washington (DC): National Academies Press (US); 1989. 6, Protein and Amino Acids. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK234922/>
- O’Gorman, A., Downey, G., Gowen, A. A., Barry-Ryan, C., & Frias, J. M. (2010). Use of Fourier transform infrared spectroscopy and chemometric data analysis to evaluate damage and age in mushrooms (*Agaricus bisporus*) grown in Ireland. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(13), 7770-7776.
- Öztürk, N., & Kaya, E. E. (2022). Popüler mantarların besin değerleri ve sağlık üzerine etkileri. *Gıda*, 47(4), 539-563.
- Qi, L. M., Zhang, J., Liu, H. G., Li, T., & Wang, Y. Z. (2017). Fourier transform mid-infrared spectroscopy and chemometrics to identify and discriminate *Boletus edulis* and *Boletus tomentipes* mushrooms. *International journal of food properties*, 20(sup1), S56-S68.
- Petersen, M., Yu, Z., & Lu, X. (2021). Application of Raman spectroscopic methods in food safety: A review. *Biosensors*, 11(6), 187.
- Rathore, H., Prasad, S., & Sharma, S. (2017). Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. *PharmaNutrition*, 5(2), 35-46.
- Shi, Y. M., Yan, C. Q., Li, D. Y., & Liu, G. (2011, May). Discrimination of *Amanita* mushrooms using Fourier transform infrared difference spectroscopy

- and cluster analysis. In *2011 symposium on photonics and optoelectronics (SOPO)* (pp. 1-4). IEEE.
- Trowell, H., Southgate, D. T., Wolever, T. S., Leeds, A., Gassull, M., & Jenkins, D. A. (1976). Dietary fibre redefined. *The Lancet*, *307*(7966), 967.
- Van de Voort, F. R. (1992). Fourier transform infrared spectroscopy applied to food analysis. *Food Research International*, *25*(5), 397-403.
- Waktola, G., & Temesgen, T. (2018). Application of mushroom as food and medicine. *Adv. Biotechnol. Microbiol*, *11*(3), 10-19080.
- Wang, N., Kong, Y., Li, J., Hu, Y., Li, X., Jiang, S., & Dong, C. (2022). Synthesis and application of phosphorylated saccharides in researching carbohydrate-based drugs. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, *68*, 116806.
- Wickramasinghe, M. A., Nadeeshani, H., Sewwandi, S. M., Rathnayake, I., Kananke, T. C., & Liyanage, R. (2023). Comparison of nutritional composition, bioactivities, and FTIR-ATR microstructural properties of commercially grown four mushroom species in Sri Lanka; *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Calocybe sp.*(MK-white), *Ganoderma lucidum*. *Food Production, Processing and Nutrition*, *5*(1), 43.
- Yağlı, S. *Diyet lif tüketim sıklığı ile kolon kanseri arasındaki ilişki* (Master's thesis, 2013, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
- Yao, S., Li, J., Li, T., Duan, Z., & Wang, Y. (2019). Geographical traceability of Boletaceae mushrooms using data fusion of FT-IR, UV, and ICP-AES combined with SVM. *International Journal of Food Properties*, *22*(1), 414-426.
- Zhao, D. Z., Liu, G., Song, D. S., Liu, J. H., Zhou, Y. L., Ou, J. M., & Sun, S. Z. (2007). Investigation of Amanitaceae mushrooms by Fourier transform infrared spectroscopy. *Guang pu xue yu Guang pu fen xi= Guang pu*, *27*(6), 1086-1089.

3. BÖLÜM

ŞEKERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE SPEKTROSKOPİK UYGULAMALARI

Doç. Dr. Alev ER

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

alever@istanbul.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-3190-5342>

Prof. Dr. Sefa ÇELİK

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

<https://orcid.org/0000-0001-6216-1297>

Prof. Dr. Aysen E. ÖZEL

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

<https://orcid.org/0000-0002-8680-8830>

Prof. Dr. Sevim AKYÜZ

İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

<https://orcid.org/0000-0003-3313-6927>

GİRİŞ

Şeker kamışı, Saccharum cinsine ait, Andropogoneae tribaline ve Poaceae familyasından büyük bir otsu bitkidir. Modern şeker kamışı (Saccharum spp.) çeşitleri, Saccharum officinarum (asil baston) ve Saccharum spontaneum'u (yabani baston) içeren bir melezleme sürecinden türetilen türler arası melezlerdir. İnsan tüketimi için hasat edilen şekerin %70'inden fazlası şeker kamışından elde edildiğinden, sakkaroz içeriğinin ve biyokütle veriminin genetik mühendisliği

araştırmaları bitkideki karmaşık fizyolojik yolların daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır (Daniels v.d. 1987, Kitts 2010). Genellikle sap veya gövde olarak adlandırılan, altta yaprak bulunmayan uzun, sağlam, küme oluşturan bir ot olan şeker kamışı, Saccharum cinsinin sakkaroz depolayan üyelerine verilen genel isimdir (Moore v.d. 2017). Şeker ve enerji kamışı (Saccharum officinarum), şeker ve enerji pancarı (Beta vulgaris) ve tatlı sorgum (Sorghum bicolor L. Moench) şeker bitkileri, alan başına en yüksek karbonhidrat verimini veren bitkiler arasında olmaları ve yüksek şeker içerikleri nedeniyle mükemmel, yenilenebilir biyokütle hammaddeleridir (Eggleston v.d. 2015). Şeker kamışı, tropikal ve subtropikal bölgelerde yetiştirilen, güneş ışığını, CO₂'yi, suyu ve başta nitrojen olmak üzere besin maddelerini dönüştürme konusunda oldukça verimli bir üründür ve Brezilya dünya üretiminin %40'ı ile dünyanın en büyük şeker kamışı üreticisidir (Aguilar-Rivera 2022). Dünya şeker kamışı üretimi 500 yıldan daha eski olup şeker endüstrisi ve şeker bitkileri potansiyel yenilenebilir enerji, biyo-yakıt, biyo-elektrik ve biyo-malzeme kaynağı olmasının yanı sıra bir gıda ürünüdür (Solomon v.d. 2019). Şeker kamışı, şeker pancarı ve tatlı sorgum, bulunabilirlikleri nedeniyle yakıt etanol üretimi için yenilenebilir karbonhidrat hammaddesidir.

1. ŞEKERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Şeker kamışı ve şekere ilişkin bilinen en eski tarihi kayıtlar 3000 ila 3400 yıl öncesine ait Hint yazılarına dayanmaktadır. Şeker kamışının genel adı olan Saccharum, bal kamışlarından elde edilen ham şekerli ürün için kullanılan Hint Sanskrit terimi “sharkara” dan gelmektedir. Asya'ya özgü tropikal bir ot olan şeker kamışı Saccharum cinsinin dört türünün melezlenmesinin ürünü olan dev, sağlam, şekerli bir bitkidir. Dünyadaki şekerin yaklaşık yüzde 75'i şeker kamışından elde edilmektedir. Şeker kamışı çok türlü bir hibrit olduğundan, şeker kamışı tohumları genetik olarak ebeveynlerinden farklı bitkiler üretecektir. Bu nedenle, tohum kullanarak ticari şeker kamışı ekimi pratik değildir. Bunun yerine, uygun bir şeker kamışı çeşidinin ekimi, şeker kamışından alınan sap parçaları kullanılarak yapılır (Baucum v.d. 2009).

S. officinarum (şeker kamışı), sakkaroz içeriği yüksek olduğundan, öncelikle şeker üretimi için kullanılmıştır. Orta derecede uzun, çeşitli renklerde, kalın saplı ve lif oranı düşük olmasıyla karakterize edilir. S. officinarum'un 400'den fazla klonu kaydedilmiştir. Genellikle $2n = 80$ kromozom sayısına ve $x = 10$

temel kromozom sayısına sahip olmasıyla karakterize edilir (D'Hont v.d. 1998). Genellikle “sofra şekeri” olarak bilinen sakkaroz, yenilenebilir kaynaklardan endüstriyel ölçekte üretilen en bol organik molekül olan ve beslenme dünyasında yaygın olarak kullanılan bir karbonhidrattır. Sakkaroz, $C_{12}H_{22}O_{11}$ moleküler formülüne sahip glukoz ve fruktoz molekülleri olmak üzere iki monosakkarit arasında glikozidik bağlanma ile oluşan bir disakkarittir (Moreira v.d. 2012).

Şeker kamışı ve şeker pancarında bulunan en yaygın şeker basit bir karbonhidrat olan ve fotosentez yoluyla bitkiler tarafından üretilen sakkaroz veya sofr şekeridir. Yapısal olarak karbon, hidrojen ve oksijen moleküllerinden oluşan karbonhidratlar monosakkaritler, oligosakkaritler ve polisakkaritler olarak üçe ayrılır. Doğada bulunan yaygın monosakkaritler glikoz (dekstroz), galaktoz, mannoz ve fruktozdur. Doğal olarak meyve ve sebzelerde bulunan ve bir oligosakkarit türü olup disakkarit olarak sınıflandırılan sakkaroz, bir glikoz ($C_6H_{12}O_6$) ve fruktoz ($C_6H_{12}O_6$) molekülünden oluşur. Monosakkaritler ve disakkaritler basit karbonhidratlar veya basit şekerler olarak da bilinir (Kitts 2010, Varzakas v.d. 2012, Goldfein v.d. 2015, Queneau v.d. 2007, National Center for Biotechnology Information 2024^{a,b,c}).

2. ŞEKERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ

Önemli bir şeker kamışı üreticisi olan Brezilya ham petrol bağımlılığını azaltmak ve küresel biyoenerji taleplerini karşılamak için üretimi son yıllarda arttırmıştır. Şeker kamışı sektöründeki son gelişmeler su tüketiminde önemli azalmalar göstermekte ve şeker kamışı etanolünü su ayak izi açısından en uygun seçeneklerden biri haline getirmektedir (Bordonal v.d. 2018).

Benzin yerine kullanılması düşünülen etanol, şeker kamışı, mısır, buğday, şeker pancarı gibi tarımsal ürünlerin fermantasyonu yoluyla üretilmektedir. Dünyada üretilen etanolün büyük çoğunluğu başta Brezilya’da olmak üzere şeker kamışından ve Amerika Birleşik Devletleri’nde mısırdan elde edilmektedir (Goldemberg v.d. 2018).

Biyorafineri, şeker kamışı endüstrisinde biyokütlenin faydalarını arttırmak için umut verici bir seçenek olarak ilgi görmektedir. Biyorafineri sistemi, şeker kamışı ekimi ve hasadı, şeker kamışı öğütme ve yan ürün kullanımını, yani buhar ve elektrik için küspe, etanol için melas ve gübre ve toprak düzenleyici için vinas içermektedir. 2017 yılında yapılan bir çalışma yeşil kamış üretimi gibi şeker

kamışı yetiştirme ve hasat uygulamalarının iyileştirilmesinin yanı sıra biyokütle artıklarının tüm zincir boyunca entegre bir şekilde kullanılmasının, şeker kamışından elde edilen şeker ve etanol gibi ana ürünlerin çevresel etkilerinin azaltılmasına yardımcı olacağını ortaya koymuştur (Silalertruksa v.d. 2017).

Şeker kamışı verimli biyoyakıt üretimi için birinci nesil hammadDEDİR. Şeker kamışının bolluğu ve düşük tedarik maliyeti potansiyeli, fosil alternatiflerine göre daha dengeli bir karbon döngüsü sağlamaktadır (Rabelo v.d. 2020).

Hidrokarbonların aksine, sakkaroz karmaşık, çok fonksiyonlu, yüksek oranda oksijenli ve kimyasal olarak hassas bir moleküldür. Sekiz reaktif hidroksil grubu, iki anomerik karbon atomu ve hiçbir kimyasal fonksiyonun kolayca seçilememesi nedeniyle, denenen dönüşümlerin çoğu karmaşık karışımlar vermeye meyillidir. Sakkaroz (β -d-fruktofuranosil α -d-glukopiranosid), tüm düşük molekül ağırlıklı karbonhidratlar arasında açık ara en çok bulunanı olan doğal bir disakkarittir. Endüstriyel ölçekte şeker pancarı veya şeker kamışından üretilir ve kimyası büyük ilgi çekmiştir. Ucuz, saf, kararlı ve kimyasal olarak reaktif olduğu için organik bir hammadde olarak kullanılabilir. Yenilenebilir tarımsal kaynaklardan elde edilen bu tür basit karbonhidratlar, ekonomik olarak uygulanabilir süreçlerin geliştirilebilmesi koşuluyla, fosil kaynaklardan üretilenlerin yerini alabilecek değerli başlangıç bileşikleri oluşturmaktadır (Queneau v.d. 2007). Biyoplastikler, endüstriyel solventler ve kimyasallar gibi ürünlerin üretimi için platform kimyasallarının üretiminde şeker üstün bir hammadde olup birkaç yıl içinde “yeni yağ” olması beklenmektedir (Eggleston 2010). Şeker endüstrisi, toprak, su, fosil yakıtlar ve tarımsal kimyasallar gibi doğal kaynakların yönetiminin yanı sıra sera gazı emisyonlarının etkileri ve sosyo-ekonomik kısıtlamalar nedeniyle sürdürülebilirlik zorluklarıyla karşı karşıyadır (García-Bustamante v.d. 2018).

Şeker kamışı üretimi Pasifik'ten Hindistan'a, Çin'e ve oradan da tüm dünyaya yayılmıştır. Öncelikle şeker kamışı parçalanarak hazır kamış haline getirilir. Kamış suyu, suyu sap malzemesinden ayırmak için hazırlanan kamışın fiziksel olarak ezilmesiyle çıkarılır. Geriye kalan ve küspe olarak adlandırılan sap malzemesi kurutulur, elektrik ve kağıt üretimi için kojenerasyon amacıyla kullanılır. Şeker kamışından elde edilen meyve suyunun suyu buharlaştırılarak şurup haline getirilir ve bu şurup kristalleştirilerek ham şeker dönüşür, kalan madde ise melas olarak bilinir. Melasın yaklaşık %95'i damıtma tesisleri tarafından, %5'i ise diğer amaçlar için kullanılmaktadır. Endüstriyel alkol, içilebilir alkol, fırıncı mayası, oksalik maya, sitrik asit, mono-sodyum-glutamat, lizin, efedrin ve sığır yemi melastan elde edilen başlıca ürünlerdir. Küspe, şeker

kamışından meyve suyu çıkarıldıktan sonra kalan lifli kalıntıdır. Küşpe, özellikle kazanlar ve kojenerasyon için turbo jeneratör seti için yakıt kaynağıdır. Ayrıca kağıt üretim birimleri, yonga levhalar ve aktif karbon için hammadde olarak kullanılır. Küşpeden üretilen kağıt iyi kapasiteye, baskı özelliklerine ve yüksek patlama mukavemetine sahiptir (Mehrotra v.d. 2003).

3. SPEKTROSKOPİK UYGULAMALAR

Sakkarozun laboratuvarında veya fabrikada bulunabileceği üç form kristal, amorf ve sulu çözeltilidir. Sakkaroz (Sükroz), düşük fiyatla temin edilebilen en saf kimyasallardan biridir ve muhtemelen yoğunluk ölçerlerin, viskozimetrelerin, refraktometrelerin, polarimetrelerin vb. kalibrasyonu için her zaman standart olarak kullanılmasının nedeni de budur (Reiser v.d. 1995).

Sistematik olarak β -D-fruktofuranosil-(2 \rightarrow 1)- α - D-glukopiranosit olarak adlandırılan sakkaroz, indirgeyici olmayan bir disakkarittir. 1976 yılında yapılan bir çalışmada sakkarozun enzimik yöntemlerle sentezi, serbest D-fruktoz ve D-glukoz 6-fosfat veya D-glukoz içeren glikozilasyon yoluyla elde edilmiştir. X-ışını kristalografisi, nötron kırınımı ve nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi gibi fiziksel yöntemlerin sakkaroz molekülünün konfigürasyonunu ve yapısını belirlemede çok değerli olduğu kanıtlanmıştır (Khan 1976).

Karmaşık biyolojik örneklerde sakkarozun rutin kantitatif tayini için şu anda yöntemlerden daha doğru, daha az zaman alan ve kirletici olmayan spektroskopik bir yöntem önerilmektedir. 1997 yılındaki bir çalışmada şeker kamışı hasadını temsil eden opak ham şeker kamışı suları Fourier dönüşümlü orta kırmızı-altı (IR) zayıflatılmış toplam yansıma ile analiz edilmiş ve spektral veriler temel bileşen analizi (PCA) ve temel bileşen regresyonu (PCR) ile işlenmiştir. Sakkaroz ölçümü için en uygun bölge 1250-800 cm^{-1} bölgesi olarak bulunmuştur (Cadet 1997).

2007 yılındaki bir çalışmada yakın kırmızı-altı spektroskopisi (NIR) ve çok değişkenli kalibrasyon kullanılarak şeker kamışı suyunda çözünebilir katıların (BRIX), polarize şekerlerin (POL) ve indirgen şekerlerin (RS) belirlenmesi geliştirilmiş ve sonuçlar BRIX ve POL için geliştirilen modellerin şeker kamışı endüstrisinde standart prosedürlere alternatif olarak kullanılabilceğini göstermiştir (Valderrama v.d. 2007).

Kırmızı-altı (IR) radyasyon genellikle frekansı 20-14500 cm^{-1} arasında olan elektromanyetik radyasyon olarak tanımlanır. Elektromanyetik spektrumun bu

bölgesinde kimyasal bileşikler, normal moleküler titreşim, moleküler rotasyon ve moleküler rotasyon-titreşim sırasında veya normal moleküler titreşimlerin kombinasyonlarından, farklarından ve üst tonlarından bir dipol moment değişikliği olması koşuluyla IR radyasyonunu soğurur. Bir kimyasal bileşik tarafından sergilenen IR bantlarının frekansları ve yoğunlukları, malzemeyi benzersiz bir şekilde karakterize eder ve IR spektrumu, bilinmeyen bir numunedeki belirli bir maddeyi tanımlamak ve miktarını belirlemek için kullanılabilir. 400-4000 cm^{-1} arasındaki bölge yapısal analiz için en cazip bölgedir. Bu bölge, organik moleküllerin neredeyse tüm temel gruplarının temel titreşimlerine karşılık gelen frekansları içerir. Orta kırmızı-altı spektroskopisi, çok çeşitli uygulama alanlarında yüksek potansiyelli analitik bir teknik olarak ortaya çıkmaktadır. Gıda ve tarıma dayalı endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Meyers 2000).

Şeker kamışı kalitesinin tarlaya göre önemli ölçüde değişebilmesi nedeniyle, şeker kamışı endüstrisinde güvenilir bir saha içi kalite ölçümüne olan ihtiyaç artmaktadır. Görünür/kısa dalga yakın kırmızı-altı (vis/SW-NIR) spektroskopi tekniği, şeker kamışı saplarındaki şeker içeriğini tahmin etmede düşük maliyetli bir alternatiftir (Nawi v.d. 2013).

SONUÇ

Önümüzdeki 25 yıl içinde alternatif kaynakları kullanan modern teknolojiye büyük bir ilerleme olmasına rağmen petrol, benzin ve doğal gaz gibi fosil yakıt kaynaklarıyla çalışan araç ve aletlerin kullanımının artması nedeniyle dünya fosil yakıt talebinin %50 oranında artması beklenmektedir. Fosil yakıtların kaynakları yenilenebilir ve saf değildir, bu nedenle artan enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif stratejiler ve teknikler benimsenmektedir. Şekerin etanole dönüştürülmesi için sentrofik, fermentatif bakteriler veya mayaların kullanılabilmesi bulunmuştur. 2021 yılında yapılan bir çalışma metanın şeker kamışı gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesine ve anaerobik koşullarda maya kullanılarak bir biyoyakıtı dönüştürülmesine odaklanmaktadır (Akram 2021).

KAYNAKÇA

Aguilar-Rivera, N. (2022). Bioindicators for the sustainability of sugar agro-industry. *Sugar Tech*, 24(3), 651-661.

- Akram, A. B. (2021). Getting Fuel from Sucrose (Table Sugar). *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 11(4), 272-284.
- Baucum, L. E., Rice, R. W., & Schueneman, T. J. (2009). An overview of Florida sugarcane. *University of Florida IFAS Extension document SS-AGR-232*.
- Bordonal, R. D. O., Carvalho, J. L. N., Lal, R., De Figueiredo, E. B., De Oliveira, B. G., & La Scala, N. (2018). Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 1-23.
- Cadet, F., & Offmann, B. (1997). Direct spectroscopic sucrose determination of raw sugar cane juices. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(1), 166-171.
- Daniels, J., Roach, B. T., & Heinz, D. J. (1987). Sugarcane improvement through breeding. *Taxonomy and evolution*, 7-84.
- D'Hont, A., & Layssac, M. (1998). Analysis of cultivars genome structure by molecular cytogenetics and the study of introgression mechanisms. *France: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Annual Crops Department (CIRAD-CA)*, 9-10.
- Eggleston, G. (2010). Future sustainability of the sugar and sugar- ethanol industries. In *Sustainability of the Sugar and Sugar- Ethanol Industries* (pp. 1-19). American Chemical Society.
- Eggleston, G., & Lima, I. (2015). Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioproduct industries. *Sustainability*, 7(9), 12209-12235.
- García-Bustamante, C. A., Aguilar-Rivera, N., Zepeda-Pirron, M., & Armendáriz-Arnez, C. (2018). Development of indicators for the sustainability of the sugar industry. *Environmental & Socio-Economic Studies*, 6(4), 22-38.
- Goldemberg, J., Coelho, S. T., & Guardabassi, P. (2018). The sustainability of ethanol production from sugarcane. In *Renewable Energy* (pp. Vol3_321-Vol3_345). Routledge.
- Goldfein, K. R., & Slavin, J. L. (2015). Why sugar is added to food: food science 101. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 644-656.
- Khan, R. (1976). The chemistry of sucrose. In *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry* (Vol. 33, pp. 235-294). Academic Press.
- Kitts, D. D. (2010). Sucrose: From field to table. *Carbohydrate News, Department of Food Science, University of British Columbia*.
- Mehrotra, R., & Siesler, H. W. (2003). Application of mid infrared/near infrared spectroscopy in sugar industry. *Applied Spectroscopy Reviews*, 38(3), 307-354.
- Meyers, R. A. (2000). Encyclopedia of analytical chemistry: applications, theory and instrumentation. (*No Title*).

- Moore, P. H., & Maretzki, A. (2017). Sugarcane. In *Photoassimilate Distribution Plants and Crops Source-Sink Relationships* (pp. 643-670). Routledge.
- Moreira, L. M., Lyon, J. P., Lima, P., Santos, V. J., & Santos, F. V. (2012). Sucrose chemistry.
- National Center for Biotechnology Information (2024^a). PubChem Compound Summary for CID 5988, Sucrose. Retrieved August 16, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sucrose>.
- National Center for Biotechnology Information (2024^b). PubChem Compound Summary for CID 5793, D-Glucose. Retrieved August 16, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/D-Glucose>.
- National Center for Biotechnology Information (2024^c). PubChem Compound Summary for CID 2723872, D-Fructose. Retrieved August 16, 2024 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/fructose>.
- Nawi, N. M., Chen, G., & Jensen, T. (2013). Visible and shortwave near infrared spectroscopy for predicting sugar content of sugarcane based on a cross-sectional scanning method. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 21(4), 289-297.
- Queneau, Y., Jarosz, S., Lewandowski, B., & Fitremann, J. (2007). Sucrose chemistry and applications of sucrochemicals. *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*, 61, 217-292.
- Rabelo, S. C., de Paiva, L. B. B., Pin, T. C., Pinto, L. F. R., Tovar, L. P., & Nakasu, P. Y. S. (2020). Chemical and energy potential of sugarcane. In *Sugarcane biorefinery, technology and perspectives* (pp. 141-163). Academic Press.
- Reiser, P., Birch, G. G., & Mathlouthi, M. (1995). Physical properties. In *Sucrose: properties and applications* (pp. 186-222). Boston, MA: Springer US.
- Silalertruksa, T., Pongpat, P., & Gheewala, S. H. (2017). Life cycle assessment for enhancing environmental sustainability of sugarcane biorefinery in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 140, 906-913.
- Solomon, S., Quirk, R. G., & Shukla, S. K. (2019). Green management for sustainable sugar industry. *Sugar Tech*, 21(2), 183-185.
- Valderrama, P., Braga, J. W., & Poppi, R. J. (2007). Validation of multivariate calibration models in the determination of sugar cane quality parameters by near infrared spectroscopy. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 18, 259-266.
- Varzakas, T., Labropoulos, A., & Anestis, S. (Eds.). (2012). *Sweeteners: nutritional aspects, applications, and production technology*. CRC press.

4. BÖLÜM

YULAF, YULAF SÜTÜ VE TİTREŞİM SPEKTROSKOPİSİ UYGULAMALARI

Doç. Dr. Alev ER

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

alever@istanbul.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-3190-5342>

Prof. Dr. Sefa ÇELİK

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

<https://orcid.org/0000-0001-6216-1297>

GİRİŞ

Yulaf, Poaceae familyasına ait bir tahıl çeşidi olup, yetiştirilen en önemli tür *Avena sativa* L.'dir. Başlangıçta özellikle atlar için hayvan yemi olarak kullanılmış son yıllarda tüketici sağlığına olan potansiyel faydaları nedeniyle fonksiyonel gıda olarak kabul edildiğinden insan gıdası olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Genellikle serin-nemli iklimlerde ve verimliliği düşük topraklarda üretime daha uygundur (Butt vd., 2008; Prates vd., 2017). Yulaf tane-sinin çekirdeği çoğunlukla nişasta gibi yapısal olmayan karbonhidratlar (NS-CHO) içerirken, kabuğu ağırlıklı olarak selüloz gibi yapısal karbonhidratlardan (SCHO) ve ayrıca ligninden oluşur (Varma vd., 2016). Karbonhidratlar baskın besindir; ancak yulaf taneleri, pirinç, buğday ve arpa gibi diğer tahıllarla karşılaştırıldığında daha yüksek bir protein içeriği ve makul bir amino asit bileşimi içerme eğilimindedir. Üstelik yulaf, insanlarda kardiyovasküler hastalıkları ve

diyabeti önleyen, bu tahılın fonksiyonel bir gıda olarak dahil edilmesine katkıda bulunan yüksek düzeyde yağ asitleri, yüksek tokoferol, bir antioksidan bileşen ve beta-glukan gibi çözünür liflere sahip olabilir (Sterna vd., 2016; Varma vd., 2016). Süt, laktaz enzimi tarafından hidrolize edilen bir şeker olan laktoz içerir. Laktoz intoleransı ve laktoz malabsorbsiyonu bireyler arasında çok yaygın görülen gıda intoleranslarıdır (Giugliano vd., 2023). Dünyanın bazı bölgelerinde süte erişimin sınırlı olması, belirli minerallerin (demir), vitaminlerin (folat) ve diğer biyomoleküllerin (amino asitler) düşük bulunması, süt alerjisi, laktoz intoleransı ve hiperkolesterolemi gibi sorunlarla birleşerek bazı belirli nüfusları zorladığından geleneksel sütle daha fazla veya en azından eşit besleyiciliğe sahip daha iyi süt alternatifleri aranmaya başlanmıştır. Süt analogları pazarı şu anda soya fasulyesi sütü, yulaf sütü, hindistancevizi sütü, kenevir sütü, kakao sütü, çok tahıllı süt vb. tarafından yönetilmektedir ve bunların çoğu, fonksiyonel biyoaktif bileşimleri sayesinde kontrollü fermantasyonla üretilmektedir (Paul vd., 2020).

1. YULAFIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ

Bitki bazlı süt alternatifleri, sürdürülebilirlikleri ve sağlık konusunda artan tüketici bilinci nedeniyle giderek daha fazla tercih edilmektedir. Birçok bitki bazlı süt çeşidi arasında yulaf sütünün pürüzsüz dokusu ve lezzeti, dünya çapında hızla yayılmasını sağlamaktadır (Cui vd., 2023). İklim dostu olan bitki bazlı ürünler giderek hayvan bazlı içeriklerin yerini almaktadır. Finlandiya’da bitki bazlı süt pazarında yulaf sütü hakimdir (Halme vd., 2023). Süt ürünleri pazarı gıda endüstrisinin önemli bir bölümü olup tüketiciler inek sütünden daha sağlıklı ve çevre dostu süt arayışı içerisinde. Yulaf sütlü içecek badem sütünden önemli ölçüde daha az su tüketimi gerektirir ve geleneksel inek sütü bazlı seçeneklerden daha iyi bir çevresel performansa sahiptir (Riofrio vd., 2022). Süt üretiminin çevresel etkilerine ilişkin endişelerin artması ve süt proteini alerjileri ile laktoz intoleransı vakalarının yükselmesiyle birlikte bitki bazlı sütlere yönelik önemli bir talep oluşmuştur (Vashisht vd., 2024). 2024 yılında yapılan bir çalışmada sürdürülebilirlik için besin açısından zengin gıda (NRF) puanı, protein sindirilebilirliği ve esansiyel amino asit içeriğini içeren çok kriterli bir değerlendirme kullanılarak bir porsiyon yarı yağsız süt ile çeşitli bitki bazlı içecekler (yulaf, soya, pirinç, hindistan cevizi ve badem), besin içeriği ve çevresel maliyetlerle ilgili karbon ayak izlerini dikkate alarak karşılaştırılmıştır. Güçlen-

dirilmiş bitki bazlı içecekler (soya, yulaf ve badem) hesaplanan NRF puanlarına göre daha düşük ayak izleri sergilemektedir (de Jong vd., 2024). Bitki bazlı süt alternatiflerinin (PBA'lar) araştırılması tahıllardan, baklagillerden, kabuklu yemişlerden birçok yeni içeceğin yaratılmasına yol açmıştır. 2022 yılında yapılan bir çalışmada Kanadada piyasada sunulan altı farklı PBA (yulaf, badem, soya, bezelye, kaju ve hindistan cevizi) tüketiciler tarafından değerlendirilmiş ve katılımcılar PBA'ları sağlık yararları, sürdürülebilirlik ve duyuşal özelliklerle ilişkilendirilmiştir. Badem, yulaf ve bezelyeden yapılan PBA'lar kajudan yapılan PBA'lardan önemli ölçüde daha fazla beğenilmiş, ancak hindistancevizi veya soya PBA'larından daha fazla beğenilmemiştir. Aroma (çikolata ve vanilya), katılımcıların badem ve yulaf PBA'larına olan tercihini artırmıştır (Moss vd., 2022).

Bitki bazlı süt ürünleri alternatiflerinin (PBDA'lar) tüketimi, toplumların daha sürdürülebilir beslenme alışkanlıklarına geçişinde daha önemli bir beslenme rolü üstlenmiştir. Uygun şekilde güçlendirilmiş PBD'ler, süt sütüyle karşılaştırılabilecek yeterli düzeyde önemli vitamin ve minerallere sahiptir. Yulaf ve soya içecekleri için su kullanımı süt sütüne kıyasla önemli ölçüde daha düşüktür (Craig vd., 2023). Tam tahıllı yulafardan üretilen yulaf sütü laktoz içermez ve çeşitli besin maddeleri ve fitokimyasallar açısından zengindir (Yu vd., 2023). Emülgatör ve stabilizatör gibi katkı maddeleri kullanılmadan sadece yulaf ve sudan yapılır. Esnek üretim süreci, süt ikameleri, yoğurtlar, kremalar ve dondurmalar gibi farklı son kullanımlara uygun ürünlerin üretilmesine olanak sağlar. Yulaf sütünün besin kalitesi insanın ihtiyacına çok iyi uyum sağlar ve kolesterolü düşürür (Öste vd., 2000).

2022 yılında yapılan bir çalışmada proteinler, peptidler, amino asitler, β -glukanlar, dirençli nişasta, diyet lifleri, çoklu doymamış yağ asitleri, vitaminler, mineraller, polifenoller, avenantramidler, yulaf saponinleri ve β -sitosterol gibi yulaf (*Avena sativa* L.) biyoaktif bileşikleri özetlenmiş ve bunların biyolojik işlevleri incelenmiştir. Yulaf, çeşitli biyoaktif bileşenleri nedeniyle antioksidan, anti-diyabetik, anti-mikrobiyal, anti-kanser, anti-hipertansif, immünomodülatör, anti-hiperlipidemik, anti-obezite ve kardiyoprotektif özellikler sergiler (Tang vd., 2023).

2. SPEKTROSKOPİ UYGULAMALARI

Ekonomik ve tahribatsız bir teknik olan titreşim spektroskopisi bu avantajları sebebiyle gıda alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik aynı anda birden fazla bileşeni kısa sürede belirleyebilmektedir. Enzimatik ve mikrobiyolojik işlemden sonra yulafın karbonhidrat, protein, lipit ve 13-glukan içeriğini hızlı bir şekilde ölçebilmektedir (Grube vd., 1999).

Yulaf yüksek proteinli bir tahıl olup triticeae tahıllarından farklı olarak ana depolama proteini, esansiyel amino asitler açısından prolamin depolama proteinlerinden daha yüksek olan bir globulindir. Yulaf proteini çoğu çölyak hastası tarafından tolere edilebilir, bu da onu sürekli genişleyen glutensiz pazar için ilginç bir hammadde haline getirir (Mäkinen vd., 2024). 2001 yılında yapılan bir çalışmada yulaf globulin dispersiyonlarının (D_2O 'da %10) pH, kaotropik tuzlar, protein yapısı bozuklukları ve ısıtma koşullarının etkisi altındaki konformasyonu Fourier transform kırmızı-altı (FTIR) spektroskopisi ile incelenmiş, yulaf globulininin FTIR spektrumu, 1670 ila 1634 cm^{-1} arasında ana bantlar göstermiştir (Ma vd., 2001). 2016 yılında yapılan bir çalışmada yulaf kepeğindeki moleküler ağırlıkları 19 ila 21, 15 ila 53, 20 ila 38 ve 10 ila 90 kDa olan globülin, albümin, gliuten ve gliadin proteinlerinin ikincil ve üçüncül yapıları dairesel dikroizm, Fourier transform kırmızı-altı spektroskopisi ve floresans spektroskopisi yöntemleri ile incelenmiş dört proteinin tamamındaki amino asit bileşiminin nispeten dengeli olduğu albümin ve globülindeki esansiyel amino asit içeriğinin yüksek olduğu belirtilmiştir (Jing vd., 2016). 2022 yılında yapılan bir çalışmada SR-FTIR, XRF ve ATR-FTIR moleküler teknikleri *Avena sativa* tanesinin kimyasal ve besin profillerini incelemek ve besin, yapı etkileşimli birleşme özelliklerini incelemek için kullanılmıştır (Deng vd., 2023). Yulaf bazlı içeceklerin stabilitesi, fizikokimyasal özellikleri tarafından yönetilir ve spektroskopik yöntemler bu özelliklerin hızlı bir şekilde ölçülmesini sağlar. β -glukan ağının varlığını ve yokluğunu simüle etmek için β -glukanazlı ve β -glukanazsız, kepekli yulaf ve yulaf kepeğinden çeşitli özelliklere ve ayırma türlerine sahip yulaf bazlı içeceklerin numuneleri hazırlanarak FTIR (Fourier transform kırmızı-altı) ve NIR (yakın kırmızı-altı) spektrumları elde edilmiş böylece ürünün kimyasal parmak izi belirlenmiştir (Patra vd., 2022).

SONUÇ

Buğday, arpa ve çavdar gibi tahılların çoğu, genellikle depo proteinlerinin çoğunu içeren yüksek oranda prolamin içerir, ancak yulaf bir istisnadır. Başlıca depolama proteinleri tuzlu suda çözünebilen globulin fraksiyonuna aitken, yulaf prolaminleri küçük bir bileşendir. Yulafın amino asit bileşimi, lizin ve treonin gibi sınırlayıcı amino asitlerin daha yüksek miktarda olması nedeniyle diğer tahıllardan üstündür (Klose vd., 2012). Yulaf dünya çapında gıda amaçlı tahıl karışımlarında yulaf gevreği, yulaf ezmesi, yulaf unu vb. olarak ayrıca tatlandırıcılar, aşındırıcılar, yakıt için ksiloz ve ksilitol üretimi ve deterjan endüstrisi ve lipaz üretiminde kullanılmaktadır (Shukla vd., 1975).

Dünyadaki en çok yulaf üretimi Rusya'dadır. Küresel yulaf pazarının 2022 yılında 5,4 milyar ABD doları değerinde olduğu, 2028 yılında 6,10 milyar ABD dolarına ulaşacağı öngörülmektedir. Yulaf, toprağı korur, erozyonu azaltır, yabani otları bastırır ve ürün rotasyonunu çeşitlendirir. Düşük girdili doğaları, besin değeri sunarken daha az gübre ve pestisit gerektirerek sürdürülebilir ilkelerle uyumludur. Yulaf, nitrojen sabitleyici baklagillerle birleştiğinde iklime dayanıklı tarıma katkıda bulunarak sürdürülebilir uygulamaların kapsamını genişletmektedir (Singh vd., 2025). Titreşim spektroskopisi tekniklerinin kullanılması, moleküler karakterizasyon ve aminoasit bileşiminin değerlendirilmesine önemli katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- Butt, M. S., Tahir-Nadeem, M., Khan, M. K. I., Shabir, R., & Butt, M. S. (2008). Oat: unique among the cereals. *European journal of nutrition*, 47, 68-79.
- Craig, W. J., Messina, V., Rowland, I., Frankowska, A., Bradbury, J., Smetana, S., & Medici, E. (2023). Plant-based dairy alternatives contribute to a healthy and sustainable diet. *Nutrients*, 15(15), 3393.
- Cui, L., Jia, Q., Zhao, J., Hou, D., & Zhou, S. (2023). A comprehensive review on oat milk: from oat nutrients and phytochemicals to its processing technologies, product features, and potential applications. *Food & Function*, 14(13), 5858-5869.
- de Jong, P., Woudstra, F., & van Wijk, A. N. (2024). Sustainability Evaluation of

- Plant-Based Beverages and Semi-Skimmed Milk Incorporating Nutrients, Market Prices, and Environmental Costs. *Sustainability*, 16(5), 1919.
- Deng, G., Nagy, C., & Yu, P. (2023). Combined molecular spectroscopic techniques (SR-FTIR, XRF, ATR-FTIR) to study physiochemical and nutrient profiles of *Avena sativa* grain and nutrition and structure interactive association properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63(25), 7225-7237.
- Giugliano, R., Musolino, N., Ciccotelli, V., Ferraris, C., Savio, V., Vivaldi, B., ... & De-castelli, L. (2023). Soy, rice and oat drinks: Investigating chemical and biological safety in plant-based milk alternatives. *Nutrients*, 15(10), 2258.
- Grube, M., Marauska, M., & Bekers, M. (1999). Quantitative analysis of oat by Infra-red spectroscopy. In *Spectroscopy of Biological Molecules: New Directions: 8th European Conference on the Spectroscopy of Biological Molecules*, 29 August–2 September 1999, Enschede, The Netherlands (pp. 617-618). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Halme, M., Pirttilä-Backman, A. M., & Pham, T. (2023). The perceived value of oat milk and the food-choice motives of young, urban people. *British Food Journal*, 125(13), 375-389.
- Jing, X., Yang, C., & Zhang, L. (2016). Characterization and analysis of protein structures in oat bran. *Journal of Food Science*, 81(10), C2337-C2343.
- Klose, C., & Arendt, E. K. (2012). Proteins in oats; their synthesis and changes during germination: a review. *Critical Reviews in food science and nutrition*, 52(7), 629-639.
- Ma, C. Y., Rout, M. K., & Mock, W. Y. (2001). Study of oat globulin conformation by Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3328-3334.
- Mäkinen, O. E., Ercili-Cura, D., Poutanen, K., Holopainen-Mantila, U., Lehtinen, P., & Sozer, N. (2024). Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition. In *Sustainable protein sources* (pp. 121-141). Academic Press.
- Moss, R., Barker, S., Falkeisen, A., Gorman, M., Knowles, S., & McSweeney, M. B. (2022). An investigation into consumer perception and attitudes towards plant-based alternatives to milk. *Food Research International*, 159, 111648.
- Öste, R., & Önning, G. (2000). Non dairy milk products from oats. *Just how miserable can the rust diseases make oats (and oat breeders)*, 10.
- Patra, T., Olsen, K., & Rinnan, Å. (2022). A multivariate perspective on the stability of

- oat-based drinks assessed by spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 131, 107831.
- Paul, A. A., Kumar, S., Kumar, V., & Sharma, R. (2020). Milk Analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(18), 3005-3023.
- Prates, L. L., & Yu, P. (2017). Detect unique molecular structure associated with physicochemical properties in CDC varieties of oat grain with unique nutrient traits [Feed Type vs. Milling Type] in comparison with barley grain using advanced molecular spectroscopy as a non-destructive biological tool. *Journal of Cereal Science*, 74, 37-45.
- Riofrío, A., & Baykara, H. (2022). Techno-environmental and life cycle assessment of 'oat-milk' production in Ecuador: A cradle-to-retail life cycle assessment. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(8), 4879-4886.
- Shukla, T. P., & Wells, G. H. (1975). Chemistry of oats: Protein foods and other industrial products. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 6(4), 383-431. <https://doi.org/10.1080/10408397509527196>
- Singh, P., Tomar, M., Singh, A. K., Yadav, V. K., Saini, R. P., Swami, S. R., ... & Singh, T. (2025). International Scenario of Oat Production and Its Potential Role in Sustainable Agriculture. In *Oat (Avena sativa)* (pp. 47-68). CRC Press.
- Sterna, V., Zute, S., & Brunava, L. (2016). Oat grain composition and its nutrition benefit. *Agriculture and agricultural science procedia*, 8, 252-256.
- Tang, Y., Li, S., Yan, J., Peng, Y., Weng, W., Yao, X., ... & Xu, B. (2023). Bioactive components and health functions of oat. *Food Reviews International*, 39(7), 4545-4564.
- Varma, Purvi M.Sc. R.D.1.; Bhanharia, Hitha M.Sc.CND, R.D.2; Bhatia, Shikha M.Sc. CND3. Oats: A multi-functional grain. *Journal of Clinical and Preventive Cardiology* 5(1):p 9-17, Jan-Mar 2016.
- Vashisht, P., Sharma, A., Awasti, N., Wason, S., Singh, L., Sharma, S., ... & Khattra, A. K. (2024). Comparative Review of Nutri-functional and Sensorial Properties, Health Benefits and Environmental Impact of Dairy (Bovine milk) and Plant-Based Milk (Soy, Almond, and Oat milk). *Food and Humanity*, 100301.
- Yu, Y., Li, X., Zhang, J., Li, X., Wang, J., & Sun, B. (2023). Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. *Food Chemistry: X*, 100859.

5. BÖLÜM

ELEKTRİK ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN KATKILI POLYESTER YALITKANLARIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİ

Seren ÇELİK

Istanbul Kültür University, Department of Electrical Engineering, Istanbul

seren.celik@iku.edu.tr

<https://orcid.org/0009-0001-0754-7434>

Assoc. Prof. Cengiz Polat UZUNOĞLU

Istanbul University-Cerrahpasa, Department of Electrical Engineering,

polat@iuc.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-4891-3963>

Prof. Dr. Mukden UĞUR

Turkish-German University, Department of Robotics and Intelligent

Systems, Istanbul, Türkiye

mugur@tau.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-3399-9346>

1.GİRİŞ

Çağın vazgeçilmezi hemen her sektörde karşılaşılan elektriksel yalıtım malzemelerin keşfi 19.yy a kadar uzanır ve bu tarihten itibaren insanların yaşamında elzem malzemeler arasına girerek geliştirilmeye devam etmiştir [1]. Günümüz dünyasında kullanılan yalıtkan polimerik malzemelerin çeşitli

organik yollarla elde edilmesi, daha dayanıklı olması ve uzun ömürlü olması çevre ve sürdürülebilirlik açısından önemlidir. 19. yüzyılda kullanılan elektriksel yalıtım malzemeleri doğal (organik) malzeme türevlerindedir [2-3]. 1930 lardan itibaren elektriksel yalıtım malzeme yelpazesi genişlemeye başlamış ve bugünlere gelindiğinde polimer kökenli malzemelerden de yalıtım malzemelerin sıklıkla tercih edildiği hemen her sektörde görülmektedir [1]. Elektriksel yalıtım malzemelerin elektrik endüstrisindeki adı ‘izolator’ olarak geçer [1]. Bu çalışmada da tercih edilen temel çalışma malzemesi olan polyester reçine, polimerik yalıtkan malzeme ailesinin üyesidir. Polimerik yalıtkan malzemelerin tarihi 1960’lara dayanır ve sahip olduğu üstün nitelikleriyle de bugünlere kadar gelmiştir [4]. Bu nitelikler arasında yalıtkanlık seviyesinin yüksek olması, işlevsel açıdan güçlü olması en başlarda yer alır [5]. Polimer ailesi kaynaklarda kauçuk, termoset ve termoplastik olarak genelde ele alınır [1-6-7-8]. Polyester reçine de termoset sınıfında yer alır [9]. Genel durumu itibarıyla termosetler sahip olduğu avantajlarla termoplastiklerden daha ön plandadır [9]. Bu çalışmada da polyester reçine ile çalışılmıştır. Polyester reçineye ilave edilecek katkı malzemeleri olarak silisyum karbür, alümina, bor oksit, borik asit ve boraks pentahidrat olarak belirlenmiştir. Katkı malzemelerinden bor türevli olanların boyut bilgisine ulaşmak için dijital mikroskoptan yararlanılmıştır. Çalışmanın önceki benzer (polyester reçineye katkı malzemesi ekleme) çalışmalardan farkı katkı malzemelerin nano boyutta olmaması ve özellikle de bor türevli katkılarının boyutlarının oldukça büyük olması yer alır. Çalışma kapsamında katkı malzemeleri polyester reçineye üç farklı yüzde oranı (%2, %1 ve %0.5) ile polyester reçineye ağırlığı oranında eklenerek alternatif akım analizi testinde çalışılmak üzere numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Numune üretiminin laboratuvar koşullarında, belli sayıda üretimi yapılacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Böylece yapılan testin doğruluğu gözetilmiştir. İlerleyen kısımlarda detaylıca ele alınan alternatif akım test düzeneği için saptanan alt ve üst frekans değerlerine göre belirlenen dielektriksel özellikler arasında empedans ölçümü, kayıp faktörü ve kapasite ölçümüne dair testler yapılmıştır. Dielektrik özellikler malzeme yapısını oluşturan, ifade eden kriterler arasında yer alır bu esnada endüstriyel alanda da malzemenin tercih edilmesinde etken nitelikler arasına girer. Alternatif akım analizi ölçümlerinde elde edilen bilgiler doğrultusunda numunelere ait Excel de grafikleri çizdirilerek durum değerlendirmesi yapılmıştır.

2.YÖNTEM

Polimerik yalıtım malzemeleri, kullanıldıkları sektörlerde en yüksek verimde olması hedefi ile tercih edilirler. Bu kapsamda konuyla ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaları destekler nitelikte polimerik yalıtım malzemelerini göreceli izlemek için ve erozyon direncini laboratuvar şartlarında kısmen daha hızlı incelemek için uluslararası kabul görmüş çeşitli testler de günümüzde yapılmaktadır [1]. Tüm bunların yanında kullanılan polimerik yalıtım malzemesinin yapısal özellikleri de verimi açısından önemli bir kriter olmuştur. Yapısal özelliklerin başında dielektrik nitelikleri gelir. Dielektrik özellikleri açısından güçlü bir polimerik yalıtkan malzeme sağlayacağı fayda açısından daha iyi seviyededir. Bu aşamada üretilen polimerik yalıtkan numuneler bu çalışmada alternatif akım analiz testi ile saf polyeester reçine örnekleri ve katkı malzemeleri sırasıyla; bor oksit, boraks pentahidrat, borik asit, silisyum karbür ve alümina olan polyeester reçine örnekleri için uygulanmıştır. Örnekler %2, %1 ve %0.5 katkılı olacak şekilde testler yapılmıştır.

2.1. Kullanılan Malzemeler

Alternatif akım analizi testinde test edilmek için üretilen polyeester reçine numune üretimlerinde polyeester reçineye beş farklı katkı malzemesi eklenmiştir. Bu katkı malzemeleri sırasıyla; alümina, silisyum karbür, borik asit, bor oksit ve boraks pentahidratır. Çalışma esnasında kullanılan tüm katkı malzemeleri yüzde 0.5, 1 ve 2 katkı oranında cam elyaf tipi polyeester reçineye eklenmiştir.

2.2. Örneklerin Hazırlanması

Bu çalışmada, AA (Alternatif Akım) analizi için örnek hazırlama süreci iki aşamada ele alınmıştır. Alternatif akım analizi testi için üretilen örneklerde polyeester ailesinden genel amaçlı cam elyaf takviyeli polyeester reçine tercih edilmiştir. Üretim esnasında kobalt ve MEKP (metil etil keton peroksit) malzemelerinin belli yüzdelik oranda malzemeye eklenir ve uygun sürede etüvde kalması sağlanır [1,10,11]. Test edilen tüm örnekler aynı kalıpta

üretilmiş olup çapı yaklaşık 28.9 mm ve yüksekliği yaklaşık 3mm'dir [14]. Bu değerlere göre her bir örneğin üretildiği silikon kalıbın hacmi yaklaşık 1.97 cm³ değerindedir. Bu çalışmada polyester miktarı kalıp silikonun hacmi ve polyester reçinenin yoğunluğu göz önüne alınarak uygun miktara karar verildikten sonra boş, temiz, darası alınmış karton bardağın içine genel amaçlı cam elyaf takviyeli polyester reçine eklenip biraz habbeciklerin dinmesi için beklenir. Hava kabarcığı üretim esnasında istenen bir durum değildir. Elektrik endüstrisinde hava kabarcığı malzemenin daha kolay yaşlanmasına sebep olan etken bir faktördür [15].

Üretim esnasında karıştırma aparatı olarak 3 ml kapasitedeki pastör pipet kullanılmıştır. Hava kabarcığı dinen polyester reçinenin üzerine hassas terazide tartılıp darası alındıktan sonra ağırlığının binde 2'si kadar kobalt (Co) eklenir [12]. Bu çalışmada kullanılan kobalt ve MEKP sıvı malzeme olduklarından polyester reçineye ilave etme kısmında 5cc'lik enjektör kullanılmıştır. Kobaltın buradaki görevi hem hızlandırıcı olması hem de polyestere renk vermesidir [12,15]. Numunelerin etüvden çıktıktan sonraki hali ile numunelerde renk değişimini gözlemlemek daha belirgin ve kolay hale gelir [15]. Üretimde kullanılan MEKP'in işlevi ise polyesteri sertleştirmektir [12].

Kobalt eklenip homojen görüntü elde etmede her zaman hava kabarcığı durumu göz önüne alınarak özellikle dikkat edilmesi gerektiğinin bilincinde olunmalıdır. Ardından karışımın darası alındıktan sonra polyester ağırlığının yüzde biri kadar MEKP karışıma eklenir tekrar dikkatli bir şekilde karıştırıldıktan sonra teste uygun üretilmiş kalıp silikona dökülür [12]. MEKP karışıma eklendikten sonra artık karışımın vizkozitesi artmaya başlayacağından bu durum karışımın kalıba döküleceği sürenin kısıtlı hal alması anlamına gelir. Kalıba önceden kalıbın çapında (çapı yaklaşık 2.89 cm olup) kesilen PET filmi yerleştirilmesi gerekir ardından kalıba dökülen karışımın üzerinin PET film ile örtülmesi gerekir.

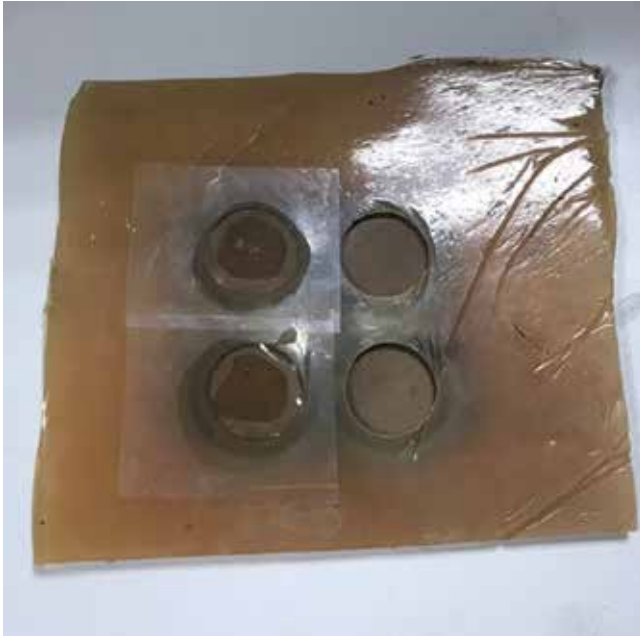
PET (polietilen tereftalat) filmin literatürdeki rolleri arasında üretilen numunelerin yüzeyinin pürüzsüz olmasını sağlaması ve yüzey oksidasyonun da önüne geçmesi şeklinde ifade edilmiştir [1,12]. Ayrıca PET film ile kapatılan bir numunenin hava ile temasının da kesilmiş olduğunun bilincinde olunmalıdır. Kalıp silikonda kürlenme için bekleme süresi de polyester reçine markasına bağlı olarak farklı olsa da bu çalışmada kullanılan polyester reçine için 24 saattir [12]. Kalıp silikondaki numunede kürlenme işlemi bu süre içinde süreklidir [15]. Üretilen polyester reçineli malzeme numunenin kimyasal açıdan çapraz bağ yaparak mukavemetini yükseltmek amacıyla PET filmlili haliyle etüve

yerleştirilir [15]. Bu çalışmada kullanılan numuneler etüvde 80°C de 5 saat kesintisiz bekletilmiştir [15].



Şekil 1: Çalışmada kullanılan MEKP ve Co (kobalt)

Şekil 1’de verilen MEKP ve Co 5 ml lik enjektörlerden faydalanılarak çalışmada kullanılmıştır. Şekil 2’de gösterilen kalıp silikonun içindeki iki numune katkısız(saf) polyester reçine üretimine aittir, 24 saat oda şartlarında kürlenmesi için bekletilmiştir.



Şekil 2: AA analizi testi için kullanılan kalıp silikon.

2.2.1. Katkılı Polyester Reçine Örnek Üretimi

Katkısız polyester üretimi ile katkılı polyester üretiminde aynı esaslar doğrultusunda üretimi yapılmaktadır. Alternatif akım analizi testi için üretilen tüm katkılı örneklerde katkısız (saf) polyester reçine üretiminden farklı katkı malzemesinin ve buna bağlı olarak üretim aşamasındaki sıralamanın değişmesidir. Daha önce katkısız polyester reçine üretiminde kullanılan tüm materyaller (enjektör, PET film, pastör pipet vs.) burada da aynı şekilde ve aynı işlemlerle tercih edilmiştir.

Uygun miktarda darası alınmış temiz kabın içine katkısız polyester reçine üretiminde tercih edilen aynı polyester reçine eklenildikten sonra tekrar darası alınıp olan genel amaçlı cam elyaf takviyeli polyester reçinenin ağırlığının belirlenen katkı malzemesinin yüzdelik oranında eklenip homojen görüntü elde edene kadar yavaş bir şekilde karıştırılır [12]. Ardından hassas terazide darası alınan karışımın polyester ağırlığının binde 2'si kadar kobalt (Co) eklenmelidir. Kobalt eklenip yeniden homojen görüntü elde ettikten sonra tekrar karışımın darası alınarak polyester ağırlığının yüzde biri kadar MEKP eklenir homojen görüntü elde edilene kadar karıştırıldıktan sonra kalıp silikona dökülür. Kalıp silikonda kürlenme için kalma süresi tıpkı katkısız üretimde olduğu gibi 24 saattir [12]. Örnekler etüvde 80°C de 5 saat kesintisiz bırakılır. Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te sırasıyla her bir katkı oranında beş katkı malzemesine ait numune örnekleri verilmiştir. Katkı malzemeleri sırasıyla soldan sağa boraks pentahidrat, alümina, borik asit, silisyum karbür ve bor oksittir. Şekil 3'te %0.5 katkı oranındaki numuneler gösterilmektedir.



Şekil 3: %0.5 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.

%1 katkı oranındaki numuneler Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: %1 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.
%2 katkı oranındaki numuneler Şekil 5' te verilmiştir.



Şekil 5: %2 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.

2.3. Alternatif Akım Analizi Test Düzeneği

Başarıyla üretilen tüm örnek polyester reçineler düzgün bir alan oluşturmak için eşit alandaki dairesel iki bakır levhanın arasına yerleştirilir. Bu çalışmada kullanılan dairesel bakır elektrotların çapı 2.89 cm değerindedir [14]. Bakır levhaların kalınlığı yaklaşık 3 mm değerindedir. Üretim kısmında örneklerin kalınlığı da 3 mm olmasına dikkat edilmiştir. Sonra deney setinin üzeri manyetik girişimleri kesmek için alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Testler GWINSTEK LCR-6300 marka LCR metre ile gerçekleştirilmiştir. Test için 10 Hz ile 300 kHz arasında on farklı frekans belirlenmiştir. Belirlenen bu frekans değerleriyle örneklerin farklı yüzde oranlarıyla kayıp faktörleri, empedansları ve kapasiteleri ölçülmüştür. Üretilen her bir örnek için testler en az 10 kere tekrar edilerek ortalama alınmıştır [15]. Şekil 6' da AA analizi için kullanılan test düzeneği verilmiştir.



Şekil 6: AA test düzeneği.

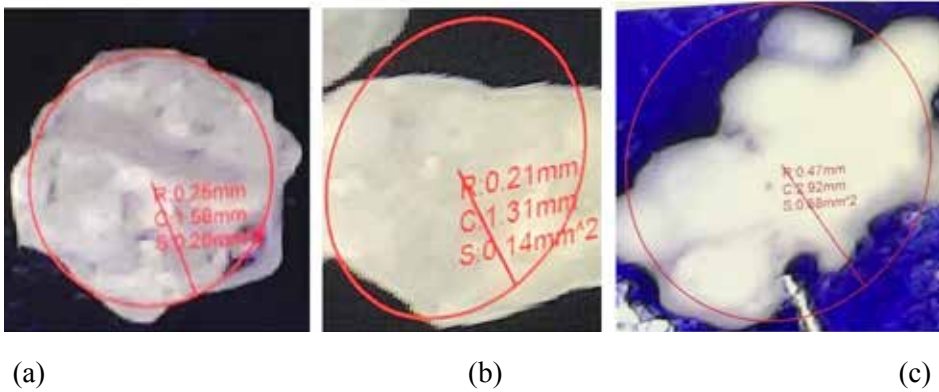
Şekil 7’ de AA analizi için bakır elektrotlar ve test örneği yapısı gösterilmiştir.



Şekil 7: AA analizi için test örneği yerleşimi.

3.BULGULAR

Bu bölümde incelenen test örneklerinin alternatif akım analizi testi sonuçları verilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerden borlu bileşiklere ait boyut bilgileri elde mevcut olmadığından dijital mikroskop yardımıyla boyutları ölçülmüştür. Şekil 8’de yarıçap ölçüm şekilleri verilmiştir. Ölçümlerde borik asitin ortalama yarıçap değerinin 0.26 mm, bor oksitin ortalama yarıçap değerinin 0.86 mm olduğu ve boraks pentahidratın ortalama yarıçap değerinin 0.70 mm olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlere göre en büyük boyuttaki borlu bileşiğin bor oksit olduğu görülmüştür [15].



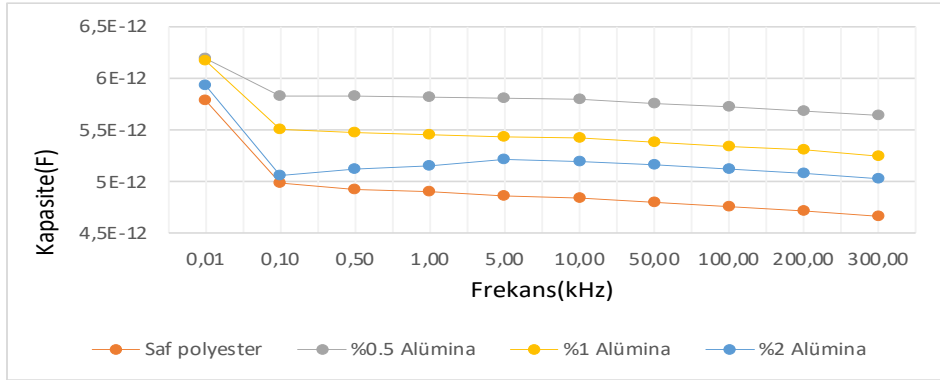
Şekil 8: Dijital mikroskopta yarıçap ölçümü (a) Boraks pentahidrata ait bir görsel (b) borik asite ait bir görsel (c) bor oksite ait bir görsel.

3.1. Alternatif Akım Analizi Testi Sonuçları

Bu çalışmada alternatif akım analizi testi neticesinde elde edilen bulguların EXCEL programında grafikleri oluşturulmuştur. Test edilen numunelere ait dielektrik özellikler arasında kapasite, kayıp faktörü ve empedans yer alır [15].

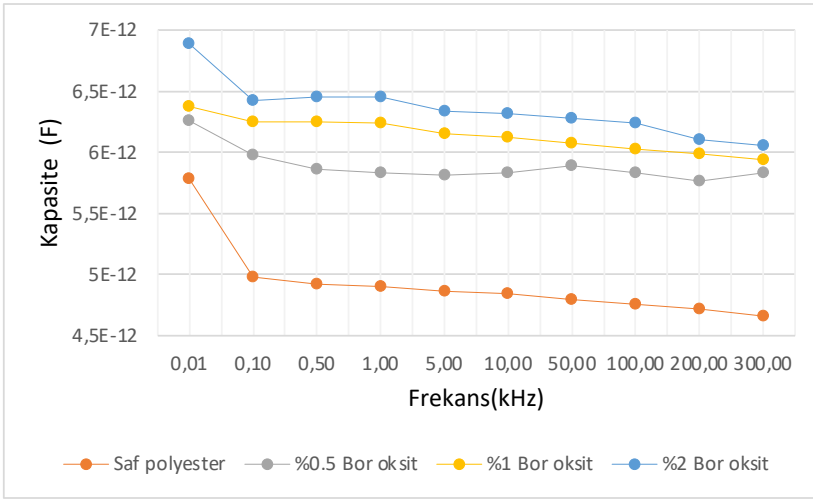
3.2 Kapasite Ölçümü

Katkısız(saf) polyester reçine numunesi ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki alümina katkılı polyester numunelerinin grafiği Şekil 9’ da gösterilmiştir.



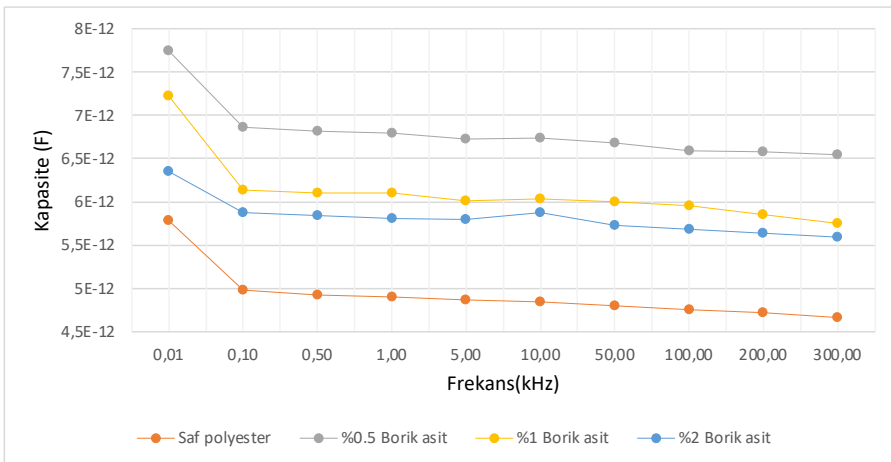
Şekil 9: Alüminalı örneklerde kapasite sonuçları.

Alümina katkılı polyester numunelerde katkı oranı ile kapasite değeri arasında ters orantı olduğu gözlemlenmiştir. Kapasite değerlerinin katkı oranı fark etmeksizin en yüksek değeri aldığı frekans değeri 0.01 kHz olmakla birlikte %0.5 katkı oranındaki alüminalı polyester numunesinde ortalama $6,2 \times 10^{-12}$ F değerinde olduğu deney sonucunda ortaya çıkmıştır [15]. Katkısız(saf) polyester reçine numunesi ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki bor oksit katkılı polyester numunelerinin grafiği Şekil 10’ da verilmiştir.



Şekil 10: Bor oksitli örneklerde kapasite sonuçları.

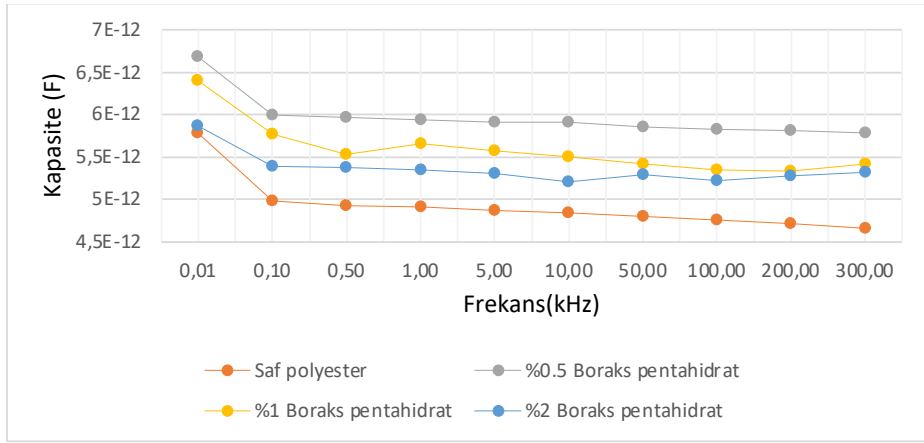
Bor oksit katkılı polyester reçine numunelerinde katkı oranı ile kapasite değerinin orantılı olduğu görülmüştür. Kapasite değerlerinin katkı oranı fark etmeksizin en yüksek değeri aldığı frekans değeri 0.01 kHz olmakla birlikte %0.5 katkı oranındaki bor oksit katkılı polyester numunesinde ortalama $6,89 \times 10^{-12}$ F değerinde olduğu deney sonucunda ortaya çıkmıştır [15]. Katkısız(saf) polyester reçine numunesi ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki borik asit katkılı polyester numunelerinin grafiği Şekil 11’ de gösterilmiştir.



Şekil 11: Borik asitli örneklerde kapasite sonuçları.

Borik asit katkılı polyester reçine numunelerinde katkı oranı ile kapasite değerinin ters orantılı olduğu çıkarımı yapılır. Kapasite değerlerinin katkı oranı fark etmeksizin en yüksek değeri aldığı frekans değeri 0.01 kHz olmakla birlikte %0.5 katkı oranındaki borik asit katkılı polyester numunesinde ortalama 7.75×10^{-12} F değerinde olduğu deney sonucunda ortaya çıkmıştır [15].

Katkısız(saf) polyester reçine numunesi ile kapasite değerleri farklı yüzdelerdeki boraks pentahidrat katkılı polyester numunelerinin karşılaştırılması ile elde edilen grafik Şekil 12’ de gösterilmiştir.

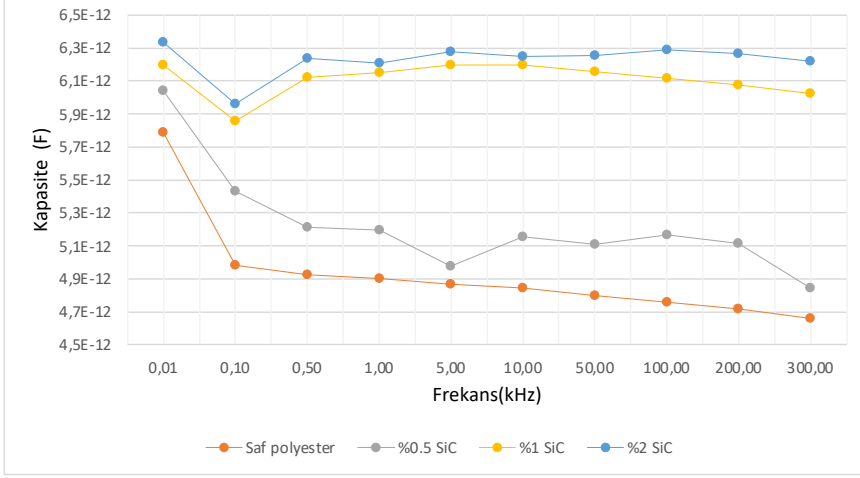


Şekil 12: Boraks pentahidratlı örneklerde kapasite sonuçları.

Boraks pentahidrat katkılı polyester numunelerde katkı oranı ile kapasite değeri arasında ters orantı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. En yüksek kapasite değerini 0.01 kHz frekans değerinde olduğu tüm numunelerde ortaya çıkmıştır. 0.01 kHz de en yüksek kapasite değerini alan örnek %0.5 katkılı boraks pentahidrat olduğu kapasite değerinin de ortalama $6,69 \times 10^{-12}$ F ölçümler neticesinde kaydedilmiştir [15]. Katkısız(saf) polyester reçine numunesi ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki silisyum karbür katkılı polyester numunelerinin grafiği Şekil 13’ de verilmiştir.

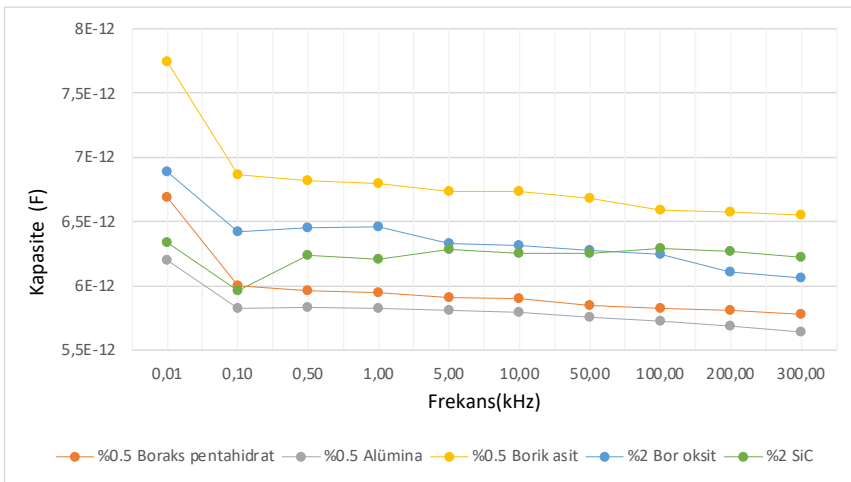
Silisyum karbür katkılı polyester numunelerinde katkı oranı ile kapasite değeri arasında orantılı olduğu gözlemlenmiştir. %2 ve %0.5 katkı oranlarındaki silisyum karbürü örnekler en yüksek kapasite değerini 0.01 kHz frekans değerinde aldığı görülmüştür. %1 katkı oranında ise 0.01 kHz, 5 kHz ve 10 kHz frekans değerinde ortalama aynı kapasite değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Silisyum karbür katkılı polyester örneklerinde en yüksek kapasite değeri %2

katkı oranında iken ve ölçümler neticesinde elde edilen bu değerlerin ortalama 6.34×10^{-12} F büyüklüğünde olduğu ortaya çıkmıştır [15].



Şekil 13: Silisyum karbürlü örneklerde kapasite sonuçları.

Katkı malzemeleriyle üretilen numunelerin grafikleri değerlendirilirken her katkı malzemesinde en yüksek kapasite değerinin elde edildiği katkı oranları ve o katkı oranına ait katkı türleri kendi içinde karşılaştırılmış elde edilen grafik Şekil 14’ de gösterilmiştir. Tüm katkı türlerinde ve katkı oranları içinde en yüksek kapasite değerine sahip numune %0.5 katkı oranındaki borik asit katkılı numuneye ait olduğu sonucu ortaya çıkmıştır [15].

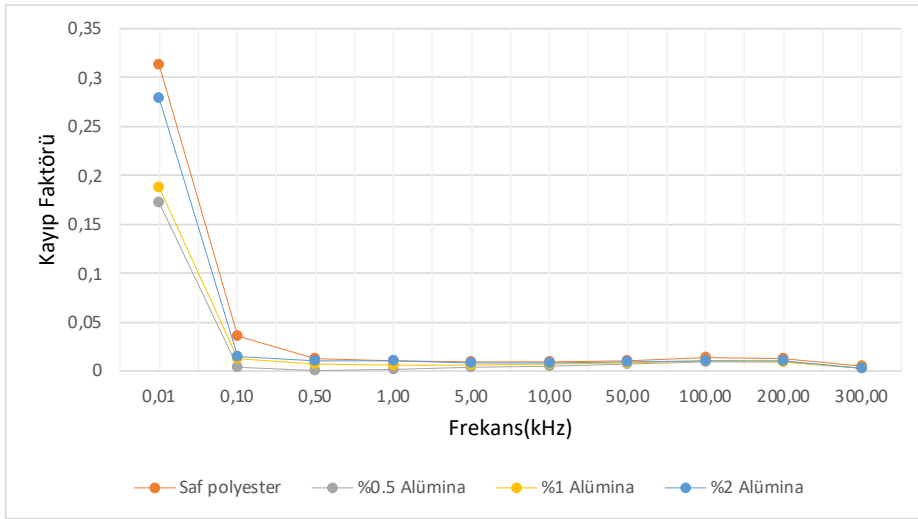


Şekil 14: Tüm numuneler arasında en yüksek kapasite değeri sonuçları.

Genel itibariyle katkı çeşitlerinin tamamında frekans ile kapasite değerinin ters orantılı olduğu çıkarımı yapılır. Test analizi neticesinde elde edilen bulgular katkı oranı fark etmeksizin kapasite değerinin tüm katkı çeşitlerinde katkısız(saf) polyester numunesinden daha yüksek kapasiteye sahip olduğu sonucunu çıkarır [15].

3.3 Kayıp Faktörü Ölçümü

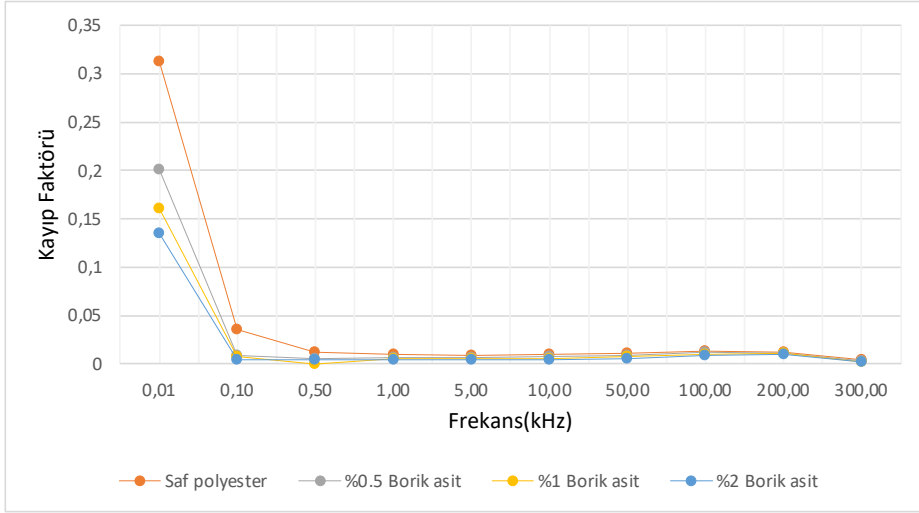
Kayıp faktörü kapasitif bir örnek için eşdeğer devrede rezistif etki ile kapasitif etkinin oranının sayısal açıdan bir ifadesidir. Bu çalışma başta olmak üzere yalıtım materyallerinde bu değer büyük olması malzemenin daha kolay yaşlanması ile ifade edilir yani beklenen bir durum değildir [15]. Katkısız(saf) polyester reçine örneği ile kayıp faktörleri kıyaslanan farklı yüzde oranlarındaki alümina katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 15’ te gösterilmiştir.



Şekil 15: Alüminalı örneklerde kayıp faktörü sonuçları.

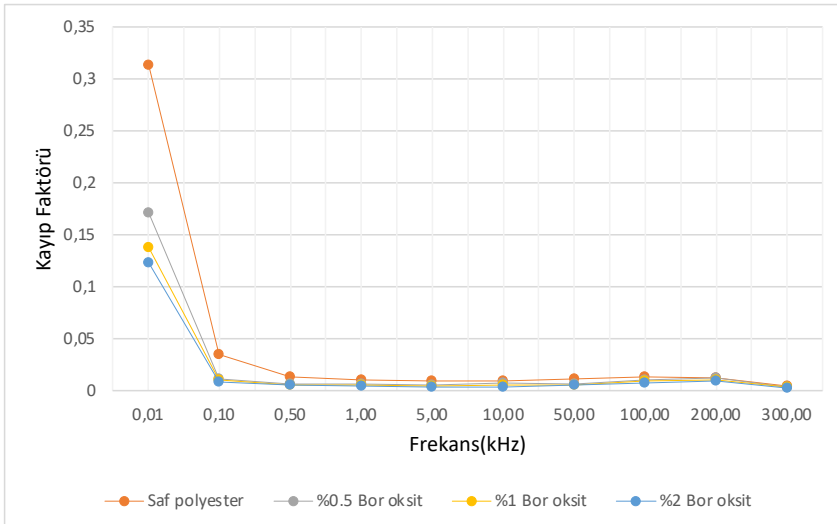
Kayıp faktörünün büyük değerinde olmasının yalıtım malzemelerinde istenilmeyen bir durum olduğu göz önüne alındığında alümina katkılı örneklerde bu kapsamda en iyi katkı oranının %0.5’te elde edildiği gözlemlenir. Genel durumu ele alındığında alümina katkılı örneklerde kayıp faktörü katkısız polyester numunesinden daha küçüktür. Tüm bunların yanında katkı oranı ile kayıp faktörünün orantılı olduğu gözlemlenir; alümina katkı yüzdesi azaldıkça kayıp

faktörünün de küçüldüğü görülür. Alüminalı numunelerde kayıp faktörünün en üst mertebede olduğu frekans değeri 0.01 kHz' dir [15]. Katkısız(saf) polyester reçine örneği ile kayıp faktörleri kıyaslanan farklı yüzde oranlarındaki borik asit katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 16' da gösterilmiştir.



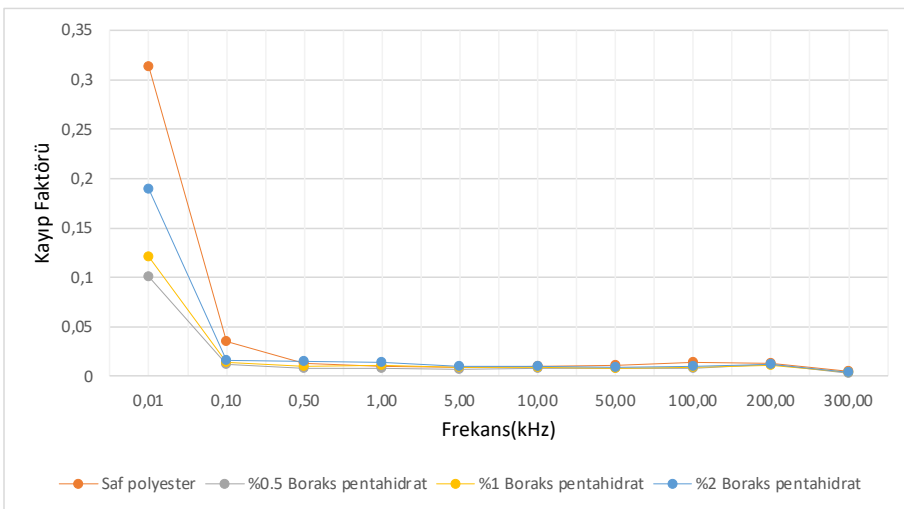
Şekil 16: Borik asitli örneklerde kayıp faktörü sonuçları.

Genel itibariyle borik asit katkılı örneklerin kayıp faktör değeri katkısız polyester numunesinin altında kalmıştır. Bunun yanı sıra katkı oranı ile de kayıp faktörünün ters orantılı olduğu görülür. Frekans değeri 0.01 kHz iken borik asit katkılı örneklerde kayıp faktörü maksimum seviyede olduğu görülmüştür [15]. Katkısız(saf) polyester reçine örneği ile kayıp faktörleri kıyaslanan farklı yüzde oranlarındaki bor oksit katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 17' de gösterilmiştir.



Şekil 17: Bor oksitli örneklerde kayıp faktörü sonuçları.

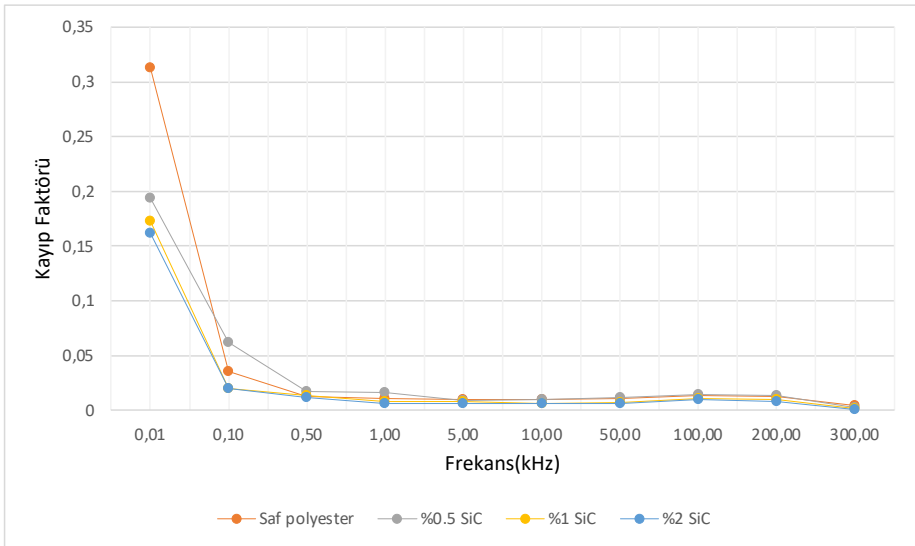
Genel durumu göz önüne alındığında bor oksit katkılı örneklerin kayıp faktörü değeri katkısız polyester örneğinden daha düşük seviyededir. Bor oksitli örneklerde katkı oranı ile kayıp faktörü değeri arasında ters orantı söz konusudur; bu durumda kayıp faktörünün maksimum değerini aldığı frekans değeri 0.01 kHz' dir [15]. Katkısız(saf) polyester reçine örneği ile kayıp faktörleri kıyaslanan farklı yüzde oranlarındaki boraks pentahidrat katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 18' de gösterilmiştir.



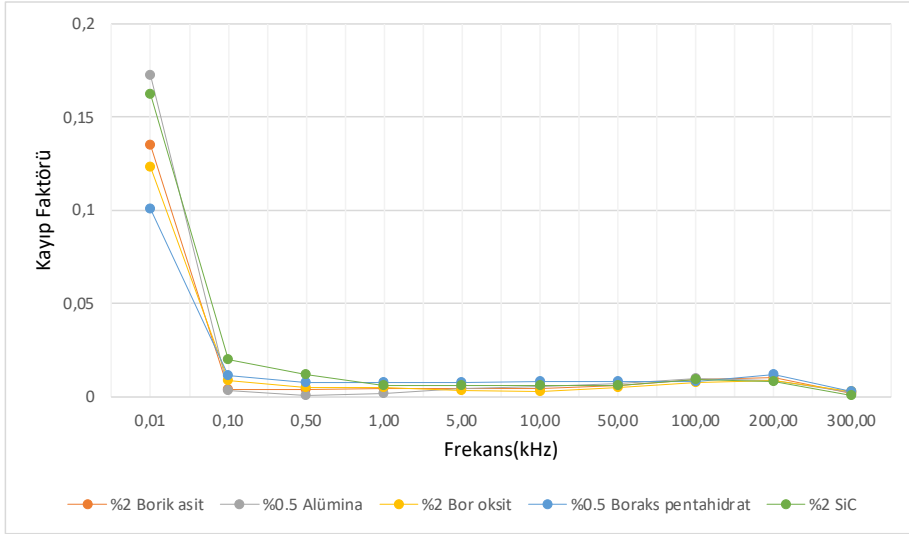
Şekil 18: Boraks pentahidratlı örneklerde kayıp faktörü sonuçları.

Boraks pentahidrat katkılı örneklerde çoğunlukla kayıp faktör değerleri saf polyester numunesinden daha azdır. Bunun yanında katkı oranı yüzdesi ile kayıp faktör değeri orantılıdır. Boraks pentahidrat katkılı örneklerde kayıp faktör değeri maksimum değerini 0.01 kHz de almıştır [15].

Katkısız(saf) polyester reçine örneği ile kayıp faktörleri kıyaslanan farklı yüzde oranlarındaki silisyum karbür katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 19' da gösterilmiştir. Çoğunlukla silisyum karbür katkılı örneklerin kayıp faktör değerleri saf polyesterinkinden daha küçüktür. Silisyum karbür katkılı örneklerde katkı oranı yüzdesi ile kayıp faktörü ters orantılıdır. Silisyum karbür katkılı numunelerde kayıp faktörü maksimum değerini 0.01 kHz de almıştır [15]. Numunelerin tamamı katkı oranları açısından kendi içinde kıyaslandıktan sonra her katkı türünde en düşük kayıp faktörünü veren numuneler karşılaştırılarak oluşan grafik Şekil 20' de gösterilmiştir.



Şekil 19: Silisyum karbürü örneklerde kayıp faktörü sonuçları.

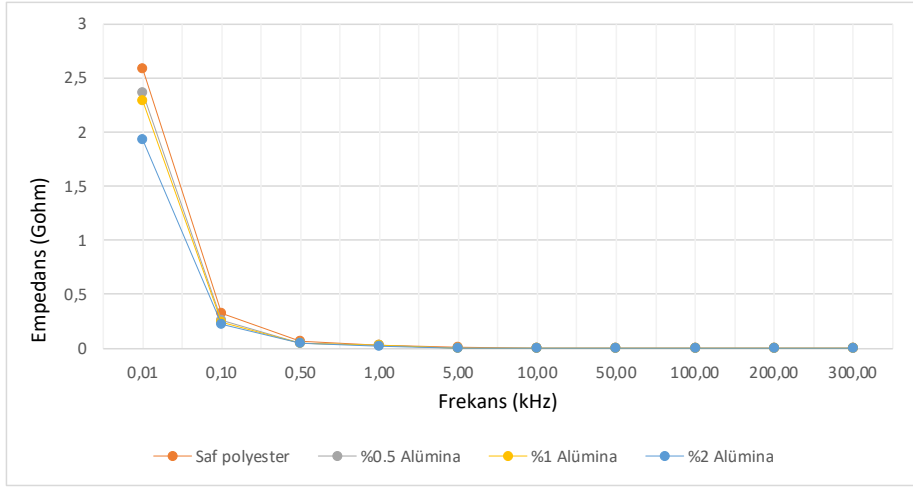


Şekil 20: Tüm numunelerde en düşük kayıp faktörü değerinin karşılaştırması.

Şekil 20’ de incelenen numunelerde kayıp faktörü maksimum değerini 0.01 kHz de almıştır ve bu değerde iken %0.5 katkı oranındaki alüminalı numune maksimum iken %0.5 katkı oranındaki boraks pentahidrat minimum kayıp faktörüne sahip olduğu görülür [15].

3.4.Empedans Ölçümü

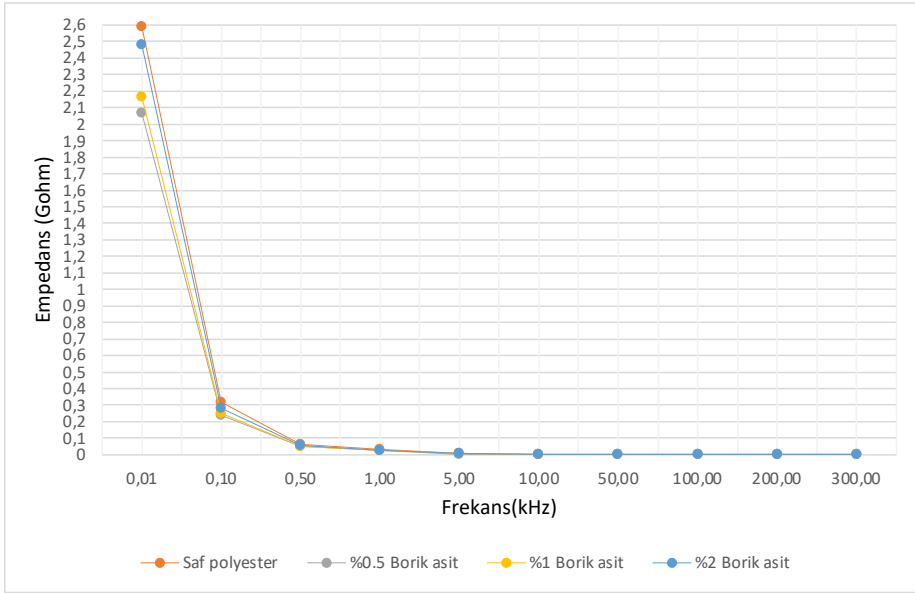
Alternatif akımda empedans değeri kapasitif ve rezistif etkilerin tamamını ifade eden bir niceliktir. Değerlendirilen örneklerde kapasitif özelliklerin frekansın değişmesinden etkilendiğini göstermektedir. Empedans ölçümü aşamasında tüm katkı türlerinde elde edilen empedans değerleri giga ohm seviyesindedir [15]. Empedans ölçüm değerleri saf polyester ile kıyaslanan alüminalı numunelerden oluşan grafik Şekil 21’ de gösterilmiştir.



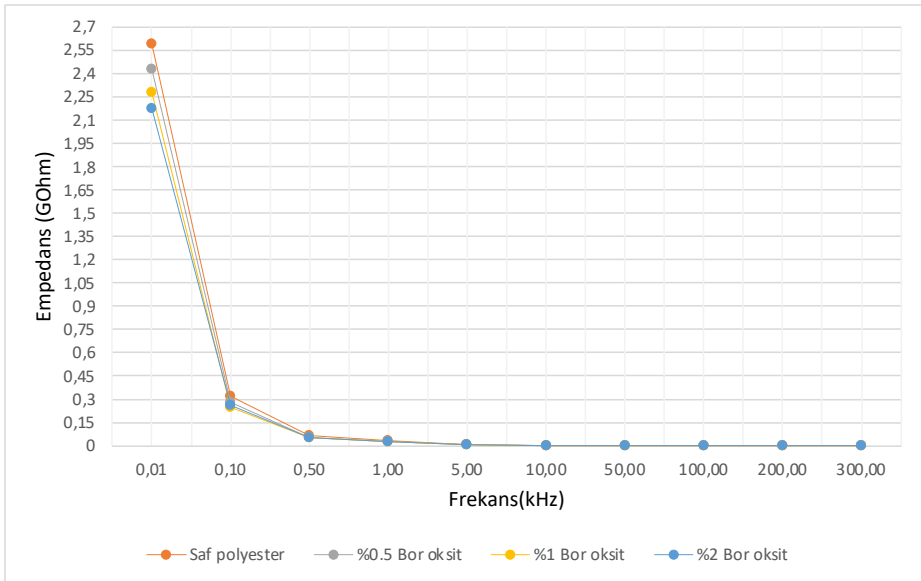
Şekil 21: Alüminalı örneklerde empedans değerleri.

Alümina katkılı örneklerin empedans değerleri saf polyesterden küçüktür. Katkı oranlarının tamamı göz önüne alındığında alüminalı örnekler empedans değeri açısından maksimum değerini 0.01 kHz de almıştır. Alümina katkılı örneklerde katkı oranı ile empedans değeri arasında ters orantı vardır [15].

Empedans ölçüm değerleri saf polyester ile kıyaslanan borik asitli numunelerden oluşan grafik Şekil 22’ de gösterilmiştir. Çoğunlukla borik asit katkılı örneklerde empedans değerleri saf polyesterden küçüktür. Katkı oranlarının tamamı göz önüne alındığında borik asit katkılı örneklerde empedans değerinin maksimum olduğu frekansın değeri 0.01 kHz’ dir. Borik asit katkılı örneklerde katkı oranı yüzdesi ile empedans değeri orantılıdır [15]. Empedans ölçüm değerleri saf polyester ile kıyaslanan bor oksitli numunelerden oluşan grafik Şekil 23’ de gösterilmiştir.

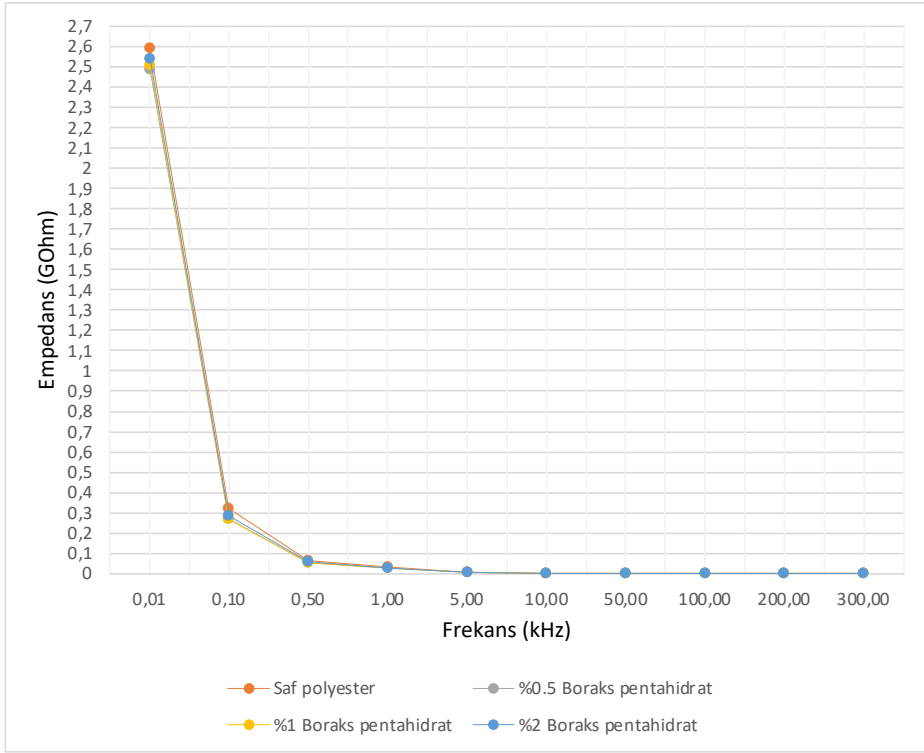


Şekil 22: Borik asitli örneklerde empedans değerleri.



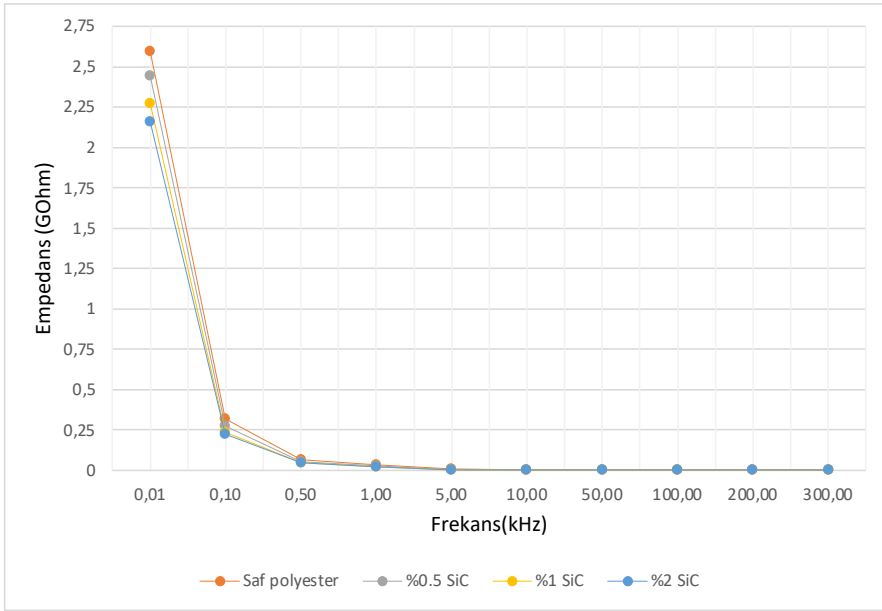
Şekil 23: Bor oksitli örneklerde empedans değerleri.

Çoğunlukla bor oksit katkılı örneklerde empedans değerleri saf polysterden küçüktür. Katkı oranlarının tamamında bor oksit katkılı örneklerde tüm katkı oranlarının maksimum empedans değerini 0.01 kHz de aldığı görülür. Bor oksit katkılı örneklerde katkı oranı yüzdesi ile empedans değeri ters orantılıdır [15]. Empedans ölçüm değerleri saf polyster ile kıyaslanan boraks pentahidratlı numunelerden oluşan grafik Şekil 24' de gösterilmiştir.



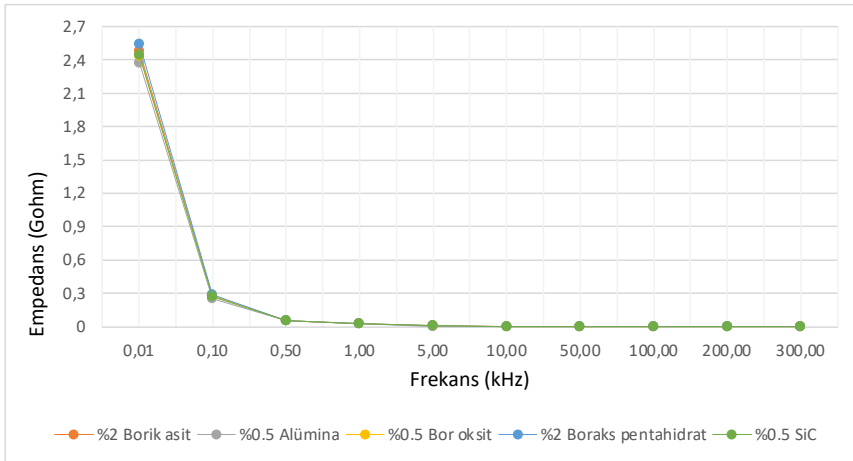
Şekil 24: Boraks pentahidratlı örneklerde empedans değerleri.

Çoğunlukla boraks pentahidrat katkılı örneklerin empedans değerleri saf polysterden küçüktür. Katkı oranlarının tamamının en büyük empedans değerini aldığı frekansın değeri 0.01 kHz dir. Boraks pentahidrat katkılı örneklerde katkı oranı yüzdesi ile empedans değeri orantılıdır. Bunun yanı sıra boraks pentahidratlı örneklerden genel olarak katkı oranlarının tamamından elde edilen değerler birbirine çok yakındır [15]. Empedans ölçüm değerleri saf polyster ile kıyaslanan silisyum karbürlü numunelerden oluşan grafik Şekil 25' te gösterilmiştir.



Şekil 25: Silisyum karbürlü örneklerde empedans değerleri.

Silisyum karbür katkılı örneklerin empedans değerleri çoğunlukla saf polyesterden küçüktür. Silisyum karbür katkılı örneklerde katkı oranlarının tamamında en büyük empedans değerini aldığı frekansın değeri 0.01 kHz dir. Silisyum karbür katkılı örneklerde katkı oranı yüzdesi ile empedans değeri ters orantılıdır [15].



Şekil 26: Tüm numunelerin en yüksek empedans değerleri karşılaştırılması.

Kendi içlerinde yüzdesel oranlamada en büyük empedans değerinde çıkan numunelerde karşılaştırılarak Şekil 26' daki grafik elde edilmiştir. Bu çalışmada empedans değeri en büyük değerde çıkan numune %2 katkı oranındaki boraks pentahidrat katkılı polyester numunesi olmuştur. Bununla birlikte empedansın maksimum değeri aldığı frekans değeri tüm numunelerde katkı oranı belirtilemeksizin 0.01 kHz dir [15].

SONUÇ

Polyester reçinelerin elektrik endüstrisinde artan kullanım alanı ve malzeme ömürlerinin artırılmasına yönelik çalışmaların artması nedeniyle bu çalışma yapılmıştır. Polyester reçinenin içine katkı malzemesi eklenmesi en sık rastlanan iyileştirme çalışmaları arasında yer alır. Bu çalışmada da farklı katkı maddeleri ve oranları belirlenerek polyester reçineye eklenmiş ve yapısal özelliklerine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın amacı katkı türü ve katkı oranı parametreleri göz önüne alınarak üretilen numuneleri karşılaştırmak olduğundan üç adet katkı oranı belirlenmiştir. Bu katkı oranları sırasıyla %2, %1 ve %0.5 tir. Bu çalışmada tercih edilen katkı malzemeleri beş adettir. Bunlar alümina, silisyum karbür, borik asit, bor oksit ve boraks pentahidrattır. Bu çalışmada kullanılan katkı malzemeleri belirlenirken belli kriterler hedef seçilmiştir. Bunlar arasında saflık yüzdesinin yüksek olmasına, günlük hayatta kullanımı yaygın, erişimi kolay, elektrik ve elektronik sektöründe önemli malzemeler olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca bu malzemelerin ömür değerine etki ederek sürdürülebilirliğe katkı sunması beklenmektedir. Literatürde genelde polyester reçine üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan taneciklerin nano boyutta olduğu görülmüş bu çalışmada farklı olarak kullanılan katkı malzemelerinin tanecik boyutları yüksek tutulmuştur. Yapılan testler neticesinde polyester reçineye eklenen katkı malzemesinin dielektrik özelliklerinin testlerdeki başarı kriterlerinde etkili olduğu göstermiştir. Bu çalışmada numunelerin önceden belirlenen dielektrik nitelikleri hakkında detaylı bilgi sahibi olmak için alternatif akım analizi testi gerçekleştirilmiştir. Örnekler test düzeneğinde sağlıklı ve güvenilir neticeler elde etme amacıyla işlemler tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır. Test sonucunu belirleyici kriterler arasında katkı malzemesinin tanecik boyutu, saflık yüzdesi, yoğunluğu ve üretim koşulları yer alır. Tanecik boyutu oldukça büyük borlu

bileşikleri (700 μ m, 860 μ m ϕ) katkı malzemesinin boyutunu ölçmek için dijital mikroskop kullanılmıştır.

Çalışmada alternatif akım analiz testi ile üretilen numunelere ait kapasite değeri, kayıp faktörü ve empedans değeri ölçülmüştür. Kapasite ölçümü neticesinde ölçümlerin piko Farad mertebesinde olduğu görülmüştür. Bu çalışmada en yüksek kapasiteye sahip malzemenin % 0.5 borik asit katkılı örneğe ait olduğu ve ayrıca tüm numunelerde frekans değeri arttıkça elde edilen kapasite değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda kayıp faktörünün en yüksek çıktığı frekans değerinin 0.01 kHz olduğu ve ayrıca kayıp faktörü açısından en düşük kayıp faktörüne sahip olan numunenin %0.5 katkı oranındaki boraks pentahidrat katkılı örneklerde olduğu gözlemlenmiştir. AA analizi testinin son çalışması olarak empedans değerleri incelenmiş ve tüm numunelerde beklendiği gibi Giga ohm mertebesinde empedans değerleri elde edilmiştir. Tüm numunelerde empedans değerinin en büyük olduğu frekans değeri 0.01 kHz olduğu tespit edilmiş ve ayrıca boraks pentahidratta katkı oranları değişse de elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu çalışmada üretilen numunelerden empedans değeri en büyük numune %2 katkı oranındaki boraks pentahidratlı polyester reçine olmuştur. Genel olarak alternatif akım analizi testi neticesinde ölçülen kapasite, kayıp faktörü ve empedans değerinin en büyük olduğu frekans değerinin 0.01 kHz olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan katkılarla yalıtkanların dielektrik özelliklerinin iyileştiği, bu nedenle kayıpların azaldığı ve malzemelerin daha az elektriksel strese maruz kaldığı görülmüştür. Bu açılardan katkılı yalıtkanların elektrik endüstrisinde kullanılması çevre açısından daha verimli olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1]. Uğur, M., 1997, Modelling and analysis of surface tracking phenomena of solid insulating materials, Thesis (PhD), University of Manchester.
- [2]. Kuffel, E. and Zaengl, W. S., 1992, High Voltage Engineering, 1 st ed. Pergamon Press, Oxford.
- [3]. Sheppard, H. R., 1986, A Century of Progress in Electrical Insulation 1886-1986, in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 5(2), 20-30.
- [4]. Stocks, S., 1996, Synopsis-standardisation of test procedures for non-ceramic insulation, *IEE Colloquium on Review of Outdoor Insulation Materials*, 7/1-

7/3.

- [5]. Houlgate, R., 1996, Outdoor testing of nonceramic insulators, *IEE Colloquium on Review of Outdoor Insulation Materials*, 5/1-5/4.
- [6]. Dissado, L. A. and Fortherrgill, J. C., 1992, *Electrical Degradation and Breakdown in polymers*, Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, ISBN: 0 86341 196 7.
- [7]. Gallagher, T. J. and Pearmain, A. J., 1984, *High Voltage*, 1 st ed. John Wiley & Sons Ltd., ISBN: 0 471 90096 6.
- [8]. Cooper, J., M., 1993, *Factors affecting the assessment of electrical treeing in synthetic resins*, Thesis (PhD), University of Manchester.
- [9]. İlhan, R. ve Feyzullahoğlu, E., 2019, Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaf lar ve Dolgu Maddeleri, *EI-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2), 355-381.
- [10]. Uzunoğlu, C., P., 2005, *Polimerik Yalıtkanlardaki Kaotik Yüzeysel Aşımınların Brown Hareketi İle Modellenmesi*, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11]. Ersoy, A., 2007, *Elektriksel Yalıtım Sistemlerinde Kullanılan Polimerik izolatörlere Bor Katkısı ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Tez (Doktora), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12]. Nişancı, S., 2021, *Katkı Maddelerinin Polyesterin Elektriksel Özelliklerine Etkisi*, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [13]. IEC 60587, 2007, *Electrical Insulating Materials Used Under Severe Ambient Conditions – Test Methods For Evaluating Resistance To Tracking And Erosion*.
- [14]. Uzunoğlu, C. P. ve Çaylı, G., 2023, *Electrical Properties Of Bio-Based Polyurethanes Derived From Oleic Acid*, *Electrical Engineering*, 105(6), 1-13.
- [15]. Çelik, S., 2024, *Katkı Malzemelerinin Polyester Yalıtkanlardaki Elektriksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi*, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

6. BÖLÜM

ATIK YÖNETİMİNDE DERİN ÖĞRENME: EVRİŞİMLİ SİNİR AĞLARI KULLANARAK OTOMATİK ATIK SINIFLANDIRMA

Doç. Dr. Abdurrahim AKGÜNDOĞDU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği,

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

akgundogdu@iuc.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0001-8113-0277>

GİRİŞ

Atık yönetimi ve geri dönüşüm, günümüzün en kritik çevresel sorunlarından biridir. Dünya Bankası'nın tahminlerine göre, yıllık küresel atık üretiminin 2050 yılına kadar %70 artarak 3.40 milyar tona ulaşması beklenmektedir (Kaza, Yao, Bhada-Tata & Van Woerden, 2018). Bu durum, sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Atıkların doğru bir şekilde sınıflandırılması ve ayrıştırılması, etkili bir geri dönüşüm sürecinin temelini oluşturur. Ancak, manuel atık sınıflandırma yöntemleri zaman alıcı, maliyetli ve insan hatalarına oldukça açıktır.

Bu kitap bölümü, atık yönetimi ve geri dönüşüm süreçlerinin iyileştirilmesi amacıyla derin öğrenme tekniklerinin kullanılabilirliğini incelemektedir. Özellikle, Evrişimli Sinir Ağları (CNN) kullanılarak geliştirilen otomatik atık sınıflandırma sistemlerinin potansiyelini araştırmaktadır.

Derin öğrenme, son yıllarda görüntü sınıflandırma, nesne tespiti ve bölütleme (segmentasyon) gibi çeşitli alanlarda etkileyici sonuçlar göstermiştir (LeCun,

Bengio & Hinton, 2015). Bu teknolojinin atık sınıflandırma alanına uygulanması, daha verimli ve doğru bir atık yönetimi sisteminin oluşturulmasına katkıda bulunabilecektir.

Çalışmamız, farklı atık türlerini (cam, kâğıt, metal, plastik, çöp ve karton) otomatik olarak sınıflandırabilen bir CNN modeli geliştirmeyi ve test etmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, sınırlı veri setleriyle bile yüksek performanslı modeller oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

Çalışmanın sonuçları, derin öğrenme tabanlı otomatik atık sınıflandırma sistemlerinin, sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir. Bu sistemler, atık ayrıştırma süreçlerini hızlandırabilir, doğruluğu artırabilir ve insan kaynaklı hataları azaltabilir. Böylece, geri dönüşüm oranlarının artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması mümkün olabilecektir.

Bu çalışmanın yapısı şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde kapsamlı bir literatür taraması sunulmakta, üçüncü bölümde kullanılan yöntemler ve CNN modeli detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde deneysel bulgular, beşinci bölümde ise sonuçlar ve tartışma ile gelecekteki potansiyel çalışma alanları ele alınmaktadır.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Atık sınıflandırma ve yönetimi alanında derin öğrenme tekniklerinin kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır. Bu bölümde, konuyla ilgili önemli çalışmalar ve son gelişmeler incelenmiştir.

Yang ve Thung (2016), atık sınıflandırma için destek vektör makineleri (SVM) ve CNN'leri karşılaştıran öncü çalışmalardan birini gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar, CNN'lerin SVM'lere kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir. Bu çalışma, derin öğrenme tekniklerinin atık sınıflandırma alanındaki potansiyelini ortaya koymuştur.

Aral ve ark. (2018), atık sınıflandırma için transfer öğrenme yaklaşımını kullanan ilk çalışmalardan birini sunmuştur. Araştırmacılar, Densenet121, DenseNet169, InceptionResnetV2, MobileNet ve Xception modellerini kullanarak yüksek doğruluk oranları elde etmiştir. Bu çalışma, transfer öğrenmenin atık sınıflandırma alanındaki etkinliğini göstermiştir.

Birçok araştırmacı, farklı CNN mimarilerinin atık sınıflandırma performansını karşılaştırmıştır. Örneğin, Adedeji, ve ark. (2020), ResNet50 ve CNN ile SVM modellerini beraber kullanmış %87 başarı elde etmiştir.

Atık sınıflandırmanın ötesinde, bazı araştırmacılar nesne tespit algoritmalarını kullanarak karışık atıkların ayrıştırılması üzerine çalışmalar yapmıştır. Örneğin, Chu ve ark. (2018), Faster R-CNN kullanarak karışık atıkları tespit eden ve sınıflandıran bir sistem geliştirmiştir. Bu tür sistemler, otomatik atık ayrıştırma tesislerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilmektedir.

Son yıllarda, daha büyük ve çeşitli atık görüntü veri setlerinin oluşturulması da önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Örneğin, Ruiz ve ark. (2019), 2500'den fazla görüntü içeren TrashNet adlı bir veri seti yayınlamıştır. Bu tür veri setleri, daha güvenilir ve genellenebilir modellerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Bununla birlikte, atık sınıflandırma alanında hala bazı zorluklar bulunmaktadır. Örneğin, gerçek dünya koşullarında karşılaşılan kirli, deforme olmuş veya kısmen gizlenmiş atıkların sınıflandırılması hala zorlu bir görevdir. Ayrıca, modellerin farklı ışık koşulları ve arka planlar altında sağlam bir şekilde çalışması gerekmektedir (Bobulski & Kubanek, 2021).

Song ve arkadaşları, belediye atıklarının otomatik sınıflandırılması için DSCR-Net adını verdikleri yeni bir algoritma önermiştir. Shanghai Belediyesi Evsel Atık Yönetim Yönetmeliklerine dayalı ilk açık kaynak veri setini oluşturup, bu veri seti üzerinde %94.38 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Ayrıca, Inception-V4 ve ResNet ağlarından ilham alarak yeni algoritmalarını optimize etmişlerdir.

Bircanoğlu ve ark. (2018) atık yönetimi ve geri dönüşümde insan gücü yerine akıllı sistemlerin kullanılmasının önemini vurgulayarak, derin konvolüsyonel sinir ağı mimarileri üzerinde çalışmalar yapmıştır. Deneyleri, Inception-ResNet ve Inception-v4 %90, DenseNet121 ise transfer öğreniminde %95 test doğruluğu ile en iyi sonuçları vermiştir.

Bu literatür taraması, atık sınıflandırma alanında derin öğrenme tekniklerinin kullanımının hızla geliştiğini ve gelecek vaat ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, daha etkili ve güvenilir sistemlerin geliştirilmesi için daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM:

Bu çalışmada, TrashNet veri seti kullanılmıştır (Yang and Thung, 2016). Kullanılan veri seti, altı farklı atık kategorisine ait toplam 2527 görüntüden oluşmaktadır. Bu kategoriler cam, kağıt, metal, plastik, karton ve çöp olarak belirlenmiştir. Görüntüler, eğitim, doğrulama ve test setleri olmak üzere rastgele dağıtılmıştır. Dağılım oranları ve akış diyagramı Şekil 1 'de gösterilmiştir. Şekil 2'de ise veri setine ait örnekler gösterilmiştir. Modelin mimarisi ise Şekil 3'te gösterilmiştir

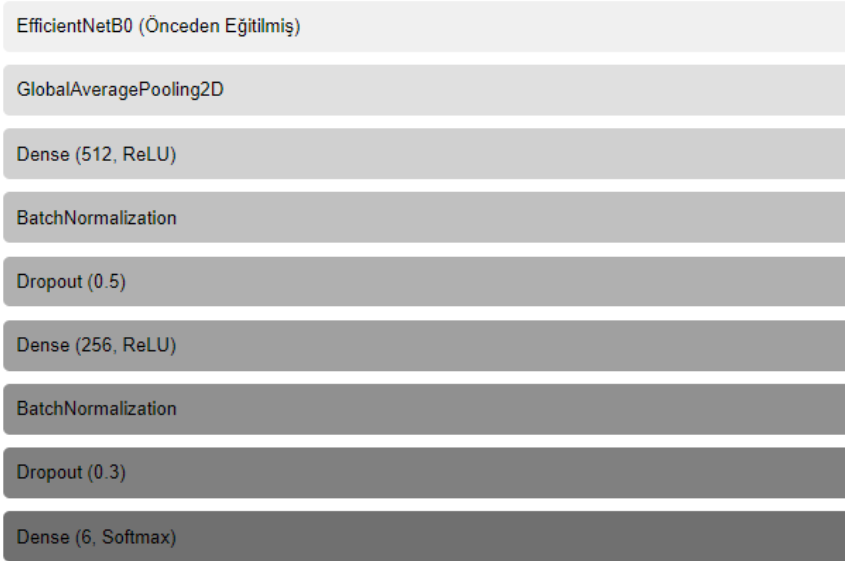
Atık Sınıflandırma Modeli Akış Diyagramı



Şekil 1. Veri seti dağılım oranları ve akış diyagramı.



Şekil 2. Veri setine ait bazı görseller.

Model Mimarisi**Şekil 3.** Model mimarisi.

Modelin katmanları aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

Veri Artırma

Modelin genelleme yeteneğini artırmak ve aşırı öğrenmeyi engellemek amacıyla veri artırma teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler arasında görüntülerin yatay ve dikey olarak çevrilmesi, döndürülmesi, yakınlaştırılması ve parlaklık düzeylerinin ayarlanması bulunmaktadır.

Metodoloji

Bu çalışmada, görüntü sınıflandırma görevini gerçekleştirmek için derin öğrenme tabanlı bir transfer learning yaklaşımı kullanılmıştır. Modelimizin temelini, EfficientNetB0 mimarisi oluşturmaktadır. EfficientNet, Google AI tarafından geliştirilen ve ölçeklendirilebilir bir CNN (Convolutional Neural Network) mimarisidir. Bu mimari, model derinliği, genişliği ve çözünürlüğü arasında optimize edilmiş bir denge sağlayarak, yüksek doğruluk ve hesaplama verimliliği sunmaktadır.

Model Mimarisi:

Temel Model (Base Model): EfficientNetB0, ImageNet veri seti üzerinde

önceden eğitilmiş ağırlıklarla kullanılmıştır. Giriş boyutu 224x224x3 olarak belirlenmiş ve üst katmanlar (top layers) hariç tutulmuştur. Bu, modelin özellik çıkarma yeteneğini korurken, sınıflandırma katmanlarını özelleştirilmesine olanak tanır.

Transfer Learning: Temel modelin tüm katmanları eğitim sırasında dondurulmuştur. Bu yaklaşım, önceden öğrenilmiş özellikleri koruyarak, yeni veri setine hızlı bir şekilde adapte olmayı sağlar ve aşırı öğrenme (overfitting) riskini azaltır.

Özellik Havuzlama: GlobalAveragePooling2D katmanı, temel modelden gelen özellik haritalarını düzleştirerek, uzamsal bilgiyi korurken parametre sayısını önemli ölçüde azaltır.

Tam Bağlantılı Katmanlar: İki adet yoğun (Dense) katman eklenmiştir. İlki 512, ikincisi 256 nörondan oluşmaktadır. Her iki katman da ReLU (Rectified Linear Unit) aktivasyon fonksiyonu kullanmaktadır. ReLU, gradyan kaybı problemini azaltarak derin ağların eğitimini kolaylaştırır ve doğrusal olmayan özellikleri modellemede etkilidir.

Batch Normalization: Her yoğun katmandan sonra bir Batch Normalization katmanı eklenmiştir. Bu katmanlar, her mini-batch'in ortalama ve varyansını normalize ederek, iç kovaryans kaymasını (internal covariate shift) azaltır. Bu, modelin daha hızlı ve kararlı bir şekilde eğitilmesini sağlar ve regularizasyon etkisi gösterir.

Dropout: Batch Normalization katmanlarından sonra sırasıyla 0.5 ve 0.3 oranlarında Dropout katmanları eklenmiştir. Dropout, eğitim sırasında rastgele nöronları devre dışı bırakarak, modelin aşırı öğrenmesini engeller ve genelleme yeteneğini artırır.

Çıkış Katmanı: Son katman, sınıf sayısı kadar nöron içeren ve softmax aktivasyon fonksiyonu kullanan bir Dense katmandır. Softmax, çok sınıflı sınıflandırma problemleri için uygun olup, her bir sınıfa ait olasılık dağılımını verir.

Model Derleme: Model, Adam optimizier kullanılarak derlenmiştir. Adam, adaptif öğrenme oranı optimizasyonu sağlayan bir algoritmadır ve gradyan tabanlı optimizasyon yöntemlerinin avantajlarını birleştirir. Öğrenme oranı 0.0001 olarak ayarlanmıştır, bu nispeten düşük bir değerdir ve ince ayar (fine-tuning) için uygundur.

Kayıp fonksiyonu olarak 'categorical_crossentropy' kullanılmıştır. Bu

fonksiyon, çok sınıflı sınıflandırma problemleri için standart bir seçimdir ve modelin tahminleri ile gerçek etiketler arasındaki farkı ölçer.

Performans metriği olarak doğruluk (accuracy) kullanılmıştır. Bu metrik, modelin doğru tahmin ettiği örneklerin oranını gösterir ve sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılır.

Bu model mimarisi ve eğitim stratejisi, veri setimizin özelliklerine uygun olarak tasarlanmış olup, yüksek doğruluk ve genelleme yeteneği sağlamayı hedeflemektedir.

Model, toplamda 50 epoch boyunca eğitilmiştir. Eğitim sırasında, eğitim ve doğrulama setlerindeki performans sürekli olarak izlenmiş ve modelin en iyi doğrulama doğruluğuna ulaştığı noktada erken durdurma uygulanmıştır.

Değerlendirme: Model performansı, doğruluk, hassasiyet, geri çağırma ve F1-skoru metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, karmaşıklık matrisi oluşturularak her bir atık kategorisi için model performansı detaylı olarak analiz edilmiştir

3. DENEYSEL BULGULAR

Bu bölümde, geliştirilmiş olan CNN tabanlı atık sınıflandırma modelinin eğitim sürecindeki performansı ve modelin doğrulama sonuçları detaylandırılmaktadır. Bulgular, eğitim ve doğrulama setlerindeki doğruluk (accuracy) ve kayıp (loss) grafikleri, karmaşıklık matrisi (confusion matrix), ROC eğrisi ve çeşitli performans metrikleri (doğruluk, hassasiyet, geri çağırma (recall) ve F1-skoru) üzerinden değerlendirilmiştir.

Eğitim ve Doğrulama Grafikleri

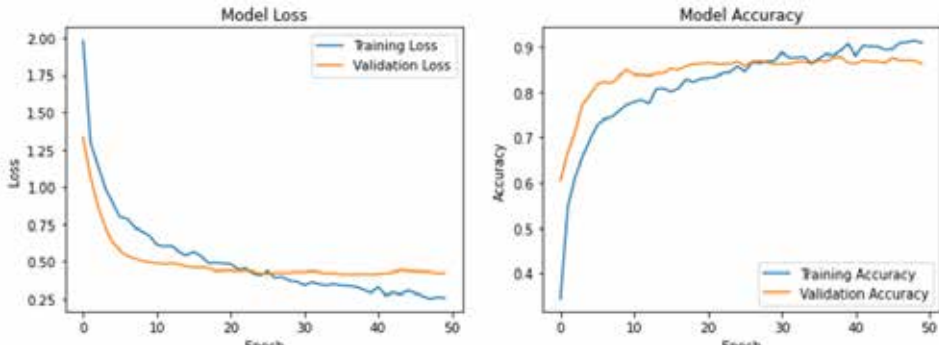
Modelin eğitim sürecinde doğruluk ve kayıp değerlerinin değişimi aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir. Eğitim setindeki doğruluk ve kayıp ile doğrulama setindeki doğruluk ve kayıp değerleri karşılaştırılarak modelin performansı izlenmiştir.

- Accuracy Grafiği: Eğitim ve doğrulama setlerindeki doğruluk oranlarının epoch'lar boyunca nasıl değiştiği gösterilmektedir.
- Loss Grafiği: Eğitim ve doğrulama setlerindeki kayıp değerlerinin epoch'lar boyunca nasıl değiştiği gösterilmektedir.

Grafikler, modelin doğruluk oranının eğitim sürecinde düzenli olarak arttığını

ve kayıp değerlerinin ise azaldığını göstermektedir. Bu da modelin eğitim sürecinde başarılı bir şekilde optimize edildiğini göstermektedir.

Model eğitim süreci boyunca kaydedilen kayıp (loss) ve doğruluk (accuracy) grafikleri (Şekil 4), modelimizin eğitim süreci boyunca istikrarlı bir şekilde geliştiğini göstermektedir. 50 epoch sonunda, eğitim seti üzerinde yaklaşık %92, validasyon seti üzerinde ise %87 doğruluk elde edilmiştir. Eğitim ve validasyon eğrilerinin birbirine yakın seyretmesi, modelimizin aşırı öğrenme (overfitting) problemi yaşamadığını göstermektedir.

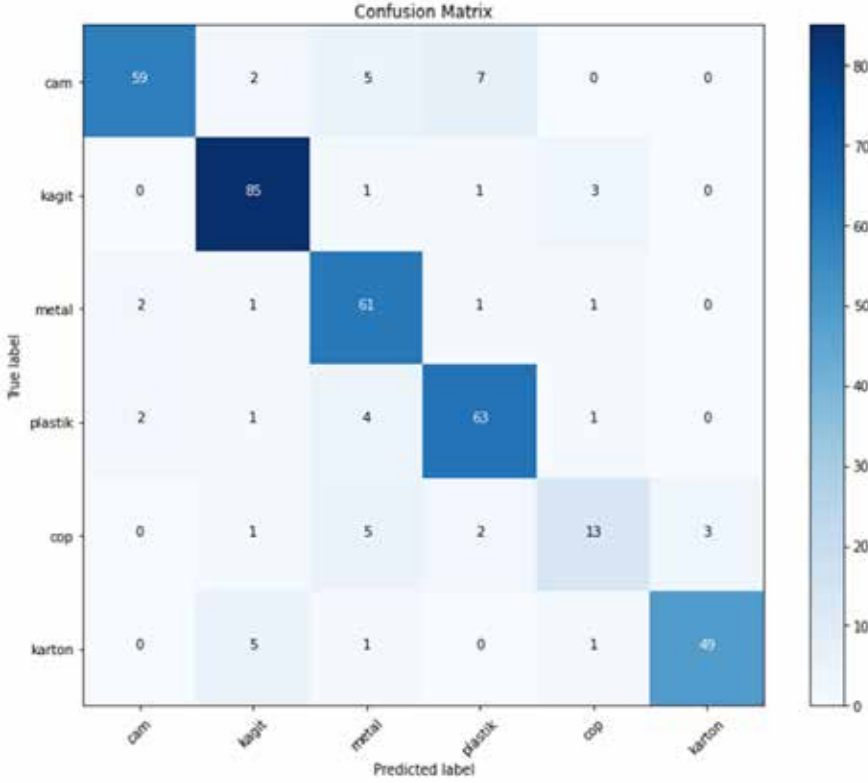


Şekil 4. Model eğitim süreci boyunca kaydedilen kayıp (loss) ve doğruluk (accuracy) grafikleri.

Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix)

Modelin test seti üzerindeki performansı, karmaşıklık matrisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Karmaşıklık matrisi, modelin her bir atık kategorisini doğru ve yanlış sınıflandırma sayısını göstermektedir. Bu matris, modelin hangi kategorilerde daha başarılı olduğunu ve hangi kategorilerde iyileştirme gerektiğini belirlememize yardımcı olmuştur.

Confusion Matrix analizi (Şekil 5), modelimizin genel olarak iyi bir sınıflandırma performansı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle kağıt kategorisinde 85 doğru tahminle en yüksek başarı elde edilmiştir. Bunu sırasıyla plastik (63), metal (61) ve cam (59) kategorileri takip etmiştir. Ancak, çöp kategorisinde nispeten düşük bir performans (13 doğru tahmin) gözlemlenmiş, bu da bu kategorinin diğerlerinden ayırt edilmesinin daha zor olduğunu göstermektedir.

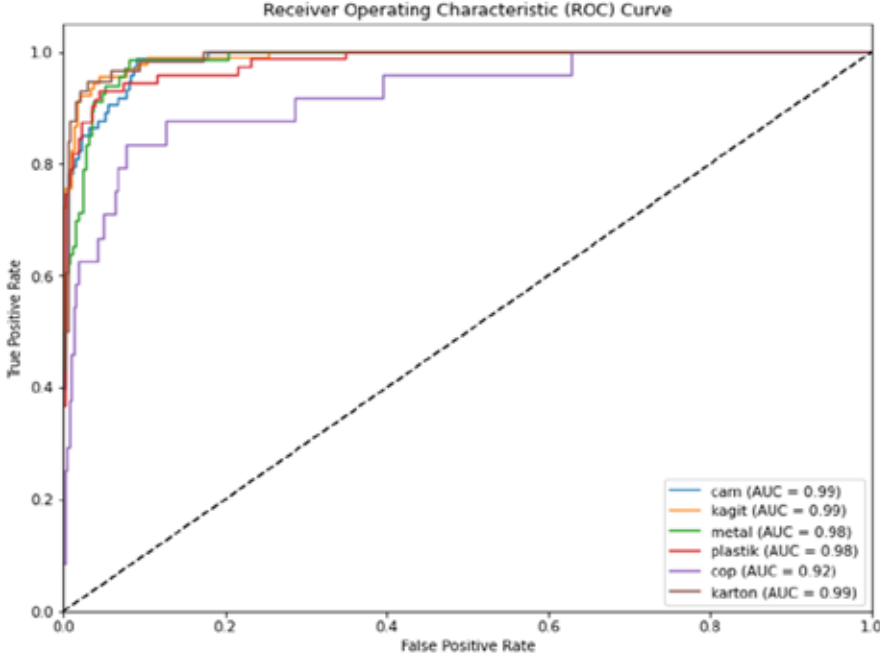


Şekil 5. Karmaşıklık matrisi.

ROC Eğrisi

Modelin sınıflandırma yeteneği, ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi ile değerlendirilmiştir. ROC eğrisi, doğru pozitif oranı (TPR) ile yanlış pozitif oranı (FPR) arasındaki ilişkiyi gösterir ve modelin farklı eşik değerlerinde nasıl performans gösterdiğini analiz etmeye olanak tanır. ROC eğrisinin altında kalan alan (AUC), modelin genel performansını değerlendirmede kullanılmıştır. Modelin AUC değeri yüksek çıkmış, bu da modelin sınıflandırma yeteneğinin güçlü olduğunu göstermiştir.

ROC eğrisi analizi (Şekil 6), modelimizin tüm kategorilerde yüksek ayırt edici performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Cam, kağıt ve karton kategorileri için AUC (Area Under Curve) değeri 0.99 ile en yüksek seviyeye ulaşmış olup metal ve plastik kategorileri 0.98 AUC değeri ile bunu takip etmektedir. Çöp kategorisi ise 0.92 AUC değeri ile diğerlerine göre biraz daha düşük, ancak yine de oldukça iyi bir performans sergilemiştir.



Şekil 6. ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi.

Performans Metrikleri

Modelin test seti üzerindeki performansı, aşağıdaki metrikler kullanılarak değerlendirilmiştir:

- Hassasiyet (Precision): Her bir kategorinin doğru pozitif oranı (TP) / (TP + FP) olarak hesaplanmıştır. Modelin hassasiyet değeri yüksektir, bu da yanlış pozitiflerin az olduğunu göstermektedir.
- Geri Çağırma (Recall): Her bir kategorinin doğru pozitif oranı (TP) / (TP + FN) olarak hesaplanmıştır. Modelin geri çağırma değeri yüksektir, bu da doğru pozitiflerin oranının yüksek olduğunu göstermektedir.
- F1-Skoru: Hassasiyet ve geri çağırma değerlerinin harmonik ortalaması olarak hesaplanmıştır. Modelin F1-skoru yüksek çıkmıştır, bu da genel olarak iyi bir dengeye sahip olduğunu göstermektedir.

Sınıflandırma raporu (Şekil 7), her kategori için precision, recall ve F1-score değerlerini sunmaktadır. Genel olarak model, 0.87'lik bir ağırlıklı ortalama F1-score ile başarılı bir performans göstermiştir. Kâğıt kategorisi 0.92 F1-score ile en iyi performansı sergilerken, çöp kategorisi 0.60 F1-score ile en düşük

performansı göstermiştir. Bu sonuçlar, çöp kategorisinin diğerlerine göre daha karmaşık ve heterojen bir yapıya sahip olabileceğini düşündürmektedir.

	precision	recall	f1-score	support
cam	0.94	0.81	0.87	73
kagit	0.89	0.94	0.92	90
metal	0.79	0.92	0.85	66
plastik	0.85	0.89	0.87	71
cop	0.68	0.54	0.60	24
karton	0.94	0.88	0.91	56
accuracy			0.87	380
macro avg	0.85	0.83	0.84	380
weighted avg	0.87	0.87	0.87	380

Şekil 7. Sınıflandırma raporu.

Sonuç olarak, geliştirdiğimiz derin öğrenme modeli, atık sınıflandırma görevinde genel olarak yüksek bir başarı elde etmiştir. Özellikle kağıt, cam ve karton gibi kategorilerde çok iyi sonuçlar alınmıştır. Gelecek çalışmalarda, çöp kategorisindeki performansı artırmak için veri setinin genişletilmesi ve model mimarisinde iyileştirmeler yapılması planlanmaktadır.

Bu deneysel bulgular, geliştirilen CNN tabanlı atık sınıflandırma modelinin altı farklı atık kategorisini yüksek doğruluk oranıyla sınıflandırabildiğini göstermektedir. Eğitim sürecindeki doğruluk ve kayıp grafikleri, karmaşıklık matrisi, ROC eğrisi ve performans metrikleri, modelin genel olarak güçlü bir performansa sahip olduğunu ve atık yönetimi süreçlerinde etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, derin öğrenme tekniklerinin atık sınıflandırma alanında başarılı bir şekilde uygulanabileceğini ve sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada geliştirdiğimiz EfficientNet tabanlı otomatik atık sınıflandırma modelinin performansı, elde edilen deneysel sonuçlar ışığında değerlendirilmiş ve mevcut literatürle karşılaştırılmıştır. Modelimiz, altı farklı atık kategorisini (cam, kağıt, metal, plastik, çöp ve karton) sınıflandırmada %87'lik bir genel doğruluk oranı elde etmiştir.

Confusion Matrix analizi, modelimizin özellikle kağıt, plastik, metal ve cam kategorilerinde yüksek başarı gösterdiğini ortaya koymuştur. Ancak, çöp kategorisinde nispeten düşük performans gözlemlenmiştir. Bu durum, çöp kategorisinin diğerlerine göre daha heterojen ve karmaşık bir yapıya sahip olmasından kaynaklanabilir. Gelecekteki çalışmalarda, bu kategoriye özel veri artırma teknikleri ve model iyileştirmeleri üzerinde durulması faydalı olacaktır.

ROC eğrisi analizi, modelimizin tüm kategorilerde yüksek ayırt edici performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle cam, kağıt ve karton kategorilerinde 0.99 AUC değeri elde edilmesi, EfficientNet'in bu atık türlerini tanımada oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Çöp kategorisinde elde edilen 0.92 AUC değeri, diğerlerine göre biraz düşük olsa da, yine de tatmin edici bir seviyededir.

Sınıflandırma raporu, modelimizin genel olarak dengeli bir performans sergilediğini göstermektedir. 0.87'lik ağırlıklı ortalama F1-score, EfficientNet modelimizin güvenilirliğini ve genel başarısını vurgulamaktadır. Kağıt kategorisinde elde edilen 0.92 F1-score, modelimizin bu kategoriye tanımada özellikle başarılı olduğunu göstermektedir.

Modelimizin başarısında, EfficientNet'in etkili mimari yapısı ve transfer öğrenme yöntemlerinin kullanımı önemli rol oynamıştır. EfficientNet'in ölçeklenebilir yapısı ve yüksek performansı, sınırlı veri seti ile bile etkili sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Geliştirdiğimiz model, atık yönetimi süreçlerinde otomatik sınıflandırma sistemlerinin potansiyelini göstermektedir. Yüksek doğruluk oranı, bu tür sistemlerin manuel sınıflandırma süreçlerinin yerini alabileceğini ve böylece zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabileceğini göstermektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, özellikle çöp kategorisindeki performansı artırmak için veri setinin genişletilmesi ve EfficientNet modelinin farklı versiyonlarının denenmesi planlanmaktadır. Ayrıca, modelin gerçek zamanlı uygulamalarda ve

mobil cihazlarda kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yapılabilir. EfficientNet'in hafif yapısı, özellikle mobil uygulamalar için avantaj sağlayabilir.

Sonuç olarak, geliştirdiğimiz EfficientNet tabanlı otomatik atık sınıflandırma modeli, sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Bu tür sistemlerin yaygınlaşması, geri dönüşüm oranlarının artırılmasına ve doğal kaynakların korunmasına yardımcı olarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunabilir. EfficientNet'in kullanımı, özellikle sınırlı hesaplama kaynaklarıyla çalışırken bile yüksek performans elde edilebileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Adedeji, O., & Wang, Z. (2019). Intelligent waste classification system using deep learning convolutional neural network. *Procedia Manufacturing*, 35, 607-612.
2. Aral, R. A., Keskin, Ş. R., Kaya, M., & Hacıömeroğlu, M. (2018). Classification of trashnet dataset based on deep learning models. In *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 2058-2062). IEEE.
3. Bircanoğlu, C., Atay, M., Beşer, F., Genç, O., & Kızrak, M. A. (2018). RecycleNet: Intelligent waste sorting using deep neural networks. In *2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)* (pp. 1-7). IEEE.
4. Bobulski, J., & Kubanek, M. (2021). Deep learning for plastic waste classification system. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2021.
5. Chu, Y., Huang, C., Xie, X., Tan, B., Kamal, S., & Xiong, X. (2018). Multilayer hybrid deep-learning method for waste classification and recycling. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018.
6. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications.
7. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
8. Ruiz, V., Sanchez, A., Vélez, J. F., & Raducanu, B. (2019). Automatic image-based waste classification. In *International Work-Conference on Artificial Neural Networks* (pp. 422-431). Springer, Cham.
9. Song, F., Zhang, Y., & Zhang, J. (2020, October). Optimization of CNN-based

garbage classification model. In Proceedings of the 4th international conference on computer science and application engineering (pp. 1-5).

10. Yang, M., & Thung, G. (2016). Classification of trash for recyclability status. CS229 Project Report, 2016.