



Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi
Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology

Year (Yıl): 2024, Volume (Cilt):3, Number (Sayı):2

Dergi İmtiyaz Sahibi / Owner

Prof. Dr. Tanju TEKER

Editör / Editor in Chief

Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Prof. Dr. İbrahim CAN

Doç. Dr. Serdar MERCAN

Teknik Editor / Technical Editor

Doç. Dr. Ferhat KOCA



Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi
Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology

Advisory Board (Danışma Kurulu)

Prof. Dr. Bilge Demir	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Coşkun ÖZALP	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Prof. Dr. Murat HOŞÖZ	Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Serdar OSMANYILMAZ	Namık Kemal Üniversitesi
Prof. Dr. Yasin VAROL	Fırat Üniversitesi



Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi
Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology

Subject Editors (Alan Editörleri)

Prof. Dr. Tanju TEKER	Doç. Dr. Sibel ARSLAN
Doç. Dr. İlker Temizer	Dr.Öğr. Üyesi Cem ERTEK
Doç. Dr. Abdullah KAPICIOĞLU	Dr.Öğr. Üyesi Nazile YILANKIRKAN
Doç. Dr. Rukiye KARAKIŞ	Dr.Öğr. Üyesi Emre ÜNSAL
Doç. Dr. Sinan AYDIN	Dr.Öğr. Üyesi Tahsin YÜKSEL
Doç. Dr. Özlem POLAT	Dr.Öğr. Üyesi Yakup EMÜL

Journal secretariat (Dergi Sekreteryası)

Doç. Dr. Ferhat KOCA	Arş.Gör. Gökhan AZİZOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Yeliz ALNAK	Arş.Gör. Kürşat TUNCER
Arş.Gör. Fatih CİVELEK	Arş.Gör. Dr. Onur ÖRNEK



Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi (CUJAST) hakemli bir dergidir.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi yılda iki kez yayınlanmaktadır (Haziran ve Aralık).

Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology (CUJAST) is a peer-reviewed journal.).

Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology is published two times in a year (June and December).

Dergi İçin Yazışma Adresi / Correspondence Address

Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK (Editor in Chief)

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

e-mail: dealnak@cumhuriyet.edu.tr

cujast@cumhuriyet.edu.tr

Web link: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cujast>



Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Sivas Cumhuriyet University Journal of Science and Technology

Year (Yıl): 2024, Volume (Cilt):3, Number (Sayı):2

CONTENTS (İçindekiler)	Sayfalar
Ahmet Can Çapar, Adnan Öztürk, Aydın DEMİR, Ümit Nazlı Temel Comparison of Discharge Performance of Thermal Protection Systems Based on Phase Change Materials with Different Thermal Improvements Farklı Termal İyileştirmeler Uygulanmış Faz Değiştiren Malzeme Esaslı Termal Koruma Sistemlerinin Deşarj Performanslarının Karşılaştırılması	44-54
Özgür Kebabçı Immobilization of Candida tropicalis Lipase and Cells Isolated from Olive Pulp Zeytin küspesinden İzole Edilen Candida tropicalis Lipazının ve Hücrelerinin İmmobilizasyonu	55-60
Sedat Güçlü, Murat Bostancıoğlu Information Technology Integration in Occupational Health and Safety Studies: Telecommunications Industry Sample İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışmalarında Bilişim Entegrasyonu: Telekomünikasyon Sektörü Örneği	61-75
Gülay Gültek, Özcan Deniz Synthesis of Organophilic Clay-Nanocomposite Containing Sumac Extract for Dermatological Purposes and Investigation of Its Bioactivity Dermatolojik Amaçlı Sumak Özütü İçeren Organofilik Kil-Nanokompozit Sentezi ve Biyoaktivitesinin Araştırılması	76-86
Merve Yağmurcu, Sultan Uzun, Özlem Polat Performance of Deep Residual Networks in Lung Cancer Classification: An Analysis on Histopathological Images Derin Rezidüel Ağların Akciğer Kanseri Sınıflandırmadaki Başarımı: Histopatolojik Görüntüler Üzerinde İnceleme	87-95

Didem Altun, Sezai Elagöz

96-101

Investigation of The Temperature Dependent Electrical Properties of LT-GaN
Layer Grown on A Sapphire Substrate

Safir Alttaş Üzerine Büyütölen LT-GaN Tabakasının Sıcaklığa Bağlı Elektriksel
Özelliklerinin Araştırılması



Comparison of Discharge Performance of Thermal Protection Systems Based on Phase Change Materials with Different Thermal Improvements

Ahmet Can Çapar^{1,a}, Adnan Öztürk^{2,b}, Aydın DEMİR^{3,c}, Ümit Nazlı Temel^{4,d,*}

¹TEIAS 11. Transmission Facility and Operation Directorate, Sivas, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

³Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

⁴Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 07/08/2024

Accepted: 24/09/2024

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

This study focuses on removing heat transferred to the PCM during passive thermal protection of transient heat-releasing electronic systems to prepare it for the next thermal protection. In other words, the cooling performances (discharge) of the PCM, which has stored heat for a certain period of time (charge), were compared in terms of different improvement techniques applied on the PCM. For this purpose Fin/PCM thermal protection systems were obtained by adding different numbers of aluminium fins into the PCM. Similarly, Nanoparticle/PCM thermal protection systems have been obtained by incorporating carbon-based nanoparticles with high thermal conductivity at rates of 1% and 3% by mass into PCM. The cooling performances of the obtained Fin/PCM and Nanoparticle/PCM thermal protection systems were evaluated in terms of maximum surface temperature and maximum surface temperature difference criteria. The results are given in comparison with the performance of PCM thermal protection. Compared to PCM, the best cooling performance of 10.5% was obtained from the PCM thermal protection with six fins added. In the Nanoparticle/Fin/PCM hybrid thermal protection, it is determined that the components do not create any synergistic effect for the cooling performance and the main contribution is provided by the fins.

Keywords: PCM, Cooling performance, Fin, Nanoparticles, Hybrid Thermal Protection

Farklı Termal İyileştirmeler Uygulanmış Faz Değiştiren Malzeme Esaslı Termal Koruma Sistemlerinin Deşarj Performanslarının Karşılaştırılması

Araştırma Makalesi

Süreç

Geliş: 07/08/2024

Kabul: 24/09/2024

ÖZ

Bu çalışma geçici ısı yayan elektronik sistemlerin pasif termal koruması sırasında FDM bünyesine aktarılan ısının uzaklaştırılması ve bir sonraki termal korumaya hazırlanması işlemlerine odaklanmıştır. Başka bir ifadeyle belirli bir süre ısı depolanmış (şarj) olan FDM'nin soğuma performansları (deşarj), FDM üzerinde uygulanan farklı iyileştirme teknikleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu amaçla FDM içerisine farklı sayıda alüminyum kanat eklemesi ile Kanat/FDM termal koruma sistemleri elde edilmiştir. Benzer biçimde FDM içerisine kütlece %1 ve %3 oranlarında yüksek ısı iletkenliğe sahip karbon tabanlı nanoparçacık eklenmesiyle Nanoparçacık/FDM termal koruma sistemleri oluşturulmuştur. Elde edilen Kanat/FDM ve Nanoparçacık/FDM termal koruma sistemlerinin soğuma performansları maksimum yüzey sıcaklığı ve maksimum yüzey sıcaklık farkı kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, RT-44 termal korumasının performansı ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. FDM ile karşılaştırıldığında en iyi soğuma performansı %10.5 ile altı kanat eklenmiş FDM termal korumasından elde edilmiştir. Nanoparçacık/Kanat/FDM hibrit termal korumasında bileşenlerin soğuma performansı için herhangi bir sinerjik etki oluşturmadıkları ve asıl katkının kanatlar tarafından sağlandığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: FDM, Soğuma performansı, Kanat, Nanoparçacık, Hibrit termal koruma

^a a.c.capar@gmail.com

^b 0000-0002-5916-6334

^c aozturk@cumhuriyet.edu.tr

^d 0000-0001-6371-0577

^c aydindemir@cumhuriyet.edu.tr

^d 0000-0002-8514-2301

^d untemel@cumhuriyet.edu.tr

^d 0000-0001-5053-5124

How to Cite: Çapar AC, Öztürk A, Temel ÜN (2024) Comparison of Discharge Performance of Thermal Protection Systems Based on Phase Change Materials with Different Thermal Improvements, Journal of Science and Technology, 3(2): 44-54.

Giriş

Faz değişken malzemeler (FDM) yüksek gizli ısıya sahip olmaları nedeniyle termal enerji depolama konusunda yaygın kullanım potansiyeli olan malzemelerdir (Sarier & Onder, 2012). FDM'ler bir kaynaktan sağlanan ısıyı duyulur, çoğunlukla da gizli ısı olarak depolayarak daha yüksek enerji seviyeli faza geçiş yapan malzemelerdir. Ters yönde gerçekleşen hal değişimi ile depolanan termal enerjinin geri bırakılmasıyla FDM'ler düşük enerji seviyeli ilk haline geri dönmektedirler. Bu özelliği ile FDM'ler arzı ve talebi arasında zaman farklılığı bulunan güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir kaynaklardan enerji dönüşümü proseslerinde aracılık görevi üstlenebilirler. Bununla birlikte FDM'ler güneş panellerinde (Riahi ve ark., 2019) ve bina bileşenlerinde (Wang ve ark., 2018) enerji depolama, elektronik cihazlarda, organ (Mondieig ve ark., 2003) ve gıda naklinde termal koruma, soğutucularda performans iyileştirme (Cheng ve ark., 2011), fabrikalarda atık ısı geri kazanımı (Du ve ark., 2021; Kaizawa ve ark., 2008) amaçlı olarak çok geniş bir uygulama alanına sahiptirler.

Katıdan-sıvıya FDM'ler düşük hacim değişimleri nedeniyle sıvıdan-gaza FDM'lere kıyasla uygulama açısından daha avantajlıdır. Katıdan-sıvıya FDM'ler; organik, inorganik ve ötektik olmak üzere farklı biçimde sınıflandırılmaktadırlar. İnorganik FDM'ler uygulama yerine aşındırıcı etkide bulunması, ötektik FDM'lerin de üretim zorluğu ve ekonomik olmaması gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte organik FDM'ler; yüksek gizli ısı, düşük buhar basıncı, kimyasal ve termal kararlılık gibi bazı avantajlara sahip olmaları ve kolay ve ekonomik olarak elde edilebilir olmaları nedeniyle en çok tercih edilenlerdir (Sharma ve ark., 2009; Yuan ve ark., 2016).

FDM'lerin önemli uygulamalarından birisi geçici olarak çalışan elektronik cihazların ısınma problemlerinin üstesinden gelmek için pasif termal koruma amaçlı kullanımınıdır. Esasen bu yöntem pompa, fan gibi hareketli mekanik bileşenler içermemesi ve bakım gerektirmemesi gibi avantajlarından dolayı tercih edilebilecek bir yöntemdir. Bu tip bir termal korumanın etkin olabilmesi için elektronik cihazlarda açığa çıkan ısı enerjinin hızlı bir biçimde FDM bünyesine aktarılması gereklidir. Başka bir ifadeyle kullanılan FDM'nin hızlı biçimde termal tepki vermesi gerekmektedir. Bu sonuç ise FDM ısı iletim özelliğinin yüksek olmasını gerektirmektedir. Tam tersine uygulamada kullanılacak katıdan-sıvıya organik FDM'lerin ısı iletenlikleri (0.2-0.5 W/mK) oldukça düşüktür. Organik FDM'lerin ısı iletenliklerinin düşük olması onların uygulamada verimli bir biçimde kullanılmasının önündeki en önemli engeldir. Özellikle FDM'lerin ısı açığa çıkaran cihazların pasif termal koruma amaçlı kullanımı göz önüne alındığında ısı iletenliğin düşük olması nedeniyle kaynaktan açığa çıkan ısı FDM bünyesine etkin bir biçimde iletilmemektedir. Bu durum termal olarak korunumu istenen cihaz üzerinde sıcaklık artışı olarak etkisini göstermektedir. Bu nedenle elektronik cihazların pasif termal korunmasında FDM'lerin kullanılabilmesi için ısı transfer hızını arttırıcı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde ısı transfer hızını arttırmak için yapılan çalışmaların genel olarak iki kategoriye ayrıldığı görülmektedir. İlk yaklaşım, yüksek termal iletkenliğe sahip nanoparçacıkların FDM matrisine dahil edilmesiyle elde edilen daha yüksek termal iletkenliğe sahip bir FDM/nanoparçacık kompozitinin oluşturulmasıdır. Metal/Metal-okisit nanoparçacık katkılanarak FDM'lerin ısı iletkenliklerinin belirli yüzdelik mertebelerinde arttırılabileceği gösterilmiştir. Karabulut (2023), çapraz akış-engelleyici jet akışlı kanallarda küp ve dairesel oyuk modelleri için ısı transferi ve akış karakteristiklerini sayısal olarak incelediği çalışmada temel akışkana kıyasla CuO nanoparçacık katkılanmış akışkanın ortalama Nu sayısının küp ve dairesel oyuk modellerinde sırasıyla %32.55 ve %26.11 arttırıldığını bildirmiştir.

Farklı tip metal-okisit nanoparçacıklarla yapılan çalışmada kütlece %5 Al₂O₃, %5 CuO, %5 Fe₃O₄ ve %5 SiC nanoparçacık katkılanmasının FDM ısı iletkenliğinde sırasıyla %29.1, %52.2, %9.2 ve %17.9 iyileştirme sağladığı belirlenmiştir (Chinnasamy & Cho, 2022). Buna karşın karbon tabanlı nanoparçacık katkılı FDM ısı iletkenliklerinde birkaç kata varan artışlar olduğu rapor edilmiştir (Temel ve ark., 2018). Karabulut ve ark. (2020), Karabulut ve ark. (2018) saf su içerisine hacimce %0.02 katkılanan grafen-oksitin ısı transfer katsayısını %48 civarında arttırdığını belirlemişlerdir. Buna ilave olarak kullanılan karbon tabanlı nanoparçacık şeklinin de ısı iletkenlik iyileştirme performansı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Fan ve ark. (2013) plaka şeklindeki nanoparçacıkların tüp ve iplik şeklindeki nanoparçacıklara göre daha iyi iyileştirmeler sağladığını belirlemişlerdir. Temel ve ark. (2018) %5 çok duvarlı nanotüp katkısının FDM ısı iletkenliğini %40 civarında arttırdığını buna karşılık aynı oranda grafen nano plaka katkısının %155 civarında iyileşme sağladığını belirlemişlerdir. Bu yöntemin en önemli dezavantajları nanoparçacık maliyeti ve nanoparçacık katkısı sonrasında sıvı FDM viskozitesindeki artışın ısı transferine olumsuz etkileridir.

İkinci yöntem, yüksek ısı iletkenliğe sahip (bakır, alüminyum vb.) metal kanatçık ve pim gibi bileşenlerin FDM içerisine eklenerek ısı transfer köprülerinin oluşturulmasıdır. Bu yöntemin kolay uygulanabilir olması ve ekonomik olması ise önemli avantajlarıdır. Bu çalışmalarda genellikle kanat sayısı, kanat kalınlığı, kanat uzunluğu ve ısıtma yönünün termal performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buyruk & Karabulut (2020) kanatçık tipinin ve yüksekliğinin ısı transferi üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Özellikle kanat sayısı ve kanat uzunluğunun arttırılmasının termal enerji depolama performansı üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Hosseinzadeh ve ark., 2011). Başka bir çalışmada (Acir & Emin Canlı, 2018) üstten ısıtılan bir termal enerji depolama biriminde kanat sayısı ve kanat kalınlığının FDM erime performansına etkilerini incelemiş olup artan kanat sayısının erime performansına pozitif, artan kanat kalınlığının ise negatif etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Bazı çalışmalar ise kanat malzemesinin termal enerji depolama etkinliği üzerindeki etkilerini belirlemeye odaklanmışlardır. Örneğin Tian ve ark. (2020) gerçekleştirmiş oldukları sayısal çalışmada bir enerji depolama birimi

içerisinde kanatçık olarak kullanılan alüminyum, bakır ve çelik gibi malzemelerin erime performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Nusselt sayısı, erime süresi, toplam depolanan enerji, kütle başına depolanan enerji ve depolanan enerji başına maliyet kriterleri açısından en uygun malzemenin alüminyum olduğunu belirlemişlerdir. Huang ve ark. (2011) bir enerji depolama birimi içerisindeki kanatçık sayısının artırılmasının sıcaklık dağılımını daha homojen hale getirdiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte kanatçık kullanımının ağırlık artışına neden olması ve yerleşim pozisyonuna göre doğal taşınım akımlarına engel olması önemli dezavantajları olarak söylenebilir. Son olarak Kursun ve ark. (2024) ve Kurşun & Balta, (2023) FDM depolanan birim şeklinin de erime performansı üzerinde önemli iyileştirmelere neden olduğu nu bildirmişlerdir.

Düşük ısı iletkenliğe sahip FDM'ler üzerinde farklı teknikler uygulanarak sağlanan ısı transfer iyileştirmesinin geçici çalışan elektronik cihazların pasif termal korumalarında farklı derecelerde performans iyileştirmeler sağladığı görülmektedir. Bu çalışmaların tamamının elektronik cihazdan açığa çıkan ısının FDM bünyesine aktarılmasına (şarj) başka bir ifadeyle elektronik cihazdan ısının uzaklaştırılmasına yönelik çalışmalar olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte geçici çalışan elektronik cihazların çalışmadığı zaman periyodunda FDM bünyesine depolanan ısının tekrar geri saliverilmesi de (deşarj) büyük önem arz etmektedir. Başka bir ifadeyle ısı depolanmış FDM'nin bir sonraki şarj için hızlı bir biçimde hazır hale (deşarj edilmesi) gelmesi gerekmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde ısı depolanmış FDM'nindeşarjına yönelik yeterli çalışma yapılmadığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmada farklı iyileştirme tekniklerine sahip FDM esaslı bir termal koruma yönteminin geçici çalışan bir elektronik cihaz senaryosundakideşarj performanslarının karşılaştırmasını amaçlanmaktadır. Bu senaryoyu gerçekleştirmek için düşey silindirik biçimdeki bir direnç termal koruma malzemesi olarak bir FDM ile çevrelenerek Direnç/FDM sistemi oluşturulmuştur. Belirli bir süre şarj edilen FDM esaslı termal koruma sistemlerinin

deşarj performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada iyileştirilmiş FDM olarak 3,4 ve 6 kanatlı/FDM ve %1, %3 GNP katkılanmış FDM kompozitleri test edilmiştir. Çalışmada ayrıca Nanoparçacık/Kanat/FDM hibrit termal korumasının soğuma performansı ve kullanılabilirliği de araştırılmıştır.

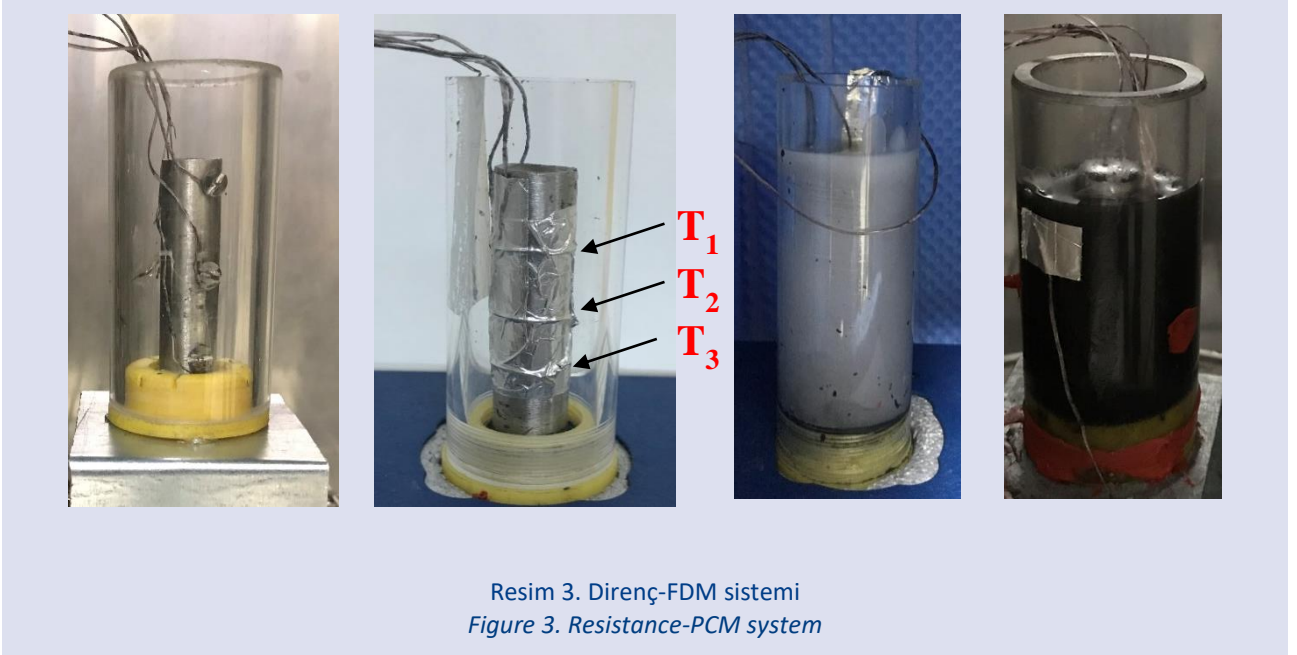
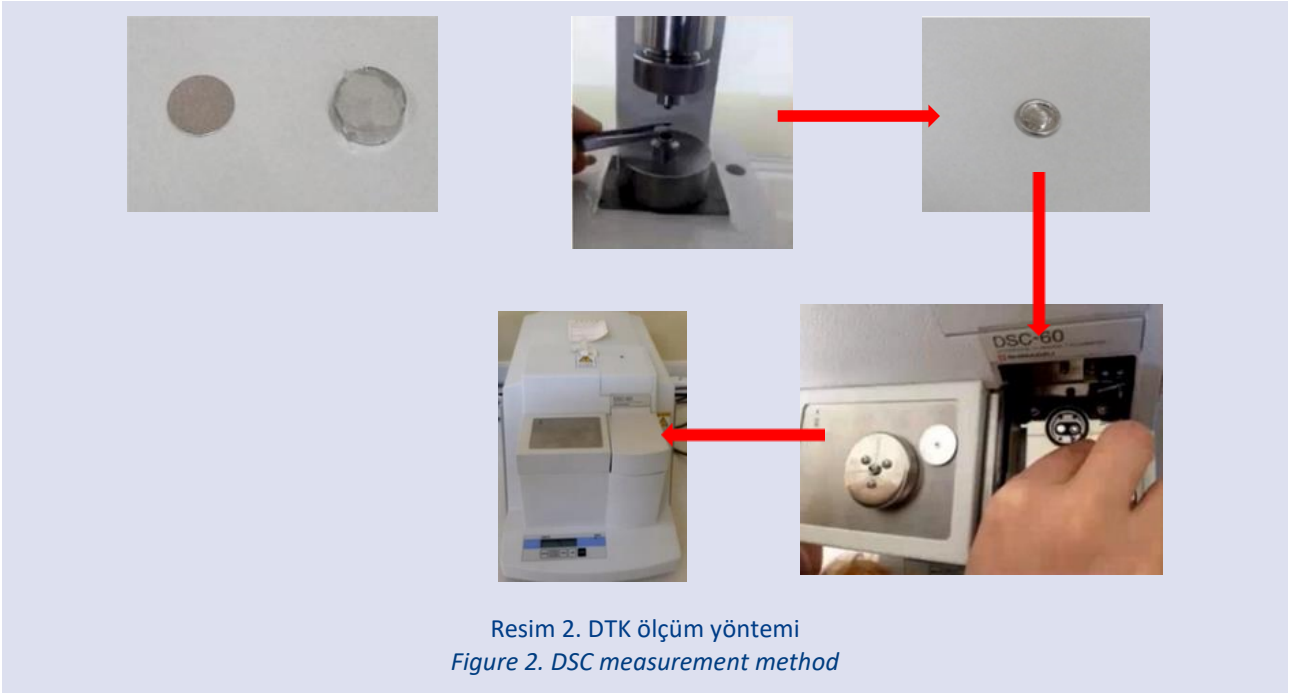
Materyal Metod

Çalışmada termal enerji depolama malzemesi olarak Rubitherm (Almanya) şirketinden ticari olarak temin edilen RT-44 organik faz değişim malzemesi kullanılmıştır. Katkı malzemesi olarak kullanılan Grafen nano parçacıklar (GNP) 150 m²/g yüzey alanına ve 6-8 nm kalınlığa sahip olup Skyspring Nanomaterials (USA) şirketinden temin edilmiştir.

Çalışmada öncelikle pasif termal koruma ortamı olarak kullanılacak olan RT-44, %1 GNP/RT-44 ve %3 GNP/RT-44 malzemelerinin ısı iletkenlikleri ölçülmüştür. Isıl iletkenlik ölçümleri KD2 Pro (Decagon Devices, USA) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isıl iletkenlik ölçümleri Resim 1'de gösterilen adımlar takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bir ısıtıcı plaka üzerinde RT-44 sıvı hale gelinceye kadar bekletilmektedir. GNP/RT-44 kompozitleri için RT-44 içerisine kütlece %1 ve %3 oranlarında GNP eklenmiştir. RT-44 içerisine eklenen GNP nanoparçacıkların homojen olarak dağılımlarını sağlamak için 30 dakika süresince 750 W gücündeki ultrasonik karıştırıcıda (SONICS@Materials INC, USA) karıştırma işlemi uygulanmıştır (RT-44 numunesi için bu adım atlanmıştır). Elde edilen sıvı karışımlar ortasında 2.4 mm çapında dikey mil bulunan 30 mm çapında ve 120 mm den daha uzun akrilik bir boru içerisine dökülerek KD2 Pro cihazına uygun numune üretimi gerçekleştirilmiştir. KD2 Pro cihazının sensör girişine uygun olarak hazırlanan numunelerin ısı iletkenlik ölçümleri bir iklimlendirme kabini (Jeitech, South Korea) içerisinde RT-44 faz değişim sıcaklık aralığındaki farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. KD2 Pro'nun doğruluğu 0,1-0,2 Wm/K aralığı için $\pm 0,02$ W/mK olup, her bir numune için en az beş ölçüm alınmış ve %0,5 standart sapma ile ortalama değerler kaydedilmiştir.



Resim 1. Isıl iletkenlik ölçüm yöntemi
Figure 1. Thermal conductivity measurement method



RT-44 ve GNP/RT-44 kompozitlerinin Diferansiyel taramalı kalorimetrik (DTK) özellikleri DSC60 (Shimadzu Corporation, Japan) kullanılarak ve Resim 2’de gösterilen adımlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir. DTK ölçümleri yapılacak malzemeler 0.01 hassasiyete sahip elektronik tartı ile yaklaşık olarak 0.5 mg civarında tartılmıştır. Kütleli tespit edilen malzemeler cihaza ait özel bir alüminyum kap içerisine konularak kapağı ile örtülmüştür. İçerisinde malzeme bulunan kap ve kapağı bir pres aracılığıyla sıkıştırılarak kütleye duyarlı DTK numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen DTK numuneleri cihaz ölçüm haznesine yerleştirilmiştir. RT-44’ün beklenen erime sıcaklığına uygun olarak tarama sıcaklık aralığı 20 °C-60 °C, tırmanma hızı ise 2 °C/dakika olarak ayarlanmıştır. DTK cihazının doğruluğu 0.1 °C olup her bir numune için en az

üç ölçüm gerçekleştirilmiş ve %1 standart sapma ile ortalama değerler kaydedilmiştir.

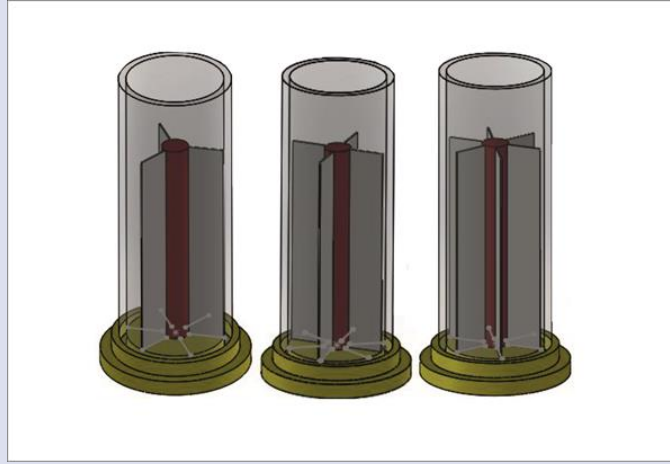
Geçici olarak çalışan elektronik cihaz; 18 mm çapında, 65 mm yüksekliğinde silindir biçimindeki bir direnç ile temsil edilmiştir. FDM esaslı termal koruma sağlayabilmek açısından bahsedilen direnç daha büyük çapta ve 100 mm yüksekliğindeki bir akrilik borunun eksenine alt taraftan vidalanarak monte edilmiştir (Resim 3). Direnç boyunca üç farklı noktadan sıcaklık ölçümü gerçekleştirmek için T_1 , T_2 ve T_3 olarak isimlendirilen ısı çiftleri yüzeye temas ettirilmiştir. Resim 3’te gösterildiği gibi direnci çevreleyen akrilik boru içerisine sıvı hale getirilen FDM dökülüp oda sıcaklığında katılaşmaya bırakılarak direnç-FDM sistemi oluşturulmuştur.

FDM esaslı termal koruma sisteminin ısı transfer hızının iyileştirilmesi için farklı sayıda kanat eklemesi yapılmıştır. Daha önce yapılan bir çalışmada (Ping ve ark., 2018) termal koruma sistemleri için optimum kanat kalınlığının 1 mm olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada FDM'nin termal koruma performansını iyileştirmek için 1 mm kalınlığında ısı iletkenliği yüksek alüminyum kanatlar kullanılmıştır. Rezistans yüksekliğine sahip alüminyum kanatlar bir ucu rezistansa sıkıca temas ettirilmiş diğer ucu ise radyal yönde akrilik boru duvarına kadar uzatılmıştır. Farklı kanat düzenlemeleri; kanatlar arasındaki açılar 120°, 90° ve 60° olacak biçimde sırasıyla 3, 4 ve 6 kanatlı olarak gerçekleştirilmiştir. Eriyik haldeki FDM'nin direnç üzerine farklı sayıda kanat eklenmiş akrilik boruya dökülüp oda sıcaklığında katılaşmaya bırakılmasıyla Kanat/FDM termal koruma sistemleri oluşturulmuştur.

Çalışmada termal iyileştirme olarak kullanılan diğer yöntem FDM ısı iletkenliğinin nanoparçacık katkısı ile

geliştirilmesidir. Bu amaçla yüksek ısı iletkenliğe ve düşük yoğunluğa sahip plaka tipi GNP, katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Yukarıda bahsedilen yöntemle hazırlanan %1 GNP/RT-44 ve %3 GNP/RT-44 kompozitleri eriyik halde Resim 3'te gösterilen akrilik boruya dökülüp oda sıcaklığında katılaşmaya bırakılmak suretiyle GNP/FDM termal koruma sistemi oluşturulmuştur.

Çalışmada ayrıca hibrit sistem termal koruma sistemi de test edilmiştir. Bu amaçla termal koruma performansı açısından en uygun görülen kanat düzenlemesi ve nanoparçacık kütle bölüntüsü kullanılarak hibrit termal koruma sistemi oluşturulmuştur. Bir önceki aşamada elde edilen eriyik haldeki uygun GNP/FDM kompozitlerinin Resim 4'te gösterilen uygun kanat düzenlemesi içerisine dökülmesi ve oda sıcaklığında katılaştırılması suretiyle Kanat/GNP/FDM hibrit termal koruma sistemi oluşturulmuştur.



Resim 4. Farklı Kanat düzenlemeleri
Figure 4. Different fin arrangements



Resim 5. Deneysel düzenek
Figure 5. Experimental setup

Farklı biçimde termal iyileştirmiş FDM'lerin deşarj performans karşılaştırmaları Resim 5'te gösterilen deneysel düzenek kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu düzenek; DC güç kaynağı, veri toplama cihazı, bilgisayar, iklimlendirme kabini ve direnç-FDM sisteminden oluşmaktadır. Farklı termal iyileştirme uygulanan direnç-FDM bileşenleri bir iklimlendirme kabini içerisine yerleştirilerek termal cevap ölçümleri aynı ortam koşullarında (20 °C) gerçekleştirilmiştir. Farklı iyileştirme teknikleri uygulanan FDM termal koruma sistemleri öncelikle 3600 saniye boyunca eşit koşullarda 6 W ısıtma gücünde şarj işlemine maruz tutulmuştur. Enerji depolayarak katıdan-sıvıya faz değişimine uğrayan farklı iyileştirmeli FDM sistemlerinin soğuma (deşarj) performansları, Resim 3'te gösterilen J tipi ısı çiftleri ile sıcaklığın zamana göre değişimleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. J tipi ısı çiftleri ile elde edilen sıcaklık verileri 30 saniye aralıklarla bir veri toplama cihazı ile alınarak bilgisayara kaydedilmiştir. Her bir termal koruma yöntemi için elde edilen sıcaklıkların zamana göre değişim davranışları karşılaştırılmıştır. Performans değerlendirmeleri maksimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık farkı gibi kriterler göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Geçici çalışan elektronik bileşenler açısından bakıldığında cihazın çalışmadığı süre içerisinde FDM'nin hızlı bir biçimde soğuması istenilen performans kriteri olarak değerlendirmelere esas teşkil etmiştir. Bununla birlikte cihaz yüzey boyunca sıcaklık farkının düşük olması da istenilen bir başka tasarım kriteri olarak göz önüne alınmıştır. Deneysel ölçüm yapılan ekipmanlarının hassasiyetleri ve sapma oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Sürecin fiziksel mekanizması ile ilgili temel denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (1)$$

$$H = h + \Delta H \quad (2)$$

$$h = \int c_p dT \quad (3)$$

$$\Delta H = \beta H_k \quad (4)$$

burada; H toplam entalpi olup duyulur entalpi (h) ve katılma entalpisinin (ΔH) toplamı olarak elde edilmektedir. H_k katılma gizli ısısıdır ve β sıvı oranı olup aşağıdaki biçimde belirlenmektedir.

$$\beta = 0 \quad \text{eğer } (T < 32^\circ\text{C})$$

$$\beta = 1 \quad \text{eğer } (T > 41^\circ\text{C})$$

$$\beta = \frac{T - 32}{41 - 32} \quad \text{eğer } (32^\circ\text{C} < T < 41^\circ\text{C})$$

Bulgular ve Değerlendirmeler

Termal iletkenlik katsayılarının sıcaklığa bağlı değerleri hem katı faz hem de sıvı faz için Resim 6'da verilmiştir. RT-44 organik faz değişken malzemesinin 10 °C'deki termal iletkenlik değeri 0.387 W/mK olarak ölçülmüştür. Katı halde 20 °C ve 30 °C sıcaklıklarında ise termal iletkenlik değerleri sırasıyla 0.364 W/mK ve 0.356 W/mK olarak belirlenmiştir. Bu durumda sıcaklık artışı ile moleküler düzensizliğin artmasına bağlı olarak termal iletkenliğin hafifçe azaldığı söylenebilir. 40 °C sıcaklıkta RT-44'ün çamurumsu halde olması ve stabil bir form oluşturmamasından dolayı ölçüm yapılamamıştır. Sıvı faza geçiş ile birlikte kafes yapılarının bozulması gibi moleküler düzendeki değişim ısı iletkenlikte keskin bir düşüşe neden olmaktadır. Sıvı halde 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarında ısı iletkenlik değerleri sırasıyla 0.153 W/mK, 0.151 W/mK ve 0.148 W/mK olarak belirlenmiştir.

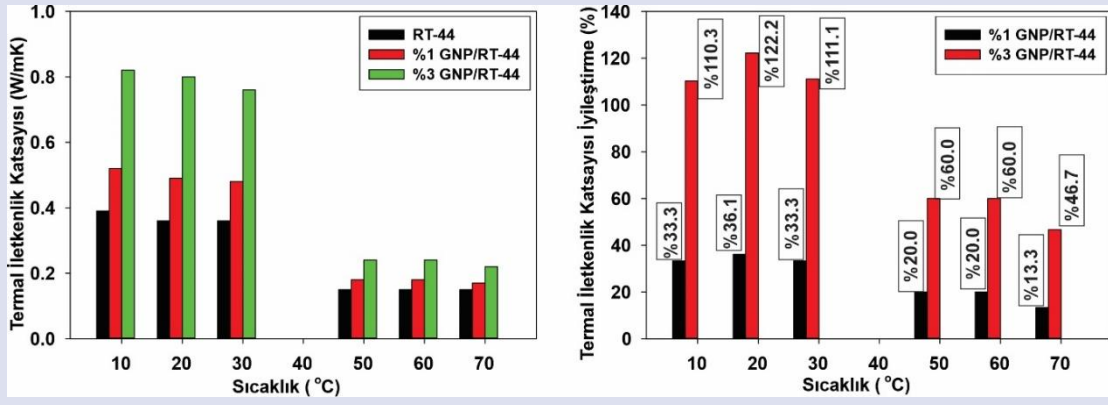
Termal iletkenlik, kafes boyutundan ve kristallerin titreşim frekansından etkilenen fonon saçılması ile gerçekleşmektedir. FDM'nin titreşim frekansının düşük olması düşük ısı iletkenliğe, GNP'nin titreşim frekansının yüksek olması ise yüksek ısı iletkenliğe neden olmaktadır. Fonon saçılması GNP düzlemine dik olmaktan ziyade GNP düzlemi boyunca gerçekleşmektedir (Chen ve ark., 2013). Bu nedenle düşük ısı iletkenliğe sahip FDM içerisinde, GNP düzlemlerinin birleşiminden oluşacak ağ yapılarının oluşturulmasının ısı iletkenlikte iyileştirmeye neden olacağı söylenebilir. Bu ağ yapılarının oluşumu FDM içerisine katılan GNP oranı ile doğru orantılıdır. Örneğin 20 °C sıcaklıkta katı faz için %1 ve %3 GNP katılan FDM'lerin ısı iletkenliklerinde sırasıyla %36.1 ve %122,2 oranlarında iyileştirmeler elde edilmiştir. Benzer şekilde 50 °C sıcaklıkta sıvı faz için %1 ve %3 GNP katılan FDM'lerin ısı iletkenliklerinde ise %20.0 ve %60.0 oranlarında iyileştirmeler elde edilmiştir. Katı ve sıvı faz için diğer sıcaklıklarda da benzer oranlarda iyileştirmeler elde edilmiş ve Resim 6'da verilmiştir.

RT-44, %1 GNP/RT-44 ve %3 GNP/RT-44 kompozitlerinin DTK ölçümleri sonucunda elde edilen ekzoterm eğrileri Resim 7'de verilmiştir. Ekzoterm eğrilerinin analizi sonucunda RT-44 ve GNP/RT-44 kompozitlerinin soğuma işlemine ait katılma başlangıç (T_{kb}), katılma sonlanma (T_{ks}) ve katılma gizli ısısı (H_k) elde edilmiştir. Bu eğrilerin temel çizgiden ayrılma, birleşme noktaları sırasıyla katılma başlangıç (T_{kb}), katılma sonlanma (T_{ks}) sıcaklıklarını vermektedir. Ekzoterm eğrisi ile temel çizgi arasında kalan alan ise erime gizli ısısının (H_k) bir ölçüsüdür. Ekzoterm eğrilerinin analizi sonucunda elde edilen katılma sıcaklıkları ve katılma gizli ısılara ait değerler Tablo 2'de verilmiştir.

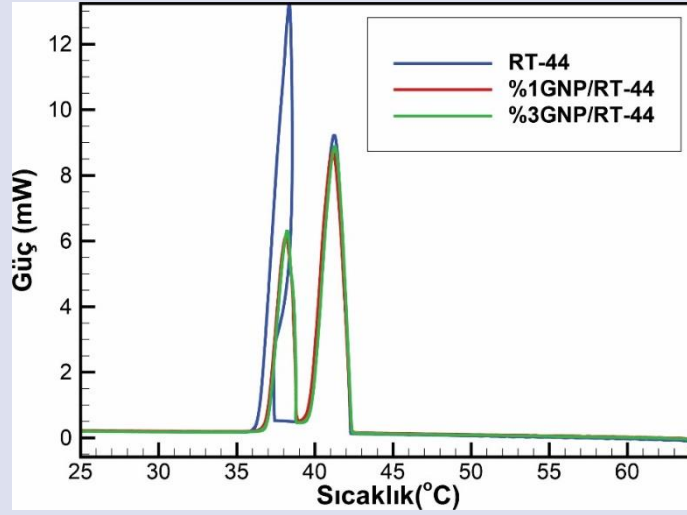
Tablo 1. Deneysel ölçüm ekipmanlarının hassasiyet ve sapma oranları

Table 1. Precision and deviation rates of experimental measurement equipment

Ölçüm Ekipmanı	Hassasiyet	Sapma oranı (%)
DTK	±0,1	%1
KD2 Pro	±0,02	% 0.5
Hassas Terazi	±0,01	% 0.5
Isıl Çiftler	±1.2	%0.75



Resim 6. Termal iletkenlik katsayıları ve iyileştirme Yüzdeleri
Figure 6. Thermal Conductivity Coefficients and Improvement Percentages



Resim 7. RT-44 ve GNP/RT-44 kompozitlerinin ekzoterm eğrileri
Figure 7. Exotherm Curves of RT-44 and GNP/RT-44 Composites

Tablo 2. Katılma sıcaklıkları ve gizli ısıları
Table 2. Solidification temperatures and latent heats

Malzeme	T _{kb} (°C)	T _{ks} (°C)	H _k (J/g)
RT-44	42.3	36.6	237.3
%1 GNP/RT-44	42.4	37.1	235.2
%3 GNP/RT-44	42.4	37.1	225.3

RT-44 ve GNP/RT-44 kompozitlerinin katılmasını iki pik oluşturarak tamamladıkları görülmektedir. RT-44 için katılma başlangıç sıcaklığı 42.3 °C ve katılma sonlanma sıcaklığı ise 36.6 °C olarak ölçülmüştür. Tablo 2 incelenecek olursa RT-44 içerisine GNP eklentisinin T_{kb} ve T_{ks} sıcaklıklarında önemli değişimlere neden olmadığı görülmektedir. Buna karşılık RT-44 için katılma gizli ısı 237.3 J/g iken %1 GNP/RT-44 ve %3 GNP/RT-44 kompozitleri için katılma gizli ısıları sırasıyla 235.2 J/g ve 225.3 J/g olarak ölçülmüştür. Başka bir ifadeyle %1 GNP/RT-44 ve %3 GNP/RT-44 kompozitlerinin enerji depolama kapasitelerinin RT-44'e kıyasla sırasıyla %0.9 ve %5 azaldığı söylenebilir. Esasen enerji depolama kabiliyeti yüksek bir malzeme ile düşük bir malzemenin

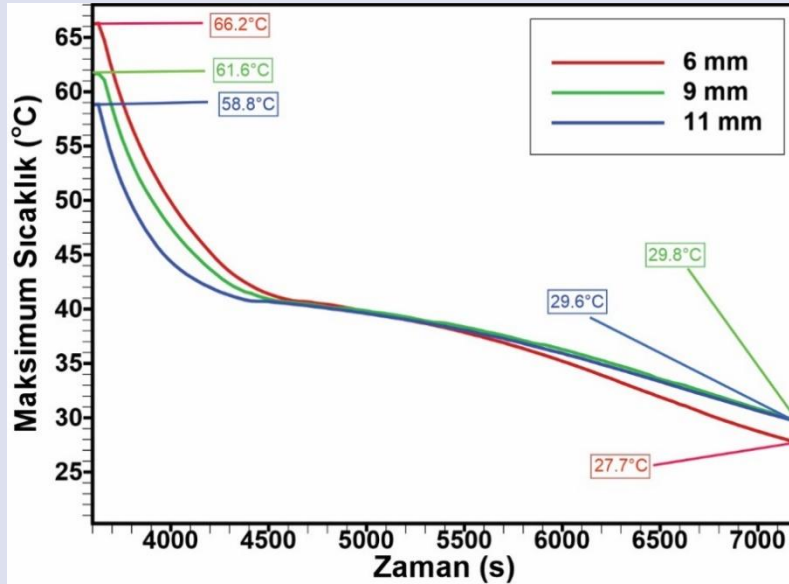
karışımından dolayı bu beklenen bir sonuçtur. Bununla birlikte GNP katkısı ile ısıl iletkenlikte elde edilen hatırı sayılır iyileşme karşısında katılma gizli ısısındaki bahsedilen kayıpların ihmal edilebilir düzeyde olduğu açıktır.

Bir sonraki aşamada direnç RT-44 kalınlığının termal koruma üzerindeki etkisini belirlemek için performans testleri gerçekleştirilmiştir. Üç farklı çapta akrilik boru kullanılarak direnç etrafındaki RT-44 kalınlığı 6 mm, 9 mm ve 11 mm olarak ayarlanmıştır. Resim 8'de direnç üzerindeki maksimum sıcaklığın zamana göre değişimi 6, 9 ve 11 mm RT-44 kalınlığı için gösterilmiştir. En çabuk soğuma işleminin 6 mm RT-44 kalınlığına sahip direnç/FDM sisteminde olduğu belirlenmiştir. Başka bir

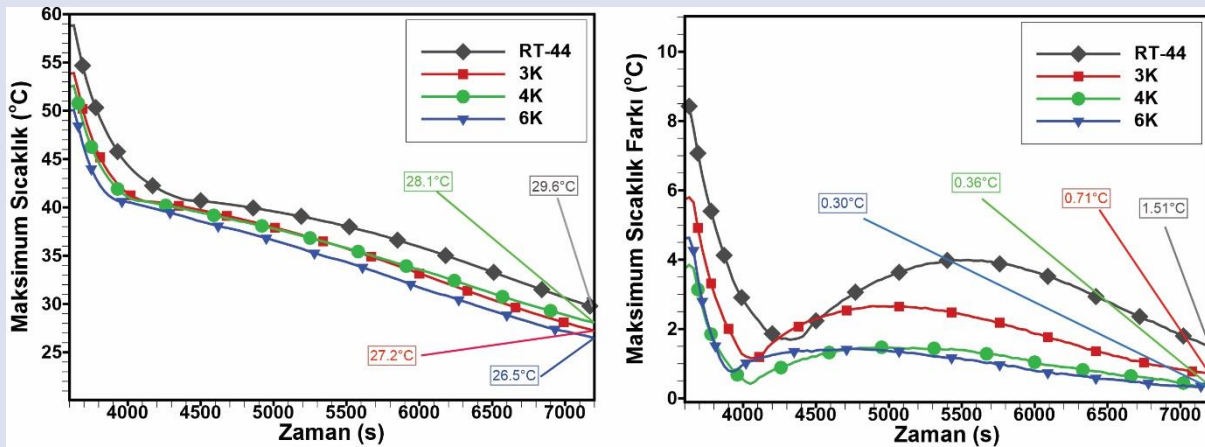
ifadeyle RT-44 kalınlığı arttıkça soğuma performansı kötüleşmektedir. Öyle ki 6, 9 ve 11 mm kalınlığa sahip direnç/FDM sistemleri için 3600 saniye ısıtmanın ardından 3600 saniye bekleme sonundaki maksimum sıcaklıklar sırasıyla 27.7 °C, 29.8 °C ve 29.6 °C olarak ölçülmüştür. Bu durum esasen beklenen bir sonuçtur. RT-44 kalınlığı arttıkça daha iç bölgelere aktarılan ısının düşük ısıl iletkenlik nedeniyle soğuma(deşarj) süresi de uzamaktadır. Bununla birlikte FDM kalınlığının artmasının ısıtma sonucundaki termal korumaya olumlu etkisinin olduğu görülmektedir. Örneğin 3600 saniyelik ısıtma sonucunda 6, 9 ve 11 mm kalınlığa sahip direnç/FDM sistemleri için maksimum sıcaklıklar sırasıyla 66.2 °C, 61.6 °C ve 58.8 °C olarak ölçülmüştür. FDM esaslı pasif termal koruma sistemlerinin esasen geçici olarak ısı açığa çıkaran sistemlerin termal korumalarında kullanımı asıl amaç olduğundan RT-44 kalınlığının 11 mm alınmasının uygun olacağı söylenebilir. Bununla birlikte 11 mm FDM

kalınlığına sahip direnç/FDM sistemi kullanıldığında 3600 saniyelik soğuma (deşarj) süresinin sonucundaki maksimum sıcaklığın (29.6 °C) kanatçık ve/veya nanoparçacık eklentisi gibi çeşitli tekniklerle daha aşağı çekilmesi soğuma (deşarj) performansının iyileştirilmesine olanak sağlayacaktır.

Bu amaçla RT-44 içerisine Resim 4'te gösterildiği gibi 3 kanatlı (3K), 4 kanatlı (4K) ve 6 kanatlı (6K) yapılar eklenmiştir. 3600 saniyelik ısıtma ve ardından 3600 saniyelik soğuma süresi sonunda 3K, 4K ve 6K/RT-44 sistemleri için direnç üzerindeki maksimum sıcaklıklar sırasıyla 27.2 °C, 28.1 °C ve 26.5 °C olarak ölçülmüştür (Resim 9). Direnç/RT-44 sistemi için aynı koşullarda maksimum yüzey sıcaklığının 29.6 °C'dir. Bu durumda 3K/RT-44, 4K/RT-44 ve 6K/RT-44 termal korumalarının soğuma performanslarının RT-44'e kıyasla sırasıyla %8.1, %5.1 ve %10.5 iyileştiği söylenebilir.



Resim 8. RT-44 kalınlığının soğuma performansı ve Kanat/RT-44 termal koruma sistemi için soğuma eğrileri
Figure 8. Cooling performance of RT-44 thickness and cooling curves for the Fin/RT-44 thermal protection system



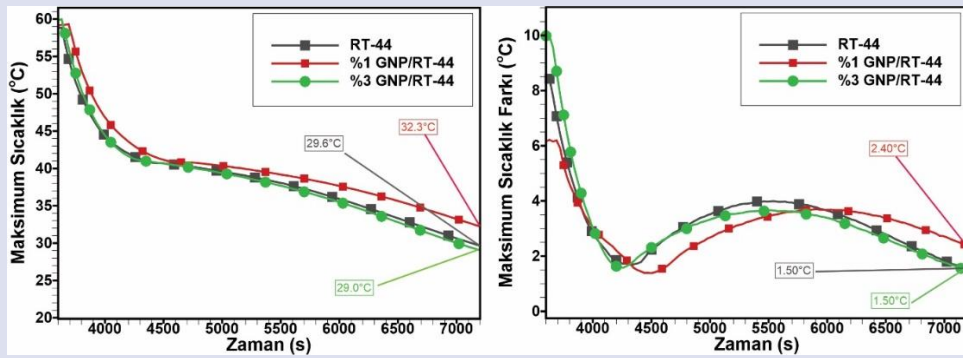
Resim 9. RT-44 ve Kanat/RT-44 termal koruma sistemi için soğuma eğrileri
Figure 9. Cooling curves for RT-44 and Fin/RT-44 thermal protection system.

Direnç yüzeyi boyunca maksimum sıcaklık farkının değerinin sadece RT-44 kullanılması durumunda ısıtma/soğuma çevrimi sonunda 1.51 °C olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yüzey boyunca maksimum sıcaklık farklarının 3K/RT-44, 4K/RT-44 ve 6K/RT-44 kullanılması durumunda 1 °C'nin altına indiği belirlenmiştir. Bu durumda farklı sayıda kanat eklemeli termal koruma sistemlerinin soğuma açısından termal koruma yapılacak olan elektronik cihazın yaşlanması engelleyecek biçimde performans sergilediği söylenebilir.

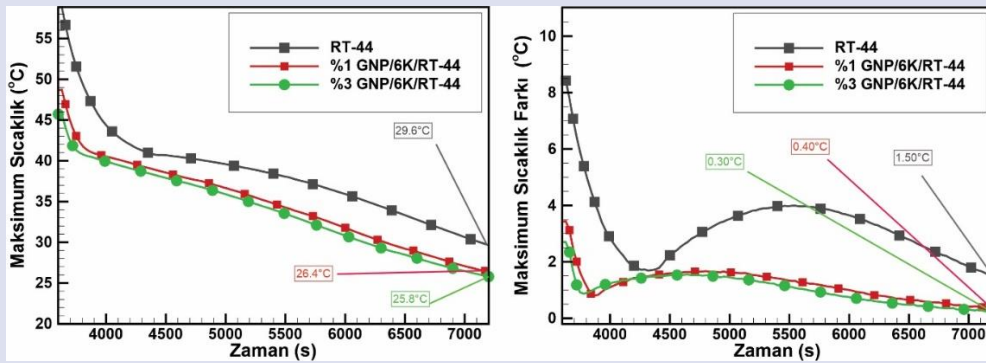
%1 GNP/RT-44 ve %3 GNP/RT-44 kompozitlerinin soğuma performansları maksimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık farkı açısından karşılaştırılmıştır (Resim 10). RT-44 içerisine GNP eklemenin soğuma performansı üzerinde belirgin bir iyileştirme sağladığından bahsedilemez. Tam tersine %1 GNP/RT-44 kompoziti kullanıldığında ısıtma/soğutma çevrimi sonunda maksimum yüzey sıcaklığı 32.3 °C olup RT-44 kullanımına kıyasla soğuma performansı %9.1 kötüleşmektedir. Buna karşılık %3 GNP/RT-44 kullanılması durumunda ısıtma/soğutma çevrimi sonunda maksimum yüzey sıcaklığı 29.0 °C olup RT-44 kullanımına kıyasla soğuma performansı sadece %2.0 iyileşmektedir. Buna neden olarak GNP eklentisiyle ısı transferine sebep olan sıcaklık farkının azalmasıyla yetersiz kalması gösterilebilir. Benzer bir değerlendirme maksimum sıcaklık farkı açısından da yapılabilir.

Isıtma/soğuma çevrimi sonucunda RT-44 kullanılması durumunda maksimum sıcaklık farkı 1.5 °C iken %1 GNP/RT-44 için bahsi geçen değer 2.4 °C, %3 GNP/RT-44 için ise RT-44 ile aynı değerdir. Bu durum GNP eklentisinin maksimum sıcaklık farkı açısından da soğuma performansı üzerinde olumlu bir etki sağlamadığının göstergesidir.

RT-44 içerisine kanat/GNP eklenerek elde edilen Kanat/GNP/RT-44 termal koruma sisteminin soğuma performansı ayrıca incelenmiştir. Böylelikle iyileştirme etkenleri olan kanat ve nanoparçacık kullanımlarının sinerjik etki yaratabilme potansiyeli araştırılmıştır. Kanat sayısı olarak mevcut kanat düzenlemeleri arasında en iyi soğuma performansını gösteren 6 kanatlı düzenleme, nanoparçacık eklentisi olarak ta %1 ve %3 GNP eklenmesi durumları seçilmiştir. Elde edilen %1 GNP/6K/RT-44 ve %3 GNP/6K/RT-44 hibrit termal koruma sistemlerinin soğuma performansları RT-44 performansı ile karşılaştırmalı olarak Resim 11'de verilmiştir. Isıtma/soğuma çevrimi sonunda %1 GNP/6K/RT-44 ve %3 GNP/6K/RT-44 hibrit termal koruma için direnç üzerindeki maksimum sıcaklıklar sırasıyla 26.4 °C ve 25.8 °C olarak ölçülmüştür. Isıtma/soğuma çevrimi sonunda RT-44 koruması için direnç üzerindeki maksimum sıcaklık ise 29.6 °C'dir. Bu durumda RT-44 termal koruması ile karşılaştırıldığında %1 GNP/6K/RT-44 ve %3 GNP/6K/RT-44 hibrit koruma sistemlerinin soğuma performanslarında sırasıyla %10.8 ve %12.8 iyileştirme sağladığı belirlenmiştir.



Resim 10. RT-44 ve GNP/RT-44 termal koruma sistemi için soğuma eğrileri
Figure 10. Cooling curves for RT-44 and GNP/RT-44 thermal protection system



Resim 11. RT-44 ve GNP/6K/RT-44 termal koruma sistemi için soğuma eğrileri
Figure 11. Cooling curves for RT-44 and GNP/6F/RT-44 thermal protection system

Tablo 3. Karşılaştırmalı performans verileri
Table 3. Comparative performance data

Koruma Yöntemi	Maksimum Sıcaklık İyileştirmesi (%)	Maksimum Sıcaklık Farkı (°C)
RT-44	-	1.5
3K/RT-44	8.1	<1.0
4K/RT-44	5.1	<1.0
6K/RT-44	10.5	<1.0
%1 GNP/RT-44	-9.1	2.4
%3 GNP/RT-44	2.0	1.5
%1 GNP/6K/RT-44	10.8	0.4
%3 GNP/6K/RT-44	12.8	0.3

Bununla birlikte termal koruma sistemi olarak 6K/RT-44 sisteminin kullanılması durumunda soğuma performansındaki iyileşmenin %10.5 olduğu göz önüne alındığında aşağıdaki yargılara varılabilir; i) %1 GNP/6K/RT-44 ve %3 GNP/RT-44 termal korumaları ile RT-44'e kıyasla soğuma performansları sırasıyla %10.8 ve %12.8 iyileştirilmektedir, ii) GNP ve 6 kanat etkileri RT-44 içerisinde herhangi bir sinerjik etki oluşturmamaktadırlar. Başka bir ifadeyle her bir iyileştirme bileşeni kendi mevcut potansiyeli oranında iyileştirmeye katkıda bulunmaktadır, iii) GNP/6K/RT-44 termal koruma sisteminin soğuma performansı üzerindeki asıl katkı kanatçıklar tarafından sağlanmaktadır.

Maksimum sıcaklık farkı açısından yapılan karşılaştırma da yukarıda bahsedilen bulguları desteklemektedir. RT termal korumasında soğuma işlemi sonunda maksimum sıcaklık farkı 1.5 °C iken %1 GNP/6K/RT-44 ve %3 GNP/6K/RT-44 kullanılması durumunda maksimum sıcaklık farkları sırasıyla 0.40 °C ve 0.30 °C olarak ölçülmüştür. 6K/RT-44 termal korumasında soğuma işlemi sonunda maksimum sıcaklık farkının 0.3 °C olduğu göz önüne alındığında yine performans iyileştirme için asıl katkının kanatlar tarafından sağlandığı sonucuna varılabilir.

Maksimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık farkı kriterlerine göre tüm koruma yöntemlerinin sadece FDM kullanımına kıyasla performans iyileştirme verileri Tablo 3'de özetlenmiştir.

Sonuçlar

Isı açığa çıkaran bir elektronik cihazın FDM esaslı termal korunumları sırasında ısı depolanan FDM'nin soğuma performansları; sadece FDM, Kanat/FDM, GNP/FDM ve GNP/Kanat/FDM kompozitleri açısından karşılaştırılmış elde edilen sonuçlara aşağıda verilmiştir.

1. 6W ısıtma gücünde 3600 saniye ısı depolama (şarj) ardından 3600 saniye soğuma sonucunda RT-44 termal koruması için maksimum sıcaklık 29.6 °C, maksimum sıcaklık farkı 1.50 °C olarak belirlenmiştir.
2. 3, 4 ve 6 kanatlı RT-44 düzenlemeleri arasında en iyi soğuma performansına sahip olan 6K/RT-44'tür. 6K/RT-44 termal koruma sistemi ile soğuma performansı RT-44'e kıyasla %10.5 iyileştirilmiştir.
3. %1 GNP/RT-44 için ısı iletkenlikte katı fazda %36'ya sıvı fazda %20'ye varan iyileştirmeler elde edilmiştir. Benzer biçimde %3 GNP/RT-44 için ısı iletkenlikte katı fazda %122'ye sıvı fazda %60'a varan iyileştirmeler elde edilmiştir.

4. RT-44 içerisine GNP eklentisinin katılma sıcaklıklarını değiştirmedeği katılma gizli ısıyı ise ihmal edilebilir seviyede azalttığı belirlenmiştir(%3 GNP/RT-44 için %5 azalış).
5. GNP/RT-44 kompoziti için ısı iletkenlikte elde edilen iyileştirmelerin soğuma performansına etkisi zayıftır. %3 GNP/RT-44 kompoziti ile soğuma performansı RT-44'e kıyasla %2.0 iyileştirilebilmektedir.
6. RT-44 ile karşılaştırıldığında %1 GNP/6K/RT-44 ve %3 GNP/RT-44 hibrit termal korumaları ile soğuma performansları sırasıyla %10.8 ve %12.8 iyileştirilmiştir.
7. Kanat/GNP/RT-44 hibrit termal korumasında bir sinerjik etki oluşmamaktadır ve soğuma performansına asıl katkının kanatlar tarafından sağlanmaktadır.

Ağırlık artışının göz ardı edilebileceği kullanım alanları için FDM miktarının azalmasına bağlı olarak kanat sayısının optimize edilmesinin gerek ısıtma gerekse de soğuma performansına olumlu etkisi olacağı açıktır. Gelecek çalışmalara bu yönde devam edilebilmesi uygun görülmektedir.

Kaynaklar

- Acir, A., & Emin Canlı, M. (2018). Investigation of fin application effects on melting time in a latent thermal energy storage system with phase change material (PCM). *Applied Thermal Engineering*, 144(September), 1071–1080. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.013>
- Buyruk, E., & Karabulut, K. (2020). Research of Heat Transfer Augmentation in Plate Fin Heat Exchangers Having Different Fin Types. *Journal of Engineering Thermophysics*, 29(2), 316–330. <https://doi.org/10.1134/S1810232820020137>
- Chen, Y. J., Nguyen, D. D., Shen, M. Y., Yip, M. C., & Tai, N. H. (2013). Thermal characterizations of the graphite nanosheets reinforced paraffin phase-change composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.08.010>
- Cheng, W. L., Mei, B. J., Liu, Y. N., Huang, Y. H., & Yuan, X. D. (2011). A novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (Phase Change Material) heat storage condensers: An experimental investigation. *Energy*, 36(10), 5797–5804. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.050>
- Chinnasamy, V., & Cho, H. (2022). Thermophysical investigation of metallic nanocomposite phase change materials for indoor thermal management. *International Journal of*

- Energy Research*, 46(6), 7626–7641. <https://doi.org/10.1002/er.7664>
- Du, K., Calautit, J., Eames, P., & Wu, Y. (2021). A state-of-the-art review of the application of phase change materials (PCM) in Mobilized-Thermal Energy Storage (M-TES) for recovering low-temperature industrial waste heat (IWH) for distributed heat supply. *Renewable Energy*, 168, 1040–1057. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.057>
- Fan, L. W., Fang, X., Wang, X., Zeng, Y., Xiao, Y. Q., Yu, Z. T., Xu, X., Hu, Y. C., & Cen, K. F. (2013). Effects of various carbon nanofillers on the thermal conductivity and energy storage properties of paraffin-based nanocomposite phase change materials. *Applied Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.043>
- Hosseinizadeh, S. F., Tan, F. L., & Moosania, S. M. (2011). Experimental and numerical studies on performance of PCM-based heat sink with different configurations of internal fins. *Applied Thermal Engineering*, 31(17–18), 3827–3838. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.07.031>
- Huang, M. J., Eames, P. C., Norton, B., & Hewitt, N. J. (2011). Solar Energy Materials & Solar Cells Natural convection in an internally finned phase change material heat sink for the thermal management of photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(7), 1598–1603. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.01.008>
- Kaizawa, A., Maruoka, N., Kawai, A., Kamano, H., Jozuka, T., Senda, T., & Akiyama, T. (2008). Thermophysical and heat transfer properties of phase change material candidate for waste heat transportation system. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 44(7), 763–769. <https://doi.org/10.1007/s00231-007-0311-2>
- Karabulut, K. (2023). HEAT TRANSFER INCREMENT STUDY TAKING INTO CONSIDERATION FIN LENGTHS FOR CuO-WATER NANOFLUID IN CROSS FLOW-IMPINGING JET FLOW CHANNELS. *Thermal Science*, 27(6), 4345–4360. <https://doi.org/10.2298/TSCI221203035K>
- Karabulut, K., Buyruk, E., & Kilinc, F. (2018). *Grafen Oksit Nanoparçacıkları İçeren Nanoakışkanın Taşınım Isı Transferi ve Basınç Düşüşü Artışı Üzerindeki Etkisinin Düz Bir Boruda Deneysel Olarak Araştırılması*. 59(690), 45–67.
- Karabulut, K., Buyruk, E., & Kilinc, F. (2020). Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a circular copper tube using graphene oxide nanofluid. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(5), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02319-0>
- Kurs, B. (2024). *Exploring the impact of inner and middle channel geometries on the melting rate of PCM-metal foam composition in a triplex tube heat exchanger*. 51(April). <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102621>
- Kurşun, B., & Balta, M. (2023). Evaluation of the different inner and outer channel geometry combinations for optimum melting and solidification performance in double pipe energy storage with phase change material: A numerical study. *Journal of Energy Storage*, 65(January). <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107250>
- Mondieig, D., Rajabalee, F., Laprie, A., Oonk, H. A. J., Calvet, T., & Cuevas-Diarte, M. A. (2003). Protection of temperature sensitive biomedical products using molecular alloys as phase change material. *Transfusion and Apheresis Science*, 28(2), 143–148. [https://doi.org/10.1016/S1473-0502\(03\)00016-8](https://doi.org/10.1016/S1473-0502(03)00016-8)
- Ping, P., Peng, R., Kong, D., Chen, G., & Wen, J. (2018). Investigation on thermal management performance of PCM-fin structure for Li-ion battery module in high-temperature environment. *Energy Conversion and Management*, 176(August), 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.025>
- Riahi, S., Jovet, Y., Saman, W. Y., Belusko, M., & Bruno, F. (2019). Sensible and latent heat energy storage systems for concentrated solar power plants, exergy efficiency comparison. *Solar Energy*, 180(August 2018), 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.072>
- Sarier, N., & Onder, E. (2012). Organic phase change materials and their textile applications: An overview. *Thermochimica Acta*, 540, 7–60. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.04.013>
- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>
- Temel, Ü. N., & İ. B. Y. Ç. İ. F. T. Ç. (2018). *DETERMINATION OF THERMAL PROPERTIES OF A82 ORGANIC PHASE CHANGE MATERIAL EMBEDDED WITH DIFFERENT TYPE NANOPARTICLES LIST OF SEYMBOLS*. 75–85.
- Tian, L. L., Liu, X., Chen, S., & Shen, Z. G. (2020). Effect of fin material on PCM melting in a rectangular enclosure. *Applied Thermal Engineering*, 167(April 2019). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114764>
- Wang, S. M., Matiašovský, P., Mihálka, P., & Lai, C. M. (2018). Experimental investigation of the daily thermal performance of a mPCM honeycomb wallboard. *Energy and Buildings*, 159, 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.080>
- Yuan, Y., Li, T., Zhang, N., Cao, X., & Yang, X. (2016). Investigation on thermal properties of capric–palmitic–stearic acid/activated carbon composite phase change materials for high-temperature cooling application. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5173-0>

Semboller ve Kısaltmalar

Semboller		Kısaltmalar	
FDM	: Faz Değiştiren Malzeme	k	: Katılma
PCM	: Phase Change Material	kb	: Katılma başlangıç
GNP	: Grafen Nano Parçacık	ks	: Katılma sonlanma
DTK	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre		
H	: Toplam entalpi (J/g)		
h	: Duyulur entalpi (J/g)		
ΔH	: Katılma entalpisi (J/g)		
H_k	: Katılma gizli ısı (J/g)		
β	: Sıvı oranı		
T	: Sıcaklık (°C)		
t	: Zaman (s)		



Immobilization of *Candida tropicalis* Lipase and Cells Isolated from Olive Pulp

Özgür Kebabçı^{1,a,*}

¹Department of Molecular Biology and Genetics, Science Faculty, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 29/08/2024

Accepted: 23/09/2024

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

Zeytin küspesinden İzole Edilen *Candida tropicalis* Lipazının ve Hücrelerinin İmmobilizasyonu

Araştırma Makalesi

Süreç

Geliş: 29/08/2024

Kabul: 23/09/2024

ABSTRACT

Yeast isolated from waste olive pulp obtained from a local olive oil mill was identified and determined to be a *Candida tropicalis* strain. Lipase production optimization of *C. tropicalis* strain has been completed. The lipase produced according to the optimization parameters was partially purified by ammonium sulfate precipitation and dialysis. Crude enzyme, partially purified lipase, and cells of the *C. tropicalis* strain were separately immobilized into sodium alginate, k-Carrageenan, and Agar-Agar, respectively, and their lipase activities were investigated. The highest lipase activity was determined as 10.83 U/ml in the partially purified sample that was not immobilized.

Keywords: Lipase, Immobilization, *Candida tropicalis*, Sodium-alginate, k-Carrageenan

ÖZ

Yerel bir zeytin yağı imalathanesinden elde edilen atık zeytin küspesinden izole edilen maya tanımlanmış ve *Candida tropicalis* suşu olduğu saptanmıştır. *C. tropicalis* suşunun lipaz üretim optimizasyonu tamamlanmıştır. Optimizasyon parametrelerine göre üretilen lipaz amonyum sülfat çöktürmesi ve diyaliz ile kısmi olarak saflaştırılmıştır. Kaba enzim, kısmen saflaştırılmış lipaz ve *C. tropicalis* suşunun hücreleri ayrı ayrı sırasıyla sodyum aljinata, k-Karragenana ve Agar-Agar'a tutuklanarak lipaz aktiviteleri araştırılmıştır. En yüksek lipaz aktivitesi immobilize edilmeyen kısmi saflaştırılmış örnekte 10,83 U/ml olarak saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lipaz, İmmobilizasyon, *Candida tropicalis*, Sodyum-aljinat, k-Karragenan

^a ozgurkebabci@cumhuriyet.edu.tr 0000-0002-9404-747X

Introduction

The olive oil production industry, a traditional and important agricultural industry in Mediterranean countries, accounts for approximately 97% of the world's olive oil production (Rharrabti and Yamani, 2018; Dias et al., 2021). According to 2023-2024 data, one of the top three olive oil producers worldwide is Turkey and its olive oil production was 210 thousand tons. Three processes such as traditional press system, the three-phase centrifuge system and the two-phase centrifuge system are used to extract olive oil. As a result of these systems, two types of waste/residue are formed: liquid and solid. The seeds, skins and pulp remaining after the olives are pressed constitute the olive pomace (olive pulp). These wastes are of great importance in obtaining new microbial strains for lipase production.

Lipases, triacylglycerol ester hydrolases (E.C. 3.1.1.3), are serine hydrolases that carry out the hydrolysis and synthesis of esters of glycerol and long-chain fatty acids. Industrial lipases are generally esterase enzymes that hydrolyze fats and oils to diglycerides, monoglycerides, and finally glycerol and free fatty acids, respectively (Meghwanshi and Vashishtha, 2018). In an aqueous or nonaqueous system, lipases catalyze many reactions such as hydrolysis, ester synthesis, transesterification, and enantioresolution of esters (Hou, 2002). Lipases from different sources show significant differences in their enzyme specificity, which allows them for different industrial uses. In the energy industry, lipases attract attention as a non-toxic, biodegradable and renewable alternative fuel (such as biodiesel production) and energy source (Matuoog and Yunjun, 2017). Apart from the energy sector, lipases also have applications especially in the food, pharmaceutical and detergent industries. Lipases are used to obtain polyunsaturated fatty acids from solid or liquid oils. For this reason, it is used as a food additive and supplement in the medical sector. Lipases can also be used in the production of various chemicals, including food, pesticides and drugs. Dyeing of wool is enriched with reactive dyes using lipase (Ulbrich-Hofmann, 2012). Another area of use of lipases is bioremediation. For instance, it can be used in the treatment of wastewater from the meat industry. It is applied in the treatment of oily wastes containing solid and liquid oils discharged by the dairy industry, restaurants, slaughterhouses, hospitals or health centers (Basheer et al., 2011). Lipases can synthesize a chiral intermediate for the production of Polixatel, which is applied as an anticancer drug, especially in ovarian cancer (Fukaya et al., 2016). Lipases are also included in biosensor applications (Melani et al., 2019).

Lipase sources can be plant, animal or microbial (Gupta et al., 2004). Microbial lipases are generally more stable than animal or plant lipases (Hou, 2002). Extracellular lipase production is higher than intracellular lipase production, and extracellular lipases are produced

by bacteria, yeasts, and molds. Yeasts have some advantages over bacteria and molds. For instance, they are more resistant to high substrate concentrations. They also have greater tolerance to metal ions. For these reasons, they allow for ease of growth and processing and the use of less refined and cheaper substrates such as agricultural industrial by-products (Rane and Sims, 1993; Rehman et al., 2014). Many yeasts have been studied in the production of lipase. Among these, *Candida* species are the most prominent (Sakpuntoon et al., 2020). *Candida* species that produce lipase include *C. curvata*, *C. tropicalis*, *C. valida*, *C. rugosa*, *C. utilis*, *C. pelliculosa*, *C. antarctica*, *C. cylindraceae*, *C. deformans*, and *C. parapsilosis* (Ghosh et al, 1996; Tokak et al, 2019; Başkan and Açikel, 2023). The yeast most commonly used in commercial lipase production is *Candida rugosa* (Sakpuntoon et al, 2020). However, other species that produce lipase should not be ignored. Among the lipase-producing species other than *Candida*, *Yarrowia lipolytica* (formerly *Candida lipolytica*) stands out. Additionally, *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomycopsis fibuligera*, *Geotrichum* species (such as *G. candidum*, *G. asteroides*, *Geotrichum* sp. FO401B), *Kluyveromyces lactis*, *Trichosporon* species (such as *T. asteroides*, *T. cutaneum*, *T. fermentans*) are also taken place in the literature as lipase producing species (Vakhlu and Kour, 2006).

Enzyme immobilization refers to an enzyme that is physically or chemically confined or localized to a specific area or region and retains abundant catalytic activity over several subsequent cycles (Kumar et al., 2023). Free enzymes have many disadvantages as well as advantages. The most important of these is that free enzymes are easily broken down and inactivated. Another is that free enzymes cannot be recovered and reused (Matuoog and Yunjun, 2017). Therefore, immobilization of enzymes is required, especially in industrial application areas. Immobilization increases the recyclability of enzymes and also increases enzyme stability and activity (Mehta et al., 2017). There are various methods or techniques for immobilization of enzymes using different supports, such as physical adsorption, covalent binding, membrane confinement, encapsulation, entrapment and cross-linking (Thangaraj and Solomon, 2019^a). While physical adsorption is reversible, the others are irreversible. The carriers used in lipase immobilization are very important because their interactions with enzyme molecules can affect the activity and stability of immobilized lipases (Thangaraj and Solomon, 2019^b). These carriers can be a synthetic organic polymer, a biopolymer, or an inorganic polymer. There are various enzyme immobilization carrier materials, including glass beads, macroporous resin, mesoporous silica, sol-gel material, magnetic particles and carbon nanotube (Matuoog and Yunjun, 2017).

In this study, a yeast strain obtained from olive pulp taken from a local olive oil mill was identified as *Candida tropicalis* and after lipase enzyme optimization, it was partially purified by ammonium sulfate precipitation and

dialysis and both yeast and crude enzyme extract were immobilized on sodium-alginate, k-Carrageenan and agar-agar carriers and enzyme stability was investigated.

Material and Methods

Isolation and Identification of The Microorganism

Waste olive pulp obtained from a local olive oil mill located in the Tarsus/Mersin region was taken under sterile conditions. 1 g of olive pulp was taken and transferred to a tube containing 10 ml of 0.9% NaCl, and homogenization was ensured. 0.1 ml of this solution was taken and inoculated into Yeast Medium Agar (YMA) prepared in a petri plate and incubated at 30°C for 72 hours. The yeast strain with lipolytic activity obtained after incubation was purified by streak-plate technique. The purified strain was identified by 18S rRNA (Kebabci and Cihangir, 2022).

Lipase Production Medium and Determination of Lipase Activity

Lipase production medium was prepared as grams per liter; 1 peptone, 12 NaH₂PO₄, 2 KH₂PO₄, 0.3 MgSO₄.7H₂O, 0.25 CaCl₂, 0.005 FeSO₄.7H₂O, 0.015 MnSO₄.7H₂O, 0.03 ZnSO₄.7H₂O (Hatzinikolaou et al., 1996). The pH of the medium was adjusted to 4.5 and sterilized at 121°C under 1 atm pressure for 15 minutes. After sterilization, 1% olive oil was added when the ambient temperature dropped below 65°C. When the medium reached room temperature, 1 ml of the stock culture was taken and inoculated into the medium and left for incubation at 30°C and 100 rpm for 72 hours. After incubation, the medium was first filtered through Whatman No:1 filter paper and then centrifuged at 7200 rpm for 10 minutes to obtain the supernatant (CFS). The supernatant obtained was used for the measurement of the lipase activity.

The supernatant obtained after incubation in lipase production medium was used in the determination of lipase activity. 1 ml of supernatant (enzyme source), 1 ml of olive oil, 4.5 ml of 50 mM pH 5.6 acetate buffer and 0.5 ml of 0.1 M CaCl₂ were mixed and incubated at 200 rpm for 30 minutes. After incubation, 20 ml of 97% ethyl alcohol solution was added to stop the reaction. Lipase activity was determined by titrating the released fatty acids with 50 mM potassium hydroxide up to pH 10.5 (Sugihara et al., 1991; Kamzolova et al., 2005). One unit of lipase activity was defined as the activity that released 1 μmol of fatty acid under the conditions given above.

Ammonium Sulfate Precipitation and Dialysis

A modified method was used for ammonium sulfate precipitation (Kebabci and Cihangir, 2011). Ammonium sulfate was added to 100 ml of supernatant to bring it to 40% saturation and the process was carried out for 24 hours at +4°C with continuous stirring. At the end of the period, the precipitate was collected by centrifugation. Lipase activities in the precipitate and supernatant were determined. Then, the same procedure was applied for 60% and 80% ammonium sulfate saturation. At each

stage, precipitates were collected and lipase activity and total protein were determined. After ammonium sulfate precipitation, the sediment was placed in a dialysis bag for further purification and dialyzed against water for 48 hours, after which lipase activity and total protein amounts were determined by the Lowry method (Lowry et al., 1951). The standard protein curve prepared with bovine serum albumin was used to calculate the protein amount.

Immobilization

Sodium-alginate, k-carrageenan and agar-agar were used as carrier materials for immobilization. These carrier materials were formed into beads to immobilize *Candida tropicalis* biomass, crude lipase and partially purified lipase and investigated for lipase activity.

Results

As a result of optimization of the lipase production medium of the newly isolated and identified *Candida tropicalis* strain, the enzyme activity was increased from ~5 U/ml to 10.33 U/ml. In the optimization, parameters such as pH of the production environment, temperature, carbon source, nitrogen source were investigated. It was determined that 1% ammonium sulphate added to the lipase production medium as a nitrogen source increased enzyme production. Addition of 1% ammonium sulphate plus 1% olive oil increased lipase production from 10.33 U/ml to 10.67 U/ml in the same medium (Kebabci and Cihangir, 2022).

Lipase production was carried out by inoculating 1 ml of *Candida tropicalis* from the stock culture into modified lipase production medium to which 1% ammonium sulfate and 1% olive oil were added, at 30°C and 100 rpm for 72 hours. At the end of incubation, the medium was filtered through Whatman No:1 filter paper. The resulting blend was centrifuged at 7200 rpm for 10 minutes to obtain cell-free medium (CFS). Ammonium sulfate precipitation and dialysis processes were carried out using this cell-free medium. 100 ml CFS was used for ammonium sulfate precipitation and the highest purification obtained from the crude enzyme was 4.72-fold at 80% saturation (Table 1). The medium obtained after ammonium sulfate precipitation was subjected to dialysis at +4°C overnight. Protein and lipase activity were determined in enzymatic fractions for all processes. At the end of the purification, 7.25-fold partial purification was achieved (Table 2).

Sodium-alginate, k-Carrageenan and agar-agar beads were prepared as carriers for immobilization. The prepared beads, 3-4 mm, were used in the study. *Candida tropicalis* biomass and crude lipase and partially purified lipase were trapped in carriers and stored at +4°C, and then lipase activity determinations were carried out. Data obtained as a result of immobilization showed that the highest lipase activities were in the non-immobilized samples. Partially purified lipase showed the highest

lipase activity with 10.83 U/ml, despite being diluted 7.25-fold (Figure 1).

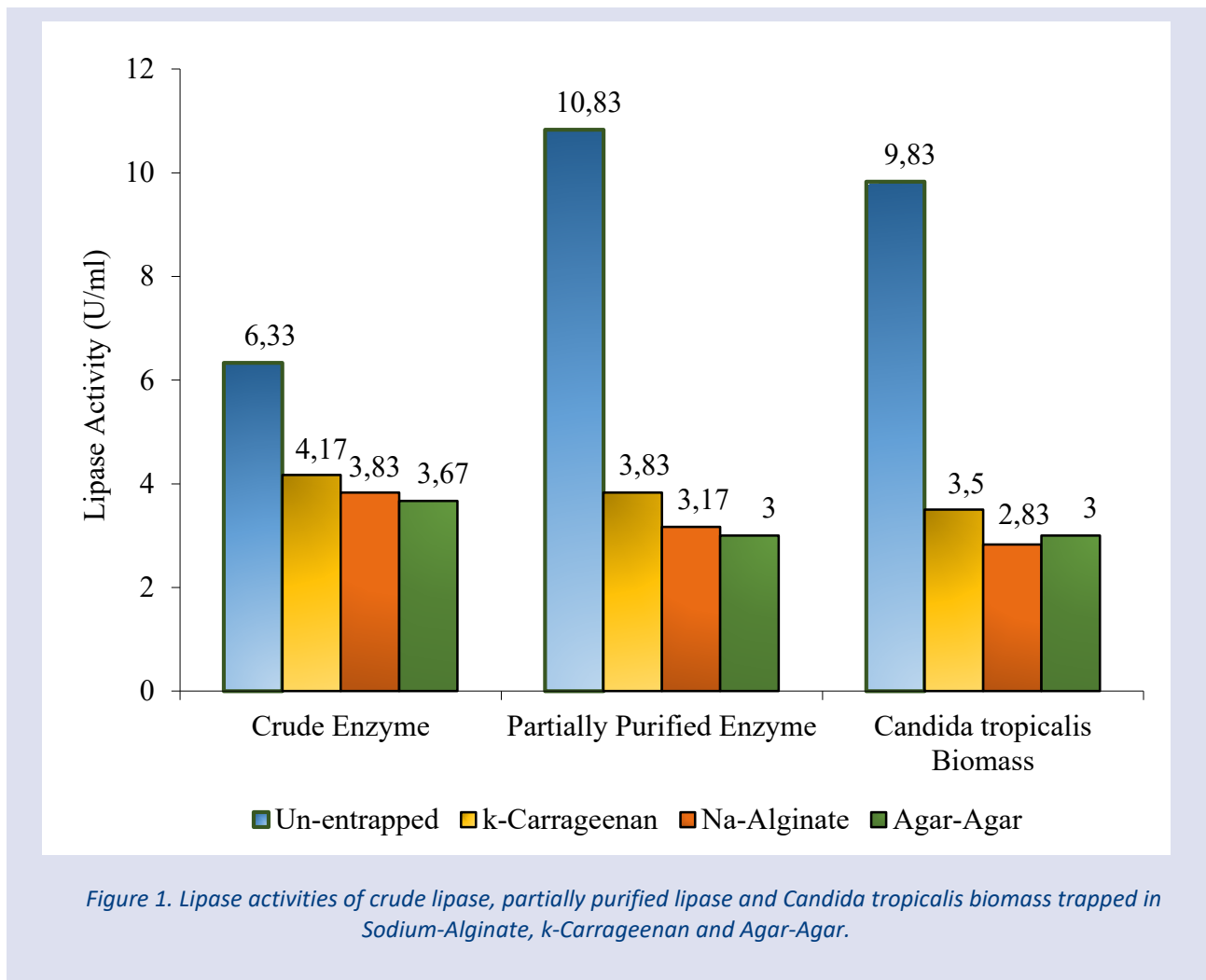


Table 1. Partial purification of lipase enzyme by ammonium sulfate precipitation.

Fractions	Total Volume (ml)	Protein		Enzyme			Yield (%)	Purification Fold
		mg/ml	Total (mg)	U/ml	Total Unit Activity	Total Specific Activity (U/mg protein)		
Crude Enzyme	100	0.252	25.20	5.33	533.0	21.15	100	1
Saturation	%40	0.620	6.20	15.17	151.7	24.47	28.46	1.16
	%60	0.456	4.56	26.33	263.3	57.74	49.40	2.73
	%80	0.483	4.83	48.17	481.7	99.73	90.38	4.72

Table 2. Purification of lipase enzyme after dialysis.

Fractions	Total Volume (ml)	Protein		Enzyme			Yield (%)	Purification Fold
		mg/ml	Total (mg)	U/ml	Total Unit Activity	Total Specific Activity (U/mg protein)		
Crude Enzyme	100	0.252	25.20	5,33	533.0	21.15	100	1
Ammonium sulfate	10	0.483	4.83	48.17	481.7	99.73	90.38	4.72

Precipitation								
80%								
Dialysis	5	0.578	3.89	29.83	596.6	153.37	111.93	7.25

Discussions

Enzyme biotechnology, one of the sub-branches of biotechnology, has a significant share in the industrial field. The size of the global enzyme market is estimated to be approximately 6.4 billion USD in 2024. The lipase market is thought to be approximately 760 million US dollars in 2024. While molds have a 60% share in the production of industrial enzymes, bacteria have a 24% share, yeasts have a 4% share and plants and animals have a 10% share (Fasim et al., 2021). Immobilization of lipases and the microorganisms that produce them is gaining importance in the sustainable enzyme market. It is observed that lipases used especially in synthesis and biotransformation are immobilized. Because recycling of expensive lipases is of industrial importance (Sharma et al., 2001). Immobilization can also increase enzyme stability and activity. Lipases are produced by many *Candida* species, but *C. rugosa* is one of the most commonly used for lipase production (Vaklu and Kour, 2006). *C. tropicalis*, is also being studied for lipase production. There are many studies in the literature on *Candida tropicalis* and the lipase it produces. The majority of these are related to biofuel production. Thangavelu et al. (2020) investigated *Candida tropicalis* ASY2 strain to produce microbial lipids for use as biodiesel feedstock. In a study carried out by Kutty et al. (2012) the degradation of petroleum hydrocarbons by immobilized *Candida tropicalis* (SD 302) strain was studied. There are also studies on phenol degradation from immobilized *Candida tropicalis* strains (Chen et al., 2002; Varma and Gaikwad, 2010; Kumar et al., 2018; Silva et al., 2019). Another degradation study was carried out by Tan et al. (2014) on acid Orange G using *Candida tropicalis* TL-F1 strain. In a study carried out by Pothayi et al. (2022) the production of lipase enzyme in *C. tropicalis* strains using various parameters was investigated. In another study, *C. tropicalis* strain was used in the production of flavor compounds from olive mill waste (Guneser et al., 2017). Scientific studies show that research on *C. tropicalis* and its lipase is especially focused on biofuel and biodegradation. Various carriers are used for the immobilization of *Candida tropicalis* lipase and biomass. Immobilization of microbial cells or their enzymes in gels such as calcium alginate, K-carrageenan and chitosan is a well-known technique (Fadnavis et al., 2003). In our study, lipase and biomass produced by *Candida tropicalis* were immobilized on these three carriers. Although loss of activity is observed after immobilization, it is advantageous when it comes to the stability of immobilized samples. It would be appropriate to use the newly isolated *Candida tropicalis* strain especially in biofuel and biodegradation studies.

References

Basheer SM, Chellappan S, Beena PS, Sukumaran RK, Elyas KK, Chandrasekaran M. 2011. Lipase from marine *Aspergillus awamori* BTMFW032: production, partial purification and

- application in oil effluent treatment. *New Biotechnology*, 28(6): 627-638. doi: 10.1016/j.nbt.2011.04.007
- Başkan G, and Açıklık Ü. 2023. The Effects of Heavy Metals and Molasses on Enzyme Activity of *Candida* Yeast. *Cumhuriyet Science Journal*, 44(3): 497-503. doi: 10.17776/csj.1127921
- Chen K-C, Lin Y-H, Chen W-H, Liu Y-C. 2002. Degradation of phenol by PAA-immobilized *Candida tropicalis*. *Enzyme and Microbial Technology*, 31(4): 490-497. doi: 10.1016/S0141-0229(02)00148-5
- Dias B, Lopes M, Ramôa R, Pereira AS, Belo I. 2021. *Candida tropicalis* as a Promising Oleaginous Yeast for Olive Mill Wastewater Bioconversion. *Energies*, 14(3): 640. doi: 10.3390/en14030640
- Fadnavis NW, Sheelu G, Kumar BM, Bhalerao MU, Deshpande AA. 2003. Gelatin blends with alginate: gels for lipase immobilization and purification. *Biotechnology Progress*, 19(2): 557-564. doi: 10.1021/bp010172f
- Fasim A, More VS, More SS. (2021). Large-scale production of enzymes for biotechnology uses. *Current Opinion in Biotechnology*, 69: 68-76. doi: 10.1016/j.copbio.2020.12.002
- Fukaya K, Yamaguchi Y, Watanabe A, Yamamoto H, Sugai T, Sugai T, Sato T, Chida N. 2016. Practical synthesis of the C-ring precursor of paclitaxel from 3-methoxytoluene. *The Journal of Antibiotics*, 69: 273-279. doi: 10.1038/ja.2016.6
- Ghosh PK, Saxena RK, Gupta R, Yadav RP, Davidson S. 1996. Microbial lipases: production and applications. *Science Progress*, 79(Pt 2): 119-157.
- Guneser O, Demirkol A, Yuçer YK, Togay SO, Hosoglu MI, Elilob M. 2017. Production of flavor compounds from olive mill waste by *Rhizopus oryzae* and *Candida tropicalis*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48 (2) 275-285. doi: 10.1016/j.bjm.2016.08.003
- Gupta R, Gupta N, Rathi P. 2004. Bacterial lipases: An overview of production, purification and biochemical properties. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64(6): 763-781. doi: 10.1007/s00253-004-1568-8
- Hatzinikolaou D, Macris JB, Christakopoulos P, Kekos D, Kolisis FN, Fountoukidis G. 1996. Production and Partial Characterization of Extracellular Lipase from *Aspergillus niger*. *Biotechnology Letters*, 18: 547-552. doi: 10.1007/BF00140201
- Hou CT. 2002. Industrial Uses of Lipase. In: Kuo TM, Gardner HW (editors). *Lipid Biotechnology*. New York, Basel: Marcel Dekker, Inc. pp. 390-416. ISBN 0-8247-0619-6
- Kamzolova SV, Morgunov IG, Aurich A, Perevoznikova OA, Shishkanova NV, Stottmeister U, Finogenova TV. 2005. Lipase Secretion and Citric Acid Production in *Yarrowia lipolytica* Yeast Grown on Animal and Vegetable Fat. *Food Technology and Biotechnology*, 43(2): 113-122.
- Kebabcı Ö, and Cihangir N. 2022. A Novel Yeast Isolated From Olive Mill Waste *Candida tropicalis*; Optimization of Medium Composition For Lipase Production. *The Journal of Fungus*, 13(1): 8-14. doi: 10.30708/mantar.992551
- Kebabcı Ö, and Cihangir N. 2011. Immobilization of Lipase and Lipase Producing Yeast, *Yarrowia lipolytica* NBRC 1658. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 39(3): 283-288.
- Kumar A, Verma V, Dubey VK, Srivastava A, Garg SK, Singh VP, Arora PK. 2023. Industrial applications of fungal lipases: a review. *Frontiers in Microbiology*, 14: 1142536. doi: 10.3389/fmicb.2023.1142536

- Kumar S, Neeraj, Mishra VK, Karn SKr. 2018. Biodegradation of phenol by free and immobilized *Candida tropicalis* NPD1401. African Journal of Biotechnology, 17(3): 57-64. doi:10.5897/AJB2017.15906
- Kutty SN, Damodaran R, Philip R. 2012. Degradation of petroleum hydrocarbons by marine yeasts *Candida tropicalis* SD 302 and *Pichia guilliermondii* SD 337. Blue Biotechnology, 1(3): 423-431.
- Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randal RJ. 1951. Protein measurement with the folin reagent. Journal of Biological Chemistry, 193: 265-275.
- Matuog N, and Yunjun Y. 2017. Review: Immobilization and application of lipase. IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences, 12(5): 01-16. doi: 10.9790/3008-1205010116
- Meghwanshi GK, and Vashishtha A. 2018. Biotechnology of Fungal Lipases. In: Gehlot P, Singh J (editors). Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives. Singapore, Springer. pp. 383-412. ISBN 978-981-13-0392-0
- Mehta A, Bodh U, Gupta R. 2017. Fungal lipases: a review. Journal of Biotech Research, 8(1): 58-77.
- Melani NB, Tambourgi EB, Silveira E. 2019. Lipases: From Production to Applications. Separation & Purification Reviews, 49(2): 143-158. doi: 10.1080/15422119.2018.1564328
- Pothayi V, Kutty SN, Devasia SC. 2022. Effect of Physico-Chemical Parameters in the Production of Hydrolytic Enzymes from Yeast *Candida tropicalis* Isolated from the Mangrove Sediments of North Kerala, India. Jordan Journal of Biological Sciences, 15(2): 249-255. doi: 10.54319/jjbs/150212
- Rane K, and Sims K. 1993. Production of citric acid by *Candida lipolytica* Y 1095: Effect of glucose concentration on yield and productivity. Enzyme and Microbial Technology, 15(8): 646-651. doi: 10.1016/0141-0229(93)90063-8
- Rehman A, Rasool S, Mukhtar H, ul Haq I. 2014. Production of an extracellular lipase by *Candida utilis* NRRL-Y-900 using agro-industrial by-products. Turkish Journal of Biochemistry, 39(2): 140-149. doi: 10.5505/tjb.2014.96977
- Rharrabti Y, and El Yamani M. 2019. Olive mill wastewater: Treatment and valorization technologies. In: Hussain CM (editor). Handbook of Environmental Materials Management. Switzerland, Springer Nature. pp. 1659–1686. ISBN 978-3-319-73644-0
- Sakpuntoon V, Angchuan J, Boontham W, Khunnamwong P, Boonmak C, Srisuk N. 2020. Grease Waste as a Reservoir of Lipase-Producing Yeast and Description of *Limtongella siamensis* gen. nov., sp. nov. Microorganisms, 8(1): 27. doi: 10.3390/microorganisms8010027
- Sharma R, Chisti Y, Banerjee UC. 2001. Production, purification, characterization, and applications of lipases. Biotechnology Advances, 19(8): 627-662. doi: 10.1016/s0734-9750(01)00086-6
- Silva NCG, Macedo AC, Pinheiro ADT, Rocha MVP. 2019. Phenol biodegradation by *Candida tropicalis* ATCC 750 immobilized on cashew apple bagasse. Journal of Environmental Chemical Engineering, 7(3): 103076. doi: 10.1016/j.jece.2019.103076
- Sugihara A, Tani T, Tominaga Y. 1991. Purification and characterization of a novel thermostable lipase from *Bacillus* sp. The Journal of Biochemistry, 109(2): 211-216.
- Tan L, Li H, Ning S, Hao J. 2014. Aerobic Decolorization and Degradation of Acid Orange G (AOG) by Suspended Growing Cells and Immobilized Cells of a Yeast Strain *Candida tropicalis* TL-F1. Applied Biochemistry and Biotechnology, 174(4): 1651-1667. doi: 10.1007/s12010-014-1086-9
- Thangaraj B, and Solomon PR. 2019^a. Immobilization of Lipases - A Review Part I: Enzyme Immobilization. ChemBioEng Reviews, 6(5): 157-166. doi: 10.1002/cben.201900016
- Thangaraj B, and Solomon PR. 2019^b. Immobilization of Lipases - A Review Part II: Carrier Materials. ChemBioEng Reviews, 6(5): 167–194. doi: 10.1002/cben.201900017
- Thangavelu K, Sundararaju P, Srinivasan N, Muniraj I, Uthandi S. 2020. Simultaneous lipid production for biodiesel feedstock and decontamination of sago processing wastewater using *Candida tropicalis* ASY2. Biotechnology for Biofuels, 13(1): 35. doi: 10.1186/s13068-020-01676-1
- Tokak S, Kılıç İH, Yalçın HT, Duran T. 2019. Detection of Extracellular Lipases and Genotypic Identification from Yeast Causing Spoilage of Some Dairy Products Produced in Gaziantep. KSU Journal of Agriculture and Nature, 22 (1): 206-211. doi: 10.18016/ksutarimdog.vi.555727
- Ulbrich-Hofmann R. 2012. Methods in Molecular Biology, Volume 861: Lipases and Phospholipases: Methods and Protocols. In: Sandoval G (editor). Wiley Online Library. ChemBioChem., 13(14). doi: 10.1002/cbic.201200542
- Varma RJ, and Gaikwad BG. 2010. Continuous phenol biodegradation in a simple packed bed bioreactor of calcium alginate-immobilized *Candida tropicalis* (NCIM 3556). World Journal of Microbiology and Biotechnology, 26(5): 805-809. doi: 10.1007/s11274-009-0236-7
- Vakhlu J, and Kour A. 2006. Yeast lipases: Enzyme purification, biochemical properties and gene cloning. Electronic Journal of Biotechnology, 9(1): 9. doi: 10.2225/vol9-issue1-fulltext-9



Information Technology Integration in Occupational Health and Safety Studies: Telecommunications Industry Sample

Sedat Güçlü^{1,a}, Murat Bostancıoğlu^{2,b,*}

¹Institute of Science, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 10/09/2024

Accepted: 07/10/2027

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

Advanced information technologies are indispensable in today's fast and competitive business world. Rapid industrialisation and technological developments have led to an increase in workplace hazards and risks. Risk assessment studies are carried out in the telecommunications sector in order to protect employees from these hazards and risks. These studies are carried out to identify hazards and risks, prevent occupational accidents and promote safety culture. Interactive and synchronised monitoring of occupational health and safety, inactivating risk factors and providing a safe working environment are important. In this study, how a GSM company in Turkey uses information technology in occupational health and safety, the advantages and disadvantages of integration and the attitude of employees were evaluated. The study revealed that information systems provide significant gains in workflow and occupational health and safety. As a result, it is expected to provide an innovative and universal perspective on occupational health and safety in the telecommunication sector.

Keywords: Telecommunications, GSM, occupational health and safety, management information systems, information integration

İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışmalarında Bilişim Entegrasyonu: Telekomünikasyon Sektörü Örneği

Araştırma Makalesi

Süreç

Geliş: 10/09/2024

Kabul: 07/10/2024

ÖZ

Günümüzün hızlı ve rekabetçi iş dünyasında gelişmiş bilgi teknolojileri vazgeçilmezdir. Hızla ilerleyen sanayileşme ve teknolojik gelişmeler, işyeri tehlikeleri ve risklerinin artmasına neden olmuştur. Telekomünikasyon sektöründe çalışanları bu tehlike ve risklerden korumak amacıyla risk değerlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar, tehlikelerin ve risklerin belirlenmesi, iş kazalarının önlenmesi ve güvenlik kültürünün teşvik edilmesi için gerçekleştirilir. İş sağlığı ve güvenliğinin interaktif ve senkronize takibi, risk faktörlerinin inaktif hale getirilmesi ve güvenli bir çalışma ortamı sağlanması önemlidir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki bir GSM şirketinin iş sağlığı ve güvenliğinde bilişim teknolojisini nasıl kullandığı, entegrasyonun avantaj ve dezavantajları ve çalışanların tutumu değerlendirilmiştir. Araştırma, bilişim sistemlerinin iş akışı ve iş sağlığı güvenliğinde önemli kazanımlar sağladığını ortaya koymuştur. Sonuç olarak, telekomünikasyon sektöründe iş sağlığı ve güvenliğine yenilikçi ve evrensel bir bakış açısı kazandırılması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Telekomünikasyon, GSM, iş sağlığı ve güvenliği, yönetim bilişim sistemleri, bilişim entegrasyonu

^a sedguclu@hotmail.com

^{id} 0009-0007-4428-2336

^b bostancioglu@cumhuriyet.edu.tr

^{id} 0000-0001-6820-2213

How to Cite: Guclu S, Bostancıoğlu M (2024) Information Technology Integration in Occupational Health and Safety Studies: Telecommunications Industry Sample, Journal of Science and Technology, 3(2): 61-75

Giriş

Fransız Devrimi'nden sonra sanayi ve teknolojinin hızlı gelişmesi, işçilerin daha fazla risk ile karşı karşıya gelmesi sonucunu doğurmuştur. Bununla birlikte işverenlerin kârlarını artırma çabaları yaşanan iş kazası sayısını önemli ölçüde artırmıştır (Çiçek ve Öçal, 2016). Çalışma sahalarındaki bu sorunların önüne geçilebilmesi ve işçi sağlığı ile iş güvenliğinin sağlanabilmesi için iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kavramı, iş kazalarına yönelik bilimsel yaklaşımın zorunlu olduğunun kabulü olarak ortaya çıkmıştır (Bostancı, 2004).

"Gerek işyerinde gerekse işyeri dışında meydana gelebilecek her türlü tehlike nedeniyle çalışanların bedensel ve ruhsal yönden zarar görmemeleri için yapılması gereken teknik ve tıbbi çalışmalar" iş sağlığı ve güvenliği kavramı içinde yer almaktadır (Balkır, 2012).

Bununla birlikte, iş güvenliği fikri, çalışanların görevlerini yerine getirirken veya işyerinde başka herhangi bir nedenle meydana gelen kazalara karşı koruma sağlar. Çalışma ortamına bağlı olarak iş güvenliği, kazaları en aza indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için yapılan araştırma ve uygulama eylemleri olarak nitelendirilebilir (Karabal, 2021).

İSG'nin hedefleri göz önünde bulundurulduğunda, üretimin, işçi güvenliğinin ve çalışanların korunmasının teminat altına alındığı görülebilir. Çalışanlar için iş yerindeki tehlikeleri ve bu tehlikelere bağlı potansiyel riskleri belirlemek, değerlendirmek ve riskleri tamamen ortadan kaldırmak veya azaltmak için araştırmalar yapmak, bu hedeflere ulaşmanın ilk adımlarıdır (Canbaş ve ark., 2018; Doğan, 2024; Oakman ve ark., 2018; Azgın ve ark., 2021; Siegrist ve ark., 2016; Magnavita ve Chirico, 2020).

Bir ülkenin kalkınması açısından telekom sektörünün yapısı ve gelişimi çok önemlidir. Bilgiye erişimi genişletmek ve büyük miktarda veriyi analiz etmek, küresel rekabet gücünü ve ekonomik ilerlemeyi artırmaktadır (Kabaklarlı ve Işıcık, 2020).

Haberleşmede sürekli hizmet sağlamak, her geçen gün genişleyen bu sektörün karşı karşıya olduğu en büyük sorunlardan biridir. Telekomünikasyon sektöründe bakım, onarım, yeni saha ekipmanı kurulumu, revizyon gibi görevler sürekli devam etmelidir. Hizmet sürekliliğinin sağlanması amacıyla belirtilen bu görevlere uygun altyapıyı kurmak, işverenin en önemli önceliğidir. Sonuç olarak, işverenin günün her saati çalışabilecek nitelikli personel bulundurduğundan emin olması gerekir. İş sağlığı ve güvenliği bu prosedürde hizmet kalitesinin birincil belirleyicisidir.

Telekomünikasyon sektöründe en yaygın olarak gerçekleştirilen görevler arasında işveren ve alt işveren altyapı kurulum, arıza ve bakım işlemleri yer almaktadır. Bu faaliyetler gerçekleştirilirken; blokta çalışma, ahşap telefon direğinde çalışma, çatılarda çalışma, seyyar alüminyum merdivende çalışma, kapalı alanlarda (menholde) çalışma, sepetli araçla yüksekte çalışma, R/L kulelerinde çalışmalar gibi faaliyetler yürütülmektedir.

Yukarıda sayılan bu çalışmalar, personelinin en sık gerçekleştirdiği ve potansiyel olarak ölümcül durumlar içeren görevler olduğundan, güvenli bir şekilde tamamlanmaları zorunludur. Telekomünikasyon sektörü saha çalışmaları, çok tehlikeli çalışmalar olarak kabul edilir (Budak, 2019).

Dünyada ve ülkemizde hızla gelişen sanayileşme ve teknoloji ile orantılı olarak işyerlerinde çalışma ortamı ve iş yapış biçimlerinden kaynaklanan tehlikeler ve bir takım riskler söz konusudur. Telekomünikasyon sektöründe çalışanları bu tehlike ve risklerden koruyabilmek için işyerlerinde iş güvenliği yönetimi kapsamında; çalışma ortamının olumsuz etkilerinden arınmış, sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturabilmek amacıyla proaktif bir yaklaşım sergilenerek, iş kazası veya buna bağlı zararlar ortaya çıktıktan sonra neler yapılacağı değil (reaktif yaklaşım), iş kazası ve meslek hastalığının önlenmesi için atılacak adımlar esas alınmıştır (Özçelik, 2013).

Tüm bunlar göz önünde bulundurularak telekomünikasyon sektöründe iş sağlığı ve güvenliğinin interaktif ve senkronize takip mekanizmasına sahip olması, oluşabilecek risk faktörlerinin inaktif hale gelebilmesi, iş takibinin ve çalışanın güvenli bir ortamda işi sürdürebilmesi açısından son derece önemlidir.

Bilgi teknolojilerinin 20. yüzyılın ilerleyen yıllarında hızla gelişmesi, iş dünyası ve ekonomi üzerinde önemli bir etki oluşturmuş ve iş modellerinde köklü bir değişime yol açmıştır (Kırçova, 2001). İşletmeler, günümüzün dünyasında faaliyet göstermeye ve hayatta kalmaya devam edebilmek için bilgi teknolojilerini kullanmak ve yükseltmek zorundadır. İnternet, intranet, extranet, yönetim bilgi sistemleri (YBS), ofis otomasyon sistemleri, fonksiyonel bilgi sistemleri, karar destek sistemleri, uzman sistemler ve elektronik veri değişim sistemleri, işletmelerde kullanılan bilgi teknolojileri yelpazesinin yalnızca birkaç örneğidir (Elibol, 2005).

Bilgi teknolojileri ve dijital dönüşüm süreçlerinin İSG alanına entegre edilmesiyle, insan ve makine uyumu en üst düzeye çıkarılarak proaktif çalışmalar daha etkili bir şekilde yapılmaktadır. Dijital iş sağlığı ve güvenliği teknolojilerinin bileşenleri, nesnelere interneti, radyo frekanslı tanıma, gerçek zamanlı konum belirleme teknolojisi, artırılmış gerçeklik, yapay zeka destekli güvenlik sistemleri, bulut Bilişim (Cloud Computing), büyük veri analizi, akıllı robot kullanımı, kişisel veri ve proses güvenlik sistemi ve yenilikçi İSG yazılımları olarak sayılabilir. Belirtilen bu teknolojiler, eğitim, sağlık, telekomünikasyon ve İSG gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Kahraman ve Yürüten Özdemir, 2022).

Yönetim düzeyinde planlama, kontrol ve karar verme, bir kuruluşun yönetiminde ihtiyaç duyulan bilgilerin işlenmesini ve iletilmesini kolaylaştıran bir sistem olan "Yönetim Bilişim Sistemleri" tarafından desteklenir. Bu sistem çevre ve dış faaliyetlerden ziyade iç operasyonlara odaklanır (Tekin, 2000).

Telekomünikasyon sektöründe teknolojik yöntemler ile entegre edilen bilgi yönetim sistemleri, çalışan ve işveren arasında senkronizasyon ve hızlı sorun çözümleri üretilmesi açısından son derece önemlidir. Bu bağlamda

telekomünikasyon sektöründe kullanılan yönetim bilgi sistemlerinin geliştirilmesi sektörün global zincirdeki ilerleyişini hızlandıracaktır. Son yıllarda Türkiye’de bu alanda faaliyet yürüten GSM (Global System for Mobile Communications) şirketleri kendi bünyesinde bu bilgi yönetim sistemleri ile entegre olarak hizmet kalitelerinin artırılmasına yönelmiştir. Bu yönetim bilgi sistemlerine Veriboard, Tufan YBS ve ISDP örnek verilebilir. Bu sistemler;

- İş gereksinimleriyle tam olarak eşleşen kişiye özel çözümün etkinleştirilmesi
- İş Süreçleri Yönetimi
- Doküman Yönetimi
- Envanter Yönetimi
- Yedek Parça Yönetimi
- Müşteri İlişkileri Yönetimi
- İnsan Kaynakları Yönetimi
- İş Sağlığı ve Güvenliği

konularında sektöre dijital ortamda on-line ya da geriye dönük personel ve iş takibi imkanı tanımaktadır.

Telekomünikasyon sektöründe ekiplerin yapmış olduğu çalışmalarda iş güvenliği denetiminin, yöneticiler tarafından birebir yapılması her zaman mümkün olmamaktadır. Sahaların geniş alanlarda ve çok sayıda olması nedeniyle ekiplerin kişisel koruyucu donanımlarını kullanma durumları veya sahalarda bulunan uygunsuzluklar, şirket yetkililerince tespit edilmek istense de yeterli denetim yapılamamaktadır. Kesintisiz hizmet veren bu sektörde bilişimin İSG’ye entegre edilmesi, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin sağlanabilmesini mümkün kılar.

Bu bilgi yönetim sistemlerinin iş sağlığı ve güvenliği alanında sunduğu imkânlar şunlardır;

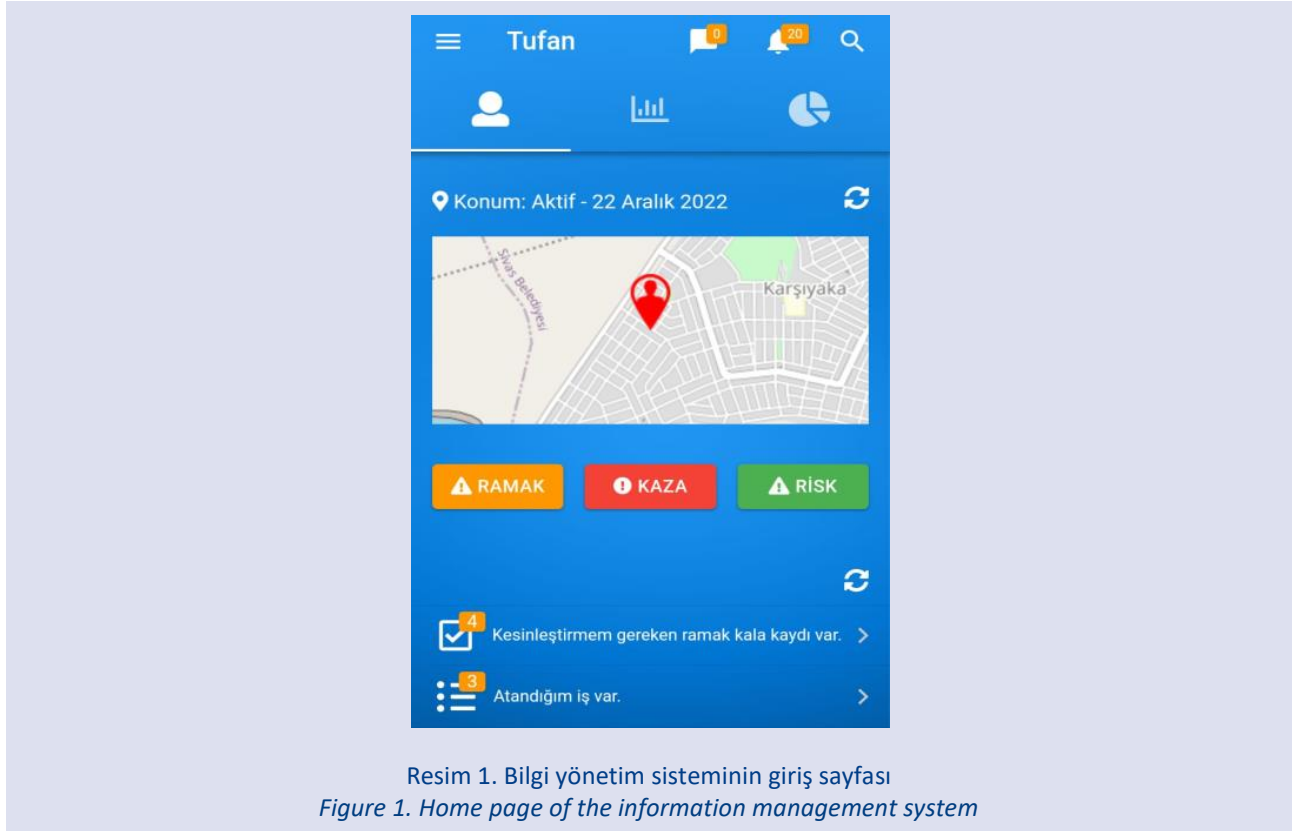
- Personellerin İSG eğitimleri ve takibi,
- Saha denetimleri,
- Araç denetimleri,
- Ramak kala/kaza bildirimleri,
- Ekipman kontrolleri,
- Personel Sağlık Raporları takibi,
- İnteraktif personel takibi,
- Saha bazlı risk değerlendirme analizi

Tüm bu veriler ışığında personellerin iş kazası geçirme olasılıkları en aza indirilerek iş onayı alınabilmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de haberleşme sektöründe yer alan bir GSM şirketinin iş sağlığı ve güvenliğinde bilişim teknolojisini nasıl kullandığı, entegrasyonun avantaj ve dezavantajları, çalışanların iş sağlığı ve güvenliği açısından yönetim bilişim entegrasyonuna olan tutumu değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen analizler sonucu, telekomünikasyon sektöründe iş sağlığı ve güvenliğine yenilikçi ve evrensel bir bakış açısı kazandırması beklenmektedir.

Tufan Yönetim Bilişim Sistemi

Telekomünikasyon sektöründe kullanılan TUFAN YBS sistemi iş akışının online ve geriye dönük olarak takibinin yapılabildiği, dinamik bir bilgi yönetim sistemidir (Şekil 1). Sistemin tanıtılmasında kullanılan görseller, Karel-Tufan YBS’ye aittir ve gerekli izinler alınmıştır.



Resim 1. Bilgi yönetim sisteminin giriş sayfası
Figure 1. Home page of the information management system

Bu bilgi yönetim sistemi personele, yöneticilere ve alt yöneticilere ayrı şekilde tanımlanarak yetkilendirme yapmaya izin vermektedir.

Programın giriş sayfasında iş sağlığı ve güvenliğine genel anlamda en hızlı ve en etkin biçimde erişim yapılabilmesini sağlamak adına ramak, kaza ve risk bildirim sekmelerinin ekli olduğu görülmektedir.

Ramak sekmesi, personellerin yaşadığı ramak kaza olayların bildirildiği (tarih, saat, konum ve personel bilgisi ekli olarak) ve kayıt altına alındığı bölümdür. Bu bölümde ayrıca ramak kaza olayların kök sebepleri ve alınabilecek önlemlerin de bildirilebileceği kısım mevcuttur (Şekil 2).

Kaza sekmesi, personellerin işe başlangıç - bitiş süreci içerisinde meydana gelen tüm kazaların kayıt altına alındığı

bölümdür. Bu bölümde kazaya ait görseller, videolar, tutanaklar ve personel ifadeleri eklenebilmektedir (Şekil 3).

Personel Eğitim ve Sağlık Takibi, Bu sekmede, personele ait işe giriş aşamasında ve periyodik olarak tekrarı gereken eğitimlerin süreç bilgileri, sertifikaları, sağlık raporları ve ehliyet ceza puanları gibi bilgiler yer almaktadır (Şekil 4).

Raporlamalar, Bu sekmede girdisi yapılan veriler oldukça geniştir. Birçok raporun girişi bu sistem ile yapılabilmektedir. İSG ve İSG denetim sekmesi içerisinde tanımlı eğitim raporları, sağlık muayene raporları, kamera kontrol geri bildirim raporları, saha denetimi raporları, araç denetimi raporu, sürüş gözetimi raporu gibi bilgiler paylaşılmaktadır (Şekil 5).

ID:	316	Zamanı:	02.08.2022 17:06
Ramak Kaza No:	20220802-RK-013C	Olay Yeri Türü:	Saha
Firma:	KAREL	Olay Yeri:	1T-W2112 - - ERYAMAN SHEEL
Grup:	VF BÇO Ankara Arıza Bakım	İl:	ANKARA
Kullanıcı Adı:	sagac	Kök Sebep:	Yetersiz bakım
E-posta:	@karel.com.tr	Alınacak Önlemler:	V2112_Eryaman Sheel sahasındaki çatı çıkış merdivenin dubelleri yerinden çıkıyor. Sağlama için evize edilecek
Ad:		Enlem:	39.9876578
Soyadı:		Boylam:	32.6573768
Görev:	Saha Operasyonları Kıdemli Teknisyeni	Onay Sonucu:	Uygun
Olay Zamanı:	02.08.2022 17:06	Onaylayan:	
Olay Yeri Türü:	Saha	Açıklama:	
Olay Yeri:	1T-W2112 - - ERYAMAN SHEEL	Oluşturma Zamanı:	02.08.2022 17:06
İl:	ANKARA	Düzenleme Zamanı:	03.08.2022 09:16

Resim 2. Bilgi yönetim sisteminde ramak sekmesi
Figure 2. Near miss tab in the information management system

Olay Yeri:		ID:	194
Plaka:	06B2L732	Kaza No:	20220427-KZ-00C2
İl:	AKSARAY	Firma:	KAREL
Kök Sebep:	Diğer	Grup:	VF BÇO Kayseri Arıza Bakım
Alınacak Önlemler:		Kullanıcı Adı:	
Enlem:	38.369961403259	E-posta:	@karel.com.tr
Boylam:	34.031379785567	Ad:	
Onay Sonucu:	Onaylanmadı	Soyadı:	
Onaylayan:		Görev:	
Açıklama:	19.04.2022 tarihinde 17:30 saatlarında Aksaray-Adana kara yolunda Hamidiye bulvarındaki kavşakta, sağ tarafında bulunan aracın kavşağa girmek için önümüzde manevra yapması sonucu maddi hasarı trafik kazası gerçekleşmiştir.	Olay Zamanı:	27.04.2022 15:41
Oluşturma Zamanı:	27.04.2022 15:41	Olay Türü:	Maddi Hasarlı
Düzenleme Zamanı:	27.04.2022 16:40	Olay Yeri Türü:	Araç
		Olay Yeri:	

Resim 3. Bilgi yönetim sisteminde kaza sekmesi
Figure 3. Accident tab in the information management system

Eğitim Sertifikalarım	
10 / 12	
Eğitim Türü: Vodafone Mutlak Kurallar ve RF Güvenliği Eğitimi	Başlangıç Tarihi: 11.06.2022 Bitiş Tarihi: 11.06.2024
Eğitim Türü: Elektrikle Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi	Başlangıç Tarihi: 15.02.2022 Bitiş Tarihi: 15.02.2023
Eğitim Türü: Temel İş Güvenliği Eğitimi	Başlangıç Tarihi: 15.02.2022 Bitiş Tarihi: 15.02.2023
Eğitim Türü: Elektrikle Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi	Başlangıç Tarihi: 18.02.2021 Bitiş Tarihi: 18.02.2022
Eğitim Türü: Temel İş Güvenliği Eğitimi	Başlangıç Tarihi: 18.02.2021 Bitiş Tarihi: 18.02.2022
Eğitim Türü: Güvenli Sürüş Eğitimi	Başlangıç Tarihi: 20.08.2021

Resim 4. Personele verilen eğitim ve sertifikalar
Figure 4. Education and certificates given to personnel

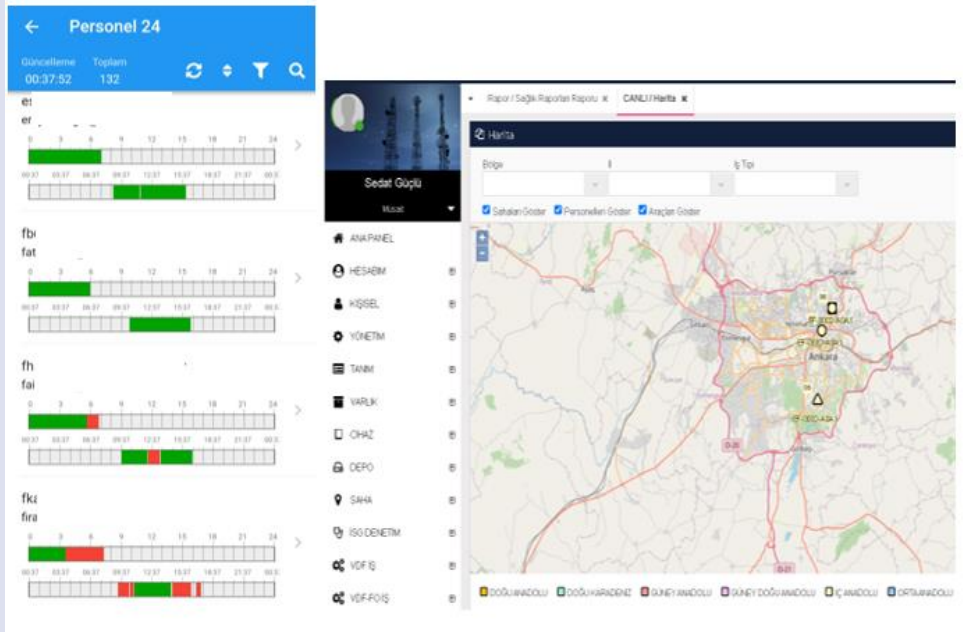
HEZA	
ISG DENETİM	
VDF İŞ	
VDF-FO İŞ	
ENVANTER	
FINANS	
RAPOR	
Tanımlı Eğitim Türleri Raporu	
Sağlık Raporları Raporu	
Eğitim Sertifikaları Raporu	
İSG Denetim	
İSG	
Personel	
Jeneratör Çalışmaları Raporu	
Jeneratör Yakıt Yönetimi Raporu	
Jeneratör Yakıt Yönetimi Detay Raporu	
CANLI	

Resim 5. Bilgi yönetim sisteminde raporlamalar sekmesi
Figure 5. Reporting tab in the information management system

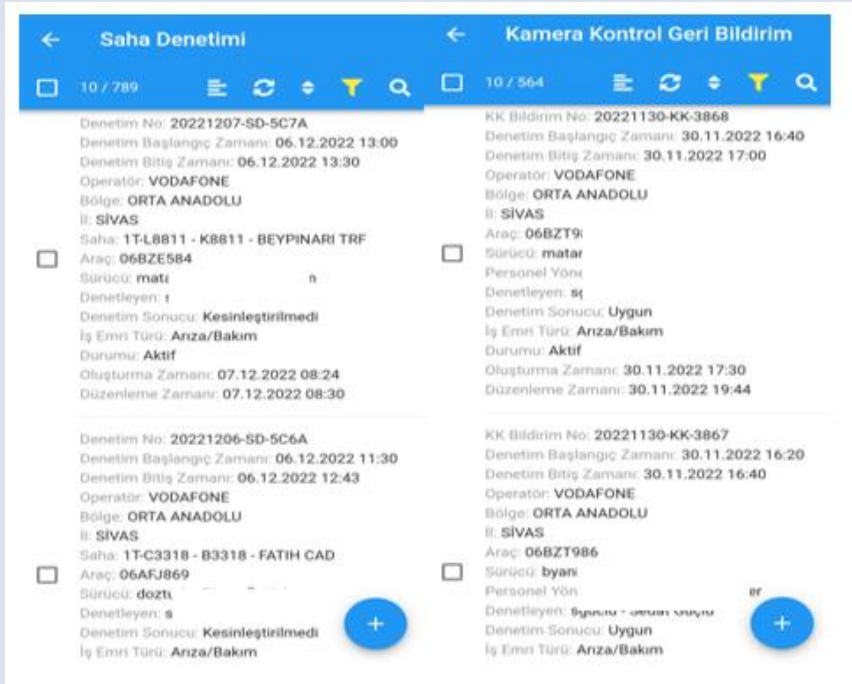
Online İş ve Personel Takibi, Bu sekmede canlı olarak çalışan personellerin takibi, çalışılan işler, sahalar, jeneratörler hem liste olarak hem de harita üzerinden görüntülenebilmektedir. Personellerin kullandıkları şirket araçlarının araç takip sisteminin bu bilgi yönetim sistemine entegre edilmesiyle personellerin anlık takibi yapılmaktadır. Personellerin çalışma süreleri takip edilerek yasal çalışma süresini aşmaları engellenerek,

yaşanabilecek olumsuzlukların önüne geçilebilmektedir (Şekil 6).

İSG Denetim Verileri, Bu sekmede, İSG kurul toplantı planı, eğitimler, kamera kontrol geri bildirimleri, saha ve araç denetimleri, sürüş gözetimleri, personellerin ehliyet ceza puanlamaları, ramak kala, kaza ve risk bildirimlerinin ayrıntılarına ulaşılabilir (Şekil 7).



Resim 6. Online olarak personellerin çalışma sürelerini ve iş takiplerinin yapıldığı sekme
Figure 6. The tab where staff's working hours and work are tracked online



Resim 7. Bilgi yönetim sisteminde İSG denetim verileri
Figure 7. OHS audit data in the information management system

Materyal Ve Yöntem

Bu çalışmada, Türkiye’de haberleşme sektöründe hizmet vermekte olan bir GSM şirketinin iş sağlığı ve güvenliğinde bilişim teknolojilerini nasıl kullandığı, entegrasyonun avantaj ve dezavantajları, çalışanların iş sağlığı ve güvenliği açısından bilişim entegrasyonuna olan tutumu Tufan YBS uygulaması üzerinden değerlendirilmiştir. Araştırmanın evrenini, şirketin orta anadolu bölgesi oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemini ise işletmedeki İSG ilişkili olan 122 işletme personeli oluşturmaktadır.

Çalışmada, GSM sektöründe aktif olarak kullanılan bir yönetim bilişim sistemi incelenerek, programın iş sağlığı güvenliğine entegrasyonu, güncellemede çalışanların rolleri, çalışan ve işverene sunduğu avantaj ve dezavantajları, çalışanların bu yönetim bilişim sistemine olan tutumu değerlendirilmiştir. Programın sunduğu nicel ve nitel veriler doğrultusunda program entegresi öncesi ve sonrası karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışanlara programa olan tutumları ile ilgili 20 sorudan oluşan bir anket uygulaması yapılmıştır. Ankette çoktan seçmeli sorular, ızgara tipi sorular, listeden seçmeli sorular sorulmuştur. Anket sorularında “yaş, eğitim durumu ve mevcut işyerindeki çalışma süreleri” demografik veri elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. YBS kullanımına ilişkin sorular ise “Bilgi akışı”, “İş Sağlığı ve Güvenliği” ve “İş süreçleri” olarak 3 ayrı başlıkta toplanmıştır (EK 1). Hazırlanan soruların tamamı, yalnızca YBS kullanımının etkilerini sorgulamak amaçlı hazırlanmıştır. ızgara tipi sorularda 5’li Likert skalası kullanılmıştır (Likert, 1932). Sorulara verilen cevaplar, “1-tamamen katılıyorum, 2-katılıyorum, 3-kararsızım, 4-katılmıyorum, 5-tamamen katılmıyorum” olarak ifade edilmiştir.

Araştırma verileri IBM SPSS 26.0 paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırmada, araştırma hipotezleri ve telekomünikasyon şirketlerinde bilgi teknolojileri kullanımının İSG üzerindeki etkileri arasındaki ilişkiyi tespit etmek için "frekans, yüzde, çapraz tablo ve ki kare analizleri" kullanılmıştır.

Ki-kare analizi, gözlenen frekanslar (GF) ile beklenen frekanslar (BF) arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemeye yarayan bir testtir (Pagano ve Gauvreau,1993) . 1900 yılında Karl Pearson ve R.A. Fisher tarafından geliştirilmiştir. Ortaya atılan hipotezin kabulü ya da reddi Eşitlik 1’de verilen denklem sonucunda elde edilen χ^2 değerinin, standart kabul gören ki kare cetvelindeki eşik değer karşılığına göre belirlenir.

$$\chi^2 = \sum \frac{(GF-BF)^2}{BF} \quad (1)$$

p değeri, olayların şans eseri meydana gelme olasılığının (yani sıfır hipotezin doğru olması) ne kadar olası olduğunu açıklayan bir sayıdır. İstatistiksel anlamlılık seviyesi 0 ile 1 arasında bir p değeri olarak ifade edilir. p değeri ne kadar küçükse, sıfır hipotezini reddetmek gerektiğine dair kanıt o kadar güçlüdür. Eşik değer çalışma alanına bağlıdır. Bazı alanlar 0,01 hatta 0,001 eşiklerini tercih eder. Ancak en yaygın eşik $p < 0,05$ ’tir. Ki kare analizinde formülden elde edilen değer, ki kare cetvelindeki alfa değerine yani eşik değerine göre değerlendirilir. Elde edilen χ^2 değerinin eşik değerinin altında kalması durumunda hipotez kabul edilir, üzerinde kalması durumunda hipotez red edilir. Bu çalışmada SPSS istatistiksel analiz programı ile demografik maddelerin, anket maddeleri ile olan korelasyonlarının χ^2 değerleri hesaplanarak $p < 0,05$ ’in altındaki değerler anlamlı olarak ifade edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Araştırmaya katılan personellerin demografik verilerini toplamak için yaş, eğitim durumu, mevcut işyerindeki çalışma süresi sorularına cevap verilmesi istenilmiştir. Araştırma kapsamında yer alan katılımcıların demografik özelliklerine ilişkin yüzde dağılımları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların Sosyo-Demografik Dağılımları
Table 1. Socio-Demographic Distribution of Participants

Yaş	Sayı (n)	Yüzde (%)
18-24 arası	18	14,8
25-35 arası	47	38,5
36-45 arası	47	38,5
46-60 arası	10	8,2
Eğitim Durumu	Sayı (n)	Yüzde (%)
Ortaokul	13	10,7
Lise	69	56,6
Ön lisans	26	21,3
Lisans ve üstü	14	11,5
Mevcut İş yerindeki Çalışma Süresi	Sayı (n)	Yüzde (%)
0-2 yıl	46	37,7
3-5 yıl	35	28,7
6-10 yıl	31	25,4
10 yıl ve üzeri	10	8,2

Tablo 1 incelendiğinde çalışanların ağırlıklı olarak (%77) 25-45 yaş aralığında olduğu görülmektedir. Çalışanların genel olarak orta yaş aralığında olması, şirketin tecrübeli veya aktif çalışan tercih ettiğinin bir göstergesi olarak belirtilebilir.

Eğitim düzeyleri incelendiğinde telekomünikasyon şirketi içerisinde lise mezunu çalışanların ağırlıklı (%56,6) olduğu görülmektedir. Lise ve üzerinde eğitimi olan personel oranı %89,3 olarak belirlenmiştir.

Çalışanların mevcut iş yerindeki çalışma süresi incelendiğinde, şirkette çalışanların %37,7'lik kısmının 0-2 yıl ile işe yeni başladığı görülmektedir. 5 yıl ve altında tecrübesi olan çalışan oranı %66,4 olarak belirlenmiştir. Yaş ortalamaları ile birlikte değerlendirildiğinde genç ve nispeten

orta tecrübede çalışan ağırlığı açıkça görülmektedir. Bu durum İSG çalışmalarının şirkette önemli bir faktör olması gerektiğini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

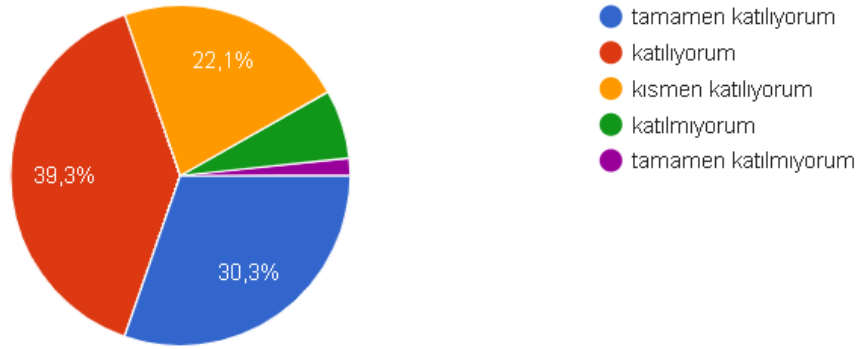
Ek-1'de verilen anket sorularının bölüm başlıkları altında değerlendirilmesi sonucunda incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bilgi Akışı İlişkili Sorular (Soru 1-5)

Bilgi akışı ile ilgili sorular incelendiğinde Soru 1 ile 5 arasındaki olumlu cevaplar ("kısmen katılıyorum", "katılıyorum" ve "tamamen katılıyorum" oranları toplamı) sırasıyla %91,7, %91, %92,7, %91,8 ve %96,7 olarak elde edilmiştir (Şekil 8-12).

Şirkette çalışanlar arasında bilgi alışverişi Yönetim bilişim sistemi (YBS) üzerinden kolaylıkla yapılmaktadır.

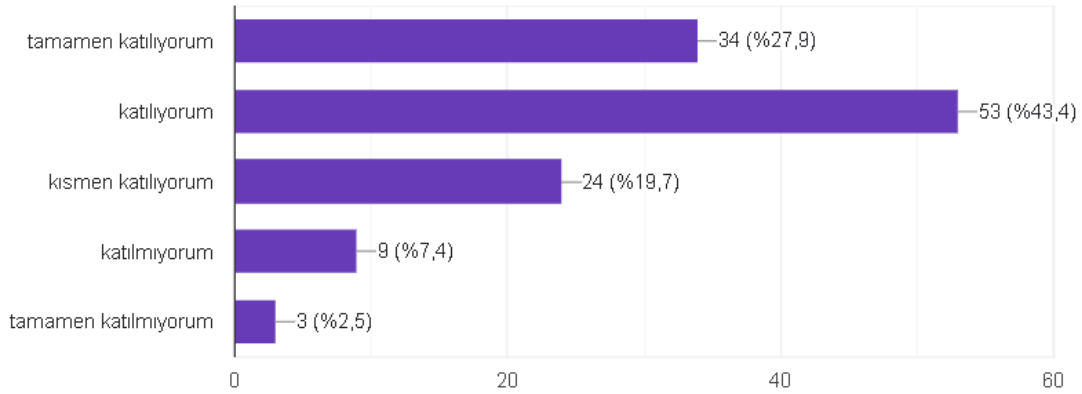
122 yanıt



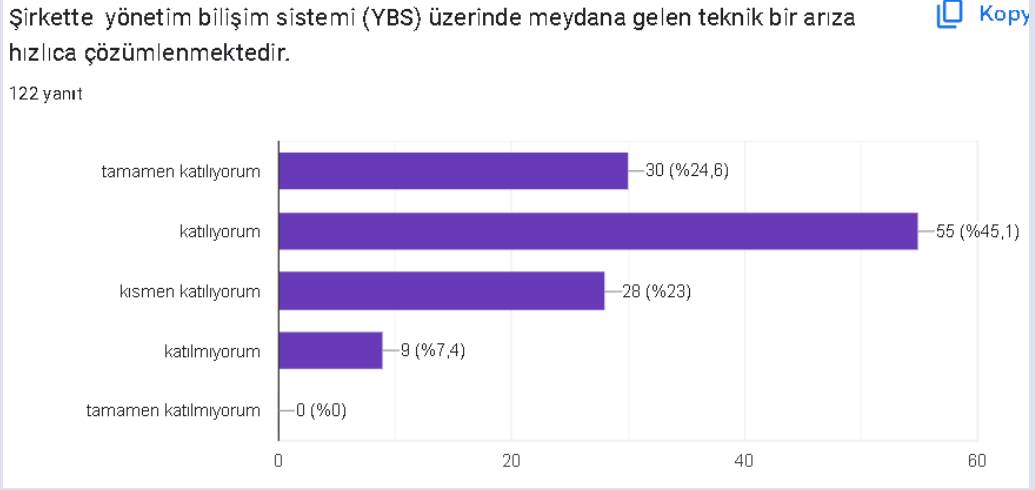
Resim 8. Soru 1'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 8. Graphical distribution of answers to Question 1

Şirkette kullanılan yönetim bilişim sistemi (YBS) çalışanların eğitim düzeylerine katkı sağlamaktadır.

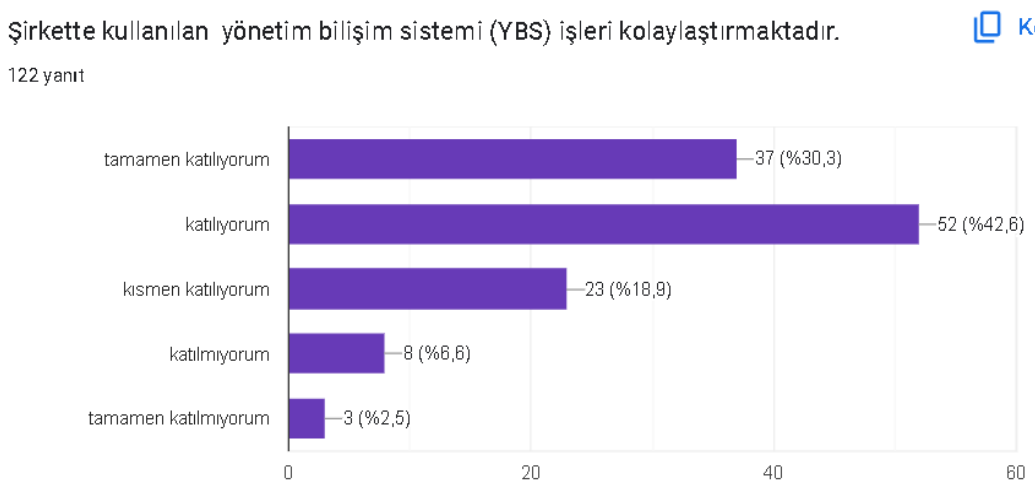
122 yanıt



Resim 9. Soru 2'ye verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 9. Graphical distribution of answers to Question 2



Resim 10. Soru 3'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 10. Graphical distribution of answers to Question 3



Resim Şekil 11. Soru 4'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 11. Graphical distribution of answers to Question 4



Resim 12. Soru 5'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 12. Graphical distribution of answers to Question 5

Bilgi akışı ile ilgili maddeler değerlendirildiğinde çalışanların aralarındaki bilgi alışverişinin Tufan YBS üzerinden sağlandığı görülmektedir. Şirkette kullanılan YBS sistemi çalışanların iş ile ilgili eğitim düzeylerine katkı sağlamaktadır. Online ve eş zamanlı olarak çalışan sistem teknik arızaların hızlıca çözülmesinde etkin olarak kullanılmakta ve işleri kolaylaştırmaktadır. Bir telefon uygulaması olarak kullanılabilen, evrak kayıtlarını tutan sistem evrak yükünü ortadan kaldırmaktadır.

İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilişkili Sorular (Soru 6-10)

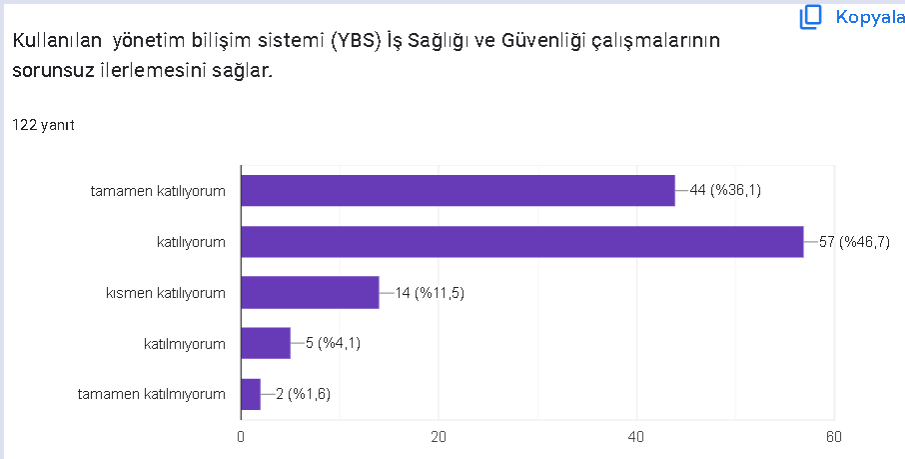
Tufan YBS sisteminin iş sağlığı ve güvenliği üzerindeki etkinliğinin değerlendirildiği 6-10. sorularda, kullanılan yönetim bilişim sisteminin (YBS) İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarının sorunsuz ilerlemesini sağladığı (%94,3) (Şekil 13) görülmektedir. Ancak "İş sağlığı ve Güvenliği çalışmaları yönetim bilişim sistemi (YBS) olmadan da sorunsuz ilerleyebilir" sorusuna %66,4 oranında kısmen katılıyorum, katılıyorum ve tamamen katılıyorum cevapları verilmiştir (Şekil 14). Bu durum İSG takibinde geleneksel anlayışın henüz terk edilmediği ve işlem

aşamalarında YBS'ye veri girilmesi sürecinin çalışanlar tarafından henüz yeterince olumlu bulunmadığını düşündürmektedir.

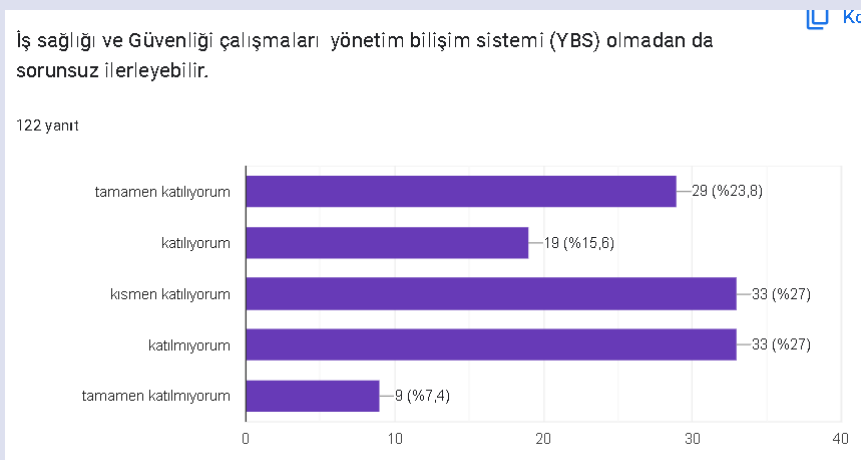
"İş güvenliği için yönetim bilişim sistemi (YBS) mevcut düzeyden daha ileri olmalıdır" şeklindeki Soru 8'e verilen cevaplar (Şekil 15) Tufan YBS'nin aktif olarak sahada kullanılsa da hala geliştirilmeye gereksinim duyulan yönlerinin olduğu görülmektedir.

Tufan YBS'nin aktif İSG süreçlerine etkisinin değerlendirildiği Soru 9'da "Yönetim bilişim sisteminin kullanılmasının iş kazası veya ramak kala durumunda sürecin hızlı ve çözüm odaklı ilerlemesini sağlaması" hususundaki memnuniyet düzeyi %95 olarak elde edilmiştir (Şekil 16). Bu oran YBS'nin aktif İSG süreçlerine sahada önemli ölçüde katkı sağladığını net bir şekilde göstermektedir.

YBS'nin İSG süreçlerine katkısına dair sorulara verilen cevaplar genel olarak işveren ve çalışanın İSG süreçlerinin YBS sayesinde olumlu etkilendiği görülmektedir (%96.7) (Şekil 17).



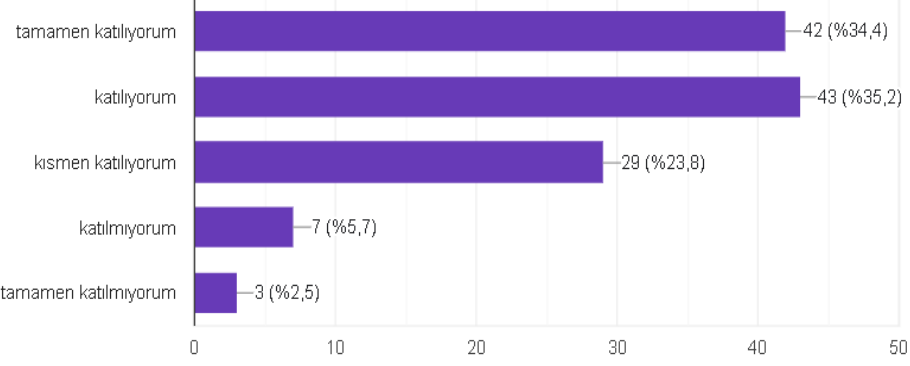
Resim 13. Soru 6'ya verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 13. Graphical distribution of answers to Question 6



Resim 14. Soru 7'ye verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 14. Graphical distribution of answers to Question 7

İş güvenliği için yönetim bilişim sistemi (YBS) mevcut düzeyden daha ileri olmalıdır.

122 yanıt

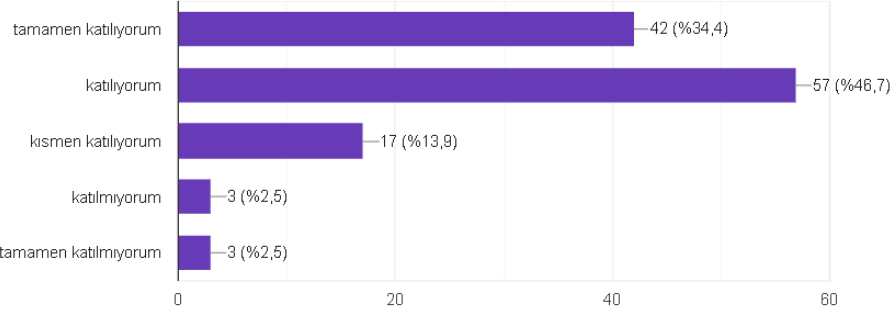


Resim 15. Soru 8'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 15. Graphical distribution of answers to Question 8

Yönetim bilişim sisteminin kullanılması iş kazası veya ramak kala durumunda sürecin hızlı ve çözüm odaklı ilerlemesini sağlar.

Kopyala

122 yanıt

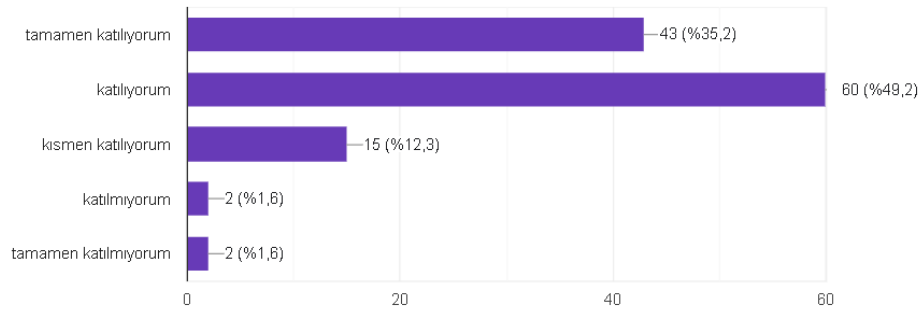


Resim 16. Soru 9'a verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 16. Graphical distribution of answers to Question 9

Yönetim bilişim sisteminin kullanılması genel olarak işveren ve çalışanın iş sağlığı ve güvenliği açısından olumlu yönde etkilemektedir.

Kopyala

122 yanıt



Resim 17. Soru 10'a verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 17. Graphical distribution of answers to Question 10

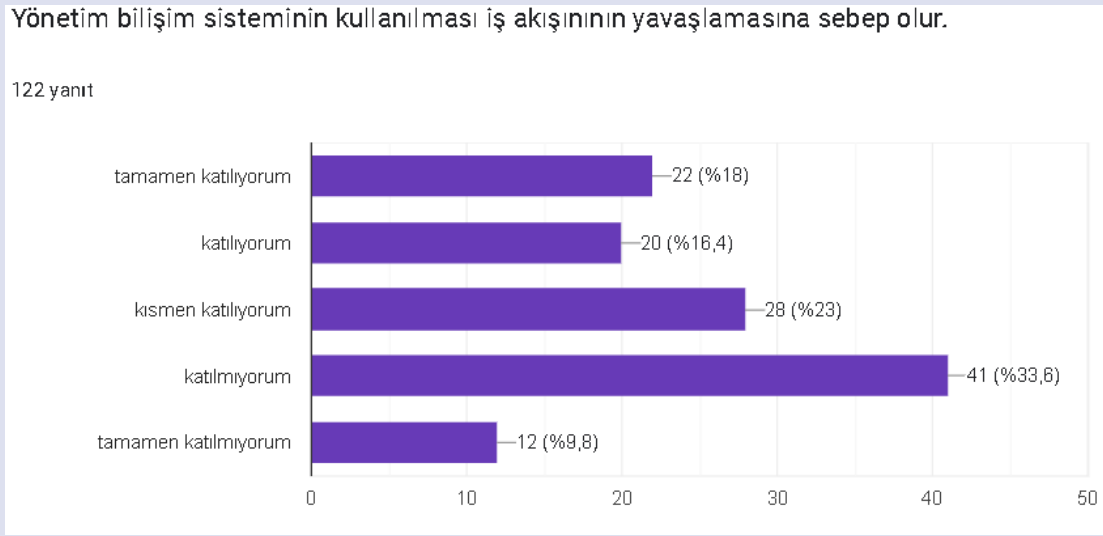
İş süreçleri ile ilişkili sorular (Soru 11-17)

YBS'nin iş süreçlerine etkilerinin değerlendirildiği sorulara alınan cevaplara göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

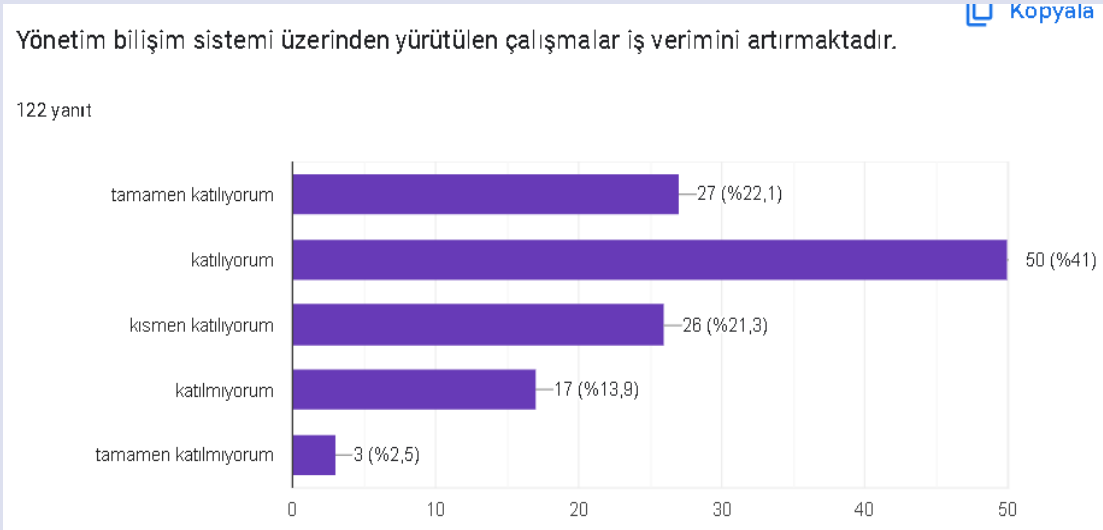
Çalışanlar YBS kullanımının iş akışını yavaşlattığını (%57.4) (Şekil 18) ancak iş verimini artırdığını (%84.4) (Şekil 19) düşünmektedir, YBS'nin iş süreçlerini yavaşlattığına dair bir diğer bilgi, geleneksel form doldurmaya göre bu sürecin daha yavaş ilerlediğini gösteren Soru 13'tür, bu soruya verilen cevaplar %71.3 oranında iş süreçlerinin geç ilerlediğini göstermektedir (Şekil 20). YBS sisteminde hiyerarşik bir yapı olması ve karar alma süreçlerinde üst yöneticilerin sürece katılımı iş sorumluluğunun diğer çalışanlar ile paylaşılmasına

katkı sağlamaktadır (Şekil 21). Saha çalışmalarına ait iş çizelgelerinin ve iş akışlarındaki değişimlerin çalışanlara yansıtılması YBS sayesinde hızlı ve kolaylıkla sağlanmaktadır (%91) (Şekil 22). YBS iş takibi açısından efektif bir uygulamadır (%91.8) (Şekil 23). İş süreçlerine ait genel bir değerlendirme yapıldığında YBS'nin şirket için faydalı bir uygulama olduğu net bir şekilde görülmektedir (%95.9) (Şekil 24).

Çalışmada uygulanan anket sorularındaki yaş grupları (p1), eğitim durumu (p2) ve mevcut iş yerinde çalışma süresi (p3) ile bilgi akış süreçleri, İSG süreçleri ve iş süreçleri ile ilgili anlamlılık ilişkilerini gösteren p değerleri sırasıyla Tablo 2-4'te verilmiştir.



Resim 18. Soru 11'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 18. Graphical distribution of answers to Question 11

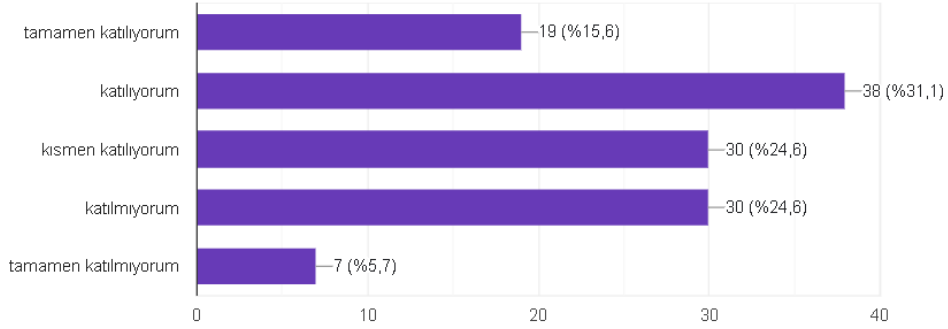


Resim 19. Soru 12'ye verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 19. Graphical distribution of answers to Question 12

Yönetim bilişim sistemi üzerinden yürütülen işlerde karar alma süreci form doldurarak iş yürütmeye göre daha geç ilerlemektedir.

Kopyala

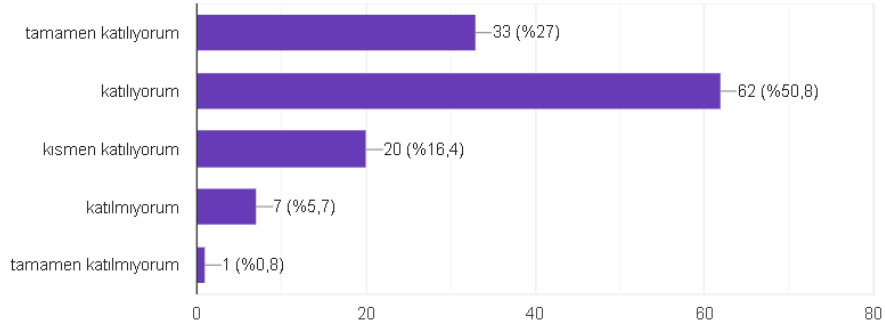
122 yanıt



Resim 20. Soru 13'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 20. Graphical distribution of answers to Question 13

Yönetim bilişim sistemi üzerinden yürütülen işlerde iş sorumluluğu diğer çalışanlarla paylaşılmaktadır.

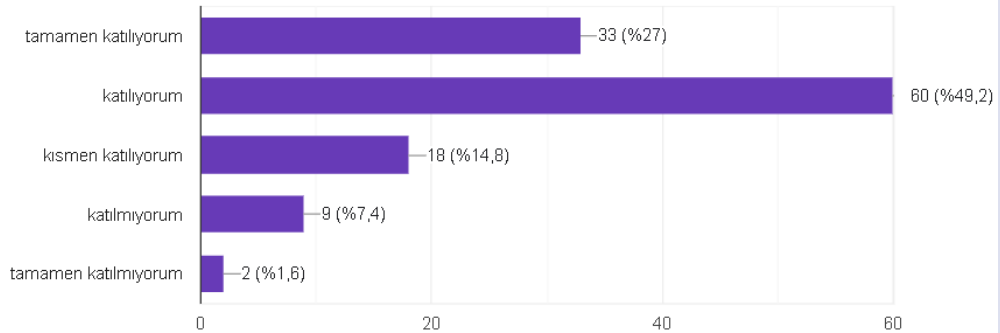
122 yanıt



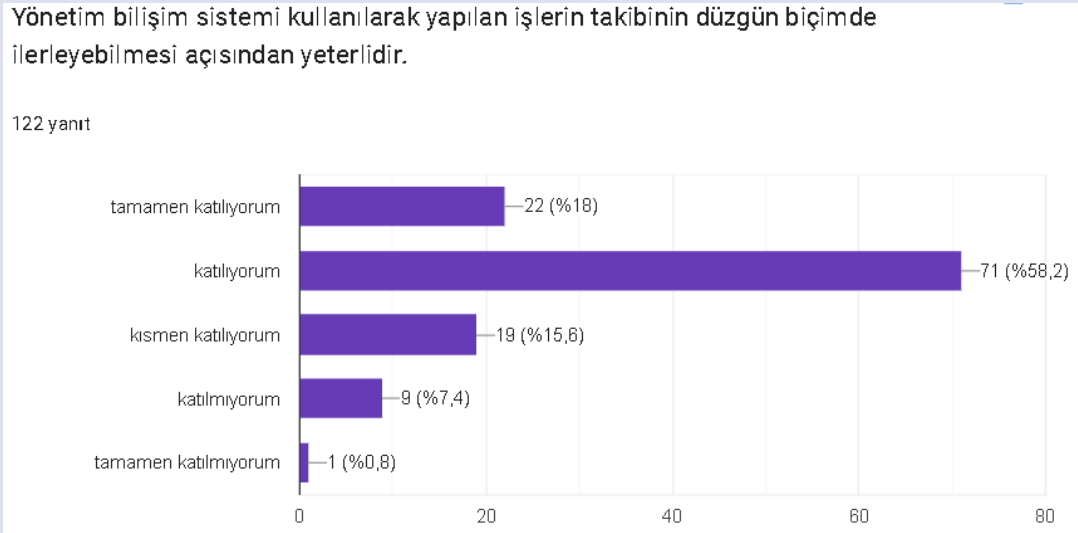
Resim 21. Soru 14'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 21. Graphical distribution of answers to Question 14

Yönetim bilişim sisteminin kullanımı ile şirket bünyesindeki iş akışındaki değişimler hızlı ve kolaylıkla yapılabilmektedir.

122 yanıt



Resim 22. Soru 15'e verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 22. Graphical distribution of answers to Question 15



Resim 23. Soru 16'ya verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 23. Graphical distribution of answers to Question 16



Resim 24. Soru 17'ye verilen cevapların grafiksel dağılımı
Figure 24. Graphical distribution of answers to Question 17

Tablo 2. Bilgi akış süreçleri ile yaş, eğitim durumu ve çalışma süresi arasında ilişki analizleri

Table 2. Relationship analysis between information flow processes and age, educational status and working hours

Bilgi Akışı Süreci İle İlgili Sorular	p ₁	p ₂	p ₃
Şirkette çalışanlar arasında bilgi alışverişi Yönetim bilişim sistemi (YBS) üzerinden kolaylıkla yapılmaktadır.	0,577	0,763	0,618
Şirkette kullanılan yönetim bilişim sistemi (YBS) çalışanların eğitim düzeylerine katkı sağlamaktadır.	0,046	0,213	0,958
Şirkette yönetim bilişim sistemi (YBS) üzerinde meydana gelen teknik bir arıza hızlıca çözümlenmektedir.	0,672	0,332	0,166
Şirkette kullanılan yönetim bilişim sistemi (YBS) işleri kolaylaştırmaktadır.	0,535	0,224	0,687
Yönetim bilişim sisteminin kullanımı evrak yükünü ortadan kaldırmaktadır.	0,113	0,332	0,542

Tablo 3. İSG süreçleri ile yaş, eğitim durumu ve çalışma süresi arasında ilişki analizleri

Table 3. Relationship analyzes between OHS processes and age, educational status and working hours

İSG Süreci İle İlgili Sorular	P ₁	P ₂	P ₃
Kullanılan yönetim bilişim sistemi (YBS) İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarının sorunsuz ilerlemesini sağlar.	0,057	0,514	0,569
İş sağlığı ve Güvenliği çalışmaları yönetim bilişim sistemi (YBS) olmadan da sorunsuz ilerleyebilir.	0,386	0,386	0,711
İş güvenliği için yönetim bilişim sistemi (YBS) mevcut düzeyden daha ileri olmalıdır.	0,555	0,600	0,605
Yönetim bilişim sisteminin kullanılması iş kazası veya ramak kala durumunda sürecin hızlı ve çözüm odaklı ilerlemesini sağlar.	0,061	0,580	0,991
Yönetim bilişim sisteminin kullanılması genel olarak işveren ve çalışanın iş sağlığı ve güvenliği açısından olumlu yönde etkilemektedir.	0,362	0,219	0,643

Tablo 4. İş süreçleri ile yaş, eğitim durumu ve çalışma süresi arasında ilişki analizleri

Table 4. Relationship analysis between business processes and age, educational status and working hours

İş Süreçleri İle İlgili Sorular	P ₁	P ₂	P ₃
Yönetim bilişim sisteminin kullanılması iş akışının yavaşlamasına sebep olur.	0,434	0,434	0,604
Yönetim bilişim sistemi üzerinden yürütülen çalışmalar iş verimini artırmaktadır.	0,444	0,726	0,999
Yönetim bilişim sistemi üzerinden yürütülen işlerde karar alma süreci form doldurarak iş yürütmeye göre daha geç ilerlemektedir.	0,068	0,049	0,185
Yönetim bilişim sistemi üzerinden yürütülen işlerde iş sorumluluğu diğer çalışanlarla paylaşılmaktadır.	0,607	0,682	0,730
Yönetim bilişim sisteminin kullanımı ile şirket bünyesindeki iş akışındaki değişimler hızlı ve kolaylıkla yapılabilmektedir.	0,276	0,740	0,948
Yönetim bilişim sistemi kullanılarak yapılan işlerin takibinin düzgün biçimde ilerleyebilmesi açısından yeterlidir.	0,445	0,275	0,083
Genel yönleriyle bakıldığında şirkette kullanılan yönetim bilişim sistemi (YBS) , şirket için faydalıdır.	0,769	0,238	0,681

Tablo 2-4 incelendiğinde “Şirkette kullanılan yönetim bilişim sistemi (YBS) çalışanların eğitim düzeylerine katkı sağlamaktadır” sorusu ile yaş arasında ve “Yönetim bilişim sistemi üzerinden yürütülen işlerde karar alma süreci form doldurarak iş yürütmeye göre daha geç ilerlemektedir” sorusu ile eğitim durum arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. YBS'nin eğitime katkısı üzerinde yaşın anlamlı bulunması özellikle orta yaş çalışanlar ile 46-60 yaş arası çalışanların YBS'ye uyum sağlama yeteneklerinin birbirlerinden farklı olması açıklayıcı bir parametredir.

Yaş, eğitim durumu ve tecrübe ile ilişkilendirilen diğer sorular incelendiğinde p değerlerinin 0,05'ten büyük olması YBS entegrasyonunun, bilgi akışı, İSG ve iş süreçlerinde yaştan eğitim durumundan ve tecrübeden bağımsız olarak bir katkı sağladığı belirtilebilir.

Sonuçlar ve Öneriler

Telekomünikasyon sektöründe bir şirket örneği üzerinden, yönetim bilişim sistemlerinin iş sağlığı ve güvenliğine olan katkısının kullanıcı anketleri yöntemi ile değerlendirildiği bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

- Telekomünikasyon sektöründe YBS entegrasyonunun bilgi akışına katkısı olumlu yönde değerlendirilmiştir. Bilgi akışı başlığı altında YBS'nin eğitim düzeyine katkısı ile yaş arasında istatistiksel olarak bir anlam bulunmuştur. Bu durumun ileri yaştaki çalışanların almış olduğu eğitimin kendilerine yeterli seviyede gelmesinden kaynaklı olduğu öne sürülebilir.
- YBS'nin iş sağlığı ve güvenliğine olan etkisi genel anlamda değerlendirildiğinde, çalışanların yaş, eğitim

düzeyi ve mevcut çalışma süresi fark etmeksizin entegrasyonu olumlu yönde değerlendirdiği görülmüştür.

- YBS'nin iş süreçlerine olan etkisi değerlendirildiğinde ise genel yönleriyle çalışanların tüm demografik dağılımlarda olumlu yönde bir görüş bildirdiği ortaya konmuştur. Yalnızca lise-ön lisans düzeyinde eğitimi olan çalışanların iş süreçlerinde karar almada form doldurarak iş yürütmenin daha verimli olacağına dair görüş bildirmişlerdir ve istatistiksel olarak bir anlam elde edilmiştir. Bu durumun çalışanların YBS üzerinden veri girişini yapmada zorlandığını, buna bağlı olarak eski sistemin daha kolay olduğunu düşündüğünü göstermektedir. Bu veriye dayanarak, YBS sisteminde çalışanlara karmaşık gelen bölüm veya süreçlerin daha anlaşılır şekilde güncellenmesi gerektiği vurgulanabilir.

Kaynaklar

- Azgin, Ş. T., Kekecoglu, N., Yamac, E. (2021). Evaluation of the air quality and CO₂-equivalent change of Kayseri during the Covid-19 outbreak. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(1), 9-15.
- Balkır, Z.G. (2012). İşverenin İş Sağlığı ve Güvenliği Organizasyonu. Sosyal Güvenlik Dergisi, 2 (1), 56-91.
- Bostancı, Y. (2004). İşverenin iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin yükümlülüklerini yerine getirmemesi ve yaptırımları. Selçuk üniversitesi hukuk fakültesi dergisi, 12(1-2), 67-86.
- Budak, D. (2019). Telekomünikasyon sektörü çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından risklerinin belirlenmesi. İzmir Ekonomi Üniversitesi (Master's thesis),89s. İzmir
- Canbaş, H., Kasap, S., Cam, E. (2018). Sağlık yüksekokulu öğrencilerinin iş sağlığı ve güvenliği farkındalıkları üzerine bir alan araştırması. Sosyal Güvenlik Dergisi, 8(1), 235-266.

- Çiçek, Ö., Öçal, M. (2016). Dünyada ve Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi. *Hak-İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 5 (11), 106-129.
- Doğan, F. (2024). İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Kimyasal Risk Faktörleri. *Premium e-Journal of Social Sciences (PEJOSS)*, 8 (39), 236-245.
- Elibol, H. (2005). Bilişim Teknolojilerikullanımının İşletmelerin Organizasyon Yapıları Üzerindeki Etkileri. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (13), 155-162.
- Kabaklarlı, E., & Işıcık, Ş. (2020). Türkiye telekomünikasyon sektörüne genel bakış Aksaray Üniversitesi İktisadi Ve idari bilimler Fakültesi Dergisi.12(135), 35-42.
- Kahraman, Z., & Özdemir, K. Y. (2022). Dijitalleşmenin İş Sağlığı ve Güvenliğine Entegrasyonu ve Uygulanabilirliği. *OHSACADEMY*, 5(3), 208-221.
- Karabal, A. (2021). İş Sağlığı ve İş Güvenliği. *Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 5(1), 1-21.
- Kırçova, İ.(2001)İşletmeler Arası Elektronik Ticaret, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 32 İstanbul.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, (22),5-55.
- Magnavita, N., Chirico, F. (2020). New and emerging risk factors in occupational health. *Applied Sciences*, 10(24), 8906.
- Oakman, J., Macdonald, W., Bartram, T., Keegel, T., Kinsman, N. (2018). Workplace risk management practices to prevent musculoskeletal and mental health disorders: what are the gaps? *Safety science*, (101), 220-230.
- Özçelik, A. (2013). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Fine–Kinney Yöntemiyle Risk Yönetimi: Mermer İşletmesi Örneği. *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 86s, Eskişehir.
- Pagano M, Gauvreau K. (1993) *Contingency Tables. Principles of Biostatistics*, Duxbury Press Wadsworth Inc., 311.
- Siegrist, J., Wahrendorf, M., Siegrist. (2016). *Work stress and health in a globalized economy* (pp. 89-101). Springer, Verlag.
- Tekin, M. (2000). Değişen dünyada teknoloji yönetimi. *SÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*.



Synthesis of Organophilic Clay-Nanocomposite Containing Sumac Extract for Dermatological Purposes and Investigation of Its Bioactivity

Gülay Gültek^{1,a,*}, Özcan Deniz²

¹ Tecde Anatolian High School, Yeşilyurt Malatya

² Malatya Turgut Ozal University Faculty of Nursing, Battalgazi Malatya

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 18/09/2024

Accepted: 08/11/2024

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

The use of clays for cosmetic purposes has existed since ancient times, and its therapeutic use has existed since prehistory, and today's cosmetic industry uses significant amounts worldwide. Antioxidant and antibacterial compounds are generally used as active ingredients in many cosmetic products. In this study, it was aimed to prepare bioactive organophilic nanocomposites with an innovative approach in order to increase the effectiveness of clay (montmorillonite, MMT) mineral, which is widely used in cosmetic formulations, in line with its intended use and to test its bioactivity. For this purpose, montmorillonite clay obtained from domestic sources was purified by sedimentation method. Montmorillonite clay was made organophilic (OMMT) by using dodecyltrimethyl ammonium chloride solution. Sumac (fruit part), which is among the medicinal plants and used as a spice, was taken from the attar, dried, ground and extracted with water, ethanol and n-hexane separately for 8 hours in a Soxhlet extraction apparatus. The solvents in the extracts were removed under vacuum and the obtained solid was extracted again with water/ethanol solution to obtain food grade sumac extract with 95% yield. The solvents of water and ethanolic extracts were also removed under vacuum. Nanocomposites were prepared with 1%, 3% and 5% sumac extract amount in OMMT and their bioactivity was tested by compatibilization with PEG-400. Bioactivity tests were performed on Nutrient Agar and Violet Bile Red Agar media at 37°C using gram positive *Staphylococcus aureus* and gram negative *Escherichia coli* bacteria growing on the skin surface. All of the clay nanocomposites prepared in three different compositions showed that they had bioactive properties by inhibiting the growth of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* bacteria.

Keywords: Organophilic montmorillonite, nanocomposite, bioactivity, dermatological clay, sumac extract

Dermatolojik Amaçlı Sumak Özütü İçeren Organofilik Kil-Nanokompozit Sentezi ve Biyoaktivitesinin Araştırılması

Araştırma Makalesi

Süreç

Geliş: 18/09/2024

Kabul: 08/11/2024

Öz

Killerin kozmetik amaçlı kullanımı antik çağlardan beri, terapötik kullanımı ise tarih öncesinden beri var olmuştur ve günümüz kozmetik endüstrisinde dünya çapında önemli miktarda kullanılmaktadır. Birçok kozmetik ürününde genellikle aktif içerik olarak antioksidan ve antibakteriyel bileşikler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kozmetik formülasyonlarda yaygın olarak kullanılan kil (montmorillonit, MMT) mineralinin kullanım amaçları doğrultusunda etkinliğinin artırılması amacıyla yenilikçi bir yaklaşımla biyoaktif organofilik nanokompozitlerinin hazırlanması ve biyoaktivitesinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yerli kaynaklardan alınan montmorillonit kili sedimentasyon yöntemiyle saflaştırıldı. Dodesiltrimetil amonyum klorür çözeltisi kullanılarak montmorillonit kili organofilik (OMMT) hale getirildi. Şifalı bitkiler arasında bulunan ve baharat olarak kullanılan sumak (meyve kısmı) attardan alınarak kurutuldu, öğütüldü ve su, etanol ve n-hekzan ile ayrı ayrı 8 saat boyunca Soxhlet ekstraksiyon düzeneğinde özütlendi. Özütlerdeki çözücüler vakum altında uzaklaştırıldı ve elde edilen katı tekrar su/etanol çözeltisi ile özütlenerek %95 verimle gıda kalitesinde (foodgrade) sumak özütü elde edildi. Su ve etanolik ekstraktların çözücüler de vakum altında uzaklaştırıldı. OMMT içerisindeki sumak özütü miktarı %1; %3 ve %5 olacak şekilde nanokompozitleri hazırlandı ve PEG-400 ile uyumlaştırılarak biyoaktiviteleri test edildi. Biyoaktivite testleri, deri yüzeyinde üreyen gram pozitif *Staphylococcus aureus* ve gram negatif bakterisi *Escherichia coli* kullanılarak Nutrient Agar ve Violet Bile Red Agar ortamında 37°C'de yapıldı. Üç farklı bileşimde hazırlanan kil nanokompozitlerinin tamamı *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakterilerinin üremesini inhibe ederek biyoaktif özelliğe sahip olduklarını gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Organofilik montmorillonit, nanokompozit, biyoaktivite, dermatolojik kil, sumak özütü

^a gulaygultek44@gmail.com

^{ID} 0009-0008-9926-6242

^b ozcandrea123@gmail.com

^{ID} 0009-0003-4875-7192

How to Cite: Gultek G, Deniz O (2023) Synthesis of Organophilic Clay-Nanocomposite Containing Sumac Extract for Dermatological Purposes and Investigation of Its Bioactivity, Journal of Science and Technology, 3(2): 76-86

Giriş

Nanokompozit, özellikleri birbirinden farklı en az iki malzemenin nanometre boyutunda bir araya getirilerek oluşturulan yeni bir malzeme sınıfıdır. Malzemeler, bileşen malzemelerin Nanokompozit malzemeler, bileşenlerin morfolojisine ve arayüzey özelliklerine bağlı olarak bileşenlerin özelliklerinden daha üstün yeni kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olabilir. Nanokompozitlerde, bileşenlerden birinin bir boyutunun en az 100 nm'den daha küçük olması gerekmektedir. Matris içerisindeki nanoparçacıkların etkinliği, eklenen malzeme miktarının normal olarak ağırlıkça sadece %0,5 ila 5 arasında olmaktadır. Kil mineralleri de organik-inorganik nanokompozit oluşturmada ilk sıralarda yer almaktadır (Camargo, 2009).

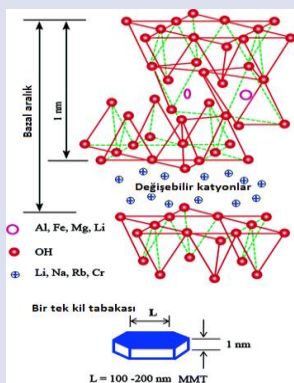
Nanoteknoloji, nanometre ölçeğinde şekil ve büyüklüğü kontrol ederek yapıların, malzemelerin cihazların ve sistemlerin tasarımını, karakterizasyonunu, üretimini ve uygulamasını içeren yenilikçi bir bilimdir. Nanoteknolojinin kullanımı, elektronikten ilaca kadar çeşitli bilim alanlarına yayılmıştır ve nanokozmetik adını alarak da kozmetik alanında uygulamalar bulmuştur. Nanoteknolojinin kozmetik endüstrilerindeki bu yaygın etkisi, renk, şeffaflık, çözünürlük vb. dahil olmak üzere nano düzeyindeki partiküllerin elde ettiği gelişmiş özelliklerden kaynaklanmaktadır. Kozmetik üreticileri daha iyi UV koruması, daha derin cilt penetrasyonu, uzun süreli etkiler, daha fazla renk ve son kat kalitesi vb. sağlamak için bileşenlerin nano ölçekli versiyonlarını kullanır (Raj, 2012).

Kil mineralleri, geleneksel tıpta tedavi amacıyla kullanılan en eski doğal malzemelerden biridir. Geleneksel tıpta, kil mineralleri esas olarak deri hastalıklarını tedavi etmek için kil banyoları olarak harici uygulamalarda kullanılmaktadır. Eski kültürlerden bu yana geçen yüz yıllar içinde kil minerallerinin iyileştirici özellikleri, çeşitli topikal ve içsel rahatsızlıkların tedavisinde modern yaşamda uygulanmaya devam etmektedir (Williams, 2010). Kil mineralleri, yüksek yüzey reaktivitesi (adsorpsiyon ve katyon değişim kapasitesi), koloidal ve şişme kapasitesi, yüksek asit emme kapasitesi ve suda dağılılabirlik gibi özel

fizikokimyasal özelliklere sahiptir; bu da onları eczacılık, kozmetik, veterinerlik, biyomalzemeler dahil olmak üzere farklı biyolojik uygulamalar için uygun kılar (Ghadiri, 2013). Kil mineralleri tabakalı yapıda olmalarından ve tabaka yüküne sahip olmalarından dolayı iyi bir adsorbantlar ve dermatolojik kille muamele edilen ciltte ölü derinin vücuttan uzaklaştırılmasını sağlar (Dalkıç, 2004).

Kil mineralleri doğal olarak hidrofiliktir (suyu seven) ve organik moleküllerle etkileşmesi zor olmaktadır. Bu nedenle katyonik bir organik bileşik ile kolaylıkla organofilik (organik bileşikleri seven) hale getirilebilir ve bu sayede MMT sumaktan elde edilecek olan organik bileşikler kolayca tabakalarının arasına alarak oluşturacağı nanokompozit uygulandığı yüzeyde geniş bir alanda etki gösterme kapasitesine sahip olacaktır. Kuarterner amonyum bileşikler organofilik kil sentezinde başarı ile kullanılmaktadır (Ganguly, 2011).

Kil mineralleri sulu alüminyum fillosilikatlar (örneğin kaolin, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$) olup yapılarında değişken miktarlarda demir, magnezyum, alkali metaller, alkali topraklar ve diğer katyonlar içerir. Killer, elde edilmesinin kolay olması, düşük maliyeti ve yüksek adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle doğal bir adsorbant olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Doğada çok sayıda kil minerali bulunmasına rağmen genellikle kaolin, montmorillonit (MMT) ve zeolit daha fazla ön plana çıkmaktadır (Uddin, 2017). Birçok kil minerali arasında Şekil 1'de görselleri görülen MMT, net negatif yüzey yükü nedeniyle en yaygın kullanılan doğal adsorbantlardan biridir ve katyonik bileşiklerin uzaklaştırılmasında oldukça etkilidir (Toor, 2015). Ancak doğal MMT'nin adsorpsiyon kapasitesi doğrudan MMT'nin kimyasal bileşimi, spesifik yüzey alanı, katyon değişim kapasitesi ve katman yükü ile ilişkili olduğundan adsorpsiyon kapasitesini arttırmak için bazı modifikasyonların yapılması gerekmektedir (Zhou, 2011). Bu modifikasyonlar arasında asit aktivasyonu (Mills, 1950), termal aktivasyon (Taher, 2018), katyonik yüzey aktif madde bileşikler ile muamele, ara katmanların yerinde polimerizasyonu, anyonik organik ve inorganik bileşiklerin bağlanması veya organik bileşiklerin aşılması gibi yöntemler en yaygın olanlardır (Huang, 2017).



Resim 1. Montmorillonit (MMT) mineralinin tabakalı yapısı ve öğütülmüş hali (Fu, 2019)
Figure 1. Layered structure and ground form of montmorillonite (MMT) mineral (Fu, 2019)

Şifalı bitkiler ve baharatlar içerdikleri flavonoidler, vitaminler, esansiyel yağlar ve mineral madde içeriklerinden dolayı ilk çağlardan beri özellikle başta Asya kıtasında olmak üzere hemen hemen her toplumda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sumak (*Rhus*) da Akdeniz mutfağında kullanılan yaygın olarak kullanılan en sağlıklı baharatlar arasında yer alır. Yemeklere ekşi bir aroma kazandırmanın yanı sıra diğer tüm baharatlara göre içerdiği antioksidanlar, vitaminler, yağ asitleri ve mineral madde bakımında son derece zengin ve çeşitli olmasından dolayı olağanüstü bir biyoaktif etkiye sahip olup antioksidan, antibakteriyel, antifungal, antiviral, antifibrojen, hipoglisemik ve antimikrobiyal özellik göstermektedir (Kossah, 2009). Ve sumak bu özelliklerinden dolayı bir baharat olmaktan çok daha fazlasını hak etmektedir.

Biyoaktif (biyoetken) kavramı canlı bir organizmayı etkileyebilme becerisi olarak tarif edilmektedir. Sumağın sulu ve etanolik ekstraktları da *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Proteus vulgaris* ve *Shigella flexneri* gibi gram pozitif ve gram negatif bakterilere karşı güçlü bir antimikrobiyal etki göstermektedir (Fazeli, 2007). Sumağın (Şekil 2'de görülen) meyve ve yapraklarının kimyasal madde içeriği tüm baharatlara oranla çok daha fazla esansiyel yağ (β -caryophyllene%16,95, patchoulane %23,87), terpenler (α -pinene, β -caryophyllene), tanninler (gallotannins), organik asitler (malik, sitrik, tartarik, süksinik, fumarik ve askorbik asit), flavonoidler, tokoferoller ve steroller içermektedir (Ravindran, 2012; Matthaus, 2015).

Derimiz vücudumuzu dış çevreye karşı çevreye kaplayan ve diğer organlarımıza göre mikroorganizmalar ile devamlı temas halinde olan en büyük organımızdır. Bu yoğun mikroorganizma temasına karşın, birçok koruyucu faktör nedeni ile cildimizde kolay kolay bakteriyel

enfeksiyon gelişimi gözlenmez. Ancak, koruyucu mekanizmalarının herhangi birinde bozulma yaratan bir durum varlığında bakteriyel enfeksiyon bulguları ortaya çıkar. En sık gözlenen etkenler gram pozitif bakteri olan streptokoklar ve stafilokoklardır (Gül, 2016). Derinin mikroorganizmalara karşı göstermiş olduğu koruyucu faktör değiştiğinde örneğin, beslenme şekli, giyim alışkanlıkları ve temizlik alışkanlıkları gibi faktörler değiştiğinde deride yoğun bir şekilde *Staphylococcus aureus* üremeye başlar (Aksaray, 2009).

Bu çalışmanın amacı doğal bir kil minerali olan montmorillonit ve eski çağlardan beri Anadolu'da baharat olarak kullanılan sumak özütünü kullanarak dermatolojik olarak kullanılacak biyoaktif organofilik kil nanokompozit sentezidir.

Kozmetik sektöründe ve bilimsel literatürde montmorillonitik kilin dermatolojik ve tıbbi amaçlı kullanımına dair çok sayıda ürün ve çalışma görülmektedir (Viseras, 2024). Ancak, sumağın tüm diğer baharatlardan daha fazla sahip olduğu kendine özgü biyoaktif özelliği ile organofilik montmorilloniti içeren bir ürün ya da bilimsel bir çalışma mevcut değildir. Çalışmada, en önemli tabakalı kil mineralleri arasında olan, biyoyuymululuk ve absorpsiyon kapasitesi en iyi olan ve birçok alanda uygulanma imkânı bulan montmorillonit kil mineralinin dermatolojik amaçla kullanımında etkinliğini daha da artırmak için önce organofilik yapılmış, sonra sumak ekstarktı ile biyoaktif nanokompoziti hazırlanmış ve daha sonra da cilde uygulama kolaylığını sağlamak amacıyla FDA (Food and Drug Administration) onaylı PEG-400 ile muamele edilmiştir. Yapılan bu işlemlerle dermatolojik amaçla kullanılacak bu biyoaktif organofilik montmorillonit nanokompozitinin cilde daha iyi yapışması, cilt yüzeyindeki yağ, bakteri ve toksinleri daha etkili bir şekilde alması amaçlanmıştır.



Resim 2. Sumak bitkisi ve öğütülmüş baharatı
Figure 2. Sumac plant and ground spice

Derimiz vücudumuzu dış çevreye karşı çepçevre kaplayan ve diğer organlarımıza göre mikroorganizmalar ile devamlı temas halinde olan en büyük organımızdır. Bu yoğun mikroorganizma temasına karşın, birçok koruyucu faktör nedeni ile cildimizde kolay kolay bakteriyel enfeksiyon gelişimi gözlenmez. Ancak, koruyucu mekanizmalarının herhangi birinde bozulma yaratan bir durum varlığında bakteriyel enfeksiyon bulguları ortaya çıkar. En sık gözlenen etkenler gram pozitif bakteri olan streptokoklar ve stafilokoklardır (Gül, 2016). Derinin mikroorganizmalara karşı göstermiş olduğu koruyucu faktör değiştiğinde örneğin, beslenme şekli, giyim alışkanlıkları ve temizlik alışkanlıkları gibi faktörler değiştiğinde deride yoğun bir şekilde *Staphylococcus aureus* üremeye başlar (Aksaray, 2009).

Bu çalışmanın amacı doğal bir kil minerali olan montmorillonit ve eski çağlardan beri Anadolu'da baharat olarak kullanılan sumak özütünü kullanarak dermatolojik olarak kullanılabilir biyoaktif organofilik kil nanokompozit sentezidir.

Kozmetik sektöründe ve bilimsel literatürde montmorillonitik kilin dermatolojik ve tıbbi amaçlı kullanımına dair çok sayıda ürün ve çalışma görebilmekteyiz (Viseras, 2024). Ancak, sumağın tüm diğer baharatlardan daha fazla sahip olduğu kendine özgü biyoaktif özelliği ile organofilik montmorilloniti içeren bir ürün ya da bilimsel bir çalışma mevcut değildir. Çalışmada, en önemli tabakalı kil mineralleri arasında olan, biyoyoumluluk ve absorpsiyon kapasitesi en iyi olan ve birçok alanda uygulanma imkânı bulan montmorillonit kil mineralinin dermatolojik amaçla kullanımında etkinliğini daha da artırmak için önce organofilik yapılmış, sonra sumak ekstarktı ile biyoaktif nanokompoziti hazırlanmış ve daha sonra da cilde uygulama kolaylığını sağlamak amacıyla FDA (Foodand Drug Administration) onaylı PEG-400 ile muamele edilmiştir. Yapılan bu işlemlerle

dermatolojik amaçla kullanılacak bu biyoaktif organofilik montmorillonit nanokompozitinin cilde daha iyi yapışması, cilt yüzeyindeki yağ, bakteri ve toksinleri daha etkili bir şekilde alması amaçlanmıştır.

Yöntem

Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar, reaktif sınıfı %96 - %98 saflıkta Merck firmasından temin edildi. Saflaştırma ve çözeltilerin hazırlanmasında bidestile saf su kullanıldı.

Çalışmada antibakteriyel ajan kaynağı olarak sumak kullanıldı. Sumak sertifikalı bir firma olan Gurmedan Al. Firmasından temin edildi. Biyoaktivite (antimikrobiyal) testlerinde *Escherichia coli* (ES DII) ve *Staphylococcus aureus* (F6 III) suşları kullanıldı. Bu suşlar Refik Saydam Ulusal Tıp Kültür Koleksiyonu'ndan (Türkiye) elde edildi.

Sumak Ekstraktı

Sumak meyvesi bir öğütücüde öğütüldü, 20'er gram tartılıp 250'er mL su, etanol ve n-hekzan ile ayrı ayrı 8 saat boyunca Şekil 3'te görülen Soxlet ekstraksiyon düzeneğinde özütlendi. N-hekzan özütündeki, n-hekzan vakum altında uzaklaştırıldı ve elde edilen katı tekrar su/etanol çözeltisi ile özütlenerek %95 verimle gıda kalitesinde (foodgrade) sumak özütü elde edildi. Su ve etanolik ekstraktların çözücüleri de vakum altında uzaklaştırıldı. Daha sonra örnekler 110 mm filtre kağıdından filtre edildi. Filtrelenen ekstraktlar 40 °C'lik bir fırında kurutuldu. Sulu ekstraktlar distile su ile, etanolik ve n-hekzan ekstraktları ise DMSO ile çözüldü. Tüm ekstraktlar mikroorganizmayı uzaklaştırmak için 0,45 µm membran filtre ile filtrelendi ve deneylerde kullanılana kadar ışıktan korunan bir buzdolabında +4 °C'de saklandı.



Resim 3. Sumağın değişik çözücülerle Soxhlet düzeneğinde özütlenmesi

Figure 3. Extraction of sumac with different solvents in the Soxhlet apparatus.



Resim 4. Sedimentasyon yöntemiyle MMT'in saflaştırılması

Figure 4. Purification of MMT by sedimentation method

Montmorillonitin (MMT) Saflaştırılması

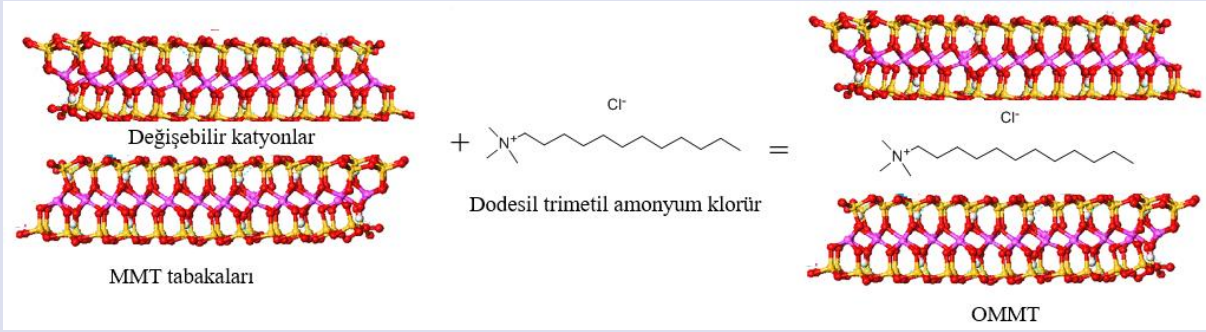
Eczacıbaşı Esan firmasından temin edilen montmorillonitten 10 g alındı ve 250 ml su içerisinde mekanik karıştırıcı ile dağıtıldı. Kil içerisindeki kireç içeriğini gidermek için 1M asetik asit ile damla damla muamele edildi. Başlangıçta bir miktar gaz çıkışı gözlemlendi ve bir süre sonra gaz çıkışı kesildi. Gaz çıkışı bitince asetik asit ilavesine son verildi. Birkaç defa saf su ile yıkandı ve yıkama suyunun asitliği pH kâğıdı ile kontrol edildi. Asitlik gidince yıkama işlemine son verildi. Sonra klasik kil saflaştırma yöntemi olan sedimentasyon yöntemi ile Şekil 4'te görüldüğü şekilde sedimentasyon büretinde saflaştırıldı (Ciftci, 2021).

Organofilik Montmorillonitin (OMMT) Hazırlanması

Kil mineralleri doğal olarak hidrofiliktir (suyu seven) ve organik moleküllerle etkileşmesi zor olmaktadır. Bu nedenle katyonik bir organik bileşikle Şekil 5'te şematik

olarak gösterildiği gibi kolaylıkla organofilik (organik bileşikleri seven) hale getirilebilir ve bu sayede sumaktan elde edilecek olan biyoaktif organik bileşikler kolayca kil mineralinin tabakalarının arasına girerek uygulandığı yüzeyde daha aktif bir etki gösterme kapasitesine sahip olacaktır. Kuarterner amonyum bileşikleri bu işi başarı ile yerine getirmektedir.

Çalışmada, Şekil 6'da görüldüğü gibi bir beherde 1,5 g MMT, 150 mL saf su içerisinde iyice dağıtıldı. Magnetik karıştırıcı ile orta devirde sürekli karıştırılan MMT üzerine 1M dodesil trimetil amonyum klorürün sulu çözeltisi damla damla eklendi. İşleme beher içerisindeki dağılmış MMT'in pamuğumsu görüntü gözlenmesine kadar devam edildi (Paiva, 2008). Saflaştırma ve kurutma işlemlerinin yapılmasından sonra karakterizasyon yapıldı ve ardından sumak ekstraktları ile nanokompozitleri hazırlandı.



Resim 5. MMT'in dodesil trimetil amonyum klorür ile interkalasyonu ile organofilik montmorillonitin (OMMT) hazırlanma işleminin şematik gösterimi

Figure 5. Schematic representation of the preparation process of organophilic montmorillonite (OMMT) by intercalation of MMT with dodecyl trimethyl ammonium chloride.



Resim 6. MMT'in dodesil trimetil amonyum klorür ile organofilik montmorillonitin (OMMT) hazırlanma işlemi

Figure 6. Preparation process of organophilic montmorillonite (OMMT) with dodecyl trimethyl ammonium chloride

OMMT-Sumak Özütleri ile Biyoaktif Nanokompozitlerin Hazırlanması ve Biyoaktivite Testleri

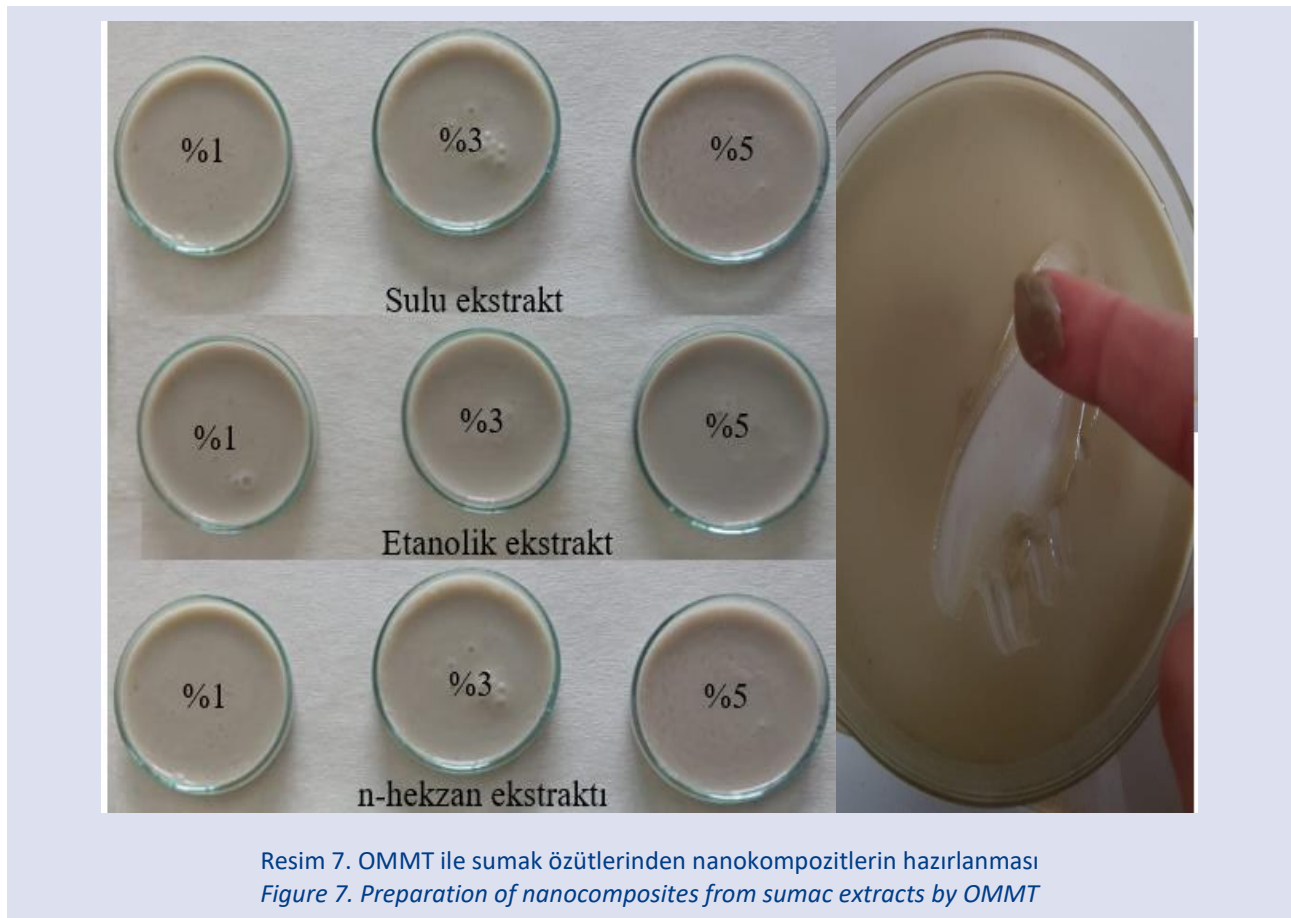
Bölüm 2.3'te anlatıldığı şekilde hazırlanan OMMT'den 1'er g alınarak Tablo 1'de gösterilen oranlarda kilin %1; %3 ve %5'i oranlarında sumak özütleri katılarak Şekil 7'de görüldüğü gibi biyoaktif kil örnekleri sentezlendi. Sumak meyvelerinden elde edilen ve farklı çözücülerle (n-hekzan, distile su ve etanol) hazırlanan ekstraktların ve ekstrakt yüklenen OMMT nanokompozitlerinin antimikrobiyal aktivitesi disk difüzyon yöntemi ile ölçüldü. Bu çalışmada kullanılan tipik cilt bakteriyel kontaminantları *E. coli* ve *S. aureus*'tur. Bakteri kültürleri beyin kalp infüzyon suyu (BHIB) besiyerinde 37 °C'de inkübe edildi. Antimikrobiyal

aktiviteler ölçülmeden önce, 0,1 mL bakteri kültürü 20 mL yeni BHIB besiyerine ekildi ve 24 saat inkübe edildi. Ekstraktların antimikrobiyal aktiviteleri 1,2 mm çapında kâğıt diskler kullanılarak belirlendi ve ekstrakt yüklenen mikrokompozitlerin antimikrobiyal aktiviteleri boş antibiyogram diskleri kullanılarak gerçekleştirildi. Diskler 10 µL antimikrobiyal madde ile empenye edildi. Hazırlanan diskler, daha önce 10⁴ -10⁵ CFU/mL *S. aureus* ve *E. coli* içeren 0,1 mL inokulum ekilmiş beyin kalp infüzyon agar plakalarına yerleştirildi. Plakalar daha sonra 24 saat boyunca 37 °C'de inkübe edildi. Yüklenen diskleri çevreleyen inhibitör zonun çapı ölçüldü.

Tablo 1: OMMT ile sumak özütlerinden hazırlanan nanokompozitlerin bileşimi

Table 1: Composition of nanocomposites prepared from sumac extracts by OMMT

Örnek No	OMMT (1g) (%)	Sulu ekstrakt (%)	Etanolik ekstrakt (%)	n-hekzan ekstraktı (%)	PEG-400 (0,1g)
G-0	100	-	-	-	+
G-1	99	1	-	-	+
G-2	97	3	-	-	+
G-3	95	5	-	-	+
G-4	99	-	1	-	+
G-5	97	-	3	-	+
G-6	95	-	5	-	+
G-7	99	-	-	1	+
G-8	97	-	-	3	+
G-9	95	-	-	5	+



Bulgular

MMT'nin Mineralojik Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan MMT Eczacıbaşı ESAN firmasından bedelsiz olarak temin edilmiş, Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları firmadan alınmıştır.

Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Karakterizasyonu

SEM, malzeme karakterizasyonunda son derece önemli bir yere sahip olan ve nanoteknolojinin ilerlemesinde güçlü ve çok yönlü bir araçtır. Bu çalışmada da SEM, MMT- dodesil

trimetil amonyum klorür (OMMT) nanokompozitlerinin interkalasyon yöntemiyle hazırlanmasının karakterizasyonu amacıyla kullanılmıştır. MMT tabakalı yapıya sahip bir kil minerali olup Şekil 8 (a)'daki SEM görüntüsünden açıkça görülmektedir. MMT su ile kolayca şişip tabakaları arasındaki iyonları değiştirebilmektedir. Bu çalışmada da MMT'nin tabakaları arasında bulunan Na iyonları dodesil trimetil amonyum klorür ile yer değiştirerek MMT'nin tabakaları arasına girmiştir. Bu durum, Şekil 8 (b)'deki SEM görüntüsünde, MMT yaprakçıklarının açılmasından görülmektedir.

Tablo 2: MMT'nin kimyasal analiz sonuçları

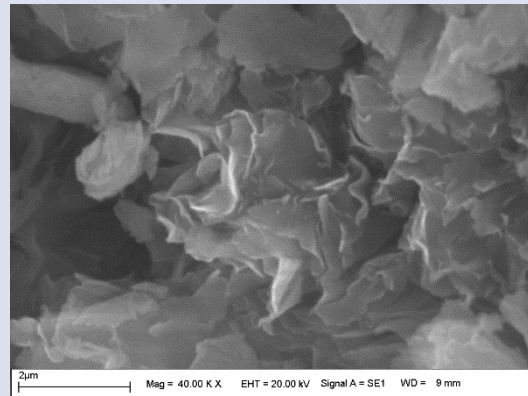
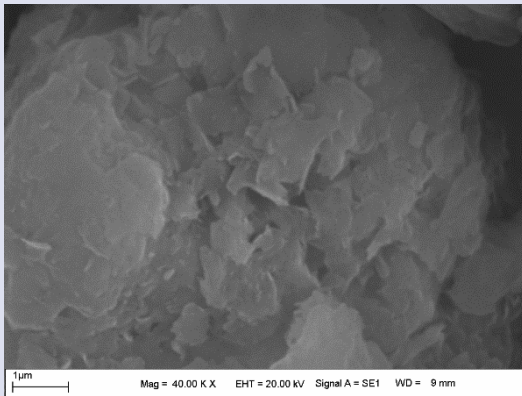
Table 2: Chemical analysis results of MMT

Kimyasal Analiz	%
Isıtma kaybı (L.o.I)	6,50 ± 1,00
SiO ₂	73,00 ± 1,50
Al ₂ O ₃	13,00 ± 1,00
Fe ₂ O ₃	0,70 ± 0,10
TiO ₂	0,05 ± 0,02
CaO	1,10 ± 0,30
MgO	3,00 ± 0,20
Na ₂ O	0,25 ± 0,05
K ₂ O	1,10 ± 0,20

Tablo 3: MMT'nin fiziksel özellikleri

Table 3: Physical properties of MMT

Fiziksel Özellikler		
Katyon değişim kapasitesi	(meq/100gr)	85,0 ± 5,0
Şişme	(ml/2 gr)	12,0 ± 2,0
Sedimentasyon (72 saat)	(ml)	15,0 ± 5,0
Sinterleşme noktası	(°C)	1200
Yığın yoğunluğu	(gr/lit)	800 ± 30
Topaklanma testi		Pozitif
Topak ağırlığı	(gr)	55 ± 5
Su emme	(%)	90 ± 5
Su emme süresi	(sec)	Max. 65
Ağartma-Orijinal	Tonsil Equivalent	0,6
Ağartma-asit aktive		0,7
pH (8% katı)		8,5
Grit içeriği (+75 mm)	(%)	<4
Renk		Beyaz
Açıklık-Koyuluk		94,0 ± 1,0
Rutubet/nem	(%)	<30



Resim 8: (a) MMT ve (b) OMMT'nin SEM görüntüsü
Figure 8: SEM image of (a) MMT and (b) OMMT

MMT ve OMMT Nanokompozitinin Termal Karakterizasyonu

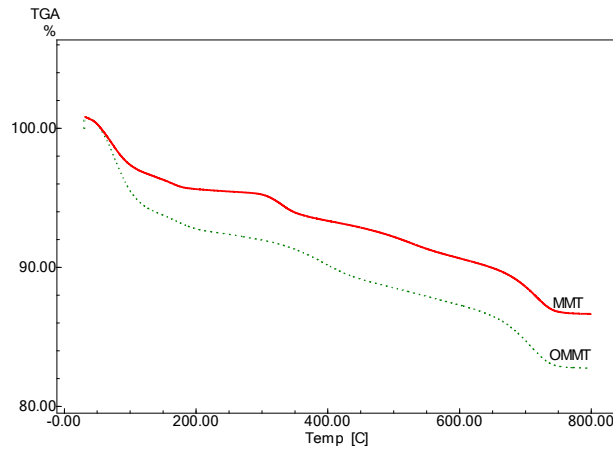
Termal Analiz, bir madde ısıtma veya soğutma şeklinde, kontrollü bir sıcaklık programına tabi tutulurken maddede meydana gelen değişimleri belirleyen analiz yöntemleri tekniğidir. Teknik, bir malzeme veya bir madde hakkında nispeten kısa bir süre içinde güvenilir ve kapsamlı bilgi sağladıkları için endüstrinin her dalında kullanılabilen analiz yöntemleri grubudur. Bu tekniklerden, Termogravimetrik Analiz (TGA) bir maddeye uygulanan programlı ısıtmaya bağlı olarak kütle kaybı veya kazancını belirleyen bir tekniktir. Bu çalışmada TGA ve MMT ve OMMT'nin termal özelliklerini araştırmak için kullanılmıştır.

Şekil 9'da MMT ve OMMT nanokompozitinin TGA termogramları görülmektedir. Killer, türüne bağlı olmakla birlikte, tabakalar arasındaki hidroksil gruplarının sayısına ve bağlanma kuvvetine bağlı olarak 350-450 °C arasında dehidroksilasyona uğrarlar. Bu da TGA'da kütle kaybı

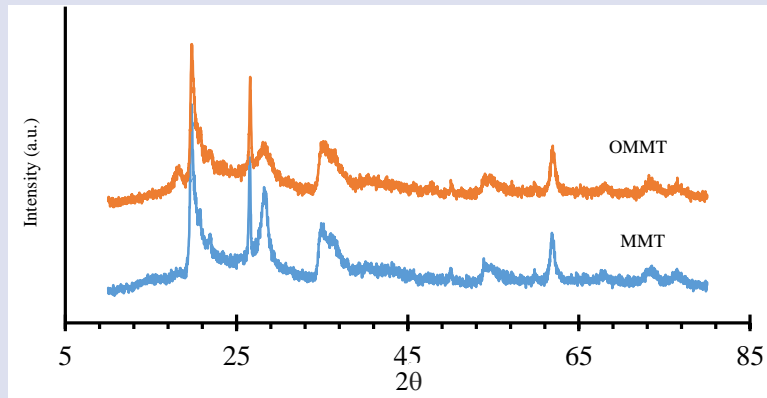
olarak görülür. Bu termogramlar MMT için karakteristiktir. MMT'nin dodesil trimetil amonyum klorür ile interkalasyonunda tabakalar arasındaki hidroksil gruplarına dodesil trimetil amonyum klorür koordine olmuş ve MMT'ye ait 350-400 °C aralığında görülen dehidroksilasyon kaybı OMMT'de görülmemekle birlikte daha yüksek sıcaklıklarda organik grupların kaybı meydana gelmiştir.

MMT ve OMMT Nanokompozitinin X-Işınları Kırınımı Kristalografisi (XRD)

XRD killer için önemli bir karakterizasyon yöntemidir. MMT'de tabakalar arası mesafeyi gösteren 2θ , 28° 'deki 001 piki karakteristiktir. Şekil 10'da MMT ve OMMT nanokompozitine ilişkin XRD difraktogramından görüldüğü gibi, tabakalar arasına dodesil trimetil amonyum klorürün girmesiyle tabakalar arasındaki artış 001 pikinin şiddetini azaltmıştır.



Resim 9: MMT ve OMMT'nin TGA termogramı
Figure 9: TGA thermogram of MMT and OMMT



Resim 10: MMT ve OMMT'nin XRD difraktogramı
Figure 10: XRD diffractogram of MMT and OMMT

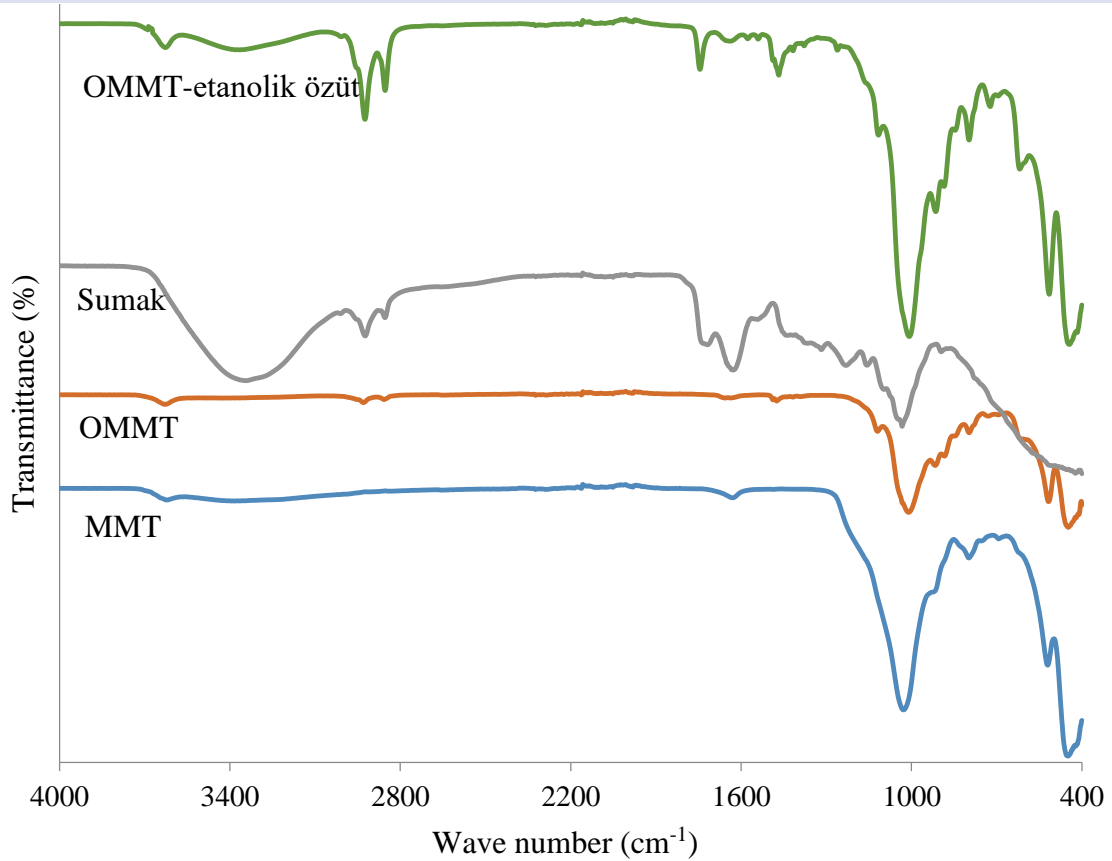
MMT ve OMMT Nanokompozitinin FT-IR Karakterizasyonu

Fourier transform infra red spektroskopi (FT-IR) kullanımı kolay, kısa sürede etkili ve doğru sonuç veren ve madde tüketmeyen en yaygın kullanılan malzeme karakterizasyon yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada da FT-IR hem motmorillonitik kil (MMT) hem de OMMT nanokompozitlerin karakterizasyonu amacıyla kullanılmıştır. Şekil 11’de sumak, MMT, OMMT ve OMMT-sumak özüt nanokompozitlerinin FT-IR spektrumu görülmektedir. MMT spekturumunda 3500-3600 cm^{-1} arasında MMT’in tabakalar arası -OH gruplarına ait gerilme ve 1640 cm^{-1} civarında eğilme titreşimleri görülürken OMMT nanokompozit spektrumunda bu piklerin şiddetinin azalmış olması dodesil trimetil amonyum klorürün MMT’in tabakaları arasına girerek aktif -OH gruplarıyla etkileştiğini göstermektedir. Ayrıca dodesil trimetil amonyum klorüre ait 2600-2800 cm^{-1} arasındaki -CH₂- gerilme pikleri organik türlerin MMT tarafından başarıyla interkale edildiğini ve nanokompozitin başarıyla sentezlendiğini göstermektedir.

Sumak özütüne ait FT-IR spektrumunda 3300-3400 cm^{-1} aralığında organik asitlerin hidroksil grupları, 2800-2900 cm^{-1} aralığında aromatik ve alifatik C-H grupları ve 1650-1700 cm^{-1} aralığında ise organik türlerin gerilme titreşimlerine ait pikler görülmektedir. Aynı pikler, OMMT-sumak özütü nanokompozitinde de oransal bileşimine bağlı olarak değişik boyutlarda ancak beklenen yerlerde görülmektedir.

Biyoaktif OMMT nanokompozitlerinin antimikrobiyal etkisi:

Bölüm 2.3’te anlatılan protokole göre yapılan biyoaktivite testlerine ilişkin sumak meyvesinden elde edilen ve farklı çözücülerle (n-hekzan, su ve etanol) hazırlanan ekstraktlar ile yapılan nanokompozitlerinin *E. coli* ve *S. aureus*’a karşı antimikrobiyal aktivite çalışmalarına ilişkin görseller Şekil 12’de görülmekte, sonuçlar ise Tablo 4 ve Tablo 5’te gösterilmiştir. DMSO kontrol olarak kullanılmış ve inhibisyon zon çapı gözlenmemiştir.



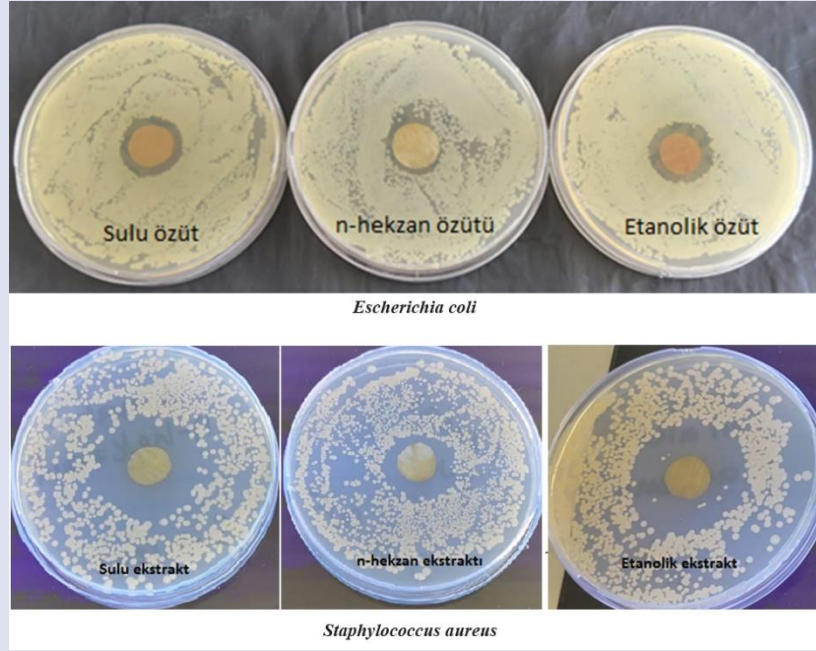
Resim 11: MMT ve OMMT nanokompozitlerinin FT-IR spektrumu
Figure 11: FT-IR spectrum of MMT and OMMT nanocomposites

Tablo 4. Farklı çözücülerde hazırlanan ekstraktların test edilen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktiviteleri.
Table 4. Antimicrobial activities of extracts prepared in different solvents against tested microorganisms.

Antimikrobiyal ajan	Ekstraksiyon tipi	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
DMSO	Kontrol	-	-
Sumak	Su	++	+++
	n-hekzan	+	++
	Etanol	++	+++

Değerler 5 analizin ortalaması olarak ifade edildi.

-, tespit edilmedi; +: inhibisyon zonunun çapı < 3 mm; ++: inhibisyon zonunun çapı 3-6 mm ve +++: inhibisyon zonunun çapı 6-12 mm.



Resim 12. Biyoaktif OMMT nanokompozitlerinin antimikrobiyal test çalışması görselleri (%3 sumak özütleri içeren görsel için seçildi)

Figure 12. Antimicrobial test study images of bioactive OMMT nanocomposites (selected for the image containing 3% sumac extracts)

Tablo 5. Farklı çözücülerde hazırlanan ekstraktların test edilen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktiviteleri.
Table 5. Antimicrobial activities of extracts prepared in different solvents against tested microorganisms.

Bakteri	Baharat	Ekstraksiyon tipi	Örnek	Sumak özütü (%)	Antimikrobiyal aktivite (mm)
<i>E. coli</i>	Sumak	Su	G-1	1	5.8 ± 0.4
			G-2	3	6.0 ± 0.7
			G-3	5	8.4 ± 0.5
		Etanol	G-4	1	9.7 ± 0.8
			G-5	3	10.5 ± 0.3
			G-6	5	8.9 ± 0.7
		n-hekzan	G-7	1	3.2 ± 0.6
			G-8	3	4.0 ± 1.1
			G-9	5	4.2 ± 0.5
<i>S. aureus</i>	Sumak	Su	G-1	1	9.4 ± 0.5
			G-2	3	10.6 ± 0.8
			G-3	5	10.2 ± 0.4
		Etanol	G-4	1	11.6 ± 0.5
			G-5	3	11.8 ± 0.2
			G-6	5	12.4 ± 0.1
		n-hekzan	G-7	1	7.1 ± 0.3
			G-8	3	8.3 ± 0.4
			G-9	5	6.9 ± 0.7

Antimikrobiyal aktivite testleri için farklı kompozisyonlar içeren nanokompozitlere ilişkin veriler Tablo 5’te verilmektedir.

Sonuç

Elde edilen bulgulara göre MMT kili başarılı bir şekilde organofilik hale getirildi ve sumanın farklı çözgenlerle elde edilen özütleri başarılı bir şekilde OMMT ile nanokompozit haline getirildi ve *E. Coli* ve *S.aureus* bakterilerine karşı etanolik ekstraktların sulu ve n-hekzan ekstraktına göre daha etkin antimikrobiyal etkiye sahip olduğu bulundu. Sumanın tüm çözgenlerle olan ekstarksiyonların antimikrobiyal etkisi *E. Coli*’ye göre *S.aureus*’a karşı daha etkin olduğu gözlemlendi.

Kaynaklar

- Aksaray, S. (2009). Toplum Kaynaklı ve Nozokomiyal Deri ve Yumuşak Doku İnfeksiyonlarından İzole Edilen *Staphylococcus Aureus*’ların Mlsb Direnci ve Antimikrobiyal Duyarlılıkları. T. C. Sağlık Bakanlığı Haydarpaşa Numune Eğitim ve Araştırma Hastanesi. Uzmanlık tezi.
- Camargo, P.H.C.; Satyanarayana, K.G.; Wypych, F. (2009) Nanocomposites: Synthesis, Structure, (Zataria multiXora) against some food-borne bacteria. *Food Control* 18, 646–649.
- Ciftci, H. (2021). An Introduction to Montmorillonite Purification. Book chapter from *Montmorillonite Clay* edited by Faheem Uddin. Doi. 10.5772/intechopen.92926.
- Dalgıç, A., Kavak, O., (2004). “Kil Mineralleri ve Sağlık” *Dicle Tıp Dergisi* 31,73-78.
- Erkin, G., Boztepe, G. (2004). “Akne vulgaris” *Hacettepe Tıp Dergisi*; 35:207-211.
- Fazeli, M.R.; Amin, G.; Attari, M.M.A.; (2007). Antimicrobial activities of Iranian sumac and avishan-e shirazi (*Zataria multiflora*) against some food-borne bacteria. *Food Control*. 18, 646-649.
- Fu, Shaoyun; Sun, Zheng ant et al. (2019). Some basic aspects of polymer nanocomposites: A critical review. *Nano Materials Science*. 1, 2-30.
- Ganguly, S.; Dana, K.; and et al. (2011). Organophilic Nano Clay: A Comprehensive Review. *rans. Ind. Ceram. Soc.*, 70 (4) 189-206.
- Ghadiri, M., Chrzanowski, W. and Rohanizadeh, R. (2013). Biomedical Applications of Cationic Clay Minerals. *J. Name*. 1-3
- Gül, Ü. (2016). Derinin Sık Görülen Bakteriyel Enfeksiyonları. *Ankara Med J*,16(1):98-114.
- Huang, Z. ; Y. Li, W. Chen, J. Shi, N. Zhang, X. Wang, Z. Li, L. Gao, Y. Zhang, Modified bentonite adsorption of organic pollutants of dye wastewater, *Mater. Chem. Phys.* 202 (2017) 266–276. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.09.028>.
- Kossah, R., Nsabimana C. Ant et al. (2009). Comparative Study on the Chemical Composition of Syrian Sumac (*Rhus coriaria* L.) and Chinese Sumac (*Rhus typhina* L.) Fruits. *Pakistan Journal of Nutrition* 8, 1570-1574.
- Matthaus, B., Özcan, M.M., (2015). Fatty acid composition, tocopherol, and sterol contents of sumac (*Rhus coriaria* L.) fruits. *European Journal of Lipid Science and Technology* 117(8).
- Mills, G.A. J. Holmes, E.B. Cornelius, Acid Activation of Some Bentonite Clays, *J. Phys. Colloid Chem.* 54 (1950) 1170–1185. <https://doi.org/10.1021/j150482a009>.
- Properties and New Application Opportunities. *Materials Research*, Vol. 12, No. 1, 1-39.
- Paiva, L.B.; Morales, A. R.; Diaz, F. R. V. (2008). Organoclays: Properties, preparation and applications. *Applied Clay Science* 42, 8–24.
- Raj, S.; Jose, S.; Sumod, U.S.; Sabitha, M. (2012). Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges. *J Pharm Bioallied Sci.* Jul-Sep; 4(3): 186–193.
- Ravindran, P.N, Divakaran M. (2012). *Handbook of Herbs and Spices (Second Edition)*, Volume 2.
- Taher, T.; D. Rohendi, R. Mohadi, A. Lesbani, Thermal Activated of Indonesian Bentonite as A Low-Cost Adsorbent for Procion Red Removal from Aqueous Solution, *J. Pure Appl. Chem. Res.* 7 (2018) 79–93. <https://doi.org/10.21776/ub.jpacr.2018.007.02.351>.
- Toor, M.; B. Jin, S. Dai, V. Vimonse, Activating natural bentonite as a cost-effective adsorbent for removal of Congo-red in wastewater, *J. Ind. Eng. Chem.* 21 (2015) 653–661. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.03.033>.
- Tüzün, Y., Dolar, N. (2004). “Güncel Akne Tedavisi” *Dermatose*; 3, 220-229.
- Uddin, M.K. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade, *Chem. Eng. J.* 308 (2017) 438–462. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029>.
- Viseras, C.; Sanchez-Espejo, R. and et al. (2024). Clays in Cosmetics and Personal-Care Products. *Clays and Clay Minerals*. 69, 5: clay minerals in health applications. Published online by Cambridge University Press: 01 January 2024, pp. 501-521.
- Williams, L.B., Haydel S.E. (2010). Evaluation of the medicinal use of clay minerals as antibacterial agents. *Int Geol Rev.* 52(7/8): 745–770.
- Zhou, C.H. An overview on strategies towards clay-based designer catalysts for green and sustainable catalysis, *Appl. Clay Sci.* 53 (2011) 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.04.016>.



Performance of Deep Residual Networks in Lung Cancer Classification: An Analysis on Histopathological Images

Merve Yağmurcu^{1,a,*}, Sultan Uzun^{1,b}, Özlem Polat^{2,c}

¹ Graduate School of Natural and Applied Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

² Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 25/11/2024

Accepted: 18/12/2024

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

Lung cancer is one of the most commonly seen and deadly types of cancer worldwide. Early diagnosis of this disease is crucial for prolonging life and improving treatment success. This study focuses on classifying lung cancer from histopathological images and investigates the performance of residual-based models (ResNet18, ResNet34, ResNet50, ResNet50V2, ResNet101, ResNet101V2, ResNet152, ResNet152V2) in classification. The LC25000 dataset, containing three classes—adenocarcinoma, benign, and squamous cell carcinoma—with 5000 images per class, was used. Among the tested models, ResNet18 achieved the highest classification performance with an accuracy of 99.90%. The results demonstrate that ResNet-based models perform excellently in accurately classifying complex histopathological images and highlight the potential of deep learning methods as a practical solution for lung cancer diagnosis.

Keywords: Lung Cancer, Histopathological Images, Classification, ResNet

Derin Rezidüel Ağların Akciğer Kanseri Sınıflandırmadaki Başarımı: Histopatolojik Görüntüler Üzerinde İnceleme

Araştırma Makalesi

Süreç

Geliş: 25/11/2024

Kabul: 18/12/2024

ÖZ

Akciğer kanseri, dünya genelinde yaygın olarak görülen ve yüksek ölüm oranına sahip kanser türlerinden biridir. Bu hastalığın erken teşhisi, yaşam süresini uzatmak ve tedavi başarısını artırmak açısından hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, histopatolojik görüntülerden akciğer kanserinin sınıflandırılmasına odaklanılmış ve rezidüel tabanlı modellerin (ResNet18, ResNet34, ResNet50, ResNet50V2, ResNet101, ResNet101V2, ResNet152, ResNet152V2) sınıflandırma üzerindeki başarımı incelenmiştir. Veri seti olarak adenokarsinom, iyi huylu ve skuamöz hücreli karsinom olmak üzere üç sınıfa ayrılan ve her sınıfta 5000 görüntünün olduğu LC25000 veri seti kullanılmıştır. Test edilen modeller arasında ResNet18 %99,90 doğruluk oranı ile en yüksek sınıflandırma performansı göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, ResNet tabanlı modellerin karmaşık histopatolojik görüntüleri doğru bir şekilde sınıflandırmada üstün performans sergilediğini ve akciğer kanseri teşhisinde derin öğrenme yöntemlerinin pratik bir çözüm sunabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Akciğer Kanseri, Histopatolojik Görüntüler, Sınıflama, ResNet

^a ygmrc.merve@gmail.com

^b 0009-0000-5749-4337

^c sultanuzun78@gmail.com

^d 0000-0002-9383-5108

^e ozlem.polat@cumhuriyet.edu.tr

^f 0000-0002-9395-4465

Giriş

Kanser dünyada insan yaşamını ciddi şekilde tehdit eden ve önemli zararlara yol açan en tehlikeli hastalıkların başında yer almaktadır (Sung ve ark., 2021). Kanser türlerinden biri olan akciğer kanseri, akciğer hücrelerinin kontrolsüz büyümesi ve değişime uğramasıyla oluşur. Akciğer kanserinin dünya genelinde görülme sıklığı, toksik maddelere maruz kalma, solunan zararlı maddeler ve yaşlanan nüfus gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak artış göstermiştir. Akciğer kanserlerinin en sık görülen alt tipleri arasında adenokarsinom ve skuamöz hücreli karsinom bulunmaktadır. Küçük hücreli ve büyük hücreli karsinomlar ise diğer histolojik alt türlerdir. Bununla birlikte, küçük ve büyük hücreli karsinomlar genellikle hızlı bir şekilde yayılma eğilimindedir ve akciğerin herhangi bir bölümünde oluşabilir, bu da tedavi sürecini zorlaştırır (Callaghan ve ark., 2013). Skuamöz hücreli karsinom, anormal akciğer hücrelerinin kontrolsüz büyümesi sonucu ortaya çıkar ve bu süreçte bir tümör gelişir. Kanser hücreleri, akciğer çevresindeki lenf düğümleri, karaciğer, adrenal bezler, kemikler ve beyin gibi organlara yayılabilir. Skuamöz hücreli karsinom genellikle akciğerlerin merkezinde ortaya çıkar ve hızlı bir şekilde tespit edilip kontrol altına alınmadığı durumlarda vücudun diğer bölgelerine yayılabilir (Hamed ve ark., 2023a).

Akciğer kanseri, dünya çapında en yüksek ölüm oranlarına sahip büyük kanser türlerinden biridir (Sung ve ark., 2021). Bu ciddi durumla mücadele, şüpheli akciğer nodüllerinin erken teşhisine dayanır. Kanser türünü belirlemek için histopatolojik teşhis büyük önem taşır. Akciğer kanseri histopatolojisi görüntülerinin analizi, hastalığın evresi, moleküler profili ve doku türüne bağlı olarak tedaviye yön vermesi açısından kritik bir gerekliliktir (Masud ve ark., 2021).

Son yıllarda, makine öğrenimi ve derin öğrenme tekniklerinin kanser teşhisine yardımcı olarak kullanılmasıyla önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu yöntemler, patoloğların iş yükünü azaltmak ve akciğer kanseri tespit sürecini hızlandırmak için kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin temel amacı, bilgisayarların görsel bilgiyi insanlar gibi algılamasını, sınıflandırmasını ve analiz etmesini sağlamaktır. Erken teşhis, tedavi yanıtını hızlandırarak hayatta kalma oranını artırmakta ve hayat kurtarıcı olabilmektedir (Hamed ve ark., 2023b). Derin öğrenme yöntemlerinden biri olan Konvülsiyonel Sinir Ağları (CNN-Convolutional Neural Network) (LeCun ve ark., 1998), görüntü analizi ve özellik çıkarımı konularında yüksek verimlilikle kullanılmaktadır. CNN'ler, özellikle biyolojik alanlarda yüksek doğruluk oranları sunarak kanser teşhisinde etkili bir araç haline gelmiştir.

Literatürde akciğer kanserinin histopatolojik görüntülerden sınıflandırılması ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Şeker ve ark. (2024) ön işleme yaptıkları görüntüleri sınıflama amacıyla CNN, EfficientNetB7 ve Vision Transformer (ViT) modellerini kullanmışlardır. En yüksek sınıflandırma başarımını %98,40 ile ViT modelinden elde etmişlerdir. Uçar (2021) çalışmasında öncelikle veri setini DenseNet201, MobileNetV2, VGG16, NASNetLarge, Xception, InceptionV3, VGG19,

EfficientNetB7 ve ResNet152 gibi önceden eğitilmiş derin öğrenme mimarilerini kullanarak sınıflamıştır. Bunlardan en iyi sonucu veren üç mimariden (VGG16+MobileNetV2+Xception) çıkarılan öznelikleri birleştirmiş ve Adaboost, Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP-Multi Layer Perceptron), Destek Vektör Makineleri (SVM-Support Vector Machine) ve Rastgele Orman (RF-Random Forest) olmak üzere dört farklı sınıflayıcı ile sınıflamıştır. Bu sınıflayıcılardan da ortalama %97,22 başarımler elde etmiştir. Hatuwal ve Thapa (2020) CNN kullanarak %96,11 eğitim doğruluğu ve %97,2 test doğruluğu elde etmişlerdir.

Sumon ve ark. (2024) görüntülerden özellik çıkarma amacıyla DenseNet121'i kullanmışlardır ve sınıflama amacıyla farklı makine öğrenme tekniklerini denemişlerdir. Yaptıkları testlerde en yüksek başarımları %96,6 ile SVM ile ulaşılmıştır. Hamed ve ark. (2023a) toplam parametre sayısı düşük yeni bir CNN modeli ile geliştirilmiş Light Gradient Boosting Model (LightGBM) sınıflandırıcısını birleştiren yenilikçi bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmada, görüntüler ön işleme tabii tutulduktan sonra, önerilen CNN ile özellik çıkarımı yapmışlardır. Sınıflama amacıyla çoklu iş parçacığına sahip LightGBM modeli uygulanmıştır ve %99,6 sınıflama başarımları elde edilmiştir. Katar ve ark. (2024) önerdikleri modelde EfficientNetB0, yerel ikili desen (LBP-Local Binary Pattern) ve ViT kodlayıcı kullanılarak sırasıyla elde edilen derin, dokusal ve bağlamsal özellikleri işlemişlerdir. Bu yöntemde, her bir özellik matrisi ayrı ayrı düzleştirilmiş ve ardından kapsamlı bir özellik vektörü oluşturmak üzere birleştirilmiştir. Bu özellik vektörü, dört farklı makine öğrenmesi algoritmasına giriş olarak verilmiştir. Bu algoritmalar, SVM, Lojistik Regresyon (LR), LightGBM ve Extreme Gradient Boosting (XGBoost)) algoritmalarıdır. Test amacıyla 13 farklı senaryo oluşturulmuş ve en iyi başarımları %99,87 ile EfficientNetB0 + LBP + ViT Kodlayıcı + SVM kombinasyonu ile elde edilmiştir.

Noaman ve ark. (2024) DenseNet201 modelinin renk histogramı teknikleri ile birleşimi sayesinde sınıflandırma doğruluğunu artırmak için yeni bir hibrit özellik seti ortaya koymuşlardır. Yöntem olarak sekiz farklı makine öğrenmesi yöntemi kullanmışlardır: K-En Yakın Komşu (KNN), SVM, LightGBM, CatBoost, XGBoost, Karar Ağaçları (DT-Decision Tree), RF ve Multinomial Naive Bayes (MultiNB). Yapılan testlerde en iyi başarımları KNN ile elde etmişlerdir. Singh ve Singh (2023) yaptıkları araştırmada üç farklı yaklaşımdan RF, SVM ve LR modellerini kullanarak bir topluluk sınıflandırıcı önermişlerdir. Her sınıflandırıcıdan elde edilen tahminler, topluluk sınıflandırıcısını oluşturmak için çoğunluk oylama yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Akciğere ve kolona ilişkin histopatolojik görüntülerinden derin özellikler, VGG16 ve LBP olmak üzere iki farklı yöntemle çıkarılmıştır. Yapılan testlerde %99 başarımları elde edilmiştir.

Gautam ve ark. (2024) akciğer kanserinin sınıflandırılmasında transfer öğrenme modellerinden faydalanmışlardır. LC25000 veri setinden akciğer kanseri ile ilgili olan 15000 görüntü üzerinde çalışmışlardır. Önce

üç farklı model olan InceptionResNetV1, EfficientNetB7 ve DenseNet121 transfer öğrenme modellerini kullanarak özellik çıkarımı yapmışlardır. Sonrasında Temel Bileşen Analizi (PCA-Principal Component Analysis) ile öznelik seçimi yapmışlar ve her üç modelden elde ettikleri özellikleri birleştirmişlerdir. Sonrasında klasik makine öğrenmesi modellerinden olan SVM ile sınıflama yapmışlardır. Sonuç olarak %99,43 başarımla elde etmişlerdir. Uddin (2024), akciğer kanserinin tespiti ile ilgili yaptığı çalışmada hem histopatolojik görüntüleri hem de bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerini kullanmışlardır. Transfer öğrenme modellerinden DenseNet modelini dikkat tabanlı mekanizmalar ile birleştirip (ATT-DenseNet) sınıflama yapmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda histopatolojik görüntüler ve BT görüntüleri üzerinde sırasıyla %95,4 ve %94 sınıflandırma başarımla elde etmişlerdir.

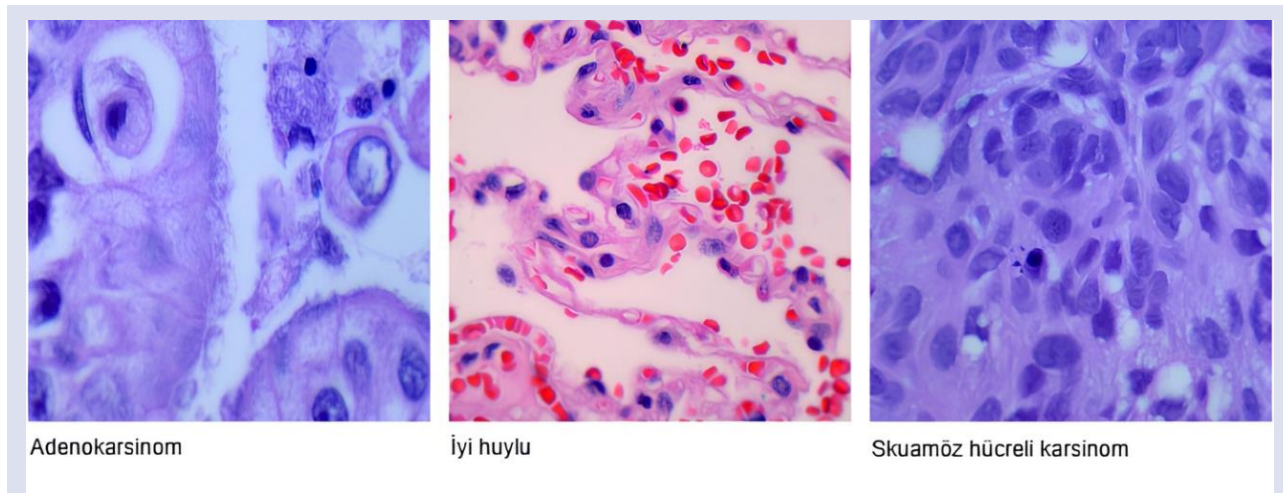
Ramesh ve ark. (2023), dört katmanlı bir CNN kullanarak sınıflama yapmışlardır. Veri seti olarak LC15000'i kullanmışlardır. Veri seti üzerinde çeşitli ön işleme ve veri çoğaltma işlemleri uygulamışlardır. Veri setini eğitim, test ve validasyon olmak üzere sırasıyla %80, %15 ve %5 oranında üç parçaya ayırmışlardır. Test kümesi üzerinde elde ettiği sonuçlarda %89,6 doğruluk değeri elde etmişlerdir. Singh ve ark. (2023) tarafından yapılan çalışmada topluluk öğrenmesi kullanılmıştır. Yöntem olarak transfer öğrenme modellerinden EfficientNetB3, ResNet50, VGG16 ve InceptionNetV2 modelleri tercih edilmiştir. Topluluk modeli VotingClassifier kullanılarak yumuşak oylama modunda oluşturulmuştur. Ön işleme uygulanan veri %80 ve %20 oranında eğitim ve test kümesine bölünmüştür. Yapılan testler sonucunda %99,33 başarımla elde edilmiştir.

Bu çalışmada rezidüel tabanlı derin transfer öğrenme ağlarından ResNet modellerinin akciğer kanserinin histopatolojik görüntülerden tespit edilmesi ve sınıflandırılmasındaki başarımla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ResNet tabanlı modellerin görüntü sınıflandırmada önemli ölçüde başarılı olduğunu göstermiştir.

MATERYAL ve METOT

Veri Seti

Bu çalışmada, Barkowski ve ekibi tarafından sunulan [LCW25000] akciğer ve kolon kanseri histopatolojik veri seti kullanılmıştır (Borkowski ve ark., 2019). Toplamda çoğaltılarak elde edilen 25000 renkli görüntü içeren bu veri seti, özellikle akciğer kanseri teşhisi ve sınıflandırmasına yönelik kapsamlı bir kaynak sunmaktadır. Veri setindeki akciğer ve kolon kanseri görüntüleri, beş farklı kategoriye ayrılmış olup, bunlardan akciğer ile ilgili olan, adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom, ve iyi huylu olmak üzere her biri 5000'er görüntü içeren üç sınıf analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan açık erişimli Kaggle veri seti (<https://www.kaggle.com/datasets/rm1000/lung-cancer-histopathological-images/data>), akciğer kanseri tanısına yönelik model geliştirme ve değerlendirme süreçlerinde önemli bir katkı sunmuştur. Toplamda 15000 görüntü, 768×768 çözünürlükteki orijinal boyutlarından 224×224 piksel çözünürlüğüne yeniden boyutlandırılarak işlenmiştir. Şekil 1'de sınıflara ait örnek görüntüler yer almaktadır.



Şekil 1: Veri setinden 3 sınıf için örnek görüntüler
Figure 1: Sample images for 3 classes from the dataset

Rezidüel Tabanlı Modeller

Çalışmada, akciğer kanseri teşhisinde histopatolojik görüntülerden otomatik sınıflandırma yapılması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, derin öğrenme yöntemlerinden biri olan ResNet modelleri tercih edilmiştir. ResNet, 2015 yılında Kaiming He ve ekibi tarafından geliştirilmiş olup, derin sinir ağlarının eğitiminde gradyan sönümlenmesi sorununu çözmek için tasarlanmıştır (He ve ark., 2016a). Modellerin, katmanlar arasına eklenen artık bağlantılar sayesinde bilgi kaybını minimize ederek verimli öğrenmeyi sağlaması, tercih edilmesinin temel nedenlerinden biridir. Ayrıca, transfer öğrenme yaklaşımı ile büyük veri setlerinde önceden eğitilmiş ağırlıkların kullanılması, daha küçük ve farklı veri setlerinde yüksek performans göstermelerini sağlamaktadır (Talukder ve ark., 2024).

Farklı derinliklere sahip sekiz ResNet modeli (ResNet18, ResNet34, ResNet50, ResNet50V2, ResNet101, ResNet101V2, ResNet152 ve ResNet152V2) incelenmiş ve sınıflandırma performansları detaylı şekilde karşılaştırılmıştır. Veri setindeki görüntüler, %80 eğitim ve %20 test olacak şekilde ayrılmış ve tüm modeller aynı veri setleri ile eğitilip test edilmiştir. Model performansları, Kaggle Notebook ortamında GPU T4 x2 kullanılarak adil koşullarda değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, model

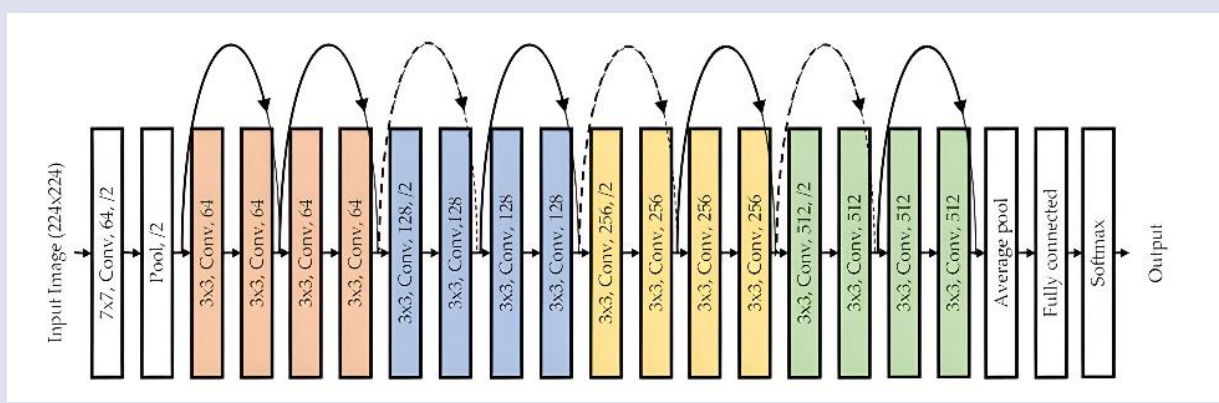
derinliğinin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisini anlamak için kapsamlı bir analiz sunmaktadır.

ResNet18

ResNet'in temel modellerinden biri olup, toplamda 18 katmandan oluşur. Bu model, basit bir mimariye sahip olmasına rağmen, artık bağlantılar sayesinde önceki katmanlardan gelen bilgileri sonraki katmanlara doğrudan ileterek gradyan kaybını azaltır ve verimli bir öğrenme sağlar (Ma ve ark., 2021). Düşük donanım gereksinimi ve hızlı işlem süreleriyle öne çıkan ResNet18, küçük ölçekli veri setleri için ideal bir modeldir. Doğruluk ve hız arasında dengeli bir performans sunduğu için, sınıflandırma ve transfer öğrenimi gibi temel derin öğrenme görevlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Modelin açıklayıcı mimarisi Şekil 2'de sunulmuştur.

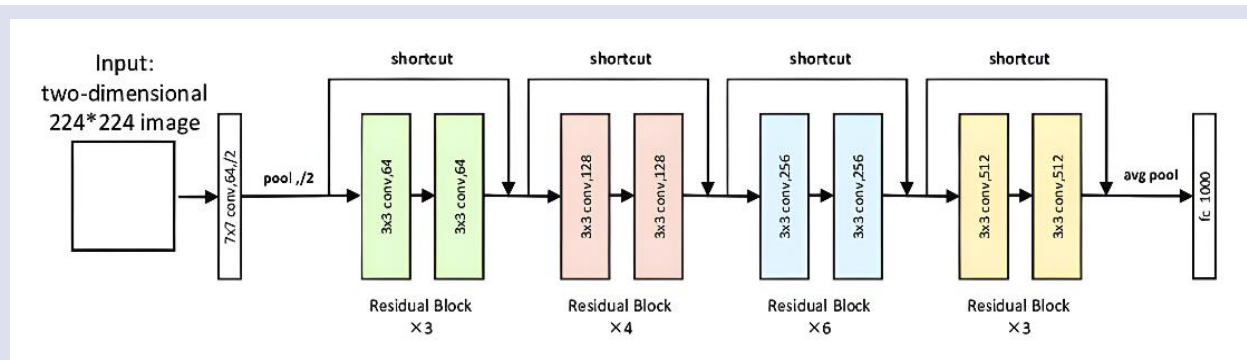
ResNet34

ResNet18'in daha derin bir versiyonu olarak tasarlanmış, toplamda 34 katmandan oluşan bir derin öğrenme modelidir (He ve ark., 2016a). Artık bağlantılar sayesinde derin ağların etkili bir şekilde eğitim almasını sağlar. Fazla katmanlar, modelin karmaşık ve detaylı özellikleri öğrenmesini sağlar. Hesaplama maliyetleri açısından ResNet34, daha derin bir yapıya sahip olmasına rağmen makul bir seviyede kalarak doğruluk ve işlem süresi arasında dengeli bir performans sunar. ResNet34 modeline ilişkin mimari Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 2: ResNet18 modelinin mimari yapısı (Nergiz, 2023)

Figure 2: Architectural structure of the ResNet18 model (Nergiz, 2023)



Şekil 3: ResNet34 modelinin mimari yapısı (Zhang ve ark., 2023)

Figure 3: Architectural structure of the ResNet34 model (Zhang et al., 2023)

ResNet50

Toplamda 50 katmandan oluşan ve derin öğrenme alanında geniş bir kullanım alanına sahip, güçlü bir modeldir (He ve ark., 2016a). Bu bloklar, giriş verisini önce düşük boyuta indirir. İşlemleri bu boyutta yapar ve ardından boyutu eski haline getirir. Bu yapı, modelin derinliğini artırırken parametre sayısını ve hesaplama yükünü optimize eder. Transfer öğrenimi, özellik çıkarımı ve sınıflandırma gibi görevlerde yaygın olarak kullanılan bu model, derinliği sayesinde daha yüksek doğruluk oranları sunar. Ancak, ResNet18 ve ResNet34 gibi daha basit modellere kıyasla daha yüksek işlem gücü ve bellek kapasitesi gerektirir, bu da onu güçlü donanım ortamları için daha uygun hale getirir. Modele ilişkin mimari Şekil 4'te sunulmuştur.

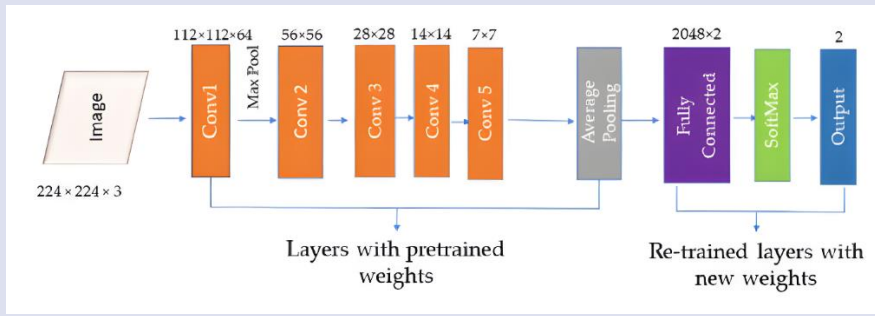
ResNet50V2

ResNet50'nin geliştirilmiş bir versiyonu olarak tasarlanmış ve eğitim sürecindeki performansı artırmak için optimize edilmiştir. Bu model, gradyan akışını

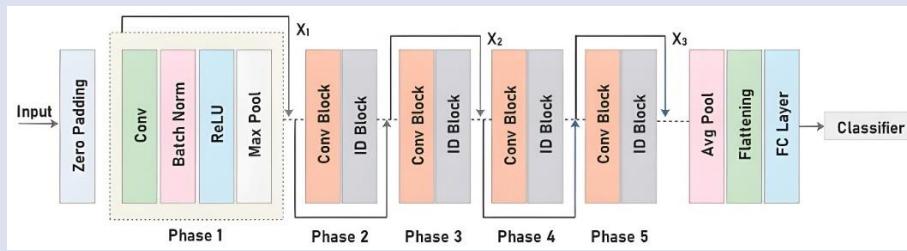
iyileştirmeyi hedefler. Bu sayede daha verimli bir öğrenme süreci sağlar. ResNet50'ye kıyasla, ağ mimarisinde yapılan düzenlemeler, modelin eğitim sırasında oluşabilecek hataları azaltır ve daha derin katmanlarda öğrenmeyi kolaylaştırır (He ve ark., 2016b). Ayrıca, normalizasyondaki değişiklikler ve ağırlık optimizasyonları, eğitimi hızlandırır ve etkili hale getirir. ResNet50V2 modelinin mimarisi Şekil 5'te gösterilmektedir.

ResNet101

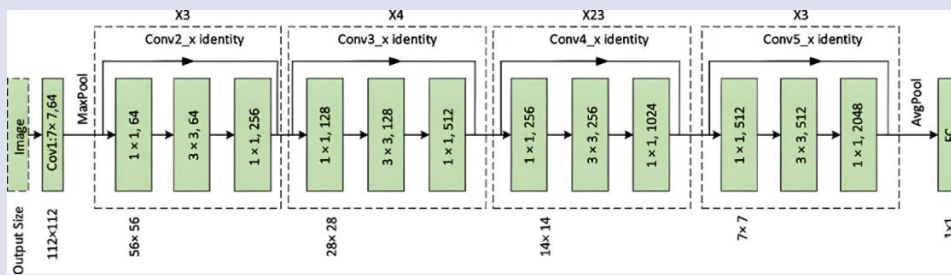
Toplamda 101 katmandan oluşan ve derin öğrenme alanında büyük veri setleri üzerinde yüksek doğruluk oranları elde etmek için tasarlanan modeldir (He ve ark., 2016a). Derin yapısı, ince detayları öğrenmesine olanak tanır. ResNet101, blokları kullanarak hesaplama maliyetlerini optimize etse de artan derinlik nedeniyle diğer ResNet modellerine kıyasla daha fazla işlem gücü ve bellek gereksinimi duyar. Modelin açıklayıcı mimarisi Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 4: ResNet50 modelinin mimari yapısı (Islam ve Tasnim, 2020)
Figure 4: Architectural structure of the ResNet50 model (Islam and Tasnim, 2020)



Şekil 5: ResNet50V2 modelinin mimari yapısı (Patel ve Khan, 2023)
Figure 5: Architectural structure of the ResNet50V2 model (Patel and Khan, 2023)



Şekil 6: ResNet101 modelinin mimari yapısı (Kalshetty ve Parveen, 2023)
Figure 6: Architectural structure of the ResNet101 model (Kalshetty and Parveen, 2023)

ResNet101V2

ResNet101'in daha optimize edilmiş bir versiyonu olarak geliştirilmiş ve derin öğrenme modellerinde eğitim sürecini daha verimli hale getirmek için tasarlanmıştır. Model, gradyan akışını iyileştiren yapısal değişikliklerle, özellikle derin katmanlarda öğrenme sürecini daha stabil ve etkili bir hale getirir (He ve ark., 2016b). Normalizasyon sırasındaki düzenlemeler ve ağ içindeki bağlantıların optimize edilmesi, modelin daha hızlı eğitim almasını sağlar. Bu iyileştirmeler, derinliği ve hassas öğrenme kapasitesi sayesinde, tıbbi görüntüleme, nesne tanıma ve geniş ölçekli sınıflandırma görevleri gibi doğruluğun kritik olduğu uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Modele ilişkin mimari Şekil 7'de sunulmuştur.

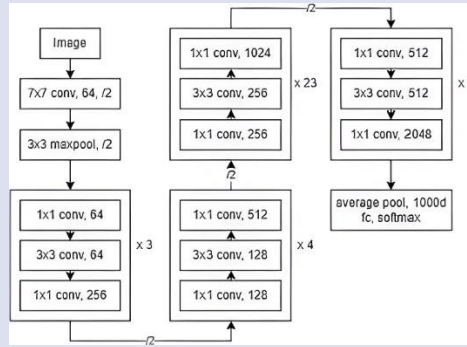
ResNet152

ResNet ailesinin en derin mimarilerinden biri olan, 152 katmanlı bu model özellikleri ve desenleri hassas bir şekilde öğrenme kapasitesine sahiptir (He ve ark., 2016a). Artan

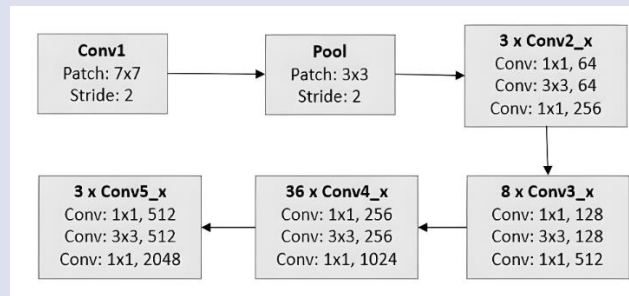
katman sayısı, daha detaylı ve güvenilir sonuçlar sunarken, aynı zamanda yüksek işlem gücü ve bellek ihtiyaç duyar. Bu nedenle, genellikle güçlü hesaplama altyapısına sahip projelerde etkili bir çözüm olarak tercih edilir. Modelin açıklayıcı mimarisi Şekil 8'de sunulmuştur.

ResNet152V2

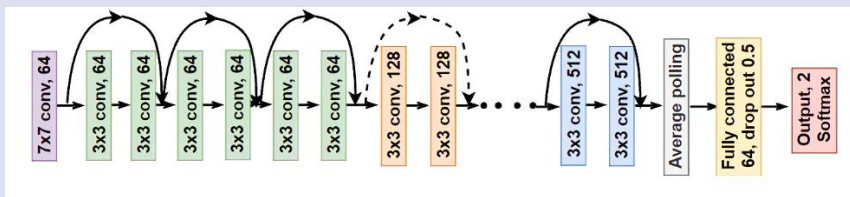
Derin öğrenme alanında eğitim süreçlerini optimize etmek amacıyla geliştirilmiş bir modeldir. Bu sürüm, gradyan akışını iyileştiren mimari değişiklikler ile donatılmıştır; böylece derin katmanlarda karşılaşılan öğrenme zorlukları minimize edilir ve eğitim süreci hızlandırılır (He ve ark., 2016b). Ağırlıkların başlangıç değerleri ve normalizasyon süreçlerindeki iyileştirmeler, modelin performansını ResNet152'ye göre daha etkili hale getirir. Yüksek hesaplama gereksinimlerine rağmen optimize edilmiş yapısı ve detaylı öğrenme kapasitesi ile derin öğrenme problemleri için güvenilir bir çözüm sunmaktadır. Modelin açıklayıcı mimarisi Şekil 9'da sunulmuştur.



Şekil 7: ResNet101V2 modelinin mimari yapısı (Shabrina ve ark., 2023)
Figure 7: Architectural structure of the ResNet101V2 model (Shabrina et al., 2023)



Şekil 8: ResNet152 modelinin mimari yapısı (Nguyen ve ark., 2018)
Figure 8: Architectural structure of the ResNet152 model (Nguyen et al., 2018)



Şekil 9: ResNet152V2 modelinin mimari yapısı (Yang ve Lima, 2021)
Figure 9: Architectural structure of the ResNet152V2 model (Yang and Lima, 2021)

Deneysel Sonuçlar

Performans Değerlendirme Metrikleri

Sınıflandırma metrikleri, sağlık, finans, doğal dil işleme ve görüntü işleme gibi çeşitli alanlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir (Toğaçar ve ark., 2021). Model performansını değerlendirmek için en temel metriklerden biri doğruluktur ve bu, modelin genel tahmin performansını ölçmek için kullanılır (1). Ancak veri setindeki sınıflar arasında dengesizlik olduğunda doğruluk tek başına yeterli bir gösterge olmayabilir. Bu tür durumlarda, daha hassas ve odaklı metriklerin kullanılması gerekir. Metriklerde örneğin, doğru pozitif (DP) değerler, modelin gerçek pozitif tahminlerini doğru bir şekilde belirleme kapasitesini ifade ederken; doğru negatif (DN) değerler, modelin gerçek negatifleri tanımlama başarısını gösterir. Yanlış pozitif (YP) değerler, modelin pozitif olarak tahmin ettiği ancak gerçekte negatif olan durumları ifade ederken; yanlış negatif (YN) değerler, pozitif olarak sınıflandırılması gereken ancak negatif olarak tahmin edilen örnekleri tanımlar. Bu dört temel bileşen, modelin performansını kapsamlı bir şekilde analiz etmek için çeşitli metriklerin temelini oluşturur.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + YP + DN + YN} \quad (1)$$

Metriklerden biri olan kesinlik (2), doğru pozitif tahminlerin toplam pozitif tahminlere oranını ölçerken; duyarlılık (3), gerçek pozitiflerin ne kadarının doğru tahmin edildiğini değerlendirir. Bu iki metriği dengelemek ve genel bir performans değerlendirmesi sağlamak için F1 skoru (4) kullanılır.

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (3)$$

$$F1 \text{ Skor} = 2 \times \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

Test Sonuçları

Çalışmada, modelin performansını artırmak ve aşırı öğrenmeyi önlemek amacıyla veri ön işleme teknikleri kullanılmıştır. Veri ön işleme kapsamında, görüntülere rastgele yatay çevirme, rastgele döndürme ve rastgele yakınlaştırma gibi işlemler uygulanmıştır. Ayrıca tüm görüntüler 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Bu işlemler, modelin farklı görüntü varyasyonlarını öğrenmesini sağlayarak daha genel ve başarılı bir sınıflandırma performansı elde etmeyi hedeflemiştir. Hiperparametre değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Veri seti, %80 eğitim ve %20 test olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Çizelge 1'de belirtilen hiperparametre değerleri kullanılarak, ResNet tabanlı modeller bu veri setiyle eğitilmiştir. Modellerin test sonuçları ise Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Sonuçlardan anlaşıldığı üzere akciğer kanserinin histopatolojik görüntüler kullanılarak sınıflandırılmasında en iyi performansı %99,90 doğruluk ile ResNet18 modeli göstermiştir. Bu modeli %99,87 ve %99,80 doğruluk oranları ile sırasıyla ResNet101 ve ResNet152 modelleri takip etmektedir. Sonuçlara bakıldığında tüm ResNet modellerinin akciğer kanserini yüksek doğrulukla sınıflandırdığı görülmektedir. En iyi performansa sahip ResNet18 modelinin testine ilişkin karışıklık matrisi Şekil 10'da gösterilmektedir.

Çizelge 1: Hiperparametre Değerleri

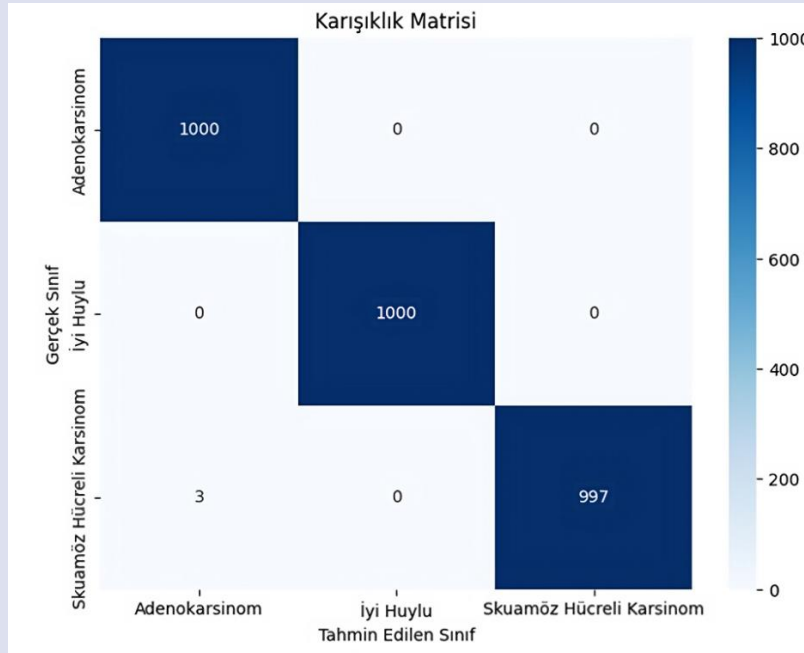
Table 1: Hyperparameter Values

Hiperparametre	Epok Sayısı	Öğrenme Oranı	Aktivasyon Fonksiyonu	Dropout	Batch Size
Değer	25	0,001	Adam	0,2	32

Çizelge 2: ResNet Model Performansları

Table 2: Performances of ResNet Models

	Doğruluk	Duyarlılık	Kesinlik	F1 Skor
ResNet18	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990
ResNet34	0,9893	0,9893	0,9897	0,9893
ResNet50	0,9717	0,9717	0,9739	0,9716
ResNet50V2	0,9747	0,9747	0,9747	0,9747
ResNet101	0,9987	0,9987	0,9987	0,9987
ResNet101V2	0,9757	0,9757	0,9757	0,9757
RasNet152	0,9980	0,9980	0,9980	0,9980
ResNet152V2	0,9717	0,9717	0,9717	0,9717



Şekil 10: Karışıklık matrisi
Figure 10: Confusion matrix

Şekilden görüldüğü üzere adenokarsinom ve iyi huylu sınıfları %100 doğrulukla sınıflandırılmıştır. Skuamöz hücreli karsinom sınıfında ise 1000 örnekten sadece 3 tanesi yanlış sınıflandırılmıştır. Bu sınıfa ilişkin başarımlar ise %99,7'dir. Sonuç olarak tüm sınıflar yüksek doğrulukla sınıflandırılmışlardır.

Sonuçlar

Akciğer kanseri, dünya genelinde yüksek ölüm oranlarına sahip kanser türlerinden biri olarak halk sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır. Bu hastalığın erken teşhisi, hastaların yaşam süresini ve yaşam kalitesini önemli ölçüde artırabilir. Ancak geleneksel tanı yöntemleri zaman alıcı olduğundan yenilikçi yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay zeka, özellikle derin öğrenme tabanlı modellerle, akciğer kanseri gibi hastalıkların teşhisinde büyük bir potansiyel sunmaktadır.

Rezidüel ağlar, kaybolan gradyan problemini çözme yetenekleri ve tıbbi görüntülerdeki karmaşık desenleri iyi bir şekilde öğrenebilme kapasiteleri nedeniyle kullanılır. Çalışmamızda, akciğer kanseri histopatolojik görüntülerinin sınıflandırılmasında farklı rezidüel ağ tabanlı modeller (ResNet18, ResNet34, ResNet50, ResNet50V2, ResNet101, ResNet101V2, ResNet152, ResNet152V2) kullanılmıştır. Farklı ResNet modelleri değerlendirilmiş ve tüm modellerin %95'in üzerinde sınıflandırma doğruluğu elde ettiği görülmüştür.

Modeller arasında en yüksek performansı, %99,90 doğruluk oranıyla ResNet18 modeli göstermiştir. ResNet18'in üstün başarısı, daha basit bir mimariye ve diğer modellere kıyasla düşük hesaplama maliyetine sahip olmasıyla öne çıkmaktadır. Bu özellikler, ResNet18'i yalnızca yüksek doğruluk oranı sunan bir model değil, aynı

zamanda verimlilik açısından da öne çıkan bir seçenek haline getirmektedir. Bu nedenle, ResNet18, sınırlı donanım kapasitesine sahip sistemlerde ve hızlı sonuç gerektiren uygulamalarda kullanım için özellikle iyi bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Elde edilen sonuçlar, ResNet tabanlı modellerin yalnızca tıbbi görüntüleme alanında değil, biyomedikal analiz, genetik araştırmalar, uzaktan algılama, endüstriyel kalite kontrol ve tarım gibi farklı alanlarda da uygulanabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada, ResNet tabanlı modellerin tıbbi tanı süreçlerinde yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlayarak insan sağlığına önemli katkılar sunabileceğini gösterilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, hiperparametre optimizasyon algoritmalarının uygulanmasıyla bu modellerin performans ve verimliliğinin daha da artırılması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- Borkowski, A. A., Bui, M. M., Thomas, L. B., Wilson, C. P., DeLand, L. A., & Mastorides, S. M. (2019). Lung and colon cancer histopathological image dataset (lc25000). arXiv preprint arXiv:1912.12142.
- Callaghan, R. C., Allebeck, P., & Sidorchuk, A. (2013). Marijuana use and risk of lung cancer: a 40-year cohort study. *Cancer Causes & Control*, 24, 1811-1820.
- Gautam, N., Ghosh, S., & Sarkar, R. (2024). Cnn models aided with a metaclassifier for lung Carcinoma classification using histopathological images. *Multimedia Tools and Applications*, 1-25.
- Hamed, E. A. R., Salem, M. A. M., Badr, N. L., & Tolba, M. F. (2023a). An efficient combination of convolutional neural network and LightGBM algorithm for lung cancer histopathology classification. *Diagnostics*, 13(15), 2469.

- Hamed, E. A. R., Salem, M. A. M., Badr, N. L., & Tolba, M. F. (2023b, March). Lung Cancer Classification Model Using Convolution Neural Network. In *The International Conference on Artificial Intelligence and Computer Vision* (pp. 16-26). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Hatuwal, B. K., & Thapa, H. C. (2020). Lung cancer detection using convolutional neural network on histopathological images. *Int. J. Comput. Trends Technol*, 68(10), 21-24.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016a). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016b). Identity mappings in deep residual networks. In *Computer Vision—ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part IV 14* (pp. 630-645). Springer International Publishing.
- Islam, M., & Tasnim, N. (2020). Human gender classification using transfer learning via Pareto Frontier CNN networks. *Inventions* 5, 16.
- Kalshetty, R., & Parveen, A. (2023). Abnormal event detection model using an improved ResNet101 in context aware surveillance system. *Cognitive Computation and Systems*, 5(2), 153-167.
- Katar, O., Yildirim, O., Tan, R. S., & Acharya, U. R. (2024). A Novel Hybrid Model for Automatic Non-Small Cell Lung Cancer Classification Using Histopathological Images. *Diagnostics*, 14(22), 2497.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278-2324.
- Ma, S., Huang, T., Sun, X., & Wei, Y. (2021, May). Driver Drowsiness Detection Based On ResNet-18 And Transfer Learning. In *2021 33rd Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* (pp. 2390-2394). IEEE.
- Masud, M., Sikder, N., Nahid, A. A., Bairagi, A. K., & AlZain, M. A. (2021). A machine learning approach to diagnosing lung and colon cancer using a deep learning-based classification framework. *Sensors*, 21(3), 748.
- Nergiz, M. (2023). Federe Öğrenmede Birleştirme Algoritmalarının Model Performansına Etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 14(1), 65-73.
- Nguyen, L. D., Lin, D., Lin, Z., & Cao, J. (2018, May). Deep CNNs for microscopic image classification by exploiting transfer learning and feature concatenation. In *2018 IEEE international symposium on circuits and systems (ISCAS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Noaman, N. F., Kanber, B. M., Smadi, A. A., Jiao, L., & Alsmadi, M. K. (2024). Advancing Oncology Diagnostics: AI-Enabled Early Detection of Lung Cancer through Hybrid Histological Image Analysis. *IEEE Access*.
- Patel, S., & Khan, N. R. (2023). A Weighted-Average-Ensembling Based Hybrid CNN Model for Improved Covid-19 Detection.
- Ramesh, M., Maheswaran, S., Theivanayaki, S., Kodeeswari, K., Krishnasamy, L., & Sriram, N. (2023, July). Efficient Lung Cancer Classification on Multi level Convolution Neural Network using Histopathological Images. In *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)* (pp. 1-7). IEEE.
- Shabrina, N. H., Lika, R. A., & Indarti, S. (2023). Deep learning models for automatic identification of plant-parasitic nematode. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 7, 1-12.
- Singh, O., & Singh, K. K. (2023). An approach to classify lung and colon cancer of histopathology images using deep feature extraction and an ensemble method. *International journal of information technology*, 15(8), 4149-4160.
- Singh, O., Singh, K. K., Das, S., Akbari, A. S., & Abd Manap, N. (2023, October). Classification of lung cancer from histopathology Images using a Deep Ensemble Classifier. In *2023 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)* (pp. 1-6). IEEE.
- Sumon, R. I., Mazumdar, M. A. I., Uddin, S. M. I., & Kim, H. C. (2024, July). Exploring Deep Learning and Machine Learning Techniques for Histopathological Image Classification in Lung Cancer Diagnosis. In *2024 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)* (pp. 1-6). IEEE.
- Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: a cancer journal for clinicians*, 71(3), 209-249.
- Şeker, D., Kartal, M. S., Yıldız, A., & Öksüz, İ. (2024). Akciğer Kanseri Tespitinde Dönüşüm ve Evrişim Tabanlı Modeller ile Açıklanabilir Yapay Zeka Uygulaması. *EMO Bilimsel Dergi*, 14(2), 59-69.
- Talukder, M. A., Layek, M. A., Kazi, M., Uddin, M. A., & Aryal, S. (2024). Empowering covid-19 detection: Optimizing performance through fine-tuned efficientnet deep learning architecture. *Computers in Biology and Medicine*, 168, 107789.
- Toğaçar, M., Eşidir, K. A., & Ergen, B. (2021). Yapay Zekâ Tabanlı Doğal Dil İşleme Yaklaşımını Kullanarak İnternet Ortamında Yayınlanmış Sahte Haberlerin Tespiti. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 5(1), 1-8.
- Uçar, E. (2021). Akciğer Histopatoloji Görüntülerinden Çıkarılan Derin Özellikleri Kullanan Makine Öğrenmesi Sınıflandırıcıları ile Akciğer Kanseri Tespiti. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(4), 1552-1562.
- Uddin, J. (2024). Attention-Based DenseNet for Lung Cancer Classification Using CT Scan and Histopathological Images.
- Yang, L., & Lima, D. (2021). Covid-19 Recognition by Chest CT and Deep Learning. *EAI Endorsed Transactions on e-Learning*, 7(23), e3-e3. *Designs*, 8(2), 27.
- Zhang, Z., Wang, S., Li, Z., Gao, F., & Wang, H. (2023). A Multi-Dimensional Covert Transaction Recognition Scheme for Blockchain. *Mathematics*.



Investigation of The Temperature Dependent Electrical Properties of LT-GaN Layer Grown on A Sapphire Substrate

Didem Altun^{1,a,*}, Sezai Elagöz^{2,b}

¹Sivas Technical Sciences Vocational School Department of Electricity and Energy, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

²Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 07/11/2024

Accepted: 25/11/2024

Copyright



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

ABSTRACT

In this study, the electrical characterization of a low-temperature GaN (LT-GaN) layer within an InGaN/GaN blue light-emitting LED structure grown on a sapphire substrate using the Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) method was examined. For high-quality growth of the GaN layer on a sapphire substrate, a two-stage GaN growth process is employed, consisting of a low-temperature GaN (LT-GaN) layer and a high-temperature GaN (HT-GaN) layer. This study specifically investigates the structural and electrical properties of the LT-GaN layer, which is the first stage of the GaN growth process. Structural characterization was performed using high-resolution X-ray diffraction (HRXRD), while electrical characterization involved Hall effect measurements and current-voltage (I-V) measurements. Based on the results from structural and electrical measurements, the optimal growth temperature for the LT-GaN layer was determined, and the effect of growth temperature on the electrical properties was demonstrated.

Keywords: Gallium Nitride (GaN), Electrical Characterization, I-V, Hall Effect Measurement

Safir Alttaş Üzerine Büyütülen LT-GaN Tabakasının Sıcaklığa Bağlı Elektriksel Özelliklerinin Araştırılması

Araştırma Makalesi

Süreç

Geliş: 07/11/2024

Kabul: 25/11/2024

Öz

Bu çalışmada, Metal Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD) yöntemi kullanılarak safir alttaş üzerine büyütülen InGaN/GaN mavi ışık yayan LED yapısında düşük sıcaklık GaN (LT-GaN) tabakasının elektriksel karakterizasyonu incelenmiştir. Safir alttaş üzerine GaN tabakasının kaliteli büyütülebilmesi için düşük sıcaklık GaN (LT-GaN) tabakası ve yüksek sıcaklık GaN (HT-GaN) tabakası şeklinde iki aşamalı GaN büyütmesi yapılır. Bu çalışmada GaN tabakasının büyütme aşamalarından ilki olan düşük sıcaklıkta GaN (LT-GaN) tabakasının yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Yapısal karakterizasyon yüksek çözünürlüklü X ışını kırınımı (HRXRD) ile, elektriksel karakterizasyon ise Hall etkisi ölçümü ve akım gerilim ölçümleri ile yapılmıştır. Yapısal ve elektriksel ölçümlerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile düşük sıcaklık LT-GaN tabakası için ideal büyütme sıcaklığı belirlenmiş, büyütme sıcaklığının elektriksel özellikler üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Galyum nitrat (GaN), Elektriksel Karakterizasyon, I-V, Hall Etkisi Ölçümü.

^a didemaltun@cumhuriyet.edu.tr

^b 0000-0002-1964-3538

elagoz@cumhuriyet.edu.tr

0000-0002-3600-8640

How to Cite: Altun D, Elagoz S (2024) Investigation of The Temperature Dependent Electrical Properties of LT-GaN Layer Grown on A Sapphire Substrate, Journal of Science and Technology, 3(2): 96-101.

Introduction

III-N structures and alloys are increasingly used in significant applications in electronics and optoelectronics, and this field is rapidly expanding with each new study. In particular, GaN-based semiconductors attract considerable attention for producing optoelectronic devices, such as high-efficiency light-emitting diodes (LEDs) (Nakamura et al., 1995), laser diodes (LDs) (Nakamura et al., 1996a), and electronic devices requiring high power and temperature tolerance (Eastman, 2002), due to their broad range of applications.

The frequency of light emitted by LEDs can correspond to different regions of the electromagnetic spectrum, including the visible light region, the infrared (IR) region, or the ultraviolet (UV) region. The spectrum of light emitted by LEDs is determined by the semiconductor materials used in the LED structure. Examples of semiconductor materials used in LED structures and the colors of light they emit include GaN – Blue, SiC – Blue, GaP – Green, GaAs_{0.14}P_{0.86} – Yellow, GaAs_{0.35}P_{0.65} – Orange, GaAs_{0.6}P_{0.4} – Red, and GaAs – Infrared (Colinge and Colinge, 2005; Kruangam, D., 1987; Yamaguchi, T., 1981; Sali, R. A., 2024). With advances in nitride-based semiconductors, such as InN, GaN, and AlN, as well as improvements in epitaxial thin-film technologies, light sources have emerged in the blue, green, and UV regions of the electromagnetic spectrum, enabling the production of white light. With the spread of white light production, LED technologies are quickly replacing traditional lighting methods in modern lighting applications (Pimputkar et al., 2008).

There are two techniques for producing white light. The first involves combining three different LEDs that emit red, blue, and green light, resulting in white light (Muthu, S.). However, this method is costly, and its light efficiency does not reach the desired levels, making it less commonly preferred today. The second technique, which is widely used for white-light-emitting LEDs, is to coat a blue LED chip with phosphor to produce white light. This approach is both cost-effective and has high light efficiency. These high-brightness nitride-based blue LEDs and other optoelectronic LEDs are now used in many fields. The invention of blue light-emitting LEDs can be considered the basis for the widespread use of white-light-emitting LEDs today.

Blue light-emitting nitride semiconductor LEDs are predominantly based on GaN and InGaN thin films. Such LEDs consist of p-n junctions containing a thin InGaN quantum well.

A typical LED structure is shown in Figure 1 (Mukai, 2003). This structure includes epitaxial layers containing InGaN multiple quantum wells that produce light between p-type and n-type GaN layers grown on a sapphire substrate.

The first step in producing devices from epitaxially grown semiconductor structures is the precise definition of these epitaxial layers. Achieving this requires a thorough characterization of the structural, optical, electrical, and magnetic properties of the semiconductor structures. Additionally, for the development and production of electronic and optoelectronic devices, it is crucial to accurately determine numerous parameters that provide insights into the quality of the epitaxial layers. Key parameters include the crystal quality of the epitaxial layers, chemical alloy ratios, carrier densities, energy band structures, critical energy points, and band gap.

Today, sapphire is generally used as the substrate for GaN growth due to its cost-effectiveness, large size, and advancements in high-quality production techniques. However, due to the high lattice mismatch (16%) and thermal expansion coefficient mismatch between sapphire and the GaN layer, achieving high-quality GaN crystal growth is challenging. Nevertheless, high-efficiency blue light-emitting diodes have been produced (S. Nakamura et al., 1996b). Moreover, compared to other semiconductor devices, nitride-based devices are less sensitive to defects (Lester et al., 1995). However, defects that lead to non-radiative recombination or act as leakage pathways for vertical transmission (Li et al., 2009) can reduce device performance and shorten lifespan (Mukai and Nakamura, 1999; Nakamura et al., 2000). Thus, while LEDs emitting light can still be produced despite high lattice mismatch between sapphire and GaN, growth-related problems also arise. A common issue in GaN growth is the high defect density due to lattice mismatch, which degrades the quality of the GaN crystal. For this reason, to improve the crystal quality of GaN, a two-stage GaN growth was performed using the MOCVD growth technique, involving both a low-temperature GaN (LT-GaN) layer and a high-temperature GaN (HT-GaN) layer, and various parameter studies were conducted.

In two-stage GaN growth studies, a four-stage growth process was carried out to determine the optimal growth parameters. These stages are presented in Table 1. In this study, the electrical characterization of the temperature-dependent growth, the first of these growth studies, was examined.

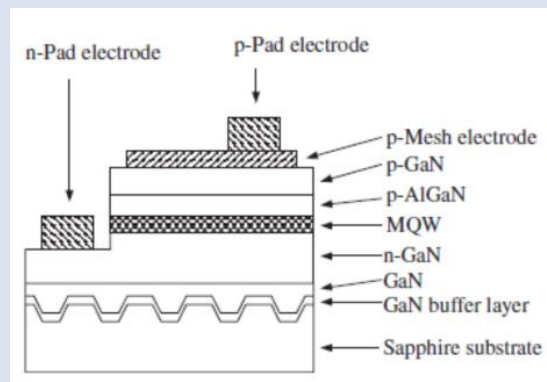


Figure 1: General structure of GaN/InGaN LEDs (Mukai, 2003).

Table 1: GaN single-layer study groups.

GaN Single Layer Studies			
Temperature study for LT-GaN nucleation layer*	Growth duration (thickness) study for LT-GaN nucleation layer	Nitridation time study	V/III ratio study for HT-GaN layer

* In this study, only this group of studies on GaN growth were conducted.

Materials and Methods

In this study, the temperature-dependent growth of the LT-GaN layer on a sapphire substrate for blue light-emitting diode (LED) structures was examined, and electrical characterization was performed. Optimal growth recipes were developed by considering carrier density values to preserve the crystal quality in the growth parameters.

Imaging the atomic structure of a material is possible using various high-resolution electron microscopes (Aygün and Zengin, 1998). However, diffraction techniques are required to identify unknown structures or determine structural parameters. Diffraction experiments are techniques used to evaluate the structural quality of crystallized materials (Singh, 2003). X-ray diffraction is the most widely used diffraction technique for analyzing the crystal structures of solids. This technique is particularly suitable for thin-film analysis for two main reasons: first, the wavelengths of X-rays are on the scale of atomic distances in condensed matter, making them effective for structural investigations. Second, X-ray scattering techniques are non-destructive and do not damage the sample being analyzed.

The purpose of this study was to investigate the effect of temperature on the electrical properties of the LT-GaN layer. However, since maintaining crystal quality was prioritized, structural analysis was conducted prior to electrical analyses. For this, High Resolution X-Ray Diffraction (HRXRD) scans (symmetric omega (0002), asymmetric omega (10-12), and 2Theta/Omega) were performed on GaN layers grown at temperatures of 455, 475, 495, 525, and 550°C.

Electrical measurements and some electrical characteristics of the GaN samples studied for crystal quality through structural characterization were obtained using the Hall effect. Hall effect measurement is one of the most common and effective techniques in semiconductor studies, providing information on the resistivity, carrier density, mobility, and carrier type of the grown layer. The Van der Pauw technique with four-point geometry was used for Hall effect measurements in this study. This technique was preferred because it requires only four contacts and does not require measuring the spacing between contacts or the dimensions of the sample. According to this technique, ohmic contacts were made with indium on the four corners of the square-cut sample. Before Hall effect and Van der Pauw measurements, contact resistances were measured by applying current to the contacts and measuring the voltage. Then, current-voltage measurements were conducted for each contact pair on the sample surface to verify the ohmicity of the contacts. The linearity of the resulting current-voltage (I-V) curves confirmed that the contacts were ohmic (Mott and Twose, 1961). Ohmic contacts indicate that all

measured data pertain to the sample itself, with no influence from the contacts. Next, desired magnetic fields were applied to the sample using a computer, constant current source, gaussmeter, electrometer, and electromagnet power supply, and measurements of the Hall coefficient, resistivity, Hall mobility, and Hall carrier densities were obtained.

To understand the characteristic parameters of semiconductor crystals, it is essential to examine their conductivity properties thoroughly. For this purpose, I-V measurements were repeated using the I-V measurement system. To conduct this examination, Schottky diodes were formed by creating suitable contacts on the crystal. In this study, the contacts were made using the evaporation method. First, ohmic contacts were created on the samples by evaporating aluminum onto the samples placed in a vacuum system once the vacuum pressure reached 4×10^{-6} torr. Schottky contacts were then made by evaporating silver under the same vacuum conditions. I-V measurements were carried out on these contacts.

Among the samples that underwent structural and electrical analyses, the most suitable sample for the next stage was selected.

Findings and Discussion

First, structural characterization studies were conducted to evaluate the crystal quality of LT-GaN layers grown at the temperatures listed in Table 2. HRXRD measurements were taken for this purpose. XRD is a technique used in the analysis of crystal structures, providing information on atomic arrangement and crystal perfection. For GaN samples, 10-12 asymmetric omega, 0002 symmetric omega, and 2Theta/Omega measurements were taken. These measurements are shown in Figure 2.

To assess crystal quality, the FWHM values obtained from our HRXRD measurements are presented in Table 3. Considering these values, sample LED.031 is observed to have the best crystal structure. Additionally, Figure 3 illustrates the FWHM values obtained from symmetric (0002), asymmetric (10-12), and theta/2 theta measurements plotted against growth temperatures, further confirming that LED.031 is the optimal sample.

To perform electrical optimization for the structurally characterized samples, I-V measurements were conducted. The results of these measurements are presented in Figure 4. The threshold voltages of the samples in this study group are consistent with each other, with the expected threshold voltage being around 1.1–1.2V. For a sample with high electrical quality, we expect a rapid increase in current after the breakdown

voltage. This behavior is observed in samples LED.031 and LED.033. In contrast, sample LED.032 does not reach high current values, which is attributed to lower crystal quality, as also indicated by HRXRD measurements. The crystal quality observed in HRXRD and reflection measurements for samples LED.031 and LED.033 is consistent with their electrical quality. In these samples, both crystal quality was maintained, and electrical improvement was achieved.

For the samples grown in this study group, Hall effect measurements were conducted under magnetic fields of

1000 and 5000 Gauss. The values obtained from these measurements are presented in the table below. The carrier densities for all samples are of the same order of magnitude. The Hall mobility for sample LED.031 is approximately 195 cm²/V·s, while for sample LED.033 it is around 230 cm²/V·s. These values align with the previously conducted current-voltage measurements. Considering the obtained values, sample LED.033 exhibits the best electrical properties.

Table 2: Growth temperatures of each sample used in LT-GaN layer growths.

Sample No	Growth Temperature (°C)
LED.031	475
LED.032	455
LED.033	495
LED.034	525
LED.035	550

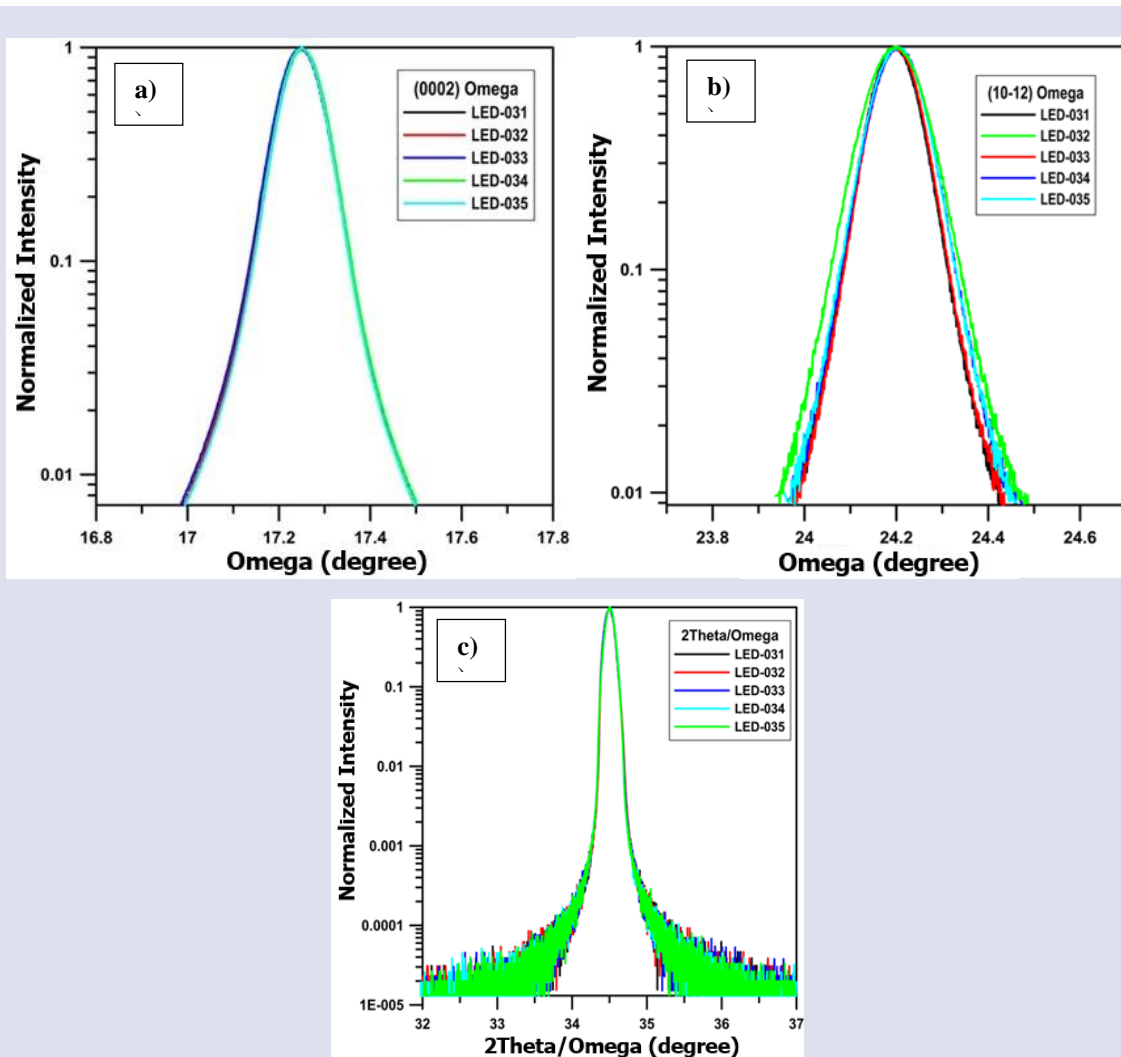


Figure 2: (0002) symmetric omega (a), (10-12) asymmetric omega (b) and 2Theta/Omega (c) scans for samples with different LT-GaN growth temperatures.

Table 3: FWHM values from symmetric omega, asymmetric omega, and 2Theta/Omega scans for samples with different LT-GaN growth temperatures.

Sample No	(0002) FWHM (arcsec)	Symmetric Omega FWHM (arcsec)	(10-12) Asymmetric Omega FWHM (arcsec)	2Theta/Omega FWHM (arcsec)
LED.031	384		420	500
LED.032	393		430	502
LED.033	390		416	501
LED.034	381		455	500
LED.035	390		457	498

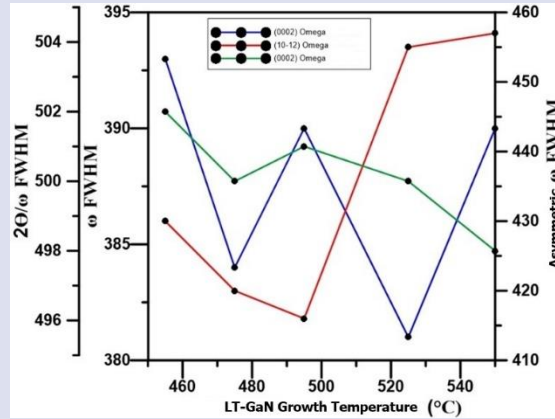


Figure 3: Changes in the FWHM values obtained from the symmetric omega, the asymmetric omega and 2Theta/Omega scans with respect to the changing growth temperatures of the LT-GaN layer.

Table 4: Hall effect measurements for samples LED.031, LED.032, LED.033, LED.034, and LED.035.

Numune No	Magnetic Field (Gauss)	Hall Coefficient (cm ³ /C)	Layer Carrier Density (1/cm ²)	Hall Mobility (cm ² /(V.s))	Bulk Carrier Density (1/cm ³)	Resistivity (Ohm.cm)
LED.031	1000	34,3	2,94 e+13	196,3	1,81 e+17	0,17
	5000	34,1	2,96 e+13	195,1	1,83 e+17	0,17
LED.032	1000	25,52	3,67 e+13	174,2	2,14 e+17	0,14
	5000	28,23	3,32 e+13	222,4	2,21 e+17	0,12
LED.033	1000	59,08	1,58 e+13	230,9	1,05 e+17	0,25
	5000	58,07	1,61 e+13	226,7	1,07 e+17	0,25
LED.034	1000	63,26	1,48 e+13	220,4	0,98 e+17	0,28
	5000	62,38	1,50 e+13	217,0	1,00 e+17	0,28
LED.035	1000	84,65	1,33 e+13	183,1	0,73 e+17	0,46
	5000	85,20	1,32 e+13	183,6	0,73 e+17	0,46

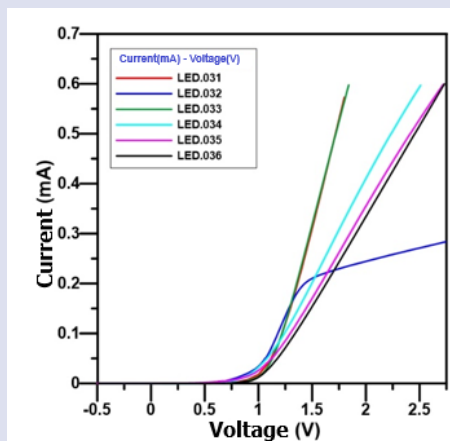


Figure 4: Current-Voltage curves of samples LED.031, LED.032, LED.033, LED.034, LED.035 and LED.036.

Conclusion

In this study, structural and electrical characterizations of LED samples with LT-GaN layers grown at different temperatures were conducted. Structural characterization using HRXRD indicated that the lowest FWHM values were obtained from sample LED.031. For electrical characterization, I-V and Hall effect measurements were performed on the same samples. Based on the breakdown voltage and current variation in the I-V measurements, samples LED.031 and LED.033 exhibited the best electrical properties. The Hall effect measurements further indicated that sample LED.033 had the best electrical characteristics. This study represents only one phase of the development process for blue LED structures grown on sapphire substrates. For further improvement of subsequent phases, crystal quality should also be prioritized, even before electrical properties. Therefore, sample LED.031 exhibited the best overall characteristics, both structurally and electrically.

References

- Aygün, E., Zengin, M. 1998. "Atom ve Molekül Fiziği". *Ankara Üniversitesi*, Ankara.
- Colinge, J.-P., Colinge, C.A. 2005. Yarıiletken Devre Elemanları Fiziği. Nobel Akademik Yayıncılık. (Çeviri: Tüzemen, S., Tekmen, S.), 324s., Ankara.
- Eastman, L. F., & Mishra, U. K. 2002. The toughest transistor yet [GaN transistors]. *IEEE spectrum*, 39(5), 28-33. <https://doi.org/10.1109/6.999791>
- Kruangam, D., Toyama, T., Hattori, Y., Deguchi, M., Okamoto, H., & Hamakawa, Y. 1987. Improvement of carrier injection efficiency in a-SiC pin LED using highly-conductive wide-gap p, n type a-SiC prepared by ECR CVD. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 97, 293-296. [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(87\)90070-6](https://doi.org/10.1016/0022-3093(87)90070-6)
- Lester, S. D., Ponce, F.A., Craford, M.G and Steigerwald, D.A. 1995. High dislocation densities in high efficiency GaN based light emitting diodes. *Appl. Phys. Lett.* 66 1249. <https://doi.org/10.1063/1.113252>
- Li, Z. L., Lai, P.T., and Choi, H.W. 2009. A Reliability Study on Green InGaN-GaN Light-Emitting Diodes. *IEEE Photonics Technology Letters* 21 1429-1431. <https://doi.org/10.1109/LPT.2009.2028155>
- Mott, N. F., Twose, W. D., 1961. The theory of impurity conduction, *Adv. Phys.*, 10(38): 107-163. <https://doi.org/10.1080/00018736100101271>
- Mukai, T. and Nakamura, S. 1999. Ultraviolet InGaN and GaN Single-Quantum-Well-Structure Light-Emitting Diodes Grown on Epitaxially Laterally Overgrown GaN Substrates. *Jpn. Appl. Phys.* 38 5735-5739. <https://doi.org/10.1143/JJAP.38.5735>
- Mukai, T., Nagahama, S., Sano, M., Yanamoto, T., Morita, D., Mitani, T., ... & Kameshima, M. 2003. Recent progress of nitride-based light emitting devices. *physica status solidi (a)*, 200(1), 52-57. <https://doi.org/10.1002/pssa.200303326>
- Muthu, S., Schuurmans, F. J., & Pashley, M. D. 2002, October. Red, green, and blue LED based white light generation: issues and control. In Conference record of the 2002 IEEE industry applications conference. 37th IAS annual meeting (cat. No. 02CH37344) (Vol. 1, pp. 327-333). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IAS.2002.1044108>
- Nakamura, S., Senoh, M., Iwas, N. and Nagahama, S. 1995. Highpower InGaN singlequantumwellstructure blue and violet lightemitting diodes. *Appl. Phys. Lett.* 1868. <https://doi.org/10.1063/1.114359>
- Nakamura, S., Senoh, M., Nagahama, S., Iwasa, N., Yamada, T., Matsushita, T., Kryoku, H. and Sugimoto, Y. 1996a. InGaN-Based Multi-Quantum-Well-Structure Layer Diodes. *Jpn. Appl. Phys.*, L-74-L76. <https://doi.org/10.1143/JJAP.35.L74>
- Nakamura, S., Senoh, M., Nagahama, S., Iwasa, N., Yamada, T., Matsushita, T., Sugimoto, Y. and Kiyoku, H. 1996b. Continuouswave operation of InGaN multiquantumwellstructure laser diodes at 233 K. *Appl. Phys. Lett.* 3034. <https://doi.org/10.1063/1.116830>
- Nakamura, S., Senoh, M., Nagahama, S., Iwasa, N., Matsushita, T. and Mukai, T. 2000. Blue InGaN-based laser diodes with an emission wavelength of 450 nm. *Appl. Phys. Lett.* 76 22. <https://doi.org/10.1063/1.125643>
- Pimputkar, S., Speck, J.S., DenBaars, S.P. & Nakamura, S. 2009. Prospects for LED lighting, *Nature Photonics* 3, 180 – 182.
- Salii, R. A., Mintairov, S. A., Nadtochiy, A. M., & Kalyuzhnyy, N. A. 2024. Epitaxial Heterostructures of the Active Region for Near-Infrared LEDs. *Semiconductors*, 58(3), 263-266. <https://doi.org/10.1134/S1063782624030138>
- Singh, J. 2003. Electronic and optoelectronic properties of semiconductor structures, Cambridge University Press, New York, 1-494.
- Yamaguchi, T., & Niina, T. A. T. S. U. H. I. K. O. 1981. A high brightness GaP multicolor LED. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 28(5), 588-592. <https://doi.org/10.1109/T-ED.1981.20387>