

MÜHENDİSLİK ALANINDA ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER

CİLT 1

EDİTÖRLER

DOÇ. DR. MİHRİBAN KALKANCI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ABDURRAHMAN GÜNDAY

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı

Editörler / Editors • Doç. Dr. Mihriban KALKANCI

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman GÜNDAY

Birinci Basım / First Edition • © Şubat 2021

ISBN • 978-625-7342-72-8

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.

Citation can not be shown without the source, reproduced in any way
without permission.

Gece Kitaplığı / Gece Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR

Telefon / Phone: +90 312 384 80 40

web: www.gecekitapligi.com

e-mail: gecekitapligi@gmail.com



Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler

CİLT 1

EDİTÖRLER

DOÇ. DR. MİHRİBAN KALKANCI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ABDURRAHMAN GÜNDAY

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN STRAY KAYIPLARININ
AZALTMA YÖNTEMLERİNİN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Yıldırım ÖZÜPAK..... 1

BÖLÜM 2

POLİPROPİLEN LİFİ VE POLİPROPİLEN LİFİNİN MAKİNE
HALISINDA KULLANIMI

Öznur ÖZDİNÇ 15

BÖLÜM 3

SERVİKS KANSERİNİN DAVRANIŞLAR VE DAVRANIŞ
BELİRLEYİCİLER ÜZERİNDEN MAKİNE ÖĞRENME
TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ

Özer OĞUZ & Hasan BADEM 31

BÖLÜM 4

ÇEŞİTLİ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TRANSİSTÖRÜN
GÜRÜLTÜ PARAMETRELERİNİN MODELLENMESİ

Ahmet Arif ULUSLU..... 49

BÖLÜM 5

ELEKTRONİK TEKSTİLLER VE UYKU TAKİP
SİSTEMLERİNDE KULLANIMI

Serap Gamze SERDAR & Züleyha DEĞİRMENCİ &

Mehmet TOPALBEKİROĞLU..... 81

BÖLÜM 6

GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞMESİ SİSTEMLERİNDE M-CSK-
OFDM İÇİN DBTC KODLAMA İLE BER PERFORMANS
ARTIRIMI

Asuman SAVAŞCIHABEŞ 107

BÖLÜM 7

TiO₂/BiVO₄ FOTOKATALİZÖRLERE GENEL BİR BAKIŞ

Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR & Ebru BOZKUŞ..... 129

BÖLÜM 8

KAPALI MEKÂNLARDA GÜRÜLTÜ YALITIMI İÇİN KULLANILAN TEKSTİL ESASLI MALZEMELERİN PERFORMANS ANALİZİ

Müslüm EROL & Hüsnü AYDEMİR 169

Bölüm 1

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN STRAY KAYIPLARININ AZALTMA YÖNTEMLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ



Yıldırım ÖZÜPAK¹

¹ Dr. Öğr. Gör. Yıldırım ÖZÜPAK, Dicle Üniversitesi, Silan MYO, yildirimosupak@gmail.com

1. GİRİŞ

Büyük güç transformatörlerinde, toplam yük kaybının %20'den fazlası yapısal bileşenlerdeki başıboş kaçak kayıplardan meydana gelmektedir. Kaçak kayıpların en büyük kısmı trafo tankında meydana gelir. Transformatörlerin nominal güç değerleri arttıkça, kaçak kayıp problemi giderek daha önemli hale gelir. Bu durum, transformatörün daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına ve transformatör ömrünü azaltan yerel sıcak noktaların ortaya çıkmasına neden olur. Günümüzde kaçak kayıpların değerlendirilmesi için analitik ve sayısal yöntemler uygulanmaktadır. Transformatör kapaklarındaki kaçak kayıplar, güçlü indüklenmiş alanlar tarafından üretilen sızıntı akısının dağılımına bağlıdır. Alçak Gerilim (AG) sargılarındaki ağır akım akışı nedeniyle, transformatör tankını birbirine bağlayan güçlü manyetik akı, transformatörün yüksek akım burçlarının yakınında bulunan tank duvarlarının aşırı ısınmasına neden olur. Bu konuda literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Tanktaki girdap akımı kayıplarını değerlendirmek için bir transformatörün 3 boyutlu elektromanyetik modellemesini ele almaktadır (Özüpak Y, MAMIS M. S 2019). Girdap akımı kayıplarını azaltmak için bazı teknikler sunulmaktadır) Özüpak Y, MAMIS M. S, TEKE İ. H 2019). Başıboş kayıp analizi için çeşitli hesaplama araçlarının araştırılması, geliştirilmesi ve uygulanması ele alınmıştır (Özüpak Y, MAMIS M. S 2019). Dört farklı yöntem kullanarak geçit izolatörü montaj plakalarındaki girdap akımı kayıplarının hesaplanmasıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır (S. V. Kulkarni vd. 2004). Tank duvarlarında oluşan girdap akımı kayıplarının üç boyutlu (3D) SEY analizi ve üç fazlı 40MVA güç transformatörünün boyunduruğu kelepçeleri analizleri gerçekleştirilmiştir (Livio S. Zijad H. Zvonimir V. 2008). Sıkıştırma çerçevesi, trafo tankı ve elektromanyetik korumadaki girdap akımı kayıplarını 3D sonlu eleman yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (S.B. Sadati, A. Tahani, M. Jafari, M. Dargahi, 2008). Transformatör kapaklarındaki aşırı ısınma tehlikesini değerlendirmek için elektromanyetik analitik bir formülasyonu termal SEY ile birleştiren pratik bir metodoloji sunulmaktadır (Soh T. L. G, Said D. M, Ahmad N, Nor K. M, Salim F 2013). Burada, termal SEY ile bağlantılı Poynting vektörünün sayısal entegrasyonuna dayanan bir elektromanyetik analitik formülasyonu birleştiren pratik bir 3D metodolojisi kullanılmaktadır. Sunulan metodoloji, herhangi bir sayıda iletken için uygulanabilir, büyük güç transformatörlerinin tasarım aşamasında hesaplama süresini azaltır ve en sıcak nokta sıcaklığının transformatör tankı duvarları ve kapak plakaları üzerinde kolayca tespit edilmesini sağlar.

Sonlu elemanlar yöntemini kullanan modern yazılım ile tasarlanmış üç fazlı bir güç transformatörünü iki açıdan analiz ederek doğrulamak

için bir çalışma önerilmektedir (K.T. Muthanna, A. Sarkar, K. Das, K. Waldner 2006).

Güç ve dağıtım transformatörleri, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde pahalı ve hayati bileşenlerdir. Güç trafolarındaki arıza istatistikleri şu şekildedir: Arızaların %41'i kademe değiştirici, %19'u sargılar, %3'ü çekirdek, %12'si terminaller, %13'ü tank ve sıvılar ve diğer aksesuarlarla %12 (Linu Alias, V Malathi 2012). Tanktaki sıcak nokta arızaları %13'e dahildir. Bu yüzden tank sıcak noktalarının sebeplerini ve sonuçlarını analiz etmek ve tankın ısınması sorununa çözümler sunmak çok önemlidir. Büyük güç transformatörlerinde, kaçak akı son derecede fazladır. Bu akılar, manyetik yapılarda histerezis ve girdap akımı kayıplarını oluşturur. Kayıplar, transformatörün verimini önemli ölçüde düşürmekte ve kayıpların meydana geldiği yerde ısınmadan dolayı izolasyonlar zarar görmektedir. Manyetik yapılardaki kayıpları azaltmak için manyetik şöntler ve elektromanyetik kalkanlar gibi çeşitli önlemler kullanılır. Geliştirilmiş ve daha verimli SEY paketlerinin kullanılmasıyla, bu kayıpların doğru bir şekilde hesaplanması mümkün kılınmıştır. Bu çalışmada, AG'nin mesafesini değiştirerek hesaplamaların doğruluğunu artırmak için bir model önerilmiştir. Bu yöntem ile büyük güç transformatörlerinin manyetik yapılarındaki başıboş kayıplar tahmin edilebilmektedir. Ayrıca, düzenleme ve yerleştirme etkisiyle, tank ve göbek kelepçelerindeki başıboş kayıplar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Transformatör kapaklarındaki kaçak kayıplar, güçlü indüklenmiş alanlar tarafından üretilen sızıntı akısının dağılımına bağlıdır. Büyük güç transformatörlerinde, bu başıboş alanların bir sonucu olarak ağır akım taşıyan iletkenlerde ve sargılarda aşırı sıcaklık artışı meydana gelebilir. Bu nedenle sıcaklık artışları dikkate alınmalı ve dikkatlice hesaplanmalıdır.

Bu çalışmada, manyetik sızıntı alanlarıyla ilgili olarak bir transformatör tankı duvarlarında oluşan girdap akımı kayıpları incelenmiştir. Aşırı ısınma sorununun çözümünü doğrulamak için tank duvarlarının 3 Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile Analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile, farklı bağlantılara sahip yüksek akım taşıyan bakır uçların neden olduğu transformatör tank duvarındaki girdap akımı kayıplarını hesaplamak için kullanılmıştır. Transformatörlerde tank ve yapılarda manyetik alanlar ve kayıp dağılımı için bir güç transformatörü SEY'e dayanarak çözüm gerçekleştiren ANSYS@Maxwell programı ile modellenip analiz edilmiştir.

2. KAYIP AZALTMA YÖNTEMLERİ

2.1 Giriş

Büyük güç transformatörlerinde, sargılardan akan akımı taşıyan giriş ve çıkış uçları farklı şekillerde yerleştirilebilir. Bu uçlar bakırdan yapılmıştır ve yüksek akımlar taşımaktadırlar. Uçlardaki yüksek akım akışı nedeniyle, akım taşıyan uçların yakınındaki tank duvarındaki akı bağlantılarında değişiklik vardır. Normal transformatörlerde, iki sargının çıkış uçları ortak bir noktaya bağlanır ve üçüncü sargıdan gelen çıkış ucu, diğer iki sargı ucundan uzakta başka bir noktadan alınır. Böyle bir durumda ortaya çıkan akımda ve manyetik akıda bir dengesizlik oluşur. İki uç çıkışı birbirini iptal etmediğinden, tank yüzeyinde sıcak nokta sıcaklığında ekstra ısıya neden olan bir akı oluşur.

Güç transformatörleri için, tank duvarlarının aşırı ısınmasını etkileyen ana faktörler şunlara bağlıdır:

- İletken (i) üzerinden geçen akım miktarı
- Tank duvarındaki iletim mesafesi (L)
- Tank duvarının yakınından geçen iletkin uzunluğu
- Aynı akımı taşıyan uç sayısıdır. (aynı faz akımı)

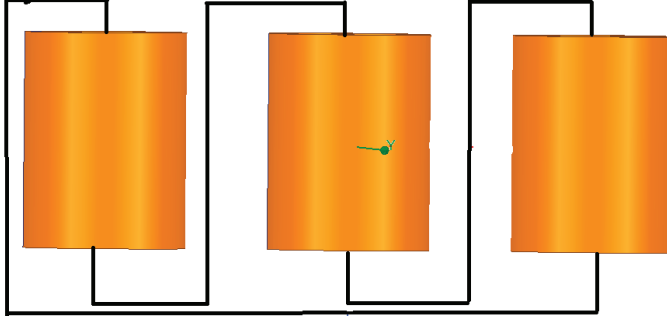
Normal transformatörlerde AG, yüksek akıma sahip tank duvarına yakın olur, kabloların yakınındaki tank duvarlarında akı bağlantıları oluşturur. Buradaki sızıntı akısı nedeniyle tankın sıcaklığı artar ve transformatörde hasar meydana gelebilir. Dolayısıyla bu çalışmada, tank duvarının aşırı ısınmasını gidermek için, şekil 3'te gösterildiği gibi yeni bir kılavuz pozisyonu dikkate alınmıştır. Burada, kirchoff'un şu anki kuralı gibi akıyı sıfıra eşitlemek üç yol da aynı yere yerleştirilir. Bu durumda yüzey ısınması oldukça azalacaktır. Tank duvarındaki ısı denklem (1) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{Tank duvarının sıcaklığı} = n \times \frac{i}{L} \quad (1)$$

Bu ilişkinin değeri 40'tan az olmalıdır. (Üreticilerin uçları konumlandırırken ve tankın boyutunu tasarlarken kullandıkları deneysel bir değerdir). Tank duvarı ile iletkinler arasındaki mesafenin daha yüksek bir değere yükseltilmesi, büyük boyutlu transformatörle sonuçlanacaktır. Dolayısıyla daha fazla miktarda yağ gerekir ve bu da maliyetin artmasına neden olur.

2.2 Terminal Bağlantısı

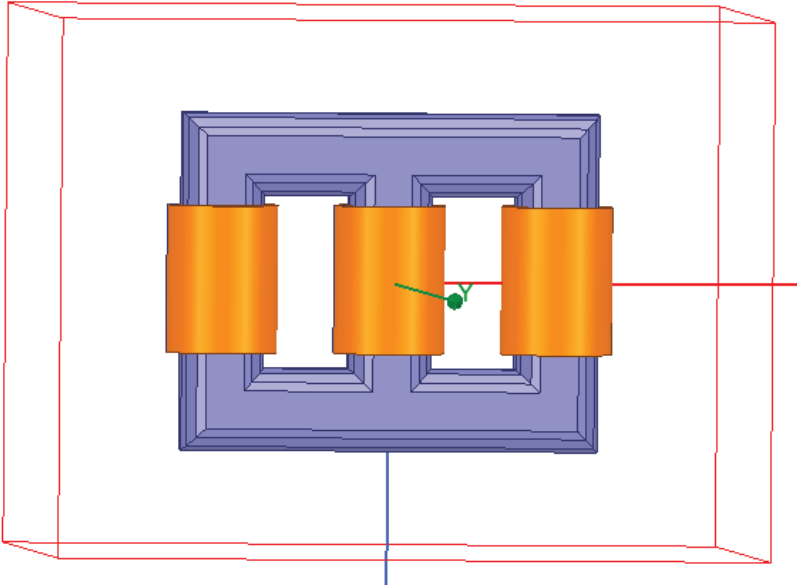
Modele girişin verildiği terminal bağlantısı Şekil 1'de verilmiştir. İlk sargısı için faz akımı 765 <0° (A)'dır. İkinci sargı için faz akımı 765 <120° (A) ve üçüncü sargı için faz akımı 765 <240° (A)'dır.



Şekil 1. Terminal bağlantıları

Bu çalışmada, çıkış uçlarının iki farklı yönü ele alınmıştır. Bunlar sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

Normal transformatörlerde, iki sargının çıkış uçları yakındaki bir yoldan alınır ve ortak bir noktaya bağlanır ve üçüncü sargıdan gelen çıkış ucu, diğer iki sargı ucundan uzakta başka bir yoldan alınır. Böyle bir durumda ortaya çıkan akımda ve dolayısıyla akıda bir dengesizlik oluşur. İki uç çıkışından dolayı tank yüzeyinde sıcak nokta sıcaklığında ekstra ısıya neden olan bir akı oluşur. Bu durum ilk durumda açıklanmıştır. Model ANSYS@Maxwell programında elde edilmiştir. Bu çalışmada tasarlanan trafo modeli Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil.2 Kullanılan trafo modeli.

İkinci durum, durum 1 modeli için değiştirilmiş durumdur. Bu ikinci modelin temel amacı, tank duvarının aşırı ısınmasını azaltmaktır. İkinci model sayesinde, üç kablonun bir araya getirilmesiyle tankın ısınmasının büyük ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir. Şekil 3'te, değiştirilmiş model gösterilmektedir. Bu modelde, üç potansiyel uç yakın yollardan ilerleyen aynı konumdadır. Burada üç sargı akısı nötralize edilir. Böylece transformatör tank duvarını aşırı ısıtmaz.

Bir modelin analizi için, modelin içinden geçmek zorunda olduğu birçok adım vardır. Modelin tasarımından sonra, modelin her bir parçası, öngörülen malzemelerle, bunların nispi geçirgenlik, toplu iletkenlik, manyetik zorlayıcılık, sıcaklık vb. özellikleri ile atanır. Malzeme atamasından sonra uçlara uyarıma atanır, yani her sargı için iki giriş ve bir çıkış. Toplam atamanın tamamlanmasından sonra, analiz adımı başlar. Analiz sürecinde ilk adım Sonlu Eleman Analizidir. SEY'in detayları aşağıda verilmiştir. Burada yapılan SEY, Maxwell 3-D analizinin bir parçasıdır. Model, ANSYS Maxwell yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.

3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE MAXWELL-3D

3.1 SEY

Bilgisayar destekli mühendislikte gerçek zamanlı koşullarda bileşenlerin davranışının incelenmesi, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile gerçekleştirilmektedir. SEY, Sınır Değer Problemlerinin yaklaşık çözümlerini elde etmek için kullanılan bir hesaplama tekniğidir. SEY, belirli sonuçlar için yüklenen ve analiz edilen bir tasarımın bilgisayar modelini içerir. Bu yöntemin temel avantajları şunlardır:

- Prototip testi sayısını azaltır, böylece maliyet ve zamandan tasarruf sağlar.
- Bir tasarımı optimize etmeye, daha güvenilir, yüksek kaliteli ve rekabetçi tasarımlar oluşturmaya yardımcı olur.

3.2 Maxwell-3D

Maxwell-3D, elektrik, manyeto-statik, girdap akımı ve geçici problemleri çözmek için sonlu eleman yöntemini (SEY) kullanan yüksek performanslı etkileşimli bir yazılım paketidir. Maxwell elektromanyetik alan problemlerini, garantili bir benzersizliğe sahip bir çözüm elde etmek için gerektiğinde kullanıcı tanımlı başlangıç koşullarıyla uygun sınır koşullarıyla uzayın sonlu bir bölgesindeki Maxwell denklemlerini çözer. Sistem ve devre simülasyon analizlerinde daha sonra kullanılabilecek alan parametrelerinden otomatik olarak doğrusal olmayan eşdeğer devreler ve durum uzayı modelleri üretir. Bu, sürücü devresi, yükler ve

diğer sistem parametreleriyle birlikte bileşenin kapsamlı bir analizini gerçekleştirme yeteneği sunar. Program şunları içerir:

- Elektrik alanları
- Manyeto-statik alanlar
- Eddy akımı alanları
- Geçici rejim alanları.

4. TRANSFORMATÖRÜN SİMÜLASYONU VE ANALİZİ

4.1 Girdap Akım Analizi

Girdap Akımı Analizi, Eddy Current çözüm türü seçilerek gerçekleştirilir. Girdap Akımı Analizini kullanan uygulamalar solenoidler, indüktörler, motorlar, kaçak alan hesaplamalarıdır. Girdap akımı çözücü, belirli bir frekansta kararlı durum, zamanla değişen (AC) manyetik alanları hesaplar - bu bir frekans alanı çözümüdür. Burada tüm nesneler sabittir. Statik manyetik alanın kaynağı; iletkenlerdeki sinüzoidal AC akımı, dış sınır koşullarıyla temsil edilen zamanla değişen dış manyetik alanlar, manyetik alan şiddeti (H) ve manyetik skaler potansiyeldir (Ω). Akım yoğunluğu (J) ve manyetik akı yoğunluğu (B), manyetik alandan (H) otomatik olarak hesaplanır. Kuvvetler, torklar, enerji ve endüktanslar gibi türetilmiş büyüklükler, bu temel alan değerlerinden hesaplanabilir. Malzeme geçirgenlikleri ve iletkenlikleri anizotropik olabilir, ancak doğrusal olmalıdır.

Sonlu Elemanlar Yöntemine (SEY) dayalı yazılım aracı, başıboş kayıp analizi için kullanılmaktadır. Bu, yapısal parçalardaki 3-D girdap akımı kayıplarının tahminini ve sonuçta ortaya çıkan sıcaklık artışlarını içermektedir. Belirtilen akım dağılımı ile akım kaynaklarının (sargılar, terminaller) oluşturduğu alanların toplamı olarak uzayda önceden tanımlanmış konumlardaki manyetik alan büyüklüklerinin değerlerini hesaplar.

4.2 Tasarım Özellikleri

Tank duvarı paslanmaz çelikten yapılmıştır. Terminaller bakırdan yapılmıştır. Faz akımı Modele girişin verildiği terminal bağlantısı Şekil 1'de verilmiştir. İlk sargısı için faz akımı $765 \angle 0^\circ$ (A)'dır. İkinci sargı için faz akımı $765 \angle 120^\circ$ (A) ve üçüncü sargı için faz akımı $765 \angle 240^\circ$ (A)'dır. Model için bir radyasyon sınırı verilmiştir. Uçlar trafo yağma daldırılmıştır. Her üç sargıda da girdap akımı etkileri verilmiştir. Terminal bağlantıları yapıldıktan sonra uyarma gerilimi aşağıdaki denklemlerde verildiği gibi verilir.

$$V_a = V_p \left(1 - e^{1-50t}\right) \cdot \cos(2\pi t \cdot 50) \quad (2)$$

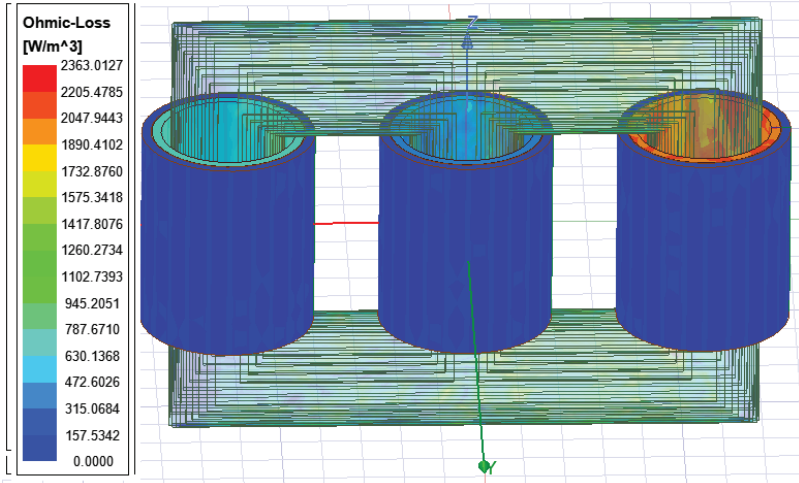
$$V_b = V_p \left(1 - e^{1-50.t}\right) \cdot \cos\left(2.\pi.t.50 + \frac{2}{3}.\pi\right) \quad (3)$$

$$V_c = V_p \left(1 - e^{1-50.t}\right) \cdot \cos\left(2.\pi.t.50 + \frac{4}{3}.\pi\right) \quad (4)$$

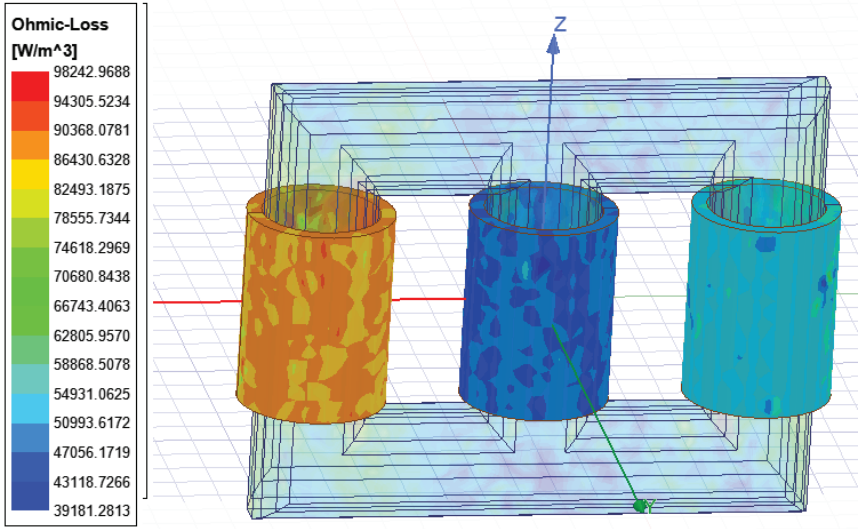
4.3 Kayıpların Tahmini

Yazılım aracı ilk olarak tank yüzeyindeki AG uçlarından kaynaklanan omik kayıpları ve sıcaklığı hesaplar. Şekil 4'te, kaçak girdap akımı ve elektromanyetik akı nedeniyle omik kayıp dağılımını gösteren durum 1'in Maxwell 3D analizini gösterilmektedir. Normal sargı konumlandırması nedeniyle, yakındaki iki uçtan geçen çıkış akımı nötrleştirilmeyecek ve bu nedenle uçlar ve tank duvarlarındaki akı bağlantıları da yüksek olacaktır. Bu kaçak akı nedeniyle, tank duvarı omik kayıpları artarak tank hasarlarına yol açan sıcak noktalara neden olur.

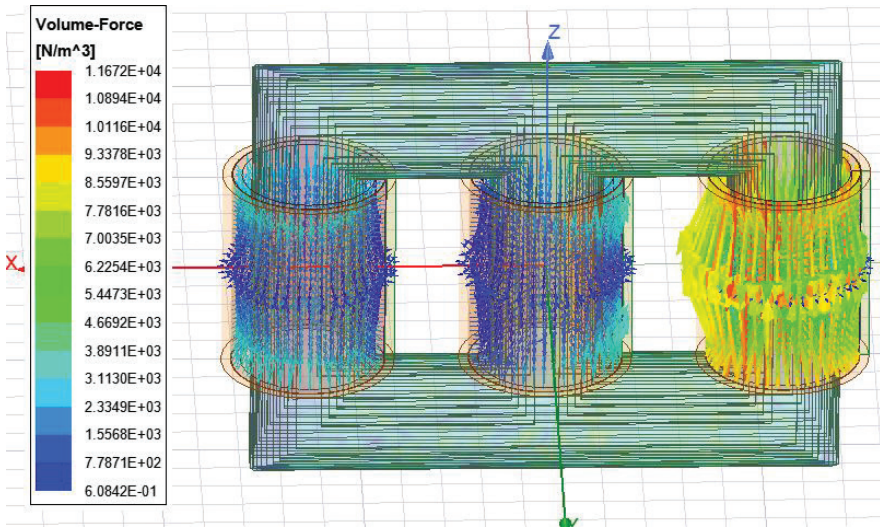
Bu tür yapısal elemanlardaki başıboş kayıpların oldukça düşük olduğuna dikkat etmek önemlidir. Şekil 3-6'da'te, minimumdan maksimuma, omik kaybını ve hacimsel zorlanmayı göstermektedir. Tank duvarına çarpan manyetik alan girdap akımlarına neden olur. Normal akı yoğunluğunun büyüklüğü, üst ve alt sargı kenarlarında en yüksek olduğundan, tankın bu bölgelerinde daha yüksek kayıplar ve sıcak noktalar meydana gelir.



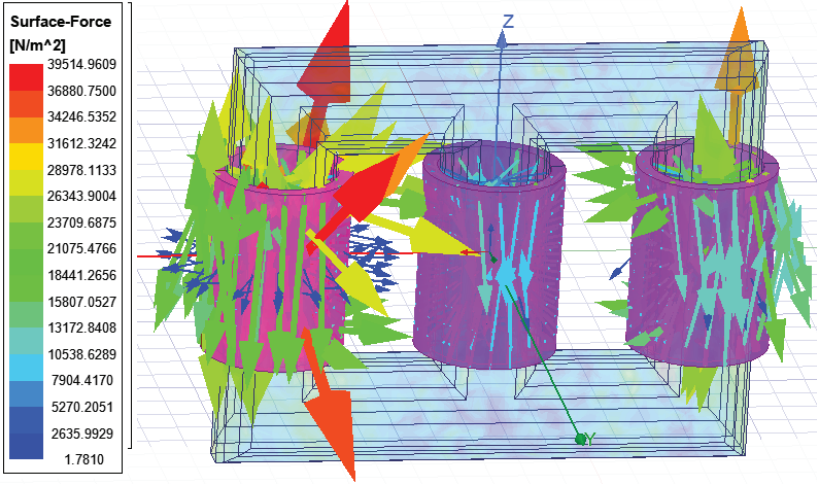
Şekil 3. Omik kayıplar 2. Durum



Şekil 4. Omik kayıplar 1. Durum

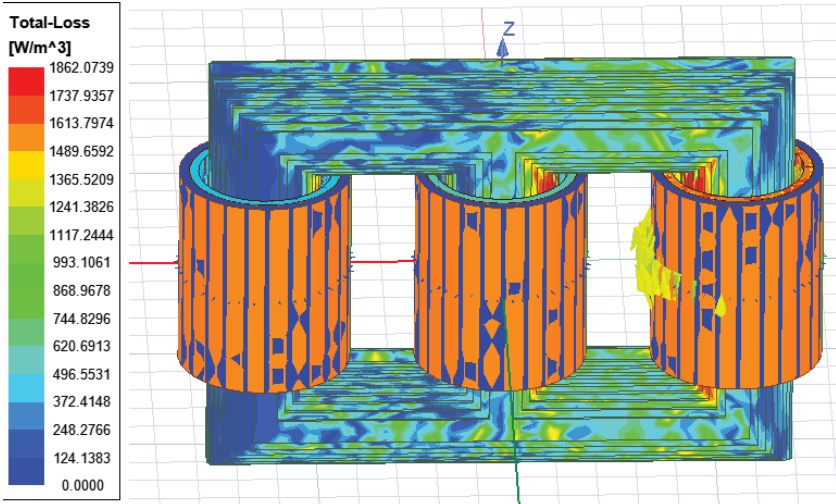


Şekil 5. Hacimsel zorlanma 2. Durum

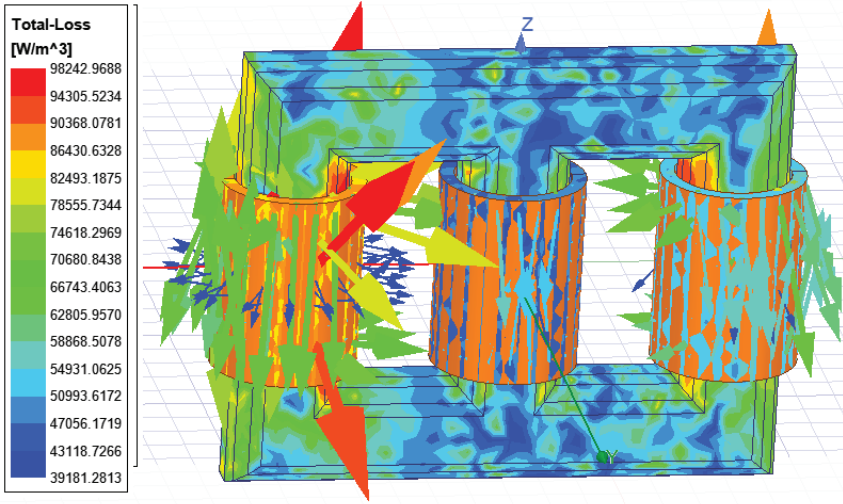


Şekil 6. Hacimsel zorlanma 1. Durum

Şekil 7 ve Şekil 8’de, geçiş sayısı olarak x eksenini ve enerji hatası (%) olarak y eksenini ile yakınsama grafiğini göstermektedir. Her adaptif geçişten geçerken modelin iyileştirilmesi gerçekleşir.



Şekil 7. Total enerji kaybı 2. Durum



Şekil 8. Total enerji kaybı 2. Durum

Sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere, kayıpların önemli ölçüde azaldığı ve böylece tank duvarlarındaki sıcaklığın önemli ölçüde azalttığı açıktır. Ayrıca ikinci durumda enerji hatası birinci duruma göre azalmıştır.

5. SONUÇ

İki model ANSYS MAXWELL 3D kullanılarak analiz edilmiştir. Analizi yaptıktan sonraki ilk model için, iki uçtan gelen çıkış akımındaki dengesizlik nedeniyle indüklenen akının, iki ucun yakınındaki tank yüzeyinde omik kayıplar üreteceğini ve ayrıca sıcaklığın orada yüksek olacağını göstermiştir. Böylece 2. model oluşturulup, ikinci model analiz edildikten sonra omik kayıpların üç sargının yakınında minimum değere indirildiği görüldü. Bu, üç akımın nötrleştirilmesi nedeniyle gerçekleşmiştir ve dolayısıyla akı da nötralize edilmiştir. Bu, tank duvarındaki sıcak noktayı etkili bir şekilde azaltacaktır.

- Önerilen yöntem daha iyi performans gösterebilir ve daha iyi sonuç verebilir.
- Omik kayıpların azaltılması sağlandı ve tank duvarındaki uçlara yakın sıcaklık düşürüldü.
- Birinci modele göre ikinci model için yakınsama değeri düşürülmüştür.

Dolayısıyla bunlardan, modifiye edilmiş modelin (ikinci model), sıcak nokta gidermede mevcut modelden (birinci model) daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varmak açıktır.

KAYNAKÇA

- Özüpak Y, MAMIS M. S (2019) Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 14(10), 1478-1484. Doi: 10.1002/tee.22966.
- K.T. Muthanna, A. Sarkar, K. Das, K. Waldner (2006) “Transformer Insulation Life Assessment”, *IEEE Trans. Power Deliv.* 21150 – 156.
- M. Lee, H. A. Abdullah, J. C. Jofriet, D. Patel, (2010) “Thermal modeling of disc-type winding for ventilated dry-type transformers”, *Electric Power Systems Research* 80 121–129.
- Soh T. L. G, Said D. M, Ahmad N, Nor K. M, Salim F (2013) Experimental study on the impact of harmonics on transformer”, *IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO)*, pp.686-690.
- M. Nageswara Rao, Malay Mandal (2011), *Impact of Harmonics, Estimation of Losses and Life expectanc & Mitigation of ill effects*, academia.edu.
- S.B. Sadati, A. Tahani, M. Jafari, M. Dargahi, (2008) “Derating of Transformers under Non-sinusoidal Loads”, in: *11th International Conferenec on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM*, pp.263-268.
- Özüpak Y, MAMIS M. S, TEKE İ. H (2019) Electromagnetic Field and Total Loss Analysis of Transformers by Finite Element Method. *International Journal of Engineering And Computer Science*, 8(1), 24451-24460. (Yayın No: 5774086)
- IEEE Std C57.91-(1995), “IEEE Guide for loading Mineral Oil Immersed Transformers”, 1995.
- IEEE Std C57.110-(1998), “Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Non sinusoidal Load currents”, 1998.
- IEEE 519 (1992) “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”.
- I. Daut, H.S. Syafruddin, Rosnazri Ali, M. Samila and H. Haziah (2006) “The Effects of Harmonic Components on Transformer Losses of Sinusoidal Source Supplying Non-Linear Loads” *American Journal of Applied Sciences* 3 (12): 2131-2133,
- Hussein A. Attia, M. El-Metwally and Osama M. Fahm (2010) “Harmonic Distortion Effects and Mitigation in Distribution System” *Journal of American Science*.
- “Harmonic Mitigating Transformer” (2003) Application Guide Class 7400, Nashville, TN, USA, July
- IEEE Std C57.110-(1998) “IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents”
- Linu Alias, V Malathi (2012), *Methods For Reduction Of Stray Loss In High Current Lv Regions Of Large Power Transformers Using Fe Analysis*, (IJRST) 2015, Vol. No. 5, Issue No. III, Jul-Sep.

- Livio Susnjic, Zijad Haznadar, and Zvonimir Valkovic (2008)., “3-D Finite Element determination of stray losses in power transformer” electric Power Systems Research, 78, pp. 1814-1818, Elsevier.
- S. V. Kulkarni, J. C. Olivares, R. Escarela-Perez, V. K Lakhiani, and J. Turowski, (2004)“Evaluation of eddy current losses in the cover plates of distribution transformers,” Proc. Inst. Elect. Eng.—Sci. Meas. Technol.,vol. 151, no. 5, Sep., pp. 313–318.
- Hjalmars, M. (2012). Optmiization, Study on Oil Flow and Temperature Distribution in Power Transformer Windings, MS.c. Thesis, Stockholm, sweden.
- Yugendrao K. N. (2016). Structural Modeling of a Three Phase Core type Transformer using ANSYS Maxwell 3D, International Journal Of Innovative Research In Electrical, Electronics, Instrumentation And Control Engineering Vol. 4, Issue 4, April, pp. 17-20.
- Kardag, R. (2012). Temperature Distribution in Power Trasformers, MS.c. Thesis, Electrical and Electronics Engineering in Middle East Technical University September.
- Altin N, Balci S, Özdemir S, Sefa I, 2013 “A comparison of single and three phase DC/DC converter structures for battery charging”, IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Madrid, 1228-1233.
- Zheng T, Zhao YJ, Ying J, Chen PL, Zhang FF 2015 “Design and analysis on the turn-to-turn fault protection scheme for the control winding of a magnetically controlled shunt reactor”. IEEE Transactions, 30(2), 967-975.
- Wojda R.P, Kazimierczuk, M.K 2013"Analytical winding size optimisation for different conductor shapes using Ampère's Law", Power Electronics, IET, 6 (6), 1058-1068.
- Arabul AY, Kurt E, Senol I, Arabul F. K 2015 “An investigation on flux density of three phase distributed Air-Gap 3-5 legged shunt reactor”. IRES-27th ICIET, Amsterdam, Netherlands, 25 December.
- Lotfi A, Faridi M 2012 “Design optimization of gapped-core shunt reactor”. IEEE, 48(4), 1673-1676.
- Arabul AY, Senol I 2018 “Development of a hot-spot temperature calculation method for the loss of life estimation of an ONAN distribution transformer”. Electrical Engineering, 100(3), 1651-1659.
- Reece ABJ, Preston TW 2000 Finite Element Methods in Electrical Power Engineering. New York, USA, Oxford University Press Inc.
- Nashawithi E, Fisher N, Bin Le, Taylor D 2011 “Impact of shunt reactors on transmission line protection”. 38th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, 18-20 October.

Bölüm 2

POLİPROPİLEN LİFİ VE POLİPROPİLEN LİFİNİN MAKİNE HALISINDA KULLANIMI



Öznur ÖZDİNÇ¹

¹ Öğr. Gör. Öznur Özdiñç, Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu

GİRİŞ

Tekstil lifleri, tekstil sektöründe başta giysiler olmak üzere farklı kullanım alanlarında binlerce yıldır kullanılmaktadırlar. Tekstilin ilk yıllarında pamuk, keten, yün, ipek gibi bitkisel ve hayvansal kökenli doğal lifler kullanılmıştır.

Dünya nüfusu arttıkça, moda trendleri farklılaştıkça toplumların ekonomik yapısı geliştikçe insanoğlunun da arz talepleri değişmeye başlamıştır. Bu doğrultuda tekstil alanında artan istekleri doğal lifler karşılayamaz duruma gelmiştir. Bazı bilim adamları bu durumu önceden görerek ileride belirecek olan açığın giderilebilmesi için sentetik lif üretimini gerçekleştirmişlerdir ve 19. yüzyıldan itibaren sentetik lif üretilmeye başlanmıştır.

Sentetik lifler doğada bulunmayan liflerdir. Hammaddesi doğal kaynaklardan elde edilen ve kimyasal sentez yolu ile elde edilen lif grubudur. Sentetik lifleri meydana getiren polimer; mer (monomer)adı verilen birbiri ile aynı olan küçük moleküllerin kovalent bağlar ile birbirine bağlanması ile meydana gelen çok büyük moleküllerdir (Yeşilbağ, 2011).

Sentetik liflerin kullanım oranları gün geçtikçe artış göstermektedir. Özellikle poliestere, poliamid, akrilik ve polipropilen sentetik elyaf pazarında ön sıradadırlar. Poliestere, poliamid, akrilik ve polipropilen sentetik lif ihtiyacının yaklaşık %98'ini karşılamaktadır. Poliestere ise bu oranın yaklaşık %83'ünü tek başına oluşturmaktadır (Baker, 2018).

Sentetik liflerin tekstil sektörü içerisinde kullanım alanları oldukça geniştir. Polipropilen lifi, tekstil sektöründe ve endüstride hak ettiği yeri bulamamış ve polipropilen lifinin kullanım alanı sınırlı kalmıştır. Günümüzde moda konusunda trendler o kadar hızla değişmektedir ki bunun sonucu olarak da kıyafetlerin giyilme süreleri de günden güne azalım göstermektedir. Polipropilen lifinin diğer sentetik lifleri içerisinde çok iyi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmasına karşın tekstil endüstrisinde kullanımı kısıtlıdır (Özdemir ve Çelik, 2018).

Polipropilen elyaf kısıtlı olsa da hem tekstil sanayiinde hem de plastik sanayiinde çok fazla kullanılan bir polimerlerdir. Polipropilen liflerinden üretilen döşemelik kumaşlar, halılar ve teknik tekstiller günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. PP liflerinin bu kadar çok kullanım alanında tercih edilme sebebi ise düşük maliyet, düşük yoğunluk, yüksek mukavemetleri ve mükemmel kimyasal dirençtir (Qian Ve Lan, 2003). Ayrıca polipropilen lifini endüstride kullanabilmek için bazı ilave özelleştirmeler de eklenebilir. Bunlara örnek olarak; güç tutuşurluk, anti-statik elektrik-

lenme, kir iticilik, UV dayanımı. Buradan da anlaşılacağı üzere polipropilen lifinin dolayısıyla da polipropilen tekstil materyalinin özelliklerini ve fonksiyonlarını geliştirilebilmektedir (Zhang ve Horrocks, 2003).

POLİPROPİLEN

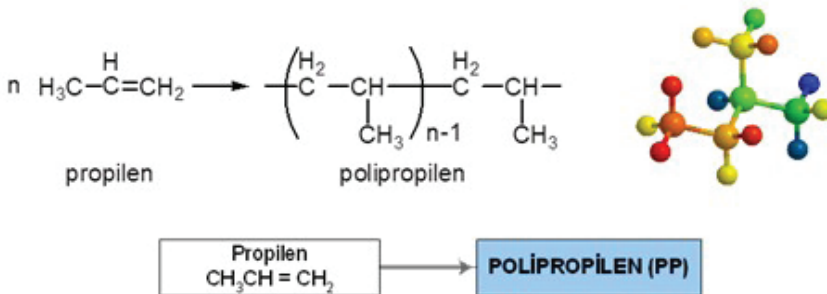
Polipropilen lifleri sentetik lifler içerisinde poliolefin grubunda yer almaktadır. Doymamış hidrokarbonların açık zincirli bileşiklerinden oluşan poliolefinler içinde polietilen ve polipropilen lif üretiminde önem kazanan ve tekstilde yer edinmiş polimerlerdir. Polipropilen ilk olarak 1954 yılında G. Natta tarafından propilenin polimerizasyonu esnasında metal alkil/metal tuzları tipi katalizörlerin bir stereospesifik etkisi olduğunu keşfetmesiyle bulunmuştur (Kodal, 2009).

Propilenin yapısında bulunan CH_3 grubu, molekülün asimetrik bir yapıda oluşmasını sağlamaktadır. Polimerizasyonda olan yapısal farklılıklar değişik özelliklerde polipropilenler oluşmasını sağlamaktadır (<http://bilsenbesergil.blogspot.com>). Şekil 1’de propilenin polimerizasyonu ve meydana gelen polipropilen polimerinin yapısı gösterilmektedir.

Polipropilenin üç izomer yapısında olabilir (Yeşilbağ, 2011);

- Ataktik Polipropilen (CH_3 grubunun reaksiyon zinciri üzerinde gelişigüzel yerleşmesi),
- İzotaktik Polipropilen (CH_3 grubunun reaksiyon zinciri üzerinde aynı yönlü yerleşmesi)
- Sindiotaktik Polipropilen (CH_3 grubunun reaksiyon zinciri üzerinde simetrik karşılıklı yerleşmesi)

Bu 3 polipropilen içerisinden de tekstil lifi olarak “İzotaktik Polipropilen” kullanılmaktadır.



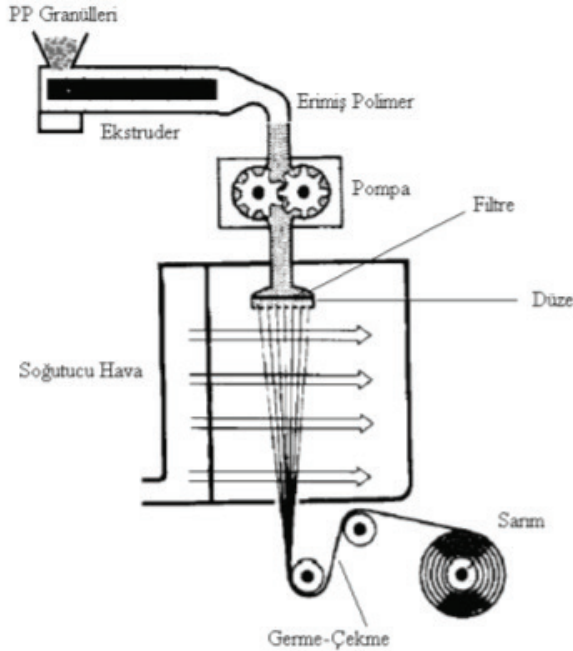
Şekil 1. Polipropilenin Yapısı (<http://bilsenbesergil.com>).

Polipropilen, propilenin ($[CH_2=CH-CH_3]$) polimerizasyonu ile üretilir. Propilen ise petrolün ısıtılıp işlemler neticesinde parçalanması esnasında oluşan bir gazdır. Propilenin kimya reaksiyonu çift bağa bağlı olarak adisyon (katılma) reaksiyonu ile gerçekleşmektedir. Bu polimerizasyonda monomerler zincir reaksiyonları ile doğrudan doğruya polimer molekülüne katılırlar (Ulcay ve Altun, 1997).

POLİPROPİLEN LİF ELDESİ

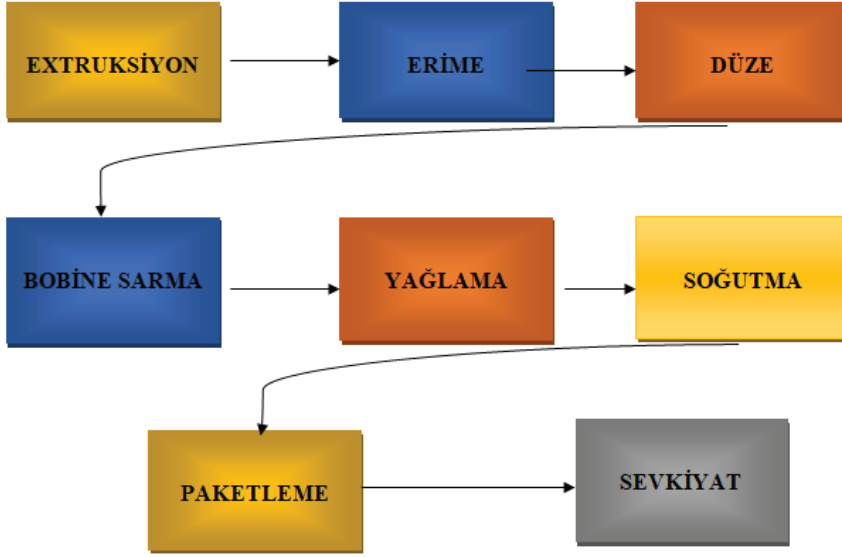
Polipropilen lifi ticari olarak önem kazanmış düzenli yapıdaki ilk polimerdir. Yaygın olarak kullanılan filament üretim tekniklerinden biri de eriyikten filament üretimidir. Polipropilen lifinde filament oluşumu; yaygın olarak kullanılan eriyikten lif çekim yöntemi ile gerçekleşir. Polipropilen, poliamid gibi termoplastik karakterli polimerler genellikle bu teknik ile filament haline dönüştürülmektedir. Şekil 2’de polipropilenin eriyikten lif çekim yöntemi ile elde ediliş yöntemi şematik olarak verilmiştir.

Eriyikten Lif Çekim Yöntemi ile lif elde etme işlemi 1930’lu yıllarda poliamid 6 ve poliamid 6.6 polimerlerinden lif üretimi için kullanılmıştır. Gümümüzde ise birçok polimerde lif elde etme için kullanılmaktadır.



Şekil 2. Eriyikten Lif Çekim Yöntemi (Koch, 2000).

Eriyikten lif oluşumu teoride basit gibi görünse de, istenilen lif özelliklerini elde edebilmek ve tüm aşamalarındaki akış özelliklerini takip etmek karmaşık bir durumdur. Süreç polimer besleyici ile lif sarım arasında geçen olaylar zinciridir (Taşkın, 2019). Polipropilen iplik üretim aşamaları Şekil 3'de basitçe özetlenmiştir.



Şekil 3. Polipropilen İplik Üretim Aşamaları

Polipropilen termoplastik bir polimerdir ve bu özelliği sayesinde eriyikten lif çekim yöntemi ile filament haline dönüştürülür.

Cips halde bulunan polipropilen polimer ekstruderde eritilir. Ekstruderde katı halde bulunan polimer ve katkı maddeleri sıcaklık ve sürtünme etkisi ile erime deresinden yaklaşık 15 ile 20°C üzerinde bir sıcaklıkta eritilerek sıvı hale getirilir. Bu işleme extrüsiyon adı verilir. Extrüsiyon işleminin performansı sıcaklık kontrolüne, eriyik halde bulunan polimerin homojenliğine bağlıdır.



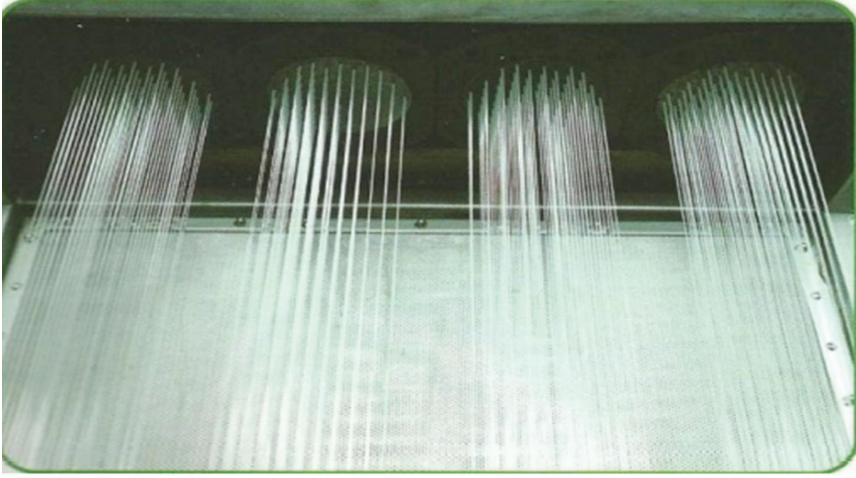
Şekil 4. Polipropilen Cipsi (<https://www.plastikhammadde.net>)

Eritilen polimer pompa vasıtasıyla düzelere gönderilir. Polipropilen iplik üretimi açısından bu işlem oldukça önem arz etmektedir. Çünkü burada yarı mamul durumundaki polimer farklı kesit şekillerine sahiptir.



Şekil 5. Düze Paketi

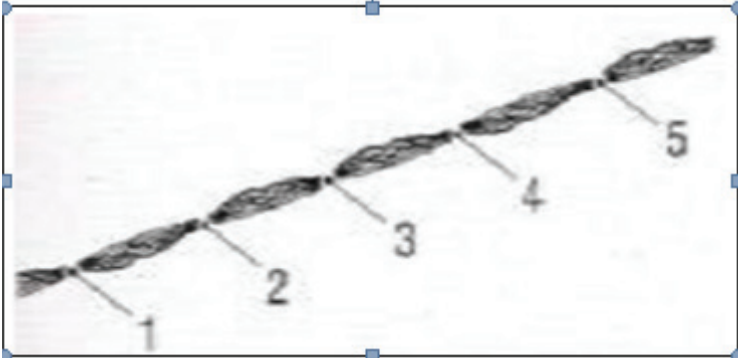
- (1) Dış Kovan, (2) Dağıtıcı Plaka, (3) Şapka,
- (4) Kum Haznesi, (5) Membran Conta,
- (6) Düze Baş, (7) Dört Katlı Fitre,
- (8) Beş Katlı Vatkalı Filtre



Şekil 6. Lifin Düzeden Çıkışı (<https://acikders.ankara.edu.tr>)

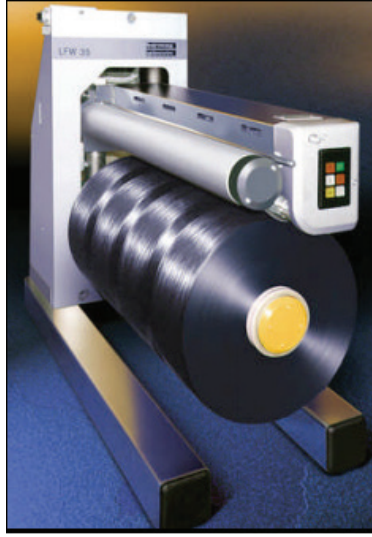
Düze deliklerinden çıkan polimer soğutma alanında oda sıcaklığına kadar soğutulur ve eriyik haldeki polimer kristalleşip katılaşmaya başlar. Bu aşamada soğutma odasındaki hava prosese göre değişkenlik gösterse de genellikle 18-26°C dir. Bu aşamadan sonra iplik spin finish yağı ile yağlanması gerekir. Böylelikle polipropilen lif üzerinde oluşan statik elektriklenme önlenmiş olur ve daha yüksek çekim hızlarında çalışılmasına olanak sağlanır.

Kondisyonlanması ipliğin kalitesinde önemli rol oynar. Spin finish yağı ile birbirine yapışması engellenen liflere sonrasında sarım işlemi yapılmaktadır. Polipropilen ipliklerinin dağılmadan birarada kalabilmeleri için puntalama işleminin yapılması gereklidir. Polipropilen iplik üretim tekniğinde ipliğe büküm vermek yerine puntalama işlemi ile birlikte ipliklere kohezyon kazandırılır. Puntalama işleminin yapılma amacı ise oluşan filamentin birkaç noktada hava yardımı ile birbirine dolamaktır. Böylece elde edilen yeni filament daha toplu bir yapıda olacaktır. Puntalama işleminde genellikle her bir metre iplik içerisinde 25 ile 30 punta olması istenmektedir (Şekil 7). Puntalanana polipropilen iplik masuralar üzerine sarılır ve paketlenerek sevkiyatı yapılmaktadır.



Şekil 7. Puntalı İplik (Yıldırım ve Koç, 2013).

Puntalanan polipropilen iplik masuralar üzerine sarılır. Sarım işleminde polipropilen filamentler, bobin makinesi üzerinde bulunan sensörü vasıtası ile kontrol edilir. Sensör ile kontrolden geçen polipropilen filament, öncelikle bobin miline gelir ve ardından bobinlere sarılmaktadır. Ardından bobinler paketlenerek sevkiyatı yapılmaktadır. Şekil 8’de bobinleme işlemi görülmektedir.

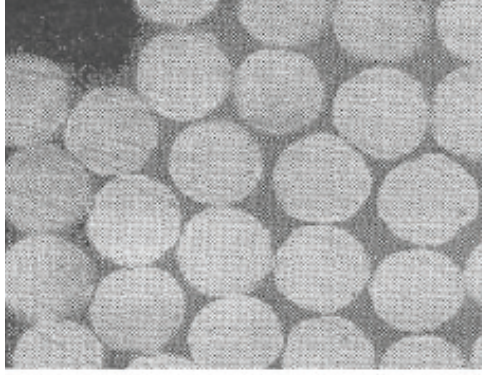


Şekil 8. Bobinleme İşlemi (<https://acikders.ankara.edu.tr>).

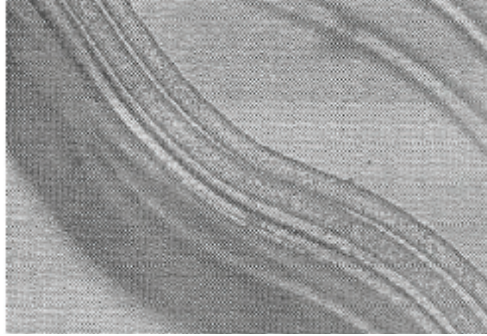
POLİPROPİLEN LİFİNİN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Polipropilen, propilenin polimerizasyonu ile oluşan bir polimerdir. Elde edilen bu polimer yarı kristal, sıkı, sert, dayanıklı bir yapıdadır (Mead ve Baker, 2006).

Polipropilen liflerinin enine kesit şekilleri genellikle yuvarlaktır (Şekil 9). Polipropilen liflerinin yüzey görünümü ise düz ve pürüzsüzdür (Şekil 10) (Mather, 2005).



Şekil 9. Polipropilen Liğinin Enine Görünümü
(<https://tekstilsayfasi.blogspot.com>)



Şekil 10. Polipropilen Liğinin Boyuna Görünümü
(<https://tekstilsayfasi.blogspot.com>)

Polipropilen lifleri genellikle renksiz üretilmektedir.

Polipropilen lifleri istenilen uzunlukta ve incelikte üretilebilirler.

Polipropilen liflerinin sürtünmeye olan direnci ve mukavemeti mükemmeldir (mukavemet değeri: 3–5 g/denye arasındadır) (Başer, 1992).

Polipropilen liflerinin rezilyans (yaylanma) özelliğı ise iyi değildir

Polipropilen liflerinin nem çekme oranı 0,05 oranındadır. Bu nedenle polipropilen lifi kimyasallardan ve nemden etkilenmez bir yapıdadır. Düşük nem çekme karakterinde olması nedeni ile kir tutmama özelliğı çok iyidir. Ayrıca nem çekmedeki oranının düşük oluşur, uygun fiyatlı

oluşu ve düşük özgül ağırlığı (0,90 g/cm³) yani hafif oluşu nedeniyle tekstilde teknik uygulamalarda en çok kullanılan lif polipropilen lifidir. (Köseoğlu ve Özyurt, 2010).

Polipropilen lifler; mükemmel seviyede mukavemet ve ısı özelliklerine sahiptir. Hidrofob karakterli olması nedeniyle de yağ ve kuru mekanik özellikleri değişkenlik göstermemektedir (Dural Erem ve Özcan, 2015). Tekstil alanında kullanılan polipropilen liflerinin sahip olduğu bazı fiziksel özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Polipropilen liflerinin genel fiziksel özellikleri (Mandal, 2013)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	DEĞERİ
Çekme dayanımı	3,5-5,5
Uzama (%)	40-100
Aşınma dayanımı	İyi
Nem çekme (%)	0-0,05
Yumuşama noktası (°C)	140
Erime noktası (°C)	165
Kimyasal direnç	Genellikle Mükemmel
Yoğunluk	0,91
Elektrik yalıtımı	>10 ¹⁶
Küf ve güve direnci	Mükemmel

Polipropilen lifinin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Poliester ve poliamid lifine göre erime noktasının düşük olması,
- Polipropilen lifinin üretildikten sonra boyanmasının zor olması,
- Polipropilen lifinin ultraviyole dayanımının düşük olmasıdır (Ceresana, 2017).

Polipropilenin kullanım alanı oldukça geniş bir yelpazededir. Hatta birçok ülkede kağıt para yapımında bile kullanılmakta olduğu bilinmektedir. Polipropilen lifi sağlam ve sert bir yapıya sahiptir. Bu nedenle genellikle arabaların bagaj kaplamalarında, araba koltuklarının arka yüzlerinde, küçük halı uygulamalarında ve buna benzer hazırlanan dokusuz yüzeylerin üretiminde kullanılmaktadır (Köseoğlu ve Özyurt, 2010).

Tablo 2’de görüldüğü üzere polipropilen filament halde, stapel halde, dokusuz yüzey formunda, dokunmuş yüzey formunda, örme yüzey

formunda çok farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Polipropilenin birçok endüstriyel uygulamada kullanım alanı bulurken dezavantajlarından dolayı tekstil sektöründe kullanımı sınırlıdır. Bunlar içinde polipropilen esaslı tekstil materyallerinin sıklıkla kullanıldığı alanlar ise sırası ile makine halısı hav ipliği, medikal ürünler, jeotekstiller, örme tekstiller, halatlar, kordon, ağ, dokuma çanta, çadır, kompozit çeşitleridir (European Association for Textile Polyolefins (EATP, 2008).

Tablo 2. Polipropilen Liflerinin Başlıca Kullanım Alanları (Koch, 2000).

UYGULAMA ALANI	ÖNCELİKLİ ÜRÜN ÖZELLİĞİ	ÜRÜN TİPİ
Ev Tekstilleri • Döşemelik Kumaşlar • Halı Hav İpliği • Paketleme Malzemesi	Yüksek Aşınma Direnci Hacimlilik Yüksek Mukavemet Ucuzluk	Stapel Liflerden İplikler BCF, POY, FOY Dokusuz Yüzeyler
Medikal Ürünler Dolgu Malzemesi Otomotiv Bebek Bez Jeotekstiller Filtreler Halatlar	Mukavemet Ve Kimyasal Dayanımı Düşük Ağırlık Alerji Yapmayan, Hidrofobluk Kimyasal Dayanım Yüksek Mukavemet Düşük Maliyet İncelik, Kimyasal Dayanım	Dokusuz Yüzeyler, Stapel Lifler, Dokusuz Yüzeyler, Monofilament, Örme Kumaşlar
Hazır Giyim • Spor Giysiler • Çoraplar • İç Giyim	Düşük Ağırlık Hidrofob Mukavemetli yapı Alerji Yapmayan	Stapel İplikler

Bakım ve hijyen ürünlerinde hidrofil özellikli polipropilen kumaş kullanılabilir. Polipropilen, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin doğurduğu avantajlar ile dokusuz yüzey sektöründe en sık kullanılan hammadde kaynağı haline gelmiştir. Çocuk bezi üreticileri, gıda paketeleme, medikal tekstil alanları başta olmak üzere birçok alanda PP'den yapılmış farklı özelliklerde dokusuz yüzey kumaşlar kullanılmaktadır (Uyanık ve Duru Baykal, 2016).

POLİPROPİLEN İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ GÜNCEL ÇALIŞMALAR

Bajzik ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada tekstil ürünlerinin ısı konfor özelliklerini ıslak konfor endekslerini (wet comfort index-WCI) incelemişler ve özel polyester ve polipropilenden elde edilen kumaşların en iyi sonuçlara sahip olduğunu ortaya koymuşlardır (Bajzik, Hes ve Dolezal, 2016).

Polipropilen lifinin en önemli özelliği; sürtünme direncinin yüksek oluşu, hafif olması ve düşük maliyet gibi özellikleri nedeniyle halı ipliğinde sıklıkla tercih edilmektedir. Dünyadaki makine halısı iplik üretiminde % 42 oranında polipropilen lif tercih edilmektedir (Uskaner ve Özçelik, 1999).

Özkan ve Babaarslan (2010), yaptıkları çalışmada ipliği oluşturan filamentlerin sayısının o iplikten üretilen kumaşın yapısını ve özelliklerini önemli ölçüde etkilediği ortaya konulmuştur. Yaptıkları araştırmaya göre yüksek hacimli ipliğin bünyesinde daha az filament olduğu, filament içeriğinin arttığı ipliklerin ve bu ipliklerden elde edilen dokumaların düzgünsüzlüğünü olumsuz etkilediği anlaşılmıştır (Özkan ve Babaarslan, 2010).

Chaudhuri (2009), yaptığı çalışmada halı yapımında kullanılan doğal ve sentetik malzemeleri incelemiştir. Bu çalışmada halı üretim aşamaları ve mühendisliği hakkında bilgilere yer vermiş ve iplik üretiminde kullanılan yöntemleri karşılaştırmıştır. Ayrıca bu çalışmada halı üretim yönteminin tercihinin yön verilerek istenmiştir (Chaudhuri, 2009).

Dalcı (2006), yaptığı çalışmada makine üzerine araştırmalar yapmış ve üretim parametreleri ile makine halısı performansı arasındaki ilişkiyi irdelemiştir. Yapılan çalışmada akrilik halının kalınlık kaybının polipropilen halıların kalınlık kaybının akrilik halıdan daha kötü olduğu ancak rezilyans özelliğinin daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca boncuklanma testinde ise akrilik ve polipropilen halıların boncuklanma dayanımının çok iyi olduğu ve halılarda herhangi bir tüylenme veya boncuklanmaya rastlanılmadığı ortaya konulmuştur. (Dalcı, 2006).

Tekin (2002), yaptığı çalışmada Wilton yüz-yüze dokuma tipi makine halı yapılarını incelemiştir. Bu amaçla yün, polipropilen, akrilik makine halılarına analiz yapmış ve statik-dinamik yük altında kalınlık azalması olduğunu tespit etmiştir. Test sonucunda statik yük altında kalınlık kaybı polipropilen halılarda en fazla iken en iyi sonucu yün halılar vermiştir (Tekin, 2002).

Berkalp (1997), yaptığı çalışmada akrilik, yün ve polipropilen halıların yapısal özellikleri ile mekanik performansını araştırmıştır. Söz konusu olan halıların aşınma, görünüm ve mukavemet özellikleri incelenmiş ve sonuç olarak polipropilen halıdaki kalınlık kaybının fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Berkalp, 1997).

Taşcan (1999), yaptığı çalışmada makine halısında sıklıkla kullanılan polipropilen ipliğinin halı performansına etkisini incelemiştir. So-

nuç olarak makine halısında hav ipliği olarak bükümlü fikseli ipliğin kullanılması ile makine halısının reziliyans özelliğinin daha iyi olacağı saptanmıştır (Taşcan, 1999).

SONUÇ

Günümüzde araştırmacılar polipropilen lifi ve polipropilen ipliğinden üretilen makine halıları üzerine yaptıkları çalışmalarda, hem polipropilen lifinin özelliklerine göre değerlendirilmesini hem de makine halısına katacağı değerini incelemişlerdir. Polipropilen liflerinin, hafif olması, sürtünme dayanımının çok iyi olması, hidroFOB karakterinden dolayı neme ve küfe karşı dirençli olması ve oldukça güçlü yapısı nedeni ile de makine halıcılığı sektöründe hav ipliği olarak kullanım alanı bulmaktadır. Ancak Polipropilen halının avantajlarının yanı sıra çok önemli bir dezavantajı vardır; reziliyans özelliğinin düşük olması ve bu halılardaki kalınlık kaybının fazla olmasıdır.

KAYNAKLAR

- Bajzik, V., Hes, L., Dolezal, I. (2016). Changes In Thermal Comfort Properties Of Sports Wear And Underwear Due To Their Wetting. *Indian Journal Of Fibre & Textile Research (IJFTR)*, 41(2), 161-166.
- Baker, I. (2018). Polyester. In *Fifty Materials That Make the World* (pp. 157-161). Cham: Springer International Publishing.
- Başer, İ. (1992). Elyaf Bilgisi. Marmara Üniversitesi Yayınları.
- Berkalp, Ö.B. (1997). Makine Halılarının Yapısal Özellikleri İle Mekanik Etkiler Karşısındaki Davranış Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- Ceresana, (2017). <http://www.ceresana.com/en/market-studies/plastics/>, Konu: Polypropylene
- Chaudhuri, S.K. (2009). Structure And Properties Of Carpet Fibres And Yarns. A Volume in Woodhead Publishing Series in Textiles, Ch.2, Pages 19–43
- Dalcı S. (2006). Makine Halısı Üretim Parametrelerinin Halı Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Dural Erem, A. ve Özcan, G. (2015). Polipropilen/Titanyum Dioksit Nanokompozit Liflerin Üretimi Ve Karakterizasyonu. *Tekstil ve Mühendis dergisi*, Cilt (Vol): 22 No: 99
- European Association for Textile Polyolefins (2008). http://www.eatp.org/industrydata_polytextiles.htm.
- Koch, P. A. (2000). Polypropylene Fiber Table Second Issue, *Chemical Fibers International*, 50, 233-253.
- Kodal, M. (2009). Polipropilen Ve Dolgu Maddeleri İle Hazırlanan Karışımların Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Köseoğlu N. ve Özyurt, G. (2010). Otomotivde Kullanılan Koltuk Döşemeliklerinin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bitirme Tezi, Bursa.
- Mandal, J. (2013). Polypropylene Fiber And Its Manufacturing Process, Properties, Advantages, Disadvantages And Applications Of Polypropylene Fiber.
- Mather, R.R. (2005). Polyolefin Fibers, in *Synthetic Fibres: Nylon, Polyester, Acrylic, Polyolefin*, 235-292, Ed. McIntyre J. E., Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, England.
- Mead, L. J. And Baker, A. M. (2006). *Handbook Of Plastics Technologies, USA: The McGraw Hill Companies*,
- Özdemir, H. ve Çelik, E. (2018). Experimental Analysis Of Moisture Absorption Behavior Of Polypropylene Woven Fabrics. 3rd International Energy &

Engineering Congress Proceedings Book, Sayfa 691. 18-19 October 2018, Gaziantep University, Turkey.

Özkan, S. ve Babaarslan, S. (2010). İplik Kesitindeki Filament Sayısının Filament Ve Tekstüre İpliklerin Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Journal of Textile & Apparel / Tekstil ve Konfeksiyon, 2010, Vol. 20 Issue 1, p17-22. 6p.

Qian G. ve Lan, T. (2003). Polypropylene Nanocomposite, Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, ed: Harutun, G. K., Marcel Dekker, NewYork, Basel, Chapter 20.

Taşcan, M. (1999). Polipropilen BCF İpliği Üretimi, İşlem Parametrelerinin İplik Özelliklerine Etkileri ve İpliğin Halı Davranışları Üzerindeki Etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Taşkın V.C. (2019). BCF Düzce Kalıbı İmalatında Tel Erozyon İşlem Parametrelerinin İncelenmesi. İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

Tekin, M. (2002). Yüzyüze Halı Dokumacılığı, Yüksel Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü.

Ulcay, Y. ve Altun, -. (1997). Polipropilen Üretimi. Tekstil Maraton, 2, 27-31.

Uskaner Y.A.ve Özçelik C. (1999). Polipropilen Halı İpliği Üretim Makinası Tasarım ve İmalatı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Bildiriler Kitabı, 221,127-134.

Uyanık, S.ve Baykal, P. D. (2016). Bebek Bezi Üretimi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31 (2): 327-342.

Yeşilbağ, O. (2011). Tekstil Liflerinin Polarize Işık Mikroskobu İle Analizi. T.C. İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü Fen Bilimleri Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Yüksek Lisans

Yıldırım, B. ve Koç, M. (2013). Polipropilen Halı İpliği Üreten Bcf Makinası Ve İşlem Parametrelerinin İplik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi.

Zhang S. ve Horrocks A. R., (2003). A Review of Flame Retardant Polypropylene Fibres. Progress in Polymer Science, 28, 1517- 1538.

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/23049/mod_resource/content/1/Filament%20%C4%B0plik%20%C3%9Cretimi.pdf

http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_664.html

<http://textilelearner.blogspot.com/2013/01/polypropylene-fiber-and-its.html>

<https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2012/12/sentetik-lifler-yakma-mikroskop.html>

<https://www.plastikhammadde.net/products/polypropylene-pp/?lang=en>

Bölüm 3

SERVİKS KANSERİNİN DAVRANIŞLAR VE DAVRANIŞ BELİRLEYİCİLER ÜZERİNDEN MAKİNE ÖĞRENME TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ

Özer OĞUZ¹

Hasan BADEM²

1 Özer OĞUZ, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enformatik A.B.D., ozersunayoguz@gmail.com

2 Dr. Öğr. Üyesi Hasan BADEM, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, hbadem@ksu.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) 2020 yılı raporunda belirtildiği üzere, her altı ölümden birisi kanser nedeniyle gerçekleşmektedir ve her iki dakikada bir kadın serviks kanseri nedeniyle ölmektedir (WHO, 2020). Serviks kanseri, rahim ağzı kanseri olarak da tanımlanmaktadır. Bu kanser, kadınlarda görülen en yüksek dördüncü kanser türüdür (WHO, 2020). Dünya Sağlık Örgütü'ne göre dünya geneli 570.000 kadına serviks kanseri teşhisi konulmuştur. Yaklaşık 311.000 kadın ise rahim ağzı kanseri nedeniyle hayatını kaybetmiştir (WHO, 2020). Türkiye'de ise 2018 yılında yayınlanan verilere göre serviks kanserinin görülme sıklığı binde 4,5 olarak belirtilmiştir. Bu rapora göre Türkiye'de 2018 yılında 1005 yeni serviks kanser hastası tespit edilmiş olup toplam tespit edilen hasta sayısı 4238'dir. Serviks kanseri diğer kanser türlerine göre görülme sıklığı bakımından Türkiye'de dokuzuncu sıradadır (Türkyılmaz, ve diğerleri, 2018). Serviks kanseri en ölümcül kanser türlerinden birisi olmakla birlikte serviks kanseri erken dönemde tespit edildiği takdirde tedavisi mümkün olan ve önlenebilir bir hastalıktır (Banura ve Ark. 2012; Sönmez ve Ark., 2012; Karacaoğlu, 2016). Bu bakımdan kanserin erken teşhisine yönelik erken tanılama yöntemleri oldukça önemlidir.

Serviks kanserine insan papilloma virüsü (Human Papilloma Virus – HPV) neden olmaktadır (Dunleavey, 2009). Tüm risk faktörlerine rağmen Pap Smear Testi, kolposkopi, servikografi ve HPV aşısı gibi tarama, tıbbi görüntüleme ve aşılama teknikleri ile HPV erken dönemde tespit edilerek serviks kanseri önlenebilir ya da hastalığın vereceği hasar azaltılabilmektedir (Dunleavey, 2009; Mehreban ve ark., 2018; Sobar ve ark., 2016) . Sönmez ve ark. (2012), Akyüz ve ark. (2006), Açıkgöz ve ark. (2011), Çınar ve ark. (2020) gibi araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda erken teşhis uygulamalarının kadınların serviks kanseri taramasına ilişkin yetersiz bilgileri, tutumları, değerleri ve davranışları gibi farklı etmenlerden etkilendiği belirtilmiştir. Kanser tarama testlerine katılmamanın yanında sigara kullanımı, düzenli doktor kontrolüne gitmeme, düzensiz beslenme, hijyen kurallarına dikkat etmeme vb. davranışlar da serviks kanseri için risk oluşturmaktadır. Bu davranışlar bireyin algıları, değerleri, tutumları, motivasyonu, beklentileri, öz yeterlik algıları vb. faktörler tarafından belirlenir (Esin, 2020). Dolayısıyla davranış belirleyiciler, serviks kanserine yönelik davranışların tahmin edilebilmesi ve açıklanabilmesi için oldukça önemlidir.

Literatürde Parkinson hastalığı (Çalışkan, ve ark., 2017), serviks kanseri (Weeger ve Sundström, 2020), meme kanseri (Aslan, ve ark., 2018) ve kalp hastalığı (Boyras ve ark., 2014) gibi birçok hastalığın teşhisinde, makine öğrenmesi yöntemlerinin oldukça başarılı sonuçlar verdiği rapor edilmektedir. Bu nedenle, serviks kanserinin erken teşhisinde makine öğrenmesi yöntemlerinin etkinliğinin araştırılması oldukça önem arz etmektedir. Literatürde serviks kanseri erken teşhisi için birey tutum ve davranışları ile makine öğrenme tekniklerinin birlikte kullanılmasına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Literatür incelendiğinde serviks kanseri teşhisi için davranışlar ve davranış belirleyici temelli bir yaklaşımın makine öğrenmesi teknikleri ile kullanılmasına yönelik Sobar ve arkadaşlarının sadece bir adet çalışması olduğu görülmüştür (Sobar ve ark., 2016). Sobar ve ark. çalışmalarında davranışlar ve bu davranışların belirleyicileri üzerinden kanser teşhisinin yapılabilmesi için NB ve Lojistik Regresyon makine öğrenmesi tekniklerini kullanmışlardır. Bahsedilen çalışmada başarı ölçütü olarak doğruluk oranı ve AUC parametreleri kullanılmış ve NB'nin davranışlar ve davranış belirleyicileri yoluyla serviks kanseri teşhisinde daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada bireylerin davranışları ve bu davranışların belirleyici faktörlerine göre serviks kanseri riskinin makine öğrenme teknikleri ile tespit edilmesi ve bunun bir erken teşhis yöntemi olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Makine öğrenmesi ile sınıflandırma problemlerinin çözümünde son derece hızlı çalışan ve yüksek doğruluk oranlarına sahip olduğu bilenen (Badem, 2019) Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine, DVM), K en Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor-KYK) algoritması, Karar Ağaçları (Decision Tree, KA), Naive Bayes (NB) ve Rastgele Ormanlar sınıflandırıcısı (Random Forest Classifier-ROS) sınıflandırıcıları kullanılarak serviks kanserinde etkin olan yöntem 6 farklı ölçüt üzerinden karşılaştırmalı olarak rapor edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma literatüre bu alanda çok daha ayrıntılı ve daha hassas ölçütlerle sonucu belirleyen bir çalışma kazandırması açısından oldukça önemlidir.

Çalışmanın ikinci bölümünde davranışların açıklanmasına yönelik teoriler, üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan yöntem sunulmaktadır. Dördüncü bölümde ise deneysel sonuçlar rapor edilmekte ve çalışma sonuç bölümü ile sonlandırılmaktadır.

2. SERVİKS KANSERİNE ETKİ EDEN DAVRANIŞ BELİRLEYİCİLERİNİN DAVRANIŞ TEORİLERİ ÇERÇEVESİNDE BELİRLENMESİ

Serviks kanseri için sigara ve alkol kullanımı, kanser taraması uygulamalarına katılmama, düzenli olarak sağlık taraması yaptırmama, düzenli ve dengeli beslenmeme, hijyene dikkat etmeme vb. davranışlar riskli davranışlar olarak belirtilmiştir (Kanbur ve Çapık, 2011). Serviks kanseri için risk teşkil eden bu davranışların nedenlerini açıklayabilmek ve davranışlara neden olan faktörleri tahmin edebilmek kanserin erken teşhisi ve önlenmesi için oldukça önemlidir. Davranışların, sağlığı korumak ve geliştirmek için oldukça önemli olduğu ifade edilerek davranışlardaki değişimlerin açıklanabilmesi için bazı model ve teoriler geliştirilmiştir (Kıssal, 2012). Sağlık İnanç Modeli (SİM) (Gözüm ve Çapık, 2014), Koruma Motivasyon Teorisi (KMT) (Chamroonsawasdi ve ark., 2020), Planlı Davranış Teorisi (PDT) (Ajzen, 1991), Sosyal Bilişsel Teori (SBT) (Bandura, 2004) sağlık davranışlarını ele alan ve bu davranışları açıklamaya çalışan teorilerden en önemlileridir (Sobar ve ark 2016; Demirgöz Bal ve Canbulat Şahiner, 2020).

SİM, koruyucu sağlık davranışlarını tanımlamada kullanılmaktadır. SİM davranışların inanç, değer ve tutumlardan etkileneceğini öne sürmektedir (Gözüm ve Çapık, 2014). SİM’de, algılanan ciddiyet, algılanan yarar, algılanan duyarlılık, algılanan engeller ve algılanan yeterli davranışların alt belirleyici faktörleri olarak belirtilerek kanser hastalığından korunmaya yönelik davranışları gerçekleştirmeye bireyi neyin motive ettiği ya da neyin engel olduğu bu davranış belirleyici faktörler ile açıklanabilir (Sobar ve ark. 2016; Olgun ve Akdoğan Altun, 2012).

KMT’de, sağlık tehditlerinden korunmak için gerçekleştirilen davranışlardaki niyetlere bakılmaktadır. Bu teoride niyetler motivasyondan etkilenir (Chamroonsawasdi ve ark., 2020). KMT’ye göre birey, tehdit edici bir davranışla karşılaştığında sağlığını koruma davranışı göstermeye motive olmaktadır (Prasetyo ve ark., 2020). KMT’de davranış gerçekleştirmenin birincil belirleyicisinin risklere karşı korunma motivasyonu ya da önleme davranışı niyeti olduğu belirtilmektedir (Conner, 2010; Esin, 2020).

PDT’ye göre davranış, bireyin gerçekleştireceği davranışın sonuçlarına ilişkin inançlarından, başkalarının kişisel istek ve beklentileri ile ilgili

inançlarından ve davranışın performansını artıran ya da azaltan faktörlerin varlığına olan inançlarından etkilenir (Ajzen, 1991; Ajzen, 2006). PDT’de davranışsal inançlar, normatif inançlar ve davranış kontrol inancı; davranış belirleyicilerinin davranışı gerçekleştirme niyetini etkilediği ve değişen niyetin uygun koşullarda davranışın gerçekleştirilmesine neden olduğunu belirtilmektedir (Ajzen, 2006).

SBT; bireysel deneyimlerin, başkalarında gözlenen davranışların ve çevre faktörlerinin kişisel sağlık davranışları üzerindeki etkisini tanımlamak için geliştirilmiştir (Bandura, 2004). SBT, davranışların beklentiler, öz yeterlik ve hedefler olmak üzere üç faktör tarafından belirlendiğini ifade eder (RHIH, 2020). Bunların yanında güçlendirme ve sosyal desteğin vurgulanması gibi davranış belirleyici faktörler de serviks kanserinden korunma ve kanseri önleme davranışlarının geliştirilmesi için önemli faktörler arasında olduğu belirtilmektedir (Sobar, 2016).

Yukarıda açıklanan davranış teori ve modeller çerçevesinde algı, tutum, niyet, motivasyon, öznel normlar, sosyal destek ve güçlendirme davranış belirleyicilerinin serviks kanseri riskini davranışa dayalı olarak belirleyebilmek için kullanılabileceği Sobar ve ark. tarafından rapor edilmektedir (Sobar, 2016).

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, serviks kanseri hastalığının sağlık davranışları ve bu davranışların belirleyici faktörleri üzerinden risk durumunun sınıflandırılarak erken teşhis edilebilmesi için hastalık teşhisinde yaygın olarak kullanılan makine öğrenmesi teknikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilerek sonuçlar raporlaştırılmıştır.

3.1. Veri Seti

Serviks kanseri hastası 22 kişi ve serviks kanseri hastası olmayan 50 kişi olmak üzere toplamda 72 denekten alınan sağlık davranışı ve bu davranışların belirleyici faktörlerine ait verilerden oluşan “Cervical Cancer Behavior Risk Data Set” veri seti kullanılmıştır. Veri seti; algı, niyet, motivasyon, öznel norm, tutum, sosyal destek ve güçlendirme olmak üzere 7 adet davranış belirleyicisi ve beslenme, kişisel hijyen ve riskli cinsel davranışlar olmak üzere 3 adet davranışa ait anket verilerini içeren toplam 19 adet öznelikten oluşmaktadır (Sobar ve ark. 2016). Ayrıca veri setinde hastalığın risk durumu 1 (riskli) ve 0 (güvenli) olarak

sınıflandırılmıştır. Anket verileri Jakarta, Endonezya’da yaşayan bireylerden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti UCI Machine Learning veritabanında erişime sunulmuştur (Dua ve Graff, 2019).

3.2. Makine Öğrenmesi Teknikleri

Bu çalışmada serviks kanserinin erken teşhis edilebilmesi için sınıflandırma problemlerinde iyi performans gösterdikleri bilinen (Badem, 2019); DVM, KYK, KA, NB ve ROS makine öğrenmesi teknikleri kullanılmıştır.

NB, Bayes Teoremi temel alınarak hazırlanan, sınıflandırma problemlerinde başarılı sonuçlar verdiği bilinen, anlaşılması ve kullanılması kolay olan makine öğrenmesi tekniklerinden biridir (Yılmaz ve ark. 2020). NB, verilerin bir sınıfa ait olma olasılığını hesaplar ve bu verileri maksimum olasılığa sahip sınıfa etiketler. NB, hava tahmini, hastalık teşhisi, duygu tanımlama ve rakam tanıma gibi birçok uygulama için kullanılmaktadır (Liu, 2017).

DVM, el yazısı tanıma, görüntü ve metin sınıflandırma, nesne tanıma vb. örüntü tanıma problemlerinde kullanılan oldukça popüler bir makine öğrenmesi tekniğidir (Yılmaz, 2013). Sınıflandırma problemlerinde başarılı sonuçlar verdiği için sağlık alanında teşhis yöntemi olarak sıklıkla başvurulan bir tekniktir. DVM’de veriler bir düzlem ya da bir hiperdüzlem olarak ikiye ayrılarak sınıflandırılmaktadır. Yani DVM’nin amacı iki kümeyi en doğru şekilde sınıflandırabilmek için en uygun düzlem ya da hiperdüzlemi belirlemektir (Liu, 2017).

KYK’da bir veri ve bir sınıfa ait başka bir verinin arasındaki mesafenin hesaplanmakta ve bu mesafeye göre veri bir sınıfa atanmaktadır (Taşçı ve Onan, 2016). KYK, basit ve hızlı olan önemli bir makine öğrenmesi tekniğidir. Bu sebepten dolayı birçok sınıflandırma probleminde tercih edilmektedir (Taşçı ve Onan, 2016; Badem, 2019).

KA, sınıflandırma problemlerinde oldukça sık tercih edilen bir makine öğrenmesi tekniğidir (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010). Bu teknikte kullanılan ağaç yapıları kolay anlaşılır ve basit olduğundan dolayı tercih edilmektedir. Bir KA, düğüm, dal, yaprak olarak 3 temel kısımdan oluşur. Bu ağaç modeli ile sınıflandırılmak istenilen veri ile sınıf etiketi arasındaki ilişki kolayca oluşturulabilmektedir (Rokach ve Maimon, 2005).

ROS, özellikle sınıflandırma alanındaki başarısı nedeniyle sınıflandırma algoritmaları arasında popüler hale gelmiştir (Özekes ve Karakoç, 2019). ROS, birden fazla KA'nın bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş bir tekniktir. ROS'ta eğitim verilerinin karar ağaçları yapısında işlenmesinin ardından hesaplanan tahminlerin ortalamaları alınarak doğru bir tahmin değerine ulaşılmaya çalışılmaktadır (Sevli, 2019).

3.3. Önerilen Yöntem

Serviks kanseri riskinin belirlenmesi ve erken teşhisi için Şekil 1'de görülen sistem önerilmektedir. Önerilen sistemde; davranışlar ve davranış belirleyicilerinden oluşan 19 adet öznelitik DVM, KYK, KA, NB ve ROS makine öğrenmesi teknikleri üzerinden sınıflandırılmaktadır. Makine öğrenme teknikleri bu veriler üzerinden 0 ve 1 olarak bir sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir.



Şekil 1. Önerilen Yöntem

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kullanılan DVM, KYK, KA, NB ve ROS makine öğrenmesi teknikleri 10 kat çapraz doğrulama tekniği ile eğitilmiştir. 10 kat çapraz doğrulama tekniğinde veriler 10 adet veri kümesine bölünmektedir. 1 bölüm test veri kümesi olarak kullanılırken geriye kalan 9 bölüm ise eğitim veri kümesi olarak kullanılmaktadır. Bu işlem 10 kez tekrar edilerek sınıflandırma sonuçlarının ortalamaları elde edilir. Bu teknikten elde edilen her bir tekniğe ait sınıf tahmini ve gerçek sınıfa ait karşılaştırma değerleri hata matrisleri üzerinden elde edilerek tekniklerin sınıflandırma başarımları; doğruluk oranı (accuracy - *acc*), duyarlılık oranı (sensitivity - *sn*), özgüllük oranı (specificity - *sp*), hassasiyet oranı (precision - *p*), F skoru (*f*) ve AUC (Area Under Curve) değerlerinin karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir. Makine öğrenmesi algoritmalarına ait sonuçlar, 2.4 GHz Intel i5-6200U işlemciye ve 12 GB RAM belleğine sahip olan sistem üzerinden elde edilmiştir.

4.1. Başarı Karşılaştırma Ölçütleri

Makine öğrenmesi tekniklerinin performanslarını değerlendirmek için farklı değerlendirme ölçütleri kullanılmaktadır. *acc*, *sn*, *sp*, *p*, *f* ve *AUC* en önemli ölçütlerdendir (Badem, 2019). *sn*, gerçek pozitif değerlerin pozitif olarak tahmin edilebilme oranını tanımlarken *sp*, gerçek negatif değerlerin negatif olarak tahmin edilebilme oranıdır. *Acc* ise *sp* ve *sn* birleştirilerek tek bir değer belirlemek için kullanılır yani toplam gerçek negatif ve gerçek pozitif değerlerin doğru tahmin edilme oranıdır (Badem, 2019) (Sokolova, ve ark., 2006). *p*, bir değer negatif ya da pozitif tahmin edilmesidir, yani algoritmanın tahmin etme gücünü gösterir (Sokolova, ve ark., 2006). *f* skoru, *sn* ve *p* ölçütlerinin harmonik ortalaması olarak ifade edilir (Badem, 2019). *AUC*, makine öğrenme tekniklerinde sınıflandırma etiketini doğru şekilde tahmin başarısını belirlemek için kullanılan önemli ölçütlerden bir tanesidir. *AUC*, ROC eğrisi altında kalan alanı ifade etmektedir. Bu ölçütler, aşağıdaki tanımlanan değerler üzerinden hesaplanmaktadır (Sokolova, ve ark., 2006; Badem, 2019; Yıldız ve Zan, 2019). Sınıflandırma başarımları ölçütlerini hesaplamak için hata matrisi (Confusion Matrix) yöntemi en çok tercih edilen yöntemlerin başında gelir. Örnek bir ikili sınıflandırmalı hata matrisi yapısı aşağıda Tablo-1'de verilmiştir (Hossin & Sulaiman, 2015).

Tablo 1. İkili sınıflandırma için kullanılan hata matrisi örneği

	GERÇEK POZİTİF ETİKET (1)	GERÇEK NEGATİF ETİKET (0)
TAHMİN EDİLEN POZİTİF ETİKET (1)	TP	FP
TAHMİN EDİLEN NEGATİF ETİKET (0)	FN	TN

TP : Pozitif olarak etiketlenen verinin pozitif olarak tahmin edilme sayısını ifade eder.

FP : Pozitif olarak etiketlenen verinin negatif olarak tahmin edilme sayısını ifade eder.

TN: Negatif olarak etiketlenen verinin negatif olarak tahmin edilme sayısını ifade eder.

FN : Negatif olarak etiketlenen verinin veriyi pozitif olarak tahmin edilme sayısını ifade eder.

Bir sınıflandırma sisteminde Acc , sn , sp , p , f ve AUC değerlerini hesaplama yöntemleri sırasıyla Eşitlik 1,2,3,4,5 ve 6 ile hesaplanmaktadır. (Hossin ve Sulaiman, 2015).

$$\text{Accuracy } (acc) = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$\text{ensitivity } (sn) = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$\text{Specificity } (sp) = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3)$$

$$\text{Precision } (p) = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

$$\text{F skor } (f) = 2 \times \frac{p \times sn}{p + sn} \quad (5)$$

$$\text{Area Under Curve } (AUC) = \frac{S_p - n_p (n_n + 1)/2}{n_p n_n} \quad (6)$$

Eşitlik 6'da belirtilen S_p , pozitif olarak tahmin edilmiş örneklerin toplamını, n_p ve n_n değerleri ise sırasıyla pozitif ve negatif örneklerin toplam sayılarını belirtmektedir (Hossin ve Sulaiman, 2015).

4.2. Deneysel Sonuçlar

Serviks kanseri risk durumunu sınıflandırmak için deneysel sonuçlar; DVM, KYK, KA, NB ve ROS makine öğrenme teknikleri ile 10 çapraz doğrulama yöntemiyle elde edilmiştir. Eğitilen makine öğrenmesi tekniklerinin sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur. Bu sonuçlar üzerinden elde edilen acc , sn , sp , p , f , AUC ölçütlerine ait hesaplama sonuçları ise Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2.Çalıştırılan makine öğrenme tekniklerine ait tahmin değerleri

	TP	FP	TN	FN
DVM	17	4	48	3
KYK	14	7	50	1
KA	12	9	46	5
NB	17	4	49	2
ROS	15	6	49	2

Tablo 3. Çalıştırılan makine öğrenme tekniklerine ait *acc*, *sn*, *sp*, *p*, *f*, *AUC* değerleri

	<i>ACC</i>	<i>SN</i>	<i>SP</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>AUC</i>
DVM	90,3%	0,850	0,923	0,809	0,828	0,97
KYK	88,9%	0,933	0,877	0,666	0,777	0,94
KA	80,6%	0,705	0,836	0,571	0,630	0,72
NB	91,7%	0,894	0,924	0,809	0,849	0,95
ROS	88,9%	0,882	0,890	0,714	0,789	0,92

Tablo 3 incelendiğinde; en yüksek doğruluk (*acc*) değerine sahip olan makine öğrenmesi tekniğinin 91,7% değeri ile NB olduğu görülmektedir. DVM, 90,3% doğruluk değeri ile en yüksek ikinci değere sahipken KYK, ROS ve KA’da sırasıyla 88,9%, 88,9% ve 80,6% doğruluk değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Doğruluk değerleri karşılaştırıldığında en yüksek doğruluk değerine sahip olan NB ile ikinci yüksek değere sahip olan DVM arasında nispeten az bir fark olduğu görülmektedir. Fakat, NB ile diğer makine öğrenmesi teknikleri arasında önemli bir fark bulunmaktadır. Özellikle NB, doğruluk değeri açısından KA tekniğine göre oldukça yüksek bir değer elde etmiştir.

Tablo 3’e göre sağlık davranışları ve bu davranışların belirleyici faktörlerine göre serviks kanseri riski bulunan kişileri doğru olarak tespit etme oranı *sn* değerine göre incelendiğinde KYK makine öğrenmesi tekniğinin diğer tekniklere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Yine *sn* değerleri karşılaştırıldığında en düşük başarıma sahip olan tekniğin KA olduğu görülmektedir. Ancak serviks kanseri riski bulunmayan bireyleri doğru tespit oranı olarak *sp* değerlerine göre karşılaştırma yapıldığında doğruluk oranı değerlerinde olduğu gibi NB makine öğrenmesi tekniğinin diğer tekniklere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Tablo 3’teki *sp* değerlerine bakıldığında ise NB ile DVM tekniklerinin birbirlerine oldukça yakın değerler aldığı görülürken NB’nin diğer tekniklere göre *sp* açısından çok daha yüksek değer alarak oldukça başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

Serviks kanseri riski bulunduğu tahmin edilen bireylerin gerçekte kaç tanesinin bu hastalığı taşıdığını gösteren p değerlerine göre teknikler karşılaştırıldığında NB ve DVM tekniklerinin aynı değeri alarak en başarılı teknik oldukları görülmektedir. KYK, KA ve ROS teknikleri ise p değerleri açısından NB ve DVM'ye göre daha az başarılıdır. Özellikle en düşük p değerine sahip KA'nın oldukça rakiplerinden oldukça geride sonuç verdiği anlaşılmaktadır. Diğer karşılaştırma ölçütü olan f değerine bakıldığında NB'in diğer tekniklere göre daha yüksek bir başarı elde ettiği görülmektedir.

Makine öğrenmesi tekniklerinin başarımlarını karşılaştırmak için kullanılan en önemli yöntemlerden biri olan AUC değerleri incelendiğinde ise en yüksek başarıyı DVM'nin elde ettiği görülmektedir. Fakat DVM AUC değeri açısından NB, KYK ve ROS teknikleriyle arasında çok küçük miktarda fark bulunmaktadır. DVM, KYK, NB ve ROS tekniklerinin KA'ya göre ise oldukça yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Tüm bu ölçütlerin genel karşılaştırması neticesinde NB tekniğinin 6 karşılaştırma ölçütünden 4'ünde daha üstün başarı elde ettiği görülmüştür. Davranışlara göre serviks kanseri riskini sınıflandırma başarımları açısından NB'in diğer makine öğrenmesi tekniklerine göre daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada serviks kanserinin davranışlara göre risk durumunun belirlenmesi ve erken teşhisinin yapılabilmesi için en başarılı makine öğrenmesi tekniğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle UCI makine öğrenmesi deposunda erişime sunulan riskli davranış ve bu davranışlara ait belirleyici faktörler üzerinden serviks kanseri veri seti kullanılmıştır. DVM, KYK, KA, NB ve ROS makine öğrenmesi teknikleri ile serviks kanseri risk durumları sınıflandırılmıştır. Kullanılan yöntemlerde 6 farklı ölçüt üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en başarılı makine öğrenmesi tekniğinin NB olduğu görülmüştür.

Serviks kanseri risk durumlarının belirlenmesi sonucunda davranış önleme yöntemi uygulayarak bu kanserin önüne geçilebilir. Dolayısıyla bu çalışmada serviks kanserinin davranış yoluyla önlenmesi açısından umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

Literatüre, davranışlar ve makine öğrenmesi teknikleri ile hastalıkların tespit edilmesine yönelik bir çalışma kazandırarak bu yöndeki eksiklik bir miktar giderilmiş de olsa hala bu iki alanın birlikte kullanılarak hastalık teşhis edilmesi ile ilgili yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Serviks kanserine yönelik özel geliştirilecek bir makine öğrenmesi yönteminin elde edilen sonuçları daha ileriye taşıyacağı öngörülebilir. Ayrıca serviks kanseri riskini artıran davranışlar ve davranış belirleyicileri üzerine öznelik seçme çalışmalarının gerçekleştirilmesinin gelecekte yapılacak çalışmalar açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- WHO, (2020). *WHO report on cancer: setting priorities, investing wisely and providing care for all*. Geneva: World Health Organization 2020.
- AÇIKGÖZ, A., ÇEHRELİ, R., & ELLİDOKUZ, H. (2011). Kadınların Kanser Konusunda Bilgi ve Tutumları ile Erken Tanı Yöntemlerine Yönelik Davranışları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 25(3), 145-154.
- AJZEN, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *ORGANIZATIONAL BEHAVIOR AND HUMAN DECISION PROCESSES*, 50, 179-211.
- AJZEN, I. (2006). *Behavioral Interventions Based on the Theory of Planned Behavior*. ResearchGate.
- AKYÜZ, A., GÜVENÇ, G., YAVAN, T., ÇETİNTÜRK, A., & KÖK, G. (2006). Kadınların Pap smear yaptıрма durumları ile bunu etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Gülhane Tıp Dergisi*, 48, 25-29.
- ASLAN, M. F., ÇELİK, Y., SABANCI, K., & DURDU, A. (2018). Breast Cancer Diagnosis by Different Machine Learning Methods Using Blood Analyses Data. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 6(4), 289-293. doi:10.18201/ijisae.2018648455
- BADEM, H. (2019). PARKİNSON HASTALIĞININ SES SİNYALLERİ ÜZERİNDEN MAKİNE ÖĞRENME Sİ TEKNİKLERİ İLE TANIMLANMASI. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 630-637. doi:10.28948/ngumuh.524658
- BANDURA, A. (2004). Health Promotion by Social Cognitive Means. *Health Education & Behavior*, 31(2), 143-164. doi:10.1177/1090198104263660
- BANURA, C., MIREMBE, F. M., KATAHOIRE, A. R., NAMUJU, P. B., & MBIDDE, E. K. (2012). Universal routine HPV vaccination for young girls in Uganda: a review of opportunities and potential obstacles. *Infectious Agents and Cancer*, 7(24).
- BOYRAZ, Ö., SEYMEN, V., BOZKURT, M., & ÖZDEMİR, Ç. (2014). Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak Kalp Hastalığı Tespiti. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION IN MATHEMATICS, SCIENCE & TECHNOLOGY (ICEMST 2014)*. Konya, Turkey.

- CHAMROONSAWASDI, K., CHONNADTANAPUND, S., PAMUNGKAS, R. A., TUNYASSITTHISUNDGORN, P., SORNPAISARN, B., & NUMPAISAN, O. (2020). Protection motivation theory to predict intention of healthy eating and sufficient physical activity to prevent Diabetes Mellitus in Thai population: A path analysis. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 15, 121-127.
- CONNER, M. (2010). Cognitive Determinants of Health. *Handbook of Behavioral Medicine* (s. 19-30). içinde New York: Springer. doi:10.1007/978-0-387-09488-5_2
- ÇALIŞKAN, A., BADEM, H., BAŞTÜRK, A., & YÜKSEL, M. E. (2017). Diagnosis of the Parkinson disease by using deep neural network classifier. *Istanbul University - Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 17(2), 3311-3318.
- DEMİRGÖZ BAL, M., & CANBULAT ŞAHİNER, N. (2020). The Effect of Health Belief Model-Based Training on Cervical Cancer Screening Behaviours. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 10(3), 223-227.
- DUNLEAVEY, R. (2009). *Cervical Cancer: A Guide for Nurses*. Blackwell Publishing, p.1.
- ESİN, N. M. (2020). *Sağlığı Geliştirme*. (M. N. ESİN, Dü.) İstanbul: İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ AÇIK VE UZAKTAN EĞİTİM FAKÜLTESİ HEMŞİRELİK LİSANS PROGRAMI.
- GÖZÜM, S., & ÇAPIK, C. (2014). Sağlık Davranışlarının Geliştirilmesinde Bir Rehber: Sağlık İnanç Modeli. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Elektronik Dergisi*, 7(3), 230-237.
- HOSSIN, M., & SULAIMAN, M. N. (2015). A Review on Evaluation Metrics for Data Classification Evaluations. *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, 5(2), 01-11. doi: 10.5121/ijdkp.2015.5201
- KANBUR, A., & ÇAPIK, C. (2011). Servikal Kanserden Korunma, Erken Tanı Tarama Yöntemleri ve Ebe/Hemşirenin Rolü. *Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Dergisi*, 61-72.
- KARACAOĞLAN, D. (2016). Kadınların Serviks Kanseri Risk Faktörleri Ve Erken Tanı Yöntemlerine İlişkin Bilgi Ve Uygulamaların Belirlenmesi. Lefkoşa: Yakın Doğu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

- KAVZOĞLU, T., & ÇÖLKESEN, İ. (2010). Karar Ağaçları İle Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması:Kocaeli Örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1), 36-45.
- KISSAL, A. (2012). *Sağlığı Geliştirme Modelleri ile Yapılan Hemşirelik Girişimlerinin Yaşlı Kadınlarda Meme ve Serviks Kanserine Yönelik Erken Tanı Davranışlarına Etkisi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- ROKACH, L., & MAIMON, O. (2005). Decision Trees. *The Data Mining and Knowledge Discovery Handbook* (s. 167). içinde doi:10.1007/0-387-25465-X_9
- LIU, Y. H. (2017). News Topic Classification with Support Vector Machine. *Python Machine Learning by Example* (s. 90). içinde Burmingham - Mumhai: ProQuest Ebook.
- LIU, Y. H. (2017). Spam Email Detection with Naive Bayes. *Python Machine Learning by Example* (s. 62). içinde Burmingham-Mumbhai: ProQuest Ebook Central. 01 02, 2021 tarihinde alındı
- MEHREBAN, S. S., NAMDAR, A., & NAGHIZADEH, M. M. (2018). Assessment of Preventive Behavior for Cervical Cancer with Health Belief Model. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 19(8), 2155-2163.
- OLGUN, N., & AKDOĞAN ALTUN, Z. (2012). Sağlık İnanç Modeli Doğrultusunda Verilen Eğitimin Diyabet Hastalarının Bakım Uygulamalarına Etkisi. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 19(2), 46-57.
- ÖZEKES, S., & KARAKOÇ, E. N. (2019). Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Anormal Ağ Trafiğinin Tespit Edilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 566-576.
- ÖZEN ÇINAR, İ., & KARA, E. (2020). Evaluation of Awareness of Cervical Cancer and Pap Smear Test of Working Women by Helath Belief Model. *Bezmialem Science*, 8(2), 113-119.
- PRASETYO, Y. T., CASTILLO, A. M., SALONGO, L. J., SIA, J. A., & SENETA, J. A. (2020). Factors affecting perceived effectiveness of COVID-19 prevention measures among Filipinos during Enhanced Community Quarantine in Luzon, Philippines: Integrating Protection Motivation Theory and extended Theory of Planned Behavior. *International Journal of Infectious Diseases*, 99, 312-322.

- RHH: Rural Health Information Hub., 13/12/2020 tarihinde <https://www.ruralhealthinfo.org/toolkits/health-promotion/2/theories-and-models/social-cognitive> adresinden alındı
- SEVLİ, O. (2019). Göğüs Kanseri Teşhisinde Farklı Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Performans Karşılaştırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(16), 176-185. doi:10.31590/ejosat.553549
- SOBAR, S., MACHMUD, R., & WIJAYA, A. (2016). Behavior Determinant based Cervical Cancer Early Detection with Machine Learning Algorithm. *Advanced Science Letters*, 22, 3120-3123.
- SOBAR, S., MACHMUD, R., & WIJAYA, A. (2019). UCI Machine Learning Repository [<http://archive.ics.uci.edu/ml>]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science.
- SOKOLOVA, M., JAPKOWICZ, N., & SZPAKOWICZ, S. (2006). Beyond Accuracy, F-score and ROC: a Family of Discriminant Measures for Performance Evaluation. *Lecture Notes in Computer Science*. 4304, s. 1015-1021. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/11941439_114
- SÖNMEZ, Y., NAYIR, T., KÖSE, S., GÖKÇE, B., & KİŞİOĞLU, A. N. (2012). Bir Sağlık Ocağı Bölgesinde 20 Yaş ve Üzeri Kadınların Meme ve Serviks Kanseri Erken Tanısına İlişkin Davranışları. *S.D.Ü. Tıp Fakültesi Dergisi*, 19(4), 124-130.
- TAŞÇI, A. E., & ONAN, A. (2016). K-En Yakın Komşu Algoritması Parametrelerinin Sınıflandırma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Akademik Bilişim*, 1-18.
- TÜRKYILMAZ, M., HACIKAMİLOĞLU, E., BARAN DENİZ, E., BOZTAŞ, G., DÜNDAR, S., KAVAK ERGÜN, A., SEYMEN, E. (2018). *TÜRKİYE KANSER İSTATİSTİKLERİ 2015*. Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. Ankara: Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı.
- WEEGER, R., & SUNDSTRÖM, K. (2020). Using machine learning for predicting cervical cancer from Swedish electronic health records by mining hierarchical representations. *PLoS ONE*, 15(8), 1-19. doi:10.1371/journal.pone.0237911
- World Health Organization (WHO). (tarih yok). Kasım 23, 2020 tarihinde https://www.who.int/health-topics/cervical-cancer#tab=tab_1 adresinden alındı

- YILDIZ, A., & ZAN, H. (2019). Segmentasyon yapmadan patolojik kalp sesi kayıtlarının tespiti için bir örüntü sınıflandırma algoritması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 77-91.
- YILMAZ AKŞEHİRLİ, Ö., ANKARALI, H., AYDIN, D., & SARAÇLI, Ö. (2013). Tıbbi Tahminde Alternatif Bir Yaklaşım: Destek Vektör Makineleri. *Türkiye Klinikleri J Biostat*, 5(1), 19-28.
- YILMAZ, E., AL_RUBAIE, M., & CHANG, j. M. (2020). Naive Bayes Classification under Local Differential Privacy. *2020 IEEE 7th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, (s. 709-718). Sydney, Australia. doi:10.1109/DSAA49011.2020.00081

Bölüm 4

ÇEŞİTLİ YAPAY SİNİR AĞLARI

İLE TRANSİSTÖRÜN GÜRÜLTÜ

PARAMETRELERİNİN MODELLENMESİ*



Ahmet Arif ULUSLU¹

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

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

1- Mikrodalga Transistörü Parametreleri

Bu kısımda transistör gürültü parametreleri hakkında bilgi verilmiştir.

1.1- Gürültü Parametreleri

Bir aktif cihazın F olan gürültü parametresi giriş ve çıkışlardaki uygun oranlardaki sinyalin gürültüye oranı olarak tanımlanır. Gürültü $\vec{N}$ vektörü, transistör gürültü parametresi olan F in giriş kaynağındaki yansıma katsayısı olan Γ_s e bağımlılığını tanımlar.

Bunlar (1.1) daki ilişki ile birbirine bağlıdır.

$$F(\Gamma_s, \vec{N}) = F_{\min} + 4 \frac{R_N}{Z_0} \frac{|\Gamma_s - \Gamma_{opt}|^2}{(1 - |\Gamma_s|^2) |1 + \Gamma_{opt}|^2} \quad (1.1)$$

gürültü vektörü olarak gösterilen $\vec{N}$ 4 adet ölçülebilir gürültü parametresi içerir. Ayrıca bunlar transistörü kendi yapısından bağımsız olarak iki portlu bir şekilde nitelendirebilir.(1.2)

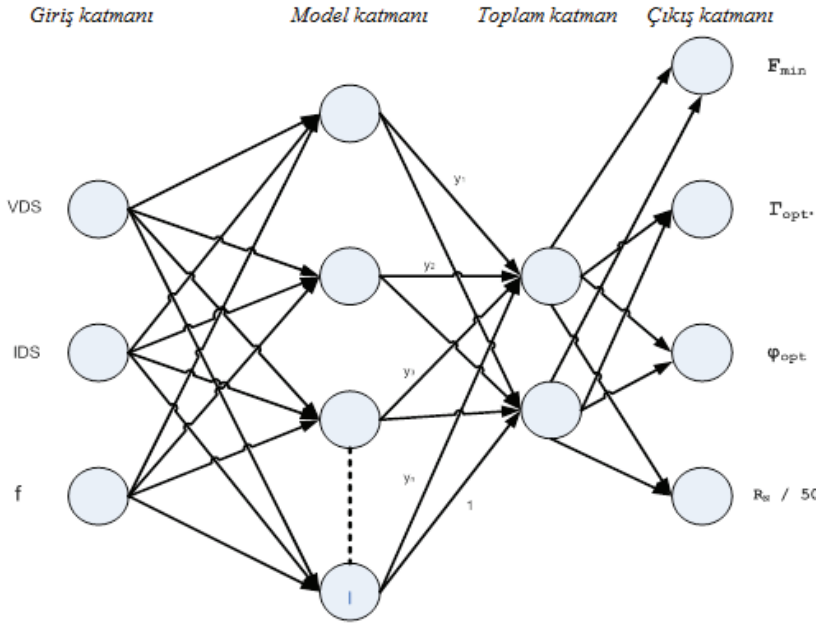
$$\vec{N} = [F_{\min}, |\Gamma_{opt}|, \varphi_{opt}, R_n / 50]^t \quad (1.2)$$

Burada, $F_{\min}$, transistörün uygun olan minimum gürültü parametresidir. Ayrıca bu parametre, transistörün Γ_{opt} ve R_n gürültü direnci ile sürüldüğü zaman elde edilebilir.

1.2- Gürültü Sinir Ağı Modelleri

Belirlenen aktif elemanın gürültü modelinin oluşturulması amacıyla kutuplama parametreleri ile gürültü parametrelerinin ilişkilendirilmesi yapay sinir ağı yapıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sinir ağı modeli iki farklı mimaridedir. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi gürültü

ağın giriş katmanında 3 adet ve çıkış katmanında ise 4 adet nöron kullanılmıştır.



Şekil 1.1 Gürültü mimarisinin şematik diyagramı

2- Uygulama Örneği: Gürültü Modeli

2.1- Tek Kutuplamalı Eğitim Modeli ve Test Verisi

Transistörün gürültü parametreleri, $V_{DS} = \{1,5V, 2V, 3V \text{ ve } 4V\}$ kutuplama gerilimi ve her kutuplama gerilimi için $I_{DS} = \{5mA, 10mA, 15mA \text{ ve } 20mA\}$ kutuplama akımından oluşan toplam 16 adet kutuplama koşulunda 2-17 GHz frekans aralığında elde edilmiş olan üretici verilerinden elde edilmiştir. Gürültü verileri 16 ayrı frekans noktasında tanımlanmıştır. Modelin eğitim ve test verisi 4 farklı veri grubu için oluşturulmuştur:

- Ekstrapolasyon-I: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 1,5V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15 \text{ ve } 20)$ mA olmak üzere 64 veri, test verisi ise $V_{ds} = (2, 3 \text{ ve } 4) V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15 \text{ ve } 20)$ mA olmak üzere 192 adet veri içermektedir.
- Ekstrapolasyon-II: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 2V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15 \text{ ve } 20)$ mA olmak üzere 64 veri, test verisi ise $V_{ds} = (1,5, 3 \text{ ve } 4) V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15 \text{ ve } 20)$ mA olmak üzere 192 adet veri içermektedir.
- Ekstrapolasyon-III: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 3V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15 \text{ ve } 20)$ mA olmak üzere 64 veri, test verisi ise $V_{ds} = (1,5, 2 \text{ ve } 4) V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15 \text{ ve } 20)$ mA olmak üzere 192 adet veri içermektedir.
- Ekstrapolasyon-IV: Eğitim Verisi, $V_{ds} = 4V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15 \text{ ve } 20)$ mA olmak üzere 64 veri, test verisi ise $V_{ds} = (1,5, 2 \text{ ve } 3) V$ & $I_{ds} = (5, 10, 15 \text{ ve } 20)$ mA olmak üzere 192 adet veri içermektedir.

Sinir ağı modelinin eğitim ve test verileri farklı değer aralıklarına sahiptir.

2.2- Sinir Ağı Model Sonuçları

Transistörün gürültü davranışını modellemek amacıyla sinir ağı yapısı oluşturulmuş ve bu ağıın eğitim ve test performansları ise farklı veri grupları kullanılarak değerlendirilmiştir. ANN temelli sinir ağlarının elde ettikleri optimum ağırlık kümesi, aynı verilerle eğitim işleminde farklılık göstermediğinden, eğitim veya test performansları da aynı uygulamayı her denemede aynı değerleri vermektedir (MLP hariç). Elde edilen sinir ağı modellerinin farklı veri kümeleri için eğitim ve test performansları takip eden alt bölümlerde verilmiştir. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 de ortalama eğitim hatası tablo olarak verilmiştir.

Çizelge 2.1 Sinir ağı modellerinin eğitim performansları

Ortalama Eğitim Hatası (mse)	
Ekstrapolasyon Uygulaması MLP	0.0026
Ekstrapolasyon Uygulaması GRNN	0.0014
Ekstrapolasyon Uygulaması RBE	6.0454e-032
Ekstrapolasyon Uygulaması RB	1.3458e-026

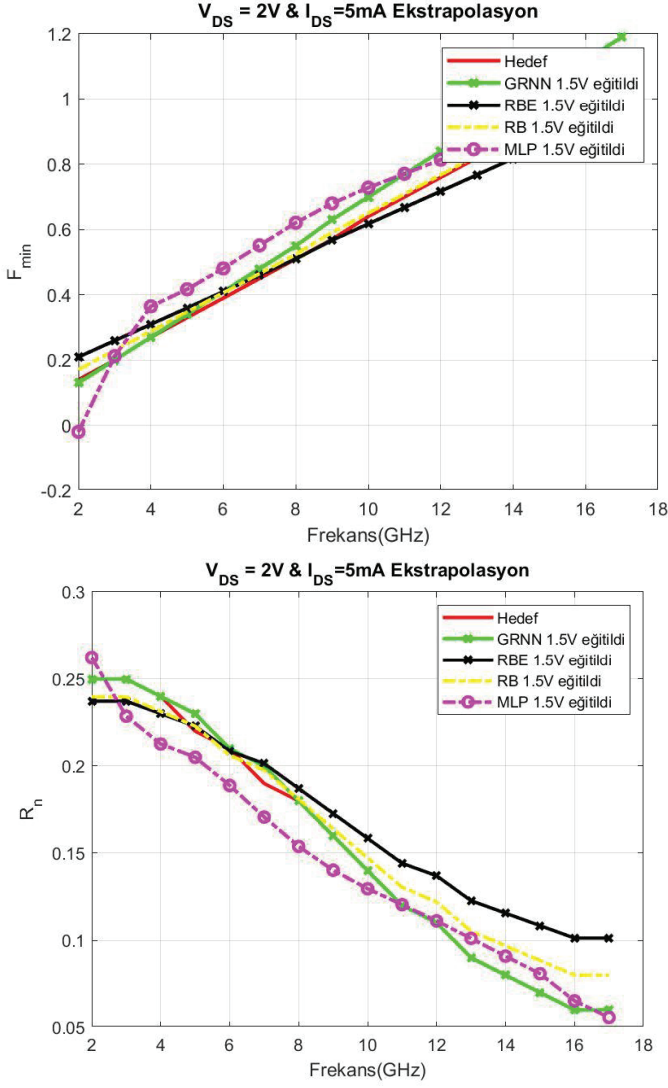
Çizelge 2.2 Sinir ağı modellerinin test performansları

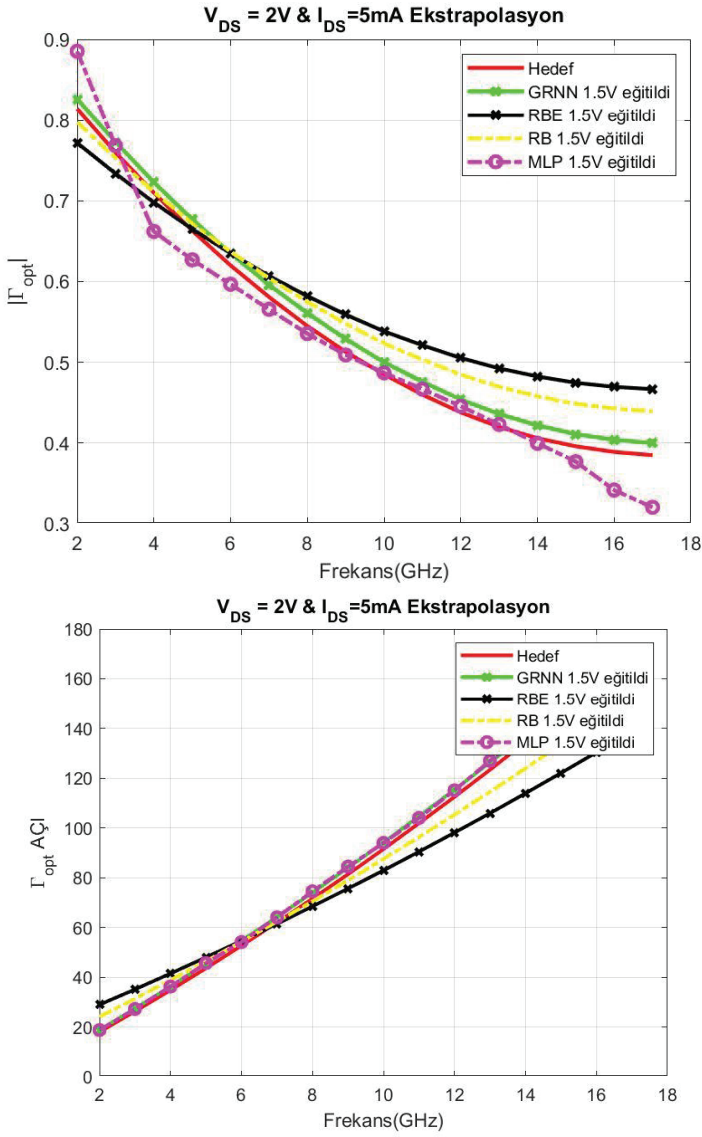
Ortalama Test Hatası (mse)	
Ekstrapolasyon Uygulaması MLP	0.0765
Ekstrapolasyon Uygulaması GRNN	0.0110
Ekstrapolasyon Uygulaması RBE	0.0402
Ekstrapolasyon Uygulaması RB	0.0765

2.2.1- Ekstrapolasyon-I Uygulaması

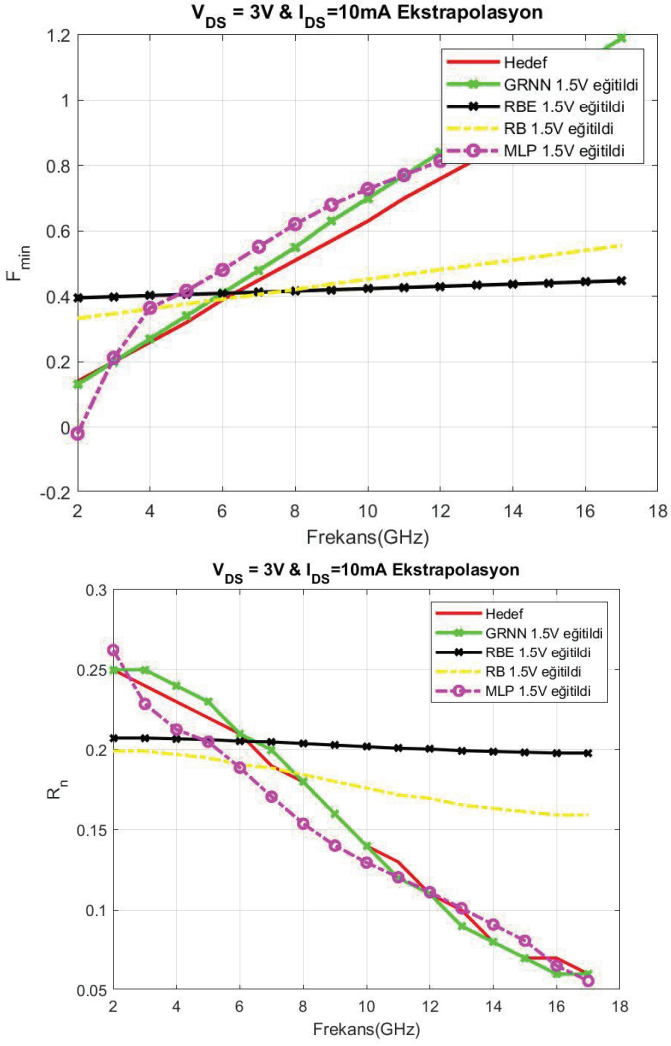
1.5V eğitim dataları kullanılarak farklı yapay sinir ağları ile eğitilen verilerden elde edilen test sonuçları Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 da sırası ile 2V 5mA, 3V 10mA ve 4V 15mA için görülecektir. GRNN, RBE, RB ve MLP'nin tahmin ve sonuçlarını aynı anda görebilmek adına tek grafikte çizim yapılmıştır. Sonuçlarda RBE ve RB kısmi olarak başarısız test dataları ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir.

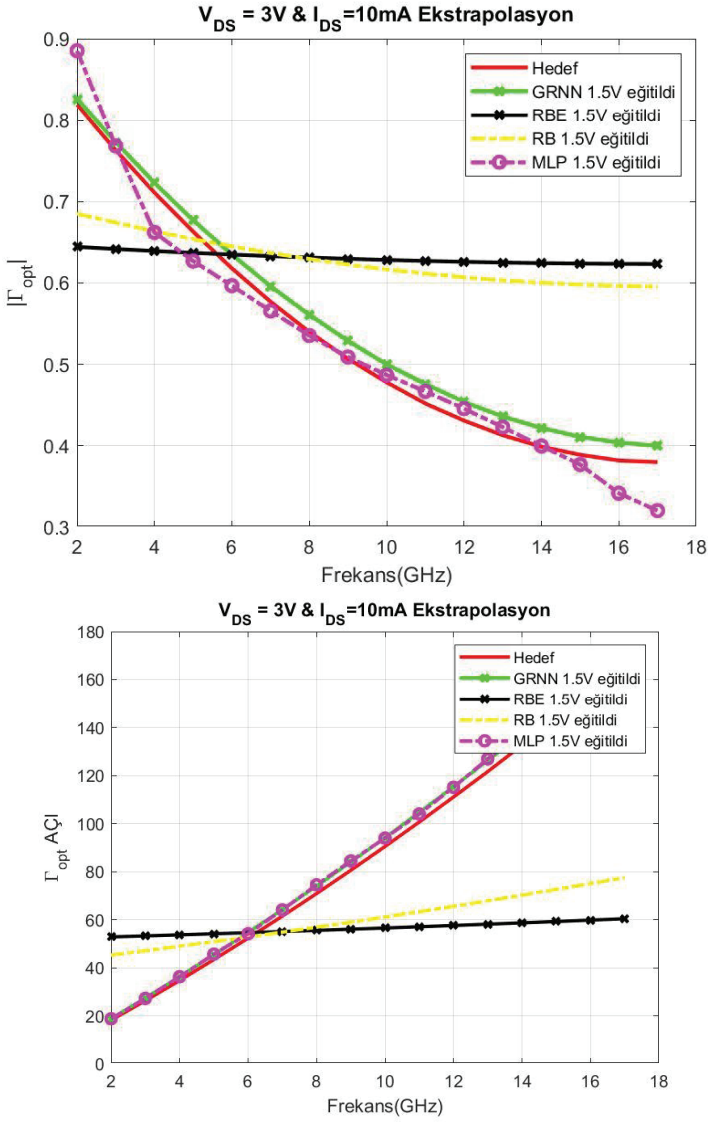
Detay olarak MLP de 400 iterasyon denemesi yapılmış 208 inci iterasyon denemesi en iyi neticeyi vermiştir. Her biri için üçüncü deneme sonuçları gösterilmiştir. Her deneme de sadece MLP farklı sonuç vermiştir.

Şekil 2.1 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi

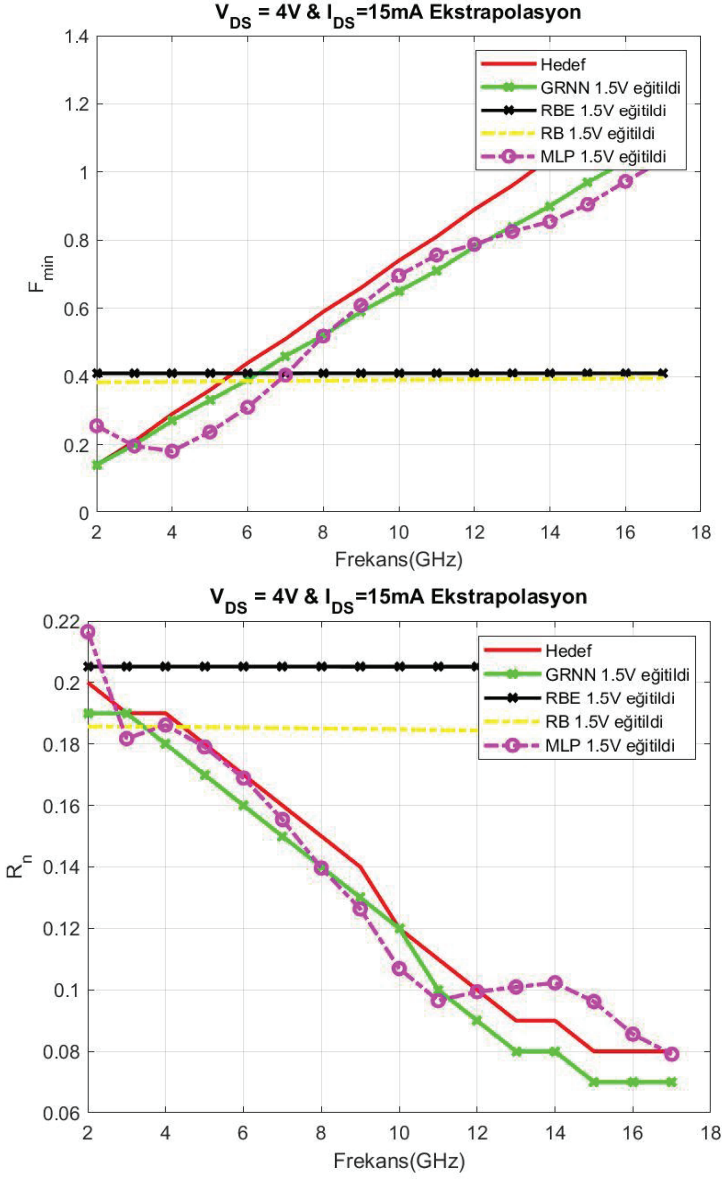


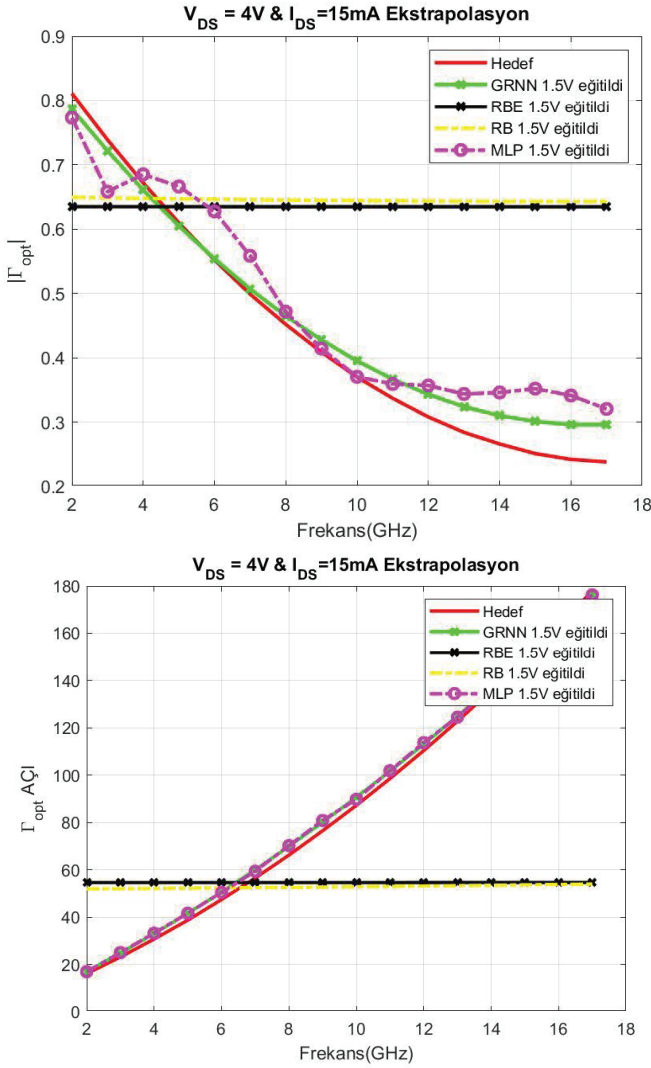
Şekil 2.2 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve φ_{opt} (açı) değişimi

Şekil 2.3 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 2.4 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

Şekil 2.5 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



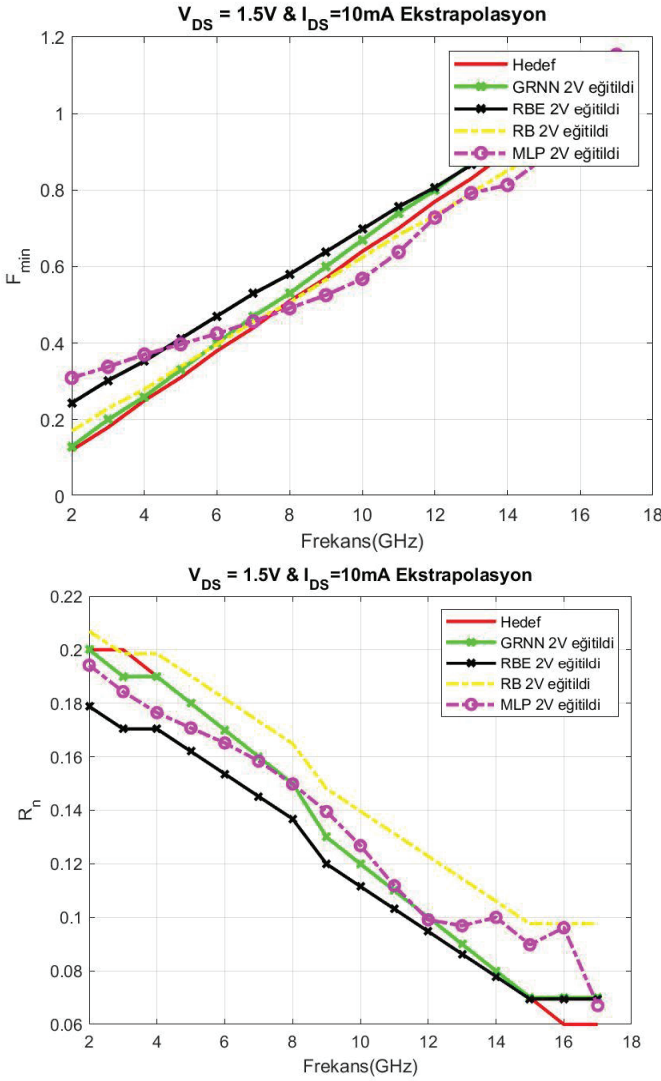
Şekil 2.6 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

2.2.2- Ekstrapolasyon-II Uygulaması

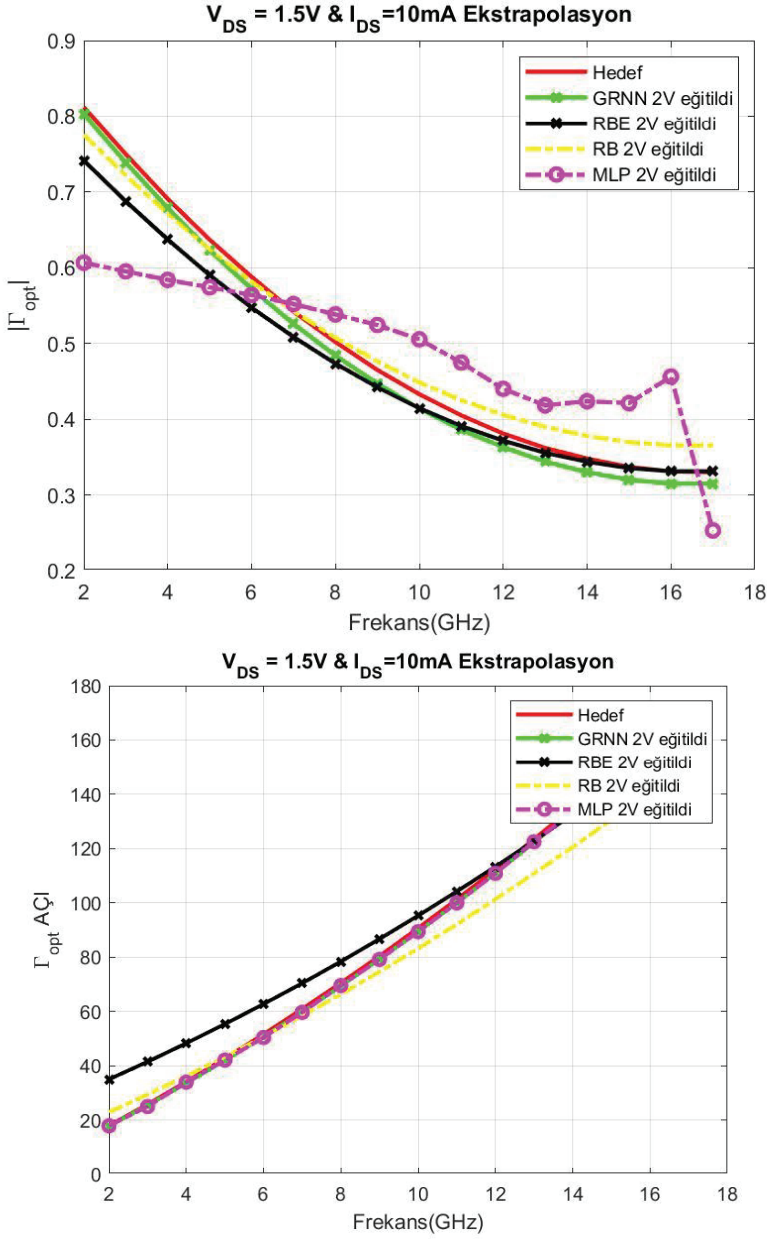
2V eğitim dataları kullanılarak farklı yapay sinir ağları ile eğitilen verilerden elde edilen test sonuçları Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9 Şekil 2.10, Şekil 2.11 ve Şekil 2.12 da sırası ile 1.5V 10mA, 3V 15mA ve 4V 20mA için görülecektir. GRNN, RBE, RB ve MLP'nin tahmin ve

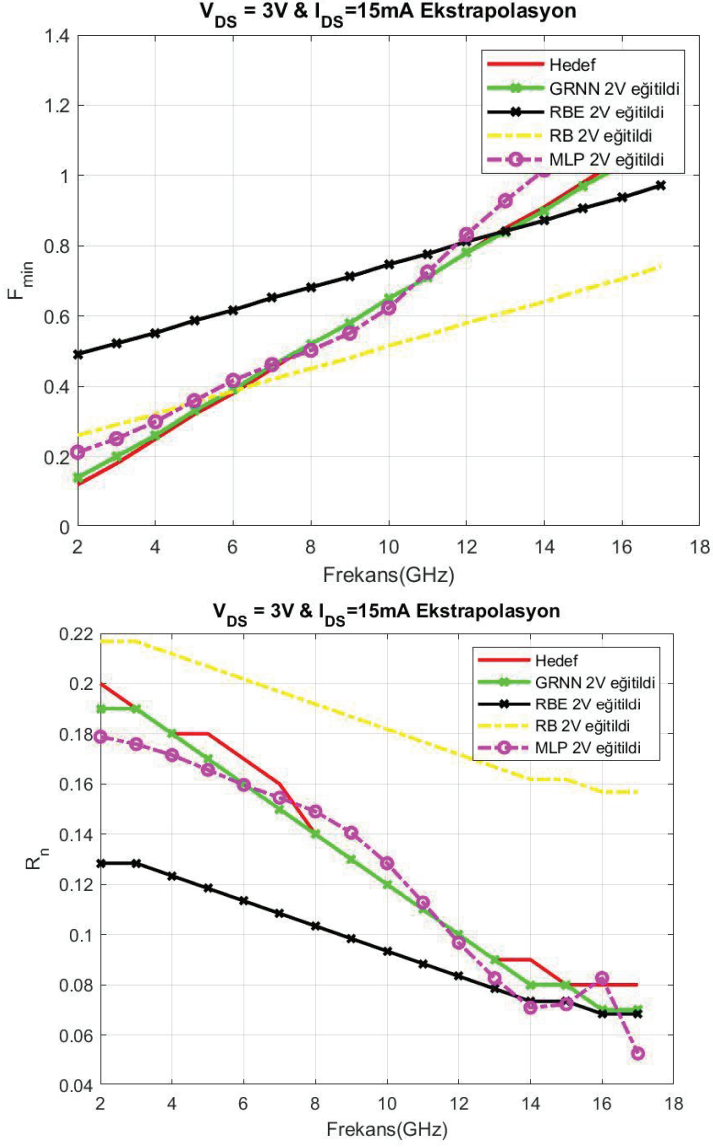
sonuçlarını aynı anda görebilmek adına tek grafikte çizim yapılmıştır. Sonuçlarda RBE ve RB kısmi olarak başarısız test dataları ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir.

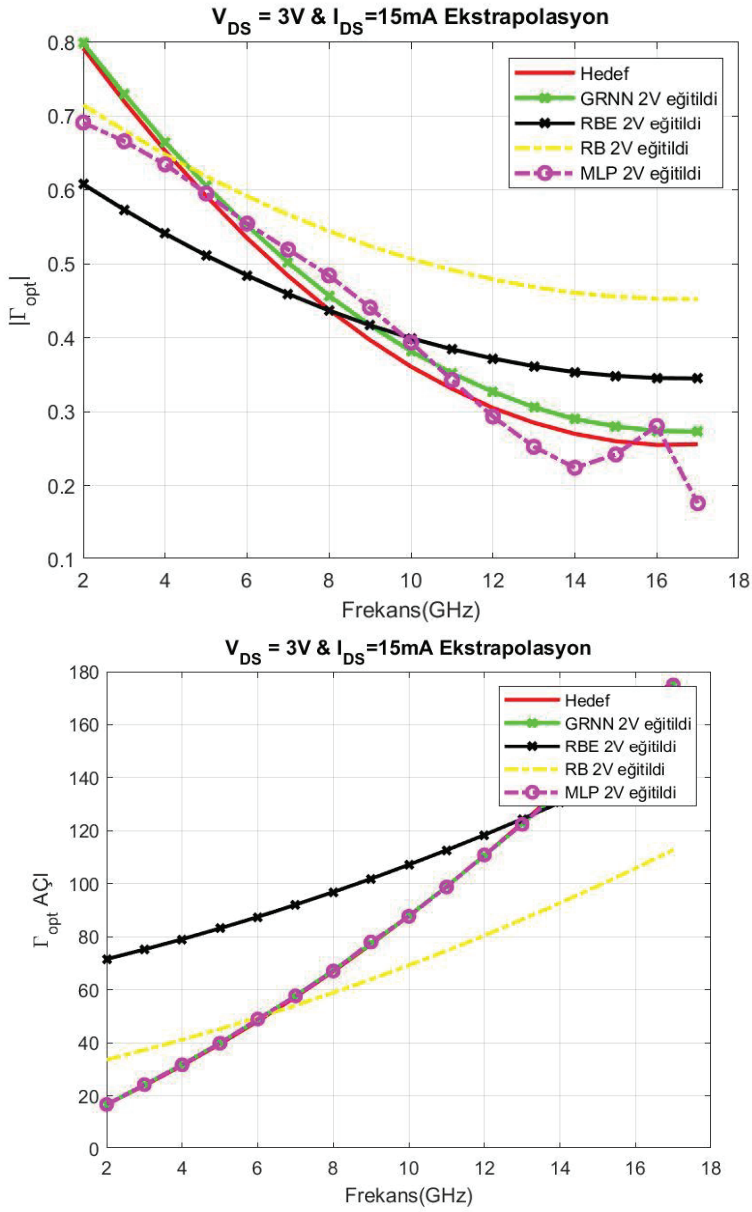
Detay olarak MLP de 400 iterasyon denemesi yapılmış 245 inci iterasyon denemesi en iyi neticeyi vermiştir. Her biri için üçüncü deneme sonuçları gösterilmiştir. Her deneme de sadece MLP farklı sonuç vermiştir.



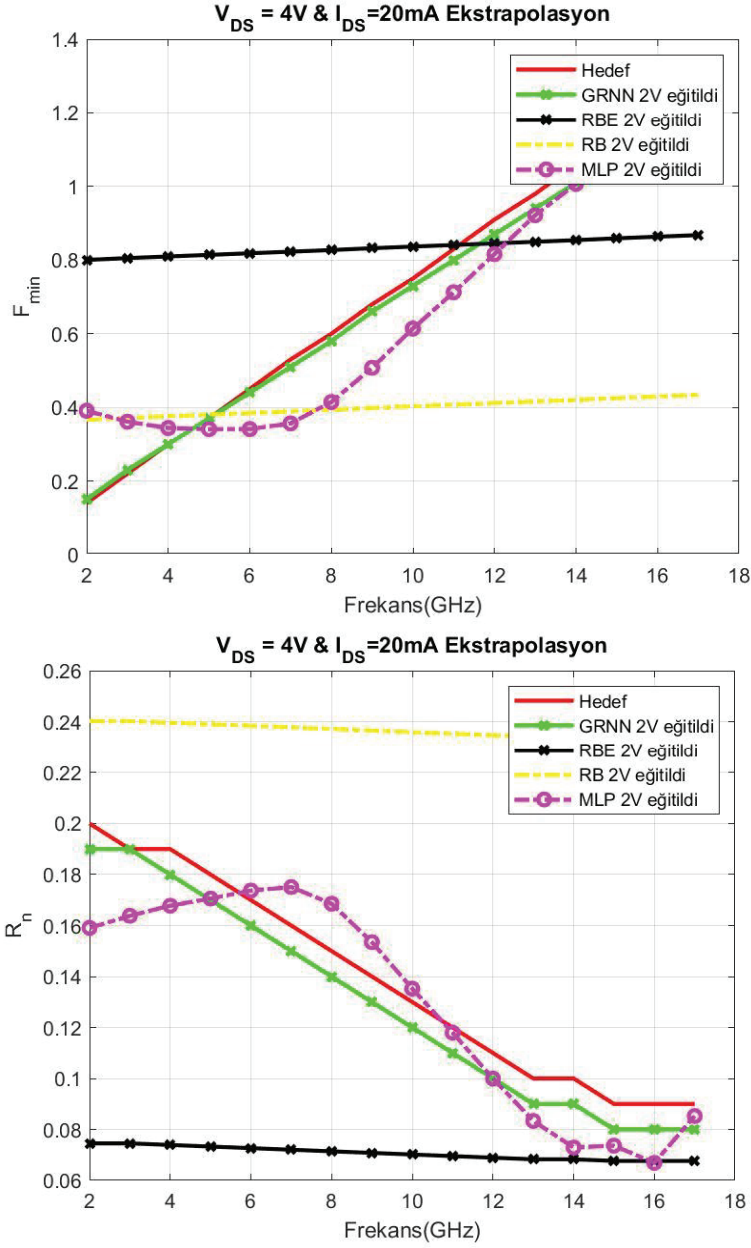
Şekil 2.7 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi

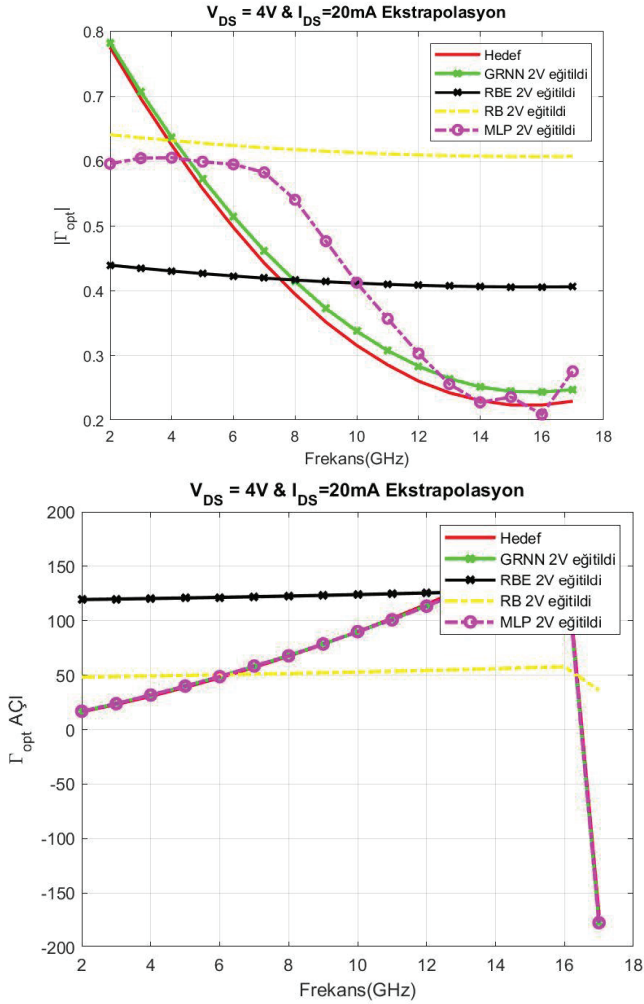
Şekil 2.8 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

Şekil 2.9 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 2.10 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

Şekil 2.11 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi

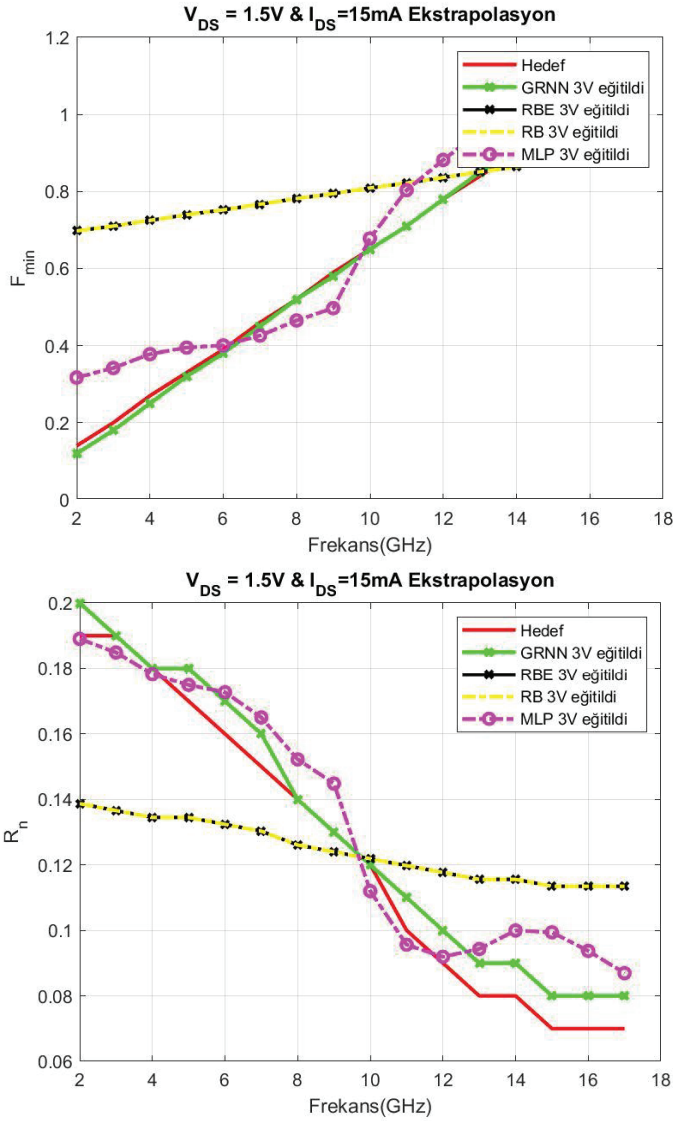
Şekil 2.12 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

2.2.3- Ekstrapolasyon-III Uygulaması

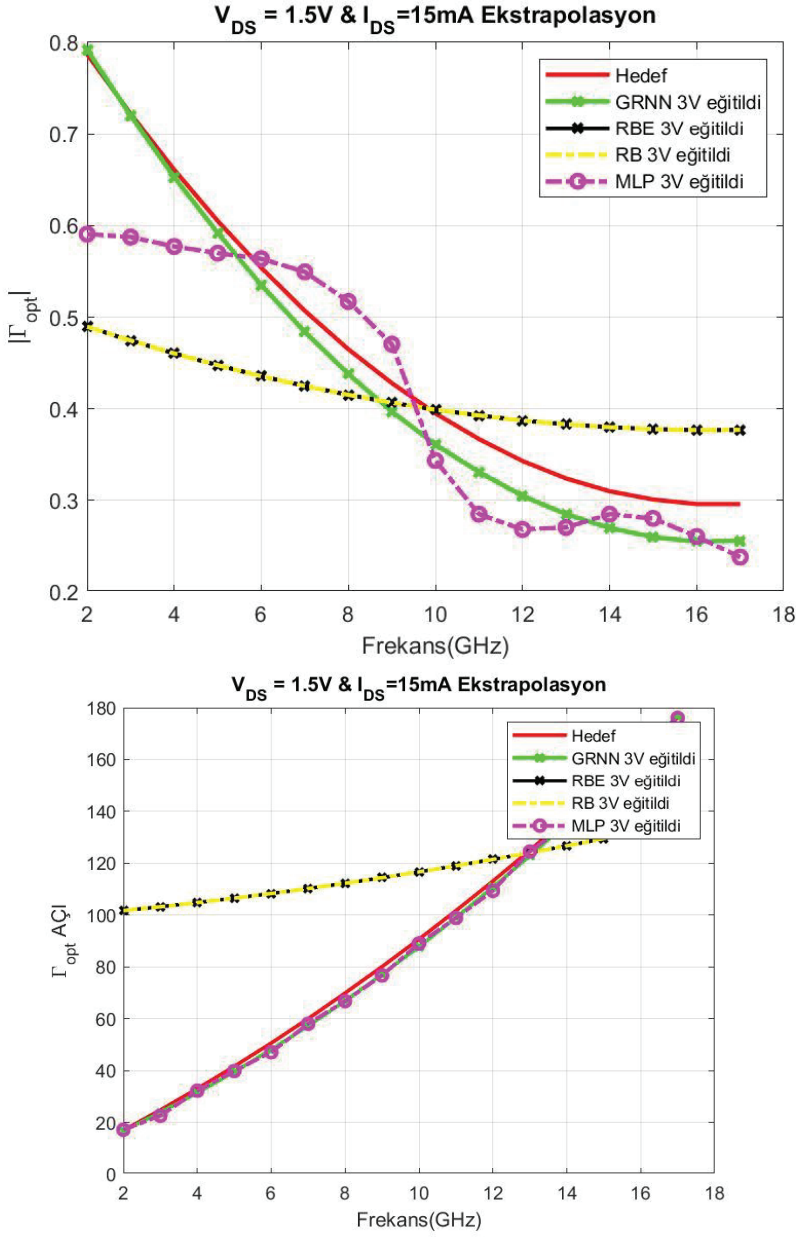
3V eğitim dataları kullanılarak farklı yapay sinir ağları ile eğitilen verilerden elde edilen test sonuçları Şekil 2.13, Şekil 2.14, Şekil 2.15 Şekil 2.16, Şekil 2.17 ve Şekil 2.18 da sırası ile 1.5V 15mA, 2V 20mA ve 4V 5mA için görülecektir. GRNN, RBE, RB ve MLP'nin tahmin ve sonuçlarını aynı anda görebilmek adına tek grafikte çizim yapılmıştır.

Sonuçlarda RBE ve RB kısmi olarak başarısız test dataları ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir.

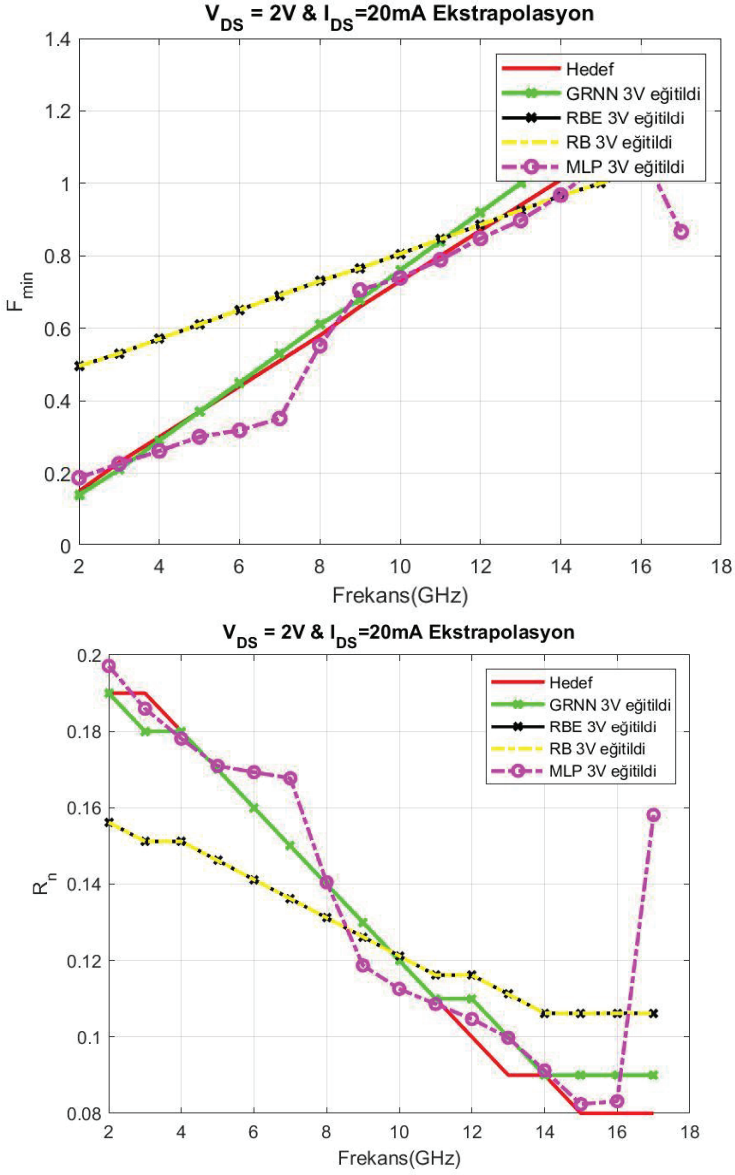
Detay olarak MLP de 400 iterasyon denemesi yapılmış 225 inci iterasyon denemesi en iyi neticeyi vermiştir. Her biri için üçüncü deneme sonuçları gösterilmiştir. Her deneme de sadece MLP farklı sonuç vermiştir.

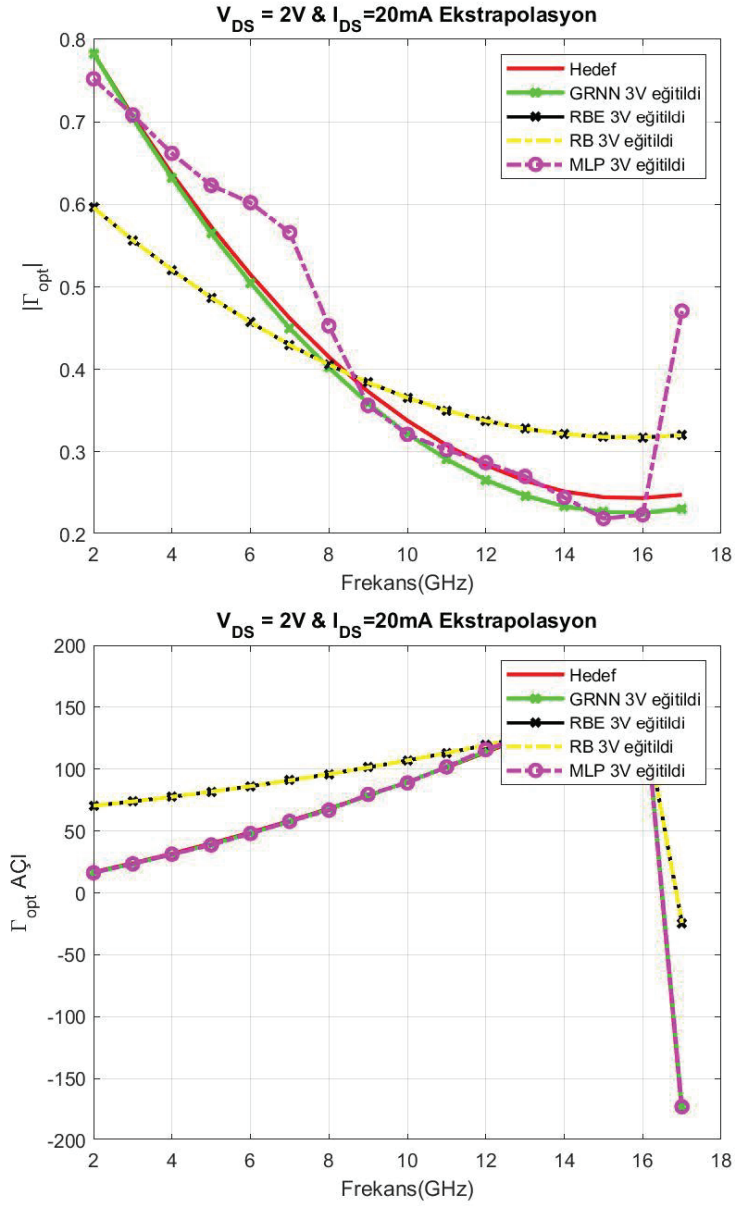


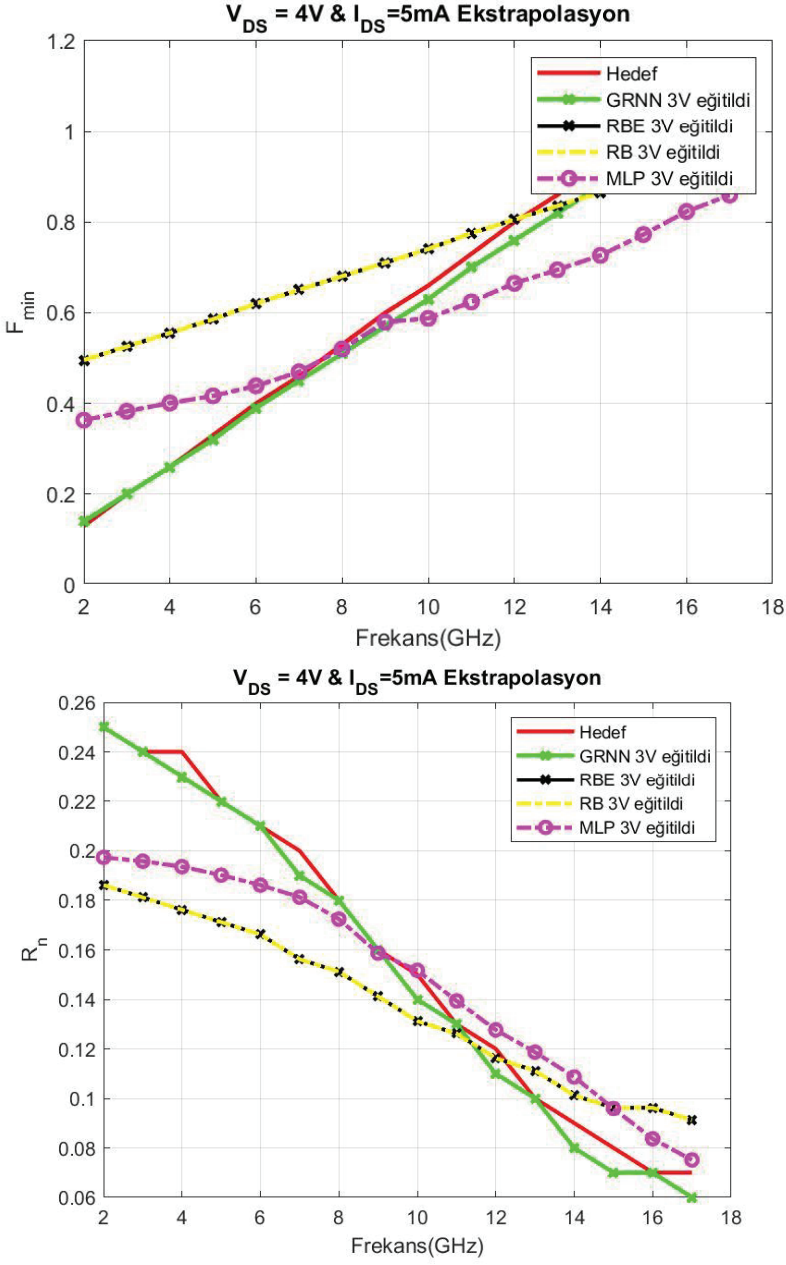
Şekil 2.13 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi

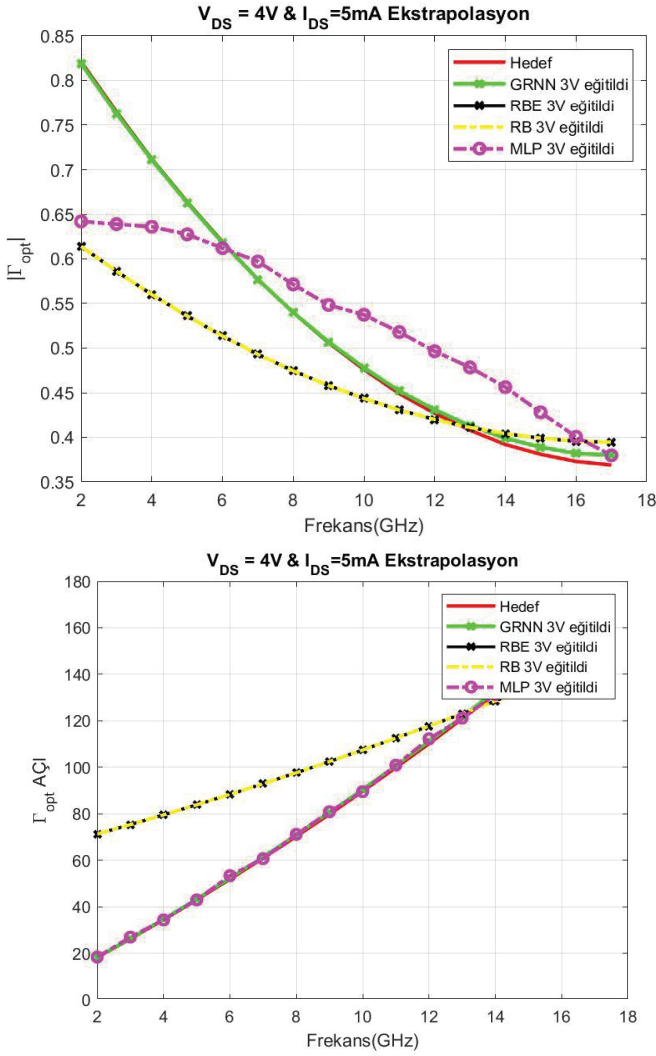


Şekil 2.14 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve φ_{opt} (açı) değişimi

Şekil 2.15 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi

Şekil 2.16 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve φ_{opt} (açı) değişimi

Şekil 2.17 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



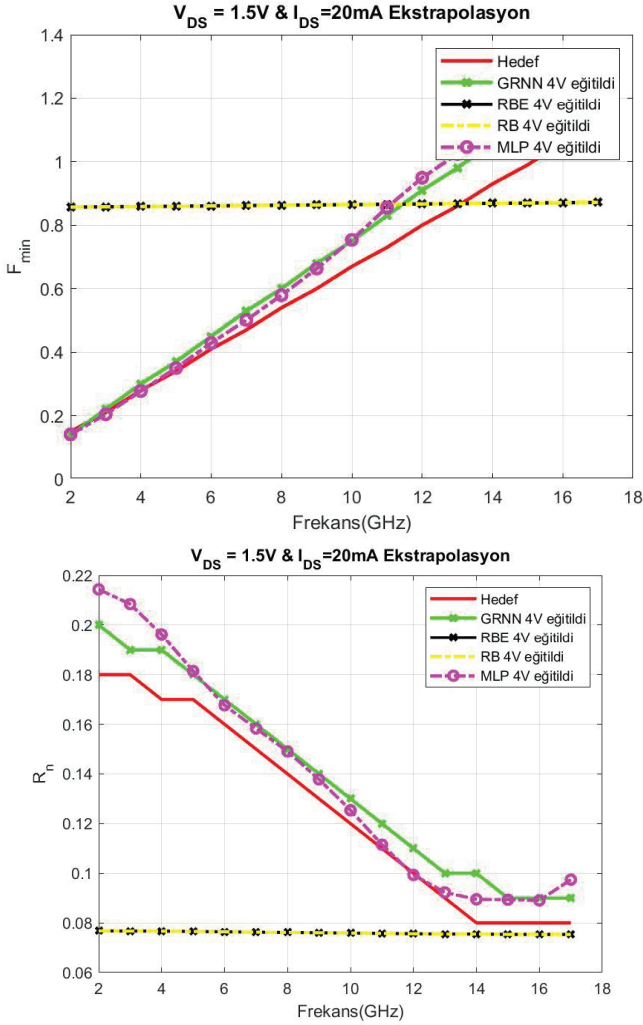
Şekil 2.18 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

2.2.4- Ekstrapolasyon-IV Uygulaması

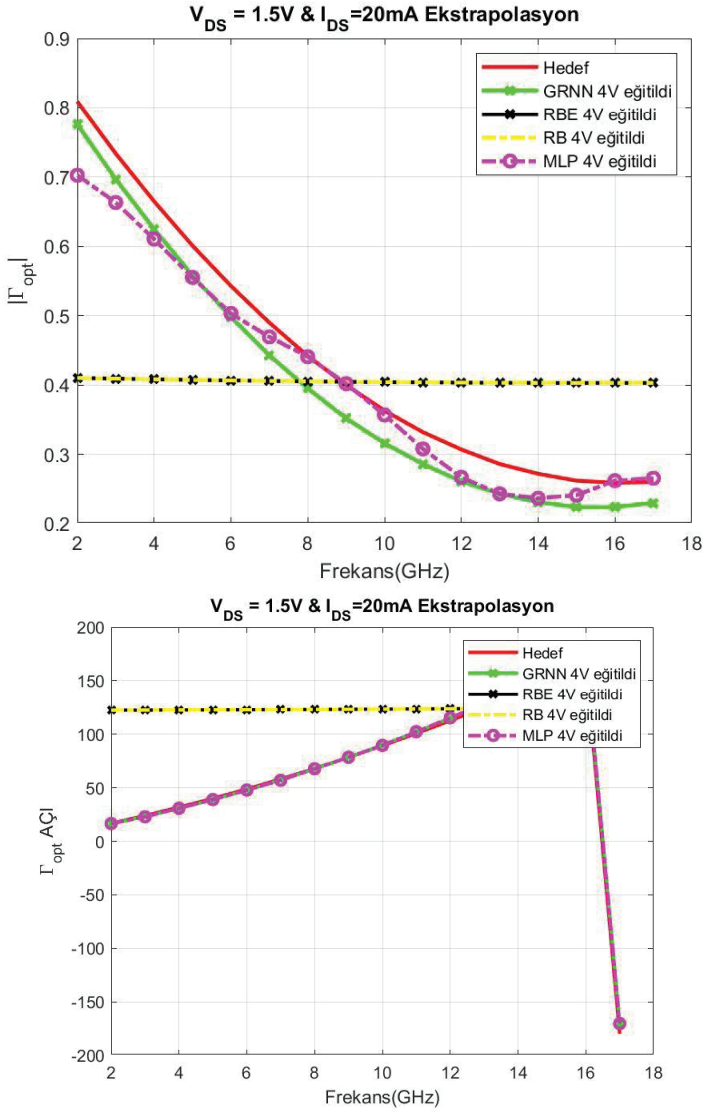
4V eğitim dataları kullanılarak farklı yapay sinir ağları ile eğitilen verilerden elde edilen test sonuçları Şekil 2.19, Şekil 2.20, Şekil 2.21 Şekil 2.22, Şekil 2.23 ve Şekil 2.24 da sırası ile 1.5V 20mA, 2V 5mA ve 3V 10mA için görülecektir. GRNN, RBE, RB ve MLP'nin tahmin ve

sonuçlarını aynı anda görebilmek adına tek grafikte çizim yapılmıştır. Sonuçlarda RBE ve RB kısmi olarak başarısız test dataları ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir.

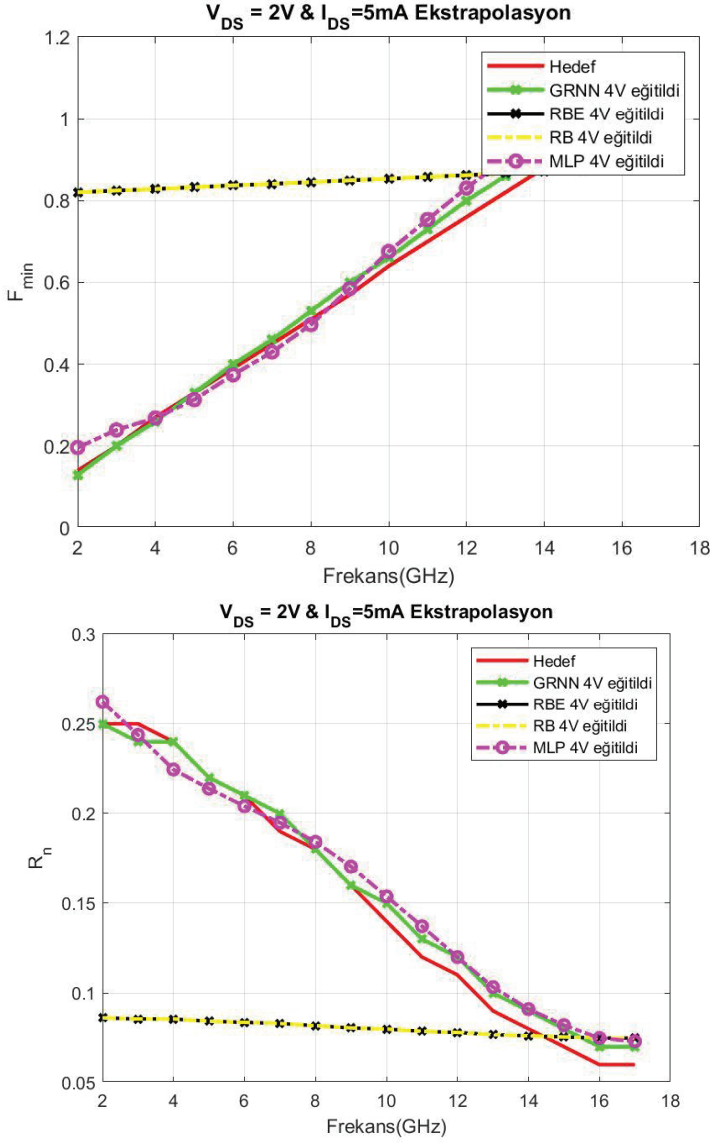
Detay olarak MLP de 400 iterasyon denemesi yapılmış 260 ınci iterasyon denemesi en iyi neticeyi vermiştir. Her biri için üçüncü deneme sonuçları gösterilmiştir. Her deneme de sadece MLP farklı sonuç vermiştir.

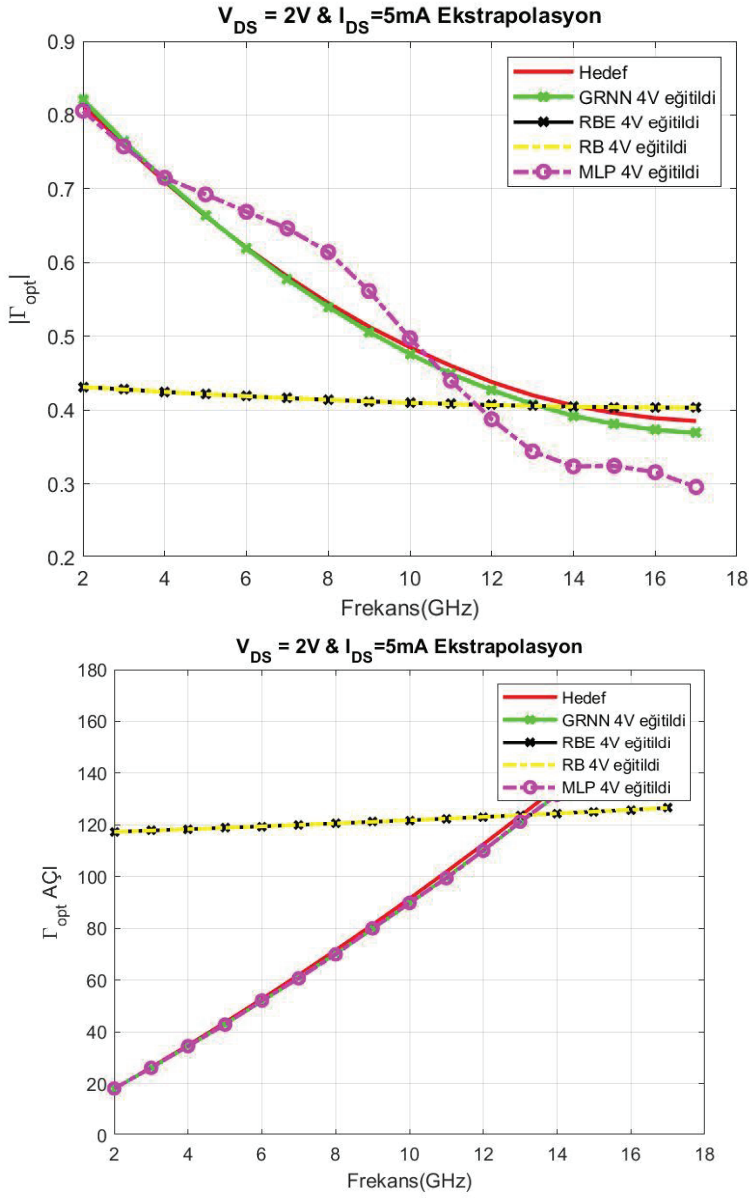


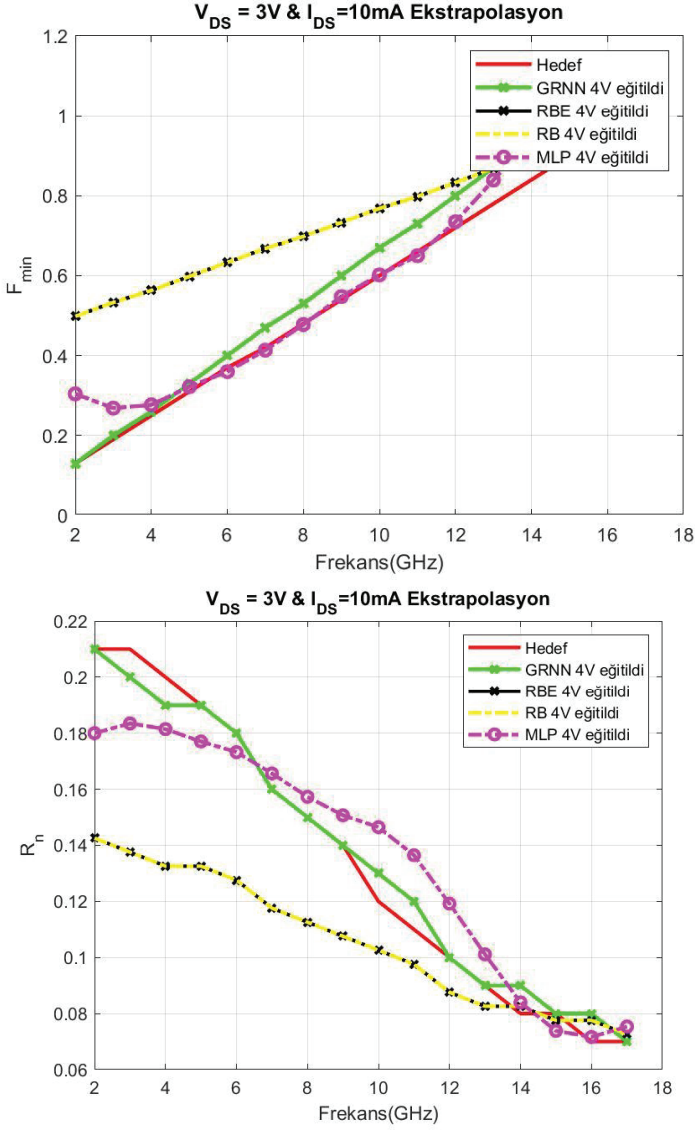
Şekil 2.19 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi

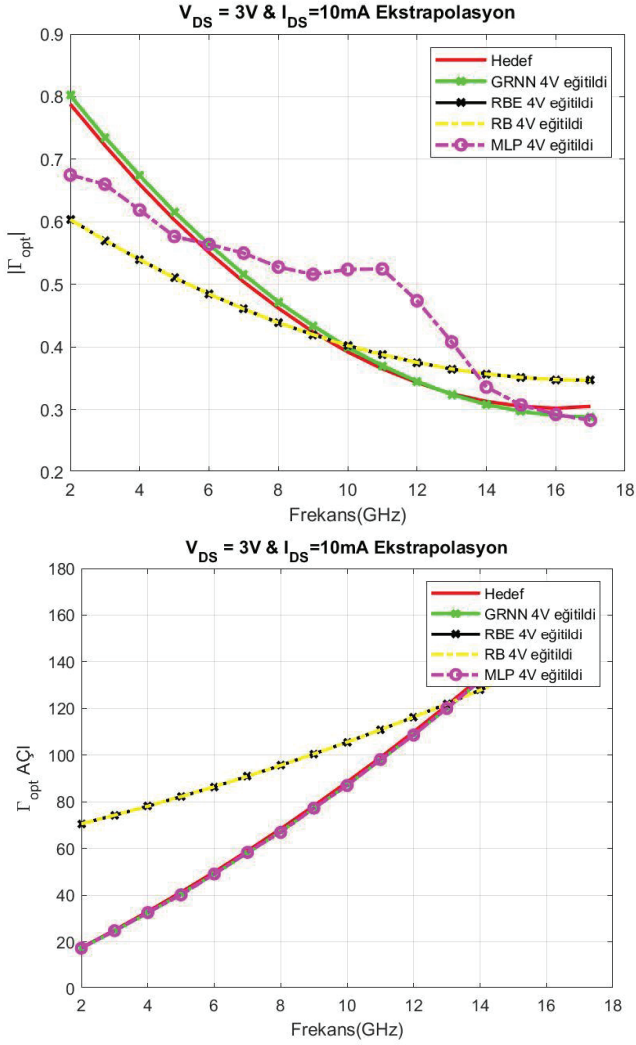


Şekil 2.20 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

Şekil 2.21 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi

Şekil 2.22 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

Şekil 2.23 Frekans ile F_{min} ve $R_n / 50$ değişimi



Şekil 2.24 Frekans ile $|\Gamma_{opt}|$ ve ϕ_{opt} (açı) değişimi

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

uygulanabilme özellikleri göstermektedir. Gerçekleştirilen çalışmaların literatüre katkısı şu şekilde özetlenebilir:

- Ölçümü oldukça zor ve pahalı olan transistörün parametrelerinin tek bias noktası ile modellenebileceğini göstermiş olduk. Bu yöntem bize hem zaman hem de maliyeti düşürme olarak katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Güneş, F., Gürgen, F., ve Torpi, H., (1996).“Signal-noise neural network model for active microwave devices,” IEE Proc Circuits Devices Syst 143, 1–8.
- [2] Güneş, F., Torpi, H., ve Gürgen, F., (1998). “Multidimensional signal-noise neural network model,” IEE Proc Circuits Devices Syst 145, 111–117.
- [3] Güneş, F., Tokan, N.T., ve Gürgen, F., (2007). “Signal - noise support vector model of a microwave transistor,” Int J RF Microwave CAE 17, 404–415.
- [4] Ludwig, R. ve Bretchko, P., (2000), RF Circuit Design, Prentice-Hall, Inc.
- [5] Gonzalez, G., (1997). Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Prentice-Hall, Inc.
- [6] Specht, D. F., (1991). A general regression neural network, IEEE Trans. Neural Netw. 2 (6): 568–576.
- [7] Özkaya, U., (2011). Parçacık Sürü Algoritmalarının Mikrodalga Kuvvetlendirici Uygulamaları, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Werbos, P., (1974). Beyond regression: New tools for prediction and analysis in behavioral sciences, PhD thesis, Harvard University, Cambridge MA.
- [9] Fernandes, F.A.N. ve Lona, L.M.F., (2005). Neural network applications in polymerization processes, Braz. J. Chem. Eng. 22 (3 Temmuz - 3 Eylül 2005): 401–41
- [10] Cengiz, Y. ve Güneş, F., (2010).“Bir Mikrodalga Transistorunun İşaret Parametrelerinin Bulanık Mantık Temelli Adaptif Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi”, V. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi, 25 - 27 Ağustos 2010: 387-390.
- [11] Gülez K., (2004). A general regression neural network. (31): 761-777
- [12] Nadaraya, E.A., (1964). On estimating regression, Theory Probab. Appl. 10: 186–190.
- [13] Watson, G.S., Smooth regression analysis, Sankhya, Ser. A 26 (4)
- [14] Tsoukalas, L. H., ve Uhrig, R. E., (1997). Fuzzy and Neural Approache in Engineering: New York, John Wiley and Sons, Inc., 87.
- [15] Schioler, H. ve Hartmann, U., (1992). Mapping neural network derived from the Parzen window estimator, Neural Netw. 5 (6): 359–372.
- [16] Rumelhart, D.E., Hinton G.E. ve Williams R. J., (1986). Learning Representations by back-propagating errors,” Nature 323: 533-536.

Bölüm 5

ELEKTRONİK TEKSTİLLER VE UYKU TAKİP SİSTEMLERİNDE KULLANIMI



*Serap Gamze SERDAR**

*Züleyha DEĞİRMENCİ**

*Mehmet TOPALBEKİROĞLU**

* Gaziantep Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Sorumlu yazar: sgserdar@gantep.edu.tr

1. Giriş

On dokuzuncu yüzyıla kadar tekstilde hammadde olarak sadece doğal elyaf kullanılmıştır. Sanayi devriminden sonra birçok alanda olduğu gibi tekstilde de hem üretim teknolojisinde hem de malzeme biliminde hızlı yenilikler yaşanmıştır. Nitrat rayon (1885'te) ve viskoz rayon gibi rejenere selüloz lifleri, odun, deniz yosunu vb. lifli doğal kaynaklardan üretilmiştir. 1939'da DuPont tarafından laboratuvarında sentezlenen Nylon® lifi üretilmiştir (Wikipedia, 2019a). Sentetik liflerin çeşitlenmesi ve yüksek performanslı liflerin üretimi artarak devam etmiştir. Bu gelişmeler içinde teknik tekstiller çağı başlamış ve tekstiller özel performans gerektiren birçok alanda teknik amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır. Tekstil malzemesinin işlevselleştirilmesi fikri yaygınlaşmış ve bu amaçla yeni malzemeler, yeni elyaf üretim yöntemleri, farklı iplik üretim yöntemleri, kumaş tasarımları ve terbiye işlemleri geliştirilmiştir. Tekstil sektöründeki bu gelişmelerin yanı sıra polimer, malzeme ve elektronik alanlarındaki gelişmeler teknolojik ürünleri gündelik hayatlarımıza yerleştirmiştir. Böylelikle akıllı tekstil çağı başlamıştır.

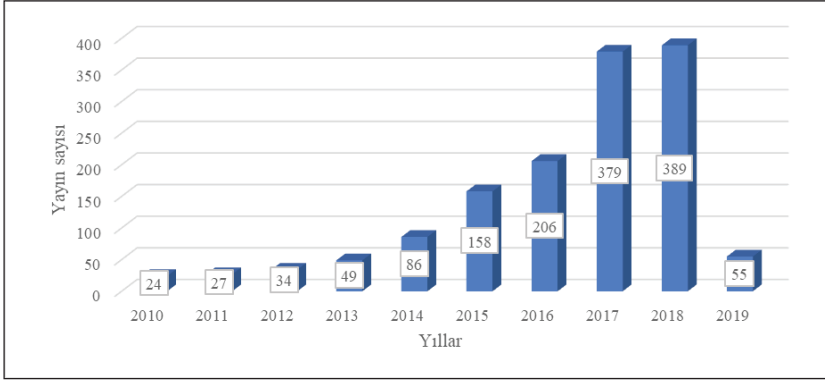
Bu çalışmada akıllı tekstillerin bir alt dalı olan elektronik tekstiller ve giyilebilir teknolojiler irdelenmiştir. Elektronik tekstiller alanında yapılan akademik çalışmaların yanı sıra ticari uygulamalar da incelenmiştir. Giyilebilir elektroniklerin kullanıldığı alanlardan biri olan uyku takibi araştırılmış ve uyku takibi için kullanılan sistemler detaylı olarak incelenmiştir.

2. Akıllı Tekstiller ve Elektronik Tekstiller

Akıllı tekstiller, mekanik, termal, kimyasal, elektriksel, manyetik vb. çevresel koşulları veya uyaranları algılayan ve bunlara tepki veren malzemeler/sistemler olarak tanımlanabilir. Tepki şekline göre pasif akıllı, aktif akıllı ve çok akıllı malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Pasif akıllı malzemeler yalnızca çevresel koşulları veya uyarıcıları algılayabilir; aktif akıllı malzemeler, koşulları veya uyaranları algılayan ve bunlara tepki veren sistemlerdir; çok akıllı malzemeler ise çevresel şartları algılayabilir, tepki verebilir ve adapte olabilir (Tao, 2001).

Akıllı tüm sistemlerde üç temel bileşen bulunmaktadır: sensörler, aktüatörler ve kontrol üniteleri. Sensörler, çevresel sinyalleri algılamak için kullanılır ve bir sinir sistemi gibi çalışır. Tüm akıllı sistemlerde sensörler bulunmaktadır. Aktüatörler, ya doğrudan ya da bir merkezi kontrol ünitesi yardımıyla sistemin tepki vermesine olanak sağlar. Sensörler ile birlikte, aktif akıllı sistemlerde bulunurlar. Çok akıllı sistemlerde ise beyin gibi çalışan başka bir temel birim daha gereklidir. Malzeme bilimi, mekanik, sensör ve aktüatör teknolojisi, ileri işleme teknolojisi, iletişim, yapay zeka, biyoloji vb. alanlar ile geleneksel tekstil/giyim teknolojilerinin başarılı bir

şekilde birleştirilmesinin sonucu olarak bu tür akıllı tekstil yapılarının üretimi mümkün hale gelmektedir (Tao, 2001). Gordon Moore tarafından 1965 yılında yayınlanan makalenin ardından Moore Yasası olarak bilinen teknoloji yasası, yoğun bir entegre devrede bulunan transistör sayısının yaklaşık iki yılda bir, iki katına çıktığını iddia etmiştir. Bu, bilgisayar işleme kapasitelerinde büyük artışlar yaratmaktadır, buna rağmen üretim maliyetleri aynı kalır ve hatta düşme eğilimindedir (Wikipedia, 2019b). Bu teoriye göre, elektronik devrelerin boyutu küçülmekte ve her geçen gün aynı işlevi yerine getirmek için daha az devre elemanı gerekmektedir. Bu “minyatürleştirme” terimi yalnızca boyutsal bir indirgemeye değil, aynı zamanda bileşen sayısı ve sistem karmaşıklığındaki basitleştirmeye de atıfta bulunur (Kayacan, 2008). Bu minyatürleştirme sonucunda akıllı tekstiller çağı başlamış ve algılayabilen, kontrol edebilen, tepki verebilen ve adapte olabilen tekstil ürünleri geliştirilmiştir. Teknoloji ve tekstil birleşiminde tanımlanması ve farklarının belirtilmesi gereken bazı kavramlar vardır. Bunlardan ilki giyilebilir bilgisayarlardır. Giyilebilir bir bilgisayar, her zaman kullanıma hazır kullanıcı ara yüzüne sahip olan ve vücut üzerinde taşınmasına izin verebilecek şekilde monte edilmiş bir bilgi işlem cihazıdır. Giyilebilir bir bilgisayarın en ayırt edici özelliği, başka bir görev için yeniden programlanabilme özelliğidir. Ayrıca bilgisayarlara donanım eklenebilir veya değiştirilebilir. Giyilebilir bir bilgisayar aynı anda birçok programı çalıştırabilir ve çalışma sırasında yeni görevler atanabilir veya sonlandırılabilir (Malmivaara, 2009). Giyilebilir elektronikler ise giyilebilir bilgisayarlardan daha basit sistemlerdir. Giyilebilir elektronikler, spesifik bir grubun bir veya daha fazla ihtiyacını karşılamak için belirlenmiş görevlerle oluşturulur. Giyilebilir elektronikler, görünimleri ve giyilmek üzere tasarlanması yönünden mobil cihazlardan farklıdır (Malmivaara, 2009). Giysiler, yıkanabilirlik veya giyilebilirlik gibi herhangi bir geleneksel tekstil özelliğini ortadan kaldırmadan veya bunlardan ödün vermeden giysiye eklenebilecek tekstil dışı sistemlerle akıllı giysi halini almaktadır. İdeal olarak akıllı bir giysi, geleneksel işlevine ek olarak, sağlık izleme gibi geleneksel olmayan bir giysi işlevi sunar. Örneğin, veri toplayabilir, kablolu ve otomatik olarak harici bir bilgi işlem birimine aktarabilir veya verinin kendisini işleyebilir ve herhangi bir kullanıcı arabirimi olmadan hesaplanan sonuçlara yanıt verebilir (Malmivaara, 2009). Giyilebilir elektronikler, son yıllarda hem akademik araştırma alanında hem de ticari uygulamalar alanlarında yaygın olarak araştırılmaktadır. Minyatürleştirme kavramı, elektroniklerin günlük hayatımıza daha fazla girmesine izin verirken, akademik alanda araştırmalar daha esnek, daha küçük ve daha verimli devre elemanları, piller ve sensörler üzerinde yoğunlaşmıştır. Şekil 1’de son on yılda giyilebilir elektronikler alanında yapılan çalışmaların sayıları verilmiştir. Grafikte özellikle son yıllarda çalışmaların hızla arttığı görülmektedir.



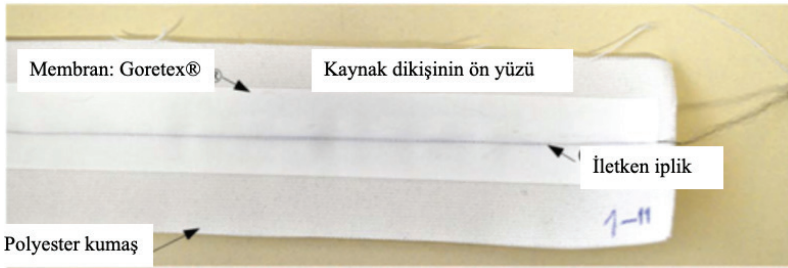
Şekil 1. Giyilebilir elektronik başlığı ile yayınlanan yayın sayıları (Khan vd., 2019)

Elektronik tekstiller çok çeşitli alanlarda kullanılıp, araştırılan bir konudur. Yapılan çalışmalar çok çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca akıllı sistemlerin farklı parçaları/bölümleri üzerine odaklanan farklı çalışmalar vardır. Bu çalışmada daha net bir özet sunabilmek adına incelenen literatür elektronik tekstiller alanında yapılan araştırmalar ve ticari uygulamalar olmak üzere iki başlık altında verilmiştir. **2.1. Elektronik Tekstiller** Giyilebilir elektronikler, çeşitli elektronik devre elemanlarının önceden belirlenmiş bazı fonksiyonları gerçekleştirmek amacıyla oluşturulan ve kişilerin giyebildiği tüm sistemleri tanımlamaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde tekstillere iletkenlik özelliği kazandırmak ve iletkenliğin verimliliğini artırmak üzere çalışmaların yoğunlukta olduğu görülmüştür. İletkenlik özelliği kazandırmak için farklı yöntemler denenmektedir. İngiltere merkezli akıllı kumaş üreticisi Pireta, iletken desenlerin doğrudan kumaşa aktarılmasıyla iletken kumaşlar üretmektedir. Geleneksel tekstilin performansı üzerindeki olumsuz etkilerin elimine edildiğini belirten Pireta, esnek, nefes alabilen, yıkanabilen, dayanıklı ve rahat olan akıllı giysi garanti etmektedir (Wareable, 2019a). Şekil 2’de Pireta tarafından üretilen iletken eldivenler verilmiştir.



Şekil 2. İletken eldivenler, Pireta (Wareable, 2019a)

İletken kumaş üretmek için bir diğer yöntem kaplamadır. Köse (2010), plazma tekniği ile nonwoven kumaş üzerine iletken polimer kaplayarak iletken kumaş üretmiştir. Liflerin morfolojik yapısı ve iletkenlik özellikleri çeşitli analizlerle incelenmiştir. Çalışmada kendiliğinden iletken polimerler (anilin, asetilen ve pirol) ve nitrojen (N_2), amonyak (NH_3), sodyum sülfür (Na_2S) ve iyot (I_2) kullanılmıştır (Köse, 2010). İletkenlik üzerine yapılan bir başka çalışmada Ersoy (2012), melt-spun yöntemi kullanarak karbon nanotüp ve gümüş nanopartikül katkılı polimer nanokompozit monofilamentler üretmiştir. İletken yüzeyler elde etmek için cam elyafı, elektronsuz kaplama yöntemiyle nano gümüş ile kaplanmıştır. İletkenlik ve elektromanyetik kalkanlama performansı ve kumaş yüzeyine aktarılan gümüş miktarı ile kumaş yüzeyinin pürüzsüzlüğü arasında doğrusal bir ilişki olduğu ortaya konmuştur (Ersoy, 2012). Bahadır vd. (2015), iletken iplikleri kumaşlara sıcak hava kaynak dikişi (hot air welding) ile entegre ederek tekstil iletim hatları elde etmenin potansiyel olanaklarını araştırmıştır. Tekstil iletim hattı üretmek için %100 polyester dokuma kumaş üzerine 7 farklı iletken iplik GoreTex® su geçirmez şerit ile sıcak hava kaynak dikişi ile birleştirilmiştir (Şekil 3). Seçilen kumaş numuneleri için en uygun kaynak dikişi parametrelerini bulmak için farklı makine parametreleri ile işlem yapılmıştır. Elde edilen e-tekstil ürününün eğilme özellikleri ve morfolojisi incelenmiştir. Ayrıca üretilen tekstil iletim hatlarının görünüm özellikleri subjektif olarak değerlendirilmiştir. İletkenlik ve sinyal aktarım kapasitesine dayalı sonuçlar, sıcak hava kaynak dikişi teknolojisi ile e-tekstil üretiminin umut verici olduğunu göstermiştir. Optimum teknik performans sağlanan kaynak dikişi parametrelerinde görsel olarak da optimum performans sağlandığı belirtilmiştir. Böylece hem tekstil özellikleri korunurken, işlevsellik de optimum düzeyde sağlanabilmektedir (Bahadır vd., 2015).



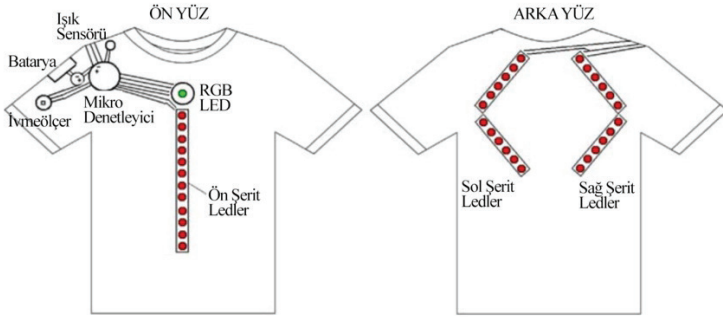
Şekil 3. Kaynak dikişi ile üretilmiş tekstil iletim hattı (Bahadır vd., 2015)

Bir başka çalışmada Erol (2018), akıllı tekstil uygulamalarında kullanılmak üzere basınç sensörü özelliğine sahip bir kumaş tasarlamıştır. PET kumaşlar, pirol ile kaplanmış ve iletken kumaşlar elde edilmiştir. Elde edilen kumaşların SEM, FTIR ve TG analizleri, multimetre ile di-

renç ölçümleri, dört noktalı prob tekniği ile iletkenlik ölçümleri ve basınç sensör özellikleri incelenmiştir. Çalışmada giyilebilir elektronığın gelecekte daha yaygın hale geleceği vurgulanmaktadır (Erol, 2018). Giyilebilir elektronikler alanında yaygın çalışma konularından bir diğeri aktivite takibidir. Fiziksel aktiviteleri takip etmek için hem ticari uygulamalar hem de bu uygulamaların geliştirilmesi üzerine akademik çalışmalar mevcuttur. Güler (2007), hareket sırasında solunum hızını belirleyen bir giysi tasarlamak için MEMS tabanlı bir ivmeölçer üzerinde çalışmıştır. Geliştirilen ARF-Elbisede, sensörler ile elde edilen veriler kablosuz olarak iletilmekte ve solunum hızı eş zamanlı olarak görüntülenmektedir. Elektronik ekipman, giysiye yapışkan bantlarla monte edilmiştir. Görüntülenen ivme değerleri, vücut duruşu, durma anı, bu durumlarda solunum hızı üzerinde yapılan analizler neticesinde kişinin mevcut hareket bilgileri gerçek zamanlı olarak belirlenebilmektedir. Yapılan deneylerde, verilerin laboratuvar ortamında 8 saat süreyle sorunsuz olarak okunduğu ve aktarıldığını belirtilmiştir (Güler, 2007). Şenol ve arkadaşları (2011), entegre işlevsel bir aktif tişört yapısı oluşturmak için kumaş yüzeylerinde bir elektronik devre tasarlamayı amaçlamışlardır. Elektronik cihazların iletken iplikler kullanılarak giysi yüzeyine entegrasyonu, iletkenlik, uzun dayanıklılık, yıkanabilirlik ve üretim süreci açısından zorlu bir konudur. Uygulama olarak, bir ışık sensörü, ivmeölçer ve elektronik kontrol üniteleri tarafından denetlenen edilen bir grup LED kumaş üzerine yerleştirilmiştir. LED ışıkların parlaklığı, algılanan ortam ışık yoğunluğuna bağlı olarak bir ışık sensörü ile kontrol edilmektedir. LED ışıklar, kullanıcının yürüme, koşma ve ayakta durma gibi fiziksel aktivitelerini algılayan bir ivmeölçer aracılığıyla kontrol edilmektedir. Şekil 4'te verilen tişört yüzeyine şu bileşenler monte edilmiştir: mikro-işlemci; güç modülü; titreşim modülü; ışık sensörü; hoparlör; ivmeölçer; 3 renkli LED; şerit LED ışıklar; ve açma/kapama düğmesi. Tüm parçalar iletken paslanmaz çelik iplik kullanılarak birbirine bağlanmıştır. Kumaş yüzeyinde iletken iplikler, güvenilir bir yalıtım sağlamak için tela ile kapatılarak sabitlenmiştir (Şenol vb., 2011). Şekil 5'te geliştirilen aktif tişörtün tasarımı ve sistemin yerleşimi verilmiştir.



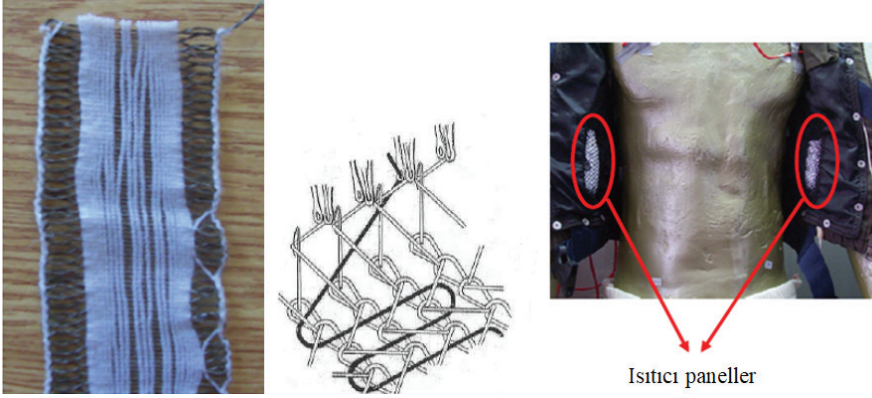
Şekil 4. Aktif tişört (Şenol, 2011)



Şekil 5. Aktif tişörtün tasarımı ve sistemin yerleşimi (Şenol, 2011)

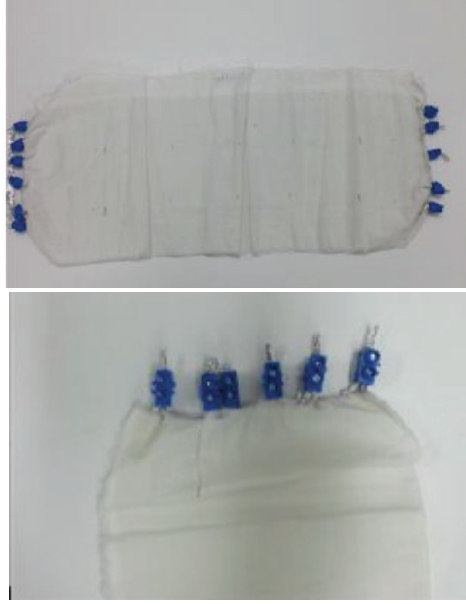
De Pasquale ve arkadaşları (2019) biyomekanik parametreleri izlemek için bir eldiveni geliştirmiştir. Giyilebilir elektroniklerin klinik rehabilitasyonda kullanılmasının iyileşme süresini hızlandırdığı ve rehabilitasyonun etkinliğini artırdığı vurgulanmıştır (De Pasquale vb., 2019). Giysinin en temel fonksiyonlarından biri hava koşullarına karşı korumadır. Ekstrem hava koşullarına karşı ise daha fonksiyonel giysiler gerekmektedir. Bu motivasyonla özellikle soğuk havaya karşı koruma amacıyla iletken lifler ya da tekstil temelli diğer iletken yapılar üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Kayacan (2008), çelik esaslı iletken iplikler kullanarak ısıtılmalı kumaş paneller üretmiştir (Şekil 6). Giysi prototipinin çalışma performansı, soğuk iklim koşulları simüle edilerek test edilmiştir. Kumaş üretiminde atkı ipliği olarak %100 çelik iletken iplikler kullanılmıştır. 4x10 cm ebatlarında tekstil temelli ısı panelleri çözgülü

örme makinesi ile üretilmiştir. İstenilen sıcaklık aralığı kullanıcı tarafından mikro denetleyiciye tanımlanmaktadır. Sıcaklık, giysi üzerindeki elektronik sensörler tarafından ölçülmektedir. Bu değer, çalışma sıcaklığının alt limitine düştüğünde, programlanan mikrodenetleyici, ısıtıcı panellere çalışma komutu vermektedir. Paneller pilden beslenmekte ve sensörler sürekli sıcaklık takibi yapmaktadır. Sisteme tanımlanan sıcaklık değerinin üst sınırına ulaşıldığında, ısıtıcı paneller durmaktadır. Panellerin yerleştirilmesi, kişinin sıcaklık hissini algıladığı ana kan damarının bulunduğu bölgelere göre belirlenmiştir. En yüksek sıcaklık değeri, oda sıcaklığında 4 katlı panel kullanılarak elde edilmiştir (Kayacan, 2008).



Şekil 6. Tekstil temelli ısıtıcı panel, örgülü örme yapısı, ısıtıcı giysi (soldan sağa) (Kayacan, 2008)

Altınok (2016) ısıtmaya yönelik kumaş üretmeyi hedeflemiştir. Kompozit iplikler Tungsten tel kullanılarak 2 farklı yöntemle eğrilmiştir. İlk yöntemde, ring iplik makinasında 0,03 mm çapında tungsten telin etrafına pamuk, polyester ve naylon 6.6 lifleri sarılarak kompozit iplik oluşturulmuştur. İkinci yöntemde ise 0,03 mm çapında tungsten telin etrafına 3 farklı naylon 6.6 iplikleri büküm makineleri ile sarılarak kompozit iplik üretilmiştir. Dokumada atkı olarak kompozit iplikler kullanılmıştır. Kumaşlar hava jetli dokuma makine ve el dokuması tezgahlarda dokunmuştur (Şekil 7). Kumaşlar üzerinde bir elektrik devresi oluşturulmuştur. Isıtıcı kumaşların ısıtma performansını ölçmek için 1 m³ iç hacimli ısıtma odası yapılmıştır. Isıtıcı kumaşa uygulanan voltaj, odanın sıcaklığı, harcanan enerji miktarı, zaman ve akıma bağlı olarak sıcaklık değişiklikleri gibi çeşitli parametreler ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda ısıtılmış kumaşların oda sıcaklığını 7°C'ye kadar değiştirebildiği ve geleneksel elektrikli ısıtıcıya göre yaklaşık %45-50 oranında enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir (Altınok, 2016).



Şekil 7. Tungsten kompozit iplikle dokunan kumaşlar (Altınok, 2016)

Elektronik tekstiller (E-tekstil), son yıllarda esnek ve giyilebilir elektroniklerin gelişmesiyle büyük ilgi görmüştür. Zhang ve arkadaşları (2019), koaksiyel düze ile donatılmış bir 3 boyutlu yazıcı kullanarak çift katlı elyaf çekmişlerdir. Kullanıcı önceliklerine göre tasarlanabilen yapının iç kısmını karbon nano tüpler (CNT) içeren bir mürekkep, dış kısmını ise ipek fibroin (SF) içeren bir mürekkep oluşturmaktadır. 3 boyutlu yazıcı ile direk kumaş üzerine basılan bu mürekkepler, iletken ve dayanıklı tekstil yüzeyleri oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu teknoloji ile üretilen akıllı tekstil, insan hareketinden 18 mW/m^2 yoğunluğuna kadar biyomekanik enerji depolayabilmektedir. Zhang ve arkadaşları ayrıca 3 boyutlu baskı ile enerji depolama için tekstil temelli bir süper kapasitör üretmişlerdir. Akıllı desenlerin tekstile doğrudan 3 boyutlu baskı ile basılması, entegre elektroniklerle kendi kendine sürdürülebilir E-tekstilin büyük ölçekli üretimine katkıda sağlayabilir (Zhang vb., 2019). Akıllı tekstillerde geleneksel elektronik bileşenlerin kullanılması kıyafetlerin rahatlığını olumsuz etkilemektedir. Giysinin ömrü boyunca bu elektronik devrelerin işlevselliğini korumak önemli bir parametredir. Bu nedenle geleneksel elektronik devreler yerine tekstil tabanlı esnek devre tasarımları, nanoteknoloji ve biyoteknoloji gibi alanlardaki gelişmeler ışığında yeni sistemler incelenmektedir. Şekil 8’de verilen kauçuk üzerine iletken ve esnek şeritlerden oluşan bir kumaşın kaplanmasıyla elde edilen esnek akıllı tekstil eğilmeye ve burulmaya duyarlıdır. Esnek ve iletken şeritlerdeki uzama ve kısalma sırasında kumaşa farklı direnç

ve voltaj değerleri elde edilmektedir (Coşkun, 2007).



Şekil 8. Eğilmeye ve burulmaya duyarlı tekstiller (Coşkun, 2007).

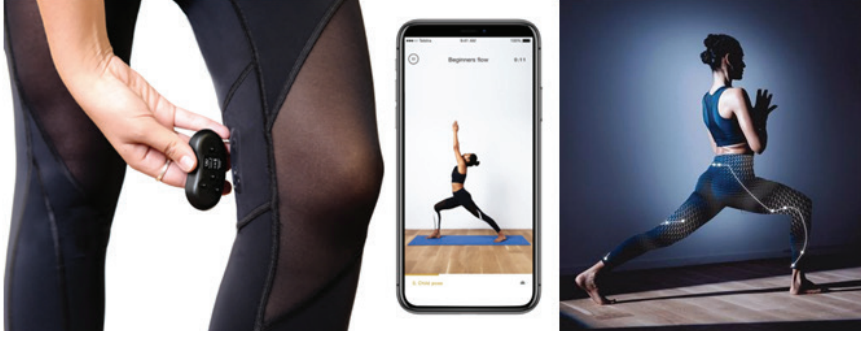
2.2. Ticari E-tekstil Uygulamaları

Ticari e-tekstil uygulamalarından biri olan Jacquard Google ve Levi's işbirliği ile üretilmiştir. Levi's markasının denim ceketine yerleştirilen elektroniklerle akıllı bir giysi tasarlanmıştır (Şekil 9). Ceket manşetlerine yerleştirilen parça bluetooth teknolojisi ile cep telefonuna bağlanmakta ve telefonun ceket üzerinden kontrol edilmesine imkan sağlamaktadır. Ceketle yerleştirilen bu sistem ile müzik dinlenebilmekte, yol tarifi alınabilmektedir. Ceket yıkanırken bu aparatın çıkarılması gerekmektedir (Wareable, 2019b).



Şekil 9. Levi's Akıllı ceket (Wareable, 2019b)

Wearable X tarafından tasarlanan Nadi X fitness pantolonu, hareket etmenizi ve/veya pozisyonunuzu korumanızı desteklemek için kalça, diz ve ayak bilekleri bölgelerine titreşim vermektedir. Bluetooth aracılığıyla telefonunuza senkronize olmaktadır ve eşlik eden mobil uygulama aracılığıyla geri bildirim sağlamaktadır. Ürün dört farklı bedende ve dört farklı stilde üretilmektedir (Wareable, 2019c). Şekil 10'da Nadi X akıllı tayt verilmiştir.



Şekil 10. Nadi X Akıllı yoga pantolonu, (Wareable, 2019c)

Ambiotex firması sporcular için akıllı bir tişört tasarlamıştır (Şekil 11). Giysi üzerine entegre edilen sensörleri ile kalp ritim değişiklikleri, aerobik eşiği ve stres seviyeleri tespit edilebilmektedir. Sensörlerden okunan veriler mobil uygulama üzerinden gerçek zamanlı takip edilebilmektedir. Böylelikle egzersiz optimize edilebilmektedir (Wareable, 2019c).



Şekil 11. Ambiotex Akıllı tişört (Wareable, 2019c)

Şekil 12’de verilen bebekler için tasarlanmış Owlet Smart Sock, kalp ritmi ölçümü ve nefes takibi için kullanılmaktadır. 3 boyutta üretilmektedir, cep telefonlarıyla bağlantı kurup, gerçek zamanlı veri aktarımı sağlayabilmektedir. Geliştirilen ikinci jenerasyon akıllı çorap ile bluetooth kapsama alanı genişletilmiş ve daha hassas ölçümler ile hata oranları düşürülmüştür (Wareable, 2019c).



Şekil 12. Owlet akıllı çorap (Wareable, 2019c)

Şekil 13'te verilen Siren akıllı çorap, şeker hastalarının ayak yaralarını tespit etmeyi ve önlemeyi amaçlamaktadır. Çoraplar, sıcaklığı sürekli olarak izlemek için kumaşa dokunan mikro sensörler içermekte ve ısının yükseldiğini (iltihaplanmanın olası bir işareti olarak sıcaklığın artması) algıladıklarında, kullanıcıyı bir akıllı telefon bildirimi veya metin mesajı ile uyarmaktadır. Şeker hastaları hissizlik yaşayabildiklerinden ayaklardaki yara semptomları göz ardı edilebilmektedir. Enflamasyon ayak ülserlerine yol açabileceğinden, bu akıllı tekstilin temel amacı, geç olmadan yaraların fark edilebilmesidir (Wareable, 2019c).



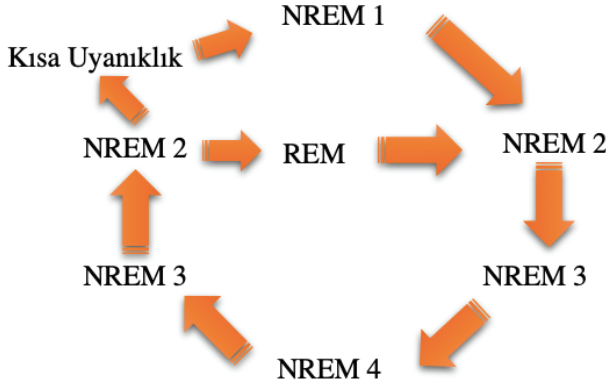
Şekil 13. Siren akıllı çorap (Wareable, 2019c)

Akıllı tekstiller ve giyilebilir elektronikler, malzeme ve elektronik alanındaki gelişmeler sonucu hayatımıza girmeye başlamıştır ve gittikçe artan bir ivme ile gündelik hayatlarımızda daha fazla yer kaplamaya devam etmektedir. Özellikle sağlık alanında fiziksel performans ve hayati fonksiyonların takibi üzerine yapılan çalışmaların yoğunlukta olduğu

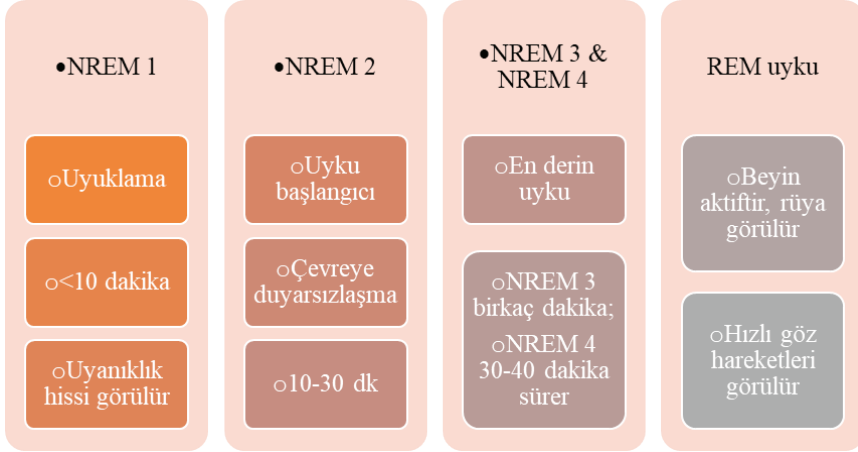
görölmektedir. Bunların yanı sıra var olan sistemlerin iyileştirilmesi ve esnek sensör ve devrelerin geliştirilmesi üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

3. Uyku ve Uyku Takibi

Uyku, gün içerisinde nasıl görüldüğümüzü, hissettiğimizi ve performansımızı etkilemektedir. Uyku için hem miktar hem de kalite önemlidir. Ertesi gün bedenlerini ve zihinlerini canlandırmak için ergenlerin gece en az 8 saat kesintisiz uykuya ihtiyaçları vardır. Uyku kesintiye uğrarsa, vücudun kas onarımı, hafıza konsolidasyonu, büyümeyi ve iştahı düzenleyen hormonların salınması için gereken tüm aşamaları tamamlayamaz (Sleep Foundation, 2019). Uykunun günlük hayatımızın üzerindeki etkisi, uyku hakkında daha çok veri elde etmek için bir teşvik oluşturmaktadır. Uyku siklusu, uyku evrelerinin sırasıyla birbirini takip etmesi olarak tanımlanır. Bir uyku siklusu yaklaşık 90-120 dakika sürer (Bora ve Bican, 2007). REM (rapid eye movement - hızlı göz hareketi) ve NREM (non-rapid eye movement - hızlı olmayan göz hareketi) evrelerinden oluşur. Uykuya geçişte ilk aşama NREM uykusudur ve bir uyku döngüsünün %75'ini oluşturur. REM aşaması ise uyku döngüsünün %25'ini oluşturur ve uykuya daldıktan yaklaşık 90 dakika sonra başlar ve her 90 dakikada bir tekrar eder (Sleep Foundation, 2019). Uyku ve uyanıklık esnasında farklı beyin dalgalarının görüldüğü 1929 yılında Alman psikiyatrist Hans Berger tarafından kanıtlanmıştır. 1935 yılında ise beyin etkinliğinin uyku esnasında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Alfred Lee Loomis 1937 yılında uykunun 5 evresi olduğunu keşfetmiştir, bu evrelere bugünkünden farklı olarak a-b-c-d-e şeklinde isim vermiştir. REM uykusunun tanımlanması ve rüyalarla ilişkili olduğunun anlaşılması ise 1953 yılında gerçekleşmiştir. Uyku evrelerinin bugünkü isimleri ile tanımlanması ve tekrarlayan döngüler halinde gerçekleştiğinin tespiti 1957 yılında Kleitman ve Dement tarafından yapılmıştır (Gökçay ve Arda, 2013). Uyku döngüsünün ilk bölümü, dört aşamadan oluşan NREM uykusudur (Şekil 14). İlk aşama, uyanık olmakla uykuya dalmak arasındaki geçiştir. İkincisi aşama, kalp atış hızı ve solunum düzenlendiği ve vücut ısısı düştüğü hafif uykudur. Üçüncü ve dördüncü aşamalar ise derin uykudur. REM uykusunun daha önce öğrenme ve hafıza için en önemli uyku aşaması olduğuna inanılmasına rağmen, daha yeni veriler, NREM uykunun bu görevler için daha önemli olduğunu ve uykunun daha dinlendirici ve onarıcı aşaması olduğunu göstermiştir. REM uykusuna geçildiğinde göz hareketleri hızlanır ve beyin dalgaları uyanıklık halindeki dalgalara benzer. Nefes alma hızı artar, rüya görülür ve vücut kasları hareketsizdir. Döngü daha sonra kendini tekrar eder, ancak her döngüde uykunun üçüncü ve dördüncü safhaları daha az, REM aşaması daha fazla sürer. Normal bir gecede, dört veya beş kez bu döngüler tekrar etmektedir (Hopkins Medicine, 2019). Şekil 15'de uyku evrelerinin genel özellikleri verilmiştir.



Şekil 14. Uyku döngüsünün şematik gösterimi (Wikipedia, 2019c)



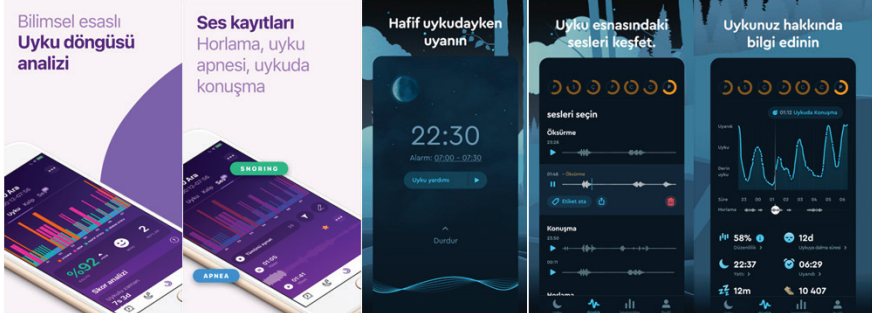
Şekil 15. Uyku evreleri ve evrelerin belirgin özellikleri

NREM uykusunun ilk evresi uyuklama olarak da adlandırılır, uyanıklık hissi mevcuttur. 10 dakikadan az süren bu evrede kısa rüyalar görülebilmektedir. İkinci evrede uyku biraz daha derinleşir ve düşünce bütünlüğü kaybolur. Bu devre ortalama 10-30 dakika sürmektedir. Üçüncü ve dördüncü evre en derin uyku evreleridir. Üçüncü evre sadece birkaç dakika sürerken, dördüncü evre ortalama 30-40 dakika sürmektedir. NREM uykusu içinde üçüncü ve dördüncü evre uykunun başlarında daha baskındır, uyku siklusu ilerledikçe REM uykusu süresi uzar. Ortalama bir uyku süresinde %20-25'i REM uykusundan, %75'i NREM uykusundan (%1-5'i birinci evre, %45-50'si ikinci evre, %10-12'si üçüncü evre ve %13-15'i dördüncü evre NREM) oluşmaktadır (Bora ve Bican, 2007). Uykuyu düzenleyen iki ana süreç vardır: sirk-

diyen ritimler ve uyku dürtüsü. Sirkadiyen ritimler beyinde bulunan biyolojik saat tarafından kontrol edilir. Bu saatin önemli bir işlevi, gün ışığına tepki vermektir. Geceleri melatonin hormonunun üretiminin artırılması ve ışık algılandığında azaltılması sirkadiyen ritim ile sağlanır. Uyku dürtüsü de bir diğer düzenleyici etmendir: Vücut, açlık hissi gibi uyku dürtüsü de hissetmektedir. Gün içinde uyku dürtüsü oluşur ve dürtü belirli bir noktaya geldiğinde uykuya başlar. Kişi yorgun olduğunda, gözler açıkken bile saniyelik mikro uyku bölümleri yaşanabilir. Gün içinde 30 dakikadan fazla kestirmek, vücudun uyku dürtüsünü azaltarak gece uykusunu bozabilir (Hopkins Medicine, 2019). Sağlıklı bir uyku miktarı, “beyin plastisitesi” veya beynin girdilere uyum sağlama yeteneği için hayati önem taşır. Çok az uyku, gün içinde öğrenilenlerin işlenemez hale gelmesine ve gelecekte hatırlanmamasına sebep olur. Uyku, vücudun geri kalanı için de hayati önem taşır. Uykusuzluk hastalık risklerini de artırır (Hopkins Medicine, 2019). Uyku eksikliği hafızayı, bilgiyi işleme ve düşünme yeteneğini bozar. Günümüzde insanların çoğu zihinsel performans gerektiren işlerde çalışmaktadır. Bu nedenle bilgiyi işleme ve düşünme yeteneği modern insanlar için hayati önem taşır. Çoğu insan yeterince dinlenmiş hissetmek için her gece 7-9 saat uykuya ihtiyaç duyar (NPTI, 2019). Uyku yoksunluğu ayrıca uzun vadede hafıza kaybına ve psikiyatrik bozukluklara neden olabilir (Rosenberg, 2019).

4. Uyku Takip Sistemleri

Uykunun kişinin sağlığı ve günlük hayattaki performansı üzerindeki etkileri çok büyüktür. Bu sebeple uykunun kalitesinin belirlenmesi önemlidir. Uyku kalitesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve düzenlenmesi uyku kalitesinin artırılmasına ve dolayısıyla kişinin hayat kalitesinin artırılmasına olanak sağlayacaktır. Bu amaçla geliştirilen uyku takip sistemleri mevcuttur. Cep telefonların üzerindeki sensörleri kullanan mobil uygulamalar yaygındır ancak bu sistemlerin handikabı veri toplamak için cep telefonu sensörlerini kullanmasıdır. Cep telefonu ya kişinin yatağına ya da yatağının hemen yakınına yerleştirilmelidir. Bu durum hassasiyeti düşürdüğünden bu sistemlerin hata oranları fazla ve toplayabilecekleri veriler kısıtlıdır. Farklı uygulamalar farklı veriler toplasa da genel olarak horlama tespiti, uyku süresi takibi yapabilmektedirler. Ayrıca uyku evrelerini takip edip, uyandırma için uykunun en hafif evresinde alarm çaldıkları belirtilmektedir. Şekil 16’da yaygın olarak kullanılan uyku takip ve alarm programlarının ara yüzleri verilmiştir.



Şekil 16. Uyku takip uygulamaları - Pillow uygulaması ve Sleep cycle uygulaması

Bir diğer uyku takibi yapan sistemler ise akıllı saatler ve bileklik uygulamalarıdır. Bu cihazlar bileğe takıldığında kalp ritmi ve hareket tespiti yapabilmektedirler. Toplanan veriler bağlı oldukları cep telefonlarına aktarılabilir ve cep telefonu üzerinden veriler görüntülenebilmektedir. Genellikle uyku takibi için kullanılan mobil uygulamalar, akıllı saat ve bileklerle de uyumlu olduklarından, bu cihazların varlığı durumunda daha kapsamlı veri toplanabilmektedir. Apple firması tarafından geliştirilen iWatch 6 ile uyku sırasında nabız ölçümü, uyku süresi ve uyku evreleri takip edilebilmektedir (Şekil 17). Cihaz aynı zamanda kandaki O_2 seviyesini ölçebilmekte ve tek derivasyonlu bir elektrokardiyografinin sonuçlarına benzer EKG sonuçları gösterebilmektedir. Saatin arkasına yerleştirilen yeşil, kırmızı ve kıvılcı LED'ler, damarlara ışık göndermekte ve geri yansıyan ışık miktarını ölçmekte ve bu verileri işleyen algoritmalar kanın rengine göre oksijen saturasyonunu belirlemektedir (Apple, 2021).



Şekil 17. Apple firması tarafından geliştirilen iWatch 6 (Apple, 2021)

Samsung firması tarafından geliştirilen Galaxy Watch3 akıllı saat ile uyku evreleri takip edilebilmekte, nabız ve uyku süresi ölçülmektedir

(Şekil 18). Akıllı telefon uygulaması ile elde edilen verileri detaylı olarak gözlenebilmektedir (Samsung, 2021). Tüm bu cihaz ve mobil uygulamalar genel olarak uyku kalitesi için belirlenen parametrelere göre kişilere uyku skoru hesaplamakta ve belirlenen skurun yükseltilebilmesi için öneriler sunmaktadır.



Şekil 18. Samsung firması tarafından geliştirilen Galaxy Watch3 (Samsung, 2021)

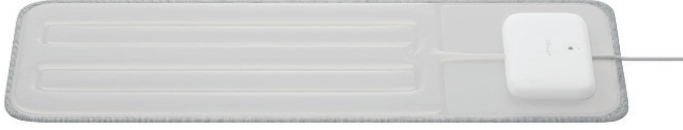
Birçok cep telefon üreticisi firma akıllı saat ve akıllı bileklikler üretmekte, mobil uygulamalar ile eşleşerek kullanıcılara uyku verileri takip etme olanağı sağlamaktadır. Bunların dışında sadece aktivite ve uyku takibi için geliştirilen akıllı saatler ve bileklikler de mevcuttur. Fitbit firması tarafından geliştirilen Versa 2 oksijen saturasyonu ölçebilmekte, uyku takibi ve aktivite takibi yapabilmekte, müzik uygulamaları ile bağlanabilmektedir (Şekil 19). Ayrıca 6 günden fazla batarya ömrü sunmaktadır. Uyku sırasında kalp ritmine göre uyku evrelerini belirlemekte ve cep telefonu uygulaması üzerinden kullanıcı verilerini gösterebilmektedir (Fitbit, 2021).



Şekil 19. Fitbit Versa 2 akıllı saat ve aktivite takip cihazı ve mobil uygulama kullanıcı arayüzü (Fitbit, 2021)

Ticari ürün olarak satışa sunulan uyku takip sistemleri de mevcuttur. Bu sistemlerin çoğunluğu yatağa yerleştirilen bir sensör şeridi ile

veri toplamaktadır. Bu sistemlerden biri olan Withings firması tarafından geliştirilen Sleep uyku takip sistemi Şekil 20’de verilmiştir. Bu cihaz yatağa yerleştirilmekte ve elde edilen verilerin bluetooth ile cep telefonu uygulamasına gönderilmektedir. Uyku evrelerinin kaydedilmesi, sürekli nabız ölçümü ve horlama tespiti cihazın sunduğu özelliklerdendir. Cihaz ayrıca diğer akıllı ev sistemleri ile de bağlanıp uzaktan kontrol imkanı sunmaktadır. Ayrıca oluşturulan uyku raporları doktor ile de paylaşılabilir (Withings, 2021).



Şekil 20. Withings firması tarafından geliştirilen Sleep uyku takip cihazı (Withings, 2021)

Bir diğer uyku takip cihazı Şekil 21’de verilen Beddit uyku takip cihazıdır. Yatağa serilen ince bir şerit halindeki bu cihaz, bir usb kablo ile güç kaynağına bağlanmaktadır. Uyku takibi, kalp ritmi ölçümü, dakikadaki nefes sayısı, horlama tespiti ve sıcaklık, nem gibi çevresel koşullarını tespitini yapabilmektedir (Beddit, 2021). RestOn Z200 uyku takip cihazı da bu prensiple çalışmakta, nabız, uyku evreleri ve solunum sıklığı verilerini kaydetmektedir (Yataş, 2021).



Şekil 21. Beddit uyku takip cihazı (Beddit, 2021)

Yatağa yerleştirilen sistemler dışında yatak başında konumlandırılan sistemler de bulunmaktadır. Şekil 22’de Resmed firması tarafından geliştirilen S+ uyku takip sistemi verilmiştir. Cihaz yatağın yanındaki komodin üzerinde durmakta, temassız sensörler ile nefes ve vücut hareketlerini takip etmektedir. Cihaz ayrıca ışık, ortam sıcaklığı ve ortamdaki ses miktarını da takip etmektedir. Uyku evresinin en hafif olduğu aralıkta alarmı aktive etmektedir. Günlük uyku puanı hesaplanmakta ve iyileştirme için geri bildirim verilmektedir. Ayrıca uykuya geçişi kolaylaştırmak için nefes sıklığına bağlı olarak sesi ayarlanan rahatlatıcı sesler/müzikler çalabilmektedir (Resmed, 2021).



Şekil 22. Resmed tarafından geliştirilen S+ uyku takip cihazı (Resmed, 2021)

bilir. Uyku takibi, kişinin uykuda geçirdiği bilinç dışı saatleri hakkında bilgi sahibi olmasını ve kişinin hayatının geri kalanını önemli ölçüde etkileyen bu süreci daha iyi anlamasını ve düzenlemesini sağlayacaktır. Halihazırda var olan sistemlerin veri toplama ve analiz etme üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. İlerde bu sistemlerin daha aktif hale geleceği, toplanan verilere göre uyku ortamını şekillendirebileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Altınok, A.S. (2016). Volfram Tel Özlü İplik Geliştirilerek Isıtma Amaçlı Kumaş Tasarımı. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği ABD. Doktora Tezi*, s147.
- Apple, (2021). <https://www.apple.com/tr/apple-watch-series-6/>, Erişim tarihi: 16/01/2021.
- Bahadır, S. K., Kalaoğlu, F., & Jevšnik, S. (2015). The use of hot air welding technologies for manufacturing e-textile transmission lines. *Fibers and Polymers*, 16(6), 1384-1394.
- Beddit, (2021). <https://www.beddit.com>, Erişim tarihi: 16/01/2021
- Bora, İ.H., Bican, A. (2007). Uyku fizyolojisi, Türkiye Klinikleri J Surg Med Sci, 3(23), 1-6.
- Coşkun, E. (2007). Akıllı tekstiller ve genel özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*. s104.
- De Pasquale, G., Mastrototaro, L., & Ruggeri, V. (2019). Wearable sensing systems for biomechanical parameters monitoring. *Materials Today: Proceedings*, 7, 560-565.
- Erol, A.D. (2018). Akıllı tekstillere yönelik basınç sensör özelliği gösteren kumaş tasarımı ve geliştirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*. s100.
- Ersoy, M.S. (2012). Nanokompozit yapıli elektriksel iletken ve elektromanyetik kalkan özellikli teknik tekstillerin tasarımı ve geliştirilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi*. s179.
- Fitbit, (2021). <https://www.fitbit.com/global/us/technology>, Erişim tarihi: 16/01/2021
- Gökçay, B., & Arda, B. (2012). Tıp Tarihi Açısından Uyku ve Uyku Araştırmaları. *Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi*, 3(1), 70-78.
- Güler, M. (2007). Giyilebilir algılayıcılar ile yaşamsal verilerin ölçülmesi iletilmesi ve görüntülenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*. s64.
- Hopkins Medicine, (2019). <https://www.hopkinsmedicine.org/health/wellness-and-prevention/the-science-of-sleep-understanding-what-happens-when-you-sleep>, Erişim tarihi: 29.05.19
- Kayacan, O. (2008). Akıllı giysi dizaynı üzerine bir araştırma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, s232.

- Khan, S., Ali, S., & Bermak, A. (2019). Recent Developments in Printing Flexible and Wearable Sensing Electronics for Healthcare Applications. *Sensors* (Basel, Switzerland), 19(5), 1230. doi:10.3390/s19051230.
- Köse, M. (2010). Teknik tekstil malzemeleri: Plazma polimerizasyonu tekniği ile iletken lif üretimi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. s103.
- Malmivaara, M., (2009) The emergence of wearable computing, *Smart Clothes and Wearable Technology*, Edited by J. McCann and D. Bryson, Woodhead Publishing, ISBN 978-1-84569-566-8.
- NPTI, National Personal Training Institute, (2019). <https://i.pinimg.com/originals/47/39/9d/47399dec79988ef958ebd398afd9ca58.jpg>, Erişim tarihi: 29/05/2019
- Oura Ring, (2021). <https://ouraring.com>, Erişim tarihi: 16/01/2021
- Resmed, (2021). <https://splus.resmed.com>, Erişim tarihi: 16/01/2021
- Rosenberg, C., (2019). <https://www.sleephealthsolutionsohio.com/blog/10-effects-of-long-term-sleep-deprivation/>, Erişim tarihi: 29/05/2019
- Samsung, (2021). <https://www.samsung.com/tr/watches/galaxy-watch/galaxy-watch3-45mm-mystic-silver-sm-r840nzsatur/>, Erişim tarihi: 16/01/2021
- Sleep Foundation, (2019). <https://www.sleepfoundation.org/articles/what-happens-when-you-sleep>, Erişim tarihi: 29.5.19
- Şenol, Y., Akkan, T., Yazgan Bulgun, E., & Kayacan, O. (2011). Active T-shirt. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 23(4), 249-257.
- Tao, X., (2001). Smart technology for textiles and clothing – introduction and overview. *Smart fibres, fabrics and clothing*, Edited by Xiaoming Tao, ISBN 1 85573 546 6.
- Wearable, (2019a). <https://www.wearable.com/smart-clothing/smart-clothing-technology-innovations-7284>, Erişim tarihi: 29/05/2019
- Wearable, (2019b). <https://www.wearable.com/smart-clothing/project-jacquard-smart-jacket-review>, Erişim tarihi: 30/5/2019
- Wearable, (2019c). <https://www.wearable.com/smart-clothing/best-smart-clothing>, Erişim tarihi: 30/5/2019
- Wikipedia, (2019a). <https://en.wikipedia.org/wiki/Nylon>, Erişim tarihi 10.05.2019
- Wikipedia, (2019b). https://tr.wikipedia.org/wiki/Moore_yasası, Erişim tarihi 13/05/19
- Wikipedia, (2019c). https://en.wikipedia.org/wiki/Sleep_cycle, Erişim tarihi: 29.05.2019

Withings, (2021). <https://www.withings.com>, Erişim tarihi: 16/01/2021

Yataş, (2021). <https://www.yatasbedding.com.tr/reston-z200-akilli-uyku-takip-cihazı-37015>, Erişim tarihi: 16/01/2021,

Zhang, M., Zhao, M., Jian, M., Wang, C., Yu, A., Yin, Z., ... & Zhai, J. (2019). Printable Smart Pattern for Multifunctional Energy-Management E-Textile. *Matter*.

Bölüm 6

GÖRÜNÜR IŞIK HABERLEŞMESİ SİSTEMLERİNDE M-CSK-OFDM İÇİN DBTC KODLAMA İLE BER PERFORMANS ARTIRIMI

Asuman SAVAŞCIHABEŞ¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

1. GİRİŞ

Daha fazla verim ve dünya çapında kapsama alanı ihtiyacı için kablosuz iletişim alanındaki mevcut senaryo, radyo frekansı (RF) iletişim spektrumunun verimli kullanımı için büyük bir gereksinime sahiptir. Kablosuz ağlara erişen cihazların sayısı son birkaç yılda önemli ölçüde arttı ve böylece mobil veri trafiğini artırdı. Bunun dışında, kablosuz veri trafiği, çevrimiçi sosyal hizmetlerin artan trendi ile daha da artmaktadır. RF iletişimde soruna neden olan diğer faktörler güvenlik, girişim, sağlık güvenliği ve güç verimsizliğidir. Tüm bu faktörler, gelecekte ilave kapasiteyi barındırmak için bazı alternatif araçlar gerektirmektedir.

Günümüzde en etkili alternatiflerden biri, çevre dostu ve enerji verimliliği sağlayan bir teknoloji olarak, ışık yayan diyot (LED) tabanlı görünür ışık iletişimi (VLC) son zamanlarda akademik ve endüstriyel araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir (Qiu, Chen, & Meng, 2016). Büyük regüle edilmemiş frekans kaynaklarından yararlanan VLC, spektrum kıtlığı sorunuyla karşı karşıya kalan RF kablosuz iletişimini tamamlamak için zorlayıcı bir aday olarak kabul edilmektedir. Nesnelerin İnterneti, sanal gerçeklik ve diğer uygulamalar için yüksek hızlı ağ erişimi sağlayabilir. VLC sisteminde, doğrudan algılama (IM/DD) ile yoğunluk modülasyonu genellikle düşük maliyetli uygulama sayesinde kullanılır. İletilecek elektrik sinyalleri, LED'in optik yoğunluğuna modüle edilir ve alınan optik sinyaller, fotodiyot (PD) ile orantılı olarak elektrik sinyallerine dönüştürülür (Yeşilkaya, et al., 2016) (Jiang, Zhang, & Hanzo, 2016) (Cossu, Khalid, Chouldhury, Corsini, & Ciaramelle, 2012) (Monteiro & Hranilovic, 2013).

VLC sistemleri için Optik iletişim için pozitif ve gerçek sinyallerin kullanılması da olası modülasyon tekniklerini büyük ölçüde sınırlar. IEEE 802.15.7 standardında bulunan modülasyonlar tek-taşıyıcılı sistemlerden sadece başla-dur anahtarlaması (on-off keying, OOK) ve darbe-konum modülasyonu (pulse position modulation, PPM) tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Ancak bu tür haberleşme teknikleri kullanıldığında yüksek bant verimliliklerine ve yüksek veri hızlarına ulaşılmamıştır (IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 15.7:short-range Wireless Optical Communication using Visible Light, 2011). Bu alandaki birçok çalışma OOK, PPM ve benzeri modülasyon türlerinin sabit ışık akısı sağlayamaması nedeniyle titreme oluşturmaları insan sağlığı açısından tehlike oluşturabileceği için ve sistemde verileri modüle ederken sistemin sürekli aç kapa işlemlerinden dolayı büyük anahtarlama akımlarına sebep olması nedeniyle sabit ışık akısının olumsuz olarak azaldığı çalışmalar yapılmıştır (Monteiro & Hranilovic, Design and Implementation of Color-

Shift Keying for Visible Light Communications, 2014) (Tugcu, Albayrak, Yazgan, Şimşek, & Türk, 2018).

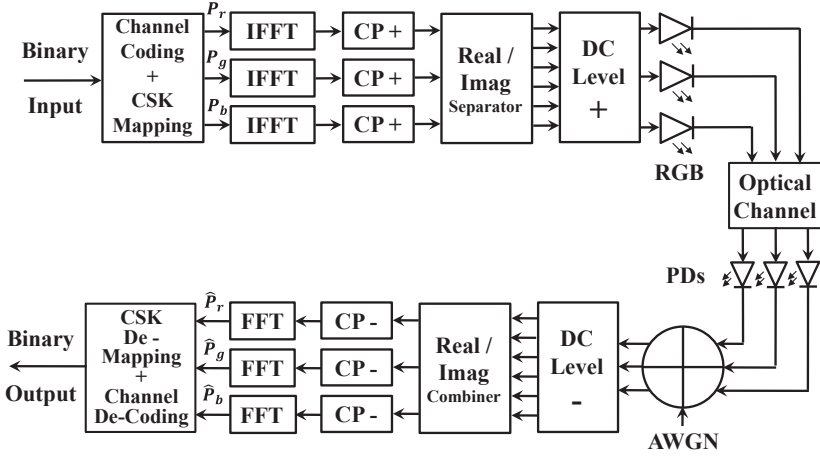
Bununla birlikte, hızlı zamanla değişen çok yönlü optik kablosuz kanal yanıtlarının hata oranı artışlarına ve hata tabanlarına yol açtığı ve bu da sistem performansının düşmesine neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu bozulmanın azaltılması güvenilir iletim için gereklidir (Lin, Cimini, & Chuang, 2000). Sistem başarımındaki bu bozulmaları minimize ederek vericiden gönderilen sinyalleri elde etmek kanal denkleştirme problemidir ve dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) en kolay kanal denkleştirme çözümünü sunmaktadır. IM/DD tabanlı VLC sistemlerinde, OFDM ilgi çekici bir şemadır ve spektral etkinliği iyileştirirken semboller arası girişime (ISI) etkili bir şekilde direnebildiği için yaygın olarak araştırılmıştır (Lin, Cimini, & Chuang, 2000). OFDM tabanlı sistemlerde işaret hem frekans bölgesinde, hem de zaman bölgesinde işlenebildiğinden, kanal denkleştiriciler de hem frekans bölgesinde, hem de zaman bölgesinde tasarlanabilmektedir (Kim, Cimini, & Chuang, 1998).

Kanal denkleştirici kullanılarak ISI'ya karşı önlem alınsa da, gürültü, kanalda meydana gelen derin sönümler ve kanalın frekans seçiciliğinden dolayı sistem başarımı sınırlanmaktadır. Daha yüksek başarıma sahip bir sistem elde etmek için hata düzeltme kodlayıcılarının devreye girmesi gerekmektedir. OFDM tabanlı sistemlerde, birçok kodlama tekniği bulunmasına rağmen, katlamalı kodlama (Convolutional Coding, CC), klasik Turbo kodlama (Turbo Coding, TC) ve çift ikili Turbo kodlama (Double Binary Turbo Coding, DBTC) (Benedetto & Montorsi, 1996) teknikleri gösterdikleri yüksek başarımlarından dolayı tercih edilmektedir. Bu çalışmada, M seviyeli CSK (M-CSK) OFDM sistemlerinin performansını arttırmak için DBTC kanal kodlama yönteminin kullanılması önerilmektedir. M-CSK OFDM sistemlerinde DBTC ile birleştirilmiş Reed Solomon ve katlamalı kodlayıcı (RS-CC) ve klasik TC'lerinin performanslarını karşılaştırmak için bilgisayar benzetim çalışmaları yapılmaktadır. Bilgisayar benzetim sonuçlarından M-CSK OFDM sistemlerinde DBTC kullanılması durumunda elde edilen performansın diğer kodlayıcılar ile elde edilen performanslardan daha iyi olduğu gözlenmektedir (Zhan, Arslan, Erdoğan, & MacDougall, 2006), (Kim & Kim, 2009).

VLC için M-CSK OFDM sistem modeli 2. bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bölüm 3'te bu çalışmada kullanılması önerilen çift ikili Turbo kodlayıcı ve kod çözücü yapısı detaylıca tanıtılmıştır. 4. bölüm benzetim sonuçlarını içermekte ve son bölümde ise sonuçlar yorumlanmaktadır.

II. CSK-OFDM SİSTEM MODELİ

VLC için M-CSK-OFDM sisteminin temel bant verici alıcı blok diyagramı Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil.1. M-CSK-OFDM sistem modeli (Monteiro & Hranilovic, Design and Implementation of Color-Shift Keying for Visible Light Communications, 2014)

Şekil 1’de verilen M-CSK-OFDM sisteminin verici tarafında rastgele üretilen ikili bilgi bitleri kanal kodlama tekniklerinden birisiyle kodlanır. Bu çalışmada kanal kodlayıcı olarak DBTC kullanılarak klasik TC ve RS-CC ile karşılaştırılmaktadır. Kanal kodlayıcı çıkışında elde edilen datarlar CSK modülatörü tarafından modüle edilir ve (x, y) kromatik koordinatları tarafından belirlenen her bir sembol CIE 1931 Uluslararası Aydınlatma Komisyonu tarafından tanımlanan renk uzayı standardında M seviyeli CSK sembollerine eşlenir (Lin, Cimini, & Chuang, 2000). CIE 1931 renk uzayı kromatiklik diyagramı insan gözünün görebildiği tüm renklerin renklilik değerlerini x ve y ile temsil eder. Ardından, renklilik değerleri (x, y) , dönüşüm kuralına göre RGB LED’leri sürmek için $[Pr, Pg, Pb]$ yoğunluk değerlerine dönüştürülür:

$$x = P_r \cdot X_I + P_g \cdot X_J + P_b \cdot X_K \quad (1)$$

$$y = P_r \cdot Y_I + P_g \cdot Y_J + P_b \cdot Y_K \quad (2)$$

$$P_T = P_r + P_g + P_b \quad (3)$$

Burada, (X_I, Y_I) , (X_J, Y_J) ve (X_K, Y_K) , kırmızı (bant I), yeşil (bant J) ve mavi (bant K) renklere karşılık gelen üç köşenin kromatiklik değerleridir. P_T ise ortalama sembol enerjisi E_s ya da ortalama bit enerjisi E_b ’den elde

edilebilecek toplam yoğunluktur. Elde edilen yoğunluk değerleri, RGB yoğunluk uzayı gibi sinyal uzayında bir 3D sembolü $S_l = [P_r, P_g, P_b]$ ($0 \leq l \leq M - 1$)'yi oluşturur. CSK modülatörü çıkışında elde edilen modüle edilmiş datalar her bir renk için alt taşıyıcı eşlemesi yapıldıktan sonra IFFT bloğunda ters hızlı Fourier dönüşümüne tabi tutularak zaman bölgesi örnekleri elde edilir. Daha sonra CP Ekleme bloğunda zaman bölgesindeki örneklerle periyodik önek eklenerek her bir renk için OFDM sembol paketleri elde edilir. VLC sistemlerinde bilgi iletimi için yoğunluk modülasyonu/doğrudan sezim (Intensity Modulation/Direct Detection, IM/DD) yöntemi kullanıldığından, LED'ler üzerinden gönderilecek olan sinyalin gerçel ve pozitif değerli olması gerekir. CP Ekleme bloğu çıkışında elde edilen OFDM sinyalleri Reel/Sanal Ayırıcı bloğunda gerçel ve sanal kısımlarına ayrıştırılır. Ardından, elde edilen OFDM sinyalleri gerçel ancak çift kutuplu sinyaller olduğundan blok diyagramından görüldüğü gibi her bileşene DC seviye kullanılarak gönderilen bilgi sinyallerinin pozitif değerli yapılması IM/DD yöntemi için yeterli olmaktadır. Bu çalışmada DC seviye, gönderilen OFDM bilgi sinyallerinin en küçük değeri sıfır olacak şekilde belirlenmiştir. Elde edilen gerçel pozitif OFDM sinyalleri RGB LED'ler aracılığıyla çok yollu optik kanal üzerinden iletilerek alıcı tarafta foto diyotlar vasıtasıyla alınarak toplanır beyaz Gauss gürültüsü ile bozulur. Alıcı tarafta, bozulan datalar frekans ya da zaman bölgesinde uygun kanal denkleştirici teknikleri ile düzeltildikten sonra verici taraftaki işlemlerin tersi yapılır. FFT bloğu çıkışında, foto dedektörler (foto diyot) tarafından optik/elektrik dönüşümünden sonra, üç renk yoğunluğu bileşenlerinin kestirimleri, $\hat{S} = [\hat{P}_r, \hat{P}_g, \hat{P}_b]$ 3D sinyal uzayında minimum Öklid mesafesine göre demodüle edilir. Sonuçta elde edilen $\bar{S}$ kestirimi (4) eşitliğindeki gibi türetilir:

$$\bar{S} = \arg \min_{S_l \in A} \|\hat{S} - S_l\| \quad (4)$$

Burada, A 3D sinyal uzayında M seviyeli CSK sembollerinin alfabetini gösterir. Sonuç olarak, ikili çıkış bitleri ters eşleme yoluyla $\bar{S}$ 'den tekrar elde edilebilir. CSK Ters Eşleme bloğunda de-modüle edilen verilerin Kanal Kod Çözücü yardımıyla kodu çözüldükten sonra bit hata oranı (BER) gibi istenen başarımlar ölçütleri hesaplanabilir.

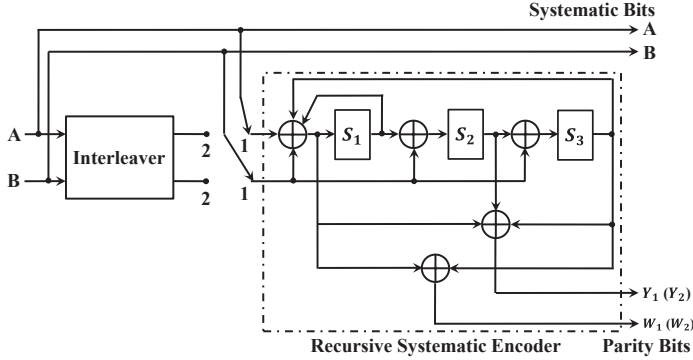
III. KANAL KODLAMA

1993 yılında Berrou ve arkadaşları tarafından sunulan Turbo kodlar en güçlü ileri hata düzeltme kanal kodlama tekniklerinden biridir ve Shannon sınırına yaklaşan optimum performansı sağlar. Son yıllarda, araştırmacılar çift ikili (double binary) Turbo kodların klasik tek ikili (single binary) Turbo kodlara göre pek çok avantaj sağlayabileceğini göstermişlerdir (Tugcu, Albayrak, Yazgan, Şimşek, & Türk, 2018). Söz konusu Turbo kodlayıcı DVB-RCS (Digital Video Broadcasting Standard for Return

Channel via Satellite) ve IEEE 802.16 (WiMAX) standardı gibi haberleşme standartlarında klasik Turbo kodlayıcıların yerini almıştır.

A. Çift İkili Turbo Kodlama(DBTC)

Şekil 2’de DBTC’nin yapısı görülmektedir. Burada, S_1 , S_2 ve S_3 kaydırmalı kaydedicileri göstermektedir.



Şekil.2. DBTC kodlama (Zhan, Arslan, Erdoğan, & MacDougall, 2006).

Şekilden de görüldüğü gibi klasik Turbo kodlayıcı yapısından [14, 15] farklı olarak kodlama iki giriş biti üzerinden yapılır. Klasik Turbo kodlayıcıda kodlayıcıyı başlangıç durumuna getirmek için kullanılan sonlandırma bitleri DBTC kodlayıcıda kullanılmaz. Kodlanacak data dizisi çevrimsel ardışıl sistematik katlamalı (CRSC) kodlayıcıya iki kez girilir. Birincisinde, anahtar 1 pozisyonunda iken normal data dizisi kodlayıcıya girilir. İkincisinde ise, anahtar 2 pozisyonunda iken serpiştirilmiş data dizisi kodlayıcıya girilir. Kodlayıcı $K = 2XM$ bitlerinin oluşturduğu M çiftlerinin bloğu ile beslenir.

İlk olarak, kodlayıcı sıfır başlangıç durumuna getirilir ve $i = 0, \dots, M - 1$ 'e normal data dizisi ile kodlanır. Data dizisi bir kez kodlanarak S_M^0 son durumu elde edilir. Daha sonra çevrimsel durum (circulation state) S_C değeri aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanır.

$$S_C = (I + G^M)^{-1} S_M^0 \quad (5)$$

Burada, I , birim matrisi ve G^M 'de kullanılan kodun generatör matrisini göstermektedir. Tablo 1 farklı M değerleri için S_C ve S_M^0 ilişkisini göstermektedir. Daha sonra, kodlayıcının son durumu ve ikili veri çifti sayısı M değeri kullanılarak Tablo 1'den çevrim durumu S_{C1} bulunur. Kodlayıcı S_{C1} durumuna getirilerek data dizisi tekrar kodlanır. Bu ilk kodlama C_1 kodlama olarak adlandırılır.

Tablo 1. Çevrim durumu uygunluk tablosu .

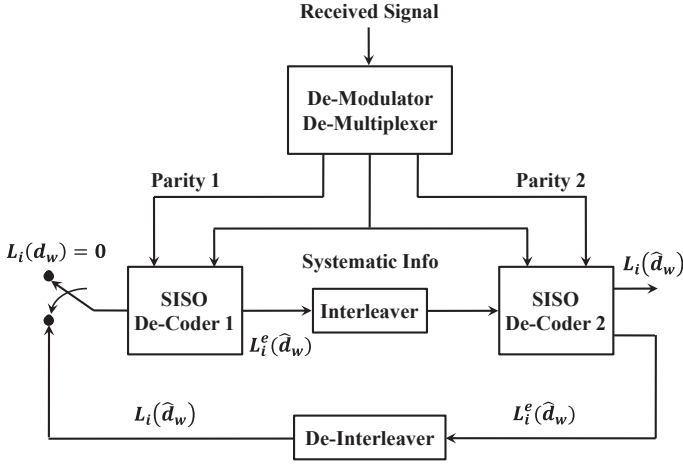
$S_M^0 \rightarrow$ $M \bmod. 7$	0	1	2	3	4	5	6	7
1	$S_C = 0$	6	4	2	7	1	3	5
2	0	3	7	4	5	6	2	1
3	0	5	3	6	2	7	1	4
4	0	4	1	5	6	2	7	3
5	0	2	5	7	1	3	4	6
6	0	7	6	1	3	4	5	2

İkinci olarak, kodlayıcı tekrar sıfır durumuna getirilerek, kodlayıcı C_1 kodlamadaki gibi ön kodlamadan sonra bulunan çevrimsel durum S_{C2} ile $j = 0, \dots, M - 1$ 'e serpiştirilmiş data dizisi kodlanır. Benzer şekilde kodlayıcının son durumu ve M değeri kullanılarak Tablo 1'den çevrim durumu S_{C2} bulunur. Kodlayıcı S_{C2} durumuna getirilerek serpiştirilmiş data tekrar kodlanır ve kodlanmış data dizisi elde edilir. Bu ikinci kodlamada C_2 kodlama olarak adlandırılır.

Data dizisinin kodlama işlemini gerçekleştirmek için, her bir bileşen kodlayıcı için bir çevrim durumundan oluşan iki çevrim durumu belirlenir ve data dizisi 4 kez kodlanır. Her bir data çifti için, kodlanmış kod sözcüğü giriş çiftin (A ve B) kopyasından oluşan iki sistematik biti ve sırasıyla normal ve serpiştirilmiş data dizisi için dört eşlik bitlerini (Y_1 , W_1 , Y_2 ve W_2) içerir. Kodlama sonunda oluşan kod sözcüğü A, B, Y_1 , W_1 , Y_2 , W_2 şeklinde oluşur.

B. Çift İkili Turbo Kod Çözücü

Çift ikili Turbo kod çözücünün yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir. Sistematik bilgi, bilgi sembollerinin $d_w = \{00, 01, 10, 11\}$ kanal değeridir. Eşlik 1 ve Eşlik 2, kodlayıcı eşlik bitleri çıkışlarının kanal değerleridir. $L_i(\hat{d}_w)$, $i = 1, 2, 3$ için sonsal olasılığın (APP) logaritmik olabilirlik oranı (LLR)'dır. $L_i^e(\hat{d}_w)$ geçici (extrinsic) bilgidir.



Şekil.3. DBTC kod çözme (Kim & Kim, 2009).

Turbo kod çözücünde, ardışıl giriş bitleri kafes (trellis) çoklayıcı (multiplexer) boyunca bilgi ve eşlik bitleri içinde bölünür. Yumuşak girişli yumuşak çıkışlı (Soft Input Soft Output, SISO) kod çözücü tarafından üretilen bilgi ve eşlik bitleri ve önsel bilgi kod çözme işleminde kullanılır. Kod çözme işleminin sonuçları önceki kod çözme sonuçları ile karşılaştırılır. Sonra, bu kod çözme işlemi kod çözücü çıkışlarının güvenilirliğini arttırmak için tekrarlanır. Birkaç iterasyondan sonra, son değerler yumuşak karar (soft decision) ile belirlenir.

Bu çalışmada, düşük hesaplama karmaşıklığı, yüksek verim ve düşük güç tüketimi nedeniyle çift ikili Turbo kod çözücü için Max-Log-MAP algoritması kullanıldı (Jiang, Zhang, & Hanzo, Analysis and design of three-stage concatenated color-shift keying, 2015). Geri besleme için geçici bilgi eşlemesi (Berrou, Jezequel, Douillard, & Kerouedan, 2001)'e göre yapılmıştır. $i = 1, 2, 3$ için $L_i(\hat{d}_w)$, sonsal olasılığın logaritmik olabilirlik oranı ve $L_i^e(\hat{d}_w)$, geçici bilgidir.

İlk olarak, kod çözücü kuralına göre, dal geçiş olasılığının logaritması aşağıda verilen eşitlikteki gibi hesaplanır:

$$\bar{\gamma}_w^i(S_{w-1}, S_w) = \ln \gamma_w^i(S_{w-1}, S_w) = \ln p(y_w | d_w) p(d_w) \quad (6)$$

burada, S_w , w zamanında kodlayıcı durumunu, y_w , alınan sembolü ve d_w bilgi sembolünü göstermektedir. Denklem yeniden düzenlenirse:

$$\bar{\gamma}_w(S_{w-1}, S_w) = \frac{1}{2} L_C [y_w^{s,I} x_w^{s,I}(i) + y_w^{s,Q} x_w^{s,Q}(i)] + \ln p(d_w) + W = \frac{1}{2} L_C [y_w^{p,I} x_w^{p,I}(i, S_{w-1}, S_w) + \quad (7)$$

$$y_w^{p,Q} x_w^{p,Q} (i, S_{w-1}, S_w)]$$

İfdesi elde edilir. Burada, $y_w^{s,I}$, $y_w^{s,Q}$, $y_w^{p,I}$ ve $y_w^{p,Q}$ sırasıyla I ve Q kanalları boyunca gönderilen alınan sistematik ve eşlik değerlerini göstermektedir. $x_w^{s,I}(i)$, $x_w^{s,Q}(i)$, $x_w^{p,I}(i, S_{w-1}, S_w)$ ve $x_w^{p,Q}(i, S_{w-1}, S_w)$ sırasıyla karesel faz kaydırmalı anahtarlama (QPSK) işaret yıldız kümesine eşleştirilen kod kelimesinin bitlerini göstermektedir. W bir sabittir. QPSK modülasyonunda çift ikili Turbo kodu kullanmak için, kodlanmış data dizisinin tek indisleri I kanalından ve çift indisleri de Q kanalından gönderilir.

Sonra, ileri ve geri yineleme (recursion) ile elde edilen $\alpha_w(S_w)$ ve $\beta_w(S_w)$ değerleri hesaplanır, daha sonra da MAX-fonksiyonu kullanılır,

$$\bar{\alpha}_w(S_w) \approx \max_{S_{w-1}} [\bar{\gamma}_w(S_{w-1}, S_w) + \bar{\alpha}_{w-1}(S_{w-1})] \quad (8)$$

$$\bar{\beta}_{w-1}(S_{w-1}) \approx \max_{S_w} [\bar{\gamma}_w(S_{w-1}, S_w) + \bar{\beta}_w(S_w)] \quad (9)$$

$i = 1, 2, 3$ için LLR değerleri aşağıdaki eşitlikteki gibi verilir.

$$\begin{aligned} L_i(d_w) \\ = \ln \frac{\sum_{d_w=i}^{(S_{w-1}, S_w)} \gamma_w^i(S_{w-1}, S_w) \alpha_{w-1}(S_{w-1}) \beta_w(S_w)}{\sum_{d_w=0}^{(S_{w-1}, S_w)} \gamma_w^0(S_{w-1}, S_w) \alpha_{w-1}(S_{w-1}) \beta_w(S_w)} \end{aligned} \quad (10)$$

Geçici bilgi de aşağıda verilen eşitlikteki gibi hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} L_i^e(\hat{d}_w) \\ = \ln \frac{\sum_{d_w=i}^{(S_{w-1}, S_w)} \gamma_w^{i(e)}(S_{w-1}, S_w) \alpha_{w-1}(S_{w-1}) \beta_w(S_w)}{\sum_{d_w=0}^{(S_{w-1}, S_w)} \gamma_w^{0(e)}(S_{w-1}, S_w) \alpha_{w-1}(S_{w-1}) \beta_w(S_w)} \end{aligned} \quad (11)$$

SISO kod çözücü 1'in $L_i^e(\hat{d}_w)$ değeri SISO kod çözücü 2'nin önsel bilgisidir. SISO kod çözücü 2'deki kod çözme işlemi SISO kod çözücü 1'deki aynı yöntemle gerçekleştirilir. Aynı şekilde, SISO 2'nin $L_i^e(\hat{d}_w)$ değeri SISO 1'in önsel bilgisidir. İstenen sayıda kod çözme iterasyonundan sonra, yumuşak kararlar aşağıdaki eşitliğe göre yapılır:

$$\hat{d}_w = \begin{cases} 01 & L(\hat{d}_w) = L_1(\hat{d}_w) \text{ and } L_1(\hat{d}_w) > 0 \text{ ise,} \\ 10 & L(\hat{d}_w) = L_2(\hat{d}_w) \text{ and } L_2(\hat{d}_w) > 0 \text{ ise,} \\ 11 & L(\hat{d}_w) = L_3(\hat{d}_w) \text{ and } L_3(\hat{d}_w) > 0 \text{ ise,} \\ 00 & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (12)$$

Burada $L(\hat{d}_w) = \max(L_1(\hat{d}_w), L_2(\hat{d}_w), L_3(\hat{d}_w))$ ile verilir.

IV. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bilgisayar benzetim çalışmalarında AWGN kanal simülasyonlarında kodlamasız M-CSK-OFDM ile 1/3 oranlı klasik TC kodlamalı, RS-CC kodlamalı ve DBTC kodlamalı M-CSK-OFDM sistemleri karşılaştırılmaktadır. Tüm yöntemlerde 48 alt taşıyıcı ve 64 noktalı FFT kullanılmıştır.

Karşılaştırmalarda kullanılan RS-CC kodlayıcı Reed-Solomon, blok serpiştirici ve katlamalı kodlamanın birleşiminden oluşur. Veri paketleri IEEE 802.16-2004 [1] Standardında gösterildiği gibi hazırlanır. Alt veri paketlerinin her biri için veri olarak 2047 bit uzunluklu PN (Pseudo Noise) dizisinin 1912 biti alınır ve önce $(255, 239, GF 2^8)$ Reed-Solomon kodlaması ile standarda uygun olarak kodlanır. Blok serpiştiriciden geçirilen veri 1/3 oranındaki evrimsel kodlamaya (convolution code, CC) tabi tutularak kodlama yapılır. Daha sonra, kodlanmış veriler CSK eşlemeden geçirilerek istenen herhangi bir işaret yıldız kümesine (4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK) dönüştürülür. Bu çalışmada, OFDM işaretinin üretimi için alt taşıyıcı sayısı 48, pilot sayısı 4 ve güvenlik aralığı içinde 12 bit boş bırakılarak oluşturulan 64 bit frekans bölgesi OFDM işaretine 64 noktalı IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) işlemi uygulanır. Elde edilen 64 bit zaman bölgesi OFDM işaretinin son 1/4'lük kısmı (16 bit) çevrimsel önek (cyclic prefix, CP) olarak başa eklenerek 80 bitten oluşan RS-CC kodlamalı M-CSK-OFDM sembolü oluşturulur.

Alıcı yapısında ise, OFDM-demodülasyon ve CSK ters eşlemeden sonra kanal kod çözücünde yumuşak çıkışlı Viterbi algoritması (Soft Output Viterbi Algorithm, SOVA) kullanılarak alınan dataların kodu çözülür. Karar mekanizması bloğunda ise kodu çözülmüş datalara karar verilerek istenen başarımlar karşılaştırmaları yapılır.

Şekil 1'de gösterilen çift ikili Turbo kodlayıcıda ise, 2880 bitlik data dizisi ikiye bölünüp kodlayıcı girişine verilerek kodlanmış data dizisi elde edilir. Elde edilen kodlanmış data dizisi CSK eşlemeden geçirilerek istenen herhangi bir işaret yıldız kümesine dönüştürülür. CSK eşlemesi yapılan verilerden OFDM işaretleri diğer RS-CC kodlayıcıdaki gibi üretilir. Alıcı yapısında ise, OFDM-demodülasyon ve CSK ters

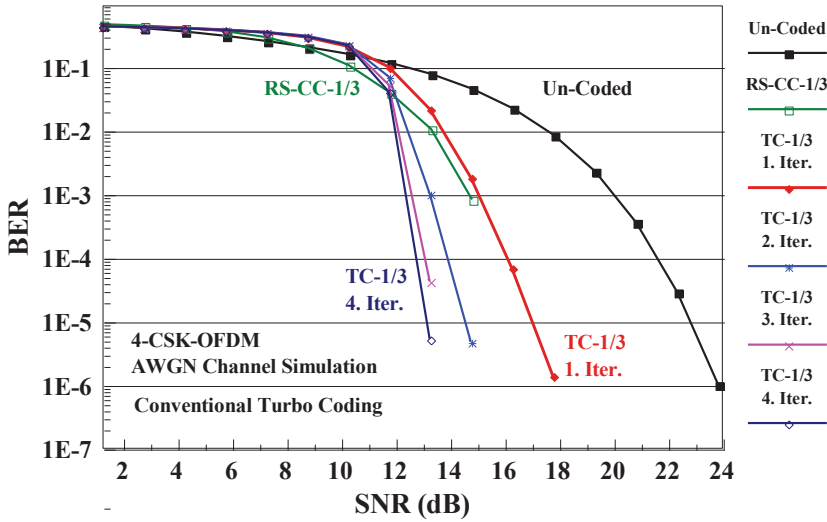
eşlemeden sonra Şekil 2'deki çift ikili Turbo kod çözücünde Max-Log-MAP algoritması kullanılarak alınan dataların kodu çözülür. Daha sonra, kodu çözülmüş datalara karar verilerek istenen başarımlar karşılaştırılmaları yapılır.

Benzetim çalışmalarında, kodlayıcıların başarımlarını karşılaştırmak için Bit Hata Oranı (Bit Error Rate, BER) başarımlar kriteri kullanılmaktadır. Çift ikili ve klasik Turbo kod çözücünde 5 iterasyon kullanılarak elde edilen başarımlar incelenmektedir.

AWGN Kanalda Benzetim Çalışmaları

AWGN kanalda, 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK modülasyonunun kullanıldığı kodlanmamış OFDM, 1/3 oranlı RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlamalı OFDM sistemlerinin AWGN kanal üzerinden BER-SNR performansları karşılaştırılmaktadır. Simülasyonlar 1000 Monte Carlo döngüsü üzerinden ilgili yöntemlerin 1000 sembol paketi kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 4'te 4-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve klasik TC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir.



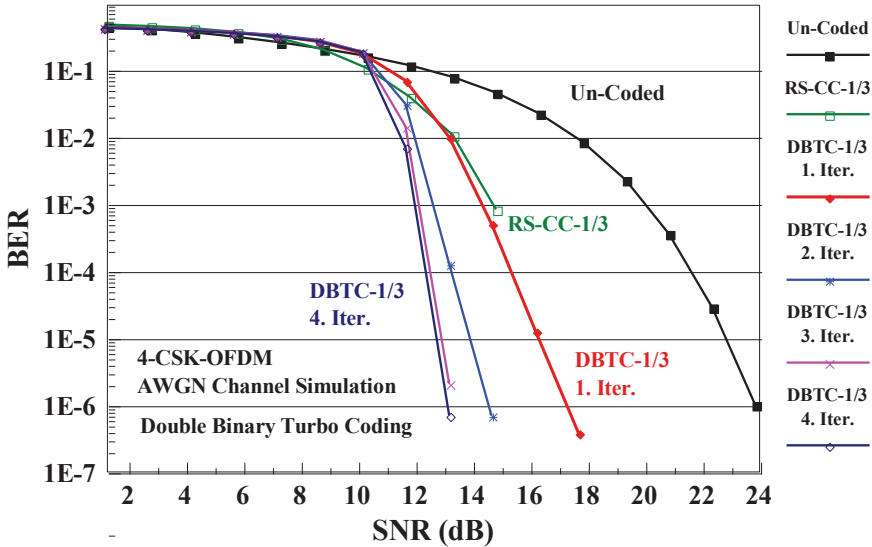
Şekil.4. AWGN kanalda 4-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve klasik TC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

4-CSK modülasyonu başarımlarını gösteren Şekil 4 incelendiğinde, 1E-3 BER değerinde klasik TC kodlayıcının birinci iterasyonda kodlanmamış BER başarımlarından yaklaşık olarak 5 dB kodlama kazancı sağladığı görülmektedir. Birinci iterasyonla ikinci iterasyon arasında yaklaşık olarak 1.8 dB iterasyon kazancı elde edilmektedir. İterasyon sayısı arttıkça iterasyon kazancı azalarak artmaya devam etmektedir.

Dördüncü iterasyondan sonra başarımdaki artış artık ihmal edilebilir hale gelmiştir. Klasik RS-CC kodlayıcı başarımı incelendiğinde ise, RS-CC'nin klasik Turbo kodlayıcının birinci iterasyonundan daha iyi başarıma sahip olduğu görülmektedir.

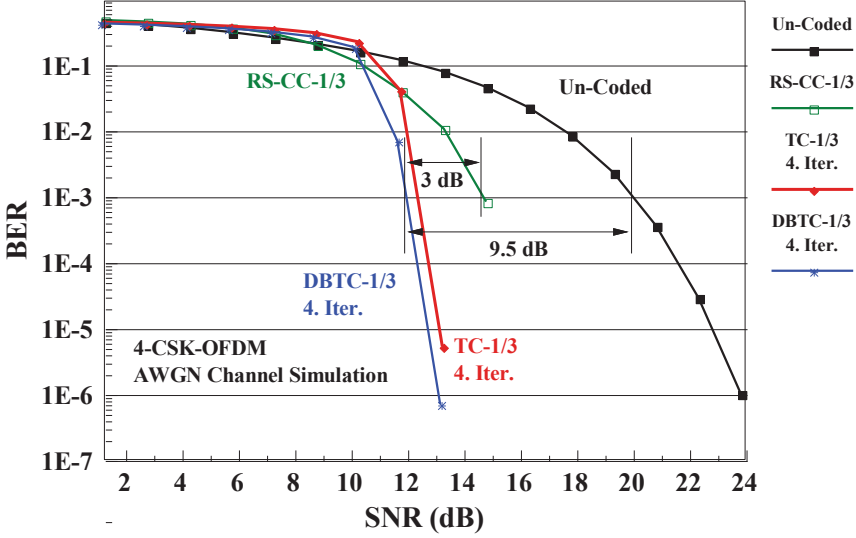
Şekil 5'te 4-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve DBTC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir. Şekil 5'te verilen 4-CSK modülasyonu için BER-SNR başarımları incelendiğinde, $1E-3$ BER değerinde DBTC kodlayıcının birinci iterasyonda kodlanmamış BER başarımından yaklaşık olarak 5.8 dB kodlama kazancı sağladığı görülmektedir.

Birinci iterasyonla ikinci iterasyon arasında yaklaşık olarak 1.8 dB iterasyon kazancı elde edilmektedir. İterasyon sayısı arttıkça iterasyon kazancı azalarak artmaya devam etmektedir. Dördüncü iterasyondan sonra başarımdaki artış artık ihmal edilebilir hale gelmiştir. Klasik RS-CC kodlayıcı başarımı incelendiğinde ise, $SNR < 13$ dB için RS-CC'nin çift ikili Turbo kodlayıcıdan daha iyi başarıma sahip olduğu görülmektedir. SNR değeri arttıkça ($SNR > 13$ dB için) RS-CC ile çift ikili Turbo kodlayıcının birinci ve daha sonraki iterasyonlarından daha düşük başarımlar elde edilmektedir.



Şekil.5. AWGN kanalda 4-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve DBTC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

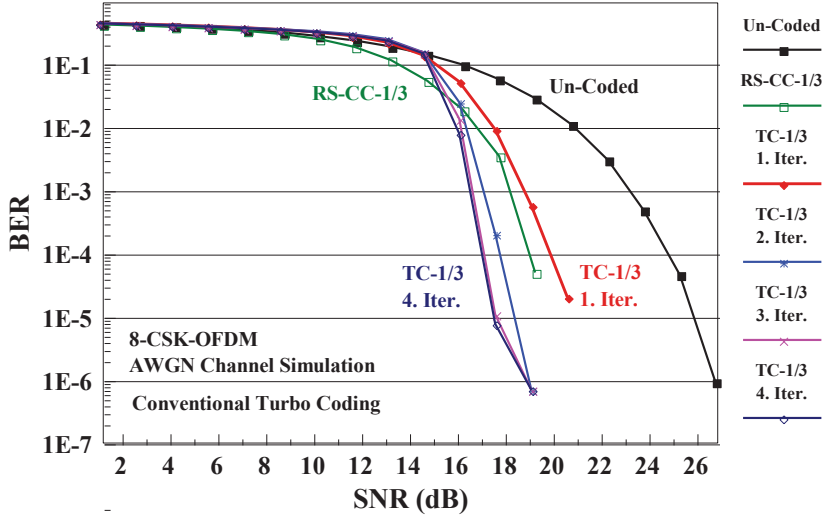
Şekil 6’da 4-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir. Bir önceki karşılaştırmalarda en iyi sonuçlar 4. iterasyon ile elde edildiği için bu karşılaştırmalar 4. iterasyon için yapılmaktadır.



Şekil.6. AWGN kanalda 4-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

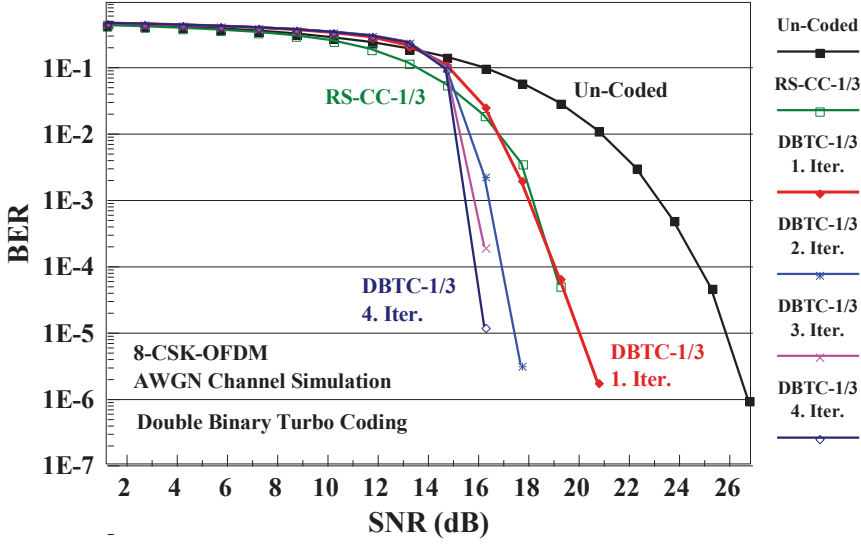
RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlayıcıların 4-CSK modülasyonu başarımlarının karşılaştırılmasını gösteren Şekil 6 incelendiğinde, DBTC kodlamayı kullanan 4-CSK-OFDM sisteminin $1E-3$ BER seviyesi için klasik TC'ya yaklaşık olarak 0.8 dB, RS-CC'ye 3 dB ve kodlamasız 4-CSK-OFDM sistemine de 9.5 dB SNR kazancı sağladığı görülmektedir. Ayrıca bütün iterasyonlarda DBTC'nın klasik Turbo kodlayıcıdan daha çok kodlama kazancı sağladığı görülmektedir.

Şekil 7'de 8-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve klasik TC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil.7. AWGN kanalda 8-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve klasik TC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

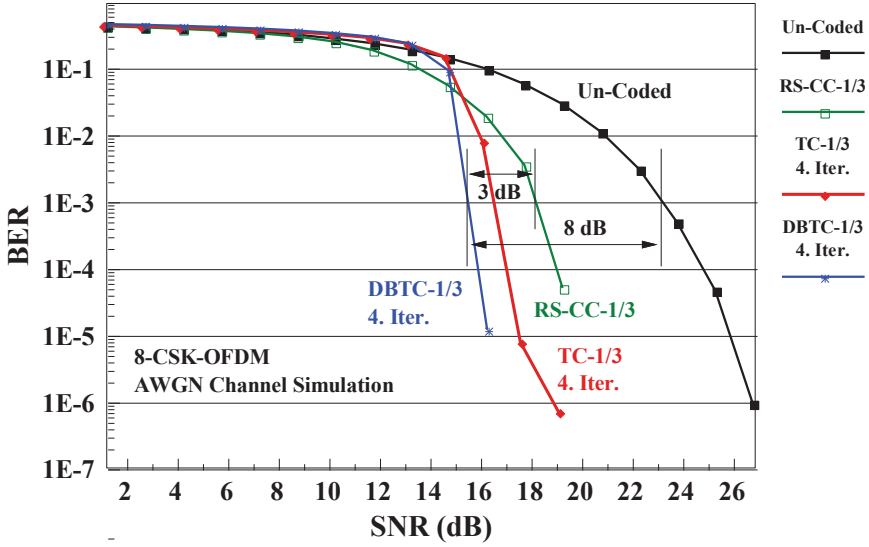
8-CSK modülasyonu başarımlarını gösteren Şekil 7 incelendiğinde, 10^{-3} BER değerinde klasik TC kodlayıcının birinci iterasyonda kodlanmamış BER başarımından yaklaşık olarak 4.2 dB kodlama kazancı sağladığı görülmektedir. Birinci iterasyonla ikinci iterasyon arasında yaklaşık olarak 1.8 dB iterasyon kazancı elde edilmektedir. İterasyon sayısı arttıkça iterasyon kazancı azalarak artmaya devam etmektedir. Dördüncü iterasyondan sonra başarımdaki artış artık ihmal edilebilir hale gelmiştir. Klasik RS-CC kodlayıcı başarımı incelendiğinde ise, RS-CC'nin klasik Turbo kodlayıcının birinci iterasyonundan daha iyi başarıma sahip olduğu görülmektedir.



Şekil.8. AWGN kanalda 8-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve DBTC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

Şekil 8’de 8-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve DBTC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir. Şekil 8’de verilen 8-CSK modülasyonu için BER-SNR başarımları incelendiğinde, $1E-3$ BER değerinde DBTC kodlayıcının birinci iterasyonda kodlanmamış BER başarımından yaklaşık olarak 5.2 dB kodlama kazancı sağladığı görülmektedir. Birinci iterasyonla ikinci iterasyon arasında yaklaşık olarak 1.8 dB iterasyon kazancı elde edilmektedir. İterasyon sayısı arttıkça iterasyon kazancı azalarak artmaya devam etmektedir. Dördüncü iterasyondan sonra başarımdaki artış artık ihmal edilebilir hale gelmiştir. Klasik RS-CC kodlayıcı başarımı incelendiğinde ise, $SNR < 15$ dB için RS-CC’nin çift ikili Turbo kodlayıcıdan daha iyi başarıma sahip olduğu görülmektedir. SNR değeri arttıkça ($SNR > 15$ dB için) RS-CC’nin çift ikili Turbo kodlayıcının birinci iterasyonunda elde edilen performansa yakınsadığı ancak ikinci ve daha sonraki iterasyonlarından daha düşük başarımlar sağladığı gözlenmektedir.

Şekil 9’da 8-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir. Bir önceki karşılaştırmalarda en iyi sonuçlar 4. iterasyon ile elde edildiği için bu karşılaştırmalar 4. iterasyon için yapılmaktadır.

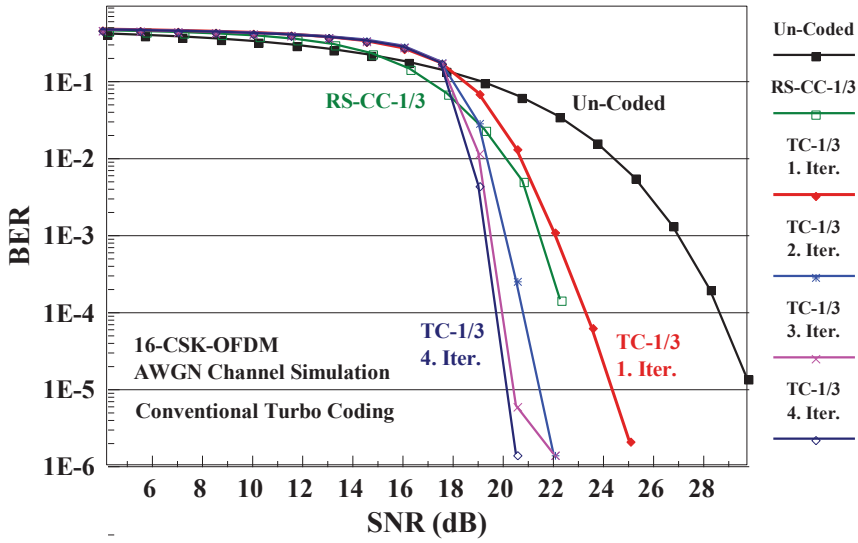


Şekil.9. AWGN kanalda 8-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlayıcıların 8-CSK modülasyonu başarımlarının karşılaştırılmasını gösteren Şekil 9 incelendiğinde, DBTC kodlamayı kullanan 8-CSK-OFDM sisteminin $1E-3$ BER seviyesi için klasik TC'ya yaklaşık olarak 1 dB, RS-CC'ye 3 dB ve kodlamasız 8-CSK-OFDM sistemine de 8 dB SNR kazancı sağladığı görülmektedir. Ayrıca bütün iterasyonlarda DBTC'nın klasik Turbo kodlayıcıdan daha çok kodlama kazancı sağladığı görülmektedir.

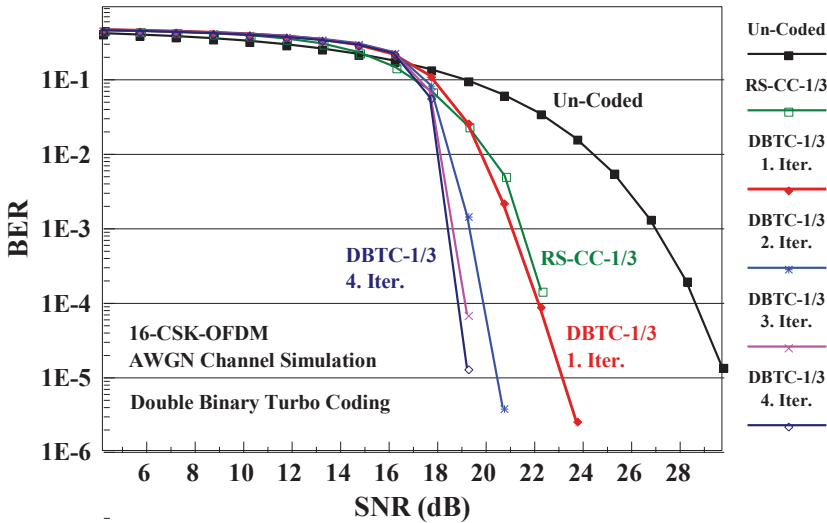
Şekil 10'da 16-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve klasik TC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir.

16-CSK modülasyonu başarımlarını gösteren Şekil 10 incelendiğinde, $1E-3$ BER değerinde klasik TC kodlayıcının birinci iterasyonda kodlanmamış BER başarımından yaklaşık olarak 4.8 dB kodlama kazancı sağladığı görülmektedir. Birinci iterasyonla ikinci iterasyon arasında yaklaşık olarak 2 dB iterasyon kazancı elde edilmektedir. İterasyon sayısı arttıkça iterasyon kazancı azalarak artmaya devam etmektedir. Dördüncü iterasyondan sonra başarımdaki artış artık ihmal edilebilir hale gelmiştir. Klasik RS-CC kodlayıcı başarımı incelendiğinde ise, RS-CC'nin klasik Turbo kodlayıcının birinci iterasyonundan daha iyi başarıma sahip olduğu ve $1E-3$ BER değeri için yaklaşık olarak 0.7 dB SNR iyileştirmesi sağladığı görülmektedir.



Şekil.10. AWGN kanalda 16-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve klasik TC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

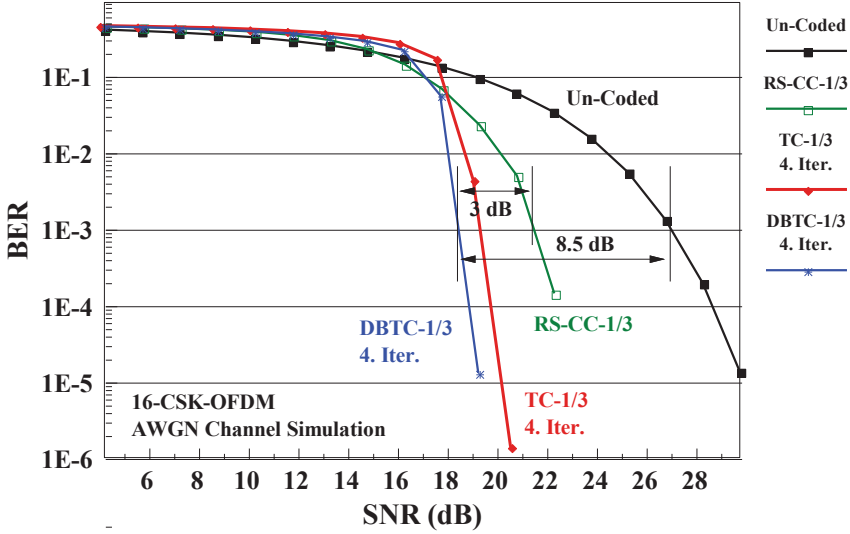
Şekil 11’de 16-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve DBTC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil.11. AWGN kanalda 16-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC ve DBTC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

Şekil 11’de verilen 16-CSK modülasyonu için BER-SNR başarımları incelendiğinde, $1E-3$ BER değerinde DBTC kodlayıcının birinci iterasyonda kodlanmamış BER başarımından yaklaşık olarak 6 dB kodlama kazancı sağladığı görülmektedir. Birinci iterasyonla ikinci iterasyon arasında yaklaşık olarak 1.8 dB iterasyon kazancı elde edilmektedir. İterasyon sayısı arttıkça iterasyon kazancı azalarak artmaya devam etmektedir. Dördüncü iterasyondan sonra başarımdaki artış artık ihmal edilebilir hale gelmiştir. Klasik RS-CC kodlayıcı başarımı incelendiğinde ise, RS-CC’nin bütün iterasyonlarından daha düşük başarımlar sağladığı gözlenmektedir.

Şekil 12’de 16-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlamalı OFDM yöntemlerinin AWGN kanal için elde edilen BER-SNR performanslarının karşılaştırılması verilmektedir. Bir önceki karşılaştırmalarda en iyi sonuçlar 4. iterasyon ile elde edildiği için bu karşılaştırmalar 4. iterasyon için yapılmaktadır.



Şekil.12. AWGN kanalda 16-CSK modülasyonu için kodlamasız OFDM, RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlamalı OFDM sistemlerinin BER-SNR başarımlarının karşılaştırılması.

RS-CC, klasik TC ve DBTC kodlayıcıların 16-CSK modülasyonu başarımlarının karşılaştırılmasını gösteren Şekil 12 incelendiğinde, DBTC kodlamayı kullanan 16-CSK-OFDM sisteminin $1E-3$ BER seviyesi için klasik TC’ya yaklaşık olarak 1.2 dB, RS-CC’ye 3 dB ve kodlamasız 16-CSK-OFDM sistemine de 8.5 dB SNR kazancı sağladığı görülmektedir. Ayrıca bütün iterasyonlarda DBTC’nın klasik Turbo kodlayıcıdan daha çok kodlama kazancı sağladığı görülmektedir.

V. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, görünür ışık haberleşme (VLC) sistemlerinde M seviyeli renk kaydırmalı anahtarlama (M-CSK) modülasyonlu OFDM sistemlerinde performansı arttırmak için çift ikili Turbo kodlama (DBTC) tekniğinin kullanılması önerilmektedir. DBTC ile kodlanmış M-CSK-OFDM sisteminin bit hata oranı (BER) üzerinden AWGN kanal ortamında başarımını test etmek için bilgisayar benzetimleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlardan DBTC kodlamalı M-CSK-OFDM sisteminin performansının klasik Turbo kodlamalı (TC) ve birleştirilmiş Reed Solomon ve Katlamalı Kodlamalı (RS-CC) M-CSK-OFDM sistemlerinin performansından daha iyi olduğu gözlenmektedir. 10^{-3} BER seviyesi için DBTC kodlamalı sistemin klasik TC kodlamalı sisteme karşı yaklaşık olarak 1 dB, RS-CC kodlamalı sisteme karşı 3 dB ve kodlamasız sisteme karşı da 8.5 dB SNR kazancı sağladığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Benedetto , S., & Montorsi, G. (1996). Design of Parallel Concatenated Convolutional Codes. *IEEE Transactions on Communications*, 44(5), 591-600.
- Berrou, C., Jezequel, M., Douillard , C., & Kerouedan, S. (2001). The advantages of non-binary Turbo codes. *IEEE Information Theory Workshop*, (s. 61-63).
- Cossu, G., Khalid, A., Chouldhury, P., Corsini, R., & Ciaramelle, E. (2012). 3.4Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED. *Opt Express*, 20, 501-506.
- (2011). *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 15.7:short-range Wireless Optical Communication using Visible Light*. IEEE Std 802.15.7-2011.
- Jiang, J., Zhang, R., & Hanzo, L. (2015). Analysis and design of three-stage concatenated color-shift keying. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(11), 5126-5136.
- Jiang, J., Zhang, R., & Hanzo, L. (2016). Analysis and Design of Three-Stage Concatenated Color-Shift Keying. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(11), 5126-5136.
- Kim, E. C., & Kim, Y. J. (2009). Performance of double binary Turbo coded UWB systems with antenna diversity., (s. 272-277).
- Kim, J., Cimini, L. J., & Chuang, I. (1998). Coding Strategies for OFDM with Antenna Diversity for High Bit rate mobile applications. *VTC'98 IEEE International Conference on Vehicular Technology*, (s. 743-747). Canada.
- Lin, L., Cimini, L. J., & Chuang, I. (2000). Comparison of Convolutional and Turbo Codes for OFDM with Antenna Diversity in High-Bit-Rate Wireless Applications. *IEEE Comm. Letters*, 4(9), 277-279.
- Monteiro, E., & Hranilovic, S. (2013). Design and implementation of Color-Shift Keying for Visible Light Communications. *McMaster University*. içinde Canada.
- Monteiro, E., & Hranilovic, S. (2014). Design and Implementation of Color-Shift Keying for Visible Light Communications. *Journal of lightwave Technology*, 32(10), 1-18.

- Qiu, Y., Chen, H., & Meng, X. (2016). *Channel modeling for visible light communications-a survey*. Wireless Communicaitons Mobile Computing.
- Tugcu, E., Albayrak, C., Yazgan, A., Şimşek, C., & Türk, K. (2018). Bit error rate analysis for color shift keyin modulation. *26th Signal Processing and Communications Application Conference (SIU2018)*, (s. 1-4). izmir.
- Yeşilkaya, A., Miramirkhani, F., Aslah, H., Başar, E., Panayırıcı, E., & Uysal, M. (2016). Görünür Işık Kanallarının Modellenmesi ve Optik OFDM Sistemleri için Başarım Analizi. *EMO bilimsel dergi*, 5126-5136.
- Zhan, C., Arslan, T., Erdoğan, A. T., & MacDougall, S. (2006). An efficient decoder scheme for double binary circular Turbo codes. *IEEE ICASSP International Conference Acoustic Speech and Signal Processing*, (s. 229-232).

Bölüm 7

TiO₂/BiVO₄ FOTOKATALİZÖRLERE

GENEL BİR BAKIŞ

Selda TOPÇU ŞENDOĞDULAR¹
Ebru BOZKUŞ

¹ Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

1. Yarı iletken fotokatalizörler: Temel Prensipleri ve mekanizması

İdeal bir fotokatalizör, reaktif olmayan, kolayca bulunabilen, toksik olmayan ve geniş bir güneş spektrumunda ki fotonlar tarafından aktive edilebiliyor olmalıdır [1]. Bir malzemenin iletken, yarı iletken veya yalıtkan olup olmadığını belirleyen, değerlik bandı (VB) ve iletim bandı (CB) arasındaki enerji farkı yani bant boşluk enerjisidir (E_g). Yalıtkanların veya metallerin aksine, yarı iletkenler, bir fotonu bant aralıklarına eşit veya daha yüksek bir enerji ile emdiklerinde elektron (e^-) / delik (h^+) çiftlerinin üretilmesine izin veren bant aralığına sahiptir. Oluşan elektron boşluk deliklerini geride bırakan fotokatalistin iletken bandı aktivasyon denklemi şöyle yazılabilir,



Yarı iletken metal oksitler, uygun bant aralığı (örneğin) ve bant kenarı konumları nedeniyle yaygın olarak fotokatalizörler olarak kullanılır. Yarı iletkenlerde, elektronik yapı, yarı iletkenin değerlik bandının (VB) tamamen elektronlarla doldurulduğu ve iletim bandının (CB) boş olduğu yerlerde önemli bir rol oynar. Bir yarı iletken fotokatalist aynı olan foton enerjileri ile ışığı emer. Bant boşluğundan daha büyük ışık enerjisi ($h\nu$) valans bandından elektron uyarımına neden olur [2].

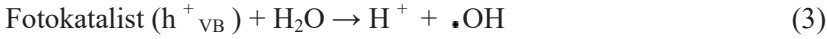
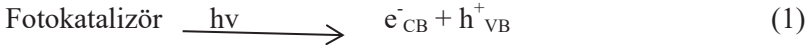
Foton (E) enerjisi ve eşik dalga boyu arasındaki ilişki Plack denklemi ($v = (c/\lambda_g)$, v = frekans, c = ışık hızı ($2,99793 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$), h = Planck sabiti ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$)) olarak elde edilerek aşağıdaki eşitlikteki gibidir.

$$E = h\nu / \lambda_g$$

Örneğin, TiO_2 ' in önemli iki fazı olan anataz ve rutil polimorflarıdır. Bu denklemlere göre bant boşlukları E_g (anataz) = 3,2 eV ve E_g (rutil) = 3,02 eV olarak hesaplanır ve bu şekilde emilim eşikleri 380 ve 410 nm' dir [2].

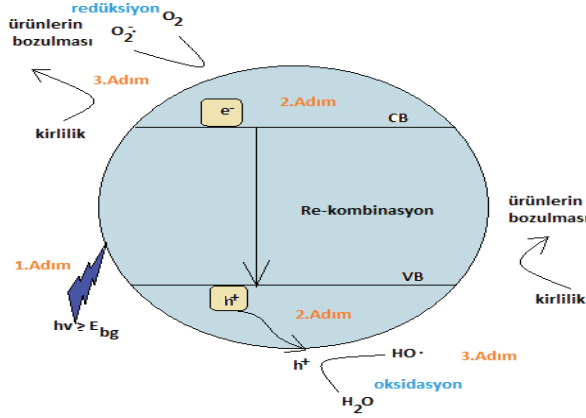
Bir fotokatalizörün rolü, ışık enerjisi altında spesifik oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarını hızlandırmaktır. Genel olarak, bir fotokatalitik reaksiyonu üç temel adımdan oluşur. (Şekil 1): (1. Aşama) elektron ve delik çiftlerinin foto-üretimi; (2. Aşama) elektron ve delik çiftinin ayrılması ve yarı iletken yüzeyine difüzyonları; (3. Aşama) katalitik aktif bölgelerindeki foto-indirgeme ve foto-oksidasyon reaksiyonları yer almaktadır. Genellikle, yarı iletken fotokatalist, valans bandı (VB) ve iletim bandında (CB) elektronlar (e^-) deliklerin (h^+) oluşmasıyla sonuçlanan bant boşluğundan (E_{BG}) daha yüksek enerji fotonlarını (ışık enerjisi) emer. Fotojenlenmiş şarj taşıyıcıları, redoks

reaksiyonlarını kolaylaştırmak için fotokatalizörün yüzeyinde elde edilir. Oluşan delikler ve elektronlar O_2 ile reaksiyona girerek, katalizörler üzerindeki süperoksit radikaller ($O_2 \bullet^-$) oluşur. Bu radikaller, sulu toksinlerin ayrışması için güçlü oksidasyon ve azaltma potansiyellerine sahiptir. Fotokataliz sırasında gerçekleşen ana reaksiyonlar, aşağıda yer almaktadır. (1) - (4).



1.4. Şarj (yük) Taşıyıcı Tuzağı (Charge Carrier Trapping)

Foto-üretilen elektronlar ve boşluklar, ısı veya foton enerji ile çok kısa zamanda yarıiletkenlerin yüzeylerin de veya hacminde yeniden birleşebilir. Fotokatalist yüzeyinde etkili bir yük aktarma işleminin gerçekleşmesi için, foto-çıkışlı elektron deliği çiftinin yeniden birleşme (recombination) geçiktirilmelidir. Yeniden birleşme olmadan yarıiletkenlerin yüzeyine giden elektronlar ve boşluklar sırasıyla yarıiletken tarafından absorbe edilen reaktanlar ile indirgenmeli ve yükseltgenmelidir. Şarj taşıyıcısı tuzağı, yeniden birleşmeyi baskılar ve ayrılmış elektron ve deliğin ömrünü bir nano saniyenin üzerine çıkarır. Şarj taşıyıcı yakalama, fotojenere edilmiş elektron, delik veya her ikisini yakalama ile ilişkilidir. Şarj taşıyıcıları yeniden birleşmeyi azaltır ve elektron delik ayırımının ömrünü arttırır. Kolloidal ve polikristalin fotokatalizörlerin hazırlanmasında, yarı iletkenlerin ideal kristal kafesleri üretilemez. Bunun yerine, hazırlık sürecinde yüzey ve yığın düzensizlikleri doğal olarak ortaya çıkar. Düzenlilikleri, enerjilerinde yığın yarı iletken de bulunan bantlardan farklı olan, yüzey elektron durumları ile ilişkilidir. Elektron durumları, yük taşıyıcı tuzakları olarak işlev görür ve elektronların ve deliklerin yeniden birleşmesini bastırmaya yardımcı olur [4].



Şekil 1: Yarı iletkenin foto aktivasyonunun ve elektron deliği çiftlerinin oluşumunun şematik gösterimi [3].

1.2 Yük Taşıyıcı Difüzyonu (Diffusion of charge carrier)

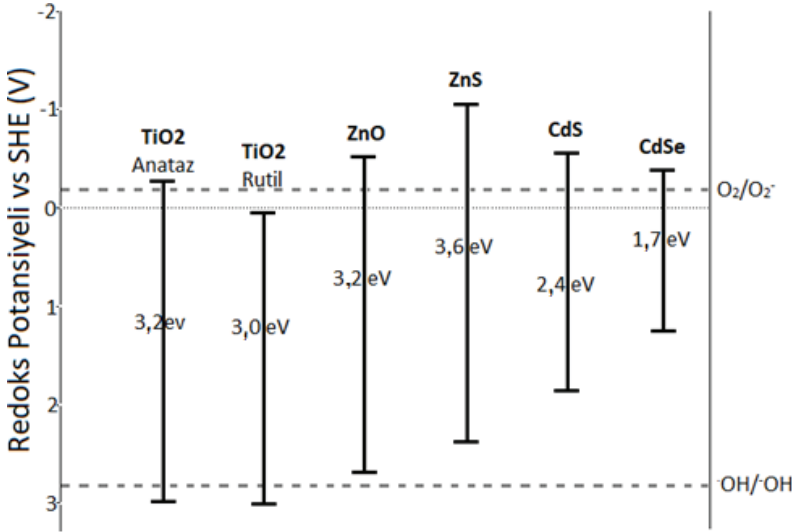
Fotokatalitik reaksiyonlar, fotokatalizör yüzeyinde meydana gelir. Bu nedenle, bir materyalin fotokatalitik aktivitesi; fotokatalizörlerin parçacık büyüklüğü, kristallliği ve morfolojisi ile yakından bağlantılıdır [5],[6]. Daha büyük olan kristal boyutu, fotojenerasyon yük taşıyıcılarının yüzeydeki elektronlarla yeniden birleşimine sebep olur. Yük taşıyıcısının bir yarı iletkende hareketliliği bir fotokatalizör için önemli bir faktördür. Elektronlar tane su arayüzeyinde bulunan Ti^{+4} bölgelerinde hapsedildiğinden tuzaktaki gevşemeden (the relaxation into the trap) önce iletim bandı elektronlarının partikül yüzeyine difüzyonu gerçekleşir. Rastgele üretilen yük taşıyıcıları için, kütleden yüzeye ortalama difüzyon süresi $\tau = r^2/\pi^2 D$ (r = tane yarıçapı, D = taşıyıcının difüzyon katsayısı) formülü ile belirlenir. Difüzyon TiO_2 'de iletim bant elektron katsayısı ağır etkili elektron kütesinden (heavy effective electron mass, $m_{eff} = 30 \cdot m_e^{-14}$) dolayı nispeten küçüktür [8]. Bu nedenle, tane yarıçapı azaldığında, yeniden birleşme oranı azalır ve çok sayıda foto-indüklenmiş yük taşıyıcı fotokatalitik reaksiyon için yüzeye taşınır. Küçük ve düzgün ebatta partiküllerin hazırlanmasının, malzemelerin fotokatalitik performanslarını arttırmada önemli bir rol oynadığı birçok çalışmada da gösterilmiştir [7],[8],[9],[10].

Yarı iletkenin ortalama geçiş süresi elektrik alanının varlığıyla daha da azaltılabilir. Kolloidal parçacıkta difüzyon için kalma süresi pikosaniye

ve yeniden birleşme süresi nanosaniyedir. Yük taşıyıcıların yayılımı parçacık yüzeyine göre nispeten iç kısımlarda TiO_2 'de ki yeniden birleşmesinden daha hızlı gerçekleşebilir [4].

1.3 Bant- Kenar Konumu (Band-Edge Positions)

Bir yarıiletkenin yüzeyinde adsorbe edilmiş türlere (species) foto-indüklenen elektron transferine girme kabiliyeti, yarıiletkenin bant enerji pozisyonları ve absorbandın redoks potansiyelleri tarafından yönetilir. Alıcı (acceptor) türlerin ilgili potansiyel seviyesinin, termodinamik olarak, yarı iletkenin iletim bandı potansiyelinin altında (bundan daha pozitif) olması gerekmektedir. Boş deliğe bir elektron göndermek için donörün potansiyel seviyesinin, yarı iletkenin değerlik bandı konumunun üstünde olması gerekir. Birkaç yarı iletkenin bant kenarı konumları Şekil 2'te gösterilmektedir.



Şekil 2: Sulu elektrolitlerde çeşitli yarıiletkenler için değerlik ve iletim bandı pozisyonu [2].

1.5 Fotokatalizör Modifikasyonu

Özellikle yarı iletken fotokatalizör sisteminin amacını doğru belirlemek için fotokatalitik sürecin verimliliği, kararlılık, ışık, ürünün seçiciliği ve dalga boyu aktivasyon aralığı gibi [4] çeşitli faktörleri göz önünde bulundurmamak gerekir. Örneğin, TiO_2 en yaygın olarak incelenen yarı iletken fotokatalizör, güçlü fotokararlılığa sahiptir. Ancak sadece güneş ışığının %3 olan spektrumu (390-400 nm'de absorpsiyon bandı) emer

[11]. Belirli yarı iletkenlerin sınıflandırılması ve uygun değer verimliliğin gerekliliği, özel uygulamalarla tanışmak, yeni materyaller ve modifikasyon üzerine araştırma ilgisini artırır. Malzemelerin fotokatalitik etkinliğini arttırmak için düşünülen 3 ana yöntem olmalıdır.

- 1) Taşıyıcıların ayırma ve yeniden birleştirme ömürleri artırma
- 2) Güneş spektrum yanıt aralığının artışı
- 3) Seçiciliğin değiştirilmesi veya belirli bir ürün verimi [4].

Katalizörlerin fotokatalitik aktivitesini iyileştirmek için, katalizörün özelliklerini değiştirmeye yönelik birçok araştırmalar yapılmıştır. Metal katkılama, metal elemanlarla yüzey aktif modifikasyonu, metal olmayan elemanlarla modifikasyon, iki yarı iletkenin birleştirilmesi gibi birçok yöntem mevcuttur.

Örneğin; CdS-TiO₂ fotokatalizörlerindeki reaksiyonlar, bir CdS parçacığı dalga boyu 495 nm'den daha az olan bir foton tarafından uyarıldığında meydana gelir. Ardından foto-üretilen elektron, CdS parçacığından daha pozitif bir iletim bant kenarına sahip bağlı bir TiO₂ parçacığının iletim bandına hızla aktarılır. [12]. CdS'nin iletim bandındaki fotouyarılmış delikler yüzeye göç eder ve absorbe edilmiş organiklerin oksidasyonuna katılırlar. TiO₂ iletim bandına aktarılan elektronların yeniden birleşecek delikleri yoktur ve bu nedenle elektronlar TiO₂ iletim bandı enerji seviyesine göre indirgeme reaksiyonlarına katılırlar [12].

Karbon [13], nitrojen [14],[15],[16] gibi ametallerler TiO₂'nin katkılanması ile güneş spektrumunda aktif hale geçebilen çalışmalar da bulunmaktadır.

Ayrıca çift katkılama ile (N-F, C-N ve S-N gibi ametal olmayan elementler) aynı zamanda görülebilir ışık altında, geniş bant aralıklı yarı iletken fotokatalistin (TiO₂) [17] yüzey modifikasyonları ile eritrosin B, tionin [18], tris rutenyum [19] gibi boyar maddelere karşı verimliliği arttırılabilir. Boya molekülünün uyarılmış halinin oksidatif enerji seviyesi daha fazla ise yarı iletkenlerin iletim bandına elektronlar aktarır. Aktarılan elektronlar daha sonra yüzeydeki absorbe kirleticilerle reaksiyona girer.

Yarı iletken parçacıklara soy metal ilavesi indirgemenin bir başka örneğidir. Elektron delik yeniden birleşme oranı Pt-TiO₂ metal yarı iletken sistemlerde, Pt bir elektron yakalama işlevi görür. TiO₂ üretilen uyarılmış elektronların yeri elektron göçü etkisi ile yarı iletkenin fotokondüktasında ki azalma ile doğrulanmıştır. Foto delikler daha sonra absorbe edilmiş kirleticilerle oksitlemek için yarı iletken yüzeyine serbestçe yayılır.

Nano yapılı yarı iletkenleri kullanmanın amacı; yüksek emiş kesiti, hızlı elektron taşıyıcı, yeniden birleşmeyi azaltabilecek arayüzde difüzyon, yüksek yüzey alanı/hacim oranı [20], ışık Emiliminde mavi bölgeye kayması gibi niteliklerdir. [11].

2. Fotokatalizörlerin Çalışma Parametreleri

Bir fotokatalitik reaksiyon hızı, çözeltinin pH'ı, organik bileşiğin başlangıç konsantrasyonu, katalizör konsantrasyonu, oksijen içeriği ve sıcaklık gibi faktörlerden etkilenir [21],[22],[23].

2.1. Katalizörün Konsantrasyonu

Çalışmalar, katalizör konsantrasyonunun elektron deliği çiftlerinin (süreç sırasında üretilen) konsantrasyonu ile ilgili olduğunu göstermiştir. Katalizör miktarındaki artış, fotokatalizör yüzeyindeki aktif yerlerin sayısını artırır ve böylece foto-reaksiyonun hızı artmış olur [24],[25]. Reaksiyon hızının, toplam absorpsiyona karşılık gelen bir maksimum sabit değere (limit konsantrasyon) ulaşılan kadar katalizörün konsantrasyonu ile arttığı bilinmektedir. Bu konsantrasyon sınırının üzerinde, foto reaksiyon oranı azalabilir [26],[27].

2.2. Kirleticinin başlangıç konsantrasyonu

Herhangi bir kimyasal reaksiyonda olduğu gibi sistemde gerçekleşen reaksiyonlarda, heterojen bir ortamda bir veya daha fazla reaktifin konsantrasyonu aşağıdaki denklemde verildiği gibi sınırlıdır [28],

$$r = \frac{dC}{dt} = \frac{kKC}{(1 + KC)}$$

burada R reaktifinin bozunma oranı, bir k , kinetik tepkime sabiti, K adsorpsiyon denge sabiti ve C sulu bir ortamda reaktif konsantrasyonudur. Genel olarak Langmuir Hinshelwood tipi davranış gözlenir. Düşük C ($KC \ll 1$) değerleri için reaksiyon görünür birinci dereceden davranışı takip ederken, yüksek C ($KC \gg 1$) değerleri için reaksiyon sıfır dereceli davranışı takip eder [29],[30]. Birçok araştırmacı, kirleticinin başlangıç konsantrasyonu artarsa fotoozunum veriminin düştüğünü doğrulamıştır. Aslında, katalizörün yüzeyine daha fazla kirleticisi molekül adsorbe edilirse, katalizör yüzeyindeki OH radikallerinin üretimi azalır, çünkü aktif bölgeler kirleticisi katyonlar tarafından işgal edilir [31].

2.3. Ortamdaki Oksijen İçeriği

Oksijen (hava akışından) yarı iletken yüzeyindeki elektronlarla reaksiyona girer ve yük dengesinin korunmasına izin verir [27]. Huang ve arkadaşları [32] metil turuncusunun bozulması için H_2O_2 ilavesinin etkisini incelemişlerdir. Renk kaybının H_2O_2 konsantrasyonunda ki artışla arttığını bildirmişlerdir. Pt-modifiye TiO_2 ile metil portakal çözeltisinin fotokatalitik renklendirilmesi için optimum $1,2 \text{ mmol L}^{-1} H_2O_2$ konsantrasyonunun önemli olduğu bildirilmiştir.

2.4. pH değeri

pH değeri hem yarı iletkenin hem de kirleticinin yüklü yüzeyleri üzerinde bir etkiye sahiptir. Bir yandan, sulu ortamdaki parçacıkların boyutunu değiştirebilir diğer yandan, yarı iletken yüzeyindeki kirleticilerin adsorpsiyonunu değiştirebilir. pH'ın kirleticilerin fotokatalitik parçalanması üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir ve kirleticilerin parçalanma oranı pH değerinde ki bir azalma ile arttığı gözlenmiştir [33],[34].

2.5. Sıcaklık

Önceki çalışmalar, fotokatalitik sistemin ısı girişi gerektirmediğini, çünkü işlemin fotonlar tarafından etkinleştirildiğini göstermiştir. Foto-reaksiyonların çoğu düşük sıcaklıktaki değişikliklere duyarlı değildir. Sıcaklıktaki azalma, kendiliğinden ekzotermik bir tepkime olan adsorpsiyonu olayını arttırır. Sıcaklık 80°C 'nin üzerine çıkarsa, kirleticilerin ekzotermik adsorpsiyonu engellenir. Aslında, yüksek güçlü lambalarla yapılan fotokataliz deneyleri, tüm sistemin sıcaklığını 25°C 'de tutmak için soğutma sistemleri ile donatılır [35],[36].

Yarı iletkenler, en yaygın kullanılan fotokatalizördür. Dar aralıkta iken metaller hiçbir bant boşluğuna ve geniş aralık izolatöre sahip değiller. Metal oksitler (TiO_2 , WO_3 , ZnO vs.) ve chalcogenides (CDS, ZnS , $CdSe$, $ZnSe$, ve $CdTe$) en çok çalışan yarı iletken fotokatalistleridir [38].

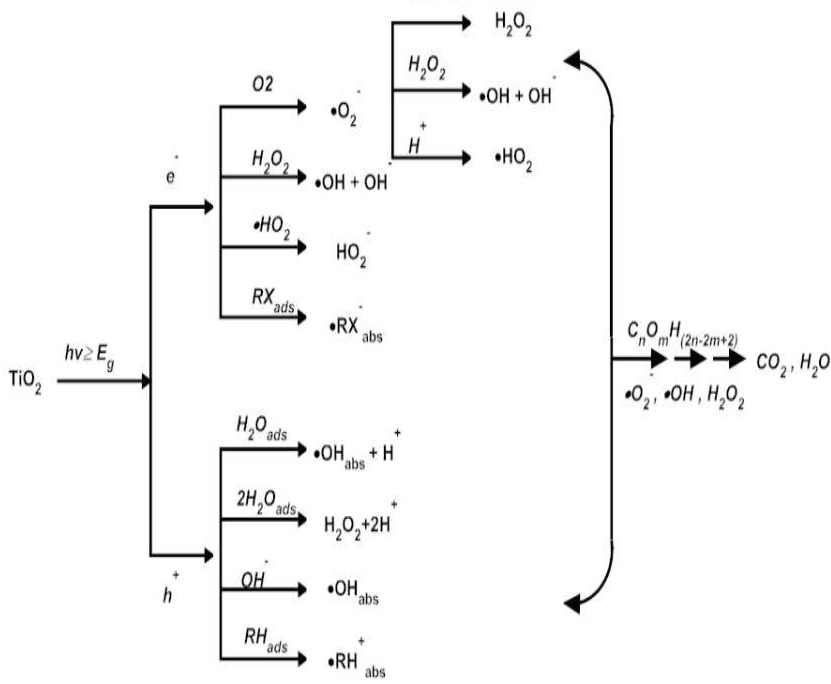
3. TiO_2

Fotokatalizör olarak en çok kullanılan yarıiletken madde TiO_2 ' dir. Işık etkisiyle elektronlar küçük delikler oluşturur, yapı içerisindeki bu deliklerin oldukça yükseltgen olmasından ötürü organik kirleticilerin hemen hepsini su ve karbondioksit parçalar.

Muhtemel yarı iletkenler arasında TiO_2 kimyasal olarak en yaygın kullanılan kararlı toksik olmayan ve nispeten düşük maliyete sahiptir. TiO_2 'nin en yaygın bilinen fazları anataz, rutil ve brulittir [37]. Rutil ve anataz yaygın olarak kullanılan TiO_2 kristalleridir [37]. Fotokataliz uygulamasında yapı ve anatazın rutilden daha yüksek fotokatalitik aktivite gösterdiği bilinmektedir [39].

Her iki TiO_2 yapısı da redoks çiftinden daha pozitifdir. Anatazın iletin bandı (CB), daha negatif bir redoks ($\text{OH}/\text{OH}^\bullet$) potansiyeline sahiptir. Redoks absorbe anlamına gelir. Su ve hidroksil grupları, her iki TiO_2 'de yüksek oranda reaktif hidroksil radikallerine oksitlenebilir yapı ancak oksijen molekülleri sadece anataz üzerinde süperoksit radikaline indirgenebilir, sonuçta anataz fazı oda sıcaklığında daha kararlı faz olarak kabul edilir. Parçacık boyutu kritik boyuttan daha küçük olduğundan rutilin toplam serbest enerjisi anatazdan daha fazladır, bu yüzden anataz daha kararlı faza dönüşür [38], [40]. Ancak bazı çalışmalarda, her iki fazın da aynı anda bulunduğu yapılarda, saf anatazdan daha yüksek fotokatalitik aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir. Anataz ve rutil karışımında yüksek yük ayrımı, Anataz CB'den Rutil CB'ye elektron transferinin sonucudur [41],[42]. Örneğin anataz (70-80), rutil (20-30) fazlarına sahip Degussa P25- TiO_2 en çok çevresel uygulamalar için yaygın olarak kullanılan bir fotokatalizördür ve heterojen bir yapıda gerçekleşen fotokatalitik aktivite reaksiyon basamaklarını şu şekilde özetleyebiliriz (Şekil 4) [43]; daha yüksek enerjiye sahip olan ışığı absorbe eder, bant boşluğu, negatif yüklü elektron ve pozitif yüklü elektron kabuğunu soyarak delik oluşturur. Delikler daha sonra güçlü olan hidroksil radikalleri ile sonuçlanan su ile oksitlenir. Organik kirletici maddeleri kolayca oksitleyebilen oksitler, su üreten hidroksil radikalleri iletim bandındaki elektronlarla reaksiyona girer. Emilen su ve oksijen çiftinin varlığında (HO/O_2) su okside olur, $\text{OH}^\bullet$ ve $\text{H}^\bullet$ ayrılır ve emilen organik kirleticiler (RH) doğrudan oksitlenebilir, katyonik radikaller üreten RH valans bandın (VB)'da delikler tarafından emilen oksijen elektron tarafından azalır süperoksit radikal anyonlarının üretilmesiyle sonuçlanır. Buna karşılık CB'de hidrojen dioksit radikali üretmek için $\text{H}^\bullet$ reaksiyona girer. Bir elektron ve bir hidrojen ile reaksiyon sonunda bir iyon bir H_2O_2 molekülü üretilir. Elektronda absorbe ile doğrudan anyonik radikalleri üreten halojenlenmiş organik kirletici tepki verebilir. Bir zincir reaksiyonu $\text{HO}_2^\bullet$, $\text{O}_2^\bullet$ hidroksil radikal $\text{OH}^\bullet$ gibi reaktif oksijen türleri ile sonuçlanır. Genellikle organik bileşiklerin fotokatalitik indirgenmesinin daha az önemli olduğu düşünülmektedir. Bir TiO_2 'in indirgenme

potansiyeli oksidasyonundan daha düşük olduğu için TiO_2 'in potansiyelleri oksidasyonundan daha fazladır. O_2 elektron süpürücü olarak çok daha yüksek kinetik gösterir, substratların çoğundan daha fazla indirgenebilir [43].



Şekil 4:Fotoelektrokimyasal mekanizmada üretim aktif oksijen türlerinde yer alan reaksiyon zinciri. Langenhove ve arkadaşlarından uyarlanmış, 2007 [44].

3.1. Organik Bozunmalar

Çevre kirliliği sonucunda, doğa da insanların neden olduğu etkiler ve endüstriyel faaliyetlerden dolayı büyük oranda zararlı organizmaların etkilerini önlemek, gözetim altına almak veya zararları etkilerini azaltmak için kullanılan madde ya da maddelerden oluşan karışımlar (pestisitler), boyalar gibi organik bileşiklerden oluşan kloro organikler ve yüzey aktif maddeler kullanılır. Yaşanılan bu sorunlara çözüm olarak çok büyük araştırmalar sonucu uygulanabilir bir seçenek olarak fotokataliz üzerine odaklanılmıştır. Organik bileşikler okside olabilir ve organik kirleticilerin daha az zararlı hale gelmesi için dönüşüm gerçekleştirilebilir. Yüksek pozitifliğe sahip yarıiletkenlerin değerlik bandı, özellikle TiO_2 yarı

iletkeni kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve sayısız organik bileşiklerin fotoaktif bozunmada etkili olduğu görülmüştür.

Sulu fazda veya nemli durumda organik bozunma genellikle iki yoldan ilerleyebilir. Doğrudan oksidasyon süperoksit ile (O_2^-) veya hidroksil ($\cdot OH$) radikalleri ile gerçekleşir. $\cdot OH$ en çok aktif ve seçici olmayan doğrudan oksidasyon süperoksit, yüksek oranda oksitleyicidir ve fotojenlenmiş deliklerin absorbe edilmiş H_2O ile reaksiyonu veya oksit yüzeyinde bulunan fotokatalist hidroksil grupları ile etkileşimi söz konusudur. Eş zamanlı olarak, iletim bandındaki elektronlar O_2^- oluşturmak için oksijene aktarılır ve takip eden hidroperoksit (H_2O_2) radikallerinin oluşumunu tetikler, ardından hidrojen peroksit (H_2O_2) bağlı olarak reaksiyon şartları sağlanır. Bunlar $\cdot OH$, O_2^- , H_2O ve H_2O_2 , TiO_2 tarafından fotokatalistteki organik bozunmaların önemli oksidan kaynaklarını içerir.

TiO_2 çok daha negatif bir değerlik bandına sahip olmasına rağmen potansiyel olarak karşılaştırıldığında, $BiVO_4$ 'ın termodinamik olarak zayıf fotooksidasyon gücü organik maddelerin görünür ışık altında foto parçalanmasında etkisinin yüksek olduğu görülmüştür.

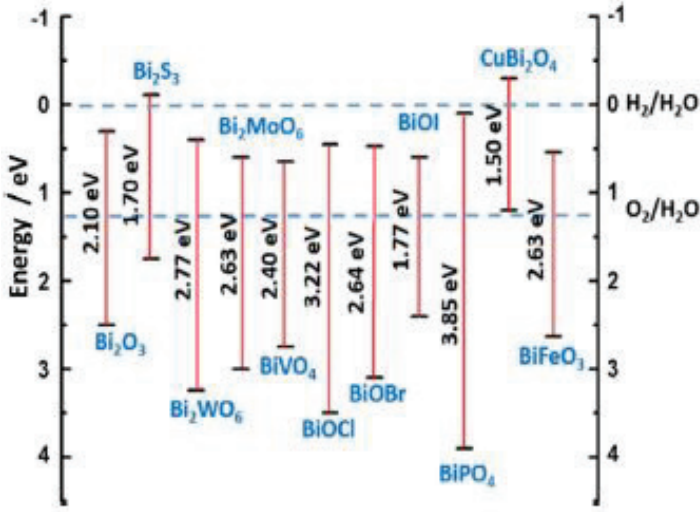
4. Bizmut vanadat ($BiVO_4$)

Bizmut vanadat ($BiVO_4$), düşük üretim maliyeti, düşük toksite, yüksek fotostabilite, foto korozyona direnç ve görünür ışık uyarıcılığına iyi yanıt veren ve dar bant aralığı gibi avantajlara sahip, ümit verici yarı iletken bir fotokatalisttir. Bununla birlikte, foto-indüklenmiş yük taşıyıcılarının hızlı yeniden birleşme, fotokatalitik aktivitelerini sınırlandırır. $BiVO_4$ iyi kimyasal ve fotostabilitesi olan n tipi bir yarı iletkenidir. Dahası, 2,4 eV bant aralığı ile esnek optik ve elektronik özellikleri onu güneş enerjisini absorplaması için önemli bir yarıiletken haline getirmektedir [45],[46],[47].

Diğer yandan, saf $BiVO_4$ fotokatalizörünün fotokatalitik davranışının, dar bant boşluk enerjisinin bir sonucu olarak foto-indüklenmiş taşıyıcıların hızlı bir şekilde birleşmesi nedeniyle daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Bu engelin üstesinden gelmek için, fotojenlenmiş şarj taşıyıcılarının ayrılmasını geliştirmek için birçok araştırma ve uygulamalar yapılmıştır. Morfolojiyi kontrol etme, metal ve metal olmayan katkılama dahil olmak üzere farklı yöntemler benimsenmiştir. Açık reaktif yüzeyler, oksitler, halojenürler, kalkojenitler, oksihalidler ve hidroksitleri, sülfidler

ve karbürler içeren çevresel saflaştırma uygulamaları için 150'den fazla yarı iletken malzeme mevcuttur [48],[49],[50].

Bunlar arasında, yarı iletken metal oksitler, özellikle, bizmut esaslı metal oksitler Bi_2VO_4 , Bi_2WO_6 , Bi_2MoO_6 , $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, BiFeO_3 , $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$, $\text{Bi}_5\text{FeTi}_3\text{O}_{15}$, BiOX ($X = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$), $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$, vb. gelişmiş şarj aktarımı sayesinde mükemmel fotokatalitik etkinliklerinden dolayı ortaya çıkan materyaller olarak bilinmektedir [51],[52],[53],[54],[55]. Şekil 5'de bizmut bazlı yarıiletkenlerin değerlik ve iletim bandı pozisyonları gösterilmektedir. Morfoloji kontrolü, uygun metallerle katkılama ve Hetero yapılarda dahil olmak üzere bu malzemelerin verimli fotokatalitik uygulamalar için kullanılması için bir çok araştırma yapılmıştır [56],[57],[58],[59]. Bunlar arasında, bizmut vanadat (BiVO_4) düşük bant aralığı, iyi dağılma, kimyasal maddelerin organizmadaki olumsuz etkiler oluşturmaya izin vermeyen (toksik olmayan), aşınmaya karşı direnç ve gözle görülür ışıkla aydınlatma altında organik kirleticilerin bozulmasına neden olan olağanüstü fotokatalitik sonuç gibi olağanüstü özellikleri nedeniyle çok önemli bir yarıiletkenidir [60],[61],[62].

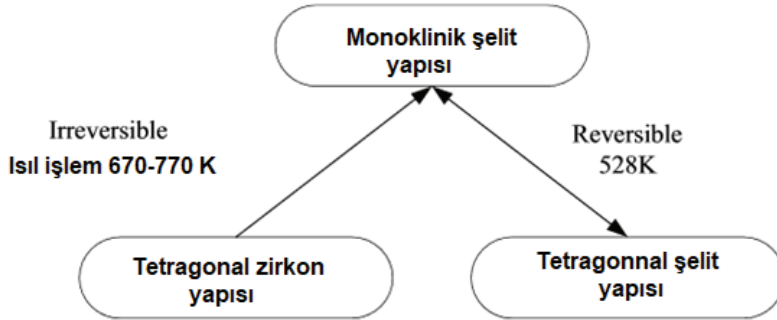


Şekil 5: Bizmut bazlı yarıiletkenlerin değerlik ve iletim bandı pozisyonları [63].

Literatüre göre BiVO_4 , pucherit, dreyerit ve klinobisvanit dahil olmak üzere üç ana polimorfa sahiptir. Pucherite, ortorombik kristal yapılı BiVO_4 'ün doğal bir poli-morfudur, dreyerit polimorfu tetragonal zirkon (t

– z) yapısına sahiptir ve klinobisvanitin mono-klinik bir scheeltie (m – s) yapısı olduğu keşfedilmiştir. Ek olarak, Tablo 1'de sunulduğu gibi, klinobisvanit polimorfundaki atomik pozisyonları açısından modifikasyona sahip başka bir tetragonal şelit (t–s) yapısı vardır [121-123]. BiVO_4 ve bizmut bazlı materyaller üzerine birkaç önemli değerlendirme yapabilmek için, su oksidasyonu ve fotokatalitik uygulama için foto-anotlara odaklanmak gerekir [64],[65],[66],[67].

Şekil 6: BiVO_4 faz değişimi



Pucherit normal laboratuvar yollarıyla üretilmemiş olmasına rağmen, dreyerite ve klinobisvanit Şekil 6'de gösterildiği gibi sentezlenebilir. BiVO_4 (m – s) BiVO_4 'ten (t – z) yüksek sıcaklıkta elde edilebilirken BiVO_4 (t – s) ve BiVO_4 (m – s) arasında tersine çevrilebilir geçiş 255°C 'de (528 K) gerçekleşir. Literatürden, monoklinik şelit formu, görünür ışık ışınlaması altında çok daha yüksek foto katalitik performans ve diğer formlara kıyasla üstün renk özellikleri göstermiştir [58].

Tablo 1: BiVO_4 polimorflarının kristal yapısı ve bağ uzunluğu [58,125]

Kristal sistem	Ortorombik	Tetragonal zirkon	Monoklinik şelit	Tetragonal şelit
Kristal yapısı (Å)				
Space group	<i>Pnca</i>	<i>I4₁/amd</i>	<i>C₂/c</i>	<i>I4₁/a</i>
<i>a</i>	5.332	7.303	7.247	5.147
<i>b</i>	5.060	7.303	11.697	5.147
<i>c</i>	12.020	6.584	5.090	11.722
Bond length (Å)				
Bi–O	2.20	2.41	2.35	2.40
	2.31	2.55	2.37	2.47
	2.53		2.52	
	2.73		2.63	
V–O	1.76	1.7	1.69	1.73
	2.73		1.76	

Bunun nedeni, $6 s^{21}$ 'lik Bi^{+3} çiftlerinin, BiVO_4 fotokatalitik aktivitesini ve ayrıca fotojenere elektron-deliği çiftlerinin ayrılmasını ve delokalizasyonunu etkileyen monoklinik ve tetragonal yapıda Bi-O polihedronunda farklı distorsiyona neden olmasıdır [125]. Bu nedenle, BiVO_4 kristal yapısının kontrolü, etkili bir görünür ışıkla çalışan fotokatalizörün elde edilmesinde önemlidir.

BiVO_4 kristal yapısında her V iyonu içindeki dört O atomuyla kontrol edilir. Tetragonal konumu ve Bi iyonları sekiz oksijen atomu tarafından kontrol edilir. Skheelit yapısı, tetragonal BiVO_4 ve monoklinik yapısının kristal yapıdaki atomlarının dizilimi birbirinden farklıdır. Tetragonal skheelit BiVO_4 yapısında V ve Bi atomları yapı içerisinde kolayca bozulur. Dolayısıyla, tetragonal skheelit BiVO_4 'ta ki V-O bağlarının uzunluğu ($1,42 \text{ \AA}$) eşittir. Fakat monoklinik skheelit BiVO_4 yapısında iki farklı V-O bağ uzunluğu ($1,77^\circ$ ve $1,69^\circ$) görülür.

Genelde düşük sıcaklık sentezi oda sıcaklığında zirkon faz yapıları BiVO_4 üretirken, yüksek sıcaklık sentezleri monoklinik skheelit faz oluşumuyla sonuçlanır. Bununla birlikte, elde edilen BiVO_4 'ın kristal yapısı hazırlanan yöntem ile belirlenir.

Termodinamik olarak sadece monoklinik fazı kararlıdır ve bu nedenle iyi bir fotokatalitik aktivite gösterirler [68],[69],[70]. Monoklinik skheelit BiVO_4 ayrıca oda sıcaklığında sulu işlemlerle de elde edilebilir, BiVO_4 'ın tetragonal skheelit yapısı kristalizasyon yaşlanmasından ileri gelmektedir. Bu tetragonal skheelit oluşumu BiVO_4 yapısına ve zaman içerisinde kristal düzen durumuna uygundur.

Şekil 7'de laboratuvarımızda üretilen sol-gel yöntemi ile üretilen BiVO_4 tozunun SEM, EDX ve XRD analiz sonuçları görülmektedir. XRD analizine göre pikler pdf dosya numarası 14-0688 olan klinobisvanit ve 14-0133 dreyerite fazlarından oluşmaktadır. SEM görüntüsünde de toz yapıları görülmektedir.

4.1. BiVO_4 'ın Optik Özellikleri ve Elektronik Yapısı

BiVO_4 'ın karşılaştırılabilir bant boşluğu enerjisinin temelinde tetragonal şelit ($2,34 \text{ eV}$) ve monoklinik şelit ($2,41 \text{ eV}$) yapıları BiVO_4 'ların elektronik yapılarının benzer olduğu öne sürülür. Ancak BiVO_4 monoklinik şelit yapısı morötesi ışık (UV) ışık ve görünür ışık ışınlamaları altında sulu AgNO_3 çözeltisi BiVO_4 'ın tetragonal şelit yapısı ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha yüksek fotoaktivite gösterdiği ortaya çıkmıştır.

4.2. Fotokatalitik Uygulamalar için BiVO₄ Mikro / Nano Yapılarının Kontrollü Sentezi

BiVO₄'ü sentezlemek için literatürde çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Monoklinik BiVO₄ hem katı hal reaksiyonu (SSR) yöntemleri hem de yüksek sıcaklıklarda erime reaksiyonları ile hazırlanabildiği gösterilmiştir [71].

Tetragonal BiVO₄ fazı ise, oda sıcaklığında yapılan çökeltme yöntemi ile elde edilebilmiştir [72]. Monoklinik ve tetragonal BiVO₄ için bant boşlukları, sırasıyla 2,4 eV ve 2,9 eV'dir, bu da monoklinik BiVO₄ fazının, görünür-ışık altında çalışan daha iyi fotokatalist üretmek için daha önemli olduğunu gösterir. Basit bir sulu işlemle hem monoklinik hem de tetragonal kristal BiVO₄'ün hazırlanmasına yönelik ilave bir yaklaşım da rapor edilmiştir [73]. Son zamanlarda hidrotermal yöntem monoklinik BiVO₄'ün hazırlanmasında da başarıyla uygulanmıştır [74]. Hidrotermal yöntemin kullanımı, basit deney koşulları, basit deneysel donanım ve BiVO₄'ün seçici yapılarını üretebilen kontrol edilebilir koşullar dahil olmak üzere çeşitli avantajlara sahiptir. BiVO₄, organik kirleticilerin görünür ışık altında (örneğin RhB ve fenol) [75] fotokatalitik degradasyonunda yaygın olarak uygulanmıştır ve N katkılı-TiO₂ ile karşılaştırıldığında daha yüksek çıkarma verimliliği sahip olduğu göstermiştir [76]. BiVO₄ fotokatalisti de su bölünmesinde uygulanmıştır [77]. Bununla birlikte, BiVO₄'ün hidrojen çalışmalarında da, görünür ışık altında O₂ evrimi için aktif bir fotokatalizör olduğu, iletim bandı potansiyeli H₂O indirgemesi ile H₂ üretimi için yeterince yüksek olmadığı bulunmuştur [78] Aynı bir çalışmada, Liu ve ark. [79] görünür ışık altında BiVO₄ varlığında fotokatalitik CO₂ azalmasından etanol üretilebildiği gösterilmiştir. Booshehri ve diğ. [80] ayrıca BiVO₄'ü, görünür ışık altında sudaki bakterilerin fotokatalitik inaktivasyonu için umut verici bir aday olduğu gösterilmiştir.

5. TiO₂/BiVO₄ Nanokompozit Yapısının Fotoaktivite Etkileri

Bugüne kadar yapılan birçok araştırma da, iyi fotokatalitik aktifliği ile toksik olmayan ve yüksek fotokararlılığı ile enerji ve çevre uygulamaları için fotokatalizör olarak titanyum dioksit (TiO₂) üzerinde odaklanılmıştır. Ancak, TiO₂ yalnızca morötesi (UV) ışığı altında hassastır ve mevcut potansiyel güneş enerjisinin sadece % 3-4'ünü kullanır bu da potansiyel uygulamasını oldukça kısıtlar. Bu nedenle, güneş enerjisi kullanımını iyileştirmek için yeni stratejiler geliştirmeye ihtiyaç vardır [36]. TiO₂'nin iyi elektron ilgisi ve BiVO₄'ün (2.5 eV) dar

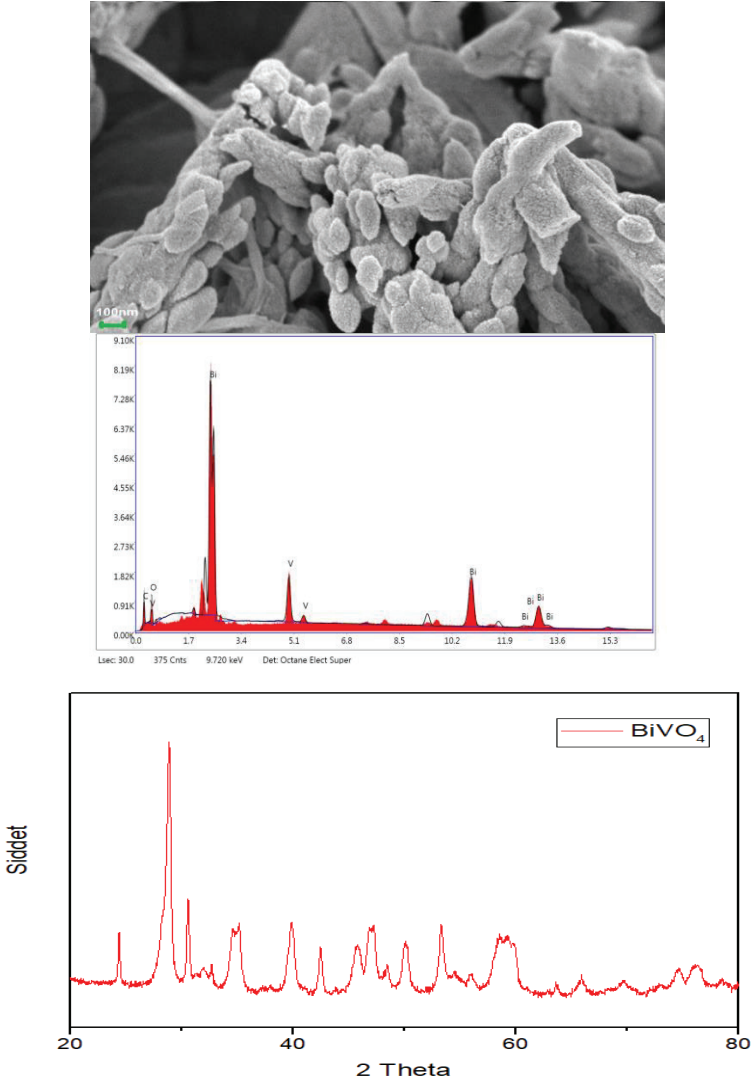
optik bant boşluğu nedeniyle üzerinde çalışılan $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ heteroyapılar, saf TiO_2 veya BiVO_4 nanoyapılardan daha iyi performans gösterdiği birçok çalışmada bildirilmiştir

Güçlü görünür ışık emme kabiliyetleri ve nispeten yüksek oksidasyon yetenekleri nedeniyle, bizmut içeren fotokatalizör heteroyapılar (TiO_2 [81], ZnO [63], Cu_2O [82], WO_3 [83] gibi) oluşturmak için diğer yarı iletkenlerle geniş ölçüde bir araya getirilirler.

Bu kompozitlerde bizmut içeren fotokatalizörler sadece yük taşıyıcıların yeniden birleşmesini önlemede önemli bir rol oynamakla kalmaz, aynı zamanda görünür ışık duyarlılaştırıcılar olarak da hareket ederler. Bu derlemede de daha çok ***$\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ heteroyapıları*** üzerinde durulacaktır.

5.1. $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ yapılar

$\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nanokompozitlerinin sentezlenmesi ile görünür ışık altında çalışan fotokatalizörler üzerinde birçok çalışmalar yapılmıştır. BiVO_4 'ün TiO_2 ile birleştirilmesi, daha iyi yük ayrımı sağlamak ve böylece fotokatalitik performansı geliştirmek için literatürde çokça çalışılmıştır [84],[85],[86],[87]. Ticari TiO_2 olarak piyasada bulunan Degussa P25 (TiO_2) tozu, 30–50 nm çapında ve yaklaşık 50 m²/g yüzey alanına sahip standart bir malzemedir ve yaklaşık 80:20 oranında anataz ve rutil karışımıdır. [88],[89],[90]. Organik kirleticilerin fotokatalitik ayrışması [89], fotokatalitik olarak suyun ayrışması [90] ve karbondioksitin fotokatalitik azaltılması [91] dahil olmak üzere P25 üzerinde fotokatalitik çalışmalar araştırılmıştır. Rutil, $\lambda = 413$ nm'ye karşılık gelen 3,0 eV bant boşluğuna sahiptir, bu nedenle P25'in rutil bileşeni görünür ışıkla uyarılabilir. Lv ve arkadaşları [85] Degussa P25'in fotokatalitik performansını arttırmak için BiVO_4 ile sentezleyerek hetero bir yapı elde etmişlerdir. Bu grup $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nanokompozitlerini hidrotermal yöntemle üretmişlerdir. BiVO_4 ve TiO_2 'nin birleştirilmesi, görünür ışık altında RhB degradasyonunun fotokatalitik aktivitesini belirgin şekilde arttırdığı gösterilmiştir. Bu grubun yaptıkları deneysel sonuç ve hesaplamalarına göre bir teori öne sürmüşlerdir. Fotokatalitik sistemdeki BiVO_4 ve TiO_2 'nin benzer değerlik bandı enerjisi, $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ 'ye güçlü oksitlenebilirlik kazandırır. Bu mükemmel fotokatalitik performans, gelişmiş görünür ışık emme kabiliyetinden ve fotojenere şarj taşıyıcılarının gelişmiş ayırma verimliliğinden yararlanır. Bu basit yöntem, fotokataliz, fotovoltaiik ve algılamadaki farklı



Şekil 7: Laboratuvarımızda üretilen BiVO_4 tozunun SEM, EDX ve XRD analiz sonuçları.

uygulamalar için yüksek performanslı çeşitli heteroyapıların geliştirilmesine uygulanabilir olduğunu söylemişlerdir.

Şekil 8 'da sol-gl yöntemi ile üretilmiş ve 500 °C'de kalsine edilmiş ağırlıkça 1:1 oranında BiVO_4 / TiO_2 tozunun XRD analizi gösterilmiştir. XRD analizine göre pikler pdf dosya numarası 21-1272 TiO_2 'nin anataz fazı ve 75-1867 BiVO_4 'ün nmonoklinik fazlarından oluşmaktadır. SEM görüntüsünde de toz yapıları gözükmemektedir.

Natha ve arkadaşlarının [92] yapmış olduğu çalışmada $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nanokompozit yapısını sol-jel yönteminin hidrotermal yöntemle birleştirerek başarıyla sentezlemişler. TiO_2 'in sadece UV-ışığı altında fotokatalitik aktivitesinin olduğu bu nedenle BiVO_4 'ın yüksek görünür ışık emme kabiliyeti nedeniyle iki yapının birleştirilmesi amaçlanmışlardır. Sentezledikleri yapıyı metilen mavisi içerisinde 0.5 $\text{BiVO}_4/0.5 \text{ TiO}_2$ konsantrasyonunda saf BiVO_4 'dan daha iyi fotokatalitik aktivite gösterdiği belirtilmiştir.

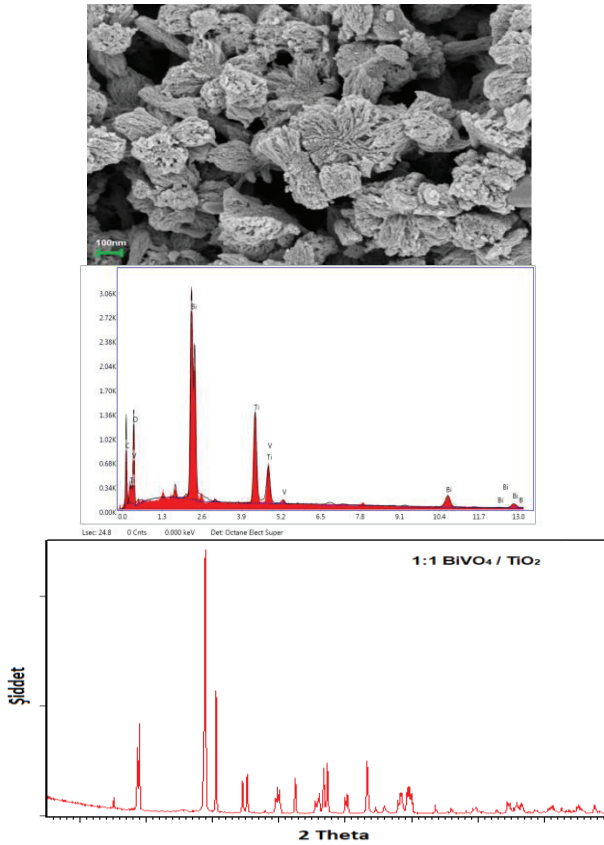
Yin Hu ve arkadaşları [86] $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ yapısı farklı asitler (CH_3COOH , HNO_3 ve H_2SO_4) kullanılarak öncül hidroliz hızını ayarlayarak bir sol-jel yöntemi ve bir kolay hidrotermal yol ile sentezlemişlerdir. Bu bileşim ile çeşitli ışık kaynakları altında benzenin oksidasyon reaksiyonu gözlenmiştir. Sonuçlar, CH_3COOH asidi ile hazırlanan katalizörün, benzenin bozulması için daha yüksek fotokatalitik aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Şekil 9'da $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ oluşumu ve görünür ışık altında benzenin fotokatalitik degradasyonu için mekanizma diyagramı gösterilmiştir. (1) Görünür bölgedeki BiVO_4 'ün güçlü optik emilimi nedeniyle, sistem görünür ışıkla uyarıldığında BiVO_4 'teki elektronlar ve delikler oluşur. (2) Bazı uyarılmış durum elektronları, heterojunction arabirimi aracılığıyla TiO_2 'nin iletim bandına aktarılabilir. (3) Aktarılan elektronlar adsorbe edilen O_2 'yi yakalayabilir ve O_2^- üretebilir. $\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}_2$ ile reaksiyona girdiğinde OH. oluşabilir. Bu aktif hidroksil radikalleri, katalizör yüzeyine adsorbe edilen benzen moleküllerine saldırarak etkili fotokatalitik bozunmaya yol açabilir. $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2\text{-HAc}$ kompozitinde daha aktif hidroksil grupları yüksek fotokatalitik aktiviteye yol açabilir. (4) BiVO_4 'teki fotojenere delikler nihai bozunmayı sağlamak için benzene ve diğer ara maddelere saldırabilir [45]. Özetle, TiO_2 'nin BiVO_4 ile kombinasyonundan faydalanan yük taşıyıcıların ve bol aktif türlerin gelişmiş ayırma verimliliğinin, görünür ışık altında benzenin verimli bir şekilde bozulmasından sorumlu olduğu düşünülmektedir.

Diğer bir çalışma alanı olan suyun ayrışması konusunda da bu yapılar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Fotojenlenmiş şarj taşıyıcılarının içindeki uygun bir mol oranına sahip $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nanokompozit yapısının çok uzun ömürlü olduğu ve yalnızca yapıların ayrı ayrı kullanımında daha yüksek ayrılma gösterdiği sonucuna varılmıştır. BiVO_4 iletkenlik (CB) bant seviyesi düşüktür, H_2 evrimi ve O_2 azaltımı için düşük fotoaktiviteye yol açar. Bu nedenle BiVO_4 'ın iletim bant (CB) seviyesinin artması istenmektedir [93],[94],[95],[96]. Bu nedenle bazı elementlerin kullanılarak iletim bant (CB) seviyesini bir miktar değiştirilebildiği

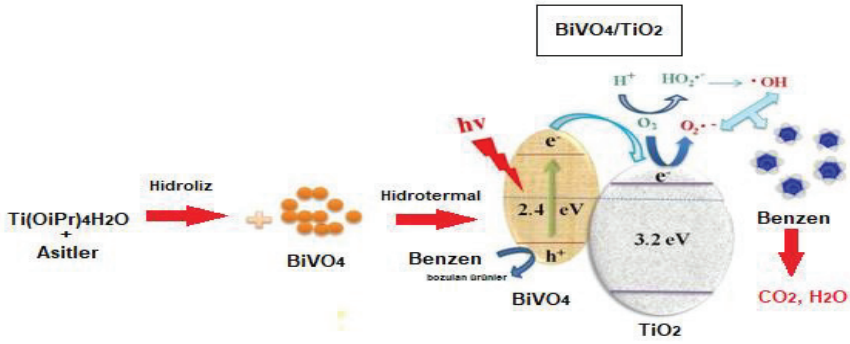
gösterilmiştir. Bununla birlikte, kristal yapının azalması ile taşıyıcıların yeniden birleşmesi olayının gerçekleşmesiyle ilgili yeni problemler ortaya çıkar. BiVO_4 bant boşluğundan daha yüksek görünür enerjili ışıkla uyarıldığında değerlik bandındaki (VB) elektronlar, iletim bandının (CB) altına uyarılacaktır [96].

İletim bandının (CB) tabanından daha yüksek seviyelerde bulunan uyarılmış elektronlar, şarj ayrımını gerçekleştirmek ve yük taşınımını sağlamak için yeterince yüksek enerjiye sahip olacaktır. Bununla birlikte yüksek enerjili elektronlar genellikle iletim bandının altına oldukça (CB) hızlı uyarılır ve bu üretilen yüksek enerjili elektronların kullanım ömrünün o kadar kısa olduğu ve redüksiyon reaksiyonlarına katılmalarının oldukça zor olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak UV ışığını uyarma için kullanılsa bile BiVO_4 ayrıca düşük fotokatalitik aktiviteye karşılık gelen zayıf yük taşıyıcı ayrımı da gösterir. Bu nedenle görünür ışık yüksek enerjili elektronlarının ömrünün uzatılmasının verimli ışık tepkisi BiVO_4 bazlı fotokatalistlerin gelişimi için çok önemlidir. Fotokatalizör olarak kullanılan yarı iletken teknolojisinde sahip olduğu geniş bant aralığı ve dalga boyu spektrumuna bağlı olarak ticari anlamda en yaygın kullanıma ve potansiyele sahip bileşiklerden biri de TiO_2 ' dir. Ancak kendi başına TiO_2 ' in tanecikli yapısı ve enerji bant aralığı görünür ışıktaki yeterli verimliliği sağlayamamaktadır. TiO_2 ' in bir metal oksit ile katılanmasıyla çalışma aralığının görünür ışık seviyelerine indirgenmesi böylece bileşiğin foto aktivitesinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Hem TiO_2 yapısının hem de BiVO_4 yapısının yukarıda bahsedilen kısıtlamalarından dolayı biraraya getirilen iki yarıiletken bileşiğin içerisine başka metal malzemelerle katılama yaparak örneğin W, Pd, Ti, Ta gibi görünür ışık altında daha iyi fotokatalitik aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir [124]. Genel olarak bir heterofonksiyonlu (heterojunction) kompozitin yapısı fotojenlenmiş şarj ömrünü uzatmak ve daha sonra ayrışmasını desteklemek için yaygın olarak kullanılır. Açıkçası birkaç heterofonksiyonlu bir oksidin uyarılmış yüksek enerjili elektronlarının hızlı bir şekilde iletim bandının (CB) karşılık gelen tabanına transfer ettiği ve daha sonra düşük seviyeli bir iletim bandına (CB) sahip bir başkasına transfer ettiği yaygın olarak kabul edilen bir prensibi izler. Bu nedenle düşük seviyede iletim bantlı (CB) bir yarıiletken oksidin, yüksek seviyede bir yarıiletkenin performansını iyileştirmek için sıklıkla başvurulmuş bir durumdur. Bununla birlikte düşük seviyeli iletim bandı (CB) tabanının enerjisel olarak azaltma reaksiyonlarını başlatmasının elverişsiz olması son

fotokatalitik performansı belirli bir dereceye kadar etkileyebilecek sıklıkla ihmal edilir. Düşük düzeyde iletim bantlı (CB) bir yarı iletken oksidin heterofonksiyonlu yüksek enerjili elektronlarının düşük seviyeli bir iletim bandı (CB) dipli başka bir okside transfer edilmesinin yüksek düzeyde bir elektron potansiyelinin korunmasının faydası olacağı için büyük bir önemi olacaktır. BiVO_4 'ın bant yapısına ve konumuna bağlı olarak görünür ışık ışıması altında üretilen çok sayıda yüksek enerjili elektronunun olması beklenir ve yüksek enerjili elektronlarının çoğunun yeterince yüksek miktarda enerjiyle TiO_2 'nin iletim bandının (CB) redüksiyon reaksiyonlarını indüklemek için tabanına transfer olması beklenir. BiVO_4 'ın görünür ışık yüksek enerjili elektronlarının ömürleri uzar ve bu da şarjın ayrılmasını desteklemeye elverişlidir.



Şekil 8: Sentezlenen ve kalsine edilmiş 1:1 $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ nanofiber SEM, EDX ve XRD analizi.



Şekil 9: BiVO₄/TiO₂ oluşumu ve görünür ışık altında benzenin fotokatalitik degradasyonu için mekanizma diyagramı [86].

Mingzheng Xie ve arkadaşlarının [84] varmış olduğu deneysel sonuçlara dayanarak, BiVO₄ nanopartiküllerinin görünür ışıkla uyarılmış yük taşıyıcılarının ayrılmasının uygun miktarda nanokristalli TiO₂ yapısı ile birleştirilmesi sonucu fotoelektro kimyasal (PEC) su oksidasyonunda görünür aktivitede fotokatalitik H₂ evrimi ve fotokatalitik kirletici bozunmasının artışına yol açabileceği sonucuna varıldı. BiVO₄'ın yaklaşık elektron bant enerjisi 2,16 eV' tur. İletim bandının tabanı (CB) standart hidrojen elektroduna (SHE) karşılık yaklaşık 0 eV' da durduğundan valans bandının (VB) tepesinin 216 eV durduğu tespit edilir. Böylece BiVO₄' ın valans bant (VB) üst ve TiO₂' in iletim bandı (CB) alt seviyesi (-0.16 eV) arasındaki enerji farkı denklem temelinde yaklaşık 534 nm ışık enerjisine karşılık gelen 2.32 eV' tur. $\lambda = 1240 E_g$, burada E_g enerji bant aralığıdır. Bu 534 nm dalga boyundan daha kısa dalga boyuna sahip ışık tarafından uyarılan BiVO₄' ın yüksek enerjili elektronlarının TiO₂'e aktarılacağını ve görünür ışık uyarılmış elektronların en yüksek enerji seviyesinin (400nm ışıyla) 0,94 eV ulaşacağını belirtir. BiVO₄ görünür ışık aydınlatması altından çıktığında yüksek enerjili çok sayıda elektron üretilir. Bu yüksek enerjili elektronlar H₂ evrimi ve O₂ indirgemesi de dahil olmak üzere birçok indirgeme reaksiyonu tipi için etkilidir. BiVO₄'ta üretilen yüksek enerjili elektronlar valans bandın (VB) dibine kolayca kayda değer derecede kısa sürede transfer edilir, belirgin bir enerji kaybıyla birlikte, zayıf şarj ayrılmasına ve düşük fotoaktiviteye yol açar. Üretilen TiO₂/BiVO₄ nanokompozit için görünen ışık (≤ 534 nm) uyarılmış BiVO₄'ın yüksek enerjili elektronları

termodinamik olarak transfer olur ve bu da yüksek enerji elektronlarının ömrünü uzatır ve daha sonra yük ayrılmasını teşvik eder. Nanokompozit içerisinde TiO_2 ile BiVO_4 arasındaki yakın temasların yüksek enerjili elektronların transferi için çok önemli olduğu anlaşılmaktadır

Tablo 2’de bazı $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ yapıların özetlenmiş bir şekilde gösterilmiştir

5.2. Metal veya Ametal Katkılı $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ yapılar

$\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ görünür ışık kullanım aralığını genişletmek için 3’lü konfigürasyonlarda kullanılmaktadır. Son zamanlarda, Au gibi plazmonik metaller, güçlü ve geniş görünür ışık tepkileri nedeniyle çok dikkat çektiği görülmektedir. Bian ve grubu [106] Au/ $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nanokompozitleri üzerinde çalışmışlardır ve nanokompozitler, elde edilen BiVO_4 nanoyapılar ve daha önce bildirilen BiVO_4 nanoparçacıklarına kıyasla, CO_2 dönüşümü için sırasıyla ~ 30 kat ve ~ 60 kat artışla çok iyi bir görünür ışıklı fotokatalitik aktiviteler sergilediğini göstermişlerdir. Au/ $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nanokompoziti, 400 nm ile 660 nm arasında geniş bir görünür ışık tepki aralığı gösterir ve bu, güneş spektrumunun % 34.8’i ve görünür ışığın % 78,9’udur. Bu, plazmonik destekli BiVO_4 bazlı nano fotokatalizörler tasarlayarak güneş yakıtı üretimi için büyük bir potansiyel olduğunu gösterilmiştir.

BiVO_4 fotoanot uygulamaları içinde, dar bant aralığı ve uygun bant kenarları gibi avantajları nedeniyle son zamanlarda yoğun ilgi görmüştür BiVO_4 yavaş şarjlı taşıma ve düşük enerji dönüşüm verimliliği ile sonuçlanan kısa taşıyıcı difüzyon uzunluğu gibide dezavantajları bulunmaktadır. Fotoelektrokimyasal hücrelerde (PEC), n-Si / n- TiO_2 [107] gibi n-tipi yarı iletkenlerden oluşan n / n heterofonksiyonlu fotoanotların, foto-akım yoğunluğunu arttırdığı gören Hyejin Jung ve arkadaşları [108], Si/ $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Burada Si ve BiVO_4 ’ın heterofonksiyonlu (heterojunction) fotoanotlarının, Si’un yüksek iletken bant kenar potansiyelini kullanarak bir çift emici sistemde yük ayırma verimliliğini arttırıp fotoakımın başlangıç verimliliğini azaltabileceği öngörülmüştür. Si/ $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ fotoanotları, 1,23 V’de RHE’ye karşı 3.3 kat arttırılmış fotoakım yoğunluğunu göstermişlerdir.

Jinhua Li ve arkadaşları [109], da tantal (Ta) geçiş elementi kullanılarak TiO_2 ’ in bant düzenlenmesi yoluyla bir $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ nanogözenekli heterofonksiyonlu foto anodu üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada. BiVO_4 ve TiO_2 arasında uygun bir bant eşleşmesi elde edilerek elektrokimyasal ve spektroskopik ölçümler Ta’ un TiO_2 içerisine

katkılanmasının, iletken bant potansiyelindeki kaymaları olumlu yönde etkilediği ve $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ nanogözeneklerin bant hizalanmasının değiştirilmesiyle elektron yoğunluğunun arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu kadar verimli bir enerji bandı tasarımı ve yüksek performanslı nano malzemelerin biraraya getirilmesi, bu tekniğin güneş enerjili su bölünmesinde potansiyel uygulama için avantajlarını gösterdiği düşünülmektedir. Wenfeng Zhar ve arkadaşları [110]; ultra ince $\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nano tabaka heterofonksiyonlu dizilerinin üzerinde durulmuştur. Ti/TiO_2 nano tabaka dizilerinin üzerine BiVO_4 biriktiren sıralı bir iyonik tabaka adsorpsiyon reaksiyonu yöntemiyle yeni bir metot gösterilmiştir.

0,04 M öncül konsatrasyonunda hazırlanan $\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ fotoanodunun fotoakımı $1,2 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ ve 0,02 M için $5,8 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ 'ye yükselir. İnce olan Ti/TiO_2 nano tabaka dizileri, nano ölçümler için ideal bir yüzey alanına sahiptir. BiVO_4 sadece yük aktarma yolunu kısaltmakla kalmayan aynı zamanda esnek ve güçlü bir iletken yük toplayıcı sağlayan heterofonksiyonlu ara yüzleri oluşturmak için de kullanılır. TiO_2 ve BiVO_4 arasında heterofonksiyonlu oluşumu,

fotojenlenmiş elektronların foto indüklenmiş elektron deliği çiftlerinin yeniden birleşmesini etkili bir şekilde baskılayan BiVO_4 'tan TiO_2 'e transferini kolaylaştırır. Ayrıca BiVO_4 'tan

Tablo 2: Bazı $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ yapılar

Katalizör		Üretim Yöntemi	Morfolojisi	Konsantrasyon	Işık Kaynağı	Bant Aralığı, eV	Bozulma Maddesi	Bozulma	Reaksiyon çözeltisi	Fotoakım yoğunluğu mA/cm^2	Referans
BiVO_4	TiO_2	Hidrotermal	Nano kompozit	3M BiVO_4 P25	Görünür ışık	3,12	Etilen	%7.56/360dk	-	-	[97]
BiVO_4	TiO_2	TiO_2	Nano kompozit	%20 $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$	Görünür ışık	2,49	Metilen mavisi	8000 rpm %65/30dk	0,1 M NaOH	2,1 (1,23 V_{RHE})	[67]
BiVO_4	TiO_2	SILAR	Nano film	-	UV-Görünür ışık	2,5	RB-6G	%10/30dk	-	-	[98]
BiVO_4	TiO_2	Hidrotermal/Sol-jel	Dentritik	%20 $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$	UV-Görünür ışık	2,35	Metilen mavisi	%92.2/ 6s	0.1 M Na	-	[99]
BiVO_4	TiO_2	Solvotermal	Nanofiber	Bi/Ti : 1/3	UV-Görünür ışık	2,8	Rodamin B	%90-92/4s	-	-	[100]
BiVO_4	TiO_2	Solvotermal	Nano kompozit	Bi/Ti : 1/1	Görünür ışık	2,34	-	-	0.1 M KCl	-	[101]
BiVO_4	TiO_2	Hidrotermal	Nano kompozit	0.5 TiO_2 / 0.5 BiVO_4	UV-Görünür ışık	2,96	Metilen mavisi	500 rpm /10dk	-	-	[92]
BiVO_4	TiO_2	Hidrotermal/Sol-jel	Nano toz	TiO_2 / 0.5 BiVO_4	-	-	Benzen	%90/ 8s	6 M NaOH	-	[86]
BiVO_4	TiO_2	Sol-jel	Hidrotermal	TiO_2 / 0.5 BiVO_4	UV-Görünür ışık	2,8	Benzen	%92/ 50s	6 M NaOH	-	[102]
BiVO_4	TiO_2	Hidrotermal	Nano kompozit	Bi/Ti : 1/1	-	2,4	-	-	0,1 mM CoNO_3 /0,1M K_3PO_4	0,8 (1,23 V_{RHE})	[103]
BiVO_4	TiO_2	RF magnetron püskürtme	Nano film	Bi/Ti : 1/1	Görünür ışık	2,8	-	-	0,5 M Na_2SO_4	0,28 (1,23 V_{RHE})	[104]
BiVO_4	TiO_2	Sol-jel	Nano kompozit	Bi/Ti : 1/1	UV-Görünür ışık	2,16	-	-	0,5 M NaOH	0,25 (1,23 V_{RHE})	[84]
BiVO_4	TiO_2	Metal-organik ayrışma	Nano kompozit	Bi/Ti : 1/1	UV-Görünür ışık	3	Benzen	%97	1 M H_3PO_4 / 0,1 M K_3PO_4	0,22 (1,23 V_{RHE})	[105]

TiO₂'e foto kaynaklı elektron transferini teşvik etmek için tahrik edilen bir kuvvet sağlayan TiO₂ ve BiVO₄ arasındaki heterojenleşme alanlarındaki elektrik alanı, fotojenlenmiş elektron delik çiftlerinin yeniden birleşmesini etkili bir şekilde baskılar. Juanjuan Sun ve arkadaşları [111], hidrotermal ve yapıştırma yöntemiyle hazırlanan V₂O₅/BiVO₄/TiO₂ kompozit yapısı görünür ışık ışıması ($\lambda > 400$ nm) altında gazlı tolüenin ayrışmasında daha yüksek fotokatalitik aktivite sergilediğini gözlemlemiştir. Elektroçgirme rezonans incelemesi ile fotodan kaynaklı aktif türlerin tolüenin fotokatalitik bozunumunda yer aldığı yapılan deneyle kanıtlanmıştır. V₂O₅/BiVO₄/TiO₂ nanokompozitin gelişmiş fotokatalitik aktivitesinin tasarlanan üçlü nano kavşaklar, çoklu arayüzler boyunca yüklerin ayrılması yoluyla foto indüklenmiş yük taşıyıcılarını arttırarak fotokatalitik performansı etkili bir şekilde arttırabilir.

Yulong Jia ve arkadaşları [112], katı hal difüzyonunun oluşturduğu W ile katkılı TiO₂ nanorodlarının (NRs) BiVO₄ ile kademeli heterofonksiyonlu yapı oluşturarak bant yapısının ayarlanabildiğini göstermişlerdir. Hetero yapı W-TiO₂/BiVO₄ nanorodlar iletken substrat üzerinde dizisel olarak büyümesi ile üretilmiştir. W-TiO₂/BiVO₄ heterojunction iletken bant pozisyonunun aşağı doğru kaymasıyla BiVO₄ ve TiO₂ nanorodlar arasındaki içsel enerji bariyerini aşarak TiO₂/BiVO₄'tan 4 kat daha yüksek foto elektrokimyasal (PEC) performans göstermiştir. Ayrıca fotoakım özellikleri ve fotoakım dönüşüm verimliliği (IPCE) W-TiO₂/BiVO₄ heterofonksiyonlu (heterojunction) pH duyarlılığının uygunluğundan dolayı uzun vadeli güneş sularına ayrılmaya karşı daha iyi bir kararlılık göstermiştir.

W elemanlarının TiO₂ düzeneğine katkılanması, fotoelektrokimyasal (PEC) hücrenin görünür ışığa karşı tepkisini ve BiVO₄ ile W-TiO₂ arasında uygun bir bant pozisyonunu mümkün kılar ve bu da büyük ölçüde kolaylaştırılmış yük ayrımını sağlar. Fotoelektrokimyasal (PEC) su ayrıştırması için fotoanot olarak değerlendirildiğinde, W-TiO₂/BiVO₄ yapısı, saf TiO₂ ve W- TiO₂ elektrotlarına göre çok daha yüksek fotoakım yoğunluğu ve hidrojen üretimi sağlar. Yapılan bu uygulama bant pozisyonu boyunca katkılama elemanını optimize ederek verimli şarj ayrımı ile heterojen yapıları üretmek için etkili bir strateji oluşturduğu belirtilmiştir.

Tablo 3'de bazı TiO₂/BiVO₄ metal ve ametal katkılı nanokompozit yapıların özetlenmiş bir şekilde gösterilmiştir

5.3. Karbon bazlı katkılı $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ yapılar

Foto üretilen elektronların (e_{CB}^-) ve deliklerin (h_{VB}^+) hızlı yeniden birleşme ve BiVO_4 bazlı çok bileşenli oksitlerin organik kirleticilerine karşı düşük absorpsiyonu, yaygın olarak uygulanması için her zaman engel olmuştur. Tek bir yarı iletken ile fotokatalitik verim düşüktür, ancak katkılama veya grafen oksit (GO) veya polianilin (PANI) gibi iki veya daha fazla tür bileşiğin bir kombinasyonu aşağıdaki ayırt edici avantajlara sahiptir [113]

- (1) GO veya PANI, yarı iletkenin bant aralığı enerjisini azaltabilir.
- (2) Kompozitler bir elektronik tuzak oluşturur ve elektron deliği çiftinin ömrünü uzatmak için fotojenere elektron deliği ayrılmasını kolaylaştırır.
- (3) PANI ile modifiye edilen yarı iletkenler, kompozitlerin foto yanıtını görünür ışık bölgesine uzatır. Geniş özgül yüzey alanına ve yüksek taşıyıcı hareket kabiliyetine sahip grafen oksit [114] elektronların ve deliklerin yeniden birleşmesini azaltmak için bir katı hal elektron aracısı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır [115]. Zhu ve arkadaşları [116] $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ /grafen oksit. (GO) fotokatalistini hidrotermal yöntem ile sentezlemişlerdir. Bu çalışmaya göre, $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2/\text{GO}$ kompozitlerinin, 200-800 nm aralığında BiVO_4 ve $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2$ 'den daha iyi optik absorpsiyon özelliği sergilediği gösterilmiştir. 400 ila 800 nm arasındaki görünür ışık bölgesinde de, $\text{BiVO}_4/\text{TiO}_2/\text{GO}$ diğer örneklerle kıyasla daha büyük dalga boyu bölgelerine VZhao ve arkadaşları [118] hibrid BiVO_4 -GO- TiO_2 -poliyanilin (PANI) (BVGT-PANI) bileşiğini, tek potlu bir hidrotermal reaksiyon yoluyla başarıyla hazırlamışlardır. PANI'nın fotokatalizöre yapıştırılmasından sonra görünür ışık ışınlaması altında metilen mavisi (MB) ve fenol bozulması için mükemmel fotokatalitik verim elde etmişlerdir. Bu oran, MB ve fenolün bozunma hızları, 3 saatlik ışınlamadan katkılandırılması ile fotokatalitik aktiviteler yaklaşık 1,5

Tablo 3: $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ metal ve ametal katkılı nanokompozit yapılar.

Katalizör		Katkı Maddesi	Üretim Yöntemi	Morfolojisi	Konsantrasyon	Işık Kaynağı	Bant Aralığı, eV	Bozulma Maddesi	Bozulma	Reaksiyon çözeltisi	Foto akım yoğunluğu	Referans
BiVO_4	TiO_2	Ta	Hidrotermal	Nanofilim	-	UV-Görünür ışık -IR	2,41	-	-	2 M HNO_3	2,4 (1,23 V_{RHE})	[109]
BiVO_4	TiO_2	Si	Hidrotermal	Nanofilim	-	UV-Görünür ışık	-	-	-	0,1 M KH_2PO_4	3,3 (1,23 V_{RHE})	[108]
BiVO_4	TiO_2	V_2O_5	Hidrotermal	Nanotuz	-	UV	2,3	Toluen	120 ppm/6s %91	10 M NaOH 0,1 M HCl	-	[111]
BiVO_4	TiO_2	Cu_2O	Hidrotermal	Nanotuz	%5 BiVO_4 - %40 Cu_2O - TiO_2	UV-Görünür ışık	2,78	RhB	%97,8/8s	-	-	[82]
BiVO_4	TiO_2	W	Hidrotermal	TiO_2	-	Görünür ışık	2,4	-	-	3M KCl	2,5 (1,23 V_{RHE})	[97]

Tablo 4: Bazı karbon bazlı $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nanokompozit yapılar.

Katalizör		Katkı Maddesi	Üretim Yöntemi	Morfolojisi	Işık Kaynağı	Bant Aralığı, eV	Bozulma Maddesi	Bozulma	Reaksiyon çözeltisi	Fotoakım yoğunluğu	Referans
BiVO_4	TiO_2	GO	Solvotermal	Nanopartikül	UV	2,29	RB-19	%95/1.5s	2M NaOH	2,3 (1,23 V_{RHE})	[120]
BiVO_4	TiO_2	GO/PANI	Hidrotermal	Nanopartikül	UV-Görünür ışık	2,31	MB	%80-85/3s	1 mg KBr	2,3 (1,9 V_{RHE})	[118]
BiVO_4	TiO_2	RGO	Hidrotermal	Nanopartikül	UV-Görünür ışık	2,28	MB	$4,59 \times 10^{-1} \text{ dk}^{-1}$	-	-	[119]

kat artırıldığı gösterilmiştir. Yüksek fotokatalitik bozunma aktivitesi, gömülü PANI'nın elektron tuzakları olarak hizmet edebilmesi ve yük taşıyıcıların ayrılmasını kolaylaştırabildiği gibi, görünür ışık aralığında ışık emilimini arttırmak için uygun bant aralığına sahip olduğuna bağlanabilir.

Ar Nanakkal ve arkadaşları [119] grafen esaslı üçlü nanokompozit fotokatalistler ile bileşenlerin bant boşluk enerjilerini kontrol etmeyi amaçlayan şekilde tasarlanmışlardır. GO ve TiO_2 yüzdesi bileşimine uygun olarak, BiVO_4 bant boşluk enerjileri ve TiO_2 enerjileri ayarlanmıştır. Bant aralığı ayarlama yoluyla, görünür ışık ışınlaması altında metilen mavisi degradasyonu üzerinde yükselen bir degradasyon oranı sabiti ile ($4.59 \times 10^{-1} \text{ dk}^{-1}$) potansiyel olarak iyi bir fotokatalizör geliştirilmiştir. Bileşenlerin bant aralığı enerjilerini düzenlemeyi amaçlayan grafen esaslı üçlü kompozitlerde bileşenlerin uygun değer bileşiminin mükemmel bir tasarımı ile potansiyel uygulama alanlarının arttırılması amaçlanmıştır.

Tablo 4'de bazı karbon bazlı $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ nanokompozit yapılar listelenmiştir.

6. Perspektif ve gelecek

Bu bölümde, on birkaç yıldaki görünür ışık odaklı BiVO_4 tabanlı fotokatalistler hakkındaki gelişmelere kapsamlı bir bakış açısı sunulmuştur. Bir fotokatalizör olarak BiVO_4 , dar bant aralığı, düşük üretim maliyeti, toksik olmayan ve görünür ışık aktif fotokataliz alanında umut verici uygulamalar bulabilen yüksek fotokararlılık gibi birçok avantaja sahiptir. Ne yazık ki, fotokatalitik aktivite, fotojenerasyonlu yük taşıyıcılarının yeniden birleşmesi nedeniyle hala tatmin edici değildir. Fotokatalitik aktiviteyi geliştirmek için, asil bir metal ile yükleme, bir yarı iletken ile kombinasyon yoluyla heteroyapıların oluşturulması, karbon bazlı malzemelerle modifikasyon gibi stratejiler benimsenmiştir. Önemli ilerleme kaydedilmiş olmasına rağmen, bu fotokatalist sınıfının (özellikle $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ heteroyapılı olanlar) kullanımını daha da geliştirmek için daha fazla çaba gösterilmesi gerekmektedir. Gelecekteki çalışmalar aşağıdaki yönlere odaklanmalıdır.

Morfoloji kontrolü, fotokatalitik verimliliğin iyileştirilmesi ve atık su arıtma işlemi için BiVO_4 bazlı fotokatalizör uygulamaları üzerinde durulmalıdır. $\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ yapıların sentezlenmesinde nanofiber yapıların üretilmesi üzerinde daha çok durulabilir. BiVO_4 bazlı fotokatalist güneş ışığı altında etkinleştirilebilir; bu nedenle, toz sistemlerine kıyasla birçok

avantaj sunan fiber mat formunda tasarlanan BiVO_4 malzemeleri, hava ve yüzey sularındaki kirleticilerin temizlenmesinde toz formundaki yapılar gibi herhangi bir filtrasyona gerek duyulmadan temizlenebilir ve bu durumda maliyetlerin düşmesini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Su bölme işlemlerinde ve güneş pillerinde elektrot olarak da kullanılabilen bu tür bir malzemeler, özellikle BiVO_4 tabanlı sistemler hakkında bilgi derinleşirse, özellikle pilot ölçekli testin tasarımı için daha da önem kazanacaktır.

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FKB-2019-9139 nolu proje kapsamında desteklenmiştir” (“This work has been supported by Erciyes University Scientific Research Projects Coordination Unit under grant number FKB-2019-9139 ”)

REFERANSLAR

- [1] A. Fujishima and K. Honda, "Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode," *Nature*, vol. 238, no. 5358, pp. 37–38, 1972.
- [2] K. Demeestere, J. Dewulf, and H. Van Langenhove, "Heterogeneous photocatalysis as an advanced oxidation process for the abatement of chlorinated, monocyclic aromatic and sulfurous volatile organic compounds in air: State of the art," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 37, no. 6, pp. 489–538, Nov-2007.
- [3] A. Malathi, J. Madhavan, M. A.-A. C. A., and undefined 2018, "A review on BiVO₄ photocatalyst: activity enhancement methods for solar photocatalytic applications," Elsevier.
- [4] A. L. Linsebigler, G. Lu, and J. T. Yates, "Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results," *Chem. Rev.*, vol. 95, no. 3, pp. 735–758, May 1995.
- [5] A. Kudo, K. Omori, and H. Kato, "A novel aqueous process for preparation of crystal form-controlled and highly crystalline BiVO₄ powder from layered vanadates at room temperature and its photocatalytic and photophysical properties," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 121, no. 49, pp. 11459–11467, Dec. 1999, doi: 10.1021/ja992541y.
- [6] C. Manolikas, S. A.-P. S. S. A, A. Research, and undefined 1980, "Ferroelastic domains in BiVO₄," inis.iaea.org.
- [7] W. I. F. David and I. G. Wood, "Ferroelastic phase transition in BiVO₄: VI. Some comments on the relationship between spontaneous deformation and domain walls in ferroelastics," *J. Phys. C Solid State Phys.*, vol. 16, no. 26, pp. 5149–5166, 1983, doi: 10.1088/0022-3719/16/26/009.
- [8] M. S. Jangs and S. H. Choh, "Ferroelastic phase transition of BiVO₄ studied by 51V NMR," *Ferroelectrics*, vol. 94, no. 1, pp. 389–394, Jun. 1989.
- [9] A. Bhattacharya, K. Mallick, A. H.-M. Letters, and undefined 1997, "Phase transition in BiVO₄," Elsevier.
- [10] K. Hirota, G. Komatsu, M. Yamashita, H. T.-M. research, and undefined 1992, "Formation, characterization and sintering of alkoxy-derived bismuth vanadate," Elsevier.
- [11] L. Jie, W. Huijuan, and L. Guofeng, "TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects Synergistic Decolouration of Azo Dye by Pulsed Streamer Discharge Immobilized TiO₂ Photocatalysis," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 44, no. 12, pp. 8269–8285, Dec. 2005.
- [12] K. R. Gopidas, M. Bohorquez, and P. V. Kamat, "Photophysical and photochemical aspects of coupled semiconductors: charge-transfer processes in colloidal cadmium sulfide-titania and cadmium sulfide-

- silver(I) iodide systems,” J. Phys. Chem., vol. 94, no. 16, pp. 6435–6440, Aug. 1990.
- [13] S. Sakthivel and H. Kisch, “Daylight Photocatalysis by Carbon-Modified Titanium Dioxide,” *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 42, no. 40, pp. 4908–4911, Oct. 2003.
- [14] R. Asahi, T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki, Y. T.- science, and undefined 2001, “those from N 2p to Ti d xy,” *science.sciencemag.org*, 2001.
- [15] P. Lee, B. Choi, M. K.-, “Assessment of mobility and bio-availability of heavy metals in dry depositions of Asian dust and implications for environmental risk,” *Elsevier, Chemosphere*, and undefined 2015.
- [16] Y. Yokosuka, K. Oki, H. Nishikiori, ... Y. T.-R. on C., and undefined 2009, “Photocatalytic degradation of trichloroethylene using N-doped TiO₂ prepared by a simple sol–gel process,” *Springer*.
- [17] P. Kamat, M. F.-C. physics letters, and undefined 1983, “Photosensitization of TiO₂ colloids by erythrosin B in acetonitrile,” *Elsevier*.
- [18] Y. Zhu and Y. Dan, “Photocatalytic activity of poly(3-hexylthiophene)/titanium dioxide composites for degrading methyl orange,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 94, no. 10, pp. 1658–1664, Oct. 2010.
- [19] J. Augustynski, N. Vlachopoulos, P. Liska, and M. Grätzel, “Very Efficient Visible Light Energy Harvesting and Conversion by Spectral Sensitization of High Surface Area Polycrystalline Titanium Dioxide Films,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 110, no. 4, pp. 1216–1220, Feb. 1988.
- [20] A. Mills, S. L. H.-J. of photochemistry and photobiology A, and undefined 1997, “An overview of semiconductor photocatalysis,” *Elsevier*.
- [21] I. Konstantinou, T. A.-A. C. B. Environmental, and undefined 2004, “TiO₂-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations: a review,” *Elsevier*.
- [22] S. Ahmed, M. Rasul, R. Brown, and M. Hashib, “Atık sudaki pestisitlerin ve fenolik kirleticilerin heterojen fotokatalitik yıkımı üzerindeki parametrelerin etkisi: kısa bir derleme,” *Çevre Derg.*, 2011.
- [23] U. Akpan, B. H.-T. M. Dergisi, and undefined 2009, “TiO₂ bazlı fotokatalizörler kullanarak boyaların fotokatalitik degradasyonunu etkileyen parametreler: bir inceleme,” *Elsevier*.
- [24] M. Saquib, M. Tariq, M. Faisal, M. M.-T. Arındırma, and undefined 2008, “Titanyum dioksitin sulu süspansiyonlarında seçilen iki boya türevinin fotokatalitik bozulması,” *Elsevier*.
- [25] S. Chakrabarti, B. D.-T. maddeler dergisi, and undefined 2004, “Yarı iletken katalizör olarak ZnO kullanılarak atık sudaki model tekstil boyalarının fotokatalitik bozulması,” *Elsevier*.

- [26] S. Liu, J. Yang, and J. Choy, “Mikro poröz SiO₂ – TiO₂ nanosolleri, metil portakalın fotokatalitik ayrışması için sütunlu montmorillonit,” *Fotokimya ve Fotobiyoloji Derg.*, 2006.
- [27] J. Sun, L. Qiao, S. Sun, and G. Wang, “Turuncu G’nin görünür ışık ve güneş ışığı ışınlaması altında azot katkılı TiO₂ katalizörleri üzerinde fotokatalitik bozulması,” *Tehlikeli maddeler Derg.*, 2008.
- [28] “Malzeme Araştırma Ekspresi-IOPscience.”. A: <https://iopscience.iop.org/journal/2053-1591>. [Accessed: 10-Mar-2020].
- [29] I. Konstantinou and T. Albanis, “Sulu çözeltide azo boyalarının TiO₂ destekli fotokatalitik bozunması: kinetik ve mekanik araştırmalar: bir inceleme,” *Uygulamalı Katal. B Çevresel*, 2004.
- [30] N. SERPONE, G. Sauvé, undefined R, undefined Koch, H. Tahiri, and ... P. P., “Heterojen fotokatalizde proses verimlilikleri ve aktivasyon parametrelerinin standardizasyon protokolü: bağıl fotonik verimlilikler arasında fotokimyanın,” 1996.
- [31] J. Grzechulska, A. M.-U. K. B. Çevresel, and undefined 2002, “Azo-boya asit siyahı 1’in modifiye titanyum dioksit üzerinde suda fotokatalitik ayrışması,” Elsevier.
- [32] M. Huang et al., “Doğal zeolit üzerine yüklenmiş Pt modifiye TiO₂ ile metil turuncu çözeltisinin fotokatalitik renksizleşmesi,” Elsevier.
- [33] W. Baran, A. Makowski, and W. Wardas, “Katyonik ve anyonik boya çözeltilerinin UV radyasyon emiliminin TiO₂ varlığında fotokatalitik bozunmaları üzerindeki etkisi,” *Boyalar ve Pigment.*, 2008.
- [34] W. Chao-Hai, X.-H. Tang, J.-R. Liang, and S.-Y. Tan, “Preparation, characterization and photocatalytic activities of boron-and cerium-codoped TiO₂,” 2007.
- [35] M. Sun et al., “Rapid microwave hydrothermal synthesis of GaOOH nanorods with photocatalytic activity toward aromatic compounds Related content,” *iopscience.iop.org*, 2010, doi: 10.1088/0957-4484/21/35/355601.
- [36] S. Lee and S. Obregón-Alfaro, “Sonokimyasal işleme hazırlanan köpüklü atık cam üzerindeki gümüş-TiO₂ nanokompozitlerinin fotokatalitik kaplamaları,” *Fotokimya Derg.*, 2011.
- [37] J. A.-E. Acta and undefined 1993, “The role of the surface intermediates in the photoelectrochemical behaviour of anatase and rutile TiO₂,” Elsevier.
- [38] M. A. Fox and M. T. Dulay, “Heterogeneous Photocatalysis,” *Chem. Rev.*, vol. 93, no. 1, pp. 341–357, 1993, doi: 10.1021/cr00017a016.
- [39] D. F. Ollis, “Contaminant degradation in water,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 6, pp. 480–484, Jun. 1985, doi: 10.1021/es00136a002.
- [40] “Nanophotocatalysis using nanoparticles of titania: Mineralization and finite element modelling of Solophenyl dye decolorization,” Elsevier.
- [41] X. Yu, C. Li, Y. Ling, T. A. Tang, Q. Wu, and J. Kong, “First principles

- calculations of electronic and optical properties of Mo-doped rutile TiO₂,” *J. Alloys Compd.*, vol. 507, no. 1, pp. 33–37, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.jallcom.2010.07.195.
- [42] “Nanosize Ti–W mixed oxides: effect of doping level in the photocatalytic degradation of toluene using sunlight-type excitation,” Elsevier.
- [43] A. Corma, “Inorganic Solid Acids and Their Use in Acid-Catalyzed Hydrocarbon Reactions,” *Chem. Rev.*, vol. 95, no. 3, pp. 559–614, 1995, doi: 10.1021/cr00035a006.
- [44] R. Wang et al., “Light-induced amphiphilic surfaces [4],” *Nature*, vol. 388, no. 6641. Nature Publishing Group, pp. 431–432, 1997, doi: 10.1038/41233.
- [45] W. Zhou et al., “Ultrathin Ti/TiO₂/BiVO₄ nanosheet heterojunction arrays for photoelectrochemical water oxidation,” Elsevier.
- [46] S. Sun, W. Wang, L. Zhou, and H. Xu, “Efficient Methylene Blue Removal over Hydrothermally Synthesized Starlike BiVO₄,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 48, no. 4, pp. 1735–1739, Feb. 2009.
- [47] G. L. Wang, L. W. Shan, Z. Wu, and L. M. Dong, “Enhanced photocatalytic properties of molybdenum-doped BiVO₄ prepared by sol–gel method,” *Rare Met.*, vol. 36, no. 2, pp. 129–133, Feb. 2017.
- [48] B. X. Lei, P. Zhang, S. N. Wang, Y. Li, G. L. Huang, and Z. F. Sun, “Additive-free hydrothermal synthesis of novel bismuth vanadium oxide dendritic structures as highly efficient visible-light photocatalysts,” *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 30, pp. 429–434, Feb. 2015.
- [49] W. Yin, W. Wang, M. Shang, L. Zhou, S. Sun, and L. Wang, “BiVO₄ Hollow Nanospheres: Anchoring Synthesis, Growth Mechanism, and Their Application in Photocatalysis,” *Eur. J. Inorg. Chem.*, vol. 2009, no. 29–30, pp. 4379–4384, Oct. 2009.
- [50] L. Zong, P. Cui, F. Qin, K. Zhao, Z. Wang, and R. Yu, “Heterostructured bismuth vanadate multi-shell hollow spheres with high visible-light-driven photocatalytic activity,” *Mater. Res. Bull.*, vol. 86, pp. 44–50, Feb. 2017.
- [51] Y. Lu, Y. S. Luo, H. M. Xiao, and S. Y. Fu, “Novel core-shell structured BiVO₄ hollow spheres with an ultra-high surface area as visible-light-driven catalyst,” *CrystEngComm*, vol. 16, no. 27, pp. 6059–6065, Jul. 2014.
- [52] F. Li, C. Yang, Q. Li, W. Cao, and T. Li, “The pH-controlled morphology transition of BiVO₄ photocatalysts from microparticles to hollow microspheres,” *Mater. Lett.*, vol. 145, pp. 52–55, Apr. 2015.
- [53] L. Chen, D. Meng, X. Wu, J. Wang, Y. Wang, and Y. Liang, “Shape-controlled synthesis of novel self-assembled BiVO₄ hierarchical structures with enhanced visible light photocatalytic performances,” *Mater. Lett.*, vol. 176, pp. 143–146, Aug. 2016.

- [54] H. Jiang, H. Dai, X. Meng, K. Ji, L. Zhang, and J. Deng, "Porous olive-like BiVO₄: Alchoho-hydrothermal preparation and excellent visible-light-driven photocatalytic performance for the degradation of phenol," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 105, no. 3–4, pp. 326–334, Jun. 2011.
- [55] X. Wu et al., "Carbon dot and BiVO₄ quantum dot composites for overall water splitting: Via a two-electron pathway," *Nanoscale*, vol. 8, no. 39, pp. 17314–17321, Oct. 2016.
- [56] R. Guo, L. Fang, W. Dong, F. Zheng, and M. Shen, "Enhanced photocatalytic activity and ferromagnetism in Gd doped BiFeO₃ nanoparticles," *J. Phys. Chem. C*, vol. 114, no. 49, pp. 21390–21396, Dec. 2010.
- [57] Shun Li, Jianming Zhang, Md Golam Kibria, Zetian Mi, Mohamed Chaker, Dongling Ma, Riad Nechache, Federico Rosei, "Remarkably enhanced photocatalytic activity of laser ablated Au nanoparticle decorated BiFeO₃ nanowires under visible-light," *Chem Commun (Camb)*, 2013
- [58] P. Ju, Y. Wang, Y. Sun, and D. Zhang, "Controllable one-pot synthesis of a nest-like Bi₂WO₆/BiVO₄ composite with enhanced photocatalytic antifouling performance under visible light irradiation," *Dalt. Trans.*, vol. 45, no. 11, pp. 4588–4602, 2016.
- [59] S. Shenawi-Khalil, V. Uvarov, E. Menes, I. Popov, and Y. Sasson, "New efficient visible light photocatalyst based on heterojunction of BiOCl-bismuth oxyhydrate," *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 413–414, pp. 1–9, Jan. 2012.
- [60] X. Meng, L. Zhang, H. Dai, Z. Zhao, ... R. Z.-M. C. and, and undefined 2011, "Surfactant-assisted hydrothermal fabrication and visible-light-driven photocatalytic degradation of methylene blue over multiple morphological BiVO₄ single," Elsevier.
- [61] S. Sun, W. Wang, D. Li, L. Zhang, and D. Jiang, "Solar Light Driven Pure Water Splitting on Quantum Sized BiVO₄ without any Cocatalyst," *ACS Catal.*, vol. 4, no. 10, pp. 3498–3503, Oct. 2014.
- [62] R. Sharma, S. Singh, A. Verma, M. K.-J. of P. and, and undefined 2016, "Visible light induced bactericidal and photocatalytic activity of hydrothermally synthesized BiVO₄ nano-octahedrals," Elsevier.
- [63] S. S. M. Bhat and H. W. Jang, "Recent Advances in Bismuth-Based Nanomaterials for Photoelectrochemical Water Splitting," *ChemSusChem*, vol. 10, no. 15. Wiley-VCH Verlag, pp. 3001–3018, 2017.
- [64] S. Usai, S. Obregón, A. I. Becerro, and G. Colón, "Monoclinic–Tetragonal Heterostructured BiVO₄ by Yttrium Doping with Improved Photocatalytic Activity," *J. Phys. Chem. C*, vol. 117, no. 46, pp. 24479–24484, Nov. 2013, doi: 10.1021/jp409170y.
- [65] H. Jiang et al., "High-performance porous spherical or octapod-like

- single-crystalline BiVO₄ photocatalysts for the removal of phenol and methylene blue under visible-light,” Elsevier.
- [66] W. Yin, W. Wang, L. Zhou, S. Sun, L. Z.-J. of H. Materials, and undefined 2010, “CTAB-assisted synthesis of monoclinic BiVO₄ photocatalyst and its highly efficient degradation of organic dye under visible-light irradiation,” Elsevier.
- [67] L. Shi et al., “Facile fabrication of hierarchical BiVO₄/TiO₂ heterostructures for enhanced photocatalytic activities under visible-light irradiation,” *J. Mater. Sci.*, vol. 53, no. 16, pp. 11329–11342, Aug. 2018, doi: 10.1007/s10853-018-2442-x.
- [68] A. Walsh, Y. Yan, M. N. Huda, M. M. Al-Jassim, and S.-H. Wei, “Band Edge Electronic Structure of BiVO₄: Elucidating the Role of the Bi s and V d Orbitals,” *Chem. Mater.*, vol. 21, no. 3, pp. 547–551, Feb. 2009, doi: 10.1021/cm802894z.
- [69] K. E. Kweon and G. S. Hwang, “Structural phase-dependent hole localization and transport in bismuth vanadate,” *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.*, vol. 87, no. 20, May 2013, doi: 10.1103/PhysRevB.87.205202.
- [70] R. Munprom, P. A. Salvador, and G. S. Rohrer, “Polar Domains at the Surface of Centrosymmetric BiVO₄,” *Chem. Mater.*, vol. 26, no. 9, pp. 2774–2776, May 2014, doi: 10.1021/cm501087j.
- [71] G. Zhao, W. Liu, J. Li, Q. Lv, W. Li, and L. Liang, “Facile synthesis of hierarchically structured BiVO₄ oriented along (010) facets with different morphologies and their photocatalytic properties,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 390, pp. 531–539, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.apsusc.2016.08.126.
- [72] A. Kudo, K. Omori, H. K. the A. C. Society, and undefined 1999, “of Crystal Form-Controlled and Highly Crystalline BiVO₄ Powder from Layered Vanadates at Room Temperature and Its Photocatalytic and Photophysical Properties,” ACS Publ.
- [73] X. Zhang et al., “Selective synthesis and visible-light photocatalytic activities of BiVO₄ with different crystalline phases,” Elsevier.
- [74] G. Z. Wu, D. H. Son, Y. E. Jin, G. D. Lee, and S. S. Park, “Hydrothermal synthesis of metal-doped BiVO₄ powder and its thermochromic properties,” *Appl. Chem. Eng.*, vol. 26, no. 6, pp. 681–685, Dec. 2015, doi: 10.14478/ace.2015.1097.
- [75] Z. Zhang, W. Wang, M. Shang, W. Y. communications, and undefined 2010, “Photocatalytic degradation of rhodamine B and phenol by solution combustion synthesized BiVO₄ photocatalyst,” Elsevier.
- [76] M. Shang, W. Wang, J. Ren, S. Sun, and L. Zhang, “A novel BiVO₄ hierarchical nanostructure: Controllable synthesis, growth mechanism, and application in photocatalysis,” *CrystEngComm*, vol. 12, no. 6, pp. 1754–1758, Jun. 2010, doi: 10.1039/b923115c.

- [77] J. Su, L. Guo, N. Bao, and C. A. Grimes, “Nanostructured WO₃/BiVO₄ heterojunction films for efficient photoelectrochemical water splitting,” *Nano Lett.*, vol. 11, no. 5, pp. 1928–1933, May 2011, doi: 10.1021/nl2000743.
- [78] J. Yang, D. Wang, X. Zhou, and C. Li, “A theoretical study on the mechanism of photocatalytic oxygen evolution on BiVO₄ in aqueous solution,” *Chem. - A Eur. J.*, vol. 19, no. 4, pp. 1320–1326, Jan. 2013.
- [79] Y. Liu et al., “Selective ethanol formation from photocatalytic reduction of carbon dioxide in water with BiVO₄ photocatalyst,” Elsevier.
- [80] A. Yoosefi Booshehri, S. Chun-Kiat Goh, J. Hong, R. Jiang, and R. Xu, “Effect of depositing silver nanoparticles on BiVO₄ in enhancing visible light photocatalytic inactivation of bacteria in water , *Journal of materials Chemistry A*, 2014, 17.
- [81] Q. Yuan et al., “Cu₂O/BiVO₄ heterostructures: Synthesis and application in simultaneous photocatalytic oxidation of organic dyes and reduction of Cr(VI) under visible light,” *Chem. Eng. J.*, vol. 255, pp. 394–402, Nov. 2014.
- [82] W. Cui, W. An, L. Liu, J. Hu, Y. L.-J. of hazardous materials, and undefined 2014, “Novel Cu₂O quantum dots coupled flower-like BiOBr for enhanced photocatalytic degradation of organic contaminant,” Elsevier.
- [83] S. Shamaila, A. Sajjad, F. Chen, J. Z. colloid and interface science, and undefined 2011, “WO₃/BiOCl, a novel heterojunction as visible light photocatalyst,” Elsevier.
- [84] M. Xie, X. Fu, L. Jing, P. Luan, Y. Feng, and H. Fu, “Long-lived, visible-light-excited charge carriers of TiO₂/BiVO₄ nanocomposites and their unexpected photoactivity for water splitting,” *Adv. Energy Mater.*, vol. 4, no. 5, Apr. 2014.
- [85] X. Song, Y. Li, Z. Wei, S. Ye, and D. D. Dionysiou, “Synthesis of BiVO₄/P25 composites for the photocatalytic degradation of ethylene under visible light,” *Chem. Eng. J.*, vol. 314, pp. 443–452, 2017.
- [86] Y. Hu et al., “Hydrothermal synthesis of BiVO₄ /TiO₂ composites and their application for degradation of gaseous benzene under visible light irradiation,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 436, pp. 319–326, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.12.054.
- [87] M. Samsudin, S. Sufian, N. Mohamed, R. B.-M. Letters, and undefined 2018, “Enhancement of hydrogen production over screen-printed TiO₂/BiVO₄ thin film in the photoelectrochemical cells,” Elsevier.
- [88] R. Kalan, S. Yaparathne, ... A. A.-A. C. B., and undefined 2016, “P25 titanium dioxide coated magnetic particles: Preparation, characterization and photocatalytic activity,” Elsevier.
- [89] T. Doll, F. F.-W. Research, and undefined 2005, “Photocatalytic degradation of carbamazepine, clofibric acid and iomeprol with P25 and

- Hombikat UV100 in the presence of natural organic matter (NOM) and,” Elsevier.
- [90] E. Hussain et al., “Titania-Supported Palladium/Strontium Nanoparticles (Pd/Sr-NPs@P25) for Photocatalytic H₂ Production from Water Splitting,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 120, no. 31, pp. 17205–17213, Aug. 2016, doi: 10.1021/acs.jpcc.6b04695.
 - [91] M. Ye, X. Wang, E. Liu, J. Ye, and D. Wang, “Boosting the Photocatalytic Activity of P25 for Carbon Dioxide Reduction by using a Surface-Alkalinized Titanium Carbide MXene as Cocatalyst,” *ChemSusChem*, vol. 11, no. 10, pp. 1606–1611, May 2018.
 - [92] N. Wetchakun, S. Chainet, S. Phanichphant, and K. Wetchakun, “Efficient photocatalytic degradation of methylene blue over BiVO₄/TiO₂ nanocomposites,” *Ceram. Int.*, vol. 41, no. 4, pp. 5999–6004, May 2015.
 - [93] W. Luo, Z. Li, T. Yu, and Z. Zou, “Effects of surface electrochemical pretreatment on the photoelectrochemical performance of Mo-doped BiVO₄,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 116, no. 8, pp. 5076–5081, Mar. 2012.
 - [94] S. Berglund, A. Rettie, ... S. H.-P. C., and undefined 2012, “Incorporation of Mo and W into nanostructured BiVO₄ films for efficient photoelectrochemical water oxidation,” pubs.rsc.org.
 - [95] W. Yao and J. Ye, “Photophysical and Photocatalytic Properties of Ca_{1-x}Bi_xV_xMo_{1-x}O₄ Solid Solutions,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 110, no. 23, pp. 11188–11195, Jun. 2006.
 - [96] H. S. Park, K. E. Kweon, H. Ye, E. Paek, G. S. Hwang, and A. J. Bard, “Factors in the metal doping of BiVO₄ for improved photoelectrocatalytic activity as studied by scanning electrochemical microscopy and first-principles density-functional calculation,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 115, no. 36, pp. 17870–17879, Sep. 2011.
 - [97] X. Song, Y. Li, Z. Wei, S. Ye, D. D.-C. E. Journal, and undefined 2017, “Synthesis of BiVO₄/P25 composites for the photocatalytic degradation of ethylene under visible light,” Elsevier.
 - [98] G. Odling and N. Robertson, “BiVO₄-TiO₂ Composite Photocatalysts for Dye Degradation Formed Using the SILAR Method,” *ChemPhysChem*, vol. 17, no. 18, pp. 2872–2880, Sep. 2016.
 - [99] W. Li et al., “Visible-light-induced dendritic BiVO₄/TiO₂ composite photocatalysts for advanced oxidation process,” Elsevier.
 - [100] Z. Guo et al., “One-dimensional spindle-like BiVO₄/TiO₂ nanofibers heterojunction nanocomposites with enhanced visible light photocatalytic activity,” Elsevier.
 - [101] P. P. Liu, X. Liu, X. H. Huo, Y. Tang, J. Xu, and H. Ju, “TiO₂-BiVO₄ Heterostructure to Enhance Photoelectrochemical Efficiency for Sensitive Aptasensing,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 9, no. 32, pp. 27185–27192, Aug. 2017.

- [102] Y. Hu et al., “BiVO₄/TiO₂ nanocrystalline heterostructure: a wide spectrum responsive photocatalyst towards the highly efficient decomposition of gaseous benzene,” Elsevier.
- [103] B. Y. Cheng, J. S. Yang, H. W. Cho, and J. J. Wu, “Fabrication of an Efficient BiVO₄-TiO₂ Heterojunction Photoanode for Photoelectrochemical Water Oxidation,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 8, no. 31, pp. 20032–20039, Aug. 2016.
- [104] A. P. Singh, N. Kodan, B. R. Mehta, A. Held, L. Mayrhofer, and M. Moseler, “Band Edge Engineering in BiVO₄/TiO₂ Heterostructure: Enhanced Photoelectrochemical Performance through Improved Charge Transfer,” *ACS Catal.*, vol. 6, no. 8, pp. 5311–5318, Aug. 2016.
- [105] S. Ho-Kimura, S. J. A. Moniz, A. D. Handoko, and J. Tang, “Enhanced photoelectrochemical water splitting by nanostructured BiVO₄-TiO₂ composite electrodes,” *J. Mater. Chem. A*, vol. 2, no. 11, pp. 3948–3953, Mar. 2014.
- [106] J. Bian, Y. Qu, X. Zhang, N. Sun, D. T.-... of M. C. A, and undefined 2018, “Dimension-matched plasmonic Au/TiO₂/BiVO₄ nanocomposites as efficient wide-visible-light photocatalysts to convert CO₂ and mechanistic insights,” *Journal of Materials Chemistry A*, 15, 2018.
- [107] Y. J. Hwang, A. Boukai, and P. Yang, “High density n-S/n-TiO₂ core/shell nanowire arrays with enhanced photoactivit,” *Nano Lett.*, vol. 9, no. 1, pp. 410–415, Jan. 2009.
- [108] H. Jung, S. Y. Chae, C. Shin, B. K. Min, O.-S. Joo, and Y. J. Hwang, “Effect of the Si/TiO₂/BiVO₄ Heterojunction on the Onset Potential of Photocurrents for Solar Water Oxidation,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, no. 10, pp. 5788–5796, Mar. 2015.
- [109] J. Li et al., “Dramatic enhancement of photocurrent for BiVO₄/TiO₂ heterojunction photoanode with suitable band-match via in-situ band regulation using Ta,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 39, pp. 18202–18210, Sep. 2018.
- [110] W. Zhou, T. Jiang, Y. Zhao, C. Xu, C. Pei, and H. Xue, “Ultrathin Ti/TiO₂/BiVO₄ nanosheet heterojunction arrays for photoelectrochemical water oxidation,” *J. Alloys Compd.*, vol. 777, pp. 1152–1158, Mar. 2019.
- [111] J. Sun, X. Li, Q. Zhao, J. Ke, and D. Zhang, “Novel V₂O₅/BiVO₄/TiO₂ nanocomposites with high visible-light-induced photocatalytic activity for the degradation of toluene,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 118, no. 19, pp. 10113–10121, May 2014, doi: 10.1021/jp5013076.
- [112] Y. Jia et al., “Boosting interfacial charge migration of TiO₂/BiVO₄ photoanode by W doping for photoelectrochemical water splitting,” Elsevier.
- [113] S. Ameen, H. Seo, M. Akhtar, H. S.-C. engineering journal, and

- undefined 2012, “Novel graphene/polyaniline nanocomposites and its photocatalytic activity toward the degradation of rose Bengal dye,” Elsevier.
- [114] L. Lin, “The Preparation and Characterisation of Graphene and Its Analogues,” 2013.
- [115] D. Zhou, Z. Zhu, B. L.-M. Letters, and undefined 2016, “Solvothermal synthesis and characterization of a novel reduced graphene oxide (RGO)/BiVO₄/SiO₂ nanocomposites,” Elsevier.
- [116] Z. Zhu, Q. Han, D. Yu, J. Sun, and B. Liu, “A novel p-n heterojunction of BiVO₄/TiO₂/GO composite for enhanced visible-light-driven photocatalytic activity,” *Mater. Lett.*, vol. 209, pp. 379–383, Dec. 2017.
- [117] G. Ć.-M.-S. metals and undefined 2013, “Recent advances in polyaniline research: Polymerization mechanisms, structural aspects, properties and applications,” Elsevier.
- [118] J. Zhao, M. R. U. D. Biswas, and W. C. Oh, “A novel BiVO₄-GO-TiO₂-PANI composite for upgraded photocatalytic performance under visible light and its non-toxicity,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 12, pp. 11888–11904, Apr. 2019.
- [119] A. R. Nanakkal and L. K. Alexander, “Graphene/BiVO₄/TiO₂ nanocomposite: tuning band gap energies for superior photocatalytic activity under visible light,” *J. Mater. Sci.*, vol. 52, no. 13, pp. 7997–8006, Jul. 2017, doi: 10.1007/s10853-017-1002-0.
- [120] Z. Zhu, Q. Han, D. Yu, J. Sun, B. L.-M. Letters, and undefined 2017, “A novel pn heterojunction of BiVO₄/TiO₂/GO composite for enhanced visible-light-driven photocatalytic activity,” Elsevier.
- [121] A.K. Bhattacharya, K.K. Mallick, A. Hartridge, Phase transition in BiVO₄, *Mater. Lett.* 30, 1 (1997)
- [122] Y. Park, K.J. McDonald, K.-S. Choi, Progress in bismuth vanadate photoanodes for use in solar water oxidation, *Chem. Soc. Rev.* 42, 6 (2013)
- [123] A.W. Sleight, H.-Y. Chen, A. Ferretti, D.E. Cox, Crystal growth and structure of BiVO₄ *Mater. Res. Bull.* 14, 12 (1979)
- [124] Yulong Jia, Zhonghao Wang, Ying Ma, Jiali Liu, Wenbing Shi etc. , “Boosting interfacial charge migration of TiO₂/BiVO₄ photoanode by W doping for photoelectrochemical water splitting” *Electrochimia Acta*, 2019, 300, 138-144.
- [125] S. Tokunaga, H. Kato, A. Kudo, “Selective Preparation of Monoclinic and Tetragonal BiVO₄ with Scheelite Structure and Their Photocatalytic Properties,” *Chem. Mater.* 13, 12 (2001).

Bölüm 8

KAPALI MEKÂNLARDA GÜRÜLTÜ YALITIMI İÇİN KULLANILAN TEKSTİL ESASLI MALZEMELERİN PERFORMANS ANALİZİ



Müslüm EROL¹
Hüsnü AYDEMİR²

1 Dr. Öğr. Üyesi., Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Tekstil Teknolojisi Programı, Bingöl, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6905-7481

2 Öğr. Gör., Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Tekstil Teknolojisi Programı, Bingöl, Türkiye, ORCID: 0000-0001-8772-2257

GİRİŞ

Hoşa gitmeyen, sevimsiz olan her türlü sesi gürültü olarak ifade etmek mümkündür. Teknolojik gelişmeler, dikey yönde mimari furyası, iş yerlerinin neredeyse yaşam alanlarımız ile bütünleşmiş olması, hemen her yerde kullandığımız elektronik makine ve cihazlar gibi pek çok faktör sebebiyle gürültü ve onun zararlı etkileri ile karşı karşıya kalmaktayız. Çağımız insanı yaşamının büyük kısmını kapalı ortamlarda geçirmektedir. Ev, iş, otomobil ve seyahatlerde yaşam ağırlıklı olarak kapalı mekânlarda geçmektedir. Teknolojik seviyesi yüksek pek çok makine-teçhizat yaşamımıza girmiş en yakınımızda ki vazgeçilmezlerimiz haline gelmişlerdir. Tüm bu elektrikli, motorlu ve yüksek performans ile çalışan cihazlar niteliğine bağlı olarak az yâda çok ses çıkarmaktadırlar. İnsan sağlığı ve iş verimi üzerinde ciddi anlamda olumsuz etkisi bulunan gürültünün kapalı ortamlardan mutlaka izole edilmesi gerekmektedir. Yapılmış pek çok çalışmaya göre; gürültüden yalıtılmış bir ortamda çalışanların verimliliklerinin ve iş tatminlerinin yüksek olduğu buna bağlı olarak meslek hastalıkları ve iş kazaları oranlarının da önemli derecede düştüğü gösterilmiştir.

Ulusal ve uluslararası pek çok yönetmelik ve standartta gürültü ile mücadele prosedürleri belirlenmiştir. Şüphesiz gürültü ile mücadelede öncelikli konu gürültüye sebep olan faktörlerin belirlenmesidir. Daha sonra gürültünün zararlı etkilerini tolerans aralıklarına getirmek, yalıtım özelliklerini geliştirmek, maruziyet süresini azaltmak veya daha hoş bir ses ile maskelemek gibi yöntemler kullanılarak izolasyon sağlanabilir.

Gürültü, gürültüye sebep olan kaynakta, yayıldığı ortamda ve ortam sınırında olmak üzere üç şekilde kontrol altına alınabilmektedir (Erol, 2019). Sesi kaynağında izole etmek için genellikle ses yalıtıcı malzemeler ile kaplamak veya ses bariyerleri ile çevrelemek suretiyle yansıma sürelerini azaltmak yada kaynağın yapısı üzerinde değişiklikler yapmak, oturduğu yüzey ve montaj yöntemini kontrol etmek şeklinde yapılabilmektedir (Cowan, 2007). Çoğu zaman gürültü hava ve yapı elemanları aracılığı ile taşınmaktadır. Hava ile iletimin olduğu ortamlarda ideal yöntem ses yalıtımı ve akustik düzenlemedir. Yapı elemanları ile aktarılan gürültü için ise sönümleme ve titreşimi azaltıcı izolasyon tedbirleri gerekmektedir (Turan, 2005).

Akustik düzenlemeden kastedilen sesin rahatsızlık vermeyecek bir düzeye getirilmesidir. Rahatsız edici ses, bulunduğu ortamdaki mobilya ve demirbaşın yalıtım kabiliyetine, iç mekânda kullanılan tasarım ve

kaplama malzemelerinin niteliğine ve mekânın hacmine bağlıdır (OWA-coustic, 2019). Gürültü yalıtımında tekstil esaslı yüzeylerin kullanımı yaygın olmakla birlikte yalıtım amaçlı yeni ve yalıtım kapasitesi yüksek pek çok materyal de üretilmektedir. Bir kısmı seri üretime geçmemiş olsa da özellikle geri dönüşüm malzemeler ile ilgili çalışmalar araştırmacıların ilgisini çekmektedir.

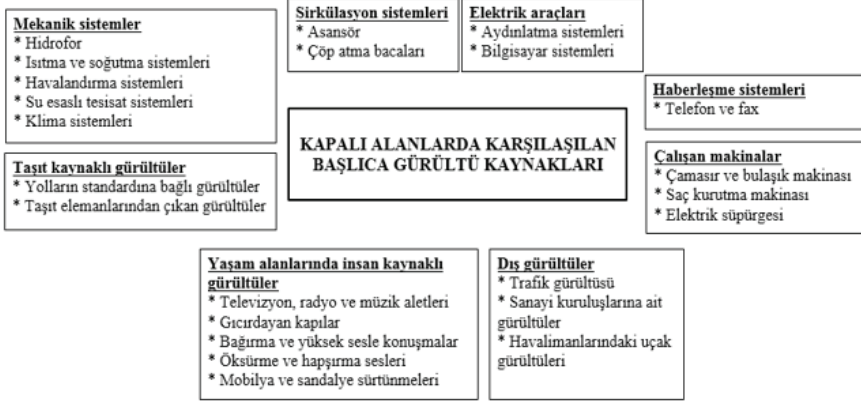
Bu çalışmanın amacı, gürültünün zararlı etkilerini sınırlamak amacıyla kullanılan ses yalıtım materyallerini ve özelliklerini analiz etmektir. Bu kapsamda literatürde dile getirilen ses yalıtım amaçlı kullanılan tekstil esaslı malzemelerin üretim şekilleri, kullanıldıkları yerler, ses yutumu ve yalıtım kapasiteleri ile üstün özellikleri araştırılmış ve elde edilen veriler çerçevesinde konu değerlendirilmiştir.

1. Kapalı Mekânlarda Gürültü ve Kaynakları

Kapalı alanlarda işitsel konforu sağlayan önemli parametreler; ses kalitesi, anlaşılabilir nitelikte konuşma, ortamda ki döşeme kumaşların özellikleri ve kullanılan malzemelerdir. Ancak bu faktörlere ilave olarak yapı tasarlanırken kullanılan teknik-tesisat, değişik ihtiyaçlar için kullanılacak makineler ile insan ve haberleşme kaynaklı gürültülerin de projelendirme süreçlerinde düşünülmesi gerekmektedir. Şekil 1'de kapalı mekânlarda karşılaşılan başlıca gürültü kaynakları görülmektedir.

Fazlaca zaman geçirdiğimiz bir diğer kapalı mekân ise taşıtlardır. Araç üretici ve tasarımcıları dış görünüş, hızlanma, güvenlik, düşük maliyet ile seyahat ettirebilme gibi önemli özellikler yanında, artık ses yalıtımı açısından da üstün performansla sahip üretimler yapmayı amaçlamaktadırlar. Tüketicilerin araç dışında ki sesi duymak istememeleri son derece haklı bir konudur. Zira uzun süreli seyahatlerde yolcunun konforunu bozarken, sürücünün ise dikkatinin dağılmasına, daha çabuk yorulmasına ve kaza riskinin artmasına sebep olabilmektedir.

Çevresel gürültü yönetimi yönetmeliğinin 20. Maddesine göre yerleşim yerlerinde bulunan yapılarda iç mekân gürültü düzeyinin Leq dBA cinsinden maksimum sınır değerleri; tiyatro, sinema, konferans salonları ile turizm yerleşme alanlarında 30; sağlık ve eğitim tesisi alanlarında 35; arkeolojik ve sit alanlarında 55 ve ticari yapıların olduğu yerlerde ise 60 olarak belirlenmiştir (Gürültü yönetmeliği, 2005). Bu değerleri aşan gürültülerin mutlaka izolasyonunun yapılması gerekmektedir.



Şekil 1. Kapalı alanlarda karşılaşılan başlıca gürültü kaynakları (Erol, 2019).

2. Ses Yutumu ve Ses Yalıtımı

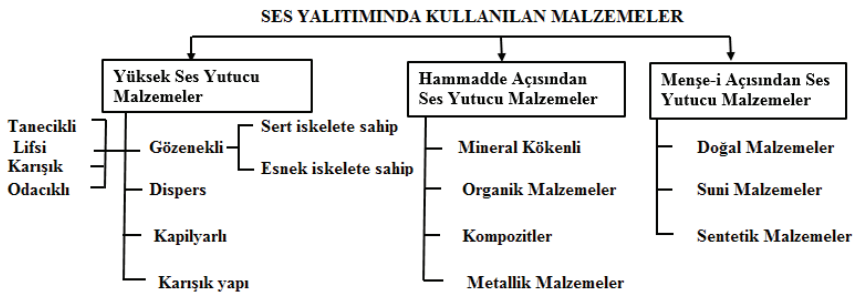
Ses yutumu ve ses yalıtımı kavramları çokça karıştırılan önemli iki kavramdır. Ses yalıtımı logaritmik bir kavram olup ses geçiş kaybı ile ilgilidir. Yani gürültünün olduğu bir ortamdan başka bir ortama sesin geçişinin azaltılmasını ifade etmektedir. Ses yutumu ise lineer bir kavramdır ve çınlama süresi ve yankı ile ilişkilidir (Bonus Wooler, 2014). Yani boş bir kapalı mekânın yankı-çınlama süresinin eşyalarla dolu bir mekâna göre farkı, ses yutma özelliği olan gözenekli malzemelerden oluşan eşyalardan kaynaklanmaktadır.

Gözenekli malzemeler, ses yutum için, yansıtıcı ve özellikle masif malzemeler ise ses yalıtımı amacıyla kullanılması durumunda çok iyi sonuçlar verebilirler (Kocatepe, Erol & Paşayev, 2018). Genel olarak havayı geçiren bir malzemenin sesi de geçirebileceğini söylemek doğru olacaktır. Öte yandan ses yutumu yüksek olan bir malzemenin aynı düzeyde sesi yalıtması da mümkün değildir. Bu sebeple yutumu yüksek olan bir malzeme düşük yoğunluklu olup yüksek hava geçirimine sahiptir (Erol, Kocatepe & Paşayev, 2018). Sandviç yapıda bir materyalin merkez katmanına yutum özelliği yüksek bir malzeme kullanılması durumunda yalıtım kabiliyeti önemli oranda artacaktır. Gözenekli ve kalın bir malzemenin ses yutumu genellikle yüksektir. Ancak gözenekli malzeme kalın bile olsa hava geçirimli olduğundan ses geçiş kaybı düşük olacaktır (Paşayev & Erol, 2018).

3. Ses Yalıtımında Kullanılan Malzemelerin Sınıflandırılması

Genel olarak her malzemenin az ya da çok ses yutma veya yansıtma özelliği bulunmaktadır. Dolayısı ile ses yalıtımında kullanılan malzemelerin hem yutma hem de yansıtma kabiliyeti vardır. Malzemenin hangi özelliği daha fazla ise niteleme ona göre yapılmaktadır. Arenas ve Crocker'a göre, yapısal açıdan birbirine zıt olacak kadar farklı hava boşlukları olan ve katı maddelerin birleşimi şeklinde bir araya gelmesi ile üretilen malzemelerin ses yutum kabiliyetleri daha yüksek olacaktır (Arenas & Crocker, 2010). Yani zıt yapısal özelliklere sahip malzemelerden efektif yutucu malzeme elde etmek mümkün olacaktır. Bu materyaller gözenekli, dispers, ince kılcal çapa sahip ve karışık yapıda olabilirler. Ses yutum için en yaygın olarak kullanılan grubu gözenekli malzemeler oluşturmaktadırlar. Bu malzemelerde ki katı madde miktarı toplam hacmin çok az kısmını oluşturmakta ve toplam hacim içerisinde homojen olarak dağılmaktadır. Katı maddenin bu homojen dağılımı sebebiyle birbirine kanallar ile bağlanmış çok sayıda boşlukların oluşması söz konusu olmuştur (Osipov, Bobylev & Borisov, 2004).

Gözenekli ses yutum malzemelerini sert ve esnek yapıya sahip olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Sert yapıya sahip olan malzemelerde; ses dalgaları ortam yüzeyine basınç uygularken gözenek içindeki boşluklarda bulunan havayı da harekete geçirerek birbirine ve kanal duvarlarına çarpması suretiyle oluşan sürtünme sebebiyle sönümlenirler. Esnek yapıda ki gözeneklilerde ise bu durumlara ilave olarak yapının elastikliği sebebiyle de ekstra enerjinin emilmesi mümkün olmaktadır. Dolayısı ile üretim şartları ve tekniği değiştirilerek istenilen performansta yutucu malzeme üretmek mümkündür. Ses yalıtımında kullanılan malzemeler Şekil 2'de gösterilmiştir.



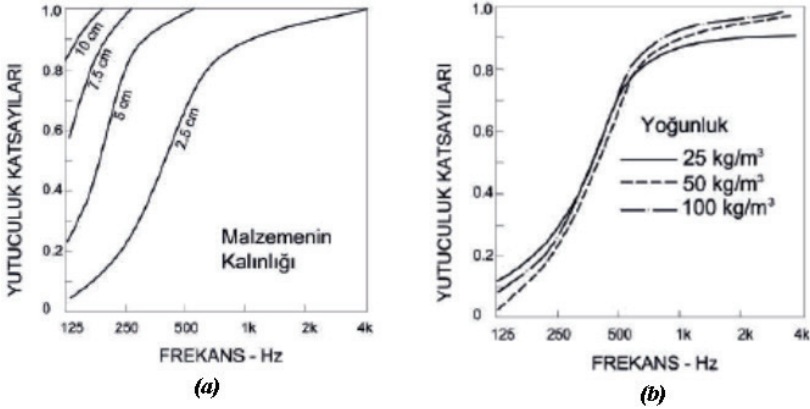
Şekil 2. Ses yalıtımında kullanılan malzemeler (Erol, 2019).

Buna göre gözenekli yutucular; tanecikli (perlit, vermikülit, sermet), lifsi (dokusuz yüzeyler, kumaş, cam ve taş yünü), karışık (pomzatik perlit) ve odacıklı (gazbeton, poliüretan köpüğü) olarak ayrılmaktadırlar. Hammadde açısından yutucular mineral kökenli (mineral yünler ve matlar, alçıpan), organik (hayvan yünü, ahşap yünü, organik köpükler), kompozit ve metalik olmak üzere dört gruba ayrılmaktadırlar. Menşei açısından ise doğal, suni ve sentetik olarak ayrılırlar.

4. Malzemelerin Akustik Performansını Etkileyen Parametreler

Malzemelerin akustik performansını etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Malzemelerin *kalınlığı, içindeki hava boşluk miktarı, hacimsel yoğunluğu, gözenekliliği, hava akış direnci, lif yapısı, lif içeriği ve yönlenmesi ile bağlayıcı materyal gibi parametrelere dayalı olarak değişebilmektedir.*

Malzemenin kalınlığı ve yoğunluğun ses yutumu etkisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Buna göre, malzeme kalınlaştıkça ses yutumu artmaktadır (Küçük & Korkmaz, 2012). Ayrıca çok düşük yoğunlukta yutum düşük olacağı gibi yoğunluk arttıkça malzemeden ses geçemeyeceği için yansıma oranı artacaktır. Malzeme yoğunluğunun akustik özelliklere etkisini gösteren pek çok araştırma bulunmaktadır (Koizumi, Tsujiuchi & Adachi, 2002).



Şekil 3. Gözenekli malzeme kalınlığının (a) ve malzeme yoğunluğunun (b) ses yutum katsayısına etkisi [6].

Malzeme yüzeyinde ki gözenek tipi, büyüklüğü ve sayısı ses yutumu açısından çok önemlidir. Gözenekli ses yutucu malzemelerin yapısında %90 oranında hava bulunmaktadır. Ses enerjisi bu hava içerisine girer

ve orada yutulur. Ancak düşük frekanslarda malzeme içine giremeyen ses dalgaları gözeneklerin sert duvarlarından yansımaya uğrayabilmektedir. Hava akış direnci ve gözenekliliğin akustik performans üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır (Seddeq, 2009; Zent & Long, 2007).

Lifin inceliği, geometrisi, enine kesiti ve içeriği akustik kabiliyeti etkilemektedir. İnce ve farklı enine kesitte ki liflerden üretilen malzemelerin birim ağırlığında daha fazla lif olduğundan ve yüzey alanı arttığından ses yutumu artmaktadır (Tascan & Vaughn, 2008). İnce liflerin kullanıldığı yapılarda yoğunluğun arttırılması ile paralel olarak lifler birbirine dolanacağından ses geçişi engellenecektir [Shahani, Soltani & Zarrebini, 2013; Lee & Joo, 2004; Tascan, Vaughn, Stevens & Brown, 2011; Ballagh, 1996].

İçi boş liflerin kullanıldığı materyallerde ki ses yutumunun yüksek olduğu ifade edilebilir. Polyester ve içi boş polyester lifleri karışımından (Huang, Lin, Lou & Tsai, 2013; Abdelfattah, Ghalia & Eman, 2011), estabragh lifleri ile polipropilen liflerin kombinasyonundan (Hasani, Zarrebini & Hassanzadeh, 2014), kapok lifinin doğal boşluklu içyapısı kullanılarak (Liu, Yan & Zhang, 2015) ve atık bir materyal olan tavuk tüyü liflerinin boşluklu içyapısından istifade edilerek üretilen malzemelerin akustik performansı çok yüksek çıkmıştır (Erol, Kocatepe & Paşayev, 2018; Paşayev & Erol, 2018).

Ses yutum kabiliyetini etkileyen diğer bir önemli faktör ise bağlayıcı maddedir. Bağlayıcı maddenin belli bir sınır değere kadar artışıının ses yutumunu artırdığı ancak yapının sert ve kırılğan hale gelmesi durumunda ses yutumunun azalıp yansıtma artacaktır (Demiryürek & Aydemir, 2017). Ayrıca kullanılan bağlayıcı türüne dayalı olarak malzeme farklılıklar olabilmektedir. Suda çözünen bağlayıcıların kullanılması ile ses yutumu artmaktadır (Stanciu, Curtu, Cosereanu, Lica & Nastac, 2012).

5. Akustikte Kullanılan Ses Yalıtım Esaslı Malzeme Örnekleri

5.1. Lifsi Yapıya Sahip Gözenekli Malzemeler

Sentetik, mineral ve metalik birçok malzeme ses yalıtımı için kullanılmaktadır. Fakat hafifliği, kolay üretilebilmesi, gözenekli yapısı ve düşük maliyetli olması sebebiyle lifli malzemeler daha fazla talep görmektedir. Dokuma ve örme kumaşlar, halılar ile dokusuz yüzeyler bu alanda yaygın kullanılmaktadırlar. Duvar kaplamalarında kullanılan püsküllü halılar (Shoshani & Wilding, 1991) ve döşemelik kumaşlar (Zafirova & Uzunovich, 1998) ile otomotiv tavan, bagaj, kapı panelleri ile

koltuk yüzeylerinde kullanılan örme kumaşların kapalı alanda ki sesi önemli derecede yuttuğu bilinmektedir (Dias, Monaragala, Needham & Lay, 2007). Bu kumaşların kalınlığına, sıklığına, lif içeriğine ve kumaş konstrüksiyonuna bağlı olarak yalıtım kabiliyetleri değişebilmektedir (Soltani & Zerrebini, 2012).

Ayrıca mikrofiber kumaşların ses yutumunun aynı kalınlık ve ağırlıkta ki dokuma ve örme kumaşlara göre daha yüksek olduğu ifade edilmektedir. Çalışma kapsamında en yaygın olarak kullanılan cam yünü, taş yünü, ahşap yünü ve seramik yünü gibi dokusuz yüzeylerin ses yutumu (Tablo 1) ve ses yalıtım (Tablo 2) özelliklerini belirlemek amacıyla bazı ölçümler yapılmış ve elde edilen verilerden grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4 ve Şekil 5). Öte yandan malzeme biliminde ki gelişmelere ve değişen ihtiyaçlara paralel olarak bazı atık materyallerden geliştirilmiş keçe, tavuk tüyünün sap (rachis) kısmından bağlayıcı polimerler kullanmak suretiyle üretilen kompozitler gibi inovatif tekstil esaslı ses yalıtım malzemeleri de incelenmiş ve performans düzeyleri ortaya konulmuştur. Özelliklerini araştırıp karşılaştırdığımız ses yalıtım materyallerine ait bazı görseller ise Şekil 6'da verilmiştir.

Taş Yünü; Mineral kökenli olup, %97 oranında doğal elyaf içeren, endüstriyel alanlarda 760°C'ye kadar olan sıcaklıklarda yangına karşı dayanıklı, su itici özelliği olan ısı ve ses yalıtım malzemesidir. Ortamda ki negatif unsurlara karşı dirençli olması sebebiyle zamanla küflenmeyen, paslanmaya sebep olmayan ve yüksek frekanslarda iyi ses yutumu kabiliyeti gösteren bir malzemedir (Aterstore, 1996).

Cam Yünü; yerli olarak temin edilen, inorganik silis kumunun çeşitli işlemler sonunda üretilen lifli dokusuz yüzey bir malzemedir. Kullanıma bağlı olarak şilte, levha ve boru şeklinde üretilen ısı yalıtımı ve akustik dizaynlarda kullanılan bir malzemedir (İzocam, 1965). Saniye boruları, kalorifer tesisatı ve merkezi ısıtma tesisatı, güneş enerjisi tesisatı borularının terlemeye ve donmaya karşı korunmasında kullanılmaktadır. Ortamın nem ve rutubet gibi zararlı etkilerine karşı dirençli bir malzemedir.

Ahşap Yünü; Ahşap lifi ve magnezit bağlayıcının çeşitli işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen dokusuz yüzey malzemedir. Ses yalıtımı ve bina dış cephe mantolama işlerinde kullanılabilir. Sinema ve tiyatro salonları başta olmak üzere toplu kapalı yaşam alanlarında duvar ve tavan kaplaması yada bölme duvar maksatlı kullanılabilirler (Teknoakustik, 2016).

Tavuk tüyü; Değişik kaynaklara göre tavuk eti üretiminden dünyada yıllık ortalama 6 ila 15 milyon ton civarında tüy açığa çıkmaktadır. Erol, yaptığı çalışmalarda sadece ülkemizde yıllık 100bin tonun üzerinde tüyün açığa çıktığını ifade etmektedir. Bu tüyün ortalama %8-10'u verimli kullanılırken geri kalan kısmı atık olarak ya gömülmekte yada yakılmaktadır (Erol, 2019). Tüyün merkezinde bulunan sap (rachis) kısmından sakal denilen liflerin ayıklanması ile tavuk tüyü lifi elde edilebilmektedir. Gözenekli içyapısı sebebiyle ses yutumunda önemli sonuçlar verdiği görülmektedir (Şekil 4 ve Şekil 5).

Tablo 1. Bazı geleneksel ses yutum materyallerinin frekanslara göre ses yutuculuk katsayıları

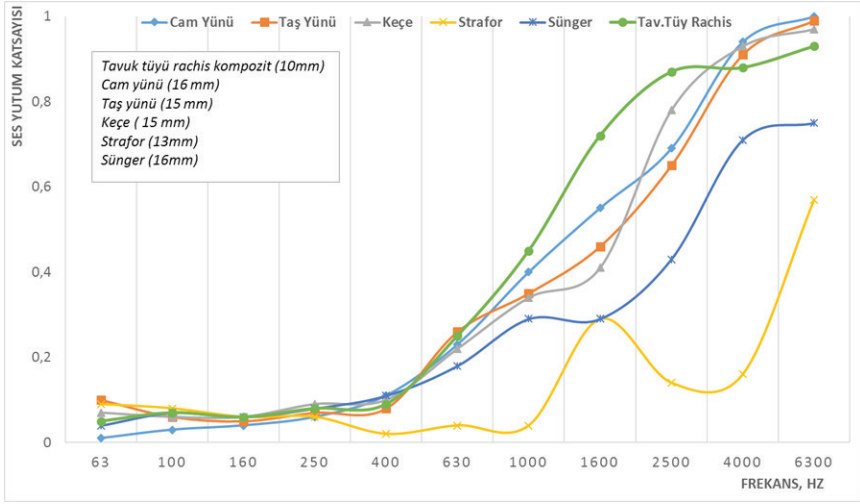
Malzemeler	Frekanslara göre ses yutum katsayı değerleri										
	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
Cam Yünü	0,01	0,03	0,04	0,06	0,11	0,23	0,4	0,55	0,69	0,94	1
Taş Yünü	0,1	0,06	0,05	0,07	0,08	0,26	0,35	0,46	0,65	0,91	0,99
Keçe	0,07	0,06	0,06	0,09	0,1	0,22	0,34	0,41	0,78	0,93	0,97
Strafor	0,09	0,08	0,06	0,06	0,02	0,04	0,04	0,29	0,14	0,16	0,57
Sünger	0,04	0,07	0,06	0,08	0,11	0,18	0,29	0,29	0,43	0,71	0,75
Tav.Tüy Rachis	0,05	0,07	0,06	0,08	0,09	0,25	0,45	0,72	0,87	0,88	0,93

Tablo 2. Bazı geleneksel ses yutum materyallerinin frekanslara göre ses iletim kaybı katsayı değerleri

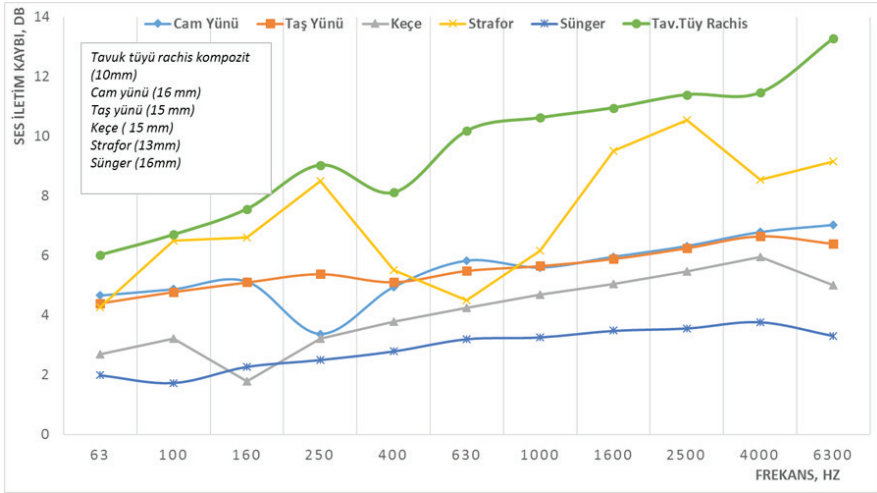
Malzemeler	Frekanslara göre ses iletim kaybı katsayı değerleri										
	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
Cam Yünü	4,66	4,87	5,13	3,37	4,94	5,83	5,6	5,96	6,32	6,79	7,03
Taş Yünü	4,4	4,78	5,1	5,38	5,11	5,49	5,65	5,89	6,25	6,65	6,4
Keçe	2,69	3,22	1,78	3,21	3,79	4,25	4,68	5,05	5,47	5,96	5
Strafor	4,27	6,5	6,6	8,5	5,5	4,5	6,16	9,5	10,54	8,55	9,15
Sünger	1,99	1,73	2,27	2,5	2,79	3,2	3,26	3,48	3,56	3,77	3,31
Tav.Tüy Rachis	6,02	6,7	7,56	9,03	8,11	10,18	10,62	10,95	11,39	11,46	13,28

Gözenekli ses yutum materyallerinin ses yutum katsayı değerleri incelendiğinde ortaya çıkan genel kanaate göre; düşük frekanslarda ses yutum değerleri oldukça düşük iken orta ve yüksek frekanslarda iyi ses yutum kabiliyetine sahiptirler. Düşük frekanslarda ses yutum katsayısı 0,3'ün altında iken, orta frekanslarda 0,7 ve yüksek frekanslarda ise 0,99-1 değerlerine çıkmaktadır.

Gözenekli materyallerin farklı varyasyonlarda ve farklı malzemeler ile kombinasyonları yapılarak daha geniş bir frekans aralığında yutum kabiliyeti geliştirilebilecektir. Şekil 4'te tavuk tüyü sap bölgesi kullanılarak elde edilen kompozitin diğer geleneksel yutucu materyallere göre daha ince olmasına rağmen orta frekanslarda çok daha iyi ses yutum katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Aynı grafikte cam yünü, taş yünü ve keçenin yüksek frekanslarda daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 4. Bazı geleneksel ses yalıtım malzemelerinin frekansa bağlı olarak ses yutum katsayısı eğrileri



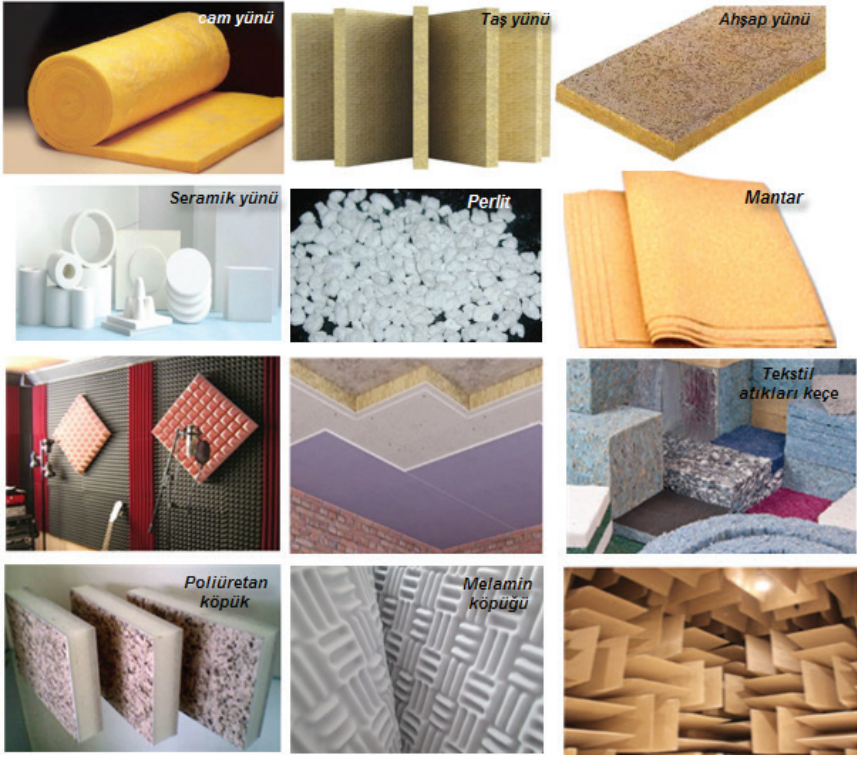
Şekil 5. Bazı geleneksel ses yalıtım malzemelerinin frekansa bağlı olarak ses iletim kaybı eğrileri

5.2. Odacıklı ve Tanecikli Yapıya Sahip Malzemeler

Yukarıda ifade edilen lifsi ses yutum malzemelerinin yanında bitkisel kökenli, metalik ya da kuş tüyleri gibi hayvansal esaslı malzemelerden tek ya da çift gözenekli olarak üretilen malzemelerde vardır ki bunlar tanecikli yutucu malzemeler olarak isimlendirilmektedirler. Bu tarz malzemelerin yapısında boşluk fazla olduğundan yoğunlukları düşük ve hafif iken ses yutum kabiliyetleri son derece yüksektirler. Otomotiv sektörü ve prefabrik yaşam alanları başta olmak üzere pek çok yerde tercih edilmektedirler.

Mantar; Bitkisel kökenli, tanecikli içyapısı ile ses ve darbe izolasyon özelliği yüksek olan bir malzemedir Bina yapı elemanları arasına, mantolamada, çatı yalıtımında, parke gibi zemin kaplamalarında kullanılırlar. Özellikle kauçuk karışımı olanlarının jeneratör, hidrofor, kompresör gibi titreşime bağlı gürültü potansiyeli yüksek makinelerin yalıtımı için efektif sonuçlar doğurmaktadır (İlhan sanater, 2016).

Perlit; Isıyla genleşme özelliği olan, geliştirildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen, gözenekli, hafif, yanmazlık özelliği yüksek ve ses yalıtımında üstün özellikleri olan volkanik karakterli bir maddedir (Bilgiustam, 2016). Özellikle inşaat ve yapı sektöründe ısı ve ses yalıtımında yaygın kullanılmaktadır.



Şekil 6. Akustikte kullanılan lifsi ve tanecikli yapıdaki yutucu malzemeler

Melamin Köpüğü; Melamin reçineden üretilen, düşük yoğunlukta 8-11 kg/m³, sıcaklığa dayanıklı, sık gözenek yapılı ses yalıtım ve akustik düzenlemelerde kullanılması ile birlikte ısı yalıtımına da fayda sağlayan sünger levhalardır (Akustikmimarlık, 2016). Özellikle hastane, okul, tiyatro, sinema ve toplantı salonu gibi alanlarda iyi ses bariyeri olarak kullanılırlar. Piramit, yumurta, labirent ve düz olarak gri ve beyaz renkte üretilmektedirler

Poliüretan Köpüğü; Kumaş fireleri ve kesimhane atıklarından üretilen keçe yüzeyine veya içerisine poliüretan (PU) köpük ile işlem yapılması durumunda içerde odacıklı ve boşluklu bir ortam oluşmakta ve ses yutumu önemli katkı sağlayan düşük maliyetli bir malzeme elde edilmiştir (Lin, Huang, Lin C, Su & Lou, 2011).

5.3. İnovatif ses yalıtım materyalleri

Malzeme teknolojisinde ki gelişmelere paralel olarak sentetik esaslı ses yalıtım malzemeleri (hafif ve seri üretime müsait) yaygın şekilde

üretilip kullanılmaktadır. Ancak yüksek maliyetli ve çevresel kirliliklere sebep olması önemli dezavantajlarından. Bu sebeple bilim insanları doğaya atılan bitkisel ve hayvansal menşeli atıkları değerlendirerek katma değeri yüksek, düşük maliyetli ve çevreci ürünler üretmek amacıyla önemli çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalarda bitkisel ve hayvansal atıklar polimer maddeler ile bir veya birden çok varyasyonda karıştırılarak üretilmektedirler.

Örneğin, pirinç anızı, odun kıymıkları ve çeşitli bağlayıcılar kullanılarak ses yalıtım amaçlı kompozit levha (Yang, Kim, D & Kim, H., 2003), bambu elyaftan lif levha (Thilagavathi, Pradeep, Kannaiyan & Sasikala, 2010), çay yapraklarından dokusuz yüzey (Ersoy & Küçük, 2009), lif kabağı ve doğal çay yaprağı karışımından poliüretan köpük (Paşayev, Kocatepe, Maraş, Soylak & Erol, 2017), tavuk tüylerinin liflerinden dokusuz yüzey (Paşayev, Kocatepe & Maraş, 2018) ve rachisten kompozit levha üretmişlerdir. Paşayev ve Erol'un çalışmaları incelendiğinde tavuk tüyünden ürettikleri kompozit plaka ses yalıtımında tüm geleneksel ses yutucularından daha iyi bir performans sergilerken, ses yutumu açısından da %40 civarında daha ince bir yapıya sahip olmasına rağmen orta frekanslarda çok daha yüksek bir performans gösterdiği ifade edilmektedir (Paşayev & Erol, 2018).

SONUÇLAR

Kapalı alanlarda insan sağlığını bozacak düzeyde gürültüye sebep olan faktörlerin tespit edilip zararsız hale getirilmesi gerekmektedir. Gürültünün zararlı etkilerinden sırasıyla gürültü kaynağında, gürültünün yayıldığı ortamda ve alıcıda olmak üzere üç şekilde tedbir alınabilmektedir. Evrensel bir kural olarak riskin bertaraf edilmesi süreçlerinde toplu korunma tedbirleri kişisel korunma tedbirlerinden daima öncelikli gelmektedir. Dolayısı ile gürültünün kaynakta yada bulunduğu ortamda yalıtılması ve böylece kişiye ulaşması engellenmelidir.

Tekstil esaslı lifsi, tanecikli veya kompozit şeklinde üretilmiş malzemeler kullanılarak kapalı mekânlarda önemli düzeyde ses yalıtım sağlanırken ortama renk ve estetik açısından da önemli düzeyde değer katılmış olmaktadır. Tiyatro, sinema, konferans salonu gibi alanlarda kullanılan tekstil esaslı bu yutucular çınlama süresini azaltarak yankıyı önlemektedir. Sentetik esaslı yutucuların yüksek maliyetli ve çevreye zarar veriyor olması sebebiyle bitkisel ve hayvansal atıklardan üretilen düşük maliyetli ses yalıtım materyallerinin kullanımının yaygınlaşması ile çevreye ve ülke ekonomilerine önemli önemli katkılar sağlanmış olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdelfattah, A. M., Ghalia E. İ., Eman, R.M. (2011). Using nonwoven hollow fibers to improve cars interior acoustic properties. *Life Science Journal*, 8 (1): 344-351.
- Ahşap yünü, erişim: <http://www.yanmazsunger.tk/ahsap-yunu.html>), Erişim Tarihi: Ekim 2016.
- Akustik melamin köpük, erişim: <http://www.akustiksesizolasyonu.com/akustik-melamin-kopuk.html>, Erişim Tarihi: Ekim 2016.
- Arenas, J., P. Crocker, M., J. (2010). Recent trends in porous sound-absorbing materials. *Sound Vibration*, 44 (7): 12-18.
- Ballagh, K.O. (1996). Acoustical properties of wool. *Applied Acoustics*, 48 (2): 101-120.
- Bonus Wooler Ses Yalıtım Klavuzu, 2014. Erişim: http://www.bonusyalitim.com.tr/sites/1/upload/files/bonus_wooler_ses_yalitim_kilavuzu-758.pdf, Erişim Tarihi: Eylül 2016.
- Cam yünü, erişim: <http://www.izocam.com.tr/fl-camyunu.html>, Erişim Tarihi: Ekim 2016.
- Cowan, J. (2007). Building Acoustics, Eds: T.D. Rossing. *In: Springer Handbook of Acoustics*. pp. 403-441. New York. Springer.
- Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği, 2005 tarih ve 25862 sayılı resmi gazete. Erişim: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/07/20050701-7.htm>, Erişim Tarihi: Haziran 2017.
- Demiryürek, O., Aydemir, H. (2017). Sound Absorbing Properties of Roller Blind Curtain Fabrics. *Industrial Textiles*, 47(1), pp:3–19.
- Dias, T., Monaragala, R., Needham, P., Lay, E. (2007). Analysis of sound absorption of tuck spacer fabrics to reduce automotive noise. *Measurement Science and Technology*, 18: 2657–2666.
- Ekici, B., Kentli, A., Küçük, H. (2012). Improving sound absorption property of polyurethane foams by adding tea-leaf fibers. *Archives of Acoustic*, 37 (4): 515-520.
- Erol M. (2019). *Tüy materyalinden ses yalıtım amaçlı çok katmanlı yapıların geliştirilmesi*. Doktora Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Ersoy, S., Küçük, H. (2009). Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties. *Applied Acoustics*, 70: 215–220.
- Hasani, H., Zarrebini, M., Hassanzadeh, S. (2014). Evaluating the acoustic properties of estabragh (milkweed)/hollow-polyester nonwovens for

- automotive applications. *Textile Science & Engineering*, 4 (3): 157. DOI:10.4172/2165-8064.1000157.
- Huang, C.H., Lin, J.H., Lou, C.W., Tsai, Y.T. (2013). The efficacy of coconut fibers on the sound-absorbing and thermal-insulating nonwoven composite board. *Fibers and Polymers*, 14 (8): 1378-1385.
- Koizumi, T., Tsujiuchi, N., Adachi. (2002). The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. *High Performance Structures and Composites*, 59: 157-166.
- Küçük, M., Korkmaz, Y. (2012). The effect of physical parameters on sound absorption properties of natural fiber mixed nonwoven composites. *Textile Research Journal*, 82 (20): 2043-2053.
- Lee, Y. E., Joo, C.W. (2004). Sound absorption properties of thermally bonded nonwovens based on composing fibers and production parameters, *Journal of Applied Polymer Science*, 92: 2295–2302.
- Lin, J.H., Lin, C.C., Huang, C.C., Lin, C.W., Su, K.H., Lou, C.W. (2011). Manufacturing technique of sound-absorbent PET/ TPU composites. *Advanced Materials Research*, 239 (242): 1968-1971.
- Liu, X., Yan, X., Zhang, H. (2015). Sound absorption model of kapok-based fiber nonwoven fabrics. *Textile Research Journal*, 85 (9): 969–979.
- Erol, M, Kocatepe, S, Paşayev, N. (2018). The Effect of Thickness and Density to Acoustic Parameters for Fabric Reinforced Composite Structures Produced From Rachis Material. 1. *International Technological Sciences And Design Symposium*. 27-29 June 2018 – p.1309-1318. Giresun/Turkey
- Paşayev, N, Erol, M. (2018). Acoustical properties of sandwich structures developed from chicken feather rachis material. Chapter 11. Innovative approaches in engineering. P.117-130
- Osipov L. G., Bobylev V.N., Borisov L.A. et al. 2004. Sound insulation and sound absorption. AST Astrel Publ., Moscow. p. 450.
- OWAcoustic, Building Acoustic, (Web page: http://www.owa.de/docs/pdf/backup/12_900_TR_acoustics.pdf, (Date accessed: January 2017).
- Paşayev, N., Erol, M. (2018). Ses yalıtım Amaçlı Tekstil Esaslı Sandviç Yapıların Geliştirilmesi, 3. *International Fiber and Polymer Symposium*, p.101-103). BURSA
- Paşayev, N., Kocatepe, S. and Maraş, N. (2018). Investigation of sound absorption properties of nonwoven webs produced from chicken feather fibers. *Industrial Textiles*. DOI: 10.1177/1528083718766843
- Paşayev, N., Kocatepe, S., Maraş, N., Soylak, M., Erol, M. (2017). Investigation some haracteristics of chicken feather’s rachis. *17th AUTEX World Textile Conference 2017*. 21-29 may 2017. Corfu, Greece

- Perlit, erişim: <http://www.dogusanas.com.tr/perlit.pdf>, (<https://www.bilgiustam.com/perlit-nedir-yapi-malzemesi-olarak-islevi-nedir/>), (Erişim Tarihi: Kasım 2018).
- Ravaber taşıyıcı sanayi levhası, erişim: <https://www.aterstore.com.tr/urun/izolasyon-malzemeleri/isi-ve-ses-yalitimi/tas-yunu-isi-ve-ses-yalitimi/ravaber-tasyunu-sanayi-plakasi/>, (Erişim Tarihi: Ekim 2018).
- Rulo ve levha mantar, erişim: <http://www.mantarmerkezi.com/pages/index.php>, Erişim Tarihi: Ekim 2019.
- Seddeq, H.S. (2009). Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (4): 4610-4617.
- Shahani, F., Soltani, P., Zarrebini, M. (2013). Sound absorption characteristics of needled nonwoven fabrics, *The International Istanbul Textile Congress, May 30th to June 1th 2013*, pp. 1-5.İstanbul.
- Shoshani, Y.Z., Wilding, M.A. (1991). Effect of pile parameters on the noise absorption capacity of tufted carpet. *Textile Research Journal*, 61 (12): 736-742.
- Soltani, P., Zerrebini, M. (2012). The analysis of acoustical characteristics and sound absorption coefficient of woven fabrics. *Textile Research Journal*, 82 (9): 875–882.
- Stanciu, M. D., Curtu, I., Cosereanu C., Lica, D., Nastac, S. (2012). Research regarding acoustical properties of recycled composites, *8th International Daaam Baltic Conference Industrial Engineering*, April 19-21, 2012, Tallinn, Estonia.
- Kocatepe, S., Erol, M., Paşayev, N. (2018). Statistical Analysis of Effects of Production Parameters of Sound Insulation Materials Produced From Chicken Feather Fibers on Acoustic Properties. *1. International Technological Sciences And Design Symposium. 27-29 June 2018 - p.1319-1333*. Giresun/Turkey
- Tascan, M., Vaughn , E.A., Stevens, K.A., Brown, P.J. (2011). Effects of total surface area and fabric density on the acoustical behavior of traditional thermal-bonded highloft nonwoven fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 102 (9): 746-751.
- Tascan, M., Vaughn, E.A. (2008). Effects of total surface area and fabric density on the acoustical behavior of needlepunched nonwoven fabrics. *Textile Research Journal*, 78 (4): 289-296
- Thilagavathi, G., Pradeep, E., Kannaian, T. and Sasikala, L. (2010). Development of natural fiber nonwovens for application as car interiors for noise control. *Journal of Industrial Textiles*, 39: 267-278.

- Turan, O. (2005). Mekanik Tesisatta Gürültü ve Titreşim Yalıtımı. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*. Sayı139. (<http://file.ttmd.org.tr/makale/39-2.PDF>), (Erişim tarihi: 9 Eylül 2018).
- Yang, H.S., Kim, D.J., Kim, H.J. (2003). Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology*, 86 (2), 117-121.
- Zafirova, K., Uzunovich R. (1998). Some investigations of sound absorption properties of upholstery textile materials, *Tekstilna Industrija*, 46 (1-2): 19-22.
- Zent, A., Long, J.T. (2007). Automotive sound absorbing material survey results. *SAE Technical Paper*, 2007-01-2186, 2007, <https://doi.org/10.4271/2007-01-2186>.