

DOĞA BİLİMLERİ VE MATEMATİKTE YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR



Editör
Doç. Dr. Ali ÖZDEMİR

DUJAR

**DOĞA BİLİMLERİ VE
MATEMATİKTE YENİLİKÇİ
ÇALIŞMALAR**

**Editör
Doç. Dr. Ali ÖZDEMİR**



Doğa Bilimleri ve Matematikte Yenilikçi alışmalar
Editörler: Doç. Dr. Ali ÖZDEMİR

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Yayın Tarihi: Ağustos 2023
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-6507-38-8

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1.....5

Yaprak Eksplantının Doku Kültürü alışmalarında Kullanımı:
2023 Yılı alışmaları
Muhammet DOĞAN

Bölüm 2.....23

Melissa officinalis L.'in *In Vitro* oklu Sürgün
Rejenerasyonu Üzerine Genel Bir İnceleme
Muhammet DOĞAN

Bölüm 3.....37

Nanoteknolojinin Endüstriyel Uygulamalardaki Yeri ve Önemi
Yalçın ALTUNKAYNAK

Bölüm 4.....61

Akıllı Telefon Yardımıyla Bazı İçeceklerde Gıda Boyalarının
Tayini için Dijital Görüntü Analizi
Tufan GÜRAY, Zeynep GÜRAY, Kevser Betül TETİK, Merve ÖZENLİ

Bölüm 5.....77

Güç Elektroniğinde EMI
Samet YALÇIN

Bölüm 6.....97

Güç Elektroniğinde EMI Kaynakları ve Bastırma Yöntemleri
Samet YALÇIN

Bölüm 1

Yaprak Eksplantınının Doku Kültürü alışmalarında Kullanımı: 2023 Yılı alışmaları

Muhammet DOĐAN¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Karaman, Türkiye.
mtdogan1@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3138-5903

Özet

Bitki doku kültürü, bitki hücrelerinin, dokularının ve organlarının *in vitro* koşullarda steril büyümesini ve çoğalmasını içerir. Doku kültürü çalışmaları; genetik mühendisliği, bitki ıslahı, bahçecilik, tarım, farmakoloji ve çevre koruma (fitoremediasyon) gibi birçok alan için kullanılmaktadır. Hücresel totipotens ve hücresel plastisite, bitki doku kültürünün arkasındaki ana fizyolojik ilkedir. Kültür hücrelerinin bölünme ve farklılaşma kapasitesi için hücre plastisitesi önemlidir. Eksplant türü ve yaşı bitki rejenerasyon yeteneğini etkilediği gibi mikrobiyal kontaminasyon riski bakımından da önemlidir. Bununla beraber, farklı organların ve eksplantların rejenerasyon potansiyelinde önemli farklılıklar vardır. Bu farklılıklar hücre döngüsündeki farklılıklar, endojen büyüme düzenleyicilerin mevcudiyeti ve hücrelerin metabolik kapasitelerini içerir. En sık kullanılan doku eksplantları, sürgün ucu, boğum ve kök gibi meristematik bölgeleri içerir. Bu dokular yüksek hücre bölünmesi oranlarına sahiptir. Bunların yanında doku kültüründe meristematik olmayan eksplant türleri de kullanılmaktadır. Bunlardan en öne çıkanları yaprak ve boğumarası eksplantlarıdır. Bu derleme çalışmada 2023 yılı içerisinde yaprak eksplantları kullanılarak gerçekleştirilen bazı doku kültürü çalışmaları sunulmuştur. Tarama işlemleri Web of Science, Science Direct, Scopus ve Google Scholar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veriler incelendiğinde yaprak eksplantı kullanılarak önemli çalışmaların gerçekleştiğini görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: büyüme düzenleyici, *in vitro* çoğaltım, sürgün rejenerasyonu, yaprak eksplantı

GİRİŞ

Bitki doku kültürü, modern biyoteknolojide çok önemli bir rol oynamaktadır (Bednarek ve Orłowska, 2020). Bitki gelişim süreçleri (Christianson ve Warnick, 1988; Dogan, 2020; Galán-Ávila vd., 2020; Kose vd., 2021), gen işlevi veya transgenik bitkilerin üretimi (Yang ve Yang, 2020; Sarkar ve Jha, 2021) ve mikroçoğaltım (Shende vd., 2023; Ioannidis vd., 2023) ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Doku kültürü, sağlıklı bitki materyali için virüsleri ortadan kaldırarak, vejetatif olarak üretilen bitki mahsullerinin germplazmasının korunmasında, tehdit altındaki veya nesli tükenmekte olan bitki türlerinin kurtarılmasında ve ticari öneme sahip sekonder metabolitlerin üretiminde önemli işlevlere sahiptir (Bednarek ve Orłowska, 2020).

Bitki doku kültürü, bitkileri büyük ölçekte çoğaltmak için önemli bir araçtır. İnorganik besinler, vitaminler, karbonhidratlar ve çevresel faktörlerle güçlendirilmiş özel bir besiyerine *in vitro* koşullarda eklenir. Hücresel totipotens ve hücresel plastisite, bitki doku kültürünün arkasındaki ana fizyolojik ilkedir. Kültür hücrelerinin bölünme ve farklılaşma kapasitesi için hücre plastisite önemlidir (Singh, 2018). *Brassavola nodosa* (L.) Lindl (Xu vd., 2022), *Limnophila aromatica* (Lamk.) Merr. (Dogan, 2018), *Cymbidium aloifolium* (L.) Sw. (Kumar vd., 2022), *Bacopa monnieri* (L.) Wettst (Dogan, 2019) ve *Dendrobium anosmum* Lindl. (Nguyen vd., 2022) gibi birçok bitki türü bu özellikleri nedeniyle doku kültürü teknikleri ile üretilmiştir.

Bitki büyüme düzenleyicisinin kullanımı, temel besiyerinin bileşimi ve eksplant türü bitki rejenerasyon yeteneğini etkiler. Tüm bitki hücreleri, totipotent özelliğe sahip olsa da, bu kapasitenin ifade kolaylığı bitki türlerine ve çeşitlerine, hatta aynı bitkinin farklı hücrelerine göre değişiklik gösterebilir (Long vd., 2022). Bu nedenle sürgün ucu (Solangi vd., 2023; Kumari vd., 2023), boğum (Asmono vd., 2023; Tawfik vd., 2023), boğum arası (Sarkar ve Alam, 2022), kök (Basiri vd., 2022; Tang vd., 2022) ve yaprak (Ku vd., 2023; Aswathi ve Thomas, 2023; Nagananda ve Satishchandra, 2023) gibi birçok eksplant türü *in vitro* üretim çalışmalarında kullanılmıştır. Bu derleme çalışma 2023 yılında yaprak eksplantı ile gerçekleştirilen bazı çalışmaları sunmaktadır.

GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan veri kaynakları; Web of Science, Science Direct, Scopus ve Google Scholar kullanılarak taranmıştır. 2023 yılını kapsayan bazı çalışmalar değerlendirilmiştir. Anahtar arama kelimesi olarak “yaprak eksplantı” anlamına gelen İngilizce “leaf explant” kelimesi kullanılmıştır. Yaprak eksplantı

ile gerçekleştirilen 2023 yılı doku kültürü çalışmalarından bazıları Tablo 1’de sunulmuştur.

BULGULAR

2023 yılını kapsayan yaprak eksplantı temelli bazı doku kültürü çalışmaları aşağıdaki Tablo 1’de bir düzen içerisinde sunulmuştur.

Tablo 1. Yaprak eksplantı ile ilgili yürütülen 2023 yılı bazı doku kültürü çalışmaları

Bitki	Eksplant	Kültür ortamı / Büyüme düzenleyicileri	Amaç/Hedef	Referans
<i>Daphne genkwa</i> Sieb. et Zucc.	Yaprak	0-5 mg/L 2,4-diklorofenoksiasetik asit (2,4-D) ile takviye edilmiş Murashige ve Skoog (MS) besin ortamı	Yaprak eksplant kültürlerinden somatik embriyogenez yoluyla verimli bitki rejenerasyon sisteminin geliştirilmesi	Ku vd. (2023)
<i>Centratherum punctatum</i> Cass.	Yaprak	MS besin ortamında farklı konsantrasyonlarda Thidiazuron (TDZ), ZN veya 6-benzil amino purin (BAP) (0.1–2.0 mg/L) tek başına veya naftalin asetik asit (NAA) (0.1–0.7 mg/L) ile kombinasyon halinde kullanılmıştır. Kallus indüksiyonu için 2,4-diklorofenoksiasetik asit (2,4-D) ve NAA (0,2–2,0 mg/L) kullanılmıştır.	Yaprak eksplantlarından doğrudan ve dolaylı sürgün rejenerasyonunun sağlanması	Aswathi ve Thomas (2023)
<i>Coleus forskohlii</i> (Wild.) Briq.	Yaprak	Farklı konsantrasyonunda meta-Topolin ve Indol-3 asetik asit (IAA) ile güçlendirilmiş MS besin ortamı	Yaprak eksplantlarından Meta-Topolin ile doğrudan sürgün organogenez ve rejenerasyonunun sağlanması	Nagananda ve Satishchandra (2023)
<i>Bergenia ligulata</i> (Hook. f. & Thomson) Engl.	Yaprak	MS besin ortamına farklı konsantrasyonlarda BAP, NAA ve	Yaprak eksplantı kullanılarak verimli ve hızlı bir mikroçoğaltma	Rani vd. (2023)

		indol-3-asetik asit (IAA) eklenmiştir.	protokolü geliştirilmesi	
<i>Hypericum perforatum</i> var. Topaz	Yaprak	Katı ve sıvı ortamda ve üç farklı oksinin İndol-3-butirik asit (IBA), IAA ve NAA kullanılmıştır.	Ortam kıvamının (katı ve sıvı) ve üç farklı oksinin IBA, IAA ve NAA'in yaprak eksplantlarından köklerin uyarılması	Shafaei vd. (2023)
<i>Pogostemon cablin</i> Benth	Yaprak	Aşağıdaki ortamlar uygulanmıştır. P1 = MS; P2 = BAP 0.75 mg/L, P3 = BAP 1.0 mg/L, P4 = TDZ 0.75 mg/L, P5 = TDZ 1.0 mg/L, P6 = NAA 0.5 mg/L, P7 = NAA 1.0 mg/L, P8 = BAP 0.75 mg/L + NAA 0.5 mg/L, P9 = BAP 0.75 mg/L + NAA 1.0 mg/L, P10 = BAP 1.0 mg/L + NAA 0.5 mg/L, P11 = BAP 1.0 mg/L + NAA 1.0 mg/L, P12 = TDZ 0.75 mg/L + NAA 0.5 mg/L, P13 = TDZ 0.75 mg/L + NAA 1.0 mg/L, P14 = TDZ 1.0 mg/L + NAA 0.5 mg/L, P15 = TDZ 1.0 mg/L + NAA 1.0 mg/L	Yaprak eksplantlarından <i>in vitro</i> dolaylı organogenezis	Puspita vd. (2023)
<i>Origanum dictamnus</i> L.	Yaprak, yaprak sapı, kök	İki bazal besleyici ortamın (MS, B5) üç sitokinin tipiyle, yani BA, Kinetin (KIN) ve 6-(γ,γ -Dimetilallilamino) purin (2iP)'nin eşzamanlı	<i>Origanum dictamnus</i> L'un koruma ve sürdürülebilir kullanım için farklı eksplant türlerinin <i>in vitro</i> rejenerasyon	Sarropoulou vd. (2023)

		uygulaması değerlendirilmiştir. Her bir sitokinin, MS ve B5 olmak üzere üç konsantrasyonda bazal kültür ortamına dahil edilmiş, yani BA: 0, 2.2 ve 4.4 uM, KIN: 0, 2.32 ve 4.65 uM ve 2-iP: 0, 2.46 ve 4.92 uM. İndirekt organonezis için üç farklı eksplant tipi kullanılmış: (1) yapraklar, (2) yaprak sapları ve (3) kökler, 5 uM IBA + 20 uM TDZ ve 5 uM 2,4-D + 0,5 uM KIN içeren MS besin ortamında kültüre alınmıştır.	potansiyelini araştırmak	
<i>Pogostemon cablin</i> Benth.	Yaprak	NAA (0.5, 1, 2 ve 3 mg/L) ve BA/KIN (0.5 mg/L) ilavesiyle dört hafta boyunca MS ortamında yetiştirildi	Yaprak eksplantlarının, oksin ve sitokininlerin bir kombinasyonunun neden olduğu <i>in vitro</i> kallus oluşumuna nasıl tepki verdiğini değerlendirmek	Normasari vd. (2023)
<i>Cyclamen persicum</i> Mill	Yumru ve yaprak parçaları	Farklı düzeylerde BA veya TDZ içeren ½ MS bazal ortamı kullanılmıştır.	Yumru ve yaprak parçalarından Yüksek verimli mikro yumru oluşumu, doğrudan sürgün rejenerasyonu ve kök indüksiyonu	Shahabi vd. (2023)
<i>Celsia coromandeliana</i>	Yaprak	KIN (4.64 - 18.58 µM)+ IAA (1.14-2.28 µM) KIN (4.46- 13.93 µM) + NAA (1.07-2.68 µM)	Yaprak eksplantlarından <i>in vitro</i> rejenerasyon, çiçeklenme ve tohum oluşumu	Bharti vd. (2023)

<i>Corydalis saxicola</i> Bunting	Yaprak ve petiol	BA (0.5-4 μ M); TDZ (0.5-4 μ M); 2.0 μ M BA + 0.5 μ M NAA; 2.0 μ M BA + 0.5 μ M IAA; 2.0 μ M BA + 0.5 μ M IBA	Yaprak ve petiol eksplantlarından sürgün organogenezini yoluyla etkin bir adventif sürgün çoğaltma ve rejenerasyon sistemi kurulması	Pang vd. (2023)
<i>Rubus fruticosus</i> L.	Yaprak	1 mg/L BAP + 0.5 mg/L IAA; 2 mg/L BAP + 0.5 mg/L IAA; 0.5 mg/L TDZ	MS bileşik besin ortamında sürgünlerin rejenerasyonunu etkileyen farklı dozlarda bitki büyüme düzenleyicileri kullanarak ve organogenezini indükleyerek <i>in vitro</i> çoğaltma için en iyi koşulları oluşturmak	Mullo vd. (2023)
<i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i>	Yaprak	MS besin ortamında IBA 0-0.4 mg/L) + BA 0-1.0 mg/L) + TDZ (0.25-1.0 mg/L)	Doku kültürü sisteminin optimizasyonu ve tetraploid <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> 'nın yaprak eksplantlarından yüksek verimli tomurcuk rejenerasyon sisteminin kurulması	Weicong vd. (2023)
<i>Corynandra chelidonii</i> var. <i>pallae</i>	Kotiledon yaprak	BAP (0.5-2.0 mg/L), KIN (0.5-2.0 mg/L), TDZ (0.5-2.0 mg/L), IAA (0.5-2.0 mg/L), NAA (0.2-1.5 mg/L), ve Coconut water (% 10)	10 ila 12 günlük <i>in vitro</i> yetiştirilen fidelerden kotiledon yaprak eksplantları kullanılarak verimli bir protokol geliştirilmesi	Sirangi vd. (2023)
<i>Momordica charantia</i> L.	Kotiledon, kotiledon, boğum, yaprak ve hipokotil	<i>Adenine sulphate</i> içeren uygulama 1) MS + 1.0 mg/L BAP + 0.2 mg/L NAA + 0 mg/L adenine sulphate 2) MS + 1.0 mg/L BAP + 0.2 mg/L NAA + 20 mg/L adenine NAA + 20	Adenin sülfat ve D-biotin'den etkilenen <i>Momordica charantia</i> L.'un bitki rejenerasyonunu incelemek	Kawshalya vd. (2023)

		<p>mg/L adenine sulphate 3) MS + 1.0 mg/L BAP + 0.2 mg/L NAA + 40 mg/L adenine NAA + 20 mg/L adenine sulphate 4) MS + 1.0 mg/L BAP + 0.2 mg/L NAA + 60 mg/L adenine sulphate</p> <p><i>D-biotin içeren uygulama</i></p> <p>1) MS + 1.0 mg/L BAP + 0.2 mg/L NAA + 0 mg/L D-biotin 2) MS + 1.0 mg/L BAP + 0.2 mg/L NAA + 1.0 mg/L D-biotin 3) MS + 2.0 mg/L BAP + 0.2 mg/L NAA + 0 mg/L D-biotin 4) MS + 2.0 mg/L BAP + 0.2 mg/L NAA + 1.0 mg/L D-biotin</p>		
<i>Pyrus communis</i> L.	Yaprak	TDZ (0-13.5 µM) + NAA (0-1 µM)	Armut çeşitlerinin yapraklarından gelişigüzel sürgün rejenerasyonu üzerine TDZ'nin etkisinin araştırılması	Ricci vd. (2023)
<i>Cattleya sp.</i>	Yaprak	2.4-D (0;1; 2; 3 ppm) ve KIN (0;0.3;0.6 ppm)	<i>Cattleya sp.</i> orkidesinin <i>in vitro</i> büyümesi için oluşturulabilecek büyüme tepkisi tipi ve optimum ortam karışımının belirlenmesi	Harahap vd. (2023)
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Yaprak ve boğum	Kalus oluşumu için 2 mg/L ve 3 mg/L içeren MS besin ortamı; Rejenerasyon için	Patatesin kallus indüksiyonu ve bitki rejenerasyonu için en iyi üretim protokolü bulunması	Qureshi vd. (2023)

		<p>1) MS media, 0.01 mg/L IAA + 0.1 mg/L Giberellik asit (GA₃) + 1.5 mg/L Zeatin</p> <p>2) MS media, 0.01 mg/L IAA + 0.1 mg/L GA₃ + 2 mg/L Zeatin</p> <p>3) MS media, 0.01 mg/L IAA + 0.1 mg/L GA₃ + 1 mg/L BAP</p> <p>4) MS ortamı, 0.01 mg/L IAA + 0.1 mg/L GA₃ + 2 mg/L BAP</p>		
<i>Physalis alkekengi</i> L.	Yaprak ve gövde	2 ve 3 mg/L BAP, 2 mg/L 2,4-D ve 0.5 mg/L GA ₃	Farklı konsantrasyonlarda sitokin ve oksinin yaprak ve gövde eksplantları kullanılarak <i>Physalis alkekengi</i> (L.)'nin <i>in vitro</i> kültürüne etkisini incelemek	Kashanchi vd. (2023)
Blueberry (Vaccinieae)	Yaprak	<p>Yaprak eksplantından kallus oluşumu için</p> <p>0.5 mg/L CPPU + 0.1-0.3 mg/L 2-ip</p> <p>1 mg/L CPPU + 0.1-0.3 mg/L 2-ip</p> <p>2 mg/L CPPU + 0.1-0.3 mg/L 2-ip</p> <p>3 mg/L CPPU + 0.1-0.3 mg/L 2-ip</p> <p>4 mg/L CPPU + 0.1-0.3 mg/L 2-ip</p> <p>0.5 mg/L TDZ + 0.5 mg/L IAA</p> <p>0.5 mg/L TDZ + 0.5 mg/L IBA</p> <p>0.5 mg/L TDZ + 0.5 mg/L NAA</p>	Yaprak ve saplarından yola çıkılarak yüksek verimli doku kültürü ve hızlı çoğaltma teknolojisi sisteminin kurulması	Zhou vd. (2023)

		Sürgün büyümesinde hormonların kombinasyonu ve konsantrasyonu: 0.5-1.0 mg/L CPPU + 0.4-0.6 mg/L 2-ip		
<i>Iris ensata</i> Thunb.	Yaprak	Kallus oluşumu için besin ortamı: MS+1.0-4.0 mg/L 2,4-D ve MS+1.0-4.0 mg/L 2,4-D + 0.1-0.2 mg/L TDZ Sürgün rejenerasyonu için besin ortamı: MS+0.5-2.0 mg/L GA ₃ , MS+0.5-2.0 mg/L BAP ve MS+2.0-3.0 mg/L GA ₃ + 1.0-3.0 mg/L BAP	Japon İrisinin yaprak tabanından elde edilen kalluslardan bitki rejenerasyonunun optimizasyonu	Thokchom vd. (2023)
<i>Arachis hypogaea</i>	Yaprak	5 günlük fidelerin birincil yapraklarından, BAP sitokininlerinin eşmolar konsantrasyonları (22.19 uM) ile desteklenmiş MS ortamında 16 hafta süreyle kültüre alınmış; TDZ; sekiz hafta sonra 7.40 uM'ye düşürülen zeatin (Zea) veya meta-topolin (MT) kullanılmış	Yerfıstığının yaprak eksplantlarından tesadüfi sürgün rejenerasyonu üzerine sitokininlerin ve ışık kalitesinin etkisini belirleme	Assou vd. (2023)
<i>Passiflora edulis</i> Sims f. <i>edulis</i>	Yaprak	Eksplantlar, farklı konsantrasyonlarda (0, 0.5, 1.0, 1.0 mg/L BA ve AgNP'ler (1,5 ve 2,0 mg/L) ile desteklenmiş MS ortamında kültüre alınmıştır.	Kültür ortamına AgNP'lerin eklenmesiyle birlikte TCL teknolojisi aracılığıyla <i>ex vitro</i> eksplant kaynaklarından <i>in vitro</i> bitki rejenerasyonunun optimize edilmesi	Phong vd. (2023)

Tablo 1 incelendiğinde, yaprak eksplanti ile yürütülen birçok çalışmanın olduğu ve doku kültürü çalışmalarında yaprak eksplantının önemli bir yer tuttuğu anlaşılmaktadır. *In vitro* üretimler, tıbbi ve aromatik bitkiler, süs bitkileri, meyve ve sebze gibi önemli bir bitkisel alanı kapsamaktadır.

Üretim çalışmalarında BAP, TDZ, KIN ve GA₃ gibi önemli sitokinler ve IAA, IBA ve NAA gibi önemli oksinler kullanılmıştır. Genelde bu büyüme düzenleyicilerin farklı konsantrasyonları tek olarak veya diğer büyüme düzenleyiciler ile kombinasyon halinde kullanılmıştır. Genel olarak, yaprak eksplanti ile birçok bitkinin başarıyla üretimleri gerçekleştirilmiştir.

SONUÇ

Doku kültürü çalışmaları, günümüzde kullanımı hem akademik hem de ticari alanda artan bir sektör haline gelmiştir. Bu nedenle bitkilerin hızlı ve çoklu üretimleri ve hastalıklardan arındırılmış olması doku kültürünün önemli avantajları arasında sayılabilir. Bitkilerin üretim optimizasyonunda birçok önemli parametre yer alır, bunlardan önemli bir kısmını eksplanti türü seçimi belirler. Bu çalışmada yaprak eksplanti kullanılarak 2023 yılında gerçekleştirilen bazı çalışmalar sunulmuştur. Veriler incelendiğinde yaprak eksplantının doku kültürü çalışmaları için çok önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca yaprak eksplanti kullanılarak bitki veya bitkisel ürünler üretilmiş çalışmaların akademik yayına dönüşme ihtimalini de olumlu etkileyebileceği düşünülmüştür. Farklı eksplanti türleri ile de güncel çalışmaların derlenmesi ve yapılan çalışmaların sistematik olarak incelenmesi önemli olacaktır.

Kaynaklar

1. Bednarek, P. T., & Orłowska, R. (2020). Plant tissue culture environment as a switch-key of (epi) genetic changes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 140(2), 245-257.
2. Christianson, M. L., & Warnick, D. A. (1988). Organogenesis in vitro as a developmental process. *HortScience*, 23(3), 515-519.
3. Galán-Ávila, A., García-Forteza, E., Prohens, J., & Herraiz, F. J. (2020). Development of a direct in vitro plant regeneration protocol from *Cannabis sativa* L. seedling explants: developmental morphology of shoot regeneration and ploidy level of regenerated plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 645.
4. Sarkar, S., & Jha, S. (2021). Effects associated with insertion of rol genes on morphogenic potential in explants derived from transgenic *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 146(3), 541-552.
5. Yang, J., Yang, X., Li, B., Lu, X., Kang, J., & Cao, X. (2020). Establishment of in vitro culture system for *Codonopsis pilosula* transgenic hairy roots. *3 Biotech*, 10, 1-8.
6. Kose, M. S. H., Dogan, M., & Sadi, G. (2021). Enhanced in vitro shoot proliferation through nodal explants of *Staurogyne repens* (Nees) Kuntze. *Biologia*, 76(3), 1053-1061.
7. Dogan, M. (2020). The effectiveness of light emitting diodes on shoot regeneration in vitro from shoot tip tissues of *Limnophila aromatica* (Lamk.) Merr. and *Rotala rotundifolia* (Buch-Ham. ex Roxb) Koehne. *Biotechnic & Histochemistry*, 95(3), 225-232.
8. Shende, S. M., Bhandare, P., & Devhare, L. D. (2023). In-vitro: micropropagation of mint and investigate the antibacterial activity of mint extract. *European Chemical Bulletin*, 12(5), 780-784.
9. Ioannidis, K., Tomprou, I., Panayiotopoulou, D., Boutsios, S., & Daskalaku, E. N. (2023). Potential and constraints on in vitro micropropagation of *Juniperus drupacea* Labill. *Forests*, 14(1), 142.
10. Singh, C. R. (2018). Review on problems and its remedy in plant tissue culture. *Asian Journal of Biological Sciences*, 11(4), 165-172.
11. Xu, J., Beleski, D. G., & Vendrame, W. A. (2022). Effects of culture methods and plant growth regulators on in vitro propagation of *Brassavola nodosa* (L.) Lindl. hybrid. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 58(6), 931-941.

12. Dogan, M. (2018). In vitro shoot regeneration of *Limnophila aromatica* (Lamk.) Merr. from nodal and internodal explants. *Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology*, 8, 77-84.
13. Kumar, A., Chauhan, S., Rattan, S., Warghat, A. R., Kumar, D., & Bhargava, B. (2022). In vitro propagation and phyto-chemical assessment of *Cymbidium aloifolium* (L.) Sw.: An orchid of pharma-horticultural importance. *South African Journal of Botany*, 144, 261-269.
14. Dogan, M. (2019). Effect of cadmium, chromium, and lead on micropropagation and physio-biochemical parameters of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. cultured *in vitro*. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 30, 351-366.
15. Nguyen, H. T., Dinh, S. T., Ninh, T. T., Nong, H. T., Dang, T. T., Khuat, Q. V., ... & Kalashnikova, E. A. (2022). In vitro propagation of the *Dendrobium anosmum* Lindl. collected in Vietnam. *Agronomy*, 12(2), 324.
16. Long, Y., Yang, Y., Pan, G., & Shen, Y. (2022). New insights into tissue culture plant-regeneration mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 13, 926752.
17. Solangi, N., Abul-Soad, A. A., Jatoi, M. A., Markhand, G. S., Solangi, M. A., & Mirani, A. A. (2023). Developing micropropagation protocols of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Barhi using shoot tip explants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 1-10. doi: <https://doi.org/10.1007/s40011-023-01452-9>
18. Kumari, R., Kundu, M., Mir, H., & Kumar, P. (2023). In vitro regeneration technique of papaya (*Carica papaya* L.) cv. Pusa Dwarf through shoot tip culture. *National Academy Science Letters*, 46(1), 1-5. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40009-022-01186-8>
19. Asmono, S. L., Setyoko, U., Ali, F. Y., & Sjamsijah, N. (2023, April). In vitro regeneration of *Anthocephalus cadamba* from nodal explant. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1168, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
20. Tawfik, A. A., Ibrahim, O. H. M., & Taha, M. A. A. (2023). Clonal propagation of rangoon creeper (*Quisqualis indica* Linn.) via nodal explant culture. *Egyptian Journal of Horticulture*, 50(1), 97-108.
21. Sarkar, M. T. R., & Alam, M. F. (2022). Indirect organogenesis from *in vitro* derived leaf and internodes of *Coccinia cordifolia* (L.) Cogn.-an important medicinal climber. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 32(2), 127-136.

22. Basiri, Y., Etemadi, N., Alizadeh, M., & Alizargar, J. (2022). *In vitro* culture of *Eremurus spectabilis* (Liliaceae), a rare ornamental and medicinal plant, through root explants. *Horticulturae*, 8(3), 202.
23. Tang, Q., Guo, X., Zhang, Y., Li, Q., Chen, G., Sun, H., ... & Shen, X. (2022). An optimized protocol for indirect organogenesis from root explants of *Agapanthus praecox* subsp. *orientalis* 'Big Blue'. *Horticulturae*, 8(8), 715.
24. Ku, S. S., Woo, H. A., Shin, M. J., Jie, E. Y., Kim, H., Kim, H. S., ... & Kim, S. W. (2023). Efficient plant regeneration system from leaf explant cultures of *Daphne genkwa* via somatic embryogenesis. *Plants*, 12(11), 2175.
25. Aswathi, N. V., & Thomas, T. D. (2023). Direct and indirect shoot regeneration from leaf explants of *Centratherum punctatum* Cass., A wild ornamental plant. *Scientia Horticulturae*, 320, 112201.
26. Nagananda, G. S., & Satishchandra, N. (2023). *In vitro* direct plant regeneration from somatic embryos developed from the leaf explants of *Flickingeria nodosa* (Dalz.) Seidenf. through synthetic seed technology. *South African Journal of Botany*, 153, 77-82.
27. Rani, S., Puri, R., Qasim, A., Boora, P., & Angmo, D. (2023). *In vitro* micropropagation of *Bergenia ligulata* (Hook. f. & Thomson) Engl. through leaf explant. *Journal of Scientific Research*, 15(1), 215-224.
28. Shafaei, M., Ebrahimi, M., Khosrowchahli, M., Majidi Heravan, E., & Azizinezhad, R. (2023). Establishing a simple selection method of high hypericin-producing adventitious root lines from leaf explants of *Hypericum perforatum* var. *Topaz*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1-11. Doi: <https://doi.org/10.1080/14620316.2023.2226665>
29. Puspita, D. E., Efendi, E., Zakaria, S., & Sriwati, R. (2023, May). Indirect organogenesis of Aceh patchouli leaf explants (*Pogostemon cablin* Benth) by *in vitro*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1183, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
30. Sarropoulou, V., Maloupa, E., & Grigoriadou, K. (2023). Cretan dittany (*Origanum dictamnus* L.), a valuable local endemic plant: *In vitro* regeneration potential of different type of explants for conservation and sustainable exploitation. *Plants*, 12(1), 182.
31. Normasari, R., Arumingtyas, E. L., Retnowati, R., & Widoretno, W. (2023, May). The Combination Effect of Auxin and Cytokinin on Callus Induction of Patchouli (*Pogostemon Cablin* Benth.) from Leaf Explants.

- In 3rd International Conference on Biology, Science and Education (IcoBioSE 2021) (pp. 551-557). Atlantis Press.
32. Shahabi, M., Emadpour, M., & Moieni, A. (2023). Highly efficient microtuber formation, direct shoot regeneration, and root induction in *Cyclamen persicum* Mill. from *in vitro* seedling-derived tuber and leaf segments. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 59, 475–482.
 33. Bharti, V., Gupta, S., & Pandey, R. (2023). *In vitro* regeneration, flowering and seed formation from leaf explants of *Celsia coromandeliana* (Scrophulariaceae). *Journal of Medicinal Plants*, 11(1), 105-108.
 34. Pang, J., Xiong, Y., Zeng, Y., Chen, X., Zhang, X., Li, Y., ... & Ma, G. (2023). Shoot organogenesis and plant regeneration from leaf and petiole explants of *Corydalis saxicola* Bunting. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 59(1), 121-128.
 35. Mullo, F., Kornatsky, S., Semenova, N., & Romanova, E. (2023). Induction of direct organogenesis in Blackberry (*Rubus fruticosus* L.) using leaf explants. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 371). EDP Sciences.
 36. Weicong, Y., Chenxing, Z., Hanqing, Z., Xinru, L., Xiaoming, P., & Yingyue, L. (2023). Optimization of tissue culture system and establishment of high-efficiency adventitious bud regeneration system from leaf explants of tetraploid *Ziziphus jujuba* var. *spinosa*. *北京林业大学学报*, 45(6), 8-18.
 37. Sirangi, S., Ajmeera, R., & Raju, V. S. (2023). Efficient regeneration from cotyledonary leaf explants of a medicinal herb *Corynandra chelidonii* var. *pallae* (Angiosperms: Cleomaceae). *Journal of the Indian Botanical Society*.
 38. Kawshalya, J. A. D. C., & Seran, T. H. (2023). Plant regeneration from cotyledon explants of bittergourd as influenced by adenine sulphate and D-Biotin. *Journal of Food and Agriculture*.
Doi:<https://doi.org/10.4038/jfa.v16i1.5280>
 39. Ricci, A., Mezzetti, B., Navacchi, O., & Sabbadini, S. (2023). *In vitro* shoot regeneration from leaves of *Pyrus communis* L. rootstock and cultivars. *Plant Biotechnology Reports*, 17:341–352
 40. Harahap, F., Hariyadi, I., Silitonga, M., Suryani, C., Edi, S., & Ningsih, A. P. (2023). *In vitro* growth of *Cattleya sp* orchid from leaf explants with growth regulators. *Jurnal Pembelajaran Dan Biologi Nukleus*, 9(1), 192-200.
 41. Qureshi, M. A., Ahmad, R., Ahmed, B., Khan, T. U., & Yasin, M. (2023). Effect of growth regulators on callus induction and plant regeneration in

- potato (*Solanum tuberosum* L.) explants. *Sarhad Journal of Agriculture*, 39(1), 140-146.
42. Kashanchi, M., Pourfakhraie, E., Parsa, M., & Zeinali, A. (2023). The effect of different concentrations of cytokinin and auxin on *in vitro* culture of *Physalis alkekengi* (L.) using leaf and stem explants. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 68(4), 109-122
43. Zhou, Y., Li, Q., Wang, Z., & Zhang, Y. (2023). High efficiency regeneration system from blueberry leaves and stems. *Life*, 13(1), 242.
44. Thokchom, R., Maitra, S., Gantait, S. S., Devi, K. L., Sanjay, S., Singh, J. T., ... & Singh, P. K. (2023). Optimization of plantlet regeneration from leaf base derived callus of Japanese Iris (*Iris ensata* Thunb.): An ornamental medicinal plant. *The Pharma Innovation Journal*, 12(6), 1448-1453
45. Assou, J., Bethge, H., Wamhoff, D., & Winkelmann, T. (2023). Effect of cytokinins and light quality on adventitious shoot regeneration from leaflet explants of peanut (*Arachis hypogaea*). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 98(4), 508-525.
46. Phong, T. H., Hieu, T., Tung, H. T., Mai, N. T. N., Khai, H. D., Cuong, D. M., ... & Nhut, D. T. (2023). Silver nanoparticles enhance the *in vitro* plant regeneration via thin cell layer culture system in purple passion fruit. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 1-13. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02566-8>

Bölüm 2

Melissa officinalis L.'in İn Vitro Çoklu Sürgün Rejenerasyonu Üzerine Genel Bir İnceleme

Muhammet DOĞAN¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Karaman, Türkiye.
mtdogan1@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3138-5903

Özet

Bitkiler eski çağlardan beri tedavi edici, kozmetik, beslenme ve güzelleştirme amaçlı kullanılmıştır. Tıbbi ve aromatik bitkilerin büyük ölçeklerde denetlenmeden toplanmaları bitki popülasyonları üzerinde kıyaslanamayacak kadar artan bir baskıya neden olmuştur. Tıbbi ve aromatik bitkiler, koruma eylemleri için yüksek önceliğe sahiptir. *Melisa officinalis* L. çok eski zamanlardan beri baş ağrısı, mide-bağırsak hastalıkları, nörolojik hastalıklar ve romatoid hastalıklar gibi birçok hastalığın tedavisinde kullanılan bilinen bu şifalı bitkilerden biridir. Ayrıca içeriğindeki fenolikler ile önemli antioksidan kaynağıdır. Doku kültürü, steril koşullar altında bir besleyici ortamda kültürlenen küçük bitki dokusu parçalarının (eksplantlar) kullanımını içerir. Her eksplant türü için uygun yetiştirme koşulları kullanılarak, bitkiler hızla yeni sürgünler ve uygun hormonların eklenmesiyle yeni kökler üretmeye teşvik edilebilir. Doku kültürü ile üretim çalışmaları günümüzde, tıbbi ve aromatik bitkilerin üretiminde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle kısa sürede çoklu bitki üretilmesi doku kültürünü öne çıkarmaktadır. Bu derleme çalışmada *M. officinalis*'in *in vitro* üretimi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar sunulmuştur. *M. officinalis* ile yürütülen doku kültürü temelli yenilikçi çalışmalar öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bitki doku kültürü, sürgün ucu, *in vitro* üretim, sürgün rejenerasyonu

GİRİŞ

Şifalı bitkilerin ve bitkisel ilaçların kullanımı asırlık bir gelenektir ve modern terapötiklerdeki son gelişmeler, dünya çapında çeşitli rahatsızlıklar ve hastalıklar için doğal ürünlerin kullanımını teşvik etmiştir. Geleneksel tıpta halk, şifalı bitkileri çeşitli şekillerde kullanılmıştır. Geleneksel tıp dünyanın tüm bölgelerinde popülerdir ve kullanımı gelişmiş ülkelerde bile hızla genişlemektedir. Dünya Sağlık Örgütü, gelişmekte olan ülkelerdeki insanların %80'inden fazlasının günlük ihtiyaçları için bitkiler gibi geleneksel ilaçlara güvendiğini tahmin ediyor. Ancak, bu şifalı bitkilerden sadece bazılarının geleneksel kullanımları *in vitro* ve klinik deneme çalışmalarında incelenmiştir (Miraj vd., 2017).

Modern farmakolojik çalışmalar, *Melissa officinalis* L. antioksidan, hipoglisemik, hipolipidemik, antimikrobiyal, antikanser, antidepresan, anksiyolitik, antinosiseptif, antiinflamatuvar ve spazmolitik özellikler dahil olmak üzere çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olduğunu göstermektedir (Herodež v., 2003; Mimica-Dukic vd., 2004; López vd., 2009; Moradkhani vd., 2010; De Sousa vd., 2004; Basar ve Zaman, 2013; Shakeri vd., 2016). Ek olarak, fitokimyasal araştırmalar, *M. officinalis*'in ana aktif bileşenleri olarak uçucu bileşiklerin, triterpenlerin, fenolik asitlerin ve flavonoidlerin varlığını ortaya çıkarmıştır (Shakeri vd., 2016; Draginic vd., 2021; Petrisor vd., 2022; Zam vd., 2022; Safapour ve Rather, 2022).

Biyoteknolojik bir üretim yöntemi olan doku kültürü, bitkilerin hızlı ve çoklu üretimi için avantajlar içermektedir (Hasnain vd., 2022; Ozyigit vd., 2023). Doku kültürü sahip olduğu bu avantajlardan dolayı *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. (Dogan, 2019), *Aconitum bucovinense* Zapał (Kocot vd., 2022), *Valeriana jatamansi* Jones (Nazir vd., 2022), *Moringa oleifera* Lam (Zheng vd., 2022), *Arabidopsis thaliana* (Nizan vd., 2022), *Cicer arietinum* L. (Kirtis vd., 2022), *Psoralea corylifolia* Linn (Gajula vd., 2022), *Atractylodes ovata* (Thunb.) DC (Jeong ve Kim, 2022), *Pyrus communis* L. (Ricci vd., 2023), *Pogostemon erectus* (Dalzell) (Dogan vd., 2016; Doğan, 2019), *Rubus idaeus* L. (Zhang ve Dai, 2023), *Brassica oleracea* L. var. *italica* (Thakur vd., 2023) ve *Cyclamen persicum* Mill. (Shahabi vd., 2023) gibi birçok bitki türü başarıyla üretilmiştir. Bu derleme çalışmada *M. officinalis*'in *in vitro* çoğaltımını üzerine bazı çalışmalar sunulmuştur.

GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışmanın tarama işlemleri; Web of Science, Scopus ve Google Scholar ile gerçekleştirilmiştir. Anahtar arama kelimesi olarak “*Melissa officinalis in vitro propagation*” ve “*Melissa officinalis shoot regeneration*” ifadeleri kullanılmıştır.

2. DOKU KÜLTÜRÜ UYGULAMALARI

Benzil Amino Pürin (BAP) (0-4 mg/L) ile desteklenmiş Murashige ve Skoog (MS) ortamı üzerinde kültürlenmiş *M. officinalis*'in 10 günlük fidelerinin kotiledon boğumlarında çoklu sürgünler ayırt edilmiştir. *In vitro* sürgünlerin üretimi, benzer koşullar kullanılarak sürgünlerin ilk hasadından sonra, alt kültürlerde indüklenmiştir. İki aşulamada en yüksek ortalama sürgün sayısı 2 mg/L BAP ile elde edilmiştir. Eksplant başına 24 aksiller sürgün, 0.2 mg/L BAP ile elde edilmiş ve daha yüksek hormon konsantrasyonları, sürgünlerin boyutlarında bir azalmaya neden olmuştur. 0,2–0,5 mg/L arasındaki BAP konsantrasyonları, köklenmeye uygun boyutta daha fazla sürgün üretimine imkanı vermiştir. Sürgünler indol butyric acid (IBA) veya Naftalin asetik asit (NAA) (0-4 mg/L) ile takviye edilmiş MS ortamına köklendirilmiştir. Mikroçoğaltılmış bitkiler başarılı bir şekilde toprağa aktarılmıştır (Tavares vd., 1996).

M. officinalis tıptaki faydalı uygulaması nedeniyle İran'da da yaygın olarak yetiştirilmektedir. İran'da farklı iklimlerden toplanan 4 yerel çeşit ile istikrarlı ve yüksek frekanslı bir rejenerasyon sistemi oluşturmak için rejenerasyon oranı, köklenme yüzdesi, sürgün ve çoğalma oranı gibi önemli parametreler incelenmiştir. Sonuçların istatistiksel analizi, NAA ile birlikte BAP'ın sürgün ucu eksplantlarında en yüksek rejenerasyona sahip olduğunu göstermiştir. İndol-3-asetik asit (IAA) ve Kinetin ile birlikte NAA, kallus indüksiyonuna en iyi yanıtı vermiştir. Ayrıca 1 mg/L NAA diğer kullanılan oksinlere göre köklenmeye daha yüksek tepki göstermiştir. Hamedan yerel ırkından elde edilen eksplantlar, rejenerasyon için en yüksek potansiyele sahip çıkmıştır (Meftahizade vd., 2020).

M. officinalis yüksek frekanslı bitki rejenerasyonu için basit ve verimli iki adımlı bir prosedür geliştirilmiştir. Nitsch ve Murashige ve Skoog'un NAA (1.0 mg/L) ile takviye edilmiş ortamı, kültürlenmiş eksplantlarda aksiller sürgün büyümesini ve köklerin indüklenmesini desteklemiştir. Nitsch ortamı, Murashige ve Skoog ortamından daha iyi morfogenetik tepki göstermiştir. 2 mg/L BAP veya 6-metil aminopurin ile güçlendirilmiş MS ortamı sürgünlerin hızlı çoğalmasını indüklemiştir. Farklılaştırılmış sürgünlerden kökler, Nitsch ortamına takviye edilmiş oksinler ile kolayca elde edilmiştir. Fidanlar sera koşullarında %80-90 oranında tesis başarısı göstermiştir (Kukreja, 1999).

M. officinalis'in bitki rejenerasyon üretkenliğini artırmak için iki bağımsız deney gerçekleştirilmiştir. İlk olarak *M. officinalis*'in en verimli *in vitro* kültür sistemi, MS minimal organik (MSMO) besiyeri içeren besiyerinde 7 farklı eksplant türü (yaprak, yaprak sapı, gövde, kök, koltuk altı tomurcukları, sürgün tomurcukları ve kotiledon tomurcukları) kullanılarak belirlenmiştir. Mikroçoğaltım, yalnızca meristematik hücreler (koltuk altı tomurcukları, sürgün ucu tomurcukları ve kotiledon tomurcukları) içeren eksplantlarla elde edilmiştir.

Melisa bitkisinin rejenerasyon kapasitesi çok düşük olduğu için ve deneyin ikinci bölümünde farklı manyetik alan (MF'ler) uygulamalarıyla rejenerasyonun artırılması amaçlanmıştır. Neodimyum blok mıknatıslar kullanılarak iki farklı MF (50 ve 100 mT) üretilmiştir. Kontrol uygulamasında MF maruziyeti uygulanmamıştır. Üç farklı eksplant (koltuk altı, sürgün ucu ve kotiledon tomurcukları), BA içeren ortamlarda IAA veya NAA ile kombinasyon halinde iki farklı MF'nin 1 saat süreyle uygulanmasıyla kültürlenmiştir. Sonuç olarak, MF uygulamalarının *M. officinalis*'in rejenerasyon kapasitesini arttırdığı ve en iyi sürgün oluşumunun 1,5 mg/L BA'da 100 mT MF uygulamasında 1 saat süreyle kültürlenen koltuk altı tomurcuk eksplantında gözlemlendiği belirlenmiştir (Ulgen vd., 2020).

Bu çalışmada, fesleğen ve *M. officinalis*'dan Rosmarinik asit (RA) üretimi için umut verici bir alternatif yöntem olarak bitki doku kültürü tekniklerinin kullanımının etkinliği test edilmiştir. Kallus ve sürgün kültürleri, üretimleri için optimum koşulları test etmek üzere farklı türde eksplantlar ve ortam bileşimi kullanılarak oluşturulmuştur. Sonuçlar, yaprak eksplantlarının kallus üretimi için en iyi eksplantlar olduğunu göstermiştir. 1 mg/L BA ve 1 mg/L NAA (MS2) içeren MS besiyeri, melisada kallus gelişimi için en iyi besiyeri olurken, fesleğen için en uygun besiyeri MS4 olmuştur. Melisa ve fesleğende sürgün kültürü üretiminde eksplant olarak gövde segmentleri ve sürgün uçları kullanılmıştır. Rosmarinik asit düzeyleri kontrol, kallus ve sürgün kültürlerinde belirlenmiştir. Sonuçlar, kallus ve sürgün kültürlerinin kontrole kıyasla daha yüksek seviyelerde rosmarinik asit biriktirdiğini göstermiştir. Rosmarinik asit seviyeleri 9.42±1.27 ila 38.25±0.73 ug/mg bitki kuru ağırlığı arasında değişmiştir. Sürgünler, melisa ve fesleğende kontrole kıyasla 3 ve 2,7 kat daha yüksek rosmarinik asit seviyeleri üretmiştir (Elsaadany, 2015).

Bu çalışma, *in vitro* koşullar altında tesadüfi rejenerasyon çalışmaları için *M. officinalis*'in kotiledoanry yapraklarının etkinliğini kontrol etmek için tasarlanmıştır. Eksplantlar, 8-10 günlük *in vitro* sürgünlerden çıkarılmış ve tek başına veya IBA (0.10 mg/L) ile kombinasyon halinde 0.10, 0.20, 0.40 ve 0.80 mg/L Thidiazuron (TDZ) kullanılarak kültürlenmiştir. Kotiledon yaprak eksplantından sürgün rejenerasyonu 2-3 hafta içinde başlamış, ancak eksplantlar nekroz belirtileri göstermiştir. Bitki büyüme düzenleyicileri ile melisanın kotiledon yaprak eksplantının *in vitro* sürgün induksiyonunu kontrol edilmiştir. Kallus yenilenme frekansı %83,33'e kadar kaydedilmiş ve sürgün yenilenme sıklığı maksimum %61,11 olmuştur. Sürgün uzunluğu 1,89-3,437 cm arasında değişen eksplant başına maksimum 9,40 sürgün kaydedilmiştir. TDZ (0.10 veya 0.20 mg/L) ile zenginleştirilmiş MS ortamında sürgün başlangıcı gözlenmemiştir. TDZ-IBA'nın (0,40+0,10 mg/L) kombinasyonu, maksimum sürgün rejenerasyon

sıklığını (%61,11) ve eksplant başına sürgünleri (9,40) indüklemiştir. Oysa 0,10 mg/L IBA ile 0,80 mg/L TDZ'de 3,43 cm daha uzun sürgünler kaydedilmiştir. *In vitro* sürgünler, 4 hafta içinde 0,25-1,0 mg/L IBA içeren ortamda kültürlendiğinde başarılı bir şekilde köklenmiştir (Aasim vd., 2018).

M. officinalis'in mikroçoğaltımı, toplam fenol içeriği ve metabolik profilleri üzerine bitki büyüme düzenleyicilerinin etkinliği değerlendirilmiştir. İlk eksplantlar için bir aylık *in vitro* çimlenmiş fidelerden türetilen gövde segmentleri kullanılmıştır. Test edilen sekiz farklı besin ortamından mikro çoğaltma için en uygun olanın MP2 (1mg/L BAP ve 0,1 mg/L IBA ile zenginleştirilmiş MS ortamı) ve MP3 (1,5 mg/L BAP ve 0,5 mg/L NAA ile desteklenmiş MS ortamı) olduğu bulunmuştur. %2 sukroz içeren yarı güçlü MS ortamında *in vitro* köklenme (%100) sağlanmıştır. Köklü bitkiler, 2:1:1:1 (v/v/v/v) oranında toprak, turba, perlit ve kum karışımına başarılı bir şekilde (%98) adapte edilmiştir. Farklı tipte büyüme düzenleyicileri içeren MS ortamı üzerinde büyütülen sürgünlerin GC/MS analizi ile yirmi metabolit tanımlanmıştır. Analiz fenolik, organik ve yağ asitleri, steroller, triterpenler, yağlı alkoller, sakkaritler ve poliollerin varlığını ortaya çıkarmıştır (Petrova vd., 2021).

M. officinalis'in gövde eksplantlarından etkili bir *in vitro* bitki rejenerasyon sistemi kurulmuştur. Kültür ortamı tipi, bitki büyüme düzenleyicilerinin kombinasyonları ve ortamdaki karbon kaynağı dahil olmak üzere gövdelerden sürgün rejenerasyonunu etkileyen faktörler araştırılmıştır. MS ortamı, sürgün rejenerasyonunu desteklemek için en iyi olduğu bulunmuş, ardından B5 ve WPM ortamı gelmiştir. Optimum sürgün rejenerasyon frekansı (%74,5) ve eksplant başına sürgün sayısı (12,3), 29,7 uM BA ve 5,8 uM NAA ile takviye edilmiş MS ortamı kullanılarak elde edilmiştir. Ortamda bulunan %2'lik bir glikoz konsantrasyonu, sürgün rejenerasyonu için faydalı olmuştur. Rejenere sürgünlerin köklenmesi, 15,4 uM IBA ilavesiyle 1/4 MS ortamında başarılı olmuştur. Hemen hemen tüm bitkicikler toprağa aktarıldıktan sonra iklimlendirmeden sağ kalmıştır (Moradkhani, 2012).

Mutasyon ajanları kullanılarak *in vitro* poliploidi indüksiyonu, sekonder metabolit üretim potansiyelini artırmak için kullanılan tıbbi bitki ıslah yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada, *M. officinalis*'da poliploidiyi indüklemek için *in vitro* rejenere eksplantlar 24 ve 48 saat boyunca %0.00, 0.05, 0.1 ve %0.2 olmak üzere 4 farklı konsantrasyonda kolşisin ile muamele edilmiştir. Kök ucu kromozom sayımı ve yaprak numunesi akış sitometrisi yoluyla hayatta kalma eksplantlarında ploidi düzeyi belirlenmiştir. Tedavilerden on gün sonra, tüm kolşisin içermeyen işlenmiş eksplantlar hayatta kalmıştır. Kolşisin uygulamaları arasında (%0.05, 0.1 ve %0.2) en yüksek eksplant sağkalım oranı 24 saat %0.05 kolşisin uygulamasında (%63.8) gözlenmiştir. Aksine, 48 saat boyunca %0,2

kolşisin tedavisi en yüksek eksplant öldürücü oranını göstermiştir. Kromozom sayımı ve akış sitometrisi analizinin sonuçları, kolşisinle işlenmiş eksplantlarda hem diploid hem de mixoploid bitkileri göstermiştir. Ploidi induksiyonu için kolşisin tedavisinin daha etkili olduğu, 48 saat boyunca %0,05 kolşisin uygulamasında, %33,3 miksoploid bitkiler kadar yüksek gözlenmiştir (Borghעי, 2010).

Bu çalışma, doğrudan rejenerasyon için uygun bir yöntem olarak hormon kullanmadan MS ortam kültüründe *M. officinalis*'in eksplantlarının yetiştirilmesine odaklanmıştır. Bu çalışmanın sonucu, herhangi bir hormon ilavesi yapılmamış besiyeri kültürünün *M. officinalis* üretimi üzerinde $p=0.05$ ile önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. En iyi sonuçlar ortalama $3,26\pm 1$ cm gövde uzunluğu, ortalama 12 ± 1 yaprak ile sap başına yaprak sayısı, ortalama $0,65\pm 0,5$ cm yaprak uzunluğu ve ortalama $0,65\pm 0,5$ cm ile tomurcuk sayısı için elde edilmiştir (Shakeri vd., 2013).

IAA ($11.42 \mu\text{mol/L}$), BAP ($8.87 \mu\text{mol/L}$)'in *M. officinalis*'in *in vitro* bitki büyümesi ve uçucu yağları üzerine etkileri araştırılmıştır. MS ortamında geliştirilen *in vitro* bitkicikler, *ex vitro* bitkilerle karşılaştırıldığında, nerol oranının 1.4 katı ve geraniol oranının 4.1 katını göstermiştir. $11.42 \mu\text{mol/L}$ IAA ve $8.87 \mu\text{mol/L}$ BAP ile yapılan işlemler, 60 günlük bütün bitkilerde sırasıyla nerol ve geraniol oranlarının 1.7 ve 2.2 katına yol açmıştır (Silva vd., 2005).

Eksplant olarak apeksleri ve uninodal fragmanları kullanarak *M. officinalis* için bir *in vitro* çoğaltma protokolünü geliştirilmek istenmiştir. En yüksek çoğalma oranı (4.7 filiz/eksplant), 3 mg/L BAP ile desteklenmiş bir MS ortamında elde edilmiştir. 1 mg/L NAA ile desteklenmiş yarı güçlü bir MS ortamı, melisa mikrosürgünlerinin *in vitro* köklenmesi için en etkili olduğu belirlenmiştir. *Ex vitro* aktarılan mikro-üretmiş bitkiler, iklimlendirme sırasında normal morfoloji ve %95 hayatta kalma oranı göstermiştir (Radomir ve Stan, 2020).

M. officinalis'in beş farklı eksplantı (nodal segmentler, sürgün ucu, kotiledon, hipokotil ve yaprak segmentleri) farklı konsantrasyonlarda BAP (2.2 , 4.4 ve $8.8 \mu\text{m}$) ile tek olarak ve $1 \mu\text{M}$ IAA kombinasyon halinde içeren MS besin ortamına aktarılmış ve doğrudan rejenerasyon değerleri incelenmiştir. Maksimum ortalama sürgün sayısı (sürgün ucu ve nodal segment eksplantlarında sırasıyla 23.59 ve 16.90 sürgün) $8.8 \mu\text{m}$ BAP'li MS ortamında gözlenmiştir. Sürgün ucu ve nodal segment eksplantlarında en yüksek rejenerasyon oranı (%99) sırasıyla 8.8 ve $2.2 \mu\text{m}$ BAP ile desteklenmiş MS ortamında elde edilmiştir. Diğer eksplantlarda sürgün rejenerasyonu meydana gelmemiştir. Rejenere sürgünlerin köklenmesi MS, $1/2$ MS ve 1 , 2.5 , 4.92 ve $9.84 \mu\text{m}$ IBA ile takviye edilmiş MS ortamında değerlendirilmiştir. En yüksek ortalama kök sayısı (eksplant başına

9.06 kök) 4.92 µm IBA ile desteklenmiş MS ortamında gözlemlenmiştir (Jangjou vd., 2014).

Çeşitli faktörlerin *M. officinalis*'in kallusogenezi üzerindeki etkisini ve büyüme döngüsündeki somatik hücre popülasyonunun sitofizyolojik parametreleri üzerine etkilerini araştırmak için çalışma yürütülmüştür. Kallus elde etmek için *M. officinalis* Citronella, Sobornaya ve Krymchanka çeşitlerinin yaprak, gövde, yaprak sapı, hipokotil ve kotiledonlarının eksplantları kullanılmıştır. Kallusojenezin etkinliği, kültür ortamının hormonal bileşimine, eksplant tipine, donör bitkinin orijinine ve yetiştirme süresine bağlı çıkmıştır. Maksimum indüksiyon frekansı (%59.5-92.9) ve kallus büyümesi, 1.0 mg/L 2,4-Diklorofenoksiasetik Asit (2.4-D) ve 0.5 mg/L BAP ile desteklenmiş MS ortamında olmuştur (Yakimova ve Yegorova, 2020).

Yetiştirme koşullarının ve çeşidinin *M. officinalis* *in vitro* rhizogenesis ve *ex vitro* adaptasyonu üzerindeki etkisini incelenmiştir. 'Citronella' ve 'Sobornaya' çeşitlerinde maksimum sürgün köklenme sıklığının (%93,3'e kadar) 0,5 mg/L NAA ile takviye edilmiş MS kültür ortamında olduğu bulunmuştur. En yüksek kök oluşumu oranları, 1.0 mg/L IAA (sürgün başına 8.7 kök) ile desteklenmiş bir kültür ortamında bulunmuştur. Alt tabaka olarak turba, kum ve perlit (2:1:2) karışımı, melisa mikrobiklerinin %93'ünün *ex vitro* adaptasyonunu sağlamıştır (Yakimova ve Yegorova, 2021).

3. SONUÇ

Tıbbi ve aromatik bitkiler, insan topluluklarında hastalıkların önlenmesinin yanı sıra sağlık ve tedavi sağlamada büyük bir role sahip olmuştur. Şifalı otlar, sağlık ve hastalık koşullarında memeli dokularının işlevi üzerinde derin fizyolojik etkileri olan sekonder metabolitler açısından çok zengindir. Bu çalışmada *in vitro* üretim çalışmaları gerçekleştirilen *M. officinalis* ile ilgili bazı çalışmalar sunulmuştur. Tıbbi önemi nedeniyle doku kültürü ile üretim çalışmalarının devam ettiği ve yine doku kültürü temelli yenilikçi çalışmaların da yapıldığı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Aasim, M., Kahveci, B., Korkmaz, E., Doğanay, F., Bakırcı, Ş., Sevinc, C., ... & Kırtış, A. (2018). TDZ-IBA induced adventitious shoot regeneration of water balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Global Innovation on Agriculture and Social Sciences*, 6, 35-39.
2. Basar, S. N., & Zaman, R. (2013). An overview of badranjboya (*Melissa officinalis*). *International Research Journal of Biological Sciences*, 2(12), 107-109.
3. Borgheei, S. F., Sarikhani, H., Chaichi, M., & Kashi, A. (2010). *In vitro* induction of polyploidy in lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(3), 283-295.
4. De Sousa, A. C., Gattass, C. R., Alviano, D. S., Alviano, C. S., Blank, A. F., & Alves, P. B. (2004). *Melissa officinalis* L. essential oil: antitumoral and antioxidant activities. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 56(5), 677-681.
5. Dogan, M. (2019). Effect of cadmium, chromium, and lead on micropropagation and physio-biochemical parameters of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. cultured *in vitro*. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 30, 351-366.
6. Dogan, M., Karatas, M., & Aasim, M. (2016). *In vitro* shoot regeneration from shoot tip and nodal segment explants of *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze, a multipurpose ornamental aquatic plant. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(11), 4777-4782.
7. Doğan, M. (2019). *In vitro* rapid propagation of an aquatic plant *Pogostemon erectus* (Dalzell) Kuntze. *Anatolian Journal of Botany*, 3(1), 1-6.
8. Draginic, N., Jakovljevic, V., Andjic, M., Jeremic, J., Srejovic, I., Rankovic, M., ... & Milosavljevic, I. (2021). *Melissa officinalis* L. as a nutritional strategy for cardioprotection. *Frontiers in Physiology*, 12, 661778.
9. Elsaadany, A. (2015). *In-vitro* production of rosmarinic acid from basil (*Ocimum basilicum* L.) and Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). *Sciences*, 5(01), 47-51.
10. Gajula, H., Kumar, V., Vijendra, P. D., Rajashekar, J., Sannabommaji, T., Basappa, G., & Anuradha, C. M. (2022). *In vitro* regeneration of *Psoralea corylifolia* Linn.: influence of polyamines during *in vitro* shoot development. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 58(1), 103-113.
11. Hasnain, A., Naqvi, S. A. H., Ayesha, S. I., Khalid, F., Ellahi, M., Iqbal, S., ... & Abdelhamid, M. (2022). Plants *in vitro* propagation with its applications in

- food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1009395.
12. Herodež, Š. S., Hadolin, M., Škerget, M., & Knez, Ž. (2003). Solvent extraction study of antioxidants from Balm (*Melissa officinalis* L.) leaves. *Food Chemistry*, 80(2), 275-282.
 13. Jangjou, H., Hassani, A., Hosseini, B., Jafari, M., Alizadeh, M. (2014). Effect of explant type and different hormonal combinations on direct regeneration of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(4).
 14. Jeong, H. Y., & Kim, J. A. (2022). An efficient *in vitro* shoot regeneration system for *Atractylodes ovata* (Thunb.) DC. *Journal of Plant Biotechnology*, 49(4), 325-330.
 15. Kirtis, A., Aasim, M., & Katırcı, R. (2022). Application of artificial neural network and machine learning algorithms for modeling the *in vitro* regeneration of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 150(1), 141-152.
 16. Kocot, D., Nowak, B., Sitek, E., Starzyńska-Janiszewska, A., & Mitka, J. (2022). *In vitro* shoot regeneration from organogenic callus culture and rooting of Carpathian endemic *Aconitum bucovinense* Zapal. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 151(1), 177-187.
 17. Kukreja, A. K. (1999). *In vitro* propagation of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) through nodal bud culture of adult plant. *J. Spec. Aroma. Crops*, 8(2), 171-177.
 18. López, V., Martín, S., Gómez-Serranillos, M. P., Carretero, M. E., Jäger, A. K., & Calvo, M. I. (2009). Neuroprotective and neurological properties of *Melissa officinalis*. *Neurochemical research*, 34, 1955-1961.
 19. Meftahizade, H., Moradkhani, H., Naseri, B., Lofti, M., & Naseri, A. (2010). Improved *in vitro* culture and micropropagation of different *Melissa officinalis* L. genotypes. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(3), 240-246
 20. Mimica-Dukic, N., Bozin, B., Sokovic, M., & Simin, N. (2004). Antimicrobial and antioxidant activities of *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae) essential oil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(9), 2485-2489.
 21. Miraj, S., Rafieian-Kopaei, & Kiani, S. (2017). *Melissa officinalis* L: A Review study with an antioxidant prospective. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 22(3), 385-394.
 22. Moradkhani, H. (2012). Investigation of adventitious shoot regeneration from *in vitro* stem explants of *Melissa officinalis* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(16), 3217-3221.

23. Moradkhani, H., Sargsyan, E., Bibak, H., Naseri, B., Sadat-Hosseini, M., Fayazi-Barjin, A., & Meftahizade, H. (2010). *Melissa officinalis* L., a valuable medicine plant. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4, 2753-2759.
24. Nazir, U., Gul, Z., Shah, G. M., & Khan, N. I. (2022). Interaction effect of auxin and cytokinin on in vitro shoot regeneration and rooting of endangered medicinal plant *Valeriana jatamansi* Jones through tissue culture. *American Journal of Plant Sciences*, 13(2), 223-240.
25. Nizan, I. E. F., Kamaruddin, K., Ong, P. W., Ramli, Z., Singh, R., Rose, R. J., & Chan, P. L. (2022). Overexpression of Oil Palm Early Nodulin 93 Protein Gene (EgENOD93) Enhances *In Vitro* Shoot Regeneration in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular biotechnology*, 64(7), 743-757.
26. Ozyigit, I. I., Dogan, I., Hocaoglu-Ozyigit, A., Yalcin, B., Erdogan, A., Yalcin, I. E., ... & Kaya, Y. (2023). Production of secondary metabolites using tissue culture-based biotechnological applications. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1132555.
27. Petrisor, G., Motelica, L., Craciun, L. N., Oprea, O. C., Ficai, D., & Ficai, A. (2022). *Melissa officinalis*: Composition, pharmacological effects and derived release systems—A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(7), 3591.
28. Petrova, M., Nikolova, M., Dimitrova, M., & Dimitrova, L. (2021). Assessment of the effect of plant growth regulators on in vitro micropropagation and metabolic profiles of *Melissa officinalis* L. (lemon balm). *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 11(3), e4077-e4077.
29. Radomir, A. M., & Stan, R. (2020). *In vitro* morphogenetic reaction of *Melissa officinalis* L. *Romanian Journal of Horticulture*, 1, 15-20.
30. Ricci, A., Mezzetti, B., Navacchi, O., & Sabbadini, S. (2023). *In vitro* shoot regeneration from leaves of *Pyrus communis* L. rootstock and cultivars. *Plant Biotechnology Reports*, 17, 341–352.
31. Safapour, S., & Rather, L. J. (2022). Effect of single and binary mixed metal mordant combinations on colorimetric and fastness characteristics of wool yarns dyed with *Melissa officinalis* L. natural colorants. *The Journal of The Textile Institute*, 1-9. DOI: 10.1080/00405000.2022.2157941
32. Shahabi, M., Emadpour, M., & Moieni, A. (2023). Highly efficient microtuber formation, direct shoot regeneration, and root induction in *Cyclamen persicum* Mill. from *in vitro* seedling-derived tuber and leaf segments. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 59, 475–482.

33. Shakeri, A., Sahebkar, A., & Javadi, B. (2016). *Melissa officinalis* L.—A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 188, 204-228.
34. Shakeri, S. M., Kazemitabar, S. K., & Sinaki, J. M. (2013). *In vitro* culture of *Melissa officinalis* without the use of hormones. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 6(20), 1382-1387.
35. Silva, S. D., Sato, A., Lage, C. L. S., San Gil, R. A. D. S., Azevedo, D. D. A., & Esquibel, M. A. (2005). Essential oil composition of *Melissa officinalis* L. *in vitro* produced under the influence of growth regulators. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 16, 1387-1390.
36. Tavares, A. C., Pimenta, M. C., & Goncalves, M. T. (1996). Micropropagation of *Melissa officinalis* L. through proliferation of axillary shoots. *Plant Cell Reports*, 15, 441-444.
37. Thakur, P., Kumari, N., & Chadha, S. (2023). Development of an efficient *in vitro* regeneration system in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*), a highly recommended vegetable crop. *Plant Physiology Reports*, 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40502-023-00739-3>
38. Ulgen, C., Yıldırım, A., & Turker, A. (2020). Enhancement of plant regeneration in lemon balm (*Melissa officinalis* L.) with different magnetic field applications. *International Journal of Secondary Metabolite*, 7(2), 99-108.
39. Yakimova, O. V., & Yegorova, N. A. (2020). Investigation of *Melissa officinalis* L. callusogenesis during long-term cultivation *in vitro*. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Animal*, 56(S1), 64-64
40. Yakimova, O. V., & Yegorova, N. A. (2021). Optimization of *in vitro* rooting and *ex vitro* adaptation conditions of *Melissa officinalis* L. microshoots during clonal micropropagation. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 937(4), p 042093. IOP Publishing.
41. Zam, W., Quispe, C., Sharifi-Rad, J., López, M. D., Schoebitz, M., Martorell, M., ... & Pezzani, R. (2022). An updated review on the properties of *Melissa officinalis* L.: Not exclusively anti-anxiety. *Frontiers in Bioscience-Scholar*, 14(2), 16.
42. Zhang, W., & Dai, W. (2023). *In vitro* plant regeneration of 'Prelude' red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 59, 461-466.
43. Zheng, M., Yang, H., Yang, E., Zou, X., Chen, X., & Zhang, J. (2022). Efficient *in vitro* shoot bud proliferation from cotyledonary nodes and apical buds of *Moringa oleifera* Lam. *Industrial Crops and Products*, 187, 115394.

Bölüm 3

Nanoteknolojinin Endüstriyel Uygulamalardaki Yeri ve Önemi

Yalçın ALTUNKAYNAK¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi.; Batman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü. altunkaynak4772@gmail.com ORCID No0000-0003-2562-9297

ÖZET

GİRİŞ

Nanoteknoloji, kelime anlamı olarak Yunancada nano (küçük) anlamında kullanılmaktadır (Aluya, 2015:31). Bununla birlikte fiziki bir büyüklüğün milyarda biri olarak ta ifade edilmektedir (Cassidy, 2007: 109). Nanoteknoloji; Maddelerin atomik düzeyde (10^{-9} m) işlem görmesi sonucu daha az madde ve enerji ile daha hafif, sağlam, ekonomik ve hızlı ürünlerin üretilmesini amaçlayan teknolojik bir alandır.

Nanoteknolojik alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde bu teknolojinin genel olarak moleküler ve yapısal olarak iki ana başlık altında incelendiği görülmüştür. Yapısal olarak nano teknoloji nano boyutta kristal ve moleküllerle uğraşırken, moleküler yapıda ise motor, hücre ve robotlardan oldukça küçük bilgisayar ile oluşturulmuş moleküller ile ilgilenir (Lele, 2009: 229).

Son zamanlarda nanoteknoloji üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde günlük yaşamı kolaylaştıracak çalışmaların çok daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte savunma sanayindeki çalışmaları ve etkileride göz önünde bulundurulmalıdır (Yusuf, 2019:33).

Günümüzde toplumların gelişimini sağlayan en önemli etkenler arasında teknoloji ilk sıralarda bulunmaktadır. Tarih boyunca teknolojinin gelişim aşamaları her geçen gün daha da hızlı bir şekilde artarak devam etmektedir. İnsanoğlunun yeni bir şeyler öğrenme ve keşfetme merakıyla birlikte teknoloji günden güne hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Teknolojinin gelişmesiyle daha önceki teknolojilerin etkileri ya azalmakta ya da tamamen ortadan kalkmaktadır. Çağımızın teknolojisi olarak ifade edilen nanoteknoloji fen bilimleri, mühendislik, sağlık başta olmak üzere birçok bilim ve disiplinden oluşmaktadır (Yusuf, 2019:33).

Nanoteknolojiler, askeri uygulama ve platformlarda devrim niteliğinde teknolojik değişiklikler getirme eğilimindedir. Savunma ile ilgili platformlarda kullanılacak olan teknolojiler; aerodinamik, hareket kabiliyeti, görünmezlik, algılama, güç üretimi ve yönetimi, akıllı yapılar ve malzemeler, resilience ve robustness şeklindedir. Nanoteknolojilerin bilgi ve sinyal işleme, gözetleme ve istihbarat ve otonomi konularında kullanılması ise savaş uzayını değiştirebilecektir. Özellikle bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, hedef tespiti, yeni ve alışılmamış elektronik gösterge panelleri ve arar yüz sistemlerinde, mini insansız hava araçları ve robotların geliştirilmesinde ana rolü oynayacaktır.

Nanoteknolojilerin kullanılması ile geliştirilip, ortaya çıkacak yeni malzemeler, yeni özelliklere sahip yüksek performanslı sistem ve yapıların dizayn ve geliştirilmesi ile sonuçlanacaktır. Bu sistemler yüksek fonksiyon gösterecek ve bakımları ucuz olacaktır (EI-Fatraty, 2005: 5).

Gelişmekte olan yeni kabiliyet ve vizyon: Mikro ve nanoteknoloji gibi gelişmekte olan yeni bilimler malzeme özelliklerini önemli ölçüde değiştirerek, mevcut ve gelecekte dizayn edilecek platformların özelliklerini değiştirecek ve yeni özellikler katacaklardır. Nano değişimlerin makro etkileri geleceğin askeri personeli, onun malzemesi ve geleceğin savaşları üzerinde önemli etkileri olacaktır. Özellikle belirtmek gerekir ise bu teknolojiler, yüksek algılama kabiliyetli biyolojik ve kimyasal sensörler, biometrics, çoklu sensör ve analiz sistemleri, analitik mikrosistemler gibi yeni sensörler için gerekli malzemelerin geliştirilmesini sağlayacaktır. Listeyi uzatmak mümkündür, ancak kısa ve orta vadede fayda sağlaması beklenen gelişmeler şu şekilde sıralanabilir.

- İnsansız mini araçlarda ve personel tarafından kullanılmak üzere Mikro Radar
 - Yüksek hassasiyetli Termal IR sensörler
 - Portatif ve giyilebilen atalatsel seyrüsefer sistemleri
 - Yüksek hassasiyetli, minyatür kamera sistemi
 - Biyolojik ve kimyasal sensörler
- Gömülü, akıllı ve sürekli hayatta kalabilen sağlık durumu kontrol sensörleri
 - Malzemenin ve mühimmatın durumunu sürekli kayıt eden sistemler
 - İlaç ve besin maddesi dağıtımsensörü ve sistemi
 - Malzeme ve sensör arasında emniyetli RF telsiz haberleşme bağı
 - Nano enerjetik roket yakıtları ve patlayıcılar
 - Güç üreteçleri, bataryalar ve yakıt hücreleri

Uzun vadede, nanoteknolojinin aşağıdaki uygulamaları beklenmektedir

- Malzeme yüzeylerinin korozyona uğramayacak, zor aşınacak şekilde işleme tabi tutulması, sürtünmesiz kaplamalar
 - Askerler için koruyucu elbise
 - Görünmezlik sağlayan elbiseler
 - Buzlanmayı önleyici kompozit ve malzemeler
 - Kendi kendinin tamir eden malzemeler
 - Akıllı yüzey malzemeleri
 - Ortama uyabilen kamuflaj
 - Darbeye dirençli rheo fluidic sistemler
 - Reaktif nano zırh kompozitleri
 - Biyo aktif kumaşlar
 - Elektronik kumaşlar
 - Ortama uyabilen kumaşlar
 - Yapı malzemeleri

- Yüksek performanslı kaplamalar
- Katalizörler
- Elektronik
- Fotonik
- Manyetik malzemeler
- Biyomedikal malzemeler

Geliştirilen örnekler: Genel olarak, sahip olduğu özellikler ile yukarıda belirtilen fonksiyonları aşağıdaki ana karakteristikleri sağlayarak gerçekleştirmektedir. Bunlar; Hafiflik, Radyo frekans özelliklerinin sağladığı kamuflaj, görünmezlik gibi özellikler, Yüksek şekillendirme kolaylığı, Yüksek darbe ve sertlik mukavemeti, şeklindedir.

Nanokompozitler, çizilmeye karşı mukavemetli, hafif ve paslanmama gibi özellikleri ile mukavemetin yükselmesini ve ağırlığın azalmasını sağlayarak ömrün uzamasına ve kullanılan yakıtın azalmasına olanak verirler. Açıkçası bu malzemeler, savunma alanında konvansiyonel araçlar ile çok gelişmiş mini ve mikro insansız araçlarda çok geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Enerji üretiminde verim artışı nanoteknoloji kullanılarak sağlanabilmektedir. Nanoteknoloji ile ticari kullanıma sunulan Cerium oksit, Oxonica, yakıtların yanma karakteristiklerini değiştirerek daha fazla enerji alınmasını sağlamaktadır. Yakıtların yüksek verimle yanması, depolama ve kullanımda da büyük tasarruf sağlamaktadır. Dolayısıyla askeri hareket senaryolarının planlanmasında önemli bir olumlu faktör oluşmaktadır (EI-Fatraty, 2005: 5)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Ulusal Savunmada Nanoteknoloji

Günümüzde toplumların gelişimini sağlayan en önemli etkenler arasında teknoloji ilk sıralarda bulunmaktadır. Tarih boyunca teknolojinin gelişim aşamaları her geçen gün daha da hızlı bir şekilde artarak devam etmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle daha önceki teknolojilerin etkileri ya azalmakta ya da tamamen ortadan kalkmaktadır. Nanoteknoloji çağımızın yeni teknolojileri arasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Oldukça hızlı bir şekilde ilerleyen bu teknoloji tüm alanlarda etkisini hissettirmeye başlamıştır. Savunma sanayi bu teknolojinin oldukça önemli alanlarından biridir. (Yusuf, 2019:33)

2.1.1. Nanoteknoloji ve Savunma Sanayi

Nanoteknoloji, savunma sanayi alanında çok çeşitli uygulamalara sahip potansiyele sahiptir (Rai ve Rai, 2017:61). Bu teknolojinin askeri alanlarda

özellikle savunma ve taarruzi silah sistemlerinin geliştirilmesi ve askeri teçhizatın iyileştirilmesi üzerine odaklanması beklenmektedir (Czerwinska, 2014: 536). Nanoteknoloji ile mevcut silah sistemleri daha etkili hale getirilecek ve yeni silah sistemleri ve teçhizatlar üretilebilecektir. Örneğin, Nanoelektronikler, bilgi sistemlerinin performansını artırırken, nanomalzemeler silahları hafifletip etkili kılar. Nanorobotlar ise düşmana saldırı yapma ve düşmanın elindeki sistemleri imha etme potansiyeline sahiptir. Bu sayede savunma sanayi, nanoteknolojinin sunduğu avantajları kullanarak daha üstün ve etkili silah ve teçhizatlar geliştirebilir. Ancak bu tür uygulamalarda etik ve güvenlik konularına da dikkat edilmelidir. Nanoteknolojinin askeri kullanımları, uluslararası topluluklar ve ülkeler arasında tartışmalı bir konudur ve iyi bir şekilde düzenlenmelidir. Teknolojinin etik ve insancıl kullanımı önemlidir ve bu tür uygulamaların toplumların ve dünyanın barış ve istikrarına katkı sağlayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir.

Nanoteknolojinin savunma ve güvenlik alanında kullanımına yönelik ilk somut çalışmalar, ABD Ulusal Nanoteknoloji İnisiyatifi'nin (NNI) 2001'de kurulmasıyla başlamıştır. Bu alanda nanoteknoloji, askeri teçhizatın verimliliğini artırmak ve silah sistemlerini geliştirmek için önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak, etik ve güvenlik konularının gözetilmesi gerekmektedir.

Nanoteknolojinin askerî alandaki sağlayacağı faydalar dört temel başlık altında özetlenebilir: ucuzluk, hafiflik, küçüklük ve hızlilik. Nanoteknoloji, askeri teçhizat ve silah sistemlerini geliştirirken maliyetleri düşürmeyi, daha hafif ve taşınabilir ekipmanlar sağlamayı, boyutları küçültmeyi ve daha hızlı performans elde etmeyi mümkün kılar. Bu sayede askerî operasyonların daha etkin ve verimli bir şekilde yürütülmesi hedeflenir. Ancak, bu avantajların yanı sıra etik ve güvenlik konularının önemli olduğu unutulmamalı ve teknolojinin sorumlu bir şekilde kullanılması sağlanmalıdır.

Nanoteknolojinin asıl geliştirilme amacı, insanların faydasına yönelik uygulamalardır. Ancak, aynı zamanda askerî alandaki potansiyel uygulamaların yaygınlaşması, nanoteknolojinin insanlar için bir tehlike olarak algılanmasına neden olabilir. Nanoteknolojiye yönelik farkındalığın artması ve güvenlik kaygılarının artması, bu alanda yapılan çalışmaların hız kazanmasına neden olabilir. Bu nedenle, teknolojinin etik ve güvenlik konularının göz önünde bulundurularak sorumlu bir şekilde kullanılması önemlidir.

Nanoteknoloji, askerî alanda artan öldürücü etki, daha yüksek koruma, uzun bir süre hayatta kalma ve kendini destekleme kabiliyeti gibi üstün bir potansiyel sağlayabilir (Yusuf, 2019:33). Araştırmacıların hayal gücünü aşan birçok potansiyel kullanım alanı bulunmaktadır (Güvenç, 2007: 3). Nanoteknoloji, yeni

silah sistemlerinin üretimini mümkün kılarak askerî birliklerin harekât alanındaki hız ve gücünü daha da etkili hale getirebilir. Kısacası, nanoteknoloji askerî alanda bir kuvvet çarpanı olma potansiyeline sahiptir. Ancak, bu alanın etik ve güvenlik konularının dikkate alınması önemlidir.

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) bünyesinde faaliyet gösteren Askerî Nanoteknoloji Enstitüsü (Institute for Soldier Nanotechnologies - ISN), askerler için balistik koruma sağlayan, yaralanmaların iyileştirilmesini destekleyen ve biyolojik, kimyasal tehditlere anında tepki verebilen kıyafetlerin üretimi için yoğun bir ArGe çalışması yürütmektedir. Askerî nanoteknoloji çalışmaları, beş temel araştırma alanında yoğunlaşmaktadır. Bu alanlar şunlardır:

- Balistik koruma,
- Yaralanmaların hızlı iyileştirilmesi,
- Biyolojik ve kimyasal ajanlara karşı anında tepki gösterme,
- Askerî personelin durumsal farkındalığının artırılması
- Askerî teçhizatın hafifletilmesi ve konforunun artırılması.

Bu şekilde, askerlerin güvenlik ve performansını artırmak için nanoteknoloji alanındaki çalışmaları ileriye taşımak ve yenilikçi çözümler geliştirmek amaçlanmaktadır (Roco, 2011: 427).

Türkiye'de nanoteknolojinin askerî uygulamaları üzerine birçok proje başlatılmış olsa da, henüz bu alandaki çalışmaların istenen düzeyde olduğunu söylemek zor. Ancak, özellikle Bilkent Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (NANOTAM) tarafından yürütülen "Nanoaygıt" projesi, Türkiye'nin askerî uygulamalar alanında gerçekleştirdiği ilk ve önemli bir adımı temsil ediyor. Bu heyecan verici projede, füze ikaz ve gece görüş sistemlerini daha hassas ve uzaktan görüntüleme imkânı sunacak nano ışık kaynakları ve nano fotodedektörler tasarlanıp üretilmiştir. Bu çalışmalar, Türk Silahlı Kuvvetleri'nin elektrooptik sistemlerine boyut, ağırlık ve güç tüketimi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Projede aynı zamanda biyolojik ve kimyasal ajanlara duyarlı yüksek hassasiyetli nanobiyosensörler ve kimyasal nanosensörler de geliştirilmiştir. Bu sayede, potansiyel tehditlerin erken tespit edilmesi ve müdahale edilmesi için güçlü bir teknolojik destek sağlanmıştır. Nanoaygıt projesi, ülkemizin bilimsel araştırmalardaki yetkinliğini ve savunma teknolojilerindeki ilerlemesini vurgulayan bir örnek olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'nin nanoteknoloji alanındaki çabaları ve NANOTAM'ın önemli rolü, gelecekte daha da büyük başarılarla yol açacağı umuduyla gurur duyulacak bir başarıdır. Bu sayede, askerî teçhizat ve sistemlerin güncel ihtiyaçlara uygun şekilde geliştirilmesi ve modernizasyonu için önemli bir adım atılmıştır.

Gelecekte daha fazla nanoteknoloji tabanlı projelerin yürütülmesi, ülkenin askerî alandaki teknolojik gücünün artmasına ve savunma kapasitesinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Nanoteknolojinin muhteşem potansiyeli, askeri üniformaları gerçek bir dönüşüme uğratarak çok yönlü özelliklerle donatma şansını sunuyor. Artık askeri personel, kimyasal, biyolojik ve radyolojik saldırılara karşı korunma sağlayan üniformalar sayesinde güvenle görev yapabilecek. Nanomalzemeler ve nanokaplamaların eşsiz özellikleri sayesinde üniformalar, kinetik enerjili tehditlere, bomba ve mayınlara karşı da balistik koruma sağlayacak şekilde tasarlanıyor. Bu da askerlerin sahadaki güvenliğini artırıp daha etkin bir şekilde çalışmasını mümkün kılıyor. Bununla birlikte, hızlı hareket etme kabiliyeti ve hafiflik, askeri operasyonlarda kritik öneme sahip. Nanoteknoloji, askeri üniformaları daha hafif ve esnek hale getirerek askerlerin hareket özgürlüğünü artırmak için yeni fırsatlar sunuyor. Böylece askerler, zorlu koşullarda bile daha hızlı ve daha çevik bir şekilde tepki verebilecek. Nanoteknolojinin askeri alanında sağladığı bu büyüleyici ilerlemeler, askerlerin görevlerini daha güvenli, daha etkin ve daha başarılı bir şekilde yerine getirmesine yardımcı oluyor. Bu sayede, gelecekte askeri personelin sahadaki performansı daha da üst seviyelere taşınacak ve ülkemiz savunmasının gücü artacaktır. Nanoteknolojinin bu uygulamaları, askerî teçhizatın modernizasyonunda önemli bir rol oynayarak, askerlerin güvenliği ve etkinliği üzerinde olumlu etkiler sağlayacaktır. Bu gelişmeler, askerî alanın gelecekteki ihtiyaçlarına daha iyi cevap verebilecek, üniformaların ve teçhizatın performansını artıracak bir dönüm noktası olacaktır (Ngô vd., 2014: 413).

2.1.2. İstihbarat Alanında Nanoteknoloji

Nanoteknolojinin harekât alanında anlık istihbaratın üretilmesi ve dağıtılması için geliştirilen hassas nanosensörler, savunma çalışmalarında kritik bir rol oynamaktadır. Bu teknolojik mucizeler, askeri nanoteknoloji araştırmalarının vazgeçilmez unsurlarından birini oluşturuyor. Nanosensör sistemleri, görevlerin etkin bir şekilde yerine getirilmesi için hayati önem taşıyor. Nanoteknoloji sayesinde üretilen bu hassas nanosensörler, mayın tespiti gibi kritik görevlerin yanı sıra sınır bölgelerinde terörist geçişlerini tespit ve teşhis etme yeteneği sağlıyor. Bu da askeri birimlerin güvenliğini ve sınır korumasını büyük ölçüde artırıyor. Özellikle yüksek görüntü hassasiyetine sahip nanosensörler, düşman konuş kuruluşunu belirlemeden terörist faaliyetlerin doğası ve verilen hasarın tespiti gibi istihbarat üretimi için kritik bir rol oynamaktadır. Bu hassas teknoloji, hızlı ve doğru istihbaratın sağlanması açısından kritik önem taşımaktadır. Nanoteknolojinin sunduğu bu ileri seviye

nanosensörler, askeri operasyonların etkinliğini artırarak güvenlik güçlerimizin daha bilinçli, daha güvenli ve daha başarılı bir şekilde hareket etmesini sağlayacaktır. Dolayısıyla, bu yenilikçi teknolojinin savunma ve güvenlik alanındaki etkisi gelecekte daha da artacak ve ülkemizin güvenlik kabiliyetini güçlendirecektir (Miller ve Kearnes, 2012: 1). Nanoteknoloji, Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer (KBRN) serpiyelerin ölçümü konusunda yeni bir çağ açıyor. Nano seviyede üretilen sensörler, bu alanda daha hassas ve etkili bir yöntem sunuyor. Özellikle biyo-terörizm tehditlerine karşı mücadelede, nanosensörler sayesinde daha etkili önlemler almak mümkün olacaktır. Nanosensörlerin sahip olduğu özellikler, insansız hava ve kara araçlarının büyük avantaj sağlamasını mümkün kılıyor. Bu teknoloji sayesinde harekât alanları daha etkin bir şekilde gözetlenebilir ve dost birliklerin güvenliği daha iyi sağlanabilir. Ayrıca terörizm faaliyetleri erken aşamada tespit edilerek daha hızlı müdahale edilebilir. Bu gelişmeler, ülkemizin savunma ve güvenlik stratejilerine büyük katkı sağlayacaktır. Nanoteknolojinin getirdiği bu yeni olanaklar, KBRN tehditleriyle başa çıkmada daha güçlü ve etkili bir şekilde hareket etmemizi sağlayacak. Böylece toplumumuzun güvenliğini ve refahını koruma konusunda daha büyük bir adım atmış olacağız (Miller ve Kearnes, 2012: 1). Ancak, nanoteknoloji ürünlerinin terörist örgütler tarafından da geliştirilebilme olasılığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, doğru ve zamanında elde edilen istihbaratın önemi her zamankinden daha fazladır. Geleneksel silah sistemlerine karşı alınabilecek önlemlerin aksine, nano seviyede üretilen silahların tespiti ve engellenmesi zorluğuyla karşılaşılabilir. Sonuç olarak, nanoteknolojinin askerî alanda kullanımı önemli faydalar sağlayabilirken, aynı zamanda yeni güvenlik zorlukları da beraberinde getirecektir. İstihbaratın doğru ve etkin şekilde elde edilmesi, nanoteknolojinin askerî alandaki potansiyel tehlikeleriyle mücadelede kritik bir rol oynayacaktır (McGuinness, 2005: 1).

2.2. Çekirdek Kabuk Yapıların İlaç Salımında Kullanımı

Son yıllarda, nano boyutta malzeme sentezlemesi, pek çok araştırmacının yoğun olarak çalıştığı bir araştırma konusu haline gelmiştir, çünkü teknolojik uygulamalarının sayısı giderek artmaktadır. Nano boyutlu malzemeler, kimya, elektronik, biyomedikal, optik, kataliz gibi birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Çekirdek/kabuk tipi nanoparçacıklar, benzersiz özellikleri sayesinde oldukça önemli avantajlar sunmaktadır. Bu yapılar, çekirdek kısmında ferromanyetik veya süperparamanyetik özelliklere sahipken, dış katmanlarda ise antiferromanyetik veya ferrimanyetik bir malzemeye sahiptir. Bu özel tasarım, termal ve kimyasal kararlılığı arttırmakla kalmaz, aynı

zamanda çekirdeği oluşturan malzemenin kabukla kaplanması, malzemenin yükselgenmesini engelleyerek dayanıklılığını artırır. Bu da nanoparçacıkların daha uzun ömürlü olmasını ve çeşitli uygulamalarda daha etkin şekilde kullanılmasını sağlar. Ayrıca, çekirdek/kabuk yapıları, çekirdek malzemesinin dış katmanla kaplanmasıyla oluşan iki veya daha fazla katmanın farklı fiziksel özelliklerini birleştirerek yeni özelliklerin ortaya çıkmasına olanak tanır. Bu da nano boyutlu yapıların kendi özelliklerinin yanı sıra, yeni yapısal, magnetik, optik, termal ve/veya elektriksel özellikler kazanmasını sağlar. Çekirdek/kabuk tipi nanoparçacıklar, bilim ve teknolojiye çeşitli alanlarda kullanım potansiyeli sunar. Bu yapılar, ileri teknolojilerin geliştirilmesine katkıda bulunurken, farklı uygulamalarda da benzersiz çözümler sunarak araştırmacıların ve mühendislerin yaratıcılığını ve keşiflerini destekler. Bu gelişmeler, nanoteknolojinin ilerlemesi ve farklı alanlardaki uygulamaları için heyecan verici yeni perspektifler sunmaktadır. Çekirdek/kabuk yapıları nanoparçacıklar, malzemelerin özelliklerini özelleştirme ve farklı amaçlara hizmet etme potansiyeline sahip yaratıcı bir yaklaşım olarak bilim ve endüstrinin dikkatini çekmektedir (Adanur vd., 2020:45)

Nanoteknolojinin keşfi, bilim insanlarını nano ölçekteki malzemelerin özgün özellikleriyle ilgilenmeye yönlendirmiştir. Elektro eğirme yöntemi, elektrostatik bir fiber üretim tekniği olarak, çok yönlü ve potansiyel dolu uygulamaları nedeniyle son yıllarda artan ilgi ve araştırmaların merkezinde yer almıştır. Bu yöntemin dikkat çeken uygulamaları arasında doku mühendisliği, biyosensörler, filtrasyon, yara bantları, ilaç dağıtımı ve enzim yakalaması bulunmaktadır. Nişasta, düşük maliyeti, kolay bulunabilirliği ve biyomedikal araştırmalarda değerli bir polimer olması sebebiyle nano ölçekli çalışmalarda sıkça kullanılan bir malzemedir. Bu polimer, toz ve film formunda doku mühendisliği ve hemostatik uygulamalarda kullanılmıştır. Ancak, nişastanın dallı amilopektin yapısı nedeniyle lifli formda üretilmesi oldukça zor olmuştur. Elektro eğirme yönteminin yaygınlaşması sayesinde, lifli nişasta formuyla ilgili çalışmalar birçok uygulamada görülmeye başlanmıştır. Bu gelişmeler, nanoteknolojinin ve elektro eğirme yönteminin bilim ve endüstrideki etkisini artırmış ve gelecekte daha da çeşitli ve ilgi çekici uygulamaların keşfedilmesine olanak tanımıştır (Sınar, 2019:53).

1980'lerden itibaren üretimi yaygınlaşan mühendislik nanomalzemeleri, günümüzdeki en son teknolojilerin temelini oluşturmaktadır. Organik ve inorganik bileşiklerin nanometre boyutundaki yapıları, "nano parçacık" olarak adlandırılmaktadır ve bu nanoparçacıkların boyutları, biyolojik sistemlere kolayca entegre olmalarını sağlamaktadır. Nanomalzemelerin bu özel özellikleri, birçok alanda heyecan verici fırsatlar sunmaktadır. Özellikle tıp,

elektronik, malzeme bilimi, enerji ve diğer birçok sektörde çeşitli uygulamalar için büyük potansiyel taşımaktadırlar. Biyomedikal alanda, nano parçacıkların biyolojik sistemlerle uyumlu olması, tıbbi tedavilerin daha etkili ve hassas hale gelmesine olanak tanımaktadır. Nanomalzemelerin bilimsel ve endüstriyel kullanımı, araştırmacıları ve mühendisleri daha da ileriye taşımakta ve yenilikçi çözümler sunmaya teşvik etmektedir. Hızla gelişen bu teknoloji sayesinde, gelecekte nanomalzemelerin hayatımızın daha pek çok alanında karşımıza çıkacağı ve önemli bir role sahip olacağı öngörülmektedir.

Nanomalzemeler, sanayi sektöründe büyük ekonomik potansiyele sahip olmalarının yanı sıra, beraberinde bazı potansiyel sağlık ve çevre riskleri de getiriyor. Bu nedenle, bilim dünyası bugün, nanoparçacıkların optik ve elektronik cihazlar üzerindeki kullanımıyla birlikte, nanomalzemelerin çevresel risklerini ve etkilerini de inceliyor. Nanomalzemelerin düşük çözünürlüğe veya bozunurluğa sahip olmaları, biyolojik sistemlerde birikme eğilimine yol açabilir. Bu da uzun süreli maruz kalmanın olası sağlık sonuçlarını endişe verici hale getiriyor. Ayrıca, bu parçacıklar besin zincirinde biyobirikim ve biyodegradasyon süreçlerine tabi olduklarında, ekotoksikolojik etkilere neden olabilirler. Bu nedenle, nanomalzemelerin çevresel etkilerini ve risklerini anlamak ve kontrol altına almak, bilim insanları için öncelikli bir konudur. Çevre dostu ve sürdürülebilir bir yaklaşımla nanomalzemelerin potansiyel tehlikeleri azaltılabilir ve bu önemli teknolojilerin güvenli bir şekilde geliştirilmesi sağlanabilir. Bilimsel araştırmalar ve ileri düzeydeki çalışmalar, nanoteknolojinin sanayi ve yaşam kalitesini olumlu şekilde etkilemesini sağlarken, aynı zamanda çevre ve insan sağlığına olan etkilerini en aza indirmek için önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, günümüzde nanomalzemeler, yaşantımızı tehdit eden bir unsur olarak kabul edilmektedir. Nanomalzemelerin eşsiz özellikleri ve yaygın kullanımı, çevresel endişeleri arttırıyor, çünkü toksisiteleri ve organizmalar üzerindeki etkileri hala tam olarak anlaşılmamış durumda. Bu nedenle, nanomalzemelerin ekosistemdeki olası etkilerini anlamak için farklı araştırma yöntemleri ve araçlar kullanılıyor. Atık sular, içme ve kullanma suları, yüzey suları, toprak, hava ve bitkiler, nanomalzemelerin çevresel etkilerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Bu çevresel öğeler üzerinde yapılan araştırmalar, nanomalzemelerin ekosistemlere olan etkilerini anlamak için değerli bilgiler sağlar. Çevresel endişelerin artmasına rağmen, bilim dünyası bu alanda sürekli olarak çalışmalar yürüterek, nanomalzemelerin güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlamak için çaba harcıyor. Nanomalzemelerin çevresel risklerini anlamak ve yönetmek, ilerlememizi sürdürülebilir bir geleceğe taşımak için önemli bir adımdır. Dolayısıyla, nanomalzemelerin potansiyel çevresel etkilerini daha iyi anlamak ve kontrol

altına almak, çevreye olan sorumluluğumuzun bir göstergesidir. Bu nedenle, nanomalzemelerin çevreye salınımı ve etkileri konusunda daha fazla araştırma yapılması ve önlemler alınması gerekmektedir. Nanoteknolojinin ilerlemesiyle birlikte, çevresel riskleri minimize etmek için bilimsel olarak güvenli kullanım yöntemleri ve uygun düzenlemelerin de geliştirilmesi önem taşımaktadır (Lin vd., 2009:229)

Nanoteknoloji ve nano ürünler, tarım, gıda, sağlık gibi birçok alanda büyüleyici bir ilerleme kaydederek yüzyılın en önemli keşfi olarak kabul ediliyor. Ancak, bu yeni teknolojinin sağlık etkileri ve diğer potansiyel riskleri hala tam olarak anlaşılammıştır. Bu nedenle, nano ürünlerin üretimi, kontrolü ve güvenliği için ulusal ve uluslararası yasal düzenlemelerin derhal hayata geçirilmesi gerekmektedir. Önemli olan, bu düzenlemelerin sağlık ve güvenlik odaklı olması ve olumsuz etkilerin belirlenmesine yönelik araştırmaların desteklenmesidir. Nanoteknoloji ve nano ürünlerin avantajlarını tam anlamıyla yaşayabilmek için potansiyel risklerin de önceden bilinmesi ve giderilmesi önemlidir. Bu düzenlemelerin uygulanması, nano ürünlerin kullanımında ortaya çıkan endişeleri azaltacak ve toplumun bu teknolojiden en üst düzeyde fayda sağlamasına imkan tanıyacaktır. Aynı zamanda, çevre ve insan sağlığının korunması için gerekli tedbirlerin alınmasını sağlayarak geleceğimizi güvence altına alacak önemli bir adım olacaktır. Bu şekilde, nanoteknoloji ve nano ürünlerin potansiyelini en üst düzeyde değerlendirmek, aynı zamanda toplumun güvenliği ve refahı açısından da hayati bir önem taşımaktadır. Bilimsel araştırmalar ve sağlam yasal düzenlemeler sayesinde, bu heyecan verici teknolojinin gücünden tam anlamıyla yararlanmak ve olumlu etkilerini en üst düzeye çıkarmak mümkün olacaktır. Güvenli bir şekilde kullanıldıklarında, nanoteknoloji ve nano ürünlerin sağlık, tarım, gıda gibi alanlarda getireceği faydalar büyük olacaktır. Ancak, potansiyel riskler ve olası yan etkiler konusunda da dikkatli olunması gerektiği unutulmamalıdır. Bilimsel araştırmalar ve düzenlemelerle bu yeni teknolojinin sağlık ve çevre üzerindeki etkileri daha iyi anlaşılacak ve güvenli bir kullanım sağlanacaktır (Güler vd., 1069)

2.3. Magnetik Nanotaneciklerin Teshis Ve Tedavide Kullanımı

Nanoteknoloji, doğanın hassas dengesine odaklanarak, ekolojik sistemlerin temel sorunlarını ele alan ve bu sorunları diğer bilim dallarıyla işbirliği içinde çözmeyi hedefleyen heyecan verici bir bilim dalıdır. Nanocihazlar sayesinde nesneleri moleküler düzeyde inceleyerek, artan nüfusun getirdiği sorunlara çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Nanoteknoloji, birçok alanda çok yönlü bir bilim dalı olarak karşımıza çıkmaktadır. Nanoteknoloji, tıp ve biyomedikal

alanlardan çevre dostu nanomateryal üretimine, çevre kirliliğinin kontrolünden kozmetik ve optiğe, tekstilden elektroniğe kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu heyecan verici teknoloji, insan vücudundaki biyolojik yapıların nano boyutlarda olmasından dolayı, nanopartikül ve nanomateryallerin doğal engelleri kolayca aşarak hayati moleküllere, hücre içi organlara, dokulara, hücrelere ve organizmalara ulaşabilmesini mümkün kılar. Özellikle, nanoteknoloji ile üretilen nano boyutlu yapıların yüzey özellikleri, materyallerin kullanımı açısından büyük öneme sahiptir. Yüzey modifikasyon yöntemleri ile bu materyaller fonksiyonel hale getirilebilir ve biyoyumluluk özelliği artırılabilir. Bu da nanomateryallerin tıp ve biyomedikal uygulamalarında, özellikle biyolojik sistemlerle etkileşimi açısından önemli avantajlar sunar. Nanoteknoloji sayesinde, daha verimli ve çevre dostu malzemeler üretilerek, çeşitli endüstrilerde kullanımı yaygınlaşmıştır. Aynı zamanda, tıp ve biyomedikal alanda da tedavi yöntemlerinde ve tanı teknolojilerinde devrim yaratan yenilikçi çözümler sunulmuştur. Tüm bunlar, nanoteknolojinin gelecekte de yaşam kalitesini artırma potansiyelini vurgulayan önemli bir gelişmedir. Bu da medikal uygulamalar için oldukça popüler ve yenilikçi yaklaşımlar sunar. Günümüzde üretilen biyoyumlu nanomateryaller, nanocihazlar ve nanosistemler, tıp alanında çeşitli tedavi ve teşhis yöntemlerinde kullanılmaktadır. Nanoteknolojinin bu geniş uygulama alanları, gelecekte daha da geliştirilerek insan hayatına fayda sağlayacak yeni buluşlara ve yeniliklere kapı açmaktadır. Ancak, bu alanda yapılan çalışmalarda güvenlik ve etik gibi konuların da göz önünde bulundurulması önemlidir. Bilimsel araştırmalar ve uygun düzenlemelerle nanoteknoloji alanındaki potansiyel riskler en aza indirilebilir ve bu teknolojinin sağlık, çevre ve diğer alanlardaki olumlu etkileri daha da artırılabilir. Nanoteknoloji, doğanın mükemmel dizaynından ilham alarak, insanlığın önündeki zorlu sorunları çözmek ve geleceğe sürdürülebilir bir dünya bırakmak için umut vaat eden bir bilim dalıdır. Bu büyüklü dünyanın içinde, bilim insanları ve uzmanlar bir araya gelerek, nanoteknolojinin potansiyelini keşfetmeye ve insanlığın refahını artırmak için büyük adımlar atmaya devam edecektir.

Nanoteknoloji, maddenin atomik ve moleküler düzeyde yönlendirilerek özelliklerinin değiştirildiği, yeni yapıların oluşturulduğu bir bilim dalıdır. Bu heyecan verici alanda elde edilen materyaller, 1-100 nanometre boyut aralığında yer alır ve bu ölçekteki çalışmalarla yeni ve etkileyici sonuçlara ulaşılır. Nanoteknoloji, birçok farklı disiplinin bir araya gelerek köklü değişiklikler yarattığı, çok yönlü bir bilim dalıdır. Sağlık alanında nanoteknolojinin en önemli uygulamalarından biri, nanotıp olarak karşımıza çıkar. Bu alanda yapılan araştırmalar, tıbbi cihazları ve uygulamaları genişleterek ve geliştirerek

hastalıkların teşhis ve tedavisini kolaylaştırmayı hedefler. Nanoteknolojinin sağlık alanında sunduğu uygulamalar, hastalıkların erken teşhisini ve kişiselleştirilmiş tedavi yöntemlerinin kullanımını sağlayarak büyük bir devrim yaratıyor. Nano görüntüleme ve teşhis cihazları, doğal veya sentetik nano boyutlu materyallerin kimyasal, fiziksel, elektriksel, optik ve biyolojik özelliklerinden faydalanarak patolojik süreçlerin erken tespitini ve önlem alınmasını mümkün kılıyor. Nanotıp, hastalıkların erken teşhisini sağlayarak hedefe yönelik tedavilerin geliştirilmesini kolaylaştırıyor. Doğal engelleri aşabilen nano boyutlu materyaller, canlı vücudundaki biyolojik bariyerleri aşarak tanı, tedavi ve tedavi yanıtlarının takibini kolaylaştırıyor. Bu da hastalıkların daha etkin bir şekilde tedavi edilmesine olanak tanıyor ve sağlık alanında devrim niteliğindeki yeni yaklaşımların önünü açıyor. Nanoteknoloji sayesinde, hastalıkların daha erken dönemlerde tespit edilmesi, tedavilerin daha etkili bir şekilde uygulanması ve kişiselleştirilmiş sağlık çözümlerinin geliştirilmesi mümkün oluyor. Bu da hastaların yaşam kalitesini artırırken, sağlık hizmetlerinin verimliliğini ve etkinliğini de artırıyor. Nanoteknolojinin sağlık alanındaki başarıları, gelecekte daha da ileriye taşınacak ve insanlığın sağlıkla ilgili pek çok sorununa çözümler sunacak önemli bir adımdır. Malzeme ve biyoteknoloji alanlarındaki nanoteknolojik gelişmeler, gelecekte büyük ilerlemelerin yaşanacağına dair yaygın bir inanç doğurur. Özellikle nanoteknoloji ve nanotıp birlikteliği, nükleer tıp tekniklerinde (SPECT, SPECT/BT, PET, PET/BT) ve yeni nanopartiküler ilaç taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesinde büyük potansiyel sunar. Bu çalışma, nanoteknoloji ve nanotıp uygulamaları ile ilgili odaklanarak klinik uygulamalardaki gelişmeleri ve kullanılan sistemleri ele almaktadır. Ayrıca nanobiyoteknoloji ve nanotıp alanında kullanılan yeni tedavi yöntemleri üzerinde durulacaktır. Tüm bu gelişmeler, sağlık alanında önemli bir dönüşüm sağlayarak gelecekte daha etkili, kişiselleştirilmiş ve başarılı tedavi yöntemlerinin kapısını aralamaktadır.

Nanoteknoloji, atomik ve moleküler boyutlardan başlayarak malzemeleri yeniden inşa ederek daha sağlam ve hafif ürünler elde etmeyi sağlar. Bu devrimsel ürünler, geleneksel ürünlerden daha düşük hatalı, dayanıklı ve verimlidir. Nanoteknolojinin etkisiyle birçok sektörde geleneksel ürünlerin yerini nano ürünler almıştır. Otomotivden elektroniğe, tekstilden tıba pek çok alanda nano boyutlu materyallerin kullanımı büyük bir ilerleme sağlamıştır. Ayrıca, tıp alanında nanoteknolojinin kullanımı erken teşhis ve tedavi yöntemlerinde önemli gelişmeler sağlamıştır. Gelecekte daha da çığır açıcı uygulamaların beklendiği nanoteknoloji, yaşamımızı dönüştürmeye devam edecektir. Nanoteknolojinin sağladığı gelişmelerin temelinde çeşitli etmenler bulunmaktadır:

- Kullanımda olan tıbbi cihazların fiziksel boyutlarını küçültmek: Nanoteknoloji sayesinde tıbbi cihazlar daha küçük boyutlarda üretilebilmekte ve bu da cerrahi işlemlerin daha invaziv olmayan şekillerde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.
- Kullanımda olan tıbbi malzemelerin yüzey/hacim oranını büyüterek yüzey etkisini arttırmak: Nano boyutta yapılanmalı tıbbi malzemeler, büyük yüzey alanına sahip olup, örneğin yara iyileşmesi gibi süreçlerde daha etkili olabilmektedir.
- Biyolojik nesnelerin inorganik nanoyapılar içine konması sonucu çeşitli algılayıcılar ve işlevli nanoyapılar oluşturmak: Biyolojik nesnelerin nanoteknolojiyle birleştirilmesiyle, duyarlı algılayıcılar ve tedavi amaçlı işlevli nanoyapılar geliştirilebilmektedir.
- Elde edilen küçük boyutlu yapılarda yeni özellikler ortaya çıkarmak: Nano boyutlardaki malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, daha büyük boyutlardaki yapılarla karşılaştırıldığında farklılık gösterebilir. Bu, nanoteknoloji ile yeni özelliklere sahip malzemelerin elde edilmesine olanak tanır.
- Fizik kanunlarını nanoyapılarda doğrudan tespit edebilmek: Nano boyutlu malzemelerde, klasik fizik kanunları bazen değişebilir veya farklı davranışlar sergileyebilir. Bu, nanoteknoloji alanında daha önce görülmemiş özelliklerin anlaşılmasına ve kullanılmasına yol açar.

Bu etmenler, nanoteknolojinin tıp ve diğer alanlarda devrim niteliğindeki gelişmelerine temel oluşturur. Ancak, bu teknolojinin potansiyel riskleri de göz ardı edilmemelidir ve dikkatli çalışmalarla güvenli ve etik kullanımı sağlanmalıdır.

Nanoteknoloji, nano boyutlu yapıların analizi, fiziksel özelliklerinin araştırılması, nano boyutlu malzemelerin üretimi, duyarlılığı artırılmış cihazların geliştirilmesi ve nano ve makro dünya arasında köprüler kurmayı hedefleyen oldukça çeşitli konuları içerir. Bu teknolojinin uygulama alanları da oldukça geniştir ve endüstriyel alandan tıp ve sağlık sektörüne kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Endüstriyel alanda, mikromakineler, mikropompalar ve mikrosensörler gibi nano boyutta yapıların geliştirilmesine yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Aynı zamanda nanoboyutlu kaplamalar ve elemanlar arasındaki bağlantılar, sektörel uygulamalarda büyük öneme sahiptir. Bu çalışmalar, endüstride verimliliği artırıcı ve maliyetleri düşürücü yenilikçi çözümlerin keşfedilmesine olanak tanır. Tıp ve sağlık alanında nanoteknoloji, moleküler düzeyde yaşayan sistemlere müdahale edebilme fırsatı sunar. İlaçların hastalığın bulunduğu veya yayıldığı bölgelere hedeflenerek etkin bir şekilde taşınmasını sağlayan cihazlar ve uygulamalar geliştirilebilir. Bu da daha

etkili ve kişiselleştirilmiş tedavi yöntemlerinin mümkün olmasını sağlar ve sağlık alanındaki önemli bir adım olarak değerlendirilir. Nanoteknoloji, gelecekte daha da geniş bir kullanım alanına sahip olacak ve pek çok alanda yenilikçi çözümler sunmaya devam edecektir. Bu teknolojinin potansiyeli, insanlığın önündeki pek çok sorunu çözmeye ve yaşam kalitesini artırmada önemli bir rol oynayacaktır. Mikro-nano cerrahi, tanısal kitler, biyosensörler, gen tedavisi ve ilaç hedeflenmesi gibi önemli alanlarda nanoteknoloji etkisi büyük olmuştur. Ayrıca, nanoteknoloji alanında yüzey karakterizasyonu ve modifikasyonu, nano-litografi, akıllı moleküllerin geliştirilmesi, DNA modifikasyonu, mikroorganizmaların taşınması gibi yeni araştırma konuları da dikkat çekmektedir. Bu gelişmeler, nanoteknolojinin uygulama alanlarının giderek genişlediğine işaret etmektedir. Nanoteknolojinin hızlı ilerleyişi, gelecekte daha da çeşitli ve etkileyici uygulamaların ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bu teknoloji, endüstri, tıp ve bilimsel araştırmalarda devrim niteliğinde yeniliklere olanak tanıyarak devam edecektir.

2.3.1. Nanotıp

Nanoteknoloji, bilimin her alanında olduğu gibi tıpta da oldukça geniş uygulama alanlarına sahiptir. Her geçen gün yeni gelişmeler sayesinde bu alan daha da genişlemekte ve hayal gücümüzü bile aşan potansiyeller ortaya çıkmaktadır. Özellikle nanobiyosensörler sayesinde hastalıkların görüntülenmesi, teşhisi, tedavisi gibi birçok alanda kullanılacak teknolojiler öngörülmektedir. Tüm bu sağlık alanındaki araştırmalar ve uygulamalar, nanotıp adı altında toplanmaktadır. Nanoteknoloji uygulamalarında en dikkat çekici alanlardan biri de biyoteknoloji ve biyomedikal alandır. Biyolojik yapıların fiziksel boyutları nanometre düzeyinde olduğu için, nanoteknoloji bu alanlarda büyük bir potansiyel sunmaktadır. Nanoteknoloji, nanotıp olarak da adlandırılan bu alan, tanı, tedavi ve hastalıkların önlenmesi gibi birçok önemli konuyu kapsayan biyomedikal alanda büyük bir devrim yaratmaktadır. Bu teknoloji, biyolojik moleküllerin analizinde kullanılan sistemlerin küçük boyutlu olmasını sağlayarak, insan sağlığının korunması ve iyileştirilmesi konusunda yeni olanaklar sunar. Nanotıp ve nanorobot teknolojileri, tıp dünyasında çığır açan uygulamalar getirir. Nanotıp, nanokürelerle ilaç salımından, dokuların yeniden yapılandırılmasını sağlayacak nanoteknolojik doku iskelelerine, hatta teşhis ve tedavi amacıyla kullanılacak nanorobotlara kadar birçok farklı uygulamayı içerir. Nanoteknoloji, inorganik ve organik peptit ve protein nanoyapıları sayesinde tıp, sanayi, teknoloji ve endüstri gibi birçok alanda uygulama imkanları sunar. Bu alanda yapılan çalışmalar, tıbbi tedavilerin etkinliğini artırarak hastalıkların daha etkili bir şekilde

yönetilmesine katkıda bulunur. Nanoteknoloji, gelecekte de insan sağlığını ve yaşam kalitesini artırmak için önemli bir araç olmaya devam edecektir. Bu teknolojinin getirdiği yenilikler, tıp dünyasında daha etkili ve kişiselleştirilmiş tedavilerin gerçekleştirilmesini sağlayarak, sağlık alanındaki sınırları zorlamaya devam edecektir. Bu yapılar, ilaçların çözünürlüğünü artırma, parçalanmaya karşı koruma, toksik etkilerin azaltılması, etkinlik süresini uzatma, biyoyararlanımı geliştirme, farmakokinetik ve dağılım özelliklerini düzenleme, hedefleme (hücre/doku) gibi birçok avantaj sağlar. Nanoteknolojinin sağlık alanındaki bu ilerlemesi, tıpta devrim niteliğindeki gelişmeleri beraberinde getirirken, gelecekteki potansiyel uygulamaların sınırları hakkında heyecan verici bir gelecek vadetmektedir. Nanoteknoloji, insan sağlığını koruma ve iyileştirme alanında önemli bir rol oynamaya devam edecektir.

Nanobiyoteknoloji, biyolojik materyallerin nanoteknolojik cihazlarda biyolojik işlemlerin kontrolü ve görüntülenmesi amacıyla kullanıldığı bir alanı ifade eder. Bu alanda, biyolojiden esinlenerek veya biyomimetik yöntemlerle inorganik ve organik moleküller kullanılarak nano boyutta yapılar oluşturulur. Nanobiyoteknoloji, materyallerin ve cihazların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesi veya geliştirilmesi için nanometre ölçekte uygulanan işlemleri kapsar. Bu disiplin, nanoteknoloji ile biyoteknolojinin birleşmesi sonucu ortaya çıkar ve moleküler, hücresel ve genetik özelliklerin manipüle edilmesiyle tıptan tarıma birçok alanda yeni ürün ve hizmet geliştirir. Nanobiyoteknoloji, biyolojik sistemleri taklit eden sistemleri elektronik sistemlerle uyumlu bir şekilde çalıştıran yapıları içerir. Bu önemli alan, gelecekte tıp, tarım ve diğer birçok alanda çığır açıcı gelişmelere yol açması beklenen heyecan verici bir bilim dalıdır. Biyolojik ve nanoteknolojik birleşimi sayesinde, daha etkin ve hassas cihazlar, tedavi yöntemleri ve ürünlerin geliştirilmesi, insan sağlığının ve yaşam kalitesinin ilerlemesine büyük katkı sağlayacaktır.

2.3.1.1. Nanotıp Alanında Kullanılan Sistemler

Nanoteknolojinin tıp alanında kullanımı, canlı sistemleri taklit ederek yeni teknolojik ve robotik ürünler geliştirme fikrini ön plana çıkarmıştır. Hücrelerin ihtiyaçlarını belirleyen, temin eden, zararlı maddeleri ortadan kaldıran ve kendini yenileyebilen ürünlerin tasarlanması amaçlanmaktadır. Örneğin, bağışıklık sisteminde önemli bir role sahip olan antikolar, immünglobülin yapılarındadır ve 15-50 nm büyüklüğündedir. Bu boyutta belirlenmiş ürünlerin geliştirilmesi, teşhis ve tedavi alanlarında önemli uygulama olanakları sunacaktır. Tıp alanında, nanoteknoloji sayesinde organizmada ilaç taşıyıcı sistemlerin hastalıklı hedef hücrelere bağlanıp etken maddeleri aktarması gibi

önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Bu, tedavi edici mekanizmaların düzenlenmesine ve teşhis amacıyla kullanılan biyoçipler, biyosensörler, nanoküreler ve nanorobotlar gibi nanoteknolojik sistemlerin geliştirilmesine imkan tanımaktadır. Tıp alanında kullanılan bu nano boyutlu ürünler, tedavi ve teşhis süreçlerini daha etkin ve hassas hale getirerek önemli faydalar sağlamaktadır.

2.3.1.2. Nanoküreler

Nanoteknoloji, tıpta da önemli uygulama alanlarına sahip olmuştur. Özellikle nanobiyoteknoloji, hastalıkların teşhis ve tedavisinde nanokürelerin etkisiz yan etkilerle kullanılabilmesi düşüncesi ile gelişmiştir. Nanoteknoloji sayesinde geliştirilen ilaç salınımı için biyobozunur polimerik nanopartiküllerin çalışmaları son yıllarda yoğunlaşmıştır. Nanokürelerin biyoyumluluğu, ilaç salınımının artmasını sağlamaktadır ve farklı yöntemlerle ilaca hapsedilmesi, takılması veya adsorbe edilmesi mümkündür. Nanoteknolojinin en önemli uygulamalarından biri, ilaç taşıyıcı sistemlerdir. Bu sistemlerin en büyük zorluğu, ilacın hedeflenen bölgeye ulaştırılmasıdır. Nanoküreler, damara enjekte edildiğinde karaciğer veya dalakta parçalanabilirler, ancak biyoyumlu polimer kaplamalarla korunarak karaciğerin korunması sağlanabilir. Deri altına enjekte edildiğinde ise makrofajlar tarafından parçalanırlar, bu nedenle makrofajlardan korumak için önlemler alınmaktadır. Farklı nanoküre modelleriyle ilacın hedef organa yönlendirilmesi için araştırmalar yapılmaktadır. Nanokürelerin istenilen bölgeye yönlendirilmesi, bağışıklık sistemi ile etkileşimleri ve stabilite gibi faktörler büyük önem taşır. Nanoteknoloji sayesinde tıp dünyasının önemli gelişmeler yaşayacağı kesindir. Özellikle alzheimer gibi nörodejeneratif hastalıklara yönelik çalışmalarda, nanopartiküller içerisindeki ilaç salınımının etkileri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Nanopartiküller üzerine olan çalışmaların gelecekte daha da yaygınlaşacağı ve tıpta önemli ilerlemelere yol açacağı öngörülmektedir. Nanoteknoloji, tıbbi alanda daha etkili tedavi yöntemleri ve ilaç taşıyıcı sistemleri ile hayatımızı olumlu yönde değiştirecektir (Tüylek, 2019: 119).

Tıp alanında da nano teknoloji değişik kullanım alanları sunmaktadır. Bunlardan bazıları;

- Duymayı iyileştirmek, düzeltmek ve mümkün kılmak üzere Cochlear protezleri
- Körler için optoelektronik retina uygulaması
- Yapay deri
- Yeniden doku yapılandırması
- Organ ve dokuların başka bir ortamda yapay olarak büyütülmesi

- Gövde ile uyuşan uzun ömürlü protezler

Avrupa Birliği ülkeleri şirketlerinin BLOKER projesi kapsamında, nanoteknoloji kullanılarak 30 yıl kullanım ömrüne sahip protezler geliştirilmesi üzerinde çalışılmaktadır. Özellikle Angstro Medica şirketi, sentetik kemik üretimine yönelik nanoteknoloji kullanarak çalışmaktadır. Bu sentetik kemik, tabii kemiğin özelliklerine denk bir yapıya sahiptir ve tabii kemiğin hasar görmesi veya değiştirilmesi gereken durumlarda, örneğin kırık veya yumuşak doku yaralanmalarında kullanılabilir.

Nanoteknoloji ve gen teknolojisinin birleştirilmesi sayesinde yeni aşular geliştirilme ve genetik esaslı hastalıkların tedavisi mümkün olacaktır. Bu önemli çalışmalar, tıp alanında büyük bir devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Smith and Nephew şirketi de nanoteknolojiyi kullanarak, mikrop tutmayan elbiselerde nano kristal gümüş kaplama kullanmaktadır. Bu özel kaplama, geniş bir bakteri yelpazesini sadece 30 dakikada etkili bir şekilde öldürebilme özelliğine sahiptir. Bu da mikrop bulaşma riskini azaltarak, hijyen ve sağlık açısından önemli bir adımdır. Tüm bu çalışmalar ve gelişmeler, nanoteknolojinin sağlık sektöründe getirdiği inovatif ve etkili çözümleri göstermektedir. Bu alanda yapılan araştırmaların, gelecekte insanların yaşam kalitesini ve sağlık durumunu önemli ölçüde iyileştirmesi beklenmektedir. Nanoteknoloji, tıp ve sağlık alanında daha birçok benzer başarıya imza atacaktır (EI-Fatraty, 2005: 5).

SONUÇ

Nanoteknoloji, atom ölçeğindeki temel özelliklerden yararlanarak materyallerin, araçların ve yapıların inşa edilmesini ifade eder. Doğanın en küçük yapı taşları olan atomları kullanarak elde edilen bilimsel ve teknolojik gelişmelerle ilgilenir. Tıp alanında ise hücre düzeyinde müdahale imkânı sunan, doğadaki canlı yapıları taklit eden, kendini yenileyen ve istenmeyen durumları ortadan kaldıran teknolojik ürünleri içerir. Nanoteknoloji, canlı sistemlere moleküler düzeyde müdahale edebilen küçük boyutlu yapıları kapsar. Tıp alanında da kullanılan birçok yeni teşhis ve tedavi yöntemi nano boyutlarda geliştirilmektedir. Nanotıp sayesinde hastalıklar yakın gelecekte hücre düzeyinde tespit edilebilecektir. Bu, tıp alanında büyük bir değişimi beraberinde getirecek ve toplumun hem koruyucu hem de tedavi edici sağlık hizmetlerine erişimi artıracaktır. Nanoteknoloji ve nanotıp, gelecekte mikrobiyolojik tanı alanında vazgeçilmez uygulamalar olarak yerini alacaktır. Hayal bile edemeyeceğimiz gelişmeler, sağlık alanındaki uygulamalarda yaşanacak ve bu teknoloji, hastalıkların etkili bir şekilde yok edilmesine katkı sağlayacaktır. Ancak bu ilerlemeleri sağlamak için doğru alt yapı oluşturulması, teknolojiye

yatırım yapılması ve uzman personel yetiştirilmesi gereklidir. Nanoteknoloji ve nanotıp alanlarında kullanılacak nanoküreler, nanorobotlar, biyosensörler ve biyoçipler, hastalıkların tedavisi için damarlarımızda dolaşabilecek teknolojik sistemler olarak karşımıza çıkacaktır. Bu gelişmelerin yakın gelecekte gerçekleşeceği kaçınılmazdır ve nanoteknoloji sağlık alanında önemli bir devrim yaratacaktır.

REFERANSLAR

1. EI-Fatary, A. (2005). Defence applications. *Nanotechnology Aerospace Applications. RTO-EN-AVT-129*, 5-1.
2. Yusuf, Ö. Z. E. R. (2019). Nanoteknoloji'nin Askerî Uygulamaları Üzerine Bir Değerlendirme. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 33-52.
3. Adanur, İ. Ve Ekicibil, A., 2020, Ni/NiO Çekirdek/Kabuk Manyetik Nanoparçacıkların (Mnp) Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 45-52.
4. Sınar, F. B. (2019). *Çok girişli elektroğirme yöntemiyle nişasta/Pcl Kompozit Nanofiberlerin üretilmesi* (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
5. GÜLER, Ü. A., Tuncel, E., ve ERŞAN, M. Nanomalzemelerin Toksikolojisi..
6. Tüylek, Z. (2019). Nanotıp alanında kullanılan sistemler. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 28(2), 119-129.
7. Aluya, J. (2015). Nanotechnology Implications and Global Leadership Perspectives. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10(1), 31-37.
8. Lin, P., Moore, D., ve Allhoff, F. (2009). *What is nanotechnology and why does it matter?: from science to ethics*. John Wiley & Sons.
9. Lele, A. (2009). Role of Nanotechnology in defence. *Strategic Analysis*, 33(2), 229-241.
10. Cassidy, R. M. (2007). War Made New: Technology, Warfare, and the Course of History, 1500 to Today. *Parameters*, 37(3), 109.
11. Roco, M. C. (2011). The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 427-445.
12. Rai, S., ve Rai, A. (2017). Nanotechnology-The secret of fifth industrial revolution and the future of next generation. *Jurnal Nasional*, 7(2), 61-66.
13. Czerwińska, M. (2014). Zastosowanie nanomateriałów w przemyśle zbrojeniowym. *Chemik*, 68(6), 536-543.
14. Ngô, C., Van de Voorde, M., Ngo, C., ve Van de Voorde, M. H. (2014). Nanotechnology for Defense and Security. *Nanotechnology in a Nutshell: From Simple to Complex Systems*, 413-432.
15. Güvenç, Z. B. (2007). Nanobilim, Nanomühendislik ve Nanoteknolojinin Etkilemeyeceği Bir Alan Bulunabilir mi? Bu Teknolojiyi Kaçırırsak Ne Olur. *Çankaya Üniversitesi Gündem Dergisi*, 27, 3-5.
16. Miller, G., ve Kearnes, M. (2012). Nanotechnology, ubiquitous computing and the internet of things. *Council of Europe report*..

17. McGuinness, J. P. (2005). *Nanotechnology: The Next Industrial Revolution: Military and Societal Implications*. US Army War College.

Bölüm 4

Akıllı Telefon Yardımıyla Bazı İçeceklerde Gıda Boyalarının Tayini için Dijital Görüntü Analizi

Tufan GÜRAY¹

Zeynep GÜRAY²

Kevser Betül TETİK³

Merve ÖZENLİ⁴

1 Prof. Dr.; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü. tguray@ogu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-7509-7260

2 Öğrenci.; Eskişehir MAT-FKB Özel Gelişim Fen Lisesi zeynepguray2007@gmail.com ORCID No

3 Öğrenci.; Eskişehir MAT-FKB Özel Gelişim Fen Lisesi btetik837@gmail.com ORCID No

4 Öğrenci.; Eskişehir MAT-FKB Özel Gelişim Fen Lisesi merveee_ozenli@hotmail.com ORCID No:

ÖZET

GİRİŞ

Rutin test ve analiz yapılan, özel ve kamu sektöründeki hastanelerin, ilaç ve gıda fabrikalarının ve il gıda kontrol laboratuvarlar müdürlükleri gibi daha pek çok laboratuvarında kısa süreli, tekrarlanabilen, kesin sonuç veren, geniş tayin aralıklarına sahip, yüksek hassasiyeti olan, pratik ve en önemlisi ekonomik yöntemlerin kullanılması istenmektedir. Bu nedenle de mevcut analiz yöntemlerinin yerine sürekli doğru, kolay, kısa süreli, hassas ve ucuz yeni yöntemlerin geliştirilmesi kimyanın popüler konularından biridir. İnsan sağlığını direkt veya dolaylı etkileşim sonucunda etkileyen zararlı kimyasalların tayini söz konusu olunca bu konu daha fazla önem kazanmaktadır. Ayrıca, ülkemizin ihraç ürünü olan ambalajlı paket gıdaların, ticari kalitesini etkileyecek olan katkı maddeleri analizlerinin ekonomik, güvenilir, pratik ve ürün tazeliğini olumsuz etkileyecek zaman israfından kaçınan tayin yöntemlerinin geliştirilmesi önemlidir. TÜBİTAK 2022 öncelikli Ar-Ge ve Yenilik alanlarından Tarım ve Gıda Alanı kapsamında Yenilikçi Gıda Katkı Maddeleri, doğal aroma vericiler, biyo koruyucular ve renklendiriciler konusu dahilinde bu maddelerin yenilerinin üretilmesi, bunların ve mevcut türlerin rutin analizlerinin yapılması ve takip edilmesi için yeni analiz yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Gıda katkı maddeleri, görünüş, lezzet, tat, renk, doku, besin değeri ve korumayı iyileştirmek için işlenmiş gıda maddelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Renk, tüketiciler tarafından değerlendirilen gıdanın birinci kalite özelliğidir ve bu nedenle pazar kabulü ile ilgili gıda kalitesinin önemli bir bileşenidir. Son yıllardaki çalışmalar, boyaların kötüye kullanımının olumsuz etkilere neden olabileceğini gösterse de, düşük fiyatları, yüksek etkinlikleri ve mükemmel kararlılıkları nedeniyle birçok boya türü hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle gıda boyalarının belirlenmesi, kalite kontrolü ve izin verilen kullanım miktarının kontrolü için önemlidir (Wu ve Sun, 2014; Sorouraddin ve ark., 2015).

Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) (Faraji, 2019), IR spektroskopisi (Zhang ve ark., 2020), HPLC-MS (Périal ve ark., 2019), GC-MS (Otero ve ark., 2017), jel elektroforezi (Neto ve ark., 2021), elektrokimyasal yöntemler (Micheletti ve ark., 2020; Lipskikh ve ark., 2018), UV-görünür spektrofotometri (Heidarizadi ve Tabaraki, 2016; Shokrallahi ve Ahmadi, 2017) ve farklı spektrofotometrik yöntemler (Hashem ve ark. 2017) gıda maddelerindeki çeşitli gıda boyalarının karışımlarını ayırmak veya tayin etmek için geliştirilmiştir.

Kimyasal analizde görüntü analizinin kullanımı oldukça yenidir. Günümüzde bilgisayar kullanımı, dijital görüntülerde bulunanlar gibi büyük

miktarda bilginin işlenmesini ve analizini kolaylaştırmaktadır. Numunelerin görüntüleri, doğru bir şekilde işlenirse, bileşimleri hakkında değerli bilgiler içerebilir. Dijital görüntü analizi (DGA) veya dijital görüntü tabanlı (DGT) analizi, bir görüntünün görsel sonuçlarından nicel veri setlerinin çıkarılması, birçok analist tarafından çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır (Pessoa ve ark., 2017). DGA yöntemi genellikle, renkli bir analit çözeltisinin bir kâğıt üzerinde lekelenmesiyle oluşturulan renkli bir yüzeyden alınan görüntüleri kullanır. Dijital görüntüler elde etmek için bazı spektroskopi türleri, tarayıcılar, web kameraları ve dijital kameralar gibi çeşitli teknikler kullanılmıştır ve son yıllarda akıllı telefonlar daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Her yerde dağıtım ve bakım noktaları bulunan akıllı telefonlardan sağlık, gıda güvenliği, çevresel izleme ve biyogüvenlik için yaygın olarak yararlanılmaktadır (Roda ve ark., 2016).

Akıllı telefonların kullanıldığı DGA yöntemleri çok çeşitli uygulamalar için geliştirilmiştir (de Oliveira ve ark., 2020; Resque ve ark., 2019) ve bu yöntemlerin geliştirilmesi ile analizler için birtakım avantajlar sunulmuştur. Hassas, uygun maliyetli ve saha uygulamaları için en uygun (Sankar ve ark., 2020), hızlı, doğru, kesin ve çevre dostu (dos Santos ve ark., 2019), taşınabilir (Masawat ve ark., 2015), basit, düşük maliyet, azaltılmış reaktif miktarları ve atık oluşumunu en aza indirme (Soares ve ark., 2019), yerinde ve görsel bir bakım noktası test yöntemi (Lin ve ark., 2018) bu yöntemlerin faydalarından sadece birkaçıdır.

Gıda numunelerindeki gıda boyalarını tayin etmek için DGA yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar literatür de oldukça azdır. Bunlardan, düz yataklı bir tarayıcı (scanner) tarafından elde edilen dijital görüntüye dayalı olarak gıda örneklerinde TAR ve AL tayin için basit bir yöntem kullanılmıştır (Vidal ve ark. 2018). Benzer bir çalışmada, düz yataklı bir tarayıcı ile elde edilen dijital görüntüler kullanıldığı basit ve nispeten hızlı bir görüntü analiz yöntemidir. Bu çalışmada dört yaygın gıda boyasının, yani SY, QY (quinolin yellow), BB ve KAR, ticari ürünlerden herhangi bir ön ayırma işlemine ihtiyaç duymadan aynı anda tayinlerinin yapılması için DGA yöntemi kullanılmıştır (Sorouraddin ve ark., 2015). Alkolsüz içeceklerde SY'un tayini için kemometri ile birleştirilmiş ticari düz yataklı bir tarayıcı tarafından elde edilen dijital görüntüye dayalı görüntü analiz yöntemini geliştirilmiştir (Botelho ve ark., 2014). Bir başka gıda boyası AL miktarını katı haldeki şekerlerde tayin için akıllı telefon kullanılmıştır (Botelho ve ark., 2014). Dijital görüntü analizi tekniği ile şekerlerdeki gıda boyası İK miktarını tayin etmek amacıyla şekerin suda çözüldükten sonra boyayı seçici adsorban olarak ve matrisinden ayırmak için poliüretan köpük ile ekstre edildiği bir çalışmada, köpük kurutulup bir kâğıda

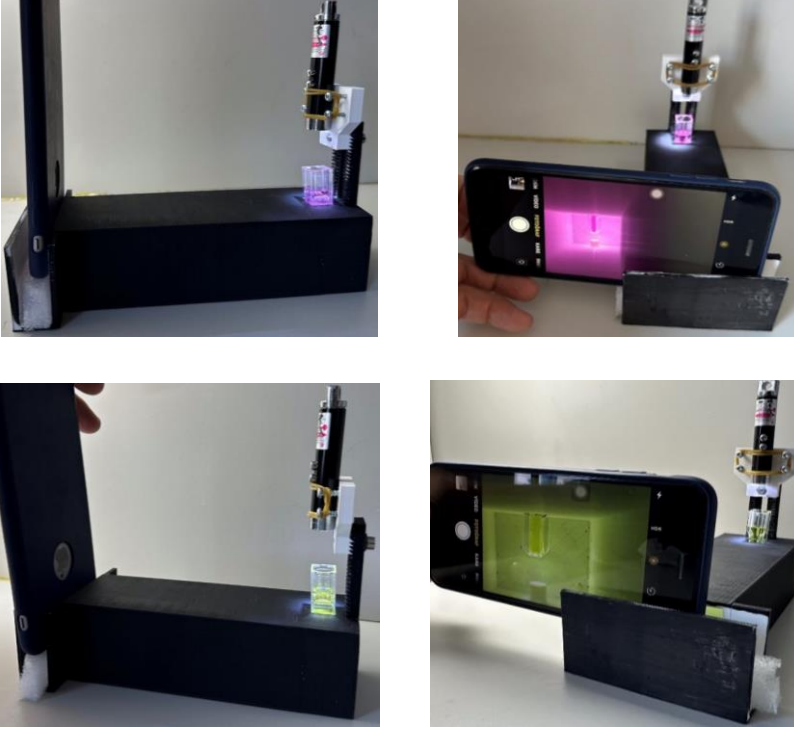
yapıştırıldıktan sonra düz yataklı tarayıcı kullanılarak sistemin dijital görüntüleri alınmıştır (de S ve dark., 2020). Ayrıca, bazı toz içeceklerde SY, TAR, BB ve AMR gıda boyaarı eř zamanlı olarak jel elektroforez ile ayrıldıktan sonra dijital görüntüleme ile tayinleri yapılmıştır (Neto ve ark., 2021). Bunların dışında, bazı gıda örneklerinde SY, QY, BB ve KAR, gıda boyaarının eř zamanlı tayini için akıllı telefon yardımıyla bir DGA yöntemini kğit tabanlı mikroakışkan yaklaşımıyla birleştirerek kullanmışlardır (Saadati 2021).

Bu çalışmada, bazı alkolsüz ve toz içeceklerde SY, TAR, İK ve AL gıda boyaarının bir arada herhangi bir n ayırma işlemi kullanmadan sulu zeltilerinde tayini için akıllı telefon yardımıyla bir görüntü analiz yöntemi geliştirilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla DGA ile bu gıda boyaarının bir arada tayini literatürde bir ilk olacaktır. Buna ek olarak, DGA ile herhangi bir ek işlem gerektirmeden sulu zeltilerinin seyreltilmesi ile yapılacak tayin yöntemi bu bakımdan da ilk olacaktır. Ayrıca, bu çalışmada KAR ve BB gıda boyaarı da tek tek bu numunelerde tayinleri yapılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Cihazlar

Çalışılan gıda boyaarının hazırlanan zeltilerinin fotoğrafları tarafımızca tasarlanan ve Şekil 1.'de verilen 3D printer ile yapılan kutu yardımıyla iphone 11 akıllı telefon kullanılarak çekilmiştir. Numune tartımları için Sartorius terazisi (0,0001 g) kullanıldı. Çekilen fotoğrafların renk değerlerini yakalamak ve kaydetmek ve yakalanan görüntülerden RGB değerlerini çıkarmak için GIMP 2.8.10 paket programı kullanıldı.



Şekil 1. 3D yazıcı ile yapılan fotoğraf çekim kutusu ve görüntü alma işlemi

2.2. Kimyasallar

Sunset yellow (SY), tartrazin (TAR), indigo karmin (İK), allura red (AL), karmosin (KAR) ve brilliant blue (BB) gıda boyaları Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir.

2.3. Numuneler

Bölge marketlerinden alınan alkolsüz enerji içecekleri ($5,00 \pm 0,01$ mL) ve toz meyve suyu içecekler ($500,00 \pm 0,05$ mg) su içinde çözüldü, süzüldü ve 500 ml'lik balon jöjelere hazırlandı.

2.4. Standart Çözeltilerin Hazırlanması

Çalışılan gıda boyalarının 100 mg L^{-1} stok çözeltilerini hazırlamak için, 0,1 g boya deiyonize suda çözüldü ve 1000 mL'ye seyreltildi. Çalışma standardı çözeltiler istenen konsantrasyonları stok çözeltiden seyrelterek günlük olarak hazırlandı. Bu çözeltiler karanlıkta 4°C 'de saklandı.

2.5. Gıda Boyalarının Tayini için Standart Çözeltilere ve Gerçek Örneklerle Uygulanan Yöntem

Kalibrasyon aralığında olacak şekilde hazırlanmış olan standart çözeltilerden veya numune çözeltileri plastik UV küvetlerinin içene konur. Çözelti ile doldurulmuş olan küvetlerin saydam yüzeyleri akıllı telefonun kamerasının karşısına gelecek biçimde şekil 1.'de görülen kutunun haznesine yerleştirildikten sonra ayarlanabilir sehпасına bulunan beyaz led ışın kaynağı açılır. Kutunun diğer tarafına akıllı telefonun kamerası yerleştirilen küveti görececek şekilde odaklanıp görüntü alınır. Bunlardan önce saf suyun fotoğrafı çekilir (kör).

Yakalanan görüntüler, kaydedilir ve daha sonra analizleri yapılmak üzere GIMP 2.8.10 paket programı uygulaması kullanılarak RGB (Red, Green, Blue) modelinin üç bileşenin sayısal değerleri kullanılır.

3. BULGULAR

3.1. Görüntü Analizi ve Uygun Analitik Sinyalin Seçimi

DGA yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan bir renk uzayı sistemi RGB sistemidir (Khoshmaram ve Mohammadi, 2021; Khoshmaram ve ark., 2022). RGB renk sistemi, renk ifadesi için önemli bir dizindir ve üç bileşen yoğunluğuyla (Kırmızı, Yeşil ve Mavi) temsil edilir. Her rengin 256 düzeyi (0-255) vardır, bu nedenle farklı olası kombinasyonları, 16 milyondan fazla tona kadar sayısız renk verebilir. RGB renk uzayında, (R, G, B) = (255, 255, 255) saf beyazı ve (R, G, B) = (0, 0, 0) saf siyahı belirtir. RGB'nin geniş renk alanı, nicel analiz için zengin bir veritabanı sağlayabilir (Zarghampour ve ark., 2020).

Uygun analitik sinyali belirlemek için, önerilen yöntem kullanılarak farklı konsantrasyona sahip boya çözeltileri analiz edildi. Boyaların konsantrasyonunun değiştirilmesiyle RGB değerlerinden hangisinin doğrusal olarak en fazla değişikliği gösterdiği belirlendi. Bu nedenle, seyreltilen çözeltilerden SY'un turuncu ve TAR'ın sarı rengi için RGB değerlerinden B mavi, İK ve BB'nun mavi rengi için R kırmızı, AL, KAR ve AMR'ın kırmızı rengi içinde G yeşil seçildi. Bu nedenle, analitik sinyal SY ve TAR için ΔB , İK ve BB için ΔR ve AL ve KAR için ΔG denklem 1, 2 ve 3'deki eşitliklerden hesaplanarak elde edildi.

$$\text{SY ve TAR için} \quad \Delta B = B_{\text{kör}} - B_s \quad (1)$$

$$\text{İK ve BB için} \quad \Delta R = R_{\text{kör}} - R_s \quad (2)$$

$$\text{AL ve KAR için} \quad \Delta G = G_{\text{kör}} - G_s \quad (3)$$

Burada Bs, Rs, Gs ilgili boyanın konsantrasyon değerine ait çekilen görüntünün sayısal değeri ve Bkör, Rkör, Gkör ise saf suya ait değerleridir. Çözeltilerin konsantrasyonları arttıkça, Bs, Rs, Gs değerlerinin azaldığına dikkat edilmelidir.

3.2. Önerilen Yöntemin Analitik Özellikleri

Yöntem performansını değerlendirmek için doğrusal dinamik aralık, regresyon denklemi, korelasyon katsayıları (R^2), gözlenebilme sınırı (LOD), tayin sınırı (LOQ) ve tekrarlanabilirlik belirlendi ve Tablo 1'de özetlendi.

Önerilen yöntemin diğer DGA yöntemleri gibi pahalı yöntemlere göre sınırlamaları olmasına rağmen, DGA yöntemlerinin avantajlarına sahip olmanın yanı sıra, diğer benzer yöntemlere göre hızlı, basit, uygun maliyetli ve çevre dostu olması gibi bazı avantajlar sunmaktadır. Yöntemin doğrusal aralıkları 3–9 $\mu\text{g mL}^{-1}$ arasında olup, korelasyon katsayıları $R^2 > 0,99$ belirlenmiştir. Gözlenebilme ve tayin sınırları sırasıyla 0,76–1,11 ve 2,29–3,36 $\mu\text{g mL}^{-1}$ olarak önerilen yöntemle elde edilmiştir. Yöntemin tekrarlanabilirliği, üç farklı konsantrasyonda (4, 6 ve 8 $\mu\text{g mL}^{-1}$) beş tekrar ölçüm alınarak hesaplanmıştır. Bağıl standart sapmalar %1,96–2,52 aralığında elde edilmiştir.

Tablo 1. Önerilen yöntemin analitik performans özellikleri

Çalışılan Boya	Tayin Aralığı ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	R^2	Gözlenebilme Sınırı, LOD ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Tayin Sınırı, LOQ ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Bağıl Standart Sapma, RSD (%)
SY	3-9	0,9961	0,76	2,29	2,03
TAR	3-9	0,9916	1,11	3,36	1,96
İK	3-9	0,9925	1,05	3,17	2,13
AL	3-9	0,9942	0,92	2,78	2,52
KAR	3-9	0,9941	0,93	2,82	2,47
BB	3-9	0,9927	1,03	3,12	2,22

3.3. Önerilen DGA Yönteminin Örnek Uygulaması

Bu yöntem, beş farklı toz içerde ve alkolsüz iki farklı enerji içerde çalışılan gıda boyalarının akıllı telefon kullanarak DGA ile tayinine uygulanmıştır. Örneklerdeki gıda boyalarının analizleri, “Numuneler” bölümünde belirtildiği gibi hazırlandıktan sonra toz ve alkolsüz enerji içeceklerinin içeriği gereği yüksek miktarda matriks bulundurmaktadır. Bu nedenle hazırlanan numune çözeltilerin 1 mL’si basamaklı olarak seyreltilerek matriks etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Geri kazanım deneyleri, standart boya çözeltilerinin bilinen miktarlarının numune çözeltilerine eklenmesi yapılarak gerçekleştirildi. Tablo 2, 3 ve 4’deki sonuçlardan elde edilen geri kazanım

değerleri % 97,33 ile % 105,33 arasındadır. Bu değerlere göre örneklerde bulunan malzemelerin geliştirilen yöntemle engel olmadığı söylenebilir. Sonuçlar, geliştirilen DGA yönteminin bu örneklerde çalışılan gıda boyalarının doğru bir şekilde belirlenmesi için kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 2. Çalışılan gıda boyalarından SY, TAR, İK ve AL'nin toz içecek örneklerinde birlikte tayini

Örnek	Eklenen, SY (µg mL ⁻¹)	Eklenen, TAR (µg mL ⁻¹)	Eklenen, İK (µg mL ⁻¹)	Eklenen, AL (µg mL ⁻¹)	Bulunan, SY ± GS ^a (µg mL ⁻¹)	Bulunan, TAR ± GS ^a (µg mL ⁻¹)	Bulunan, İK ± GS ^a (µg mL ⁻¹)	Bulunan, AL ± GS ^a (µg mL ⁻¹)	Geri Kazanım ^b , % SY	Geri Kazanım ^b , % TAR	Geri Kazanım ^b , % İK	Geri Kazanım ^b , % AL
Yeşil toz içecek	3,0	3,0	3,0	3,0	2,97 ± 0,03	3,84 ± 0,04	3,16 ± 0,03	3,06 ± 0,03	99,00	97,33	98,33	102,00
	5,0	5,0	5,0	5,0	4,98 ± 0,05	8,82 ± 0,04	8,08 ± 0,02	5,11 ± 0,04	99,60	99,6	98,40	102,20
Sarı toz içecek	3,0	3,0	3,0	3,0	3,96 ± 0,03	-	-	-	-	-	-	-
	5,0	5,0	5,0	5,0	6,98 ± 0,05	3,06 ± 0,03	2,99 ± 0,01	3,12 ± 0,03	100,67	102,00	99,67	104,00
Turuncu toz içeceği	3,0	3,0	3,0	3,0	8,95 ± 0,01	5,02 ± 0,04	5,03 ± 0,02	4,94 ± 0,04	99,80	100,40	100,60	98,80
	5,0	5,0	5,0	5,0	3,51 ± 0,05	4,14 ± 0,07	-	3,44 ± 0,02	-	-	-	-
	3,0	3,0	3,0	3,0	6,56 ± 0,02	7,16 ± 0,04	3,16 ± 0,04	6,47 ± 0,01	101,67	100,67	105,33	101,00
	5,0	5,0	5,0	5,0	8,58 ± 0,06	9,08 ± 0,03	5,15 ± 0,07	8,41 ± 0,05	101,4	98,8	103,00	99,40

^aGS is güven sınırı, $(\frac{t_{\alpha}}{\sqrt{n}})$; n=5

^bGeri kazanım= $\frac{(C_2 - C_1)}{C_3} \times 100$

C₁= Ölçülen örnek derişimi

C₂= Ölçülen standart çözelti eklenmiş örnek derişimi

C₃= Eklenen standart çözelti derişimi

Tablo 3. Çalışılan gıda boyalarından KAR'ın toz içecek örneğinde tayini

Örnek	Eklene n, KAR (□g mL ⁻¹)	Bulunan, KAR ± GS ^a (□g mL ⁻¹)	Geri Kazanım ^b , % KAR
Kırmızı toz içeceği	-	4,23 ± 0,03	-
	3,0	7,25 ± 0,02	100,67
	5,0	9,19 ± 0,06	99,2

^aGS is güven sınırı, $(\frac{ts}{\sqrt{n}})$; n=5

^bGeri kazanım= $\frac{(C_2 - C_1)}{C_3} \times 100$

C₁= Ölçülen örnek derişimi

C₂= Ölçülen standart çözelti eklenmiş örnek derişimi

C₃= Eklenen standart çözelti derişimi

Tablo 4. Çalışılan gıda boyalarından BB enerji içeceği örneğinde tayini

Örnek	Eklene n, BB (□g mL ⁻¹)	Bulunan, BB ± GS ^a (□g mL ⁻¹)	Geri Kazanım ^b , % BB
Mavi enerji içeceği	-	4,46 ± 0,02	-
	3,0	7,47 ± 0,01	100,33
	5,0	9,42 ± 0,05	99,20

^aGS is güven sınırı, $(\frac{ts}{\sqrt{n}})$; n=5

^bGeri kazanım= $\frac{(C_2 - C_1)}{C_3} \times 100$

C₁= Ölçülen örnek derişimi

C₂= Ölçülen standart çözelti eklenmiş örnek derişimi

C₃= Eklenen standart çözelti derişimi

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Önerilen yöntemin diğer DGA yöntemleri gibi pahalı yöntemlere göre sınırlamaları olmasına rağmen, DGA yöntemlerinin avantajlarına sahip olmanın yanı sıra, diğer benzer yöntemlere göre daha hassas, ilave bir işlem veya araç gerektirmeden laboratuvar dışı ortamlarda bile çalışılabilecek, ek kimyasal kullanımı olmayan, hızlı, basit, ucuz ve çevre dostu olması gibi bazı avantajlar sunmaktadır (Tablo 5).

Önerilen metodoloji, dijital görüntülerin elde edilmesi ve çalışılan gıda boyalarının günümüzde hemen hemen herkesin sahip olabileceği akıllı telefon ile tayin edilebilmesi için ucuz bir analitik yöntemdir. Geliştirilen bu yöntem, ticari örneklerde SY, İK, TA, AL, KAR ve BB gıda boyalarının tayini için kolay, ekonomik ve oldukça hızlı bir prosedür olarak kabul edilebilir. Ayrıca,

yöntem rutin test ve analiz yapılan, ilaç ve gıda fabrikalarının ve il gıda kontrol laboratuvarlar müdürlükleri gibi çoğu laboratuvarında kısa süreli, tekrarlanabilen, kesin sonuç veren, yüksek hassasiyeti olan, pratik ve en önemlisi ekonomik yöntem olarak kullanılması düşünülebilir. Geliştirilen bu yöntem SY, İK, TA ve AL gıda boyaalarının birarada gerçek örneklerde DGA ile tayini için literatürde bir yeniliktir.

Tablo 5. Önerilen yöntemin analitik performanslarının literatürde bildirilen bazı benzer yöntemlerle karşılaştırılması

Parametre	Önerilen yöntem	Saadati 2021	Sorouraddin ve ark. 2015	Neto ve ark. 2021	de Sa ve ark. 2020	Vidal ve ark. 2018	Botelho ve ark. 2017
Yöntem	DGA	DGA	DGA	DGA	DGA	DGA	DGA
Dijital görüntü yaratıcısı	akıllı telefon	akıllı telefon	Tarayıcı	Web kamerası	Tarayıcı	Tarayıcı	akıllı telefon
Boyalar	SY, İK, TA, AL, KAR, BB	SY, BL, CA, QY	SY, BL, CA, QY	SY, BL, TA, AR	İK	TA, AL	AL
Nümunne kabı	Saydam plastik kap (plastik UV küvetleri gibi)	Süzgeç kağıdı	Süzgeç kağıdı	Jel yüzey	Süzgeç kağıdı	Mikro titrasyon plakası	Katı örnekler
Ayrılma	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	jel elektroforezi	poliüretan köpük	Gerekli değil	Gerekli değil
Veri işleme	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	PLS	N-PLS
LR ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	3,0-9,0	10-500	20-250	4-250	0,1-5,0	2,0-40	22,9-78,8
Çalışılan boya sayısı	6	4	4	4	1	2	1
% RSD	$\leq 5,2$	$\leq 5,53$	$\leq 4,46$	$\leq 3,5$	2,16	$\leq 11,0$	$\leq 3,7$
LOD ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	0,76-1,11	5,05-5,86	4,82-8,05	2-30	0,20	0,6-1,8	4,2
LOQ ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	2,29-3,36	15,55-17,73	16,06-26,84	Yok	0,68	Yok	Yok

KAYNAKÇA

1. Botelho, B. G., Dantas, K. C. F. ve Sena, M. M. (2017) Determination of allura red dye in hard candies by using digital images obtained with a mobile phone and N-PLS. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 167, 44–49.
2. Botelho, B. G., de Assis, L. P. ve Sena, M. M. (2014) Development and analytical validation of a simple multivariate calibration method using digital scanner images for sunset yellow determination in soft beverages. *Food Chemistry*, 159, 175–180.
3. de Oliveira, L. M. A., dos Santos, V. B., da Silva, E. K. N., Lopes, A. S. ve DantasFilho, H. A. (2020) An environment-friendly spot test method with digital imaging for the micro-titration of citric fruits. *Talanta*, 206, 120219.
4. de Sá, I. C., Feiteira, F. N. ve Pacheco, W. F. (2020) Quantification of the food dye indigo carmine in candies using digital image analysis in a polyurethane foam support. *Food Analytical Methods*, 13(4), 962–969.
5. dos Santos, V. B., da Silva, E. K. N., de Oliveira, L. M. A. ve Suarez, W. T. (2019) Low cost in situ digital image method, based on spot testing and smartphone images, for determination of ascorbic acid in Brazilian Amazon native and exotic fruits. *Food Chemistry*, 285, 340–346.
6. Faraji, M. (2019) Determination of some red dyes in food samples using a hydrophobic deep eutectic solvent-based vortex assisted dispersive liquid-liquid microextraction coupled with high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1591, 15–23.
7. Hashem, E. Y., Saleh, M. S., Al-Salahi, N. O. A. ve Youssef, A. K. (2017) Advanced spectrophotometric analysis of sunset yellow dye E110 in commercial food samples. *Food Analytical Methods*, 10(4), 865–875.
8. Heidarizadi, E. ve Tabaraki, R. (2016) Simultaneous spectrophotometric determination of synthetic dyes in food samples after cloud point extraction using multiple response optimizations. *Talanta*, 148, 237–246.
9. Khoshmaram, L. ve Mohammadi, M. (2021) Combination of a smart phone based low-cost portable colorimeter with air-assisted liquid-liquid microextraction for speciation and determination of chromium (III) and (VI), *Microchemical Journal*, 164, 105991.
10. Khoshmaram, L., Tabaghchi, S. ve Azhar, F. F. (2022) Combination of a methylene blue-iodide system with a smartphone-based portable colorimeter for the on-site determination of nitrite, *New Journal Chemistry*, 46, 3231-3235.
11. Lin, B., Yu, Y., Cao, Y., Guo, M., Zhu, D., Dai, J. ve Zheng, M. (2018)

- Point-of-care testing for streptomycin based on aptamer recognizing and digital image colorimetry by smartphone. *Biosensor Bioelectron*, 100, 482–489.
12. Lipskikh, O. I., Korotkova, E. I., Khristunova, Y. P., Berek, J. ve Kratochvil, B. (2018) Sensors for voltammetric determination of food azo dyes - a critical review. *Electrochim Acta*, 260, 974–985.
 13. Masawat, P., Harfield, A. ve Namwong, A. (2015) An iPhone-based digital image colorimeter for detecting tetracycline in milk. *Food Chemistry*, 184, 23–29.
 14. Micheletti, L., Coldibeli, B., Salamanca-Neto, C. A. R., Almeida, L. C. ve Sartori, E. R. (2020) Assessment of the use of boron-doped diamond electrode for highly sensitive voltammetric determination of the azo-dye carmoisine E-122 in food and environmental matrices. *Talanta*, 220, 121417.
 15. Neto, F. S. G., Rodrigues, L. A. M ve Fonseca, A. (2021) A new quantitative gel electrophoresis method with imagebased detection for the determination of food dyes and metallic ions. *Talanta*, 221, 121602.
 16. Otero, P., Saha, S. K., Hussein, A., Barron. J. ve Murray, P. (2017) Simultaneous determination of 23 azo dyes in paprika by gas chromatography-mass spectrometry. *Food Analytical Methods*, 10(4), 876–884.
 17. Périat, A., Bieri, S. ve Mottier, N. (2019) SWATH-MS screening strategy for the determination of food dyes in spices by UHPLC-HRMS. *Food Chemistry*, X 1,100009.
 18. Pessoa, K. D., Suarez, W. T., dos Reis, M. F., de Oliveira, K. F. M., Moreira, R. P. L. ve dos Santos, V. B. (2017) A digital image method of spot tests for determination of copper in sugar cane spirits. *Spectrochimica Acta Part A Mol Biomol Spectrosc*, 185, 310–316.
 19. Resque, I. S., dos Santos, V. B. ve Suarez, W. T. (2019) An environmentally friendly analytical approach based on spot test and digital image to evaluate the conformity of bleaching products. *Chemical Papers*, 73(7), 1659–1668.
 20. Roda, A., Michellini, E., Zangheri, M., Di Fusco, M., Calabria, D. ve Simoni, P. (2016) Smartphone-based biosensors: a critical review and perspectives. *TrAC Trends Analytical Chemistry*, 79, 317–325.
 21. Saadati, M. (2021) Smartphone-Based Digital Image Analysis for Determination of Some Food Dyes in Commercial Products. *Food Analytical Methods*, 14, 2367–2374.
 22. Sankar, K., Lenisha, D., Janaki, G., Juliana, J., Kumar, R. S., Selvi, M. C.

- ve Srinivasan, G. (2020) Digital image-based quantification of chlorpyrifos in water samples using a lipase embedded paper based device. *Talanta*, 208, 120408.
23. Shokrollahi, A. ve Ahmadi, S. (2017) Determination of trace amounts of Brown HT as a food dye by a CPE-scanometry method. *Journal of Taibah University of Sciences*, 11(1), 196–204.
24. Soares, S., Torres, K. G., Pimentel, E. L., Martelli, P. B. ve Rocha, F. R. P. (2019) A novel spot test based on digital images for determination of methanol in biodiesel. *Talanta*, 195, 229–235.
25. Sorouraddin, M. H., Saadati, M. ve Mirabi, F. (2015) Simultaneous determination of some common food dyes in commercial products by digital image analysis. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23, 447-452.
26. Vidal, M., Garcia-Arrona, R., Bordagaray, A., Ostra, M. ve Albizu, G. (2018) Simultaneous determination of color additives tartrazine and allura red in food products by digital image analysis. *Talanta*, 184, 58–64.
27. Wu, D. ve Sun, D. W. (2014) Colour measurements by computer vision for food quality control: a review. *Trends Food Sciences Technologies*, 29, 5-20.
28. Zarghampour, F., Yamini, Y., Baharfar, M., Javadian, G. ve Faraji, M., (2020) On-chip electromembrane extraction followed by sensitive digital image-based colorimetry for determination of trace amounts of Cr (VI), *Analytical Methods*, 12(4), 483-490.
29. Zhang, S., Tan, Z., Liu, J., Xu, Z. ve Du, Z. (2020) Determination of the food dye indigotine in cream by near-infrared spectroscopy technology combined with random forest model. *Spectrochimica Acta Part A Mol Biomol Spectrosc*, 227, 117551.

Bölüm 5

Güç Elektronikinde EMI

Samet YALÇIN ¹

¹Arř. Gör.,Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta/TÜRKİYE

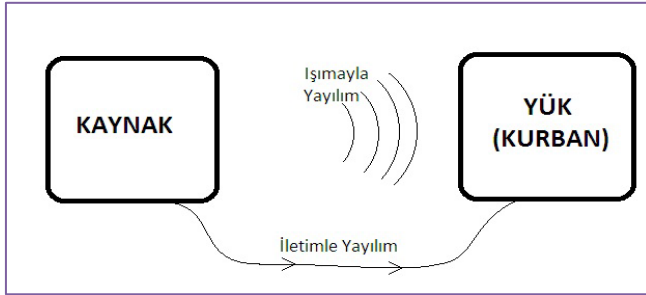
ÖZET

Güç kaynağı tasarımcıları devrelerini tasarlamış olsalar dahi bazı konuları çizim tahtaları üzerinde tekrar tekrar incelemeleri gerekir. Bunlar termal sorunlar güvenlikle ilgili sorunlar ve Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference - EMI) problemleridir ve bu problemler içinde EMI tahmin edilebilirliği en düşük olanıdır. Bu kitap bölümünde güç elektroniği devreleri üzerinde oluşan EMI anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güç Elektroniği, Elektromanyetik Girişim, WBG yarıiletkenler, Yüksek Güç eviricileri

1. GÜÇ ELEKTRONİĞİNDE İLETİMLE YAYILAN ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM

EMI bir kaynağın kurban olarak nitelendirilen diğer bir cihaza karşı belirli bir frekansta yapmış olduğu yüksek gürültüdür. EMI oluşumunda temel üç nokta gereklidir. Bunlar gürültü kaynağı, yayılım ortamı ve kurban olarak tanımlanır. Yayılım ortamına bağlı olarak EMI ikiye ayrılır. Şekil 1’de görüldüğü gibi bunlardan birincisi ışınla yayılım, diğeri ise iletim ile yayılımdır. Kökenine bakıldığında ışınla yayılım, kaynağın baskı devresinde oluşan yayılım ve iletim hattında oluşan yayılım olarak ikiye ayrılır. Işınla yayılım girişimleri, elektromanyetik alan vasıtasıyla hava veya boşluk gibi bir ortam üzerinden aktarılan elektromanyetik enerjiye karşılık gelir. İletim ile yayılım girişimleri ise bir iletken veya metalik bir yol vasıtasıyla gerçekleşen girişim olarak tanımlanır. Işımadan kaynaklı EMI temel çözümü ekranlamadır. Ancak ekranlamadan önce gürültünün oluşmasını en başta engellemek için iyi bir devre tasarımı ve iyi bir topraklama yapısı önemlidir. İletim hattında oluşan ışımadan kaynaklı gürültüler ise iletim ile yayılım gürültülerinin bastırılmasıyla etkili bir şekilde düşer (Arı ve Özen 2000).



Şekil 1. Elektromanyetik Girişim Biçimleri

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki girişimin başlıca sebepleri anahtarlama anında oluşan kayıplar, devre elemanları arasında oluşan parazit kapasiteler ve devredeki anahtarlama elemanının sahip olduğu dv/dt , di/dt oranlarıdır (Tihanyi 2004) (Oswald, Anthony ve Stark 2014). Bu tezde odak noktası DAB devresinin çalışma ortamında iletimle yapmış olduğu elektromanyetik yayılımdır. Bu sebeple iletimle yayılım koşulları, ölçüm şekilleri, iletimle yayılım ölçüm standartları anlatılacaktır.

1.1. İletimle Yayılım Ölçümleri

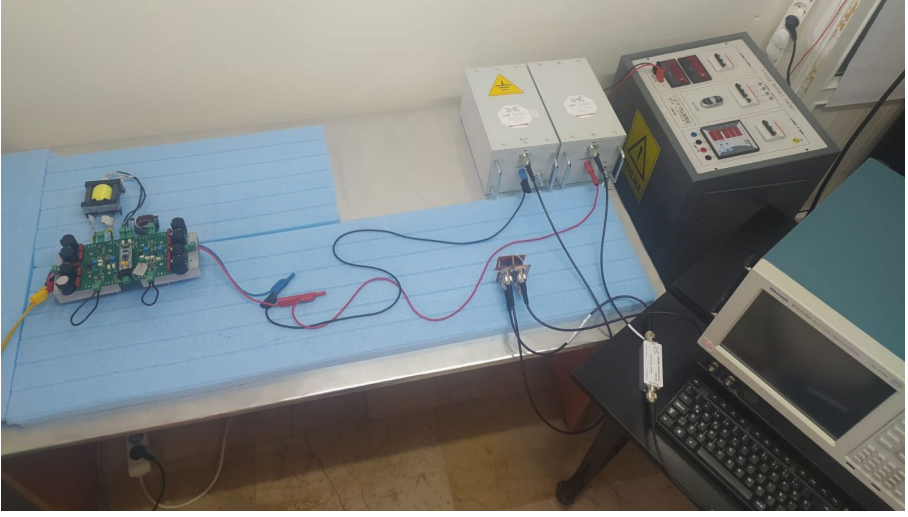
İletimle yayılım ölçümleri için askeri ve sivil olarak birden fazla standart bulunmaktadır. Bunlar MIL-STD, EN, FFC, IEC, SAE ve CISPR olarak sıralanmaktadır. Tezin konusu olan DAB çevirici devreleri genel olarak elektrikli araçların şarj ünitelerinde kullanıldığı için bu tez çalışmasında yapılan testler CISPR 25 (CISPR25 2021) standardı doğrultusunda yapılmıştır.

CISPR 25 araçlar, gemiler ve içten yanmalı motorlarda on-board cihazların korumasını sağlamak amacıyla gürültü karakterlerinin, limitlerinin ve ölçüm yöntemlerinin açıklandığı bir standarttır. Elektrikli araçlardaki sistem ve cihazların elektromanyetik uyumluluk süreçleri de bu standart dâhilindedir. Bu nedenle bu çalışmada iletimle yayılım testleri, alınan sonuçlar ve EMI alıcı parametreleri CISPR 25 standardında sunulan veriler kullanılarak oluşturulmuştur.

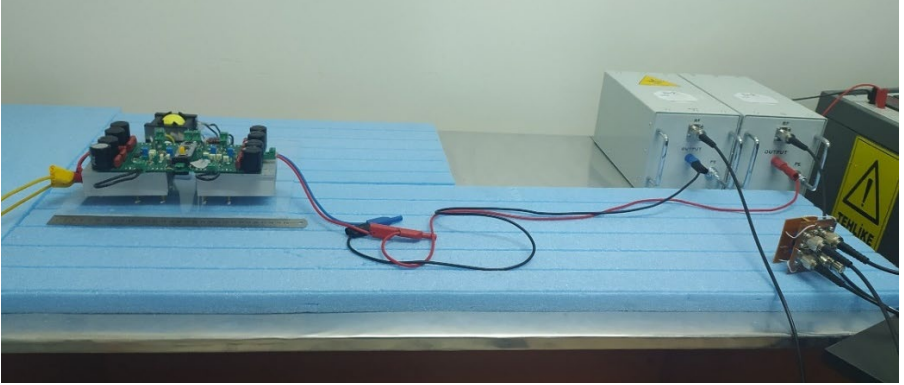
CISPR 25 standardı çerçevesinde Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde BTAP 2020-BTAP2-0091 numaralı BAP projesi ile birlikte Şekil 3.2'de gösterilmiş olan iletimle yayılım laboratuvarı kurulmuştur. Ayrıca test masası Şekil 3.3'te gösterilen şekle uygun hazırlanmıştır. İlgili standartta iletimle yayılım testi 150kHz ile 108MHz aralığında gerçekleştirilir. Çözünürlük bantgenişliği (Resolution Bandwidth - RBW) 150kHz-30MHZ aralığında 9kHz, 30MHZ-108MHz aralığında 120kHz seçilir.



Şekil 1. İletimle Yayılım Laboratuvarı



(a)



(b)

Şekil 2. CISPR 25 Test Masası Şartları (a) Üstten, (b) Yandan Görünüşü

CISPR 25 cihazları Çizelge 1’de gösterildiği gibi beş sınıfta sınıflandırır. Bu sınıflandırma cihazın araç içerisindeki fiziksel konumu ve elektromanyetik ortama verebileceği gürültünün şiddet seviyesini esas alır (Adamczyk 2017).

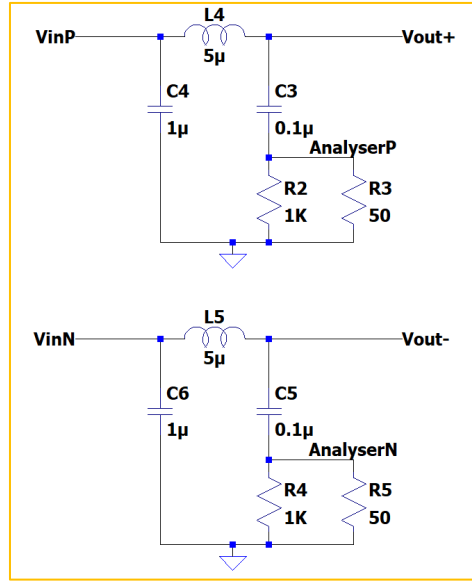
Çizelge 1. CISPR 25 Peak ve Quasi-Peak Limitleri

		SEVİYELER (dB μ V)									
		Sınıf 1		Sınıf 2		Sınıf 3		Sınıf 4		Sınıf 5	
SERVİS	FREKANS MHz	PK	QP	PK	QP	PK	QP	PK	QP	PK	QP
LW	0.15-0.3	110	97	100	87	90	77	80	67	70	57
MW	0.53-1.8	86	73	78	65	70	57	62	49	54	41
SW	5.9-6.2	77	64	71	58	65	52	59	46	53	40
FM	76-108	62	49	56	43	50	37	44	31	38	25
TV Band1	41-88	58	-	52	-	46	-	40	-	34	-
CB	26-28	68	55	62	49	56	43	50	37	44	31
VHF	30-54	68	55	65	49	56	43	50	37	44	31
VHF	68-87	48	49	56	43	50	37	44	31	38	25

İletimle yayılım testlerinde ölçüm esnasında güç kaynağından gelebilecek herhangi istenilmeyen bir gürültünün engellenmesi ve test altındaki cihazın (Device Under Test - DUT) yaymış olduğu EMI'yi doğru bir şekilde ölçülebilmesi için güç kaynağı ile DUT arasında hat empedansı dengeleme devresi (Line Impedance Stabilization Network – LISN) yerleştirilir. LISN devresinin deney düzeneğindeki kullanım nedenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Güç kaynağının frekans değerlerinde giriş toprak arasında yüksek empedans, giriş çıkış arasında ise düşük empedans değerlerini sağlayarak kaynaktan TAC'a güç akışını sağlar.
- Gerçek uygulamalar içerisinde ana kaynağın ve kablolarının empedansı çok büyük bir bölge içerisinde değişebilmektedir. TAC ise tam olarak bilinmeyen ancak yüksek değerlerde olan bir kaynak empedansına sahiptir. Farklı laboratuvarlarda aynı testin tekrarlanabilir olması için ise güç kaynağı empedansının sabitlenmesi gerekir. Bu nedenle HEDD çıkış toprak arası empedansını bilinen bir değerde tutarak TAC'ın ürettiği yüksek frekanslı iletimle yayılım girişimlerinin tanımlanmasını sağlar.
- Yüksek frekanslarda giriş ile toprak arasında düşük empedans, giriş ile çıkış arasında ise yüksek empedans özelliği göstererek güç kaynağından gelebilecek ve ölçümde hataya sebep olabilecek gürültüleri engeller.
- Faz ve nötr hat gerilimlerinin ölçümüne imkan sağladığı gibi bu hat gerilimlerinin toplamını ya da farkını belirlemek için kurulacak birimlerin kullanılmasına, böylece bir sonraki bölümde açıklanacak olan ortak mod ve fark mod gürültü bileşenlerinin tanımlanmasına izin verir (Montrose ve Nakauchi 2004) (Kostov 2009).

Şekil 3.4'te şematik gösterimi bulunan LISN devresi CISPR 25 doğrultusunda diğer standartlardan farklı olarak $5\mu\text{H}$ değerine sahip endüktör ile oluşturulur. ISUBÜ iletimle yayılım laboratuvarında bulunan CISPR 25 uyumlu EMC Elektronik marka LISN cihazları Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Ayrıca oluşan iletimle yayılım gürültülerini analiz ederek karşılaştırabilmek için Şekil 3.6'daki Tektronix marka RSA5000B modelindeki spektrum analizörü kullanılmıştır.



Şekil 3. LISN Şematik Gösterimi



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Hat Empedansı Dengeleme Devresi (Line Impedance Stabilization Network – LISN) (a) Yandan, (b) Önden, (c) Arkadan Görünüşü



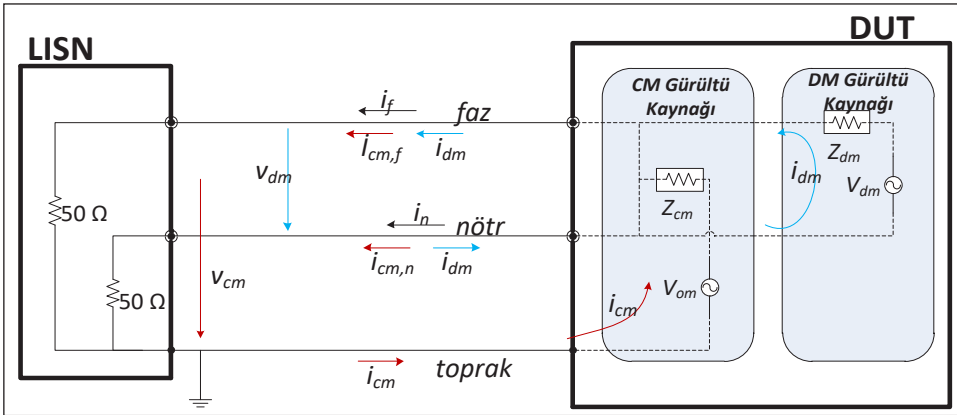
Şekil 5. Spektrum Analizör

1.2. İletim İle Yayılım Bileşenleri

İletimle yayılım testlerinde hatlar üzerinde oluşan gürültüler yönlerine göre farklılık gösterirler. Ölçümlerde önemsenmeyebilir ancak bu farklılıklar düşünülmeden EMI azaltmak imkânsız hale gelir. Gürültü bileşenlerinin analiz edilmediği koşullarda EMI bastırma veya azaltma yöntemlerinin birçoğu uygulanamaz (Ozenbaugh 2001).

İletimle yayılım gürültüsü ortak mod (Common Mode - CM) ve fark mod (Differential Mode - DM) olmak üzere iki bileşenden oluşur. DM akımı sinyal hattından nötr hattına topraklama referansı olmadan yayılır. Eğer devrenin sinyal hatlarında dengeleme problemi varsa bu akım EMI'ye sebep olur. CM akımı ise sinyal ve nötr hattından toprağa doğru gider. Hatlardaki parazit elementlerden dolayı bu akım CM gürültüye sebep olur. Yüksek frekans anahtarlama elemanlarından dolayı CM gürültü devrede DM gürültüye göre çok daha önemli bir problemdir (Montrose ve Nakauchi 2004).

Şekil 3.7'de gösterilen EMI eşdeğer devresi incelendiğinde görülebilir ki DUT ile LISN arasında genel olarak faz, nötr ve toprak olmak üzere üç hatlı bağlantı vardır. Faz ve nötr bağlantılarından akan akımlar i_f ve i_n olarak verilir. Bu akımlar ortak mod i_{cm} ve fark mod i_{dm} akımlarını oluşturur.

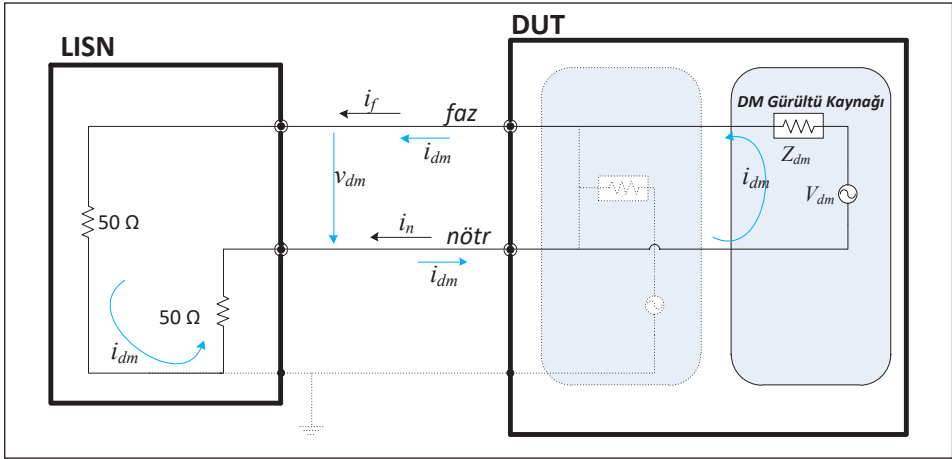


Şekil 6. EMI Eşdeğer Devresi

1.2.1. Fark mod gürültü

Fark mod gürültü hatlar üzerindeki normal enerji yolunu izler. Toprak hattından bağımsız olarak Şekil 3.8'da görülebileceği gibi bir iletim hattından bir yönde akan ve diğer iletim hattından ters yönde ilerleyen akımın oluşturduğu gerilim fark mod gerilimidir. Başka bir deyişle fark mod gürültü enerji hattındaki güç gibi aynı yönde ilerlemektedir. Böylece fark mod biçiminde oluşan girişimler, eşit şiddette fakat faz-nötr hatlar üzerinde ters yönlü olarak akarlar.

Fark mod gürültünün temel sebebi cihaz içerisinde bulunan devre bileşenlerinin kendi aralarında etkileşime girerek istenilmeyen gerilim farkları oluşturmasıdır.



Şekil 7. EMI DM Şeması

DM akımı Denklem (1)'de verildiği gibi faz ve nötr hat akımlarının farkının yarısıdır.

$$i_{dm} = \frac{i_f - i_n}{2} \quad (1)$$

DM gerilimi ise faz ve nötr hat gerilimleri arasındaki fark olarak Denklem (2)'de verildiği gibi ifade edilir.

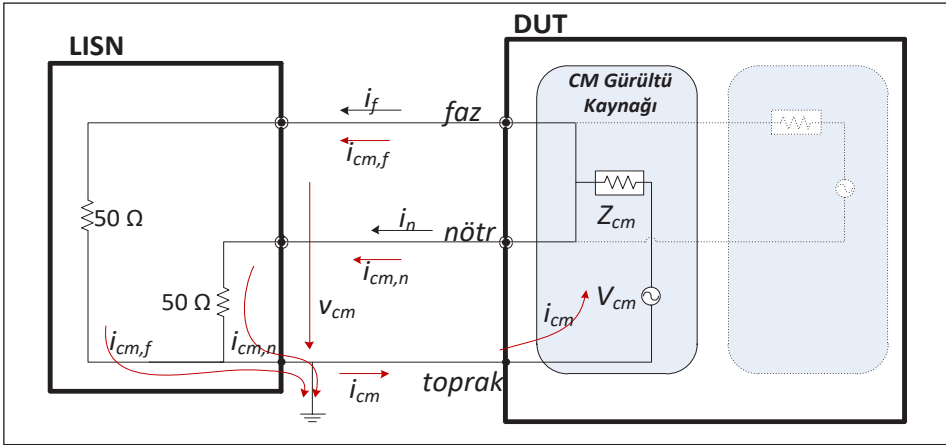
$$v_{dm} = v_f - v_n \quad (2)$$

Böylece fark mod gerilim ve akımı arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir (Bockelman ve Eisenstadt 1995.) (Tihanyi 2004) (KOTNY, DUQUESNE ve IDIR 2011.) (Maniktala 2012).

$$\begin{aligned} v_{dm} = v_f - v_n &= 50\Omega i_f - 50\Omega i_n = 2 \times 50\Omega \frac{i_f - i_n}{2} \\ &= 100\Omega \times i_{dm} \end{aligned} \quad (3)$$

1.2.2. Ortak mod gürültü

Ortak mod gürültü gerilimi, bütün enerji hatlarını aynı yönde etkileyen bir gerilimdir. Bu gerilim, hatlar (faz - nötr) ile toprak arasında oluşur. Ortak mod gürültüsü, genellikle bir parazit kapasite üzerinden sisteme girer ve sistem iletkenleri üzerinde toprağa geçerler. Ortak mod gürültünün başlıca sebepleri, güç kaynaklarındaki anahtarlama işlemlerinde oluşan endüktif açma kapama darbeleridir. Ayrıca güç kaynaklarındaki süzgeç kapasitörlerinin ve mosfet devresindeki soğutucuların kapasitör gibi davranmasıyla toprağa belirli frekanslarda istenmeyen akımlar göndermesinden dolayı ortak mod gürültüler meydana gelebilir. Ortak mod akımlarına bir başka örnek ise nükleer etkiler ve yıldırımdan kaynaklı elektromanyetik darbelerden oluşan gürültüler verilebilir (Bockelman ve Eisenstadt 1995.).



Şekil 8. EMI CM Şeması

Şekil 9'a bakıldığında CM akımlarının hatlardan toprağa doğru gittiği görülür. Böylece CM akımı Denklem 23'te verildiği gibi faz ve nötr akımlarının toplamı olur. Böylece ortak mod akımının faz veya nötr hat akımına eşit değil toplamına eşit olduğu görülür. Çünkü ortak mod akımlarının en büyük sebebi devre yapısından veya topraklama hatalarından dolayı oluşan parazit kapasitans etkileridir. Bu kapasitansın kaynaklanan gerilimle toprağa akan bir ortak mod akımı ortaya çıkacaktır. Pratikte faz ile nötr hatların empedanslarının eşit olması mümkün değildir. Bu sebeple bu hatlar üzerinden parazit kapasitansın gelecek olan ortak mod akımı bu hatlara eşit dağılamaz.

$$i_{cm} = i_f + i_n \quad (4)$$

CM gürültü gerilimi için ise faz ve nötr hattının toprak hattına göre aynı olduğu görülür. Bu yüzden CM gürültü gerilimi Denklem 24'te gösterildiği gibi faz ve nötr geriliminin aritmetik ortalamasıdır. Böylece iletimle yayılım ölçümlerinde LISN devresinin bir ucu 50Ω EMI alıcı diğer ucu da 50Ω sonlandırma direnciyle sonlandırılacağı için ortak mod akım ve gerilim arasındaki ilişki Denklem (3.5) ve (3.6)'te gösterildiği gibi olur.

$$v_{cm} = \frac{v_f + v_n}{2} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} v_{cm} &= \frac{v_f + v_n}{2} = \frac{50\Omega \times i_f + 50\Omega \times i_n}{2} = \frac{50\Omega}{2} (i_f + i_n) \\ &= 25\Omega \times i_n \end{aligned} \quad (5)$$

1.2.3. Elektromanyetik gürültü ayırıcı

Anahtarlama güç kaynaklarında CM ve DM gürültü bileşenlerinin bilinmesi EMI bastırma metodları için hayati öneme sahiptir. Bu bileşenler EMI alıcı üzerinden değerlendirilebilir. Ancak gürültü bileşenlerinin alıcı üzerinde analiz edilebilmesi için ayırıcı devreleri ile gürültü bileşenleri ayrılabilir.

CISPR 25 gerilim ölçümü üzerinden yapılacak testler için literatürde beş adet yöntem verilmektedir. Bu yöntemler Paul-Hardin devresi, güç birleştirici, Negal devresi, Caponet devresi ve Wang devresi olarak sıralanır.

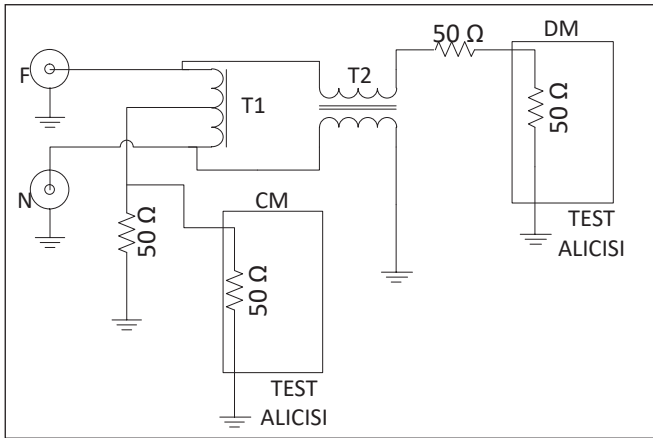
Geniş bant transformator kullanılarak yapılmış en eski sayılan ve C. Paul ve K. Hardin tarafından 1988'de tasarlanmış olan gürültü ayırıcı (Paul ve Hardin 1988) anahtarlama yapısı ile iki giriş portunun toplamını veya farkını tek bir çıkış portundan görebilmekteyiz. Ancak devrenin giriş empedansının gerilime bağlı olması tasarım için büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Guo tarafından tasarlanan bir başka devre yapısında (Guo, Chen ve Lee 1996) ise iki giriş portunun toplamı veya farkı faz farkı yardımıyla çıkış portuna aktarılmaktadır. Tasarımın sonuçları iletim ve bastırma oranlarının gayet başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak ilgili makalede güç birleştirici (power combiner) eşdeğer devresi hatlar toplamı verilmiştir ve devre mikrodalga mühendisliği konusu içerisinde tasarlandığı için daha karmaşık bir haldedir.

Bir başka devre yapısı ise A. Nagel tarafından 1999 yılında önerilmiştir. Bu yapı giriş empedansı ile ilgili probleme karşı yapılmış ilk transformator tabanlı devredir. Ancak CM ve DM dirençlerinin beklenildiği gibi istenen 25 ve 100 Ω 'luk değerleri sağlamasına rağmen T1 transformatorünün birinci – ikinci sarımları arasında oluşan kapasitif parazitlerden dolayı sonuçta beklenen değerlerde azalma meydana gelmektedir.

Transformatör tabanlı bir başka öneri ise 2001 ve 2002 yıllarında C. Caponet ve F. Profumo tarafından getirilmiştir (Caponet, Profumo ve Ferraris, ve diğerleri 2001) (Caponet ve Profumo, Devices for the separation of the common and differential mode noise design and realization 2002). Önerilen devrenin testi bir port girişinin 50Ω kaynak empedansı ile sonlandırıldığı düşünülerek diğer port giriş ölçümüyle yapılmıştır. Bu ölçüm, kaynak empedansının pratikte 50Ω değerinde olamayacağı ve sonlandırılan portun tasarlanan port empedansını etkileyebilme olasılığından dolayı doğru değildir (Wang, Lee ve Odendaal, Characterization, evaluation, and design of noise Separator for conducted EMI noise diagnosis 2005).

2005 yılında Nagel'in devresinin geliştirilmiş haliyle Shou Wang (Wang, Lee ve Odendaal 2005) bir öneri geliştirmiştir. Şekil 3.10'da gösterilen devrede T1'de ikinci sarım kullanılmayarak sarımlar arası parazit kapasitanslar engellenmiştir.



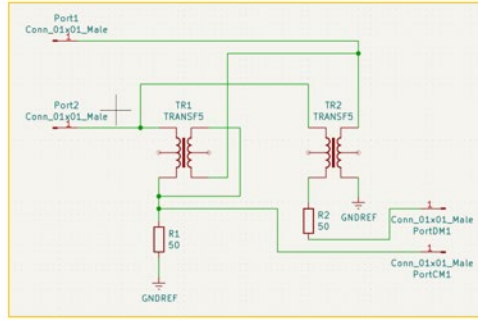
Şekil 9. Shou Wang Gürültü Ayırıcı Devresi

İletimle yayılım gürültü bileşenlerini ayırma yöntemlerinde Kostov'un (Kostov 2009) yapmış olduğu araştırmada akım probundan sonra pasif devre olarak en iyi sonuç veren yöntemin Shou Wang'ın transformatör tabanlı gürültü ayırıcısı olduğunu gösterilmiştir. Bundan dolayı bu tez çalışmasında Wang devre topolojisi düşünülerek gürültü ayırıcı devresi tasarlanmıştır.

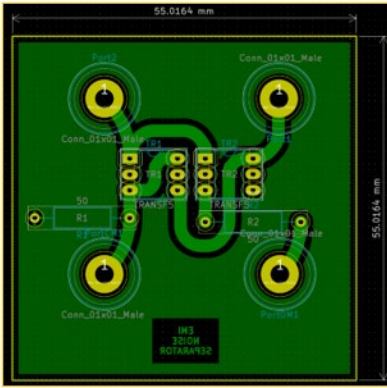
Tasarımda dikkat edilmesi gereken nokta, EMI alıcıları 50Ω yüke sahip olduğu için gürültü ayırıcı devrelerinin sonlandırmalarının 50Ω ile yapılması gerektiğidir. Bu sayede gürültü ayırıcının bir hattı EMI alıcı ile 50Ω değerinde sonlandırılırken diğer hat da aynı değerinde olabilmesi için 50Ω ile sonlandırılır.

Gürültü ayırıcı devresi ilk tasarlandığı zamanda CISPR 16 için 150kHz – 30MHz aralığında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ancak bu çalışmada analiz band genişliği 150kHz – 108MHz aralığında olduğu için devre tasarımında kullanılacak olan mikrodalga transformatörlerinin bu düzeydeki kabiliyeti incelenmiştir.

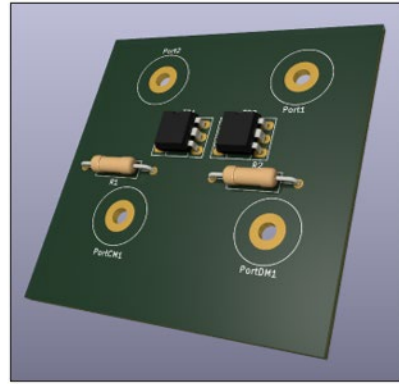
Devre KiCad programı üzerinde Şekil 3.11’de gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Şekil 3.11 (a)’ya dikkat edilirse görülebilir ki CM portu 50Ω dirençle paralel, DM portu ise 50Ω ile seri yapılarak Denklem 22 ve Denklem 25 uygulanmıştır.



(a)



(b)



(c)

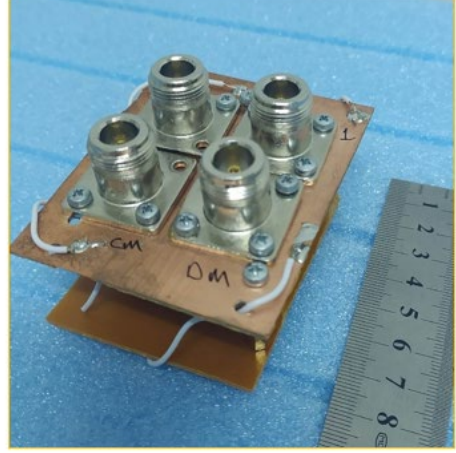
Şekil 10. Gürültü Ayırıcı Devre Tasarımının (a) Şematik, (b) PCB ve (c) Üç Boyutlu Gösterimi

Gürültü ayırıcı devre tasarımında coilcraft marka ve wb1010 model geniş band RF transformatörler ve N tipi konnektörler kullanılmıştır. Ürün Şekil 3.12’de görüldüğü gibi test ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Devrenin iletim ve yansım oranlarını inceleyebilmek için saçılma parametresi (scattering parameter – S-parameter) incelenmiştir. Şekil 3.13’te saçılma parametresi grafiği

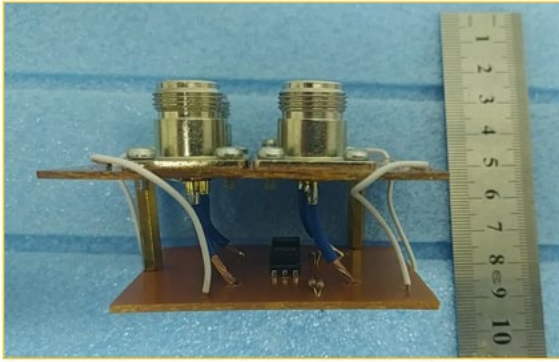
gösterilmiştir. Burada S11 yansıyan dalga, S21 ise iletilen dalgadır. Grafik Shou Wang'ın devresine 30MHz'e kadar birebir uyumludur. Ancak 30MHz üzerinde literatürde herhangi bir ölçüm yapıldığına rastlanmamıştır. Bu band genişliğine bakıldığında devrenin sonlara doğru iletimle yansımasının birbirine yaklaştığı görülmektedir.



(a)

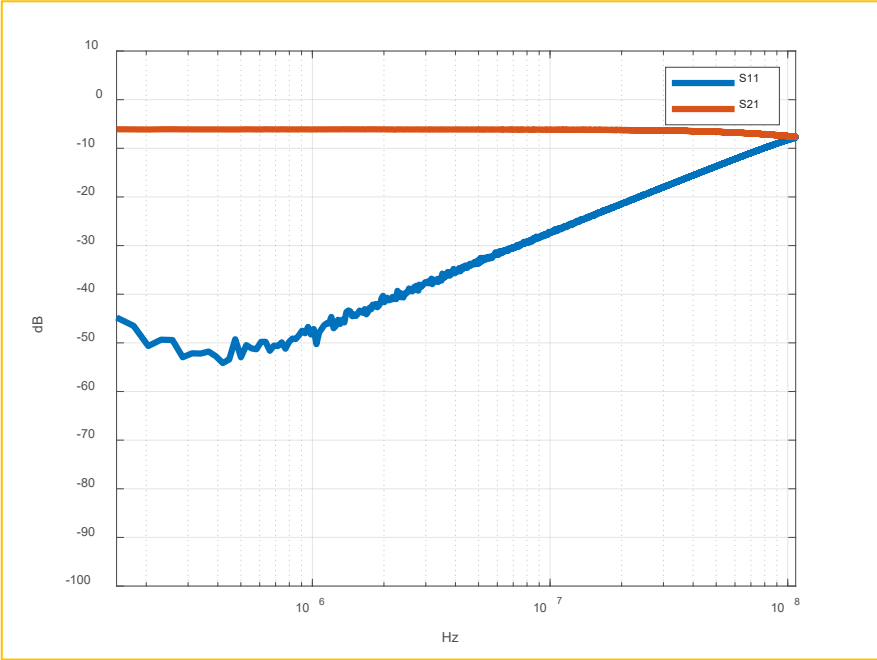


(b)



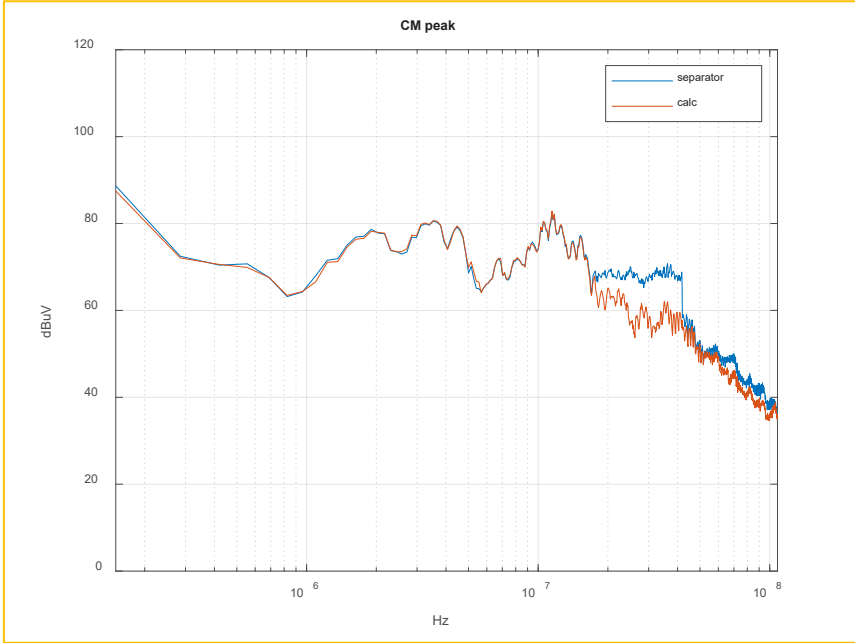
(c)

Şekil 11. Gürültü Ayırıcı Devresi (a) Üstten, (b) Çapraz ve (c) Yandan Görüntüsü



Şekil 12. Gürültü Ayırıcı Saçılma Parametresi

Test altındaki cihazın port1 ve port2 uçlarından EMI alıcı yardımı ile ölçümler alınmış ve bu ölçüm değerleri Denklem (3.4) ve Denklem (3.5) kullanılarak CM gürültü gerilimi çıkartılmıştır. Daha sonra aynı ölçüm gürültü ayırıcı devresi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve iki sonuç Şekil 3.14'te karşılaştırılmıştır. Bu sonuç ile görülmüştür ki gürültü ayırıcı 18MHz'e kadar V_{cm} ve V_{dm} hesaplamaları ile aynı sonucu vermektedir. 18MHz – 40MHz aralığında devrenin daha yüksek EMI değerleri göstermesi ve sonrasında tekrar hesaplama ile benzer parametrelere oturması devrenin kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Bu tez çalışmasında alınan sonuçlar için tasarlanan gürültü ayırıcı devresi kullanılmıştır.



Şekil 13. Gürültü Ayırıcı ve Hesaplama Sonuçlarının Karşılaştırılması

KAYNAKLAR

- Arı, N., ve Ş. Özen. *Elektromanyetik Uyumluluk*. Ankara: Palme Yayıncılık, 2000.
- Tihanyi, L. *EMC in Power Electronics*. Florida: IEEE , 2004.
- CISPR25. *Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*. International Electrotechnical Commission, 2021.
- Adamczyk, Bogdan. *Foundations of Electromagnetic Compatibility: with Practical Applications*. Hoboken, NJ 07030, USA: John Wiley and Sons Ltd, 2017.
- Montrose, M.I., ve E.M. Nakauchi. *Testing For EMC Compliance Approaches and Techniques*. Canada: A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2004.
- Kostov, K. «Design and Characterization of Single-Phase Power Filters.» HELSINKI, 2009.
- Ozenbaugh, R.L. *Emi Filter Design Second Edition*. New York: Markel Dekker, Inc., 2001.
- Bockelman, D.E., ve W.R. Eisenstadt. «Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation.» *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on 0018-9480*, 1995.: 1530 - 1539.
- KOTNY, J.L., T. DUQUESNE, ve N. IDIR. «EMI Filter design using high frequency models of the passive components.» *Signal Propagation on Interconnects (SPI), 2011 15th IEEE Workshop on 978-1-4577-0466-6*, 2011.: 143 - 146.
- Maniktala, Sanjaya. *Switching Power Supplies A - Z*. Oxford: Elsevier, 2012.
- Paul, C.R., ve K.B. Hardin. «Diagnosis and reduction of conducted noise emissions.» *Electromagnetic Compatibility, 1988. Symposium Record., IEEE 1988 International Symposium*, 1988.
- Guo, T., D.Y. Chen, ve F.C. Lee. «Separation of the common-mode- and differential-mode-conducted EMI noise.» *Power Electronics, IEEE Transactions 11* , no. 3 (1996): 480 - 488.
- Caponet, M.C., F. Profumo, L. Ferraris, A. Bertoz, ve D. Marzella. «Common and differential mode noise separation: comparison of two different approaches.» *Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual 3* (2001): 1383 - 1388.
- Caponet, M.C., ve F. Profumo. «Devices for the separation of the common and differential mode noise design and realization.» *Applied Power*

Electronics Conference and Exposition, 2002. APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE 1, no. 8 (2002): 100 - 105.

Wang, S., F.C. Lee, ve W.G. Odendaal. «Characterization, evaluation, and design of noise Separator for conducted EMI noise diagnosis.» *Power Electronics, IEEE Transactions 20* , no. 4 (2005): 974 - 982.

Bölüm 6

Güç Elektronikinde EMI Kaynakları ve Bastırma Yöntemleri

Samet YALÇIN¹

¹Arş. Gör.,Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta/TÜRKİYE

ÖZET

Elektrikli araçlar, uzay teknolojisi ve güç şebekeleri gibi alanlarda geniş bir yerde kullanılan güç elektroniği devreleri için yarıiletken teknolojisi yüksek gerilim ve yüksek anahtarlama frekanslarında çalışma ortamı hazırlamıştır. Ancak bu durum ışıma ve iletimle yayılım EMI (Elektromanyetik Gürültü) değerlerini yükseltmektedir. Özellikle devre ile toprak arasındaki parazit kapasitelere direkt bağlı olan CM gürültülerin arttığı literatürde bildirilmektedir. Bu bölümde güç elektroniği devrelerinde oluşan EMI değerlerinin nasıl bastırılabilirliği hakkında bilgi verilmiştir.

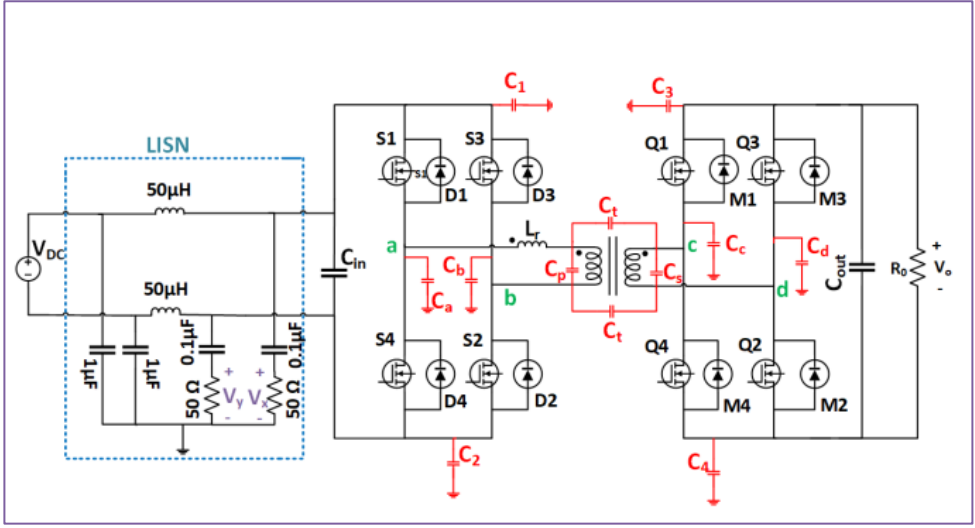
Anahtar Kelimeler: Güç Elektroniği, Elektromanyetik Girişim, WBG yarıiletkenler, Yüksek Güç Çeviricileri, EMI Bastırma Teknikleri

Elektrikli araçlar, uzay teknolojisi ve güç şebekeleri gibi alanlarda geniş bir yerde kullanılan güç elektroniği devreleri için yarıiletken teknolojisi yüksek gerilim ve yüksek anahtarlama frekanslarında çalışma ortamı hazırlamıştır. Ancak bu durum ışıma ve iletimle yayılım EMI (Elektromanyetik Gürültü) değerlerini yükseltmektedir. Özellikle devre ile toprak arasındaki parazit kapasitelere direkt bağlı olan CM gürültülerin arttığı literatürde bildirilmektedir (Yuchen 2018) (Wang, Kong ve Lee 2006) (Dwiza ve Kalaiselvi 2020).

1. Çevirici Devrelerinde EMI Kaynakları

Literatürde CM gürültüyü bastırmak için donanımsal ve yazılımsal olarak yapılan birçok çalışma mevcuttur. CM gürültüyü azaltmak için empedans dengeleme yöntemi (Wang, Kong ve Lee 2006) (Shoyama, Li ve Ninomiya 2003), transformatör giriş bölümünün önce EMI filtresinden geçirilme yöntemi (Naayagi 2013) gibi yöntemler uygulanmaktadır. Ayrıca CM gürültünün bastırılması için DC-AC çevirici topolojisinde birincil sargı H köprüsünün modifiyesi (Buticchi, ve diğerleri 2018) ve tam köprü faz kaydırma devresinde rezonans indüktörlerinin transformatöre simetrik bağlanarak CM gürültünün azaltılması (Xie, Ruan ve Ye 2018) teknikleri de literatüre girmiştir. Bu kaynaklardan anlaşılabilceği gibi iletimle yayılım gürültülerinde DM üzerine değil CM üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

CM gürültünün yayılmasında temel olarak anahtarlama elemanlarının kendileri, soğutucu ile anahtarlama elemanlarının arasındaki parazit kapasite ve transformatörün parazit kapasiteleri önemli rol oynar. Parazit kapasitelerle birlikte DAB çevirici yapısı Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



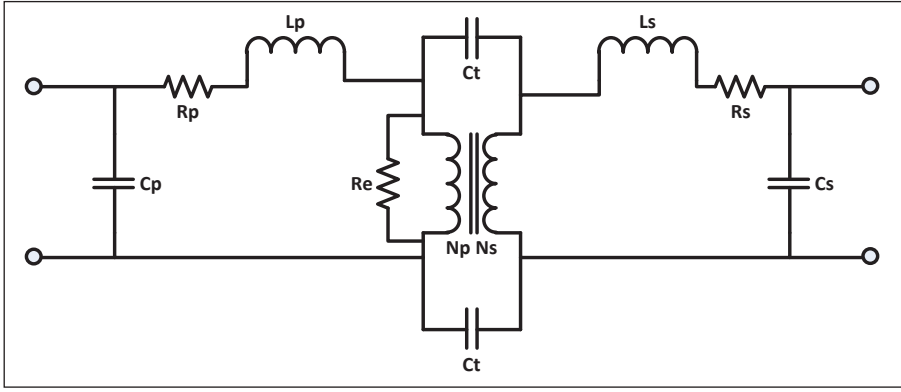
Şekil 1. Parazit kapasitelerle birlikte DAB çevirici

DC-DC çeviricilerin parazitlerle çözümlenmesinde süperpozisyon yönteminin kullanıldığı literatürde görülmektedir. Chu ve Wang'ın teoremlerine göre (Chu ve Wang 2015) (Wang, Kong ve Lee 2006) diyotlar ve üst kol anahtarlama elemanları (S_1, S_2, S_5, S_6) akım kaynağı olarak modellenir. Alt kol anahtarlama elemanları (S_3, S_4, S_7, S_8) ise gerilim kaynağı olarak modellenir. Zhang ve Xie'nin modellemelerine (Zhang ve Wang 2016) göre aşağıdaki maddeler CM tahmini için önemli yer tutar.

1. Akım kaynakları CM gürültüyü artırmaz
2. C_{in} ve C_{out} kapasitelerinin dv/dt si düşüktür. Bu nedenle CM etkisi ihmal edilir.
3. Trafo birincil ile ikincil sargılar arası kapasite alt ve üst kollara bağlıdır. Bu yüzden ölçülen C_t değeri ikiye bölünerek üst ve alt kollara eşit olarak yazılır

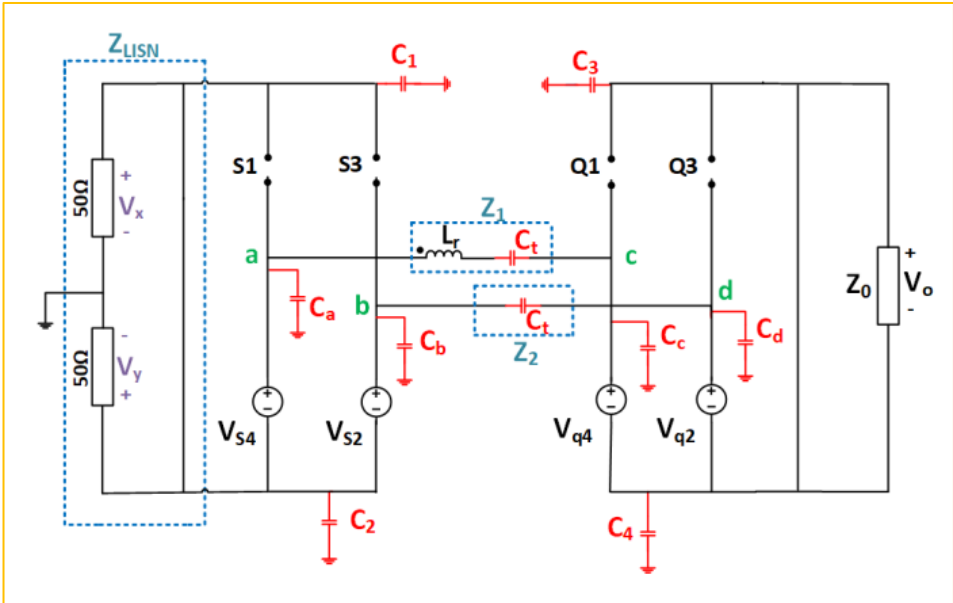
$$\rightarrow \frac{C_t}{2} = C_{t_{üst}} = C_{t_{alt}}$$

Transformatör kaynaklı parazitler Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Burada C_t , C_p ve C_s parazit kapasiteleri CM gürültüyü etkiler. Transformatör kaçak endüktansı ile kaçak kapasitansı ters orantılıdır. Endüktansı artırdığınızda kapasitans düşer. Kapasitansı artırdığınızda da endüktans düşer (McLyman 2011).



Şekil 2. İdeal Olmayan Şartlarda Transformator Devresi

ÇAK devresi CM gürültü için en son Şekil 3.17’de olduğu gibi modellenir. Dwiza (Dwiza ve Kalaiselvi 2020) bu konuda LTspice programı üzerinden simülasyon gerçekleştirmiş ve SPS yöntemi ile gürültüyü analiz etmiş, kaçak endüktans dengeleme yöntemi ile CM gürültünün azaltılabildiğini simülasyon üzerinde göstermiştir.



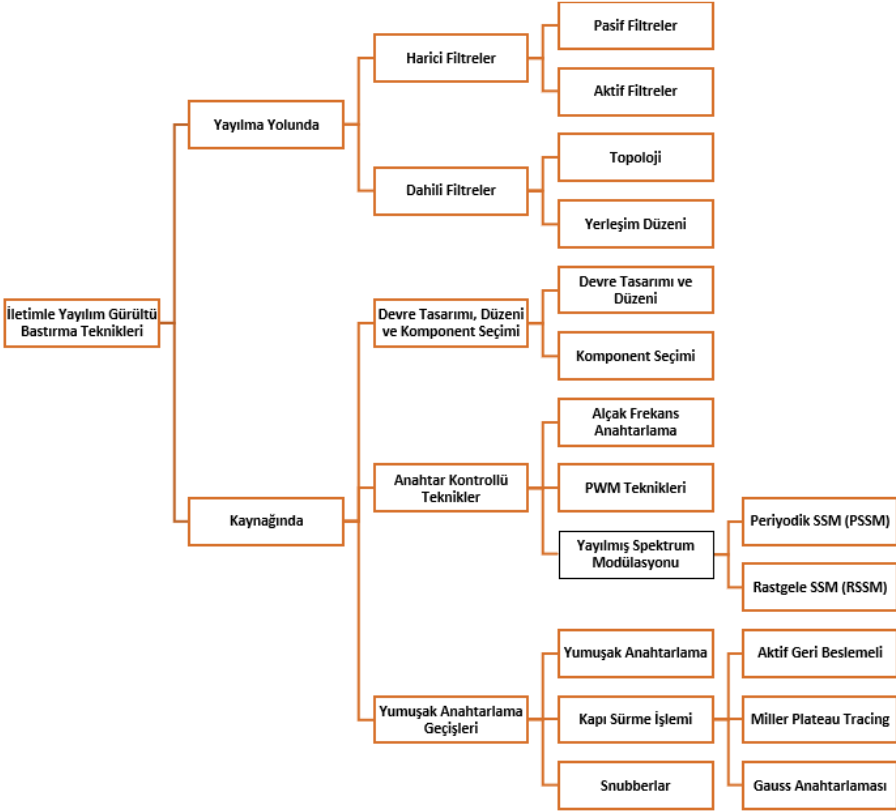
Şekil 3. DAB CM Gürültü Eşdeğer Devresi

Şekil 3.17'den anlaşılabilir ki S_1, S_3, Q_1, Q_3 anahtarlarının CM gürültüye etkisi ihmal edilebilir. Gürültünün yorumlanabilmesi için ise S_2, S_4, Q_2, Q_4 anahtarlarının, bu anahtarların drain ve source bacaklarında oluşan parazit kapasiteler ve transformatör sargılar arası kapasitesi önemlidir.

2. İletimle Yayılan Gürültü İçin Bastırma Teknikleri

Elektromanyetik girişim, sistem, devre, ekipman ya da iletim kanalının performansını düşürebilir (Yin, Tao ve Yin 2019). Gelişen teknolojiyle kullanılmaya başlayan SiC ve GaN gibi WBG yarıiletken anahtarlama elemanları yüksek anahtarlama hızlarına ve çok daha büyük $dv/dt, di/dt$ oranlarına sahiptir. Bu yüzden bu anahtarlama elemanlarının kullanıldığı yüksek frekans çeviricilerinde önemli büyüklüklerde EMI oluşmaktadır (Natarajan, ve diğerleri 2020) (Dai, ve diğerleri 2022) (Y.Xie, ve diğerleri 2019). Böylece EMI bastırma yöntemlerinin önemi daha da artmaktadır.

EMI azaltmak veya bastırmak için literatürde birçok teknik vardır. Ancak bu teknikler Şekil 3.18'de gösterildiği gibi yayılma yolunda uygulanan ve kaynakta uygulanan teknikler olmak üzere iki ana başlıkta incelenir.



Şekil 4. EMI azaltma teknikleri

İletimle yayılım bastırma tekniklerine EMI kaynakları perspektifinden bakıldığında dv/dt , di/dt üreten tüm devre elemanları gürültü kaynağı olarak değerlendirilir. Güç çeviricilerinde en önemli EMI kaynağı drain-source gerilimi V_{ds} veya drain akımı I_d 'dır. Ayrıca transformatörler ve kapasitörler de dikkat edilmesi gereken komponentlerdir (Xu, Xu, ve diğerleri 2022).

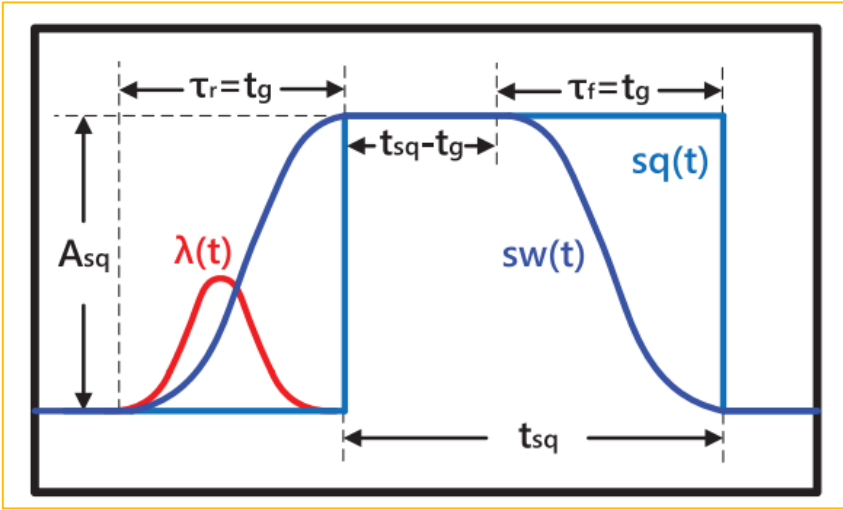
EMI gürültüsünü bastırmakta en bilinen yöntem, anahtar sürücü kapı direncini R_g artırmaktır. Ancak bu durum anahtarlama kaybını da artıracığı için bir tercihe sebep olur (Han, ve diğerleri 2017).

Diğer bir yöntem ise aktif devre elemanları ile MOSFET'in V_{ds} gerilimini izleyerek MOSFET sürücüyü geri besleme veren aktif geri besleme çözümüdür. Bu teknikte Miller kapasitörü izlenerek sürücü akımı ayarlanır. Bu yöntemin kapı sürücü direncine göre aynı dv/dt azaltma etkisinde anahtarlama kaybını %28 oranında azalttığı görülmüştür (Bau, ve diğerleri 2018). Ancak bu yöntem kaynaktan yapılacak donanımsal değişikliklerle mümkün olmaktadır.

Diğer bir teknik ise Miller Plateau izleme tekniğidir. Eğer MOSFET'te Miller plateau doğru bir şekilde izlenebilirse dv/dt ve di/dt ayrı ayrı kontrol edilebilir. Ancak yüksek geciktirmeli Miller plateau izleme tekniği yüksek frekans çeviricilerde kabiliyetli değildir. Çünkü anahtarlama döngüsü ile bekleme süresi arasında gecikmeler yaşanabilir. Ayrıca bu teknik aktif geri besleme tekniğine göre daha karmaşık bir yapıda olduğu için kontrolcüyü çok daha fazla yoracaktır (Xu, Xu, ve diğerleri 2022).

Anahtarlama elemanlarının her ne kadar hızları yüksek olsa da anahtarlama ideal şartlarda kare dalga şeklinde düşünülse de gerçek hayatta anahtarlama yamuk dalga şeklinde gerçekleşir. Gauss anahtarlama yönteminde bu teknik anahtarlama metodu şeklinde kullanılabilir. Çünkü Gauss anahtarlama teorik olarak ideal anahtarlama yöntemi gibi yüksek frekanslarda EMI azaltması yapabilir (Yang, ve diğerleri 2015). Şekil 3.19'ta gösterildiği gibi Gauss anahtarlama yöntemi kare dalga ve Gauss fonksiyonunun konvolüsyonudur.

Gauss anahtarlama yöntemi diğer yöntemlere göre çok daha özgürdür. Çünkü bu uygulama diğer uygulamalarla birlikte de yapılabilir. Ayrıca hibrit teknolojilerde geliştirilmeye açıktır. Ancak bu hibrit teknolojilerin kontrolü ekstra karmaşık ve uzunca araştırma ve optimizasyon gerekmektedir (Xu, ve diğerleri, 2022).



Şekil 5. Gauss Anahtarlama Dalga Şekli (Xu, Xu, ve diğerleri 2022)

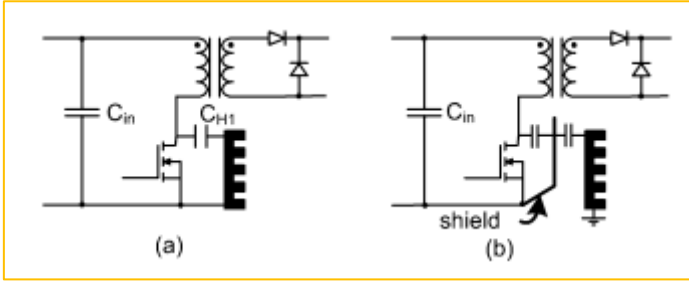
Daha düşük EMI gürültüleri üretmek için snubber devreleri ve yumuşak anahtarlama teknikleri anahtarlama devresinde kullanılabilir. Snubber devrelerinin anahtarlama yer almasıyla daha yumuşak anahtarlama geçişlerinin

olması ile yüksek frekans dalga osilasyonunun azaltılacağı ve böylece alçak geçiren filtre gibi kullanılabileceği literatürde gösterilmiştir (Wu ve Tse 1996). Böylece her ne kadar güç kaybını artırsa da snubber devreleri EMI azaltabilmektedir. Ayrıca dv/dt ve di/dt oranlarını düşürdüğü için yumuşak anahtarlama da EMI gürültüsünü azaltabilmektedir. Van der Berg ve arkadaşı yaptıkları çalışmada (Berg ve Ferreira 1998) yumuşak anahtarlama ile çalışan bir PFC devresinin sert anahtarlama göre 5-10 dB μ V gelişim sağladığını göstermiştir. Bunun yanında anahtarlama frekansını düşük tutmak birim zamanda oluşacak akım ve gerilim osilasyonunu azaltacağı için EMI gürültüsünün de azalmasını sağlayacaktır.

EMI bastırmak için diğer bir yöntem ise yayılmış spektrum modülasyon (SSM) tekniğidir. Buradaki amaç anahtarlama frekansını belli bir frekans modülasyonu ile spektruma yaymaktır. Böylece EMI toplam enerjisi spektruma yayılmış olur ve ayrıca toplam enerji öncesine göre değişmez (Carson 2006). Bu teknikte rastgele SSM tekniğinin periyodik SSM tekniğine göre daha az dezavantajlara sahip olduğu bilinmektedir. Ancak bu teknik çıkış gerilim dalgalanmasını artırmaktadır. Ayrıca bu teknik anahtarlama frekansına yakın EMI için daha etkilidir (Xu, Xu, ve diğerleri 2022).

SSM tekniğine benzer olarak darbe genişliği modülasyon (pulse width modulation - PWM) değeri değiştirilerek de EMI azaltılabilmektedir. Mihalic yaptığı çalışmada (Mihalic ve Kos 2006) anahtarlama frekansını sabit tutarak PWM doluluk oranını değiştirmiş ve iletimle yayılım gürültüsüyle arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Devre tasarımında elektromanyetik gürültünün en büyük kaynağının MOSFET drain ile soğutucu arasında oluşan kapasitenin olduğu söylenmişti. Bu kapasiteyi azaltmanın yollarından birisi Şekil 3.20’de gösterilen ve MOSFET’in drain bağlantısı ile soğutucu arasına konulan izolasyon pedini iki adet koyup arasını topraklama tekniğidir (Knurek 1998). Ayrıca indüktör kullanılan bir devrede indüktörün tek bir sarımla değil de değerinin yarısına sahip iki sarım ve bu sarımların karşılıklı hatlara ekleneceği şekilde bir bağlantının da EMI gürültüsünü azalttığı bilinmektedir (Rossetto, Buso ve Spiazzi 2000) (Dwiza ve Kalaiselvi 2020) (Wang, Kong ve Lee 2006). Bunun yanında silikon lastik yerine alüminyum oksit soğutucu izolatörünün kullanılmasının da EMI’ı azalttığı gösterilmiştir (Knurek 1998).



Şekil 6. Soğutucu Zırhlama

İletimle yayılım bastırma tekniklerine yayılma yolu perspektifinden bakılacak olursa bunun için devrenin içerisinde veya devreden harici bir şekilde EMI filtre tasarımları önümüze gelmektedir. Bu tasarımlar literatürde çokça yer bulan şok bobinleri ve X-Y kapasitörleri ile tasarlanır. Ancak bu tip bastırma tekniklerinde çeviricinin güç yoğunluğu çok fazla düşmekte ve güç kayıpları da artmaktadır.

Literatüre bakıldığında yapılan iletimle yayılım bastırma tekniklerinin çoğu donanımsal olarak gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle EMI bastırırken verimlilikten de feragat etmek zorunda bırakılmaktadırlar. Bunun yanında bu bastırma tekniklerinde devre içerisinde veya dışında ek bir devre ve komponent bloğu kullanılması gerekeceği için devrenin güç yoğunluğundan da feragat edilir.

İletimle yayılım bastırma tekniklerinde yazılımsal olarak gerçekleştirilebilen SSM ve PWM teknikleri ise karmaşık ve hızlı yapılarından dolayı devre kontrolçüsünde ekstra güç sarfiyatına sebep olacaktır. Tasarlanmış bir devrede belki de kontrolcünün değiştirilmesini dahi gerektirebilecektir. Ancak devrenin kendi anahtarlama yapısına uygun faz kaydırma yöntemleri ile EMI'ı bastırmaya çalışmak hem devreye ek bir donanımsal külfet getirmeyecek hem de devre yazılımının karmaşık bir yapı içerisinde hızlanmasını istemeyecektir.

KAYNAKLAR

- Yuchen, Yang. *EMI Noise Reduction Techniques for High Frequency*. Virginia: Diss. Virginia Tech, 2018.
- Wang, S., P. Kong, ve F. C. Lee. «Common mode noise reduction for boost converters using general balance technique.» *2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference*. Jeju, Korea (South): IEEE, 2006.
- Dwiza, B., ve J. Kalaiselvi. «Analytical Approach for Common Mode EMI Noise Analysis in Dual Active Bridge Converter.» *IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Singapore: IEEE, 2020.
- Shoyama, M., Ge Li, ve T. Ninomiya. «Balanced switching converter to reduce common-mode conducted noise.» *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2003: 1095-1099.
- Naayagi, R. T. «Electromagnetic compatibility issues of dual active bridge DC-DC converter.» *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*. IEEE, 2013.
- Buticchi, G., D. Barater, L. F. Costa, ve M. Liserre. «A PV-Inspired Low-Common-Mode Dual-Active-Bridge Converter for Aerospace Applications.» *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2018: 10467-10477.
- Xie, L., X. Ruan, ve Z. Ye. «Reducing Common Mode Noise in Phase-Shifted Full-Bridge Converter.» *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018: 7866-7877.
- Chu, Y., ve S. Wang. «A Generalized Common-Mode Current Cancellation Approach for Power Converters.» *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (IEEE) 62, no. 7 (2015): 4130-4140.
- Zhang, H., ve S. Wang. «Two-capacitor transformer winding capacitance models for common-mode EMI noise analysis in isolated DC-DC converters.» *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. Milwaukee, WI, USA: IEEE , 2016 . 1-8.
- McLyman, Colonel Wm. T. *Transformer and Inductor Design Handbook*. Florida: CRC Press Taylor & Francis Group, 2011.
- Yin, W., W. Tao, ve W. Yin. «Switching converter EMI conduction modeling and verification.» *Electronic Letter*, 2019: 587–589.
- Natarajan, S., T. Sudhakar Babu, K. Balasubramanian, ve U. Subramaniam. «A state-of-the-art review on conducted electromagnetic interference in non-isolated DC to DC converters.» *IEEE Access*, 2020: 2564–2577.

- Dai, H., R.A. Torres, T.M. Jahns, ve B. Sarlioglu. «Analysis and suppression of conducted common-mode EMI in WBG-based current-source converter systems.» *IEEE Trans. Transp. Electrification*, 2022: 2133–2148.
- Y.Xie, C. Chen, Z. Huang, T. Liu, Y. Kang, ve F. Luo. «High frequency conducted EMI investigation on packaging and modulation for a SiC-based high frequency converter.» *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, 2019: 1789–1804.
- Xu, S, S Xu, Dalin Xu, Qinsong Qian, Weifeng Sun, ve Jing Zhu. «A REVIEW ON RECENT EFFORT OF CONDUCTIVE EMI SUPPRESSION METHODS IN HIGH-FREQUENCY POWER CONVERTERS.» (John Wiley & Sons Ltd) 1, no. 15 (2022).
- Han, D., S. Li, W. Lee, W. Choi, ve B. Sarlioglu. «Trade-off between switching loss and common mode EMI generation of GaN devices-analysis and solution.» *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*. Piscataway, NJ: IEEE, 2017. 843–847.
- Bau, P., M. Cousineau, B. Cougo, F. Richardeau, D. Colin, ve N. Rouger. « A CMOS gate driver with ultra-fast dv/dt embedded control dedicated to optimum EMI and turn-on losses management for GaN power transistors.» *14th Conference on Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME)*. Piscataway, NJ: IEEE, 2018. 105– 108.
- Yang, X., Y. Yuan, X. Zhang, ve P. Palmer. «Shaping high-power IGBT switching transitions by active voltage control for reduced EMI generation.» *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2015: 1669–1677.
- Wu, M. K. W., ve C. K. Tse. «A review of EMI problems in switch mode power supply design.» *J. Elect. Electron. Eng*, 1996: 193–204.
- Berg, M. van der, ve J. A. Ferreira. «A family of low EMI unity power factor converters.» *IEEE Transaction on Power Electronics*, 1998: 547-555.
- Carson, J.R. «Notes on the theory of modulation.» *Proc. Inst. Radio Eng*, 2006: 57– 64.
- Mihalic, F., ve D. Kos. «Reduced conductive EMI in switched-mode DC–DC power converters without EMI filters: PWM versus randomized PWM.» *IEEE Transaction on Power Electronics*, 2006: 1783–1794.
- Knurek, D. F. «Reducing EMI in switch mode power supplies.» *Proc. Int. Telecomm. Energy Conf*. 1998. 411–420.
- Rossetto, L., S. Buso, ve G. Spiazzi. «Conducted EMI issues in a 600-W single-phase boost PFC design.» *IEEE Transaction on Industrial Applications*, 2000: 578–585.

