

# MODERN KİMYA VE İLERİ TEKNOLOJİLER

EDİTÖR:  
PROF. DR. HÜLYA ÇELİK



**BİDGE Yayınları**

**Modern Kimya ve İleri Teknolojiler**

**Editör: HÜLYA ÇELİK**

**ISBN: 978-625-8821-40-6**

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2026-06-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

[www.bidgeyayinlari.com.tr](http://www.bidgeyayinlari.com.tr) - [bidgeyayinlari@gmail.com](mailto:bidgeyayinlari@gmail.com)

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /  
Ankara



## ÖNSÖZ

Bilim ve teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, günümüzde araştırmaların disiplinlerarası bir anlayışla yürütülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu dönüşümün merkezinde yer alan kimya bilimi; enerji, çevre, malzeme ve sağlık alanlarında yenilikçi çözümler üreten, farklı disiplinleri ortak bir bilimsel zeminde buluşturan temel bilimlerden biridir. Sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesi, ileri fonksiyonel malzemelerin tasarlanması ve küresel sorunlara yönelik yenilikçi yaklaşımların ortaya konulması, modern kimyanın başlıca araştırma alanlarını oluşturmaktadır.

Modern Kimya ve İleri Teknolojiler başlıklı bu eser, kimya biliminin farklı uygulama alanlarında yürütölen güncel çalışmaları tek bir çatı altında buluşturmak amacıyla hazırlanmıştır. Kitapta; yenilenebilir enerji teknolojileri kapsamında piroliz uygulamaları, ileri teknolojilerin temel bileşenleri olan nadir toprak elementlerinin kullanım alanları ve çevresel etkileri ile antimikrobiyal dirence karşı umut vadeden fotodinamik terapi yaklaşımları, güncel bilimsel literatür ışığında ele alınmaktadır. Her bölüm, kuramsal bilgiyi uygulamalarla bütünleştirerek okuyucuya kapsamlı ve güncel bir bakış açısı sunmaktadır.

Bu eserin amacı; farklı uzmanlık alanlarında çalışan araştırmacılar arasında bilgi paylaşımını güçlendirmek, disiplinlerarası etkileşimi desteklemek ve yeni araştırmalara katkı sağlamaktır. Akademisyenler, araştırmacılar, lisans ve lisansüstü öğrencileri ile ilgili alanlarda çalışan uzmanlar için güvenilir bir başvuru kaynağı olması hedeflenmiştir.

Bilimsel ilerleme, yalnızca yeni bilgiler üretmekle değil, bu bilgilerin paylaşılması ve yeni çalışmalara ilham vermesiyle anlam kazanır. Bu doğrultuda hazırlanan Modern Kimya ve İleri Teknolojiler kitabının, kimya ve ilişkili bilim dallarında yürütölecek araştırmalara katkı sağlayacağına, disiplinlerarası iş birliklerini teşvik edeceğine ve bilimsel literatüre değer katacağına inanıyorum.

Bu eserin hazırlanmasına değerli katkılarıyla destek veren tüm bölüm yazarlarına ve yayımlanma sürecinde emeği geçen herkese içten teşekkür ederim.

Kitabın bilim dünyasına yararlı olmasını, yeni araştırmalara ilham vermesini ve gelecekte üretilecek nitelikli çalışmalara mütevazı da olsa katkı sunmasını temenni ediyorum.

Prof. Dr. Hülya ÇELİK

Editör

## İÇİNDEKİLER

ANTİMİKROBİYAL DİRENÇLE MÜCADELEDE FOTODİNAMİK TERAPİ YAKLAŞIMLARI .....	1
-----------------------------------------------------------------------------	---

*PINAR ŞEN*

NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN KULLANIM ALANLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ .....	18
-----------------------------------------------------------------------------	----

*SUAT KAHYA*

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ARASINDA PİROLİZİN YERİ .....	34
------------------------------------------------------------------	----

*BÜŞRA KARAGÖZ KÖSEOĞLU, MELTEM DİLEK*

# BÖLÜM 1

## ANTİMİKROBİYAL DİRENÇLE MÜCADELEDE FOTODİNAMİK TERAPİ YAKLAŞIMLARI

PINAR ŞEN<sup>1</sup>

### Giriş

Bulaşıcı hastalıklar, uzun yıllardır küresel halk sağlığının en önemli öncelikleri arasında yer almakta ve dünya çapında morbidite ve mortalitenin başlıca nedenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Yakın zamanda yayımlanan araştırmalarda, 10 milyondan fazla ölümün sepsis ile ilişkili olduğunu ve enfeksiyonların küresel ölümlerin %20'sinden fazlasına katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. Enfeksiyon kaynaklı ölümlerin azaltılması, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde enfeksiyon yükünün daha yüksek olması nedeniyle, sağlıkta eşitliğin sağlanması açısından temel bir gereklilik olarak görülmektedir. Ayrıca enfeksiyonların önlenmesi ve etkin tedavisi, her yaşta bireyin sağlıklı yaşam sürmesini ve refahının desteklenmesini amaçlayan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SDG) 3'ün gerçekleştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Rudd, 2020 & Friedman, 2002).

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Üsküdar Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Orcid: 0000-0002-3181-9890

## **Antimikrobiyal Direnç ve Yeni Tedavi Yaklaşımlarına Duyulan İhtiyaç**

20. yüzyılın ilk yarısında penisilin devrim niteliğindeki keşfi ve seri üretimi, bakteriyel enfeksiyonlarla mücadelede antibiyotiklerin kullanılması, modern tıbbın en önemli ve devrim niteliğindeki başarılarından biri olarak kabul edilmektedir (Podolsky, 2015). Daha önce tedavi edilemeyen birçok enfeksiyon hastalığının kontrol altına alınmasına, tedavi edilmesine ve bazı durumlarda tamamen eradike edilmesine olanak sağlamaktadır. Yirmi birinci yüzyılın başlarında, mikrobiyal kaynaklı hastalıkların insan sağlığı üzerindeki etkisinin büyük ölçüde azaltılacağı düşünülmekteydi. Ancak zamanla bakteriler, daha önce yüksek etkinlik gösteren antimikrobiyal ajanlara karşı çeşitli direnç mekanizmaları geliştirerek bu beklentiyi önemli ölçüde değiştirmiştir. Ayrıca, bakterilerin kısa jenerasyon süreleri, antibiyotik baskısı altında yaşam avantajı kazandıran genetik değişikliklerin mikrobiyal topluluklarda hızla baskın hale gelmesini kolaylaştırmaktadır (van Duin, 2016).

Çoklu ilaca dirençli (MDR) bakteriler, günümüzde küresel halk sağlığını tehdit eden en önemli sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. Amerikan Enfeksiyon Hastalıkları Derneği (IDSA), antimikrobiyal direnci dünya genelinde insan sağlığına yönelik en ciddi tehditlerden biri olarak tanımlamıştır. MDR bakterilerin giderek yaygınlaşması, çeşitli nedenlerle önemli bir endişe kaynağıdır. Öncelikle, bu bakterilerle enfekte olan hastalarda klinik sonuçlar, antimikrobiyal ajanlara duyarlı mikroorganizmalarla enfekte olan hastalara kıyasla genellikle daha olumsuz seyretmektedir. Antibakteriyel direnç oranlarındaki artış, modern tıbbın birçok alanını etkileyerek kanser tedavileri, organ nakilleri ve cerrahi girişimler gibi ileri tıbbi uygulamaların başarısını tehdit etmektedir. Bunun yanı sıra, dirençli enfeksiyonlar sağlık sistemleri üzerinde ciddi ekonomik yük oluşturmaktadır. Amerika Birleşik

Devletleri'nde, dirençli mikroorganizmaların neden olduğu enfeksiyonların yıllık ek maliyetinin, duyarlı organizmaların yol açtığı enfeksiyonlara kıyasla 21–34 milyar dolar arasında olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca, bazı MDR bakterilerin yaygınlığının hem ampirik hem de hedefe yönelik tedavilerde geniş spektrumlu antibiyotiklerin kullanım sıklığıyla yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir. Geniş spektrumlu antibiyotiklerin artan kullanımı dirençli suşların seçilimini teşvik etmekte, bu durum ise MDR bakteri oranlarının daha da yükselmesine neden olarak direnç gelişimini besleyen bir döngü oluşturmaktadır (Spellberg, 2011 & Nikaido, 2009).

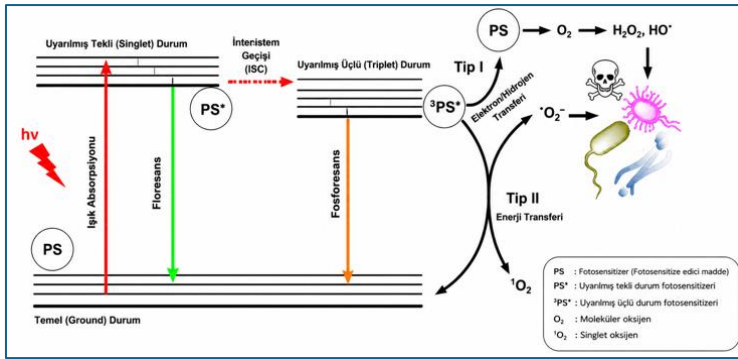
Bu nedenle, direnç göstermeyen yeni tedaviler son derece önemlidir.

### **Antimikrobiyal Fotodinamik Terapinin Temel Prensipleri**

Antimikrobiyal fotodinamik terapi (aPDT), mikrobiyal hücrelerin inaktivasyonunda umut verici bir alternatif yaklaşım olarak öne çıkmakta olup, bakteri, mantar, virüs ve protozalara karşı *in vitro* koşullarda etkinlik gösterdiği bildirilmiştir. Bu yöntem, bir fotosensitizer (PS) olarak adlandırılan bir kromofor, uygun dalga boyunda bir ışık kaynağı (yapay ışık veya güneş ışığı) ve oksijen olmak üzere üç temel bileşenin etkileşimine dayanan fotodinamik terapi prensibine dayanmaktadır. Hedef hücrelerin etkisiz hale getirilmesinde iki temel oksidatif fotoinaktivasyon mekanizmasının rol oynadığı kabul edilmektedir. Tip I mekanizmada, fotosensitizerin uyarılmış üçlü durumundan çevredeki moleküllere elektron veya hidrojen atomu transferi gerçekleşerek radikal ve radikal iyon türleri oluşmaktadır. Tip II mekanizmada ise enerji, uyarılmış üçlü durumdaki fotosensitizerden moleküler oksijene aktarılmakta ve bunun sonucunda tekli oksijen ( $^1O_2$ ) meydana gelmektedir. Her iki yolak da tekli oksijen ve serbest radikaller gibi yüksek reaktiviteye sahip reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumuna neden olur (Şekil 1). Bu türler, hücresel yapıların temel bileşenlerinde geri dönüşü

olmayan oksidatif hasar oluşturarak mikroorganizmaların ölümüne yol açmaktadır. Antimikrobiyal fotodinamik tedavi (aPDT), geniş hedef spektrumuna sahip olması, ışığın invaziv olmaması, uygulama kolaylığı ve her şeyden önemlisi ROS'un hedefleri sadece hücre zarları değil; aynı zamanda hücre içi proteinleri ve DNA'ları da tahrip ederler, bu nedenle bakterilerin PACT'a karşı direncin olmaması, tedavi sonrasında mikroorganizmaların yeniden çoğalmasını engelleyebilmesi ve çoklu hücresel hedefleri etkileyen etki mekanizması gibi olağanüstü avantajları sayesinde klasik antibiyotik tedavisine önemli bir alternatif haline gelmiştir (Tavares, 2010 & Liu, 2015 & Kharkwal,2011).

*Şekil 1. Işık absorpsiyonunun ardından fotosensitizatörün (PS) uyarılmasıyla gerçekleşen reaktif oksijen türleri (ROS) oluşumunu, sistemler arası geçiş (ISC) sürecini ve Tip I ile Tip II fotokimyasal mekanizmaları özetleyen şematik Jablonski diyagramı.*



*Kaynak: Klausen (2020) 'ten yararlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur*

## **Antimikrobiyal Fotodinamik Terapide Fotosensitizerler**

Fotosensitizer (PS), antimikrobiyal fotodinamik terapi (aPACT) etkinliğini belirleyen temel bileşenlerden biridir. Porfirinler, klorinler, bakteriyoklorinler, metilen mavisi ve farklı yapısal özelliklere sahip çeşitli boya molekülleri, aPACT uygulamalarında

antimikrobiyal fotosensitizer olarak kullanılmak üzere araştırılmış ve önerilmiştir. Biyomedikal kullanıma uygun bir fotosensitizerin geliştirilmesi veya seçilmesi sürecinde, tekli oksijen üretim kapasitesi, hedef hücreler tarafından alınabilme yeteneği ve özellikle 600–800 nm aralığındaki kırmızı ile yakın kızılötesi bölgelerde ışığın dokuya daha derin nüfuz etmesini sağlayan yüksek molar absorpsiyon katsayısı yer almaktadır (Garland, 2009).

### **Ftalosiyanimler ve Fotodinamik Uygulamalardaki Önemi**

1907 yılında rastlantısal olarak keşfedilen ftalosiyanimler (Pc'ler), etkin singlet oksijen üretimi, yüksek fototoksik özellikleri ve olağanüstü termal ve ışık kararlılıkları sayesinde fotodinamik uygulamalarda dikkat çeken makrosiklik bileşikler arasında yer almaktadır. Bu özellikler, Pc'leri aPACT için güçlü fotosensitizer adayları haline getirmektedir. Bununla birlikte, düşük çözünürlükleri ve fizyolojik koşullar altında agregat oluşturma eğilimleri, uygulama alanlarını kısıtlayan önemli dezavantajlar olarak öne çıkmaktadır. Agregasyon olgusu, ROS üretiminin kuantum verimini önemli ölçüde düşürmeye yol açarak, antimikrobiyal fotodinamik performansın azalmasına neden olmaktadır (Nyokong, 2011).

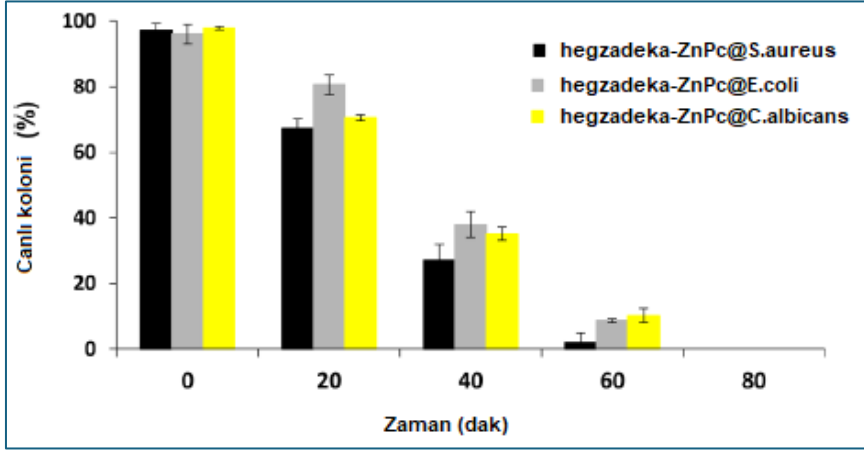
Fizyolojik koşullarda düşük çözünürlük ve agregasyon problemlerini gidermek için, araştırmacılar ftalosiyanimlerin çevresel pozisyonlarına hidrofilik yada iyonik substitüentler ekleyerek yapısal modifikasyonlar gerçekleştirmiştir.

### **Katyodik Ftalosiyanimler ve Antimikrobiyal Etkinlikleri**

Mapukata ve ark. tarafından yapılan çalışmada katyodik yük sayısının artırılmasının aPDT etkinliğini önemli ölçüde geliştireceği önerisiyle, nötral, oktakatyodik ve hegzadekakatyodik ZnPc türevlerinin antimikrobiyal aktiviteleri karşılaştırılmış ve katyodik yük sayısındaki artışın hem singlet oksijen üretimini hem de mikrobiyal fotoinaktivasyonu artırdığı bildirilmiştir. Nötral ZnPc, S.

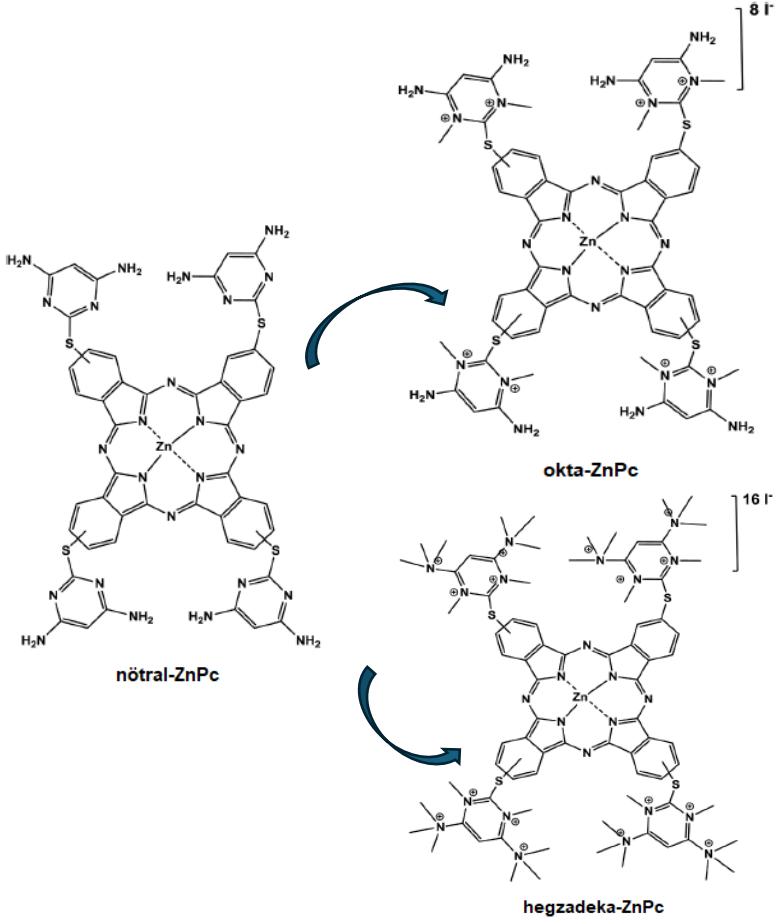
*aureus*, *E. coli* ve *C. albicans* üzerinde sırasıyla yalnızca 3.60, 0.80 ve 0.29 log azaltım sağlarken, hegzadekakatyonik ZnPc'nin aynı mikroorganizmalar için sırasıyla 7.38, 6.86 ve 5.20 log azaltım değerlerine ulaştığı bildirilmiştir. Bu durum, katyonik yük sayısının artmasının özellikle Gram-negatif bakterilere karşı etkinliği önemli ölçüde geliştirdiğini göstermektedir. Nitekim *E. coli* için elde edilen fotoinaktivasyon değeri yaklaşık 8.5 kat artmış (0.80'den 6.86 log'a), *C. albicans* için ise yaklaşık 18 kat yükselmiştir (0.29'dan 5.20 log'a) (Şekil 2). Bu sonuçlar, pozitif yük yoğunluğunun mikroorganizma yüzeyine bağlanmayı kolaylaştırarak ROS kaynaklı hücresel hasarı artırdığını düşündürmektedir (Şekil 3) (Mapukata, 2021).

Şekil 2. Hegzadeka-ZnPc kullanılarak *S. aureus*, *E. coli* ve *C. albicans*'ın canlı kolonilerinin yüzde azalmasını gösteren grafikler



Kaynak: Yazarın çalışması

Şekil 3. Nötr ZnPc'nin kuaternizasyonu ile okta-ZnPc ve hegzadeka-ZnPc elde edilmesi

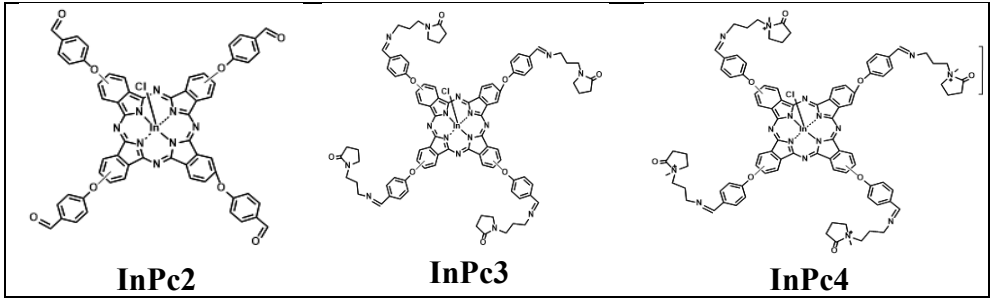


*Kaynak: Yazarın çalışması*

Fotodinamik antimikrobiyal uygulamalarda fotosensitizatörün mikrobiyal hücre ile etkileşimi, elde edilen fotoinaktivasyon düzeyini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Sen ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada nötral (InPc 2), iminopirrolidon substitüe (InPc3) ve tetrakatyonic kuaternerleştirilmiş (InPc4) indiyum ftalosiyanınların antimikrobiyal aktiviteleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4) (Sen, 2022). En yüksek singlet oksijen kuantum verimi nötral InPc 2 için elde edilmiş olmasına rağmen

( $\Phi\Delta=0.62$ ), en yüksek fotodinamik aktivite tetrakatyonik InPc 4 tarafından gösterilmiştir. InPc 4, *S. aureus* ve *E. coli* üzerinde sırasıyla 9.77 ve 9.57 log azaltım sağlayarak bakterilerin tamamen inaktive edilmesine yol açmıştır. Buna karşılık nötral InPc 2 için log azaltım değerleri yalnızca 1.08 ve 0.50 olarak rapor edilmiştir (Tablo 1, Şekil 5).

Şekil 4. Nötral (InPc 2), imino-pirolidon substitüe (InPc3) ve tetrakatyonik kuaternerleştirilmiş (InPc4) indiyum ftalosiyanimler.



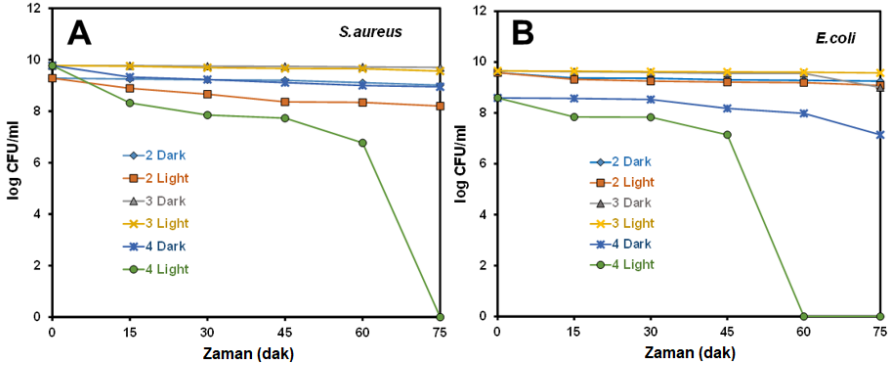
Tablo 1. Fotosensitizerler varlığında *S.aureus* ve *E.coli* için logaritmik azalma değerleri ve canlı koloni yüzdesi değerleri.

Moleküller	$\mu\text{M}$	Logaritmik azaltım		Canlı koloni (%)	
		<i>S.aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>S.aureus</i>	<i>E. coli</i>
<b>InPc2</b>		1.08	0.5	7.53	43.3
<b>InPc3</b>	10	0.21	0.13	61.7	80.9
<b>InPc4</b>		9.77	9.57	0.00	0.00

Kaynak: Yazarın çalışması

Şekil 5. (a) *S.aureus* ve (b) *E.coli*'nin InPc2–4 varlığında, aydınlatmada/karanlıkta logaritmik indirgenmesi; her durumda

680 nm'de 10  $\mu$ M fotosensitizerlerle muamele edilmiştir (60 dakika doz: 3,6 kJ.cm<sup>-2</sup>).

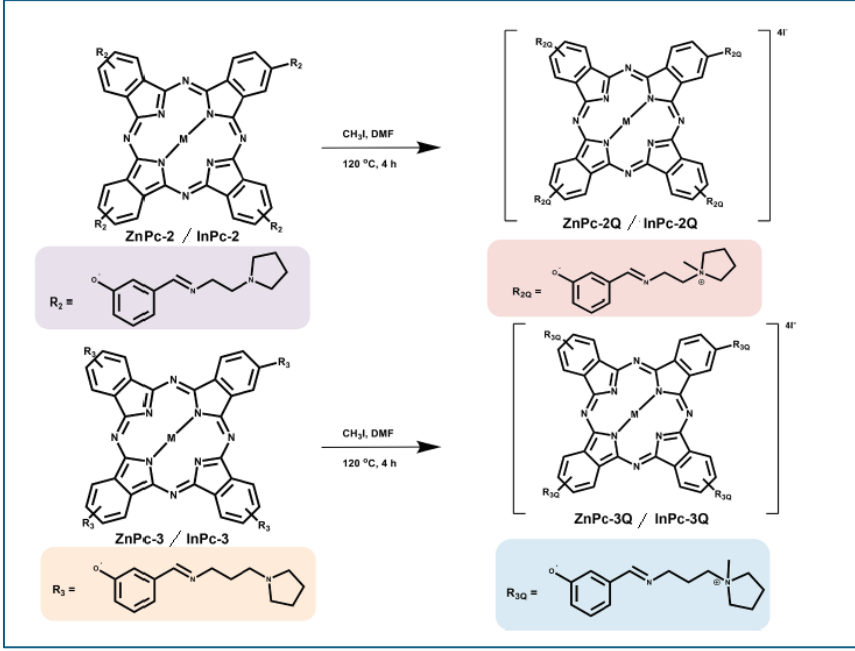


*Kaynak: Yazarın çalışması*

Bu sonuçlar, katyonik yüklerin mikrobiyal hücre yüzeyine bağlanmayı önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bakteri hücre duvarları ve sitoplazmik membranlar fosfat, karboksilat ve lipopolisakkarit grupları nedeniyle genel olarak negatif yüklüdür. Bu nedenle pozitif yüklü fotosensitizerler hücre yüzeyine daha güçlü elektrostatik etkileşimlerle bağlanabilmekte ve daha yüksek hücre alım gösterebilmektedir. Sen ve ark. da tetrakatyonik InPc 4'ün üstün fotodinamik etkinliğini kuaternerleştirilmiş azot atomlarının sağladığı pozitif yükler ve buna bağlı gelişen hücre alım artışı ile açıklamıştır.

Fotodinamik antimikrobiyal kemoterapide fotosensitizerin yükü, mikroorganizmaların inaktivasyon verimini belirleyen en önemli yapısal özelliklerden biri olarak kabul edilmektedir. Sindelo ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, nötral ve katyonik Schiff bazı sübtitüe çinko ve indiyum ftalosiyeninler metisiline duyarlı (*MSSA*) ve metisiline dirençli (*MRSA*) *Staphylococcus aureus* suşlarına karşı fotodinamik aktiviteleri karşılaştırılmıştır (Şekil 6) (Sindelo, 2023).

Şekil 6. Schiff bazı süstitüe çinko ve indiyum ftalosiyanimler



Kaynak: Yazarın çalışması

Sonuçlar, kationik türevlerin nötral analoglarına kıyasla belirgin şekilde daha yüksek antimikrobiyal etkinlik sergilediğini ortaya koymuştur. Nötral ftalosiyanimler için logaritmik azaltım değerleri MSSA ve MRSA suşlarında yaklaşık 0.37–1.27 aralığında kalırken, kationik türevler için bu değerler 8.48–8.69 log seviyesine ulaşmıştır. Bu düzeyde bir azalma, bakteri popülasyonunun neredeyse tamamen ortadan kaldırıldığını göstermektedir. Özellikle ZnPc-3Q ve InPc-3Q bileşiklerinin her iki bakteri türünde de 8 logun üzerinde logaritmik azaltım sağlaması dikkat çekicidir. MSSA için 8.64–8.69 log, MRSA için ise 8.48 log azaltım elde edilmiş ve canlı bakteri oranı %0 olarak belirlenmiştir. Buna karşılık nötral komplekslerde canlılık oranları %83–96 arasında kalmıştır. Bu

sonuçlar, katyonik modifikasyonun fotodinamik etkinliği dramatik biçimde artırdığını göstermektedir (Tablo 2).

*Tablo 2. 1,8 kJ/cm<sup>2</sup> ışınlamadan sonra %5 DMSO içinde her bir kompleksin 5 µM'si kullanılarak elde edilen logaritmik azalma değerleri ve bakteri hayatta kalma oranları (%)*

Moleküller	Logaritmik azaltım	
	MSSA	MRSA
<b>ZnPc-2</b>	0.96 (89.0%)	0.37 (95.7%)
<b>InPc-2</b>	1.01 (83.9%)	0.42 (95.1%)
<b>ZnPc-3</b>	1.22 (88.6%)	0.38 (95.5%)
<b>InPc-3</b>	1.27 (83.3%)	0.41 (95.2%)
<b>ZnPc-2Q</b>	8.69 (0%)	3.65 (2.8%)
<b>InPc-2Q</b>	8.68 (0%)	3.71 (1.3%)
<b>ZnPc-3Q</b>	8.64 (0%)	8.48 (0%)
<b>InPc-3Q</b>	8.64 (0%)	8.48 (0%)

*Kaynak: Yazarın çalışması*

Katyonik ftalosiyeninlerin üstün performansı, bakteri hücre yüzeyleriyle kurdukları elektrostatik etkileşimlerle açıklanmaktadır. Gram-pozitif bakterilerin hücre duvarında bulunan negatif yüklü teikoik asitler, katyonik fotosensitizatörlerin hücre yüzeyine daha etkin bağlanmasını sağlamaktadır. Böylece fotosensitizatörler hücre içerisine veya hücre zarına daha yakın konumlanabilmekte, ışık aktivasyonu sonrasında oluşan reaktif oksijen türleri doğrudan hücresel hedeflere zarar verebilmektedir. Araştırmacılar, nötral ftalosiyeninlerin ise hücre yüzeyini etkili şekilde geçememesi nedeniyle oluşan tekli oksijenin çoğunlukla hücre dışında üretildiğini ve bunun fototoksisiteyi önemli ölçüde azalttığını belirtmiştir.

Çalışmada ayrıca alkil zincir uzunluğunun da antimikrobiyal etkinlik üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. Daha uzun propil zinciri taşıyan ZnPc-3Q ve InPc-3Q bileşikleri, etil zinciri taşıyan ZnPc-2Q ve

InPc-2Q türevlerine göre özellikle MRSA üzerinde daha yüksek aktivite göstermiştir. Bu durumun, daha yüksek hücresel alım ve daha hızlı hücre penetrasyonundan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Uptake çalışmaları, katyonik türevlerin nötral ftalosiyaninlere göre belirgin şekilde daha fazla hücre içine alındığını ve ZnPc-3Q'nun maksimum alıma yalnızca 15 dakika içerisinde ulaştığını ortaya koymuştur.

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, aPDT etkinliğinin yalnızca singlet oksijen üretimine değil, aynı zamanda fotosensitizatörün mikrobiyal hücreye bağlanma ve hücre içerisine alınma kapasitesine de bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Katyonik yük yoğunluğunun artırılması ve uygun alkil zinciri tasarımı, ftalosiyaninlerin antibiyotik dirençli bakterilere karşı etkinliğini önemli ölçüde artıran stratejiler olarak öne çıkmaktadır.

### **Gelecek Perspektifleri ve Klinik Potansiyel**

Antimikrobiyal direnç sorununun küresel ölçekte giderek büyümesi, mevcut antibiyotiklere alternatif veya tamamlayıcı tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Antimikrobiyal fotodinamik terapi (aPDT), geniş etki spektrumu, çoklu hücresel hedeflere yönelik etki mekanizması ve direnç gelişimine karşı düşük eğilim göstermesi nedeniyle son yıllarda dikkat çeken alternatif tedavi stratejilerinden biri haline gelmiştir. Özellikle ftalosiyanin tabanlı fotosensitizatörler, yüksek singlet oksijen üretim kapasiteleri ve güçlü fotodinamik aktiviteleri sayesinde klinik uygulamalar açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Bununla birlikte, ftalosiyaninlerin klinik kullanıma geçişini sınırlandıran bazı zorluklar halen mevcuttur. Düşük suda çözünürlük, agregasyon eğilimi, biyolojik ortamlarda sınırlı stabilite ve hedef dokuya seçici taşınamama gibi problemler, araştırmaların temel odak noktalarını oluşturmaktadır. Bu nedenle son yıllarda

katyonik modifikasyonlar, polimer konjugasyonları, liposomal taşıyıcılar ve nanopartikül tabanlı sistemler kullanılarak yeni nesil ftalosiyanın türevleri geliştirilmektedir.

Özellikle katyonik ftalosiyanınların geliştirilmesi, mikrobiyal hücre yüzeylerine bağlanmayı artırarak Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı daha yüksek fotodinamik etkinlik elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca gümüş, altın ve manyetik nanopartiküllerle oluşturulan hibrit sistemler, hem fotosensitizatörün çözünürlüğünü artırmakta hem de reaktif oksijen türlerinin üretimini güçlendirerek antimikrobiyal etkinliği önemli ölçüde yükseltmektedir. Bu tür sistemlerin gelecekte hedefe yönelik ve kontrollü ilaç taşıma platformları olarak kullanılması beklenmektedir.

Klinik açıdan değerlendirildiğinde, aPDT'nin özellikle yüzeysel enfeksiyonlar, kronik yara enfeksiyonları, diyabetik ayak ülserleri, periodontal enfeksiyonlar, implant ilişkili enfeksiyonlar ve antibiyotik dirençli deri enfeksiyonlarının tedavisinde önemli avantajlar sağlayabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında biyofilm oluşturan mikroorganizmaların eradikasyonunda gösterdiği başarı, geleneksel antibiyotik tedavilerinin yetersiz kaldığı durumlarda aPDT'nin tamamlayıcı veya alternatif bir yaklaşım olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, yüksek fotodinamik verime sahip, biyoyumlu, hedefe özgü ve düşük toksisite gösteren yeni nesil ftalosiyanın türevlerinin geliştirilmesine odaklanması beklenmektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli molekül tasarımı, akıllı nanopartikül sistemleri ve kombine tedavi stratejileri gibi yenilikçi yaklaşımlar, aPDT'nin klinik başarı oranını artırabilecek önemli araştırma alanları arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, ftalosiyanın tabanlı fotosensitizatörler antimikrobiyal fotodinamik terapinin geleceğinde merkezi bir rol oynamaya aday

görünmektedir. Katyonik modifikasyonlar ve nanopartikül destekli sistemlerle elde edilen son gelişmeler, bu bileşiklerin antibiyotik direncine karşı etkili ve güvenilir alternatifler olarak klinik uygulamalara daha da yaklaşmasını sağlamaktadır.

## Kaynakça/References

Friedman, N. D., Kaye, K. S., Stout, J. E., McGarry, S. A., Trivette, S. L., Briggs, J. P., Lamm, W., Clark, C., MacFarquhar, J., Walton, A. L., & Reller, L. B. (2002). Health care-associated bloodstream infections in adults: A reason to change the accepted definition of community-acquired infections. *Annals of Internal Medicine*, *137*(10), 791–797. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-137-10-200211190-00007>

Garland, M. J., Cassidy, C. M., Woolfson, D., & Donnelly, R. F. (2009). Designing photosensitizers for photodynamic therapy: Strategies, challenges and promising developments. *Future Medicinal Chemistry*, *1*(4), 667–691. <https://doi.org/10.4155/fmc.09.55>

Kharkwal, G. B., Sharma, S. K., Huang, Y.-Y., Dai, T., & Hamblin, M. R. (2011). Photodynamic therapy for infections: Clinical applications. *Lasers in Surgery and Medicine*, *43*(7), 755–767. <https://doi.org/10.1002/lsm.21080>

Liu, Y., Qin, R., Zaat, S. A. J., Breukink, E., & Heger, M. (2015). Antibacterial photodynamic therapy: Overview of a promising approach to fight antibiotic-resistant bacterial infections. *Journal of Clinical and Translational Research*, *1*(3), 140–167.

Mapukata, S., Sen, P., Osifeko, O. L., & Nyokong, T. (2021). The antibacterial and antifungal properties of neutral, octacationic and hexadecacationic Zn phthalocyanines when conjugated to silver nanoparticles. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *35*, 102361. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102361>

Nikaido, H. (2009). Multidrug resistance in bacteria. *Annual Review of Biochemistry*, *78*, 119–146. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.78.082907.145923>

Nyokong, T. (2011). Desired properties of new phthalocyanines for photodynamic therapy. *Pure and Applied Chemistry*, 83(9), 1763–1779. <https://doi.org/10.1351/PAC-CON-10-10-19>

Podolsky, S. H. (2015). *The antibiotic era: Reform, resistance, and the pursuit of a rational therapeutics*. Johns Hopkins University Press.

Rudd, K. E., Johnson, S. C., Agesa, K. M., Shackelford, K. A., Tsoi, D., Kievlan, D. R., Colombara, D. V., Ikuta, K. S., Kissoon, N., Finfer, S., Fleischmann-Struzek, C., Machado, F. R., Reinhart, K. K., Rowan, K., Seymour, C. W., Watson, R. S., West, T. E., Marinho, F., Hay, S. I., ... Naghavi, M. (2020). Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990–2017: Analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 395(10219), 200–211. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32989-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32989-7)

Sen, P., Mack, J., & Nyokong, T. (2022). Indium phthalocyanines: Comparative photophysicochemical properties and photodynamic antimicrobial activities against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Journal of Molecular Structure*, 1250, 131850. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131850>

Sindelo, A., Sen, P., & Nyokong, T. (2023). Photodynamic inactivation of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* using pyrrolidinium containing Schiff base phthalocyanines. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 438, 114535. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114535>

Spellberg, B., Blaser, M., Guidos, R. J., Boucher, H. W., Bradley, J. S., Eisenstein, B. I., Gerding, D., Lynfield, R., Reller, L. B., Rex, J., Schwartz, D., Septimus, E., Tenover, F. C., & Gilbert, D. N. (2011). Combating antimicrobial resistance: Policy recommendations to save lives. *Clinical Infectious Diseases*, 52(Suppl. 5), S397–S428. <https://doi.org/10.1093/cid/cir153>

Tavares, A., Carvalho, C. M. B., Faustino, M. A. F., Neves, M. G. P. M. S., Tomé, J. P. C., Tomé, A. C., Cavaleiro, J. A. S., Cunha, Â., Gomes, N. C. M., Alves, E., & Almeida, A. (2010). Antimicrobial photodynamic therapy: Study of bacterial recovery viability and potential development of resistance after treatment. *Marine Drugs*, 8(1), 91–105. <https://doi.org/10.3390/md8010091>

van Duin, D., & Paterson, D. L. (2016). Multidrug-resistant bacteria in the community: Trends and lessons learned. *Infectious Disease Clinics of North America*, 30(2), 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2016.02.004>

# NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN KULLANIM ALANLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

## BÖLÜM 2

SUAT KAHYA<sup>1</sup>

### Giriş

Nadir toprak elementleri (NTE'ler); cep telefonları, elektrikli araçlar, televizyon, bilgisayar, rüzgâr türbinleri, askeri teçhizatlar, tarımsal üretim ve sağlık alanında kanser teşhis ve tedavisi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Jha, 2014). Bu elementler, termal, korozyon, optik, mekanik ve manyetik özelliklerinin üstünlüğü nedeniyle tercih edilmektedir (Bade, 2010). NTE'ler savunma sanayi, enerji, metalurji, makine, elektrikli otomobil ve sağlık gibi oldukça fazla farklı alanda kritik öneme sahiptir (Yeliz & Ayhan, 2021).

NTE'ler , oksit, silikat, fosfat, nitrat, karbonat, klorür, florür ve hidrat gibi formlarda bulunur ve yüksek saflıkta metalik formlarda yada alaşım (mischmetal) olarak üretilerek kullanılır (Özcan, 2021). Tek başlarına önemli ticari değere sahip olmayan bu elementler, ileri teknoloji ürünlerinin yapımında kullanılmak suretiyle yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülebilir (Haxel, 2002).

Tablo 1'de NTE'lerin bazı fiziksel özellikleri ve en fazla kullanıldıkları alanlar verilmiştir.

---

<sup>1</sup> Dr. Öğretim Üyesi, Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, Orcid: 0000-0002 -1660-5771.

Tablo 1. NTE'lerin bazı fiziksel özellikleri ve yaygın kullanım alanları

İsim	Sembol	Atom No	Elektron Konf.	Belirgin Uygulamaları
Skandiyum	Sc	21	3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>	Alüminyum alaşımları, aydınlatma
İtriyum	Y	39	4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>	Lazerler, kırmızı fosforlar, kanser ilaçları
Lantanum	La	57	4f <sup>0</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	Petrol katalizörü, kamera lensleri, düşük yoğunluk
Seryum	Ce	58	4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	Otomobil katalitik konvertörleri, Cam parlatma, düşük yoğunluk
Praseodimium	Pr	59	4f <sup>3</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Mıknatıs, düşük yoğunluk, yeşilimsi-sarı cam ve seramikler
Neodimium	Nd	60	4f <sup>4</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Nd <sub>2</sub> Fe <sub>14</sub> B mıknatısları, lazerler, viyole cam ve seramikler
Prometyum	Pm	61	4f <sup>2</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Radyoaktif; fosforlu boya, kalp pilleri
Samaryum	Sm	62	4f <sup>6</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	SmCo <sub>5</sub> mıknatısları, kanser terapisi, nükleer reaktör çubukları
Evropiyum	Eu	63	4f <sup>7</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Aydınlatma ve renkli ekranlar için kırmızı fosforlar
Gadolinyum	Gd	64	4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	Refraktif cam, MRG kontrast ajanı, nükleer reaktör kalkanı
Terbiyum	Tb	65	4f <sup>9</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Aydınlatma için yeşil fosforlar, manyetostriksiyon alaşımları
Disprosyum	Dy	66	4f <sup>10</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Mıknatıslarda stabilize edici, lazerler
Holmiyum	Ho	67	4f <sup>11</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Lazerler, mıknatıslar
Erbiyum	Er	68	4f <sup>12</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Lazerler, fiber optikler, nükleer reaktör kontrol çubukları
Tulyum	Tm	69	4f <sup>13</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Portatif X-ray kaynağı, ışık filamanları, lazerler
İtterbiyum	Yb	70	4f <sup>14</sup> 5d <sup>0</sup> 6s <sup>2</sup>	Lazerler, kimyasal indirgeme ajanı, paslanmaz çelik katkı maddesi, kanser terapisi
Lutesyum	Lu	71	4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	PET tarama dedektörü, refraktif cam, petrol katalizörü,

Kaynak: (Charalampides et al., 2015)

La-Ni-H bataryaların, Cd veya Pb içeren bataryaların yerini almaya başlamaları ile toksisite değerlerinin azalmasına katkı sağlamışlardır. Bu bataryalar yüksek maliyetli olmalarına karşın şarj yoğunluğunun fazla olması ve daha iyi şarj-deşarj özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir (Christopher & Holweg, 2017).

Lantan ve seryum (Ce) içeren kırmızı-turuncu pigmentler, kadmiyum (Cd) gibi ağır metal içeren toksik etkisi fazla olan pigmentlerin yerine kullanılarak daha çevreci ve temiz (ecofriendly) uygulamalar temin edilebilir. Yanıcı ve toksik gazların sıkıştırılmasıyla elde edilen gaz sıkıştırılmalı soğutmaya alternatif olarak NTE'lerin kullanılmasıyla daha verimli olan manyetik soğutma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu soğutma sisteminin

kullanılmasıyla ozon tabakasını olumsuz yönde etkileyen toksik ve yanıcı gazlara lüzum kalmamıştır. NTE'lerin sınai uygulamaları, enerji verimliliği ve CO<sub>2</sub> salımını azaltıp çevre dostu bir profil çizer (Strässle et al., 2003).

Neodyum (Nd) ve Praseodimyum (Pr) ile camın renklendirilmesi, seçici absorpsiyon kabiliyeti ile mümkündür. NTE'lerin elektro-optik özelliklerinin önemli olmasını sağlayan başka bir örnek La-oksit bileşenidir (Huang et al., 2020). Bu bileşen, optik camların korozyona direncini arttırmada kullanılır (Poscher et al., 2013).

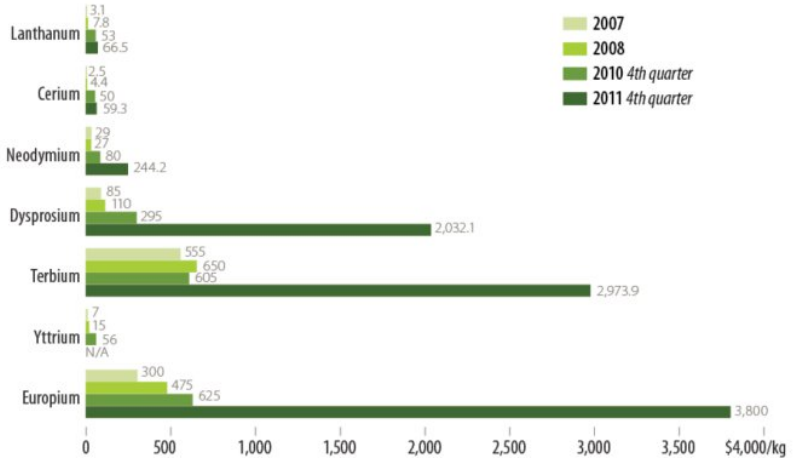
NTE'lerden Sm, Nd ve Pr, radar, elektrik motorları, yüksek sıcaklık uygulamaları ve kalıcı mıknatısların iyileştirilmesinde oldukça önemlidir. Kalıcı mıknatıs olarak NTE esaslı mıknatıslar; mekanik, termal ve manyetik kararlılıkları ve uzun süre kullanılmalarından dolayı tercih edilmektedir (An et al., 2019). NTE'lerin manyetik özellikleri, mıknatıs uygulamalarının yanı sıra depolama ve okuma gibi alanlarda da kullanım alanı bulmuştur. Gadolinyum-galyum bazlı manyetik belleklerin kullanımıyla güvenli bilgi depolama mümkün hale gelmiştir (Koç et al., 2019).

NTE'lerin az miktarlarda katkılandırılmasıyla demir esaslı ve demir esaslı olmayan alaşımların fiziksel özelliklerinde gözle görünür üstünlükler elde edilebilmiştir. Genellikle NTE'lerin ferro alaşımları, metalik formları ile Ce-oksit ve La-oksit karışımı olan mischmetal şeklinde bu katkılar yapılabilmektedir (Goonan, 2011). NTE'ler, metal alaşımlarının üretiminde oksijen, kükürt ve zararlı diğer elementlerin giderilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca iletken bakır ve alüminyum üretiminde oksijen ve kükürdün gideriminde az da olsa kullanılmaktadır (Jha, 2014).

Bazı NTE'lerin uluslararası pazarda 2007-2011 yılları arasındaki dolar bazında kilogram fiyatları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablodan 2011 yılında fiyat artışının hızlandığı net olarak görülmektedir.

Tablo 2. Yeşil teknolojilerde kritik öneme sahip olan bazı NTE'lerin 2007-2011 arasındaki küresel çaptaki fiyat hareketi (\$/kg)



Kaynak: (Humphries, 2012)

NTE'lerin kullanım alanlarına aşağıda değinilmiştir. Geniş kullanım alanı olmasından dolayı fazla detaya girilmemiştir.

### **Katalizör Olarak Kullanım**

Ce-oksit ve La-oksit bol olarak bulunmaları ve uygun maliyetlerinden dolayı ticari uygulamalarda kendilerine yer bulmuşlardır. Petrolün rafine edilmesi ve katalitik konvertörlerde Ce ve La önemli bileşenler olarak öne çıkmaktadır. Pr ve Tb'nin oksitleri de benzer amaçla kullanılmaktadır (Jha, 2014). Otomobillerde katalitik konvertör olarak NTE'lerin kullanılması temiz bir çevre için son derece önemlidir (Goonan, 2011).

## **Seramik ve Cam Alanında Kullanım**

NTE'ler seramik sırlara renk kontrolünü kolayca yapabilmek için eklenir (Campbell & Keane, 2010). La-oksit, optik camlarda korozyon direncini artırması ve kırılma indeksi özelliğinden dolayı cam ile ilgili uygulamalarda kullanılır (Jha, 2014). Cam parlatma uygulamaları ile pürüzsüz yüzey elde etmek için Ce-oksit ve La-oksit yanında az miktarda Pr-oksit, Nd-oksit ve Y-oksit kullanılmaktadır (Goonan, 2011).

## **Metalurji Alanında Kullanım**

Bazı NTE'ler süper alaşımlara oksidasyon dayanımını artırmak amacıyla ilave edilmektedir. İtiryum (Y), alaşımların kararlılığını artırmanın yanında kaplama ara yüzeylerindeki boşlukları doldurarak daha iyi bir yapışma sağlar (Guan et al., 2019). La ve Ce da benzer şekilde bazı Co ve Ni süperalaşım bileşenlerinde etkilidir. Lantan, gaz türbinlerinde kullanılan nikel ve kobalt bazlı alaşımların çalışma sıcaklığını artırmak suretiyle, bu ürünlerin çalışma ömürlerini 10 kata kadar uzatmaktadır (Guskov & Gavrichev, 2021).

## **Ekran Teknolojisi ve Aydınlatma Amacıyla Kullanım**

Yakın zamanda endüstriyel olarak TV ekranlarında kullanılan LED'in geliştirilmesinde ve cep telefonu ekranlarında Lantanit temelli malzemeler ön plana çıkmıştır (Escribano et al., 2008). Bu malzemeler, LED'lerde enerji toplama görevi üstlenerek elektrik enerjisini yüksek seviyede ışığa dönüştürerek verimin artmasını sağlar (Eliseeva & Bünzli, 2011). Ayrıca yakın zamanlardaki en önemli ticari gelişmelerden biri de beyaz ışık yayan diyotlar için  $La^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$  ve  $Tb^{3+}$  NTE'lerin kombinasyonunun kullanılmasıdır (Guo et al., 2010).

## **Ni-MH Batarya Alanında Kullanım**

Ni metal hidrit (Ni-MH) esaslı piller, günümüzde hibrit otomobillerde elektrik motorlarına güç sağlamada kullanılmaktadır. Hibrit elektrikli motorlara olan aşırı talep, bataryalarda NTE'lerin kullanılmasını artırmaktadır (Maroufi et al., 2018). Daha iyi performans sergilemeleri nedeniyle NTE'ler batarya sektöründe kritik hammadde olarak talep görmeye devam edecektir (Machacek & Kalvig, 2016).

## **Lazer ve Telekomünikasyon Alanında Kullanım**

İtriyum elementi, alüminyum ile birlikte lazer üretiminde kullanılmaktadır. Bu lazerler (YAG-Yttrium Aluminum Garnet), uçak ve uydular arasında iletişimin üstün bir performansla gerçekleşmesini sağlarlar. Nd:YAG lazerler; epilasyon cihazları, damar kaynaklı leke tedavileri, ameliyatta kullanılan robotik cihazlar ve seramik malzemelerin işlenmesi gibi farklı kullanım alanlarına sahiptir (Karahan et al., 2014). Erbiyum bazlı optik kristaller, düşük maliyet, yüksek elektrik-optik verimliliği ve iyi ışın kararlılığı sergilerler (Jha, 2014).

## **Kalıcı Mıknatıs Alanında Kullanım**

Otomotiv sektörü, rüzgar türbinleri ve evlerde kullanılan dondurucuların verimliliğini artırmak amacıyla mıknatıslar kullanılmaktadır. Nd ve Pr en fazla, Dy, Gd ve Sm ise az miktarda kullanılarak mıknatıs üretiminde değerlendirilen NTE'lerdir. NdFeB mıknatıslar; otomobil motorları, elektrikli bisiklet motorları, endüstriyel motorlar, rüzgâr türbinleri ve bilgisayar sabit disklerindeki sürücülerde kullanım alanına sahiptir (Roskill, 2016).

%30 civarında Sm içeren samaryum-kobalt (Sm-Co) mıknatıslar, radar ve elektronik savaş ekipmanları gibi silah sistemlerinde kullanılmaktadır (Kamat, 2014). Bu mıknatıslar 300 °C'ye kadar çalışma sıcaklıklarında manyetik özelliklerini koruyor

olmalarına karşın, diğer mıknatıslar bu yüksek sıcaklıklarda çalışamazlar. Sm-Co esaslı mıknatıslar, fiyatlarının yüksek olmasına rağmen başta hava savunma sistemleri olmak üzere farklı alanlarda talep görmektedir. Belli başlı uygulamalar dışında NdFeB mıknatıslar, Sm-Co temelli mıknatısların muadili olabilmektedir (Constantinides & De Leon, 2011).

### **Tıp Alanında Kullanım**

NTE'ler, üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle yüksek teknolojik ürünler, lazer teknolojisi, kalıcı mıknatıs alanlarında ve optik özellikleri sayesinde bilgisayarlı tomografi taramaları (BT), manyetik rezonans görüntü (MRG), pozitron emisyon tomografi (PET) görüntüleme ve X-ışınları gibi tıbbi görüntüleme tekniklerinde kullanılmaktadır (Giese, 2018). Gd, Nd, La, Pr ve Er gibi elementler, tıbbi görüntüleme cihazlarının üretiminde kullanılan önemli NTE'lerdendir.

### **Savunma Sanayi Alanında Kullanım**

Savunma sanayinin bir ülkenin olmazsa olmazı olduğu gerçeğini göz önüne aldığımızda NTE'lerin değerini anlamak hiç de zor olmayacaktır.

NTE'ler jet motorlarında ve pek çok havacılık ürününün üretiminde kullanılır (Jha, 2014). NTE'lerin çok önemli olduğunun bilinmesi yanı sıra ABD başkanı D. Trump (yani ABD politikası) için ekstra önemde addedilmesiyle Çin gibi güçlü bir ülkeyi karşılıklarına almayı göze almaları NTE'lerin yerini alabilecek seçeneklerin olmaması nedeniyledir.

### **Nükleer Alanda Kullanım**

Gd-oksit, nükleer enerji alanında en çok kullanılan NTE'dir. Az miktarda Gd-oksit (%5 kadar) uranyum oksit ile karıştırılarak yakıt elemanın düzenli olarak nötron akısı edinmesine yardımcı olur. Gd, yüksek nötron absorbe etmesi yanında fiziksel ve kimyasal

özelliklerinin uranyum oksite yakın olması nedeniyle uranyuma benzeyen yanma oranına da haizdir (Dumazert et al., 2018).

### **NTE'lerin Çevresel Etkileri**

NTE madenciliğinin yapıldığı maden sahalarının yakın olduğu bölgelerde yaşayanların NTE'lerden etkilendiğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Çin'in kuzeyindeki Baiyun Oba maden sahası yakınında yaşayan insanların idrarlarındaki NTE konsantrasyonları, maden sahası dışında yaşayanlara göre önemli oranda yüksek bulunmuştur (Hao et al., 2015; Liang et al., 2018).

NTE'lere olan maruziyet sadece NTE madenciliği nedeniyle değildir. Ugandalı çocuklarda NTE konsantrasyonlarının, İngiltere'de yaşayan çocuklara nazaran daha fazla olduğu raporlanmıştır (Brown et al., 2004).

NTE'lerden özellikle La, Ce ve Gd, beyinde tümör olan hastalarda, hasta olmayanlara (beyinde tümör olmayanlar) göre daha yüksek seviyededir (Zhuang et al., 1996).

Günlük alışkanlıklar, insan vücudunda bulunan NTE'lerin konsantrasyonu üzerinde etkili olabilmektedir. La, Ce, Eu ve Gd konsantrasyonları, uzun süre sigara ve alkol kullananlarda kullanmayanlara göre daha fazla olduğuna işaret etmektedir (Marzec-Wroblewska et al., 2015). Benzer şekilde Nd derişimi, sigara kullanan kadınların kolostrum sütünde, hiç sigara kullanmayan kadınlara göre belirgin olarak yüksek bulunmuştur (Poniedzialek et al., 2017).

NTE'ler insan vücuduna gıda yoluyla da girebilir. Yumurta, süt, yüksek miktarda tuz ve tütsülenmiş gıdalar tüketen yüz yaşından büyük bireylerin saçlarında yüksek seviyelerde NTE'ler tespit edilmiştir (Zhang et al., 2020). Bununla birlikte yapılan bazı çalışmalarda deniz ürünleri, tahıllar, sebze ve meyvelerde belirli

miktarlardaki NTE'lerin sağlık sorunları teşkil etmediği sonucuna ulaşılmıştır (Shi et al., 2022; Yang et al., 2016; Zhuang et al.; 2017).

Meslek olarak ele alındığında, madencilerin NTE'lere fazlaca maruz kaldıklarını söyleyebiliriz. Nadir toprak pnömokonyozu sık görülmeyen bir meslek hastalığıdır ve NTE iğereren tozun solunmasıyla ilişkilidir (Yoon et al., 2005).

NTE'ler ile ilgili olarak en fazla takip edilen biyolojik matrisler, sağ, kan ve kan serumudur. Seryum, tüm NTE'ler iğerinde en fazla araştırılan elementtir. Maden işçilerini etkilediği kadar maden sahası yakınında yaşayanların sağ, idrar veya kanında zamanla birikebilir. NTE'lerine bireylerin günlük maruziyeti, elektronik atıkların uygunsuz yönetimi ve trafik yoğunluğu gibi faktörler neden olmaktadır. Çünkü teknolojik cihazların geliştirilmesi sırasında çalışanların teması ve dizel yakıtlarda katkı maddesi olması nedeniyle maruz kalmada artış olması doğal karşılanabilir. Çevre ve gıdalardaki NTE seviyeleri kısa vadede insan sağlığı iğerin sorun teşkil etmese de NTE konsantrasyonunun zamanla artmasından dolayı potansiyel risk oluşturabileceği düşünölmektedir (Brouziotis et al., 2022).

Özetleyecek olursak, NTE'ler insan sağlığı iğerin risk oluşturmakla beraber maden sahasında çalışanlar, elektronik atık işçileri gibi mesleklerde çalışanların belirli periyotlarda sağlık taramasından geçirilmesinde fayda olacaktır. Ayrıca bu tip yerlerde çalışanların maske, koruyucu gözlük ve eldiven gibi ekipmanlar kullanmaları faydalı olacaktır.

## **Sonuç**

Teknolojik gelişme sürecinde kritik öneme sahip olan NTE'ler sağlık, enerji, otomotiv ve savunma sanayi gibi sektörlerde geniş ölçeekte kullanılmaktadır. NTE'lerin çıkarılması ve işlenmesi esnasında ortaya çıkan zorlukların, hem çevre hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir olması iğerin dikkatli bir yönetim politikasına

ihtiyaç vardır. Yer altı ve yer üstü madenciliği, su ve toprak kirliliği gibi geri dönüşü olmayan çevresel zararlara neden olmaktadır. Bu minvalde, NTE'lerin geri dönüşümü ekonomik ve çevre dostu olması nedeniyle önemli hale gelmektedir.

## Kaynakça

An, S., Ma, Z., Li, W., Zhang, H., Yin, T. (2019). Magnetic properties of anisotropic bonded NdFeB/SmCo permanent magnets. *AIP Advances*, 9(12).

Bade, R. (2010). Rare Earths Review—Is the Hype Justified? *Londo : Libertas Corporate Finance Limited*.

Brown, C. J., Chenery, S. R. N., Smith, B., Mason, C., Tomkins, A., Roberts, G. J., et al. (2004). Environmental influences on the trace element content of teeth implications for disease and nutritional status. *Archives Oral Biol.* 49, 705–717. doi:10.1016/j.archoralbio.2004.04.008

Brouziotis, A. A., Giarra, A., Libralato, G., Pagano, G., Guida, M., Trifuoggi, M. (2022). Toxicity of rare elements: An overview on human health impact. *Front. Environ. Sci.* 10:948041. doi: 10.3389/fenvs.2022.948041

Campbell, M., Keane, C. (2010). Rare earth colorants. *Ceramics Today*. <http://ceramicstoday.glazy.org/articles/lanthanides.html> (Alıntı Tarihi: 10 Haziran 2026.)

Charalampides, G., Vatalis, K. I., Apostoplos, B., & Ploutarch-Nikolas, B. (2015). Rare earth elements: industrial applications and economic dependency of Europe, *Procedia Economics and Finance*, 24, 126-135.

Christopher, M., & Holweg, M. (2017). Supply chain 2.0 revisited: a framework for managing volatility-induced risk in the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

Constantinides, S., & De Leon, J. (2011). Permanent magnet materials and current challenges. *In Adv. Powder Metall. Part*.

*Mater*-2011. Proc. 2011 Int. Conf. Powder Metall. Part. Mater. *PowderMet*, 858-875.

Dumazert, J., Coulon, R., Lecomte, Q., Bertrand, G. H. V., Hamel, M. (2018). Gadolinium for neutron detection in current nuclear instrumentation research: A review. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 882, 53-68.

Eliseeva, S.V., Bünzli, J. C. G. (2011). Rare earths: jewels for functional materials of the future. *New Journal of Chemistry*, 35(6), 1165-1176.

Escribano, P., Julián-López, B., Planelles-Aragó, J., Cordoncillo, E., Viana, B., Sanchez, C. (2008). Photonic and nanobiophotonic properties of luminescent lanthanide-doped hybrid organic inorganic materials. *Journal of Materials Chemistry*, 18(1), 23-40.

Giese, E. C. (2018). Rare earth elements: Therapeutic and diagnostic applications in modern medicine. *Clin Med Rep*, 2(1), 1-2.

Goonan, T. G. (2011). Rare earth elements: End use and recyclability. *US Geological Survey*.

Guan, K., Huang, Z., Cui, R., Qin, J. (2019). Effects of yttrium on microstructure and mechanical properties of a directionally solidified single crystal superalloy. *Materials Science and Engineering: A*, 752, 86-92.

Guo, N., Huang, Y., You, H., Yang, M., Song, Y., Liu, K., Zheng, Y. (2010). Ca<sub>9</sub>Lu(PO<sub>4</sub>)<sub>7</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>: a potential single-phased white-light-emitting phosphor suitable for white-light-emitting diodes. *Inorganic chemistry*, 49(23), 10907-10913.

Guskov, V. N. & Gavrichev, K. S. (2021). Thermal Expansion, Heat Capacity, and Thermodynamic Properties of Monoclinic Lanthanide

Orthotantalates: A Review. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 66(13), 1947-1972.

Hao, Z., Li, Y., Li, H., Wei, B., Liao, X., Liang, T., et al. (2015). Levels of rare Earth elements, heavy metals and uranium in a population living in Baiyun Obo, inner Mongolia, China: A pilot study. *Chemosphere* 128, 161–170. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.01.057

Haxel, G. (2002). Rare earth elements: critical resources for high technology. *US Department of the Interior, US Geological Survey*, 87(2).

Huang, X., Zhao, D., Ma, L., Deng, C., Li, L., Chen, K., & Yang, X. (2020). Effect of La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on crystallization of glass-ceramics. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 536(1-3).

Humphries, M. (2012). Rare Earth Elements: The Global Supply Chain. *CRS Report for Congress*.

Jha, A. R. (2014). *Rare earth materials: properties and applications*. London: CRC Press, 114-325.

Kamat, S. V. (2014). Samarium-cobalt type rare earth permanent magnets. *In Proceedings of the national conference on rare earth processing and utilization*.

Karahan, E., Er, D., Kaynak, S. (2014). An overview of Nd: YAG laser capsulotomy. *Medical hypothesis, discovery and innovation in ophthalmology*, 3(2), 45.

Koç, M. M., Aslan, N., Kao, A. P., Barber, A. H. (2019). Evaluation of X-ray tomography contrast agents: A review of production, protocols, and biological applications. *Microscopy Research and Technique*, 82, (6), 812-848.

Liang, Q., Yin, H., Li, J., Zhang, L., Hou, R., and Wang, S. (2018). Investigation of rare Earth elements in urine and drinking water of children in mining area. *Medicine* 97, e12717. doi:10.1097/MD.00000000000012717

Machacek, E. & Kalvig, P. (2016). EURARE European REE market survey. Roadmap for the REE material supply autonomy in Europe.

Maroufi, S., Nekouei, R. K., Hossain, R., Assefi, M., Sahajwalla, V. (2018). Recovery of rare earth (ie, La, Ce, Nd, and Pr) oxides from end-of-life Ni-MH battery via thermal isolation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(9), 11811-11818.

Marzec-Wroblewska, U., Kaminski, P., Łakota, P., Ludwikowski, G., Szymanski, M., Wasilow, K., et al. (2015). Determination of rare earth elements in human sperm and association with semen quality. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 69, 191–201. doi:10.1007/s00244-015-0143-x

Özcan, C. (2021). A Review On Various Analytical Techniques for Determining REEs. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 7(2), 265-275.

Poniedziałek, B., Rzymiski, P., Pięt, M., Niedzielski, P., Mleczek, M., Wilczak, M., et al. (2017). Rare-Earth elements in human colostrum milk. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 26148–26154. doi:10.1007/s11356-017-0359-6

Poscher, A., Luidold, S., Antrekowitsch, H. (2013). Extraction of cerium and lanthanum from spent glass polishing agent. *Materials Science & Technology*, 543-552.

Roskill. (2016). Rare earths: Global industry, markets and outlook. *Sixteenth Edition. London, UK.*

Shi, Z., Yong, L., Liu, Z., Wang, Y., Sui, H., Mao, W., et al. (2022). Risk assessment of rare Earth elements in fruits and vegetables from

mining areas in China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29, 48694–48703. doi:10.1007/s11356-022-19080-7

Strässle, T., Furrer, A., Hossain, Z., & Geibel, C. (2003). Magnetic cooling by the application of external pressure in rare-earth compounds. *Physical Review B*, 67(5).

Yeliz, İ. & Ayhan, N. K. (2021). Rare Earth Element Doped ZnO Thin Films and Applications. *International Journal of Pure and Applied Sciences.Cilt* 7, 2, 305-313.

Yoon, H. K., Moon, H. S., Park, S. H. ,Song, J. S., Lim, Y., Kohyama, N. (2005). Dendriiform pulmonary ossification in patient with rare Earth pneumoconiosis. *Thorax* 60, 701–703. doi:10.1136/thx.2003.006270

Zhang, R., Wang, L., Li, Y., Li, H., and Xu, Y. (2020). Distribution characteristics of rare earth elements and selenium in hair of centenarians living in China longevity region. *Biol. Trace Elem. Res.* 197, 15–24. doi:10.1007/s12011-019-01970-6

Zhuang, G., Zhou, Y., Lu, H., Lu, W., Zhou, M., Wang, Y., et al. (1996). Concentration of rare Earth elements, As, and Th in human brain and brain tumors, determined by neutron activation analysis. *Biol. Trace Elem. Res.* 53, 45–49. doi:10.1007/BF02784543

Zhuang, M., Zhao, J., Li, S., Liu, D., Wang, K., Xiao, P., et al. (2017b). Concentrations and health risk assessment of rare Earth elements in vegetables from mining area in Shandong, China. *Chemosphere* 168, 578–582. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.11.023



## BÖLÜM 3

### YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ARASINDA PİROLİZİN YERİ

BÜŞRA KARAGÖZ KÖSEOĞLU<sup>1</sup>  
MELTEM DİLEK<sup>2</sup>

#### Giriş

Enerji, insan yaşamının kolaylaşmasını, tüm alet, araç ve ekipmanların çalışmasını sağlayan güç olarak tanımlanabilir (Adıyaman 2012). Enerjiye insan hayatının günlük temel gereksinimlerinin karşılanabilmesi için sürekli olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Gün geçtikçe Dünya nüfusunun hızla artması ve sanayileşmenin gelişmesiyle birlikte enerji ihtiyacı da giderek artmaktadır (ETKB 2011). Bu nedenle var olan enerji kaynakları da tükenmekte ve insanlar da farklı tükenmeyen enerji kaynakları arayışına girmektedir (Budak et al. 2009).

#### Enerji Kaynakları

---

<sup>1</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D., Orcid: 0000-0002-5517-8127

<sup>2</sup> Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D., Orcid: 0000-0001-9398-8772

Enerji kaynakları, enerjinin dönüştürülüp dönüştürülmemesine bakılarak, birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olarak iki gruba ayrılır.

Doğada buldukları biçimiyle, herhangi bir dönüşüme uğramadan kullanılabilen kaynaklar, birincil enerji kaynakları olarak adlandırılır.

Birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesi ile ortaya çıkarılan enerji ise, ikincil enerji kaynakları olarak adlandırılır.

Birincil enerji kaynakları olarak adlandırılan kaynaklar da yenilenemeyen ve yenilenebilir kaynaklar olarak iki gruba ayrılır.

### *Çizelge 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması*

---

#### Enerji Kaynakları

---

#### 1. Birincil Enerji Kaynakları

#### 2. İkincil Enerji Kaynakları

---

#### 1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

#### 2.1. Elektrik Enerjisi

#### 2.2. Hidrojen Enerjisi

#### 1.1.1 Fosil Enerji

Petrol  
Doğalgaz  
Kömür

#### 1.1.2. Nükleer Enerji

Uranyum  
Toryum

#### 1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Rüzgar  
Hidroelektrik  
Güneş  
Jeotermal  
Dalga  
Gel-Git  
Biyokütle

---

*Kaynak: Keskin 2006*

## **Yenilenemeyen Enerji Kaynakları**

Enerji elde edildikten sonra yinelenemeyen kaynaklar yenilenemeyen enerji kaynakları olarak tanımlanır.

### **Fosil Enerji**

Dünyada katı, sıvı veya gaz halinde bulunan fosil yakıtların yakılarak elektrik, ısı (termik) veya yakıt enerjisine dönüştürülmesiyle ortaya çıkan enerjiye fosil enerji denilmektedir. Fosil enerji kaynakları; petrol, doğal gaz ve kömür gibi kaynaklardır.

### **Nükleer Enerji**

Atom çekirdeklerinin parçalanması (filyon) ya da birleşmesi (füzyon) ile meydana gelen enerji türüdür. Filyon veya füzyon sonucu atom reaktöründe meydana gelen ısı, elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Uranyum, toryum ve plütonyum nükleer enerji hammadde kaynaklarıdır.

## **Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji kaynağını güneşten alan, sürekli bir döngüde olan ve tekrar tekrar enerji üretilebilen enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarından enerji elde edilirken fosil yakıtlar gibi atmosfere zehirli gazlar bırakmazlar ve bu nedenle de sağlıklı ve güvenilir olarak değerlendirilirler (Gezer 2013).

### **Rüzgar Enerjisi**

Rüzgar enerjisi, çevresel etkisi minimum seviye de olan yakıt kaynağına ihtiyaç duymayan, yaşam döngüsü var oldukça yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisinde kaynak güneştir. Güneş yeryüzünü aynı oranda ısıtamaz ve bu nedenle de sıcaklık farklılıkları ortaya çıkar. Sıcak hava kütlesi ısınma sonucunda yükselerek yüksek basınç bölgesine girer ve alçak basınç bölgesindeki soğuk hava kütlesi ile yer değiştirir ve bu oluşan hava

akımı rüzgar olarak tanımlanır. Rüzgarın hızı ve sürekliliği bu enerji kaynağında önemli olan parametrelerdir.

### **Hidroelektrik Enerji**

Hidroelektrik enerji, maliyeti düşük, yaygın olarak kullanılan ve sürekliliği olan bir enerji kaynağıdır (Şen et al. 2000). Suyun yüksek seviyelerden alçak seviyelere inmesi sonucu ortaya çıkan potansiyel enerji, türbinleri döndürmekte ve jeneratörlerde işlenerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Akpınar et al. 2009). Ülkemizde her yıl yağışlar olduğundan bu enerji kaynağı da yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır.

### **Güneş Enerjisi**

Güneş, dünyadaki tüm enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır ve sonsuz enerji kaynağıdır (Türkiye Çevre Vakfı 2006). Güneşin merkezindeki hidrojen gazı helyum gazına dönüşürken ışıma ile ortaya çıkan çok güçlü enerji türü güneş enerjisi olarak tanımlanır. Güneş enerjisi aynı zamanda temiz ve yenilenebilirdir. Tek sıkıntısı devamlı güneş ışınları gelmediğinden depolama yapılması gerektiği fakat depolanma imkanlarının kısıtlı ve maliyetli olmasıdır. Güneş enerjisinden ısı uygulamalarda, ısıtmada, ısınmada ve elektrik üretmede yararlanılır.

### **Jeotermal Enerji**

Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan, sıcak kaya, erimiş mineral tuzlar ve gazlar içeren buhar ve sudan oluşmuş akışkanların ısisının, yeryüzüne ulaşmasıyla elde edilen enerjidir. (Küleççi 2009). Yenilenebilir, temiz, sürekli ve yüksek verimli bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji elektrik üretiminde, sıcak su elde edilmesinde, ısınmada, turistik amaçlı ve sağlık için kullanım gibi çeşitli alanlarda kullanılır (Mertoğlu et al. 1994).

## **Dalga Enerjisi**

Rüzgarın oluşmasıyla deniz ve okyanuslar üzerinde dalgalar oluşur. Bu oluşan dalgaların yarattığı itme gücünden yararlanılarak elde edilen enerji dalga enerjisi olarak tanımlanır. Çok yaygın kullanılan bir enerji kaynağı değildir.

## **Gel-Git Enerjisi**

Güneşin ve ayın yeryüzünde bulunan sular üzerine uyguladıkları yerçekimi kuvveti sonucu gel-git oluşur. Gel-gitler sonucunda su seviyesinde alçalma ve yükselme meydana gelir. Bu alçalma ve yükselmeden yararlanılarak jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisi üretilmektedir.

## **Biyokütle Enerjisi**

Yeşil bitkilerin fotosentez yoluyla güneş enerjisini doğrudan kimyasal enerjiye çevirip depolamasından oluşan, yapısında hidrokarbon bulunan organik maddelere biyokütle denilmektedir (Şimşek 2006). Biyokütle fosilleşmemiş, biyolojik ve organik tüm maddelerin genel adıdır. Biyokütleden çeşitli prosesler yardımıyla elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denilmektedir (Acaroğlu 2003). Biyokütle yenilenebilir enerji kaynaklarının arasında büyük bir öneme sahiptir. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi kesikli olmayıp sürekliliğinin daima devam etmesi ve kolay depolanabilmesi en önemli özelliğidir.

Biyokütle kaynakları, odun ve odun atıkları, tarımsal ürünler ve onların atıkları, hayvansal atıklar, kentsel ve endüstriyel atıklar ile su bitkileri ve algleri içerir (Türe 2001).

Biyokütlenin kimyasal yapısı karbon, hidrojen, oksijen ve azot içermesine rağmen fosil yakıtlarına göre oldukça farklılık göstermektedir. Biyokütleyi oluşturan temel bileşenler, selüloz, hemiselüloz, lignin, organik ekstraktif maddeler ve inorganik maddelerdir.

Biyokütleyi enerji değeri açısından daha verimli hale getirebilmek, çevre kirliliğini minimuma indirmek ve enerji sorunlarının çözümüne katkı sağlayabilmek için biyokütleyle uygulanan dönüşüm yöntemleri, fiziksel, biyolojik-kimyasal, termokimyasal yöntemler olarak üç başlık altında incelenebilir.

### **Fiziksel Yöntemler**

Biyokütleyle uygulanan fiziksel yöntemler yakıt kalitesini arttırıcı etkiye sahiptir (Ölçüm 2006).

### **Biyolojik- Kimyasal Yöntemler**

Hemiselülozun parçalanması işlemine biyolojik yöntemler, pentozların, heksozların ve ligninin asit yardımı ile hidroliz edilmesine ise kimyasal yöntemler denilmektedir (Ben-Iwo *et al.* 2016).

### **Termokimyasal Yöntemler**

Termokimyasal yöntemler, biyokütlenin oksijenli veya oksijensiz ortamlarda ısıl işlemler uygulanarak enerji içeriği yüksek katı (char), sıvı ve gaz yakıtlar ile önemli kimyasalların elde edilmesinde kullanılan bir yöntemlerdir. Bu yöntemler biyokütleyle uygulanan dönüşüm yöntemleri arasında en verimli ve en yaygın olarak kullanılanıdır.

### **Piroliz**

Piroliz, biyokütleyle oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıl bozundurma prosesidir. Biyokütle pirolizi sırasında selüloz, hemiselüloz ve lignin parçalanarak birçok reaksiyon gerçekleşmektedir.

Piroliz sonunda elde edilen sıvı ürün, üretimi ve pazarlanması sırasında taşıma ve depolama maliyetleri düşük ve yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenlerle de hem termokimyasal yöntemler içinde hem de diğer yenilenebilir enerji

kaynaklarına göre daha fazla tercih edilmektedir (Angın & Şensöz 2006).

Piroliz sonunda elde edilen katı (char), sıvı (biyoyağ) ve gaz ürünlerin verimleri biyokütlenin cinsine, parçacık boyutuna, reaksiyon sıcaklığına, ısıtma hızına, sürükleyici gazın akış hızına vb. parametrelere göre değişkenlik göstermektedir (Üçgül & Akgül 2010).

Piroliz yöntemleri kullanılan şartlara bağlı olarak geleneksel (yavaş), hızlı ve flash (ani) piroliz olmak üzere 3 gruba ayrılır. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte vakum, ultra ve hidropiroliz gibi yöntemler de geliştirilmiştir.

### **Piroliz Ürünleri**

Piroliz sonucunda oluşan ürünler birincil ve ikincil ürünler olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil ürünler herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın direkt kullanılabilirken, ikincil ürünlerin kullanımı için bazı ön işlemler uygulamak gerekir. Ayrıca birincil ürünler kimyasal işlemler uygulanarak ikincil ürünlere de dönüştürülebilirler (Bridgwater & Cottom 1992).

### **Katı Ürün (Char)**

Piroliz sonucunda elde edilen, fazlaca karbon ihtiva eden, yapısal olarak kararlı, karbon açısından zengin olan ürün katı ürün (char) olarak adlandırılmaktadır (Balcı *et al.* 1993). Reaktörün alt kısmında, kül ve dönüşmeyen organik maddelerden oluşmaktadır. Düşük ısıtma hızlarında ve sıcaklıklarda katı ürünün verimi artmaktadır (Bridgwater & Bridge 1991).

Üretilen katı ürünün geniş kullanım alanları mevcuttur. Katı ürün doğrudan paketlenip gübre olarak satılabilmenin yanı sıra yakıt olarak, metalürjik amaçlarla dökme demir, elektro- manganiz dökme plaka, zırhlı plaka vb. üretimlerde ve kimya sanayinde aktif karbon, karbon siyahı, karbon disülfür gibi kimyasalların eldesinde

de kullanılmaktadır. Ayrıca katı üründen su saflaştırma işlemlerinde, topraktan kirletici maddelerin uzaklaştırılmasında ve kanalizasyon arıtımında da yararlanılmaktadır (Saletnik et al. 2019).

### **Sıvı Ürün (Biyoyağ)**

Piroliz sonucunda oluşan yüksek oranda su içeren, karmaşık yapıya sahip piroliz ürününe sıvı ürün (biyoyağ) denilmektedir.

Karbon, hidrojen ve oksijen içeren karmaşık bir karışım olan biyoyağın %99,7'si asitler, alkoller, aldehitler, esterler, ketonlar, şekerler, fenoller, gayakoller, siringoller, furanlar, ligninden türetilen fenoller ve ekstrakte edilebilir terpenden oluşur (Zhang et al. 2007).

Oluşan bu ürünün su içeriğinin yüksek olması, yapısının yüksek sıcaklıktan etkilenip bozunması, viskozitesinin yüksek olması ve düşük pH değerine sahip olması dezavantajları olarak bilinmektedir (Zheng *et al.* 2006).

Sıvı ürün (biyoyağ) genellikle koyu kahve rengine sahiptir fakat biyokütle kaynağına ve piroliz yöntemine göre farklı renklerde de olabilir. Genellikle siyah, koyu kırmızı, koyu kahverengi ve koyu yeşildir. Sıvı ürünün (biyoyağ) koyu yeşil renkte olması azot içeriğinin yüksek olduğunu göstermektedir (Bridgwater 2003).

Piroliz sonucu elde edilmek istenilen birincil ürün biyoyağ olduğundan verim çok önemlidir. Verimin en üst düzeylerde elde edildiği hızlı veya flaş piroliz tercih edilmektedir.

Elde edilen bu ürünün kalorifik değerinin yüksek olması, taşınabilir ve depolanabilir olması, azot ve kükürt içeriğinin düşük olması vb. nedenlerden dolayı yakıt olarak kullanımı yaygındır (Park vd. 2009). Ayrıca enerji üretiminde, reçine ve bazı kimyasalların üretiminde de kullanılmaktadır (Goyal et al. 2008).

## **Gaz Ürün (Biyogaz)**

Piroliz sonucunda ortaya çıkan gaz ürün (biyogaz)  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $H_2O$  ve doymuş ve doymamış hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Piroliz sonucunda elde edilen bu gaz doğrudan ısıtma sistemlerinde, elektrik üretiminde vb. alanlarda kullanılabilir (Ertaş 2010). Ayrıca bu ürün metanol ve benzin gibi daha yüksek yakıt değerli ürünlere de dönüştürülebilmektedirler.

## **Tartışma ve Sonuç**

Yapılan araştırmalarda Dünyadaki enerji kaynaklarının kısıtlı olduğu ve sürekli artan nüfusun daha çok enerjiye ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Enerji üretiminde fosil kaynaklar tercih edildiğinde çevreye ve insanoğluna zararlı olması sebebiyle, zararsız ya da minimum zararlı olan yeşil ve yenilenebilir enerjinin tercih edilmesi gerekmektedir. Evrenimiz için daha sağlıklı ve sürdürülebilir olan yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmeli, yenileri eklenmeli ve nasıl daha faydalı kullanılabileceği hakkında bilimsel çalışmalara süratle devam edilmelidir.

## Kaynakça

Acaroğlu, M., 2003, Alternatif enerji kaynakları, Nobel Basımevi, Ankara, 107-108.

Adıyaman, Ç., 2012. Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde,163.

Akpınar, A., Kömürcü, M. and Kankal, M., 2009.Türkiye'de Hidroelektrik Enerjinin Durumu ve Geleceği, WECTNC Türkiye 11. Enerji Kongresi, Bildiriler

Angın, D. ve Şensöz, S., 2006. Aspir tohumu pres küspesinin pirolizinde sürükleyici gaz (N<sub>2</sub>) akış hızının etkisi ve sıvı ürün karakterizasyonu, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 18, 535-542.

Balcı, S., Doğu, T. and Yücel, H., 1993, Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 32, 2573-2579.

Ben-Iwo, J., Manovic, V. and Longhurst, P.,2016. Biomass resources and biofuels potential for the production of transportation fuels in Nigeria, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 172–192.

Bridgwater, A.V. and Bridge,S.A., 1991. A review of pyrolysis and pyrolysis technologies, Biomass pyrolysis liquids upgrading and utilisation.Elsevier Applied Science,London and NewYork.

Bridgwater, A.V. and Cottom, L.M., 1992, Costs and Opportunities for Biomass Pyrolysis Liquids Production and Upgrading, Biomass for Energy, Industry and Environment, 6th E.C. Conference, Edited by G. Grassi, A. Collina and H.Zibetta, Elsevier Applied Science, London and New York, 679-692.

Bridgwater, A.V., 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, 91, 87-102.

Budak N., Bayındır H. and Yücel L.H., 2009. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi, V.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 123-130.

Ertaş, M., 2010. Bazı artık biyokütlelerin Yavaş pirolizi ve piroliz ürünlerinin karakterizasyonu, Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 111.

ETKB, 2011. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, MaviKitap, Ankara.

Goyal, H.B. , Seal, D. ve Saxena, R.C. (2008). Bio-fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 504- 517.

Keskin, M.H.,2006. Stratejik açıdan Avrupa Birliği enerji politikası ve uluslararası güvenlik sistemine etkisi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 380.

Mertoğlu O., Başarır N., Mertoğlu M., 1994, Jeotermalin geçmişte ve gelecekte

Türkiye'deki yeri, önemi ve uygulamaları, Türkiye VI. Enerji Kongresi, 131-135.

Ölçüm, T., 2006. Biyodizel teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 82.

Park Y H, Kim J, Kim S S and Park Y K, 2009, Pyrolysis Characteristics Andkinetics of Oak Trees Using Thermogravimetric, Analyzer and Micro-Tubing Reactor. *Bioresource Technology*, 100, 400–405.

Saletnik B, Zagula G, Bajcar M, Tarapatsky M, Bobula G, Puchalski C, 2019, Biochar as a multifunctional component of the environment-a review, *Applied Sciences*, 96, 1139.

Şen, Z., Karaosmanoğlu, F., Şahin D. A., Tan, E., 2000, III. Ulusal Temiz Enerji

Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 784-789.

Şimşek, Y.E., 2006. C3 enerji bitkisi olan enginar (*cynara cardunculus L.*) saplarının pirolizi ve biyoyakıt üretiminin incelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 226.

Türe, E., 2001. Hidrojen Enerjisi, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara.

Türkiye Çevre Vakfı, 2006. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye Çevre Vakfı Yayınları, Ankara, 175.

Üçgül, İ. and Akgül, G., 2010. Biyokütle Teknolojisi, *Yekarum Dergi*, 1, 3-11.

Zhang Q, Chang J, Wang T, Xu Y, 2007, Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research, *Energy Conversion and Management*, 481, 87-92.

Zheng, J. , Zhu, X., Guo,Q. and ZHU,Q., 2006. Thermal conversion of rice husks and sawdust to liquid fuel. *Waste Management*, 26, 1430-1435.

