

İTÜ



SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA NÜKLEER TEKNOLOJİNİN KULLANIMI

Dr. Türkan DOĞAN
Prof. Dr. Nilgün BAYDOĞAN

Bu e-kitap, CRDF Global ve Global Affairs Canada'nın "Sürdürülebilir Kalkınmada Nükleer Teknolojinin Kullanımı" başlıklı projeye verdiği destekle organize edilen, seminerler dizisinden oluşturulmuştur. Bu proje, Global Affairs Canada tarafından sağlanan cömert destek yoluyla CRDF Global tarafından verilen bir hibe ile mümkün olmuştur. Bu yayında ifade edilen görüşler ve görüşler yazarlara aittir ve CRDF Global and Global Affairs Canada'nın görüşlerini yansıtmayabilir. Bu e-kitap, İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından finansal olarak desteklenmiş ve İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi tarafından basılmıştır.

CRDFGLOBAL



In partnership with
Canada



© 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi

ISBN : 978-975-561-531-8

Bu kitabın her hakkı saklıdır ve tüm yayın hakları “İTÜ Rektörlüğü’ne” aittir.

Bu kitabın tamamı ya da herhangi bir bölümü yayınevinin izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilm çekilemez, dolaylı dahi olsa kullanılamaz. TEKSİR, FOTOKOPİ veya başka teknikle çoğaltılamaz, bilgisayarda, dizgi makinalarında işlenebilecek bir ortama aktarılamaz. Kitapta yayınlanan tüm yazı ve görsellerin sorumluluğu yazar / yazarlara aittir.

Bu e-Kitap, Sürdürülebilir Kalkınmada Nükleer Teknolojinin Kullanımı isimli projeyi içeren çalışma konularından oluşturulmuştur. Bu proje, Global Affairs Canada tarafından sağlanan cömert destek yoluyla CRDF Global tarafından verilen hibe ile mümkün olmuştur. Bu yayında ifade edilen görüşler yazarlara ait olup, CRDF Global ve Global Affairs Canada'nın görüşlerini yansıtmayabilir.

“Sürdürülebilir Kalkınmada Nükleer Teknolojinin Kullanımı” İstanbul, 2021.

Editörler: Türkan DOĞAN, Nilgün BAYDOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi yayınları. Yayın no. 2021.2KNF/11

İÇİNDEKİLER

ÖZSÖZ.....	2
İÇİNDEKİLER.....	3
1. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE NÜKLEER TEKNOLOJİDE MALZEMENİN ÖNEMİ.....	4
2. ENERJİ KAYNAKLARININ DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE NÜKLEER ENERJİ TERCİHİNE ETKİLERİ VE GELECEĞE YÖNELİK İNCELENMESİ.....	16
3. NÜKLEER TEKNOLOJİ UYGULAMALARI.....	22
4. TAHRİBATSIZ MUAYENE METODLARI.....	47
5. PARÇACIK HIZLANDIRICILARININ MEDİKAL UYGULAMALARI.....	70
6. KÜLTÜREL MİRAS ARAŞTIRMALARINDA NÜKLEER BİLİM VE TEKNOLOJİNİN KULLANIMI.....	74
7. TÜRKİYE'DE KAPALI ORTAMLARDA RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ VE RADONUN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ.....	77
8. YENİLİKÇİ MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİNDE NÜKLEER BİLİM VE TEKNOLOJİNİN ÖNEMİ.....	91
9. NÜKLEER TEKNOLOJİDE RADYASYON GÜVENLİĞİ VE BİYOMEDİKAL MALZEMELER.....	97
10. NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLER VE RADYASYON GÜVENLİĞİ.....	108
11. RADYOLOJİK MALZEMELERDE KALİTE VE RADYASYON HASARININ ÖNLENMESİNDE STANDARDİZASYONUN SAĞLANMASININ ÖNEMİ.....	116
12. MEDİKAL UYGULAMALARDA KULLANILAN POLİMERİK BİYOMALZEMELERİN RADYASYON GÜVENLİĞİ KAPSAMINDA RADYASYON TRANSMİSYON TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ.....	121

1.BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE

NÜKLEER TEKNOLOJİDE MALZEMENİN ÖNEMİ

Dr. Türkan DOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknolojisi Anabilim Dalı,
Ayazağa Kampüsü, Maslak, 34469, İstanbul, Türkiye

tdogan@itu.edu.tr

1.1. GİRİŞ

“Sürdürülebilir” kavramı, 1980’li yıllarda ilk olarak Brundtland Raporunda* kullanılmıştır ve “var olan kaynaklarımızı gelecek nesillere yetecek biçimde kullanımı” nı ifade etmektedir. “Sürdürülebilir” veya “sürdürülebilirlik”, dünyada yaşanan küresel ısınmanın sonucunda var olan kaynakların değişmesi ve tükenmesini baz almaktadır. Sürdürülebilirlik, “üretebilme yeteneğinin yakın gelecekte korunması” olarak tanımlanmaktadır.

“Sürdürülebilir kalkınma”, Kentbilim Terimleri Sözlüğü’nde “çevre değerlerinin ve doğal kaynakların savurganlığa yol açmayacak biçimde akılcı yöntemlerle, bugünkü ve gelecek kuşakların hak ve yararları da göz önünde bulundurularak kullanılması ilkesinden özveride bulunmaksızın, ekonomik gelişmenin sağlanmasını amaçlayan çevreci dünya görüşü” (Keleş, 1998: 112) olarak tanımlanmaktadır.

* 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nca hazırlanan ve yoksulluğun kaldırılması, doğal kaynaklardan elde edilen yararın eşit dağılımı, nüfus kontrolü ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi gibi sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda çözüm arayan rapor.

Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üç boyutta sürdürülebilirliği kapsamakta olup, birbirini tamamlayan farklı boyutlar arasındaki ilişkiyi ve bunlar arasında denge kurmak zorunluluğunu ifade etmektedir.

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında en önemli argümanlardan biri sorunlara; ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları ile bütünsel bir yaklaşımın gerekliliğidir. Sürdürülebilir kalkınma sağlanması; yaşam standartlarının iyileştirilmesi ve ekonomik ya da üretime yönelik etkinliklerin gerçekleştirilebilmesi için, nüfus artışı ve ekonomik büyüme nedeniyle giderek artan enerji gereksiniminin karşılanmasını zorunlu kılmıştır ve kalkınmanın temel girdisi olarak kabul edilmektedir.

Türkiye ve Dünya ülkelerinde sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel girdisi olan enerjiye gün geçtikçe daha çok gereksinim duyulması, dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması ve sürekli azalan yönde artış göstermesi gerçeğinin daha geniş kesimlerce anlaşılması ülkeleri, enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve enerjiyi etkin kullanmaya yöneltmiştir.

1.2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

“Sürdürülebilirlik” tanımı, birçok alanda kullanılmaktadır. Anlamı, bugünü, yarını engellemeden yaşamak olan “sürdürülebilirlik”; enerji üretim teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda, enerji kaynağının yenilenebilirliği ile birlikte sorgulanmaya başlanmıştır.

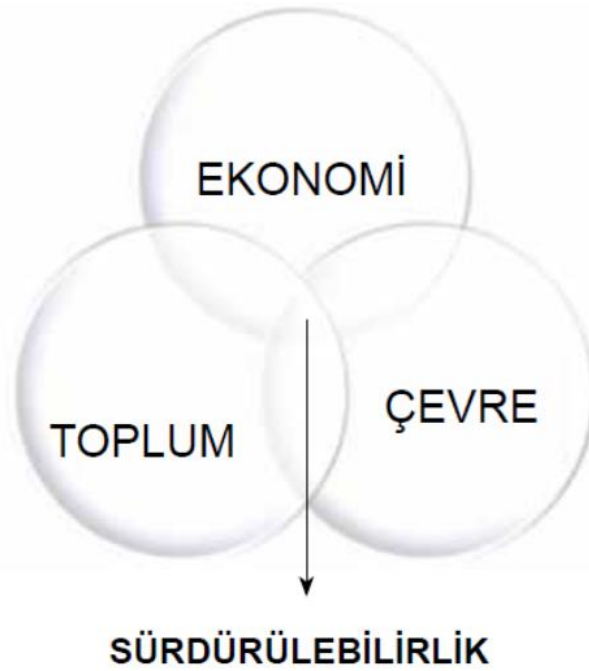
Sürdürülebilirlik kavramı; toplumun sosyal, kültürel, bilimsel, doğal ve insan kaynaklarının tümünün ihtiyatlı kullanılmasını sağlayan ve buna saygı duyma temelinde sosyal bir bakış oluşturan katılımcı bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Tıraş, 2011:59).

Sürdürülebilirlik, çevre, insan ve şimdiki kuşakların gelecek kuşaklar için sorumlulukları arasındaki ilişkiyi tanımlamak için yeniden adlandırılmış bir anlatımdır.

Ruckelshaus’a (1989) göre, sürdürülebilirlik, “ekolojinin en geniş sınırları içinde ekonomik büyümenin ve kalkınmanın karşılıklı etkileşim ile sağlanacağı ve zaman içinde korunacağı doktrindir”.

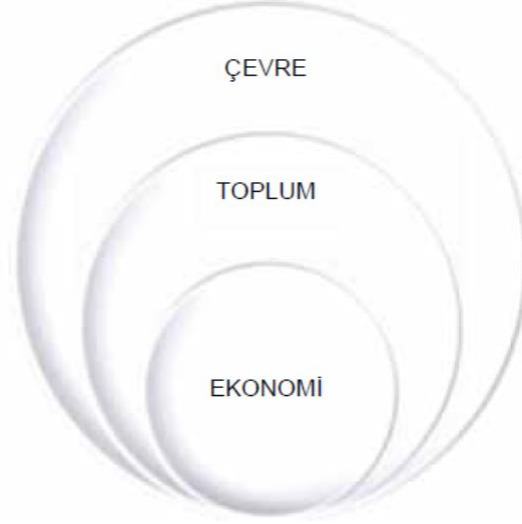
Gilman’a (1992) göre ise, sürdürülebilirlik, toplumun, ekosistemin ya da devam eden herhangi bir sistemin ana kaynakları tüketmeden belirsiz bir geleceğe dek işlevini sürdürmesidir (Özmehmet, 2010: 3).

Bu açıklamalarla birlikte sürdürülebilirliğin 3 temel birleşeni olan ekonomi, toplum ve çevre ortaya çıkmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Toplulukları oluşturan ekonomi, toplum ve çevre bileşenleri [1].

Sürdürülebilirlik kavramı, Hart (1999) tarafından farklı bir gösterim ile tanımlanmıştır (Özmehmet, 2010: 4). Hart’a göre ekonomi toplumun içinde yer almaktadır. Toplum ise ekonomi ile birlikte çevrenin içinde var olmaktadır (Şekil 2). Sonuçta, bütün tanımlardaki ortak nokta sürdürülebilirliğe ulaşmanın yolu, çevre, toplum ve ekonominin bir bütün olarak ele alındığı çözümlerle mümkün olmaktadır.



Şekil 2. Hart’a göre sürdürülebilirliğin tanımı [1].

1.3. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA

1960’ların ortalarından itibaren verimlilikle birlikte karların artış hızındaki düşme netleşmeye başlamıştır. Sermaye birikiminin daralması anlamına gelen bu gelişmeyle birlikte kapitalist sistem yüzyılın en uzun süreli kriz dalgasına girmiştir.

Krizin çekirdeğinde sermaye birikimi yetersizliği yattığından, krizin aşılması sermayenin özgürleşmesini; yani en çabuk ve en kolay nemalanacağı alana girip çıkabilme olanaklarının yaratılmasını; yani küreselleşmesini gündeme getirmiştir.

Böylelikle sermaye, ulus ötesi nitelik kazanmıştır. Gelecek kuşakların geleceğinin sermayenin bugünkü krizini aşmak için kullanılması anlamına gelen bu gelişme “sürdürülebilir kalkınma” tartışmasını gündeme getirmiştir (Şekil 3).

Kavram bazı yazarlara göre; insan sağlığını ve doğal dengeyi koruyarak sürekli bir ekonomik kalkınmaya imkan verecek şekilde doğal kaynakların akılcı bir şekilde yönetimini sağlamak ve gelecek nesillere yakışır bir doğal, fiziki ve sosyal çevre bırakmak yaklaşımıdır.

Fremann ve Soete ise sürdürülebilir kalkınmayı; şimdiki kuşakların ihtiyaçlarını, doğal kaynakları yenilenemeyecek hale getirmeden ve çevreyi geriye dönüşü olmayacak şekilde tahrip etmeden gelecek kuşaklara nakleden bir iktisadi sistem olarak tanımlamaktadır.

Bu tanım, iktisadi sistemin uzun dönemde insan ihtiyaçlarını karşılamada ekolojik sistemin canlılığına dayanma yeteneğini kabul etmektedir

(Tıraş, 2011: 60).



Şekil 3. Sürdürülebilir kalkınma için uluslararası platformlarda atılan adımlar [1].

“Sürdürülebilir Kalkınma, gelecek nesillerin, ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik yetenek ve olanaklarını kısıtlamaksızın, bugünkü ihtiyaçların karşılanmasıdır”.

Rio Konferansı* 1972’de kabul edilmiş olan BM Stockholm Çevre Konferansı Deklarasyonu’nu yaşama geçirmeyi amaçlayarak; yeni ve küresel bir ortaklığın kurulabilmesi için devletlerin, yönetimlerin, sektörlerin ve sivil toplum örgütlerinin işbirliği ile küresel çevre

ve kalkınma sistemini koruma hedefi ile düzenlenmiştir. Bu konferansta, dünyadaki kaynakların tasarruflu kullanımı için uluslararası ortak çalışmaların önemi vurgulanmıştır (Özmehmet, 2010: 7). Konferans sonucu, Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülkenin devlet ve hükümet başkanlarınca onaylanan deklarasyonda, sürekli ve dengeli kalkınmayı sağlamak ve insanlar için kaliteli yaşam çevreleri oluşturmak için, devletlerin sürdürülebilir olmayan üretim ve tüketim kalıplarını azaltması, ortadan kaldırması gerektiğinin altı çizilmiştir (Özmehmet, 2010: 8).

26 Ağustos-4 Eylül 2002 tarihleri arasında Johannesburg'da BM tarafından sürdürülebilir kalkınma zirvesi düzenlenmiştir. Bu zirveye ülkemiz de katılmıştır. Zirve, yoksullukla savaş ve çevreyi korumakla ilgili ayrıntılı eylem planları vermeyi amaçlamıştır. Bu zirvede enerji konusunda ülkeler, modern enerji imkânlarına ulaşamayan 2 milyar kişiye enerji olanaklarının yaygınlaştırılmasını taahhüt etmişlerdir. Ayrıca, zirvede hükümetler seçilen beş öncelikli alanda taahhütte bulunmuşlardır.

1.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE ENERJİ

Enerji, dünyanın gündeminde sürekli olarak iki nedenden dolayı yer almaktadır.

- 1.Kaynakların yetersizliği,
- 2.Dönüşüm teknolojilerinin çevreye verdiği zarardır.

Hayat standartları ile enerji tüketimi arasındaki ilişki düşünüldüğünde, kaynakların miktarlarının hiçbir zaman yeterli olmayacağı ve yeterli miktarın sonsuz miktar anlamına gelmektedir.

Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması; yaşam standartlarının iyileştirilmesi ve ekonomik ya da üretime yönelik etkinliklerin gerçekleştirilebilmesi için, nüfus artışı ve ekonomik büyüme nedeniyle giderek artan enerji gereksiniminin karşılanmasını zorunlu kılmaktadır.

Enerji, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarının tümü ile yakından ilgili bir unsurdur. Enerji arz güvenliğinin sağlanması sürdürülebilir kalkınma için en önemli koşullardan birini oluşturmaktadır ve giderek uluslararası politika sahnesindeki baş aktörlerin hayati ilgi alanlarından birisi haline gelmiştir.

Bu bağlamda çevre sorunlarının minimize edilmesi, küresel tehdit göz önünde bulundurularak enerji kaynaklarının yeniden gözden geçirilmesi ve alternatif çözümler üretilmesi gerekmektedir.

Enerjiye olan ihtiyacın gün geçtikçe artması, fosil yakıtların miktarlarının sınırlı olması ve tükenecek olmaları alternatif enerji kaynaklarının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Fosil yakıtlı kaynakların tükenme ihtimaline karşılık ve enerjiye duyulan ihtiyacın artması, başka kaynaklarla ikame edilebilecektir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise dünyanın tüketim ihtiyacı karşısında yetersiz kalmaktadır.

Dünya sürdürülebilir kalkınma zirvesinde küresel ısınma üzerinde durulmuş ve bunun nedeni olarak da sera gazlarının neden olduğu ifade edilmiştir.

Sera gazlarının %80'i enerji üretimi ve tüketiminden kaynaklı olup, sürdürülebilir kalkınma için nükleer enerjinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Gelinen noktaya bakıldığında, petrol ve kömüre dayalı enerji kaynaklarının tüketimi, dünyanın doğal kaynaklarının, ormanların, denizlerdeki biyolojik çeşitliliğin yok olmasına sebep olmuştur ve ayrıca bu kaynakların yenilenemez olmalarıdır.

Bu bağlamda dünyada artış gösteren enerji tüketimine, alternatif en önemli enerji kaynağı nükleer enerjidir.

Dünyadaki bu enerji sorununu nükleer enerji kaynaklarıyla aşmak mümkündür.

Nükleer enerji kaynakları hem sürdürülebilir kalkınma hem de iklim değişikliği ve küresel ısınmanın önlenmesi açısından var olan en önemli enerji türüdür.

1.5. NÜKLEER TEKNOLOJİDE MALZEMENİN ÖNEMİ

Dünya artan nüfus, hızla etkili olan çevre sorunları, Çin ve Hindistan gibi gelişen ülkelerin sürekli artan talebi gibi nedenler ile enerji konusunda daha duyarlı olma konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çerçevede nükleer enerji, özellikle yüksek enerji ihtiyacı olan ülkeler için önemli bir alternatif olmaya adaydır. Neredeyse 50 yılı bulan nükleer enerjinin ticari olarak kullanılması sürecinde güvenlik hep ön planda olmuş ve geliştirilen yakıt ve malzeme teknolojileri burada anahtar rol oynamıştır.

Nükleer enerji günümüzde dünyanın toplam elektrik üretiminin %15 kadarını karşılamaktadır. Teknoloji ağırlıkla hafif su teknolojisine dayanmakta ve bu durumun bir süre daha bu şekilde devam etmesi beklenmektedir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte gaz soğutmalı yüksek sıcaklık reaktörleri ve hızlı reaktörlerin de bu yelpaze içinde yer alması öngörülmektedir.

Hafif su reaktörlerinde daha yüksek yanma oranlarına ulaşmak özellikle nükleer yakıt hammaddelerinin daha verimli kullanılması açısından önemli bir hedef oluşturmaktadır.

1970-1980 arası yıllarda 30.000 MWD/MTU olan yanma oranları günümüzde 70 000 MWD/MTU değerlerini zorlamaktadır. Bu durumda bile yakıttan yararlanma oranı yaklaşık %7 değerini aşmamaktadır.

Nükleer reaktörlerde yanma oranını daha da arttırmayı engelleyen en önemli konu yakıt çubuklarının değişik nedenlerle işlevsizleşmesi ve zarf üzerinde oluşan çatlaklar nedeni ile fisyon ürünleri nedeni ile oluşan radyasyonun yakıt ve zarf bariyerlerini aşarak soğutucuya karışmasıdır. Düşük yanma oranlarında işletim limiti olan fazla reaktivitenin yerini yavaş yavaş malzeme problemleri almaktadır.

Hafif su reaktörlerinin yanı sıra tekrar gündeme gelen gaz soğutmalı yüksek sıcaklık reaktörlerine yönelik geliştirme çalışmaları da devam etmektedir. TRISO kaplamalı yakıt

teknolojisi önemli yer tutmaktadır. Sol-jel esaslı yakıt üretimi, pirolitik karbon ve SiC için akışkan yatakta kimyasal buhar çöktürme (CVD) süreci ve nükleer grafit bu alanda yoğun bir şekilde araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılan konulardır.

TRISO kaplamalı yakıtların özelliği SiC tabakasının ana basınç engeli işlevi gördüğü için fisyon ürünü gazların salınımı çok düşük seviyelerde olmakta ve 1800°C'lere kadar herhangi bozunma nedeni ile herhangi bir güvenlik problemi olmadan kullanım olanağı sağlamaktadır. Bu tür reaktörlerde yakıtlar tamamı seramik olduğu ve kendiliğinden güvenli olduğu için önemli avantajlar sağlamaktadır.

Nükleer reaktörlerde işletme problemlerinin içinde yakıt ve malzeme ile ilgili konular önem taşımaktadır. Pelet-zarf etkileşimleri gibi zamanında önemli olan bir problem malzeme teknolojisinin gelişmesi ve desteğiyle ikincil problem haline getirilebilmiştir.

Son yıllarda malzeme teknolojisinde kaydedilen gelişmelerle, içten ve dıştan soğutulan halka tipi yakıt çubuklarında zarf malzemesi olarak zirkonyum yerine seramik alternatiflerinin kullanımı yönündeki çalışmalar dikkat çekmektedir. Bu tasarımlar mevcut hafif su reaktörlerinde de kullanılarak güvenlik marjları artırılarak daha yüksek yanma oranlarına çıkılması sağlanacaktır. Bunların yanı sıra gaz soğutmalı yüksek sıcaklık reaktörleri için tamamı seramik olan TRISO kaplamalı yakıt teknolojisi ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir.

1.6. ZIRHLAMA TEKNOLOJİLERİ VE MALZEME

Nükleer teknoloji alanında radyasyon korunumu ve güvenliği zırhlama teknolojilerinde yeni malzeme geliştirme çalışmalarını zorunlu kılmıştır. Seramik, son yıllarda öne çıkan malzemeler arasında yer almaktadır. Ancak, ağır malzeme olmalarından ötürü, zırhlama alanında daha hafif malzemeler geliştirme yönünde malzeme teknolojisinde araştırmalar yapılmaktadır.

Son dönem malzeme alanında yapılan araştırmalarda, polimer ve plastik endüstrisinde, polimerik malzemelerin hafif olmalarından ötürü, radyasyona dayanıklı hale getirilerek,

nükleer teknoloji uygulamalarında kullanılabilirliğini sağlama yönünde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Malzeme kalınlığının kontrol işlemlerinde radyasyon iletim tekniği kullanılmaktadır.

Özellikle, uzay-havacılık alanında yapılan çalışmalarda uzay ortamında maruz kalınan yoğun radyasyona karşı cihazların olumsuz etkilenmesi bağlamında, zırhlama ön plana çıkmıştır. Uzay-havacılık alanında kullanılan malzemelerin hafif olması, yakıt tasarrufu vb. faktörler açısından çok önemlidir. Dolayısıyla, bu teknolojik alanda ki gelişmeler, malzeme teknolojisi alanında, polimerik malzemeler üzerinde araştırmalar yapılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Polimerik malzemelerden, poliimidler, mükemmel mekanik ve termal özellikleri ile en önemli ve karmaşık yüksek performanslı polimer türlerinden biri haline gelmiştir. Polimidler, yüksek sıcaklıklarda ve yoğun radyasyon ortamında kullanılabilecek en uygun polimerik malzemedir. Polimidler, hem termal dirence, stabiliteye hem de radyasyona karşı dirence sahiptir.

Bu polimerlerin çeşitli alanlarda ve nükleer teknolojik uygulamalarda, gelişen bir uygulama bulunduğu görülmektedir. Poliimidler radyasyona karşı büyük direnç gösterir.

Polimidlerdeki ana uygulamalar, yüksek sıcaklıklarda ve radyasyon ortamında uzun süreli kullanımları nedeniyle uzay-havacılık teknolojisi endüstrisi yanısıra otomotiv ve elektronik endüstrileridir.

Bu bağlamda, üstün termal, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip poliimidler, son derece ilginç mühendislik plastikleri arasındadır. Gelecekteki enerji sistemleri, hafif, esnek, yüksek ısıya ve radyasyona dirençli materyallerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Özellikle, biomedikal uygulamalarda, nükleer tıp alanında ki uygulamalarda, hafif ve yüksek dirençli malzeme oluşları, bu tür malzemelere olan talebi arttırmaktadır.

Ayrıca, yüksek performanslı polimerler, polimerin merkezinde Yttrium-90 radyoizotop gibi radyasyon yayıcıları kapsülleyerek yeni nesil kanser tedavisinde kullanılmak üzere

geliştirilmiştir. Işınlamaya karşı polimer reaksiyonu, polimerdeki sentez parametrelerine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir.

Sonuç olarak, iyonlaştırıcı radyasyona karşı esnek polimerler ve poliimid malzemelerdeki tepkiler, bu malzemelerin radyasyon işlemlerini kapsayan süreçte kullanımını mümkün kılmaktadır.

Gama ışınlaması ve beta partikülleri tıbbi sterilizasyonda kullanılabilir ve birbirlerine göre benzer anti-mikrobiyolojik etkiye sahiptirler. Polimerlerin etkisi esas olarak radyasyondaki penetrasyon derinliğine bağlıdır ve bu nedenle radyasyon iletim teknikleri ile kullanılabilir.

Radyoaktif katkı maddesi (prekürsör izotop) tıbbi cihazın sistemine veya sistemine konulabilir. Ayrıca, tıbbi kullanımda radyoaktif izotopun eklenmesiyle nötron aktivasyonu gerçekleştirilebilir.

Polimerik malzemede gözlenecek radyasyon atenuasyonu, tıbbi kullanımlar için radyoaktif izotopun etkinliğini değiştirebilir. Polimer malzemede artan kalınlık, radyasyon iletimindeki azalmayı olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, özellikle biomedikal alanında kullanılan tedavi balonları ve balon kateterlerde olduğu gibi polimer, medikal ürünlerde uygun sterilizasyonu sağlama açısından, organlara radyasyon iletimini engeller.

1.7. SONUÇ

Polimer kompozitlerin nötron zayıflaması başta olmak üzere, hakkında literatürde araştırmalar mevcuttur. Literatürde pleksiglas ve çeşitli polimer kompozitlerin beta zayıflama katsayıları hakkında da bilgiler bulunmaktadır.

Tıbbi uygulamalarda nötron zayıflamasını artırmak için betona polietilen ve polivinil klorür peletleri eklenmektedir. Alternatif akıllı polimerler, nötronlarda ve gama ışınlarında ışınlama alanlarında radyasyon kalkanı için oldukça iyi performans göstermektedir.

Bu sunum ile, nükleer teknoloji ve malzeme ile ilişkili ihtiyaçlara değinilerek, yeni teknolojik gelişmeler ile beraber sürdürülebilir kalkınma göz önünde bulundurularak, yeni yönelimlere değinilmeye çalışılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Seydioğulları, S. H., (2013) Sürdürülebilir Kalkınma için Yenilenebilir Enerji Renewable Energy for Sustainable Development şehir ve Bölge Plancısı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Isparta.
- [2] Keleş, R., (1998). Kentbilim Terimleri Sözlüğü,  mge Kitapevi, Ankara.
- [3]  zmehmet, E., (2010). Dünyada ve Türkiyede sürdürülebilir kalkınma yaklaşımları, Yaşar  niversitesi,  zmir.
- [4] Tıraş, H., (2011). Sürdürülebilir kalkınma ve  evre: Teorik bir inceleme, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,  ktisat Anabilim Dalı, Kayseri.

2.BÖLÜM
ENERJİ KAYNAKLARININ DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE
NÜKLEER ENERJİ TERCİHİNE ETKİLERİ VE GELECEĞE YÖNELİK
İNCELENMESİ

Prof. Dr. Nilgün BAYDOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı,

Ayazağa Kampüsü, Maslak, 34469, İstanbul, Türkiye

dogannil@itu.edu.tr

2.1. GİRİŞ

Dünya'daki enerji problemlerin çözümünün, petrol ve doğalgazın güvenli taşınımına gösterilen çaba ilgili başlıca mümkün olan bütün hallerin, bilinmesini gerektirdiği görülmektedir. Sürdürülebilir ekonomik kalkınma için enerji politikalarının geliştirilmesi ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması çalışmaları bir bütün olarak ele alınmaktadır. AB ve Akdeniz ülkeleri kapsamında bulunan Akdeniz Ortağı 12 ülke içinde, bölgenin iktisadi mali işbirliği, refah, barış ve güvenliğini etkileyen konular göz önüne alındığında, Türkiye, Akdeniz'de enerjinin taşınımında, coğrafi olarak en önem taşıyan konumlardan birinde yer almaktadır. 12 Akdeniz Ortağı (MP-Mediterranean Partners) ülkesi içinde Türkiye, Kuzey Afrika ve Doğu Akdeniz'de enerji kaynaklarının (doğalgaz, petrolün) taşınımındaki bağlantı konum noktasında bulunmaktadır. Türkiye, Avrupa'daki deniz ticaretindeki araçların, Akdenizdeki, yakıt tedariki ve depolanması için gerekli gereksinimlerini tamamlaması konusunda, uygun ticari yol üzerinde bulunmaktadır (İskenderun, Tekirdağ vb).

Dolayısıyla, Türkiye'nin enerji kaynaklarını incelemek ve çevresindeki ülkelerin enerji taleplerini değerlendirmek önem taşımaktadır [1-3].

Türkiye, yenilenebilir enerji kurulu gücü bakımından Avrupa'da 5'inci, dünyada 12'nci sırada yer almaktadır. Türkiye'deki yenilebilir enerji potansiyelini dikkate alarak, alternatif enerji kaynaklarını daha çok hesaplamalara dahil etmek ve nükleer enerjiye geçiş sürecini değerlendirmek uygun olmaktadır. Enerji arz talep problemlerinin çözümü için, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi konusundaki faaliyetler tüm ülkeler tarafından artırılmaktadır. Nükleer enerji alanındaki çalışmalar hızlandırılmakta ve bu durum, çevre problemlerinin çözümünde alternatif bir seçenek olarak belirtilmektedir [3-4].

2.2. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ENERJİNİN ÖNEMİ VE GÜNCEL DURUM

Avrasya'nın konumu, enerji kaynaklarının nakli konusunda, çeşitli alternatifler oluşturmakta ve Türkiye'nin coğrafi konumunu ile birlikte önem kazanmaktadır. Dünyadaki en büyük doğal gaz depolarından biri Tuz Gölü yer altı doğal gaz deposu olarak planlanmış çalışmaları devam etmektedir. Bu amaçla, bölgedeki 40 kuyunun yapımı devam etmekte olup, tesis, 2023'te 52 kuyu ile Türkiye'nin 3 aylık doğalgazını depolayabilecek şekilde inşa edilmektedir. Kuzey Marmara yer altı doğal gaz deposunda kapasite artırma çalışmaları devam etmektedir. Bu tesisler 2023'te tamamlandığında, toplam doğalgaz tüketiminin yüzde 20'si bu tesislerde depolanabilecektir. Doğal gaz projeleri, arz sıkıntısı yaşanmaması amacıyla çeşitlendirilerek çalışmalar devam etmektedir [3].

2.3. ENERJİ KAYNAKLARI VE ENERJİNİN DAĞITILMASINDAKİ ÖNEMLİ KRİTERLER

Enerji kaynaklarının ve dağıtımının güvenliğinde, üç önemli kriter mevcuttur. Bunlar;

- 1) Enerji tedarikinin güvenliğini sağlamak,

2) Çevreyi korumak,

3) Rekabetçilik,

Dünya’da ve Türkiye'deki enerji güvenliğinin değerlendirilmesini, bu üç madde de incelemek mümkündür [1-2].

2.3.1. Enerji Güvenliğinin Sağlanması ve Türkiye

Dünya’da enerji rotalarının yeniden güncellendiği önemli tarihi dönemler yaşadığımız bir süreç içinde olduğumuz düşünülebilir. Bu bağlamda, Türkiye; AB, ABD, Rusya, Azerbaycan, Gürcistan ve bölge ülkeleri ile başlattığı çeşitli enerji ortaklığını karşılıklı işbirliği ile geliştiren, bir NATO ülkesidir. Türkiye coğrafi konumu nedeniyle enerji arzındaki, zengin Doğu ülkeleri ile enerji talebi fazla olan Batı ülkeleri arasında doğal bir enerji köprüsü konumundadır. Türkiye bu coğrafi konum avantajından dolayı, önemli bir enerji terminali ülke olma yolunda ilerlemektedir. AB enerji ihtiyacına katkı sağlayacak, en ekonomik ve arz-talep bakımından coğrafi olarak uygun güzergâh Türk-Yunan sınırı olarak tanımlanmaktadır. Türkiye, gelişen sanayisi ve genç nüfüsü ile iyi bir enerji pazarı adayı ülke olarak tanımlanmaktadır [1-2].

Artan enerji talebimiz, Türkiye’yi dörtte üç oranında dışarıya bağımlı hale getirmiştir. Rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal ve nükleer enerjiyi teşvik eden yatırımlar ve yasal düzenlemeler devam etmektedir. Akkuyu Nükleer Güç Santrali, Türkiye’nin büyüyen ekonomisinden dolayı, artan enerji talebini karşılamak için önemlidir. Akkuyu Nükleer Güç Santrali’nin Çevresel Etki Değerlendirme Raporunda, deprem riski değerlendirilerek, nükleer santralin inşası onaylanmıştır.

Nükleer enerji tesisleri, nükleer güvenlik mevzuatı, güvenlik ve kalite standartlarının ülkelere köklü bir şekilde yerleşmesini desteklemektedir ve bunu uygulayan ülkelerde kalitenin gelişmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Nükleer enerji üretimi için kurulacak tesisler,

Türkiye’de, nükleer teknoloji alt yapısının gelişmesine katkı sağlarken, her sahada kullanılan ürünlerde güvenliğin ve kalite standartlarının gelişmesini hızlandıracaktır.

2.3.2. Çevre Güvenliğı

Çevresel konular, iklim değışikliğı, doğal afetler gibi gelişmeler enerji güvenliğinin içeriğini değışirmiştir. Enerji güvenliğı, çevresel faktörler ve küresel iklim değışikliğı ile oluşan sorunları daha fazla içerir hale gelmiştir. Çevre ile ilgili kaygıların daha ön plana çıkabildiğı görülen Avrupa’daki ülkelerde, enerji politikalarını, çevre korunumuna hassas seçmenlerin daha etkin şekillendirmesi söz konudur.

Türkiye enerji politikalarını oluştururken, başta AB ülkeleri olmak üzere küresel ölçekteki enerji politikaları ile uyumlu politikaların oluşturulduğı görölmektedir. Bu amaçla, enerji faaliyetlerinin çevre güvenliğı dikkate alınarak yürütölmesini sağlayan politikalar oluşturulduğı dikkat çekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları karbondioksit emisyonunu azaltarak çevre kirliliğinin önüne geçebilen önemli alternatif olmaktadır. Türkiye’nin enerji rezervlerinde önemli potansiyele sahip taşkömürü ve linyit konusundaki sorunu, kömür enerjisinin kalitesiz oluşu ve önemli çevre kirliliğine sebep olmasıdır [1-4].

Nükleer enerji santralleri, termik santrallerle karşılaştırıldığında atmosfere karbondioksit salmayıp, çevreyi kirletmemesi bir üstünlük olarak görölmektedir. Yüzen nükleer santraller daha güvenli enerji temini amaçlı, offshore petrol kuyuları örnek alınarak geliştirilmektedir. Tsunami dalgalarından etkilenmeyecek şekilde, deniz derinliklerinde inşa edilen yüzen platformlarda yerleştirilen çeşitli boyutlardaki yüzen nükleer santrallerde (50-1000 MWatt), depremler yok denecek kadar az bir etki oluştururken, aşırı ısınma sonucu oluşan problemler çözümlenmiş olmaktadır [1-2].

2.3.3. Rekabetçilik

Avrupa Birliği Komisyonu, 8 Mart 2006’da oluşturduğu Sürdürülebilir, Rekabetçi ve Güvenilir Enerji için Avrupa Stratejisi isimli Yeşil Kitap’ta rekabetçiliği açıklayan Avrupa için bir enerji stratejisi oluşturmuştur. Burada,

1) Temiz enerji ve enerji verimliliğinde yatırımları teşvik etmek; enerji piyasasındaki açılmanın, tüketiciler ve ekonomi için avantajlar sunmasını sağlamak,

2) Yüksek uluslararası enerji maliyetlerinin AB ekonomisi ve vatandaşları üzerindeki etkisini makul hale getirmek,

3) Fütüristik enerji teknolojilerindeki gelişmelerle Avrupa’da enerji talebini korumak, Şeklinde tanımlanan konusundaki detaylar, sürdürülebilir, rekabetçi ve güvenilir enerji için Avrupa stratejisindeki rekabetçilik olarak tanımlanmıştır [1-2].

2.4. SONUÇLAR

Enerji ve taşınımı konuları, jeopolitik ve jeostratejik anlamda uluslar için önemini korumaktadır. Rekabet unsurunun, enerji güvenliğinin kapsamını genişletmesinden ve Dünya’da yaşanan ekonomik krizler, çevresel konular ve doğal afetler gibi gelişmeler, enerji güvenliğinin içeriğini değiştirmiştir.

Küreselleşme, enerji alanındaki ortak değerlerin, yerel ve milli sınırları aşarak, dünya çapında etkin olmasına katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla, günümüzde coğrafi konum sonucu oluşan enerji konusundaki işbirliği ortamının gelişmesinin, iktisadi, siyasi, sosyal ve kültürel alanlarda bölgesel gelişimin hızlanmasına katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Baydogan N.D, “The effect of Nuclear Technology at industry and economic progress”, Importance of Nuclear Energy for Sustainable Development, TASAM Publishing; Energy Series: 2, ISBN 975-628527-3, 2006, pp. 41-49.
- [2] Tugrul A.B. and Baydogan N.D, 2007, Assessment of Energy Resource with Possible Alternatives and Turkey, 10. Turkey Energy Conference Proceedings, Vol. II, pp. 265-273, Istanbul, Turkey.
- [3] Nur ÇAKIR, 2018, Tuz Gölü Doğal Gaz Yer Altı Depolama Projesi’nin Tuz Gölü’ne Etkileri, Yenilenebilir Enerji Bülteni, Sayı: 6, Su Vakfı.
- [4] T.C. Kalkınma Bakanlığı On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Bilgi ve İletişim Teknolojileri Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 2018

3.BÖLÜM

NÜKLEER TEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Prof. Dr. Hüseyin Ali YALIM

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

3.1. GİRİŞ

Bilimsel çalışmalar nihai olarak insan hayatını daha kolaylaştırmak için kullanılabilecek yeni bilgi, teknoloji ve teknolojik ürünler üretme amacına hizmet eder. Bu bakımdan, fizik bilimi alanında yapılan çalışmalar en yaygın etkiye sahiptir. Çünkü, üretilen bilgilerin ışığında geliştirilen teknolojik ürünler başta enerji ve sağlık olmak üzere toplumsal hayatın her alanında kullanılmaktadır.

Nükleer Fizik alanında üretilen bilgilerin toplumsal hayattaki etkisi 1895'te Wilhelm Conrad Röntgen tarafından X-ışınlarının ve 1896'da Henri Becquerel tarafından radyoaktivitenin keşfi ile başlamıştır. 1932'de James Chadwick tarafından nötronun keşfedilmesi ise nükleer fizik alanındaki yaşanacak hızlı gelişmelerin miladı olarak kabul edilmektedir. 1934'te Enrico Fermi tarafından uranyum atomları nötronlar ile bombardıman edildiğinde daha küçük atomlara bölündüğü ve bu sırada da Albert Einstein tarafından 1905'te ortaya konulan $E=mc^2$ yasasına uygun olacak şekilde enerji açığa çıktığı fark edilmiştir. Böylece nükleer kaynaklardan enerji elde edilmesi yönündeki çalışmalar hızlanmış ve 1942 yılında bugünkü nükleer santrallere benzer şekilde kontrollü olarak sürdürülebilir enerji üretim düzeneği oluşturulmuştur.

1950'li yıllar bu alanda yaşanan hızlı gelişmelere sahne olmuş ve nükleer santrallerin kurulumu ve enerji üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde, nükleer fizik bilimi alanında yapılan çalışmalar sonucu gelişen nükleer teknoloji, toplum hayatının her alanında önemli işlevleri yerine getirmektedir.

3.2. NÜKLEER TEKNOLOJİNİN SEKTÖRLER BAZINDAKİ UYGULAMALARI

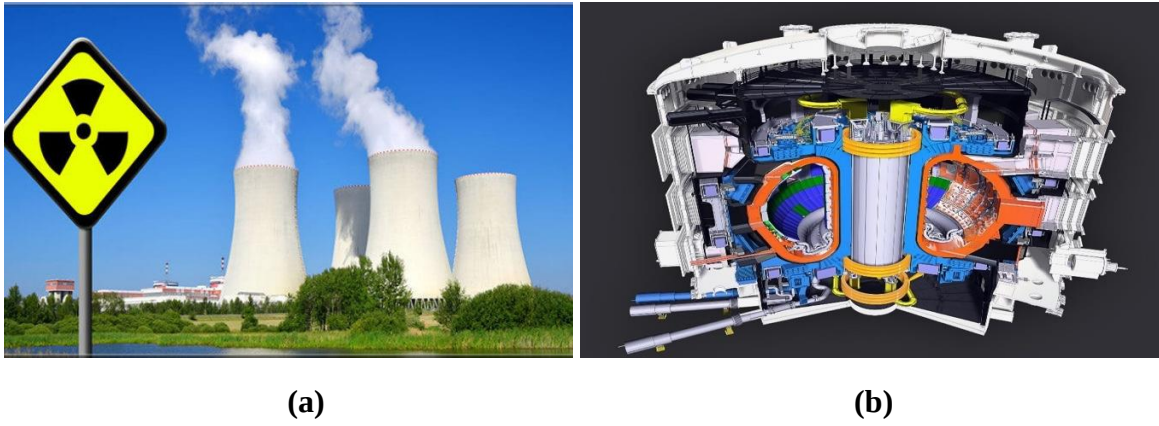
Ticari olarak nükleer teknoloji, nükleer güç kullanımı ve nükleer uygulamalar için üretilen ve geliştirilen ekipmanlar, elemanlar, sistemler ve ilgili hizmet üretimlerini içermektedir. Nükleer teknolojinin toplumsal hayatın içinde yer alan uygulamaları: Enerji, Tıp, Endüstri, Gıda ve Tarım, Çevre, Güvenlik ve Bilimsel Araştırma olmak üzere kategorilere ayrılmaktadır.

3.2.1. Enerji Uygulamaları

Enerji, sürdürülebilir ekonomik büyüme ve insanların refah düzeyinin iyileştirilmesi için gereklidir. Nükleer enerji, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltarak temiz, güvenilir ve uygun fiyatlı enerjiye erişim sağlayabilen bir alternatiftir. Dünyada kullanılan enerjinin önemli bir parçasıdır ve kullanımının önümüzdeki yıllarda artması öngörülmektedir.

Nükleer enerji, güç reaktörlerinde kontrollü olarak oluşturulan sürekli nükleer fisyon reaksiyonu yoluyla üretilmektedir (Şekil 1a). 2020 yılı itibarıyla, 32 ülkede 440'tan fazla nükleer reaktörde, Dünyadaki elektrik ihtiyacının %10'unundan fazlası üretilmektedir (IAEA, 2021). Bu oranın çok daha yukarılara çıkarılmasının gerektiği konusunda güçlü bir kanaat mevcuttur. Bir yandan mevcut teknoloji ile enerji üretilmeye devam etmekte, diğer yandan ise füzyon yoluyla enerji üretebilmek için yoğun şekilde çalışmalara devam edilmektedir. Bu kapsamda, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) önderliğinde yürütülen çalışmalar neticesinde, Dünyanın en gelişmiş ve en büyük füzyon deneyi, yedi uluslararası üye (Çin, Hindistan, Japonya, Güney Kore, Avrupa Birliği, Rusya Federasyonu ve Amerika Birleşik

Devletleri) ile Uluslararası Termonükleer Deneyisel Reaktör (International Thermonuclear Experimental Reactor-ITER) projesi çalışmalarına devam edilmekte olup, Tokamak konseptine dayalı olarak (plazmayı manyetik bir alanla sınırlayan bir cihaz kullanarak), Fransa'nın Cadarache kentinde ITER inşasına devam edilmektedir (Şekil 1b). Bu teknoloji ticari olarak kullanılmaya başlandığında, nükleer kaynaklardan sağlanan enerjinin toplam içindeki payının çok fazla artması söz konusu olacaktır.



Şekil 1. a) Nükleer güç santrali görüntüsü (<https://theconversation.com>), **b)** ITER tokamak modeli (<https://www.iaea.org/>)

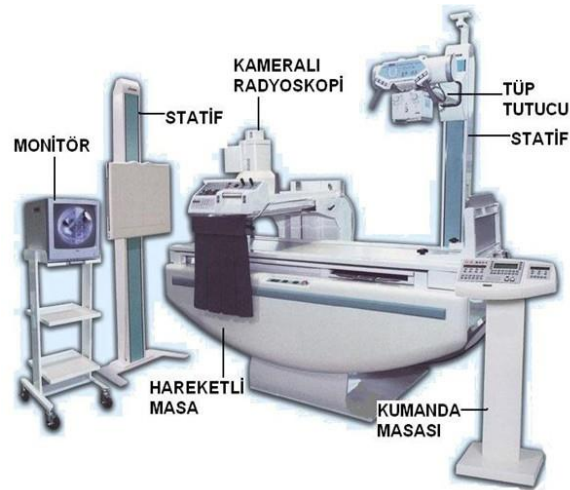
3.2.2. Tıptaki Uygulamalar

Nükleer teknolojinin tıp sektörüne uygulanmasıyla, nükleer tıp adında bir bilim dalı oluşmuştur. Bugün hemen hemen her hastanenin nükleer tıp bölümü bulunmaktadır. Nükleer tıp yardımıyla birçok hastalık teşhis edilebilmekte, herhangi bir organın düzgün bir şekilde çalışıp çalışmadığı anlaşılabilen ve kanser gibi hastalıkların tedavisi mümkün olabilmektedir (Şekil 2). Ayrıca nükleer teknoloji ameliyat aletlerinin ve tıbbi gereçlerin sterilizasyonunda sıkça kullanılmaktadır.



Şekil 2. Nükleer tıp uygulamasının şematik görüntüsü (<https://www.saglikaktuel.com>)

Nükleer teknolojinin hastanelerde en yoğun olarak kullanıldığı alan röntgen cihazlarıdır. Radyoloji cihazları, X-ışınlarının hastada farklı doku yoğunluklarına göre farklı şekilde soğurulması sonucu hastadan geçen ışınların radyografik film üzerine düşürülerek (grafi) veya görüntü şiddetlendirici vasıtasıyla bir monitöre aktarılarak (skopi) görüntü elde edilmesi prensibiyle çalışır (Şekil 3).



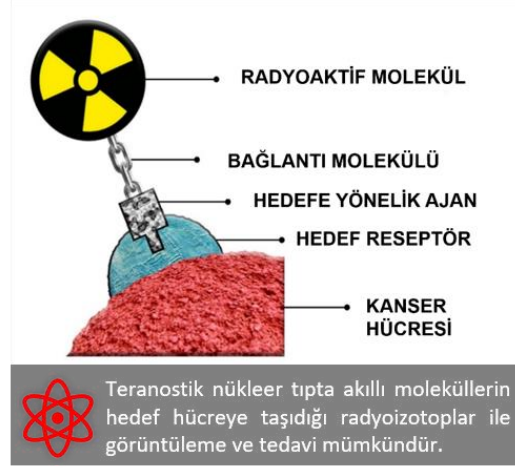
Şekil 3. Röntgen cihazı görüntüsü (MEB, 2011)

Dünyada her yıl on milyonlarca röntgen filmi çekilmekte, röntgen filmleri yardımıyla kırıklar başta olmak üzere birçok hastalığın teşhis edilmesi mümkün olmaktadır (Şekil 4). Tıpta radyoloji uygulamalarında, vücuttaki hastalıklı bölgenin görüntüsü radyografi filmi şeklinde elde edilir ve hastalığın teşhisinde yardımcı olur. Radyolojik işlemler arasında düz film radyografisi, floroskopi, bilgisayarlı tomografi, mamografi, vb. gibi uygulamalar bulunmaktadır.



Şekil 4. Tipik radyoloji görüntüleri (<https://www.ncrhospital.com/radyoloji.html>)

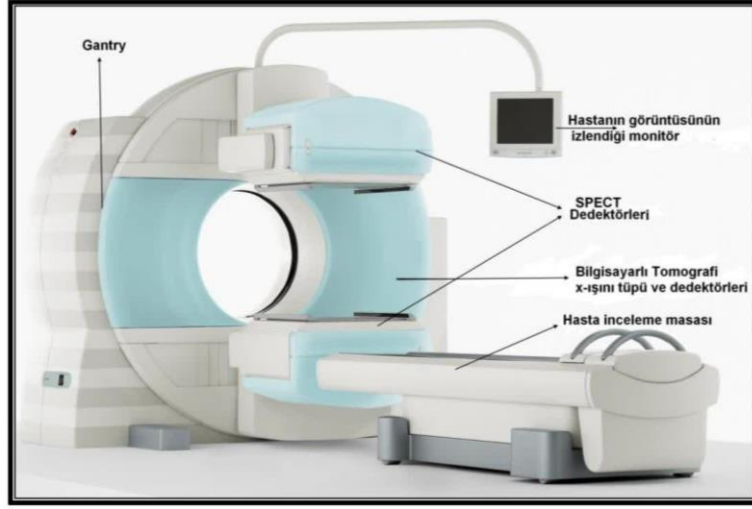
Hızlandırıcılarda ve reaktörlerde üretilen radyoaktif çekirdekler (radyoizotoplar) kanser tedavisinde sıkça kullanılmaktadır. Bu çekirdekler, akıllı moleküller aracılığı ile hedef hücreye taşınarak, kanserli hücrelerin bulunduğu bölgeye radyasyon verilmek suretiyle kanserli hücrelerin öldürülmesi ve kanserin yayılmasının önlenmesi sağlanabilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Nükleer tıpta teranostik yaklaşım şeması (<https://serkankuyumcu.com/>)

Nükleer tıp, canlılara verilen radyoaktif maddelerin yaydıkları gamma ışınlarının tarayıcılar tarafından (Gamma kamera, SPECT, PET) planar ya da tomografik yöntemle algılanarak işlenmesi sonucu elde edilen görüntünün izlenmesi ile tanı konulmasını sağlayan tıp dalıdır. Nükleer tıp uygulamalarında, vücuda enjekte edilen bazı radyoaktif maddelerin vücuttaki dağılımı bir Gama radyasyon kamerasıyla izlenmekte, incelenecek organ veya dokunun görüntüsü alınarak, işlevleri hakkında bilgi edinilmektedir.

Görüntü almak için kullanılan en basit aygıt "Gamma kamera" adı verilir. Bu cihazların daha gelişmiş türleri Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi (SPECT) olarak adlandırılır (Şekil 6). En son kullanıma giren Nükleer Tıp aygıtı Pozitron Emisyon Tomografi (PET/CT)'dir (Şekil 7).



Şekil 6. Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi (SPECT) görüntüsü (<https://lifeofmedical.com/>)

Görüntüleme için kullanılan bileşikler, radyonüklidler ya da radyonüklidler ile birleştirilen farmasötiklerdir. Bu maddeler vücutta fizyolojik işlevsellikleri ile görüntü sağlarlar. Organların durumu hakkında bilgi edinmek için belirli organlarda biriktiği bilinen bazı radyoaktif maddeler şırınga, ağız veya burun yoluyla hastaya verilmektedir.



Şekil 7. Pozitron Emisyon Tomografi (PET) görüntüsü (<http://centralhospital.com/>)

Maddenin söz konusu organdaki faaliyetleri uygun algılayıcılar yardımıyla gözlemlenir ve organlarda gerçekleşmekte olan işlevlerin görüntüsü bilgisayarda oluşturulur. Örneğin, Teknesyum-99'un kemik dokularında biriktiği bilindiğinden, hastaya Teknesyum-99 şırınga edilerek iskeletin resmi çekilebilir. İyot-133'ün de tiroit organında toplandığı bilindiği için İyot-133 kullanılarak tiroit organının düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilebilir.

Radyasyon, dalgalar ya da parçacıklar tarafından taşınan bir enerji türüdür. Özel cihazlarca üretilir ya da radyoaktif olarak adlandırılan maddeler tarafından salınabilir. Bu enerji, tıpta görüntüleme amacıyla aynı zamanda kanser ve diğer bazı hastalıkları tedavi etmek için kullanılmaktadır. Radyasyonu, hastalıklı organa yönlendirebilmek için özel cihazlara gereksinim vardır. Bu şekilde, yüksek dozdaki radyasyon enerjisinin tedavi amacı ile kullanılmasına “radyoterapi” ya da “ışın tedavisi” adı verilmektedir. Radyoterapide yaygın olarak Kobalt-60 ve benzeri gama radyasyonu yayan radyoaktif maddeler kullanılarak vücuttaki kanserli hücreler tedavi edilebilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Radyoterapi cihazı görüntüsü (<https://tr.isthealth.com.tr/>)

3.2.3. Endüstrideki Uygulamalar

Radyasyon, bir dizi maddenin analizi ve işlenmesi için kullanılabilir. Modern endüstride izotopların ve radyasyonların kullanımı, süreçlerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, ölçüm, otomasyon ve kalite kontrolü için son derece önemlidir. Analiz, kontrol ve ölçümlerde süreklilik sağlama ve hızlı bir şekilde sonuç alınabilmesi, nükleer teknikleri en hassas ve güvenilir teknikler sınıfına dahil etmiştir. Üretimde verimliliği artırmak ve ürün kalitesini iyileştirmek için günümüzde giderek daha fazla radyoizotoplardan yararlanmaya başlamıştır. Günümüzde hemen hemen tüm bilim dalları bunları farklı şekillerde kullanmaktadır. Örneğin, pahalı endüstriyel ekipmanlarda, çalışma ömrünü uzatmayı mümkün kılan bilgileri elde etmek için izleyiciler kullanılır. Başka bir uygulama, malzemenin bileşimine zarar vermeden veya değiştirmeden kalitelerini kontrol etmek için belirli parçaların iç yapısı hakkında bilgi elde etmeyi içerir.

Nükleer teknikler, farklı malzemelerin özelliklerini belirlemek ve değerlendirmek, kirlilik seviyelerini ölçmek, bileşenleri sterilize ve dezenfekte etmek, endüstriyel süreçleri izlemek ve optimize etmek ve yeni malzemeler üretmek için kimyasal, fiziksel ve biyolojik özellikleri değiştirmek için kullanılır.

Endüstride, test edilen nesneye zarar vermeden malzeme veya bileşenlerin bütünlüğünü ve özelliklerini değerlendirmek için tahribatsız muayene yöntemleri kullanılır. Tahribatsız muayene beton, gaz ve su boru hatları, depolama tankları ve yapısal elemanlar gibi çok çeşitli kaynakları incelemek ve görülemeyecek çatlakları veya kusurları belirleyebilmek için kullanılır (Şekil 9). Bu özellikleriyle tahribatsız muayene kalite kontrol, güvenlik ve güvenilirlik için önemli bir araç haline gelmiştir.

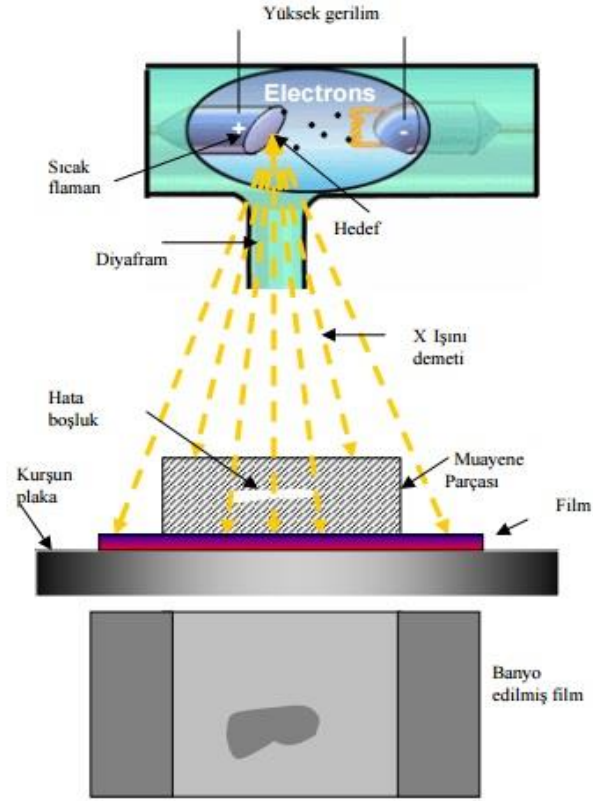


Şekil 9. Radyografik muayene cihazı ([tps://www.gammandt.com/](https://www.gammandt.com/))

Yüzlerce yöntem mevcut olsa da en yaygın olanları şunlardır:

- Endüstriyel Radyografi: X-ışınlarının, gama ışınlarının ve nötronların maddesel ortamdaki giricilik yeteneğini kullanarak gizli kusurları görmek için malzemeleri inceleme yöntemidir (Şekil 10).
- Ultrasonik Radyografi: Ses dalgalarına benzer mekanik titreşimler kullanan yöntemdir.
- Sıvı Penetran Muayenesi: Gözeneksiz malzemelerde yüzey kusurlarını bulmak için kullanılan bir yöntemdir.
- Manyetik Parçacık Denetimi: Ferromanyetik malzemelerde yüzey ve yakın yüzey altı süreksizliklerini tespit edebilen yöntemdir.
- Girdap Akımı Testi: İletken malzemelerdeki kusurları tespit etmek için elektromanyetik indüksiyon kullanan yöntemdir.

Radyografi tekniğiyle, taşınabilir X veya gama radyasyonu yayan cihazlardan yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (kaynak yapılmış malzemeler, borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamı, vb.) herhangi bir hata içerip içermediği saptanabilmektedir.



Şekil 10. Radyografi uygulaması (<https://www.metaluzmani.com/>)

Radyoizotopların çok küçük miktarları izleyici olarak kullanılmak suretiyle, sıvılar, tozlar ve gazlar dahil olmak üzere çok çeşitli malzemelerin karışım ve akış hızlarını incelemek ve sızıntıları bulmak mümkündür.

Ayrıca sanayi aygıtları, araç-gereçleri ve ürünlerdeki çatlakları ve kaçakları radyoaktif çekirdekler yardımıyla belirlemek mümkün olabilmektedir. Makine yağına eklenecek çok küçük miktarda izleyici yardımıyla motorlu araçların aşınma, yıpranma ve paslanma miktarları tespit edilebilmektedir. Bu işlemler sonrasında, ortamda kısa ömürlü izotopların küçük konsantrasyonları dışında hiçbir kalıntı kalmaz ve bunlar da çok kısa süre sonra ortamdaki yok olurlar.

Demir, elik, lastik, kağıt, plastik, imento, şeker gibi birçok sanayi ürününün üretim aşamasındaki kalınlık, seviye, nem ve yoğunluk ölçümleri radyasyon şiddetinin zayıflaması esasına dayanarak yapılmaktadır. Bu lmlerde X-ışınları ve Cs-137, Sr-90, Kr-85, Co-60, Am-241, Am-241/Be gibi radyoaktif maddeler kullanılmaktadır.

3.2.4. Gıda ve Tarım Uygulamaları

Nükleer teknolojiler, açlık ve yetersiz beslenmeyle mücadeleye yardımcı olmak, üretim koşullarını ve çevresel sürdürülebilirliği iyileştirmek, gıdanın güvenli olmasını sağlamak için önemli çözümler sunmaktadır. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım rgt (FAO), ye Devletlerin bu teknolojileri güvenli ve uygun şekilde kullanmasına yardımcı olmak için ortaklaşa çalışmaktadır. IAEA, tarımsal üretkenliği sürdürülebilir bir şekilde artırmak, tarım ve gıda güvenliği sistemlerinin iklim değişikliğine uyumunu ve dayanıklılıklarını sağlamak, ve ulusal ve yerel özellikleri ve öncelikleri dikkate alarak tarımda sera gazı emisyonlarını azaltmak için nükleer ve ilgili teknikleri uygulamalarında ye ülkelere yardımcı olmaktadır. şekil 11'de nükleer tesis yakındaki tarımsal alan görüntüsü grlmektedir.



şekil 11. Nükleer tesis yakınındaki tarımsal alan görüntüsü (<http://nukleerakademi.org/>)

Işınlama, iyileştirilmiş ürün kalitesi sergileyen, daha yüksek verim ve verim kararlılığına sahip, iklim değişikliğine karşı daha dayanıklı ve çevresel streslere toleranslı çeşitler üretmek amacıyla bitkilerde mutasyonları indüklemek için kullanılabilir. Tarım ürünlerine böcekler tarafından verilen zararın giderilmesinde radyoizotoplar kullanılmaktadır. Bu amaçla erkek böcekler, nükleer reaktörlerde üretilen radyoaktif Kobalt-60 çekirdeğinden yayılan ışınım yardımıyla kısırlaştırılıp tarım alanlarına salınmaktadır. Kısırlaştırılmış böceklerle dişi böceklerin çiftleşmesi sonucunda, yumurtalardan böcek çıkmamaktadır. Bu işlemin sürekli tekrar edilmesi sonucunda zararlı böceklerin sayısı azaltılabilmektedir (Şekil 12).



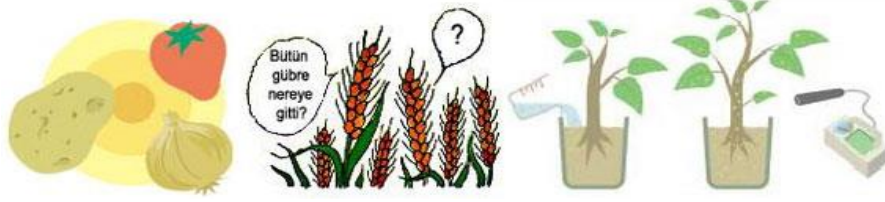
Şekil 12. Tarımsal alanlardaki böcekler (<http://www.nukleer.web.tr/>)

Nükleer teknoloji, farklı genetik yapıya sahip ve hastalıklara karşı dayanıklı hayvan nesilleri ve bitkilerin geliştirilmesinde de kullanılmaktadır. Örneğin, çekirdekleri radyasyona maruz bırakılarak, sarımsak, buğday, muz, fasulye, biber gibi bitkilerin çabuk olgunlaşan, hastalıklara karşı dayanıklı, sert hava şartlarına çok daha kolay uyum sağlayan türleri geliştirilebilmiştir (Şekil 13).



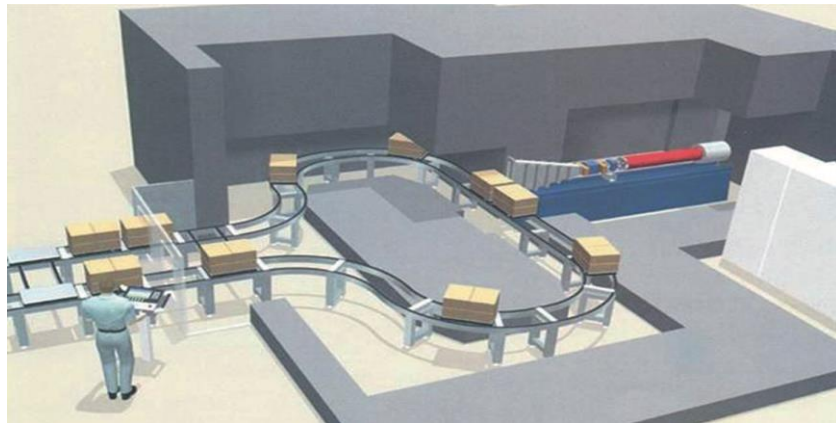
Şekil 13. Mutant bitkilerde yürütülen çalışmalar (<https://nuken.tenmak.gov.tr/>)

Gübrelerin bilinçsiz kullanımı doğaya ve çevreye büyük zararlar verebilmektedir. Az miktarda radyoaktif Azot-15 ve Fosfor-32 kullanılarak hazırlanmış suni gübrelerin, kullanıldıktan sonra hangi bitkilere gittiği, bitkinin hangi bölgesinde toplandığı kolaylıkla izlenebilmektedir (Şekil 14). Böylece gübrelerin etkin kullanımı için yöntemler geliştirilmektedir. Ayrıca nükleer teknoloji yardımıyla tohumların uzun süre saklanması mümkün olabilmektedir.

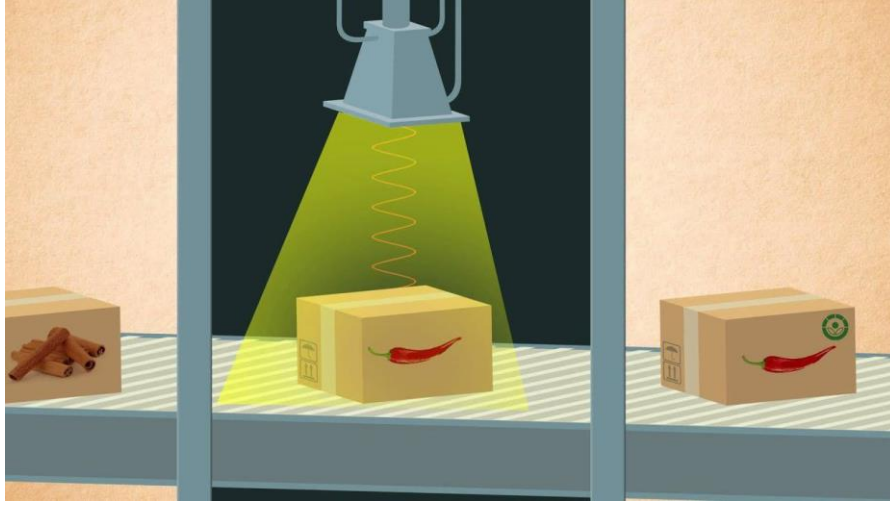


Şekil 14. Tarımda gübrenin etkin kullanımının izlenmesi (<http://www.nukleer.web.tr/>)

Gıdaların daha uzun süre dayanmalarını sağlamak amacıyla, Kobalt-60 izotopu kullanılarak, baharat, meyve, sebze, et gibi yiyeceklerdeki bakteriler, böcekler, kurtlar öldürülerek mikroorganizmalardan arındırılması sağlanmaktadır (Şekil 15). Böylece, bu gıda maddelerinin raf ömürleri uzatılabilmektedir. Yapılan araştırmalara göre, her sene gıda maddelerinin %30'a yakın bölümünün mikroorganizmalar nedeniyle bozulduğu ve kullanılamaz hale geldiği belirlenmiştir.



Şekil 15. Bir X-ışınları tesisinin genel görünüşü (<https://services.tubitak.gov.tr/>)



Şekil 17. Gıda ışınlama işlemi (<https://evrimagaci.org/>)

Uluslararası standartlara ve Gıda Işınlama Yönetmeliğine göre, ışınlama işlemi uygulanmış gıdaların etiketinde “ışınlanmıştır” veya “ışınlama işlemi uygulanmıştır” ifadesinin yanı sıra uluslararası “radura” sembolünün kullanılması da zorunludur. Eğer ışınlanmış ürün, bir gıdada bileşen olarak yer alıyorsa, bileşen listesinde “ışınlanmıştır” veya “ışınlama işlemi uygulanmıştır” ifadesi yer almalıdır (Şekil 18).



Şekil 18. Uluslararası RADURA sembolü ve gıda paketinde kullanımı (<https://services.tubitak.gov.tr/>)

3.2.5. Çevre Uygulamaları

İçinde yaşadığımız çevrenin korunması ve iyileştirilmesi bir mecburiyettir. Çevre sağlığını etkileme potansiyeline sahip küçük değişikliklerin sonuçları çok büyük olabilmektedir. IAEA, nükleer ve izotopik araçları kullanarak modern çevre sorunlarını ele almakta ve gelecekteki senaryolara uyum sağlamak için gerekli bilgileri sunmaktadır. İklim değişikliği, gezegeni ve insanlığı etkileyen en büyük çevresel sorunlardan biridir (Şekil 19). IAEA, ülkelerin okyanus ve ekosistemlerdeki emisyonları ve çevresel değişiklikleri izlemek, enerji üretimi ve arazi kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyon kaynaklarını azaltmak ve gıda ve su kıtlığı ve ekosistem kayıpları dahil olmak üzere, yeni iklim gerçeklerine uyum sağlamak için ülkelere, nükleer bilim ve teknolojiyi kullanmaları konusunda yardımcı olmaktadır.

2015 yılında Paris Anlaşması'nın kabul edilmesiyle, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin neredeyse tüm tarafları, sera gazı emisyonlarını kontrol etmek ve küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki artışı sınırlamak için ulusal olarak belirlenmiş katkılar hazırlamayı ve yüzyılın sonuna kadar küresel ortalama yüzey sıcaklığı artışını sanayi öncesi seviyelere göre 2°C'nin altında sınırlamayı kabul etmiştir.



Şekil 19. İklim değişikliğinin etkileri (<https://www.campaigntr.com>)

Bu amaca ulaşmak için, elektrik üretiminden kaynaklanan karbondioksit (CO₂) emisyonlarının bu yüzyılın ortasına kadar sıfıra düşürülmesi gerekmekte, ancak bir yandan da dünya genelinde enerji kullanım alanları artmaya ve elektriğe olan ihtiyaç büyümeye devam etmektedir (Şekil 20).



Şekil 20. Karbondioksit emisyonuna neden olan görüntü (<https://www.iaea.org/>)

IAEA 2020 yılı raporuna göre, nükleer enerji, dünya elektrik ihtiyacının yaklaşık yüzde 10'unu karşılamaktadır. Genişleyen yenilenebilir enerji kaynakları, yakıt olarak kömürün yerini doğal gazın almaya başlaması ve nükleer enerji üretimindeki artış, 2019'da küresel CO₂ emisyonlarının 33 gigaton seviyesinde dengelenmesine katkıda bulunmuştur. Emisyon açısından, nükleer enerji düşük karbonlu bir elektrik kaynağı olarak temiz bir enerji geleceğine geçişte kilit bir rol oynayası beklenmektedir. Bu nedenle, 2030 yılına kadar CO₂ emisyonunun en az %80 azaltılması yönündeki çabalar enerji sektöründe yoğunlaştırılabilir (Şekil 21).

The availability of clean electricity is critical for meeting the Paris Agreement objectives

Nuclear power can play a key role in meeting some of the climate pledges



At least
80%

of mitigation efforts required by 2030 in the energy sector could be concentrated in the power sector



Every third low carbon kWh is nuclear

Every third kWh generated worldwide is low carbon; The carbon footprint of electricity generation in 30 nuclear countries is 19% below the global average

19%

Şekil 21. Karbondioksit emisyonu planı (<https://www.iaea.org/>)

Yaşam için hayati öneme sahip içme suyu dünyanın birçok yerinde her zaman yetersiz olmuş ve diğerlerinde de giderek azalmaktadır. İzotop hidroloji teknikleri, yeraltı su kaynaklarının kapsamının doğru bir şekilde izlenmesini ve ölçülmesini sağlar. Bu tür teknikler, mevcut su kaynaklarının yönetimi ve korunmasında ve yeni kaynakların belirlenmesinde önemli analitik araçlar sağlar. Yeraltı suyunun kökeni, yaşı ve dağılımı ile yer altı ve yüzey suyu arasındaki bağlantılar ve akifer besleme sistemleri ile ilgili sorulara cevaplar oluşturabilir. Sonuçlar, bu su kaynaklarının planlanmasına ve sürdürülebilir yönetimine izin verir. Yüzey suları için baraj ve sulama kanallarındaki sızıntılar, göl ve rezervuarların dinamikleri, akış hızları, nehir deşarjları ve sedimentasyon hızları hakkında bilgi verebilirler. Nötron problemleri, özellikle sulama açısından, tuzluluktan etkilenen arazinin daha iyi yönetilmesini sağlayarak toprak nemini çok doğru bir şekilde ölçebilir.

Radyoizotoplar, kirleticilerin tespiti, izlenmesi ve analiz edilmesinde de önemli rol oynamaktadır. Kirleticilerin kaynaklandığı yerlerde kirleticiye bir miktar radyoaktif madde bağlanarak, bunların aldıkları yol ve gittikleri yerler kolayca izlenebilmektedir. Bu radyoaktif maddeler kısa bir zaman sonra kararlı hale geldiklerinden, doğaya bir zararları da bulunmamaktadır. Bu yöntemler kullanılarak atmosferin kükürt dioksit gazı ile nasıl kirlendiği,

denizlerin kanalizasyon suyu ile nasıl kirlendiği ve petrol sızıntıları dahil olmak üzere bir dizi kirlilik sorunu tespit edilmekte ve bu sorunlara dair çözümler üretilmektedir.

3.2.6. Güvenlik Uygulamaları

Terör eylemlerinin azaltılması amacıyla denetime tabi olan maddeler arasında patlayıcılar, uyuşturucu maddeler, kimyasal silahlar, tehlikeli kimyasallar ve radyoaktif maddeler yer almaktadır. Buna insan ticareti de eklenebilir. Nükleer terörizm riski, yalnızca nükleer cihazların yapımında ve/veya kullanımı açısından değil, aynı zamanda büyük kentsel alanların olası radyoaktif kirlenmesi açısından da önemsenmelidir.

Modern denetim sistemlerinde nükleer analitik teknikler kullanılarak personel, paket, araç ve kargoların görüntülenmesi ve denetimleri yapılmaktadır. Denetim sistemleri, yükün yüksek çözünürlüklü bir radyografisini üretmek üzere, radyoaktif kaynaklardan (^{137}Cs ve ^{60}Co , 600 ila 1300 keV enerjili) yayımlanan gama ışınlarını veya 300 keV veya daha yüksek enerjili X-ışınlarını kullanmaktadır. CT Tomografik Bagaj Tarama cihazı (Şekil 22), Türkiye'de ilk kez İstanbul Havalimanı'nda kullanılmaya başlandı ve tipik bir bagaj tarama görüntüsü Şekil 23'te görülmektedir.



Şekil 22. CT Tomografik Bagaj Tarama cihazı (<https://www.aa.com.tr/>)



Şekil 23. Bagaj Tarama görüntüsü (turkish.bodymetaldetectors.com/)

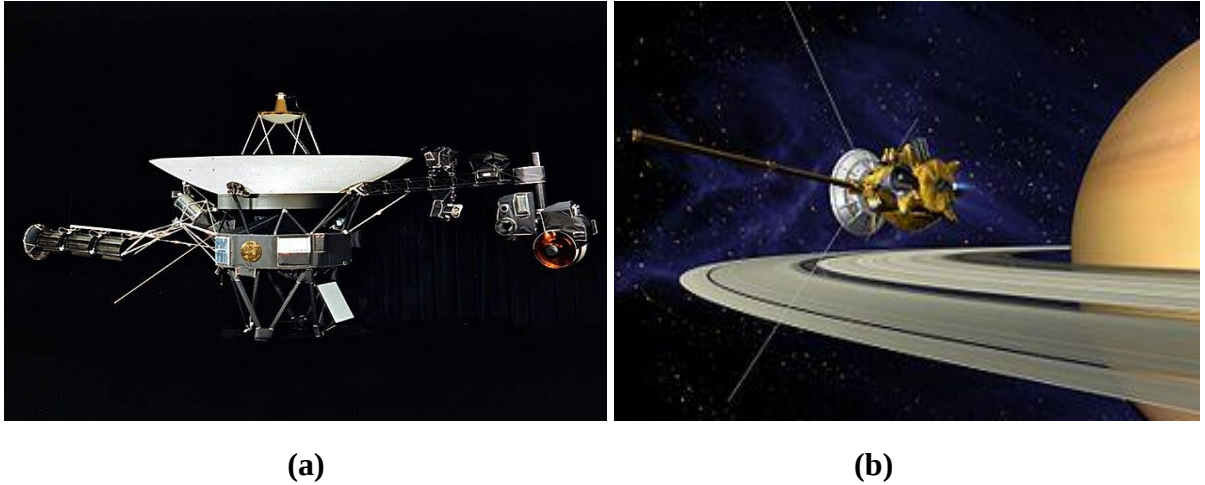
Patlayıcı, uyuşturucu, kimyasal vb. gibi malzemelerin denetimi, element konsantrasyonlarını ölçme yöntemiyle yapılabilmektedir. Nötron tarama teknolojisi olarak bilinen bu yöntem, geleneksel denetim sistemlerine göre avantajlara sahiptir. Malzemeye özel olarak, limanlar, sınır geçiş istasyonları, havaalanları, kent içi ulaşım ağının olduğu yerlerde ve silahlı kuvvetlerin altyapısının korunmasında terör tehditlerinin otomatik olarak tespit edilmesi son derece önemli bir güvenlik uygulamasıdır.

3.2.7. Bilimsel Çalışmalardaki Uygulamalar

Uzaya gönderilen insansız uzay araçlarına enerji sağlamak amacıyla nükleer teknolojiden sıkça faydalanılmaktadır. Bu amaçla, 2 farklı nükleer enerji kaynağı geliştirilmiştir. Bunlardan ilki radyoizotop termo-elektrik üretici (RTG) olarak adlandırılan yöntemdir. Bu yöntemde Plütonyum-238 radyoaktif çekirdeğinden faydalanılmaktadır. Plütonyum-238 çekirdeklerinin bozunması sonucu ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Bu ısı RTG sistemi yardımıyla elektriğe dönüştürülerek, uzay araçlarının elektronik araçlarının çalışması sağlanabilmektedir. Uzay gemilerine elektrik sağlamanın diğer bir yöntemi de küçük nükleer reaktörlerdir. Eski adıyla

Sovyetler Birliği tarafından yaygın olarak kullanılan bu küçük uzay reaktörlerine TOPAZ ve ROMASKA adları verilmiştir.

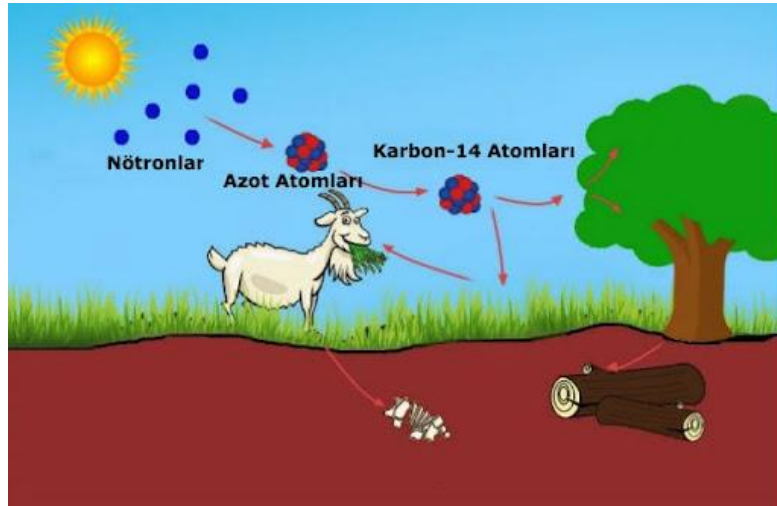
Nükleer teknoloji Voyager gibi birçok uzay aracının güneş sisteminin çok uzak bölgelerine gitmesini ve oradan bize çok değerli bilgiler göndermesini sağlamıştır. 1977 yılında uzaya gönderilen iki adet **Voyager** uzay aracı (Şekil 24a), 1989 yılında güneş sistemini terk etmiş ve bu araçlar, nükleer enerji sayesinde, halen veri toplamaya ve dünyaya ölçüm sonuçlarını göndermeye devam etmektedirler. 1997 yılında fırlatılan **Cassini** uzay aracı da Satürn ve Jüpiter gezegenleri hakkında bilgi sağlamış ve 2017 yılı itibariyle misyonunu tamamlamıştır (Şekil 24b).



Şekil 24. a) Voyager uzay aracı görüntüsü, b) Cassini uzay aracı görüntüsü
(<http://www.nukleer.web.tr/>)

Radyoaktif maddeler AIDS, kanser, Alzheimer gibi hastalıkların araştırılması ve DNA'nın yapısının belirlenmesi de dahil genetik araştırmaların yapılması sırasında sıklıkla kullanılmaktadır.

Nükleer teknoloji yardımıyla çok eski devirlerde yaşayan canlıların ne kadar zaman önce yaşadıklarını belirlemek mümkün olmaktadır. Bu yöntemde Karbon-14 radyoaktif çekirdeği kullanılmaktadır. Canlıların vücutlarında çok miktarda Karbon atomu bulunmaktadır ve yiyecek ve içeceklerle beraber her gün bol miktarda Karbon atomu vücuda alınmaktadır. Karbon-14 izotopunun diğer Karbon çekirdeklerine oranı sabit ve bilinen bir değerdir ($1/10^{12}$). Herhangi bir canlı öldüğünde bu çekirdeğin alımı durmakta, canlının kalıntılarındaki Karbon-14 sürekli bozularak azalmaktadır (Şekil 25). Böylece, yıllar önce ölmüş bir dinazorun kemiklerindeki Karbon-14 oranına bakarak kaç yıl önce yaşadığını belirlemek mümkün olmaktadır.



Şekil 25. Canlı ve cansız örneklerdeki karbon içeriği (<http://www.olaganustukanitlar.com/>)

Tarihi eserlerin, kayaların, taşların yaşlarının tayin edilmesinde, dünyanın yaşının belirlenmesinde de nükleer teknolojiye faydalanılmaktadır. Bu gibi çalışmalar yer bilimciler (jeologlar), kazı bilimcileri (arkeologlar) ve insan bilimciler (antropologlar) için büyük önem taşımaktadır. Radyoaktif çekirdekler kullanılarak kuramsal olarak öne sürülen bazı bilimsel varsayımların sınanması sağlanabilmektedir. Örneğin, dinazorların nesillerinin dünyaya çarpan bir gök taşı nedeniyle tükendiğinin araştırılmasında nükleer teknolojiye faydalanılmıştır.

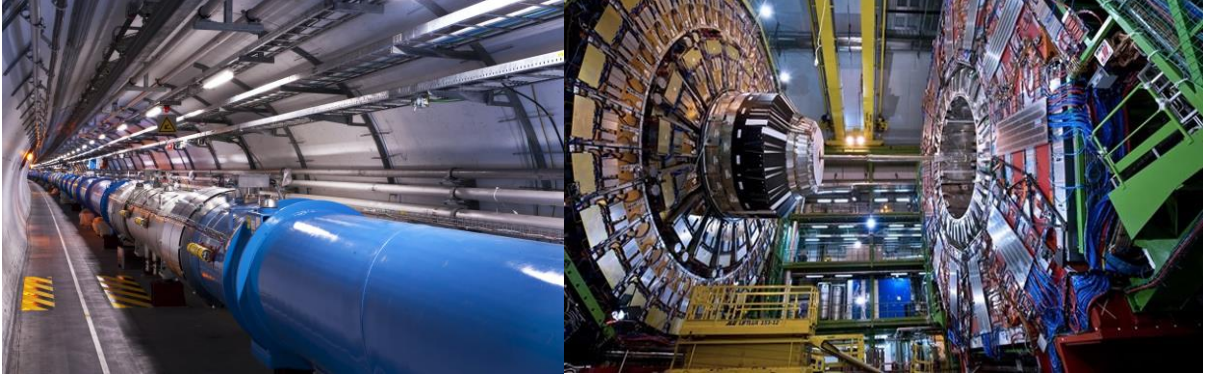
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde (MAM) bulunan Karbon yaş tayini sisteminin görüntüsü (Şekil 26).



Şekil 26. Karbon yaş tayini sistemi (<https://mam.tubitak.gov.tr/>)

Parçacık hızlandırıcıları elektron, proton, pozitron, antiproton, müon v.b. yüklü temel parçacık demetlerini istenen kalitede ve hedeflenen enerjilere hızlandıran donanımlardır (Şekil 27). Parçacık hızlandırıcıları doğrusal (linak) ve dairesel olarak iki kategoriye ayrılırlar. Dairesel hızlandırıcıların mikrottron, betatron, siklotron ve sinkrotron olarak bilinen tipleri mevcuttur. Hızlandırılmış parçacık demetleri çarpışan demet veya sabit hedef deneylerinde kullanılmakta ve çarpışmalar sonucu parçacık detektörleri aracılığı ile toplanan veriler deneysel sonuçlara ulaşmak için analiz edilmektedir.

Parçacık hızlandırıcılarının kullanıma alanları çok geniş bir yelpaze oluşturmaktadır. Başta temel parçacık fiziği ve nükleer fizik deneyleri olmak üzere, malzeme fiziğinden yüzey fiziğine, X-ışınlarından nötron terapisine, proton terapısından iyon implantasyonuna kadar çok çeşitli araştırma alanlarında, petrol ve gaz yataklarının aranmasında, çevre atıklarının etkisiz hale getirilmesinde, baca gazlarının temizlenmesinde, izotop üretimi, ağır iyon füzyonları ve



Şekil 27. Avrupa Nükleer Araştırma merkezinden (CERN) görüntü (<https://info-ttp.web.cern.ch/>)

plazma ısıtılması, nükleer atıkların temizlenmesi ve toryuma dayalı nükleer santrallerde, anjiyografi ve mikrospektroskopide, arkeolojik çalışmalarda, litografide, DNA yapısı hakkındaki çalışmalarda, biyoteknolojide, nanoteknolojide, minerolojide, savunma sanayi alanları gibi kullanım alanı mevcuttur.

Kaynaklar

Ankara Üniversitesi Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü (<http://hte.ankara.edu.tr/parcacik-hizlandiricilari-2/>)

Aydın, A ve ark. (2018). Nükleer Fizik İlkeler ve Uygulamalar, NOBEL Akademik Yayıncılık.

Aydın, A ve ark. (2015). NÜKLEER ENERJİ Nükleer Süreç Kavramlarına, Sistemlerine ve Uygulamalarına Giriş, NOBEL Akademik Yayıncılık.

IAEA (International Atomic Energy Agency), 2021. Nuclear Power Reactors in the World. Reference Data Series No. 2, Vienna.

International Atomic Energy Agency (<https://www.iaea.org>)

[Joseph A. Angelo Jr.](#) Nuclear Technology, Pentagon Press, 2004.

MEB (Milli Eğitim Bakanlığı), 2011. Röntgen Cihazları 725TTT062, Ankara.

TENMAK (TÜRKİYE ENERJİ, NÜKLEER VE MADEN ARASTIRMA KURUMU)
(<https://www.tenmak.gov.tr>)

World Nuclear Association (<https://world-nuclear.org>)

4.BÖLÜM

TAHRİBATSIZ MUAYENE METODLARI

Doç. Dr. Şinasi EKİNCİ

TENMAK- NÜKEN

Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu

NÜKEN Endüstriyel Uygulamalar Grup Başkanlığı Birimi, Cankaya, Ankara

4.1. GİRİŞ

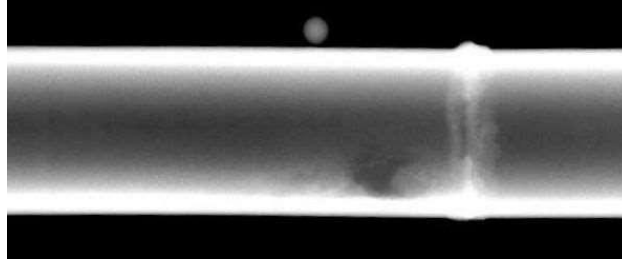
Tahribatsız Muayene (TM); bir malzemenin veya bileşenin güvenilirliğini tespit etmek amacıyla, ona zarar vermeden veya kullanımını etkilemeden uygulanan test tekniğidir. Tahribatsız muayene yöntemleri üretim işleminin her aşamasında, işletim sırasında, periyodik bakımlarda ya da yeni ürün geliştirme aşamalarında kalite kontrol aracı olarak kullanılırlar.



Şekil 1. Tahribatsız Muayene (TM)



Şekil 2. Tahribatsız Muayene (TM)



Şekil 3. Tahribatsız Muayene (TM)

4.1.1. TM Yöntemleri

TM Yöntemleri şu şekilde gruplandırılır:

- Görsel Muayene (VT)
- Radyografi (RT)
- Ultrasonik (UT)
- Sıvı Penetrant (PT)
- Manyetik Parçacık (MT)
- Girdap Akımları (ET)
- Akustik Emisyon (AT)
- Kızılötesi (TT)
- Sızdırmazlık (LT)
- Gerinim ölçme (ST)



Şekil 4. Tahribatsız Muayene (TM) Yöntemleri.



Şekil 5. Tahribatsız Muayene (TM) Yöntemleri.



Şekil 6. Tahribatsız Muayene (TM) Yöntemleri.

4.1.2. TM Metodlarının Özellikleri

TM Metodlarının özelliklerini şu şekilde gruplandırabiliriz:

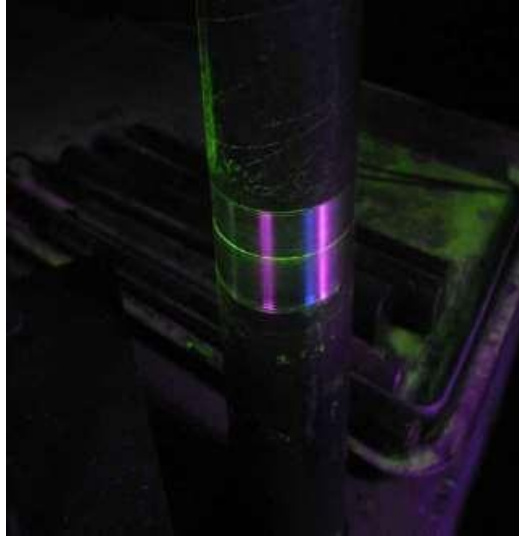
- ✓ Tahribatsızdırlar
- ✓ Hızlı ve hassastırlar
- ✓ Genelde anında sonuç verirler
- ✓ Elde edilen tüm veriler bilgi işlem ünitelerinde korunabilirler.

Bir malzemede tespit edilebilecek süreksizlikleri (hataları) iki grupta sınıflandırabiliriz:

1. Dış süreksizlikler
2. İç kısımda bulunan (hacimsel) süreksizlikler.

Dış Süreksizlikler malzemenin dış yüzeyinde bulunur ve tespit edilmesinde aşağıdaki yöntemler etkindir:

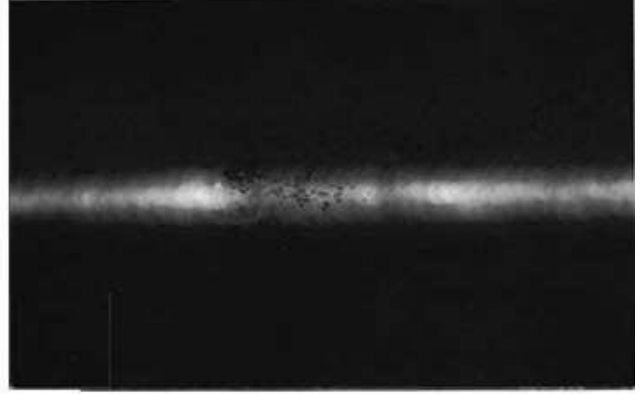
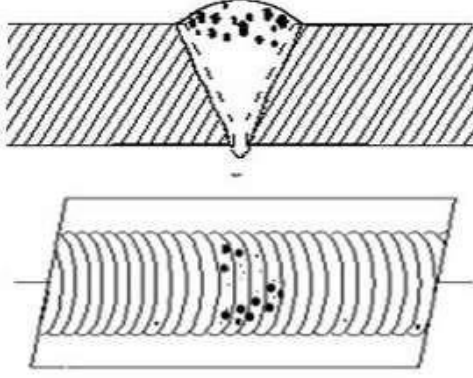
- Gözle Muayene
- Sıvı Penetrant
- Manyetik Parçacık



Şekil 7. Dış süreksizliklerin malzemenin dış yüzeyinde tespit edilmesi

İç Süreksizlikler malzemenin iç hacminde bulunur ve tespit edilmesinde aşağıdaki yöntemler etkindir:

- Radyografi
- Ultrasonik
- Girdap Akımları



Şekil 8. İç süreksizliklerin malzemenin iç hacminde tespit edilmesi

4.1.3. TM yöntemleri hangi amaçlarla kullanılır?

TM yöntemleri şu amaçlarla kullanılır:

- Ürün geliştirmenin desteklenmesi için
- Gelen (giren) malzemenin sınıflandırılması için
- Üretim prosesini izleme, iyileştirme ve kontrol
- Isıl işlem vb. proseslerin doğrulanması için
- Kurulum ve montajın uygunluğunu onaylamak için
- Kullanım (servis) hatalarının kontrolü için kullanılır.

4.1.4. TM Yöntemlerinin kullanım alanları

TM Yöntemlerinin kullanım alanları özetle şu şekildedir:

- Süreksizlik tespiti ve değerlendirmesi
- Kaçak tespiti
- Konumlandırma

- Boyutsal ölçümler
- Yapı ve mikroyapı karakterizasyonu
- Mekanik ve fiziksel özelliklerin tespiti
- Yorulma tespiti
- Elektrik iletkenliği ölçümü
- Malzeme sınıflandırma

4.2. GÖRSEL MUAYENE (VISUAL TESTING, VT)

Görsel muayene diğer TM yöntemlerinden önce uygulanması gereken bir yöntemdir. Doğrudan gözle ve/veya yardımcı araçlarla (ayna, büyüteç, ışık kaynağı, boroskop, endoskop, kaynak mastarı, vb) uygulanır. Genel olarak yüzey süreksizliklerinin, birleşim yerlerinin, form hatalarının ve kaçak noktalarının kontrolünde kullanılır.



Şekil 9. Görsel muayene yöntemleri



Şekil 10. Görsel muayene yöntemleri

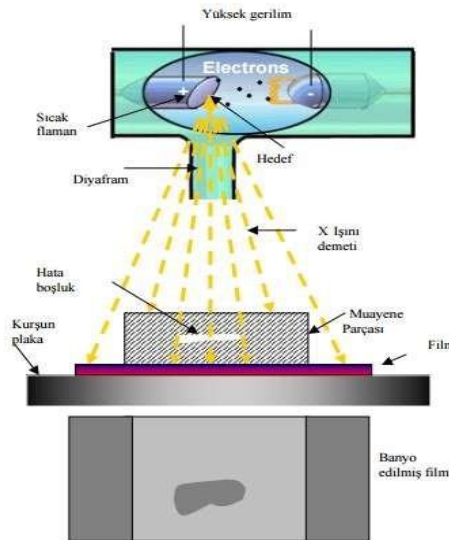
Göze muayenenin en büyük özelliği; öncelikli olmasıdır. Yani; bir malzeme tahribatsız muayeneye tabi tutulduğunda, ilk önce göze muayene yapılır, ve daha sonra hangi TM yönteminin kullanılacağına karar verilir.



Şekil 11. Görsel muayene yöntemleri

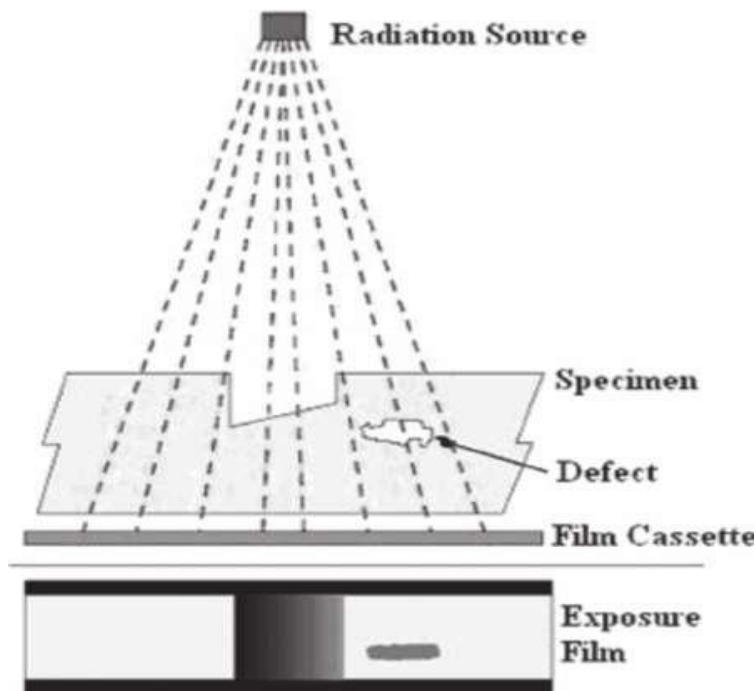
4.3. RADYOGRAFİK MUAYENE, RADIOGRAPHIC TESTING, RT)

Radyografik muayene, nüfuz edici radyasyonlar (X-ışınları, gama-ışınları, nötronlar, vb.) kullanılarak malzemelerdeki süreksizliklerin görüntülenmesidir. Metal, seramik, plastik, vb. her tür malzemenin muayenesinde uygulanır.

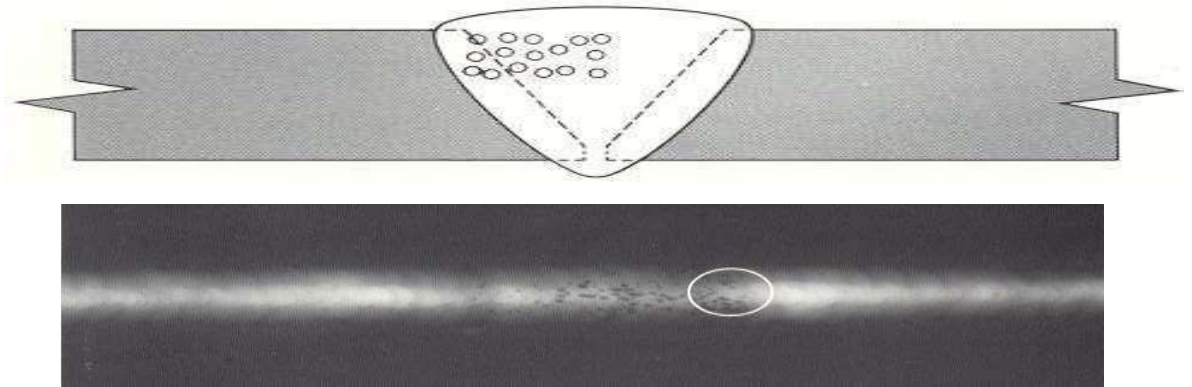


Şekil 12. Radyografik muayene yöntemleri

Muayene parçası bir kaynaktan çıkan radyasyon demeti ile ışınlanır. Radyasyon malzeme içinden geçerken malzemenin özelliğine bağlı olarak belli oranda yutularak kayıba uğrar ve sonra parçanın arka yüzeyine yerleştirilmiş olan filme ulaşarak filmi etkiler. Süreksizlikler radyasyonu farklı zayıflatacaklarından, süreksizliklerin olduğu bölgelerden geçen radyasyonun şiddeti ve film üzerinde oluşturacağı kararma da farklı olacaktır. Filmin banyo işleminden sonra film üzerindeki kararmalar süreksizliklerin belirtisi olarak görünür hale gelir.



şekil 13. Radyografik muayene yöntemleri



şekil 14. Kaynak dikişinde gaz boşlukları ve radyografik grntş

4.3.1. Radyografik Muayene Örnekleri



Şekil 15. RT Uygulama Örnekleri



Şekil 16. Doğal gaz boru hattında Co- 60 ile radyografik muayene



Şekil 17. Bir arkeolojik objenin X-ışını ile radyografik kontrolü

4.4. ULTRASONİK MUAYENE (ULTRASONIC TESTING, UT)

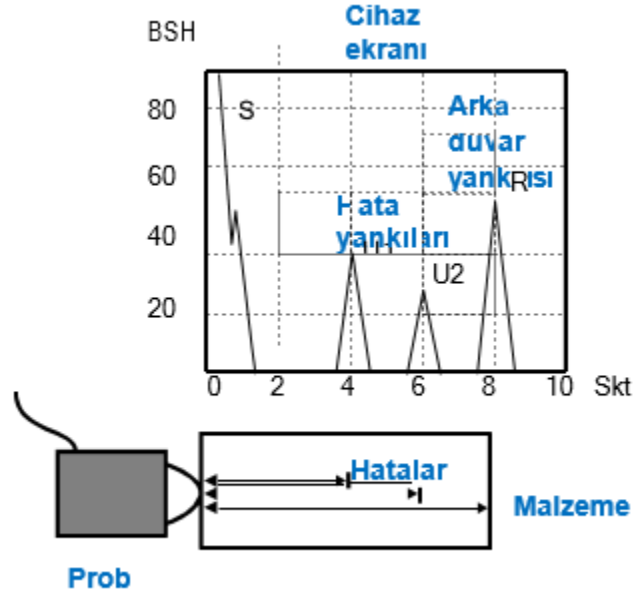
Yüksek frekanslı ses dalgalarıyla yapılan muayene yöntemi olup, bir ultrasonik prob aracılığıyla malzeme ortamına gönderilen ses dalgalarının süreksizliklerden yansıtılarak tekrar prob tarafından algılanması prensibine dayanır. Metaller başta olmak üzere hemen hemen her tür malzemenin muayenesine uygulanır. Ultrasonik dalgalar piezoelektrik olay ile üretilir. Ultrasonik dalgalarda, ses frekansı çok önemlidir. Ses frekansı, frekans dizinine göre, ses ve ultrases şeklinde kategorize edilir.

Ses ve Ultrases:

Ses: 10 Hz-20 kHz

Ultrases: >20 kHz

Ultrasonik Muayene: 0,5MHz-10MHz arası



Şekil 18. Ultrasonik muayene yöntemi

Ultrasonik dalgalar aşağıdaki amaçlarla kullanılır:

- Malzemelerde yüzeyde ve iç hacimde bulunan hataların tespiti (ultrasonik muayene)
- Malzeme özelliklerinin belirlenmesi (elastisite, yoğunluk, alaşım oranı, tane boyutu, porozite hacmi, sertlik, vb.)
- Malzemelerde ısıtım işlem kontrolü (stres kontrolü)
- Ultrasonik kaynak
- Proses kontrol (akış hızı, tanklarda sıvı seviyesi)
- Denizcilikte (balıkçılıkta, deniz derinliğinin ölçülmesinde)
- Mikroskopi (SLAM, mikro yapı incelemesi)
- Ultrasonik temizleme
- Tıbbi uygulamalar (organ görüntüleme, böbrek taşı kırma, vb.)



Şekil 19. Konvansiyonel ultrasonik (A-tarama)



Şekil 20. TOFD Ultrasonik



Şekil 21. Phased Array Ultrasonik

4.5. PENETRANT MUAYENE (PENETRANT TESTING, PT)

Yüzey hatalarının tespiti için kullanılan bir muayene yöntemi olup, tespit edilmek istenilen hataların muayene işlemi uygulanan yüzeye açık olması gerekir, bu nedenle yüzey altında kalan veya herhangi bir nedenle yüzeye bağlantısı kesilmiş bulunan hatalar bu yöntemle tespit edilemez.

Yöntemin prensibi, giriciliği yüksek bir boyanın (penetrant boya) muayene edilecek malzeme yüzeyine uygulanmasına, boyanın yüzey süreksizliğinin içine girmesine ve daha sonra fazla boyanın temizlenip, hata içinde kalan boyanın emici bir madde (developer) ile geri çekilmesine dayanır. Emici madde ile yüzeye çekilen boya belirtisi kontrast farkından dolayı hata görüntüsü olarak ortaya çıkar.

Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde aşırı gözenekli olmamaları koşulu ile beklenen yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir.

Penetrant işlemi şu adımlardan oluşur:

1. Ön temizlik
2. Penetrant sıvısının yüzeye püskürtülmesi
3. Belli bir süre bekleme
4. Aşırı penetrantın temizlenmesi
5. Developer uygulanması
6. İnceleme (gözle veya flüoresan ışık altında)



Şekil 22. Penetrant işlemi adımları

Sıvı Penetrant Testiyle, yüzeye açık olması koşuluyla tespit edilen en yaygın hatalar şunlardır; Üretim ve Çalışma Şartları Sonucunda Yüzeyde Oluşan,

- Çatlaklar,
- Katmerlenme (Aşırı Haddeleme)
- Gözenek (Gaz Boşluğu)
- Metalik Olmayan Kalıntılar
- Katlanma

- Kaynakta Kaynama Hataları



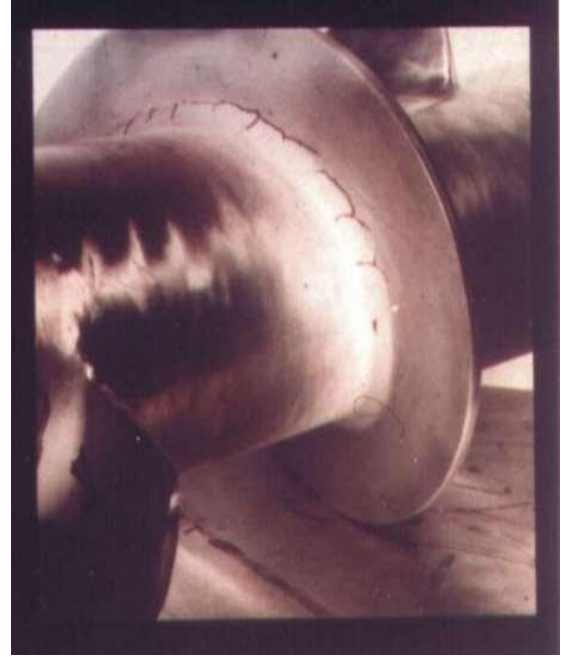
Malzeme ve
yüzey hataları



Kısa süre
sonra oluşan
belirtiler



Uzun süre
sonra oluşan
belirtiler



Şekil 23. Sıvı Penetrant Testi

4.5.1. Penetrant Muayene Örnekleri

Penetrant Muayene Örnekleri aşağıdaki gibidir:



(a)



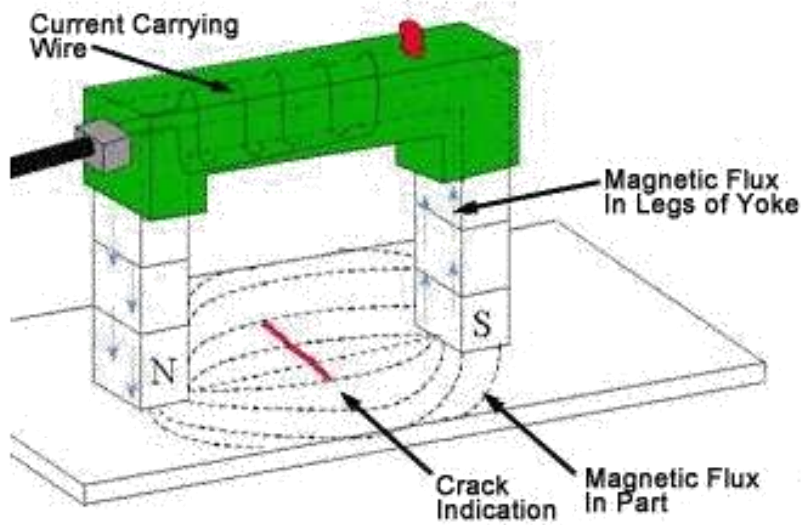
(b)

Şekil 24. Penetrant Muayene Örnekleri

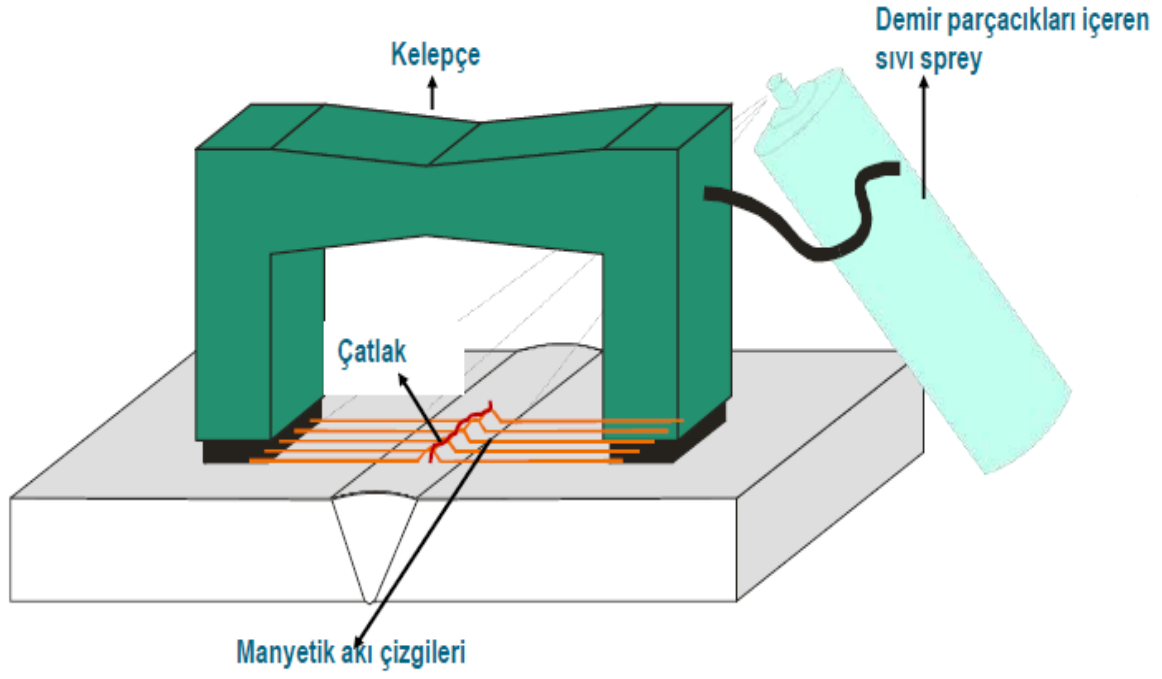
4.6. MANYETİK PARÇACIK MUAYENESİ (MAGNETIC PARTICLE TESTING, MT)

Manyetik Parçacık Muayenesi, ferromanyetik malzemelerdeki yüzey ve yüzeye yakın yüzey altı hatalarının belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Prensibi, malzemedan doğrudan manyetik akı veya elektrik akımı geçirilerek malzemenin manyetize edilmesi ve süreksizlikler üzerinde bir akı kaçağı oluşturulmasına dayanır.



Şekil 25. Manyetik Parçacık Muayenesi



Şekil 26. Manyetik Parçacık Muayenesi

Bir sıvı içinde bulunan manyetik tozlar (saf demir tozları) kaçak alan üzerinde toplanarak hatayı görünür hale getirirler.

4.6.1. Manyetik Parçacık Muayenesi Örnekler



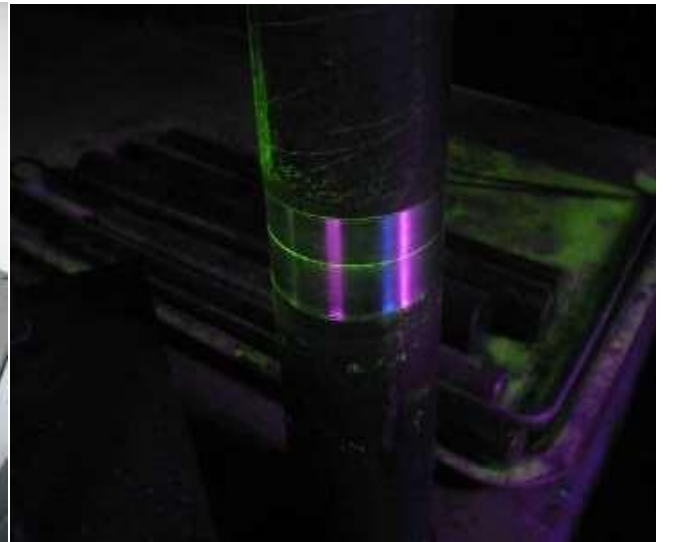
Şekil 27. Manyetik Parçacık Muayenesi Örneği



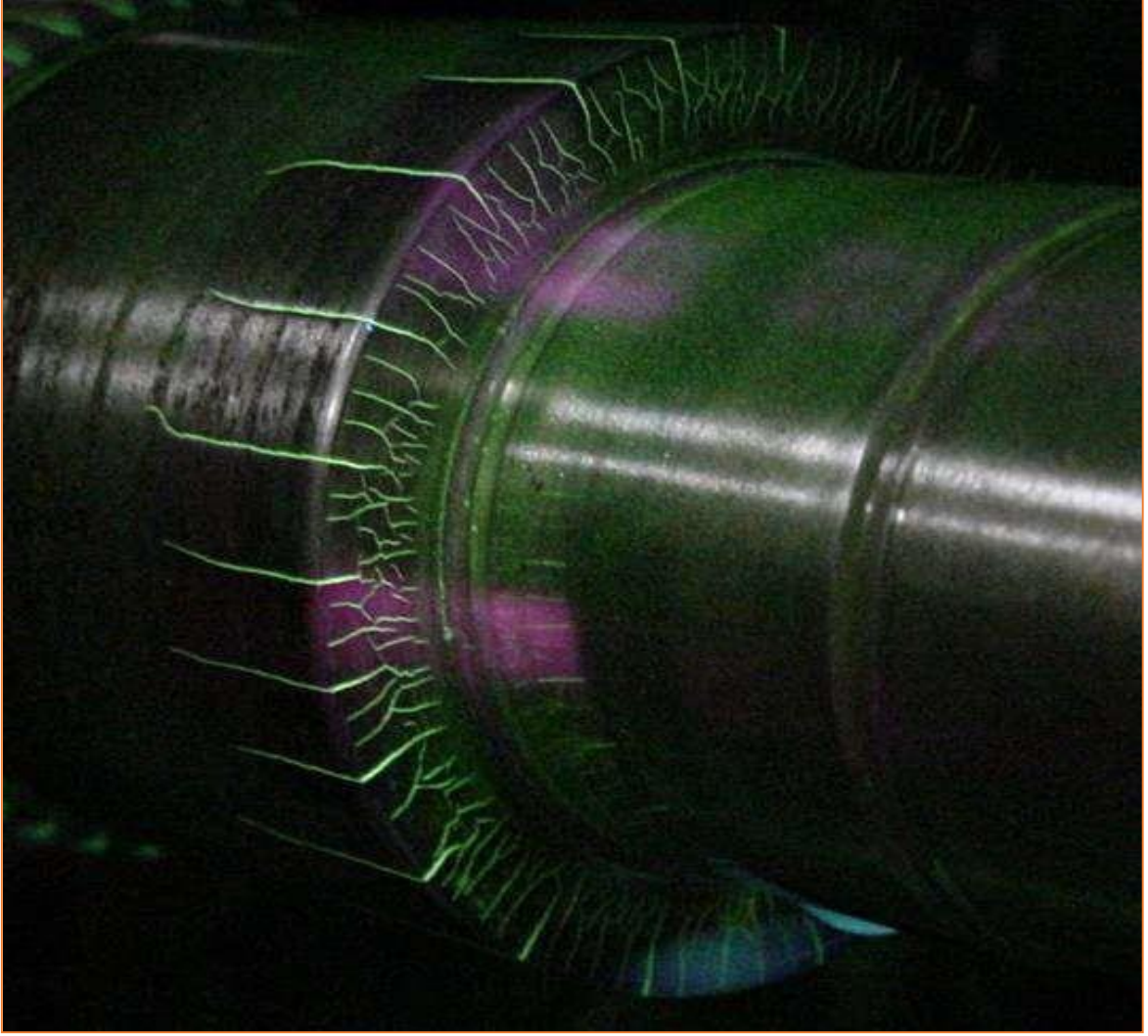
Şekil 28. Manyetik Parçacık Muayenesi Örneği



(a)



(b)



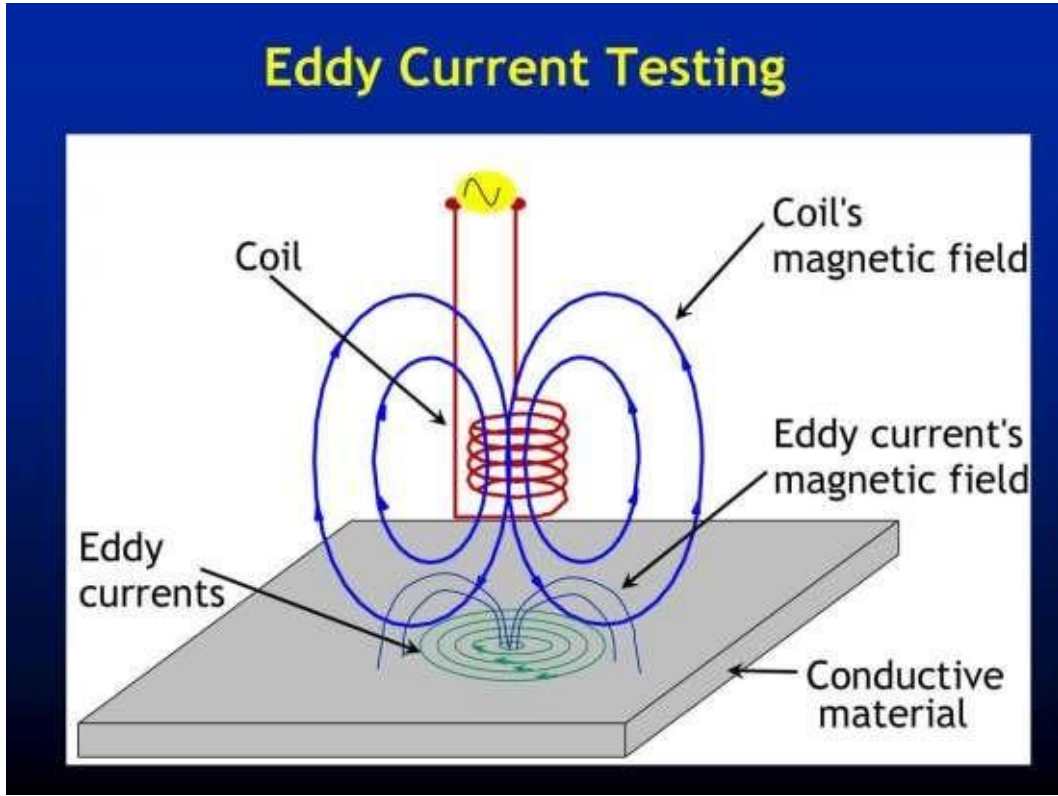
(c)

Şekil 29. Manyetik Parçacık Muayenesi Örneği

4.7. GİRDAP AKIMLARI MUAYENESİ (EDDY CURRENT TESTING, PT)

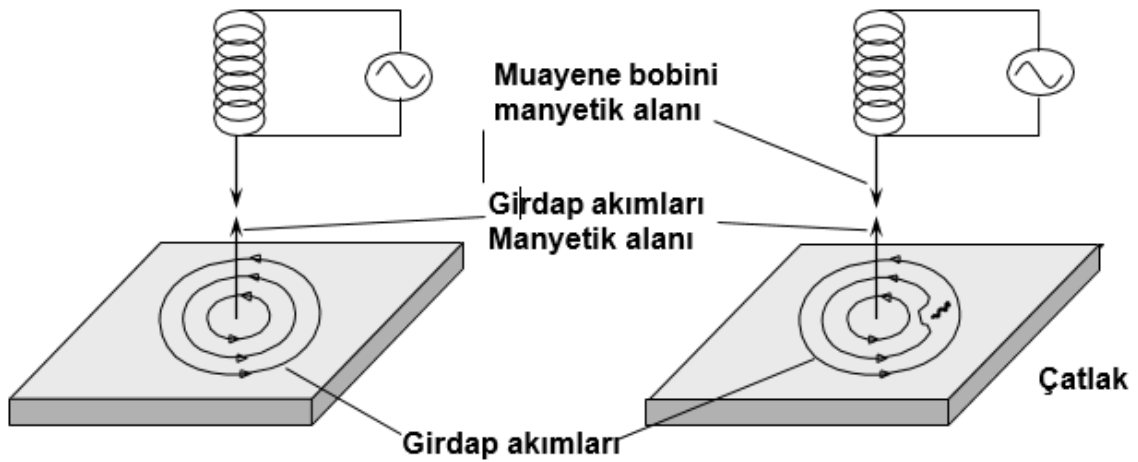
Girdap Akımı Muayenesi, iletken bir malzemeye bir bobinde oluşturulan manyetik alanın uygulanmasıyla girdap akımlarının endüklenmesine ve girdap akımlarının oluşturduğu manyetik alanın bobin tarafından tekrar algılanmasına dayanır.

Girdap akımları yöntemi yüzey ve yüzeye yakın süreksizliklerin (hatalar) belirlenebilmesi için uygun bir yöntem olup, elektrik iletkenliğine sahip olan bütün metal ve alaşımlarına uygulanabilir.



Şekil 30. Girdap Akımı Muayenesi

Eğer malzeme yüzeyinde herhangi bir süreksizlik varsa, bu süreksizlikten dolayı girdap akımlarında değişim olur. Bu değişim girdap akımları cihazının göstergesinde hata belirtisi olarak görülür.



Şekil 31. Girdap Akımı Muayenesi



4.7.1. Girdap Akımları Yöntemi

Girdap akımları yöntemleri,

- Hata muayenesinde
- Malzemelerin sınıflandırılmasında
- İletkenlik ölçümünde
- Kaplama kalınlığı ölçümünde
- Sementasyon sertlik derinliği tespitinde kullanılır.

4.7.2. Girdap Akımları Muayenesi Örnekleri



Şekil 33. Girdap Akımı Muayenesi Örnekleri



Şekil 34. Girdap Akımı Muayenesi Örnekleri



Şekil 35. Girdap Akımı Muayenesi Örnekleri



Şekil 36. Girdap Akımı Muayenesi Örnekleri

5.BÖLÜM

PARÇACIK HIZLANDIRICILARININ MEDİKAL UYGULAMALARI

Prof. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN^{1, 2, 3}

¹Akdeniz Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkoloji Bölümü, Antalya, Türkiye

²Akdeniz Üniversitesi, Fizik Bölümü, Antalya, Türkiye

³Akdeniz Üniversitesi, Nükleer Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Antalya, Türkiye

Özet

Parçacık hızlandırıcılarının temel parçacık fiziği ve nükleer fizik deneyleri başta olmak üzere , proton terapisinden iyon implantasyonuna, malzeme fiziğinden yüzey fiziğine, x-ışınlarından nötron terapisine, petrol ve gaz yataklarının aranmasından çevre atıklarının etkisiz hale getirilmesine, gıda sterilizasyonundan izotop üretimine, nükleer atıkların temizlenmesinden toryuma dayalı nükleer santrallere, polimerizasyondan litografiye, anjiyografiden baca gazlarının temizlenmesine, mikrospektroskopiden güç mühendisliğine, arkeolojiden litografiye, proteinlerden DNA'ya, biyoteknolojiden nanoteknolojiye, kristalografiden minerolojiye, gen biliminden savunmaya, ağır iyon füzyonlarından plazma ısıtılmasına kadar yüzlerce kullanım alanı mevcuttur.

5.1. GİRİŞ

Parçacık hızlandırıcıları, yüklü parçacık demetlerinin oluşturulmasını ve belirli bir demet yapısı içinde elektrik alan kuvveti ile hızlandırılmasını ve magnetik alan kuvveti ile de yönlendirilmesini ve odaklanmasını sağlayan cihazlardır. Son zamanlarda gerçekleşen teknolojik ilerlemeler, parçacık hızlandırıcıların sağlık alanında kullanılmasına olanak sağlamıştır. Özellikle kanser tedavilerinde vazgeçilmez bir yöntem haline gelmiştir.

Radyasyonun teşhis, tedavi ve araştırma amaçlı olarak insan sağlığı alanında kullanılmayı ile ilgilenen, fen ve sağlık bilimlerinin ortak bir disiplini. Tarihsel gelişim açısından bakıldığında ise Sağlık Fiziği ve Parçacık Hızlandırıcılarının gelişimi paralel olmuştur.

5.1.1. Röntgen

1900'lü yılların başlarında çoğu araştırmacı gibi Röntgen (Şekil 1.a), katot ışın tüplerinde oluşan lüminesans olayını incelemekteydi. "Crookes tüpü" adı verilen içi boş bir cam tüpün içine yerleştirilen iki elektrottan (anot ve katot) oluşan bir deney düzeneği ile çalışıyordu. Daha sonraları bu ışınlar, "Röntgen ışınları" olarak anılmaya başlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1. (a) Wilhelm Röntgen'in (1845-1923) (b) Eşi Anna Bertha Ludwig'in sol elinin ilk röntgenlerinden birinin baskısı.

5.1.2. Bilgisayarlı Tomografi

Tomografi kelimesi Yunancadaki “tomos” (kesit) ve “grafia” (görüntü) kelimelerinin birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Bilgisayarlı Tomografi cihazı Amerikalı fizikçi Allan M. Cormak tarafından teorize edilmiş, ancak ilk prototip 1967-1971 yılları arasında İngiliz elektrik mühendisi **Sir** Godfrey Hounsfield tarafından üretilmiştir. 1972 yılında tanı alanına soktuğu ve X-ışınının keşfinden bu yana yapılmış en büyük ilerleme olarak kabul edilen bu yöntem iki bilim adamına da 1979 da Nobel ödülü kazandırmıştır.

Bilgisayarlı tomografi x-ışını kullanılarak vücudun incelenen bölgesinin kesitsel görüntüsünü (her üç düzlemde de) oluşturmaya yönelik bir görüntüleme yöntemidir. Bilgisayarlı tomografi görüntü ile normal röntgen filmlerinde görülmeyen yumuşak doku detayları görülebilmektedir. İnceleme sırasında hasta bilgisayarlı tomografi cihazının masasında hareket etmeksizin yatar. Röntgen tüpü hasta etrafında 360 derece dönerek hareket eder. Cihazın ana elemanları hasta etrafında 360 derece dönebilen bir röntgen tüpü ve karşısında sıralanmış bir dizi detektör dür. Detektörler vasıtasıyla vücuttan geçen x-ışınlarının bilgisayar hafızasına toplanır.

5.1.3. Radyoterapi

Radyoloji ve nükleer tıpın aksine, radyoterapide amaç görüntüleme değil tedavidir. Tedavide iyonize edici radyasyonlar kullanılır. İyonize edici radyasyonun hücre öldürme özelliğinden faydalanılarak kontrollü şekilde tümörlü hücrelerin öldürülmesi hedeflenir. Radyoterapide Amaç: Hedef volüme istenilen dozu verirken, kritik organların maksimum düzeyde korunmasıdır. Bu amacın sağlanabilmesi için radyolojik görüntülerden faydalanılır. Özellikle BT görüntüleri bu amaçla kullanılır. BT görüntüleri üzerinde tümör hacimleri işaretlenerek, ışınlanacak bölgeler önceden tespit edilir.

5.2.1. Görüntülemeden Radyoterapiye

Radyoterapi yapabilmek için öncelikle tümörün yerinin, radyoloji ve nükleer tıp yöntemleri ile kesin olarak tespit edilmesi gereklidir. Bu, tümöre yüksek doz verirken çevredeki sağlam doku ve kritik

organların korunması için çok önemlidir. Çünkü radyoterapide uygulanan radyasyon dozları radyoloji ve nükleer tıp uygulamalarına göre çok yüksektir. Peki nasıl yapılır radyoterapi;

Bunun için Mega-Volt (MeV) mertebesinde yüksek enerjili foton ışınlarına ihtiyaç vardır. Çünkü radyolojide ve nükleer tıpta kullanılan Kilo-Volt (KeV) mertebesindeki ışınların gücü tümöre yüksek dozlarda radyasyon vermemize imkan vermez.

- 1) Tümörün görüntülenmesi ve radyoterapi için tedavinin önceden bilgisayar ortamında simülasyonunun (tedavi planlaması) yapılması gereklidir. Burada ışınlanacak ve korunacak volümler işaretlenir.
- 2) Bu planın hasta üzerine aktarılması gerekir.
- 3) Tedavi süresinin hesaplanması gerekir.
- 4) Hastanın Co-60 ya da Medikal Lineer Hızlandırıcıda uygulanması son basamaktır.

5.2.2. Medikal Hızlandırıcılar

Radyoterapide kullanılan yüksek enerjili elektron (5-20 MeV) ve Yüksek Enerjili X-ışınları (6-18MV) Medikal Lineer Hızlandırıcılardan Elde Edilir. Medikal LİNAK lar, yaklaşık 1 metre uzunluğunda hızlandırıcı tüpleri olan 30m² hacimlere sığabilen cihazlardır. Hızlandırma tüpü yatay konumda yerleştirilmiştir ve eğici mıknatıslar yardımı ile ışınlar düşey düzleme döndürülür.

Termoiyonik emisyon (ısıtılma) yolu ile katot dan elde edilen elektron ışınları anot-katot arasına uygulanan yüksek voltaj yardımıyla hızlandırma tüpüne gönderilir. Medikal LINAC'ın elektron tabancasında üretilen 50 KeV enerjili elektronlar Magnetron yardımıyla RF yöntemi ile MeV mertebesine kadar hızlandırılmaktadırlar.

Medikal fizikte kullanılan bir başka proton Medikal Proton Hızlandırıcılarıdır. Protonların medikal alanda kullanılması Bragg pikinden dolayı oldukça verimlidir.

6.BÖLÜM
KÜLTÜREL MİRAS ARAŞTIRMALARINDA
NÜKLEER BİLİM VE TEKNOLOJİNİN KULLANIMI

Doç. Dr. Eren ŞAHİNER

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Beşevler/Ankara

Kültürel miras, her kültürün dolayısıyla tüm insanlığın geçmişten geleceğe devreden kültürel, sanatsal, bilimsel veya sistematik bilgisinin ya da sembolik materyallerinin tümü olarak tanımlanabilir. Bu miras evrensel değerlere sahip olup korunması, mevcut ve gelecek nesillere aktarılması toplumların temel hedeflerin başında gelmektedir. İnsan tarafından edinilen yetenek ve alışkanlıkları içeren kompleks oluşumları barındıran eserler çoğunlukla estetik veya bilimsel açıdan küresel çapta değeri olan ve doğal çevre güzelliği bulunan alanlar, önemli jeolojik oluşumlar, bilimsel açıdan kıymetli mimariye sahip tarihi yapılar ve anıtlar, orijinal sanat eserleri, insan ürünü ya da doğal bir şekilde oluşmuş arkeolojik ve antropolojik açıdan evrensel değere sahip sit alanları şeklindedir. Dünyada kültürel ve doğal mirasın korunması amacıyla milletler arası sözleşmeler ve anlaşmalar yapılmakta olup Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO), Uluslararası Mavi Kalkan Komitesi (Blue Shield International, ICBS) gibi uluslararası organizasyonlar kurulmuştur. Kültürel miras araştırmalarının öneminin, bu mirasın şimdiki ve gelecek nesiller adına sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gereken yenilenemez bir kaynak olduğu, turizm açısından Avrupa'nın ve Dünya'nın ekonomik rekabet gücünün anahtarı olduğu ve kültürel mirasın korunması ve restorasyonu ile uğraşan şirkete veya kurumlar için gün

geçtikçe artan endüstriyel bir pazar olduğu şeklindeki temel gerçeklerle gerekçelendirildiği IAEA raporlarında (IAEA Radiation Technology Series No. 2, 2011) vurgulanmaktadır.

Kültürel mirasın korunması ve muhafaza edilmesi için bilim ve teknolojik gelişmeler, araştırmalar geçmişten günümüze gelişerek devam etmektedir. Bu amaçla diğer araştırma alanların yanı sıra, bilimsel yöntemlerin kültürel miras araştırmalara önemli ölçüde katkıda bulunabileceği dört ana alan tanımlanmıştır. Bunlar, orijinalliğin doğrulanması (Verification of authenticity), yaş tayini/tarihlendirme (Dating), kaynak/köken tayini (Provenancing) ve koruma ve/veya restorasyon (Conservation and/or restoration) şeklindedir. Bu çalışmalarda nükleer bilim ve teknolojilerin kullanımı son derece kritik bir öneme sahiptir. Özellikle, nükleer teknolojinin barışçıl kullanımının en önde gelen destekçisi olarak Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency, IAEA), üye devletlerdeki laboratuvarlara, gelişmekte olan ekonomilerde sosyoekonomik kalkınma yararına kültürel miras araştırmaları için nükleer yöntemlerin uygulaması, araştırma ve geliştirme konularında çeşitli destekler sağlamakta ve raporlar yayınlamaktadır.

Nükleer bilim ve teknoloji kullanılarak, kültürel miras örneklerinin elementel veya mineralojik karakterizasyonu, orijinallik testi ve köken tayini, zararlı mantarların, bakterilerin, böceklerin, mikroorganizmalarının vb. ortadan kaldırılması ve dezenfektasyonu, radyasyonla sertleşen reçineler kullanarak bozulmuş örneklerin konsolidasyonu (radiation curing) ve radyometrik tarihlendirmesi yapılabilmektedir. Bu anlamda, radyasyonun kullanıldığı bu yöntemlerle ilgili güvenlik konularının ulusal/uluslararası düzenlemelere uyularak çalışılması gerektiğini belirtmek gerekir.

Sürdürülebilir kalkınmada nükleer teknolojinin kullanımı seminerleri kapsamında yapılan bu seminer sunumunda kültürel miras örneklerinin yukarıda bahsedilen konulardaki nükleer bilim ve teknolojinin kullanımıyla ilgili bazı güncel literatür uygulamaları ve pratik deneyimlerin özetleri, yöntemlerin bazı teknik detayları, sınırlamaları ile Ülkemiz ve Dünyadaki

laboratuvarlar hakkında önemli bilgiler verilmiştir. Ülkemizin kültürel mirasının korunması ve bu konuda taleplerinin karşılanması, nitelikli iş gücü, disiplinler arası ortak proje ve çalışmaların önemi konularına tartışmalar yapılarak konunun önemi hakkında katılımcılara farkındalık yaratılması sağlanmıştır. Ayrıca literatür referanslarıyla geniş bir bilgi yelpazesi sağlanarak, doğa bilimlerini ve beşerî bilimlerinin birlikte ele alındığı disiplinler arası araştırmacıları teşvik etmek için ilginç örnekler üzerindeki uygulamalardan bahsedilmiştir. Farklı araştırma sahalarında iş birliği yapılarak önemli yeni projelerin, mevcut kültürel miras algımıza katkıda bulunan süreçlere olan katkısı hakkında bilgiler sunulmuştur.

7.BÖLÜM

TÜRKİYE’DE KAPALI ORTAMLARDA RADON GAZI ÖLÇÜMLERİ VE RADONUN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

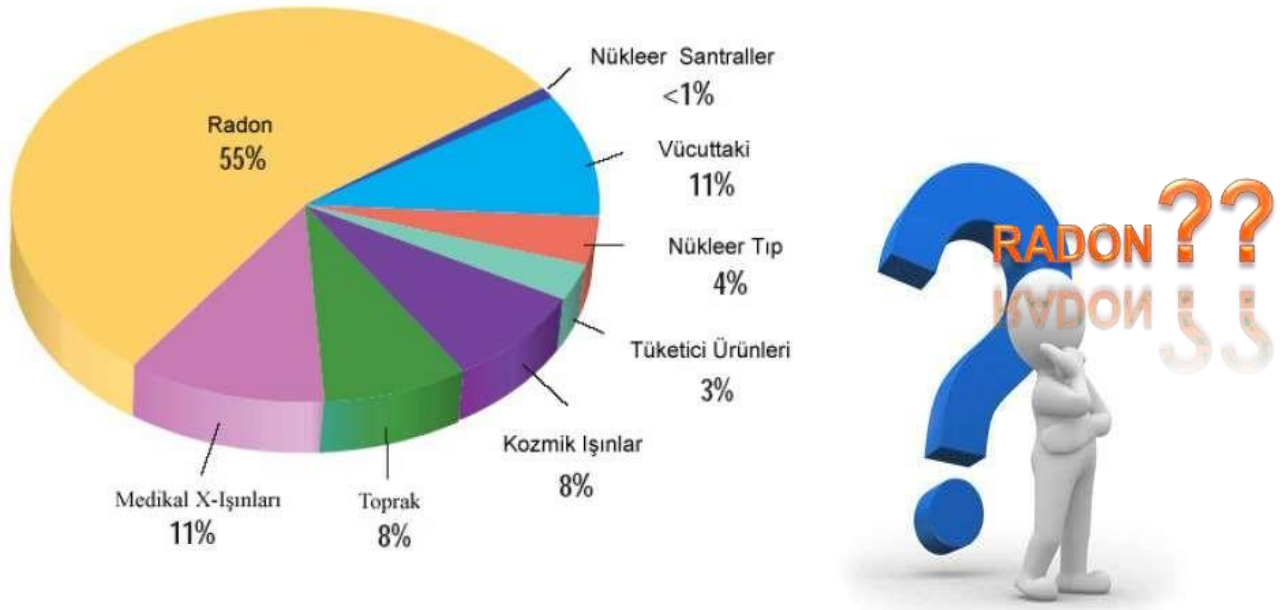
Dr. Nesli ALBAYRAK BİNGÖLDAĞ

TENMAK-NÜKEN

Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, İstanbul

7.1. GİRİŞ

Bütün canlılar, dünyanın oluşumundan bu yana sürekli olarak radyasyonla birlikte yaşamaktadır. Uzaydan gelen kozmik ışınlar ve yeryüzünden kaynaklanan iyonlaştırıcı ışınlar canlılar için kaçınılmazdır. Radyasyon; yiyeceklerde, içeceklerde, solunan havada, toprakta, inşaat malzemelerinde hatta vücudumuzda bile vardır. Yerkabuğunda bulunan radyoaktif



Şekil 1. Doğal radyasyonun en önemli kısmını **radon** oluşturur.

elementler ve bu elementlerin konsantrasyonları ortamın jeolojik ve coğrafik yapısına bağılı olarak bölgeden bölgeye değışiklik göstermektedir. Doğal radyasyonun en önemli kısmını radon oluşturur.

7.1.1. Tarihçe

- 16., 17. ve 18. yy.da gümüş, bakır, kobalt madenlerinde çalışanlarda sıklıkla akciğer rahatsızlıkları görüldü.
- 1900 yılında U, Th, Ra ve Po'dan sonra 5. radyoaktif element olarak radon, Friedrich Ernst Dorn tarafından keşfedildi.
- İlk kez 1901 yılında Schneeberg madeninde yapılan ölçümlerde radonunun yüksek konsantrasyonda bulunduğu belirlendi.
- Radon ve bozunma ürünlerinin solunması ve yutulması kanser vb gibi önemli bir sağlık riski oluşturabildiğı için gelişmiş ülkeler radon ölçümü çalışmalarına ağırlık vermişlerdir.
- 1950'li yıllarda yapılan hayvan deneyleri radonun fareler üzerindeki kanserojen etkisinin belirlenmesini sağladı.
- 1960'lı yılların ortalarında gerçekleştirilen epidemiyolojik çalışmalar radonun insanlar üzerindeki potansiyel kanser olma olasılığının yüksek olduğunu gösterdi.
- 1970 yılından itibaren kapalı ortam radon ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmeye başlanarak sağlık üzerine etkileri, radon konsantrasyonu belirleme, konsantrasyon seviyesini azaltma yolları vb. çalışmalar yapıldı.

7.1.2. Mevzuat

Mülga TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nde, radon için izin verilen konsantrasyon seviyeleri yıllık ortalama olarak evlerde 400 Bq/m³, işyerlerinde 1000 Bq/m³ değerlerini aşamaz, olarak belirlenmiştir (TAEK, 2000).

Radon aktivite konsantrasyon limitleri (Bq/m³) (EPA, 1992).

Ülkeler	Sınır	Ülkeler	Sınır	Ülkeler	Sınır
A.B.D.	150	Hindistan	150	Norveç	200
Almanya	250	İngiltere	200	Rusya	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Türkiye	400
Çin	200	İsveç	200	AB*	400
Danimarka	400	Kanada	800	ICRP**	400
Fransa	400	Lüksemburg	250	WHO***	100

* Avrupa Birliği (AB)

** Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP)

*** Dünya Sağlık Örgütü (WHO)

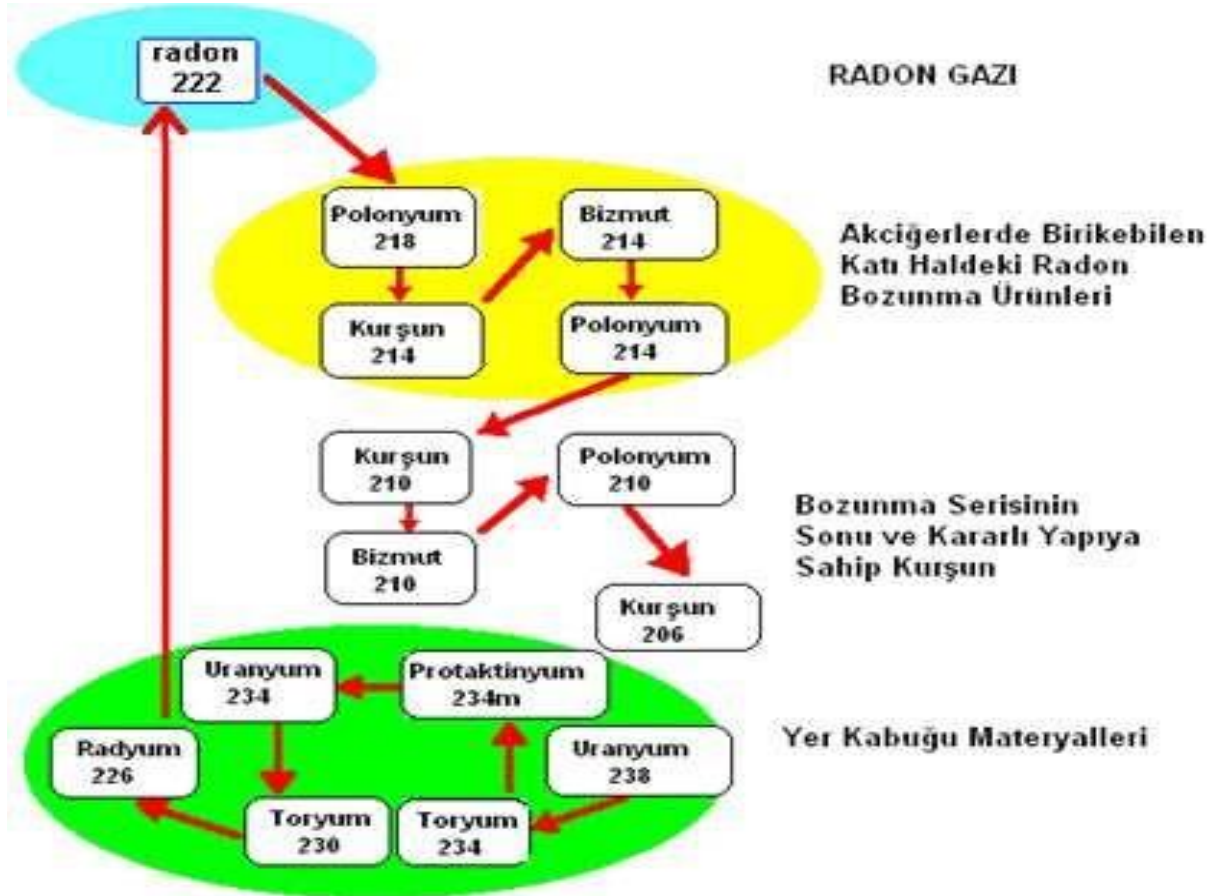
7.2. RADONUN ÖZELLİKLERİ (Rn-222)

Radonun özellikleri, aşağıda belirtildiği şekilde sıralanabilir:

- Duyu organları ile algılanamaz,
- Havadan 8 kez ağır,
- Renksiz, kokusuz doğal radyoaktif bir asal gazdır.
- Toprakta, suda ve havada bulunur.
- Radyum- 226'nın bozunma ürünüdür, atom numarası 86'dır.
- Alfa (α) yayımlayıcıdır.
- Yarılanma ömrü 3,82 gündür.



Şekil 1. Radonun özellikleri (Rn-222).



Şekil 2. Radonun özellikleri (Rn-222).

7.2.1. Radon Bozunma Ürünlerinin Karakteristik Özellikleri

Radon bozunma ürünleri, Po-218, Pb-214, Bi-214 ve Po-214'dür. Radon bozunma ürünlerinin karakteristik özellikleri şu şekilde sıranabilir:

- Kısa yarılanma ömürlü,
- Statik yüklere sahip,
- Katı parçacık,
- Ağır metal,
- Kimyasal reaksiyona girebilen,
- Akciğer hücrelerinde hasara neden olabilen maddelerdir.

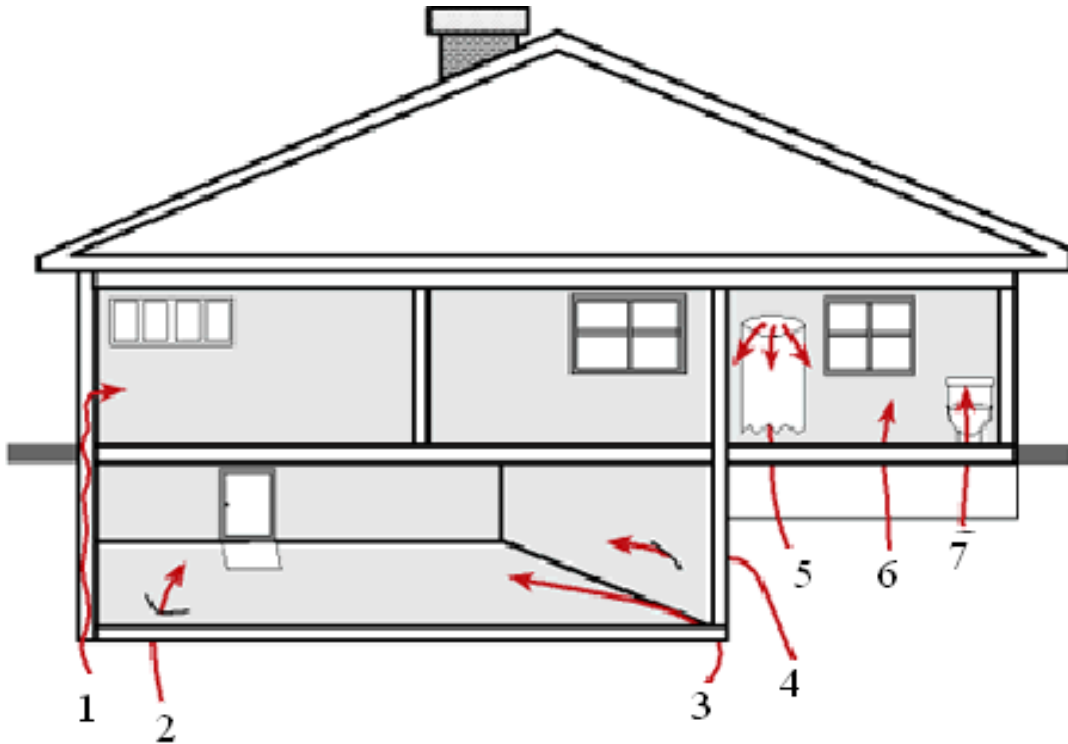
7.3. EVLERDE RADON

- Evi çevreleyen toprak ve kayalar radon kaynaklarıdır.
- Çatlaklar, boru girişleri, bağlantı noktaları gibi birçok yerden radon evlere girebilir.
- Toprağa yakın yerlerde radon konsantrasyonu daha yoğundur.
- Radon konsantrasyonu mevsimsel olarak hatta gün içinde bile değişiklik gösterebilir.
- Evlerdeki diğer önemli radon kaynağı ise yapı malzemeleridir.
- Ayrıca ev halkının yaşam alışkanlıkları,
- Ev içi-dışı sıcaklık farkları,
- Baca etkisi (evin havalandırma hızı çoğunlukla baca etkisine bağlıdır),
- Basınç farkı (toprakla, ev içi havası arasındaki basınç farkı) radon seviyesini etkiler.

7.3.1. Radonun Evlerimize Girme Yolu

Radonun evlerimize girme yolu, şu şekilde özetlenebilir:

1. Duvar arası boşluklar
2. Zemindeki atlaklar
3. Yapı bağlantı noktaları
4. Duvar atlakları
5. İçme suyu
6. Asma kat boşlukları
7. Tesisat boru boşlukları

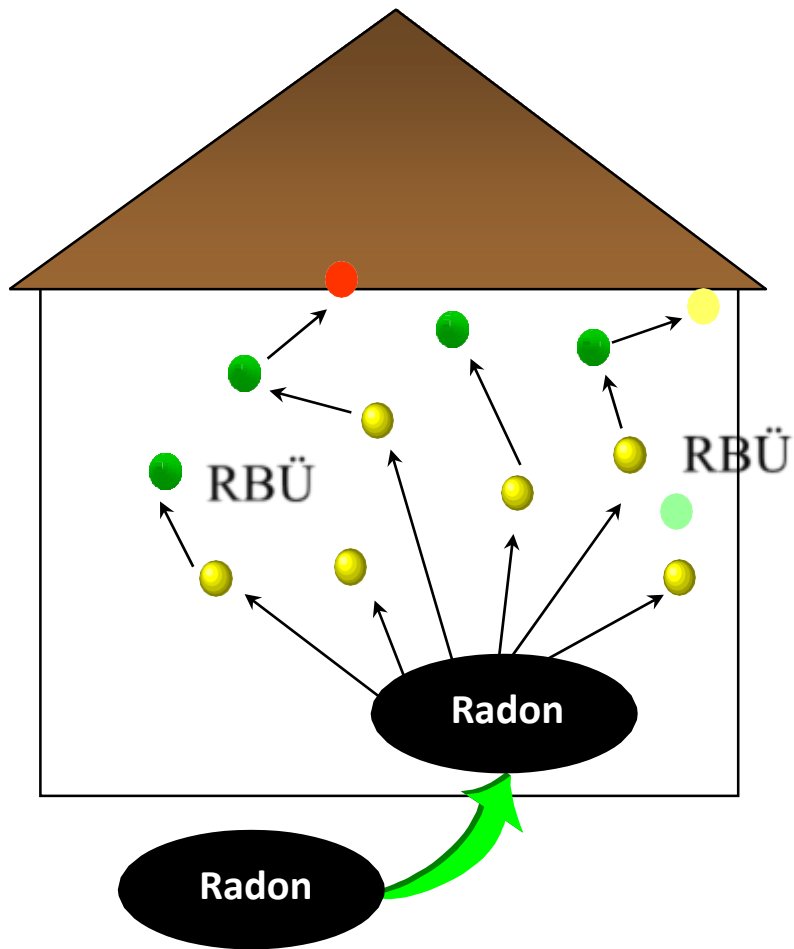


şekil 3. Radonun evlerimize girme yolları.

7.3.2. Evlerde Radon Biriktiğinde Neler Oluyor?

Radon evde biriktiğinde:

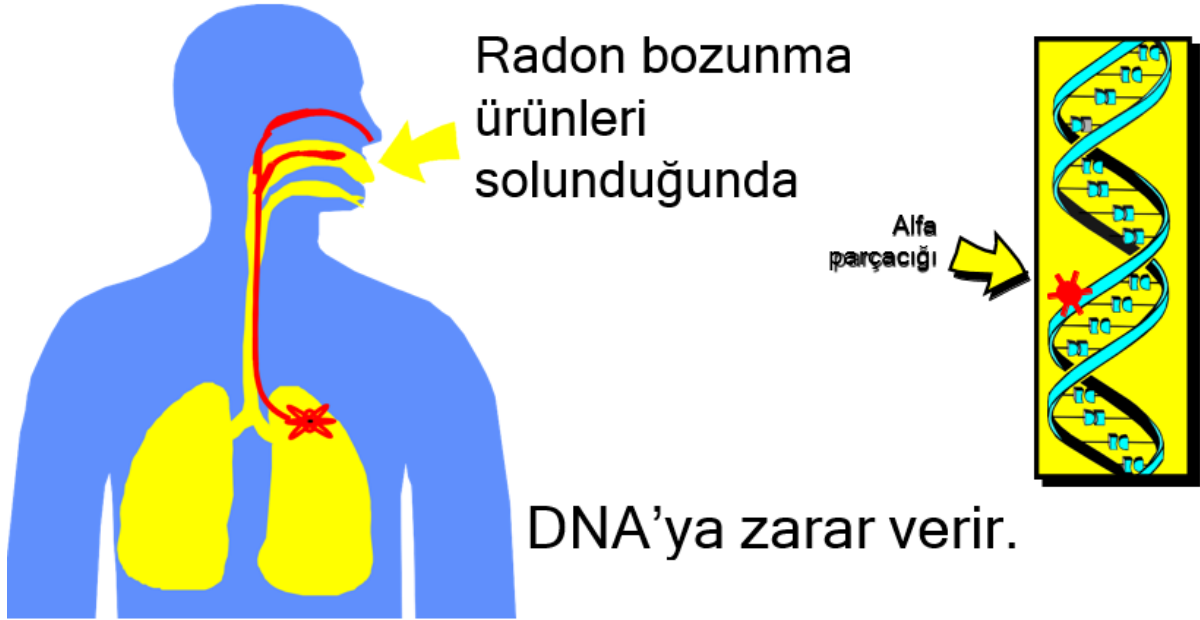
- Radyoaktif radon bozunarak (RBÜ) ürünlerini oluşturur.
- Bazıları havada asılı kalır.
- Bazıları aerosollere tutunur.
- Bazıları da zemine tutunur.



Şekil 3. Radonun evlerde birikmesi.

7.3.3. Akciğer Kanseri ve Radon

Radon bozunma ürünleri solunduğunda, DNA'ya zarar verir.



Şekil 4. Akciğer kanseri ve radon.



Şekil 5. Radon sigaradan sonra ikinci akciğer kanseri nedenidir.

7.3.4. Evlerimizde Radondan Kurtulma Yolları

Evlerimizde radondan kurtulmak için dikkat edilmesi gerekenler:

- Binaların toprak ile temas eden birleşim yerleri ve yüzeyleri sızıntıya imkan vermeyecek şekilde izole edilmelidir.
- Evlerin duvarlarında su ve kanalizasyon borularının geçtiği yerlerdeki çatlaklar onarılmalıdır.
- Yapı malzemelerinin radyoaktif analizleri yapılarak sonuçları yüksek olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Ev havalandırmasına çok dikkat edilmelidir.

EV HAVALANDIRILMALIDIR!

7.4. RADON ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Radon aktivite konsantrasyonu aktif (anında ölçüm) ve pasif olmak üzere iki temel yöntemle ölçülebilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. Radon Ölçüm Sistemleri.

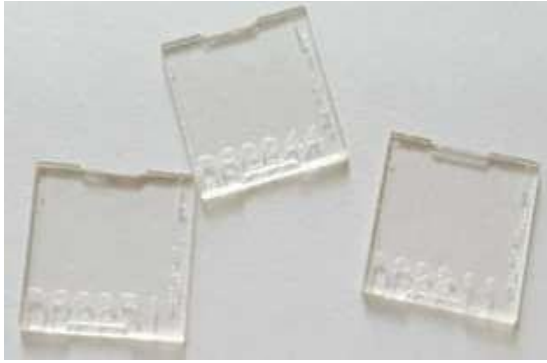
7.4.1. Aktif Ölçüm Sistemi

- Suda, toprakta ve havada radon aktivite konsantrasyonu ölçümü yapılabilir.
- Yapılan ölçüm niteliğine göre saat ya da gün mertebesinde sonuç elde edilir.

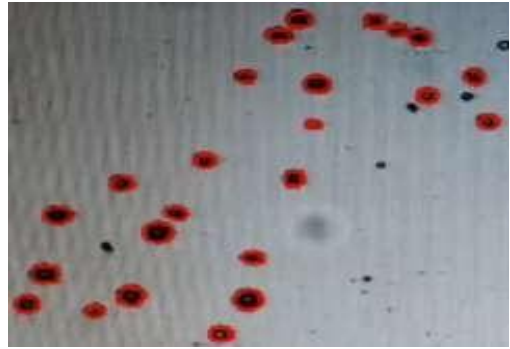
7.4.2. Pasif Ölçüm Sistemi

Nükleer iz kazıma yöntemi, pasif ölçüm sistemlerinin en başında gelen ucuz ve kolay bir yöntemdir. Alfa parçacıklarının organik malzeme üzerinde bıraktığı izler, bir dizi kimyasal işlemden sonra mikroskop altında sayılır ve aktivite konsantrasyonlarına ulaşılır.

CR-39 adı verilen pasif dedektörler konsantrasyonu belirlenecek alana belli kurallar dahilinde yerleştirilir. 2-3 ay sonra alınır ve laboratuvarında kimyasal işlemlerden geçirilerek uygun sistemlerde okutulur.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7. Pasif Ölçüm Sistemleri.

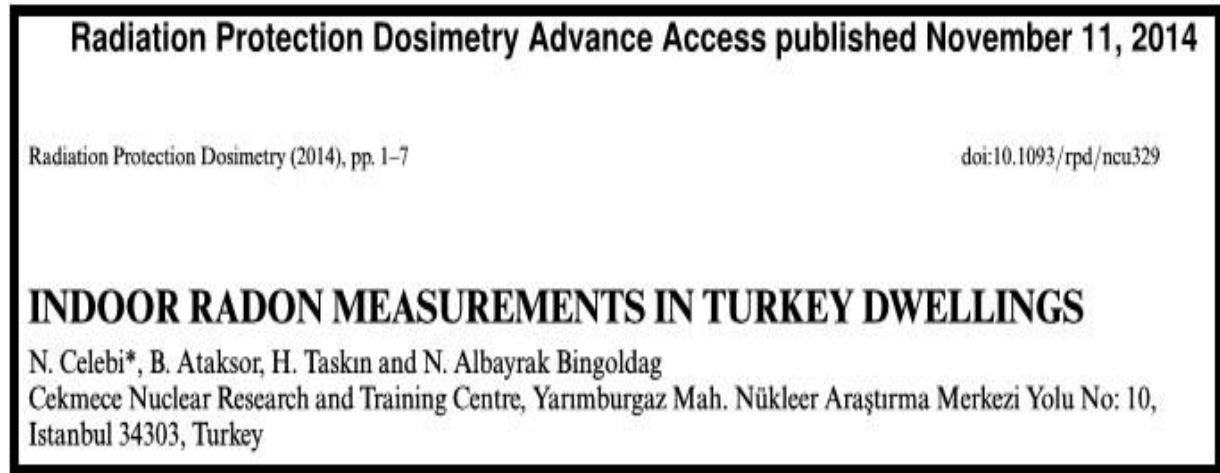
7.4.3. Bugüne Kadar Yapılan Çalışmalar

İlk olarak Türkiye’de;

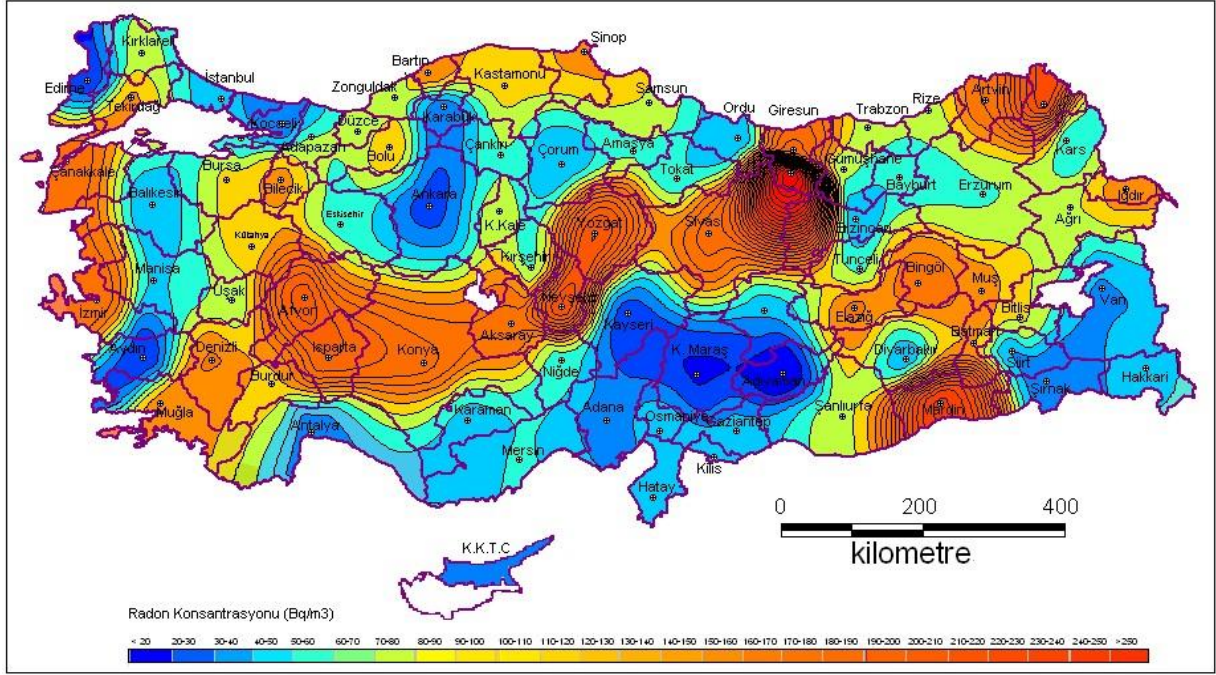
TENMAK-NÜKEN Çekmece Yerleşkesi (mülgaTAEK, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)), Sağlık Fiziği Bölümü’nde, Türkiye’deki evlerde yaşayan insanlar tarafından radondan alınan radyasyon dozunu hesaplamak ve radon konsantrasyonu yüksek bölgeleri tespit etmek amacıyla, 20 Mayıs 1984 tarihinde, “*AKCİĞER KANSERİ EPİDEMIYOLOJİSİ İÇİN RADON ÖLÇÜMLERİ*” başladı.

Türkiye’de 81 ilde kapalı ortamlarda yapılan bu çalışma 2013 yılında tamamlanmıştır.

Sonuç olarak; toplam 7293 adet radon dedektörü kullanılarak “Türkiye’nin Radon Haritası” çıkarılmıştır. Türkiye’nin radon aktivite konsantrasyonu aritmetik ortalaması 81 Bq/m³ ve geometrik ortalaması da 57 Bq/m³ olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Türkiye’nin radon haritasını gösteren makale çalışmamız.



Şekil 9. Türkiye'nin radon haritası.

TAEK-Teknik raporları sırasıyla aşağıda belirtildiği şekildedir:

- TAEK TR-2012-3

Kapalı Ortamlarda Radon Gazı

- TAEK TR-2014-2

Konutlarda Radon Ölçümleri

- TAEK TR-2014-4

Türkiye'deki Kaplıca Tesislerinde Radyoaktivite Düzeyinin
Araştırılması ve Toplam Etkin Doz Değerlendirilmesi.

TAEK (ÇNAEM), İstanbul Ulaşım San. ve Tic. A.Ş. ile birlikte 2012 ve 2015 yılları arasında İstanbul ili radon tesbit projesine başladı.

İstanbul ili Hacıosman – Şişhane arası ilk olarak hat M1-M2 bölgelerinde 28 noktada radon aktivite derişimleri belirlenmiştir. Daha sonra hat M1A-B, M3, M4, M6 bölgelerinde 104 noktada radon aktivite derişimleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Radon aktivite konsantrasyonu (RAC) sonuçlarının 21-134 Bq/m³ arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler, Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nin ilgili maddesine göre **işyerlerindeki radon seviyesi olan 1000 Bq/m³** değerinin altında olup çalışan sağlığını tehdit edecek düzeyde olmadığı tespit edilmiştir.

TAEK (ÇNAEM-SANAEM), 2013 yılında Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Kanser Daire Başkanlığı ile imzalanan Radon Protokolüne istinaden, adresleri TÜİK tarafından belirlenen toplam 62320 eve radon dedektörleri yerleştirildi.

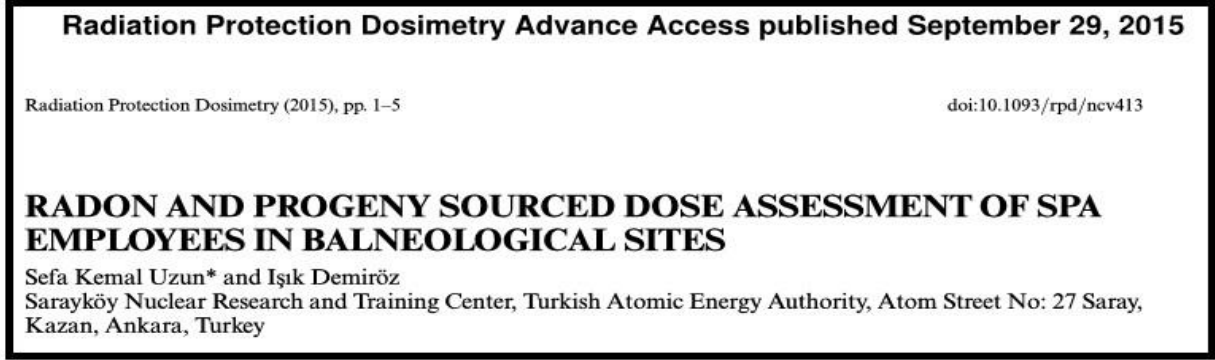
Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Radon İzleme Laboratuvarı tarafından dedektörler kargo yolu ile illerin Halk Sağlığı Kurumlarına gönderildi.

Sonrasında dedektör değerlendirilmeleri SANAEM ve ÇNAEM radon izleme laboratuvarlarında yapıldı. Çalışmalar 2019 yılında tamamlandı. Değerlendirilen radon aktivite konsantrasyonu sonuçları Sağlık Bakanlığı Kanser Daire Başkanlığı'na gönderilmiştir.

TAEK-SANAEM ve Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu Çevre Sağlığı Daire Başkanlığı'nın birlikte yürüttüğü bir proje ile, 'Balneolojik alanlarda kaplıca çalışanlarının radon ve bozunma ürünlerinden kaynaklı doz değerlendirilmesi'' için 70 tesiste çalışmalar yapıldı. RAC,13 Bq/m³-10 kBq/m³ arasında belirlenmiştir.



Şekil 10. Türkiye'nin Balneolojik alanlarda kaplıca çalışanlarının radon ve bozunma ürünlerinden kaynaklı doz değerlendirme haritası.



Şekil 11. Balneolojik alanlarda kaplıca çalışanlarının radon ve bozunma ürünlerinden kaynaklı doz değerlendirmesi üzerine yazılan makalemiz.

TAEK-ÇNAEM ve İstanbul İl Milli Eğitim Müdürlüğü ile birlikte 2018- yılları arasında “Anaokullarında Radon” konulu çalışma ile, İstanbul İl Milli Eğitim Müdürlüğü/ İş Sağlığı ve Güvenliği Şube Müdürü ile yapılan ön görüşmede RÖKGB Birimi olarak “İstanbul ili resmi anaokullarında radon gazı ölçümü” ile ilgili çalışma isteğinde bulunulmuş olup Valilik Makamı’nın da onayı ile İstanbul İl Milli Eğitim Müdürlüğüne bağlı resmi olan bağımsız 135 anaokuluna 1023 adet radon dedektörü dağıtılarak çalışma yapılmıştır. Radon aktivite konsantrasyonu sonuçları 20-160 Bq/m³ arasında belirlenmiştir.

7.4.4. TAEK-ÇNAEM Çevresel İzleme

Muğla - Söke Kisir Mahallesi

35 adet radon dedektörü, Radon aktivite konsantrasyonu sonuçları 60-800 Bq/m³ arasında belirlenmiştir.

Manisa- Köprübaşı

45 adet radon dedektörü, 4 mevsimsel dönem radon aktivite konsantrasyonu sonuçları 30-340 Bq/m³ arasında belirlenmiştir.

8.BÖLÜM

YENİLİKÇİ MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİNDE NÜKLEER BİLİM VE TEKNOLOJİNİN ÖNEMİ

Prof. Dr. Nilgün BAYDOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı,

Ayazağa Kampüsü, Maslak, 34469, İstanbul, Türkiye

dogannil@itu.edu.tr

8.1. GİRİŞ

Yenilikçi malzemelerin geliştirilmesinde, nükleer bilim ve teknolojik uygulamadaki gelişmesi katkı sağlamıştır. 2. Dünya Savaşı sonrasında nükleer enerjinin gündeme gelmesiyle ve 1957 yılında Sovyetler Birliği'nin uzaya ilk yapay uyduyu fırlatmasıyla nükleer teknolojideki oluşan gelişmeler, yenilikçi malzemelerin nükleer sahadaki ihtiyaçlarını gidermeye yönelik olarak gelişimini hızlandırmıştır. Radyolojik ve nükleer sahalardaki yenilikçi malzeme geliştirme çalışmalarına göre işlem grupları Şekil 1'de belirtilmektedir.



Şekil 1. Radyolojik ve nükleer sahalardaki yenilikçi malzeme geliştirme çalışmalarına göre işlem grupları.

Radyolojik ve nükleer sahalardaki çalışmaların düzenlenmesi ve incelenmesi amacıyla, nükleer malzeme ve teknolojilerinin yönetilmesi ve bunların kontrol edilmesi için, 1957 yılında Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) kurulmuştur. Bu kapsamdaki, nükleer enerji malzeme ve teknolojileri konusunda, ülkemizde çeşitli çalışmalar yürütülmektedir [1-4].

8.2. RADYOLOJİK VE NÜKLEER ARAŞTIRMALARDA YENİLİK KAVRAMI VE YENİLİKÇİ MALZEMELER

Nükleer ve radyolojik malzemelerdeki yenilikler, mevcut özelliklerin bu malzemelerin öngörülen kullanımlarına göre, yeni ve önemli derecede iyileştirilmiş bir ürün veya hizmetin ortaya konulmasını içermektedir. Bu durum; teknik özelliklerde, bileşenlerde ve malzemelerde, kullanım kolaylığını ve işlevsel özelliklerinde iyileştirilerek geliştirilmesi konularını içermektedir [1-2].

8.3. NÜKLEER VE RADYOLOJİK MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ

Yenilikçi malzemeler, çeşitli üretim teknikleri ile üretilirken yapısal özelliklerinde oluşan farklılıklar, yeni uygulama sahalarında kullanım avantajı getirmektedir. Yenilikçi malzemelerin, nükleer güç santrallerinde kullanımı durumunda, radyasyondan korunma, atık güvenliği, nükleer ve radyoaktif kaynakların emniyeti, nükleer güvenlik konularında geliştirilmekte ve bu malzemelerin ekonomik olarak üretimi giderek daha fazla önem kazanmaktadır [1-3].

8.3.1. Yenilikçi Malzemelerin Geliştirilmesinde Nükleer Bilim ve Teknolojinin Önemi

Tıbbi ve endüstriyel alanlarda son yıllarda hızla artan gelişmelerden dolayı, çekirdek reaksiyonlarını içeren nükleer enerji, nükleer tıp ve nükleer güvenlik konularında, nitelikli yeni malzemelere duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Sanayi 4.0'a geçiş ile başlayan yeni teknolojilere

dönüşüm, yenilikçi malzemelere talebi ivmelendirmiştir. Bu nedenle nükleer teknolojideki araştırmalar;

- 1) Nükleer güç santrallerinde, ihtiyaç duyulduğunda ulaşılması pratik malzemelerin kullanımının tercih edildiği görülmektedir. Bu malzemelerin kaliteli ve pratik yöntemlerle geliştirilmesi ve kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalar günümüzde etkin bir şekilde sürdürülmektedir.
- 2) Nükleer enerji santrallerindeki deprem risklerine ve yapıların deprem güvenliğine yönelik malzemelerin geliştirilmesi çalışmaları ilgi çekici konular arasında görülmektedir;
- 3) Radyasyondan korunma, atık güvenliğine yönelik, nükleer ve radyoaktif kaynakların daha emniyeti kullanımına yönelik ve nükleer güvenliğin artırılmasına destek veren yenilikçi malzemeler geliştirilmeye çalışılmaktadır.
- 4) Nükleer atıkların güvenli depolanması için uygun jeolojik ortamlarda muhafazasına yönelik malzemelerin geliştirilmesi;

Bu dört parametre, yenilikçi malzemelerin geliştirilmesinde başlıca etkin parametreler olup, nükleer enerji alanında, teknolojik yetkinlik ve üretim kapasitesini artıracak yenilikçi malzemelerin geliştirilmesi sağlanmaktadır. Yenilikçi malzemelerin nükleer enerji ile ilgili alanlardaki kapasiteyi geliştirecek, ve çevreci yaklaşımlarla hizmet verebilecek şekilde geliştirilmesi öncelikli olarak desteklenmektedir. Yenilikçi malzemelerde etkin zırh malzemesi uygulamaları kapsamında, hafif ve dayanıklı zırh sistemleri oluşturulmaktadır [1-4]. Bunlar;

- **Hafif Zırh Sistemi Malzemeleri:** Üretilen ürünlerde, operasyonel işlemleri en az seviyede azaltan ve etkin koruma sağlayabilen, ileri hafif zırh malzeme ve sistemlerinin tasarlanıp geliştirilerek personel koruma donanımlarına entegre edilmesi,

- **Zırh sistemleri ile ortamın güvenliğini artırılması ve beka yeteneğinin geliştirilmesi:** Zırhlı araçlarda beka yeteneğinin artırılması ve geliştirilerek üretilmesi, farklı malzemelerle geliştirilerek zırh sistemleri oluşturulması,
- **İyonizan radyasyon tehditlerine karşı yeni konseptler:** Cihazlarda iyonizan radyasyon tehditlerine karşı yenilikçi ve ekonomik uygun koruma tedbirleri uygun malzeme geliştirilmesi,

Dünyada nükleer teknolojiye öncülük eden ülkelerde, enerji, sağlık, güvenlik, gıda vb. farklı sektörlerde, ileri nükleer teknoloji ile donatılmış malzemeler geliştirilmektedir. İthal edilen ürünlere göre, ileri nükleer teknoloji ile donatılarak değeri artırılmış ihraç edilen ürünlerle, cari açığı düşürmek ya da ortadan yok etmek mümkün olabilmektedir. İleri nükleer teknoloji ihraç eden ülkelerin önümüzdeki dönemde, en başarılı parlak dönemini yaşayacağı öngörülmektedir. Türkiye'nin ileri nükleer teknoloji ihraç eden ülkeler arasına girmesi sürdürülebilir kalkınma için önem taşımaktadır. Nükleer enerjiyi kullanan çeşitli ülkelerde (örneğin Rusya'da) 2030 yılına kadar, nükleer teknolojide kullanım da dahil olmak üzere (nükleer tıp vb.) küresel teknolojileri içeren, ürün yelpazesini ve yurt dışı pazarlara uygun yenilikçi malzemelerin geliştirilmesini planlandığı belirtilmektedir .[1-4].

Türkiye'de Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK), nükleer teknoloji kapsamında, ana malzeme ve ekipman üretimi süresince yürütülen tüm aşamalarda ilgili yönetmelikler ve verilen lisanslar doğrultusunda denetimler yapmaktadır. Türkiye'de nükleer santral projelerinin lisanslanması alanında Türk mevzuatının gereksinimlerine göre, nükleer teknolojide kullanılan ekipman ve malzemeleri üreten kuruluşlar, ülkemizde ilgili belgelendirme süreçlerinden geçmektedirler. Bu malzeme ve ekipmanların üretimleri sırasında, Nükleer Düzenleme Kurumu denetim faaliyetlerini sürdürmektedir. NDK, bu alanda kullanılmak üzere ürünlerin, kalite planlarına göre üretilmesi konusunu denetlemektedir. NDK, bu amaçla, ilgili kalite planlarında belirlediği denetim adımları doğrultusunda düzenli olarak kuruluşları ziyaret etmektedir.

Nükleer enerji santrallerinde kullanım amaçlı malzeme seçimi önem taşıyan bir konudur. Bu sahada görev yapan malzemeler başlıca kontrol çubukları ve yavaşlatıcı malzeme olarak görev yapmaktadır. Kontrol çubukları: Bor, gümüş, indiyum, kadmiyum ve hafniyum gibi nötron yutucu malzemelerden yapılan kontrol çubukları gerektiğinde nötron sayısını azaltarak fisyonun durdurulması veya çalışma esnasında güç seviyesinin ve reaktördeki lokal güç dağılımının kontrol ve düzenlenmesi için kullanılmaktadır. Yavaşlatıcı: Fisyon olayı sonucunda ortaya çıkan nötronlar çok yüksek enerjiye sahip olup, çok hızlı hareket etmektedir. Yavaş (termal) nötronların çok daha yüksek olasılıkla fisyon tepkimesine girmesi nedeniyle reaktörlerde yakıt çevresine yavaşlatıcı malzeme yerleştirilerek, nötronların yavaşlaması sağlanmaktadır. Yavaşlatıcı olarak genellikle su kullanılmaktadır. Nükleer enerji santrallerinde kullanılan diğer malzeme ve sistemlerde, nükleer enerjinin üretildiği reaktör kabında, destek sistemleri; yakıtın planlanan noktada durmasını sağlayan mesnet kolonları ve plakalar; kontrol çubuklarının kolaylıkla hareket etmesi için kılavuz tüpleri; sıcaklık, basınç, ısınım seviyesi ve güç seviyesi gibi değerleri ölçmek için kullanılan sensörler; reaktör kabı, yakıt bölgesinden dışarıya doğru kaçan nötronları engellemek için kullanılan reflektör olarak soğutucu/yavaşlatıcı malzemeler; reaktör kabında, soğutucu akışını yönlendirmek amacıyla kullanılan plakalar; yakıt bölgesi radyasyon ve sıcaklık zırhları, ilgi çekici malzemeler arasında yer almakta olup, bu yapılar modifiye edilerek geleceğe yönelik yeni teknolojilerde kullanım alanı bulunmaktadır [1-4].

8.4. SONUÇ

Nükleer teknolojiyi içeren, hızlı gelişmekte olan alanlarda, yenilikçi malzemelerin geliştirilmesi için, işbirliği çalışmaları artmaktadır. Nükleer enerji alanında ve nükleer tıpta etkin yeni malzemelerin geliştirilmesi amacıyla, yabancı ülkeler birbirleriyle, yüksek teknoloji konuları odaklı işbirliği yapmaktadır. Nükleer teknoloji alanında (nükleer tıp vb.) kullanım

amaçlı, yenilikçi malzeme üretiminde, farklı sayıda ve kalitede seçenekler sunan küresel ürün yelpazesinin giderek gelişme gösterdiği görülmektedir. Bu geliştirilen ürünlerin, çevre sorunlarına pratik çözümler bulabilen, yeni malzeme ve maddelerin geliştirilmesi düzenli olarak devam etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Baydogan N.D, “The effect of Nuclear Technology at industry and economic progress”, Importance of Nuclear Energy for Sustainable Development, TASAM Publishing; Energy Series: 2, ISBN 975-628527-3, 2006, pp. 41-49.
- [2] Tugrul A.B. and Baydogan N.D, 2007, Assessment of Energy Resource with Possible Alternatives and Turkey, 10. Turkey Energy Conference Proceedings, Vol. II, pp. 265-273, Istanbul, Turkey.
- [3] Nur ÇAKIR, 2018, Tuz Gölü Doğal Gaz Yer Altı Depolama Projesi’nin Tuz Gölü’ne Etkileri, Yenilenebilir Enerji Bülteni, Sayı: 6, Su Vakfı.
- [4] T.C. Kalkınma Bakanlığı On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Bilgi ve İletişim Teknolojileri Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 2018

9.BÖLÜM

NÜKLEER TEKNOLOJİDE RADYASYON GÜVENLİĞİ VE

BİYOMEDİKAL MALZEMELER

Dr. Türkan DOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknolojisi Anabilim Dalı,

Ayazağa Kampüsü, Maslak, 34469, İstanbul, Türkiye

tdogan@itu.edu.tr

9.1. GİRİŞ

Radyasyon, bir cisim tarafından yayılan enerjinin bir ortamdan veya boşluktan geçtiği ve nihayetinde başka bir cisim tarafından emildiği herhangi bir süreci tanımlar. Radyasyon madde üzerinde oluşturduğu etkilere göre iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar olarak sınıflandırılabilir.

İyonlaştırıcı radyasyon, kozmik ışınları, X ışınlarını ve radyoaktif maddelerden gelen radyasyonu içerir.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, radyan ısı, radyo dalgaları, mikrodalgalar, terahertz radyasyonu, kızılötesi ışık, görünür ışık ve ultraviyole ışığı içerir.

Radyasyonun bilinen birçok formu vardır. Örneğin, her gün ışık, ısı ve mikrodalga kullanırız. Tıp alanında, röntgen ışını olarak kullanırlar. Radyo ve televizyon dalgaları, radyasyon formlarıdır. Radyasyon, doğal olarak mevcuttur. Güneş ve yıldızlar, sabit bir yağmur çiselemesi gibi dünyaya sabit bir kozmik radyasyon akışı gönderir.

9.1.1. Radyasyon Nereden Geliyor ?

Radyasyon, çevremizde de doğal olarak mevcuttur. Ek olarak, tıbbi röntgenlerde ve yemek pişirmek için mikrodalgalarda olduğu gibi yapay olarak radyasyon üretilebilir. Bununla birlikte, çevremizdeki tüm doğal ve insan yapımı radyasyon kaynaklarından da radyasyona maruz kalınmaktadır.

Dünyanın kendisi bir karasal radyasyon kaynağıdır. Radyoaktif maddeler (uranyum, toryum ve radyum dahil) toprakta ve kayada doğal olarak bulunur. Tüm hava radon içerir, su az miktarda çözünmüş uranyum ve toryum içerir ve tüm organik maddeler (hem bitki hem de hayvan) radyoaktif karbon ve potasyum içermektedir.

Buna ek olarak, insanların vücutlarında radyoaktif K-40 ve C-14 bulunmaktadır ve bu nedenle insanlar da radyasyon kaynaklarıdır. Radyasyon hayatımızın bir parçasıdır. Çünkü, temel olarak doğal minerallerden gelen radyasyonla kuşatılmış durumdayız.

9.1.2. Radyasyon Kaynakları

İnsanlar her gün doğal radyasyon kaynaklarının yanı sıra insan yapımı kaynaklara da maruz kalmaktadır. Doğal radyasyon, toprakta, suda ve havada bulunan 60'tan fazla doğal olarak oluşan radyoaktif materyal dahil olmak üzere birçok kaynaktan gelmektedir.

Doğal olarak oluşan bir gaz olan radon, kaya ve topraktan yayılır ve doğal radyasyonun ana kaynağıdır. İnsanlar her gün hava, yiyecek ve sudaki radyonüklidleri solumakta ve yutmaktadırlar. İnsanlar ayrıca, özellikle yüksek irtifalarda kozmik ışıklardan gelen doğal radyasyona maruz kalmaktadırlar.

Ortalama olarak, bir insanın aldığı yıllık radyasyon dozunun %80'i, doğal olarak oluşan karasal ve kozmik radyasyon kaynaklarından kaynaklanmaktadır. Radyasyon seviyeleri, jeolojik farklılıklar nedeniyle coğrafi olarak değişir. Belirli alanlarda maruz kalma, küresel ortalamanın 200 katından fazla olabilmektedir.

Radyasyon, nükleer enerji üretiminden teşhis veya tedavi için radyasyonun tıbbi kullanımlarına kadar değişen insan yapımı kaynaklardan da gelir. Günümüzde en yaygın insan yapımı iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları, X-ray makineleri de dahil olmak üzere tıbbi cihazlardır.

9.1.3. İyonlaştırıcı radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, elektromanyetik dalgalar (gama veya X-ışınları) veya parçacıklar (nötronlar, beta veya alfa) şeklinde hareket eden atomlar tarafından salınan bir enerji türüdür.

Atomların kendiliğinden parçalanmasına radyoaktivite denir ve yayılan fazla enerji, bir iyonlaştırıcı radyasyon şeklidir.

Parçalanarak ve iyonlaştırıcı radyasyon yayan kararsız elementlere radyonüklidler denir. Tüm radyonüklidler, yaydıkları radyasyon türü, radyasyonun enerjisi ve yarı ömürleri ile benzersiz bir şekilde tanımlanır.

İnsanlar, toprak, su ve bitki örtüsü gibi doğal iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarına ve ayrıca X-ışınları ve tıbbi cihazlar gibi insan yapımı kaynaklara maruz kalmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonun tıpta, endüstride, tarımda ve araştırmadaki kullanımları da dahil olmak üzere birçok faydalı uygulaması vardır.

İyonlaştırıcı radyasyon kullanımı arttıkça, uygun şekilde kullanılmaması veya kontrol altına alınmaması durumunda sağlık açısından tehlike potansiyeli de artar.

Radyasyon dozları belirli seviyeleri aştığında cilt yanıkları veya akut radyasyon sendromu gibi akut sağlık etkileri ortaya çıkabilir.

Düşük dozlarda iyonlaştırıcı radyasyon, kanser gibi daha uzun vadeli etkilerin riskini artırabilir.

9.1.4. İyonize Edici Radyasyonun Kullanım Alanları

İyonize Edici Radyasyon medikal alanda; tanısal amaçlı ve tedavi amaçlı olarak,

Endüstriyel Alanda; malzeme muayenesi, enerji üretimi ve sterilizasyon amaçlı kullanılır.

9.1.5. Radyasyon ne kadar uzağa gider?

Radyasyonun yol alma mesafesi, diğer malzemelere nüfuz etme yeteneği gibi radyasyonun türüne bağlıdır. Alfa ve beta parçacıkları, uzak mesafe kat etmezler ve kolayca engellenirler.

Buna karşılık, gama ışınları, X-ışınları ve nötronlar önemli bir mesafe kat ederler ve bloke edilmeleri çok daha zordur (özellikle büyük radyoaktif kaynaklar için).

9.2. RADYASYON KORUNUMU

Radyasyondan korunmanın amacı, radyasyona maruz kalmaya neden olan faydalı eylemleri insanlar için uygun bir koruma seviyesi sağlamaktır. Radyasyondan korunma, zararlı deterministik etkilerin ortaya çıkmasını önlemek ve stokastik etkilerin (örneğin kanser ve kalıtsal etkiler) meydana gelme olasılığını azaltmaktır.

Korunmanın en iyi yollarından biri, zaman, mesafe ve zırhlama (perdeleme) gibi radyasyondan korunma ilkelerini anlamaktır. Radyolojik bir acil durum sırasında (çevreye büyük miktarda radyoaktif madde salınımı), kendimizi ve ailelerimizi korumaya yardımcı olmak için bu ilkeleri kullanabiliriz. Zaman, mesafe ve koruma eylemleri, bizi güneşe aşırı maruz kalmaya karşı koruyacakları şekilde, radyasyona maruz kalmamızı en aza indirecektir.

9.2.1. Zaman, Mesafe ve Koruma

Süre: Radyasyona maruz kalan kişiler için maruz kalma süresinin sınırlandırılması veya en aza indirilmesi radyasyon kaynağından gelen dozu azaltmaktadır.

Mesafe: Bir yangından uzaklaştıkça ısıнын azalması gibi, kaynaktan uzaklaştıkça radyasyon dozu da önemli ölçüde azalır.

Koruma (Zırhlama): Kurşun, beton veya su bariyerleri, nüfuz eden gama ışınlarına ve X ışınlarına karşı koruma sağlar. Bu nedenle bazı radyoaktif maddeler su altında veya beton veya kurşun kaplı odalarda depolanır ve diş hekimlerinin dişlerinin röntgenini çeken hastaların üzerine kurşun bir örtü koymasının nedeni budur. Bu nedenle, bir radyasyon kaynağı arasına uygun kalkanı yerleştirmek, aldığımız dozu büyük ölçüde azaltacak veya ortadan kaldıracaktır.

9.2.2. Radyasyonun Sağlığa Etkileri

İyonlaştırıcı radyasyon, canlı hücrelerdeki atomları etkilemek ve böylece genetik materyallerine (DNA) zarar vermek için yeterli enerjiye sahiptir. Vücudumuzdaki hücreler bu hasarı onarmada son derece etkilidir. Ancak hasar doğru bir şekilde onarılmazsa hücre ölebilir veya sonunda kanserli hale gelebilir.

Radyasyonun tıbbi kullanımı, tüm yapay kaynaklardan gelen popülasyon dozu katkısının %98'ini oluşturur ve toplam popülasyon maruziyetinin %20'sini temsil eder. Dünyada yılda 3600 milyondan fazla tanısal radyoloji tetkiki yapılmakta, 37 milyon nükleer tıp işlemi yapılmakta ve 7,5 milyon radyoterapi tedavisi verilmektedir.

9.3. TIPTA RADYOAKTİF MADDELERİN KULLANIMI

Tıpta radyoaktif maddeler teşhis ve tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Biyolojik ve biyomedikal araştırmalarda, yeni ilaçları test etmek ve memelilerde hücresel işlevleri ve kemik oluşumunu incelemek için kullanılırlar. Gıda ve kan kaynaklarını korumak, yolların ve binaların güvenliğini artırmak, yeni enerji kaynakları bulmak, acil durum çıkışlarını aydınlatmak, yangınları uyarmak ve daha fazlası için çeşitli endüstriyel uygulamalarda radyoaktif malzemeler kullanılmaktadır. Potasyum iyodür (KI), insanları bir tür radyoaktif madde olan radyoaktif iyotun neden olduğu tiroid kanserinden korur.

9.4. TIPTA RADYASYONUN KULLANIMI

Tıpta radyasyondan, tanısal radyografi ve radyoterapi alanlarında yararlanılmaktadır.

9.4.1. Tanısal Radyografi

Radyasyonun, tıpta tanısal radyografi uygulamalarda kullanım alanları şunlardır:

- Konvansiyonel/Dijital Röntgen

- Floroskopi
- Bilgisayarlı Tomografi
- Kemik Densitometre
- SPECT ve PET

9.4.2. Radyoterapi

Radyasyonun, tıpta radyoterapi uygulamalarında kullanım alanları şunlardır:

- Brakiterapi
- Sabit Kaynaklı Tedavi Cihazları
- Lineer hızlandırıcılar
- Proton Tedavisi

9.5. BİYOMEDİKAL UYGULAMALARDA RADYASYON ZIRHLAMA

Bilimdeki gelişmelere bağlı olarak radyasyon ışınlarının daha yaygın kullanımı neticesinde, insanoğlu radyasyona çok daha fazla maruz kalmaktadır.

Radyasyon kaynaklarının kullanımında radyasyona maruz kalınmaması dikkat edilmesi gereken hayati bir konudur. Bu amaçla radyasyondan korunmak için farklı teknikler geliştirilmiştir. Kansere tedavisinde kullanılan radyolojik tekniklerin gelişmesi ve cihazların değişimi ve yüksek enerjili radyasyon demetlerinin tedavi amaçlı kullanımı, zırhlama malzemelerinin geliştirilmesini gerektirmektedir.

9.5.1. Zırhlama

Radyasyon kaynağı ile kişi arasına konulacak engel alınan dozu en aza indirecektir. Değişik radyasyon tipleri için seçilen zırh farklı olmalıdır. Malzeme yoğunluğu ne kadar fazla ise,

radasyona karşı o kadar koruyucudur. Radyasyonun, malzemeye nüfuz etme şiddeti hesabında kullanılan formül aşağıda belirtildiği gibidir:

$$I=I_0.e^{-\mu x}$$

$$\mu = \tau + \sigma + K$$

τ = Fotoelektrik soğurma katsayısı

σ = Compton soğurma katsayısı

K = Çift oluşum soğurma katsayısı

9.5.2. Biomedikal Uygulamalarda Radyasyon Zırhlama ve Polimerik Malzemeler

Radyasyon zırhlama malzemesinin tasarımında kullanılan malzemeler kurşun, tuğla, ağır agregalı beton ve çelik gibi geleneksel malzemelerdir. Ancak bu malzemelerin, ağır olmalarının dışında başka bazı dezavantajları bulunmaktadır.

Radyasyon zırhlamada en verimli malzeme kurşundur (Pb). Fakat kurşunun toksik etkisi nedeniyle zırhlama uygulamalarında kullanımı sağlık açısından bazı problemler ortaya çıkarmaktadır. Radyoaktif elementlerin artan kullanımı, radyoaktif kirliliği arttırmakta ve bireyleri korumak için gelişmiş materyallere ihtiyaç duyulmaktadır.

Polimerler mekanik, elektriksel, termal ve çok işlevli özelliklerinden dolayı umut vericidir. Ayrıca, polimerlerden ve yüksek atom numaralı dolgu maddelerinden oluşan kompozitler, düşük ağırlıklı, iyi esneklik ve iyi işlenebilirlik gibi özelliklerinin yanısıra biyoyumlu olmalarından ötürü, biomedikal uygulamalarda radyasyon zırhlamasında gözde malzemeler arasında ön plana çıkmakta ve son yıllarda bu malzemeleri geliştirmek üzere yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

Zırhlama konusunda hafif, ekonomik, toksik etki göstermeyen ve yüksek zırhlama özelliğine sahip yapı oluşturma çalışmaları devam etmektedir.

Polimerik malzemeler, birden fazla malzemenin bir araya gelerek üstün özellikli yeni malzeme oluşturma prensibine dayanmaktadır. Polimer matrisli malzemelerde genellikle matris fazı olarak epoksi, polyester ve vinilester gibi reçineler ve takviye fazı olarak da cam, karbon ve aramid elyaflar kullanılmaktadır. Polimerik malzemeler, gösterdikleri üstün mekanik özellikler, korozyon direnci ve hafiflik gibi kabiliyetlerinden dolayı çok fazla tercih edilmektedir.

Polimerik malzemeleri önemli kılan diğer bir konu ise endüstri ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamalarıdır. Bu malzemelerin etkinliğini artırabilmek için imalatlarında çeşitli takviye ve dolgu malzemeleri eklenerek performanslarının artırılması hedeflenmektedir. Bu nedenle polimerik kompozit malzemeler, radyasyon zırhlama konusunda araştırmacıların ilgisini çekmeyi başarmıştır.

9.5.3. Polimerik Malzemelerde Radyasyon Zırh Uygulamaları

Galehdari ve ark. uzay uygulamalarında yapısal mukavemet ile güneş enerjili parçacık (SEP) ve galaktik kozmik radyasyondan (GCR) koruma sağlayan hibrid sandviç panel ürettikleri çalışmalarında partikül olarak Bor Nano tozu (%99,5 B, 500 nm), Bor Karbür (0,7 mikron) ve Gadolinyum nanoparçacıkları (700 nm) kullanmışlardır.

Panellerin üretiminde takviye malzemesi olarak gelişmiş mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olan düz dokunmuş ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) kumaşlar kullanılmıştır. Üretilen sandviç paneller üzerinde yapılan nötron radyasyon zırhlama deneylerinin sonuçlarına göre tüm imal edilmiş sandviç panellerin %99'dan fazla zırhlama performansı gösterdiği belirtilmiştir.

Li ve arkadaşları yaptıkları çalışmada polidimetil siloksan (PDMS) içerisine disperse edilmiş SWCNT kompozitlerinin (PDMS/SWCNT) proton radyasyonlarına karşı performanslarını inceleyerek saf PDMS ve Alüminyum ile karşılaştırmışlardır.

PDMS/SWCNT kompozit numunesi, nanomalzemenin (SWCNT, $\approx 1-2$ nm) PDMS içerisine UP200s ultrasonik homojenizatör yardımıyla ağırlıkça %1.12 oranında SWCNT dağıtılmış ve 80°C’ de kr edilerek üretilmiştir. Üretilen malzemelerin, 63 ve 105 MeV enerji değerlerinde ayrı ayrı radyasyon zırhlama testleri yapılmıştır.

Yapılan test sonuçlarına göre SWCNT’lerin PDMS matrisinin proton zırhlama yeteneğini geliştirdiği ve üretilen kompozitin 53.53 MeV’den yüksek enerjilerde PDMS’e kıyasla ağırlık avantajı gösterdiği belirtilmiştir. 105 MeV’de ise PDMS/SWCNT kompoziti saf PDMS ve Alüminyumdan sırasıyla %3.11 ve %20.91 daha hafif bulunmuştur.

Joseph ve ark. tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise Btil Kauçuk (BR)-SWCNT kompozitlerin X ve Ku bandı (8.2-12.4 GHz ve 12.4-18 GHz) frekans aralığında zırhlama özellikleri araştırılmıştır. BR-SWCNT kompozitlerinin hazırlanması için öncelikle matris malzemesi hazırlanmıştır. Ağırlıkça %2 BR, tolüen içerisinde çözdürülmüş, daha sonra aktivatörler (inko oksit ve stearik asit), hızlandırıcı (tetrametil tiuramdislfid) ve vulkanizasyon edici ajanın (sülfür) ilave edilerek 30 dk boyunca karıştırılmasıyla matris malzemesi hazır hale getirilmiştir.

SWCNT ise tolüen içerisinde 30 dk boyunca karıştırılarak karışıma ilave edilmiştir. Nihai karışım 60 dakika boyunca karıştırılmış ve vakumlu fırında 12 saat kurumaya bırakılmıştır. Elde edilen malzeme 200°C’ de 2 MPa’lık basınç altında 90 dakika süreyle 1 mm kalınlığında sıcak preslenmiştir. Numuneler X bandı (8.2-12.4 GHz) için 22.86 x 10.88 mm ve Ku bandı (12.4-18 GHz) için ise 15.80 x 7.90 mm boyutlarında olacak şekilde hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre BR matrisine SWCNT eklenmesi malzemenin zırhlama özelliklerini geliştirmiştir. lm alınan frekans aralıkları (8.2-18 GHz) radyasyondan korunma etkinliği elde edilmiştir. Ayrıca 15 GHz frekansta iki farklı kalınlık değerinde (1 mm ve 2 mm) analizi yapılmış; 1 mm kalınlığındaki polimerik kompozitin radyasyondan korunma etkinliği değerlerinin, kalınlığın 2 mm’ye artışıyla sırasıyla yükseldiği bulunmuştur.

9.6. SONUÇ

Son yıllarda endüstride oldukça popüler hale gelen polimerik malzemeler birçok sektörde geleneksel malzemelerin yerini almaya başlamıştır.

Özellikle insan hayatı için önemli olan iyonize radyasyon kaynaklarının bulunduğu veya maruz kalınabilecek yerler için kullanılacak zırhlama malzemesinin tasarımında öncelikle dikkat edilmesi gereken parametreler malzemenin yüksek yoğunluğu, insan ve çevreye zararsız oluşu, boşluksuz ve hafif yapıya sahip olmasıdır.

Literatür çalışmalarında görüldüğü gibi, polidimetil siloksan içerisine katılan SWCNT kompozitlerin proton radyasyonlarına karşı performanslarının; saf PDMS ve alüminyum örnekleriyle kıyaslandığı ve 105 MeV enerji değerinde sırasıyla %3.11 ve %20.91 oranlarında ağırlık avantajı sağladığı tesbit edilmiştir.

X ve Ku bant (8.2-18 GHz) aralığında bütül kauçuk-SWCNT (%0-%8) kompozitlerinin zırhlama özelliklerinin incelendiği ve %8 SWCNT takviyeli kompozitin 9-12 GHz aralığında etkin bir zırhlama özelliği gösterdiği belirlenmiştir.

Elde edilen veriler ışığında nanomateryallerin eklenmesiyle polimerik malzemelerin iyonize radyasyonları zırhlama özelliklerini iyileştirdiği söylenebilmektedir.

Toplam zırhlama etkinliğinin ise, takviye edilen polimerik malzemelerin kalınlıklarının artmasıyla arttığı görülmektedir.

Polimerik yapıdaki takviye malzemelerinin kalınlıkları arttığında madde radyasyon etkileşiminde geleneksel dalga emme mekanizmasının daha verimli gerçekleştiği görülmektedir. Radyasyon zırhlama etkinliğinin yanında hafiflik ve mekanik özelliklerinden dolayı polimerik malzemelerin konuya katkısının göz önüne alınması gerektiği görülmektedir.

Umut vadeden sonuçlar, zırhlama uygulamalarında polimerik malzeme kullanımının gelişime son derece açık bir konu olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] International Atomic Energy Agency (<https://www.iaea.org>)
- [2] World Nuclear Association (<https://world-nuclear.org>)
- [3] U.S. Environmental Protection Agency (<https://www.epa.gov/radiation/radiation-basics>)
- [4] Britannica (<https://www.britannica.com/science/radiation/Matter-rays>)
- [5] U.S. Nuclear Regulatory Commission (<https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/radiation-basics.html>)
- [6] The European Commission Radiation Protection (RP) Series Publication
(https://ec.europa.eu/energy/topics/nuclear-energy/radiation-protection/scientific-seminars-and-publications/radiation-protection-publications_en)
- [7] Sürücü , A. M., Subasi, S. Nanomateryallerin Kompozit Malzemelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi
Cilt: 8, No: 1, 2021 (182-194)

10.BÖLÜM

NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLER VE RADYASYON GÜVENLİĞİ

Prof. Dr. Nilgün BAYDOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı,

Ayazağa Kampüsü, Maslak, 34469, İstanbul, Türkiye

dogannil@itu.edu.tr

10.1. GİRİŞ

Nanometre ölçekli yapıların analiziyle , nanometre boyutundaki yapıların fiziksel özelliklerinin incelenmesi, nanoteknoloji, maddenin atomik, moleküler ve supramoleküler seviyede kontrolünü içermesi bakımından önem kazanmaktadır. Nanometre boyutunda yapıların karakteristik özelliklerinin anlaşılması, makroölçek ürünlerin imalatı için atomların ve moleküllerin kontrolünü sağlayabilmektedir [1-3].

Nano ölçekli işlemlerle oluşturulan malzeme ve cihazlar, farklı ve üstün malzeme özellikleri ile üretim süreçlerinin geliştirilmesini etkilemiştir.

Nanobiyoteknoloji, nanoparçacık bilimi ve mühendisliği amaçlı nano ölçekli üretimi faaliyetlerinde kullanılan yöntemler, nanoteknolojik ürünlerin, daha dayanıklı, daha hafif, daha hızlı yapıların, daha az malzeme ve daha az enerji kullanımı ile elde edilmesine imkan vermektedir [3-6].

Fizik, kimya, biyoloji, malzeme bilimi, tıp, eczacılık, elektrik – elektronik bilgisayar teknolojisi başta olmak üzere, nanoteknolojiyi içeren bilimsel alanlardaki son yıllarda gelişmeler sağlanmıştır. Nanoteknolojik uygulamalarla, malzeme ve imalat sektörünü içeren, elektrik ve bilgisayar teknolojileri, tıp ve sağlık sektörü, havacılık ve uzay araştırmaları, çevre ve enerji,

savunma, biyoteknoloji, tarım ve gıda gibi, nanoteknolojiyi içeren endüstriyel alanların gelişmesi desteklenmektedir [1-5].

10.2. NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLERİN RADYASYON SAHASINDA KULLANIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Nanoteknolojik uygulamaları içeren ürünler başlıca, bilgisayar, tablet, gözlük, telefon ekranları, kamera lensleri, cam yüzeylerde toz veya su tutmayan, yansıma önleyici, kendisini temizleme özelliği olan ürünler, ultraviyole korumalı ve buhardan etkilenmeyen ürünler, çizilmeye karşı dayanıklı olan ürünler, medikal ürünleri içermektedir. Bu nanoteknoloji ürünler, farklı radyasyon sahalarında kullanımı mümkün olabilecek şekilde geliştirilen, endüstriyel ürünleri içermektedir [7-9].

Bu amaçla nanoteknolojik ürünleri kullanmayı hedefleyerek, nanoteknolojide AR-GE yapan farklı ülkelerdeki çok uluslu başlıca şirketler dikkate alındığında, AB Ülkeleri (Philips, Siemens, Bayer, Henkel, Degussa, Thompson CSF ve Air Liquide), ABD (Dow Chemical, Mobil, Hewlet Packard, IBM, Chevvon, Dupont), Japonya (Fuji, Hewlet-Packard Japan, Hitachi, Mitsubishi, NEC ve Sony), Rusya (Büyük merkez laboratuvarlarında) gibi ileri teknolojik araştırmalar yapan ülkelerin, nanoteknolojik gelişmelerde, ileri mesafeler aldığı görülmektedir.

Türkiye’de, nanoteknoloji alanındaki gelişmeler ve araştırmaların sağlanmasında, Avrupa Birliği’nin 6. Çerçeve Programı kapsamındaki nanoteknoloji araştırmaları, bu çalışmalara ivme kazandırmış bulunmaktadır. Bu amaçla, nanoteknolojik uygulamalar, TÜBİTAK tarafından hazırlanan Vizyon 2023 Programı’na öncelikli alanlardan biri olarak alınmış bulunmaktadır [1-10].

10.3. RADYOLOJİK AMAÇLI KULLANIMA UYGUN NANOTEKNOLOJİ ÜRÜNLERİ

Radyasyona dirençli ürünlerin oluşturulması, bu ürünlerin radyasyon hasarına uğramadan uzun süre, radyasyon sahasında kullanımına imkan vermektedir. Radyasyon sahasında kullanılan cihaz ve sistemleri içeren, radyasyona dirençli nanoteknolojik ürünler, endüstriyel ve tıbbi alanlardaki radyasyon sahasındaki çalışmaları içeren ürünlerdir. Nanoteknolojik ürünlerin, IAEA mevzuatındaki, radyasyon güvenliğini ve radyasyondan korunma şartlarını sağlayabilecek niteliklerde, üretilmesi gereklilik arz etmektedir. Radyasyondan koruyucu nanoteknolojik düzenekler, radyasyon sahasındaki ekipmanlarda soğurulan radyasyon miktarını sınırlamaya daha etkin yardımcı olmaktadır [2, 9-10].

Radyasyon sahadaki görev yapan personel üzerinde kullanılan nanoteknolojik hafif malzemeler arasında film, köpük ve elyaflar sayılabilmektedir. Hafif malzemelerin farklı katkı elementleri ile sentezlenmesi, sahada kullanımı etkin ve pratik nanoteknolojik koruyucu zırh malzemelerin gelişimine destektedir [2, 9-10].

Radyasyona duyarlı cihazların geliştirilmesindeki en etkin parameterler, radyasyon sahasındaki işin (ortamdaki radyasyon tipi, bu ortamda kullanılması mümkün malzeme cinsi ve boyutları) doğru tanımlanabilmesine bağlıdır. Tıp uzmanları, röntgen cihazlarındaki tıbbi görüntülemede hassas görüntü oluşturan, nanoyapılı ürünleri etkin olarak kullanmaktadır. Radyasyon sahası çalışanları için, radyasyon kumanda masası ve radyasyon üreten cihazlar arasında iletişim kurabilen, IoT uygulamalarına uygun nanoteknolojik ürünlerle geliştirilmiş radyasyona duyarlı uyarı cihazları günümüzde daha yaygın bir şekilde tasarlanmaktadır. Böylece, radyasyon sahası çalışanlarının, radyasyon yayan cihazlarla çalışırken, radyasyon seviyesini kontrol edeceği radyasyon seviyesi ölçüm cihazı kullanması radyasyonun olumsuz etkilerinin elimine edilmesinde daha etkin olmaktadır [2].

Nükleer güvenlik sorunlarının etkin bir şekilde çözümünde, nanoteknolojik malzemelerin kullanıldığı uygulamalar, radyasyon güvenliği ve radyasyon sahası çalışmalarında giderek daha fazla önem arz etmektedir. Radyasyondan koruyucu tabakaların, koruyucu sistem ve cihazların kullanılması ve radyoaktif atıklarda uygun nanoteknolojik malzemelerin, güvenli bir ortam oluşturmak amacıyla kullanılması, daha yaşanabilir bir çevrenin oluşturulmasında anahtar çözümler içermektedir. Nanoteknolojinin atıklarda daha etkin kullanımı, yaşadığımız çevrenin zarar görme olasılığını azaltmaktadır [9-10].

Sağlık fizikçileri, radyasyon güvenliği görevlileri, dozimetristler, radyasyon işçiler, radyasyon sahasındaki yöneticiler ve organizasyonu sağlayanlar için operasyonel nanoteknolojik gelişmeler, radyasyon güvenliği açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Radyasyon güvenliğinin etkin sağlanmasında, nanopartiküllerin, aktinitlerin ultra ince aerosollerinin ve atmosferik testlerde kullanılan aerosollerin nanoteknolojik uygulamaları mevcuttur. Sentezlenen nanopartiküllerin, atmosferik olayları (yağış, sis vb.) düzenlemekte etkin olabileceği görülmektedir [2, 9].

Radyoaktif nanomalzemeler ve radyasyon içeren nanoteknoloji uygulamalarıyla, yeterli radyasyon güvenliğini sağlamak mümkün olabilmektedir. Geleneksel sağlık fiziği uygulamalarında nanoteknolojik ürünlerle analizlerin yapılmasını sağlanabilirken, daha etkin radyasyon güvenliği uygulamaları, geliştirilen nanoteknolojik ürünlerle halen devam etmektedir. Kontaminasyon kontrolü, mühendislik ve idari kontroller, solunum korunması dahil kişisel koruyucu ekipmanlarda nanoteknolojinin etkin kullanımını, atık bertarafı amaçlı acil müdahaleyi mümkün kılmaktadır. Sağlık fiziğinde, radyoaktif nanopartiküllerin biyolojik alımı ve in vivo çözünmesi veya translokasyonundaki olası farklılıkların tespiti, mikrometre boyutundaki partiküllerle karşılaştırıldığında, doz hesaplama yöntemlerinin tasarımı ve yürütülmesini etkin bilgi ve sonuç sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Nanopartiküllerin, kimyasal ve fiziksel özellikleri birlikte ele alındığında, çok faktörlü biyolojik etkilerle,

potansiyel radyasyon etkisini daha etkin tanımlamak mümkün olmaktadır. Radyobiyojideki, nanoteknolojik uygulamaları içeren modellerde kullanılan parametreler: solunum yolu ve sistemik biyolojik modellerde nanometre boyutundaki parçacıkların nasıl ele alındığını ve risk altındaki hücreler ve dokulardaki etkinliği daha detaylı tanımlamaktadır [2, 9-10].

10.4. RADYOLOJİK VE NÜKLEER MADDELERİN TESPİTİNDE NANOTEKNOLOJİYİ İÇEREN ÇÖZÜMLER

Radyolojik ve nükleer maddelerin tespiti, hassas ölçümler yapabilecek nanoteknolojik cihazların geliştirilmesini içeren önemli teknik konular arasındadır. Mevcut dedektör teknolojileriyle yüksek hassasiyetler elde edilebilmektedir. Ancak, bu klasik dedektör sistemleri genellikle hacimli ve pahalı cihaz ve düzenekleri içermektedir. Nano ölçekli malzemeler radyasyonu tespit etmek için büyük potansiyele sahip olup, mevcutların yerini almaya aday gösterilmektedir. Nanoyapılı malzemeleri içeren tek kristal dedektörlerle gama ışınlarının tespiti ve ışığı güçlendirmek için sintilatörlerde nanoyapılı malzemelerin giderek daha fazla kullanıldığı görülmektedir [2, 9-10].

Radyolojik görüntüleme tekniklerinde ve yüksek sayım oranlarında, nanotel dizilerini/demetlerini içeren dedektör sistemlerinin daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Gama radyasyonunun ölçümünde kullanılan, yüksek çözünürlüklü germanyum dedektörleri, çok düşük sıcaklıkta çalıştırılabilmektedir.

Radyasyona duyarlı ve oda sıcaklığında çalışabilen nanomalzemelere dayalı, alternatif taşınabilir çözümler oluşturulması çalışmaları ilgi çekici konular arasındadır. Radyolojik ölçümlerin, laboratuvar dışında hızlı bir şekilde yapılması gereken durumlarda, nanopartikül takviyeli cihaz ve sistemlerin kullanımı, etkin sonuçlar elde edilmesini mümkün hale getirmektedir [9-10].

10. 5. RADYASYON SAHASINDA HIZLI KARAR MEKANİZMASININ OLUŞTURULMASINDA NANOYAPILI MALZEMELERİN ÖNEMİ

Manyetik nanopartiküller düşük seviyeli radyoaktif kontaminasyon içeren malzemeyi soğurabilme kapasitesine sahiptir. Örneğin, radyoaktif sezyum atomlarını soğurabilen nano manyetit kompozit parçacıklar, bu durumda önem taşıyabilmektedir. Nano yapıli moleküller (örn.sodyum titanat) stronsiyum (beta radyasyon kaynağı) iyonlarını seçici olarak uzaklaştırabilmektedir [2, 9-10].

Radyolojik veya nükleer kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılması veya etkisiz hale getirilmesinde nanoteknolojiyi içeren çeşitli çözümler mevcuttur. Bu çözüm önerilerini içeren ürünlerin bir kısmı ticarileştirilmiş, bir kısmı ticarileştirilme ve bir kısmı ise araştırma aşamasındadır [2, 9-10]. Bunlar;

- a) Spektrometri teknikleri (Ön-ticari aşama: Ar-Ge hizmetlerini içeren talep yönlü inovasyon içermektedir.) .
- b) Süper soğurucu polimer jeller (Ön-ticari aşama: Ar-Ge hizmetlerini içeren talep yönlü inovasyon içermektedir.)
- c) Biobozunabilir nanoküreler (Ön-ticari aşama: Ar-Ge hizmetlerini içeren talep yönlü inovasyon içermektedir.)
- d) Nano ölçekteki manyetik soğrucular (Araştırma aşaması)
- e) Nanoyapılı sodyum titanat (hidrojel yapılar, katot tabakalar) (Araştırma aşaması).

10.6. SONUÇ

Gelişen nanoteknolojik uygulamalar ile geceğe yönelik nanoteknolojik bilgi altyapısının daha detaylı oluşturulmasını desteklemektedir. Böylece,

- Hangi önemli bilgilerin doğrudan ana parametre olduğunun belirlenmesi ve

- Verilerin nasıl toplanacağı, doğrulanacağı, depolanacağı, paylaşılacağı, veri madenciliği, analiz edilmesi, modellenmesi ve uygulanması

konularında, nanoteknoloji malzemelerin gelişimi hız kazanmış durumdadır. Bu durum, radyasyon sahasında, Sanayi 4.0' a uygun nanoteknolojik ürünlerin kullanımına destek vermektedir. Böylece, nanoteknolojik ürünlerin nükleer güvenlik alanındaki çalışmalarda etkin kullanımı mümkün olabilecektir.

Kaynaklar

- [1] H. Tugral Arslan, C. Arslan, N. Baydogan, (2021), The effects of the curing parameters of the hydrothermal solution on the characteristic properties of ZnO nanowires, Journal of Optics, <https://doi.org/10.1007/s12596-021-00757-0>
- [2] T. Bel, M. Muhammettursun, E. Kocacinar, E. Erman, F.B. Gul, E. Dogan, M. Celep, N. Baydogan, (2021), Improvement of Thermal Stability and Gamma-ray Absorption in Microwave Absorbable Poly (methyl methacrylate)/Graphene Nanoplatelets Nanocomposite, Journal: Journal of Applied Polymer Science, DOI: 10.1002/app.50897, 2021.
- [3] M. Muhammettursun, T. Bel, E. Kocacinar, E. Erman, F. B. Gul, A. T. Augousti and N. Baydogan, (2021), "Investigation of the Elastic Properties of Poly (methyl methacrylate) Reinforced with Graphene Nanoplates," Journal of Applied Polymer Science, DOI: 10.1002/app.20203364 2021.
- [4] Elif KOCACINAR,, Nilgun BAYDOGAN, Synthesis of Poly(Methyl Methacrylate) Reinforced by Graphene Nanoplates, Key Engineering Materials ISSN: 1662-9795, Vol. 897, pp 63-70 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.897.63
- [5] Arslan, Tugral H.; Arslan, C.; Baydogan, N., Effect of Hydrothermal Solutions on Optical and Electrical Properties of ZnO Nanowires Grown on a ZnO:Al Seed Layer for Improved

Mechanical Performance, Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, Volume 15, Number 3, pp. 307-315(9), 2020.

[6] N. Baydogan, D. Abayli, The variations of hydrophilic self-cleaning properties and refractive index dependence in the ZrO₂ thin films by gamma irradiation, Characterization and Application of Nanomaterials, Vol.1, EnPress Publisher, DOI: <http://dx.doi.org/10.24294/can.v0i0.627>, 2018.

[7] Tayfun Bel, Cüneyt Arslan, Nilgün Baydoğan, Production of PMMA / Microsphere / Montmorillonite Nanocomposite, PMMA/Microsphere/Halloysite Nanocomposite by Atom Transfer Radical Polymerization Technique and Comparison of Mechanical Properties, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, ID: 5000213733, DOI: <https://doi.or/> pp. 1-18, 2019.

[8] Utku Canci Matur and Nilgun Baydogan, Sol–Gel Derived Cu(In,Ga)Se₂ Thin Film Solar Cell, Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 12, 352–358 (2017).

[9] N. Baydogan, O. Ozdemir, H. Cimenoglu, (2013), The improvement in the electrical properties of nanospherical ZnO:Al thin film exposed to irradiation using a Co-60 radioisotope, Radiation Physics and Chemistry, 89, 20–27.

[10] L. Sepet, N. Baydogan, H. Cimenoglu, E. S. Kayali, A.B. Tugrul, N. Altinsoy, G. Albayrak, H. Sengel, F. Akmaz, A. Parlar, (2011), Electromagnetic Radiation Effect on ZnO Nanocrystallites, Defect and Diffusion Forum, Vols. 312-315, pp 836-841, Indexed: Engineering Index (Compendex).

11. BÖLÜM

RADYOLOJİK MALZEMELERDE KALİTE VE RADYASYON HASARININ ÖNLENMESİNDE STANDARDİZASYONUN SAĞLANMASININ ÖNEMİ

Prof. Dr. Nilgün BAYDOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı,

Ayazağa Kampüsü, Maslak, 34469, İstanbul, Türkiye

dogannil@itu.edu.tr

11.1. GİRİŞ

Radyolojik maddelerde kalite kriterlerini sağlamak hataları, riskleri minimize ederek, radyolojik ürünlerde güveni sağlamaktadır. Radyolojik ürünlerde kalitenin sağlanması, bu ürünlerin, kullanılması istenen radyolojik uygulama sahasına veya programına, kolaylıkla adapte edilmesini amaçlar. Bu ürünlerde kalitenin sağlanması, radyolojik güvenlik önlemlerinin sağlanmasını desteklemekte ve radyolojik ürünlerin ihtiyaçları karşılama kabiliyetini kolaylaştırmaktadır. Radyolojik malzemelerde, kalitenin sağlanmasıyla, verimliliğin artırılmasıyla mümkün olmakta, radyolojik ürünlerin etkin ve tatmin edici sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Ancak, radyolojik ürünlerde kalitenin sağlanması, yatırım yapılmasını gerektiren bir süreçtir [1-5].

11.2. RADYOLOJİK ÜRÜNLERDE KALİTENİN SAĞLANMASI VE ÖNEMİ

Radyolojik ürünlerde kalite kavramının gelişmesinde, Deming ve Juran'ın görüşleri önem taşımaktadır. Deming'e göre kalite, ihtiyaçları tatmin edebilme kapasitesi olup, radyolojik ürünlerdeki kalite kavramının oluşmasına bir ivme kazandırmıştır. Juran'a göre kalite,

kullanıma uygunluk olup, (kalite üçlemesi olarak adlandırılan) kalite konusundaki üç yönetim sürecini tanımlamıştır. Bu yönetim süreçleri; kalite planlama, kalite kontrol ve kalite geliştirme olup, radyolojik ürünlerdeki radyasyon güvenliğinin sağlanması, kalitenin temin edilmesi ve mükemmel ürünlerin oluşması bu süreçlere uyularak sağlanabilmektedir. TSE; radyolojik ürün ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama yeteneğine dayanan özelliklerinin toplamı olarak, bu ürünlerdeki kalitenin temin edilmesini tanımlamaktadır. Amerikan Kalite Kontrol Derneği; radyolojik ürünlerdeki ihtiyaç duyulan gerekliliği karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümü olarak, bu ürünlerdeki kaliteyi tanımlamaktadır. Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu; radyolojik ürünlerde kullanıcının isteklerine uygunluk derecesi olarak bu ürünlerde kaliteyi tanımlamaktadır [1-3]. Radyolojik ürünlerin kalitesinde istenilenler; bu isteklere ulaşmak için yapılan uygulamalardaki, kusursuzluk arayışına sistemli bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Kaliteli radyolojik ürünlerin alımı düşüncesi, bunu kullananların bir yargısı olup, bu ürünlerin alımında, kalite; beklentiler ve gereksinimlerin karşılanmasına olan inançların ölçüsünü belirlemektedir [4-5].

11.3. RADYOLOJİK ÜRÜNLERDE STANDARDİZASYON

Radyolojik ürünlerde standardizasyonun sağlanmasıyla, radyolojik araştırmalardaki bulunanların ekonomik olarak belirli kurallar çerçevesinde yapılabilmektedir. Radyolojik ürünlerdeki standartların oluşturulmasıyla, uygulanan mevzuatta bir örneklik sağlanmaktadır. Radyolojik ürünlerde standartların sağlanması; radyolojik ürünlerin oluşturulmasında, analizlerde, ölçme ve deneylerde bir örneklikliğin oluşmasını sağlamaktadır. Radyolojik ürünlerde standardizasyonun oluşması; yapılan faaliyetlerin, ekonomik faydalar sağlanmasına imkan vermektedir. Bu durum, belirli kuralların koyulması ve bu kuralların uygulanmasıyla sağlanabilmektedir. Standardizasyon birliğinin sağlanması, daha sağlıklı toplumların

oluşmasını güçlendirmektedir. Radyolojik ürünlerde standardizasyonun sağlanması, radyasyon bilim ve teknolojisini ilgilendiren, bilimsel ve endüstriyel sahalarda, eğitim kalitesini ve hizmet kalitesini aynı seviyede sürdürmekle mümkündür. İlk yıllarda, organizasyonların birbirinden bağımsız çalışması durumdan dolayı birbiri ile çakışan standartlar üretilmiştir. Organizasyonlar çalışmalarını paralel hale getirerek ve yakın çalışarak, günümüzde birbirleriyle uyumlu standartlar üretmeyi sağlamaktadır. Radyolojik ürünlerde standartın sağlanması; ilgili olduğu standartta belirtilen özelliklerdeki üretim parametrelerine uygun olacak şekilde üretimin sağlandığını belirtmektedir. Kalite sistem standartı, radyolojik ürünler üreten firmaların ürünlerinin standartlardaki, gerekliliklere uygunluğunu sağlamak için, kalite yönetimini izlemeye fırsat bulabilmektedir [1-5].

11.4. RADYASYON HASARININ ÖNLENMESİNDE STANDARDİZASYONUN SAĞLANMASININ ÖNEMİ

Radyolon sahasındaki uygulanan standartların başlıca amacı, işgücü, malzeme, güç kaynakları vb. faktörlerden en yüksek seviyede tasarruf sağlamaktır. Böylece, tatmin edici kalitede, ürün ve hizmet üretimini sağlayarak, kullananların çıkarlarını gözetmek mümkün olmaktadır. İnsan hayatının sağlık ve güvenliğini korumak, radyolojik ürünler ve nükleer teknoloji sahalarında çalışan multidisiplinler arasındaki grupların birbirleri ile olan bilgi alışverişini ve anlaşmalarını kolaylaştırmak, radyasyon sahasındaki uygulanan standartların başlıca amaçları arasında yer almaktadır [1-5].

Radyolojik ürünlerde standardizasyonun sağlanmasının üç önemli faydası mevcuttur. Bunlar;

- 1)Ekonomiye olan yararları
- 2)Üreticiye olan yararları
- 3)Tüketiciye olan yararları

olarak tanımlanmaktadır. Böylece, bu konudaki ürün üretmeye yeterli olduklarının uluslararası kabul görmüş olduklarını belgelendirmek mümkün olabilmektedir.

11.5. SONUÇ

Radyolojik ürünlerin, teknik kriterlere göre değerlendirilerek onaylanması, belgelendirilmesi ve aynı kalitede devamının sağlanması faaliyetleri sayesinde radyolojik malzemelerde hizmete uygun kriterlerin temin edilmesi mümkün olmaktadır. Radyolojik malzemelerde radyasyon hasarı sebep ve sonuçları bir arada değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Malzemede oluşan radyasyon hasarının başlıca sebepleri; epitermal ve termal nötronlar ile malzemedeki atomun çekirdeğinin çarpışması sonucu atomun yerdeğiştirmesi, mutasyon zararı (He ve H), ısıl gerilmeler, kimyasal yıpranma sayılabilmektedir. Böylece malzemede oluşan radyasyon hasarı sonuçlarını ise başlıca; boyutsal kararsızlık sonucu gerilme altında sürünme, gerilmenin olmadığı durumdaki akma, süneklikte düşüş, sürünme ömründe azalma ve daha düşük kırılma tokluğu olarak ifade edilebilir.

Kaynaklar

[1] Utku Canci Matur, Nilgun Baydogan, Changes in gamma attenuation behaviour of sol-gel derived CIGS thin film irradiated using Co-60 radioisotope, Journal of Alloys and Compounds, Volume 695, 25 February 2017, Pages 1405-1413 (2016)

[2] Zaim, N; Tugrul, AB; Atlas, H; Buyuk, B; Demir, E; Baydogan, N;

Altinsoy, N, Investigation of Natural Radioactivity of Surface Soil Samples in the Vicinity of Edirne-Turkey, ACTA PHYSICA POLONICA A, Volume: 130 Issue: 1 Pages: 64-67, (2016)

[3] N. Baydogan, O. Ozdemir, H. Cimenoglu, (2013), The improvement in the electrical properties of nanospherical ZnO:Al thin film exposed to irradiation using a Co-60 radioisotope, Radiation Physics and Chemistry, 89, 20–27.

- [4] N. Baydogan, T. Yasar, A.B. Tugrul, H. Cimenoglu, (2013), Flaw Detection of Welded Joints Using Radiographic Examination, International Journal of Sciences (IJAS), (2013), ISSN: 21656282, Vol. 2, Iss. (2), pp. 391–396, Indexed: WorldCat.
- [5] A. F.Baytaş, A.B. Tugrul, N. Baydogan, N. Altinsoy, S. Hacıyakupoglu, B. Buyuk, E.Demir, (2013), Investigation of Salt Diffusion in Soil by Using Radiotracer Technique, Defect and Diffusion Forum, Vols. 334-335 pp 274-278.

12.BÖLÜM
MEDİKAL UYGULAMALARDA KULLANILAN POLİMERİK
BİYOMALZEMELERİN RADYASYON GÜVENLİĞİ
KAPSAMINDA RADYASYON TRANSMİSYON TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

Dr. Türkan DOĞAN

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknolojisi Anabilim Dalı,

Ayazağa Kampüsü, Maslak, 34469, İstanbul, Türkiye

tdogan@itu.edu.tr

12.1. POLİMERİK MALZEMELER

Endüstriyel alanda bir çok malzeme mevcuttur ve bunlara her yıl yenileri eklenmektedir. Bu malzemeler, malzeme bilimindeki önemli gelişmelerden yararlanılarak atomlar arası bağ türlerine dayandırılarak üç gruba ayrılır:

a) metaller b) seramikler c) polimerler (plastikler)

Polimerlere, organik malzemeler veya reçineler de denmektedir, çünkü bileşimdeki temel element C (karbon) ana elementtir C atomları birbirine zincirli kovalent bağlarla bağlı polimerlerin omurgasını oluşturur.

Polimerler, genellikle metalik olmayan elementlerin kovalent bağlarını içeren malzemelerdir.

Yaklaşık 3100 MPa çekme mukavemetine sahip C lifleri, en yüksek mukavemetli malzemelerden biri olarak kabul edilir.

Polimerler, esnek malzemelerin gerekli olduğu radyasyona bağlı çok çeşitli uygulamalarda, polimerik malzemelerde radyoizotopların etkili bir şekilde kullanılabilmesine imkan sağlamaları bakımından önemli role sahiptirler [1].

Bu malzemeler biyomedikal ürünler, biyouyumlu malzemeler gibi çeşitli uygulama alanlarında ve güneş pili teknolojileri, havacılık ve uzay uygulamaları ve esnek organik elektronik cihazlar gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya uygundur. Esnek polimerler, polimerik malzemelerde etkili kullanım sağladıkları için birçok uygulamada önemli bir rol oynarlar. Yüksek performanslı polimerlerin verimli hale getirilmesi ve geliştirilmesi, radyoizotop içeren radyofarmasötiklerin ilaçlarda, teşhislerde ve tıbbi ürünlerde kullanılmasını sağlar.

C zincirlerine bağlı yan atomların en önemlisi hidrojenidir. C atomuna ek olarak, genellikle H'dir ve bazıları Cl (Klorür), F (Florür), O (Oksijen), N (Azot) ve S (Sülfür) içerebilmektedir.

Cl, F, N, O ve S gibi yan atomların tipine ve dizilişine bağlı olarak yüzlerce yapısal polimer türü geliştirilmiştir. Bu nedenle polimerler büyük moleküllerden oluşan maddelerdir.

Polimer moleküllerini oluşturmak için kimyasal bağlarla bağlanan küçük moleküllere monomer denilmektedir.

Monomer adı verilen moleküler birimler, çok sayıda tekrarlanarak, kovalent bağlar ile birbirlerine eklenerek çok büyük dev moleküllere dönüştürülür. Böylece, büyük dev moleküllü katı hal polimerleri elde edilmektedir.

Makromolekül adı verilen bir polimer molekülünde, bu yapısal birimlerin yüzlerce, binlerce, bazen daha fazlası birbirine bağlıdır.

12.1.1. Polimerlerin Tarihsel Gelişim Süreci

Staudinger ilk kez polistiren ve polioksimetilen için formüller oluşturdu ve Staudinger teorisi önemli çalışmaların başlangıcı oldu.

Dupont laboratuvarları tarafından başlatılan Carothers tarafından polikondenzasyonların araştırılması tamamlandı.

Polidimetilsiloksanın ilk sentezi General Electric Company'de yapıldı.

Bayer tarafından II. Dünya Savaşı'nda, poliüretanlar tanımlanmıştır; çapraz bağlamanın esnekliği arttırdığı bulundu. II. Dünya Savaşı sırasında radar kablolarının izolasyonunda polietilen kullanılmıştır.

1950'lerde çok yüksek moleküler ağırlıklı polipeptitler üretilmeye başlandı.

Dupont firmasının patentleri, yüksek derecede elastik polimerlerin, kristalleşmemiş yumuşak ve kristalleşebilir sert polimerlerin bileşimleri çapraz bağlanmadan elde edilebileceğini gösterdi. Polimerik malzemelerin kimyası, fiziksel kimyası ve teknolojisi özellikle 20. yüzyılın sonlarına doğru ve 21. yüzyılın başlarına doğru büyük gelişmeler göstermiştir. Özellikle yüksek teknoloji malzemeler olarak tanımlanan mühendislik plastikleri, polimerik karışımlar ve elastomerler üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır [2].

Yüksek teknoloji malzemelerin mühendislik uygulamaları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Sentetik polimerler olarak bilinen sentetik elyaflar (lifler), plastikler ve sentetik kauçuklar (elastomerler), endüstride çok çeşitli uygulamalardır.

12.1.2. Kopolimerizasyon

Monomer birimlerinden başlayarak polimer moleküllerine dönüşen reaksiyonlara polimerizasyon reaksiyonları denilmektedir.

Kopolimerizasyon, aynı polimer zincirinde farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip iki yapının bağlanması sırasında istenilen özelliklere sahip yeni malzemelerin üretilmesini sağlayan en önemli ve başarılı polimerizasyon reaksiyon türlerinden biridir.

Bu yöntem kullanılarak daha fazla hareket serbestliği ile istenilen özelliklerde polimerik bir ürün tasarlan ve hazırlanabilir. Polimere giren monomerlerin nispi miktarları değiştirilebildiğinden, neredeyse sınırsız sayıda farklı polimer yapmak mümkündür. Reaksiyona giren bileşenlerden ikinci veya üçüncü bileşenlerin miktarlarını değiştirerek plastik özelliklerden elastomer özelliklere dönüşen üretimler de mümkündür.

12.2. POLİ (İMİD SİLOKSAN) (PIS) KOPOLİMERLERİN SENTEZİ

Yapının esnek formu, ODA artırılarak ve APPS azaltılarak değiştirildi ve ayarlandı. Esnek poli(imid siloksan) blok kopolimerleri bu teknikle üretildi. Böylece, yeni poli(imid siloksan), diaminler ve aromatik dianhidritler olarak aminopropil sonlandırılmış silokсандan üretildi.

ODA (4,4'-oksdianilin) ve BTDA (benzofenon -3 3'-4 4'-tetrakarboksilik dianhidrit) sert (blok) segmentlerdir, APPS ve BTDA yumuşak (blok) segmentlerdir.

Polimid sert bloğu oluşturmak için APPS ile ODA kullanıldı; polisiloksan yumuşak blok örnekleri APPS ve BTDA kullanılarak sentezlendi.

Böylece poli(imid siloksan) blok kopolimer örnekleri APPS ve BTDA ile ODA kullanılarak sentezlendi.



Şekil 4. Poli (imid siloksan) (PIS) kopolimerlerin Sentezi



Şekil 5. Poli (imid siloksan) (PIS) kopolimerlerin sentezi

12.3 SONUÇ

Polidimetilsiloksan monomeri ve aromatik anhidrit bileşiği reaksiyona sokularak yüksek sıcaklığa dayanıklı poliimid bileşiği (poli(imid siloksan) elde edilebilmektedir.

Poli(imid siloksan) yapı, poli(imid siloksan) tozlarından esnek yapı ve peletlenmiş form olmak üzere iki farklı biçimde üretildi; daha sonra üretilen yapıların radyasyon koruma performansındaki farklılıklar karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir.

Kanser tedavilerinde, özellikle radyasyon tedavisinde kullanılan kanser ilaçlarının radyasyona maruz kalan vücutta etkinliğinden dolayı, bu ilaçlar yüksek radyasyon ve ısıya dayanıklı, nonpolar, hidrofobik, organik yapıya sahip oldukları için bu materyalde kapsüllenecek ve vücutta kanserli dokulara ulaşana kadar taşınacaktır.

Sonuç olarak, medikal uygulamalarda alternatif esnek ve hafif yapı olarak kullanılabilecek malzeme geliştirmek amacıyla yapılan bu çalışma ile poli(imid siloksan) blok kopolimer malzemenin, üstün özellikli, uzun süreli dayanıklılığa sahip yüksek standartlarda bir malzeme olarak medikal uygulamalarda kullanıma uygun olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Onaran, K. (2000). Material Science. (8th ed., pp.328-341). Science Technique Publication.
- [2] Baysal, B. (1994). Polymer Chemistry. (2nd ed., pp.1-12) Middle East Technical University, Science and Literature Faculty Publication. pp.1-12.
- [3] Dogan,T., Baydogan, N. and Koken, N. (2015). High performance randomly segmented poly (urethane siloxane) and poly(imide siloxane) copolymers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2221– 2227.
- [4] Boukharouba, T., Elboujdaini, M. and Pluvinae, G. (2009). Damage and Fracture Mechanics. Failure Analysis of Engineering Materials and Structures. Springer Netherlands.



© 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi