

## Temel Enerji Kaynağı Karbonsuz Yeni Nesil Nükleer Güç Santralleri NGS Üstünlükleri ve İyonlaştırıcı Radyasyon Teknolojileri Avantajları

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

Fizik Mühendisleri Odası FMO ([canguzel.taner@gmail.com](mailto:canguzel.taner@gmail.com))

Güneş sistemi içinde bulunan yaşanabilir yegâne mavi gezegen dünyanın geleceği açısından küresel yeşil, doğa dostu ve çevreci enerji üretim teknikleri kullanılması günümüz koşullarında elzem kabul edilmektedir. Yeryüzünün ısınması ve global iklim değişiklikleri mekanizmaları sorunları çözümü yönünde **Birleşmiş Milletler BM**, üye ülkeler nezdinde önemli çevre güvenliği çalışmaları yürütmektedir. Söz konusu uluslararası çevresel güvenlik faaliyetleri doğrultusunda öncelikle küresel sera gazı emisyonları miktarlarının sınırlandırılması gelmektedir. Global sera gazı emisyonları içinde özellikle küresel karbondioksit salınımları limitlenmesi önemiyet kazanmaktadır. Dünya elektrik üretimi görünümü, ne yazık ki, çok büyük oranlarda global fosil yakıtlı güç santralleri ünitelerine bağlı bir konumda bulunmaktadır. Fosil yakıtlar; kahverengi düşük kaliteli linyit, kömür, petrol ürünleri ve doğalgaz yakan termik santraller ise çevreye yoğun karbondioksit emisyonları salmaktadır. Karbondioksit salımları maalesef atmosferde yaklaşık 100 yıl kadar kalmaktadır. Küresel metan gazı emisyonları, karbondioksit salınımları miktarlarına kıyasla 25 kat daha zarar vermekte ve havada 10 yıl süre boyunca etkisini sürdürmektedir. Dünya karbondioksit konsantrasyonları artışları nedeni ortaya çıkan küresel sıcaklık artışları **1.5 derece santigrat** ile sınırlandırılması hedeflenmektedir. Sanayi devrimi ile birlikte günümüze kadar dünya ortalama sıcaklık değeri **1 derece santigrat** yükselmiştir. İnsanın normal vücut sıcaklığı **36.5 derece santigrat** olduğuna göre vücut ateşi **yarım derece santigrat** arttığı zaman kişiler rahatsız olmaktadır. Aynı zamanda Kuzey, Güney Kutupları ve Tibet Yaylası buzullarının erimesi ile birlikte dünya ağırlık merkezi değişime uğramaktadır. Böylece, global fay hatları tetiklenmesi ihtimaliyetleri ve küresel deprem olasılıkları artmaktadır. Neticede dünya tedavi edilmesi gereken hasta konumuna ulaşmıştır. Küresel karbondioksit konsantrasyonları **450 ppm** ile limitlenmesi sınır değer kabul edilmektedir. Şu anda global karbondioksit konsantrasyonları yaklaşık **420 ppm** değerine kadar erişmiştir. Söz konusu kötü tablonun önlenmesi için küresel karbonsuzlaştırma teknolojileri kapsamında baz yüklü karbonsuz yeni kuşak nükleer elektrik santralleri reaktörleri ile çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları **YEK** odaklı **rüzgar enerjisi santralleri RES** üniteleri, **güneş enerjisi santralleri GES** kompleksleri ve **hidroelektrik santraller HES** sistemleri ön plana çıkmaktadır. Diğer taraftan, karbonsuz güneş bazlı nükleer füzyon tepkimeleri kökenli inovatif termonükleer elektrik santralleri teknolojik araştırmaları olumlu yönde ilerleme kaydetmektedir. Ayrıca, fosil yakıtlı klasik karayolu taşıtları yerine şarj edilebilir akülü uzun menzilli evrimsel elektrikli araçlar kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Fosil yakıt yakan özellikle de otomobilleri çalıştıran içten yanmalı motor üretimleri 2035 yılından itibaren durdurulacaktır. Baz yüklü yeni kuşak doğalgaz kombine çevrim santralleri kompleksleri karbondioksit salınımları ise düşük kalorili linyit yakan termik santraller üniteleri karbon salımları miktarlarına nazaran daha az olmasına rağmen muhtemel gaz türbinleri patlamaları tehlikeleri, doğalgaz boru hatları metan gazı salımları ve sızıntıları riskleri kaygı uyandırmaktadır.

Gelecekte temel enerji kaynakları fosil yakıtlı termik santraller tamamen terk edildiği takdirde baz elektrik kaynağı olarak sadece karbonsuz yeni kuşak **nükleer güç santralleri NGS** işletilmesi sürdürülecektir. Karbonsuz çevreci **YEK** menşeli **RES**

üniteleri rüzgar esmediği sürece, **GES** kompleksleri güneş ışınları yüzünü göstermediği zaman ve **HES** sistemleri barajlarda yeterli su potansiyeli olmadığı periyotlar zarfında güç üretimi gerçekleştirememektedir. Ayrıca, **YEK** menşeli **RES** kompleksleri, **GES** panelleri ve **HES** üniteleri çok geniş bir sahada elektrik üretimi yapmaktadır. Baz enerji kaynağı **NGS** reaktörleri ise çok daha küçük bir sahada %90 gibi yüksek verimli olarak çalışmaktadır. Gerçekte nükleer güç reaktörleri %100 verimi olmasına rağmen %10 'luk bölümü nükleer reaktör kalbi soğutulması için kullanılmaktadır. Bir başka deyimle, 1000 **MW** kapasiteli nükleer güç santrali **NGS**, gerçekte enerji üretimi verimi son derece yüksek 900 **MW** elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Çevre dostu rüzgar enerjisi santralleri **RES** elektrik üretim verimi %35 ve güneş enerjisi santralleri **GES** panelleri güç üretimi verimi ise takribi %20 civarında seyretmektedir. Elektrik üretiminde kullanılan çeşitli yakıtların enerji eşdeğeri kilogram başına **megajul** olarak aşağıdaki tabloda verilmektedir. Doğal uranyum enerji eşdeğeri dev farkla dikkat çekmektedir. Bu durumda küresel fosil yakıt yakan elektrik santralleri kapatılması halinde inovasyona dayalı nükleer füzyon santralleri elektrik üretimleri devreye girinceye kadar dünyanın sürdürülebilir temel enerji kaynağı ihtiyacı karşılanması karbonsuz uranyum yakıtlı yeni nesil nükleer fisyon reaktörleri ve gelecekteki toryum kaynaklı evrimsel nükleer güç santralleri **NGS** sayesinde olası kabul edilmektedir.

Yakacak <b>odun</b> (Firewood)	<b>16 MJ/kg</b>
Kahverengi <b>Linyit</b> (Brown coal)	<b>9 MJ/kg</b>
Düşük kaliteli <b>kömür</b> (Black coal-low quality)	<b>15-23 MJ/kg</b>
Maden kömürü <b>antrasit</b> (Black coal-hard)	<b>24-30 MJ/kg</b>
<b>Doğalgaz</b> (Natural gas)	<b>38 MJ/kg</b>
<b>Ham petrol</b> (Crude oil)	<b>45-46 MJ/kg</b>
Nükleer reaktörlerde kullanılan <b>doğal uranyum</b>	<b>500000 MJ/kg</b>

Öte yandan, büyük kapasiteli klasik nükleer güç santrali üniteleri içeriğinde son kırk yıl zarfında üç adet nükleer yakıt erimesi (nuclear meltdown) kazaları vuku bulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri 1979 yılı Pensilvanya **Three Mile Island** nükleer santral kazası, 1986 Ukrayna **Chernobly (Çernobil)** nükleer güç santrali **NGS** felaketi ve 2011 Japonya **Fukushima Daiichi (Fukuşima Daiçi)** nükleer elektrik reaktörleri kazaları meydana gelmiştir. İlk iki konvansiyonel nükleer santral kazası nükleer teknolojik zafiyet, son Japon nükleer yakıt erimesi kazaları ise deprem ve tsunami süpürtü dalgaları tabii afetleri neticesi oluşmuştur. Mevzu bahis nükleer santral kazaları önlenmesi bağlamında küresel nükleer güvenlik ve radyasyon güvenliği mevzuatları ile nükleer santral kompleksleri lisanslandırılması ciddi dönüşüm süreci geçirmiştir. Diğer taraftan, inşaatları uzun süren çok büyük kapasiteli evrimsel nükleer santraller ilk yatırım maliyetleri yüksekliği ise **YEK** tabanlı **RES** ve **GES** kompleksleri rekabeti ortamını güçleştirmektedir. Bunun için daha kısa sürede faaliyete geçen aynı zamanda ilk yatırım maliyetleri düşük olan ileri küçük modüler reaktörler (Advanced **Small Modular Reactors - SMR**) yapımı ve mini nükleer santraller inşaatı ve yüzer nükleer güç santrali kurulması çalışmaları da giderek yaygınlaşmaktadır. Böylece, doğa dostu **YEK** odaklı **GES** ve **RES** üniteleri ile temel elektrik kaynağı karbonsuz yenilikçi nükleer enerji santralleri kompleksleri rekabet eder konuma gelmektedir.

**Nükleer güç santralleri NGS** gelişimi sürecine paralel olarak ilerleyen radyasyon teknolojileri uygulamaları ile insanlığın hizmetine çok ciddi katkılar sunulmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonlar teknolojileri çalışmaları **Gama Işınlama Tesisleri** ve

**Elektron Demeti** (electron beam) **Işınlama Cihazları** vasıtasıyla yürütülmektedir. **Gama Işınlama Tesisleri**, nükleer santraller ünitelerinin yüksek nötron akıları kanalıyla üretilen **kobalt - 60 (Co-60)** ve **sezyum - 137 (Cs-137)** yapay radyoaktif kaynakları ile çalışmaktadır. **Co-60** radyoaktif kaynağı 5 yıl yarı ömürlü, **Cs-137** radyasyon kaynağı 30 yıl yarı ömürlüdür. **Cs-137** daha yüksek yarı ömürlü olmasına karşın **Co-60** radyasyon kaynakları tercih edilmektedir. Toz halindeki **Cs-137** paslanmaz çelik (stainless steel) çubuklar içerisine yerleştirilmesine rağmen Amerika'da meydana gelen kazada radyoaktif kaynakların korunduğu havuz suyunda kolayca eriyen **Cs-137** radyasyon sızıntısı ile yaklaşık 50 ton suyun radyoaktif kontamine olması sonucu **sezyum -137** kaynaklı **Gama Işınlama Tesisi** tamamen kapatılmıştır. Seramik yapılı çift paslanmaz çelik kaplı çubuk içindeki **Co-60** radyoaktif kalemleri kontaminasyon riski olasılığı ise çok düşük düzeydedir. Ayrıca, **Co-60** kaynakları gama ışınları enerjisi **Cs-137** ye kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu için malzeme ışınlama süreleri de yarı yarıya düşmektedir. Bu durumda **Co-60** kullanan **Gama Işınlama Tesisleri** yoğun rağbet görmektedir. Küresel tek kullanımlık tıbbi malzemelerin endüstriyel sterilizasyonu işlemlerinde **ETO Tesisleri**, **Gama Işınlama** ve **Elektron Demeti Hızlandırıcısı Tesisleri** faaliyet göstermektedir.

**Etilen Oksit (EtO) Gazı Tesisi, Gama ve Elektron Demeti Tesisleri** Endüstriyel Parametreleri aşağıdaki tablolarda işaret edilmektedir.

Faktör	Kriterler	Ağırlık Puanı
1	Maliyet/Ekonomi	5
2	Çalışma Organizasyonu/Yetki	3
3	Otoritenin Talebi/Çevre	5
4	Kamuoyu Görüşü	5
5	Üretim	4
6	Bakım	4
7	İşlem Güvenilirliği	5
8	Tedarik Durumu, Arz	4
9	Güvenliği	4
10	Sterilizasyon (Giricilik) Ürün Seçiminde Serbestlik	5

Faktör	EtO	Gama	Elektron Demeti
1	3	3	5
2	3	1	2
3	1	3	4
4	2	1	5
5	2	5	5
6	3	3	2
7	3	5	4
8	2	3	4
9	1	5	4
10	4	2	2

Tesis maliyetleri, işletme, çevre, kamuoyu görüşü, üretim, bakım, işlem güvenilirliği, arz güvenliği, sterilite temini ve ürün seçimindeki serbestlik kriterleri faktörleri ayrı ayrı puanlandırılmıştır. Radyasyon giriciliği mükemmel olan **Co-60 Gama Kaynakları Işınlama Tesisleri** ve **Elektron Hızlandırıcıları Işınlama Tesisleri** sterilite temini perspektifi bağlamında performansları yüksekliği dikkat çekmektedir. Tablolardaki her faktörün değerlendirme sonucu toplam ağırlık puanları bazında sistemlerin hesaplanan performans değerlendirilmesi sonuçları; **ETO Tesis** 106, **Gama Işınlama Tesis** 137 ve **Elektron Demeti Işınlama Tesis** ise 166 olarak en yüksek puana ulaşmaktadır.

Diğer taraftan, gıda sektöründe ürünlerin korunması ve gıda maddeleri üzerinde gıda kaynaklı hastalıkların kontrolü için etkin bir yöntem olan gama ışınlama teknikleri, hızla artan dünya nüfusunun sağlıklı beslenmesi için çok önemli katkılar sunmaktadır. Radyasyonla gıda ışınlanması teknikleri sayesinde gıda zehirlenmelerine neden olan hastalık yapıcı mikroorganizmaların zararsız hale getirilmesi, gıdalarda bozulmaya ve çürümeye neden olan mikroorganizmaların öldürülmesi, sebzelerde filizlenmenin önlenmesi, meyvelerde olgunlaşmanın geciktirilmesi, tahıl ürünleri, baklagiller ve baharatlar ile sebzelerde böceklenmenin önlenmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, günümüz şartlarında atılabilir tek kullanımlık tıbbi ürünler sterilizasyonu da son derece önem taşımaktadır. Tek kullanımlık tıbbi malzemelerin sterilizasyonu endüstriyel uygulamaları temelinde iki tip yüksek enerjili radyasyon çeşitleri ya da ışın kaynağı türleri kullanılmaktadır. Bunlardan birini gama ışınması yapan **kobalt-60 (Co-60)** veya **sezyum-137 (Cs-137)** gibi radyoaktif izotoplar ve bir diğerini de yüksek enerjili elektronların üretildiği **elektron demeti hızlandırıcıları** oluşturmaktadır. Halk arasında genel bir kaygı olan şu noktayı açıkça belirtmek gerekir ki; bu iki tip birbirinden tamamen farklı iyonlaştırıcı radyasyon cihazları ve iyonlayıcı radyasyon kaynakları ile ışınlanan maddeler kesinlikle radyoaktif madde ya da radyoizotop kaynak ve radyasyon kaynağı haline dönüşmezler. Radyoizotoplar, radyoaktif elementler, radyoaktif maddeler ve iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları olabilmeleri için, gerekli olan iyonlayıcı radyasyonlarla ışınlanma enerjileri, kritik enerji olan 10 **MeV**'in çok altında bulunması nedeniyle radyasyona maruz bırakılan malzemeler ve gıda ürünleri radyasyonla ışınlanma sonucu hiçbir şekilde radyoaktif hale dönüşmezler ve ışınlanan ürünlerde herhangi bir radyoaktivite ile radyoaktif kalıntı, radyasyon kirliliği, nükleer kirlilik ve nükleer kontaminasyon oluşturamazlar. Sonuçta, nükleer transmutasyonlar, nükleer dönüşümler ve nükleer transformasyonlar, sadece ışınlama enerjisi 10 **MeV**'in üzerindeki iyonlaştırıcı radyasyonlarla ışınlanmalar ile nükleer reaktör kompleksleri içinde gerçekleşmektedir.