

Nükleer reaktörlerin bacalarından ve atık su borularından çevreye salınan radyoaktivitenin sınırlandırılması nasıl sağlanıyor?

Almanya ve ABD standartları ve uygulamaları örneklerinden, Akkuyu nükleer reaktörleri için çıkarılabilecek bilgiler ve deneyimler..

Yüksel Atakan (x), Radyasyon Fizikçisi, Dr. Almanya, ybatakan4@gmail.com

Giriş

*Bir nükleer reaktörün normal çalışması sırasında reaktör binası ve yardımcı binalar içinde **radyoaktif maddeler çok az miktarda** soğutma suyuna ve oradan da binaların havasına kılcal çatlaklardan karışabiliyor. Bunlar önce reaktör binaları içinde sonra da reaktör bacasından dışarıya verilmeden önce çeşitli radyasyon aletleriyle (monitörlerle) otomatikman ölçülüyor ve radyoaktivite miktarı **belirli değerleri aştığında ön alarmlarla baca kapakları kapatılıp çevreye fazla bir radyoaktivite verilmesi önleniyor**. Bu yazımızda bu konu inceleniyor ve Almanya'da uygulanmış olan yol ve yöntemler Akkuyu Nükleer reaktörleri için örnek olabilecek şekilde ayrıntılarıyla açıklanıyor. Özellikle yetkililerin bu yazımızı inceleyip, benzer önlemleri Akkuyu' sahibi Rosatom'a kabul ettirip uygulatacağını umuyoruz. Böylelikle, azar azar reaktör bacasından atılan radyoaktivite sınırlandırarak çevre halkı korunmuş olacaktır.*

Bir nükleer reaktörde radyasyon ve radyoaktivite, sürekli olarak, sabit monitörlerle ön ölçümlerin yanı sıra, alarm sistemleri ve örnek alma yoluyla kanıtlayıcı ölçümler aşağıdaki 3 ayrı Bölüm'de yapılıyor:

- 1. Reaktör ana ve yardımcı binalarının ve radyolojik sistemlerin içlerinde sabit monitörler ve ön alarm sistemleriyle***
- 2. Reaktör bacasında ve atık su borusundaki monitörler ve örnek alma ve lab ölçümleriyle***
- 3. Çevrede (radyasyon doz hızının sürekli ölçümünün yanı sıra toprakta, hava, su ve besinlerdeki radyoaktivitenin ölçümleriyle, çevreye reaktörden verilen radyoaktivite düzeyinin kanıtlanması***

A. Bacadan aşırı radyoaktivite yayılmasının önlenmesiyle ilgili önlemler



Üzerinden temiz su buharı yükselen (3.devre) soğutma suyu kulesidir, Reaktör bacası onun sol yanındaki ince uzun olanıdır. Medyada, reaktörlerin su soğutma kuleleri yanlış olarak, reaktör bacalarıyla karıştırılıyor.

Bir nükleer reaktör çalışırken bacasından saatte yaklaşık olarak 200.000 m³ hava atıyor. Bu havanın içinde çok az miktarda da olsa çeşitli radyoaktif maddeler de bulunuyor. Çevrenin radyoaktif maddelerle zamanla kirlenmemesi, toprak ve bitkilerde bunların birikip canlıları etkilememesi için, nükleer reaktörlerin ilgili standartlarına göre çeşitli önlemlerin yerine getirilmesi gerek. Bu önlemler özetle, radyoaktif maddeli atık hava, reaktörün bacasına ulaşmadan çok önce ilgili sistemlerde bunlardan örneğin filtrelerle olduğunca fazla temizlenmesi ve belirli sınır (limit) değerleri aşmamasının ön ölçümlerle sağlanmasıdır. Eğer reaktör ve yardımcı binalarındaki atık havadaki radyoaktivite miktarı sınır değerleri aşıyorsa, atık havanın bacaya ulaşmaması ve ilgili temizleme sistemlerinde tekrar temizlenmesinin sağlanması gerekiyor. Tüm bunların yapılabilmesi için ise gerek reaktör binalarındaki sistemlerde (örneğin atık gaz sistemi, atık hava sistemi) gerekse bacada yüksek duyarlılıkta (hassas) radyasyon ölçüm aletleri (radyasyon monitörleri) gerekiyor. Bu aletlerin ön alarmlarıyla radyoaktivitesi yüksek gaz ya da hava, bacaya ulaşmadan önce ilgili arıtma sistemlerine tekrar tekrar yönlendiriliyor ve temizleniyor. Bu ölçüm aletleri Akkuyu Nükleer reaktörlerinde hangi sistemlerde, kaç adet ve ne duyarlılıkta var açıklanmadığından bilmiyoruz ama bu yazımız yetkililerce okunursa Almanya deneyimleri örnek alınabilir ve ilgili IAEA ve KTA standartları da temel alınarak geliştirilir umuyoruz /1-8/.

Nükleer Güç Reaktörlerinde (NGS) atık havadaki radyoaktif maddeler nereden kaynaklanıyor?

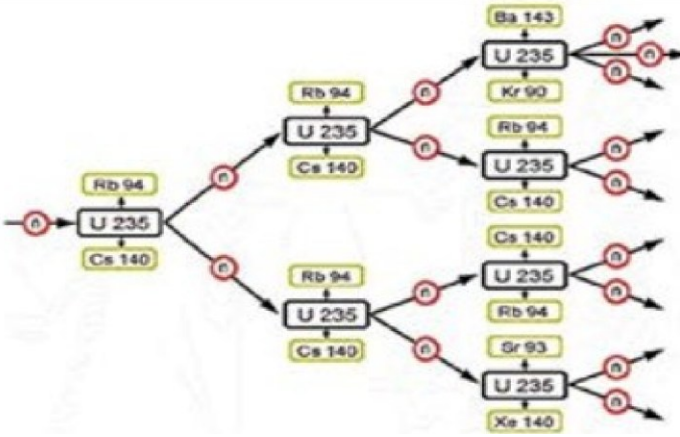
Zenginleştirilmiş uranyum 235 izotopunun kullanıldığı reaktörlerde, yavaş nötronlarla bombardımanla bölünme (fisyon) sonucu olarak ortaya, biri daha ağır (sezyum 137, iyot 131 gibi) diğeri daha hafif (Rb 94, Br 87 gibi) bir dizi radyoizotoptan (**bölünme ürünleri**) girici iyonlaştırıcı ışınlar yayınlanıyor. Sayıları 200'e varan yüksek aktivitedeki 'bölünme ürünleri' 35 kadar elementin radyoizotopları (farklı nötron sayılı atom çekirdekleri) olarak ortaya çıkıyor. Bölünen U235 atom çekirdeğinden, bölünme başına 2-3 adet nötron ortaya çıkıyor ve bunlardan 1 adedinin başka bir U235 çekirdeğini bölecek şekilde zincirleme tepkimenin sürmesi sağlanarak NGS'da bu gerçekleştiriliyor. Bir nükleer reaktörde (NGS), 'normal işletme' sırasında, ortaya çıkan çok çeşitli radyoaktif maddelerin (radyoizotopların) neredeyse tümü, yakıt elemanlarında ve çok azı da difüzyon ile ve yakıt elemanlarında olabilecek kılal çatlaklardan, kalın çelik duvarlı Reaktör Kabındaki soğutma suyuna (primer devreye) geçiyor.

Reaktörü soğutan suya da difüzyon ve sızıntıyla (ya da hava / gaz kaçaklarıyla) çok az miktarda geçen radyoizotoplar, bu suyla, ana ve yardımcı sistemlerdeki pompa, boru, vana ve depolara dağılıyorlar ve bunların içinde bulunduğu yapıların iç yüzeylerine ve havasına sızabiliyorlar.

Doğal uranyumda U 235 radyoizotopunun oranı çok az olduğundan (% 0,7), NGS'nda gerekli enerjinin elde edilebilmesi için %3-7 arasında zenginleştirilmiş U

235 kullanılıyor. Reaktörlerdeki uranyumun arta kalanı ise nötronlarla bölünmeyen U238'den oluşuyor. Reaktörde kullanıldıktan sonra, çok yüksek radyoaktivitesinin bozunmayla kendiliğinden azalması için uzun bir süre nükleer reaktördeki 'dinlenme havuzlarında' bekletilen yakıt elemanları çubuklarındaki 'yanmış uranyum'da ise, kabaca % 95 U 238, % 0,8 U 235, % 0,9 Pu, %3,2 bölünme ürünleri ve % 0,1 kadar da reaktörde oluşan aktinidler (Çekirdeklerindeki proton sayıları 89 ile 109 arasında olan 'yapay elementler') bulunuyor. 200 kadar 'bölünme ürünleri'nin % 20'si ise asal gaz.

Öte yandan reaktörde U 235 atom çekirdeğinin bölünmesi (fisyon) sırasında yayınlanan nötronların, yakınlardaki metal malzeme içinde çok az miktarda bulunan kobalt, nikel ve mangan gibi iz (eser) elementleri bombardıman etmesi sonucu, bunların atom çekirdeklerinde tepkimelerle (aktivasyonla) başka radyoizotoplar ortaya çıkıyor.



Şekil 1. Uranyum 235 atom çekirdeklerinin bölünme zinciri ve oluşan radyoaktif maddeler. Bir nükleer reaktörde bu reaksiyon 1 nötronla sürdürülerek reaktörün kritik üstüne çıkması önleniyor.

Ayrıca çelik boruların⁴ iç çeperlerinden zamanla aşınma sonucu soğutma suyuna karışan çok az miktardaki bu iz elementler, suyun reaktörde dolaşımı sırasında yine nötronların bombardımanıyla radyoizotoplara (radyoaktif maddelere) dönüşüyorlar. „Aktivasyon ya da korozyon ürünleri“ denilen bu çeşit radyoizotoplara örnekler: kobalt 60, nikel 59 ve mangan 54 radyoizotoplarıdır. Reaktörün yakınındaki havada bulunan bazı elementlerden de yine nötron bombardımanıyla (aktivasyonla) argon 41 gibi radyoizotoplar da oluşuyor.

Korozyon ürünleri de, bölünme ürünleri gibi, sızıntılarla çeşitli sistemlere ve reaktör içindeki havaya az da olsa bir miktar karışıyor. Bunlar da bölünme ürünleri gibi yoğun radyasyon kaynaklarıdır. Özellikle vana, armatür ve boru dirseklerinde

biriken korozyon ürünlerinin içlerindeki radyoaktif maddelerin saldığı girici gama ışınlarından, buralarda bakım ve onarım çalışmaları yapan personelde oluşacak radyasyon dozlarının yüksek olması sonucu, reaktörün yıllık bakım ve onarım çalışmalarında, personelin çalışma sürelerinin kısaltılması, ek zırhlama yapılması ya da uzaktan kontrollü robotların kullanılması gerekebilir.

Reaktör kabını (kazanını), soğutma suyu ana pompalarını, buhar üreteçlerini güvenlik sistemleriyle birlikte içine alan beton ve çelik kılıfı 'Güvenlik Küresindeki' havanın basıncı, normal hava basıncının biraz altında tutularak, hava akımı dışarıdan içeriye doğru yönlendiriliyor ve böylelikle herhangi bir sızıntının dışarıya ulaşması önleniyor.

U 238 nötronlarla bombardıman edildiğinde bölünmüyor, ancak bundan bir miktar U 239 oluşuyor. Beta salan U 239 ise önce Np 239'a sonra o da beta salarak Pu 239'a dönüşüyor. Pu239 ise U 235 gibi nötronların bombardımanıyla bölünebilir.

Reaktörlerdeki çok çeşitli teknik ve yönetsel önlemlerle, çalışanların etkilenebileceği radyasyon dozları azaltılarak sınırlandırılıyor (zırhlama, reaktör çalışırken reaktör binası başta olmak üzere bazı yerlere girmeme, radyasyondan korunma yol ve yöntemlerine kesinlikle uyulması gibi).

Reaktör binasındaki ve yardımcı binalardaki kullanılmış hava ve sistemlerdeki sular, önce⁵ ilgili aygıtlarla radyoaktif maddelerden büyük oranda arındırılarak, ancak ölçümler yapıldıktan sonra kontrollü bir şekilde izin verilen sınır değerlerin çok altında kalınarak baca ve atık su borusundan çevreye salınıyor. **Böylece çevrede yaşayan halkın etkilenebileceği radyasyon dozu azaltılarak iyice düşürülüyor.**

Almanya'da NGS'lerden etkilenebilecek halk için uygulanan doz sınır değeri 1 mSivert (1mSv) olup, bunun aşılması için baca gazları yoluyla 0,3 mSv, atık sular yoluyla 0,3 mSv ve doğrudan/ direkt ışınlanma yoluyla da 0,3 mSv tüm vücut için etkin doz sınır değerleri olarak belirlenmiştir.

Tiroit dozu sınır değeri ise 0,9 mSv'tir (Bkz: Sievert birimi: xx).

Sınır değeri nasıl belirleniyor?

Nükleer bir reaktörden işletme sırasında çevreye yıl boyunca, arındırılarak, kontrollü ölçümler yapıldıktan sonra salınan baca gazları ve atık sular içindeki son derece az radyoaktif maddelerin,

çevredeki toprak ve sulara ulaşan miktarları, reaktör çevresinde etkin rüzgar yönünde bir nokta seçilerek, ayrı ayrı önce hesaplanıyor. Sonra bu çok az miktardaki radyoaktif maddelerin topraktan ve havadan ne oranda, çevrede yetişen besinlere geçtiği, yenilip içilmesi ve havanın solunması yollarıyla, insan vücuduna ne oranda girdiği ve bunlardan insanda ne büyüklükte dozlar oluştuğu hesaplarla belirleniyor. Almanya'daki ilgili KTA standartlarına göre baca gazları (KTA 1503.1) /8/ ve atık su yolundan (KTA 1504) /9/ her biri için, reaktör çevresinde yaşadığı varsayılan bir kişinin vücudunda oluşabilecek yıllık radyasyon dozunun **0,3 mSv'lik sınır değerin altında kalması gerekiyor.** Reaktörden çevredeki bir kişinin vücudunda yılda oluşabileceği varsayılan direkt radyasyon yoluyla da 0,3 mSv eklendiğinde, toplam radyasyon dozunun 1 mSv altında kalması hedefleniyor. Ya da başka bir deyişle: Reaktörden çevreye verilecek atık hava ve sulardaki radyoaktivite miktarıyla direkt radyasyondan oluşan toplam radyasyon dozu, yapılan ölçüm ve hesaplamalara göre öyle olmalıdır ki, çevredeki bir insanın reaktörden etkilenebileceği **yıllık doz değeri 1 mSv sınır değerin altında kalsın.**

Almanya'daki Otomatik Ölçüm Sistemleri ve Çevre Halkı'nda Oluşan Dozlar

Akkuyu nükleer güç reaktöründen ileride çevreye salınacak radyoaktivitenin sınırlandırılması ve halkta oluşabilecek dozların en aza indirilebilmesi amacıyla yapılabilecek çalışmalara aşağıda açıklanan Almanya'daki yol, yöntem ve alet sistemleri örnek olabilir.

Almanya'daki 1300 MW 'lık (basınçlı sulu) bir nükleer reaktör örneğiyle, reaktördeki havalandırma ve gaz sistemlerinden bacaya bağlanan ana kanallarındakiyle, reaktör bacasındaki radyoaktivite ölçüm sistemleri aşağıda ayrıntılarıyla veriliyor. Bunlardan başka, atık suyla ilgili ölçümler ve önlemler de ana hatlarıyla açıklanıyor. Öte yandan Almanya'da son 30-40 yıldır çalışan ve bu süre boyunca yeni tekniklerle sürekli geliştirilen yüksek düzeydeki güvenlik sistemleri ve aygıtlarıyla, alınan çeşitli önlemler sonucu hiçbir önemli kaza geçirmemiş 20 kadar nükleer reaktörün, çevreye saldıkları radyoaktivite miktarları 2006 yılı örneğiyle açıklanmıştır.

Reaktör dışına ulaşacak radyoaktivitenin sınırlandırılması

Nükleer reaktör içindeki çeşitli sistem devrelerinde ve binaların havasındaki radyoizotoplar, bir dizi aktif karbon filtreleriyle, arındırma ve yıkama teknikleriyle tutulup reaktörün yardımcı binalarındaki ilgili sistemlerin içinde depolanıyor. Ayrıca bir dizi 'U-borulu geciktirme sistemiyle', özellikle kısa yarılanma süreli asal gazların bu sistemde bir süre bekletildikten sonra kendiliğinden radyoaktivitelerini yitirmeleri sağlanıyor. Atık hava, reaktörün yüksek bacasından (100-150 m) havaya, atık sular da atık su deposu borusundan yakındaki ırmağa, ancak içindeki radyoaktif madde düzeyi arındırma sistemleriyle iyice düşürüldükten sonra, radyoaktivite ölçüm sistemleriyle sürekli kontrol edilerek salınıyor. Üst sınır değerlere ulaşılmadan önce olabilecek radyoaktivite artışları monitörlerin ön alarm uyarılarıyla belirlendiğinde, reaktör dışına verilen hava ya da su otomatikman kesiliyor. Bunlar reaktör içindeki arıtma ya da bekletme sistemlerinden tekrar geçirildikten, radyoaktiviteleri düşürüldükten sonra dışarıya kontrollü olarak veriliyor.

Reaktör dışına bacadan ulaşan radyoaktif maddeler aşağıdaki gruplar altında toplanıp ölçümlerle belirleniyorlar:

1. Radyoaktif asal gazlar (Kr 85 ve Xe 133; trityum(H 3), karbon-14 (C14))
2. Radyoaktif aerosollar (havadaki çok küçük taneciklere tutunan örneğin: Co60, Mn54 (korozyon ürünleri))
3. Radyoaktif iyot (I 131)

Reaktörün yüksek bacasından (Her reaktörde olan bu atık hava bacası, örneğin Almanya'daki yüksek su soğutma bacalarıyla karıştırılmamalı) kontrollü olarak salınan 'atık hava'daki bu çeşit radyoizotoplar çevredeki havaya karışıp, hava akımlarıyla seyreliyor. Bunların toprağa ne miktarda dağılıp serpilecekleri; bacadan atılan miktara, bacadan yüksekliğine, reaktörden uzaklığa, hava koşullarına ve serpintinin kuru ya da yağ olma durumuna göre değişebiliyor. Toprakta en çok biriken miktar, etkin rüzgar yönünde reaktörden 1-2 km uzaklıkta olup radyoizotopların insanda oluşturabilecekleri radyasyon dozunun da buralarda en çok olacağı hesaplanıyor. Ancak en kötümser varsayımlarla seçilen ve genellikle kimsenin yaşamadığı buralardaki radyasyon dozunun bile, ilgili yönetmeliğe göre izin verilen

toplam sınır değeri (1 mSv) altında kalması gerekiyor. Almanya’da 1970’lerden bu yana yapılan ölçümlere ve değerlendirmelere göre sınır değerlerin çok altında kaldığı bilimsel ölçümlerle belirlendi.

Atık Gaz ve Atık Hava Kanallarındaki Radyoaktivite Ölçümleri

Şekil 2’de gösterilen bacaya giden atık gaz borusu ve atık hava kanallarındaki ölçüm sistemleriyle (monitörlerle) bunlardaki radyoaktivite düzeyi sürekli kontrol edilerek bacadan çevreye salınacak radyoaktif madde miktarı önceden izlenerek bacaya ulaşması sınırlandırılıyor. Böylelikle, belirli bir sistemde zaman zaman olabilecek bir miktar yüksek radyoaktivitenin ilgili sistem devrelerinde filtreleme ve başka tekniklerle tekrar temizlenmesi ya da bir süre depolarda bekletilmesi sağlanıyor. Örneğin: sistem devrelerinde ve depolarında bekletme, geciktirme yoluyla kısa yarılanma süreli radyoizotopların azaltılması, özel yıkama sistemiyle radyoizotopların gazdan suya geçmesi gibi teknikler bunlar. Radyoaktivite ancak iyi temizlendikten sonra vanalar açılıp bacaya atık gaz ve atık havanın akışına izin veriliyor. Şekil 2, reaktör binaları içindeki gaz devrelerinden ve havalandırma kanallarından bacaya ulaşan boru sistemlerindeki, her biri uygun (saatlik, günlük ve hafalık gibi) ön alarm değerine ayarlanmış radyasyon ölçüm aletleri de (monitörleri) gösteriliyor.

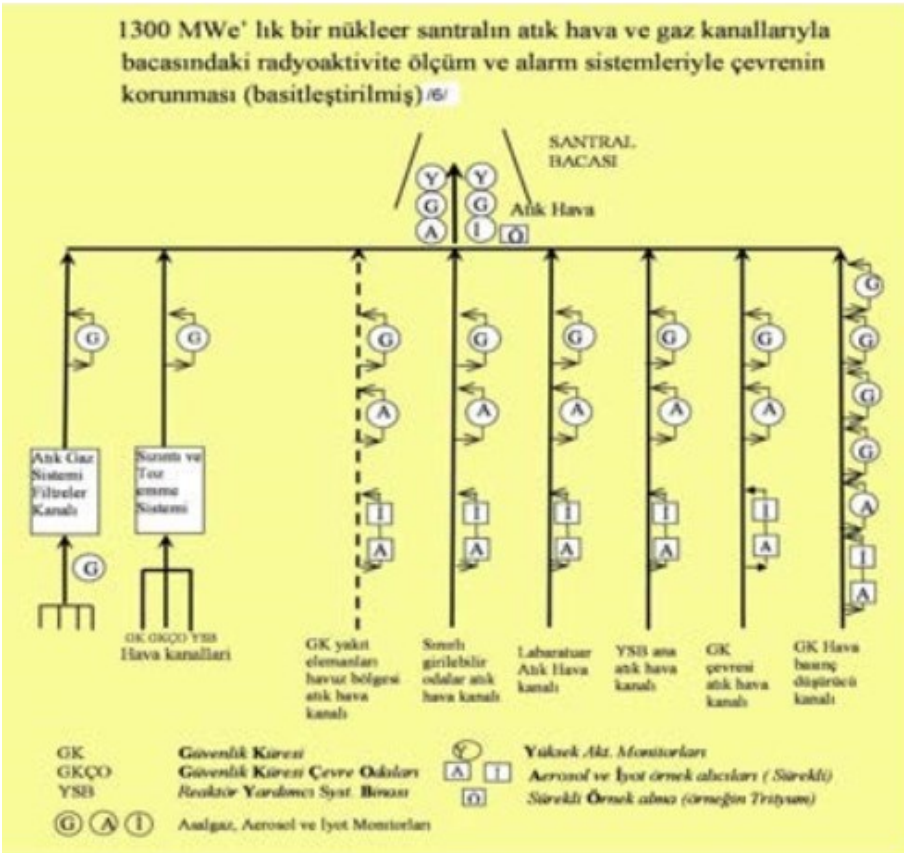
Her bir boru ya da kanaldaki radyoaktiviteyi sürekli ölçen genellikle asal gaz, aerosol ve iyot monitörleri bulunuyor. Ayrıca bu kanallarda sürekli hava örneği toplayan ‘örnek alıcılar’ da bulunuyor. Bunlardan sağlanan örnekler laboratuvarda ölçülüp değerlendiriliyor.

Çizelge 1 : Almanya’da basınçlı sulu 1360 MW_e’lık bir santraldan 1 yıl boyunca çevreye salınan radyoizotopların izin verilen sınır değerleriyle, gerçekte salınan miktarları (örnek).

Görüldüğü gibi salınan miktarlar, sınır değerlerin çok altında bulunuyor.

RADYOİZOTOP GRUBU	SINIR DEĞER (Bq/Yıl)	ÇEVREYE SALINAN GERÇEK MİKTAR (Bq/Yıl)	SINIR DEĞERİN YÜZDESİ OLARAK SALINAN MİKTAR
Bacadan ,atık havayla’ salınan miktar:			
Radyoaktif gazlar (I-131 dışında)	1.10¹⁵	1,09.10¹² Örneğin: Xe 133: 1,62.10¹¹ Ar 41: 1,07.10¹¹ Kr 85m: 4,5.10⁹ Xe 133m:3,2.10⁹	0,10
Radyoaktif Aerosollar (I-131 dışında)	1.10¹⁰	4,75.10⁴ Örneğin: Co 58: 1,33.10⁴ Co 60: 3,42.10⁴	0,0005
İyot-131		ölçüm sınırı altında	ölçüm sınırı altında

Atık sularla' salınan miktar:			
Trityum	$3,5.10^{13}$	$1,34.10^{13}$	38,286
Başka Radyoizotoplar	$5,55.10^{10}$	ölçüm sınırı altında	ölçüm sınırı altında



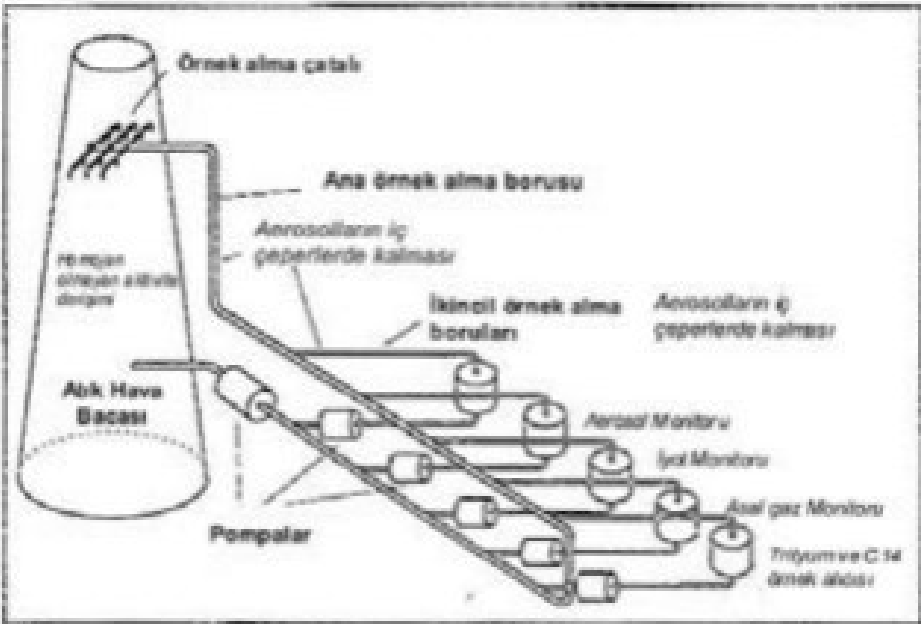
Şekil 2: Reaktördeki havalandırma ve atık gaz borularıyla bacadaki radyoaktivite monitorları cinslerine göre gösteriliyor.

Reaktör Bacasından Salınan Atık Havadaki Radyoaktivite Ölçümleri

Reaktörün bacasından salınan havadaki radyoaktivite, iki adet asal gaz monitoruyla, birer adet de aerosol ve iyot monitorlarıyla sürekli kontrol ediliyor (Bkz.Şekil 2, bacadaki monitorlar). Bunlardan başka, kaza durumları için planlanmış, aşırı yüksek düzeydeki radyoaktiviteyi ölçüp uyarın iki monitor da bacada bulunuyor. Radyoaktivite bu monitorların önceden ayarlanmış uygun (saatlik, günlük ve hafalık gibi) 'alarm değerlerine' ulaştığında bacadan çevreye salınma otomatikman kesiliyor.

Bacadaki bu ölçüm sistemlerinin işlevleri, reaktör bacasından çevreye yıl boyunca salınan radyoizotop miktarlarının toplamını hesaplamak olmayıp, atık havadaki radyoaktif maddelerin anlık değişimlerini ve artımlarını 'ön alarmlarla' izleyerek gerekli önlemleri zamanında almak ve böylece kısa süre için de olsa çevreye bir miktar fazla radyoaktivite salınmasını önlemektir. Yıl boyunca bacadan çevreye radyoizotopların cinslerine göre, toplam ne miktarda radyoaktivite salındığı (bilançosu) ise, Şekil 3'de gösterilen bacadaki 'sürekli örnek alıcıdan' sağlanan örneklerin laboratuvarında analizleriyle, ilgili radyoizotopların ayrıntılı ölçümleriyle ve ayrıca bacadan her saatte salınan hava hacmiyle (m^3/h) birlikte değerlendirilip hesaplanıyor.

Bacaya yerleştirilen çatal şeklindeki emme borulu incelikli bir düzenekle ve boru devreleriyle ('by-pass sistemiyle') atık hava, monitorlara ve örnek alma noktalarına pompayla sürekli iletiliyor (Buna isokinetik örnek alma deniyor ki bu, bacadan atılan gazlardaki radyoaktivitenin gerçeğe yakın bir örneğini yansıtıyor). Radyoizotopların bir miktarı boruların ve ölçüm aletlerinin iç çeperlerinde kaldığından ölçüm sonuçları 'boru katsayısı' denilen en çok 3'le çarpılıp borulardaki ve aletlerdeki kayıplar da hesaba katılıyor.



Şekil 3: Reaktör bacasından atılan havadaki radyoaktiviteyi belirleyebilmek için Almanya'da kullanılmış olan isokinetik örnek alma sistemi. Bacaya yerleştirilen çatal düzeneikle, atılan hava örneğindeki homojenlik ya da doğru örnek alma sağlanabiliyor

B. Reaktörden Salınan Atık Sulardaki Ölçümler

Daha önce, radyoizotoplardan büyük ölçüde arındırılmış atık sular, büyük su depolarında toplanıyor, çevredeki sulara verilmeden önce toplam radyoaktivite miktarı ve her bir radyoizotopun radyoaktivitesi ölçümlerle belirleniyor. Buna 'karar verme ölçümü' deniyor. Atık sular çevredeki sulara salınırken radyoaktivite aletleriyle ayrıca sürekli olarak ölçülüp, kontrol edildikleri gibi belirli zaman

aralıklarıyla da laboratuvarlarda radyoizotopları ölçmek için örnekler de alınıyor. Örneklerin laboratuvarlarda ölçülen radyoaktiviteleriyle, reaktör yakınındaki suya salınan su miktarları yıl boyunca göz önüne alınarak, suya hangi radyoizotoptan toplam ne miktar verildiği hesaplanıyor.

Not: Almanya’da reaktörler ırmak kıyılarına yapılmış olduklarından, atık sular denize değil, ırmaklara veriliyordu. Ancak yukarıda açıkladığımız Almanya’daki bu yol ve yöntemler denize atık suların verileceği Akkuyu gibi reaktörler için de uygulanabilir.



Şekil 4: Akkuyu nükleer reaktöründeki 4 reaktörün maket resmi (Reaktörler henüz yapım halinde, 2025)

C. 1. Taban Radyoaktivite Değerlerine bazı örnekler (CED Raporu ve Literatür)

Akkuyu ÇED raporundaki ortalama seviyeler (veya literatür) genelde şu aralıklarda:

Hava

- Cs-137 → $< 0,5 \mu\text{Bq/m}^3$ (**çoğu yerde ölçülemez kadar düşük**)
- I-131 → ölçümlerde çoğu zaman “tespit edilemez” düzeyde

Toprak

- Cs-137 → $1 \sim 10 \text{ Bq/kg}$ (Türkiye’nin çoğu yerinde ortalama $\sim 3\text{-}5 \text{ Bq/kg}$)
- I-131 → doğal ortamda yok (çünkü kısa yarı ömürlü)

Süt

- Cs-137 → $< 0,1 \text{ Bq/litre}$ (çoğu yerde ölçülemez kadar düşük)
- I-131 → tespit edilmez (sadece reaktör kazası vs. sonrası görülür)

Not 1: CED raporundaki mevcut radyoaktivite değerleri (örnek: çevresel ölçümler) bölgenin doğal veya bugüne kadarki “taban değerleridir.” Ancak bunlar çoğu zaman **ortalama** veya **geniş aralıklı** tahmini değerlerdir ve nükleer santral işletmeye geçtiğinde, santral kaynaklı sızıntıları tespit etmeye yeterince duyarlı olmayabilirler.

Not 2 : Akkuyu NGS Rosatom sayfasında Akkuyu Çevresindeki çeşitli yerleşim yerlerindeki ortam radyasyonu (doz hızı değerleri) genellikle 100 nSv/h dolayındadır (YA).

ABD Standartlarına göre Nükleer Reaktörlerde Baca Gazı Radyoaktivitenin İzlenmesi

1. Amerikan Standartları ve Düzenlemeleri

Nükleer reaktörlerde baca gazı radyoaktivite izleme standartları, **Nükleer Düzenleme Komisyonu (NRC)** ve **Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI)/Sağlık Fiziği Topluluğu (HPS)** tarafından belirlenir.

A. NRC Düzenlemeleri

- **10 CFR Part 20:** Halk için doz limitlerini ve radyoaktif salınımların izlenmesini zorunlu kılar.
- **10 CFR Part 50:**
 - **50.34a:** Radyoaktif madde salınımlarını kontrol etmek için ekipman tasarım hedeflerini belirler.
 - **GDC 64:** Salınım yollarının izlenmesini gerektirir.
 - **Ek B:** Kalite güvence programlarını düzenler.
- **Rehber Dokümanlar:**
 - **Regulatory Guide 4.15:** Salınım izleme programlarında kalite güvencesi için rehberlik sağlar.
 - **Regulatory Guide 4.16:** ANSI/HPS N13.1-1999 standartlarına uyum için öneriler sunar.

B. Teknik Şartnameler

Her nükleer santralin teknik şartnamelerinde salınım izleme gereklilikleri (örnekleme sıklığı, analiz limitleri) belirtilir.

2. ANSI/HPS ve Diğer Standartlar

A. ANSI/HPS N13.1-1999

- **Örnekleme Sistemi Tasarımı:** Baca gazındaki radyoaktif maddelerin temsili örneklenmesi için prob ve boru tasarımı.
- **Test ve Kalibrasyon:** Sistemlerin doğruluğunu sağlamak için düzenli testler.
- **Performans Kriterleri:** Farklı partikül boyutlarını ölçebilme yeteneği.

B. Diğer Standartlar

- **ISO 2889:2010:** Radyoaktif hava örnekleme için uluslararası standart.
- **IAEA Güvenlik Standartları:** Radyoaktif salınımların kontrolü için küresel rehberlik.
- **ISO 16640:2021:** Nükleer tesislerde gaz salınımlarının izlenmesi.

3. İzleme Sistemlerinin Önemi

- **ALARA Prensibi (Makul Ölçüde Ulaşılabilir En Düşük Seviye):** Radyoaktif salınımların minimize edilmesi.
- **Halk Sağlığı:** Hava yoluyla maruziyetin önlenmesi.
- **Regülasyonlara Uyum:** NRC ve uluslararası standartlara uygunluk.

ABD Standartlarına Göre Nükleer Reaktörlerin Bacalarında İzlenen Radyoaktif Maddeler, Ölçüm Duyarlılıkları ve Salım Limitleri

1. İzlenen Başlıca Radyoaktif Maddeler

Nükleer reaktör baca gazlarında ölçülen radyoaktif maddeler ve tipik belirleme sınırları:

A. Gaz Fazındaki Radyonüklitler

- **Asal Gazlar:**
 - Kripton-85 (Kr-85), Ksenon-133 (Xe-133), Argon-41 (Ar-41)
 - **Ölçüm Duyarlılığı:** Genellikle $1\text{--}10\text{ Bq/m}^3$ (ANSI/HPS N13.1 ve ISO 16640).
- **Uçucu İyot İzotopları:**
 - İyot-131 (I-131), İyot-129 (I-129)
 - **Ölçüm Duyarlılığı:** $0.1\text{--}1\text{ Bq/m}^3$ (karbon filtreler ve spektrometri ile).
- **Tritium (H-3):**
 - **Ölçüm Duyarlılığı:** $10\text{--}100\text{ Bq/m}^3$ (likit sintilasyon sayıcılar ile).

B. Aerosole Bağlı Radyonüklitler

- **Sezyum-137 (Cs-137), Stronsiyum-90 (Sr-90), Kobalt-60 (Co-60)**
- **Ölçüm Duyarlılığı:** $0.01\text{--}0.1\text{ Bq/m}^3$ (yüksek verimli HEPA filtreler + gama spektrometre).

2. Salım Limitleri ve Alarm Eşik Değerleri

A. NRC ve EPA Tarafından Belirlenen Yıllık Salım Limitleri

- **10 CFR Part 20 ve 40 CFR Part 190'a göre:**
 - Halk için efektif doz limiti: 1 mSv/yıl .
 - İyot-131: 3.7 MegaBq/yıl .
 - Asal Gazlar (Kr/Xe): 1.85 Giga Bq/yıl .
 - Aeorosollar (Cs-137, Sr-90): 740 MBq/yıl .

B. Teknik Şartname Alarm Eşikleri

Her nükleer santralin işletme **Alarm Seviyeleri** vardır. Örnekler:

- **ANSI/HPS N13.1 ve Regulatory Guide 4.16'ya göre:**
 - **Kr-85 için alarm eşiği: 370–3700 kBq/s.**
 - **I-131 için alarm eşiği: 3.7–37 kBq/s.**
 - **Aerosol aktivitesi: 370 Bq/s aşırsa bacadan hava akımını otomatik kesme.**

C. İvedi (Acil) Durum Protokolleri

- **Limitler aşıldığında:**
 1. **Baca havalandırması durdurulur** (dampers kapatılır).
 2. **Filtre sistemleri (HEPA/arbon) devreye girer.**
 3. **NRC'ye acil bildirim yapılır** (10 CFR 50.72).

3. Ölçüm Teknolojileri ve Kalite Kontrol

- **Sürekli İzleme Sistemleri:**
 - **Gama spektrometreler** (HPGe dedektörler).
 - **Beta partikül monitörleri** (Sr-90 için).
 - **Gaz kromatografi + sintilasyon sayıcılar** (H-3 ve C-14 için).
- **Kalibrasyon:**
 - **ANSI N13.1'e göre yıllık testler ve ISO 16640'a uygun doğrulama.**

ABD ve IAEA Referansları

1. **10 CFR Part 20 & 50** (NRC) – Radyoaktif salım limitleri.
2. **ANSI/HPS N13.1-1999** – Baca gazı örnekleme protokolleri.
3. **Regulatory Guide 4.16** (NRC) – Alarm eşikleri ve izleme.
4. **40 CFR Part 190** (EPA) – Çevresel radyasyon standartları.
5. **IAEA Safety Reports No.64** – Acil durum sınırları.

Not: Alarm eşikleri, santralin lisans koşullarına göre değişebilir. Örneğin, **PWR'lerde** gaz salınım limitleri **BWR'lerden** farklıdır.

SONUÇLAR

Akkuyu nükleer reaktörleri için, Almanya ve ABD deneyimlerinden çıkarılabilece dersler

1. Reaktör ve yardımcı binalarla birlikte reaktör bacasına yönlendirilen hava ve diğer gazlardaki radyoaktiviteyi ölçen radyasyon otomatik ölçüm sistemleri (radyasyon monitörleri) sayı ve duyarlılıkta, ilgili IAEA ve KTA 1503.1 /8/ (Bacadan verilen hava) ve /9/ atık su) standartlarına göre, Almanya örneğindeki gibi kurulu olmalı /4-14/

2. Radyasyon aletlerinin ön alarm değerleri bacaya verilebilecek şekilde ayarlanıp, sınırlanmalı
3. Radyasyon ölçüm aletlerinin yanı sıra atık gaz ve atık hava sistemleri atık borularından ve baca gazlarından Şekil 2 ve 3 benzeri düzeneklerle temsil edici (representativ) gaz/hava örnekleri alınmalı
4. Akkuyu çevresinde etkin rüzgar yönüne göre halkın etkilenebileceği bir yer seçilmeli ve özellikle buradan belirli sürelerde toprak, bitki ve gıda örnekleri alınıp radyoaktivite ölçümleri yapılmalı.

Yukarıda açıklamalara, Almanya, ABD, IAEA Standartlarına uyulduğunda, duyarlı alet sistemleri de kurularak, ön alarmlarla ve ilgili önlemler alınarak bacadan ve atık su borusundan izin verilenin üstünde bir radyoaktivitenin çevreye atılması ve halkın zamanla radyoaktiviteden etkilenmesi önenebilecektir. Akkuyu NGS için, benzer izin sınırlarını, yetkili Kurum'un (NDK) belirlemesi ve Rosatom'a kabul ettirerek, uygulatması, çevre halkının korunmasını sağlayacaktır.

(x) Yazar Almanya ve ABD'de 25 yıl nükleer reaktör yapımında Brown Boveri Reaktörbau ve Siemens Hanau nükleer yakıt maddesi üretim firmalarında çalışmış olup, Almanya Nükleer standartlarının hazırlanmasında da (KTA1503.1 ve KTA1504) 15 yıl katkıda bulunmuştur. Kendisinin www.radyasyonyatakan.web sitesinin 4. Bölümünde nükleer reaktörler ve Akkuyu NGS ile ilgili çeşitli yazıları da bulunmaktadır. Bu yazıların çoğu Herkesebilim ve Bilimve Gelecek dergilerinde yayınlanmıştır.

(xx) Sievert : Gama ışınları için (= 1 Gray = 1 Joule/kg'lık radyasyon doz soğurumuna eşdeğer doz
Birkaç Sievert birimlik dozlar hücreler için çok etkili büyük dozlar olduğundan, günlük yaşamdaki düşük dozlar için **mSv** ve **µSv birimleri** kullanılıyor.

Kaynaklar

- /1/ Ülkemizde kurulacak nükleer reaktörlerin radyasyon güvenliğiyle ilgili öneriler Y.Atakan Teknik Rapor, Fizik Müh. Odası Ankara
- /2/ <https://bilimvegelecek.com.tr/?s=y%C3%BCksel+atakan+nukleer+reakt%C3%B6rler>
- /3/ www.radyasyonyatakan.com
- /4/ https://regelwerk.grs.de/sites/default/files/DS524%20-%20Step11-Draft%20incorporating%20SSCs%20comments-clean%20copy_30.05.2023.pdf
- /5/ https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1216_web.pdf
- /6/ https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1427_web.pdf
- /7/ AKKUYU NÜKLEER REAKTÖRLERİ İÇİN İŞLETME ÖNCESİ ÇEVREDE YAPILMASI GEREKEN RADYASYON VE RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRMELERİ Y.Atakan 07.07.2025 - Fizik Y. Müh. Dr. Yüksel Atakan
- /8/ Microsoft Word - 1503_1_engl_2022_11.docx
(KTA 1503.1:2022 Monitoring the Discharge of Radioactive Gases and Air)
- /9/ Microsoft Word - 1504_engl_2022_11.docx.
- /10/ KTA-Regelprogramm / KTA Program of Standards
- /11/ IEC 60671 - Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Surveillance testing | GlobalSpec
- /12/ https://nucleus-apps.iaea.org/nss-oui/Content/Index?CollectionId=m_3761d926-c16f-4477-a63b-741a9db1c
- /13/ Akkuyu NGS ÇED Raporu, Bölüm 8: Radyoekolojik Durum (ÇED İDK Raporları)
- /14/ IAEA Safety Series No.50-SG-S8, "Environmental Radiation Monitoring around Nuclear Facilities" (1984)

14.07.2025

