

RADYOAKTİF KAYNAKLARIN SINIFLANDIRMASINA İLİŞKİN KILAVUZ

2024-KLV-002



NÜKLEER DÜZENLEME KURUMU

İÇİNDEKİLER

ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR	iii
KILAVUZUN AMACI.....	1
1. GİRİŞ.....	2
2. RADYOAKTİF KAYNAKLARIN SINIFLANDIRMASI.....	5
2.1 Radyoaktif Kaynakların Sınıflandırmasına İlişkin Örnek Hesaplama	9
KAYNAKLAR.....	11
EKLER	12
EK-1 Radyoizotopların D-Değerleri	12

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Radyoaktif Kaynakların Sınıflandırmasındaki Belirleyici Hususlar	6
Çizelge 2.2 Radyoaktif Kaynakların Sınıflandırması	8

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Aktivite
D	: D-değeri
UAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency)

KILAVUZUN AMACI

Bu kılavuz; radyoaktif kaynaklar için güvenliğe ve emniyete ilişkin hususların ve uygulanacak düzenleyici kontrolün derecesinin belirlenmesinde kullanılan radyoaktif kaynakların sınıflandırması sistemi hakkında yol göstermek amacıyla hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde radyoaktif kaynaklar; endüstri, tıp, tarım, araştırma ve eğitim vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İçeriğindeki radyoaktif maddeden faydalanılarak radyasyon tesislerinde ve radyasyon uygulamalarında kullanılmak üzere üretilen radyoaktif kaynaklar;

- Normal çalışma koşullarında ve olası radyasyon acil durumlarında dağılma, saçılma ve sızıntıya karşı bir kapsül içerisine kapatılmış veya kaplama malzemesi ile kaplanmış radyoaktif madde olarak kapalı kaynaklar,
- Kapalı kaynak formunda olmayan katı, sıvı, gaz, aerosol veya toz hâlinde radyoaktif madde olarak açık kaynaklar,

olarak sınıflandırılabilir.

Kapalı ve açık kaynaklar, çeşitli radyoizotoplar ve miktarlar hâlinde radyasyon tesislerinde ve radyasyon uygulamalarında farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Kapalı ve açık kaynaklar nedeniyle oluşabilecek riskler, radyoizotopun cinsi, aktivitesi, fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Kapalı kaynaklar, bütünlüğü bozulmamışsa ya da sızdırmıyorsa sadece dış ışınlanmaya¹ neden olabilir. Ancak kapalı kaynağın bütünlüğünün bozulması veya sızıntı olması durumunda bu kaynaklar, açık kaynaklar gibi, kaynağın cinsine, aktivitesine, fiziksel ve kimyasal yapısına göre dış ışınlanmanın yanı sıra radyoaktif kirliliğe veya insan vücuduna alınması yoluyla iç ışınlamaya² neden olabilir.

Yüksek aktiviteli kapalı kaynaklar³, radyasyon güvenliğinin ve radyoaktif kaynakların emniyetinin sağlanamadığı durumlarda, kısa süreler içinde bireylerde ciddi deterministik etkilere neden olabilirken düşük aktiviteli kapalı kaynaklar⁴ için bu tür sonuçlar oluşmayabilir.

¹ Radyasyon kaynağı veya radyoaktif maddeler nedeniyle kişinin vücudunun dışarıdan radyasyona maruz kalma durumunu ifade etmektedir.

² Radyoaktif maddelerin solunum, sindirim veya cilt yoluyla vücuda alınması nedeniyle radyasyona maruz kalma durumunu ifade etmektedir.

³ Aktivite seviyesi EK-1'de belirtilen D-değerlerine eşit veya daha yüksek değerlerde olan kapalı kaynakları ifade etmektedir.

⁴ Aktivite seviyesi EK-1'de belirtilen D-değerlerinden düşük değerlerde olan kapalı kaynakları ifade etmektedir.

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının (IAEA) güvenlik ve emniyete ilişkin düzenlemelerinde, radyoaktif kaynakların güvenli ve emniyetli kullanımının sağlanmasına yönelik temel standartlar belirtilmektedir. Diğer taraftan, radyoaktif kaynakların aktiviteleri ve kullanım alanları çeşitliliğe sahiptir. Bu çeşitlilik, radyoaktif kaynaklara yönelik düzenleyici kontrol ile güvenlik ve emniyet yaklaşımlarının, olası radyasyon riskleriyle orantılı olmasının sağlanması için dereceli yaklaşım çerçevesinde bir sınıflandırma sisteminin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır.

Bu çerçevede IAEA tarafından oluşturulan radyoaktif kaynakların sınıflandırması sistemi, risk esaslı kararlar verebilmek amacıyla uluslararası düzeyde uyumlaştırılmış bir temel sağlayarak, radyoaktif kaynakların güvenliği ve emniyetine ilişkin faaliyetler için uygun düzenleyici kontrol derecesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Radyoaktif kaynakların insan sağlığına zarar verme potansiyeline göre değerlendirildiği radyoaktif kaynakların sınıflandırması sistemi, radyoaktif kaynaklar ve bu radyoaktif kaynakların kullanıldığı faaliyetlerin derecelendirilmesine ve gruplandırılmasına olanak tanıyarak;

- Radyoaktif kaynaklara ilişkin gerçekleştirilecek bildirim, onay, yetkilendirme, denetim ve yaptırım faaliyetleri ile bu radyoaktif kaynakların güvenlik ve emniyetinin sağlanmasına yönelik düzenlemelerde uygulanacak dereceli yaklaşıma temel teşkil edebilir.
- Ulusal radyasyon kaynakları kayıt sisteminde yer alan radyoaktif kaynaklar ve bunlara ait bilgi ve içeriklere ilişkin yapılacak değerlendirmelere katkı sağlayabilir.
- İthalat/ihracat kontrollerine ve izinlerine tabi olacak radyoaktif kaynaklara ilişkin düzenlemelerin optimize edilmesini sağlayabilir.
- Olası zararlarına dikkat çekecek şekilde, radyoaktif kaynaklara ilave etiketlemenin yapılması yönünde değerlendirme sağlayabilir.

- Radyoaktif kaynakların emniyet planı, radyasyon acil durumu planı, radyoaktif kaynakların taşınmasına ilişkin plan gibi ilgili planların radyoaktif kaynakların sınıfına uygun şekilde hazırlanmasını ve uygulanmasını sağlayabilir.
- Sahipsiz radyoaktif maddeler⁵ üzerindeki kontrolün yeniden sağlanmasında, öncelik değerlendirmesi yapılabilmesine olanak sağlayabilir.

Bu kılavuzda 28/10/2023 tarihli ve 32353 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Radyasyon Tesislerine ve Radyasyon Uygulamalarına İlişkin Yetkilendirmeler Yönetmeliği kapsamında radyasyon tesislerinde ve radyasyon uygulamalarında kullanılan radyoaktif kaynakların sınıflandırması, UAEA sınıflandırma sistemi çerçevesinde açıklanmaktadır.

⁵ Herhangi bir nedenle düzenleyici kontrol altına alınmadığı veya terk edilme, çalınma, kaybolma veya yetkilendirmeye ilişkin yükümlülükler uyulmaksızın devredilme gibi sebeplerle düzenleyici kontrol dışı kaldığı Nükleer Düzenleme Kurumu tarafından tespit edilen radyoaktif maddeleri ifade etmektedir.

2. RADYOAKTİF KAYNAKLARIN SINIFLANDIRMASI

Radyoaktif kaynakların ulusal ve uluslararası düzenlemelere ve standartlara uygun olarak güvenli ve emniyetli bir şekilde yönetilmesi hâlinde, olası radyasyon riskleri çalışanlar ve halk için kabul edilebilir derecede düşük tutulabilmektedir. Ancak radyoaktif kaynaklar üzerinde kontrolün etkin şekilde sağlanamaması neticesinde; olay, kaza ya da emniyet zafiyeti nedeniyle, radyasyondan korunmaya ilişkin mevzuatla belirlenen sınırların üzerinde radyasyon dozu alınmasına veya radyoaktif kirliliğe neden olabilecek ve ivedilikle müdahale gerektirecek radyolojik tehlikeler meydana gelebilmektedir. Bu durumlara yüksek aktiviteli kapalı kaynakların sebep olmasıyla eritem, doku yanıkları, akut radyasyon hastalığı ve ölüm dâhil olmak üzere ciddi deterministik sağlık etkileri⁶ ortaya çıkabilmektedir.

Radyoaktif kaynakların aktivitesi ve neden olabileceği deterministik etkiler sınıflandırmanın temelini teşkil etmekle birlikte bu radyoaktif kaynakların kullanıldığı tesis ve uygulamalardaki çalışma koşulları, zırhlama sağlayan bir cihaz/düzenek içinde olup olmadığı, taşınabilirliği, daha önce yaşanan kazalardaki deneyimler gibi uygulamaya özgü risk faktörleri de radyoaktif kaynakları sınıflandırırken dikkate alınması gereken hususlardır. Bu doğrultuda UAEA tarafından radyoaktif kaynaklar ve bu radyoaktif kaynaklarla yürütülen faaliyetler derecelendirilerek beş ayrı sınıfa ayrılmıştır.

Bu beş sınıf, **Çizelge 2.1**'de sunulduğu gibi çalışanların ve halkın zarar görebileceği durumlarda deterministik etkilerin görülme riskinin derecelendirilmesi yöntemiyle belirlenmiştir.

⁶ Alınan radyasyon dozu için belirli bir eşik seviyesi aşıldığında ortaya çıkan ve şiddeti alınan dozla beraber artan sağlık etkisini ifade etmektedir.

Çizelge 2.1 Radyoaktif Kaynakların Sınıflandırmasındaki Belirleyici Hususlar

Sınıf	Radyoaktif kaynağın yakınında bulunulduğunda oluşacak risk	Yangın veya patlama durumunda radyoaktif kaynağın içeriğindeki radyoaktif maddenin ortama dağılması sonucunda oluşacak risk
	Son derece tehlikeli	
1	<p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynaklar, güvenli ve emniyetli bir şekilde yönetilmediği veya korunmadığı takdirde, radyoaktif kaynağı tutan veya radyoaktif kaynakla birkaç dakikadan fazla temas hâlinde olan kişilerde kalıcı yaralanmalara neden olabilmektedir.</p> <p>Bu sınıfta zırhı olmayan radyoaktif kaynağa birkaç dakika ile bir saat arasında değişen bir süre yakın olmak muhtemelen ölümcül sonuçlara yol açabilmektedir.</p>	<p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynağın içeriğindeki radyoaktif maddenin dağılması (gerçekleşme olasılığı düşük olsa dahi), yakın çevredeki kişilerde kalıcı yaralanmalara sebep olabilmekte veya hayati tehlikeye yol açabilmektedir.</p> <p>Bu durumda birkaç yüz metrenin ötesindeki kişiler için ani sağlık etkilerinin görülme riski çok az olabilmekte veya hiç olmamaktadır. Ancak radyoaktif kirliliğe maruz kalan alanlarda ilgili ulusal ve uluslararası düzenlemelere uygun olarak radyoaktif kirliliğin giderilmesi gerekmektedir.</p> <p>Bu radyoaktif kaynaklar için radyoaktif kirliliğin giderilmesi gereken alanlar, bir kilometrekare veya daha fazla olabilir. Bu alanın büyüklüğü aktivite, radyoizotopun türü, radyoaktif kirliliğin ortama dağılma biçimi ve hava şartları gibi birçok faktöre bağlıdır.</p>
	Çok tehlikeli	
2	<p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynaklar, güvenli ve emniyetli bir şekilde yönetilmediği veya korunmadığı takdirde, radyoaktif kaynağı tutan veya radyoaktif kaynakla dakikalar veya saatler mertebesinde kısa bir süre için temas hâlinde olan kişilerde kalıcı yaralanmalara neden olabilmektedir.</p> <p>Bu sınıfta zırhı olmayan radyoaktif kaynağa saatler ya da günler boyunca yakın olmak muhtemelen ölümcül sonuçlara yol açabilmektedir.</p>	<p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynağın içeriğindeki radyoaktif maddenin dağılması (gerçekleşme olasılığı düşük olsa dahi), yakın çevredeki kişilerde kalıcı yaralanmalara sebep olabilmekte veya hayati tehlikeye yol açabilmektedir.</p> <p>Bu durumda birkaç yüz metrenin ötesindeki veya daha fazla uzaklıktaki kişiler için ani sağlık etkilerinin görülme riski çok az olabilmekte veya hiç olmamaktadır. Ancak radyoaktif kirliliğe maruz kalan alanlarda ilgili ulusal ve uluslararası düzenlemelere uygun olarak radyoaktif kirliliğin giderilmesi gerekmektedir.</p> <p>Bu radyoaktif kaynaklar için radyoaktif kirliliğin giderilmesi gereken alanlar, muhtemelen bir kilometrekareyi geçmeyebilir. Bu alanın büyüklüğü aktivite, radyoizotopun türü, radyoaktif kirliliğin ortama dağılma biçimi ve hava şartları gibi birçok faktöre bağlıdır.</p>

Tehlikeli	
3	<p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynaklar, güvenli ve emniyetli bir şekilde yönetilmediği veya korunmadığı takdirde, radyoaktif kaynağı tutan veya radyoaktif kaynakla birkaç saat boyunca temas hâlinde olan kişilerde kalıcı yaralanmalara neden olabilmektedir.</p> <p>Bu sınıfta zırhı olmayan radyoaktif kaynağa günler veya haftalar boyunca yakın olmak muhtemelen ölümcül sonuçlara (gerçekleşme olasılığı düşük olsa dahi) yol açabilmektedir.</p> <p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynağın içeriğindeki radyoaktif maddenin dağılması (gerçekleşme olasılığı oldukça düşük olsa dahi), yakın çevredeki kişilerde kalıcı yaralanmalara sebep olabilmekte veya hayati tehlikeye yol açabilmektedir.</p> <p>Bu durumda birkaç metrenin ötesindeki kişiler için ani sağlık etkilerinin görülme riski çok az olabilmekte veya hiç olmamaktadır. Ancak radyoaktif kirliliğe maruz kalan alanlarda ilgili ulusal ve uluslararası düzenlemelere uygun olarak radyoaktif kirliliğin giderilmesi gerekmektedir.</p> <p>Bu radyoaktif kaynaklar için radyoaktif kirliliğin giderilmesi gereken alanlar, muhtemelen bir kilometrekarenin küçük bir kısmını geçmeyebilir. Bu alanın büyüklüğü aktivite, radyoizotopun türü, radyoaktif kirliliğin ortama dağılıma biçimi ve hava şartları gibi birçok faktöre bağlıdır.</p>
Tehlikeli olma ihtimali düşük	
4	<p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynaklar nedeniyle herhangi birinin kalıcı olarak yaralanması pek olası değildir.</p> <p>Bu sınıfta zırhı olmayan radyoaktif kaynak, güvenli ve emniyetli bir şekilde yönetilmediği veya korunmadığı takdirde, radyoaktif kaynağı tutan, radyoaktif kaynakla saatlerce temas hâlinde olan veya radyoaktif kaynağın haftalar boyunca yakınında bulunan kişilerde muhtemelen geçici yaralanmalara (gerçekleşme olasılığı düşük olsa dahi) neden olabilmektedir.</p> <p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynağın içerisindeki radyoaktif maddenin dağılması, kişilerde kalıcı yaralanmalara sebep olmaz (bu durumda olası gecikmiş sağlık etkileri dikkate alınmamıştır).</p>
Tehlikeli olma ihtimali oldukça düşük	
5	<p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynaklar nedeniyle herhangi birinin kalıcı olarak yaralanması beklenmez.</p> <p>Bu sınıftaki radyoaktif kaynağın içerisindeki radyoaktif maddenin dağılması, kişilerde kalıcı yaralanmalara sebep olmaz (bu durumda olası gecikmiş sağlık etkileri dikkate alınmamıştır).</p>

Radyoaktif kaynakların sınıflandırmasında, **Çizelge 2.2**'deki "Radyoaktif Kaynak" başlıklı kısımda bulunan belirli faaliyet alanlarına göre radyoaktif kaynak veya radyoaktif kaynak içeren cihaz/sistem bilgileri esas alınmalıdır. **Çizelge 2.2**'de yer alan sınıflandırmada, yaygın olarak kullanılan radyoaktif kaynaklar veya radyoaktif kaynak içeren cihaz/sistemler belirtilmiştir.

Çizelge 2.2'de yer alan yaygın olarak kullanılanların dışında farklı cins veya farklı aktiviteye sahip radyoaktif kaynak veya radyoaktif kaynak içeren cihaz/sistem kullanımı durumunda, sınıflandırma için **Çizelge 2.2**'deki verilen "Aktivite oranı (A/D)" başlıklı kısım esas alınmalıdır.

Aktivite oranında; "A" radyoizotopun aktivitesi ve "D" radyoizotopun ciddi deterministik etkilere yol açabileceği aktivitesi olan D-değeridir. Bu durumda ilgili radyoaktif kaynağın aktivitesi ve radyoizotopun D-değeri kullanılarak sınıflandırma yapılmalıdır. Radyoizotopların D-değerleri EK-1'de yer almakla birlikte bu değerlerle ilgili detaylı bilgiler, UAEA'nın "*Dangerous quantities of radioactive material (D-values)*" adlı yayınından temin edilebilmektedir.

Bu sınıflandırma özellikle kapalı kaynaklar için yapılmakla birlikte olaya özgü olarak miktarı belirli olan açık kaynaklar için, toplam aktivite değeri ile radyoizotopun D-değeri kullanılarak sınıf belirlemesi yapılabilmektedir.

Çizelge 2.2 Radyoaktif Kaynakların Sınıflandırması

Sınıf	Radyoaktif Kaynak	Aktivite Oranı (A/D)
1	- Işınlama cihazları - Teleterapi kaynakları - Gama bıçağı kaynakları	$A/D \geq 1000$
2	- Endüstriyel gama radyografisi kaynakları - Yüksek/orta doz brakiterapi kaynakları	$1000 > A/D \geq 10$
3	- Sabit proses kontrol ve endüstriyel ölçüm cihazları (yüksek aktiviteli kapalı kaynakları içeren) - Kuyu tipi (sondaj) ölçüm sistemleri	$10 > A/D \geq 1$
4	- Düşük doz brakiterapi kaynakları (göz plakları ve daimi implantlar hariç) - Proses kontrol ve ölçüm amaçlı sabit cihazları (yüksek aktiviteli kapalı kaynakları içermeyen) - Mobil/taşınabilir nükleer ölçüm cihazları	$1 > A/D \geq 0,01$
5	- Düşük doz brakiterapi kaynakları (göz plakları ve kalıcı implant kaynakları) - Pozitron emisyon tomografisi (PET) kontrol kaynakları	$0,01 > A/D$ ve $A >$ muafiyet değerleri ⁷

⁷ Radyoizotopların muafiyet değerleri, Radyasyon Tesislerine ve Radyasyon Uygulamalarına İlişkin Yetkilendirmeler Yönetmeliğinde yer almaktadır.

Radyasyon tesislerinde ve radyasyon uygulamalarında farklı cinslerde radyoaktif kaynakların aynı anda bulundurulması veya kullanılması söz konusu olduğunda (örneğin; radyoizotop üretim amaçlı hızlandırıcı tesisleri, radyoaktif kaynak hazırlama tesisleri veya radyoaktif kaynakların taşınması amacıyla yürütülen uygulamalarda, radyoaktif kaynakların toplam aktivitesi bir radyoaktif kaynağın aktivitesi gibi düşünülebilir) toplam A/D değeri, aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\text{Toplam } \frac{A}{D} = \sum_n \frac{\sum_i A_{i,n}}{D_n}$$

$A_{i,n}$ = Her bir i kaynağındaki n radyoizotopunun aktivitesi

D_n = n inci radyoizotopun D-değeri

Bu doğrultuda hesaplanan toplam A/D değeri, **Çizelge 2.2'** de verilen A/D değerleri ile karşılaştırılarak aynı anda birden fazla radyoaktif kaynak bulundurulması veya kullanılması durumu için radyoaktif kaynak sınıfı belirlenebilir.

2.1 Radyoaktif Kaynakların Sınıflandırmasına İlişkin Örnek Hesaplama

Bir radyasyon uygulamasında 2 Curie (Ci) Am-241 ve 3 Curie (Ci) Cs-137 olmak üzere iki adet radyoaktif kaynağın aynı anda bulunduğu bir düzenek için radyoaktif kaynak sınıfı belirlenmesi aşağıda verildiği şekilde yapılabilir.

Bu durumda toplam A/D değeri hesaplanırken;

a) EK-1 'den radyasyon uygulamasındaki radyoaktif kaynakların D-değerleri;

$D_{Am-241} = 6 \times 10^{-2}$ TBq ve $D_{Cs-137} = 1 \times 10^{-1}$ TBq olarak elde edilir.

b) Radyasyon uygulamasındaki radyoaktif kaynakların aktivite değerleri (A):

$A_{Am-241} = 2$ Ci ve $A_{Cs-137} = 3$ Ci olarak verilmiştir.

Matematiksel işlem yapılabilmesi için Ci biriminde verilen aktivite değerleri, TBq birimine dönüştürülmelidir.

1 Ci = 3,7 x 10⁻² TBq eşitliği kullanılarak;

$A_{Am-241} = 7,4 \times 10^{-2}$ TBq ve $A_{Cs-137} = 11,1 \times 10^{-2}$ TBq değerleri bulunur.

c) A/D oranı;

$$\text{Toplam } \frac{A}{D} = \sum_n \frac{\sum_i A_{i,n}}{D_n}$$

denkleminde, aktivite ve D-değerleri yerlerine konularak;

$$\text{Toplam } \frac{A}{D} = \frac{7,4 \times 10^{-2}}{6 \times 10^{-2}} + \frac{11,1 \times 10^{-2}}{1 \times 10^{-1}}$$

işlemi yapıldığında;

$$\text{Toplam } \frac{A}{D} = 2,377$$

olarak bulunur.

Bu çerçevede söz konusu radyasyon uygulaması için; hesaplanan toplam A/D değeri, **Çizelge 2.2**'deki A/D oranlarına bakılarak değerlendirildiğinde radyoaktif kaynak sınıfının "Sınıf 3" olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

IAEA, 2003, Categorization of radioactive sources, IAEA-TECDOC-1344, Revision of IAEA-TECDOC-1191, International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2004, Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources, IAEA/CODEOC/2004, International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2005, Categorization of Radioactive Sources, Safety Guide No. RS-G-1.9, International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2006, Dangerous quantities of radioactive material (D-values), IAEA-EPR-D-Values 2006, International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2014, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, International Atomic Energy Agency, Vienna.

EKLER**EK-1 Radyoizotopların D-Değerleri**

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)	Radyoizotop	D-Değeri (TBq)	Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
H-3	2×10^3	V-49	2×10^3	As-73	4×10^1
Be-7	1	Cr-51	2	As-74	9×10^{-2}
Be-10	3×10^1	Mn-52	2×10^{-2}	As-76	2×10^{-1}
C-11	6×10^{-2}	Mn-54	8×10^{-2}	As-77	8
C-14	5×10^1	Mn-56	4×10^{-2}	Se-75	2×10^{-1}
N-13	6×10^{-2}	Fe-52+	2×10^{-2}	Se-79	2×10^2
F-18	6×10^{-2}	Fe-55	8×10^2	Br-76	3×10^{-2}
Na-22	3×10^{-2}	Fe-59	6×10^{-2}	Br-77	2×10^{-1}
Na-24	2×10^{-2}	Fe-60+	6×10^{-2}	Br-82	3×10^{-2}
Mg-28	2×10^{-2}	Co-55+	3×10^{-2}	Kr-81	3×10^1
Al-26	3×10^{-2}	Co-56	2×10^{-2}	Kr-85	3×10^1
Si-31	1×10^1	Co-57	7×10^{-1}	Kr-85m	5×10^{-1}
Si-32+	7	Co-58	7×10^{-2}	Kr-87	9×10^{-2}
P-32	1×10^1	Co-58m+	7×10^{-2}	Rb-81	1×10^{-1}
P-33	2×10^2	Co-60	3×10^{-2}	Rb-83	1×10^{-1}
S-35	6×10^1	Ni-59	1×10^3	Rb-84	7×10^{-2}
Cl-36	2×10^1	Ni-63	6×10^1	Rb-86	7×10^{-1}
Cl-38	5×10^{-2}	Ni-65	1×10^{-1}	Sr-82	6×10^{-2}
Ar-39	3×10^2	Cu-64	3×10^{-1}	Sr-85	1×10^{-1}
Ar-41	5×10^{-2}	Cu-67	7×10^{-1}	Sr-85m+	1×10^{-1}
K-42	2×10^{-1}	Zn-65	1×10^{-1}	Sr-87m	2×10^{-1}
K-43	7×10^{-2}	Zn-69	3×10^1	Sr-89	2×10^1
Ca-45	1×10^2	Zn-69m+	2×10^{-1}	Sr-90+	1
Ca-47+	6×10^{-2}	Ga-67	5×10^{-1}	Sr-91+	6×10^{-2}
Sc-44	3×10^{-2}	Ga-68	7×10^{-2}	Sr-92+	4×10^{-2}
Sc-46	3×10^{-2}	Ga-72	3×10^{-2}	Y-87+	9×10^{-2}
Sc-47	7×10^{-1}	Ge-68+	7×10^{-2}	Y-88	3×10^{-2}
Sc-48	2×10^{-2}	Ge-71	1×10^3	Y-90	5
Ti-44+	3×10^{-2}	Ge-77+	6×10^{-2}	Y-91	8
V-48	2×10^{-2}	As-72	4×10^{-2}	Y-91m+	1×10^{-1}

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
Y-92	2×10^{-1}
Y-93	6×10^{-1}
Zr-88+	2×10^{-2}
Zr-95+	4×10^{-2}
Zr-97+	4×10^{-2}
Nb-93m	3×10^2
Nb-94	4×10^{-2}
Nb-95	9×10^{-2}
Nb-97	1×10^{-1}
Mo-93+	3×10^2
Mo-99+	3×10^{-1}
Tc-95m	1×10^{-1}
Tc-96	3×10^{-2}
Tc-96m+	3×10^{-2}
Tc-97m	4×10^1
Tc-98	5×10^{-2}
Tc-99	3×10^1
Tc-99m	7×10^{-1}
Ru-97	3×10^{-1}
Ru-103+	1×10^{-1}
Ru-105+	8×10^{-2}
Ru-106+	3×10^{-1}
Rh-99	1×10^{-1}
Rh-101	3×10^{-1}
Rh-102	3×10^{-2}
Rh-102m	1×10^{-1}
Rh-103m	9×10^2
Rh-105	9×10^{-1}
Pd-103+	9×10^1
Pd-109	2×10^1

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
Ag-105	1×10^{-1}
Ag-108m	4×10^{-2}
Ag-110m	2×10^{-2}
Ag-111	2
Cd-109	2×10^1
Cd-113m	4×10^1
Cd-115+	2×10^{-1}
Cd-115m	3
In-111	2×10^{-1}
In-113m	3×10^{-1}
In-114m	8×10^{-1}
In-115m	4×10^{-1}
Sn-113+	3×10^{-1}
Sn-117m	5×10^{-1}
Sn-119m	7×10^1
Sn-121m+	7×10^1
Sn-123	7
Sn-125	1×10^{-1}
Sn-126+	3×10^{-2}
Sb-122	1×10^{-1}
Sb-124	4×10^{-2}
Sb-125+	2×10^{-1}
Sb-126	2×10^{-2}
Te-121	1×10^{-1}
Te-121m+	1×10^{-1}
Te-123m	6×10^{-1}
Te-125m	1×10^1
Te-127	1×10^1
Te-127m+	3
Te-129	1

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
Te-129m+	1
Te-131m+	4×10^{-2}
Te-132+	3×10^{-2}
I-123	5×10^{-1}
I-124	6×10^{-2}
I-125	2×10^{-1}
I-126	1×10^{-1}
I-131	2×10^{-1}
I-132	3×10^{-2}
I-133	1×10^{-1}
I-134	3×10^{-2}
I-135	4×10^{-2}
Xe-122	6×10^{-2}
Xe-123+	9×10^{-2}
Xe-127	3×10^{-1}
Xe-131m	1×10^1
Xe-133	3
Xe-135	3×10^{-1}
Cs-129	3×10^{-1}
Cs-131	2×10^1
Cs-132	1×10^{-1}
Cs-134	4×10^{-2}
Cs-134m+	4×10^{-2}
Cs-136	3×10^{-2}
Cs-137+	1×10^{-1}
Ba-131+	2×10^{-1}
Ba-133	2×10^{-1}
Ba-133m	3×10^{-1}
Ba-140+	3×10^{-2}
La-137	2×10^1

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
La-140	3×10^{-2}
Ce-139	6×10^{-1}
Ce-141	1
Ce-143+	3×10^{-1}
Ce-144+	9×10^{-1}
Pr-142	1
Pr-143	3×10^1
Nd-147+	6×10^{-1}
Nd-149+	2×10^{-1}
Pm-143	2×10^{-1}
Pm-144	4×10^{-2}
Pm-145	1×10^1
Pm-147	4×10^1
Pm-148m	3×10^{-2}
Pm-149	6
Pm-151	2×10^{-1}
Sm-145+	4
Sm-151	5×10^2
Sm-153	2
Eu-147	2×10^{-1}
Eu-148	3×10^{-2}
Eu-149	2
Eu-150b	2
Eu-150a	5×10^{-2}
Eu-152	6×10^{-2}
Eu-152m	2×10^{-1}
Eu-154	6×10^{-2}
Eu-155	2
Eu-156	5×10^{-2}
Gd-146+	3×10^{-2}

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
Gd-148	4×10^{-1}
Gd-153	1
Gd-159	2
Tb-157	1×10^2
Tb-158	9×10^{-2}
Tb-160	6×10^{-2}
Dy-159	6
Dy-165	3
Dy-166+	1
Ho-166	2
Ho-166m	4×10^{-2}
Er-169	2×10^2
Er-171	2×10^{-1}
Tm-167	6×10^{-1}
Tm-170	2×10^1
Tm-171	3×10^2
Yb-169	3×10^{-1}
Yb-175	2
Lu-172	4×10^{-2}
Lu-173	9×10^{-1}
Lu-174	8×10^{-1}
Lu-174m+	6×10^{-1}
Lu-177	2
Hf-172+	4×10^{-2}
Hf-175	2×10^{-1}
Hf-181	1×10^{-1}
Hf-182+	5×10^{-2}
Ta-178a	7×10^{-2}
Ta-179	6
Ta-182	6×10^{-2}

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
W-178	9×10^{-1}
W-181	5
W-185	1×10^2
W-187	1×10^{-1}
W-188+	1
Re-184	8×10^{-2}
Re-184m+	7×10^{-2}
Re-186	4
Re-188	1
Re-189	1
Os-185	1×10^{-1}
Os-191	2
Os-191m+	1
Os-193	1
Os-194+	7×10^{-1}
Ir-189	1
Ir-190	5×10^{-2}
Ir-192	8×10^{-2}
Ir-194	7×10^{-1}
Pt-188+	4×10^{-2}
Pt-191	3×10^{-1}
Pt-193	3×10^3
Pt-193m	1×10^1
Pt-195m	2
Pt-197	4
Pt-197m+	9×10^{-1}
Au-193	6×10^{-1}
Au-194	7×10^{-2}
Au-195	2
Au-198	2×10^{-1}

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
Au-199	9×10^{-1}
Hg-194+	7×10^{-2}
Hg-195m+	2×10^{-1}
Hg-197	2
Hg-197m+	7×10^{-1}
Hg-203	3×10^{-1}
Tl-200	5×10^{-2}
Tl-201	1
Tl-202	2×10^{-1}
Tl-204	2×10^1
Pb-201+	9×10^{-2}
Pb-202+	2×10^{-1}
Pb-203	2×10^{-1}
Pb-210+	3×10^{-1}
Pb-212+	5×10^{-2}
Bi-205	4×10^{-2}
Bi-206	2×10^{-2}
Bi-207	5×10^{-2}
Bi-210+	8
Bi-210m	3×10^{-1}
Bi-212+	5×10^{-2}
Po-210	6×10^{-2}
At-211	5×10^{-1}
Rn-222	4×10^{-2}
Ra-223+	1×10^{-1}
Ra-224+	5×10^{-2}
Ra-225+	1×10^{-1}
Ra-226+	4×10^{-2}
Ra-228+	3×10^{-2}
Ac-225	9×10^{-2}

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
Ac-227+	4×10^{-2}
Ac-228	3×10^{-2}
Th-227+	8×10^{-2}
Th-228+	4×10^{-2}
Th-229+	1×10^{-2}
Th-230+	7×10^{-2}
Th-231	1×10^1
Th-234+	2
Pa-230+	1×10^{-1}
Pa-231+	6×10^{-2}
Pa-233	4×10^{-1}
U-230+	4×10^{-2}
U-232+	6×10^{-2}
U-233	7×10^{-2}
U-234+	1×10^{-1}
U-235+	8×10^{-5}
U-236	2×10^{-1}
Np-235	1×10^2
Np-236b+	7×10^{-3}
Np-236a	8×10^{-1}
Np-237+	7×10^{-2}
Np-239	5×10^{-1}
Pu-236	1×10^{-1}
Pu-237	2
Pu-238	6×10^{-2}
Pu-239	6×10^{-2}
Pu-240	6×10^{-2}
Pu-241+	3
Pu-242	7×10^{-2}
Pu-244+	3×10^{-4}

Radyoizotop	D-Değeri (TBq)
Am-241	6×10^{-2}
Am-242m+	3×10^{-1}
Am-243+	2×10^{-1}
Am-244	9×10^{-2}
Cm-240	3×10^{-1}
Cm-241+	1×10^{-1}
Cm-242	4×10^{-2}
Cm-243	2×10^{-1}
Cm-244	5×10^{-2}
Cm-245	9×10^{-2}
Cm-246	2×10^{-1}
Cm-247	1×10^{-3}
Cm-248	5×10^{-3}
Bk-247	8×10^{-2}
Bk-249	1×10^1
Cf-248+	1×10^{-1}
Cf-249	1×10^{-1}
Cf-250	1×10^{-1}
Cf-251	1×10^{-1}
Cf-252	2×10^{-2}
Cf-253	4×10^{-1}
Cf-254	3×10^{-4}
²³⁹ Pu/ ⁹ Be	6×10^{-2}
²⁴¹ Am/ ⁹ Be	6×10^{-2}

