

RADYASYON OLAY VEYA KAZALARININ SINIFLANDIRILMASINA İLİŞKİN KILAVUZ

RSGD-KLV-033



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

İÇİNDEKİLER

1. KILAVUZUN AMACI	1
2. GİRİŞ	1
3. SINIFLANDIRMAYA İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER	2
4. SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ	3
5. DEĞERLENDİRME ALANLARI	3
5.1. Olay veya Kazaların İnsan ve Çevre Üzerindeki Etkileri	3
5.1.1. Kişilerin maruz kaldıkları dozlar	3
5.1.2. Salınan radyoaktivite	5
5.2. Olay veya Kazaların Tesislerdeki Radyolojik Bariyerler ve Kontroller Üzerindeki Etkileri	6
5.3. Radyasyon Kaynakları ve Bunların Taşınmasına İlişkin Olay veya Kazaların Derinlemesine Savunma Üzerindeki Etkileri	6
5.3.1. Maksimum potansiyel sonuçlar	7
5.3.2. Güvenlik önlemlerinin etkinliği	9
5.3.3. Güvenlik kültürüne ilişkin faktörler	12
5.4. Belirli Tesislerde Meydana Gelen Olay veya Kazaların Derinlemesine Savunma Üzerindeki Etkileri	13
5.4.1. Maksimum potansiyel sonuçlar	14
5.4.2. Güvenlik önlemlerinin etkinliği	14
5.4.3. İlave faktörler	15
KAYNAKÇA	17
Ek-1. Radyasyon Kaynaklarının Sınıflandırılması	18
Ek-2. Radyasyon Olay veya Kazalarının Sınıflandırılmasına İlişkin Örnek	19

1. KILAVUZUN AMACI

Bu kılavuz; radyasyon tesis, uygulama ve faaliyetlerinde meydana gelebilecek radyasyon olay veya kazalarının radyasyon güvenliği açısından değerlendirilmesi ve sınıflandırılması hakkında bilgi vermek amacıyla hazırlanmıştır.

2. GİRİŞ

Radyasyon kaynakları endüstriyel, tıbbi, araştırma-eğitim ve güvenlik amaçlı uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Genel olarak, radyasyon kaynakları ile faaliyet gösteren kuruluşlar, yüksek güvenlik standartları ile iyi oluşturulmuş güvenlik önlemleri ve çalışma prosedürlerine sahiptir ve bu yerlerde kaynaklarla çalışanları korumak üzere gerekli tedbirler alınır. Ancak bu durum, söz konusu faaliyetlerin olay veya kaza oluşma riski taşımadığı anlamına gelmez. Radyasyon olay veya kazaları, radyasyon güvenliği ve radyasyondan korunmayı sağlayıcı teknik ve idari tüm güvenlik önlemlerine rağmen beklenmedik şekilde herhangi bir yerde meydana gelebilir.

Radyasyon kaynaklarıyla faaliyet gösteren kişiler tarafından risklerin farkında olunması, bu alandaki ulusal ve uluslararası gerekliliklere uyularak güvenli şekilde faaliyet gösterilmesiyle risklerin kontrol altına alınarak olay veya kazaların önlenmesi mümkündür. Öte yandan bir olay veya kaza meydana geldiğinde ilgili kişi, kurum ve kuruluşlar tarafından gerçekleştirilecek uygun müdahale çalışmalarıyla çalışanlar, halk ve çevre için potansiyel sonuçlar hafifletilerek olumsuz durumlar kontrol altına alınabilir.

Radyasyon olay veya kazalarının nasıl ve hangi nedenlerle gerçekleştiğinin ve sonuçlarının incelenmesi ile dersler çıkarılması suretiyle değerlendirilmesi, benzer kazaların önüne geçilmesinde büyük etkiye sahiptir. Bu kapsamda, radyasyon olay veya kazalarının güvenlik açısından değerlendirilebilmesi ve önemi hakkında bilgi edinilebilmesi için derecelendirilmesi önem taşır. Örneğin deprem veya sıcaklıkla ilgili bilgilerin, Richter veya Celsius ölçekleri ile anlaşılabilmesi mümkündür. Benzer şekilde, radyasyon olay veya kazaları için, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na ait olan ve dünya çapında kullanılan Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES) bulunmaktadır. INES adlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak radyasyon olay veya kazaları değerlendirilmekte ve sınıflandırılmaktadır. Böylece radyasyon olay veya kazalarının radyasyon güvenliği açısından önemi anlaşılabilir.

INES, radyasyon kaynaklarını içeren olay veya kazaların derecelendirilmesi için gerekli kriterleri verir ve bunların etkilerini ve güvenlik önlemlerini derecelendirmek amacıyla sorumlulara yol gösterir. INES, radyasyon kaynaklarının kullanıldığı, bulundurulduğu, depolandığı, taşındığı vb. tüm radyasyon tesis, uygulama ve faaliyetlerinde meydana gelen olay veya kazaları kapsar, bunlara uygulanabilir. Hatta INES kapsamında radyoaktif kaynakların kaybolması, çalınması, bulunması, bunların radyoaktif kaynak olduğu bilinmeden hurda metal satıcılarına satılması, radyoterapi gibi tıbbi uygulamalarda hastaların çok yüksek dozlara maruz kaldıkları kazalara da uygulanabilir.

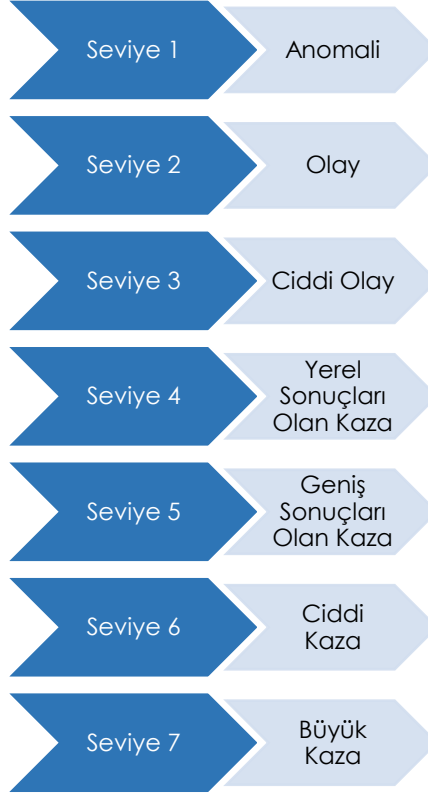
INES, askeri radyasyon uygulamalarındaki olay veya kazaları, emniyetle bağlantılı ve kasıtlı eylemleri içermez. Yöntem, sadece radyolojik ve nükleer güvenlikle ilgili konularda geçerlidir. Örneğin radyasyon tesisinde meydana gelen kimyasal bir tehlike bu kapsamda değerlendirilmez. Muhtemel radyolojik bir tehlike teşkil etmeyen, radyasyon güvenliğiyle ilgili herhangi bir bileşenin etkilenmediği olay veya kazalar INES'te ele alınmaz.

Bu kılavuzda radyasyon olay veya kazalarının değerlendirilmesi ve sınıflandırılması, bahsedilen INES sınıflandırma yöntemiyle açıklanmaya çalışılmıştır.

3. SINIFLANDIRMAYA İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER

INES dâhilinde olay veya kazalar, toplamda 7 seviyede (1 – 7) sınıflandırılır. 1 ve 3 arası, olay; 4 ve 7 arası, kaza olarak adlandırılır. Her bir seviye, söz konusu olay veya kazanın öneminin artışına göre Şekil 1'de görüldüğü gibi adlandırılır.

Şekil 1. INES seviyeleri [2]



Ayrıca güvenlik açısından herhangi bir önem taşımayan olaylar da ölçek altı veya seviye 0 olarak adlandırılır.

Olay veya kazalar sınıflandırılırken bunların 3 farklı alandaki etkilerine göre değerlendirime yapılır. Bunlar:

- İnsan ve çevre üzerindeki etkiler (Bölüm 5.1),
- Tesislerde radyolojik bariyerler ve kontroller üzerindeki etkiler (Bölüm 5.2),
- Derinlemesine savunma üzerindeki etkilerdir (Bölüm 5.3 ve Bölüm 5.4.).

İnsan ve çevre üzerindeki etkiler, kaza yerine yakın olan bir ya da birkaç kişinin radyasyona maruz kalması veya yakın çevreye radyoaktif maddelerin salınması gibi bölgesel olabilir. Tesislerde radyolojik bariyerler ve kontroller üzerindeki etkiler, yüksek miktarda radyoaktif madde içeren tesislerle ilgili olup radyolojik bariyerlerdeki noksanlıktan dolayı insanlar ve çevrenin güvenliğini tehdit eden önemli miktarda radyoaktif madde yayılması/dökülmesi gibi olay veya kazalardaki etkileri kapsar. Bu iki etkiyi kapsayan olay veya kazalarda kişilerin radyasyona maruz kalması, radyoaktif maddelerin çevreye salınması gibi gerçek sonuçlar meydana gelmektedir. Derinlemesine savunma üzerinde etkiler ise gerçek sonuçların meydana gelmediği, bu kapsamda alınan önlemlerin, olay veya kazaların engellenmesi ve kontrol altına alınması için istenen şekilde etki etmediği durumları içerir. Yani ilk iki etki alanı, insan ve çevre üzerinde gerçek sonuçlara, üçüncü etki ise derinlemesine savunmada bozulmalara neden olan olay veya kazaları kapsar [2].

4. SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ

Yukarıda belirtildiği gibi INES'te her bir olay veya kaza aşağıdaki bölümde detaylı olarak anlatılacak olan 3 farklı değerlendirme alanındaki etkilerine göre analiz edilir. Olay veya kazalar, bu 3 temel değerlendirme alanındaki kriterlerle değerlendirildikten sonra sonuçların hepsi hesaba katılarak elde edilen en yüksek derecenin belirleneceği nihai derecelendirme (**rating**) yapılır ve olay veya kazanın sınıfı belirlenmiş olur. Tüm detaylar bilinmese dahi mevcut bilgilerle bir derecelendirme yapılarak, yeni bilgilerin açığa çıkması neticesinde derecelendirme gözden geçirilerek güncellenmelidir. Bilinmesi gereken bir diğer husus da bir olay veya kaza için 3 temel alanın kriterleri uygulanırken nihai derecelendirmeyi etkilemeyecek olan kriterlerin uygulanmasına gerek olmayabileceğidir.

Son olarak INES sınıflandırma sistemi, acil durumlara hazırlık sınıflandırma sistemiyle karıştırılmamalı ve acil durum müdahale eylemlerini belirlemede bir dayanak olarak kullanılmamalıdır. Aynı şekilde acil durum hazırlık sınıflandırma sistemi de INES sınıflandırma sistemi için bir dayanak olarak kullanılmamalıdır.

5. DEĞERLENDİRME ALANLARI

5.1. Olay veya Kazaların İnsan ve Çevre Üzerindeki Etkileri

Olay veya kazaların insan ve çevre üzerindeki etkileri açısından derecelendirmeleri yapılırken çalışanlar, halk ve çevre üzerindeki radyolojik etkiler hesaba katılır. Bu değerlendirme, etkilenenlerin sayısı ve maruz kaldıkları radyasyon dozları ile salınan radyoaktif maddenin miktarına bağlıdır.

Bu değerlendirme alanında, en temel olarak olay veya kazadan etkilenen kişilerin sayısı ve maruz kaldıkları dozlar baz alınır. Ancak büyük olay veya kazalarda maruz kalınabilecek dozlar tek başına belirleyici olmayabilir. Örneğin geniş bir bölgeyi etkileyebilecek bir kazada etkin tahliye çalışmalarının yapılmasıyla kazadan etkilenen kişiler düşük dozlarla kurtulabilir. Bu nedenle maruz kalınan dozların yanında diğer faktörler de ele alınmalıdır. Bu faktörler, varsa salınan radyoaktif maddenin miktarı olabilir. Ancak salınan radyoaktivite, sadece yüksek miktarda radyoaktif madde salınması ve yayılması potansiyeline sahip olay veya kazaların sınıflandırması için belirleyici olabileceğinden radyasyon olay veya kazalarında hesaba katılmasına gerek duyulmayabilir.

Radyasyon kaynaklarının kullanılması, bulundurulması ve taşınmasını içeren olay veya kazalar için bu alandaki kriterlerin kullanılması genellikle yeterli olmaktadır. İnsan ve çevre üzerindeki etkiler için 2 temel kriter mevcuttur. Bunlar; kişilerin maruz kaldıkları dozlar ve salınan radyoaktivitedir.

5.1.1. Kişilerin maruz kaldıkları dozlar

Bu kriter için kişilerin maruz kaldıkları dozların bilinmesi veya en azından tahmin edilmesi gerekir. Söz konusu kriter kapsamında Tablo 1'de tanımları verilen 1'den 4'e kadar seviyeler mevcuttur. Bu seviyeler, bir kişinin belirlenen değerlerin üzerinde doza maruz kalmasına ilişkin bir derece belirler, birden fazla kişi belirlenen değerler üzerinde dozlara maruz kaldıysa bu kişilerin sayısı da hesaba katılır ve belirlenen derece artırılır (en fazla Seviye 6'ya kadar çıkartılabilir). Tablo 1'de yukarıda belirtilen seviyeler ve açıklamaları ile etkilenen kişi sayısı dikkate alındığında elde edilen nihai derecelendirme hakkında bilgiler yer almaktadır.

Tablo 1. Kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriterine ilişkin seviyeler [2]

Maruz Kalma Seviyesi	Minimum Derecelendirme	Etkilenen Kişi Sayısı	Derecelendirme
Halktan 1 kişinin yıllık doz sınırlarını aşan dozlara maruz kalması (Doz sınırları; tüm vücut, cilt, göz için yasal doz sınırları olarak değerlendirilir.)	1	≥ 100	3
		≥ 10	2
		< 10	1
1 çalışanın veya halktan 1 kişinin yıllık doz sınırlarını aşmasına neden olan kümülatif maruziyetin söz konusu olması	1	≥ 1	1
Halktan 1 kişinin 10 mSv üzerinde etkin doza maruz kalması	2	≥ 100	4
		≥ 10	3
		< 10	2
1 çalışanın yıllık doz sınırlarını aşan dozlara maruz kalması	3	> 30	5
Ölümcül olmayan deterministik etkilerin oluşması		$30 \geq \dots > 3$	4
Ölümcül olmayan deterministik etkilerin oluşmasının muhtemel olacağı dozlara maruz kalınması		≤ 3	3
Çalışanlar için yıllık etkin doz sınırınının 10 katından yüksek etkin dozlara maruz kalınması	3	≥ 100	5
		≥ 10	4
		< 10	3
Birkaç Gy mertebesinde etkin doza maruz kalınması sonucu ölümcül deterministik etkilerin oluşması	4	> 30	6 ¹
		$30 \geq \dots > 3$	5
		≤ 3	4
Birkaç Gy mertebesinde etkin doza maruz kalınması sonucu ölümcül deterministik etkilerin oluşmasının muhtemel olması			

Bununla birlikte, eğer kişiler farklı seviyelerde dozlara maruz kaldıysa yukarıda anlatılan değerlendirmeler yapılarak elde edilen en yüksek değer, olay veya kazalar için derecelendirme değeri olarak alınır. Örneğin halktan 10 kişinin 1 – 10 mSv ve 10 kişinin 20 mSv etkin dozlara maruz kaldıkları bir olay veya kaza için bu 2 grup üzerinden nihai derecelendirme aşağıdaki değerlendirmelerle elde edilir:

- İlk grup için; halktan bir kişinin 1 – 10 mSv doza maruz kalması, seviye 1 olarak elde edilir, bu dozlara 10 kişinin maruz kalmasıyla bu değer seviye 2'ye yükselir. Böylece söz konusu olay veya kazanın derecesi seviye 2 olarak belirlenir.
- İkinci grup için; halktan bir kişinin 20 mSv doza maruz kalması, seviye 2 olarak elde edilir, bu dozlara 10 kişinin maruz kalmasıyla bu değer seviye 3'e yükselir. Böylece söz konusu olay veya kazanın derecesi seviye 3 olarak belirlenir.

İki gruba yönelik yapılan değerlendirmeler sonucu, olay veya kazanın nihai derecesini yüksek olan seviye belirlediğinden, nihai derecelendirme seviye 3 olarak edilir. Bu da olay veya kazanın INES ölçeğinde 3'üncü sınıf, yani ciddi olay olduğu anlamına gelir.

¹ Bu derecelendirmeye sahip bir radyasyon kazası beklenmez.

5.1.2. Salınan radyoaktivite

Radyasyon kaynaklarını içeren olay veya kazalarla ilgili bu kritere yönelik olarak, salınan radyoaktivite miktarı türünden sadece seviye 4 ve 5 için tanımlar mevcuttur. Olay veya kazanın derecelendirmesi yapılırken kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriterinin yanında salınan aktivite de göz önüne alınmalıdır. Çünkü büyük radyoaktif salınımların olduğu durumlarda, alınan doz uygulanan koruyucu eylemlere² ve diğer çevresel koşullara büyük ölçüde bağlı olur. Koruyucu eylemler başarılı olursa alınan dozlar, salınan radyoaktivite ile orantılı olmayacaktır [2].

Radyasyon kaynaklarını içeren olay veya kazalarda radyoaktif kaynağın salınımı meydana gelirse Tablo 2'de verilen D₂ değerleri kullanılmalıdır. D₂ değeri; bir radyoizotopun, kontrolden çıkar ve yayılırsa ciddi deterministik etkilere yol açması beklenen bir acil duruma neden olabilecek seviyedeki aktivite miktarıdır [2].

Salınan radyoaktivite kriteri kullanılırken belirli bir radyoaktif kaynaktan salınan radyoaktivite değerinin, kaynağın D₂ değerine kıyasla ne boyuta olduğunu hesaplanması gerekir. Aralarındaki oran belirlendikten sonra salınan radyoaktivitenin Tablo 3'teki seviyelerde olup olmadığı tespit edilir. Eğer bu seviyelerde bir salınım söz konusu değilse olay veya kazanın derecelendirmesine ilişkin bir sonuç elde edilmez. Bir olay veya kaza için bu kriter değerlendirilirken sonucunda sadece bu seviyelerde bir salınım olduğu zaman derecelendirme elde edilebilir.

Tablo 2. Bazı radyoizotoplara ilişkin D₂ değerleri [2]

Radyoizotop	D ₂ (TBq)
Am-241	0,06
Am-241/Be	0,06
Cf-252	0,01
Co-60	30
Cs-137	20
I-124	0,2
I-131	0,2
Ir-192	20
Kr-85	2000
Se-75	200
Sr-90 (Y-90)	1
Tc-99m	700

Tablo 3. Salınan radyoaktivite kriterine ilişkin seviyeler [2]

Seviye	Açıklaması
Seviye 4	Bir radyoaktif kaynağın radyoaktivitesinin, salınan izotopa ilişkin D ₂ değerinin 250 katından büyük olduğu olay veya kaza (Bu durumda yerel gıda kontrolü dışında koruyucu eylemler gerekmez.)
Seviye 5	Bir radyoaktif kaynağın radyoaktivitesinin, salınan izotopa ilişkin D ₂ değerinin 2500 katından büyük olduğu olay veya kaza (Bu durumda tahliye gibi koruyucu eylemler gerekebilir.)

Havanın kontamine olmasına neden olacak radyoaktivite salınımlarını içermeyen olay veya

² Koruyucu eylemler; bir kaza meydana geldiğinde çalışanların ve halkın korunması için uygulanacak tahliye, tahliye edililerin izlenmesi, kaza tesisinde meydana geldiyse tesis içindeki personelin korunması, arama ve kurtarma faaliyetleri gibi eylemleri ifade eder.

kazalar (sıvı salımlar veya radyoaktif maddelerin dökülmesiyle yüzey kontaminasyonunun söz konusu olduğu durumlar) için genellikle kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriteri belirleyici olmaktadır [2]. Bununla birlikte, özellikle radyoaktivitesi bilinen radyoaktif kaynağın zırhının ve bütünlüğünün parçalanarak açığa çıktığı bir olay veya kazalarda, kaynağın radyoaktivite değeri doğrultusunda salınan radyoaktivite kriteri kullanılarak bu kriter açısından olay veya kaza için bir derecelendirme elde edilebilir. Bununla birlikte salınan radyoaktivite, radyasyon tesis ve uygulamalarında radyoizotopların belirli sınırların altında kontrollü salımı (çevreye verilmesi) ile karıştırılmamalıdır.

5.2. Olay veya Kazaların Tesislerdeki Radyolojik Bariyerler ve Kontroller Üzerindeki Etkileri

Tüm olay veya kazalar için, insan ve çevre üzerindeki etkiler ile derinlemesine savunmaya bağlı kriterler uygulanabilir. Ancak büyük miktarda radyoaktif maddenin salınması potansiyeli olan büyük tesislerdeki radyolojik bariyerlerde önemli bozulmalar meydana gelebilir ama bu bozulmalar insan ve çevre için önemli sonuçlara neden olmayabilir.

Bu gibi durumları içeren tesislerde, tesislerdeki radyolojik bariyerler ve kontroller üzerindeki etkileri değerlendirme alanındaki kriterler geçerlidir. Bu alandaki kriterler, çok büyük miktarda radyoaktif maddenin salınması potansiyeline sahip olan (birkaç bin TBq'e kadar) büyük tesislere yönelik olarak uygulanabilir. Bu kapsamda belirtilen tesisler, belirli sınırlara sahip, salınan radyoaktivite kriterindeki seviye 5 veya üstü radyoaktif madde salım potansiyeli olan tesisleri içermektedir [2].

Söz konusu kriterler, nükleer güç reaktörleri, araştırma reaktörleri, yakıt çevrim tesisleri gibi nükleer tesisler için anlam ifade etmektedir. Öte yandan radyasyon kaynaklarının kullanıldığı ve bulunduğu tesislerde bu denli sonuçlar beklenmediğinden, bu kriterlerin bu tesislerde meydana gelen radyasyon kazalarına uygulanmasına gerek duyulmamaktadır.

5.3. Radyasyon Kaynakları ve Bunların Taşınmasına İlişkin Olay veya Kazaların Derinlemesine Savunma Üzerindeki Etkileri

Radyasyon kazalarının birçoğu cihaz/sistem/ekipman veya prosedürlerdeki hatalardan meydana gelmiştir. Böyle birçok olay veya kazanın gerçek sonuçlara yol açmadığı halde güvenlik açısından büyük öneme sahip olduğu görülür [2]. Bu nedenle sadece gerçek sonuçlar değil aynı zamanda potansiyel sonuçların da değerlendirmeye katılması gerekir.

Bu değerlendirme alanı kapsamında, radyoaktif maddenin miktarı ve güvenlik önlemlerindeki zayıflamaların ciddiyetine dayalı kriterler tanımlanmıştır. Aslında daha çok potansiyel sonuçlarla ilgili olan bu kriterler, radyasyon kaynaklarını içeren tüm uygulama ve faaliyetlerin birçok güvenlik koşulunu kapsadığını gösterir. Söz konusu koşulların sayısı ve güvenilirliği, uygulama veya faaliyetin tasarımına ve potansiyel tehlikelerin büyüklüğüne bağlıdır.

Derinlemesine savunma kavramı genel olarak, çalışanların, halkın ve çevrenin güvenliği için çoklu önlemlerin dâhil edilmesi olarak tanımlanır. Radyasyon kaynaklarını içeren uygulama ve faaliyetlerde güvenlik, iyi bir tasarım, iyi şekilde kontrol edilen çalışmalar, idari kontroller ve radyasyondan korunma sistemleri (devre kesiciler, alarmlar, fiziksel bariyerler vb.) ile sağlanır. Derinlemesine savunma yaklaşımı, ekipman arızası, insan hatası ve planlanmayan tehlikelerin oluşumunun engellenmesi için bu güvenlik önlemlerine uygulanır. Diğer yandan bu yaklaşım aslında korumacı tasarım, kalite güvencesi, denetim, hafifletici önlemler ve genel güvenlik kültürü (diğer hususları da güçlendiren) hususlarının bir kombinasyonudur [2].

Derinlemesine savunma, güvenliğin sağlanması için uygulanan en önemli temel ilkelerdendir. Tek bir ekipman arızası veya bir insan hatası doğrudan bir kazaya neden olmamalıdır. Bu nedenle yukarıda bahsedilen çoklu güvenlik önlemlerinin sağlanması, bir koruyucu önlem başarısız olsa dahi istenen güvenliğin sürdürülmesini temin edebilecektir. Bu çoklu güvenlik katmanları mevcut olmadığında tek bir hata veya arıza bile kazaya neden olabilir. Geçmiş

kazalar üzerine yapılan araştırmalar, güvenlik katmanlarının başlangıçta (örneğin lisanslama aşamasında) mevcut olduğu ancak daha sonra muhafaza edilmediği veya kasıtlı olarak es geçildiğinde kazaların meydana gelebileceğini göstermektedir [5].

Bu değerlendirme alanında, bir olay veya kazanın meydana gelmesi durumunda geriye kalan güvenlik önlemlerinin sayısı ve eğer tüm güvenlik önlemleri başarısız olursa meydana gelebilecek maksimum potansiyel sonuçlar dikkate alınır. Bunların yanında ayrıca radyasyon kaynağı içeren uygulama ve faaliyetleri yürütenler açısından güvenlik kapsamındaki bozulmalara işaret eden ilave faktörler de hesaba katılır [2].

Bazı radyasyon uygulamaları için maksimum potansiyel sonuçlar, tüm güvenlik önlemleri başarısız olsa dahi radyoaktif maddenin kendisi (örneğin kapalı kaynakların kaynağın yayılmasını, dökülmesini engelleyen tasarımı) tarafından sınırlanır. Bu gibi uygulamalarda gerçekleşen olay veya kazanın sınıflandırılmasında derinlemesine savunma seviyelerinin en yüksekini kullanmak makul değildir.

Sonuç olarak bir olay veya kazayı derinlemesine savunma üzerindeki etkiler açısından derecelendirmek için aşağıdaki işlemler yapılır:

- İlgili radyasyon uygulamasındaki maksimum potansiyel sonuçlara ilişkin derecelendirmenin elde edilmesiyle derinlemesine savunma için üst limit belirlenir.
- Sonrasında asıl derecelendirmenin yapılması için;
 - İlk olarak, mevcut olan güvenlik önlemlerinin sayısı ve etkinliği hesaba katılır,
 - Son olarak, olay veya kazaya ilişkin güvenlik kültürü hususları dikkate alınır.

Bu değerlendirme alanında, gerçek sonuçların olmadığı ama güvenlik önlemlerinin başarısız olduğu olay veya kazalara yönelik bilgi verilecektir. Bu alanda, radyasyon kaynakları ve radyoaktif kaynakların taşınmasını içeren olay veya kazalar ele alınacak olup hızlandırıcılar, üretim tesisleri, Kategori 1 kaynakları vb. ile ilgili olaylar ayrıca incelenecektir.

5.3.1. Maksimum potansiyel sonuçlar

Maksimum potansiyel sonuçlar, gerçekleşen olay veya kazanın koşullarına ve güvenlik önlemlerinin etkinliğine bağlı değildir. Bunlar, tüm güvenlik önlemlerinin başarısız olması durumunda meydana gelebilecek potansiyel sonuçları gösterir.

Bir olay veya kazaya ait maksimum potansiyel sonuçlar için öncelikle, Ek-1'de radyasyon kaynaklarının sınıflandırılmasına ilişkin tabloda gösterilen, aktivite oranı $(A/D)^3$ veya radyoaktif kaynakların aktivite oranlarına bağlı ve kullanıldıkları yaygın uygulamalar bazındaki kaynak sınıflandırılmasından faydalanılarak olay veya kazadaki radyasyon kaynağının kategorisi belirlenmelidir. Buradaki A değeri, olay veya kazadaki radyoaktif kaynağın radyoaktivitesini ifade eder. D-değeri ise bir kaynağın tehlikeli kaynak olarak düşünüleceği, güvenli ve emniyetli bir şekilde kontrol altında tutulmazsa ciddi deterministik etkilere neden olacak potansiyele sahip olacağı aktivite değeridir. Radyasyon olay veya kazalarında en çok karşılaşılan radyoizotopların D-değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Eğer olay veya kaza, birden fazla kaynak içeriyorsa değerlendirmenin tek bir kaynak mı yoksa kaynakların tümü için mi yapılacağına ilişkin anlaşılması gerekir. Eğer güvenlik önlemlerindeki bozulma tüm kaynakları etkileme potansiyeline sahipse bu durumda kaynakların tümü için değerlendirme yapmak üzere A/D oranları ayrı ayrı hesaplanıp toplanarak kaynak kategorisi elde edilmelidir. Ancak bozulma sadece bir kaynağı etkilerse değerlendirmede sadece etkilenen kaynak dikkate alınmalıdır.

³ Aktivite oranı (A/D); radyoizotopun aktivitesinin (A), radyoizotopa özgü olan D-değerine oranıdır. Bu oranın değeri aslında radyasyon kaynağının tehlike derecesine göre kategorisini verir.

Ayrıca kaynağın cinsi ve aktivitesi veya hangi radyasyon uygulamasından geldiği bilinmiyorsa (örneğin hurda malzemeler içerisindeki bilinmeyen radyoaktif kaynak) uygun radyasyon ölçüm/tespit cihazları kullanılarak radyoizotopun cinsi ve aktivitesinin tespit edilmesiyle A/D oranına bağlı olarak bir kategori seçilmelidir [2].

Tablo 4. Radyasyon olay veya kazalarında karşılaşılan başlıca radyoizotopların D-değerleri [6]

Radyoizotop	D-değeri (TBq)
Am-241	0,06
Am-241/Be	0,06
Cf-252	0,02
Co-60	0,03
Cs-137	0,1
I-125	0,2
I-131	0,2
Ir-192	0,08
Kr-85	30
Se-75	0,2
Sr-90 (Y-90)	1
Tc-99m	0,7

Kaynak kategorisi belirlendikten sonra, olay veya kazanın maksimum potansiyel sonuçlarının seviyesinin belirlenmesi için Tablo 5'ten faydalanılarak kaynak kategorisine bağlı derinlemesine savunma açısından maksimum derecelendirme elde edilir. Ancak olay veya kazanın esas derecelendirmesi, sonraki bölümdeki yaklaşımların uygulanmasıyla elde edilecek olup bu maksimum derecelendirmeye eşit veya daha düşük olacaktır.

Tablo 5. Derinlemesine savunma açısından maksimum derecelendirme [2]

Kaynak Kategorisi	Kategori 4	Kategori 3	Kategori 2	Kategori 1
Bir radyasyon uygulamasında tüm güvenlik önlemlerinin başarısız olması durumunda maksimum potansiyel sonuçlara ilişkin derecelendirme	2	3	4	5
Derinlemesine savunma açısından maksimum derecelendirme	1	2	2	3

Radyasyon üreten cihazlar için de bu yaklaşımlar uygulanabilir ancak maksimum potansiyel sonuçların değerlendirilmesi amacıyla bu cihazların kategorilerinin belirlenmesi için belirli bir yöntem yoktur. Bu cihazlar için INES'in genel ilkelerini uygulamak gerekir. Bu doğrultuda tüm güvenlik önlemleri başarısız olursa [2];

- Deterministik etkiye neden olacak herhangi bir olay veya kazaya yol açmayan radyasyon üreten cihazlar için kategori 4 kaynaklarına yönelik yaklaşımlar kullanılmalıdır.
- Deterministik etkilerin oluşabileceği bir olay veya kazaya neden olabilecek radyasyon üreten cihazlar için kategori 2 ve 3 kaynaklarına yönelik yaklaşımlar kullanılmalıdır.

Öte yandan yine Ek-1'de gösterilen kategori 5 kaynakları derinlemesine savunma kapsamında irdelenmemiştir. Çünkü kategori 5 kaynaklarının insanlarda kalıcı yaralanmalara neden olmayacağı bilinmektedir [1]. Derinlemesine savunma kapsamında bu kaynaklar için güvenlik önlemlerinin başarısız olmasını içeren olay veya kazalar, seviye 0 veya 1 olarak derecelendirilebilir [2].

5.3.2. Güvenlik önlemlerinin etkinliği

Güvenlik önlemlerini esas alarak yapılan derecelendirme, aşağıdaki başlıklarla birbirinden ayrılmış olan olay veya kaza türleri doğrultusunda ve son olarak güvenlik kültürü hususlarının dikkate alınmasıyla yapılır.

A. Radyasyon Kaynağının (Radyoaktif Kaynak, Cihaz, Taşıma Paketi) Kaybolması veya Bulunmasını İçeren Olay veya Kazalar

Kaybolan, çalınan veya bulunan radyoaktif kaynaklar, cihazlar ve taşıma paketlerini içeren olay veya kazalar için Tablo 6 kullanılmalıdır. Bunların kaybolması, derinlemesine savunmanın bozulması açısından derecelendirilmelidir. Eğer bunlar sonradan bulunursa kaynağın ilk kaybı ve sonraki bulunma süreci tek bir olay veya kaza olarak değerlendirilmelidir.

Tablo 6. Radyasyon kaynağının kaybolmasını veya bulunmasını içeren olay veya kazanın derecelendirmesi [2]

Olay/Kaza Türü	Kaynak Kategorisine Göre Derecelendirme		
	Kategori 4	Kategori 3 veya 2	Kategori 1
Kayıp radyasyon kaynağının kontrol altındaki bir alanda bütünlüğü bozulmamış halde bulunması	1	1	1
Radyasyon kaynağının (sahipsiz kaynak ve cihaz dâhil) bulunması	1	1 veya 2	2 veya 3
Kaybolan veya çalınan radyasyon kaynağının bulunamaması	1	2	3
Kaybolan veya çalınan radyasyon kaynağının planlanmayan maruziyetlere neden olmadığı teyit edildiği bir yerde bulunması, bununla birlikte kaynağın güvenli veya erişilemeyen bir yerde olması nedeniyle bırakılması kararının verilmesi ve onaylanması (örneğin kaynak suyun altındaysa)	1	1	1
Taşıma paketinin yanlış bir tesise teslim edilmesi, bu tesisin taşıma paketini güvenli şekilde idare edecek radyasyon güvenliği prosedürlerine sahip olması	0 veya 1	1	1
Taşıma paketinin yanlış bir tesise teslim edilmesi, bu tesisin taşıma paketini güvenli şekilde idare edecek radyasyon güvenliği prosedürlerine sahip olmaması	1	1 veya 2	2 veya 3

Derecelendirme yapıldıktan sonra, elde edilen ek bilgiler olursa derecelendirme, bunlar doğrultusunda gözden geçirilmeli ve gerekirse yeniden yapılmalıdır. Bu doğrultudaki ek bilgiler; kaynak, cihaz ya da paketin bulunduğu yer ve oraya nasıl gittiği, koşulları, kayıp olduğu süre, maruz kalan kişilerin sayısı ve maruz kaldıkları muhtemel dozlar gibi hususları içermelidir.

Metal işleme tesislerine karışan kayıp veya bulunan kaynakların olduğu, yaşanmış birçok olay veya kaza vardır. Bunlar için en uygun derecelendirme, Tablo 6'da bulunan radyasyon kaynağının (sahipsiz kaynak ve cihaz dâhil) bulunması satırı kullanılarak yapılır. Eğer kaynak eritilmişse daha yüksek derecelendirme kullanılmalıdır. Eğer kaynak, eritme işlemi öncesi bulunursa derecelendirme, geriye herhangi bir güvenlik önlemi kalıp kalmadığına bağlı olmalıdır. Kontamine olmuş metallerle ilgili olay veya kazalar için, kaynak kategorisinin tanımlaması yapılamayabilir. Bu durumda, alanda doz hızları ölçülmeli ve alandaki insanların maruz kaldıkları dozlar tahmin edilmelidir. Derecelendirme, bu tahmini dozlara bağlı olarak yapılmalıdır [2].

B. Güvenlik Önlemlerindeki Bozulmaları İçeren Olay veya Kazalar

Radyasyon kaynağı, cihazı veya taşıma paketinin olması gerektiği yerde olduğu ancak güvenlik önlemlerinde bozulmaların olduğu olay veya kazalar için Tablo 7 kullanılmalıdır. Bu güvenlik önlemleri; taşıma paketleri, zırh, kaynak muhafaza sistemleri, devre kesiciler, uyarı sistemleri gibi donanımsal önlemleri içerir. Aynı zamanda taşıma paketlerinin etiketlenmesi, taşıma belgeleri, normal çalışma ve acil durum prosedürleri, radyolojik izleme ve kişisel dozimetrelerin kullanımı gereklilikleri gibi idari kontroller de güvenlik önlemlerinden sayılır [2].

Tablo 7. Güvenlik önlemlerindeki bozulmaları içeren olay veya kazaların derecelendirmesi [2]

Olay/Kaza Türü	Kaynak Kategorisine Göre Derecelendirme		
	Kategori 4	Kategori 3 veya 2	Kategori 1
A. Güvenlik önlemlerinde herhangi bir bozulmanın olmadığı olay veya kaza			
Zırh ve/veya kaynak kabındaki yüzeysel hasar veya kaynağın sızması sonucu kişilerin düşük seviyeli kontaminasyonuna neden olan önemsiz boyuta yüzey kontaminasyonunun ve dökülmenin meydana gelmesi	1	1	1
Zırh ve/veya kaynak kabındaki yüzeysel hasar veya kaynağın sızması sonucu radyolojik önemi olmayan yüzey kontaminasyonunun ve dökülmenin meydana gelmesi	0 veya 1	0 veya 1	0 veya 1
Bu gibi olay veya kazalara karşı tasarlanmış alanlardaki kontaminasyon	0 veya 1	0 veya 1	0 veya 1
İstenmeyen maruziyetlerin önlenmesi ve koşulların normale dönmesinde etkili olan prosedürlerin mevcut olduğu öngörülebilir olay veya kaza (Örneğin endüstriyel radyografi veya brakiterapi kaynaklarıyla ilişkilendirilebilecek olay veya kazalarda mevcut acil durum prosedürlerine uyularak kaynaklar güvenli şekilde kontrol altına alınır.)	0 veya 1	0 veya 1	0 veya 1
Doz hızını artırmayacak şekilde, taşıma paketinde herhangi bir hasarın olmaması veya önemsiz bir hasarın olması	0 veya 1	0 veya 1	0 veya 1
B. Bir veya daha fazla güvenlik önleminin başarısız olduğu ama en azından bir güvenlik önleminin kaldığı olay veya kaza			
Yüksek doz hızlarına maruz kalınmasını önleyen uyarı veya güvenlik sisteminin kısmi arızası	0 veya 1	1 veya 2	-
Güvenlik prosedürlerinin (radyolojik izleme ve güvenlik kontrolleri dâhil) takip edilmemesi ama diğer güvenlik önlemlerinin (sistemsel) etkin olarak kalması	0 veya 1	1 veya 2	-
Kaynak saklama mekanizmasındaki önemli bozulma veya kusurlu saklama kabı	0 veya 1	1 veya 2	-
Hatalı paketleme	0 veya 1	0 veya 1	0 veya 1
C. Herhangi bir güvenlik önleminin kalmadığı olay veya kaza (planlanmayan maruziyetlerin oluşumu ve kontaminasyonun yayılması için önemli potansiyele sahip)			
Zırhın kaybı (örneğin yangın veya ciddi başka bir etkiyle doğrudan kaynağa maruz kalınmasının mümkün olması)	1	1 veya 2	2 veya 3
Yüksek doz hızlarının mümkün olduğu alanlara girişlerdeki uyarı ve güvenlik sistemlerinin arızası	1	1 veya 2	2 veya 3
Herhangi bir güvenlik önleminin kalmadığı veya tüm güvenlik önlemlerinin başarısız olduğu durumda radyasyon seviyelerinin izlenememesi (örneğin radyografi çalışmasından sonra kaynağın tamamıyla güvenli konuma getirildiğinin kontrolünün yapılmaması)	1	1 veya 2	2 veya 3
Kaynağın kazara açıkta kalması ve bu durumla baş etmek için etkili prosedürlerin olmayışı veya mevcut prosedürlerin ihmal edilmesi	1	1 veya 2	2 veya 3
Paketin yetersiz zırhıyla ve hiç zırhı olmadan bulunması, bu nedenle kişilerin maruziyetlerine ilişkin büyük potansiyelin mevcut olması	1	1 veya 2	2 veya 3

C. Güvenlikle İlgili Diğer Olay veya Kazalar

Yukarıda sayılanların yanısıra güvenlikle ilgili diğer olay veya kazalar için Tablo 8 kullanılmalıdır.

Tablo 8. Güvenlikle ilgili diğer olay veya kazaların derecelendirmesi [2]

Olay/Kaza Türü	Kaynak Kategorisine Göre Derecelendirme		
	Kategori 4	Kategori 3 veya 2	Kategori 1
Halktan kişilerin tek bir olay veya kazadan yıllık doz sınırlarının üzerinde doza maruz kalması	1	1	1
Çalışanlar veya halktan kişilerin yıllık doz sınırlarının üzerinde kümülatif dozlara maruz kalması	1	1	1
Kaynak envanteri gibi kayıtların olmayışı veya eksik oluşu, dozimetre düzenlemelerinde aksaklıkların olması	1	1	1
İzin verilen sınırların üzerinde radyoaktif maddenin çevreye verilmesi ⁴	1	1	1
Taşıma için lisans koşullarına ⁵ uyulmaması	1	1	1
Taşıma sırasında yetersiz radyolojik izleme	0 veya 1	0 veya 1	0 veya 1
Paketlerde/araçta önemsiz veya çok düşük öneme sahip kontaminasyonun olması	0 veya 1	0 veya 1	0 veya 1
Paketlerde/araçta kontaminasyonun bulunması ve halkın kontamine olma potansiyelinin mevcut olması	1	1	1
Taşıma belgeleri, paket etiketleri veya araçta olması gereken etiketlerin hatalı olması veya mevcut olmaması	0 veya 1	0 veya 1	0 veya 1
Boş sanılan paketin içinde radyoaktif madde olması	1	1 veya 2	1, 2 veya 3
Radyoaktif maddenin yanlış veya uygun olmayan pakette olması	0 veya 1	1 veya 2	2 veya 3

Tablo 6, 7 ve 8'deki bazı hücrelerde 0 veya 1, 1 veya 2 gibi ifadeler bulunmaktadır. Bu gibi durumlarda, bazı güvenlik önlemlerinin (zırh, kilit, uyarı işaretleri vb.) etkin olarak kalıp kalmadığı, güvenlik kültürü öğeleri, güvenlik önlemlerindeki bozulmanın ciddiyeti göz önüne alınarak daha düşük veya daha yüksek olan seviye belirlenmelidir.

5.3.3. Güvenlik kültürüne ilişkin faktörler

Güvenlik kültürü aşağıdaki gibi tanımlara sahip derin bir kavramdır:

- Öneme göre öncelik verilen korunma ve güvenlik konularında temin edilen özen ve dikkatin verilmesinde başrol oynayan kuruluşlar ve bireylerdeki özellik, tutum ve davranışların bütünüdür [3].
- İnsanların ve çevrenin korunmasının sağlanması için güvenliğin, rekabetçi hedeflerin üzerinde olması hususundaki öneminin belirtilmesi amacıyla bireyler ve yöneticilerin ortaklaşa yükümlülüklerinden doğan temel değerler ve tutumlardır [4].

⁴ Bu konuyla ilgili düzenlemeler 02.09.2004 tarihli ve 25571 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik'te yer almaktadır.

⁵ Bu hususlar, 08.07.2005 tarihli ve 25869 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği'nde düzenlenmiştir.

Çalışanlar ve yönetim tarafından benimsenmiş olan iyi bir güvenlik kültürü radyasyon kazalarının önlenmesine yardımcı olur. Güvenlik kültürünün olmaması, çalışanların yapılan uygulamanın güvenli şekilde gerçekleştirilmesine aykırı biçimde çalışmalarına neden olur. Bu doğrultuda güvenlik kültürünün derinlemesine savunmanın bir parçası olarak düşünülmesi gerekir. Ayrıca geçmişte yaşanan kazalardan çıkarımlar yaparak radyasyon uygulama ve faaliyetlerinde güvenlik kültürünü oluşturmak ve geliştirmek, süreklilik arz eden bir durumdur.

Bir olay veya kazanın derecelendirmesine güvenlik kültürünün dâhil edilmesi ise olay veya kazadaki güvenlik kültüründeki bozulmaları işaret eden göstergelerin değerlendirilmesiyle sağlanır. Bu göstergelerden başlıcaları aşağıda sıralanmıştır [2]:

- Sınırların, gerekliliklerin, prosedürlerin ihlali
- Kalite temini süreçlerinde bozulmalar
- İnsan hatalarının tekrarlanması/birikmesi
- Halktan kişilerin tek bir olay veya kazadan yıllık doz sınırlarının üzerinde doza maruz kalması
- Çalışanlar veya halktan kişilerin yıllık doz sınırlarının üzerinde kümülatif dozlara maruz kalması
- Radyasyon kaynaklarının kontrolünün sağlanmasındaki eksiklikler
- Doz kontrol ve takibi süreçlerindeki eksiklikler
- Aynı olay veya kazanın tekrar etmesi (öğrenilen derslere yeterli önemin verilmediğini ve ilk olay veya kazadan sonra düzeltici faaliyetlerin yapılmasına yeterli önemin verilmediğini gösteren)

Yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılarak olay veya kazaya ilişkin mevcut bilgiler doğrultusunda güvenlik önlemlerine ilişkin derecelendirme yapıldıktan sonra güvenlik kültürüyle ilgili ortaya çıkan ek bilgiler hesaba katılarak nihai derecelendirme elde edilir. Güvenlik kültürünün değerlendirilmesi sonucu, derecelendirme için daha yüksek olan seviyeler seçilebilir.

5.4. Belirli Tesislerde Meydana Gelen Olay veya Kazaların Derinlemesine Savunma Üzerindeki Etkileri

Hızlandırıcılar ile radyoizotopların üretim ve dağıtımıyla ilgili tesislerde ve kategori 1 kaynaklarının kullanıldığı tesislerin güvenlik önlemlerinin başarısız olmasını içeren olay veya kazalar için derinlemesine savunma açısından değerlendirme alanı, bu bölümdeki yaklaşımlar doğrultusunda incelenir.

Önceki bölüm ile benzer şekilde söz konusu tesislerdeki olay veya kazalar için derinlemesine savunma üzerindeki etkiler açısından derecelendirme yapılırken öncelikle maksimum potansiyel sonuçlar hesaba katılarak bir üst limit elde edilir. Sonrasında mevcut olan güvenlik önlemlerinin sayısı ve etkinliği hesaba katılarak temel derecelendirme yapılır. Bu önlemlerin sayısı ve etkinliğini belirlemede mevcut olan zaman ile düzeltici eylemlerin tanımlanması ve uygulanması için gerekli olan zamanın hesaba katılması önem taşır. Temel derecelendirme belirlendikten sonra olay veya kazanın nihai derecelendirmesi için; ortak nedenli arızalar⁶, prosedür yetersizlikleri ve güvenlik kültürü hususları olarak ilave faktörler de dikkate alınır. İlave faktörlerin dikkate alınmasıyla olay veya kazanın derecesi 1 seviye artırılabilir. Bu ilave faktörlerin temel derecelendirmeyi artırıp artırmadığı göz önüne alınarak olay veya kazanın nihai derecelendirmesi için karar verilir. Nihai derecelendirme üst limiti geçemez [2].

⁶ Ortak nedenli arızalar; tek bir olay veya nedenin sonucunda birden fazla cihaz veya bileşende meydana gelen arızadır.

5.4.1. Maksimum potansiyel sonuçlar

Maksimum potansiyel sonuçların seviyesini belirlemek için aşağıdaki genel ilkeler hesaba katılmalıdır [2]:

- Maksimum potansiyel sonuçlara ilişkin derecelendirme, olay veya kazanın meydana geldiği tesis türüne ve gerçekleştirilen müdahale çalışmalarına özgü olmalıdır.
- Olay veya kazada potansiyel olarak etkilenebilecek radyoaktif kaynaklarla ilgili envanterin, olay veya kazaya karışan kaynağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, aktivitenin yayılabileceği mekanizmaların dikkate alınması gerekir.
- Sadece acil durum senaryolarına odaklanılmamalı, olay veya kazaya bağlı tüm güvenlik önlemlerinin başarısız olduğu fiziksel olarak muhtemel kazalara odaklanılmalıdır.
- Çalışanların ışınlanmalarına bağlı sonuçlar değerlendirilirken maksimum potansiyel sonuçlar, genel olarak en yüksek dozu alan 1 kişiye dayalı olmalıdır.

Hızlandırıcılar, radyoizotop üretim ve dağıtım tesisleri, kategori 1 kaynakları için maksimum potansiyel sonuçların belirlenmesi amacıyla hem yukarıda belirtilen ilkelere bağlı olarak hem de bugüne kadar yaşanan kazalarda görülen örnekler doğrultusunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir [2]:

- Radyasyon alanına girişteki devre kesicilerle ilgili olay veya kazalar için, maksimum potansiyel sonuçlar, büyük ölçüde planlanmamış olan çalışan ışınlanmalarına bağlıdır. Eğer radyasyon seviyesi deterministik etkilere veya ölüme neden olacak kadar yüksekse, ışınlama odasına girildiyse ve hafifletici eylemler yapılmadıysa maksimum potansiyel sonuçların derecelendirmesi seviye 3 veya 4 olur (Kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriterine göre).
- Hızlandırıcılar için maksimum potansiyel sonuçlar, büyük oranda kişilerin planlanmayan ışınlanmalarına bağlıdır. Girişlerin kontrol altında olduğu alanlara girilmesiyle ilgili olay veya kazalarda radyasyon seviyesi deterministik etkilere veya ölüme neden olacak kadar yüksekse maksimum potansiyel sonuçların derecelendirmesi seviye 3 veya 4 olur (Kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriterine göre).
- Işınlama tesisleri için maksimum potansiyel sonuçlar, kişilerin planlanmayan ışınlanmalarıyla ilişkilidir. Tüm koruyucu önlemlerin başarısız olduğu olay veya kazada radyasyon seviyeleri deterministik etkilere veya ölüme neden olacak kadar yüksekse maksimum potansiyel sonuçların derecelendirmesi seviye 3 veya 4 olur (Kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriterine göre).

Radyoaktif maddenin yayılmasını önleyen güvenlik sistemlerine sahip olan kategori 1 kaynakları ile ilgili olay veya kazalar için potansiyel salınım, maksimum potansiyel sonuçların seviye 5 olarak derecelendirilmesine yetecek kadar büyük olabilir.

5.4.2. Güvenlik önlemlerinin etkinliği

Farklı tesislerde kullanılan pek çok güvenlik önlemi vardır. Bunlar daha önce bahsedildiği gibi kalıcı fiziksel bariyerler, devre kesiciler, görsel ve sesli alarmlar ile bunlara karşı görevli personel tarafından uygulanan idari kontrol ve müdahaleler olabilir. Çeşitli güvenlik önlemlerini içeren tesislerle ilgili olay veya kazaların derecelendirmesi için, güvenlik önlemlerini ayrı ve bağımsız güvenlik katmanlarına ayırarak gruplandırmak ve elde edilen güvenlik katmanlarının sayısını tespit etmek gerekir [2].

İdari kontrolleri de güvenlik katmanı olarak sayarken, bağımsız sayılacak prosedürlerin kapsamını ve prosedürün bir güvenlik katmanı olarak kabul edilmesi için yeterli güvenilirlikte olduğunu kontrol etmek önem taşır. Güvenlik katmanları denetim prosedürlerini de içerebilir ancak denetim yalnız başına bir güvenlik katmanı oluşturamaz, denetimle birlikte düzeltici eylemlerin de uygulanması gerekir [2].

Bağımsız güvenlik katmanlarının sayısının tanımlanması için, olay veya kazanın koşullarına ve tesisin özelliklerine bağlı olarak mevcut olabilecek güvenlik katmanlarına ilişkin örnekler aşağıda sıralanmıştır [2]:

- Kişisel alarmlı dozimetreler (eğer cihazlar güvenilirse, personel kullanımı hakkında eğitilmişse, hızlı ve uygun şekilde müdahale edebilecekse)
- Kurulu olan radyasyon alan monitörleri (eğer cihazlar güvenilirse, personel kullanımı hakkında eğitilmişse, hızlı ve uygun şekilde müdahale edebilecekse)
- Olağandışı radyasyon seviyesini veya kontaminasyonun yayılımını tespit ederek diğer kişileri uyaracak radyasyondan korunma konusunda eğitilmiş ve yetkili personelin varlığı
- Tesisin güvenli koşullarda çalıştığından emin olunmasını sağlamak üzere yapılan denetimler (bu denetimlerin sıklığının, performans düşüklüklerinin tespiti için yeterli olması ve gerekli düzeltici eylemlerin güvenilir şekilde yerine getirilmesi koşuluyla)
- Havalandırma sistemleri (güvenli ve kontrollü şekilde çalışan)
- Zırhlanmış duvar ve kapılar
- Girişte devre kesici sistemleri
- Acil durumlar için önceden oluşturulan plan ve prosedürler
- Yedekliliğin sağlanması

Maksimum potansiyel sonuçlar ve etkin güvenlik katmanlarının sayısı belirlendikten sonra, temel derecelendirme aşağıdaki adımlarla elde edilmelidir.

Aşağıdaki olay veya kazalar seviye 0 olarak derecelendirilir [2]:

- Tesisin ömrü boyunca karşılaşılabilecek ve önceden öngörülen bir olay veya kaza (güvenlik önlemleri olay meydana gelmeden önceden hazırsa, beklendiği ve önceden planlandığı gibi müdahale edilirse),
- Güvenlik önlemlerinde bozulmaların tespit edildiği ancak güvenlik önlemlerindeki bozulmalara rağmen hala izin verilen sınırların altında çalışılması, tesis güvenliği etkilenmeden normal çalışmalar dönülmesi,
- Tesis bariyerlerinde önemli bir bozulmanın mevcut olmaması (sızıntı doz hızı izin verilen sınırların altındaysa),
- Periyodik denetim ve testler sırasında tespit edilen yedek sistemdeki tek bir hata veya çalışmayan bir bileşenin olması.

Diğer tüm durumlar için olay veya kazanın derecelendirmesi, maksimum potansiyel sonuçlar ve geriye kalan güvenlik katmanı sayısına bağlı derecelendirmeyi veren Tablo 9'dan elde edilebilir.

Tablo 9. Güvenlik katmanı sayısına göre olay veya kaza derecelendirmesi [2]

Geriye Kalan Güvenlik Katmanı Sayısı	Maksimum Potansiyel Sonuçlar		
	Seviye 5, 6, 7	Seviye 3, 4	Seviye 1, 2
3'ten fazla	0	0	0
3	1	0	0
2	2	1	0
1 veya 0	3	2	1

5.4.3. İlave faktörler

Elde edilen temel derecelendirme; ortak nedenli arızalar, prosedür yetersizlikleri ile birlikte güvenlik kültürü olarak belirlenen ilave faktörlerle artırılabilir. İlave faktörler olay veya kazanın derecesini sadece 1 seviye artırabilir [2].

Son olarak, bu şekilde tüm değerlendirme alanları ve bu alanlara ait kriterler öğrenildikten sonra, bir olay veya kazanın sınıflandırılması yapılırken kullanılan bir değerlendirme alanında elde edilen derecelendirmenin, diğer değerlendirme alan ve kriterleriyle artırılacağı düşünülüyorsa bunların ilave olarak kullanılmasına gerek olmadığı anlaşılmaktadır. Örneğin bir radyasyon kazasında hayatını kaybeden bireyler varsa sadece kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriteri kullanılarak kazaya ilişkin derecelendirme ve dolayısıyla kazanın sınıflandırılması tespit edilebilir.

Ek-2'de olay veya kazaların değerlendirilmesi ve sınıflandırılmasının nasıl yapılacağına gösterildiği örnekler verilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] IAEA, 2005, Categorization of Radioactive Sources, Safety Standards Series No. RS-G-1.9, IAEA Vienna
- [2] IAEA, 2008, INES The International Nuclear And Radiological Event Scale, User's Manual, IAEA Vienna
- [3] IAEA, 2015a, <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/operational-safety/safety-culture-home.asp> , (22.04.2018)
- [4] NRC, 2018, Safety Culture, <https://www.nrc.gov/about-nrc/safety-culture.html> , (02.07.2018)
- [5] ORTIZ P., ORESEGUN M., WHEATLEY J., 2000, Lessons from Major Radiation Accidents, <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00140.pdf> , (27.05.2018)
- [6] TAEK, tarih yok, Kapalı Radyoaktif Kaynakların Sınıflandırılmasına İlişkin Kılavuz, RSGD-KLV-011, TAEK, Ankara

Ek-1. Radyasyon Kaynaklarının Sınıflandırılması

Tablo Ek-1.1 Radyasyon kaynaklarının aktivite oranı ve kullanıldıkları yaygın uygulamalar bazında sınıflandırılması [2,6]

Radyasyon Kaynağının Sınıfı (Kategorisi)	Yaygın Uygulamaların Sınıflandırılması	Genel Olarak Kullanılan Radyoizotoplar	Aktivite Oranı (A/D değeri)
1	Işınlama tesisleri	Co-60, Cs-137	A/D \geq 1000
	Teleterapi	Co-60, Cs-137	
	Gama bıçağı	Co-60	
2	Endüstriyel radyografi (gamagrafi)	Co-60, Se-75, Ir-192, Yb-169, Tm-6 [t]0	1000>A/D \geq 10
	Yüksek/orta doz brakiterapi	Co-60, Cs-137, Ir-192	
3	Sabit endüstriyel ölçüm sistemleri (yüksek aktiviteli kaynak içeren)	Co-60, Cs-137, Cf-252	10>A/D \geq 1
	Kuyu logu ölçüm sistemleri	Am-241/Be, Cs-137, Cf-252	
4	Düşük doz brakiterapi (göz plakları ve kalıcı implant kaynaklar hariç)	I-125, Cs-137, Ir-192, Au-198, Ra-226, Cf-252	1>A/D \geq 0,01
	Sabit endüstriyel ölçüm sistemleri (yüksek aktiviteli kaynak içermeyen)	Kr-85, Sr-90, Cs-137, Am-241, Pm-147, Cm-244	
	Taşınabilir ölçüm cihazları (yoğunluk-nem ölçüm)	Cs-137, Ra-226, Am-241/Be, Cf-252	
	Kemik yoğunluk ölçüm cihazları	Cd-109, I-125, Gd-153, Am-241	
	Statik eliminatör	Po-210, Am-241	
5	Düşük doz brakiterapi (göz plakları ve kalıcı implant kaynaklar)	Sr-90, Ru/Rh-106, Pd-103	0,01>A/D \geq (Muaf/D)
	X-ışını floresans cihazları (XRF)	Fe-55, Cd-109, Co-57	
	Elektron yakalama cihazları (ECD)	Ni-63, H-3	
	Pozitron emisyon tomografisi (PET) kontrol kaynakları	Ge-68	

Ek-2. Radyasyon Olay veya Kazalarının Sınıflandırılmasına İlişkin Örnek

Örnek 1

Bir hastanenin nükleer tıp ünitesinde 4 GBq radyoaktivitede sıvı formda I-131 kaynağının taşındığı bir forklift hastane koridorunda bir çarpışmaya dahil olunca kaynak dökülerek 2 kişinin kontamine olmasına neden oldu. Sonrasında nükleer tıp ünitesinden görevlileri olayı kontrol altına almış, kontamine olan kişilerin dekontaminasyon işlemleri yapılmıştır. Biri hemşire diğeri hasta olan kişilerin her birinin 10 MBq I-131 ile kontamine olduğu, maruz kaldıkları etkin dozların ise 0,5 mSv'ten düşük olduğu tahmin edilmiştir. Sıvı radyoaktif kaynağın döküldüğü alan 2 haftalığına kapatılmış (I-131'in yarı ömrü 8 gün olduğundan, yaklaşık 2 yarı ömürlük süre belirlenmiş) ve üniteadaki görevliler tarafından alanın dekontaminasyon işlemleri de başarılı şekilde tamamlanmıştır [2]. Bu kazanın sınıflandırması, tüm değerlendirme alan ve kriterlerine göre aşağıda anlatıldığı gibi yapılmıştır:

1. İnsan ve çevre üzerindeki etkiler açısından

a. Kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriteri

Yaşanan olay veya kaza sonucu, etkilenen kişiler 0,5 mSv'in altında etkin dozlara maruz kalmıştır. Bu nedenle, olay veya kazanın derecesi, Seviye 0 olarak elde edilir.

b. Salınan radyoaktivite kriteri

Kaynak nükleer tıp ünitesi koridoruna dökülmüştür. I-131 için D_2 değeri 0,2 TBq = 200 GBq'dir (Bkz. Tablo 2). Kaynak aktivitesi 4 GBq olarak, D_2 değerinden dahi düşük olduğundan salınan radyoaktiviteyle ilgili Tablo 3'teki en düşük olan seviye 4'e ulaşmamıştır. Bu nedenle salınan radyoaktiviteyle ilgili bir derece elde edilmemiştir.

2. Derinlemesine savunma açısından

a. Maksimum potansiyel sonuçlar

I-131 için D-değeri 0,2 TBq = 200 GBq'dir (Bkz. Tablo 4). Kaynak aktivitesi (A), 4 GBq olduğundan, A/D değeri 0,02 olarak elde edilir. Bu doğrultuda kaynağın kategorisi, Tablo Ek-1.1'den 4 olarak belirlenmiş olur. Dolayısıyla Tablo 5'ten derinlemesine savunma açısından maksimum derecelendirme seviye 1 olmaktadır.

b. Güvenlik önlemlerinin etkinliği

Kaynağın içinde bulunduğu kap kırılıp kaynak döküldüğünden geriye herhangi bir güvenlik önlemi kalmamıştır. Bu nedenle bu olay veya kazanın derecelendirmesi, Tablo 7'nin C bölümünün 1'inci satırına göre seviye 1 olur.

c. Güvenlik kültürü hususları

Güvenlik kültürünün eksikliğine ilişkin bir gösterge bulunmamaktadır.

3. Nihai derecelendirme

Olay veya kazanın tüm değerlendirme alan ve kriterlerine göre değerlendirilmesi sonucu, en yüksek derecelendirmenin güvenlik önlemlerinin etkinliği kriterinden geldiği görülmektedir. Bu doğrultuda olay veya kazanın nihai derecelendirmesi seviye 1 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla olay veya kazanın INES ölçeğindeki sınıfı, Seviye 1 – Anomali olarak elde edilmiştir.

Örnek 2

1 TBq Ir-192 kaynağı içeren gamagrafi cihazıyla yapılan çalışmalar sırasında, kaynak cihazdan düşmüştür. Ancak radyografçı, çalışma alanına yeniden geldiğinde radyasyon ölçüm cihazıyla durumu fark etmesi üzerine kontrollü alan bariyerlerini kontrol etmiş ve bariyerleri yerinde bırakmıştır. Sonrasında ulusal yetkililerden yardım istenmiştir. Yetkililer ve radyografçı kaynak bulma operasyonunu başlatmış, kayıp olduğu tespit edildikten 12 saat sonra kaynak bulunmuştur. Müdahalede görev alan 3 kişi 1 mSv'in altında etkin dozlara maruz kalmışlardır. [2]. Bu olay veya kazanın sınıflandırılması, tüm değerlendirme alan ve kriterlerine göre aşağıda anlatıldığı gibi yapılmıştır:

1. İnsan ve çevre üzerindeki etkiler açısından

a. Kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriteri

Yaşanan olay veya kaza sonucu, müdahale görev alan kişiler 1 mSv'ten düşük etkin dozlara maruz kalmıştır. Bu nedenle, olay veya kazanın derecesi, Seviye 0 olarak elde edilir.

b. Salınan radyoaktivite kriteri

Herhangi bir salınım yok.

2. Derinlemesine savunma açısından

a. Maksimum potansiyel sonuçlar

Ir-192 için D-değeri 0,08 TBq'dir (Bkz. Tablo 4). Kaynak aktivitesi (A), 1 TBq olduğundan, A/D değeri 12 olarak elde edilir. Bu nedenle kaynağın kategorisi, Tablo Ek-1.1'den 2 olarak belirlenmiş olur. Dolayısıyla Tablo 5'ten derinlemesine savunma açısından maksimum derecelendirme seviye 2 olmaktadır.

b. Güvenlik önlemlerinin etkinliği

Bu endüstriyel radyografi uygulamaları için öngörülebilir bir olay veya kazadır. Bu gibi olay veya kazalara hazır olunmalı, gerekli acil durum planları ve ekipmanları mevcut olmalıdır. Burada radyografçının ölçüm cihazını etkin şekilde kullandığı görülmüştür. Bu nedenle bu olay veya kazanın derecelendirmesi Tablo 7'nin A bölümünün 4'üncü satırına göre seviye 0 veya 1 olabilir.

c. Güvenlik kültürü hususları

Güvenlik kültürüne ilişkin olumsuz bir gösterge olmadığından nihai derecelendirme seviye 0 olarak seçilmiştir.

3. Nihai derecelendirme

Olay veya kazanın tüm değerlendirme alan ve kriterlerine göre değerlendirilmesi sonucu, nihai derecelendirmesi seviye 0 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla olay veya kazanın INES ölçeğindeki sınıfı, Seviye 0 – Ölçek Altı olarak elde edilmiştir.

Örnek 3

51 TBq aktiviteli Cs-137 kaynağını içeren bir teleterapi ünitesi, yıkılmış bir alanda tamamıyla emniyetsiz halde terk edilmiştir. 2 kişi bu alana gelerek hurda metal olarak satacaklarını düşünerek radyoaktif kaynak içerdiğini bilmedikleri cihaz parçasını (teleterapi kafası) sökmüş, evlerine götürüp parçalarına ayırmaya çalışmış ve sonunda kaynak kapsülünü parçalamıştır. Buradaki Cs-137 tuz formunda, çözünebilir ve dağılılabılır halde olduğundan bu aşamada birkaç kişi kontamine olmuş ve yüksek dozlara maruz kalmışlardır. Sonrasında kaynak kapsülü parçalandıktan sonra geriye kalan parçalar bir hurda metal satıcısına satılmıştır. Kaynak, hurda metal alanına getirildikten sonra birkaç kişi kaynağın yakınında bulunmuş ve burada kaynağa ait parçalar birkaç kişiye dağıtılmıştır. Birkaç gün sonra, bu kişilerde radyasyon kaynaklı belirtiler oluştuğundan sonra olay veya kaza tespit edilmiştir. Olay veya kaza sonucu 8 kişide akut radyasyon sendromu görülmüş ve 4 kişi de hayatını kaybetmiştir Aynı zamanda, söz konusu kaynağın bulunduğu birçok alanda çevresel kontaminasyon tespit edilmiştir [2]. Bu olay veya kazanın sınıflandırması, tüm değerlendirme alan ve kriterlerine göre aşağıda anlatıldığı gibi yapılmıştır:

1. İnsan ve çevre üzerindeki etkiler açısından**a. Kişilerin maruz kaldıkları dozlar kriteri**

Olay veya kaza sonucu, 8 kişide deterministik etkiler meydana gelmiş, 4 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu açılarından olay veya kazanın derecelendirmesi için, Tablo 1'in 6'ncı satırına göre 1 kişinin hayatını kaybetmesi, seviye 4 olarak, 4 kişinin hayatını kaybetmesi ise seviye 5 olarak elde edilir.

b. Salınan radyoaktivite kriteri

Radyoaktif kaynak parçalanmış ve aktivite çevreye yayılmıştır. Cs-137 için D₂ değeri 20 TBq'dir (Bkz. Tablo 2). Kaynak aktivitesi 51 TBq olarak, D₂ değerinin sadece 2,5 katından büyük olduğundan salınan radyoaktiviteyle ilgili Tablo 3'teki en düşük olan seviye 4'e ulaşamamıştır. Bu nedenle salınan radyoaktiviteyle ilgili bir derece elde edilmemiştir.

2. Derinlemesine savunma açısından**a. Maksimum potansiyel sonuçlar**

Cs-137 için D-değeri 0,1 TBq'dir (Bkz. Tablo 4). Kaynak aktivitesi (A), 51 TBq olduğundan, A/D değeri 510 olarak elde edilir. Bu doğrultuda kaynağın kategorisi, Tablo Ek-1.1'den 2 olarak belirlenmiş olur. Dolayısıyla Tablo 5'ten derinlemesine savunma açısından maksimum derecelendirme, seviye 2 olmaktadır.

b. Güvenlik önlemlerinin etkinliği

İlk olarak radyoaktif kaynak içeren teleterapi kafası ilgisiz kişilerce hurda metal olarak alınarak götürülmüş olduğundan olay veya kazanın derecelendirmesi Tablo 6'nın 3'üncü satırına göre seviye 2 olur. Kaynak bulunduktan sonra yapılan yeniden değerlendirme kapsamında, teleterapi kafasının sökülmesi, hatta kaynak kapsülünün dahi parçalanmış olması ve kaynağın tamamıyla açığa çıkmış olarak bulunmasından dolayı Tablo 7'nin C bölümünün 1'inci satırına göre olay veya kazanın derecelendirmesi seviye 1 veya 2 olarak elde edilir.

c. Güvenlik kültürü hususları

Teleterapi ünitesi yıkılmış halde terk edilmiştir. Bu doğrultuda bu olay veya kazaya ilişkin olarak güvenlik kültürünün tamamıyla mevcut olmadığı söylenebilir. Bu nedenle derinlemesine savunma açısından olay veya kazanın derecelendirmesi, nihai biçimde seviye 2 olarak seçilmiştir.

3. Nihai derecelendirme

Olay veya kazanın tüm değerlendirme alan ve kriterlerine göre değerlendirilmesi sonucu, en yüksek derecelendirmenin maruz kalınan dozlar kriterinden geldiği görülmektedir. Bu doğrultuda olay veya kazanın nihai derecelendirmesi seviye 5 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla olay veya kazanın INES ölçeğindeki sınıfı, Seviye 5 – Geniş Sonuçları Olan Kaza olarak elde edilmiştir.