

ALARA Radyasyon Doz Optimizasyonu Nedir? Avrupa Birliği, ABD ve Türkiye'deki Uygulamaları

Trump Yönetimi ALARA uygulamasını kaldırdı mı?

Yüksel Atakan Dr.Radyasyon Fizikçisi, ybatakan4@gmail.com, 12.02.2026 / I/

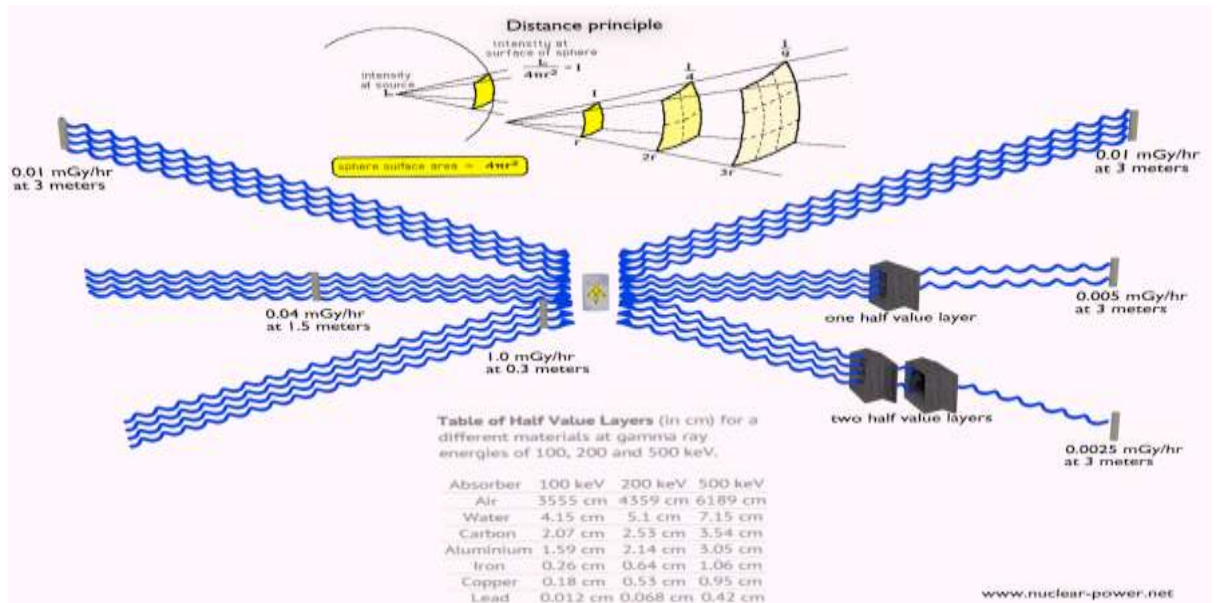
Özet

Bu yazımızda, radyasyondan etkilenme (maruziyet) bağlamında kullanılan uluslararası korunma ilkelerinden biri olarak ALARA (As Low As Reasonably Achievable – Makul Ölçüde Sağlanabilecek En Düşük Düzey) ilkesini bilimsel temelde yakından inceliyoruz. İlk bölümde radyasyonun biyolojik etkileri ve koruma sisteminin temel ilkeleri tanımlanmakta; ikinci bölümde AB, ABD ve Türkiye'deki yasal düzenlemeler ve uygulamalar karşılaştırmalı olarak açıklanmaktadır. Yazıda ayrıca ABD'de Trump yönetimindeki DOE'nin (Department of Energy) ALARA ilkesini uygulamadan kaldırma girişimi ve Almanya bağlamında radyasyon korumanın tarihsel gelişimi yer almaktadır.

1. Giriş ve Temel Kavramsal Çerçeve

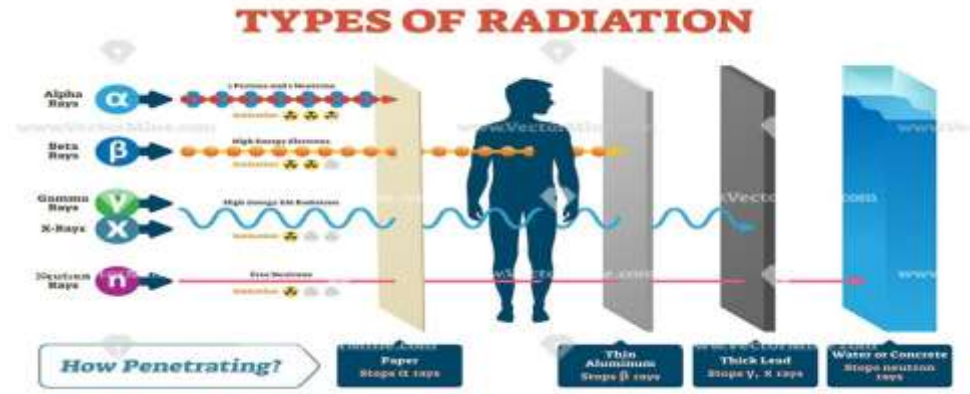
Radyasyonun canlı doku üzerindeki etkileri iki ana grupta inceleniyor: deterministik etkiler (eşik değer üzerinde ortaya çıkan belirgin etkiler) ve stokastik etkiler (bir eşik değer olmadan, olasılığa bağlı rastgele etkiler). Radyasyondan korunma sistemi, bu etkileri önlemek ya da azaltmak amacıyla üç temel ilke üzerine kurulmuştur:

1. **Gerekçelendirme:** Radyasyon içeren her çalışmanın, işlemin toplumsal ya da bireysel bir yararı olmalı ve radyasyondan etkilenmenin (maruziyetin) neden olduğu risk bu yararı aşmamalıdır.
2. **Optimizasyon:** Güncel sınır değerler aşılmaya dahi, radyasyondan etkilenme dozları makul olarak en düşük düzeye indirgenmelidir.
3. **Doz sınırlaması:** Radyasyonun, mesleki ve halk etkilenmelerine ilişkin ulusal ve uluslararası kabul görmüş sınır değerleri aşılmamalıdır. Ayrıntılar şekillerde.



Şekil'deki çizelgede farklı enerjilerdeki radyasyonların dozunu yarıya indirecek malzemelerin yarı zırh kalınlıkları gösteriliyor. Burada ALARA uygun malzeme ve uzaklık seçilerek uygulanabilir. Yukarıda ise, noktasal bir radyasyon kaynağının radyasyonunun, küre yüzeyine uzaklıkla azalarak dağıldığı sarı renkli alanlar olarak gösteriliyor.

Optimizasyon ilkesinin güncel uygulama karşılığı uluslararası literatürde ALARA olarak adlandırılır: **radasyondan etkilenme düzeyinin makul sınırlar içinde mümkün olan en düşük düzeyde tutulmasıdır**. Bu yaklaşım, rastgele (stokastik) risklerin minimize edilmesini amaçlar ve sınır değerlerin altında kalan dozlarda dahi sürekli iyileştirmeyi öngörür. ALARA ilkesi ülkelerin ilgili yasa ya da yönetmeliklerine göre radyasyonun ortaya çıkığı tüm işyerlerinde oradaki sorumlu ‘Radyasyon Fiziği’ ya da ‘Sağlık Fiziği’ Grubu’nca uygulanır ve yetkili kurumlarca denetlenir. Radyasyonlar çok çeşitli radyoaktif maddelerden, örneğin Kobalt kaynaklarından gelebildiği gibi Röntgen makinelerinden de gelebilirler.



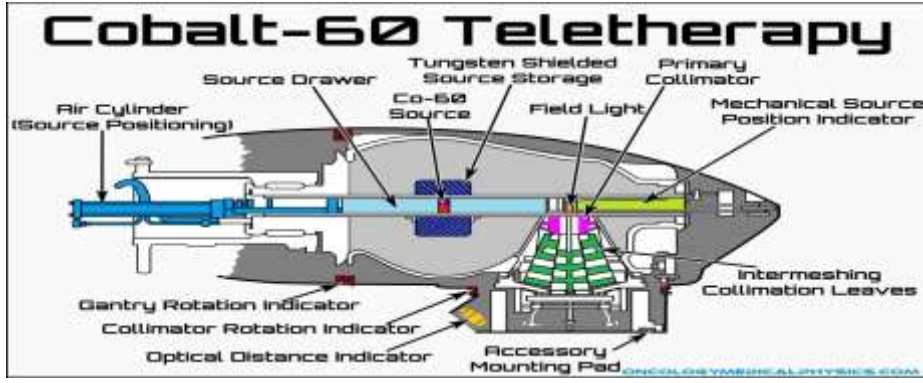
2. ALARA İlkesinin Kuramsal Temeli

ALARA ilkesi, radyasyondan etkilenmenin sıfırlanamayacağı varsayımına dayanır. Bu ilke, yalnızca kabul edilebilir sınır değerleri sağlamakla yetinmez; radyasyondan etkilenmenin olası olan en düşük düzeye düşürülmesi için sürekli iyileştirmeyi gerektirir. Optimizasyon sürecinde benimsenecek araçlar şunlardır:



- Mühendislik çalışmaları, kontrolleri (örneğin zırhlama, uzaktan aletlerle çalışma),
- İdari kontroller (süre sınırlamaları, talimatlar),
- Kişisel koruyucu zırhlar, giysiler, aletler,
- Sürekli doz izleme ve geri bildirim sistemi.

ALARA, özellikle **lineer eşiksiz model (Linear No-Threshold – LNT)** kabulüne göre, düşük dozların bile stokastik risk oluşturabileceği varsayımıyla uygulanır ve bu nedenle tüm etkilenme türlerinin optimize edilmesini vurgular.



3. Avrupa Birliği'nde ALARA

3.1 Yasal Dayanak ve Tarihsel Gelişim

AB'de radyasyondan korunma yaklaşımı, 2013/59/Euratom Temel Güvenlik Standartları Direktifi ile bağlayıcı duruma getirilmiştir. Bu düzenleme, optimizasyon ilkesini açıkça zorunlu kılar ve bunu, tüm üye devletlerin ulusal yönetmeliklerine entegre etmelerini öngörür. ALARA yaklaşımı, 1980'lerden beri Avrupa Temel Güvenlik Standartları içinde yer almış ve 1996 sonrası Avrupa ALARA Ağı (European ALARA Network – EAN) oluşturularak bunun olumlu uygulama örneklerinin paylaşılması desteklenmiştir.

3.2 Uygulama Mekanizmaları

AB'de ALARA, radyasyon içeren tıbbi, endüstriyel ve nükleer uygulamalarda **sistematik** olarak uygulanır. EAN gibi organlar, ulusal uygulamalar arasında bilgi paylaşımı ve kapasite geliştirme sağlar. AB yaklaşımının ayırt edici özelliği, optimizasyonun kurumsal kalite güvence sistemleriyle entegre edilmesidir.

4. ABD'de ALARA ve Son Gelişmeler

4.1 Klasik Düzenleyici Çerçeve

Geleneksel olarak ABD'de ALARA, özellikle nükleer enerji ve radyasyon güvenliği düzenlemelerinde benimsenmiştir. **Nuclear Regulatory Commission (NRC)** ve **Department of Energy (DOE)** gibi kurumlar, ALARA ilkesini radyasyon güvenliği standartlarının temeli olarak kabul etmişlerdir.

4.2 Trump Yönetimi Döneminde DOE'de ALARA'nın Kaldırılması

2026 başında yayımlanan haberlere göre, **ABD Enerji Bakanlığı (DOE)**, uzun süredir kendi düzenlemelerinde yer alan ALARA ilkesini **resmen uygulamadan kaldırmıştır**; DOE içi güvenlik direktifleri ve radyasyon güvenliği standartlarından çıkarılmıştır. Bu değişikliğin gerekçesi olarak, ilkenin endüstriyel ve enerji projeleri için maliyet ve operasyonel yük getirdiği ileri sürülmüştür. Ancak bu adımın kamuya açık düzenleme süreciyle yapılmadığı ve değişikliğin belirsiz bir süreç içinde yürütüldüğü rapor edilmiştir.

Önemli Not: Bu değişiklik yalnızca DOE içi düzenlemeleri kapsamaktadır; NRC’(Nuclear Regulatory Commission) nin bağımsız düzenleyici görevleri hâlen yürürlüktedir ve ALARA’nın daha geniş ABD radyasyon koruma düzenlemelerinden tümüyle kaldırıldığı yönünde resmi bir genel hüküm bulunmamaktadır.

Bu uygulama, ALARA ilkesinin tarihsel rolü ve ABD’deki standart radyasyon koruma kültürü açısından **önemli bir kırılma** olarak değerlendirilmektedir. DOE’nin bu adımı, nükleer projelerin maliyetlerini düşürme amacıyla düzenleyici yükleri hafifletme stratejisi çerçevesinde yorumlanmaktadır. **Öte yandan, aslında** ALARA kaldırılırsa optimizasyon kalkacağı ve makul olmayacak şekilde minimuma gidileceğinden (örneğin zırhlama 10 katına çıkabileceği için) maliyetler artabileceğinden DOE’nin bu kararı tam anlaşılamamıştır.

5. Türkiye’de ALARA

5.1 Yasal ve Kurumsal Çerçeve

Türkiye’de nükleer tesislerde ve radyasyonla ilgili faaliyetlerde **ALARA (mümkün olan en düşük radyasyon dozu)** ilkesi ile radyasyondan korunma uygulamaları, ulusal mevzuat kapsamında düzenlenir. 2022 tarihli **7381 sayılı Nükleer Düzenleme Kanunu** ile kurulmuş olan **Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK)**, nükleer güvenlik, radyasyon koruması ve ilgili lisanslama, denetim ve gözetim faaliyetlerinin **bağımsız düzenleyici otoritesi** olarak belirlenmiştir; bu kapsamda radyasyon güvenliği denetimleri ve ALARA uyumu da NDK tarafından yürütülür.

5.2 Radyasyon Kaynaklı Uygulamalarda ALARA’nın Uygulamalı Boyutları

Türkiye’de ALARA uygulamaları, özellikle reaktörler, hızlandırıcılar, radyoterapi ve Röntgen aletleri çerçevesinde çeşitli teknik ve idari önlemlerle sağlanır:

- Reaktör (örneğin Akkuyu NGS) ve radyasyon uygulama sistemlerinde, zırhlama ve mühendislik kontrolleri,
- Çalışma sürelerinin kontrolü,
- Dozimetri izleme programları,
- Eğitim ve uygulama geliştirme çalışmaları.

6. Almanya’da Radyasyon Koruma ve ALARA İlkesi

Almanya’da radyasyondan korunma çalışmaları, tarihsel olarak 1940’lardan itibaren başlamıştır. İlk X-ray düzenlemeleri 1941’de çıkarılmış, daha sonra temel radyasyon koruma standartları 1950’lerde ve 1960’larda geliştirilmiştir. 1980’lerden itibaren ALARA ilkesi Strahlenschutzgesetz (Radyasyondan Korunma Yasası) çerçevesinde benimsenmiş ve AB düzenlemeleri yoluyla uygulanmaktadır.

Almanya’da ALARA, radyasyondan korunma yasa ve yönetmelikleri içinde yer almakta ve özellikle tıbbi radyasyon kullanımı ile nükleer endüstride optimizasyon gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu tarihsel süreç, Almanya’nın AB standartına paralel olarak ALARA’yı erken dönemden itibaren entegre ettiğini göstermektedir.

7. Karşılaştırmalı Değerlendirme

Kriter	Avrupa Birliği	ABD	Türkiye	Almanya
Yasal zorunluk	Direktif temelli	NRC & DOE (şu anda DOE'de ALARA kaldırıldı)	NDK mevzuatı ile	Ulusal yasa + AB uyumu
Uygulama yaklaşımı	Sistematik ve entegre	Düzenleyici kültür / DOE'de reform süreci	Denetim ve lisans odaklı	AB ile paralel, köklü tarih
Eğitim ve denetim	Üye devlet sorumluluğu	Federal eğitim zorunlulukları	Sertifikasyon	Ulusal uygulamalar

8. Uygulamalı ALARA – Sayısal Karşılaştırmalı Analiz

ALARA optimizasyonu üç temel fiziksel değişkene dayandığı yukarıda vurgulanmıştır: **Zaman (süre)**, **Mesafe** ve **Zırhlama**. ALARA'nın pratikte nasıl uygulandığını aşağıdaki örneklerde bir çalışanın bulunduğu ortamda başlangıç doz hızının **100 µSv/saat** olduğu kabul edilerek göstereceğiz:

8.1 Süre Faktörüne Göre Radyasyondan Etkilenme

Çalışma Süresi	Süre Artış/ Azalış Katsayısı	Alınan Doz (µSv)
1 saat	1×	100
2 saat	2×	200
4 saat	4×	400
10 saat	10×	1000

Yorum: Doz, süre ile **doğrusal** artıyor. Ancak pratikte ALARA planlaması, görev süresini teknik olarak mümkün olan en kısa süreye indirmeyi hedefler. Örneğin 1 saatlik bir işin 4 saate uzatılması dozda 4 kat artışa neden olur; bu **makul değildir**. Uygulama elverirse 1-2 saatte kalınır ve personel çok daha az doz alır. Bu ALARA'dır.

8.2 Uzaklık Faktörüne Göre Radyasyondan Etkilenme

(Ters kare yasası uygulanır)

Başlangıç doz hızı: 1 metrede 100 µSv/saat ise:

(Karşılaştırma: Bir Röntgen filminden ortalama 20 ile 100 µSv doz alınıyor)

Mesafe	(Mesafe Katsayısı)	Doz Hızı (µSv/saat)	1 Saatte Alınan Doz (µSv)
1 m	1×	100	100
2 m	2× (2 kat)	25	25 (Doz 1/4)
4 m	4× (4 kat)	6.25	6.25 (Doz 1/16)
10 m	10× (10 kat)	1	1 (Doz 1/100)

Açıklama: Uzaklık artışı dozda **karesel azalma** sağlar. 2 metreye çıkmak dozu 4 kat düşürürken, 10 metreye çıkmak 100 kat düşüş sağlar. Ancak uygulamada her zaman 10 m ve daha fazla uzaklıklar mümkün olmayabilir (alet, ekipman erişimi, kontrol ihtiyacı vb.).

8.3 ALARA Karar Noktasının Değerlendirilmesi

ALARA, fiziksel olarak mümkün olan en düşük dozun seçilmesi anlamına gelmez. Karar şu unsurların birlikte değerlendirilmesiyle verilir:

Seçenek	Doz Azalımı	Operasyonel Zorluk	Makullük Değerlendirmesi
Süreyi 1 saate düşürmek	Yüksek	Planlama gerekir	ALARA'ya uygundur
Süreyi 10 dk'ya düşürmek	Çok yüksek	İş kalitesi riske girebilir	Her zaman makul olmayabilir
Uzaklığı 2 m yapmak	4 kat azalma	Kolay	ALARA'ya uygundur
Uzaklığı 10 m yapmak	100 kat azalma	İş yapılamayabilir	Aşırı optimizasyon olabilir ALARA uygun değil

Sonuçlar

Bu çalışmadaki sayısal örneklerden, ALARA ilkesinin “mümkün olan en düşük doz” yaklaşımı olmadığı; teknik uygulanabilirlik, işin güvenliği ve operasyonel gereklilikler ile dengelenmiş bir optimizasyon süreci olduğu açıkça görülmektedir. Süre ve uzaklık örneklerinde görüldüğü gibi: 2–4 kat iyileştirim sağlanabiliyor.

ALARA ilkesi, radyasyondan etkilenme riskini minimize etmek üzere uluslararası radyasyon koruma sisteminin temel taşı olarak kabul edilmiştir. AB ve Almanya’da uzun süredir entegre biçimde uygulanan ALARA, ABD’de güncel olarak tartışma ve reform sürecine girmiş, DOE tarafından iç düzenlemelerden çıkarılmıştır.

Türkiye’de önce TAEK sonra ise NDK çerçevesinde düzenleyici denetim ile ALARA yaklaşımı sürdürülebilir bir biçimde 1962 yılından beri (CNAEM reaktörü ve nükleer tıp’ta , Röntgen odalarında) sorumlu personelce uygulanmaktadır.

Akkuyu Nükleer A.Ş. / Rosatom, tesisin işletmecisi olarak kendi iç prosedürleri ve ALARA uygulamalarını yürütür; fakat bu uygulamaların uyumunun bağımsız denetimi ve lisans gerekliliklerinin sağlanması NDK’nın sorumluluğundadır. Akkuyu’daki lisanslama ve güvenlik onayları da NDK tarafından verilmektedir.

Kaynaklar /I/

- Council of the European Union. (2013). *Council Directive 2013/59/Euratom ...* (radyasyon koruma temel standartları).
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 103)*.
- Republic of Türkiye. (2023). *Law and Presidential Decree establishing Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK)*.
- Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK). (2025). *Kurumsal lisans ve denetim faaliyetleri*.
- Radyasyondan korunma ile ilgili kurumlar – NDK tanımı. (2025).
- Radyasyon tesisleri ve uygulamalarında koruma sorumluları ile ilgili usul ve esaslar. (2025).
- IAEA European ALARA Network dokümanları.
- DOE’nin ALARA standardını kaldırdığına dair haber raporları.
- Almanya radyasyondan koruma kurumu.
- NRC tarihçesi ve ABD radyasyon koruma yapısı.

Avrupa Birliği radyasyon koruma mevzuatı: Directive 2013/59/Euratom (temel güvenlik standartları)

OSHA Ionizing Radiation kontrol ve önleme rehberi (ABD)

10 CFR Part 835 – ABD’de ALARA tanımı ve uygulama rehberi

 Avrupa ALARA Network – ALARA Süreç Rehberi

 Radon yönetiminde ALARA uygulama çalışması