

Hastanın Aldığı Radyasyonun Ölçülmesi/Kayıt Edilmesi, Doz Takip Sistemleri

Measurement/Recording of Patient Radiation Exposure and Dose Tracking Systems

© Gökhan Kahraman¹, © Gökçe Kaan Ataç²

¹Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Zonguldak, Türkiye

ÖZ

Hastalıkların tanı ve tedavisinde oldukça önemli rol oynayan radyolojik görüntülemeler günümüzde tıbbi uygulamaların vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Ancak bu süreç, radyasyon maruziyetinin ve potansiyel sağlık risklerinin de artışına sebep olmaktadır. Hastaların radyasyondan korunması için gerekçelendirme, optimizasyon ve tanısal referans düzeylerinin belirlenmesi gibi stratejiler uygulanmaktadır. Bu kapsamda hasta dozlarının ölçülmesi, kaydedilmesi ve analiz edilmesi kritik öneme sahiptir. Gelişen dijital teknolojilerle birlikte doz takip sistemleri (DTS), radyasyon dozunun takibi ve optimizasyonunda önemli araçlar haline gelmiştir. DTS, radyolojik tetkiklerden elde edilen doz verilerini toplar, analiz eder ve raporlar. Bu sistemler, hasta güvenliğini artırmanın yanı sıra, radyasyon maruziyetini azaltmaya ve görüntüleme kalitesini optimize etmeye olanak tanır. Ancak DTS'nin etkin şekilde kullanılabilmesi için veri doğruluğu, personel eğitimi ve sistem entegrasyonu gibi konulara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu derlemede, doz metriklerinden görüntü kalitesi değerlendirmelerine, DTS'nin temel bileşenlerinden yapay zeka uygulamalarına kadar geniş bir çerçevede doz yönetimi süreçleri, hasta güvenliği ve görüntüleme kalitesinin dengelenmesine yönelik öneriler ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon dozu, doz optimizasyonu, tanısal referans düzeyi, doz takip/yönetim sistemleri

ABSTRACT

Imaging, which plays a crucial role in the diagnosis and treatment of diseases, has become an indispensable part of modern medical practice. However, this process has also led to increased radiation exposure and potential health risks. Strategies such as justification, optimization, and the establishment of diagnostic reference levels are implemented to protect patients from radiation. In this context, the measurement, recording, and analysis of patient doses are of critical importance. With the advancement of digital technologies, dose tracking/management systems (DTS) have emerged as vital tools for monitoring and optimizing radiation doses. DTS collect, analyze, and report dose data obtained from radiological procedures. These systems not only enhance patient safety but also help minimize radiation exposure and optimize imaging quality. However, to ensure the effective use of DTS, attention must be paid to data accuracy, staff training, and system integration. This review addresses a wide range of topics related to dose management processes, including dose metrics, image quality assessment, the fundamental components of DTS, and artificial intelligence applications. Additionally, it provides recommendations for balancing patient safety and imaging quality.

Keywords: Radiation dose, dose optimization, diagnostic reference level, dose tracking/management systems

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Radyasyon doz ve görüntü kalitesi metriklerini öğrenmek.
- Tıbbi görüntülemede doz takibini süreçlerini-radyasyon dozlarının ölçülmesi, kaydedilmesi, toplanması ve analizi-öğrenmek.
- Doz takip sistemleri ile radyasyon dozunun nasıl izleneceğini, doz optimizasyonu ve radyasyon güvenliği artırma süreçlerini anlamak.



Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Gökhan Kahraman, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

E-posta: gokhankahraman1@outlook.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0001-9902-8844

Geliş Tarihi/Received: 01.12.2024 **Kabul Tarihi/Accepted:** 04.02.2025 **Epub:** 11.03.2025

Cite this article as: Kahraman G, Ataç GK. Measurement/recording of patient radiation exposure and dose tracking systems. *Trd Sem.* [Epub Ahead of Print]



Copyright © 2025 Yazar. Türk Radyoloji Derneği adına Galenos Yayınevi tarafından yayımlanmıştır. Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası (CC BY-NC 4.0) Uluslararası Lisansı ile lisanslanmış, açık erişimli bir makaledir.

GİRİŞ

Tıbbi görüntüleme için iyonlaştırıcı radyasyonun kullanımı, X-ışınlarının keşfinden hemen sonra başlayarak, hastalıkların teşhisi ve tedavisinde giderek artan önemli avantajlar sağlamıştır. Bununla birlikte, son yıllarda tıbbi görüntüleme incelemelerinin sayısının hızla artması, radyolojik görüntülemelerden kaynaklanan kişisel ve toplam radyasyon dozlarında kayda değer bir artışa neden olmuştur [1]. Bu durum, hastaların tıbbi incelemelerde gerekçelendirilmeyen ve/veya optimize edilmemiş radyasyon maruziyetinden korunmasının önemini daha da artırmıştır.

Hastanın tıbbi ışınlamalarda radyasyondan korunması kavramı Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun, (*International Atomic Energy Agency*, IAEA) öncülüğünde tüm üye ülkelere önerdiği üç aşamalı bir plan gerektirir. Hastanın sadece radyasyon içeren incelemeye gereksinimi olduğunda bu incelemenin uygulanması (gerekçeleştirme) ilk aşamadır. Gerekçelendirilmiş ışınlamanın, hastaya klinik olarak şüphelenilen hastalığın radyolojik bulgularını ortaya koyacak radyasyon dozlarında uygulanması, optimizasyon olarak belirlenir. Bu dozların, sık uygulanan incelemelerde, benzer cihazlarda hangi hasta dozlarında uygulandığını karşılaştırılması amacıyla tanıtılabilir referans düzeyleri (*diagnostic reference level*, DRL) belirlenmeli ve radyoloji merkezlerinde optimizasyona bir dayanak olarak uygulanmalıdır [2]. Bu bağlamda, Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu'nun (*International Commission on Radiological Protection*, ICRP) önerileri ile IAEA güvenlik standartlarını temel alarak hasta dozimetrisi ve DRL'ler için gereksinimler belirlemiştir [3, 4]. Ancak, IAEA'nın 2015 ve 2016 yıllarında düzenlediği toplantılarda, hasta dozimetrisi ve DRL'ler ile ilgili gerekliliklerin uygulanmasında eksiklikler belirlenmiş ve radyasyon maruziyetinin izlenmesi için optimize edilmiş koruma yöntemleri sunulması talep edilmiştir [5]. 2019 ve 2020 yıllarındaki toplantılar ise gerekçeleştirme ve optimizasyon süreçlerini iyileştirmek amacıyla, tekrarlanan görüntülemelere odaklanmış ve bireysel olarak hastaların radyasyon maruziyet geçmişinin izlenmesi ile bu bilgilerin hekimlere iletilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır [6].

Doz takip süreci, radyasyon doz optimizasyonunda, doz maruziyetlerinin analizinde ve tıbbi görüntüleme prosedürlerinin gerekçelendirilmesinde kritik bir araç olarak kabul edilmektedir [4]. **Tıbbi görüntüleme uygulamalarında hastaların maruz kaldığı radyasyon dozunun ölçülmesi, kaydedilmesi, toplanması ve analiz edilmesi, doz takibi sürecinin kritik aşamalarını oluşturmaktadır.** Uzun yıllardır bu süreç, radyasyon doz takibi yapan sağlık merkezlerinde, bölge ya da ülkelerde, periyodik aralıklarla hasta dozimetrisi anketleri ile sınırlı sayıda verinin elle kayıt tutulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ancak, bu yöntemin yanlış veri girişi riski ve uzun süreler alması gibi insan katkısına bağlı olası olumsuzlukları mevcuttur [4]. Ülkemizde gerçekleştirilen ilk

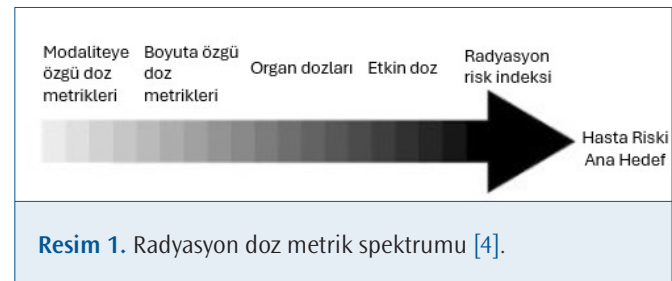
DRL çalışmasında verilerin elde edilmesi ile ilgili endişeler dile getirilerek daha farklı sistemlerin kullanılması önerilmiştir [7]. Günümüzde ise bu sürecin tüm aşamalarında otomatik veya yarı otomatik dijital doz takip sistemlerinin (*dose tracking/management systems*, DTS) kullanımıyla hasta doz maruziyetinin takibi kolaylaşmıştır. Dijital sistemler, daha geniş kapsamlı veri toplama ve analiz imkanı sunarak, doz optimizasyonu ve maruziyet değerlendirmelerinde daha yüksek doğruluk ve verimlilik sağlamaktadır. Bu sistemlerin faydalarına ve potansiyeline rağmen, bu DTS, dünya çapında sağlık merkezlerinin yalnızca bir kısmında kullanılmakta ve uygulamalarında belirgin bir farklılık söz konusudur. Radyasyon doz takibi ile ilgili kapsamlı uluslararası yönergelerin eksikliği nedeni ile IAEA, hasta radyasyon maruziyetinin takibine yönelik detaylı ve kapsamlı öneriler içeren bir kılavuz yayınlamıştır [4].

Bu bölümde, öncelikle doz ve görüntü kalitesi metrikleri ile risk indekslerine kısaca değinilecektir. Ardından radyasyon doz takibi gerekçe ve hedefleri tartışılacak, yayınlanmış kılavuzlar ışığında radyasyon doz takibi sürecinin aşamaları ayrıntılı olarak incelenecek ve DTS kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır.

Radyasyon Doz Metrikleri

Radyolojik görüntüleme incelemeleri üç temel aşamadan oluşur: görüntü elde etme, görüntüyü işleme ve görüntünün sunulması. Radyolojik görüntüleme, görüntü elde etme aşaması hasta doz maruziyetini doğrudan, görüntü işleme aşaması ise dolaylı olarak etkiler. Bu aşamalar hastaların maruz kaldıkları radyasyon dozlarının kontrolünde belirleyicidir. X-ışını kullanan değişik radyolojik modalitelerde farklı teknolojiler ile görüntünün oluşturulmasına rağmen, temel görüntüleme parametreleri arasında pik tüp voltajı, tüp akımı, tarama zamanı, tüp akım-zamanı, tüp/obje/detektör uzaklıkları ve filtrasyon ilk sıralarda yer almaktadır. Bu parametreler radyasyon dozuna etki eden önemli etkenlerdendir. Görüntü elde etme parametreleri hem hastaların radyasyon doz veya riskinin doğru şekilde hesaplanmasında hem de optimizasyon sürecinde oldukça kritik önem arz eder [8].

Hastaların maruz kaldıkları dozun hesaplanmasında, görüntüleme parametreleri ve hasta özellikleri gibi birçok veri kullanılır. Burada temel amaç doz maruziyetinden kaynaklanan gerçek hasta riskini en doğru şekilde tahmin edebilmektir (Resim 1). Hasta riskinin belirlenmesinde modalitenin cinsi



Resim 1. Radyasyon doz metrik spektrumu [4].

ve hastanın boyutlarına ve ışın alan vücut bölgesine özgü doz metrikleri, organ dozları, Etkin doz gibi radyasyon doz metrik spektrumunu gözden geçirmek gerekir [9].

Modaliteye Özgü Doz Metrikleri

Modaliteye özgü radyasyon doz metriği, farklı tıbbi görüntüleme modalitelerinin [bilgisayarlı tomografi (BT), direkt grafi, mamografi gibi] hasta üzerindeki radyasyon dozunu ölçmek için kullanılan ölçüm birimlerini ifade eder. Görüntüleme modaliteleri farklı fiziksel prensiplere dayanarak çalıştığından her modalite için farklı bir doz metriği kullanılır. **Rutin olarak, radyolojik görüntülemelerde hastaların modaliteden işlem sırasında aldıkları dozlar dozimetre kullanılarak doğrudan ölçülmez. Bunun yerine modern görüntüleme cihazları maruz kalınan radyasyon dozunu tahmin edebilen donanım ve yazılımlara sahiptir. Bu teknolojiler görüntüleme parametrelerini ve/veya tüp çıkış enerjilerini kullanarak hastanın aldığı dozu tahmini olarak hesaplar ve kullanıcılara raporlar.** Günümüzde Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu'nun tanınmış ve girişimsel radyoloji için önerdiği modalitelere özgü doz metrikleri Tablo 1'de özetlenmiştir [9, 10].

Boyuta Özgü Doz Metrikleri

Bu metrikler, hasta boyutunun da hesaba katılmasından dolayı hasta doz riskini daha iyi temsil eder. **Boyuta özgü doz metriklerinden en dikkate değer olanı, boyut spesifik doz tahmini (size-specific dose estimate, SSDE) olarak bilinir. BT'de**

görüntüleme yapılan hasta kesit boyutlarına göre SSDE değerini hesaplanarak $CTDI_{vol}$ ve buna bağlı doz tahmini yapılır [9-11].

Organ Dozları

Organların radyasyona duyarlılıkları birbirinden farklıdır, bu nedenle her bir organ için maruz kalınan radyasyonun doğru bir şekilde hesaplanması, hastanın gelecekteki sağlık risklerinin tahmin edilmesinde kritik bir rol oynar. Bu duyarlılık farkı göz önünde bulundurularak organ dozları hesaplanır. Organ dozlarının hesaplanması kompleks bir süreçtir ve genellikle hastanın fiziksel özelliklerine, kullanılan radyolojik modaliteye ve çekilen görüntüleme prosedürüne göre farklılık gösterir. Organ dozları, Monte Carlo benzetim yöntemleri içeren vücut ve organ modelleri kullanılarak tahmin edilir, ancak her hastada farklılık gösterdiği için hata payı yüksektir. Yeni yöntemler, hastayı bir dizi daha gerçekçi insan modeli ile eşleştirip radyasyon simülasyonları kullanarak organ dozlarının daha doğru hesaplanmasını sağlar. Bu yöntemlerle organ dozu %10'dan az hata payı ile hesaplanabilir. **Radyasyonun farklı organlar üzerindeki etkilerini değerlendirmek için organlara özgü doku ağırlık faktörleri kullanılır. Bu faktörler, ICRP tarafından yayınlanmış, toplamı 1'e eşit olacak şekilde, değişik yüzdelerde her organın radyasyona karşı duyarlılığını yansıtır.** Organların radyasyondan kaynaklanan hasara duyarlılıklarına göre, bu ağırlıklar kullanılarak organ dozları hesaplanabilir. Bazı radyolojik görüntülemelerde, belirli organlar (örneğin mamografide meme, floroskopide deri) daha yüksek doz alır.

Tablo 1. Modaliteye özgü radyasyon doz metrikleri [9, 10]

Nicelik	Önerilen semboller	Uygulamada kullanılan birimler	Yaygın kullanılan diğer semboller	İlişkili nicelik	Modalite
Hava kerma	$K_{a,i}$	mGy	IAK		Radyografi ve floroskopi, girişimsel radyoloji görüntülemeleri, dental intraoral radyografi, mamografi ve meme tomosentezi
Hava kerma hızı	\dot{a}_i	mGy/s			
Giriş yüzey hava kerma	$K_{a,e}$	mGy	ESAK	Giriş yüzey dozu	
Referans noktası hava kerma	$K_{a,r}$	mGy	CAK		Floroskopi ve floroskopi eşliğinde gerçekleştirilen girişimsel işlemler
Hava kerma alan çarpımı	PKA	mGy·cm ²	KAP	Doz alan çarpımı	Radyografi, floroskopi, girişimsel radyolojik görüntülemeleri, dental panoramik radyografi ve dental konik ışın BT
Ağırlıklı BT hava kerma indeksi	C_w	mGy	Ağırlıklı CTDI ($CTDI_w$)		BT
Hacimsel BT hava kerma indeksi	C_{vol}	mGy	Hacimsel CTDI ($CTDI_{vol}$)		BT
Hava kerma uzunluk çarpımı	PKL	mGy·cm	DLP	Doz uzunluk çarpımı	BT

BT, bilgisayarlı tomografi; CAK, kümülatif hava kerması; $CTDI_{vol}$, bilgisayarlı tomografi doz indeksi.

Girişimsel radyolojideki uygulamalarda, deri ya da lens gibi organların radyasyon yaralanmalarında da izole organ dozları hesaplanır. Bu nedenle, radyolojik görüntülemelerin doz takibi ve optimizasyonlarının da bu organlara özellikle dikkat edilerek gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir [9, 10, 12].

Etkin Doz

Organ dozu, bir hastanın radyasyon riskini değerlendirmede önemlidir, ancak her organın dozu ayrı hesaplandığı ve hastanın doz riskinin birçok sayı ile ifade edilmesi kullanım zorluğu yaratır. Bu sorunu çözmek için etkin doz kullanılır. **Etkin doz, tüm organların radyasyon dozlarının ağırlıklı toplamıdır ve tek bir sayı olarak ifade edilir. Bu, hem hastaların radyasyon doz riskinin değerlendirilmesini ve iletişimi kolaylaştırır hem de farklı tıbbi işlemlerden, farklı radyasyon kaynaklarından alınan dozların karşılaştırılabilmesini sağlar.** Etkin dozun hesaplanmasında birçok yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerden hasta spesifik organ dozlarına dayanan hesaplama yöntemi, en doğru yöntem olarak kabul edilir. Etkin dozun hesaplanmasında kullanılan değişik yöntemler farklı sonuçlar verebilir bu nedenle etkin dozlar raporlanırken kullanılan yöntemler hakkında ayrıca detaylı bilgi de sunulmalıdır [9, 10, 13].

Radyasyon Risk İndeksi

Radyasyonun olası etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bir kavramdır. Geleneksel etkin doz yaklaşımı, radyasyona maruz kalma sonucunda kanser gelişme riskini genel bir şekilde tahmin ederken yaş, cinsiyet ve bireysel hasta özelliklerini yeterince dikkate almaz. Radyasyon risk indeksi (RRI) ise bu eksiklikleri gidermeyi hedefler. **RRI, tıbbi görüntüleme sırasında radyasyon kaynaklı kanser riskini tahmin etmek ve azaltmaya yönelik stratejiler geliştirmek amacıyla, daha duyarlı ve kişiye özel bir risk tahmin yöntemidir [14].**

Görüntü Kalitesi Metrikleri

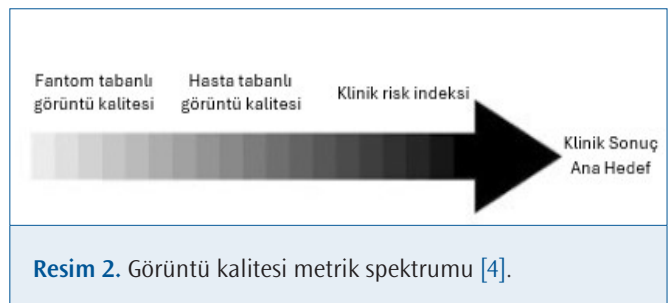
Tıbbi görüntülemeyi sadece radyasyon riski açısından değerlendirmek yetersizdir. **Radyasyon dozunun düşük ancak görüntü kalitesinin yetersiz olduğu durumlar da hasta bakım kalitesine etkileri nedeniyle bir risk olarak kabul edilmekte ve klinik risk olarak adlandırılmaktadır.** Tıbbi görüntülemeler klinik risk ile radyasyon riski dengelenerek gerçekleştirilmelidir. Radyasyon riski ölçümleri gibi görüntü kalitesi de belirli ölçümler ile değerlendirilebilir. Hastaların klinik sonuçlarını doğrudan ölçmek zor olduğundan, bu amaçla dolaylı ölçütler kullanılmaktadır. Bu ölçütler, fantom tabanlı ve modaliteye özgü parametrelerden başlayarak hastaya özgü verilere kadar geniş bir yelpazede yer alır (Resim 2) [4].

Fantom Tabanlı Görüntü Kalitesi

Fantom tabanlı görüntü kalitesi metrikleri arasında çözünürlük, kontrast ve gürültü gibi temel parametreler bulunmaktadır. Çözünürlük, bir görüntüdeki detayların keskinliğini ve ayırım gücünü ifade ederken kontrast, farklı dokuların veya yapılarının sinyal seviyelerinin arka plana göre belirginliğini tanımlar. Gürültü ise hastadan kaynaklanmayan sinyallerin, görüntüdeki rastgele dalgalanmalar olarak ortaya çıkmasını ifade eder. Bu temel metrikler, kontrast-gürültü oranı (*contrast-to-noise ratio*, CNR), sinyal-gürültü oranı (*signal-to-noise ratio*, SNR) gibi kombine metriklerle de değerlendirilebilir. CNR, iki farklı yapının (örnek kitle ve çevre doku) sinyal farkının, gürültüye oranıdır. Yüksek CNR, yapılar arasındaki farkın daha belirgin ve ayırt edilebilir olduğunu ifade eder. Özellikle düşük kontrastlı lezyonları tespit etmekte önemlidir. SNR, bir görüntüdeki sinyal gücünün, gürültü gücüne oranıdır. Yüksek SNR, görüntüdeki detayların daha net olduğunu ve gürültünün daha az olduğunu gösterir. Görüntüleme sistemlerinin performansı, fantomlar kullanılarak fiziksel parametreler üzerinden test edilir. Ancak, bu metrikler yalnızca fiziksel görüntü kalitesini yansıtır ve her zaman klinik tanıya yönelik kaliteyi doğrudan temsil etmez. Göreve özgü görüntü kalitesi ölçümleri, tanısal doğruluk ve görüntüleme performansının değerlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır [4, 8].

Hastaya Dayalı Görüntü Kalitesi

Fantomlar ile ölçülen görüntü kalitesi metrikleri hastalardaki anatomik varyasyonları tam olarak yansıtamaz. Modern görüntüleme sistemleri, hasta özelliklerine göre otomatik ayarlamalar yaparak görüntü kalitesini optimize etmeye çalışsa da her zaman klinik ortamlarda karşılaşılan farklılıkları tam anlamıyla değerlendiremez. Son yıllarda, görüntü kalitesinin doğrudan hasta verilerinden otomatik olarak ölçülmesi yönünde gelişmeler kaydedilmiştir. Bu gelişmeler sonucunda çözünürlük, kontrast ve gürültü gibi parametreler tanısal içerik ile ilişkilendirilebilmektedir. Ayrıca bu gelişmeler, otomatik görüntü kalitesi metriklerinin, hasta radyasyon maruziyeti ve tanısal içerik ile birlikte ele alınmasına, böylece tıbbi görüntülemelerde radyasyon riskinin daha kapsamlı değerlendirmesine olanak sağlamaktadır. Görüntüleme kalitesinin değerlendirilmesindeki bu gelişmelere rağmen günümüzde görsel derecelendirme analizi (*visual grade*



analysis) gibi belirli skala kullanılan subjektif değerlendirmeler daha sık kullanılmaktadır [4, 15, 16].

Klinik Risk İndeksi

Görüntü kalitesi metrikleri, klinik risk ile doğrudan ilişkilidir. Klinik risk, tanısal güvenin azalması ve bunun sonucunda yanlış yorumlama ya da tanı koyma olasılığının artmasıdır. Klinik risk, görüntü kalitesinin yeterliliği ile belirlenir ve bir hastalığın ya da lezyonun güvenli bir şekilde tespit edilip edilemeyeceğini gösterir. Gelecekte, radyasyon riskin yanı sıra klinik risk de mortalite gibi klinik sonuçlarla ilişkilendirilebilir [4, 17].

Radyasyon Doz Takibi

Tıbbi görüntüleme, klinisyenlerin hastanın teşhis ve tedaviye yönelik yönetimi ile karar vermede yardımcı olarak kullanılan hayati bir süreçtir. Ancak, bu süreçte radyasyon riski ile hastanın sağaltımı adına elde edilen fayda arasında dikkatli bir denge kurulması gerekmektedir. Radyasyon doz maruziyetinin azaltılması amaçlanırken, görüntü kalitesinden ödün verilmemeli, görüntülerin tanısal yönden kaliteli olduğundan emin olunmalıdır. Aksi takdirde, görüntülemenin tanısal gücü azalabilir ve bu durum yanlış ya da eksik tanı olasılığını artırabilir [3, 4, 18].

Radyasyondan korunmada temel prensipler arasında radyolojik tetkiklerin gerekçelendirilmesi ve optimizasyonu yer almaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon içeren görüntüleme yöntemleri, hastaların tanı ve tedavilerindeki faydaları ile doz maruziyetinin yol açabileceği olası zararlar göz önünde bulundurularak gerekçelendirilmelidir. Bu değerlendirme yapılırken, radyasyon içermeyen alternatif görüntüleme yöntemleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Hastaların radyasyon doz takibi, gerekçelendirme sürecine, hekimlere hastaların önceki işlem ve doz maruziyet düzeylerine ait bilgiler sunarak katkı sağlayabilir. Tıbbi görüntüleme doz optimizasyonu ise tanı ya da tedavi amacına uygun kalitede görüntüleme gerçekleştirilirken, doz miktarının minimumda tutulması ve böylece hasta için fayda-risk oranının maksimuma çıkarılması anlamına gelir [18]. Optimizasyon sürecinde radyasyon zararının yanı sıra amaca uygun hasta yararı sağlayacak optimal görüntünün elde edilememesi de risk olarak kabul edilir. Bu amacın gerçekleştirilememesi klinik risk olarak kabul edilir [4]. IAEA, radyasyon doz optimizasyonu sürecinin sağlıklı olarak gerçekleşebilmesi için uygun olarak seçilmiş radyolojik cihaz ve teknolojiler, önceden belirlenmiş ve gözden geçirilmiş çekim parametreleri, kalibre edilmiş radyasyon kaynakları ve dozimetreler; güncel tanısal referans seviyeleri ve kapsamlı kalite güvence programları gibi unsurların kullanılmasını önerir [2]. Radyasyon doz optimizasyon hedefine ulaşabilmek için, radyasyon doz takibi sürecinde bir yandan doz metrikleri analizleriyle radyasyon riskini, diğer yandan görüntü kalitesi metrikleri analiziyle klinik riski değerlendirir.

Hastaların radyasyon maruziyetinin takibi, radyolojik görüntüleme dozlarının zaman içerisindeki değişimini izleyerek kolektif doz maruziyetinin değerlendirilmesinde yardımcı olabilir. Ayrıca farklı sağlık merkezleri, bölgeler veya ülkeler arasındaki doz maruziyetlerinin karşılaştırmalarını daha etkili hale getirir. Radyasyon doz takibinin önemli faydalarından biri de radyasyon ile ilgili bilimsel çalışmalara veri sağlamasıdır. Özellikle radyasyon doz maruziyetlerinin dijital ve otomatize sistemlerle takip edilmesi, büyük boyutlu hasta doz verilerine kolayca ulaşımı sağlayarak hasta dozu ve optimizasyona yönelik araştırmalara önemli katkılar sağlar [4].

Doz verilerinin takip süreci, hasta dozunun ölçülmesi/belirlenmesi, kaydedilmesi, toplanması ve analizi aşamalarından oluşur (Resim 3). Hasta dozu, görüntüleme modalitelerinde indirekt olarak tahmin edilir ve ayrıca her çekim için uygun doz metrikleri kullanıcılara sunulur. Doz verilerinin toplanması, hastanın radyasyona maruz kalma verilerinin ortak bir sistemde toplanması işlemidir. Toplanan verilerin analizi, klinik boyutunda doz optimizasyon sürecini etkileyeceği gibi, birey ve toplum düzeyinde ise doz maruziyetlerinin araştırılması gibi farklı süreçleri ifade eder [4].

Hasta Dozunun Ölçülmesi/Belirlenmesi

X-ışınlarının tıpta kullanımı ile radyasyonun doğru ölçülmesi/belirlenmesi ihtiyacı da beraberinde doğmuştur. Başlangıçta gümüş içeren fotografik emülsiyonların kararması gibi teknikler kullanılsa da o dönemde standart bir doz ölçüm birimi yoktu. 1908'de Villard tarafından X-ışınlarının havanın elektriksel iletkenliğini değiştirdiği keşfedildi ve bu ölçümlerde umut verici bir yöntem oldu. 1925 yılında Almanya Röntgen Derneği tarafından X-ışınına maruziyetini ölçmek için "röntgen" birimi kabul edildi. İyon odaları kullanılarak erken dönemde yapılan ölçümler, enstrümanların duyarlılık eksikliği ve enerji bağımlılığı nedeniyle zordu. Ancak zamanla daha etkili ve hassas ölçüm aletlerinin geliştirilmesi, radyasyonun biyolojik ve teknik etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağladı. Atom bombasının da ortaya çıkardığı sağlık sonuçları ile, 1950'lerden sonra genetik etkiler yerine kanser riskine odaklanıldı ve cilt, gonadlar ve kemik iliği gibi hassas organlar üzerinde yapılan doz çalışmaları arttı. 1960'larda, termoluminesans dozimetrelerin geliştirilmesiyle birlikte cilt yüzeyine gelen radyasyonun daha doğru ölçülmesi sağlandı. 1980'lerde ise radyasyon dozimetrisinde kullanılan terimler



Resim 3. Hasta dozu takip süreci.

ve birimler büyük değişikliğe uğradı ve Uluslararası Birimler Sistemi'ne geçildi. X-ışını maruziyeti için "hava kerma" terimi ve "gray" birimi kullanılmaya başlandı. Zamanla, bilgisayarlı yöntemlerle organların aldığı radyasyon dozlarının daha doğru hesaplanabilmesi sağlandı. Monte Carlo simülasyonları gibi yöntemler, farklı tıbbi X-ışını maruziyet koşullarında organ dozlarının daha hassas bir şekilde hesaplanmasına olanak tanıdı. 1980'lerin sonunda, atom bombası kurbanları ve diğer kazalarından ortaya çıkan verileri irdeleyen Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, UNSCEAR) çalışmalarının katkısıyla organların radyasyona duyarlılıkları hakkında daha fazla bilgi elde edildi. Bu bilgiler, tıbbi görüntülemeyle ilişkili kısmi vücut maruziyetlerinden kaynaklanan toplam radyasyon riskinin daha iyi tahmin edilmesine yardımcı oldu. **Günümüzde radyolojik görüntülemede hastaların modaliteden işlem sırasında aldıkları dozlar, hasta cildinde dozimetre kullanılarak doğrudan ölçülmez. Bunun yerine, modern görüntüleme cihazları maruz kalınan radyasyon dozunu tahmin edebilen donanım ve yazılımlara sahiptir. Bu teknolojiler, görüntüleme parametrelerini ve/veya tüp çıkış enerjilerini kullanarak hastanın aldığı dozu tahmini olarak hesaplar ve kullanıcılara raporlar [9, 10].**

Hasta-Doz Maruziyetinin Kaydedilmesi

Hasta doz maruziyetinin kaydedilmesi, doz verilerinin manuel veya otomatik olarak belgelenmesi sürecidir. **Bugün Avrupa Birliği üye devletleri ve bu sistem dışındaki Türkiye dahil birçok ülke, iyonlaştırıcı radyasyon zararlarına karşı temel güvenlik standartlarını kendi ulusal hukuk kurallarına göre oluşturmak zorundadır [19].** Bu kapsamda radyasyon doz maruziyet verilerinin kaydedilmesi ve arşivlenmesi yasal bir zorunluluktur. Elektronik araç ve hastane bilgi sistemi (*hospital information system*, HIS), radyoloji bilgi sistemi (*radiology information system*, RIS), görüntü saklama ve iletişim sistemleri (*picture archiving and communication systems*, PACS), DTS olarak adlandırılan yazılımların kullanılmaya başlaması öncesinde, bu işlemler kağıt üzerinde manuel olarak hazırlanmış formlara yazılarak yapılırdı. Ancak manuel yöntem oldukça zaman alıcıdır. Veri girişindeki hatalar nedeniyle sonuçların doğruluğu etkilenmektedir. HIS, hastanelerde tüm hasta bilgilerini, hasta kabul işlemlerini, klinik verileri ve tanı/televi işlemlerini dijital ortamda yönetmeye yarayan geniş kapsamlı bir bilgi sistemidir. RIS ise, hastanelerde radyolojik işlemleri yönetmek, takip etmek, raporlamak ve kayıt altına almak için kullanılan bir sistemdir. Hasta randevuları, radyolojik incelemelerin istemleri, raporlama işlemleri, görüntü ve raporların saklanması gibi fonksiyonları içerir. RIS'in kullanılmaya başlaması, verilerin kağıt üzerine kaydı yerine klavye ile veri girişi yapılmasını sağlamıştır, ancak yine de veri girişi hataları devam etmiştir. Sonrasında, doz verileri dahil görüntülemede uygulanan

incelemelerin elektronik olarak kodlanması, iletilmesi ve kaydedilmesini sağlayan Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim (*Digital Imaging and Communications in Medicine*, DICOM) standartları gibi sistemlerin ortaya çıkması, doz verilerinin de daha doğru şekilde kaydedilmesine olanak sağlamıştır. DICOM, tıbbi görüntülerin depolanması, aktarılmasını ve paylaşılmasını sağlayan uluslararası bir standarttır. DICOM, tıbbi görüntülerin yanı sıra, hasta bilgileri ve görüntüleme cihazlarına ve görüntülemelere ait parametreler gibi verilerin uygun şekilde saklanmasını ve aktarılmasını sağlar. Böylece farklı cihazlar, sistemler ve sağlık merkezleri arasında sorunsuz entegrasyon mümkün hale gelmiştir. RIS ve DICOM standartlarındaki gelişmeler, doz parametrelerinin elektronik ortamda uygun ve güvenilir bir şekilde kaydedilmesini aynı zamanda hasta bilgileri ile bu doz verilerinin doğru şekilde eşleştirilmesini önemli ölçüde kolaylaştırmıştır. Bu sayede, hasta temelli doz izleme ve raporlama süreçlerinde standartlaştırma ve doğruluk artışı sağlanmıştır. Bu nedenle günümüzde, otomatik elektronik veri kaydı sistemleri sıklıkla tercih edilmektedir [4].

Günümüzde radyasyon içeren görüntüleme modaliteleri, radyasyon dozlarının detaylarını DICOM gibi standart bir formatta otomatik olarak kaydederek kullanıcılara sunar. Doz veri aktarım yöntemleri, DICOM ile kaydedilen doz verileri arasında, değişik modalite, sistem, cihaz marka ve modellerinde birtakım farklılıklar gösterse de DICOM görüntü başlıkları (*DICOM image headers*), DICOM modalite gerçekleştirilen prosedür adımı (DICOM modality performed procedure step, MPPS), DICOM radyasyon dozu yapılandırılmış raporu (*DICOM radiation dose structured report*, RDSR), ve DICOM Bitmap doz raporları (*DICOM images with bitmap dose reports*) şeklinde hazırlanan veriler bulunmaktadır. **Heryöntemin farklı avantaj ve dezavantajları mevcuttur ancak RDSR bugün tercih edilen doz verisi aktarım yöntemidir.** Raporlar, cihaz ve marka modellere bağlı değişiklikler gösterse de genel olarak her bir ışınlama için ayrı ayrı doz maruziyet detayları yanında toplam doz maruziyetini de içermelidir. Raporla radyasyon doz verilerinin yanı sıra hastaya ait demografik verileri, görüntüleme çekim parametre bilgilerini, görüntüleme tekniğini ve aynı zamanda kuruma ait ortanca değer verilerine de yer verilmelidir [4, 20].

- Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim görüntü başlıkları, doz maruziyet verilerini görüntüler ile birlikte saklayarak kalıcı bir kayıt sağlar ve doz verileri PACS sistemlerinde arşivlenebilir. Ancak, bu durum depolama alanının ve iletim süresinin artmasına sebep olabilir. Doz bilgilerinin görüntüden ayrılamaması nedeniyle görüntüler silindiğinde doz verileri de kaybolur. Floreskopi gibi tetkiklerde tüm görüntü verilerinin saklanmaması sonucunda doz verileri de silinebilir. Rekonstrüksiyon gibi elde edilen yeni görüntüleri ayırt edemediğinden yanlışlıkla birden fazla doz girişine sebep olabilir. Yeni doz ya da çekim parametrelerinin rapora eklenmesi için üreticiyle özel anlaşmalar gerekebilir.

- Modalite gerçekleştirilen prosedür adımı, görüntüleme cihazından PACS'a gönderilen ve gerçekleştirilen görüntüleme ile ilgili bilgi veren bir DICOM mesajıdır. Görüntü verilerinden bağımsız olarak doz bilgilerini toplar ancak kalıcı olarak saklanmaz. MPPS mesajı bir kez iletilir ve yakalanmadığı takdirde kaybolabilir. MPPS mesajı toplam doz, maruziyet süresi, çekim parametreleri gibi birçok veriyi içeren bir özet rapor sunar. Günümüzde MPPS DICOM tarafından kullanımdan çıkarılmış ve artık güncellenmemektedir.
- Radyasyon dozu yapılandırılmış raporu, 2005 yılında DICOM standardına, radyasyon dozu verilerinin daha doğru ve kapsamlı bir şekilde kaydedilmesi amacıyla, görüntü dışı bir veri formatı olarak eklenmiştir. Bu yapılandırılmış format, direkt ve komputere dijital radyografi, BT ve dijital mamografi gibi çeşitli modalitelerde ışınlama ile ilgili parametreleri standart bir biçimde, saklanan görüntü verilerinden bağımsız olarak raporlar. Floroskopi gibi tetkiklerde görüntülerden bağımsız doz bilgilerini depolayabilmesi sebebiyle görüntüler silinse dahi doz bilgileri kaybolmaz. 2021'de eklenen gelişmiş RDSR, modalitelere özgü şablonlar yerine genel bir çerçeve sunarak, eski doz parametrelerinin kaydını sürdürmenin yanı sıra, değişen ışınlama koşullarına göre doz dağılımlarını daha ayrıntılı izlemeye olanak tanır. Bu gelişmiş sistem, özellikle ışınlama olaylarının segmentlere ayrılması ve geometrik tanımlamaların iyileştirilmesi gibi yeniliklerle doz izlemeyi daha esnek ve hassas hale getirmiştir. Sağlık Bakanlığı'nın yayınladığı kılavuzda doz verilerinin DICOM RDSR standardında arşivlenmesi gerektiği belirtilmiştir [21].
- Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim Bitmap doz raporları, tıbbi görüntüleme modalitelerinde (özellikle BT ve floroskopi), çekime ait doz bilgilerini içeren bitmap

formatında görüntülerdir. Bu tür görüntüler çoğunlukla insan gözüyle okunabilir biçimde ve genellikle otomatik veri aktarımı için değil, incelemeyi yapan doktor veya teknisyenlerin sonradan okuyabileceği şekilde saklanan belgeler olarak tasarlanmıştır. Bu raporların DTS'lere doğrudan veri aktarımında, bitmap görüntülerden doz verilerini elde etmek için optik karakter tanıma (*optical character recognition*, OCR) teknolojisi kullanılmaktadır. Ancak OCR teknolojisiyle yapılan veri çıkarma işlemleri hataya açık olabileceğinden, Bitmap doz raporları artık eski bir yöntem olarak kabul edilir, günümüzde diğer yöntemler tercih edilmektedir (Resim 4).

- Bazı tıbbi görüntüleme sistemlerinde ise DICOM standardının istenmemiş veya kullanılmamış olması, şartnamede yer verilmemesi, kullanılan görüntüleme cihazının eski olması gibi sebeplerden dolayı, hastanın doz maruziyet bilgilerinin kaydı sadece manuel olarak yapılabilir [20, 22].

Hasta Dozunun Toplanması

Radyasyon doz verilerinin uygun bir şekilde analiz edilebilmesi için, yukarıda ayrıntılı şekilde anlatılan nedenlerden dolayı, bu verilerin veri tabanlarında toplanması gereklidir. Doz verilerinin toplanmasının temel amacı, bireysel olarak hastaların veya belirli bir popülasyonun radyasyon maruziyet düzeylerini incelemektir. Popülasyon temelli bir doz analizinde kritik hususlardan biri doğru hasta kohortunun tanımlanmasıdır. Kohort, bilimsel araştırmalarda aynı özelliklere sahip bir grup insanı ifade eder. Bir kohort, hastaların demografik özelliklerine göre; örneğin, belli ağırlık aralığında çocuk hastalar veya 18-60 yaş aralığındaki erişkinler gibi tanımlanabilir. Diğer taraftan kohort bir tıbbi merkez ya da belirli bir bölge de olabilir. Örneğin, Karadeniz bölgesinde gerçekleştirilen tüm beyin BT tetkikleri kohort olarak ele alınabilir.

Veri Toplama Teknikleri

Kohort analiz sonuçları seçilen kohorta özgü olacağından, kohortun doz analizi ile ilgili merak edilen, ilgi duyulan sorulara göre belirlenmesi oldukça önemlidir. Aksi takdirde, sonuçlar sınırlı olabilir veya istatistiksel olarak uygun bir sonuç elde edilemeyebilir. **Daha büyük veri miktarları daha yüksek kesinlik sağlasa da bir kohortu karakterize edebilmek için en az 20-30 tetkik gereklidir. Böylece %95 güven düzeyinde %20'lik bir güven aralığı sağlanır.** Bu nedenle daha az sayıda gerçekleştirilen tetkikler için uzun süreli veri toplamak gerekebilir. Birleşik Krallık'ta BT tetkiklerinde hastaların aldığı radyasyon dozlarını değerlendirmek, bu dozların zaman içindeki değişimlerini izlemek ve DRL belirlemek amacıyla aralıklı olarak çeşitli sağlık kurumlarından doz verileri toplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan doz anket formu örneği Resim 5'te sunulmuştur [23]. Uygun kohort seçimi ayrıca DRL'lerin belirlenmesi ve

Patient Name:	Exam no: 10234				
Accession Number:	22 Nov 2024				
Patient ID:	Revolution EVO				
Exam Description: BT BEYIN KONTRASTSIZ					
Dose Report					
Series	Type	Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
1	Scout	-	-	-	-
2	Axial	111.250-5146.250	45.04	720.63	Head 16
Total Exam DLP:				720.63	

Resim 4. Bitmap doz rapor örneği. Raporda çekim tarihi, çekimin yapıldığı cihaz, tetkik ismi ve doz bilgi ayrıntıları sunulmuştur.

CTDI_{vol}, bilgisayarlı tomografi doz indeksi; DLP, doz-uzunluk çarpımı.

kullanılması, karar destek sistemlerinin oluşturulması ve radyolojik tetkiklerin optimizasyonu gibi amaçlar için doz verilerinin etkili bir şekilde kullanılmasına olanak sağlar [4, 18].

Radyasyon doz verileri, farklı düzeylerde toplanarak sınıflandırılır. İlk düzeyde, veriler genellikle yerel olarak bir hastane veya radyoloji bölümünde elle ya da dijital sistemler aracılığıyla organize edilerek toplanır. İkinci düzeyde ise veriler, DRL oluşturma veya toplu doz tahminleri yapma gibi amaçlar doğrultusunda bölgesel, ulusal veya uluslararası analizler için toplanır. Bu süreç manuel veya yarı-manuel

Sağlık Tesisi:	BT Protokolü		
Hasta Numarası:	<input type="checkbox"/> Beyin BT (akut inme)		
Numune Numarası: .../20	<input type="checkbox"/> Servikal BT (krık)		
Yaş (tarama sırasında):	<input type="checkbox"/> Toraks BT (akciğer kanseri)		
Cinsiyet <input type="checkbox"/> Erkek <input type="checkbox"/> Kadın	<input type="checkbox"/> Yüksek çözünürlüklü toraks BT (interstisyel akciğer hastalığı)		
Vücut Ağırlığı: ... kg	<input type="checkbox"/> BT Anjiyografi (kan damarları)		
Tarayıcı Markası <input type="checkbox"/> GE <input type="checkbox"/> Philips <input type="checkbox"/> Siemens <input type="checkbox"/> Toshiba <input type="checkbox"/> Diğer	<input type="checkbox"/> Abdomen BT (karaciğer metastazları)		
Detektör Sırası Sayısı <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 64 <input type="checkbox"/> 128 <input type="checkbox"/> Diğer	<input type="checkbox"/> Abdomen ve pelvis BT (apse)		
Parametre	Sekans 1	Sekans 2	Sekans 3
Tüp Voltajı (kV)			
Sabit mA veya Otomatik mA'ların kullanılabilir aralığı			
Kullanılan Tüp Akımı Modülasyonu markası			
Otomatik mA kalite faktörü			
IV kontrast kullanıldı mı?			
Işın kollimatörü (mm)			
Resim 5. BT doz anket formu örneği. Bu çalışmada her kurumdan her tetkik için 20 tetkik verisi toplanmıştır. <i>BT, bilgisayarlı tomografi.</i>			

yöntemlerle şablonlar ya da elektronik formlar aracılığıyla organize edilebileceği gibi DTS'lerin yardımı ile otomatik şekilde daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Veriler temel olarak tetkik, hasta ve hastane parametreleri olmak üzere üç kategoride sınıflandırılabilir. Tetkik parametreleri en az, kullanılan görüntüleme modalitesini (BT, direkt grafi gibi), incelemenin tipini (toraks BT, akciğer grafisi gibi), alt tetkikleri (portal venöz faz ya da geç faz BT gibi) ve endikasyonu (üriner sistem taş hastalığı gibi) içerir. Hasta parametreleri ise hastanın yaş, cinsiyet, kilo gibi özelliklerini kapsar. Hastane parametreleri ise kullanılan ekipmanın markası, modeli, tetkikin gerçekleştirildiği odanın özellikleri, radyoloji teknisyeni gibi unsurları kapsar. Bu parametrelerin herhangi bir kombinasyonu kullanılarak kohort belirlenebilir. Örneğin, son beş yıldaki belirli bir hastanedeki acil radyoloji departmanında gerçekleştirilen kontrastsız toraks BT tetkiklerinden doz verileri toplanabilir (Resim 6) [4].

Radyolojik İncelemelerin Sınıflandırılması ve Kodlama Sistemleri

Tıbbi görüntülemelerde ortak dilin kullanılması radyasyon dozlarının toplanması ve analizinde oldukça önemlidir. Bu amaçla birçok sınıflandırma ve kodlama sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler farklı sağlık merkezleri ve sağlık çalışanları arasında aynı dilin kullanılmasını sağlayarak tıbbi görüntülemelerin standart bir şekilde sınıflandırılmasını sağlar ve iletişim hatalarının önüne geçer. Bu sayede hasta yönetimi daha kolay hale gelir. Bu sistemler aynı zamanda sağlık hizmetlerinin faturalandırılmasında da önemli bir rol oynar. Sigorta şirketleri ve hastaneler belirli kodlar aracılığıyla hizmet bedellerini belirleyebilir ve ödemeleri düzenleyebilir.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
ID	Exam	Study/Acquisition Date	Study Description	Dose value in DLP [mGy cm]	Dose value in CT DIvol [mGy]	Modality Type	Source	Manufacturer	Model	Patient Age	Sex	Phantom Size
15776	2945	2020-01-28T03:04:29	Head*BEYINBT (Adult)	344,385	21,08	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	90 Y	F	32
16244	3037	2020-01-30T18:22:22	Head*BEYINBT (Adult)	346,54	21,08	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	89 Y	F	32
17678	3303	2020-02-09T14:14:51	Head*BEYINBT (Adult)	344,415	21,08	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	80 Y	F	32
17682	3304	2020-02-09T14:14:51	Head*BEYINBT (Adult)	344,415	21,08	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	80 Y	F	32
11981	2236	2020-01-01T15:21:20	Head*BEYINBT (Adult)	395,445	21,595	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	82 Y	F	32
6748	1201	2020-06-12T01:36:35	Head*BEYINBT (Adult)	373,665	21,425	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	77 Y	F	32
3806	674	2020-05-24T14:45:35	Head*BEYINBT (Adult)	402,85	22,125	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	45 Y	F	32
18540	3477	2020-02-14T15:52:31	Head*BEYINBT (Adult)	426,96	26,13	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	88 Y	M	32
2306	438	2019-10-24T15:19:49	Head*BEYINBT (Adult)	341,54	20,905	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	72 Y	F	32
11881	2128	2020-07-11T18:47:33	Head*BEYINBT (Adult)	411,745	23,345	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	66 Y	F	32
2707	516	2019-10-29T11:13:16	Head*BEYINBT (Adult)	413,865	23,865	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	90 Y	F	32
17650	3298	2020-02-09T01:25:13	Head*BEYINBT (Adult)	398,525	24,39	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	46 Y	F	32
12599	2349	2020-01-05T13:24:21	Head*BEYINBT (Adult)	435,56	23,88	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	90 Y	F	32
19133	3587	2020-02-19T13:31:17	Head*BEYINBT (Adult)	416,2	23,865	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	82 Y	F	32
219	37	2020-04-20T09:04:47	Head*BEYINBT (Adult)	426,425	24,735	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	87 Y	F	32
15540	2901	2020-01-25T12:17:08	Head*BEYINBT (Adult)	461,825	25,26	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	72 Y	F	32
1151	220	2019-10-15T06:14:55	Head*BEYINBT (Adult)	402,51	21,95	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	86 Y	F	32
1727	329	2019-10-20T18:30:56	Head*BEYINBT (Adult)	480,76	26,65	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	19 Y	F	32
10130	1914	2019-12-21T14:39:57	Head*BEYINBT (Adult)	489,33	28,22	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	90 Y	M	32
8051	1519	2019-12-06T16:20:35	Head*BEYINBT (Adult)	384,205	23,515	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	79 Y	F	32
16581	3098	2020-02-01T14:23:49	Head*BEYINBT (Adult)	429,58	24,215	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	26 Y	F	32
9260	1748	2019-12-14T12:57:03	Head*BEYINBT (Adult)	446,905	27,355	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	51 Y	F	32
830	159	2019-10-12T00:07:18	Head*BEYINBT (Adult)	513,435	29,96	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	65 Y	F	32
11507	2154	2019-12-29T17:43:15	Head*BEYINBT (Adult)	489,27	25,435	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	87 Y	M	32
5935	1133	2019-11-22T12:53:21	Head*BEYINBT (Adult)	514,035	29,305	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	82 Y	F	32
3826	679	2020-05-25T01:08:33	Head*BEYINBT (Adult)	517,975	27,355	CT	DICOM	SIEMENS	SOMATOM Force	79 Y	F	32

Resim 6. DTS aracılığı ile toplanan örnek BT doz verileri. Bu örnekte erişkin hastalarda, SOMATOM Force BT cihazında 2020 yılında gerçekleştirilen beyin BT tetkiklerinin doz verileri toplanmıştır.

DTS, doz takip sistemleri; BT, bilgisayarlı tomografi.

Radyasyon verilerin doğru ve tutarlı bir şekilde toplanması bilimsel çalışmalara önemli katkı sağlar. Kodlama sistemleri radyasyon verilerin doğru ve tutarlı bir şekilde toplanması sağlayarak bilimsel araştırmalarda oldukça önemli rol oynar ve büyük çaplı doz analizlerin doğru şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan *RadLex® Playbook*, radyolojik işlemleri ayrıntılı ve sistematik şekilde kodlamak amacıyla geliştirilmiş olup, Avrupa Komisyonu (*European Commission*, EC), popülasyon bazında radyasyon dozu tahminleri gibi daha geniş kapsamlı sınıflandırmalar geliştirmiştir [4, 24, 25].

RadLex® Playbook, Kuzey Amerika Radyoloji Derneği (*Radiological Society of North America*, RSNA) tarafından başlatılmış, radyolojik tetkiklerini modalite, vücut bölgesi gibi belirli özelliklere göre standart bir adlandırma sistemi sağlamayı amaçlayan bir projedir. Bu sistem, radyolojik tetkiklerin isimlendirmesini standartlaştırarak terminoloji karışıklığını gidermeyi hedefler. Mantıksal Gözlem Tanımlayıcıları İsimleri ve Kodları (*Logical Observation Identifiers Names and Codes*, LOINC), sağlık verilerini standardize etmek için kullanılan küresel bir kodlama sistemidir. Özellikle laboratuvar testleri, klinik ölçümler ve gözlemler için veri alışverişini kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. LOINC, farklı sağlık sistemleri arasında

veri uyumluluğunu sağlayarak, sağlık hizmetlerinde etkin bir iletişim ve veri paylaşımı sağlar. *RadLex® Playbook*, LOINC ile entegre edilmiş ve bu entegrasyon sonucunda LOINC-RSNA Radyoloji Playbook oluşturulmuştur (Resim 7). Bu yapı, radyoloji bölümüne özgü terminolojilerin LOINC standartlarıyla uyumlu hale getirilmesini sağlamıştır. Kurumların, radyolojik tetkiklerin adlarını *RadLex® Playbook* ile eşleştirmeleri ve bu sayede kurumlar arası radyasyon doz karşılaştırmalarını kolaylaştırmaları temel hedefler arasındadır. Başarıya ulaşmak için tüm kurumlarda ortak uygulama şart olduğundan büyük bir ilerleme kaydedilmiş olmasına rağmen uygulama henüz istenen seviyede değildir [25].

Büyük bir ölçekte tıbbi radyasyon doz maruziyetini takip etmek ve nüfus dozu hesaplamaları yapabilmek için çeşitli sınıflandırma ve kodlama sistemleri geliştirilmiştir. EC, ülkeler arasında yapılan radyolojik inceleme dozlarının karşılaştırılabilir olmasını sağlayarak, hasta radyasyon doz maruziyetinin geniş ölçekte takibi amacıyla yönergeler geliştirmiştir. Bu sınıflandırmalar dört ana modaliteye göre düzenlenmiştir: Direkt radyografi, floroskopi, BT ve girişimsel işlemler. Ayrıca, vücut bölgelerine ve sistemlere göre de sınıflandırmalar yapılmaktadır. EC, nüfus dozu tahmini için üç yöntem önermiştir. Bunlardan ilki 225 klinik endikasyon temelli

RPID	Letter Code	Short Description	Long Description
RPID7	CTHDC	CT Head Angio w/wo	CT Head Angio w and wo IV Contrast
RPID22	CTHCU	CT Head wo	CT Head wo IV Contrast
RPID23	CTHDC	CT Head w/wo	CT Head w and wo IV Contrast
RPID24	CTHDE	CT Head w	CT Head w IV Contrast
RPID34	CTMFU	CT Maxillofacial wo	CT Maxillofacial wo IV Contrast
RPID35	CTMFC	CT Maxillofacial w/wo	CT Maxillofacial w and wo IV Contrast
RPID36	CTMFE	CT Maxillofacial w	CT Maxillofacial w IV Contrast
RPID40	CTORU	CT Orbits wo	CT Orbits wo IV Contrast
RPID41	CTTMU	CT Temporal Bone wo	CT Temporal Bone wo IV Contrast
RPID42	CTORC	CT Orbits w/wo	CT Orbits w and wo IV Contrast
RPID43	CTTMC	CT Temporal Bone w/wo	CT Temporal Bone w and wo IV Contrast
RPID44	CTORE	CT Orbits w	CT Orbits w IV Contrast
RPID45	CTTME	CT Temporal Bone w	CT Temporal Bone w IV Contrast
RPID62	CTSIU	CT Sinuses wo	CT Sinuses wo IV Contrast
RPID63	CTSIE	CT Sinuses w	CT Sinuses w IV Contrast
RPID79	CTTE	CT Teeth	CT Teeth
RPID84	CTSTC	CT Sella w/wo	CT Sella Turcica w and wo IV Contrast
RPID96	CTHDEPF	CT Head Perfusion	CT Head w IV Contrast Perfusion
RPID98	CTSIC	CT Sinuses w/wo	CT Sinuses w and wo IV Contrast
RPID105	CTSTE	CT Sella w	CT Sella Turcica w IV Contrast
RPID106	CTSTU	CT Sella wo	CT Sella Turcica wo IV Contrast
RPID218	CTHDPFX	CT Head Perfusion Xenon w/wo	CT Head Perfusion Xenon w and wo IV Contrast
RPID373	CTHDEA	CT Head Angio w	CT Head Angio w IV Contrast
RPID1169	CTTMURD	CT Temporal Bone wo by Recon	CT Temporal Bone wo IV Contrast by Reconstruction
RPID6006	CTTMERD	CT Temporal Bone w by Recon	CT Temporal Bone w IV Contrast by Reconstruction

Resim 7. RadLex® Playbook [25]. Bu örnekte baş bölgesine ait BT tetkiklerin standart isimleri ve kodları sıralanmıştır. BT, bilgisayarlı tomografi.

spesifik tetkiklerin ayrıntılı sınıflandırılmasını sağlar. Bir diğeri, popülasyon düzeyindeki maruziyetin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılan 72 daha geniş tetkik kategorisidir. Sonuncusu TOP20 olarak isimlendirilir ve nüfus dozu açısından en önemli kabul edilen 20 inceleme türünü içerir. Ancak bu yöntem, tüm incelemeleri kapsamaması nedeniyle daha kaba bir tahmin sunar [24]. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR), 1958'den beri küresel doz tahminlerini düzenli raporlar ile yayınlamaktadır. UNSCEAR nüfus dozu tahmini amacıyla tıbbi uygulamaları dört ana kategoriye ayırmıştır: tanısal radyoloji, girişimsel radyoloji, nükleer tıp ve radyoterapi uygulamaları. Tanısal radyoloji kategorisi, projeksiyon radyografisi (kontrastsız), radyografi ve floroskopi (çoğunlukla kontrastlı) ve BT olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. Bu kategoriler, alt gruplara bölünerek daha ayrıntılı hale getirilmiştir. Toplamda 62 alt grup tanımlanmış olup, EC'nin 72 kategorili sınıflandırması ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [1, 24].

Türkiye'de sağlık verilerinin standart biçimde toplanması, iletilmesi ve analiz edilmesi amacıyla geliştirilen Ulusal Sağlık Veri Sözlüğü (USVS), Sağlık Bakanlığı tarafından 2007'de başlatılmıştır. Hastane bilgi sistemlerinin dayanak aldığı bu sözlük, verilerin doğruluğunu sağlarken hataları azaltır. RadLex® Playbook kadar ayrıntılı olmasa da sağlık hizmetlerinde ortak bir dil oluşturma konusunda önemli bir adım olan USVS, terimlerin ve tanımların standardizasyonuna katkıda bulunarak sağlık bilişimini destekler [26].

Radyasyon Doz Analizi

Elde edilen radyasyon doz maruziyeti verileri, kaydedilip ve toplandıktan sonra birçok amaç için analiz edilebilir. Bu analizler faturalandırma, bilimsel araştırmalar gibi birçok hedeflere yönelik gerçekleştirilebilse de bu bölümde temel hedeflere odaklanılacaktır: Tıbbi görüntüleme doz optimizasyonu ve tutarlılığın sağlanması, bireysel düzeyde güvenli görüntülemenin sağlanması ve toplumsal doz analizleri tartışılacaktır.

Tıbbi Görüntülemede Doz Optimizasyonu ve Tutarlılığın Sağlanması

Tanısal referans düzeyleri hastaların maruz kaldığı radyasyon dozunu optimize etmek amacıyla belirlenen kılavuz değerlerdir. **DRL'ler, klinik endikasyonlara ve hasta özelliklerine göre belirlenen bir hasta grubunun doz verilerinin medyan değerlerin dağılımının %75'lik dilimine (üçüncü çeyrek) göre belirlenir.** Tipik değerler ise bir merkezdeki radyasyon doz dağılımının medyan değerleri olarak kabul edilir. Tipik değerler DRL'ler ile karşılaştırılarak radyolojik görüntülemelerde kullanılan radyasyonun yüksek olup olmadığı, standartlara uygunluğu değerlendirilir. DRL'ler aşıldığında, gecikmeden, uygun araştırmalar başlatılmalı, olası nedenler belirlenmeli

ve düzeltici önlemler alınmalıdır. Bu değerlerin doğru şekilde kaydedilmesi ve sürekli olarak güncellenmesi gerekmektedir. Bu sürecin uygun şekilde yürütülmesi durumunda DRL'ler ve tipik değerler, radyasyon doz optimizasyonunda önemli katkılar sağlar. DTS'ler, hem DRL'lerin düzenli olarak gözden geçirilmesini hem de tipik değerlerin daha sık aralıklarla karşılaştırılmasını kolaylaştırabilir [18].

İdeal bir yaklaşım olmasa da doz sınır aralığının kullanılması, doz optimizasyonunda ve tutarlılığın sağlanmasında pratik bir çözüm sunabilir. Her bir tetkik için hastalar boyutlarına göre dörde ayrılarak hasta dozunun minimum ve maksimum hedef seviyeleri %5 ve %95'lik dilim verilerine göre belirlenir. Doz sınır aralığı tetkik ve hasta boyutuna özgü doz sınır aralığı olarak tanımlanır ve bu değerler pratikte radyoloji teknisyenleri tarafından, incelemeler arasındaki tutarlılığı artırabilmek amacıyla kullanılabilir [4].

Doz değişkenliği, %25-75 aralığındaki yayılma ile karakterize edilir; dar bir yayılma, operasyonların tutarlılığını ve kaliteyi gösterir. Örneğin iki farklı görüntüleme sistemi aynı %75 dilim doz değerlerine sahip olsa bile, daha az doz değişkenliği sunan sistem üstün kabul edilir. Çeyrekler arası aralık (*interquartile range*, IQR) 3. çeyrek-1. çeyrek formülü ile elde edilir ve verilerin dağılımını ölçen bir göstergedir. BT cihazlar arası değişkenlik (IQR/medyan cinsinden) ise, belirli bir tetkik için klinik uygulamanın standardizasyonunu gösteren bir göstergedir. Bu değişkenliğin fazla olması bu tetkiklerin standardize edilmesi gerektiğini göstermektedir (Resim 8) [25, 27]. Radyasyon dozlarında izlenen farklılıklar; görüntüleme parametreleri, hasta pozisyonu, görüntüleme cihazının özellikleri ve hastaya ait özellikler gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Bu parametrelerin takibi, doz maruziyetinin belirli aralıklarda olup olmadığını kontrol etmeye ve hasta güvenliğini artırmaya yardımcı olabilir. Aynı zamanda, hasta boyutuna ve cihaz türüne göre görüntü gürültüsü de analiz edilerek, sistemler arasındaki performans tutarlılığı da değerlendirilebilir. Tutarlılığın zaman içerisinde gerçekleştirilen analizleri doz eğilimlerini ortaya koyarak klinik operasyonların optimize edilmesine katkıda bulunabilir. Örneğin protokol değişikliklerinin etkileri ve yeni ekipmanların doz üzerindeki etkisi gibi faktörler de bu analizler yoluyla değerlendirilebilir [4, 28].

Bireysel Düzeyde Güvenli Görüntülemenin Sağlanması

Bireysel hasta düzeyinde radyasyon maruziyeti izlemenin temel amacı, her hastada güvenli ve yüksek kaliteli görüntüleme sağlamaktır. Uyarı ve tetik seviyeleri, radyasyon maruziyeti kontrolünde kullanılan sınır değerlerdir. Uyarı seviyesi, bir hastanın radyasyon doz maruziyetinin belirlenen güvenli sınırı aştığı durumlarda bir uyarı vererek teknisyenleri ya da hekimleri bilgilendirir (Resim 9). Tetik seviyesi ise, bir hastanın aldığı dozun çok yüksek olduğunu ve ayrıntılı bir inceleme veya önlem

	25th percentile		50th percentile		75th percentile(DRL)		IQR/median	
	CTDIvol	DLP	CTDIvol	DLP	CTDIvol	DLP	CTDIvol	DLP
Head	33,7	673,3	38,1	752,2	41,2	839	0,20	0,22
Cervical Spine	10,7	250,8	16,2	379,4	19,8	530,6	0,56	0,74
Neck	7,9	236,3	9,3	287,7	15,5	431,9	0,82	0,68
Chest	4,3	160,3	6	230,6	9,3	364,8	0,83	0,89
Abdomen	6,5	319,5	8,1	426,7	11,2	588,9	0,58	0,63
Lumbar Spine	14,7	384,7	19,6	536,6	24,3	713	0,49	0,61
HRCT	6,1	204,2	7,5	256,4	9,5	326	0,45	0,48
Coronary CTA	11,9	190,1	26,1	405,8	33,4	642,3	0,82	1,11

Resim 8. Bir DRL çalışmasında elde edilen IQR/median değerleri [27]. Bu örnekte IQR/median değerleri yüksek olan boyun BT, toraks BT ve koroner BT anjiyografi tetkiklerinde standardizasyon ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

DRL, tanısal referans düzeyleri; CTDI_{vol}, bilgisayarlı tomografi doz indeksi; IQR, çeyrekler arası aralık; BT, bilgisayarlı tomografi, DLP, doz-uzunluk çarpımı.



Resim 9. DTS'ye ait kontrol panelini. Belirli süre zarfındaki gerçekleştirilen tetkiklerin 2 tanesinin ulusal doz referans değerlerini aştığı görülüyor.

DTS, doz takip sistemleri.

alınması gerektiğini gösterir. Bu seviyeler, özellikle floroskopik incelemelerde cilt hasarı gibi radyasyonun deterministik zararlarını önlemek için kullanılır. Özetle, uyarı seviyesi “dikkat et”, tetik seviyesi “harekete geç” anlamına gelir. Uyarı ve tetik seviyeleri, doku hasarını önlemek amacıyla kullanılır [29, 30]. Ancak daha düşük doz seviyeleri gibi sıra dışı durumlar da takip edilmelidir. Sıra dışı durumları belirlerken belirli bir modalitede normalden sapmış doz değerlerine odaklanılır. Her bir tetkik ve hasta boyutuna göre kabul edilebilir aralık %5 ve %95 dilimleri arasındadır [4].

Bireysel radyasyon doz maruziyetinin takibi, özellikle tekrarlayan görüntülemelerde özellikle önem arz eder. Kümülatif doz takibi, uzun süreli veya tekrarlayan maruziyetlerin etkilerini yönetmek açısından kritik olup, özellikle prematüre bebekler ve kronik hastalığı olan hastalarda daha da önemlidir. Kümülatif doz bilgisi, radyasyonun etkilerini en aza indiren kararlar alınmasını sağlayarak gerekçelendirme sürecine katkı sağlar. Özel hasta grupları, örneğin hamile kadınlar ve çocuklar, radyasyon maruziyetine karşı daha hassastır ve özel dikkat gerektirir. Hamilelik durumunda, uterus veya fetus dozları dikkatle izlenmeli ve yüksek doz prosedürlerde tıbbi fizik uzmanlarına danışılmalıdır. Pediyatrik hastalarda, yaş ve boyut dikkate alınarak doz seviyeleri optimize edilmelidir. İstenmeyen ve kazara radyasyon maruziyetleri, yanlış hasta, yanlış bölge ya da yinelenen incelemeler gibi durumları içerir. Bu tür hatalar, DTS'ler sayesinde tespit edilip raporlanarak gerekli düzeltici önlemler alınabilir [31].

Toplumsal Doz Analizleri

Radyasyon doz maruziyetinin takibi, ulusal ve küresel düzeyde de kolektif nüfus dozunun tahmin edilmesini kolaylaştırır. Nüfus dozu tahminleri ile radyolojik incelemelerden elde edilen verilere dayanarak kişi başına düşen doz ve toplam nüfus dozu hesaplanabilir. Bu doz tahminleri, zaman içerisindeki radyasyon doz maruziyet eğilimlerini tespit etmek, ülkeler arası karşılaştırmalar yapmak ve radyasyondan korunmada öncelikleri belirlemek açısından kritik öneme sahiptir [1].

Radyasyon Maruziyet Takibi Organizasyonu

Radyasyon doz takibinde en iyi uygulamaların hayata geçirilmesi ve bu uygulamaların sürdürülebilir olması büyük önem taşır. Kaynakların kısıtlı olduğu ülkelerde başlangıçta

kısmi çözümler kabul edilebilir ancak uzun dönemde hedef, uluslararası standartlara ulaşmak olmalıdır. Farklı ülkelerdeki görüntüleme altyapısı ve mevcut kaynakların çeşitliliği göz önüne alındığında, radyasyon maruziyet takibi için ortak bir minimum eylem planı oluşturmak gerekir. Sınırlı kaynaklara sahip merkezlerde öncelikle popülasyona en fazla doz maruziyetine sebep veren en sık uygulanan tetkikler sisteme dahil edilmeli ve en kısa sürede imkan dahilinde bir doz takip organizasyonu geliştirilmelidir.

Hasta radyasyon maruziyet takibi her merkezde etkin şekilde organize olmuş bir ekip çalışması ile yürütülebilir. Oluşturulan ekip içerisinde çeşitli uzmanlık alanlarından profesyoneller (başhekim, radyolog, radyoloji teknisyeni, tıbbi fizikçi, PACS/bilgi teknolojisi görevlisi, klinisyenler, biyoistatistikçi gibi) üyeler yer almalıdır. Her bir üyenin görevleri net bir şekilde tanımlanmalı ve süreç boyunca etkin katılımları sağlanmalıdır. Çok merkezli ve ulusal doz takipleri ise ulusal radyasyondan korunma otoriteleri, sağlık bakanlığı ve bilgi teknoloji sağlayıcıları gibi paydaşların iş birliğiyle yürütülmelidir. Eğitim ve iletişim, doz takip ve optimizasyon sürecini önemli ölçüde destekleyen kritik faktörlerdir. Doz optimizasyon sürecine katkıda bulunan tüm çalışanların özellikle hasta doz bilgilerini doğru şekilde anlaması ve bu bilgileri doz optimizasyonunda kullanabilmesi için eğitimler düzenlenmelidir [4].

Doz Takip Sistemleri

Doz takip sistemleri, tıbbi görüntülemede hastaların maruz kaldığı radyasyon dozunun takibini, doz optimizasyonunu, aynı zamanda kalite yönetimi ve güvencesini sağlamak amacıyla yaklaşık son on yıldır radyoloji departmanlarında kullanılan yazılım tabanlı sistemlerdir [4, 20, 32, 33]. **Bu sistemler, temel olarak tüm radyolojik incelemeleri takip etmek, özellikle hastaların demografik özellikleri ile maruz kaldıkları radyasyon dozu gibi önemli verileri sistematik bir şekilde kaydetmek, toplamak ve bu verilerin istatistiksel analizlerini yapmak için kullanılmaktadır.** Radyasyon doz optimizasyon sürecinin temel hedeflerinden biri, görüntü kalitesinden ve tanısıl doğruluktan ödün vermeden mümkün olan en düşük radyasyon dozunu kullanmaktır. DTS, bu hedefe ulaşmada kritik bir araç olarak kabul edilmektedir ve birçok çalışmada bu sistemlerin doz optimizasyon sürecine olan katkıları vurgulanmıştır [27, 34]. DTS hastaların radyasyon maruziyetini takip etme sürecini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır ancak bu sistemler dünya genelinde sınırlı sayıda merkezde kullanılmakta olup uygulamada önemli farklılıklar gözlemlenmektedir. Bu nedenle, hasta doz veri toplama ve analiz süreçlerinin iyileştirilmesi için kapsamlı kılavuzlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu belirsizliklerin sebep olduğu sorunlara bazı kuruluşların çözüm çabaları mevcuttur. Bu kapsamda ESR tarafından “EuroSafe Imaging” kampanyası başlatılmıştır. Bu kampanyanın temel amacı radyasyondan

korunma standartlarının uygulanmasında öneriler sunmaktır [35]. Bu amacı yerine getirmek için oluşturulan çalışma grubunun hedefleri arasında yerel, ulusal ve Avrupa düzeyinde DRS'lerin belirlenmesi için DTS kullanımının teşvik edilmesidir. Bu çalışma grubu, DTS'nin sağlık profesyonelleri için radyasyondan korumada, yeterli görüntü kalitesinde minimum doz seviyesi gibi hedeflere ulaşmada oldukça yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Optimizasyon süreci için zorunlu olmamasına rağmen radyasyon içeren görüntüleme yöntemlerinde DTS kullanımı önerilmektedir [4, 20]. IAEA ise klinik uygulamalarda doz takibi ve DTS'nin kullanımına ilişkin tavsiyeler içeren ayrıntılı bir kılavuz yayınlamıştır. Bu kılavuzlar, DTS kavramını, güncel DTS teknolojilerini, DTS'nin entegrasyonu ve kullanımını, teknik özelliklerini ve bu sistemler için temel gereksinimleri detaylı bir şekilde sunarak hasta güvenliğini artırmayı ve radyasyon doz yönetimini iyileştirmeyi amaçlamaktadır [4, 20].

Doz Takip Sistemleri Temel Bileşenleri

Doz takip sistemleri radyolojik görüntülemeler esnasında hastalara uygulanan radyasyon dozlarının gerçek zamanlı olarak takibini ve analizini sağlamak amacıyla bir arada uyum içerisinde çalışan birbiriyle bağlantılı bileşenlerden oluşur. DTS temel bileşenleri arasında, veri toplama modülleri, veri depolama ve yönetim birimi, analiz ve raporlama araçları bulunmaktadır.

- Veri toplama modülleri, BT, dijital radyografi, mamografi ve girişimsel radyoloji dahil olmak üzere iyonlaştırıcı radyasyon içeren görüntüleme cihazlarından doz verilerini toplar ve her bir modaliteye özgü doz verilerini sunar.
- Veri depolama ve yönetim birimi toplanan doz verilerini, merkezi bir veri tabanında güvenli bir şekilde saklar ve kolayca erişilebilir hale getirir. Veri depolamada, radyasyon dozu hakkında ayrıntılı bilgileri içeren standartlaştırılmış bir rapor olan RDSR, görüntülerden bağımsız olarak depolanabildiğinden kullanımı tavsiye edilmektedir.
- Analiz ve raporlama araçları, doz verilerini analiz ederek kullanıcılara anlamlı raporlar sunar ve böylece hastaların maruz kaldığı radyasyon dozları takip edilip optimize edilebilir.
- Doz takip sistemlerinin diğer sağlık sistemleriyle, özellikle de HIS ve RIS ile entegre olması etkinliğini önemli ölçüde artırır. Bu entegrasyon ile hasta kayıtlarının doğru doz bilgileriyle gerçek zamanlı olarak eşlenip güncellenme sağlanır. Ayrıca hastaların demografik bilgileri ve inceleme bilgilerinin otomatik olarak doldurulması sağlanarak manuel veri girişine olan ihtiyaç ve hata riski en aza iner [4, 35, 36].

Doz Takip Sistemleri Kullanım Alanları ve Faydaları

Doz takip sistemlerinin yalnızca hasta güvenliği açısından değil, aynı zamanda yasal uyumluluk ve iş verimliliğini artırma açısından da birçok kullanım alanı ve faydası bulunmaktadır.

- Doz takip sistemleri, radyasyon doz takibi sürecini önemli ölçüde hızlandırarak hasta güvenliğini artırır ve radyasyon riskini minimize eder. Yerel, bölgesel ve ulusal DRL'lerin ve merkezlere ait tipik değerlerin doğru ve hızlı şekilde belirlenmesini, birbiri ile karşılaştırılmasını sağlar. Böylece radyolojik görüntülemeler sürekli olarak iyileştirebilir ve tanısal görüntü kalitesinden ödün vermeden hastaların mümkün olan en düşük radyasyon dozunu almasını sağlanabilir.
- Günümüzde Türkiye, Avrupa Birliği üye devletleri ve birçok ülke, iyonlaştırıcı radyasyon zararlarına karşı temel güvenlik standartlarını kendi ulusal hukuk kurallarına göre oluşturmak zorundadır [19]. DTS'ler radyasyon güvenliği ile ilgili yerel, ulusal ve uluslararası hukuki düzenlemelere uyumu sağlamada önemli katkılar sunan araçlardır. Örneğin, Avrupa Direktifi 2013/59/Euratom, hasta radyasyon dozlarının takip edilmesini, doz optimizasyonunu ve radyolojik görüntülemelerin gerçekleştirilmesini zorunlu kılmıştır. DTS bu süreci hızlandırıp gerçekleştirilen incelemeler ile ilgili gerekli belgeleri sağlar.
- Doz takip sistemleri kullanımı radyoloji çalışanlarının manuel veri girişi ve raporlama yapmalarına gerek kalmadan doz verilerinin takibini otomatikleştirerek iş yükünü önemli ölçüde hafifletir. Böylece iş verimliliğinin artması sağlanır. Ayrıca, DTS'nin sağladığı gerçek zamanlı analiz, görüntüleme protokollerindeki potansiyel sorunların daha hızlı bir şekilde tespit edilmesini ve çözülmesini sağlar. Bu sayede, cihazların ve protokollerin doğru uygulandığından emin olunur. DTS, tarama uzunluğu gibi bilgiler sağlayarak radyoloji personelinin radyasyon doz yönetimi ve optimizasyonu konularında eğitilmesi ve farkındalıklarının artırılması için de kullanılabilir.
- Doz takip sistemleri, geniş veri tabanları oluşturarak, radyasyon doz maruziyetine ilişkin araştırmalar yapılmasını ve bu konuda bilimsel çalışmaların yürütülmesini ve optimizasyon stratejilerinin geliştirilmesini sağlar [18, 20, 32, 36].

Doz Takip Sistemleri Uygulanmasındaki Zorluklar, Olası Sorun ve Çözümler

Doz takip sistemleri'nin faydaları yanı sıra uygulanması bakımından bazı zorluklar da söz konusudur. Her kurum DTS kurulumu öncesinde çeşitli faktörleri dikkatle değerlendirmelidir [36].

- Doz takip sistemleri kurulumunun en büyük engellerinden biri maliyettir. Özellikle düşük sayıda görüntüleme gerçekleştiren daha küçük sağlık merkezleri bu maliyeti gerçekleştirmekte zorlanabilir. Sadece temel doz takip özelliklerine sahip DTS'ler tercih edilerek maliyet düşürülebilir. Devlet destekleri veya teşvik programları sağlanarak küçük merkezlerin DTS kurulum maliyetleri karşılanabilir.
- Özellikle eski tip cihazların yer aldığı merkezlerde, DTS ile uyumlu yazılımlar ve cihazlar bulunmayabilir. Örneğin, eski bir BT cihazı doz verilerini kaydetmez ya da verilerin elle girilmesi gerekebilir. Bu gibi durumlarda, manuel doz girişi için bir sistem kurulması ya da cihazların yenilenmesi gerekebilir. Geçici olarak, uygun veri entegrasyonuna izin verecek yazılım çözümleri de değerlendirilebilir.
- Farklı firmalara ait cihazlar veya yazılımlarının entegrasyon süreci zor olabilir. Örneğin, DTS'nin bazı cihazlardan veri çekememesi veya güncel verileri yorumlayamaması gibi durumlar yaşanabilir. Farklı cihazların aynı platformda çalışmasını sağlayacak entegre çözümler üretilebilir, DTS ve cihaz üreticileri ile iş birliği yapılarak gerekli yazılım güncellemeleri yapılabilir.
- Doz takip sistemlerinin devreye girdiği ilk dönemlerde personelin bu sistemleri nasıl kullanacağı hakkında bilgi sahibi olmaması, yanlış doz verisi girişi veya yanlış yorumlama gibi sorunlara yol açabilir. DTS'lerin etkin ve doğru şekilde kullanılabilmesi için, personelin sistemin kullanımı konusunda uygun şekilde eğitilmesi gerekmektedir. Sadece başlangıç eğitimi değil, aynı zamanda sistemdeki yeni özellikler ve güncellemeleri de içerecek şekilde sürekli eğitim anlayışı benimsenmelidir.
- Bir DTS'nin etkinliği, topladığı verilerin doğruluğu ve eksiksizliğine bağlıdır. Bu riski azaltmak için, sağlık merkezleri kalite kontrol prosedürleri oluşturmalıdır. Tüm cihazların/sistemlerin DTS ile bağlantısının kurulması ve sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Veri akışının kesilmesi, yanlış verilerin kaydedilmesi gibi durumlarda, aktarılan verilerin doğruluğundan emin olmak için kalite kontrol uygulamaları gerçekleştirilmeli, DTS'nin tüm görüntüleme cihazlarından doğru veri toplayacak şekilde yapılandırıldığından emin olunmalıdır. Eski sistemlerde doz bilgileri ekran görüntüsü gibi formatlarda elde ediliyor olabilir. Bu doz verilerinin doğru bir şekilde veri tabanına aktarılabilmesi için DTS'nin OCR gibi teknolojilere sahip olduğundan emin olunmalıdır.
- Hasta verilerinin kaydedildiği DTS sistemlerinin yeterli güvenlik önlemlerine sahip olmaması, hasta gizliliğini riske atabilir. Özellikle bulut tabanlı sistemler, siber saldırılara

karşı savunmasız olabilir. Güvenlik protokolleri sağlanarak hasta verilerinin güvenliği artırılmalıdır. Verilere erişimi sadece yetkili kişilerin sağlayabilmesi için güçlü şifreleme teknikleri kullanılmalıdır. Doz verilerine ve analizlerine her kullanıcı grubunun erişim ihtiyaçları farklı olduğundan erişim bu ihtiyaçlara göre özelleştirilmelidir.

Doz Takip Sistemlerinin Temel Özellikleri ve Seçim Kriterleri

Günümüzde birçok firmaya ait çeşitli DTS bulunmaktadır. Her bir DTS, hasta radyasyon doz parametrelerinin yanı sıra kullanıcılara farklı veri setleri sunabilmektedir. DTS'nin sahip olması gereken birçok temel özellik bulunmaktadır. Doz verilerini otomatik olarak saptayarak transfer edebilmeli ve toplayabilmeli, yapılandırılmış doz raporu ve doz takibi dokümantasyonu sağlayabilmeli, dozların yerel, bölgesel ya da ulusal doz referanslarıyla karşılaştırarak durumunu kontrol edebilmeli, referans seviyelerin aşıldığı durumlarda uyarı sistemi ile bildirim sağlayabilmeli, istenmeyen radyasyon maruziyetlerinin tespitini yapıp raporlayabilmelidir [4, 18, 20]. DTS'de bulunması gereken temel özelliklerin yanında yararlı olabilecek bazı özelliklerde bulunmaktadır. Örneğin, her doz verisinin hangi görüntüden elde edildiğini bulmak için bir bağlantı sağlanabilir, radyoloji teknisyenleri çekim öncesinde sisteme manuel olarak girdiği hastalara ait boy ve kilo bilgileri hastane bilgi sisteminden otomatik olarak DTS'ye aktarılabilir [32].

Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun DTS'ler üzerine yaptığı bir çalışmada toplam 11 DTS geliştiricilerinden veri toplanmış ve 302 soruluk anket kullanılarak sertifikasyon durumları, veri aktarım yöntemleri, modalite ve doz metrik destekleri, istatistiksel analiz yetenekleri, özelleştirme imkanları ve kurulum süreçleri gibi başlıklarda özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışmada farklı DTS geliştiricileri arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir. **DTS geliştiricilerinin çoğunluğu, sistemlerini kullanıcının çeşitli ihtiyaçlarına uyarlamak için geniş bir işlevsellik yelpazesi sunsa da her bir geliştiricinin sunduğu destek kapsamı ve özelleştirme seçenekleri büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. IAEA, kullanıcıların ihtiyaçlarına ve finansal kaynaklarına en uygun DTS'yi seçebilmeleri için kapsamlı bir değerlendirme yapmalarını önermektedir. DTS seçimi yaparken, sağlanacak ek özelliklerin getireceği maliyet ve kurulum için gerekli teknik altyapının mevcut olup olmadığı gibi faktörler dikkate alınmalıdır [32].** Günümüzde başlıca DTS üreticileri arasında Bayer, General Electric Health Care-GE Medical Systems, Hospital Clinico San Carlos, INFINITT Europe, Medsquare, Open REM, PACS Health LLC, PixelMed Publishing LLC, Qaelum NV, Region Västerbotte ve Siemens Healthineers bulunmaktadır. Sağlık merkezlerinin ihtiyaçlarına göre kendi DTS yazılımlarını üretme seçeneği de ayrıca değerlendirilmelidir.

Doz Takip Sistemlerinde Yapay Zeka

Son yıllarda, DTS'lerde yapay zeka teknolojilerinin kullanılmasıyla birlikte hasta dozları üzerindeki kontrol daha hassas hale gelmiş, otomasyon ve optimizasyon olanakları artmıştır. Her hasta için görüntü kalitesinden ödün vermeden en düşük, uygun radyasyon dozunun belirlenmesi karmaşık bir süreçtir ve teknisyen tarafından her hasta için ayrı ayrı yönetilmesi hem zaman alıcı hem de hata payı yüksek bir işlem olabilir. Bu noktada yapay zeka algoritmalarının, hastanın demografik verileriyle birlikte klinik endikasyonlara göre optimum doz miktarını ayarlama ve gereksiz radyasyon maruziyetini en aza indirme potansiyeli vardır. Yapay zeka hem çok düşük hem de çok yüksek doz maruziyetlerini tespit edebilir ve kullanıcıları anlık olarak uyarabilir. Önceki doz verileri ile eğitilen yapay zeka doz uygulamaları arasındaki farkları öğrenebilir, potansiyel risk taşıyan doz parametrelerini belirleyerek kullanıcıları uyarabilir. Yapay zeka, doz verilerini belirlenen amaçlara göre analiz ederek ayrıntılı raporlar oluşturabilir, dozların zaman içerisindeki eğilimini tespit edebilir ve optimizasyon ile ilgili öncelikli olarak yapılması gerekenler ile ilgili önerilerde bulunabilir [37, 38].

Referanslar

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Effects and Risks of Ionizing Radiation, 2020/2021 Report, Volume 1. *United Nations*. 2022. [Crossref]
2. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. *International Atomic Energy Agency*. 2014. [Crossref]
3. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP*. 2007; 37: 1-332. [Crossref]
4. Uniyal S. Patient radiation exposure monitoring in medical imaging (IAEA Safety Report Series No. 112). *J Med Phys*. 2024; 49: 316-7. [Crossref]
5. Järvinen H, Vassileva J, Samei E, Wallace A, Vano E, Rehani M. Patient dose monitoring and the use of diagnostic reference levels for the optimization of protection in medical imaging: current status and challenges worldwide. *J Med Imaging (Bellingham)*. 2017; 4: 31214. [Crossref]
6. Brambilla M, Vassileva J, Kuchcinska A, Rehani MM. Multinational data on cumulative radiation exposure of patients from recurrent radiological procedures: call for action. *Eur Radiol*. 2020; 30: 2493-501. [Crossref]
7. Ataç GK, Parmaksız A, Inal T, et al. Patient doses from CT examinations in Turkey. *Diagn Interv Radiol*. 2015; 21: 428-34. [Crossref]
8. International Atomic Energy Agency (IAEA). Diagnostic radiology physics: a handbook for teachers and students. *International Atomic Energy Agency*. 2014. [Crossref]
9. International Atomic Energy Agency (IAEA). Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice. *International Atomic Energy Agency*. 2007. [Crossref]
10. Patient Dosimetry for X Rays Used in Medical Imaging. *J ICRU*. 2005; 5. [Crossref]
11. Brink JA, Morin RL. Size-specific dose estimation for CT: how should it be used and what does it mean? *Radiology*. 2012; 265: 666-8. [Crossref]

12. Fu W, Ria F, Segars WP, Choudhury KR, Wilson JM, Kapadia AJ, et al. Patient-informed organ dose estimation in clinical CT: implementation and effective dose assessment in 1048 clinical patients. *AJR Am J Roentgenol.* 2021; 216: 824-34. [\[Crossref\]](#)
13. Martin CJ, Harrison JD, Rehani MM. Effective dose from radiation exposure in medicine: past, present, and future. *Phys Med.* 2020; 79: 87-92. [\[Crossref\]](#)
14. Li X, Samei E, Segars WP, Sturgeon GM, Colsher JG, Frush DP. Patient-specific radiation dose and cancer risk for pediatric chest CT. *Radiology.* 2011; 259: 862-74. [\[Crossref\]](#)
15. Lacy T, Ding A, Minkemeyer V, Frush D, Samei E. Patient-based performance assessment for pediatric abdominal CT: an automated monitoring system based on lesion detectability and radiation dose. *Acad Radiol.* 2021; 28: 217-24. [\[Crossref\]](#)
16. Precht H, Hansson J, Outzen C, Hogg P, Tingberg A. Radiographers' perspectives' on visual grading analysis as a scientific method to evaluate image quality. *Radiography (Lond).* 2019; 25 Suppl 1: 14-8. [\[Crossref\]](#)
17. Samei E, Järvinen H, Kortensniemi M, Simantirakis G, Goh C, Wallace A, et al. Medical imaging dose optimisation from ground up: expert opinion of an international summit. *J Radiol Prot.* 2018; 38: 967-89. [\[Crossref\]](#)
18. Vañó E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M, et al. ICRP publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP.* 2017; 46: 1-144. [\[Crossref\]](#)
19. Damilakis J, Frija G, Brkljacic B, Vano E, Loose R, Paulo G, et al. How to establish and use local diagnostic reference levels: an ESR EuroSafe Imaging expert statement. *Insights Imaging.* 2023; 14: 27. [\[Crossref\]](#)
20. Loose RW, Vano E, Mildenerberger P, Tsapaki V, Caramella D, Sjöberg J, et al. Radiation dose management systems-requirements and recommendations for users from the ESR EuroSafe Imaging initiative. *Eur Radiol.* 2021; 31: 2106-14. [\[Crossref\]](#)
21. Bakanlık TCS. Teletip Entegrasyon Kılavuzu (v3.39). [\[Crossref\]](#)
22. Li X, Zhang D, Liu B. Automated extraction of radiation dose information from CT dose report images. *AJR Am J Roentgenol.* 2011; 196: 781-3. [\[Crossref\]](#)
23. Public Health England. Doses from computed tomography (CT) examinations in the UK-2011 review (PHE-CRCE-013). [\[Crossref\]](#)
24. Kommission E, Directorate-General for Mobility and Transport, Directorate-General for Energy. Radiation Protection 154: European guidance on estimating population doses from medical X-ray procedures. *Dictus Publishing;* 2011. [\[Crossref\]](#)
25. (RSNA) RSoNA. *RadLex Playbook.* [\[Crossref\]](#)
26. Bakanlık S. Ulusal Sağlık Veri Sözlüğü (USVS) 2.2. T.C. Sağlık Bakanlığı. Published 2017. Accessed 10.26.2024. [\[Crossref\]](#)
27. Kahraman G, Haberal KM, Ağildere AM. Establishment of local diagnostic reference levels for computed tomography with cloud-based automated dose-tracking software in Türkiye. *Diagn Interv Radiol.* 2024; 30: 205-11. [\[Crossref\]](#)
28. Ria F, Davis JT, Solomon JB, Wilson JM, Smith TB, Frush DP, et al. Expanding the concept of diagnostic reference levels to noise and dose reference levels in CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2019; 213: 889-94. [\[Crossref\]](#)
29. Vano E, Loose R, Frija G, Paulo G, Efstathopoulos E, Granata C, et al. Notifications and alerts in patient dose values for computed tomography and fluoroscopy-guided interventional procedures. *Eur Radiol.* 2022; 32: 5525-31. [\[Crossref\]](#)
30. Faulkner K, Ortiz-Lopez P, Vano E. Patient dosimetry in diagnostic and interventional radiology: a practical approach using trigger levels. *Radiat Prot Dosimetry.* 2005; 117 :166-8. [\[Crossref\]](#)
31. Martin CJ, Vassileva J, Vano E, Mahesh M, Ebdon-Jackson S, Ng KH, et al. Unintended and accidental medical radiation exposures in radiology: guidelines on investigation and prevention. *J Radiol Prot.* 2017; 37: 883-906. [\[Crossref\]](#)
32. Tsalafoutas IA, Arlany L, Titovich E, Pynda Y, Ruggeri R, Sánchez RM, et al. Technical specifications of dose management systems: An international atomic energy agency survey. *J Appl Clin Med Phys.* 2024; 25: 14219. [\[Crossref\]](#)
33. Tsapaki V. Radiation dose optimization in diagnostic and interventional radiology: current issues and future perspectives. *Phys Med.* 2020; 79: 16-21. [\[Crossref\]](#)
34. MacGregor K, Li I, Dowdell T, Gray BG. Identifying institutional diagnostic reference levels for ct with radiation dose index monitoring software. *Radiology.* 2015; 276: 507-17. [\[Crossref\]](#)
35. Frija G, Hoeschen C, Granata C, Vano E, Paulo G, Damilakis J, et al. ESR EuroSafe imaging and its role in promoting radiation protection - 6 years of success. *Insights Imaging.* 2021; 12: 3. [\[Crossref\]](#)
36. Vano E, Fernández JM, Ten JI, Sanchez RM. Benefits and limitations for the use of radiation dose management systems in medical imaging. Practical experience in a university hospital. *Br J Radiol.* 2022; 95: 20211340. [\[Crossref\]](#)
37. Caruso D, De Santis D, Polidori T, Zerunian M, Laghi A. Radiation dose optimization: the role of artificial intelligence. In: De Cecco CN, van Assen M, Leiner T, editors. *Artificial intelligence in cardiothoracic imaging.* Cham: Springer International Publishing; 2022. p. 173-180. [\[Crossref\]](#)
38. Garajová L, Garbe S, Sprinkart AM. [Artificial intelligence in diagnostic radiology for dose management : Advances and perspectives using the example of computed tomography]. *Radiologie (Heidelb).* 2024; 64: 787-92. [\[Crossref\]](#)

1. IAEA tarafından önerilen üç aşamalı radyasyondan koruma planının ilk aşaması nedir?
 - a. Doz optimizasyonu
 - b. DRL'lerin belirlenmesi
 - c. Gerekçelendirme
 - d. Risk analizi
 - e. Görüntüleme parametrelerinin kalibrasyonu
2. Tanısal referans düzeyleri (DRL) nasıl belirlenir?
 - a. Radyolojik cihazların ortalama performans değerleriyle
 - b. Hasta dozlarının %75'lik medyan dilimi ile
 - c. Görüntüleme cihazlarının teknik özellikleriyle
 - d. Görüntüleme süresiyle
 - e. Hasta memnuniyet anketleriyle
3. Boyuta özgü doz metrikleri (SSDE) hangi amaçla kullanılır?
 - a. Farklı cihazlar arasındaki radyasyon dozunu karşılaştırmak
 - b. Görüntü kalitesini artırmak
 - c. Görüntüleme parametrelerini belirlemek
 - d. Hasta boyutuna göre doz tahmini yapmak ve optimize etmek
 - e. Doz verilerini arşivlemek
4. DICOM RDSR'nin (radiation dose structured report) en önemli avantajı nedir?
 - a. Doz bilgilerini görüntülerden bağımsız olarak depolar
 - b. Görüntüleme cihazlarının performansını artırır
 - c. Görüntüleme sürelerini azaltır
 - d. Hasta memnuniyetini artırır
 - e. Görüntüleme cihazlarının bakım maliyetlerini düşürür
5. Klinik risk, hangi durumlarda ortaya çıkar?
 - a. Görüntüleme protokollerinin standardize edilmemesi durumunda
 - b. Görüntüleme sürelerinin uzun olduğu durumlarda
 - c. Görüntüleme cihazlarının bakımının aksadığı durumlarda
 - d. Radyasyon dozlarının düşük olduğu durumlarda
 - e. Görüntü kalitesinin yetersiz olduğu ve tanısal doğruluğun düştüğü durumlarda