

Radyasyon Doz Birimleri, Hasta Işınlanmasına Ait Belirteçler

Radiation Dose Units, Indicators of Patient Irradiation

© Aydın Parmaksız

Türkiye Enerji Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

ÖZ

Bilgisayarlı tomografi (BT), floroskopi, mamografi ve kemik yoğunluğu ölçümü gibi modern tıbbi görüntüleme teknolojisi, hastalıkların erken teşhisi ve tedavi takibi için oldukça önemlidir. Ancak, iyonlaştırıcı radyasyon kullanan bu cihazlar için hasta güvenliği ve radyasyon dozu yönetimi esastır. Gray ve sievert gibi doz birimleri, radyolojide doz belirleme ve maruz kalma göstergeleri olarak kullanılırken; cilt giriş dozu, doz alanı ürünü, kümülatif hava kerma, ortalama glandüler doz, doz uzunluk ürünü ve BT doz indeksi gibi parametreler hasta maruziyetinin kritik göstergeleri olarak hizmet eder. Bu göstergeler, özellikle yüksek radyasyon içeren teşhis teknolojilerinde hasta güvenliğini artırmada ve olumsuz radyobiolojik etkileri azaltmada önemli rol oynar. Bu çalışmada iyonlaştırıcı radyasyon içeren teşhis ve tedavi takiplerinde hasta maruziyetinin tespitinde kullanılan doz birimleri ve tetkiklerde hastanın ışınlanmasının değerlendirmesinde kullanılan ışınlanma parametreleri gözden geçirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Tanısal X-ışınları, radyasyon maruziyeti, tomografi, radyografi, mamografi

ABSTRACT

Modern medical imaging technology such as computed tomography (CT), fluoroscopy, mammography, and bone density measurement are very important for early diagnosis of diseases and treatment follow-up. However, patient safety and radiation dose management are essential for these devices that use ionising radiation. While dose units such as Gray and sievert are used as dose determination and exposure indicators in radiology, parameters such as skin entrance dose, dose area product, cumulative air kerma, mean glandular dose, dose length product, and CT dose index serve as critical indicators of patient exposure. These indicators play an important role in increasing patient safety and reducing adverse radiobiological effects, especially in diagnostic technologies that involve high radiation. In this study, dose units used in determining patient exposure in diagnosis and treatment follow-ups involving ionising radiation and radiation parameters used in evaluating patient irradiation in examinations will be reviewed.

Keywords: Diagnostic X-rays, radiation exposure, tomography, radiography, mammography

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Radyolojide kullanılan radyasyon doz birimlerini ve bu birimlerin klinik uygulamadaki önemini açıklamak
- Radyasyon içeren tıbbi görüntülemelerde doz yönetimi ve optimizasyonun önemini anlatmak
- Hastanın radyasyon içeren tıbbi görüntülemelere ilişkin cihaz bazlı ışınlanma belirteçlerini açıklamak



Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Aydın Parmaksız, Türkiye Enerji Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

E-posta: aydin.parmaksiz@tenmak.gov.tr, aydin.parmaksiz70@gmail.com **ORCID ID:** orcid.org/0000-0003-4000-5175

Geliş Tarihi/Received: 15.11.2024 **Kabul Tarihi/Accepted:** 21.11.2024 **Epub:** 21.02.2025 **Yayınlanma Tarihi/Publication Date:** xxxxxxxx

Cite this article as: Parmaksız A. Radiation dose units, indicators of patient irradiation. *Trd Sem.* 2025;13(1):8-21



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

Modern tıbbi görüntüleme teknolojisi, teşhis süreçlerinin hızını ve doğruluğunu artırarak sağlık hizmetlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bilgisayarlı tomografi (BT), dijital radyografi, manyetik rezonans görüntüleme (MRG), pozitron emisyon tomografisi ve kemik yoğunluğu ölçümü gibi farklı ekipmanların kullanılması hastalıkların erken tanı ve tedavi takibi için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Ancak hasta güvenliği ve maruz kalınan radyasyon dozlarının yönetimi, özellikle iyonlaştırıcı radyasyon kullanan cihazlar için kritik öneme sahiptir. Amerikan Tıp Fizikçileri Birliği ve Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu gibi yetkili kurumlar, doz tespiti için kapsamlı standartlar geliştirmekte ve bu cihazların kullanımı sırasında hasta güvenliğine yönelik standartlar belirlemektedir [1, 2].

Klinik uygulamada, radyasyon maruziyetini azaltmayı ve hasta güvenliğini sağlamayı amaçlayan yerleşik protokollere uyularak dozun tespiti ve maruziyet göstergeleri için çeşitli birimlerin kullanılması esastır. Gray (Gy) ve sievert (Sv) dahil olmak üzere doz birimleri bu amaca hizmet ederken, cilt giriş dozu (*entrance skin dose*, ESD), doz uzunluk ürünü (*dose length product*, DLP) ve BT doz indeksi (*computed tomography dose index*, CTDI_{vol}) gibi parametreleri hasta maruziyetinin kritik belirteçleri olarak işlev görür. Hastanın maruziyeti ile ilişkili kullanılan bu göstergeler, özellikle BT, floroskopi ve mamografi gibi nispeten yüksek radyasyon seviyeleri içeren tanı teknolojilerinde hastanın güvenliğini artırmada ve olumsuz radyobiyojik etkileri azaltmada önemli bir rol oynar.

TIBBİ GÖRÜNTÜLEMELERDE RADYASYONUN ROLÜ VE POTANSİYEL ETKİLERİ

Tıbbi görüntülemelerde radyasyon, hastalıkların tanısında ve tedavi sürecinin izlenmesinde önemli bir araç olarak karşımıza çıkar. İyonlaştırıcı radyasyon kullanılarak yapılan

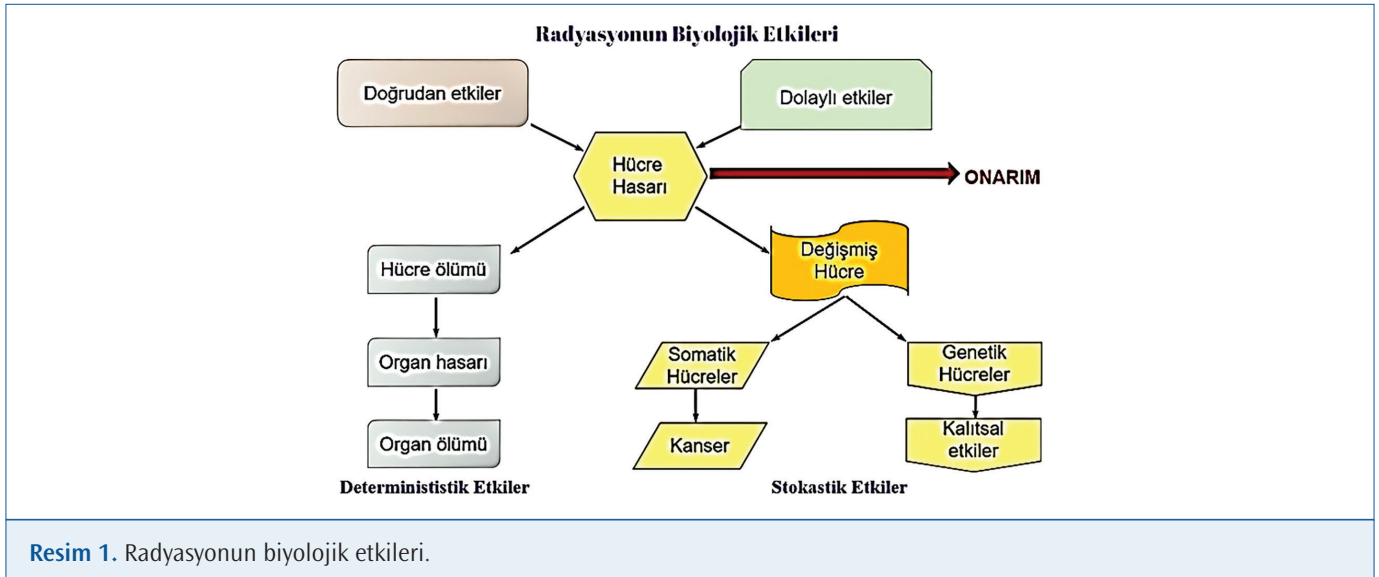
görüntüleme teknikleri, vücut içindeki yapılar hakkında detaylı bilgi sunarken, yüksek çözünürlükte anatomik ve fonksiyonel verilere erişim sağlar. BT, radyografi, floroskopi ve kemik dansitometre gibi cihazlar, radyasyonun dokulardaki farklı soğurulma özelliklerinden faydalanarak ayrıntılı görüntüler oluşturur. Bu cihazlar sayesinde kanser, kalp hastalıkları, akciğer enfeksiyonları, kırıklar ve sayılamayacak geniş bir yelpazede hastalığa tanı koymak mümkün hale gelmiştir.

Ancak, iyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik dokular üzerindeki istenmeyen etkileri nedeniyle, bu tür tetkiklerin radyasyon dozlarının dikkatle yönetilmesi gerekmektedir. **Yüksek dozda veya tekrarlanan radyasyon maruziyeti, dokularda deoksiriboz nükleik asit hasarı, mutasyon riski ve kanser gibi uzun vadeli sağlık sorunlarına yol açabilir.** Bununla birlikte, çocuklar gibi daha hassas gruplar üzerinde X-ışını kullanımı, yetişkinlere göre daha fazla risk oluşturabilir, çünkü genç hücrelerin radyasyona karşı daha duyarlı olduğu bilinmektedir [3, 4]. Bu nedenle, radyolojik işlemlerde kullanılan dozların minimumda tutulması ve hastaların gereksiz radyasyona maruz kalmaması için düşük doz protokolleri, gelişmiş doz ölçüm cihazları ve teknolojik iyileştirmeler giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Radyasyonun biyolojik etkileri, stokastik ve deterministik etkiler olarak iki ana kategoriye ayrılır [5]:

Stokastik Etkiler: Düşük dozlarda bile meydana gelebilecek rastgele etkiler olup, kanser ve genetik mutasyon riskini artırır. Bu etkilerin meydana gelme olasılığı doza bağlı olarak artar, ancak etki şiddeti dozdan bağımsızdır.

Deterministik Etkiler: Belirli bir doz eşiğini aşan durumlarda ortaya çıkan etkiler olup, cilt yanıkları, saç dökülmesi veya organ hasarı gibi sonuçları içerir. Bu etkilerin hem sıklığı hem de şiddeti, alınan radyasyon dozuyla doğru orantılıdır (Resim 1).



Radyasyon maruziyetini minimize etmek için radyolojik uygulamalarda *as low as reasonably achievable* (ALARA) prensibi uygulanır [6]. ALARA, radyasyon dozunun mümkün olan en düşük seviyeye çekilmesini hedefler. Bu prensip doğrultusunda, cihaz ayarları optimize edilerek gereksiz maruziyetin önüne geçilir. Ayrıca, modern cihazlarda otomatik doz kontrol sistemleri kullanılarak hasta güvenliği sağlanmaktadır.

Radyoloji profesyonelleri, hasta güvenliğini sağlamak ve radyasyonun zararlı etkilerini en aza indirmek için doz yönetimi konusunda yeterli bilgiye sahip olmalıdır. Modern görüntüleme teknikleri ile birlikte geliştirilen cihazlarda yer alan otomatik doz ayarlama özellikleri, hastanın gereksiz radyasyona maruz kalmasını azaltmak için geliştirilmiştir. Ayrıca, ESD, DLP ve CTDI_{vol} gibi belirteçler kullanılarak, her bir görüntüleme işleminin hasta üzerindeki radyasyon etkisi değerlendirilmekte ve doz optimizasyonu sağlanmasına yardım etmektedir. Bu süreç, hem hasta güvenliği hem de tanısal verimlilik açısından büyük bir değer taşır.

DOZ YÖNETİMİ VE OPTİMİZASYONUN ÖNEMLİ

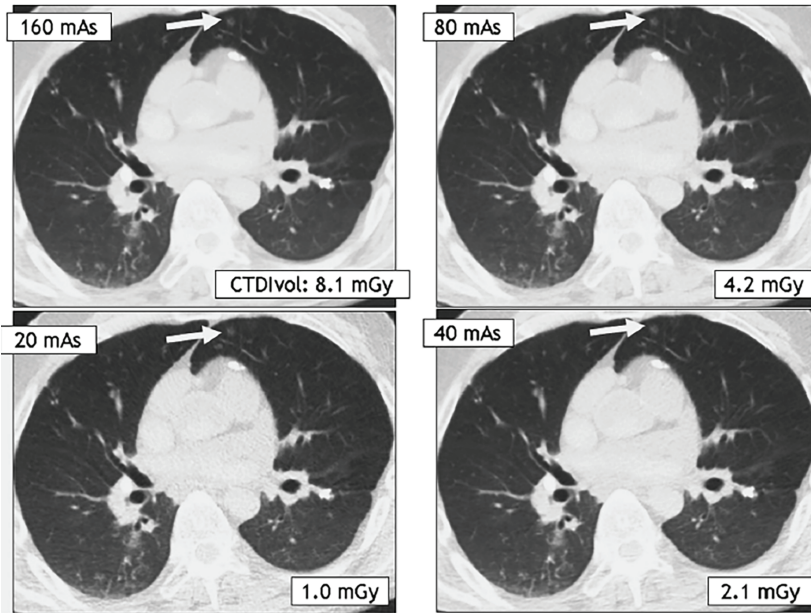
Radyolojide teşhis amaçlı kullanılan X-ışını cihazları, hastalıkların tanı sürecinde kritik bir rol oynamaktadır. BT, mamografi, konvansiyonel X-ışını, floroskopi ve kemik densitometri gibi cihazlar; her ne kadar doğru tanı ve tedavi planlamasında etkin bir araç sunsa da, hastaların bu cihazlarla maruz kaldığı iyonlaştırıcı radyasyon potansiyel riskler taşır. **BT gibi yüksek doz maruziyeti potansiyeline sahip cihazlarda, görüntü kalitesinden ödün vermeden**

doz azaltma tekniklerinin uygulanması hasta güvenliği için kritiktir (Resim 2). Örneğin, otomatik pozlama kontrolü ve iteratif rekonstrüksiyon teknikleri, BT taramalarında görüntü kalitesini korurken maruz kalınan radyasyon miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Floroskopi gibi sürekli X-ışını kullanan cihazlarda ise, puls floroskopi ve maruziyet süresinin kısaltılması gibi yöntemler, radyasyon dozunu en aza indirmek için etkili çözümler sunar [7].

Akciğer nodüllerinin görüntülenmesi için önemli doz azaltımı (örneğin, daha düşük mAs) uygulanabilir [8].

Mamografi cihazlarında özellikle meme kanseri taramalarında kullanılan düşük doz protokolleri, radyasyon dozunun sınırlanması açısından önem taşır. Meme dokusunun radyasyona karşı hassas olması sebebiyle, düşük doz teknikleri uygulanarak hasta güvenliği artırılmaktadır [9]. Aynı şekilde, kemik densitometri gibi cihazlarda da düşük doz kullanımı, osteoporoz ve diğer kemik hastalıklarının değerlendirilmesi sırasında hasta maruziyetini en aza indirmek için tercih edilmektedir.

Çocuk hastalar gibi daha hassas gruplarda radyasyon dozu yönetimi çok daha dikkatli yapılmalıdır. **Çocukların hücrelerinin radyasyona daha duyarlı olması sebebiyle, pediatrik görüntüleme protokolleri, özellikle düşük doz ayarları ile optimize edilmelidir.** Konvansiyonel X-ışını cihazlarında ise, özellikle akciğer grafisi ve diğer sık yapılan tetkiklerde, görüntü kalitesinden ödün vermeden mümkün olan en düşük doz kullanımı tercih edilmelidir [10]. Radyasyon doz yönetimi



Resim 2. Transvers postmortem göğüs BT görüntüleri, farklı tüp akımlarında (160, 80, 40 ve 20 mAs) sol üst lobun medial yönünde buzlu cam nodülü (beyaz ok) göstermektedir.

BT, bilgisayarlı tomografi; mGy, miligray.

ve optimizasyonu, teşhis doğruluğunu koruyarak hasta güvenliğini sağlamaya yönelik bir zorunluluktur.

RADYASYON DOZ BİRİMLERİ

Soğurulan Doz (Gray)

Soğurulan doz, iyonlaştırıcı radyasyonun bir maddenin birim kütlesinde bıraktığı enerji miktarını ifade eden bir ölçü olup, Gy birimi ile ifade edilir. 1 Gy, 1-kilogram madde başına 1 joule enerjinin aktarılması anlamına gelir [11]. Radyasyona maruz kalan dokular tarafından soğurulan enerji miktarının belirlenmesi, biyolojik etkilerin değerlendirilmesinde kritik bir rol oynar ve tedavi planlamalarında önemli bir parametre olarak kullanılır.

$$D = \frac{E}{m} \quad (1)$$

Burada E , soğurulan enerjiyi (joule), m , ışına maruz kalan dokunun kütlesini (kg) ifade eder.

Soğurulma dozu, doğrudan biyolojik etkinin hesaplanmasına olanak tanımaz; ancak diğer doz belirteçleri (eşdeğer doz ve etkin doz gibi) ile birleştirilerek biyolojik risklerin tahmin edilmesinde kullanılır.

Soğurulan doz, özellikle radyoterapi gibi yüksek dozda radyasyon kullanılan uygulamalarda hedef dokulara verilen radyasyonun kesin bir şekilde hesaplanmasını sağlar. Böylece, tümör dokusuna yeterli radyasyon dozu uygulanırken sağlıklı dokuların maruziyetinin en aza indirilmesi hedeflenir. Radyoloji ve nükleer tıpta da düşük doz uygulamalarında doz yönetimi için soğurulan doz dikkate alınır ve bu sayede hastanın gereksiz radyasyon maruziyeti önlenmiş olur.

Soğurulan doz, farklı dokularda farklı biyolojik etkilere yol açabileceği için yalnızca enerji transferi miktarını değil, aynı zamanda dokuların radyasyona duyarlılığını da göz önünde bulundurmak gerekir. Bu yüzden, soğurulan dozun yanı sıra etkin doz ve eşdeğer doz gibi kavramlar da biyolojik etkinin tam olarak anlaşılmasına yardımcı olur. Ancak, soğurulan doz radyasyon güvenliği ve radyoterapi alanında en temel ölçüt olarak kabul edilmektedir ve uluslararası radyasyon koruma standartlarının belirlenmesinde temel referans noktasıdır.

Eşdeğer Doz (Sievert)

Eşdeğer doz, radyolojide hastaların ve çalışanların maruz kaldığı radyasyonun biyolojik etkilerini değerlendirmede önemli bir ölçüdür ve Sv birimi ile ifade edilir. Radyolojide kullanılan farklı türdeki iyonlaştırıcı radyasyonların (örneğin X-ışını, gama ışını) dokular üzerindeki biyolojik etkileri değişkenlik gösterebilir. Eşdeğer doz, bu farklılıkları göz önünde bulundurarak, soğurulan dozun radyasyonun biyolojik etkinliğine göre düzeltilmiş halini verir ve radyasyon ağırlık

faktörleri (W_R) kullanılarak hesaplanır [12]. Bu, farklı radyasyon türlerinin insan dokuları üzerindeki göreceli etkilerini karşılaştırma imkanı sağlar.

$$E = D_T \times W_R \quad (2)$$

Burada D , soğurulma dozunu (Gy), W_R , radyasyon ağırlık faktörünü ifade eder (örneğin, X-ışını için 1'dir).

Radyolojide eşdeğer doz kavramı, özellikle radyasyon güvenliğinin sağlanması ve radyasyon kaynaklı risklerin yönetilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Radyasyonla çalışan profesyonellerin ve radyoloji hastalarının maruz kaldığı dozun değerlendirilmesi için eşdeğer doz hesaplamaları yapılır. Çalışanlar için yıllık eşdeğer doz sınırları belirlenmiştir ve bu sınırların aşılmasını için doz yönetim sistemleri uygulanır, böylece radyasyona bağlı mesleki riskler en aza indirilir.

Radyolojik görüntüleme işlemlerinde, hastaların belirli organ veya dokularına maruz kalan radyasyonun etkilerinin değerlendirilmesinde de eşdeğer doz hesaplanır. Örneğin, mamografi veya BT taramaları gibi radyolojik işlemlerde, radyasyonun biyolojik etkilerini dikkate alarak düşük doz protokolleri geliştirilir ve böylece hastaların gereksiz radyasyon maruziyeti azaltılır. Eşdeğer doz, farklı organ ve dokuların radyasyona duyarlılığını göz önünde bulundurarak hasta güvenliğini sağlamak adına kullanılır.

Eşdeğer dozun radyolojide doğru ve etkili bir şekilde hesaplanması, hastaların radyasyon kaynaklı potansiyel risklerinin minimize edilmesine katkı sağlar ve güvenli bir görüntüleme süreci oluşturmaya yardımcı eder. Radyasyon güvenliği için eşdeğer doz ölçütleri, hastaların ve çalışanların korunmasında hayati bir rol oynamaktadır.

Etkin Doz (Sievert)

Etkin doz, iyonlaştırıcı radyasyonun insan vücudundaki biyolojik etkilerini genel bir ölçüyle ifade etmek için kullanılan bir doz birimidir ve Sv ile gösterilir. Bu kavram, farklı organ ve dokuların radyasyona karşı duyarlılığındaki farklılıkları göz önünde bulundurur ve böylece tüm vücutta radyasyonun potansiyel etkilerini temsil eden bir ortalama doz değeri sunar. Etkin doz, her bir organ veya dokuda soğurulan dozun, doku ağırlık faktörleri (W_T) ile çarpılmasıyla hesaplanır [13]. Bu hesaplama, vücutta farklı bölgelerin radyasyona maruziyetine bağlı olarak ortaya çıkabilecek genel sağlık risklerini değerlendirme olanağı sağlar.

$$E = \sum_T H_T \times W_T \quad (3)$$

Burada H_T , organ veya doku için eşdeğer dozu, W_T , organ veya dokunun ağırlık faktörünü (biyolojik hassasiyeti temsil eder) ifade eder.

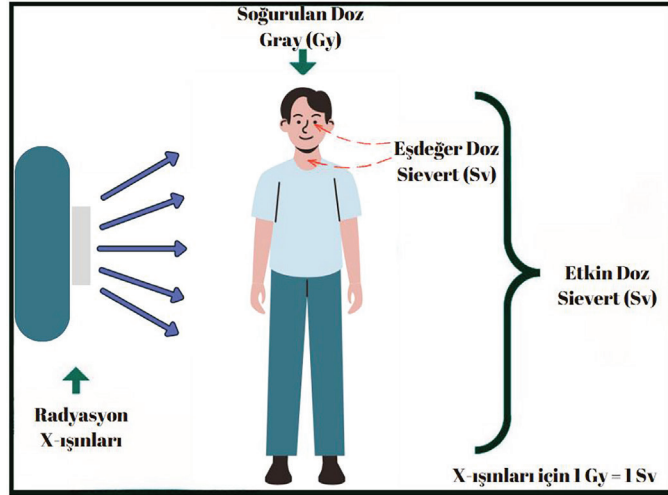
Radyoloji alanında etkin doz, özellikle hastaların ve radyasyonla çalışan sağlık personelinin maruz kaldığı radyasyon miktarını değerlendirmek için kullanılır. Örneğin, BT taramaları gibi yüksek doz radyasyon içeren görüntüleme yöntemlerinde etkin doz ölçümleri, hastaların maruz kalabileceği uzun vadeli riskleri minimize etmek için önemlidir. Etkin doz, görüntüleme protokollerinin optimize edilmesinde ve gereksiz radyasyon maruziyetinin önlenmesinde kritik bir rol oynar.

Etkin doz ayrıca, radyasyon çalışanları için de güvenlik standartlarının oluşturulmasında kullanılır. Radyasyon güvenliği uygulamaları çerçevesinde, radyasyon ile çalışanların yıllık etkin doz sınırlarının aşılmaması sağlanarak radyasyon kaynaklı mesleki riskler azaltılır. Etkin doz, genel radyasyon maruziyetini ölçmek ve sağlık risklerini öngörmek için kapsamlı bir değerlendirme sunar. [Resim 3](#), soğurulan doz, eşdeğer doz ve etkin doz arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

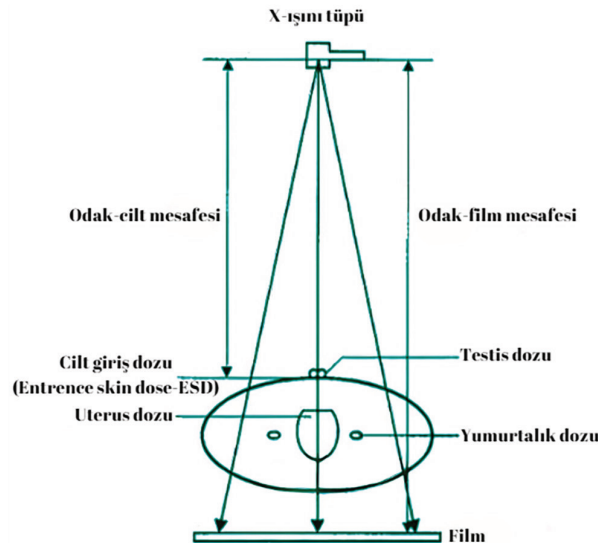
RADYOLOJİDE X-IŞINI KULLANILARAK TEŞHİS AMAÇLI KULLANILAN CİHAZLAR VE DOZ BELİRTEÇLERİ

X-ışını Cihazlarının Kullanım Alanları ve Doz Belirteçleri

Röntgen cihazları, radyolojide en yaygın kullanılan görüntüleme sistemlerinden biridir ve birçok klinik durumda hastalıkların teşhisinde kullanılır. Özellikle kemik kırıkları, akciğer enfeksiyonları, diş muayeneleri ve bazı abdominal hastalıkların teşhisinde X-ışını cihazları yaygın olarak tercih edilir. X-ışınları, dokulardan geçerken farklı yoğunluklarda soğurulur ve bu sayede vücut iç yapılarının görüntülenmesini sağlar. Bu görüntüleme yönteminin hızlı ve etkili olması, acil durumlarda hastaların hızlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır ([Resim 4](#)).



Resim 3. Soğurulan doz, eşdeğer doz ve etkin doz ilişkisi [14].



Resim 4. Konvansiyonel X-ışını [15].

Röntgen cihazlarının kullanımı sırasında hastanın maruz kaldığı radyasyon miktarını değerlendirmek için çeşitli doz belirteçleri kullanılır. **Doz alanı çarpımı (DAP), hasta üzerinde belirli bir alanda uygulanan toplam radyasyon dozunu hesaplamak için kullanılan önemli bir belirteçtir.** DAP değeri, hastanın cilt yüzeyinde birim alan başına düşen doz miktarının alanla çarpılmasıyla elde edilir ve genellikle $\text{mGy} \times \text{cm}^2$ birimiyle ifade edilir. Bu belirteç, hastanın maruz kaldığı radyasyon dozunun değerlendirilmesinde ve radyasyonun biyolojik etkilerini tahmin etmede önemli bir parametre olarak kullanılır [11, 16].

Ayrıca, X-ışını çekimleri sırasında kullanılan diğer bir doz belirteci de ESD olarak bilinir. Kısaca ESD, X-ışını demetinin hastanın cildine ilk giriş yaptığı noktadaki radyasyon miktarını ifade eder. Bu ölçüm, radyasyon güvenliği açısından hastanın maruziyetinin minimize edilmesi ve gereksiz dozların önlenmesi için önemlidir. X-ışını çekimlerinde ESD ve DAP ölçümlerinin yapılması, hasta güvenliği açısından önemli bir uygulama olup, düşük doz protokollerinin geliştirilmesine de katkı sağlar.

$$DAP = ESD \times A \quad (4)$$

Bu formülde ESD giriş cilt dozunu (cilt yüzeyine ulaşan radyasyon miktarı), A ise ışınlanan alanın boyutunu ifade eder. DAP değeri, işlemin tamamında hastanın maruz kaldığı toplam doz hakkında bilgi verir ve giriş cilt dozundan farklı olarak tüm alanı kapsayan doz miktarını sunar. Bu yüzden, hasta

maruziyetini daha kapsamlı bir şekilde izlemek için DAP değeri sıklıkla tercih edilir.

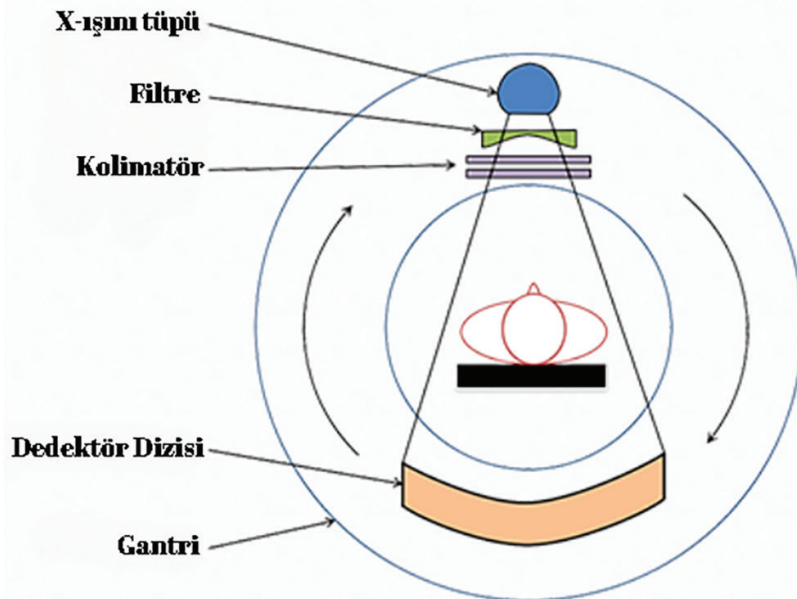
$$ESD = BSF \times \text{Tube Output} \left(\frac{\text{mGy}}{\text{mAs}} \right) \times \left[\frac{100}{FSD} \right]^2 \times \text{mAs} \quad (5)$$

Burada; geri saçılma faktörü (*backscatter factor*), *Tube Output* (tüp çıkışı), 1 m mesafede farklı kVp ayarlarında X-ışını tüpünün mGy/mAs cinsinden ışın çıkışı, mAs tüp akımının pozlama süresiyle çarpılması ve odak-cilt mesafesidir (*focus to skin distance*) (cm) [17].

Bilgisayarlı Tomografinin Kullanım Alanları ve Doz Belirteçleri

Bilgisayarlı tomografi, tıbbi görüntülemenin en yaygın kullanılan yöntemlerinden biridir ve sağlık sektöründe çok geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır. BT, yüksek çözünürlükte iç organlar, kemikler ve yumuşak dokular hakkında detaylı bilgi edinmeyi mümkün kılar. Bu teknoloji, özellikle travmalar, onkolojik hastalıklar, kardiyovasküler hastalıklar, nörolojik bozukluklar ve enfeksiyonların teşhisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Resim 5).

Bilgisayarlı tomografinin kullanımı, hastaların klinik yönetimini iyileştirirken, aynı zamanda yüksek dozda **iyonlaştırıcı radyasyon maruziyeti ile dikkat çeker.** Dolayısıyla, hasta güvenliğini sağlamak ve gereksiz radyasyon maruziyetini önlemek amacıyla doz belirteçlerinin doğru kullanımı gereklidir. Bu doz belirteçleri, genellikle *Digital Imaging*



Resim 5. Bilgisayarlı tomografi bileşenleri [18].

and Communications in Medicine standartlarında hasta maruziyetini takip eden parametreler içerir. Örneğin, CTDI ve DLP gibi doz belirteçleri, BT cihazlarının doz yönetimini değerlendirmede önemli araçlardır [19].

BT doz indeksi, hasta tarafından soğurulan radyasyon dozunun bir ölçüsüdür. CTDI, tek bir kesit üzerinde alınan radyasyon miktarını ifade eder ve formülasyonu şu şekildedir:

$$CTDI = \frac{1}{nT} \int_{-\infty}^{+\infty} D(z) dz \quad (6)$$

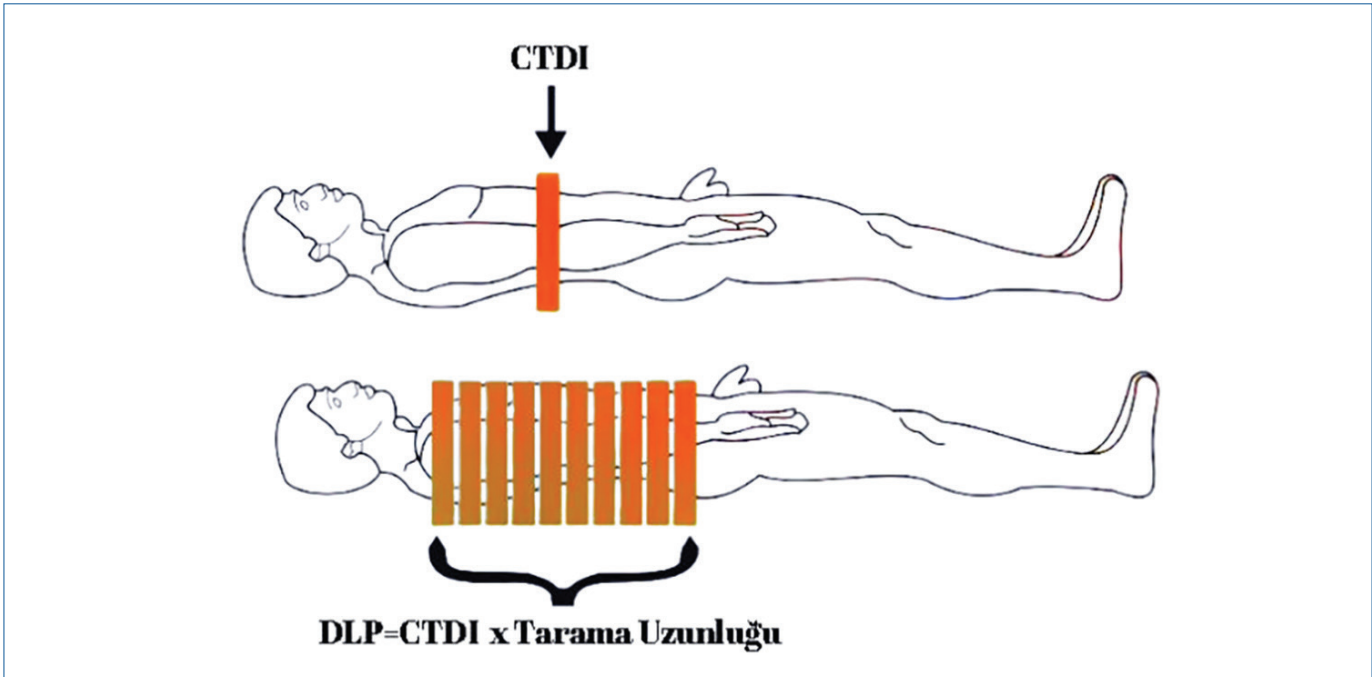
Bu formülde, n tarayıcı başına düşen kesit sayısını, T kesit kalınlığı, $D(z)$ ise belirli bir konumdaki doz profilini ifade eder. CTDI, belirli bir kesit için hesaplandığından genel tarama dozu hakkında tam bir bilgi vermez. Ancak, taramanın tek

bir kesitindeki doz bilgisi sayesinde toplam dozun tahmin edilmesine katkı sağlar.

Doz uzunluk ürünü, BT taramalarında hastanın toplam maruziyet dozunu ifade eden bir diğer önemli parametredir ve tüm tarama boyunca soğurulan doz miktarını gösterir. **DLP, CTDI ve tarama uzunluğunun çarpımı ile hesaplanır:**

$$DLP = CTDI_{vol} \times L \quad (7)$$

Burada, $CTDI_{vol}$ hacimsel CTDI değerini, L ise tarama uzunluğunu ifade eder (Resim 6). DLP, CT taramalarında hastanın maruz kaldığı toplam radyasyon dozunu yansıtarak, dozun optimizasyonu ve hastanın korunması için önemli bir parametre sunar.



Resim 6. CTDI ve DLP ilişkisi [20].

CTDI, bilgisayarlı tomografi doz indeksi; DLP, doz uzunluk ürünü.

Floroskopi Kullanım Alanları ve Doz Belirteçleri

Floroskopi, radyolojide sıkça kullanılan bir görüntüleme tekniğidir ve vücudun iç yapılarının gerçek zamanlı olarak gözlemlenmesine olanak tanır. Bu yöntem, hareketli organların incelenmesi ve belirli müdahaleler sırasında kılavuzluk sağlanması gibi durumlarda yaygın olarak kullanılır. Floroskopi özellikle gastrointestinal sistem, kardiyovasküler sistem ve ortopedik prosedürler gibi çeşitli klinik alanlarda tercih edilmektedir. Örneğin, anjiyografi ve ortopedik cerrahi uygulamalarda detaylı gözlem ve yönlendirme sağlar [21].

Floroskopi, yüksek dozda radyasyon kullanımını gerektiren bir teknik olduğundan, hasta güvenliği açısından doz yönetimi büyük önem taşır. Bu nedenle, çeşitli doz belirteçleri kullanılarak hastanın maruz kaldığı radyasyon miktarı izlenir. Floroskopide yaygın olarak kullanılan doz belirteçlerinden biri, işlem süresince hastaya verilen toplam doz hakkında bilgi sağlayan Kümülatif Hava Kerma (CAK) değeridir. Diğer bir önemli belirteç ise, radyasyonun etkili olduğu alanın boyutunu dikkate alarak hastanın toplam maruziyetini gösteren DAP değeridir. Kümülatif hava kerma değeri şu şekilde hesaplanır:

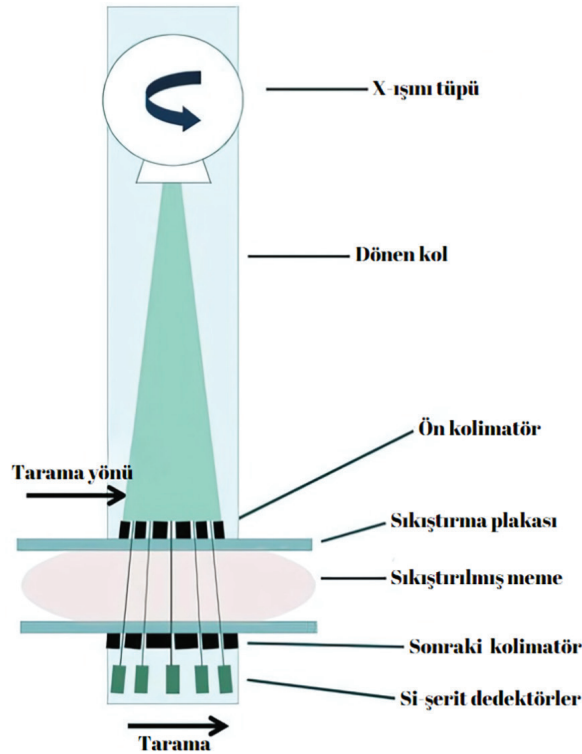
$$CAK = \int_0^t \dot{K}(t) dt \quad (8)$$

Burada, $\dot{K}(t)$ işlem süresince birim zamanda biriken kerma oranını ifade eder. CAK değeri, uzun süren floroskopik işlemler sırasında hasta cildinin maruz kaldığı radyasyon miktarını takip etmeyi ve işlem süresince maruziyeti kontrol altında tutmayı sağlar.

Mamografi Kullanım Alanları ve Doz Belirteçleri

Mamografi, meme dokusunun detaylı görüntülenmesini sağlayarak meme kanseri gibi hastalıkların erken teşhisinde büyük rol oynayan bir görüntüleme yöntemidir. Mamografinin, tarama ve tanı amaçlı kullanımları bulunmaktadır. Tarama mamografisi, belirti göstermeyen bireylerde meme kanserinin erken dönemde tespiti için düzenli aralıklarla yapılırken, tanısal mamografi ise semptomatik bireylerde kesin teşhis koymak amacıyla gerçekleştirilir. Mamografi, radyolojik incelemelerde kadın sağlığı açısından kritik bir yere sahiptir ve erken teşhis imkanı sunarak tedaviye erken başlamayı mümkün kılar (Resim 7).

Mamografide en yaygın kullanılan doz belirteci, meme dokusunun ortalama soğurma miktarını ifade eden Ortalama Glandüler Doz [Average Glandular Dose veya Mean Glandular



Resim 7. Mamografi sistemi taslağı [22].

Dose (MGD)] değeridir [23]. MGD, meme kanseri tarama programlarında radyasyon güvenliği açısından önemli bir standart olarak kabul edilmektedir.

$$MGD = K \times g \times c \times s \quad (9)$$

Burada K, üst yüzeyde hesaplanan giriş yüzeyi hava kermasıdır (geri saçılma olmadan). Faktör g, %50 glandülariteye karşılık gelir. c-faktörü, %50 glandülariteden kaynaklanan tipik memelerin kompozisyonundaki farkı düzeltir. Faktör s, X-ışını spektrumunun seçiminden kaynaklanan farklılıkları düzeltir.

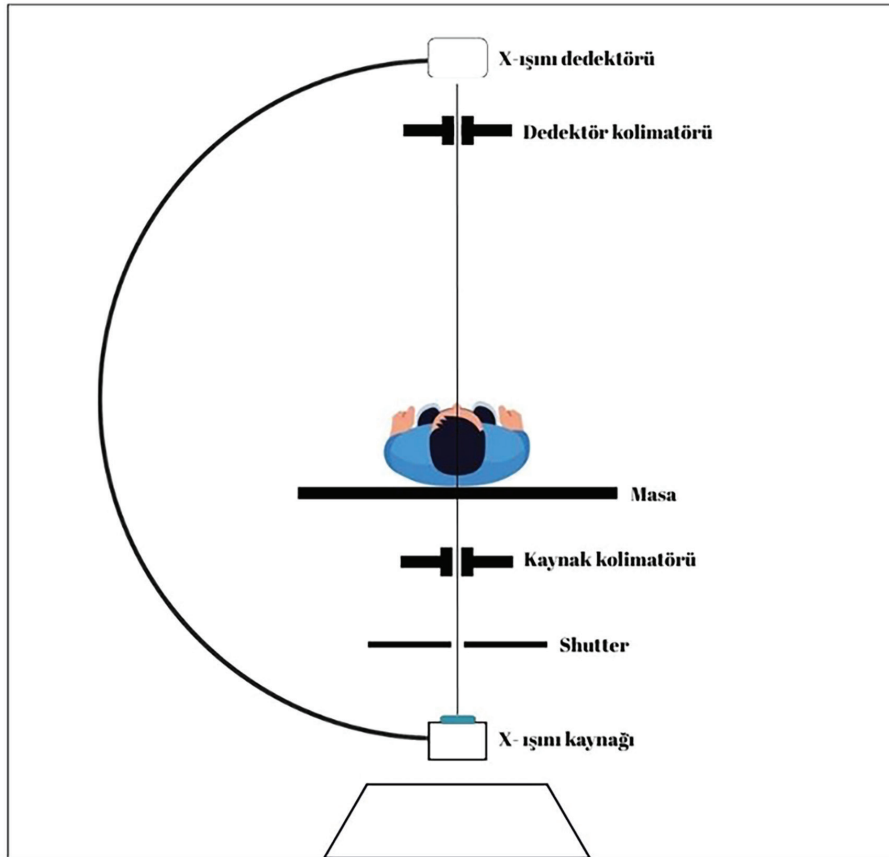
Mamografi cihazlarının kalibrasyonu ve uygun teknik protokollerinin uygulanması, MGD'nin düşük tutulmasını sağlamak açısından önemlidir. Teknolojik gelişmeler sayesinde, günümüzde düşük dozda radyasyon kullanarak yüksek kaliteli görüntüler elde etmek mümkün hale gelmiştir.

Bu durum, hasta güvenliğini artırırken, meme kanseri tarama programlarının etkinliğini de desteklemektedir.

Kemik Densitometre Kullanım Alanları ve Doz Belirteçleri

Kemik densitometresi, kemik mineral yoğunluğunu ölçmek amacıyla kullanılan ve özellikle osteoporozun teşhisinde yaygın bir şekilde tercih edilen bir görüntüleme yöntemidir (Resim 8). Kemik sağlığının değerlendirilmesinde önemli bir yere sahip olan bu cihazlar, kemik yoğunluğundaki azalmayı tespit ederek kemik kırık riski taşıyan bireyleri belirlemeye yardımcı olur. Özellikle menopoz sonrası kadınlarda, yaşlılarda ve osteoporoz riski taşıyan diğer bireylerde kemik sağlığının izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Kemik densitometre cihazları, X-ışınları kullanarak düşük radyasyon dozu ile yüksek doğrulukta ölçüm yapar.



Resim 8. DXA sisteminin bileşenlerini gösteren şematik diyagram [24].

DXA, dual-energy X-ray absorptiometry.

Dual-energy x-ray absorptiometry (DXA) olarak bilinen yöntem, en yaygın kullanılan kemik yoğunluk ölçüm tekniğidir [25]. DXA yöntemi düşük dozda radyasyon kullanmasına rağmen, hasta güvenliğini sağlamak amacıyla maruz kalınan radyasyon miktarının izlenmesi önemlidir. Bu amaçla, densitometri cihazlarında kullanılan ana doz belirteci kümülatif doz olarak bilinir ve işlem süresince hastaya verilen toplam radyasyon dozunu gösterir.

Dual energy X-ray absorptiometry yöntemiyle yapılan kemik yoğunluk ölçümleri sırasında kullanılan düşük radyasyon dozları, diğer görüntüleme teknikleriyle kıyaslandığında oldukça güvenlidir. Bununla birlikte, özellikle düzenli takip gereken hastalarda doz yönetimi ve optimizasyonu önemlidir. Son yıllarda, gelişen teknoloji sayesinde DXA cihazlarının radyasyon dozunu daha da düşürmesi sağlanmış olup, hastaların gereksiz radyasyona maruziyeti minimize edilmiştir.

Dental Radyografi Kullanım Alanları ve Doz Belirteçleri

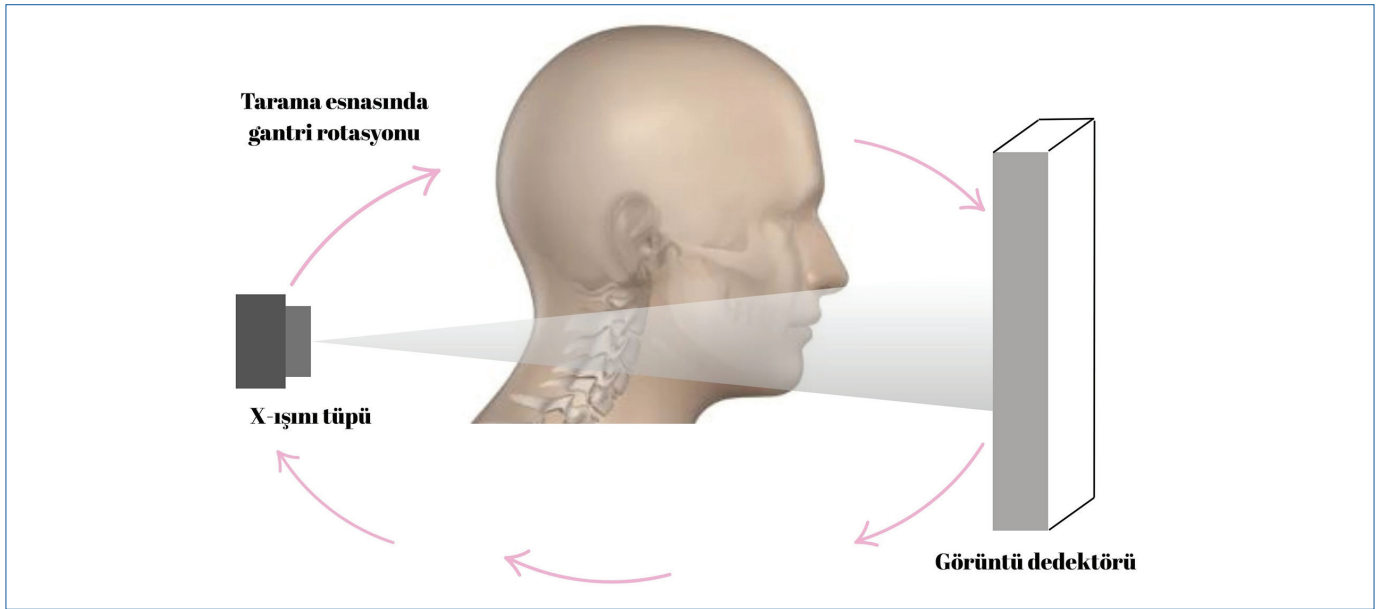
Dental radyografi, diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan bir görüntüleme yöntemidir ve diş ile çevresindeki kemik yapılarının detaylı incelenmesine olanak tanır. Dental radyografi teknikleri, çürük tespiti, diş köklerinin yapısal değerlendirmesi, periodontal hastalıkların tanısı ve cerrahi müdahale gerektiren durumların planlanması gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Diş hekimliğinde kullanılan en yaygın dental radyografi türleri arasında periapikal, panoramik ve bitewing görüntülemeler yer alır [26].

Dental radyografi, genellikle düşük dozlarda X-ışını kullanmasına rağmen, hastaların güvenliği açısından radyasyon maruziyetinin ölçümü önemlidir (Resim 9). **Dental radyografide kullanılan başlıca doz belirteci ESD olarak bilinir.** ESD, hastanın cildine ulaşan radyasyon dozunun miktarını ifade eder ve diş hekimliğinde doz yönetiminin temel göstergelerinden biridir. Ayrıca, dental tomografi gibi üç boyutlu görüntüleme sağlayan cihazlarda DAP değeri, hastanın toplam radyasyon maruziyetini göstermek için kullanılabilir.

Dental radyografide kullanılan radyasyon dozları diğer tıbbi görüntüleme yöntemlerine göre nispeten düşük olmasına rağmen, özellikle çocuklar gibi radyasyona daha duyarlı gruplarda maruziyetin kontrol edilmesi önemlidir. Modern dental radyografi cihazları, doz optimizasyonunu sağlamak amacıyla düşük doz teknikleri ve dijital algılayıcılar ile donatılmıştır. Bu sayede, gereksiz radyasyon maruziyetini minimize ederek hasta güvenliği artırılmaktadır.

Mobil X-ışını Cihazları Kullanım Alanları ve Doz Belirteçleri

Mobil X-ışını cihazları, özellikle hareket kabiliyeti kısıtlı hastaların ve yoğun bakım ünitesinde yatan hastaların görüntülenmesinde önemli bir rol oynar. Hastanın taşınmadan görüntülenmesi gerektiği durumlarda kullanılan bu cihazlar, travma ve cerrahi müdahale sonrası görüntülemeler, pandemi döneminde enfeksiyon kontrolünü sağlamak gibi çeşitli amaçlarla yaygın olarak tercih edilmektedir. Mobil X-ışını cihazları, acil servis ve ameliyathane gibi hastane içi özel



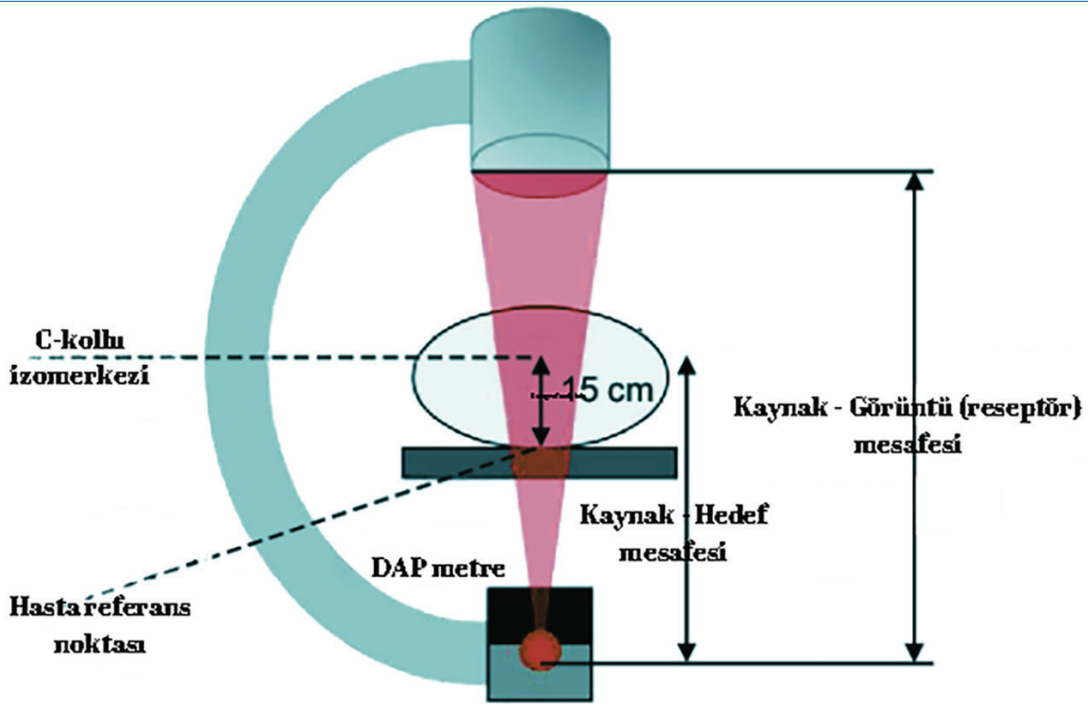
Resim 9. Cone beam BT taramanın temel prensibi [27].

BT: bilgisayarlı tomografi.

alanlarda da hızlı ve etkin bir şekilde radyolojik değerlendirme yapmaya olanak tanır [28, 29].

Mobil X-ışını cihazlarında hasta güvenliği için radyasyon dozunun dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu cihazlarda en yaygın kullanılan doz belirteci ESD olup, hastanın cildine ulaşan radyasyon dozunu ölçer. **ESD, mobil cihazlarda hastaya verilen radyasyon miktarının izlenmesi açısından kritik bir parametredir.** Ayrıca, işlem süresince kullanılan toplam radyasyon dozu hakkında bilgi veren DAP değeri de mobil X-ışını cihazlarında önemli bir doz belirteci olarak kullanılır (Resim 10).

Mobil X-ışını cihazları, standart X-ışını cihazlarına göre genellikle daha düşük dozlarda radyasyon kullanır. Ancak hastanın yakın mesafeden görüntülenmesi gerektiği durumlarda, doğru doz yönetimi ve radyasyondan korunma önlemlerinin alınması önem taşır. Modern mobil X-ışını cihazları, dijital algılayıcılar ve doz optimizasyon teknikleriyle donatılmış olup, gereksiz radyasyon maruziyetini azaltarak hasta güvenliğini artırmaktadır.



Resim 10. C-kollu skopi şeması [30].

SONUÇ

Radyolojide yeni teknolojiler, radyasyon dozu optimizasyonunda çığır açıcı yenilikler sunmaktadır. Bu kapsamda yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmaları, hasta özelinde düşük doz protokolleri oluşturma amacıyla kullanılarak yüksek çözünürlüklü, düşük radyasyonlu görüntüler elde etmeyi sağlamaktadır [31, 32]. Özellikle *photon counting* CT gibi sistemler, her bir X-ışını fotonunu ayrı ayrı ölçerek tanınal doğruluğu artırırken radyasyon maruziyetini azaltır [33]. *Photon counting*, pediatrik ve onkolojik görüntülemelerde sıklıkla tercih edilmektedir çünkü düşük dozlarda yüksek hassasiyetle çalışır.

Gelişmiş dedektör ve yazılım teknolojileri ise radyasyona maruziyeti minimumda tutmak amacıyla optimize edilmiştir. Dedektör teknolojilerindeki yenilikler sayesinde, görüntü kalitesini artıran ve dozu düşüren özellikler ön plana çıkmaktadır. Örneğin, yeni *pulsed fluoroscopy* teknikleri, özellikle karmaşık prosedürlerde radyasyon süresini ve şiddetini sınırlayarak hasta güvenliğine katkıda bulunur [34, 35].

Gelişmiş sensörler ve daha hassas doz ölçüm sistemleriyle desteklenen yeni MRG teknolojileri, radyasyon kullanmadan yüksek çözünürlük sunarak radyolojide devrim yaratabilir. Hastaya özel tanımlanan doz yönetimi, hastanın yaş, cinsiyet ve klinik durumuna göre optimize edilerek daha güvenli bir görüntüleme süreci sağlamayı hedeflemektedir.

Teknolojik gelişmelerin ve kullanılan yeni yöntemlerin radyasyonun tıbbi alanda daha güvenli kullanılmasına önemli katkılar sağladığı ve gelecekte teşhis ve tedavi sürecinin takibi için çok önemli faydalar sağlayacağı bilinmektedir. Hastanın, radyolojik uygulamalardan maruz kaldığı radyasyon dozunun günümüzde yakın geçmişe oranla oldukça düştüğü ve gelecekte daha da azalacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte hastaların tıbbi uygulamalardan maruz kaldığı radyasyon dozlarının bahsekonu doz belirteçlerinin kullanılarak takip edilmesi ve radyolojik uygulamalarda hastaya mümkün olan en düşük dozun verilmesinin teşhis ve tedavi sürecinin takibine önemli katkılar sağlayacağı da bilinmektedir.

Dipnotlar

Çıkar Çatışması

Yazarlar bu makale ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

KAYNAKLAR

1. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Ann ICRP (n.d.). [CrossRef]
2. American Association of Physicists in Medicine (AAPM). (n.d.). AAPM Report Series. American Association of Physicists in Medicine. [CrossRef]

3. Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, Hall EJ, Land CE, Little JB, et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2003; 100: 13761-6. [CrossRef]
4. Brenner D, Elliston C, Hall E, Berdon W. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol*. 2001; 176: 289-96. [CrossRef]
5. Choudhary S. Deterministic and stochastic effects of radiation. *Cancer Ther Oncol Int J*. 2018; 12: 2. [CrossRef]
6. Yeung AWK. The "As Low As Reasonably Achievable" (ALARA) principle: a brief historical overview and a bibliometric analysis of the most cited publications. *Radioprotection*. 2019;54:103-9. [CrossRef]
7. Tsapaki V. Radiation dose optimization in diagnostic and interventional radiology: current issues and future perspectives. *Phys Med*. 2020; 79: 16-21. [CrossRef]
8. Singh S, Kalra MK, Ali Khawaja RD, Padole A, Pourjabbar S, Lira D, et al. Radiation dose optimization and thoracic computed tomography. *Radiol Clin North Am*. 2014; 52: 1-15. [CrossRef]
9. Fausto AM, Lopes MC, de Sousa MC, Furquim TA, Mol AW, Velasco FG. Optimization of image quality and dose in digital mammography. *J Digit Imaging*. 2017; 30: 185-96. [CrossRef]
10. Verdun FR, Alamo L, Miéville FA, Gudinchet F. Radiation dose management in pediatric CT. *Curr Radiol Rep*. 2013; 23-9. [CrossRef]
11. Allisy-Roberts P, Williams J. Farr's physics for medical imaging. Elsevier. 2008. [CrossRef]
12. Sweni S, Meenakshisundaram R, Thirumalaikolundusubramanian P. Cardiovascular toxicity as a result of radiological imaging. *Heart and Toxins, Elsevier*. 2015; 521-46. [CrossRef]
13. Martin CJ. Effective dose in medicine. *Ann ICRP*. 2020; 49: 126-40. [CrossRef]
14. Aanenson JW, Till JE, Grogan HA. Understanding and communicating radiation dose and risk from cone beam computed tomography in dentistry. *J Prosthet Dent*. 2018; 120: 353-60. [CrossRef]
15. Salma MU, Obayda MA, Nawreen IJ, Parvin T. Evaluating radiation exposure for patients during pelvic X-ray exams in Dhaka Metropolitan Area, Bangladesh. In: *European Journal of Medical and Health Sciences*. 2024; 6: 30-5. [CrossRef]
16. Muhdin A, Seife T. A mathematical approach evaluation of dose area product (DAP) using to patients undergoing intravenous urography examinations in Addis Ababa, Ethiopia. *Int J Radiol Imaging Technol*. 2021; 7: 085. [CrossRef]
17. Ofori K, Gordon SW, Akrobertu E, Ampene AA, Darko EO. Estimation of adult patient doses for selected x-ray diagnostic examinations. *J Radiat Res Appl Sci*. 2014; 7: 459-62. [CrossRef]
18. Asif SF. CT instrumentations. (2024). [CrossRef]
19. Shirazu S, Mensah Y, Schandorf C, Mensah SY, Owusu A. Comparison of measured values of CTDI and DPL with standard reference values of different CT scanners for dose management. *Int J Sci Res Sci Technol*. 2017; 185-90. [CrossRef]
20. The imaging physicist radiology-physics education, (2017). [CrossRef]
21. Li X, Hirsch JA, Rehani MM, Yang K, Liu B. Effective dose assessment for patients undergoing contemporary fluoroscopically guided interventional procedures. *AJR Am J Roentgenol*. 2020; 214: 158-70. [CrossRef]
22. Ding H, Molloy S. Quantification of breast density with spectral mammography based on a scanned multi-slit photon-counting detector: a feasibility study. *Phys Med Biol*. 2012; 57: 4719-38. [CrossRef]
23. Dance DR, Sechopoulos L. Dosimetry in X-ray-based breast imaging. *Phys Med Biol*. 2016; 61: 271-304. [CrossRef]

24. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2010). Dual energy X-ray absorptiometry for bone mineral density and body composition assessment. In IAEA Human Health Series No. 15. *International Atomic Energy Agency*. [\[CrossRef\]](#)
25. Gonera-Furman A, Bolanowski M, Jędrzejuk D. Osteosarcopenia-the role of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in diagnostics. *J Clin Med*. 2022; 11: 2522. [\[CrossRef\]](#)
26. D. Hart, M. Hillier, B. Wall. doses to patients from radiographic and fluoroscopic X-ray imaging procedures in the UK-2010 Review, 2010. [\[CrossRef\]](#)
27. Kaasalainen T, Ekholm M, Siiskonen T, Kortseniemi M. Dental cone beam CT: an updated review. *Phys Med*. 2021; 88: 193-217. [\[CrossRef\]](#)
28. Delavarifar S, Nikoo MH, Jorat MV, Savardashtaki A, Sayadi M. Patients' radiation exposure during various types of cardiac arrhythmias ablation. *Int Cardiovasc Res J*. 2017; 11: 66-70. [\[CrossRef\]](#)
29. Chitnavis JP, Karthikesaligam A, Macdonald A, Brown C. Radiation risk from fluoroscopically-assisted anterior cruciate ligament reconstruction. *Ann R Coll Surg Engl*. 2010; 92: 330-4. [\[CrossRef\]](#)
30. Lee M, Kwon J, Ryu GW, Kim KH, Nam HW, Kim KP. Review of national diagnostic reference levels for interventional procedures. *Progress in Medical Physics*. 2019; 30: 75. [\[CrossRef\]](#)
31. Kim B, Romeijn S, van Buchem M, Mehrizi MHR, Grootjans W. A holistic approach to implementing artificial intelligence in radiology. *Insights Imaging*. 2024; 15: 22. [\[CrossRef\]](#)
32. Xu L, Busch F, Adams LC, Bressemer KK. Artificial intelligence in radiology and radiotherapy. In: *Onkologie*. 2024 ; 30. [\[CrossRef\]](#)
33. van der Bie J, van Straten M, Booiij R, Bos D, Dijkshoorn ML, Hirsch A, et al. Photon-counting CT: review of initial clinical results. *Eur J Radiol*. 2023; 163: 110829. [\[CrossRef\]](#)
34. Cohen MD. Optimizing the use of pulsed fluoroscopy to reduce radiation exposure to children. *J Am Coll Radiol*. 2008; 5: 205-9. [\[CrossRef\]](#)
35. Ali O, Kesar V, Alizadeh M, Kalachi K, Twery B, Wellnitz N, et al. Low-dose pulsed vs standard pulsed fluoroscopy during ERCP to reduce radiation without change in image quality: prospective randomized study. *Endosc Int Open*. 2024; 12: 554-60. [\[CrossRef\]](#)

1. Aşağıdakilerden hangisi bir doz birimidir?

- a. Cilt giriş dozu (ESD)
- b. Ortalama glandüler doz (MGD)
- c. BT doz indeksi ($CTDI_{vol}$)
- d. Kümülatif hava kerma (KAP)
- e. Etkin doz (Gy)

2. Aşağıdakilerden hangisi radyolojide hasta ışınlamasına ilişkin bir belirteçtir?

- a. Soğurulma dozu (Gy)
- b. Eşdeğer doz (Sv)
- c. Etkin doz (Sv)
- d. Cilt giriş dozu (ESD)
- e. Işınlama dozu (C/kg)

3. Aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

- a. Tanısal radyolojide iyi görüntü için almak için hastaya biraz fazla radyasyon verilmelidir.
- b. Tanısal radyolojide hastaya en düşük doz verilmelidir.
- c. Tanısal radyolojide görüntü kalitesinden ödün vermemek şartıyla mümkün olan en düşük doz verilmelidir.
- d. İyi bir tanı koymak için bilgisayarlı tomografi uygulamaları sıkça kullanılmalıdır.
- e. Kadınlarda göğüs kanserinin erken teşhisi için mamografi taramaları yaygınlaştırılmalıdır.

4. Aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

- a. DLP, $CTDI_{vol}$ ve tarama uzunluğunun çarpımına eşittir.
- b. ESD, DAP ve ışınlanan alanın çarpımına eşittir.
- c. Dual-energy x-ray absorptiometry (DXA) olarak bilinen yöntem, hastaya en fazla radyasyon veren radyolojik ölçüm tekniğidir.
- d. Osteoporoz riski taşıyan bireylerin tanısı için Radyografi çekimi yapılmalıdır.
- e. Mobil X-ışını cihazları özellikle pediatrik hastalar için kullanılır.

5. Hastanın radyasyondan korunması açısından, hangi radyolojik uygulama en güvenlidir?

- a. Bilgisayarlı tomografi
- b. Manyetik rezonans görüntüleme
- c. Kemik yoğunluk ölçümü
- d. Mamografi
- e. Floroskopi