

## Bilgisayarlı Tomografi

Ayşe Gülbin Kavak<sup>1</sup>

### Özet

Bilgisayarlı Tomografi (BT), x-ışınları kullanarak vücut içyapılarının kesitsel görüntülerini elde eden ileri tıbbi görüntüleme yöntemidir. BT cihazları, yüksek enerji seviyelerindeki x-ışınlarının vücut içinden geçerken farklı doku türleri tarafından farklı oranlarda soğurulması prensibine dayanmaktadır. Bu soğurma farkları, detektörler tarafından algılanır ve dijital verilere dönüştürülerek bir bilgisayar tarafından işlenir. BT'nin bu ayrıntılı görüntüleme yeteneği, başta onkoloji, travma, kardiyovasküler hastalıklar ve nöroloji gibi alanlarda olmak üzere birçok klinik uygulamada önemli bir rol oynamaktadır. BT teknolojisi zamanla gelişerek daha hızlı ve daha yüksek çözünürlüklü tarama yapabilen cihazlar haline gelmiştir. BT'nin bir diğer önemli gelişim alanı ise yapay zeka destekli görüntüleme ve rekonstrüksiyon teknikleridir. Yapay zeka, görüntü işleme sürecinde gürültüyü azaltarak, düşük dozlu taramalarda bile yüksek çözünürlük sunabilmektedir. Bu, hem hastaların maruz kaldığı radyasyon miktarını azaltmakta hem de tanı doğruluğunu arttırmaktadır. Yapay zeka algoritmaları tümör tespiti, anomali sınıflandırması, organ segmentasyonu ve hızlı tarama gibi klinik uygulamalarda önemli katkılar sunmaktadır. Yapay zeka destekli rekonstrüksiyon teknikleri, geleneksel yöntemlerden farklı olarak iteratif algoritmalarla görüntü kalitesini optimize ederek daha hassas ve güvenilir sonuçlar sağlamaktadır.

BT kullanımındaki temel avantajlardan biri, hızlı bir şekilde geniş bir klinik yelpazede güvenilir sonuçlar vermesidir. Bununla birlikte, BT taramalarında kullanılan radyasyonun potansiyel zararları da göz önünde bulundurulmalı ve özellikle pediatrik hastalar, hamileler ve sık tekrarlayan taramalara ihtiyaç duyulan hastalar için düşük doz protokolleri uygulanmalıdır. Ultra düşük doz BT teknikleri, gelişmiş detektörler ve yapay zeka tabanlı rekonstrüksiyon algoritmaları ile mümkün hale gelmiş ve radyasyon maruziyetini önemli ölçüde azaltırken tanısal doğruluğu koruma olanağı sunmuştur.

1 Dr. Öğr. Üyesi. Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi AD, gkavak@gantep.edu.tr, Orcid: 0000-0003-1995-1642

Sonuç olarak, BT tanı, tedavi planlaması ve izleme süreçlerinde vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte BT cihazları, daha az radyasyonla daha hızlı ve yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayabilmektedir. Yapay zeka destekli yenilikler ve spektral BT gibi ileri teknikler, bu alandaki ilerlemeleri daha da hızlandırarak modern tıbbın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

## 1. GİRİŞ

Bilgisayarlı Tomografi (BT), x-ışınları kullanarak vücudun içyapılarının kesitsel görüntülerini oluşturan ileri tıbbi görüntüleme tekniğidir. BT, geleneksel röntgen yöntemlerinden farklı olarak, vücudun incelenen bölgesini çok sayıda ince kesit halinde görüntülemektedir. Bu sayede organlar, kemikler, yumuşak dokular ve kan damarları hakkında ayrıntılı bilgi verir. BT cihazından elde edilen veriler, bir bilgisayar tarafından üç boyutlu bir görsel oluşturur. Bu görseller daha ince kesitlere yeniden dönüştürülebilir. BT görüntüleme yöntemi, hastalıkların tanı ve takibinde, yaralanmaların değerlendirilmesinde ve cerrahi operasyonların planlanmasında büyük rol oynamaktadır. BT, ilk olarak 1970'lerde Sir Godfrey Hounsfield ve Allan Cormack tarafından geliştirilmiş olup, bu keşifleriyle Nobel Tıp Ödülü'ne layık görülmüşlerdir. Kısa sürede klinik kullanımda devrim niteliğinde bir yenilik olmuştur. BT yöntemi tanı süreçlerini köklü bir şekilde değiştirmiştir. Bu nedenle BT günümüzde modern tıbbın vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir (Hounsfield, 1973).

BT teknolojisi, hastaların acil durumlarda veya kronik hastalıkların takibinde hızlı ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. BT'nin temel avantajı, radyografi gibi geleneksel yöntemlerle elde edilemeyen kesitsel görüntüler sunabilmesidir; bu sayede doku farklılıkları ve patolojik yapılar daha net bir şekilde görülebilmektedir. BT'nin kullanım alanları zamanla genişlemiş olup, travma veya akut patolojileri dışında; kanser taramaları, kardiyovasküler hastalıkların değerlendirilmesi ve cerrahi planlamasında da tercih edilmeye başlanmıştır (Johnson ve ark, 2012). Günümüzde, BT teknolojisinin evrimi yapay zeka entegrasyonu, spektral görüntüleme ve düşük doz protokolleri gibi yeniliklerle hız kazanmış olup, görüntüleme kalitesini daha da artırırken, hasta güvenliğini ön planda tutmaktadır (McCullough ve ark., 2011).

## 2. BT Cihazı ve Özellikleri

BT, modern tıbbın en gelişmiş görüntüleme tekniklerinden biridir. BT'nin çalışma prensibi, vücudun kesitsel görüntülerinin yüksek doğrulukla elde edilmesini sağlar. x-ışını tüpünden çıkan radyasyon, vücut dokularında

farklı oranlarda soğurulduktan sonra geçen radyasyon, detektörler tarafından algılanarak dijital verilere dönüştürülür. Bu veriler, bilgisayar sistemleri tarafından işlenerek vücudun detaylı kesit görüntüleri oluşturulur. BT'nin geniş kullanım alanı, hastalıkların tanısı ve tedavisinde büyük önem taşır; ancak bu süreçte radyasyonun potansiyel riskleri göz önünde bulundurularak klinik kullanım dikkatli bir şekilde planlanmalıdır (Kalender, 2011; Brenner ve Hall, 2007).

BT taramaları sırasında, farklı enerji seviyelerindeki x-ışınları vücuttan geçerken dokularda farklı soğurulma özellikleri meydana gelir. Kemik gibi yoğun yapılar, x-ışınlarını yüksek oranda soğururken, yumuşak dokular ve hava daha az soğurur. Dokularda soğurulmayıp geçen ışınlar, detektörler tarafından algılanır. Bu veriler, matematiksel algoritmalar ile yeniden yapılandırılarak bilgisayarda işlenerek kesitsel görüntülere dönüştürülür. (McCollough ve ark., 2011; Johnson ve ark., 2012).

Kesit sayısı, BT cihazlarının bir tarama döngüsünde elde edebildiği enine kesit görüntülerinin sayısını ifade eder. Kesit sayısının artması, daha kısa sürede daha yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesini sağlar ve bu özellikle kalp gibi hareketli organlar için kritik önem taşır. Gelişmiş BT cihazları, çok kesitli BT sistemlerine sahiptir ve aynı anda birden fazla kesitin görüntülenmesini sağlar. Örneğin, 64 kesitli BT cihazları, her tarama döngüsünde 64 farklı kesit oluştururken, tarama süresini önemli ölçüde kısaltır ve görüntü kalitesini artırır. Çok kesitli BT, kalp ve damar sistemlerinin görüntülenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Dual enerji BT ise yüksek ve düşük voltajlı x-ışınları seviyelerinde taramalar yaparak dokular arasındaki farklılıkları daha iyi ayırt edebilir. Bu yöntem, doku bileşimlerinin ayrıştırılmasında, böbrek taşlarının bileşiminin belirlenmesinde ve vasküler yapıların değerlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan BT cihazları 16, 32, 64, 128, 256, 320 ve 512 kesitli olup, bu cihazlar modern tıpta çeşitli klinik durumların yönetiminde kritik önem taşır (Johnson ve ark., 2012; Wang ve ark., 2018).

BT cihazları, farklı üreticiler tarafından kesit sayısı, hız, çözünürlük ve klinik uygulamalardaki performanslarına göre değişiklik göstermektedir. Modern BT cihazları, özellikle acil durumlar, kardiyovasküler görüntüleme, onkoloji ve nöroloji gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kesit sayısında önemli aşamalar kaydedilmiştir. (Kalender, 2011; Brenner ve Hall, 2007).

Günümüzde, 16 ve 64 kesitli BT cihazları sıklıkla kullanılmaktadır. 16 kesitli cihazlar genellikle basit tanısal görüntüleme için kullanılırken, 64 kesitli cihazlar daha karmaşık incelemelerde yüksek çözünürlüklü

görüntüleme sağlar. Dual enerji BT cihazları, düşük doz tarama özellikleriyle kardiyovasküler görüntüleme ve onkoloji için daha uygundur. Hızlı taramalar ve düşük dozda kaliteli görüntüler sağlar. Çok yönlü bir cihaz olarak genel görüntüleme ve acil uygulamalar için kullanılır.

128 ve 256 kesitli cihazlar, daha hızlı tarama süreleri ve daha geniş alanların yüksek çözünürlükte görüntülenmesi için kullanılır. Bu cihazlar, kalp gibi dinamik organların taranmasında ve detaylı vasküler görüntülemeye avantaj sağlamaktadır. Veri toplamada süre kısaldıkça, hasta hareketi azalır ve görüntü kalitesi artar. Özellikle 256 Kesitli BT cihazları, gelişmiş 4D görüntüleme yetenekleri ve ultra hızlı tarama süreleri sunar. Koroner BT anjiyografi ve kardiyovasküler uygulamalarda çok iyi sonuçlar sağlamaktadır.

320 kesitli BT cihazları, şu anda en gelişmiş cihazlar arasında yer almakta olup, tek bir tarama döngüsünde tüm organın görüntüsü elde edilebilir. Örneğin, 320 kesitli BT tarayıcılar ile tüm kalp siklusunun birkaç saniye içinde yüksek çözünürlükte elde edilebilmesi, invaziv olmayan kardiyak değerlendirmelerinde önemli bir ilerlemedir. 320 kesitli cihazlar, yüksek çözünürlükle birlikte düşük radyasyon dozu sunma açısından da diğerlerine göre daha üstündür. Bu yüksek kesit sayısına sahip cihazlar, yalnızca görüntüleme hızını artırmakla kalmaz, aynı zamanda görüntü kalitesini de geliştirir. Özellikle üç boyutlu rekonstrüksiyonlarda ve dinamik görüntülemeye büyük avantaj sağlar (Johnson ve ark., 2012).

512 Kesitli BT Cihazları, çift tüp teknolojisine sahip ve ultra yüksek hızda görüntüleme sağlar. Bu cihazlara örnek olarak Şekil 1'de gösterilen SOMATOM Force (Siemens Healthineers, Almanya) cihazı verilebilir. 512 kesitli bu cihaz, düşük dozda yüksek çözünürlüklü görüntüler üretir ve özellikle kardiyovasküler görüntüleme ve pediatri uygulamaları için kullanılır.

Sonuç olarak, BT sistemleri, hem donanım hem de yazılım açısından büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Modern BT cihazları 16'dan başlayıp 512 kesite kadar çıkabilen farklı modellerle karşımıza çıkar. En yaygın olarak kullanılan modeller 64 ve üzeri kesitli cihazlardır. Spiral BT ve çok kesitli BT sistemleri, tarama süresini azaltarak daha geniş alanların kısa sürede ve yüksek çözünürlükte görüntülenmesine olanak tanımaktadır. Çok kesitli BT tarayıcılar, kardiyak görüntüleme gibi dinamik görüntüleme gerektiren durumlarda büyük bir avantaj sağlamaktadır (McCullough ve ark., 2011; Johnson ve ark., 2012).



*Şekil 1. SOMATOM Force BT cihazı (Siemens Healthineers, 2024)*

## 2.1. BT Çalışma Prensibi

BT'nin temel prensibi, x-ışınlarının hastanın vücuduna farklı açılardan gönderilmesi ve bu ışınların vücut içerisinden geçiş sırasında farklı dokular tarafından farklı oranlarda soğurulmasına dayanır. BT; x-ışını tüpü, detektörler, gantri, yüksek voltaj jeneratörü, hasta masası, kontrol paneli, veri işleme bilgisayar, soğutma sistemi gibi bileşenlerden oluşmaktadır (Flohr ve ark., 2006).

BT cihazı temelde x-ışını demetlerinin farklı doku türleri tarafından farklı oranlarda soğurulması ve bu bilgilerin dijital olarak işlenmesiyle kesit görüntülerinin oluşturulmasına dayanmaktadır. BT cihazının merkezinde, x-ışını tüpü ve detektörlerden oluşan bir gantri sistemi bulunur. x-ışını tüpü, anot ve katot olmak üzere iki elektrot arasında yüksek voltaj uygulanarak çalışan bir sistemden oluşmaktadır. Elektronlar katottan çıkar ve anot üzerinde yoğunlaşarak x-ışınları üretir. Üretilen bu x-ışını demeti, hastanın vücuduna doğru yönlendirilir. x-ışını demeti genellikle fan şeklinde veya koni şeklinde geniş bir alana dağılır. x-ışını demeti, hastanın vücudu etrafında dönerken farklı açılardan geçerek, vücutta bulunan dokular tarafından farklı oranlarda soğurur. Örneğin, kemik dokusu gibi yüksek yoğunluklu yapılar x-ışınlarını daha fazla soğururken, yumuşak dokular daha az soğurur. Havanın bulunduğu akciğer gibi boşluklar ise x-ışınlarını hemen hemen hiç soğurmaz. Bu farklı soğurma oranları, vücuttan geçen x-ışınlarının enerjisinin farklı bölgelerde azalmasına neden olur. Bu değişiklikler detektörler tarafından algılanır (Kalender, 2011).

x-ışını demeti, hastanın vücudu etrafında dönerken farklı açılardan geçer ve vücuttaki dokular tarafından farklı oranlarda soğurulur. Gantri dönerken, karşı tarafta yer alan çok sayıda detektör, x-ışını demetinin vücuttan geçtikten sonra geriye kalan kısmını algılar. Bu detektörler, x-ışınlarının yoğunluğunu kaydederek, bu bilgiyi elektrik sinyallerine dönüştürür. Bu sinyaller, hastanın vücudunun farklı kesitlerinden elde edilen verilerden oluşmaktadır. Detektörlerin topladığı bu veriler, analog sinyallerden dijital sinyallere dönüştürülerek bilgisayara aktarılır. Bilgisayar, her bir tarama açısında elde edilen bu dijital verileri bir araya getirerek bir algoritma yardımıyla kesitsel görüntüler oluşturur. Bu sürece rekonstrüksiyon denilmektedir (Johnson ve ark., 2012). Rekonstrüksiyon sürecinde genel olarak geri projeksiyon veya filtrelenmiş geri projeksiyon algoritması kullanılmaktadır.

## 2.2. Rekonstrüksiyon İşlemi

Rekonstrüksiyon işlemi, BT cihazlarında cihazın topladığı ham verilerin işlenip klinik olarak kullanılabilir kesitsel görüntülere dönüştürülme sürecidir. Bu süreç, gelişmiş matematiksel algoritmalar ile gerçekleştirilir. Bu algoritmalar, x-ışını demetinin geçtiği tüm açılardan alınan verileri kullanarak, vücuttaki her bir noktanın x-ışınlarını ne kadar soğurduğunu hesaplamaktadır. Hesaplanan değerden, vücudun iç yapısının her bir kesitinin görüntüsü oluşturulur. BT teknolojisinin ilerlemesiyle birlikte, rekonstrüksiyon işlemleri daha düşük radyasyon dozlarıyla birlikte daha hızlı ve daha hassas yapılabilmektedir. x-ışını tüpü, hastanın vücudu etrafında dönerken çeşitli açılardan gönderdiği x-ışınlarının detektörler tarafından algılanmasıyla ham veriler toplanır. Bu veriler, vücudun farklı bölgelerinden geçen x-ışınlarının yoğunluğu ve enerjisinin ölçülmesini içerir. Her detektör, x-ışınlarının soğrulma miktarını kaydeder ve bu bilgiyi elektrik sinyallerine dönüştürerek bilgisayara gönderir. Bu ham veriler, rekonstrüksiyon işlemi için temel veri setini oluşturur (Johnson ve ark., 2012).

Geleneksel BT sistemlerinde en yaygın kullanılan rekonstrüksiyon algoritması filtrelenmiş geri projeksiyondur. Bu yöntem, x-ışını detektörlerinden toplanan verileri matematiksel olarak işleyerek filtrelenmiş geri projeksiyonda her detektörden elde edilen ham veriler geri projeksiyon işlemiyle birleştirilerek bir kesitin görüntüsü oluşturulur. Ancak, bu yöntem saf haliyle bulanıklığa neden olabilir. Ham verilerdeki gürültüyü ve bulanıklığı gidermek için filtrelenmiş geri projeksiyon daha yaygın kullanılmaktadır. Bu filtreleme işlemi, yüksek frekanslı verileri vurgularken, düşük frekanslı gürültüyü azaltır. Sonuçta, birleştirilen projeksiyon verileri net ve keskin bir kesitsel görüntü haline gelir. Filtrelenmiş geri projeksiyon, nispeten hızlı ve etkili bir yöntem olmasına rağmen, daha yeni yöntemlerle karşılaştırıldığında

yüksek dozlu taramalarda belirli sınırlamalara sahip olabilir. Bu nedenle son yıllarda, iteratif rekonstrüksiyon teknikleri modern BT cihazlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Kalender, 2011; Johnson ve ark., 2012).

### 2.2.1. İteratif Rekonstrüksiyon

Bu yöntem, filtrelenmiş geri projeksiyona göre daha gelişmiş bir tekniktir ve özellikle düşük dozlu taramalarda görüntü kalitesini artırmada oldukça etkilidir. Daha sonra, bu görüntü ham veri ile karşılaştırılarak aradaki fark hesaplanır. Bu fark, hata olarak değerlendirilir. Algoritma, bu görüntüyü düzelterek ham veriyle uyumlu hale getirmeye çalışır. Bu işlem, birkaç iterasyon boyunca devam eder. Her iterasyonda görüntü daha doğru hale gelir. Sonuçta, iteratif rekonstrüksiyon görüntü kalitesini iyileştirir ve gürültüyü azaltır. Özellikle düşük dozlu taramalarda etkili olur ve hasta için radyasyon maruziyetini azaltır. İteratif rekonstrüksiyon, daha fazla hesaplama gücü gerektirmesine rağmen, son yıllarda artan bilgisayar işlem kapasiteleri sayesinde yaygın olarak kullanılabilir hale gelmiştir. Bu yöntem, daha düşük radyasyon dozu ile yüksek kaliteli görüntüler üretmeye olanak tanır (Flohr ve ark., 2006).

### 2.2.2. Model Tabanlı İteratif Rekonstrüksiyon

Model tabanlı iteratif rekonstrüksiyon (MBIR), iteratif rekonstrüksiyonun bir ileri aşamasıdır. Bu teknik, yalnızca detektör verilerini değil, aynı zamanda x-ışını fiziğini, hasta hareketlerini, detektör yanıtlarını ve diğer sistem parametrelerini de hesaba katarak daha doğru bir model oluşturur. MBIR, görüntüdeki detayları korurken gürültüyü en aza indirmek için bu fiziksel modelleri iteratif algoritmalarla birleştirir. MBIR, özellikle çok düşük radyasyon dozlarıyla yapılan taramalarda en yüksek kaliteyi sağlama kapasitesine sahiptir. Bu yöntem, düşük kontrastlı veya çok küçük lezyonları görüntüleme ve ayrıca karmaşık doku yapılarını ayırt etmede çok daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlar. MBIR hesaplama açısından oldukça yoğun olduğu için işleme süresi diğerlerine göre daha uzun olabilir. Son teknoloji BT cihazlarında bu tür algoritmalar genellikle yüksek işlem gücü ile desteklenir, bu da süreci hızlandırır (Johnson ve ark., 2012).

### 2.2.3. Spektral ve Dual-Enerji BT

Spektral ve dual-enerji BT, modern tıpta farklı dokuları daha iyi ayırt edebilmek, kontrastı optimize etmek ve radyasyon dozunu azaltmak amacıyla geliştirilmiş ileri teknolojik yöntemlerdir. Dual enerji BT, farklı enerji seviyelerinde yapılan taramaların birleştirilmesini içeren bir tekniktir. Bu teknik, x-ışınlarının farklı enerji seviyelerini kullanarak, çeşitli

doku tiplerinin farklı soğurma özelliklerini tespit ederek görüntüleme sürecini iyileştirir. Dual-enerji BT, x-ışını tüpünün iki farklı enerjisinin kullanılmasıyla elde edilen projeksiyon verilerinin işlenmesi sistemine dayanır. Her iki enerji seviyesi de vücut dokuları tarafından farklı oranlarda soğurulur ve bu farklı soğurma oranları, dokuların kimyasal bileşimine dair bilgi sağlar. Bu yöntem, farklı enerji spektrumlarının kullanılmasıyla dokuların bileşenlerine göre ayrıştırılmasını sağlar. Örneğin, kalsiyum, iyot veya diğer kontrast maddeler, farklı enerji seviyelerinde farklı şekilde davranır ve bu da onları görüntüde daha iyi ayırt etmeyi sağlar. Ayrıca, böbrek taşlarının kimyasal bileşiminin analiz edilmesinde de kullanılabilir. Kardiyovasküler hastalıklarda, plak bileşimini analiz etmek ve stent gibi metalik implantları daha iyi görüntülemek için de etkili bir çözümdür (Johnson ve ark., 2012).

Spektral BT, dual-enerji BT'nin daha gelişmiş bir versiyonu olarak kabul edilir. Spektral BT'de, x-ışını detektörleri, farklı enerji seviyelerinde x-ışınlarını algılayabilir ve bu verileri, farklı enerji spektrumlarına göre işleyebilir. Spektral BT, daha geniş bir enerji aralığını kapsar. Bu sayede doku türlerini daha kesin bir şekilde ayırt edebilir. Bu teknik, dokuların farklı enerji seviyelerinde nasıl davrandığını ölçerek birden fazla spektral görüntü oluşturur. Bu görüntüler, daha ayrıntılı doku analizi sağlayarak belirli doku bileşenlerinin daha iyi görselleştirilmesine yardımcı olur. Tümörlerin bileşimini analiz etmek, iyotun dağılımını görmek ve kalsifiye yapıları daha doğru bir şekilde tanımlamak için etkili bir yöntemdir. Spektral BT, bu özellikleriyle onkolojik uygulamalar için daha uygundur. Ayrıca, böbrek taşlarının türlerini belirlemek, yağlı dokuları ve kemik dokusunu diğer dokulardan ayırt etmek için de kullanılabilir. Spektral BT, görüntüdeki iyot kontrastının etkilerini hesaplayarak kontrastlı ve kontrastsız görüntülerin tek bir taramada elde edilmesini sağlar. Bu, özellikle kontrast maddeye karşı hassasiyeti olan hastalar için daha faydalıdır (Silva ve ark., 2011).

Sonuç olarak, spektral ve dual-enerji BT, tümörlerin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesine olanak tanır. Farklı enerji seviyelerindeki soğurma farklılıkları, tümör dokusunu sağlıklı dokudan daha kolay ayırt etmeyi sağlar. Dual-enerji BT, damar yapılarını ve kalsifiye plakları daha iyi görüntüler. Ayrıca, iyotlu kontrast madde kullanılırsa, damar ve doku arasındaki farklar belirginleşir. Spektral BT, böbrek taşlarının kimyasal bileşimini analiz ederek hastaya uygun tedavi planlaması yapılmasını sağlar. Gut hastalığında ise eklem çevresindeki urat kristallerinin tespiti için kullanılır (Silva ve ark., 2011).



### 2.3. Yapay Zeka ve BT

Yapay Zeka, modern tıbbın birçok alanında olduğu gibi, BT alanında da devrim yaratmaktadır. Yapay zeka algoritmaları, BT görüntülerinin işlenmesinde, yorumlanmasında, radyasyon dozunun azaltılmasında ve klinik doğruluğun artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır (Wang ve ark., 2018).

Yapay zeka teknolojisinin temelleri, özellikle derin öğrenme ve makine öğrenmesi tekniklerine dayanmaktadır. Derin öğrenme, büyük veri kümelerinden örüntüler ve ilişkiler çıkararak karmaşık karar verme süreçlerini destekleyen yapay sinir ağlarına dayalı bir öğrenme yöntemidir. BT görüntüleme alanında derin öğrenme algoritmaları, yüz binlerce BT taraması üzerinde eğitilerek, anormallikleri otomatik olarak tespit edebilir, sınıflandırabilir ve klinik kararları destekleyebilir (Li ve ark., 2024).

BT'de yapay zeka kullanımı, özellikle rekonstrüksiyon süreçlerinde önemli bir gelişim göstermiştir. Geleneksel rekonstrüksiyon algoritmaları, örneğin Filtrelenmiş Geri Projeksiyon ve İteratif Rekonstrüksiyon, görüntü kalitesi ile işlem hızı arasında bir denge kurmaya çalışırken, yapay zeka bu dengeyi daha etkin bir şekilde sağlayabilir. Yapay zeka tabanlı algoritmalar, düşük doz BT taramalarında bile yüksek çözünürlüklü görüntüler üretebilir, bu da klinik doğruluğu artırırken radyasyon maruziyetini azaltabilir (Wang ve ark., 2018).

#### 2.3.1. Yapay Zeka Destekli Rekonstrüksiyon

Geleneksel rekonstrüksiyon algoritmaları, ham verilerden BT kesitsel görüntüleri oluşturmak için matematiksel modeller kullanır. Ancak, bu algoritmalar düşük dozda elde edilen verilerde sınırlı performans gösterebilir. Yapay zeka tabanlı rekonstrüksiyon algoritmaları, bu sorunu aşmak için verilerden öğrenerek daha düşük radyasyon dozlarıyla daha yüksek kaliteli görüntüler sunabilir. Yapay zeka, gürültüyü azaltırken detaylı ve yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesine olanak tanır (Wang ve ark., 2018).

Derin öğrenme tabanlı rekonstrüksiyon yöntemleri, düşük dozlu taramalarda yapısal bilgiyi korurken gürültüyü filtreleyerek iteratif rekonstrüksiyonlardan daha iyi sonuçlar verebilir. Bu yöntem, radyasyonun azaltıldığı taramalarda dahi klinik olarak kullanılabilir görüntüler elde edilmesini sağlar (Baker, 2023).

### 2.3.2. Yapay Zeka ve Klinik Uygulamalar

Yapay Zeka, BT'nin birçok farklı klinik uygulamasında kullanılır. Örneğin:

1. **Otomatik Anomali Tespiti:** Yapay zeka, BT taramalarında anormallikleri, tümörleri, kan pıhtılarını ve lezyonları tespit edebilir. Bu süreç, genellikle eğitilmiş yapay zeka modelleriyle çalışır ve uzmanlara bulguların otomatik raporlarını sunar. Bu, teşhis hızını ve doğruluğunu artırır (McKinney ve ark., 2020).
2. **Tümör Sınıflandırması ve Segmentasyonu:** Yapay zeka, kanserli dokuları sağlıklı dokulardan ayırt ederek tümörlerin segmentasyonunu yapabilir. Derin öğrenme modelleri, tümörlerin büyüklüğünü, şeklini ve yayılımını hızlı bir şekilde tespit edebilir (Wang ve ark., 2018).
3. **Düşük Doz BT:** Yapay zeka, düşük dozda gerçekleştirilen BT taramalarında görüntü kalitesini korumak için kullanılır. Yapay zeka, düşük doz verilerdeki gürültüyü azaltabilir ve sonuçları klinik olarak yeterli düzeye getirebilir (Wang ve ark., 2018).
4. **Hızlı Görüntüleme:** Yapay zeka, tarama sürelerini kısaltabilir. Bu sayede daha hızlı sonuçlar alınmasını sağlar. Bu, özellikle yoğun klinik ortamlar ve acil durumlar için oldukça fayda sağlamaktadır (Chaudhury & Gao, 2021).

### 2.3.3. Yapay Zeka ve Dual Enerji BT

Yapay zeka, dual enerji BT ve spektral BT gibi ileri görüntüleme tekniklerinde de kullanılır. Yapay zeka, farklı enerji seviyelerinden gelen verileri analiz ederek, doku bileşenlerini ve malzeme türlerini daha iyi ayırt edebilir. Bu, özellikle tümörlerin ve damar hastalıklarının daha doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlar. Dual enerji BT ile yapay zeka kombinasyonu, hem düşük radyasyon dozlarını koruma hem de daha kapsamlı bilgi sağlama açısından klinik sonuçları iyileştirir (Wang ve ark., 2018).

Yapay zeka, birçok avantaj sunmasına rağmen bazı sınırlamalar da taşımaktadır. Yapay zeka algoritmalarının başarılı olabilmesi için büyük miktarda yüksek kaliteli veri gerekir. Farklı hasta gruplarının ve tarama cihazlarının çeşitliliği, yapay zeka sistemlerinin genel performansını etkileyebilir. Bu nedenle, veri setlerinin genişlemesi ve çeşitliliğin artması gereklidir. Yapay zeka algoritmalarının çoğu, "kara kutu" olarak kabul edilir; yani, algoritmaların nasıl bir sonuca ulaştığı tam olarak anlaşılabilir. Bu nedenle sonuçlar bir uzman tarafından iyi değerlendirilmelidir (Wang ve ark., 2018).

Yapay zeka algoritmalarının güvenilirliği ve doğruluğu, regülasyon süreçleri tarafından titizlikle değerlendirilmelidir. Yapay zeka tabanlı sistemlerin klinik olarak kullanılabilir hale gelmesi için sıkı düzenlemeler ve güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir. Yapay zeka destekli BT'nin geleceği, daha sofistike algoritmaların geliştirilmesiyle şekillenecektir. Özellikle daha hızlı ve daha verimli rekonstrüksiyon algoritmaları, daha düşük radyasyon dozlarıyla daha yüksek doğruluk sağlayacaktır. Derin öğrenme tabanlı modeller, özellikle düşük kontrastlı veya küçük lezyonların daha iyi tespit edilmesine yardımcı olacaktır. Gelecekte, yapay zeka sistemlerinin tedavi planlamasında ve hasta yönetiminde daha fazla rol oynayacağı öngörülmektedir (McKinney ve ark., 2020).

Sonuç olarak, yapay zeka, BT teknolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve klinik doğruluğu artırırken radyasyon maruziyetini azaltmaya yardımcı olur. Yapay zeka tabanlı algoritmalar, hem rekonstrüksiyon süreçlerinde hem de klinik karar destek sistemlerinde değerli bir araç haline gelmiştir. Ancak, Yapay zeka'nın sağlık hizmetlerinde tam potansiyeline ulaşabilmesi için veri kalitesi, regülasyonlar ve yorumlanabilirlik gibi zorlukların aşılması gerekmektedir (Wang ve ark., 2018).

#### 2.4. Ultra-Düşük Doz BT

BT, hastalıkların teşhis ve takibinde son derece etkili bir görüntüleme yöntemi olduğu bilinmektedir. Ancak, BT taramalarında kullanılan iyonize radyasyon, kanser riski de dahil olmak üzere potansiyel sağlık risklerine yol açabilir. Bu risk, özellikle pediatrik hastalar ve sık tekrarlayan taramalara maruz kalan hastalar için oldukça endişe vericidir. Son yıllarda, teknolojideki ilerlemeler, ultra-düşük doz BT'nin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Ultra-düşük doz BT, radyasyon dozunu önemli ölçüde azaltırken, tanısal doğruluğu ve görüntü kalitesini korumayı amaçlar (Kalra ve ark., 2004).

Ultra-düşük doz BT, standart BT taramalarında kullanılan radyasyon dozunun çok altında çalışır. Geleneksel BT taramaları, taranan vücut bölgesine bağlı olarak 2 ila 10 mSv radyasyon dozu uygulayabilirken, ultra-düşük doz BT taramaları bu miktarı 1 mSv'nin altına düşürebilir. Pediatrik hastalarda veya taramaların sık tekrarlanması gereken onkoloji hastalarında bu düşük doz yaklaşımı, maruz kalınan toplam radyasyon miktarını önemli ölçüde azaltarak güvenlik açısından avantaj sağlar. Ultra-düşük doz BT, gelişmiş detektörler, düşük doz protokolleri, iteratif rekonstrüksiyon algoritmaları ve yapay zeka destekli görüntüleme teknikleri sayesinde mümkün hale gelmiştir (Li ve ark., 2024).

Ultra-düşük doz BT'nin temelleri, bir dizi teknolojik yeniliğe dayanmaktadır:

1. **Gelişmiş Detektör Teknolojisi:** Yeni nesil BT cihazları, x-ışını detektörlerinin hassasiyetini artırarak daha düşük dozlarla çalışabilmektedir. Bu detektörler, düşük enerji seviyelerinde bile yüksek hassasiyetle çalışarak görüntü kalitesini korur. Ayrıca, dual enerji detektörleri gibi özel detektörler, farklı enerji spektrumlarından gelen verileri işleyerek, düşük dozlarla bile yeterli kontrast elde edilmesine olanak tanır (Hsieh ve ark., 2013).
2. **Düşük Doz Protokolleri:** Ultra-düşük doz BT taramaları, optimize edilmiş tarama parametreleri kullanılarak gerçekleştirilir. x-ışını tüp akımı (mA) ve voltajı (kV) mümkün olduğunca düşük seviyelerde tutulur. Ancak bu düşük değerler, geleneksel taramalara kıyasla daha yüksek gürültü ve düşük sinyal oranlarına neden olabilmektedir. Bu durumda ileri rekonstrüksiyon algoritmaları devreye girmektedir (Zhang ve ark., 2022).
3. **İteratif Rekonstrüksiyon Algoritmaları:** İteratif rekonstrüksiyon, ultra-düşük doz BT'nin en kritik bileşenlerinden biridir. Bu algoritmalar, başlangıçta kaba bir görüntü oluşturur ve ardından bu görüntüyü iyileştirmek için ardışık iterasyonlarla gürültüyü azaltır. Geleneksel filtrelenmiş geri projeksiyon yöntemine kıyasla iteratif rekonstrüksiyon, gürültüye karşı daha dayanıklıdır. Düşük dozlu taramalarda bile yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayabilir. Model tabanlı iteratif rekonstrüksiyon gibi daha gelişmiş iteratif algoritmalar, fiziksel modellemeleri dikkate alarak gürültüyü daha etkin bir şekilde azaltır (Gordic, 2014).
4. **Yapay Zeka ve Derin Öğrenme Algoritmaları:** Yapay zeka, tabanlı rekonstrüksiyon algoritmaları, ultra-düşük doz BT'de özellikle son dönemde önemli bir rol oynamaktadır. Yapay zeka, daha önceki tarama verilerinden öğrenerek gürültüyü azaltarak, görüntü kalitesini artırabilir. Derin öğrenme algoritmaları, düşük dozlu verilerdeki gürültüyü filtreleyerek, çok daha az radyasyonla alınan taramalardan bile net görüntüler elde edilmesini sağlar (Wang ve ark., 2018).

#### 2.4.1 Klinik Uygulamalar

Akciğer kanseri taramaları, yüksek çözünürlüklü BT'nin yaygın bir kullanım alanıdır. Ancak, radyasyon dozu özellikle sigara içmeyenler ve düşük riskli hastalar için endişe yaratabilir. Ultra-düşük doz BT, bu hastalar için güvenli bir alternatif sunar. Ayrıca, pulmoner nodüllerin takibinde,

kontrastlı taramalara ihtiyaç duymadan düşük radyasyon dozlarıyla yüksek kaliteli görüntüler sağlanabilir (De Koning ve ark., 2020).

Pediyatrik Görüntüleme yöntemlerinde çocuklar, radyasyona karşı daha duyarlı olduklarından düşük dozlu BT taramaları özellikle önemlidir. Pediyatrik hastalarda tekrarlayan BT taramalarının riskini azaltmak için ultra-düşük doz teknikleri kullanılmaktadır. Örneğin, kraniofasiyal anomalilerin, omurga eğriliklerinin ve akciğer enfeksiyonlarının takibinde ultra-düşük doz BT kullanılır (Brady ve ark., 2014).

Kemik ve Eklem Görüntüleme yöntemi, osteoporoz ve diğer kemik hastalıklarının değerlendirilmesinde ultra-düşük doz BT kullanılarak kullanılabilir. Eklem kırıldak hasarları, kemik erozyonları ve kırıkların değerlendirilmesinde daha az radyasyonla tanı konulmasını sağlar (Gordic, 2014).

Onkolojik hastalar, tanı sonrası sıklıkla taramalara tabi tutulur. Ultra-düşük doz BT, tekrarlayan taramalarda radyasyon maruziyetini azaltarak kanser hastalarının uzun vadeli izlenmesinde güvenli bir yol sunar (Zhang ve ark., 2022).

#### 2.4.2 Rekonstrüksiyon Yöntemleri

Ultra-düşük doz BT'de kullanılan rekonstrüksiyon algoritmaları, görüntü kalitesinin korunmasında kritik bir rol oynar. İteratif rekonstrüksiyon ve yapay zeka tabanlı algoritmalar, düşük dozla çalışan sistemlerde yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilmesini sağlar. Özellikle düşük kontrastlı lezyonların görüntülenmesinde ve gürültünün azaltılmasında bu algoritmaların başarısı, ultra-düşük doz BT'nin klinik kullanımını açısından büyük önem taşır (Hsieh ve ark., 2013).

Sonuç olarak Ultra-düşük doz BT, radyasyon maruziyetini minimize ederken tanısal doğruluğu koruma hedefiyle geliştirilen bir teknolojidir. Gelişmiş detektörler, düşük doz protokolleri, iteratif rekonstrüksiyon ve yapay zeka tabanlı algoritmalar, bu teknolojinin başarısında kilit rol oynamaktadır. Bu yöntemler, özellikle pediyatrik hastalar, onkoloji hastaları ve göğüs taramaları gibi alanlarda güvenli bir seçenek sunar. Gelecekteki ilerlemeler, ultra-düşük doz BT'yi daha yaygın ve erişilebilir hale getirecek ve radyasyon riskini daha da azaltacaktır. Ultra-düşük doz BT'nin geleceği, daha hızlı ve daha verimli yapay zeka tabanlı rekonstrüksiyon algoritmaları ile şekillenmektedir. Gelecekte, bu algoritmaların daha da gelişmesiyle, ultra-düşük doz taramaların radyasyon seviyeleri neredeyse röntgen seviyelerine kadar indirilebilirken, görüntü kalitesi korunabilir. Ayrıca, yeni detektör

teknolojileri ve yüksek hassasiyetli sensörler, daha az radyasyonla bile daha net ve doğru görüntüler sağlamayı mümkün kılabilir (Li ve ark., 2024).

## **2.5 BT Kullanım Alanları**

Travma ve acil durumlarda BT, hayati bir tanı aracı olarak kullanılır. Özellikle kafa travmaları, batin içi yaralanmalar ve vertebral kırıkları gibi acil müdahale gerektiren durumlarda, BT'nin sunduğu hızlı ve net görüntüler sayesinde cerrahi müdahaleye gerek olup olmadığının belirlenmesi mümkündür. BT, aynı zamanda çoklu travma hastalarının yönetiminde de önemli bir role sahiptir. Hızlı çekim süreleri ve yüksek çözünürlük kapasiteleri, travmatik yaralanmaların hızla tespit edilmesini sağlayarak hastanın acil tedavi planını yönlendirir. Travma merkezlerinde yaygın olarak kullanılan tam vücut BT taramaları, gizli kanamalar ve kırıkların hızla tespit edilmesine olanak tanır ve böylece cerrahi müdahale gerektiren durumlarda zaman kazandırır (Stiell ve ark., 2001).

Onkolojide BT kullanımı, solid tümörlerin tanısı, evrelemesi ve tedaviye yanıtın izlenmesi açısından çok önemli bir görüntüleme yöntemidir. Yüksek çözünürlüklü kesitsel görüntüler sayesinde tümör boyutu, yayılımı ve metastazlar detaylı bir şekilde değerlendirilebilir. Akciğer kanseri gibi bazı kanser türlerinde BT, tümörün yayılma derecesini belirlemede ve cerrahi kararların alınmasında kritik bir rol oynar. Ayrıca, radyoterapi planlaması ve tedavi sonrası izleminde de BT, tümörün tedaviye yanıtını değerlendirmek için sıkça kullanılır (Brenner ve Hall, 2007).

BT, kardiyovasküler hastalıkların tanı ve tedavisinde, özellikle sanal anjiyografi yönteminde önemli bir role sahiptir. Koroner arter hastalığının non-invaziv olarak değerlendirilmesine olanak tanıyan BT anjiyografi, invaziv anjiyografiye alternatif olarak güvenilir bir görüntüleme seçeneği sunmaktadır. Damarların tıkanıklık oranları, kalsifikasyon seviyeleri ve aterosklerotik plaklar detaylı bir şekilde görüntülenebilir, bu da klinisyenlere daha doğru tedavi planları yapma olanağı sağlar. Ayrıca, BT anjiyografi, cerrahi müdahaleye ihtiyaç duyulmadan koroner arterlerdeki tıkanıklıkları hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit edebilir (Budoff ve ark., 2008).

## **2.6 Radyasyon Güvenliği**

Radyasyon güvenliği, iyonlaştırıcı radyasyonun insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla alınan önlemleri ve uygulamaları kapsayan bir bilim dalıdır. İyonlaştırıcı radyasyon, canlı dokularda moleküler hasara neden olabilir, bu da DNA mutasyonlarına, hücre ölümü veya kanser gibi uzun vadeli sağlık risklerine yol açabilir (Brenner ve Hall, 2007). Bu

nedence, tıbbi uygulamalarda kullanılan radyasyonun mümkün olan en düşük düzeyde tutulması ve güvenli sınırlar içinde kalınması önemlidir. Özellikle BT gibi tıbbi görüntüleme yöntemlerinde, radyasyon maruziyeti doğrudan hasta ve sağlık çalışanları için risk oluşturabilir. Radyasyon güvenliği ilkeleri hem hastaların hem de çalışanların korunmasını amaçlamaktadır. (Smith ve ark., 2012).

BT, yüksek çözünürlüklü kesitsel görüntüler sağlayan bir görüntüleme yöntemidir. Ancak BT, diğer radyolojik yöntemlere kıyasla daha yüksek dozlarda iyonlaştırıcı radyasyon kullanır. Bu da radyasyon maruziyeti açısından özel önlemler alınmasını gerektirir (Brenner ve Hall, 2007). BT'nin klinik avantajlarına rağmen, hastaların gereksiz yere yüksek dozlara maruz kalmasını engellemek için radyasyon güvenliği uygulamalarının ön planda tutulması gerekir. Özellikle pediatrik hastalar ve tekrarlı tarama gerektiren hastalar gibi yüksek riskli gruplar için radyasyon güvenliği daha önemlidir (McCullough ve ark., 2011).

### **2.6.1 BT'de Radyasyon Maruziyetinde Dikkat Edilmesi Gereken Faktörler**

BT'de radyasyon güvenliğini sağlamak için dikkat edilmesi gereken temel faktörler bulunmaktadır. BT sırasında hastanın aldığı radyasyon dozu, görüntü kalitesinin yanı sıra maruziyetin minimize edilmesi açısından optimize edilmelidir. Gelişmiş BT cihazları kullanılarak, düşük doz protokolleriyle daha az radyasyonla yeterli görüntü kalitesi sağlanabilir. Bu, özellikle rutin tarama gerektiren hastalar ve pediatrik vakalar için hayati öneme sahiptir (Kalender, 2011).

Bazı klinik durumlarda hastalar, tekrarlayan BT taramaları için yönlendirilebilir. Özellikle kanser takibi ve akut durumların izlenmesi gibi durumlarda, hastalar birden fazla taramaya maruz kalabilir. Tekrarlayan taramalarda radyasyon dozunun kümülatif etkisi göz önüne alınmalı ve her taramada kullanılan radyasyon miktarı en düşük düzeyde tutulmalıdır (Mettler ve ark., 2009).

Modern BT cihazlarında kullanılan teknolojiler, doz optimizasyonu sağlamak için bir dizi araç sunar. Örneğin, otomatik tüp akımı modülasyonu ve otomatik maruziyet kontrolü gibi teknolojiler, vücut bölgesine ve tarama ihtiyaçlarına göre doz ayarlaması yaparak radyasyonun azaltılmasına yardımcı olur (Kalender, 2011).

### 2.6.2. Radyasyon Güvenliğinde Alınacak Önlemler: BT Uygulamaları için Öneriler

BT uygulamalarında radyasyon güvenliği hem hasta hem de sağlık çalışanları için hayati bir öneme sahiptir. Yüksek çözünürlüklü kesitsel görüntüler sağlama kabiliyetiyle BT, özellikle tanısal süreçlerde vazgeçilmez bir araçtır. Ancak bu teknoloji, diğer görüntüleme yöntemlerine kıyasla daha yüksek dozda iyonlaştırıcı radyasyon kullanmaktadır. Bu nedenle, BT'de radyasyon maruziyetini en aza indirmek için çeşitli güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bu önlemler, Makul Olan En Düşük Düzeyde (As Low As Radiation Achievable-ALARA) doz prensibi doğrultusunda uygulanır. ALARA prensibi, radyasyon güvenliğinde temel bir ilke olup, klinik olarak gerekli olan en düşük dozda radyasyona maruz kalmayı hedefler (Mettler ve ark., 2009).

BT teknolojilerindeki gelişmeler, radyasyon maruziyetini azaltmak için etkili araçlar sunmaktadır. Günümüzde birçok BT tarayıcısında, düşük doz protokolleri ve yapay zeka destekli görüntü işleme teknolojileri kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, daha az radyasyonla yüksek kaliteli görüntüler elde etmeyi mümkün kılar. Yapay zeka destekli algoritmalar, düşük dozlarda çekilen görüntülerin gürültüsünü azaltarak tanısal değeri yüksek, net görüntüler oluşturabilir. Özellikle pediatrik ve hassas hastalar için bu teknolojiler, önemli bir koruma sağlar (Wang ve ark., 2018).

Ayrıca, otomatik tüp akımı modülasyonu gibi teknikler, radyasyonun vücut bölgesine göre optimize edilmesini sağlar. Örneğin, daha az yoğun olan bölgelerde düşük radyasyon dozları kullanılırken, yoğun dokular için daha yüksek dozlar kullanılabilir. Bu teknoloji, gereksiz radyasyon maruziyetini engeller ve hasta güvenliğini artırır (Kalender, 2011).

Radyasyon güvenliğinde en temel prensip olan ALARA, hem hastaların hem de sağlık çalışanlarının korunması açısından büyük önem taşır. Bu prensip doğrultusunda, radyasyona maruz kalma, klinik gereklilikler göz önüne alınarak mümkün olan en düşük düzeyde tutulmalıdır. Bu yaklaşım, yalnızca BT uygulamalarında değil, tüm iyonlaştırıcı radyasyon kullanılan tıbbi prosedürlerde geçerlidir. ALARA prensibi, hem hasta hem de toplum sağlığı açısından radyasyona bağlı riskleri en aza indirmeyi amaçlar ve bu doğrultuda teknik ve prosedürel geliştirmeleri teşvik eder (Mettler ve ark., 2009).

BT uygulamalarında dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli nokta, tarama alanının yalnızca gerekli olan anatomik bölgeleri kapsamaması gerektiğidir. Gereksiz bölgelere maruz bırakılan radyasyon hem hastanın



dozunu artırır hem de radyasyonun yan etkilerini çoğaltır. Bu nedenle, BT taramaları yapılırken, tarama alanı doğru şekilde sınırlanmalı ve yalnızca klinik olarak gereken bölgeler görüntülenmelidir (McCollough ve ark., 2011). Özellikle geniş alan taramaları gerektiren durumlarda, hastanın genel maruziyetinin azaltılması amacıyla hedeflenmiş taramalar tercih edilmelidir.

BT taramaları sırasında, hastanın radyasyona maruz kalmaması gereken bölgelerine kurşun koruyucular yerleştirilmesi önemli bir güvenlik önlemidir. Kurşun koruyucular, radyasyonun tiroid, üreme organları gibi radyasyona duyarlı bölgeleri etkilemesini engeller. Bu tip koruyucu önlemler, özellikle pediatrik hastalar ve hamile kadınlar gibi radyasyona karşı daha hassas gruplar için kritik bir rol oynamaktadır (Brenner ve Hall, 2007).

Radyasyon güvenliği, yalnızca hastalar için değil, aynı zamanda BT uygulamalarında çalışan sağlık personeli için de geçerlidir. Sağlık çalışanları, özellikle radyasyon yayılımının yoğun olduğu ortamda bulunmaları nedeniyle, maruziyet riskine sahiptirler. Bu nedenle, koruyucu ekipman kullanımı ve radyasyon alanlarından uzak durma stratejileri, sağlık çalışanlarının korunmasında önemli bir rol oynar (McCollough ve ark., 2011). Ayrıca, personelin kişisel dozimetreler kullanarak düzenli olarak maruziyet seviyelerinin takip edilmesi gerekmektedir.

Radyasyon güvenliği, modern tıbbın gelişimiyle birlikte giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle BT gibi yüksek dozda radyasyon kullanılan görüntüleme yöntemlerinde, güvenlik uygulamaları hem hasta hem de toplum sağlığı açısından hayati öneme sahiptir. Düşük doz protokolleri ve yapay zeka destekli teknolojiler, gelecekte radyasyon maruziyetinin daha da azaltılmasına olanak sağlayacaktır (Wang ve ark., 2018). Yapay zeka destekli doz optimizasyonu, her bir hastanın bireysel ihtiyaçlarına göre dozları daha da hassas bir şekilde ayarlayabilir ve böylece hem hastalar hem de sağlık çalışanları için güvenliği artırabilir.

Ayrıca, yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve radyasyonsuz alternatif görüntüleme yöntemlerinin yaygınlaşması, özellikle pediatrik ve tekrarlayan taramalara ihtiyaç duyan hastalar için güvenliği artırabilir. Bununla birlikte, mevcut teknolojilerin daha etkili kullanımı ve personelin düzenli eğitimi, radyasyon güvenliğinin gelecekte de etkin bir şekilde sağlanmasında kilit rol oynayacaktır (Mettler ve ark., 2009).

## 2.7 Radyoterapi BT Kullanımı

Radyoterapi, kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, tümörleri hedef almak ve çevresindeki sağlıklı dokulara minimum zarar vererek, yüksek enerjili radyasyon kullanır. BT, radyoterapi tedavi

planlamasında büyük bir rol oynamaktadır. BT, tümörün koordinatlarını ve şeklini tanımlamak, radyasyon tedavisinin doğruluğunu ve etkinliğini artırmak için kullanılır. Bu bağlamda, simülatör BT, 4D BT ve görüntü kılavuzluğunda radyoterapi (IGRT) gibi yöntemler radyoterapi sürecinin ayrılmaz parçaları haline gelmiştir.

BT'nin radyoterapideki temel kullanım amacı, tedavi planlamasını desteklemek ve radyasyonun hedef bölgeye hassas bir şekilde uygulanmasını sağlamaktır. BT, tümörün boyutu, şekli, yeri ve çevresindeki kritik yapıların ayrıntılı görüntülerini sağladığı için, tedavi planının doğruluğunu ve etkinliğini artırır (Nien ve ark., 2022). Radyoterapi planlaması sırasında BT, hastanın anatomisini üç boyutlu olarak görselleştirir ve doz dağılımının optimize edilmesine yardımcı olur.

BT, özellikle tümörün çevresindeki kritik organların korunması gereken baş ve boyun kanserleri, akciğer kanserleri, prostat kanseri gibi hastalıklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Radyasyonun doğru bir şekilde hedeflenmesi, sağlıklı dokuların zarar görmemesi açısından son derece önemlidir ve BT bu doğruluğu sağlamada kritik bir rol oynar (Decker ve ark., 2008).

### **2.7.1 Simülatör BT**

Simülatör BT, radyoterapi planlamasının başlangıç aşamasında gerçekleştirilen kritik bir süreçtir. Tedavi simülasyonu, tümörün ve çevresindeki yapıların kesin yerleşimini belirlemek ve tedavi alanlarını planlamak amacıyla yapılır. Simülatör BT cihazının, Radyolojideki BT cihazından farklı olarak hasta masasının, tedavi masası ile aynı geometride olması gerekir. Simülatör BT cihazında hasta, tedavi sırasında alacağı pozisyonda yerleştirilir ve tedavi için gerekli olan tüm veriler BT aracılığıyla elde edilir (Zoeteliefa ve ark., 2006).

Simülatör BT kesitsel görüntüler, genellikle radyoterapiye başlamadan önce elde edilir. Hasta, tarama masasına yerleştirilir ve radyoterapi sırasında alacağı pozisyona uygun olarak maske, akciğer yatağı, ayak sabitleyici, vakumlu yatak gibi immobilizasyon cihazları kullanılarak sabitlenir. Ardından hastaya tedavi pozisyonu verilir. Tedavi planlamasında ihtiyaç duyulan kesitlere uygun bir tarama alanı (Field of View- FOV) belirlenir. Simülatör BT cihazında, çekim protokollere göre, hastanın kesitsel BT taraması yapılır ve bu taramalardan elde edilen görüntüler, tedavi planlama sistemine aktarılır. Tedavi planı, bu görüntüler üzerinden oluşturulur, böylece tedavide kullanılacak iyonize radyasyonun tam olarak hangi bölgeye uygulanacağı net bir şekilde belirlenmiş olur. Bu süreçte immobilizasyon, doğru hasta pozisyonu ve görüntü kalitesine dikkat etmek gereklidir. Hasta

hareketleri tedavi sürecini olumsuz etkileyebilir. Bu yüzden simülasyon sırasında hastanın uygun bir şekilde sabitlenmesi (immobilizasyon), hayati önem taşımaktadır. Hastanın tedavi sırasında aynı pozisyonda kalmasını sağlamak, tedavinin doğruluğunu etkileyen kritik bir faktördür. Simülatör BT sırasında elde edilen görüntülerin kalitesi, tedavi planının doğruluğunu etkiler. Bu nedenle yüksek çözünürlüklü görüntüleme önemlidir (Zoeteliefa ve ark., 2006).

### 2.7.2 Dört Boyutlu BT (4D BT)

Dört boyutlu BT (4D BT), solunum hareketlerinin radyoterapi planlaması üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurarak akciğer veya karaciğer tümörleri gibi hareketli hedeflerin doğru bir şekilde tedavi edilmesini sağlayan bir tekniktir. Solunumla hareket eden organlar, tümörlerin konumunu tedavi süresince değiştirebilir, bu nedenle tedavi sırasında bu hareketlerin izlenmesi gereklidir. 4D BT, hastanın nefes alma döngüsünü izler ve bu döngü sırasında çoklu BT görüntüleri alır. Bu sayede tümörün solunum hareketi sırasında nasıl yer değiştirdiği gözlemlenir. Bu hareketler tedavi planına entegre edilir (Keall ve ark., 2006). Akciğer tümörleri solunum nedeniyle tedavi süresince yer değiştirdiğinden, akciğer kanseri tedavi planlamasında 4D BT kullanılır. Hastanın solunum hareketlerinin doğru bir şekilde takip edilmesi gereklidir. Hastaya solunum takibi sırasında yardımcı olabilecek teknikler ve cihazlar kullanılabilir. Solunum döngüsünün belirli anlarında doğru zamanlanmış görüntüler alınması, tümör hareketini doğru bir şekilde yakalamak için önemlidir. 4D BT ile elde edilen veriler tedavi planına doğru bir şekilde entegre edilmelidir. Solunum döngüsüne göre ayarlanmış bir radyoterapi planı, tümörün her aşamada doğru şekilde hedeflenmesini sağlar (Zhang ve ark., 2008).

### 2.7.3 Görüntü Kılavuzluğunda Radyoterapi (IGRT)

Görüntü kılavuzluğunda radyoterapi (IGRT), radyoterapi sırasında tümörün konumunu doğrulamak ve tedavi boyunca hedefe hassasiyetle radyasyon uygulanmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir tekniktir. IGRT, tedavi sırasında sürekli olarak görüntüleme yaparak tümörün hareketini izler ve tedaviyi bu hareketlere göre ayarlar (Jaffray ve Siewerdsen, 2000). Özellikle solunum hareketlerine duyarlı tümörlerde, tümörün yer değiştirme olasılığı yüksek olduğu için IGRT son derece önemlidir. IGRT, tedavi esnasında hasta üzerinde gerçek zamanlı görüntüleme yaparak tümörün o anki pozisyonunu izler. Radyoterapi cihazları bu görüntüleme yöntemleriyle entegre bir şekilde çalışarak tümörün yerleşimine göre tedaviyi ayarlar. Bu yöntem, özellikle baş ve boyun tümörleri, prostat kanseri ve solunumla hareket eden tümörlerde kullanılır (Yan ve ark., 2005).

BT'nin radyoterapi planlamasında ve uygulanmasında kullanımı, tedavi doğruluğunu büyük ölçüde arttırmıştır. Simülatör BT, tümörün yerinin doğru şekilde belirlenmesine olanak tanırken, 4D BT, hareketli organlarda tümörlerin doğru bir şekilde hedeflenmesini sağlar. Görüntü kılavuzluğunda radyoterapi (IGRT), tedavi sırasında tümörün sürekli olarak izlenmesine olanak tanıyarak radyasyonun hedefleme hassasiyetini artırır. Bu teknolojilerin bir arada kullanımı, kanser tedavisinde daha etkili sonuçlar elde edilmesine katkı sağlayarak hasta güvenliğini artırır.

Sonuç olarak, BT, modern tıpta vücudun içyapılarının detaylı ve doğru bir şekilde görüntülenmesinde vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Yüksek çözünürlükte kesitsel görüntüler sağlaması; onkoloji, kardiyovasküler hastalıklar, travma ve nöroloji gibi birçok alanda tanı ve tedavi planlamasında devrim niteliğinde bir ilerleme sağlamıştır. BT teknolojisinin sürekli gelişimi, çok kesitli BT sistemleri ve yapay zeka destekli rekonstrüksiyon algoritmaları ile görüntü kalitesi ve tanısal doğruluk önemli ölçüde artarken, radyasyon maruziyeti de azaltılmıştır.

Yapay zeka ile desteklenen BT görüntüleme, gürültüyü en aza indirerek düşük dozlarda bile yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesini sağlamış ve klinik karar süreçlerinde daha hassas sonuçlar sunmuştur. Bu yenilikler, BT'nin klinik uygulama alanlarını genişleterek daha güvenli ve verimli hale getirmiştir. Yeni gelişen teknolojiler özellikle pediatrik ve onkoloji hastalarında büyük avantajlar sunmaktadır.

Ayrıca, ultra-düşük doz BT teknikleri ve yapay zeka tabanlı rekonstrüksiyon algoritmalarındaki gelişmeler, radyasyon risklerini minimize ederek güvenliği arttırmıştır. Gelecekte yapay zeka destekli algoritmaların ve spektral BT gibi ileri teknolojilerin daha da gelişmesiyle, BT'nin tanı, tedavi ve izlem süreçlerinde rolü daha da önemli hale gelecektir. Bu gelişmeler, BT'nin modern tıbbın vazgeçilmez bir parçası olarak konumunu daha da güçlendirecektir.

## Kaynaklar

- Baker, S., & Xiang, W. (2023). Artificial intelligence of things for smarter healthcare: A survey of advancements, challenges, and opportunities. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25(2), 1261-1293.
- Brady, S. L., Moore, B. M., Yee, B. S., & Kaufman, R. A. (2014). Pediatric CT: Implementation of ASIR for substantial radiation dose reduction while maintaining diagnostic image quality. *Radiology*, 270(1), 223-231.
- Brenner, D. J., & Hall, E. J. (2007). Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *New England Journal of Medicine*, 357(22), 2277-2284.
- Budoff, M. J., Dowe, D., Jollis, J. G., Gitter, M., Sutherland, J., Halamert, E., & Gopal, A. (2008). Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 52(21), 1724-1732.
- De Koning, H. J., van der Aalst, C. M., de Jong, P. A., Scholten, E. T., Nackaerts, K., & Heuvelmans, M. A. (2020). Reduced lung-cancer mortality with volume CT screening in a randomized trial. *The New England Journal of Medicine*, 382(6), 503-513.
- Decker, R. H., & Wilson, L. D. (2008). Advances in radiotherapy for lung cancer. In *Seminars in respiratory and critical care medicine* (Vol. 29, No. 03, pp. 285-290). © Thieme Medical Publishers.
- Flohr, T. G., McCollough, C. H., Bruder, H., Petersilka, M., Gruber, K., Süß, C., & Kalender, W. A. (2006). First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *European Radiology*, 16(2), 256-268.
- Gordic, S., Desbiolles, L., Stolzmann, P., Gantner, L., Leschka, S., Husarik, D. B., & Alkadhi, H. (2014). Advanced modelled iterative reconstruction for abdominal CT: qualitative and quantitative evaluation. *Clinical radiology*, 69(12), e497-e504.
- Hounsfield, G. N. (1973). Computed medical imaging. *Science*, 182(4107), 1027-1032.
- Hsieh, J., Nett, B., Yu, Z., Sauer, K., Thibault, J. B., & Bouman, C. A. (2013). Recent advances in CT image reconstruction: Iterative reconstruction beyond analytical algorithms. *IEEE Signal Processing Magazine*, 30(1), 20-29.
- Jaffray, D. A., ve Siewerdsen, J. H. (2000). Cone-beam computed tomography with a flat-panel imager: Initial performance characterization. *Medical Physics*, 27(6), 1311-1323.
- Johnson, T. R. C. (2012). Dual-energy CT: General principles. *AJR American Journal of Roentgenology*, 199(5 Suppl), S3-S8.

- Kalender, W. A. (2011). *Computed tomography: Fundamentals, system technology, image quality, applications* (3rd ed.). Publicis Publishing.
- Kalra, M. K., Maher, M. M., Toth, T. L., Schmidt, B., Westerman, B. L., Morgan, H. T., & Saini, S. (2004). Techniques and applications of automatic tube current modulation for CT. *Radiology*, 233(3), 649-657.
- Keall, P. J., Mageras, G. S., Balter, J. M., Emery, R. S., Forster, K. M., Jiang, S. B., ... & Vedam, S. S. (2006). The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76. *Medical Physics*, 33(10), 3874-3900.
- Li, X., Zhang, L., Yang, J., & Teng, F. (2024). Role of Artificial Intelligence in Medical Image Analysis: A Review of Current Trends and Future Directions. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 1-13.
- McCollough, C. H., Leng, S., Yu, L., Cody, D. D., Boone, J. M., & McNitt-Gray, M. F. (2011). CT dose index and patient dose: they are not the same thing. *Radiology*, 259(2), 311-316.
- McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafian, H., ... & Shetty, S. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, 577(7788), 89-94.
- Mettler Jr, F. A., Bhargavan, M., Faulkner, K., Gilley, D. B., Gray, J. E., Ibbott, G. S., ... & Yoshizumi, T. T. (2009). Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources—1950–2007. *Radiology*, 253(2), 520-531.
- Nien, H. H., Wang, L. Y., Liao, L. J., Lin, P. Y., Wu, C. Y., Shueng, P. W., ... & Hsieh, C. H. (2022). Advances in image-guided radiotherapy in the treatment of oral cavity cancer. *Cancers*, 14(19), 4630.
- Siemens Healthineers. (2024). SOMATOM Force. Siemens Healthineers. <https://www.siemens-healthineers.com/tr/computed-tomography/dual-source-ct/somatom-force>
- Silva, A. C., Morse, B. G., Hara, A. K., Paden, R. G., Hongo, N., & Pavlicek, W. (2011). Dual-energy (spectral) CT: applications in abdominal imaging. *Radiographics*, 31(4), 1031-1046.
- Smith-Bindman, R., Miglioretti, D. L., Johnson, E., Lee, C., Feigelson, H. S., Flynn, M., ... & Williams, A. E. (2012). Use of diagnostic imaging studies and associated radiation exposure for patients enrolled in large integrated health care systems, 1996-2010. *Jama*, 307(22), 2400-2409.
- Stiell, I. G., et al. (2001). The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *JAMA*, 286(15), 1841-1848.
- Wang, G., Ye, J. C., Mueller, K., & Fessler, J. A. (2018). Image reconstruction is a new frontier of machine learning. *IEEE transactions on medical imaging*, 37(6), 1289-1296.

- Yan, D., Lockman, D., Martinez, A., Wong, J., Brabbins, D., Vicini, F., ... & Kestin, L. (2005, July). Computed tomography guided management of interfractional patient variation. In *Seminars in radiation oncology* (Vol. 15, No. 3, pp. 168-179). WB Saunders.
- Zhang, X., Guerrero, T. M., McGuire, S. E., Yaremko, B., Komaki, R., Cox, J. D., ... & Liao, Z. (2008). Four-dimensional computed tomography-based treatment planning for intensity-modulated radiation therapy and proton therapy for distal esophageal cancer. *International Journal of Radiation Oncology\* Biology\* Physics*, 72(1), 278-287.
- Zhang, M., Gu, S., & Shi, Y. (2022). The use of deep learning methods in low-dose computed tomography image reconstruction: a systematic review. *Complex & intelligent systems*, 8(6), 5545-5561.
- Zoeteliefa, J., & Wambersieb, A. (2006). Recent activities of the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) on medical applications of ionizing radiation. *Book of Extended Synopses*, 392.