

# Pozitron Emisyon Tomografisinde Yaygın Olarak Kullanılan Radyofarmasötikler ve Klinik Endikasyonları

Halime Erzen Yıldız<sup>1</sup>

## Özet

Nükleer tıp, diyagnostik ve tedavi amacıyla radyoaktif ilaçların (radyofarmasötikler) uygulanmasını içeren ve karmaşık yapısıyla benzersiz uzmanlık alanıdır. Tıpta klinik uygulamalar arasında yer alan nükleer tıp, sintigrafik görüntüleme yöntemleri ile birçok hastalığın değerlendirilmesinde noninvaziv olarak kullanılmaktadır. Radyofarmasötikler, belirli tipte nükleer radyasyon ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) yayan radyoaktif elementler (radyonüklidler) ve radyoaktiviteyi hedef organa taşıyan biyolojik taşıyıcı molekülden oluşmaktadır. PET/CT görüntüleme özellikle kanser olgularında klinik tanı, tedavi planlanması, evreleme ve takipte kullanılan, tümör fonksiyonunun ve anatomisinin birlikte elde edilebildiği moleküler bir görüntüleme yöntemidir. Nükleer Tıp görüntüleme yöntemleri içerisinde en gelişmiş PET'dir ve bu yöntemde pozitron kaynağı radyonüklidler ile hazırlanmış radyofarmasötikler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, özellikle onkoloji, kardiyoloji ve nöroloji alanlarında kullanılan PET radyofarmasötikleri ve klinik endikasyonları hakkında genel bilgiler verilmesi hedeflenmiştir. PET uygulamalarında hedefe yönelik radyonüklidler veya radyonüklidler ile birleştirilen farmasötiklerin kullanımı, tutulum-atılım mekanizmaları ve kullanım dozlarına göre hastaya bir miktar radyasyon verirler. PET radyofarmasötikleri radyasyon güvenliği sağlanmış tam otomatik sentez ünitelerinde etkin ve güvenilir bir şekilde hazırlanırken personelin gereksiz radyasyon maruziyeti de önlenmektedir.

1 Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu  
Orcid No:0000-0002-0603-1815

## 1. Giriş

Nükleer tıp, diyagnostik ve tedavi amacıyla radyoaktif ilaçların (radyofarmasötikler) uygulanmasını içeren ve karmaşık yapısıyla benzersiz uzmanlık alanıdır. Tıpta klinik uygulamalar arasında yer alan nükleer tıp, sintigrafik görüntüleme yöntemleri ile birçok hastalığın değerlendirilmesinde noninvaziv olarak kullanılmaktadır (Sağır vd., 2011). Radyofarmasötikler, belirli tipte nükleer radyasyon ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) yayan radyoaktif elementler (radyonüklidler) ve radyoaktiviteyi hedef organa taşıyan biyolojik taşıyıcı molekülden oluşmaktadır (Mukiza vd., 2018). Nükleer tıpta ilk olarak tanı ve tedavide  $^{131}\text{I}$  (İyot) radyonüklidin kullanılması, 1980-1990 yıllarında  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (Teknesyum) bazlı görüntüleme ajanları ve ardından 2000'den sonra  $^{18}\text{F}$ 'in Pozitron Emisyon Tomografisi (PET)'ndeki kullanımı gerçekleşmiştir.  $^{18}\text{F}$  (Flor),  $^{11}\text{C}$  (Karbon),  $^{68}\text{Ga}$  (Galyum),  $^{64}\text{Cu}$  (Bakır) vb. gibi radyonüklidlerin PET'de kullanılması ve PET/CT'nin 2001'de ortaya çıkması ile nükleer tıpta önemli bir dönüm noktası yaşanmıştır (Ramamoorthy, 2018). Nükleer tıbbın çalışma prensibi; vücuda verilen radyoaktif bileşenin yaydığı gama radyasyonu deteksiyonunun kamera ile bir görüntüye dönüştürülmesi ilkesine dayanır. Nükleer tıp teknikleri arasında Tek Foton Emisyonlu Bilgisayarlı Tomografi (SPECT), Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) ve PET-bilgisayarlı tomografi (PET-CT), mikro-PET (ultra yüksek çözünürlüklü) ve mikrobilgisayarlı aksenal tomografi mikro-CAT yer almaktadır (Payolla vd., 2019).

Gelişmiş ülkelerde her 50 kişiden biri nükleer tıp tedavisi görmektedir. Nükleer tıp sayesinde tiroid, kemikler, kalp, karaciğer, böbrek ve daha birçok organ morfolojik ve fizyolojik olarak rahatlıkla görülebilmekte ve anormallikler tespit edilebilmektedir. Böylelikle nükleer tıpta elde edilen bilgiler hızlı teşhis için kullanılmaktadır. Dünya çapında yaklaşık 10.000 hastanede radyonüklidler kullanılıyor ve prosedürlerin yaklaşık %90'ı teşhis amaçlıdır. Teşhiste en çok kullanılan radyonüklid  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 'dir.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  kısa yarı ömrü ( $t_{1/2}=6.02\text{h}$ ) ve uygun enerjisi (140keV) gibi avantajlı özelliklerinden dolayı dünya çapında tanısal görüntüleme prosedürlerinin %80'inde kullanılmaktadır (Payolla vd., 2019).

Tanısal görüntüleme ve terapötik nükleer tıpta uygulanacak radyofarmasötüğün seçimi tipik olarak radyofarmasötüğün bulunabilirliğe, yan etkilere, farmakokinetik ve farmakodinamik özelliklerine bağlıdır. Bununla beraber radyofarmasötüğün nükleer özellikleri, bozunum şekli, yarılanma ömrü, enerjisi ve dokuya nüfuz etme yeteneği de dikkate alınır. Nükleer tıpta terapötik uygulanan radyonüklidler, gama ( $\gamma$ ) elektromanyetik radyasyonu ve beta ( $\beta$ ) gibi parçacık radyasyonudur. Beta parçacıklarının,

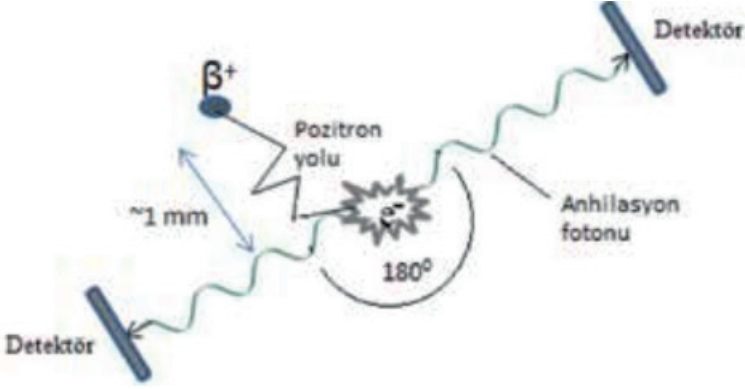
birim mesafe başına iyonizasyon yeteneği düşüktür. Bu nedenle  $\beta$  kaynaklı radyofarmasötikler ( $^{131}\text{I}$  gibi) yakın tedavi için uygundur. Gama radyasyonunun iyonizasyon yeteneği yüksektir ve kısa bir aralıkta bile meydana getirdiği hücrel hasar fazladır. Gama radyasyonu, görüntüleme, biyolojik dağılım ya da absorbe edilen radyasyon dozu incelemelerinde  $\gamma$  kameralar (Anger kamera) tarafından tespit edilir. Örneğin  $^{186}\text{Re}$  (Renyum) ve  $^{188}\text{Re}$  radyonüklidleri  $\gamma$  ve  $\beta$  yayan ajanlardır ve nükleer tıpta terapötik olarak uygulanır.  $^{186}\text{Re}$ , 90.64 saatlik yarı ömre, 1.07 MeV enerjili  $\beta$  ve 137 keV enerjili  $\gamma$  radyasyonuna sahip olduğundan dolayı hedeflenen organın (malign ve benign tümörler) uzun süreli terapötik tedavisinin sağlanmasında avantajlıdır (Mukiza vd., 2018). Nükleer tıpta kullanılan radyofarmasötikler hastaya intravenöz (IV) enjeksiyon, oral alım, inhalasyon, doğrudan enjeksiyon veya ilgili organa damlatma yoluyla uygulanır.

PET/CT görüntüleme özellikle kanser olgularında klinik tanı, tedavi planlanması, evreleme ve takipte kullanılan, tümör fonksiyonunun ve anatomisinin birlikte elde edilebildiği moleküler bir görüntüleme yöntemidir (Kısaarslan, 2022). Nükleer Tıp görüntüleme yöntemleri içerisinde en gelişmiş PET'dir ve bu yöntemde pozitron kaynağı radyonüklidler ile hazırlanmış radyofarmasötikler kullanılmaktadır.

Mevcut çalışma ile, özellikle onkoloji, kardiyoloji ve nöroloji alanlarında kullanılan PET radyofarmasötikleri ve klinik endikasyonları hakkında genel bilgiler verilmesi hedeflenmiştir.

## 2. Pozitron Emisyon Tomografisi (PET)

İnsan vücudundaki doku ve organ fonksiyonlarının radyofarmasötik kullanılarak incelenmesi ve değerlendirilmesi için kullanılan bir görüntüleme tekniğidir. PET görüntüleme, vücut dokularındaki bir pozitron ile bir elektron arasındaki etkileşim sonucunda oluşan gama ışını çiftini tespit eder. Elektron ve pozitron birbirini nötralize ederek zıt yönlerde ve aralarında  $180^\circ$  olacak şekilde anihilasyon fotonu üretir (Şekil 1). PET kamera, gama ışınlarının açığa çıkardığı enerjiyi sintilasyon kristalleri ile dönüştüren elektronik sinyali algılar.  $^{18}\text{F}$ , PET için en çok tercih edilen özelliklere sahiptir (Demir, 2015; Payolla vd., 2019).



Şekil 1 Anhilasyon fotonlarının oluşumu

PET düşük uzaysal çözünürlüğe sahipken bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MR) büyük uzaysal etkiye sahiptir. BT ve MR yüksek çözünürlüklü ve vücudun iç organlarının ayrıntılı bir şekilde görüntülenmesini sağlayan bir süreç olduğundan PET/CT ve PET/MR tarayıcılarının geliştirilmesiyle birlikte mükemmel uzaysal çözünürlüğe sahip morfolojik ve fizyolojik görüntüler elde edilmiştir (Calabria vd., 2020). Metabolik ve morfolojik verilerin eş zamanlı değerlendirilmesi, ayrı ayrı gerçekleştirilen her iki yöntemin etkisinden daha üstün bir genel tanısal etkiye sahiptir. Tüm vücut florodeoksiglukoz (FDG) PET/MR görüntüleme ile hastaların maruz kaldıkları radyasyon dozunun PET/BT'ye göre yaklaşık %80 oranında azaldığı kanıtlanmıştır. Ek tanısal işlemlere ve tekrarlayan görüntülemelere bağlı kümülatif radyasyon dozunu azaltmak için özellikle pediatrik hastalarda PET/BT yerine PET/MR tercih edilmelidir. Hem PET hem de MR görüntülemeye ihtiyaç duyulan klinik durumlarda bu iki görüntülemenin tek seansta ve eş zamanlı olarak yapılabilmesi, toplam görüntüleme süresinin kılmasını, sedasyona ve ek tanısal görüntülemelere duyulan ihtiyacın azalmasını sağladığından birleşik PET/MR sistemlerini üstün kılar (Akdemir ve Karabacak, 2017).

## 2.1. Radyoterapi Planlanması için PET

Radyoterapi öncesi kontrastlı BT ya da MR'ın kullanıldığı radyasyon onkolojisinde radyoterapi uygulanmadan önce hedef volümlerin uygun şekilde seçilmesi ve tanımlanması son derece önemlidir. PET görüntülemenin asıl avantajı, tümörlerin metabolik olarak aktif kısmını tanımlama, PET/CT ve entegre PET/MR radyoterapi alanının seçimini ve kapsamını geliştirme olanağının sağlanmasıdır. Örneğin, akciğer kanserinde tümör ile atelektazi arasındaki doğru hedef ayrımı, PET ve CT görüntülemenin eş zamanlı

kullanılmasıyla başarılıdır. Daha önce yayınlanan birçok makale, özofagus kanseri, baş ve boyun karsinomu ve anal tümörlerde radyoterapi planlaması için PET/BT'nin kullanılmasını önermektedir (Calabria vd., 2020).

## 2.2. Tümör Nüksünün Tespitinde PET

$^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT'nin önemli bir özelliği, glukoz metabolizmasının yüksek olduğu tüm tümörlerde nüksleri tespit edebilmesidir.  $^{18}\text{F}$ -FDG'nin moleküler özellikleri sayesinde lokal nüksün erken tanısı, lenf nodu lezyonlarının veya kemik metastazlarının optimal bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlar. Bu özellik klinisyenlere erken dönemde en iyi tedavi yaklaşımını planlamalarına yardımcı olabilir.

## 2.3. Miyokardiyal Canlılık

İskemik bir olay sonrası ventriküler fonksiyon bozukluğu olan hastaların tedavisinde Miyokard canlılığının değerlendirilmesi önemlidir. PET veri değerleri hastaların cerrahi mi yoksa tıbbi tedavi mi alması gerektiğine karar vermede yardımcı olabilir. PET verilerini değerlendirmenin temel taşı miyokard perfüzyonudur.

## 2.4. Tüm Vücut PET/BT

Kafatasının tepesinden uylukların üst kısmına kadar,  $^{18}\text{F}$ -FDG uygulamasını takiben 60 dakika (300–400 MBq) PET çekim yapılır. Fonksiyonel bulguların anatomik lokalizasyonu için düşük doz BT, hastaların radyasyon maruziyetini azaltmak için de yeterlidir. Standart tüm vücut görüntülemeye, örneğin geç taramada mesanenin üriner ve idrar aktivitesinden kaçınmak gibi özel bir bulgu sağlamak için dinamik bir segmental PET taraması eklenebilir.

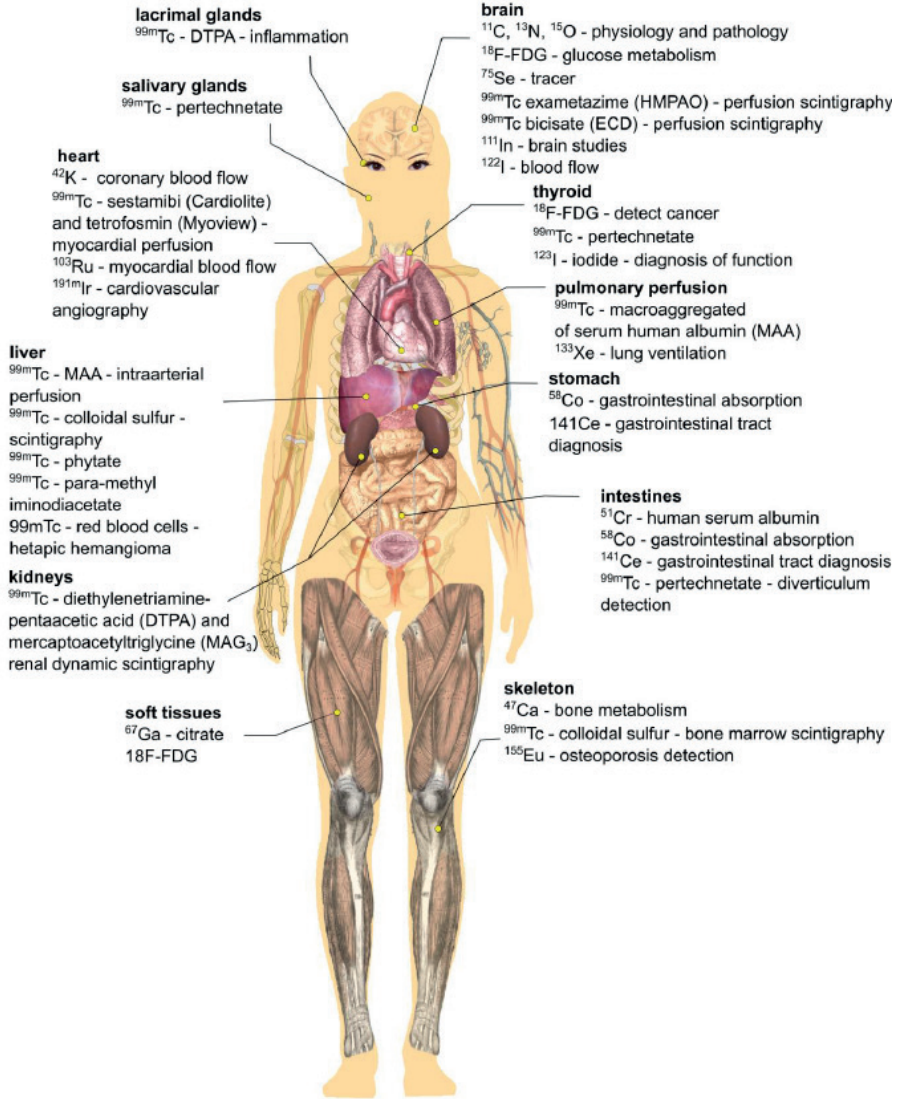
## 2.5. Beyin PET/BT

Beynin spesifik, tek yatak pozisyonunda elde edilmesi PET görüntüleme için tercih edilen yöntemdir. Atenüasyonun (akı yoğunluğu kaybı) düzeltilmesi ve anatomik referans için hastanın başının tarayıcı görüş alanının merkezinde olduğu düşük dozda beyin BT gereklidir. Daha sonra, radyofarmasötik uygulamasını ( $\approx 180$  MBq) 45-60 dakika takip eden 10 dakikalık bir PET, fonksiyonel görüntüleme için yeterlidir. Ensefalik yapıların daha iyi tasvir edilmesi ve beyin metastazlarının tespiti için kontrast maddeli ek beyin BT takip edilebilmektedir.

### 3. Radyofarmasötik ve Üretimi

Nükleer tıpta, radyofarmasötikler tanısal görüntüleme ve başta kanser olmak üzere patolojik durumların tedavisinde kullanılır. Tanı yönteminde radyofarmasötikler, böbrek, akciğer, tiroid ve kalp fonksiyonları, kemik metabolizması ve kan dolaşımı gibi çeşitli organların incelenmesinde uygulanır (Payolla vd., 2019).

Radyofarmasötikler iki bileşenden oluşur: İlki radyonüklid'den oluşan radyoaktif bileşen, ikincisi biyolojik olarak aktif bir molekül, ilaç veya hücre (örneğin, bir radyonüklid ile etiketlenmiş kırmızı ve beyaz kan hücreleri) gibi davranan ve radyonüklidi ilgili bir organa taşıyan biyobileşen'dir. Görüntülemede ideal radyofarmasötik için bazı özellikler gereklidir: radyonüklidin bozunum enerjisi PET için 511 keV ve Gama kameraları için 100-200 keV olmalıdır; yarılanma ömrü yalnızca birkaç saat olmalıdır; radyonüklidler aynı elementin diğer radyonüklidleri tarafından kontamine olmamalı ve spesifik aktiviteye sahip olmalıdır; radyofarmasötik toksik olmamalı, anında kullanıma hazır ve kolay ulaşılabilir olmalı, hedef organa hızlı ve doğru bir şekilde ulaşmalıdır. Nükleer tıpta kullanılan radyofarmasötikler ve hedef organ Şekil 2'de gösterilmiştir (Payolla vd., 2019).



Şekil 2. Nükleer tıpta kullanılan radyofarmasötikler ve hedef organ

Radyofarmasötiklerin çoğu intravenöz (IV) olarak uygulanır, fakat bunun yanında oral olarak (örneğin  $^{131}\text{I}$ ) uygulananlar da vardır. Radyofarmasötiklerin olası kontaminasyon riski vardır ve hızlı bozunumlarından dolayı efektif yarı ömürleri kısadır. Bu nedenle radyofarmasötiklerin uygulanmadan hemen önce hazırlanması gerekmektedir. Radyofarmasötiklerin hazırlanması ve kullanımı, hem operatör hem de hastanın korunması açısından yüksek güvenlik koşulları ve uzmanlık alanı gerektirir (Calabria vd., 2020).

#### 4. PET Radyofarmasötikleri ve Klinik Endikasyonları

Nükleer tıpta kullanılan radyonüklidler, nötron bombardımanı veya nükleer fisyon yoluyla yapay olarak elde edilir. Nükleer reaktörler ve siklotronlar bu amaç için kullanılmaktadır. Genellikle nötrondan zengin radyoizotoplar ve nükleer fisyon ürünleri reaktörlerde, nötrondan fakir radyoizotoplar ise siklotronlarda üretilir. Yaygın kullanılan PET radyonüklidleri ile ilgili genel özellikler Tablo 1' de verilmiştir (Kısaarslan, 2022; Ocak, 2015).

*Tablo 1. Yaygın olarak kullanılan PET radyonüklidleri, üretim şekli ve kullanım alanı*

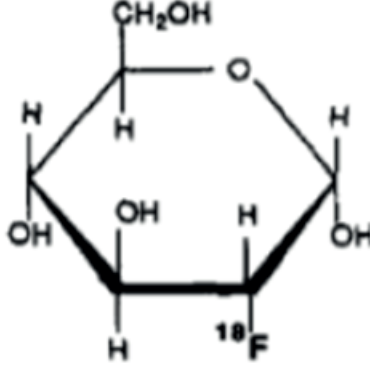
Radyonüklid	Yarı Ömrü ( $T_{1/2}$ )	Maksimum Enerjisi (keV)	Üretim Şekli	Kullanım Alanı
$^{18}\text{F}$	110dk	635	$^{18}\text{O}$ (p, n) $^{18}\text{F}$ Siklotron	Miyokard canlılığın değerlendirilmesi Epilepsi Alzheimer Parkinson Kanser
$^{11}\text{C}$	20.3dk	960	$^{14}\text{N}$ (p, $\alpha$ ) $^{11}\text{C}$ Siklotron	Miyokard Metabolizmasının değerlendirilmesi Hipoksi
$^{13}\text{N}$	9.97dk	1198	$^{16}\text{O}$ (p, $\alpha$ ) $^{13}\text{N}$ Siklotron	Miyokard Perfüzyon
$^{15}\text{O}$	2.1dk	1723	$^{14}\text{N}$ (d, n) $^{15}\text{O}$ Siklotron	Miyokard Perfüzyon İnme
$^{64}\text{Cu}$	12.8saat	653	$^{64}\text{Ni}$ (p, n) $^{64}\text{Cu}$ Siklotron	Hipoksi
$^{68}\text{Ga}$	68dk	1899	$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ Jeneratör	
$^{82}\text{Rb}$	1.3dk	3150	$^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Pb}$ Jeneratör	Miyokard Perfüzyon

##### 4.1. $^{18}\text{F}$ -FDG (Florodeoksiglukoz)

Kesin tanı konmuş kanser veya kanser şüphesi olan vakalarda, lezyonların benign ya da malign ayırıcı tanısında, kanser evrelemesinde, tedaviye yanıtın takibinde, rekürrens hastalığın erken dönemde tespitinde kullanılması



endikedir. Yapısal formülü  $C_6H_{11}O_5$  F18 ve gama enerjisi 511 keV'dir (Şekil 3). Yarılanma ömrü 109.8 dk ve etkin doz eşdeğeri ( $D_{\text{etkin}}$ ) 0.019mSv/MBq'dir (Titck, 2019).



Şekil 3.  $^{18}\text{F}$ -FDG (Kısaarslan, 2022)

$^{18}\text{F}$ -FDG'nin fizyolojik dağılımı, glukoz metabolizması yüksek olan organ veya dokularla ilgilidir. Sağlıklı hücelere göre tümör hücelerinde glukoz metabolizması artmış olarak görülür.  $^{18}\text{F}$ -FDG'nin tümör görüntüleme temeli de buraya dayanır. Tümör hücelerindeki artan glikoliz reaksiyonları, hem glukoz transport proteinlerinin (özellikle GLUT1) hem de intraselüler heksokinaz enzim düzeylerinin artmasına neden olmaktadır.  $^{18}\text{F}$ -FDG, glukoz gibi GLUT1 ile tümör hücresi içine alındıktan sonra heksokinaz enzimi ile fosforile edilir ve  $^{18}\text{F}$ -FDG-6P formuna dönüştürülür. Kandan yeni  $^{18}\text{F}$ -FDG geldiği miktarda  $^{18}\text{F}$ -FDG-6P, tümör hücresinde artarak birikmeye başlar.  $^{18}\text{F}$ -FDG-6P'nin tümör hücresinden çıkabilmesinin tek yolu fosforilaz enzimleri ile  $^{18}\text{F}$ -FDG'ye dönüşüp hücre dışına taşınmasıdır. Fakat, bunu sağlayan glukoz-6-fosforilaz enzimi dokularda çok az sayıda olduğundan geri dönüşüm çok az miktarda olur.  $^{18}\text{F}$ -FDG-6P beyin, kalp ve tümör dokusu gibi aktif glikoliz gösteren dokularda glikoliz hızına bağlı olarak birikmeye devam eder. Bu olaya "metabolik kapan" da denir (Kısaarslan, 2022).

$^{18}\text{F}$ -FDG'nin malign tümörlerin tedavisindeki rolünün ötesinde, beyin normal yapılarında da yüksek oranda fizyolojik dağılım sunar, bu nedenle beyin tümörlerinin görüntülenmesinde kullanılmaz (Calabria vd., 2020).

#### 4.2. $^{18}\text{F}$ -DOPA (Florodihidroksifenilalanin)

$^{18}\text{F}$ -DOPA, PET/CT uygulamasında nöroendokrin tümörler (NET) ve beyin tümörlerinin değerlendirilmesi için önerilmektedir. NET ve beyin

tümörlerinde  $^{18}\text{F}$ -DOPA'nın alımı, artan hücre çoğalması ve protein sentezi ile bağlantılıdır. NET genellikle düşük malignite potansiyeline sahip yavaş büyüyen tümörlerdir, fakat küçük boyutlarına rağmen endokrinle alkalı semptomlara neden olabilir. Dopamin reseptörlerinin, nöroendokrin hücrelerden kaynaklanan tümörler olan NET'te eksprese edildiği bulunmuştur.  $^{18}\text{F}$ -DOPA kullanımlı PET/CT aslında paraganglioma ve feokromasitoma'nın (adrenal bezler) saptanmasında ve izlenmesinde ilginç bir rol oynamaktadır. Çeşitli çalışmalar  $^{18}\text{F}$ -DOPA PET/CT'nin diğer NET'lerin hem ilk evrelemesinde (%88) hem de yeniden evrelemesinde (%92) iyi bir tanılal doğruluğunu ortaya koymuştur. En yoğun alım pankreas, karaciğer ve safra kesesi gibi ekzokrin bezler iken en düşük alım kemik iliğinde tespit edilmiştir. İdrarla atılım sağlandığından böbrek ve mesanede radyoaktivite konsantrasyonu yüksek olabilir (Calabria vd., 2020).

### 4.3. $^{18}\text{F}$ -FET (Floeroiltrozin)

$^{18}\text{F}$ -FET, beyin tümörlerinin görüntülenmesi için kullanılabilen, radyo-etiketli bir amino asit, tirozin analogudur.  $^{18}\text{F}$ -FET, tirozinin  $^{18}\text{F}$ -floeroiltrosilat ile doğrudan alkilasyonu ile sentezlenir.  $^{18}\text{F}$ -FET'in spesifik aktivitesi 18 GBq/ $\mu\text{mol}$  (0,49 Ci/ $\mu\text{mol}$ ), toplam sentez süresi 80 dakika ve radyokimyasal verimi  $55 \pm 6\%$ 'dır.  $^{18}\text{F}$ -FET, spesifik bir amino asit taşıma sistemi ile kan-beyin bariyerine nüfuz eder ve proteinlere dahil edilmez. Yapılan bir meta-analiz, beyin tümörü teşhisinde  $^{18}\text{F}$ -FET kullanımlı PET'in  $^{18}\text{F}$ -FDG kullanımlı PET'ten çok daha iyi performans gösterdiğini ve yeni izole edilmiş bir beyin tümörünü değerlendirirken tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir.  $^{18}\text{F}$ -FET'li PET dozimetrisinde mesane en yüksek emilim dozuna sahiptir. Yetişkinler için etkin doz 16.5  $\mu\text{Sv}/\text{MBq}$ 'dir. Bu fonksiyonel görüntüleme sonucundaki potansiyel radyasyon riskleri kabul edilen sınırlar dahilindedir.

Beyin görüntüsü elde etmek için hibrit PET/CT veya PET/MR kullanılır.  $^{18}\text{F}$ -FET'li PET /MR, neoplastik beyin lezyonlarını teşhis etmenin yanı sıra nöro-onkolojide stereotaktik biyopsi ve cerrahi planlama yapmak için standart nöro görüntüleme yöntemidir. Tanılal belirsizlik durumunda  $^{18}\text{F}$ -FET kullanımlı PET, beyin tümörleri ile neoplastik olmayan lezyonlar arasındaki ayırıcı tanıyı tespit eder. Hastaların  $^{18}\text{F}$ -FET radyofarmasötik enjeksiyonundan 4 saat öncesinden aç olmaları gerekir. Hastalara radyofarmasötik IV olarak enjekte edilir. Bazı merkezlerde radyofarmasötik enjeksiyonundan hemen sonra 40 dakikalık dinamik bir görüntü alınırken bazı merkezlerde enjeksiyondan 20 ila 40 dk sonra statik PET görüntü alınır (Calabria vd., 2020).

#### 4.4. $^{18}\text{F}$ -NaF (Sodyumflorür)

$^{18}\text{F}$ , bir siklotron kullanılarak  $^{18}\text{O}$ - $^{18}\text{F}$  nükleer reaksiyonu yoluyla üretilir.  $^{18}\text{F}$ -NaF iskelet sistemi görüntülemesinde kullanılır. Düşük molekül ağırlığına bağlı olarak  $^{18}\text{F}$ -NaF, hızlı kemik alımı, yumuşak dokulardan hızlı eliminasyonu, yüksek sinyal-arka plan kontrastı ve hızlı renal atılımı mevcuttur. Artroz veya travma sonrası onarım gibi fizyolojik olarak yeniden şekillenme süreçlerinin olduğu kemik bölgelerinde veya kemik neoplastik lezyonlarda alım daha yüksektir.  $^{18}\text{F}$ -NaF hidroksiapatit kristalindeki hidroksil grupları ile yer değiştirerek yeni oluşan kemiklere kovalent bağ ile bağlanırlar. Yeni oluşan kemiklerde  $^{18}\text{F}$ -NaF'nin bağlanabileceği kısımların çok olmasından dolayı daha fazla tutulum gösterirler.  $^{18}\text{F}$ -NaF'nin fizyolojik dağılımı; yetişkinlerde alım kafatası, omurlar, pelvis ve kaburgalarda daha belirginken, apendiküler iskelette daha düşüktür. Yumuşak dokularda ve parankimatöz organlarda  $^{18}\text{F}$ -NaF dağılımı ihmal edilebilir düzeydedir. Tüm bu nedenlerden dolayı  $^{18}\text{F}$ -NaF'li PET/CT, kemik metastazlarının tanımlanmasında yüksek hassasiyete sahiptir. Tanısal doğruluk litik lezyonlardan ziyade sklerotik lezyonlarda daha yüksektir. Çeşitli çalışmalar, meme, prostat ve akciğer kanseri hastalarında kemik metastazlarının tanısında  $^{18}\text{F}$ -NaF kullanımlı PET/CT'nin %100 duyarlılığını ortaya koymuştur (Calabria vd.,2020).

$^{18}\text{F}$ -NaF eski bir PET radyofarmasötiği olmakla birlikte vücutta kalsiyum iyonları gibi davranmaktadır.  $^{18}\text{F}$ -NaF'li PET/CT, iskelet radyografik incelemelerinde belirgin olmayan kemik kırıklarının veya yaralanmaların tespit edilmesine potansiyel olarak izin verebilir. Bu nedenle çocuk istismarı vakalarında yaralanmaların doğru teşhisi nedeniyle adli tıpta kullanılmaktadır (Ocak, 2015).

#### 4.5. $^{18}\text{F}$ -florbetaben

Beyindeki  $\beta$ -amiloid plaklarını görselleştirmek için tanısal olarak kullanılan radyofarmasötiktir.  $^{18}\text{F}$ -florbetaben, çift bağın her iki karbon atomunda bir fenil grubu ile ikame edilmiş bir trans etan çift bağdan oluşan ve hidrokarbon olan diariletin ile elde edilir. (E)-stilben çekirdeğinin bir stiril-piridin kısmı ile ikame edilmesi,  $^{18}\text{F}$ -florbetapirin elde edilmesine neden olabilir.  $^{18}\text{F}$ -florbetaben IV uygulandıktan birkaç dakika sonra beyin alımı maksimuma ulaşır ve başlangıçtan 30 dakika sonra dolaşımdan hızla temizlenir.  $^{18}\text{F}$ -florbetapirin alımının en yüksek seviyesi beynin beyaz maddeden oluşan bölgeleridir. Biyodağılım olarak  $^{18}\text{F}$ -florbetapirin önemli bir hepatobiliyer ve idrarla atılım gösterirken, mide mukozası ara sıra hafif izleyici alımı gösterebilir.

$\beta$ -amiloid birikimi Alzheimer hastalığı gelişiminin erken dönemlerinde ve ayrıca hafif bilişsel bozukluğu olan hastaların beyinlerinde ortaya çıkar. Alzheimer hastalarında,  $^{18}\text{F}$ -florbetaben ile yapılan PET taramasında genellikle frontal, lateral temporal, oksipital anterior ve posterior singulat kortekste daha yüksek tutulum gösterir.  $^{18}\text{F}$ -florbetaben'in Alzheimer hastaları ile sağlıklı kişiler arasındaki ayırıcı tanısallık değeri %80 duyarlılıkla sonuçlanmıştır. PET/CT görüntüleme genellikle  $\sim 300$  MBq radyo-etiketli bileşiğin enjeksiyonundan 90-110 dk sonra gerçekleştirilir ve çekim süresi 20 dakikadır (Calabria vd.,2020).

#### 4.6. Radyoetiketli Kolin

Kolin, bir siklotron tarafından sağlanan PET merkezlerinde  $^{11}\text{C}$  veya  $^{18}\text{F}$  ile etiketlenebilir ve PET/CT taraması sırasında daha iyi kullanılabilirliğe olanak sağlar.  $^{11}\text{C}$ 'in kısa yarılanma süresi (20 dk), dozimetri maruziyetini azaltmak amacıyla PET görüntüleme için oldukça uygundur. Bu nedenle  $^{11}\text{C}$ -kolin, Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından 2012 yılında önerilen ve onaylanan ilk radyo-etiketli kolindir. Florlu kolin türlerinden olan  $^{18}\text{F}$ -metilkolin ( $^{18}\text{F}$ - FMC) ve  $^{18}\text{F}$ -etil kolin ( $^{18}\text{F}$ -FECH),  $^{11}\text{C}$ -kolin'den farklı sentez protokolleri ile elde edilebilir. Tümör hücrelerinde kolin miktarı arttığında aktif bir taşıma mekanizmasıyla hücrelere karışır ve 1 saat içinde fosforilkoline, akabinde hücre duvarının bir parçası olarak fosfatidilkolin'e dönüşür. Kolin metabolizması süreci dinamiktir ve kolinin hücrelere akışıyla dengelenir. PET/CT taramasından önceki günlerde hastalara yüksek kolin içeren besinlerden (kuşkonmaz, fasulye, soya, havuç, yumurta sarısı, kuzu, domuz ve dana karaciğeri, yağsız süt, yer fıstığı, yer fıstığı ezmesi, bezelye, ıspanak, şalgam) kaçınmaları önerilir. Fizyolojik dağılım,  $^{18}\text{F}$ -FMC ve  $^{18}\text{F}$ -FECH'in yaygın renal atılımı ve  $^{11}\text{C}$ -kolinin yaygın hepatik metabolizması gibi birkaç farklılığın ötesinde, her üç radyoizleyici türü için de benzerdir (Ocak, 2015; Calabria vd., 2020).

Prostat kanseri, ekspres edilen düşük dereceli glukoz metabolizması nedeniyle  $^{18}\text{F}$ -FDG kullanımlı PET/CT ile yeterince araştırılmayan malign bir neoplazmdir. Prostat kanseri hücreleri, hızlı büyümelemlerini tetikleyecek her şeye açıktır. Bu nedenle doğal olarak B-vitamini kompleksinin bir parçası olan kolini hevesle alır. Tümör hücreleri hızla çoğalmak için besinlere ihtiyaç duyar ve kolini bir tür yapı taşı olarak kullanır. Kolin, prostatta, lenf nodlarında veya diğer uzak bölgelerde yer almalarına bakılmaksızın tüm kanserli tümörlerde toplanır. Kolin,  $^{11}\text{C}$  radyonüklid ile etiketlendiğinde PET tarayıcı, izleyici konsantrasyonlarının tam yerini alır. Böylece üç boyutlu görüntü elde edilir. Ek olarak çok sayıda makale ( $^{11}\text{C}/^{18}\text{F}$ ) radyo-etiketli kolin PET/CT'nin primer beyin tümörleri ve beyin metastazlarının

tanısında  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT'den daha üstün olduğunu desteklemektedir. (Kessara, 2021; Calabria vd., 2020).

#### 4.7. $^{11}\text{C}$ -MET(Metiyonin)

$^{11}\text{C}$ -MET'li PET, nöro-onkolojide yararlı bir tanı ve tedavi aracıdır. Beyin tümörlerinin histolojik derecelendirilmesi, tümörün boyutunun tanımlanması, optimal biyopsi bölgelerinin belirlenmesinde duyarlılığı yüksektir. Ek olarak metastazlar, nüks, radyoterapi planlanması, tedaviye yanıtın değerlendirilmesinde kullanılır. Normal beyin dokusu, metabolik bir substrat olarak yalnızca glukozu tanır, böylece çok düşük bir fizyolojik  $^{11}\text{C}$ -MET alımına sahiptir. Beyinde gri madde ve fibroz, nekroz veya ödem gibi iyi huylu durumlarda da düşük alım vardır. Tümörlü beyin dokuları ise artan bir  $^{11}\text{C}$ -MET alımı sunar. Yüksek tespit oranı ve lezyonun iyi tanımlanması sayesinde serebral tümör görüntülemeyi incelemek için  $^{11}\text{C}$ -MET kullanılır.  $^{11}\text{C}$ -MET, kötü huylu hücrelerde aşırı eksprese edilen ve tümör içinde izleyici birikimine yol açan büyük amino asit taşıyıcısı (LAT1) aracılığıyla fizyolojik dağılım gerçekleştirir.

$^{11}\text{C}$ -MET PET'in gerçekleştirilmesi kolay ve hızlıdır. Genellikle 370-740 MBq radyoizleyici IV olarak enjekte edilir ve  $^{11}\text{C}$  etiketli moleküllerin yarı ömrünün kısa olması nedeniyle (20 dakika), alım süresi yalnızca 10-30 dakika arasında değişir. Segmental statik görüntü alımı beyinde 10-20 dk, vücutta 20-25 dk gerçekleştirilir. Tetkik öncesi açlık gerekli değildir (Idguchi vd., 2018; Calabria vd., 2020).

#### 4.8. $^{13}\text{N}$ Amonyak ( $\text{NH}_3$ )

$^{13}\text{N}$  radyoizotopunun yarı ömrü 9.965 dk ve üretimi için siklotron gereklidir.  $^{13}\text{N}$ , miyokardiyal perfüzyon görüntüleme, koroner arter hastalığını (KAH) tespit etmek için kullanılır. Miyokardiyal kan akışının kantifikasyonu, koroner akış rezervinin belirlenmesinde ve koroner damar sisteminin fonksiyonel bütünlüğünün ölçülmesi için bir parametre olarak önemlidir. Arteriyel kanda yüklü iyonu ( $\text{NH}_4$ ) ile dengede nötr formda ( $\text{NH}_3$ ) bir arada bulunur.  $^{13}\text{N}$ - $\text{NH}_3$ , plazma ve hücre zarları boyunca hızla yayılır, vasküler havuzdan tam ekstraksiyona ve miyositlerin içinde hızlı bir şekilde yakalanmasına olanak tanır. Kandaki  $^{13}\text{N}$  konsantrasyonu, radyo izleyici uygulamasından sonraki 30 saniye içinde maksimuma ulaşır ve ilk 2 dakikada hızla azalarak sifıra yaklaşmadan sabit kalır. Kandaki  $^{13}\text{N}$  amino asitlere ve üreye metabolize edilir.  $^{13}\text{N}$  amonyağın miyokardiyal tutulumu normal bireylerde bile heterojen olabilir.  $^{13}\text{N}$ - $\text{NH}_3$  görüntüleri ayrıca ara sıra meydana gelen yoğun karaciğer aktivitesi nedeniyle bozulabilir ve bu da alt duvarın değerlendirilmesine müdahale edebilir (Kessara, 2021; Calabria vd., 2020).

#### 4.9. Etiketli Su ( $^{15}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ )

Metabolik olarak inertsdir ve yüksek ekstraksiyon fraksiyonuyla kılcak damarlar ve hücre zarları yoluyla serbestçe yayılabilir.  $^{15}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$  PET'in avantajı: Yüksek ekstraksiyon fraksiyonuna dayalı olarak miyokardiyal kan akışını (MBF) doğru bir şekilde ölçebilme yeteneği; kısa bir fiziksel yarı ömür, daha az radyasyona maruziyete bağlı kısa bir stres ve dinlenme ile veri toplama protokolünün gerçekleştirilmesini mümkün kılar.  $^{15}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$  tipik olarak tek başına miyokardiyal perfüzyonun değerlendirilmesi için kullanılmaz, ancak %100 ekstraksiyon da dahil olmak üzere ideal akış izleyicidir. Kandan dokuya geniş bir akış hızları aralığında, MBF ile izleyici aktivitesi arasında doğrusal bir ilişkiye izin verir (Calabria vd., 2020).

#### 4.10. $^{64}\text{Cu}$ -Radyofarmasötikleri

Bakır (Cu), atom numarası 29 olan, "Cu/Zn süperoksit dismutaz", "sitokrom-Koksidaz", "tirozinaz", "seruloplazmin" gibi çok sayıda enzimin kofaktörü olan bir geçiş metalidir ve çeşitli fizyolojik süreçlerde yer alır. Örneğin solunum, demir taşınması ve metabolizması, hücre büyümesi ve homeostaz için Cu gereklidir. Ayrıca neo-anjiyogenetik destekleyici olarak hareketi kanserin gelişmesinde ve ilerlemesinde de rol oynayabilir. Aslında Cu, çeşitli kanserlerde aşırı ekspresye edilen insan bakır taşıyıcı-1'in (CTR1) aktivitesi yoluyla insan hücre metabolizması üzerinde etki gösterir. Bu nedenle PET/BT görüntüleme radyoaktif Cu izotopları, neoplastik dokulardaki bakır metabolizmasının in-vivo karakterizasyonu için potansiyel radyoizleyici olarak kullanılabilir.

#### 4.11. $^{64}\text{Cu}$ -PSMA, $^{64}\text{Cu}$ -ATSM ve $^{64}\text{Cu}$ -DOTATATE

$^{64}\text{Cu}$ -PSMA (Prostata Özel Membran Antijeni), özellikle ileri evre prostat kanseri hücrelerinde önemli bir aşırı ekspresyon gösteren bir hücre yüzeyi proteindir. Tümörün evresi ve derecesine göre PSMA ekspresyon düzeylerinin arttığı gösteren çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Tümörlerdeki hipoksinin tedaviye direnç ve metastatik potansiyel gibi malign özelliklere katkıda bulunduğu bilinmektedir.  $^{64}\text{Cu}$ -ATSM (Diacetyl-bis-(N<sup>4</sup>-methylthiosemicarbazone)) tümör hipoksisini hedefleyen potansiyel bir PET görüntüleme ajanıdır.  $^{64}\text{Cu}$ -ATSM, hipoksi için diğer PET izleyicileriyle karşılaştırıldığında çok iyi görüntü kalitesine olanak tanıyan basit ve hızlı radyo etiketleme, normoksik dokulardan daha hızlı temizlenmesi çeşitli avantajlar sergiler.

$^{64}\text{Cu}$ -ATSM "teranotik" bir ajan olarak da kullanılabilir. Yani, bu ajan aynı zamanda tümörlere karşı dahili bir radyoterapi ajanı olarak da uygulanabilir,

çünkü  $^{64}\text{Cu}$   $\beta^+$  bozunması (0.653 MeV, %17.4) ve  $\beta^-$  bozunması (0.574 MeV, %40) ve elektron yakalama (%42.6) özelliği gösterir. Anihilasyon fotonları PET tarafından tespit edilebilirken, bu çekirdekten yayılan  $\beta^-$  parçacıkları ve Auger elektronları tümör hücrelerine zarar verebilir (Blower vd., 1996; Fujibayashi vd., 2020).

$^{64}\text{Cu}$ -DOTATATE PET/CT, nöroendokrin tümörler (NET)'in saptanmasında iyi bir tanısal doğruluk göstermiştir ve klinik görüntüleme için önerilmiştir. Nöroendokrin tümörler, somatostatin reseptörlerinin ekspresyonu ile karakterize edilen heterojen bir neoplazm grubudur.

#### 4.12. $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC, $^{68}\text{Ga}$ -DOTANOC, $^{68}\text{Ga}$ -DOTATATE (Somatostatin Reseptör Analogları)

Germanyum ( $^{68}\text{Ge}$ ) / Galyum ( $^{68}\text{Ga}$ ) jeneratörleri, çeşitli  $^{68}\text{Ga}$  etiketli radyofarmasötiklerin hızlı ve basit bir şekilde hazırlanmasına olanak sağlamak üzere geliştirilmiştir.  $^{68}\text{Ga}$ , fazla miktarda pozitron emisyonu, yarı ömrünün kısa olması (yani 68 dk), siklotron ürünü olmaması nedeniyle görüntülemede avantaj sunmaktadır. Ana izotop ( $^{68}\text{Ge}$ ), uygun bir eluent ile yıkanan yavruya ( $^{68}\text{Ga}$ ) bozunur.  $^{68}\text{Ga}$  izotopu, sırasıyla, ortalama 740 KeV enerjiyle %89 oranla pozitron emisyonu ve %11 oranla elektron yakalamayla bozunur.  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA peptitlerinin tümü hızlı alım kinetiği sunar. Hastaya IV olarak uygulanan aktivite enjeksiyondan 60-180 dk sonra  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC için %15.6'sı ve  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATATE için %11.9'u idrarla atılır.  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA peptitlerinin biyolojik dağılımı, hipofiz bezi, dalak, karaciğer, böbrekler ve idrar yollarında fizyolojik izleyici alımını içerir.  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA NET'in teşhisi, evrelemesi ve yeniden evrelemesinde kullanılır. Ayrıca NET dışındaki tümörlerin tanı ve takibinde de büyük değer taşıyabilir. Özellikle nöroektodermal dokudan köken alan paragangliomaların ve feokromositomaların somatostatin reseptörleri (SSTR) eksprese ettiği gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar  $^{18}\text{F}$ -FDG ve  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA-peptitli PET kombinasyonunun önemli prognostik bilgiler sağlayabileceğini belirtmiştir.

#### 4.13. $^{68}\text{Ga}$ -PSMA

Radyokimyasal ve radyonüklidik olarak yüksek saflığa sahip  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA,  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  jeneratör ve manuel sentez modülü kullanılarak uygun şekilde hazırlanır. Yarı ömrü 270,95 gün olan ana radyonüklid  $^{68}\text{Ge}$  elektron yakalama yoluyla  $^{68}\text{Ga}$ 'ya bozunur (Roesch ve Riss, 2010). Tek seferde 3-4 hastaya yetecek aktivite hazırlanabilir. Pankreas, tükürük ve gözyaşı gibi salgı bezlerinde yoğun fizyolojik dağılım gözlenebilmektedir. Böbrek parankimi, idrar yoluyla boşaltım yolu, böbrek pelvisi, ureterler ve mesane PSMA biriktirir.

Prostat kanseri riski taşıyan kişilerin taranmasında PSMA-PET'in yeri yoktur. İlk evreleme, biyokimyasal nüks (PSA yüksekliği) olan hastalar ve radyoterapi planlamasında daha çok kullanılır.  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA PET/BT'nin primer prostat kanserinin evrelemedeki potansiyeli araştırılmış ve tek başına BT gibi standart görüntüleme yöntemlerinden üstün olduğu gösterilmiştir.

Genel olarak PET/CT görüntüleri IV enjeksiyondan yaklaşık 60 dk sonra elde edilir. 200–250 MBq  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA bolus uygulanır. Yeterli hidrasyon önerilir; işlem sırasında diüretikler (furosemid gibi) kullanılabilir. İşlem öncesi hastaya kontrast madde içirilir. Çekim süresi 20dk'dır. Enjeksiyondan 3 saat sonra yapılan görüntülemenin, daha yüksek alım ve kontrast ile prostat kanserine özgü daha fazla lezyonu ortaya çıkarabildiği kanıtlanmıştır (Ortapamuk, 2024; Calabria vd., 2020).

#### 4.14. $^{82}\text{Rb}$ (Rubidyum)

$^{82}\text{Rb}$  Miyokardiyal perfüzyon görüntüleme (MPI) ve miyokardiyal kan akışının (MBF) ölçülmesi için PET'te yaygın olarak kullanılan pozitron kaynağı izleyicidir.  $^{82}\text{Rb}$ , ana çekirdeği olan  $^{82}\text{Sr}$ 'un (stronsiyum) elektron yakalamasıyla üretilir. Bu şekilde günde yaklaşık 10-15 hastaya enjeksiyon yapmaya yetecek kadar numune üretilebilir.

$^{82}\text{Rb}$ 'nin miyokardiyal alımı koroner akış tarafından koşullandırılır ve sodyum-potasyum adenozin trifosfat taşıyıcı yoluyla aktif taşınmayı gerektirir.  $^{82}\text{Rb}$ , bir potasyum iyonu ( $\text{K}^+$ ) ile çok benzer aktiviteye sahiptir. Miyokardiyuma girdikten sonra hücrelerin  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  değişim pompasında aktif bir katılımcıdır. Kan akışıyla orantılı olarak miyokard tarafından hızla çıkarılır. İzleyici nekrotik veya enfarktüsli dokudan hızla temizlenirken, canlı miyokardiyal hücrelerde hücrel radyoaktif tutulum artar.

$^{82}\text{Rb}$ 'nin kısa fiziksel yarı ömrü (1.3dk) ve hızlı yeniden yapılanma ile bir jeneratör yoluyla üretim avantajı, etkin ve hızlı bir protokole olanak sağlar. Görüntüleme 7-8 dakikadır. ABD'de son yıllarda akut koroner sendromu (ACS) çalışmasında  $^{82}\text{Rb}$  PET'e olan ilgi artmıştır. Özellikle, hastanın obez olduğu veya fiziksel olarak stres testi yapamadığı durumlarda  $^{82}\text{Rb}$ 'nin kullanılması faydalıdır (Wikipedia, 2023; Calabria vd., 2020).

### 5. Sonuç ve Öneriler

Dünya çapında radyofarmasötiklerin tanı ve tedavi amaçlı potansiyel değeri gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle onkolojik, nörolojik ve kardiyolojik olgulardaki tedavi planlamalarında PET/CT ilgili alan hekimlerine yararlı



bilgiler sunmaktadır. Örneğin günümüzde PET/CT hastadaki lezyonların kanser olup olmadığını yüksek bir duyarlılıkla saptayabilmektedir. PET uygulamalarında hedefe yönelik radyonüklidler veya radyonüklidler ile birleştirilen farmasötiklerin kullanımı, tutulum- atılım mekanizmaları ve kullanım dozlarına göre hastaya bir miktar radyasyon verirler. Bu nedenle PET radyofarmasötikleri radyasyon güvenliği sağlanmış tam otomatik sentez ünitelerinde etkin ve güvenilir bir şekilde hazırlanırken personelin gereksiz radyasyon maruziyeti de önlenmektedir.

Nükleer Tıp uygulamalarında hasta, çalışan ve çevre güvenliği için optimum koşullarda düzenlenmiş alanlarda çalışılmalıdır. Maruz kalınacak radyasyonun mümkün olduğunca en düşük düzeyde tutulması için gerekli koruyucu ekipmanlar kullanılmalıdır. Radyofarmasötiklerin hazırlanmasından hastanın merkezden ayrılmasına kadar geçen süreçte radyasyondan korunma kurallarına uyulmalıdır. Radyasyondan korunmayla ilgili personele yönelik eğitim programları aksatılmamalıdır. PET/CT çekim sonrası hastanın çevresindeki insanları radyasyondan korumak için hasta ve yakını bilgilendirilmelidir.

## Kaynakça

- Akdemir, Ü. Ö., & Karabacak, N. İ. (2017). Pozitron emisyon tomografi/man-yetik rezonans görüntüleme kullanımında günlük iş akışı ve protokol op-timizasyonu. *Nucl Med Semin*, 1, 12-2.
- Blower, P. J., Lewis, J. S., & Zweit, J. (1996). Copper radionuclides and radiop-harmaceuticals in nuclear medicine. *Nuclear medicine and biology*, 23(8), 957-980.
- Calabria, F., Cimini, A., Bagnato, A., Gullà, D., Cascini, G. L., Urbano, N., & Schillaci, O. (2020). 18 F-FDG. *Radiopharmaceuticals: A Guide to PET/CT and PET/MRI*, 1-36.
- Demir, M. (2015). POZİTRON EMİSYON TOMOGRAFİ (PET) FİZİ-Ğİ. *Bulletin of Thoracic Surgery/Toraks Cerrahisi Bülteni*, 6(2).
- Fujibayashi, Y., Yoshii, Y., Furukawa, T., Yoshimoto, M., Matsumoto, H., & Saga, T. (2020). Imaging and therapy against hypoxic tumors with  $^{64}\text{Cu}$ -ATSM. *Make Life Visible; Springer: Singapore*, 285-292.
- Ideguchi, M., Nishizaki, T., Ikeda, N., Okamura, T., Tanaka, Y., Fujii, N., ... & Suga, K. (2018). A surgical strategy using a fusion image constructed from  $^{11}\text{C}$ -methionine PET,  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET and MRI for glioma with no or minimum contrast enhancement. *Journal of Neuro-Oncology*, 138, 537-548.
- Kessara, A. 2021. Nükleer Tıp Fiziği. İksad Yayınevi. Ankara/Türkiye  
<https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2021/10/NUKLEER-TIP-FI-ZIGI.pdf>
- Kısaarslan, M. (2022). *GLUT1—XbaI G> T (rs2754218) VE HaeIII T> C (rs1385129) Polimorfizmlerinin [18F]-FDG tutulum oranlarının üzerine etkisinin araştırılması* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Sağlık Bi-limleri Enstitüsü).
- Mukiza, J., Byamukama, E., Sezirahiga, J., Ngbolua, K., & Ndebwanimana, V. (2018). A review on technetium and rhenium based radiopharmaceuti-cals for diagnostic imaging and therapeutic nuclear medicine. *Rwanda Med. J.*, 75(1), 14-22.
- Ocak, M. (2015). PET RADYOFARMASÖTİKLERİ. *Bulletin of Thoracic Sur-gery/Toraks Cerrahisi Bülteni*, 6(2).
- Ortapamuk H., 2024. Galyum 68 PSMA nedir? <https://www.medicalpark.com.tr/galyum-68-psma-pet-ct/hg-2493>
- Payolla, F. B., Massabni, A. C., & Orvig, C. (2019). Radiopharmaceuticals for diagnosis in nuclear medicine: A short review. *Eclética Química*, 44(3), 11-19.
- Ramamoorthy, N. (2018). Impact of nuclear medicine and radiopharmaceuti-cals on health-care delivery: Advances, lessons, and need for an objective

- value-matrix. *Indian Journal of Nuclear Medicine: IJNM: The Official Journal of the Society of Nuclear Medicine, India*, 33(4), 273.
- Roesch, F., & J Riss, P. (2010). The renaissance of the 68Ge/68Ga radionuclide generator initiates new developments in 68Ga radiopharmaceutical chemistry. *Current topics in medicinal chemistry*, 10(16), 1633-1668.
- Sağır, S., Asa, S., & Kabasakal, L. (2011). Böbrek sintigrafisinde kullanılan radyofarmasötikler. *Türk Urol Sem*, 2, 88-90.
- Titck. 2019. Kısa Ürün Bilgisi [https://titck.gov.tr/storage/Archive/2019/kubKtAttachments/k%C3%BCb.pdf\\_400a3905-f2fc-4e2e-b83c-44d677e2bcff.pdf](https://titck.gov.tr/storage/Archive/2019/kubKtAttachments/k%C3%BCb.pdf_400a3905-f2fc-4e2e-b83c-44d677e2bcff.pdf)
- Wikipedia, 2023. Rubidyum-82 <https://en.wikipedia.org/wiki/Rubidium-82>