

TOMOTERAPİ



T.C. Sağlık Bakanlığı

**Kamu Hastaneleri
Genel Müdürlüğü**

TOMOTERAPİ’NİN

MİMARİ ve TEMEL ALTYAPI

GEREKSİNİMLERİ



UYARI

İçerik © 2018 T.C. Sağlık Bakanlığı Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü.

Bu eserin telif hakkı vardır. Bu materyal sadece tarafınızdan kişisel, ticari olmayan kullanımlar için (bu uyarıyı saklı tutarak) değiştirilmemiş haliyle çoğaltılabilir, indirilebilir, görüntülenebilir. 5846 sayılı fikir ve sanat eserleri kanununca izin verilen herhangi bir kullanım dışında diğer tüm haklar saklıdır. Çoğaltma ve haklar ile ilgili talepler ve sorular için aşağıda bulunan adresle iletişime geçilmelidir.

Sağlık Bakanlığı;
Bilkent yerleşkesi , Üniversiteler mah.
Dumlupınar bulvarı 6001. Cad. No:9
Çankaya/Ankara 06800
Tel. +90 (312) 565 03 64
URL: <http://khgm.saglik.gov.tr/>

Bu yayının içeriği ile ilgili bilgi talepleri, T.C. Sağlık Bakanlığı, Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü, Tedarik planlama, Stok ve Lojistik Dairesi, Biyomedikal Mühendisliği birinden sağlayabilirsiniz ya da khgm.biyomedikal@saglik.gov.tr adresine mail atabilirsiniz.

Editörler

Prof. Dr. Murat ALPER
Uzm. Ecz. İrem MÜHÜRÇÜ

Hazırlayan

İç Mimar Mert Can YILDIZ,

Grafik Tasarım - Mizanpaj

Merve Seher OKU

Katkıda Bulunanlar

B.M.M. Kemal Tolga ÇETİN

B.M.M. Bilal BECEREN

B.M.M. Caner Niyazi OKU

Uzm. Dr. Öznur SARI

ISBN Numarası

ISBN-978-975-590-679-9

Referans Numarası

Ref : KHGM-KMY-MCY-003.V01

Temmuz 2018'de T.C. Sağlık Bakanlığı Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanmıştır.

ÖNSÖZ

Klinik Mühendisliği'nin görev ve sorumluluklarından biri klinik alanların mimari ve temel altyapılarına yönelik Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü tarafından standart ve buna bağlı kılavuzlar hazırlanmaktadır.

Kamu Hastaneleri klinik alanlarında verilen hizmet kalitesinin ve verimliliğinin artmasını ve sürdürülebilirliğin sağlanması için oluşturulan Radyasyon Onkolojisine bağlı klinik alanların mimari ve mühendislik altyapılarını oluşturmaktır.

Bu kılavuz ile Kamu Hastanelerindeki klinik alanların mimari ve temel altyapı özelliklerinin biyomedikal alanla birleşerek, Kamu Hastaneleri perspektifinde uygulanmasına yönelik referans bir kaynağın oluşturulması amaçlanmıştır. Mimari ve mühendislik biliminin biyomedikal alandaki çalışmalara ve Klinik Mühendislik hizmetlerine katkıda bulunmasına, böylece Sağlık Hizmetlerine yeni bir mimari vizyonun geliştirilmesinde katkıda bulunmasını dilerken büyük emek ürünü olan bu eseri hazırlayan, İç mimar Mert Can YILDIZ'a, tasarımını yapan Merve OKU'ya ve destek veren Tedarik Planlama Stok ve Lojistik Yönetimi Dairesinin tüm ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Prof. Dr. Murat ALPER
Kamu Hastaneleri Genel Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
PLANLAR DİZİNİ	xii
KESİTLER DİZİNİ	xiii
GİRİŞ	xiv
1. Fizibilite	1
2. Tomoterapi Sistemi	2
3. Temel Altyapı Gereksinimleri	4
3.1. Radyasyon Koruması	4
3.1.1. Radyasyon Korumasında Kullanılan Malzemeler	5
3.1.2. Tomoterapi Ünitesi Radyasyon Koruması	6
3.1.2.1. Birincil Radyasyon Alanı	7
3.1.2.2. Radyasyon Sızıntısı	8
3.1.2.3. Dağılmış Radyasyon	9
3.1.2.4. Örnek Tedavi Odası Zırhlama Planı	9
3.2. Havalandırma Tesisatı ve Özellikleri	11
3.2.1. Tomoterapi Tedavi Odası Havalandırma Özellikleri	11
3.2.2. Tomoterapi Kontrol Odası Havalandırma Özellikleri	12
3.2.3. Tomoterapi Data Server Odası Havalandırma Özellikleri	12
3.2.4. Tomoterapi Tedavi Planlama Odası Havalandırma Özellikleri	13
3.2.5. Tomoterapi Mekanik Odası Havalandırma Özellikleri	13
3.2.6. Tomoterapi Ünitesi Havalandırma Planı	14
3.3. Mekanik Tesisatı ve Özellikleri	15
3.3.1. Termostat	15
3.3.2. Frekans Dönüştürücü	15

3.3.3. İlave Hava Besleme	15
3.4. Elektrik Tesisatı ve Özellikleri	15
3.4.1. Tomoterapi Ünitesi Enerji İhtiyacı	15
3.4.2. Tedavi Odası Bileşenleri Minimum Enerji Gereksinimleri.....	16
3.4.3. Kablo Kanalları.....	16
3.4.4. Bağlantı Kutuları	18
3.5. Zemin Özellikleri	20
3.5.1. Zemin Kaplama Özellikleri	20
3.5.2. Tomoterapi Ünitesi İçin Gerekli Zemin Özellikleri.....	20
4. Tomoterapi Tedavi Ünitesi Mekân Tasarımı.....	24
4.1. Önerilen Minimum Tedavi Ünitesi Ölçüleri.....	24
4.2. Tedavi Odası Özellikleri.....	29
4.3. Tedavi Odası Tomoterapi Üniteleri.....	32
4.3.1. Ana Portal (<i>Gantry</i>) ve Ekipman Muhafazaları.....	32
4.3.2. Tedavi Masası.....	33
4.3.3. Güç Dağıtım Birimi (<i>PDU</i>)	33
4.3.4. Lazer Konumlandırma Sistemi	33
4.3.5. İnterkom Hoparlör Sistemi.....	37
4.3.6. Medikal Gaz Hattı	37
4.4. Kontrol Odası Özellikleri	38
4.4.1. Transformatör Ünitesi	39
4.4.2. Kontrol Odası Durum Konsolu	39
4.4.3. İnterkom Hoparlör Sistemi.....	39
4.4.4. Acil Durum Öğeleri.....	39
4.5. Data Server Odası.....	39
4.6. Mekanik Oda	40
4.6.1. Sıkıştırılmış Hava Hattı	40
4.6.2. Hava Kompresörü ve Tankı	41
4.6.3. Kurutucu.....	41
4.6.4. Sistem İçi Hava Regülatörü.....	41

4.7. Tedavi Planlama Odası	42
4.7.1. Tedavi Planlama Sistemi	42
4.7.2. VIDAR Tarayıcı / Film Analiz Sistemi.....	42
KAYNAKÇA	vii

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>LINAC</u>	: Linear accelerator
<u>IGRT</u>	: Image-guided radiation therapy
<u>MV</u>	: Mega Volt
<u>IMRT</u>	: Volumetric modulated arc therapy
<u>TAEK</u>	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
<u>3D CRT</u>	: 3 boyutlu konformal ışın tedavisi
<u>MLC</u>	: Multi Layer Colimator
<u>BT</u>	: Bilgisayarlı Tomografi
<u>PDU</u>	: Power Distribution Unit
<u>PVC</u>	: Poli Vinil Clorür

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.2 Tomoterapi geometrik şema ön ve yan görünüşü.....	7
Şekil 3.3 Yatay düzlemde sızıntı ve dağılan radyasyon ölçümü.....	9

PLANLAR DİZİNİ

Plan 3.1 Tomoterapi zemin planı (Şaşırtma koridoru dâhil) (Ölçeksiz)	10
Plan 3.2 Tomoterapi zemin planı (Şaşırtma koridoru hariç) (Ölçeksiz).....	10
Plan 3.3 Tomoterapi ünitesi havalandırma planı (Ölçeksiz).....	14
Plan 3.4 Tomoterapi ünitesi bağlantı kutuları planı (Ölçeksiz).....	19
Plan 3.5 Tomoterapi ünitesi zemin çukurları (Ölçeksiz)	22
Plan 4.1 Tomoterapi tedavi ünitesi planı (şasırtma koridoru hariç) (Ölçeksiz)	26
Plan 4.2 Tomoterapi tedavi ünitesi planı (şasırtma koridoru dâhil) (Ölçeksiz)	27
Plan 4.3 Tomoterapi Tedavi Odası yerleşim planı (Ölçeksiz)	29
Plan 4.4 Tomoterapi Tedavi Odası yerleşim planı (Ölçeksiz)	30
Plan 4.5 Tavanda bulunan Dorado ve Apollo lazerleri	36
Plan 4.6 Kontrol odası planı (Ölçeksiz)	38
Plan 4.7 Data Server Odası (Ölçeksiz)	40

KESİTLER DİZİNİ

Kesit 3.1 A – A KESİTİ (Ölçeksiz)	23
Kesit 3.2 B – B KESİTİ (Ölçeksiz).....	23
Kesit 4.1 B – B KESİTİ.....	28
Kesit 4.2 A – A KESİTİ.....	28
Kesit 4.3 A – A kesiti (Ölçeksiz)	31
Kesit 4.4 B – B Kesiti (Ölçeksiz)	31
Kesit 4.5 Apollo Lazeri (Ana portal arkası).....	35
Kesit 4.6 Dorado Lazerleri (Ana portalın her iki yan duvarına)	36

GİRİŞ

Tomoterapi Sistemi, kanser ve diğer hastalıkların tedavisinde güveli ve rutin olarak kullanılan görüntü yönlendirmeli, yoğunluk modülasyonlu gelişmiş ışın tedavisi (IG-IMRT)¹ sistemidir.

Sistemin tüm bileşenleri ana portal (*gantry*) üzerinde konumlanmaktadır. Hastanın etrafında 360 derece dönerek bir sarmal (*helikal*) hareket ile ışın demetinin yoğunluğunu ayarlayarak ışınlama yapmaktadır. Bir uyum içerisinde hareket eden çok yapraklı kolimatör (*MLC*) milisaniyeler içerisinde hareket ederek hastanın etrafında birden fazla farklı yoğunlukta foton radyasyonu üretmektedir. Radyasyon yoğunluğunun farklı açılardan ve farklı dozlarda uygulanabilmesi, bu cihaza farklı boyut ve şekillerdeki tümörlere bile çevredeki sağlıklı dokulara en az hasar vererek en iyi tedaviyi uygulama özelliği kazandırmaktadır.

Kısaca; Tomoterapi, tüm vücutta milimetrik doğrulukla kanser tedavisi yapmak için tasarlanmış robotik sterotaktik radyocerrahi² sistemidir.

¹ Image guided - Intensity-modulated radiation therapy

² Sterotaktik radyocerrahi; üç boyutlu olarak koordinatların belirlenmesini takiben, yüksek dozda uygulanan radyasyonla tümörün tamamen harap edilmesi anlamına gelmektedir.



1. Fizibilite

2. Tomoterapi Sistemi

1. Fizibilite

Tomoterapi tedavi ünitesi tasarımı hakkında yapılması gereken birçok husus vardır. Bu hususlar, Tomoterapi ünitesine uygun oda boyutları, şaşırtma koridoru uygululuğu, radyasyon koruması, havalandırma, mekanik, elektrik tesisatları ve zemin özelliğidir.

Tomoterapi diğer cihazlardan farklı olarak hastanın etrafında 360 derece dönerek ışın çıkarmaktadır. Tomoterapi cihazı, bilinen bütün ışın tedavisi cihazlarının yaptığı işi tek başına yapabilen bir cihazdır. Bu cihazla 3 boyutlu konformal ışın tedavisi (3D CRT)³ ve yoğunluk ayarlı ışın tedavisi tedavisini (IMRT) aynı anda yapma imkânı vardır. Buda Tomoterapi cihazını diğer cihazlardan farklı kılan en önemli özelliğidir.



Resim 1.1 Örnek Tomoterapi Odası

³ 3 boyutlu radyoterapide genişlik ve yüksekliğin yanında tümörün derinliği de göz önünde bulundurulmaktadır. Bunun için geliştirilmiş bilgisayarlı planlama sistemi ve bilgisayarlı tomografi görüntüleri eklenerek tedavi gerçekleştirilmektedir.

2. Tomoterapi Sistemi

ACCURAY firması tarafından üretilen Tomoterapi ışın tedavisi sistemi, tüm kanser türlerinin ışınla tedavisinde güvenle kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra ışınlama hassasiyeti bakımından özellikle tercih edilen beyin tümörleri, akciğer tümörleri, tüm baş ve boyun kanserleri (*gırtlak, geniz ve tükürük bezi tümörleri*⁴), meme tümörleri prostat tümörleri tedavilerinde kullanılmaktadır.

Tomoterapi tek bir sistem içerisinde 3 fonksiyonu birleştirerek radyasyon ile kanser tedavisinde etkin rol oynamaktadır. Bunlar; tedavi planlaması, IGRT (*Image Guided Radiotherapy - Görüntü Eşliğinde Radyoterapi*) ve IMRT (*Intensity Modulated Radiation Therapy - Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi*) fonksiyonlarıdır⁵. Bu fonksiyonun birleşmesi tümörün x,y,z koordinatlarındaki doğruluğu ve güvenilirliği arttırmaktadır.



Resim 2.1 Örnek Tomoterapi Odası

⁴Tomoterapi cihazı bilinen ve en hassas radyoterapi planlaması yapabilen cihazlarla karşılaştırıldığında IMRT ile tükürük bezini %30 daha iyi korumaktadır. Tükürük bezleri fazla ışın alırsa fonksiyonunu kaybeder ve şiddetli kalıcı ağız kuruluşuna neden olur.

⁵ T. R. Mackie, T. Holmes, S. Swerdloff, P. Reckwerdt, J. Deasy, J. Yang, B. Paliwal, and T. Kinsella, "Tomotherapy: A new concept for the delivery of conformal radiotherapy," Med. Phys. 1993

3. Temel Altyapı Gereksinimleri

**4. Tomoterapi Tedavi Ünitesi
Mekân Tasarımı**

3. Temel Altyapı Gereksinimleri

Bu bölümde Tomoterapi sisteminin ihtiyaç duyduğu radyasyon koruması, havalandırma, mekanik, elektrik tesisatları zemin ve tavan özelliklerinden bahsedilmektedir.

3.1. Radyasyon Koruması

Radyasyon koruması, tedavi odası tasarımında en önemli hususlardan birisidir. Tasarımda dikkat edilecek ilk husus, tedavi odası içerisinde bulunması gereken şaşırtma koridorunun olup olmayacağıdır (*Plan 3.1*)(*Plan 3.2*). Radyasyona karşı kullanılacak olan temel zırhlama malzemeleri diğer radyoloji klinik alanlarında olduğu gibi bürüt beton, kurşun ve çelik plakalardır. Sonuç olarak, radyasyon korumasında zırhlama kalınlıkları, diğer faktörlerin yanı sıra her zırhlama yapılan oda için radyasyon koruması tasarım kriterlerine bağlıdır⁶.

Radyasyon koruması yapılacak oda içerisinde ki malzeme seçimi, radyoaktif kontaminasyon⁷ riskini en aza indirmek, yayılmasını önlemek ve dekontaminasyonu kolaylaştırmak zorundadır. Radyasyon açısından denetlenen ve kontrol altında olan yüzeyler emici olmayan, gözeneksiz, temizlemesi kolay ve dekontamine⁸ olmalıdır. İstenmedik dökülmelerden kaynaklanan kalıntı kontaminasyonu en aza indirmek için, radyoaktif maddenin bulaşabileceği kaplamalarda ve demirbaşlarda birleşim yerlerinden oluşabilecek aralıkları önlemek için özel dikkat göstermek gerekmektedir. Mühürlenmemiş radyoaktif maddelerin veya vücut sıvılarının işlendiği alanlardaki tezgâh yüzeyleri, duvarlara ve tezgâh arasındaki herhangi bir çatlağa radyoaktif maddelerin bulaşmasını veya zemine dökülmesini önlemek için uygulama esnasında dikkat edilmelidir. Zeminler ve tezgâhlar, radyasyon korumasında kullanılan malzemelerin ağırlığını destekleyecek kadar mukavemeti yüksek olmalıdır.

⁶ Bu kriterler TAEK tarafından belirlenmesi gerekmektedir.

⁷ Genelde kimyada tek bir bileşen anlamı taşır; fakat kimyanın bazı özelleşmiş alanlarında kimyasal karşım veya hücrel materyal seviyesine karşılık gelir.

⁸ KİMYASAL TEMİZLEME, sterilizasyon, temizlik ve/veya antisepsi ile uzaklaştırılması işlemine **dekontaminasyon** denir.

3.1.1. Radyasyon Korumasında Kullanılan Malzemeler

Kurşun; yüksek atomik parçacıklara ve yüksek yoğunluğa (11.350 kg/m^3) sahip, zırhlamada çokça tercih edilen bir malzemedir. Her ne kadar kurşun rulo halinde satın alınabilse de, kurşun yumuşaktır ve genellikle kurulum için kontraplak veya alçı panel üzerine yapıştırılmalıdır. Kurşun kaplamalı kapı aksesuarları, koruyucu ekranlar ve panjurlar da zırhlama yapılmasında kullanılan ek ürünlerdir.

Uygulamada, yuvarlamalardan kaynaklanacak hataları önlemek için gerekli kodu belirtmek tercih edilmektedir. Kurşun levhalar BS EN 12588 standartlarına uygun olarak yapılmaktadır. Kalınlığında $\% \pm 5$ tolerans gösterilebilmektedir (BRI, 2000).

Beton ve beton bloklar; genelde zırhlama malzemesi olarak yüksek yoğunluklu bürüt beton şeklinde kullanılmalıdır⁹. Katı beton bloklar uygun vibrasyon sağlanmadığı sürece iç boşluklara meydana gelecektir. Bu nedenle uygulanırken çok dikkatli olunmalıdır. Zırhlamada hafif beton bloklar (2200 kg/m^3) kullanılıyorsa, beton kalınlığı buna göre ölçeklendirilmelidir. Beton blokların yüzeylerine radyasyon korumasını güçlendirmek için ek malzemeler (*baritli hazır sıva, borla güçlendirilmiş plakalar*) uygulanabilmektedir. Yaklaşık olarak 6.9 cm kalınlığında yüksek dozlu beton, 1 mm (70 kVp) kurşuna eşdeğerdir¹⁰.

Boşluklu beton bloklar, düşük enerjili veya düşük dozlu uygulamalar (*Mamografi, dış radyolojisi*) dışında, genellikle radyasyon korumasına uygun değildir. Diğer zırhlama ürünleriyle birlikte kullanıldığında uygulanması mümkündür.

Baritli hazır sıva; barit¹¹ agregalarını¹² içeren alçı sıva olup beton bloklar yüzeyine uygulanmaktadır. X-ışınlarını emme özellikleri, baritle büyük ölçüde arttırılmıştır. Baritli hazır sıva, 2.5 cm kalınlığında yüzeye uygulanmalıdır (BIR, 2000). Bu uygulama maliyetli olup periyodlarda kurutulması gerekmektedir¹³.

⁹ (2350 kg/m^3), (3500 kg/m^3)

¹⁰ WHO, 1975

¹¹ Barit, Ba, 56

¹² **Agrega**, çeşitli büyüklüklerde kırılmış veya kırılmamış, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemelere denilmektedir.

¹³ Bir kat sıva uygulamasından sonra 24 ile 48 saat arası bekletildikten sonra ikinci kat sıva uygulaması yapılmalıdır.

İngiliz Gypsum tarafından üretilen baritli hazır sıva karışımını, % 15 ile % 30 arasında radyasyon yayılımında azalma gerçekleştirmiştir. Baritli hazır sıva, BT ve yüksek kVp göğüs birimleri gibi yüksek kVp¹⁴ tesislerini korumak için yetersizdir.

Tuğla; 1600 kg/m³ kadar düşük fiziksel özelliklere ve yoğunluklara sahip çok sayıda tuğla çeşidi vardır. Eğer radyasyon korumasında tuğla kullanılacaklarsa, tuğlanın koruyucu özellikleri iyice değerlendirilmelidir. Ayrıca, tuğlaların arasındaki boşlukları unutmamak önemlidir; bu boşluklar, aynı yoğunlukta bir harçla doldurulmalıdır. Tuğla genellikle kurşun alçı panel dâhil diğer koruyucu malzemeler için destek sağlamaktadır.

Alçı panel; genellikle bir karkas sistemine vida veya çivi yardımıyla monte edilen bina yapılarında kullanılan alçı esaslı bir malzemedir. Yüksek ışın enerjilerinde nispeten daha az koruma sağlar, ancak mamografide kullanılan daha düşük enerjilerde etki göstermektedir.

Kurşun cam; yüksek kurşun ve barit içermektedir. Genellikle operatörün ekranları, tavan askılı koruyucu cihazları ve röntgen odasında pencereleri izlemek için kullanılır. Radyofarmasi ve radyoloji laboratuvarlarda kullanılmaktadır. Normal camdan daha yumuşaktır ve kolayca zarar görebilir. Aynı zamanda lekelenmeye duyarlıdır ve kuru tutulmalıdır.

Kurşun akrilik; kurşun eşdeğeri kalınlığı aralığında üretilen şeffaf bir koruyucu malzemedir. Kurşun, camdan daha yumuşaktır ve sıklıkla düşük kVp ortamında (*mamografi*) pencereler veya ekranlar için kullanılır.

3.1.2. Tomoterapi Ünitesi Radyasyon Koruması

Tomoterapi yenilikçi bir ışın tedavisi tekniğidir. Bilgisayarlı Tomografiye (BT) benzer bir şekilde, hasta çok dar bir foton ışını kesitleri ile tedavi edilmektedir. Geleneksel radyasyon tedavisinin aksine, Tomoterapi ünitesinin ışın kaynağı hastanın etrafında sürekli dönmektedir. Tomoterapi ışını birçok açıdan hastaya girdiğinden,

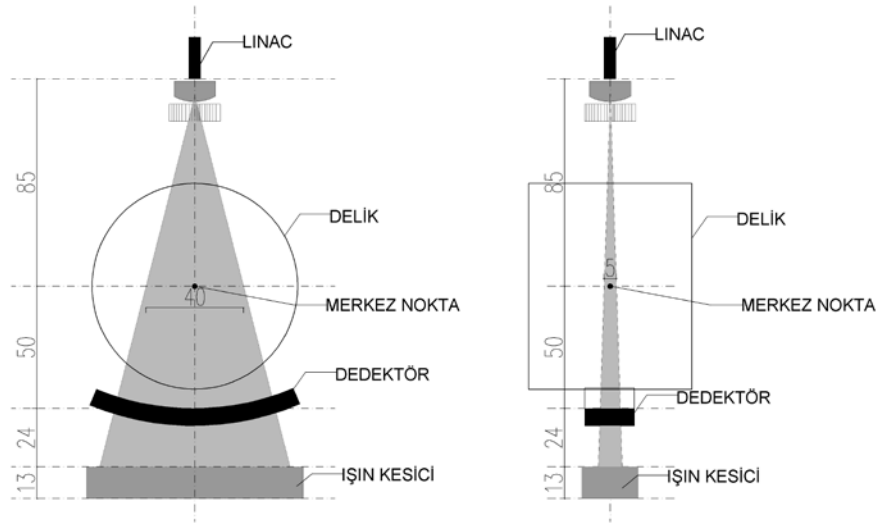
¹⁴ Kilovolt doruğu, (Kilovolts peak) X-ışını tüpünün ulaştığı maximum doruk noktası anlamına gelmektedir.

tümör daha kesin olarak hedeflenmekte ve tümörü çevreleyen normal dokulara daha az zarar verilmektedir¹⁵.

Kullanılan bu yenilikçi teknikle, ünitenin zırhlama tasarımıyla ilgili yeni, radyasyon korunma zorluklarını ortaya çıkarmaktadır. Gövdenin bütünlüğünü ve oda radyasyon seviyelerini test etmek için Tomoterapi'ye entegre olmuş doğrusal hızlandırıcı yapısının etrafında temel ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Genel olarak, Tomoterapi radyasyon koruma kriterleri birincil radyasyon alanı, dağılmış radyasyon ve radyasyon sızıntısı başlıkları altında incelenmektedir¹⁶.

3.1.2.1. Birincil Radyasyon Alanı

Kaynağın tam karşısında bulunan ana portal (*gantry*) üzerine monte edilen 13 cm kalınlığında kurşun plakalar içeren radyasyon ışını durdurucusu, birincil radyasyon ışını korumasıdır. Merkez noktasından birincil ışının maksimum yüzeyi 40x5 cm² olup, çapraz yönde (*xy*) 27° açıda ve uzunlamasına (*yz*) 3.5° açıda açılmaktadır (Şekil 3.2). Tomoterapi ünitesinin geometrisi sabit ve iyi tanımlanmış, 2,5 derecelik bir sınır yeterlidir. Bu nedenle, merkez noktasından 74 cm uzakta bulunan ışın kesici 91 x 24 cm genişliğinde olmalıdır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Tomoterapi geometrik şema ön ve yan görünüşü

¹⁵ T. R. Mackie, T. Holmes, S. Swerdloff, P. Reckwerdt, J. Deasy, J. Yang, B. Paliwal, and T. Kinsella, "Tomotherapy: A new concept for the delivery of conformal radiotherapy," Med. Phys. 1993

¹⁶ National Council on Radiation Protection and Measurements, "Medical x-ray, electron beam, and gamma ray protection for energies up to 50 MeV sEquipment design performance and used," NCRP Report No. 102, Washington, D. C. 1989

Portal, kullanım sırasında sürekli dönerken, indirgeme faktörü (R_r), radyasyonun korunması gereken yere yönlendirilen göreceli frekansla düzeltilmelidir. Bu indirgeme faktörü, ışın açılma açısı $\sim 32^\circ$ ile 360° arasındaki, yani yaklaşık 1/10 oranı arasında tahmin edilmektedir¹⁷. Böylece, radyasyon koruması yapılacak yer ile merkez noktası arasındaki mesafe altta belirtilen formül ile belirlenmektedir.

$$R_r = \frac{a_0^2}{(a_0 + a_p)^2} \cdot \frac{1}{250} \cdot \frac{1}{10}$$

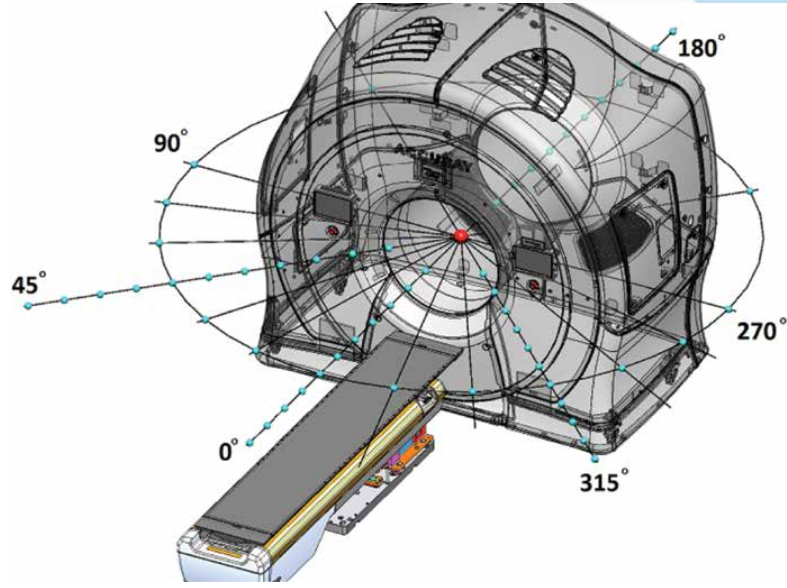
3.1.2.2. Radyasyon Sızıntısı

Radyasyon sızıntı seviyesi tedavi işlemi sırasında daha da arttığından, sızıntı radyasyonu IMRT¹⁸ ile daha fazla sorun oluşturmaktadır. Tomoterapi içinde bulunan doğrusal hızlandırıcı radyasyon sızıntılarına karşı bir dizi kurşun disklerle korunmaktadır. Bu kurşun disklerin her birinin kalınlığı 10 cm'dir. Ayrıca doğrusal hızlandırıcı 11.7 cm kalınlığında Tungsten (W74) haznenin içine oturmaktadır. Tungsten hazne, sızıntı radyasyonun daha az yayılmasını sağlamaktadır.

Enine düzlemde, dönen kaynak, merkez noktasından herhangi bir eşit mesafede aynı oranda radyasyon üretmektedir. Bu nedenle, çalışmanın yatay düzlemdeki doz dağılımı sınırlandırılmaktadır.

¹⁷ SHIELDING CONSIDERATIONS IN HELICAL TOMOTHERAPY, S. BAECHLER, F. BOCHUD, M. GARDON, M. SANS-MERCE, R. MOECKLI, University Institute for Radiation Physics, Lausanne, Switzerland

¹⁸ Intensity-modulated radiation therapy



Şekil 3.2 Yatay düzlemde sızıntı ve dağılan radyasyon ölçümü

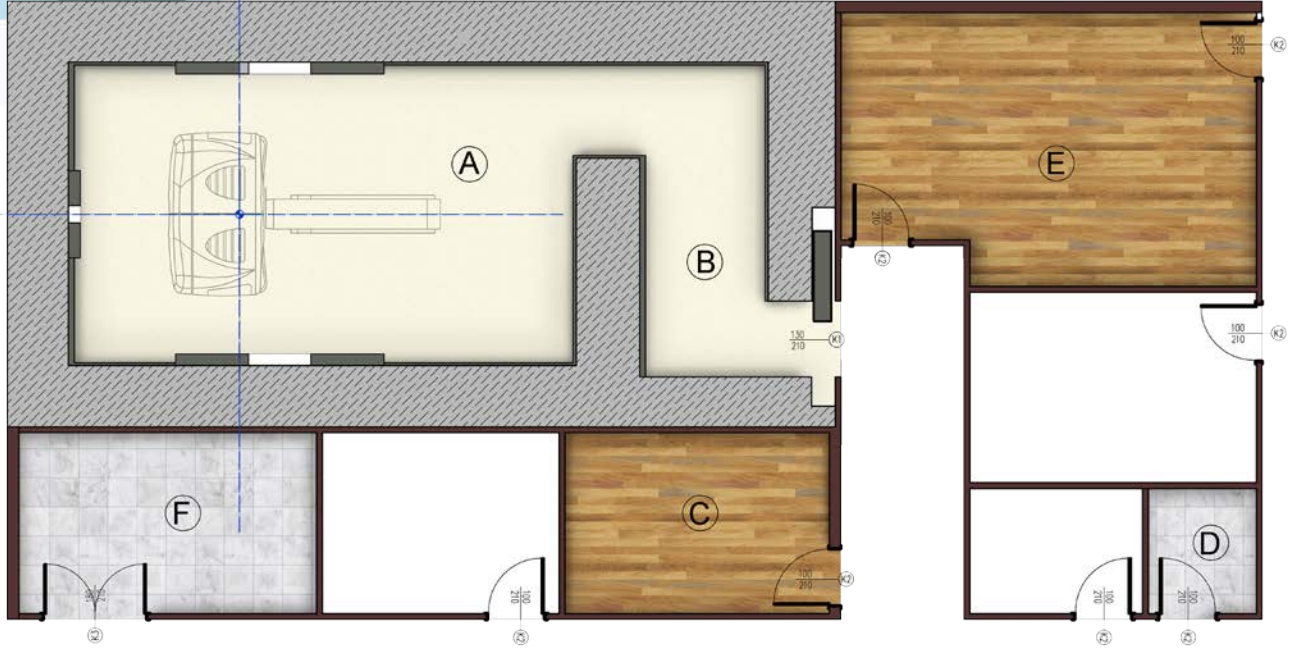
3.1.2.3. Dağılmış Radyasyon

Yapılan ilave ölçümler sonucunda ünite çevresine saçılmış radyasyon tespit edilmiştir. Radyasyon dağılımı sadece merkez noktasından 2 metre mesafede saptanmaktadır (Şekil 3.3). Bu ölçümler, tüm yapraklar açıkken ve merkez noktasına bir su fanusu yerleştirilmiş halde iken gerçekleştirilmiştir.

3.1.2.4. Örnek Tedavi Odası Zırlama Planı

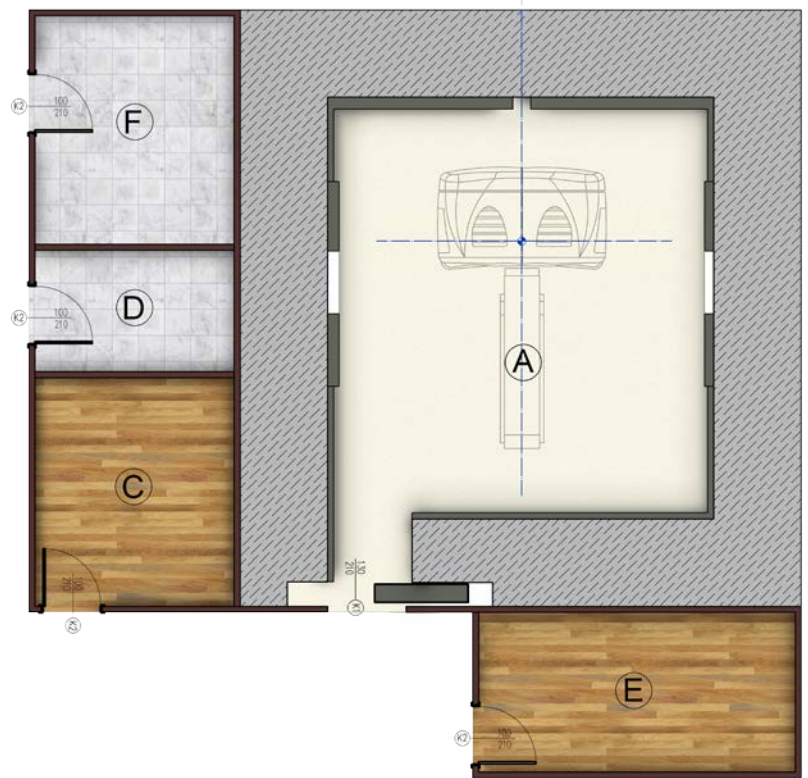
Tomoterapi tedavi odası radyasyon zırlaması için kullanılacak bürüt beton perde duvar kalınlığı minimum 110 cm olmalıdır. Ayrıca bunlara ek olarak radyasyon koruması yapılacak duvarlara 5 cm borla güçlendirilmiş polyethylene duvar kaplaması, kurşun veya çelik plakalar uygulanmaktadır (Plan 3.1) (Plan 3.2).

Tedavi odası radyasyon korumasında tasarım esnasında dikkat edilecek bir diğer hususta oda içerisinde şaşırtma koridorunun bulunup bulunmayacağıdır. Şaşırtma koridoru, tedavi esnasında dağılan ışınların oda dışına çıkmasını engellediğinden şiddetle tavsiye edilmektedir.



Plan 3.1 Tomoterapi zemin planı (Şaşırtma koridoru dâhil) (Ölçeksiz)

A	Tedavi Odası
B	Şaşırtma Koridoru
C	Kontrol Odası
D	Data Server Odası
E	Tedavi Planlama Odası
F	Mekanik Odası



Plan 3.2 Tomoterapi zemin planı (Şaşırtma koridoru hariç) (Ölçeksiz)

3.2. Havalandırma Tesisatı ve Özellikleri

Tomoterapi ana portalı (*gantry*) hava soğutmalı bir sisteme sahiptir. Eğer mümkünse özel bir soğutma sistemi yapılmalıdır. Özel havalandırma sistemine ihtiyaç duymasının sebebi oda içerisinde oluşan iyonize havanın merkezi havalandırma sistemine karışmasını engellemektir. Hava kontrol ünitesi, tedavi ünitesi içinde ki atmosferin, uygun şartlarda olması için birkaç işlevi tek başına gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bunlar ısı şartlandırma, nem kontrolü, Tomoterapi ünitesinin soğutma işlevidir.

3.2.1. Tomoterapi Tedavi Odası Havalandırma Özellikleri

Ana portal soğuk havayı ana portal arkasında bulunan 4 adet hava emiş menfezlerinden almaktadır (*Resim 3.1*). Soğutma havası, portalin arkasına tavana monte edilen 3 adet üfleme menfezlerinden verilmektedir. Verilen soğuk hava, ana portalin arkasında bulunan emiş menfezlerine girer, ekipmanı soğutur ve daha sonra ana portalin üstünden tavandaki emiş menfezlerine doğru iki dâhili ızgara aracılığı ile dışarı atar. Emiş menfezlerinin yeri çok önemlidir (*Plan 3.3*). Ana portaldan çıkan havanın tekrar portalin arka tarafından emilmesine izin verilmemesi gerekmektedir.



Resim 3.1 Tomoterapi ünitesi hava emiş kanalları

Tomoterapi tedavi odasında ki hava değişim oranı saatte 10 kez olmalıdır¹⁹. Tedavi ünitesinde uygun atmosferi sağlayabilmek için hava üfleme gücü, hava egzoz gücünden yüksek olmalıdır. Yani oda içerisinde pozitif yönlü bir hava dolaşımı oluşmalıdır. Ana portal, yaklaşık 4100 m³/sa hava deşarj etmektedir. Yani portal 3850 m³/sa oda içerisinde ki havayı ve portalın alt kısmından sağlanan maksimum 244 m³/sa havayı çekmektedir. Tedavi odası içerisine egzoz edilmesi gereken hava miktarı 2000 m³/sa olmalıdır. Tüm bu belirtilen verilerin doğrultusunda soğutma miktarlarını sağlamak önem arz etmektedir. Ana portala soğutma sağlayan havalandırma sistemi termostadı, kaynak termostatından ayrı bir özel termostata bağlı olmalıdır.

Tomoterapi tedavi odası, oda sıcaklığı 20 – 24 °C arasında olmalıdır. Oda içi nem oranı %30 – 60 arasında olmalıdır. Bu koşullar günün her saati haftanın her günü aynı olmak zorundadır.

3.2.2. Tomoterapi Kontrol Odası Havalandırma Özellikleri

Kontrol odasının havalandırması spesifik her hangi bir ihtiyaca gerek duyulmamaktadır. Yapılacak hastanede bulunan merkezi havalandırma sistemine bağlı olacak şekilde yapılması gerekmektedir.

3.2.3. Tomoterapi Data Server Odası Havalandırma Özellikleri

Data Server bileşenlerini, bağımsız olarak sıcaklık kontrollü olan bir odaya yerleştirilmesi gerekmektedir. Data Server bileşenlerinin tümü ortalama 18.000 BTU/sa ısı açığa çıkarmaktadır. Oda içerisine kapiya yakın bir yere bitmiş zemin kotundan 122 cm yükseklikte bir adet termostat konulması gerekmektedir.

Oda içerisine uzaktan sıcaklık izleme sistemi veya sıcaklığa bağlı alarm sistemi konumlandırılmalıdır. Bu sistem oda içerisinde aşırı ısınma durumunda uyarı vererek sistemin kontrollü bir şekilde kapanmasını sağlamaktadır. Data Server Odası aşırı ısınması sonucunda, Tomoterapi Sisteminin kontrollü bir şekilde kapatılmasını gerçekleştirilmesi için iki saatten daha az zamana ihtiyaç olacaktır.

¹⁹ **Kaynak:** TAEK; Tıbbi Radyoloji Laboratuvarlarının havalandırılmasına ilişkin kılavuzu(RSGD-KLV-012)

3.2.4. Tomoterapi Tedavi Planlama Odası Havalandırma Özellikleri

Tedavi planlama odası havalandırılmasında spesifik olarak her hangi bir ihtiyaca gerek duyulmamaktadır. Yapılacak hastanede bulunan merkezi havalandırma sistemine bağlı olacak şekilde yapılması gerekmektedir.

3.2.5. Tomoterapi Mekanik Odası Havalandırma Özellikleri

Mekanik Oda içerisinde, yağsız hava kompresörü, hava deposu, kurutucu ve filtre bulunmaktadır. 50 Hz²⁰ olan odalar için ayrıca Frekans Dönüştürücü Birimi'ni (FCU) olması gerekmektedir. Mekanik Oda, hasta alanlarının yakınında bulunması durumunda ekipman tarafından oluşturulan ses nedeniyle oda içerisi akustik açıdan izole edilmesi gerekmektedir.

²⁰ Hertz; saniye başına düşen devir sayısını ifade etmektedir. 1 Hertz saniyede bir devir veya 1 MHz saniye başına bir milyon (1,000,000/s) devir şeklinde tanımlanmaktadır. Bu birim herhangi bir periyodik olaya uyarlanabilmektedir.

[illegible]

14

3.3. Mekanik Tesisatı ve Özellikleri

3.3.1. Termostat

Termostat, tedavi odasında, tedavi ünitesi merkez noktasından 122 cm önde olacak şekilde, bitmiş zemin döşemesinden 153 cm yukarıya gelecek şekilde konumlanması gerekmektedir. Termostatın hassasiyet derecesi 1 °C olmalıdır.

3.3.2. Frekans Dönüştürücü

Oda içerisinde frekans seviyesi 50 Hz ve üzeri olan alanlar için gerekmektedir. Frekans dönüştürücü mekanik odanın içerisinde konumlanmalıdır. Eğer tedavi ünitesinde mekanik oda mevcut değilse frekans dönüştürücü tedavi odasına yerleştirilmelidir. Frekans dönüştürücü tedavi odasında konumlanacak ise tedavi odasındaki havalandırma yükü ona göre hesaplanması gerekmektedir.

3.3.3. İlave Hava Besleme

33 - 66 lps, 12.8 °C tamamlayıcı hava akışını sağlamak için, portal kapaklarının alt tarafına döşeme altından 20 x 10 cm kanal veya 15 cm yuvarlak PVC kanal yerleştirilmesi gerekmektedir (*Plan 3.5*). PVC kanalı döşeme altına yönlendirilmesi gerekmektedir. Merkez noktasından 73.6 cm mesafe konumlanıp, bitmiş zeminin 5 cm üstünde olması gerekmektedir.

3.4. Elektrik Tesisatı ve Özellikleri

Tomoterapi ünitesi enerji ihtiyacını şehir şebekesi ve Güç Dağıtım Biriminden (*PDU*) sağlamaktadır. Güç Dağıtım Biriminden (*PDU*), tedavi ve kontrol üniteleri bileşenlerine güç sağlamaktadır. Güç doğrudan bir ana dağıtım panelinden çoğaltılarak Tomoterapi sistemine ayrı bir hattan verilmesi gerekmektedir.

3.4.1. Tomoterapi Ünitesi Enerji İhtiyacı

Tomoterapi ünitesi maksimum 58 kVA elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Tomoterapi tedavi sistemi için acil durum enerji kaynağına ihtiyaç yoktur. Eğer acil bir güç kaynağı oluşturulması gerekirse, PDU²¹ için belirtilen güç gereksinimleri ile aynı olmalıdır. Ayrıca Tomoterapi sistemini destekleyen tüm havalandırma sistemi içinde

²¹ Power Distribution Unit

acil güç kaynağı gerekmektedir. Bunun sebebi Tomoterapi sistemi çalışırken oda içerisindeki hava sıcaklığının korunmasıdır. Şebeke elektriği gittiği durumlarda, acil durum güç kaynağına geçiş sırasında voltajda bir kesinti olacak ve bu nedenle tedavide bir kesinti oluşacaktır.

Tüm sistem için, topraklama (iletken) en az güç kabloları ile aynı kalınlıkta olmalıdır. Topraklama iletkeni olarak elektrik kablolarını veya elektrik kanallarını kullanılmamalıdır. PDU'ya bir toprak elektrodu eklenmesi gerekmektedir.

3.4.2. Tedavi Odası Bileşenleri Minimum Enerji Gereksinimleri

Tomoterapi ünitesi ana portal (*gantry*), 400 (VAC) volt trifaze²² gerilime ihtiyaç duymaktadır. Ana portal (*gantry*) enerji ihtiyacını güç dağıtım biriminden (*PDU*) almaktadır.

Tedavi masası, 230 (VAC) volt trifaze gerilime ihtiyaç duymaktadır. Tedavi masası enerji ihtiyacını güç dağıtım biriminden (*PDU*) almaktadır.

Güç Dağıtım Birimi (*PDU*), 480 (VAC) volt trifaze gerilime ihtiyaç duymaktadır. Enerji ihtiyacını şehir şebekesinden sağlamaktadır.

Apollo lazerleri, 240 voltluk monofaze²³ alternatif gerilime ihtiyaç duymaktadır. Enerji ihtiyacını şehir şebekesinden karşılamaktadır. Dorado lazerleri, 230 voltluk monofaze alternatif gerilime ihtiyaç duymaktadır. Enerji ihtiyacını güç dağıtım biriminden (*PDU*) almaktadır.

3.4.3. Kablo Kanalları

Güç kabloları ile sinyal kabloları ayrı kanallarda olması gerekmektedir. Zemin özelliklerinde de bahsedildiği (*Plan 3.5*) gibi Güç Dağıtım Biriminden (*PDU*), Tomoterapi ünitesi birleşenlerine bağlantı kurulması için bir çukur oluşturulması gerekmektedir. Yapılacak aydınlatma birimleri Tomoterapi ünitesi birleşenleri ile aynı yerde olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

²² Tri kelimesi Latince'den gelmektedir ve üç anlamını taşımaktadır. Trifaze, 3 ya da daha fazla sistemler için kullanılmaktadır. Gerilimleri arasında faz farkı olan birden fazla tek fazlı yapının birleştirilmiş halidir. Ülkemizde **380 volt** gerilime sahip sanayi elektriği olarak bilinmektedir.

²³ Latince'den gelen mono kelimesi bir veya tek anlamını taşımaktadır. Monofaz, tek faz olarak ifade edilmektedir. Alternatif akım ile birlikte bir faz ve bir nötr hattından meydana gelen elektrik beslemesidir. Ülkemizde **220 volt gerilim** tipi olarak bilinmektedir, 50 Hz frekansa sahiptir.

Tablo 3.1 Boru hattı ve kablo tesisatı (tüm değerler iç çaptır)

	KANAL	ŞEBEKEDEN	ŞEBEKEYE	BOYUT
1	Enerji	Kontrol istasyonu acil durum	Ana bağlantı kesici	1.2 cm
2	Enerji	Ana bağlantı kesici	PDU	1.5 cm
3	Enerji	Tedavi Odası acil durum kapama	PDU bağlantı kutusu	1.2 cm
4	Enerji	Sistem Durumu Göstergeleri	Makas köprüsü (gantry) arkası	1.9 cm
5	Enerji	Kapı interlock düğmesi	PDU bağlantı kutusu	1.2 cm
6	Enerji	Dorado lazerleri	PDU Bağlantı Kutusu yolu ile tavan bağlantı kutusuna	2.5 cm
7	Enerji	Zemin elektrodları	PDU	1.9 cm

Tablo 3.2 Kanal tesisatı (kablolu)

	KANAL	ŞEBEKEDEN	ŞEBEKEYE	BOYUT	MAX. UZUNLUK
1	Sinyal	Kontrol istasyonu bağlantı kutusu	Ana portal (gantry) arkası yolu ile sinyal çukuru	5 cm	24.38 m
2	Güç	Kontrol istasyonu bağlantı kutusu	PDU bağlantı kutusu	5 cm	24.38 m
3	Sinyal	Tedavi masası bağlantı kutusu	Ana portal (gantry) arkası	7.6 cm	6.09 m
4	Güç	Tedavi masası bağlantı kutusu	PDU yolu ile elektrik anahtarı	7.6 cm	16.76 m
5	Sinyal	Dorado lazerleri	Asma tavanın 15.24 üzerinde	3.8 cm	16.76 m
6	Sinyal	Tomoterapi iletişim açma anahtarı	Arka duvarda konumlanan interkom	1.27 cm	-
7	Sinyal	Kontrol istasyonu	Tedavi odası	10 cm	-

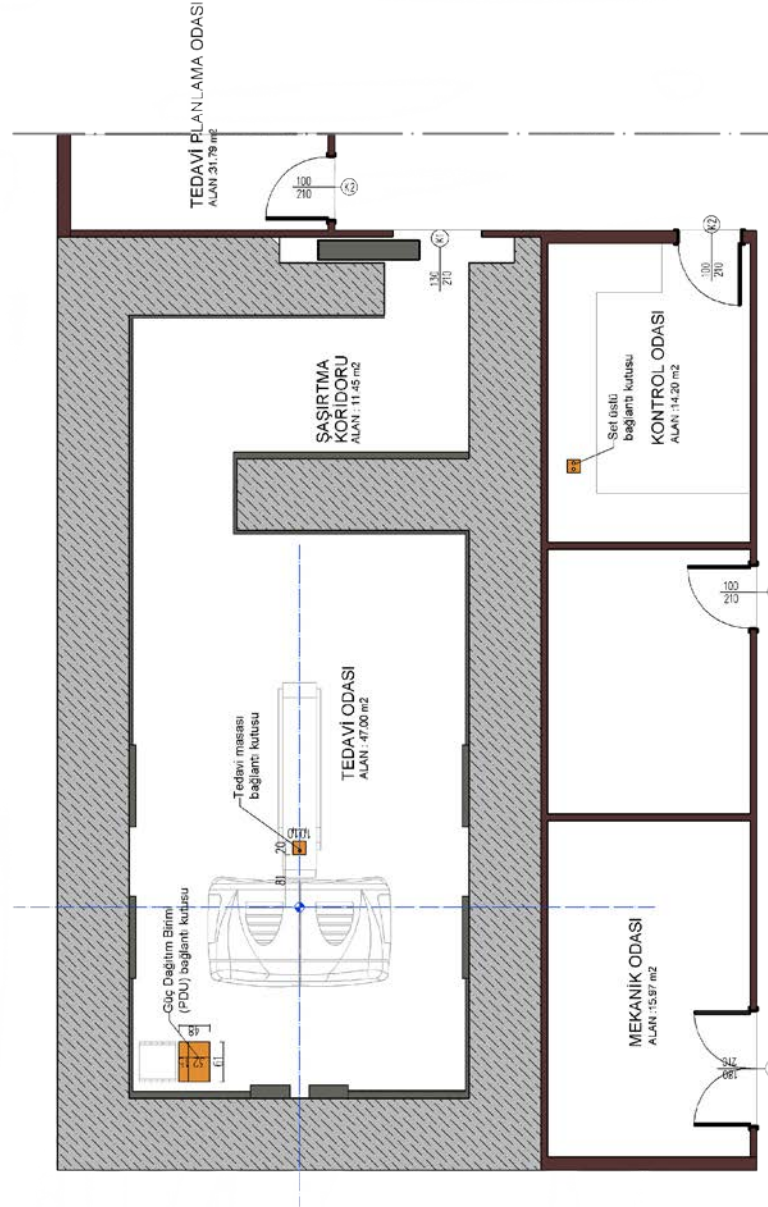
3.4.4. Bağlantı Kutuları

Güç Dağıtım Birimi (PDU) bağlantı kutusu, tedavi odası içerisinde bulunmaktadır. Boyutları 61 x 45.7 x 30.5 cm'dir. Bağlantı kutusunun üzeri kapak ile kapatılmalıdır. Fakat bu kapakta PDU bağlantılarının yapılması için 15.2 cm bir boşluk bırakılmalıdır (Plan 3.4).

Tedavi masası bağlantı kutusu, tedavi odasında içerisinde bulunmaktadır. Boyutları 20.4 x 20.4 x 15.2 cm'dir. Tedavi masasının merkezi, ana portal merkez noktasından 81 cm gelecek şekilde konumlandırılmalıdır (Plan 3.4). Bağlantı kutusu bitmiş zemin kotu ile eşit olması gerekmektedir. Kablo bağlantısı için bağlantı kutusu kapağı üzerine bir adet delik açılması gerekmektedir.

Tavan bağlantı kutusu, tedavi odası içerisinde konumlanmaktadır. PDU ile Dorado lazerler arasında güç bağlantısını sağlamaktadır.

Masa üstü bağlantı kutusu, kontrol odasında konumlanması gerekmektedir. Bu kutuya 5 cm enerji ve 5 cm çapında sinyal kablo kanalları gelmektedir. Bağlantı için kablo kanallarına 2 adet 5 cm çapında delik açılması gerekmektedir (Plan 3.4).



Plan 3.4 Tomoterapi ünitesi bağlantı kutuları planı (Ölçeksiz)

3.5. Zemin Özellikleri

3.5.1. Zemin Kaplama Özellikleri

Bitmiş zemin kaplaması, Tomoterapi ünitesi montajından önce yapılması gerekmektedir. Birçok bilgisayar parçalarında olduğu gibi, Tomoterapi parçaları da statik elektriğe²⁴ karşı duyarlıdır. Bu yüzden statik elektriğe karşı korumalı zemin kaplamaları (*vinil, epoksi gibi*) seçilmesi gerekmektedir. Eğer zemin kaplaması olarak halı kaplaması benzeri malzemeler kullanılacak ise seçim yapılırken iyon direnci, anti-statik veya anti-statik bir çözelti ile işlenmiş ürünler seçilmesi gerekmektedir.

Tomoterapi ünitesi montajı yapılırken ana portal (*gantry*) ve tedavi masasının beton zemine oturduğundan emin olunması için zemin kaplamasının bazı bölümlerinin sökülmesi gerekmektedir. Fakat portal muhafazaları ve hasta masası tabanı örtüsü yerleştikten sonra zemin kaplaması tekrar yerine yerleştirilmesi gerekmektedir.

Zemin kaplama montajı, Tomoterapi tedavi sistemi montajından sonra yapılacak ise tedavi masası pozisyonunun ayarlanabilmesi için alüminyum tedavi masası tablasının etrafından minimum 50.8 mm boşluk bırakılması gerekmektedir.

3.5.2. Tomoterapi Ünitesi İçin Gerekli Zemin Özellikleri

Portal alt tabanı; portal ağırlığını (*4536 kg*) taşıyacak mukavemete olmalıdır. Portalın oturacağı çukurun derinliği minimum 25.4 cm olmalıdır (*Kesit 3.1.*). Ünite montajından önce tüm kanalların, boru hatlarının, portaldan çıkan inşaat demirlerinin ve tedavi masası montaj alanının belirlenmesi gerekmektedir.

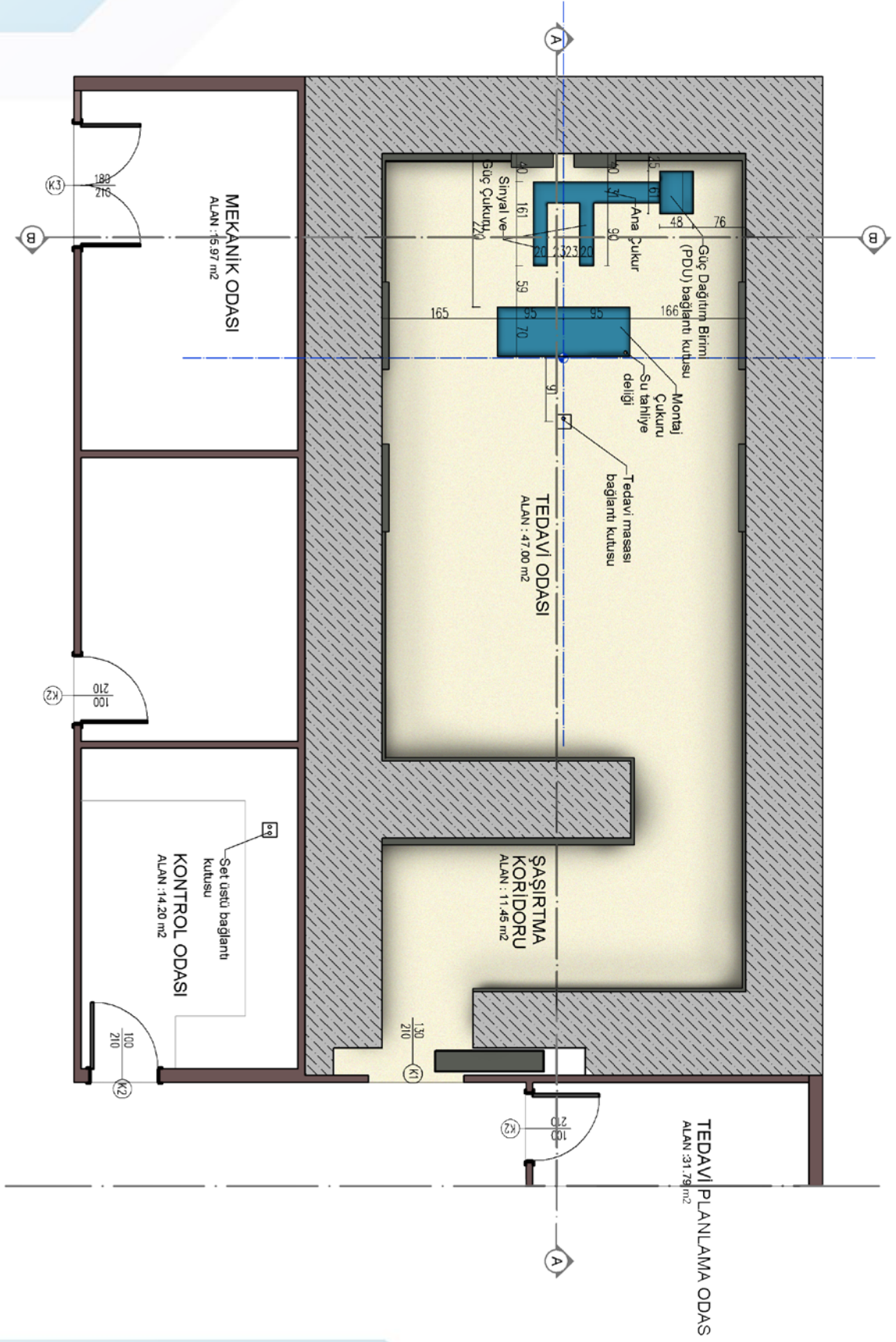
Tomoterapi tedavi odasının içerisine ana portalın yerleşmesi için 189.2x69.9x25.4 cm (*BxExY*) ebatlarında bir zemin çukuruna ihtiyaç vardır (*Plan 3.5*). Montaj çukuru içerisi drenaj için bir yöne doğru hafif eğimli verilmesi gerekmektedir.

Tomoterapi, acil durumda su boşaltımı için ana portal çukuru tabanına engebeli olmayan bir zemin suyu tahliyesi yapılmalıdır. Su drenaj akış oranını sağlamak için

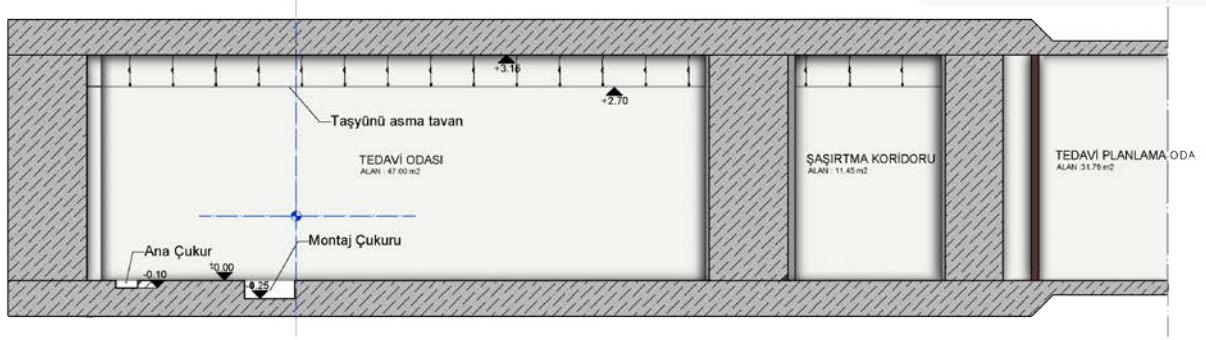
²⁴ **Statik Elektrik**, tabiatta birbirinden farklı veya aynı, iletken veya yalıtkan iki maddenin temas etmesi ve sonra ayrılması veya sürtünme işlemi sonucunda, bu iki cisim arasında pozitif ve negatif elektronların serbest bırakılması ve işaretlerinin değişmesi ile kendiliğinden oluşur.

tahliye borusunun montajını çukurun sağ veya sol ön köşesinde olmalıdır. Çukur içerisinde su tahliye borusu olmadığı takdirde, çukur içerisine giren suyun algılanabilmesi için nem sensörü konulmalıdır.

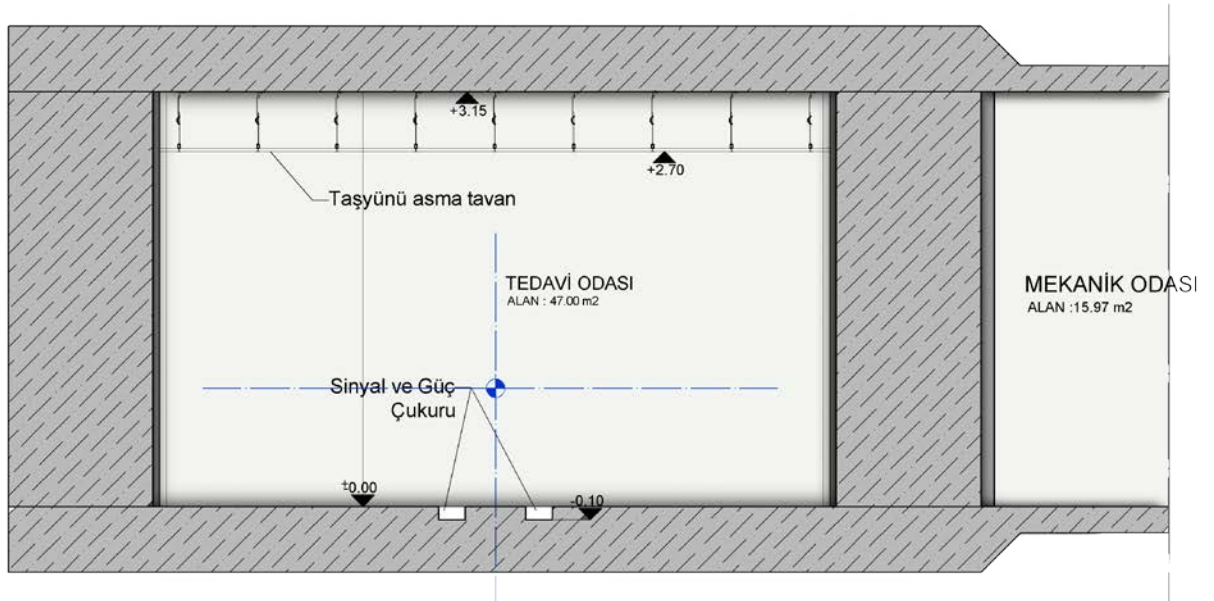
Güç Dağıtım Biriminden (*PDU*), ana portala bağlantı kurabilmesi için 30.5x10.2 cm (*ExD*) boyutlarında bir çukura ihtiyaç duyulmaktadır (*Plan 3.5*). PDU'dan ana portalın arkasına gelen bağlantı çukuru ikiye bölünerek (*sinyal ve güç kablosu*) ana portalın arkasına gider. Sinyal ve güç için yapılan çukurların dış kenarları, merkez çizgisinin her iki yanına 46 cm ve çukurların boyutları 20.3x10.2 cm (*ExD*) boyutlarında olmalıdır. Bitmiş ölçü merkez noktasından 73.7 cm olmalıdır.



Plan 3.5 Tomoterapi ünitesi zemin çukurları (Ölçeksiz)



Kesit 3.1 A – A KESİTİ (Ölçeksiz)



Kesit 3.2 B – B KESİTİ (Ölçeksiz)

4. Tomoterapi Tedavi Ünitesi Mekân Tasarımı

Tedavi ünitesi, Tomoterapi ışın tedavisi sisteminin gereksinimlerine uygun olarak tasarlanacak mekândır.

4.1. Önerilen Minimum Tedavi Ünitesi Ölçüleri

Tomoterapi Sistemi, iki farklı zırhlama düzenine sahip olarak kurulabilir. Birincisi doğrusal hızlandırıcı tabanlı şaşırtma koridoru içeren oda tasarımı (*Plan 3.1*), ikincisi şaşırtma koridoru içermeyen oda tasarımıdır (*Plan 3.2*). Tedavi ünitesi gerekli asgari alan özellikleri alt kısımda belirtilen hususlar doğrultusunda şekillenmektedir.

- Tomoterapi tedavi odası minimum 47 m² olmalıdır.
- Tedavi odası ölçüleri minimum 700x520x315 cm (*ExBxY*) ebadında olmalıdır.
- Radyasyona maruz kalan duvarlar *Plan 4.2*'de görüldüğü gibi, minimum 110 cm kalınlığında olmalıdır.
- Tomoterapi odası tavan döşemesi minimum 50 cm kalınlığında olmalıdır. (*Kesit 4.2*)
- Tedavi odası asma tavan hariç, tavan yüksekliği 315 cm olmalıdır. Asma tavan dâhil, tavan yüksekliği 270 cm olmalıdır.
- Tedavi odası zemin döşeme kalınlığı minimum 50 cm olmalıdır. (*Kesit 4.2*)
- Tedavi odasının zeminine yerleştirilecek ana portal (*gantry*) için bir çukur oluşturulmalıdır²⁵.
- Tedavi odası içerisinde bulunan şaşırtma koridoru minimum genişliği 220 cm olmalıdır (*Plan 4.2*)
- Şaşırtma koridorunun sonunda bulunan oda giriş kapısı 130x210 cm, radyasyona dayanıklı ve interlock²⁶ sistemine sahip olmalıdır.
- Tomoterapi tedavi ünitesi ayrıca kontrol odası, tedavi planlama odası, data server odası ve mekanik odası bulunması gerekmektedir.

²⁵ Detaylı bilgi için (3.5.2 Tomoterapi Ünitesi İçin Gerekli Zemin Özellikleri)

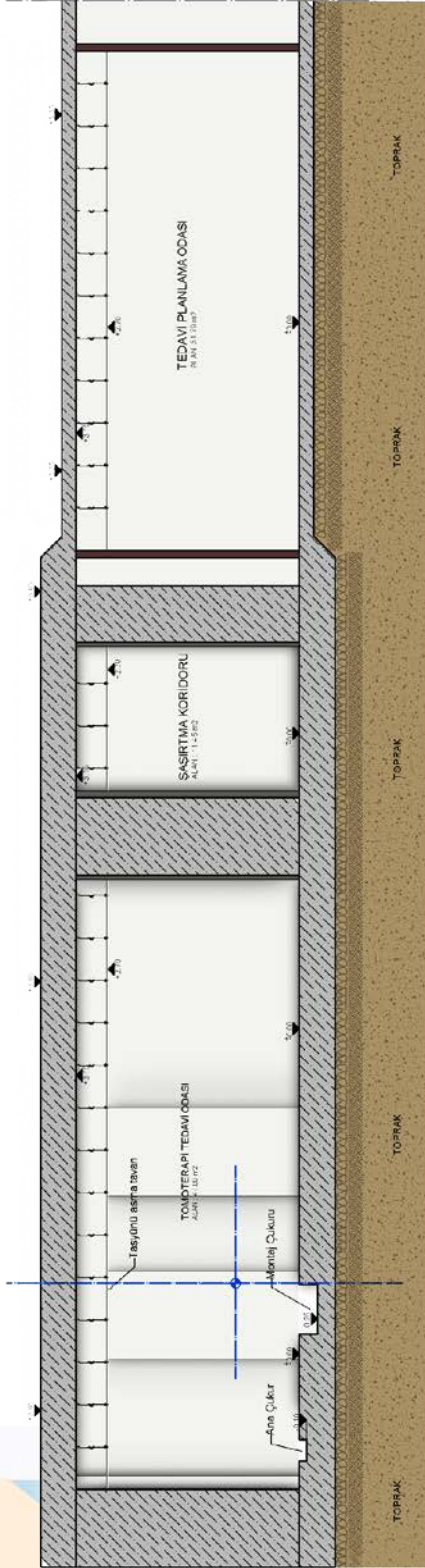
²⁶ Elektronik kapı geçiş kontrol sistemidir.

- Kontrol odası, tedavi planlama odası ve teknik hacim asma tavan hariç tavan yüksekliği 315 cm, asma tavan dâhil tavan yüksekliği 270 cm olarak belirlenmelidir.
- Kontrol odası minimum 450x310x270 (ExBxY) cm olup, minimum 14 m² olmalıdır.
- Tedavi planlama odası minimum 450x700x270 (ExBxY) cm olup, minimum 30 m² olmalıdır.
- Tomoterapi ünitelerinin olduğu mekanik oda, 310x515x270 (ExBxY) cm olup, 15 m² olmalıdır.
- Tomoterapi ünitesinin bir başka odası olan data server odası minimum 220x210x270 (EXBXY) cm olup, minimum 4 m² olmalıdır.

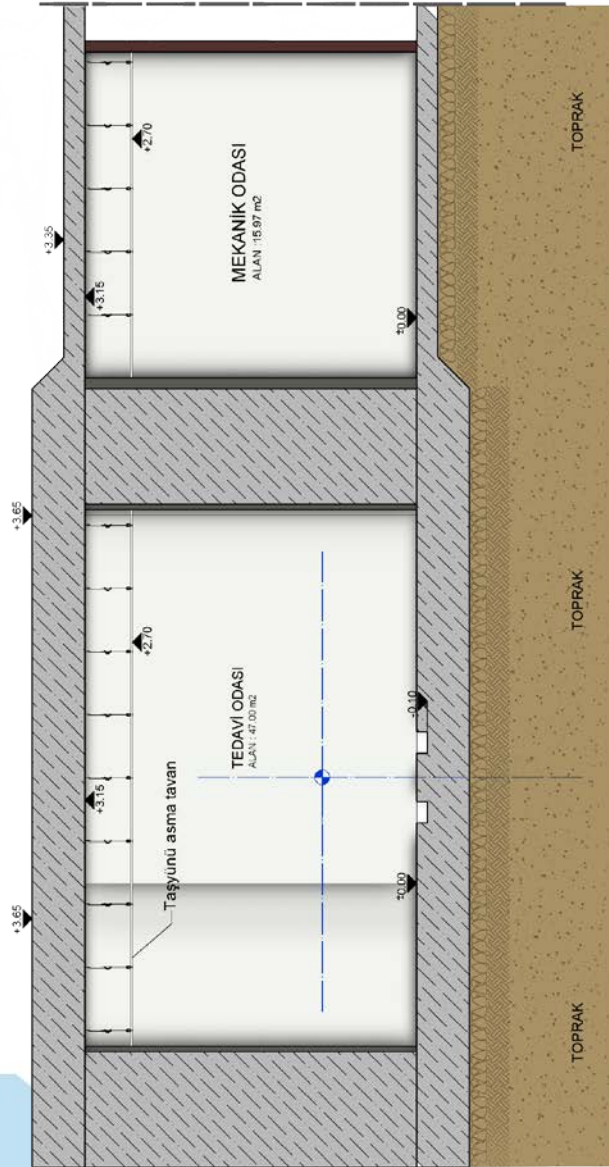




Plan 4.2 Tomoterapi tedavi ünitesi planı (şasırtma koridoru dâhil) (Ölçeksiz)



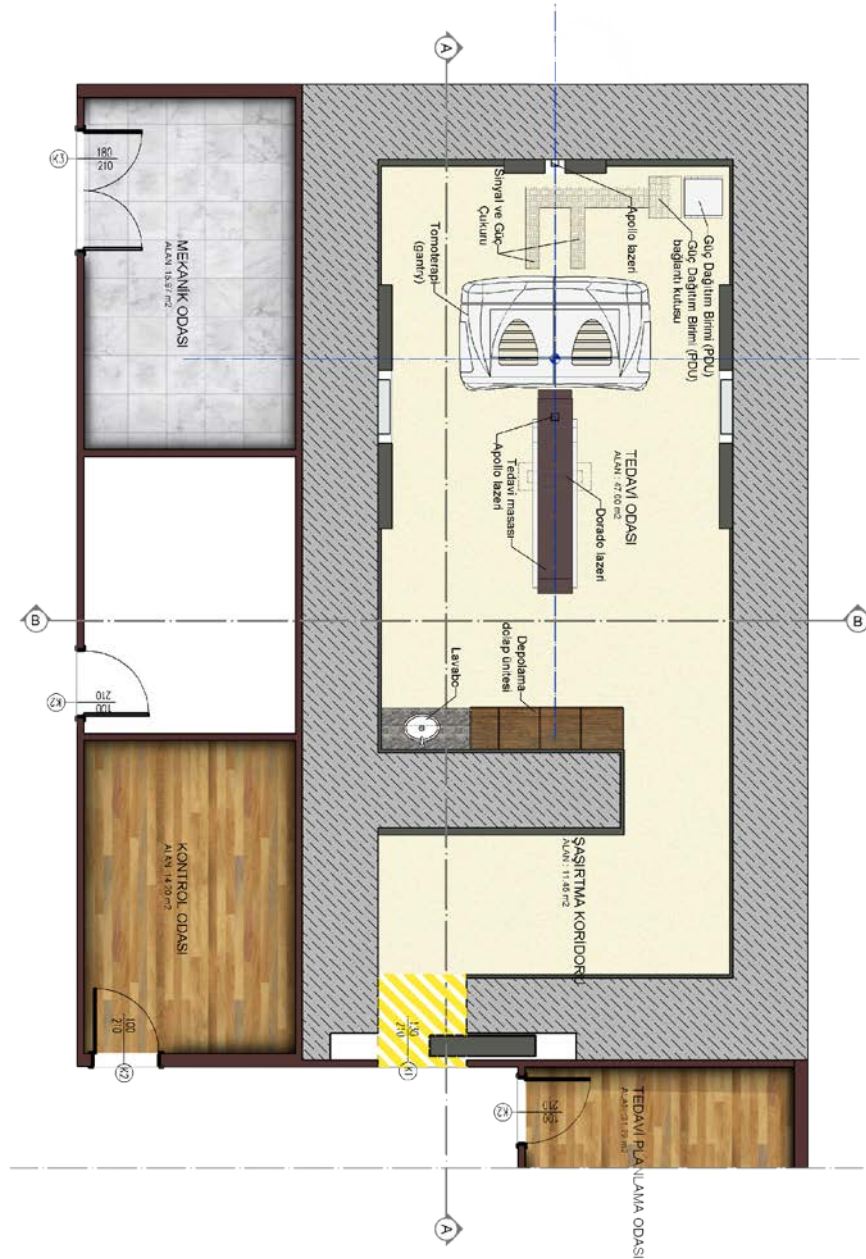
Kesit 4.2 A – A KESİTİ



Kesit 4.1 B – B KESİTİ

4.2. Tedavi Odası Özellikleri

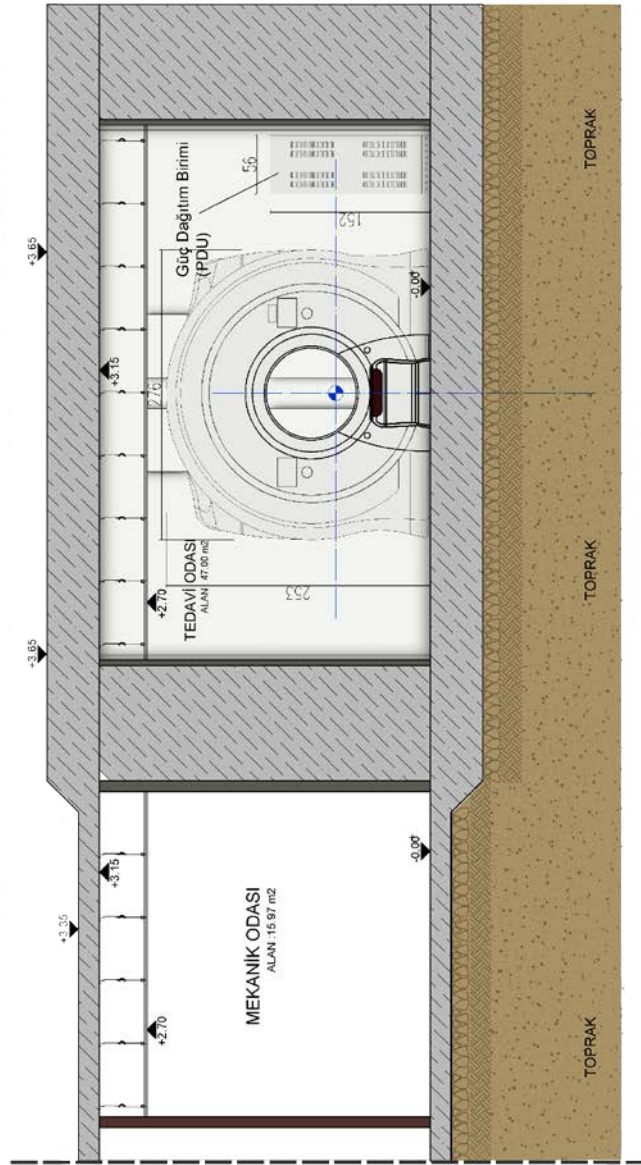
Tedavi odası, Accuray firması tarafından üretilen Tomoterapi tedavi birimlerinin ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanmış alandır. Bu alanda Tomoterapi ünitesine ek olarak, tedavi hazırlık ve tedavi esnasında duyulacak ihtiyaçlar doğrultusunda bulunması gereken lavabo ve depolamak yapmak için kullanılacak dolap üniteleri, beş adet Dorado lazeri, iki adet Apollo lazeri ve iletişim için interkom hoparlör sistem bulunmaktadır.



Plan 4.3 Tomoterapi Tedavi Odası yerleşim planı (Ölçeksiz)



Kesit 4.3 A – A kesiti (Ölçeksiz)



Kesit 4.4 B – B Kesiti (Ölçeksiz)

Plan 4.4 ve *Kesit 4.3*, *Kesit 4.4*'te tedavi odasının minimum ölçüleri verilmektedir. Araştırmalar sonucunda tedavi odasının gerekli asgari alan özellikleri altta belirtilen hususlar doğrultusunda şekillenmektedir;

- Tedavi odası *Plan 4.4*'te belirtilen şekilde ise minimum 47 m² olmalıdır.
- Tedavi odası eğer *Plan 4.1*'de görüldüğü gibi şaşırtma koridoru içermiyorsa minimum 44 m² olmalıdır.
- *Plan 4.4*'te tedavi odası minimum 700x520 cm olmalıdır (BxE).
- Radyasyona maruz kalan tavan döşemesi 110 cm kalınlığında olmalıdır.
- Şaşırtma koridoru minimum 10 m² olmalıdır.
- Kesit 4.3 ve Kesit 4.4'te belirtildiği gibi minimum betonarme tavan döşemesi yüksekliği 315 cm'dir.
- Yapılacak minimum asma tavan yüksekliği 300 cm olmalıdır.
- Şaşırtma koridorunda bulunan (K1) 130 cm genişliğinde, 210 cm yüksekliğinde radyasyon korumalı, interlock²⁷ kapı olmalıdır.

4.3. Tedavi Odası Tomoterapi Üniteleri

Bu bölümde tedavi odasında bulunması gereken üniteler ve özelliklerinden bahsedilmektedir.

4.3.1. Ana Portal (Gantry) ve Ekipman Muhafazaları

Bu birimin montajı zemine yapılmaktadır²⁸. Ana portal, radyasyon tedavisinde kullanılan ana ünitelerdir. Ekipman muhafazaları, ana portal birimlerine servis erişimi için tasarlanmıştır. Montaj çukuru elektrik, havalandırma ve mekanik tesisatlar için gerekmektedir.

²⁷ Elektronik kapı geçiş kontrol sistemidir.

²⁸ Detaylı bilgi için *Bknz (3.5 Zemin Özellikleri)*

Ana portal açıklıkları nedeniyle, çukur en az 25 cm derinliğe olmalı (*Kesit 3.1*) ve nem sensörü ile çukurun zemini eğimli olmalıdır. Ana portalı soğutmak için ilave soğutulmuş havaya ihtiyaç duyulmaktadır.²⁹

4.3.2. Tedavi Masası

Bu birimin montajı zemine yapılmaktadır. Standart tedavi masası, otomatik hasta konumlandırma teknolojisi kullanılarak hastayı tedavi sırasında konumlandırmak için kullanılır. Tedavi masası maksimum yük kapasitesi 200 kg'dır.

4.3.3. Güç Dağıtım Birimi (PDU)

Bu birimin montajı zemine yapılmaktadır. Güç dağıtım birimi (PDU), tedavi odası ve kontrol odasında bulunan tüm kritik Accuray bileşenlerine güç sağlamaktadır. PDU'nun en uygun konumu tedavi odası içerisinde bulunduğu halidir. Eğer isteğe bağlı olarak PDU tedavi odası dışına konumlandırılacaksa ana portalla arasındaki mesafesi 10.5 metreyi geçmemelidir.

4.3.4. Lazer Konumlandırma Sistemi

Bu lazerlerin montajı duvarlara ve tavana yapılmaktadır. Tedavi odası tavanına ve duvarlarına beş adet Dorada lazeri ve iki adet Apollo lazeri monte edilmektedir. Lazerleri kurulumu hazırlamak için doğrudan duvar ve tavan yüzeyine veya girintili açıklıklara 0,95 cm alüminyum lazer montaj plakaları yerleştirilmelidir³⁰.

Lazerler, hastayı doğru konumlandırmaya yardımcı olmak için kullanılır; bu nedenle, lazer montaj plakalarını tam olarak yerleştirmeniz önemlilik arz etmektedir (*Kesit 4.5*)(*Kesit 4.6*) ve (*Plan 4.5*). Lazerler dolaplarla veya kapılarla gizlenirse, lazer açıklıklarını engelleyici nesnelerin önünde konulmaması bir başka önemli husustur. Lazerlerin oturtulacağı kabine veya kapı açıklığına cam kesinlikle konulmamalıdır.

Montaj plakalarını, perde beton duvardan en az 1.3 cm uzakta duracak şekilde monte edilmelidir. Lazerleri korumak için duvarlara monte edilmiş lazerlerin her iki yanına çelik çubuklar veya bir plastik laminat muhafaza takılmalıdır.

²⁹ Detaylı bilgi için *Bknz (3.2.1 Tomoterapi Tedavi Odası Havalandırma Özellikleri)*

³⁰ Montaj plakaları detayı için *Bknz. (Tablo 4.1)*

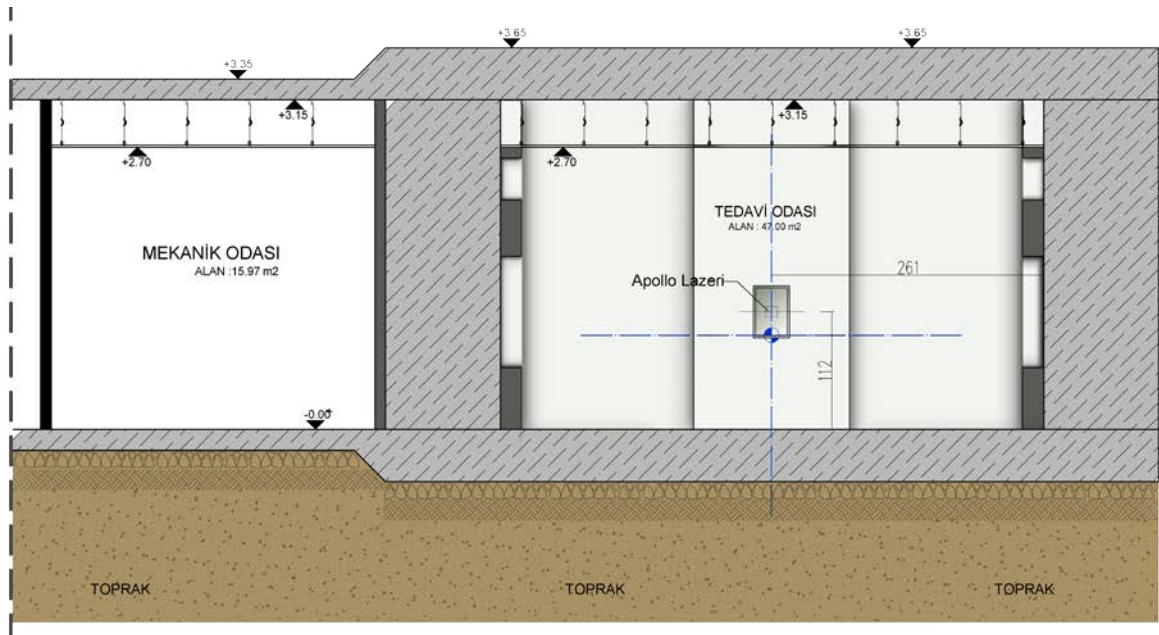
Tablo 4.1 Duvar ve tavan yüzeylerinde konumlanacak plakaların yerleri ve ölçüleri

LAZER TÜRÜ	KONUMU	PLAKA BOYUTU	YERLEŞİM YERİ
APOLLO	Tavan	45.7x30.5x0.6 cm	Plaka merkez noktası baz alınarak makine merkez noktasından 70 cm önünde olacak şekilde konumlanmalıdır.
APOLLO	Ana portalin arkasındaki duvara	45.7x30.5x0.6 cm	Dikey olarak merkez noktası baz alınarak bitmiş zemin kotundan 112.4 cm yukarıda olmalıdır.
DORADO	Tavana	106.7x40.6x0.6 cm	Tavanı ortalayarak makine merkez noktasından 152.4 cm öne gelecek şekilde konumlanmalıdır.
DORADO	Ana portalin sağ ve sol duvarlarına	106.7x40.6x0.6 cm	Dikey şekilde plaka merkez noktası baz alınarak makine merkez noktasından 70 cm önde olacak şekilde konumlanmalıdır. Plaka merkez noktası baz alınarak bitmiş zemin kotundan 112.4 cm yukarıda olmalıdır.
DORADO	Ana portalin sağ ve sol duvarlarına	106.7x40.6x0.6 cm	Yatay şekilde plaka merkez noktası baz alınarak makine merkez noktasından 70 cm önde olacak şekilde konumlanmalıdır. Plaka merkez noktası baz alınarak asma tavan kotundan minimum 30.5 cm aşağıda olmalıdır.

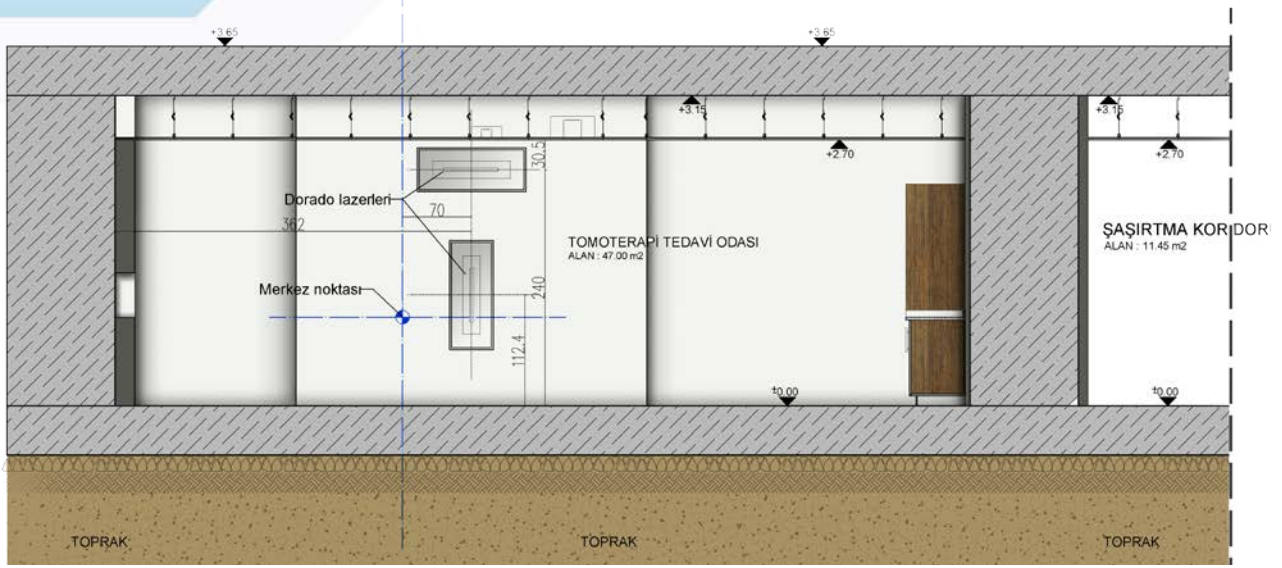
Tedavi odasında ki lazerler, nişlere yerleştirilecek ise, açıklıkların boyutları *Tablo 4.2'* de listelenmektedir. Bitmiş duvar, montaj plakası ile örtüşmemelidir. Plaka bitmiş kaplamadan bağımsız olarak kalmalıdır.

Tablo 4.2 Tedavi odası lazer montaj açıklıkları

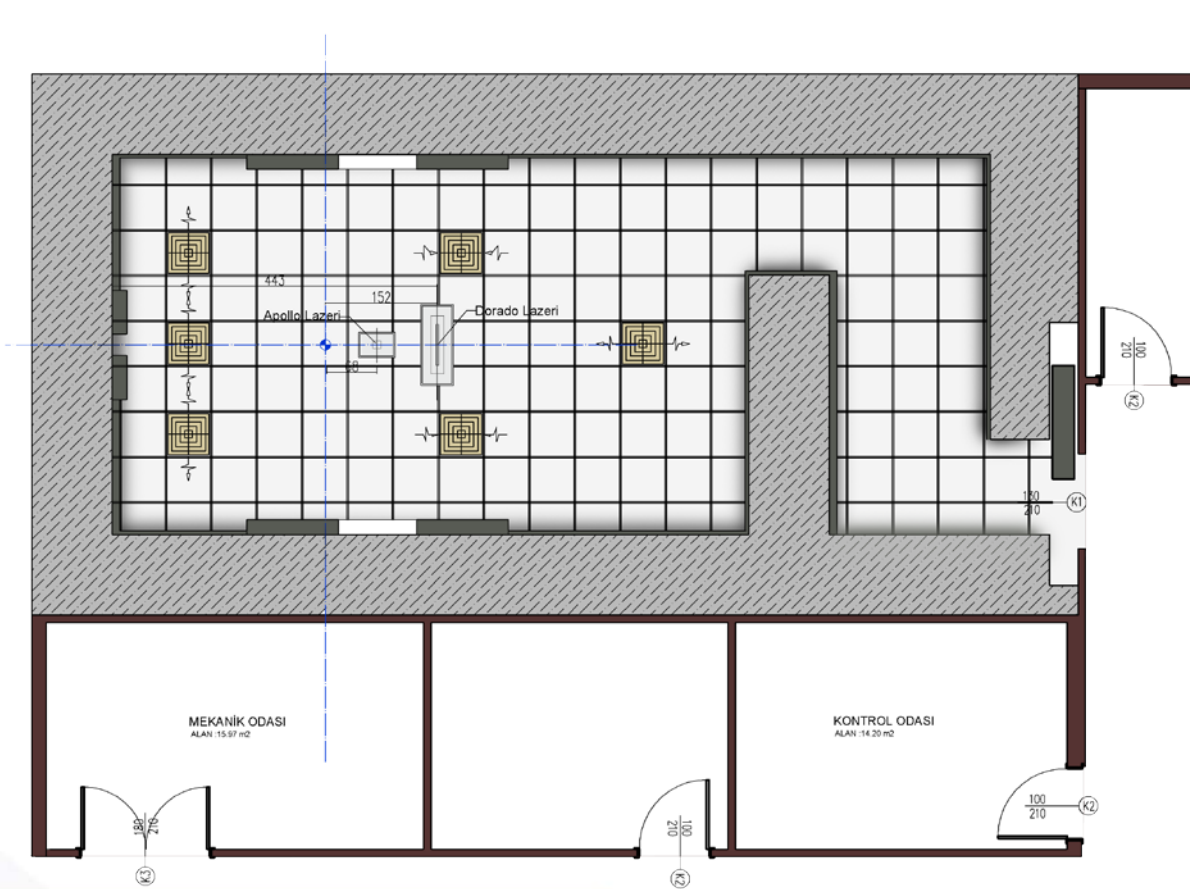
LAZER TÜRÜ	KONUMU	GEREKLİ AÇIKLIK	KESİN DERİNLİK
APOLLO	Tavan	45.7 x 30.5 cm	Çelik montaj plakasından tavan düzlemine en az 25,4 cm
APOLLO	Ana portalın arkasındaki duvara	45.7 x 30.5 cm	Montaj plakasından duvar düzlemindeki veya delikli kapaktaki girintiye kadar en az 20.32 cm.
DORADO	Tavan	106.7 x 40.6 cm	Çelik montaj plakasından tavan düzlemine en az 25,4 cm
DORADO	Ana portalın sağ ve sol duvarlarına	106.7 x 40.6 cm	Montaj plakasından duvar düzlemindeki veya delikli kapaktaki girintiye kadar en az 20.32 cm.
DORADO	Ana portalın sağ ve sol duvarlarına	106.7 x 40.6 cm	Montaj plakasından duvar düzlemindeki veya delikli kapaktaki girintiye kadar en az 20.32 cm.



Kesit 4.5 Apollo Lazeri (Ana portal arkası)



Kesit 4.6 Dorado Lazerleri (Ana portalin her iki yan duvarına)



Plan 4.5 Tavanda bulunan Dorado ve Apollo lazerleri

4.3.5. İnterkom Hoparlör Sistemi

İnterkom hoparlör sisteminin amacı tedavi sırasında hasta ve klinik tedavi uzmanları arasında iletişimi sağlamaktır. Hoparlör, merkez noktasına hastanın arkasında bitmiş zemin kotundan 228.6 cm yukarısına monte edilmesi gerekmektedir. Hoparlör ve ana portalın arka kısmı arasındaki kablo kanalı maksimum uzunluğu 457 cm aşmaması gerekmektedir.

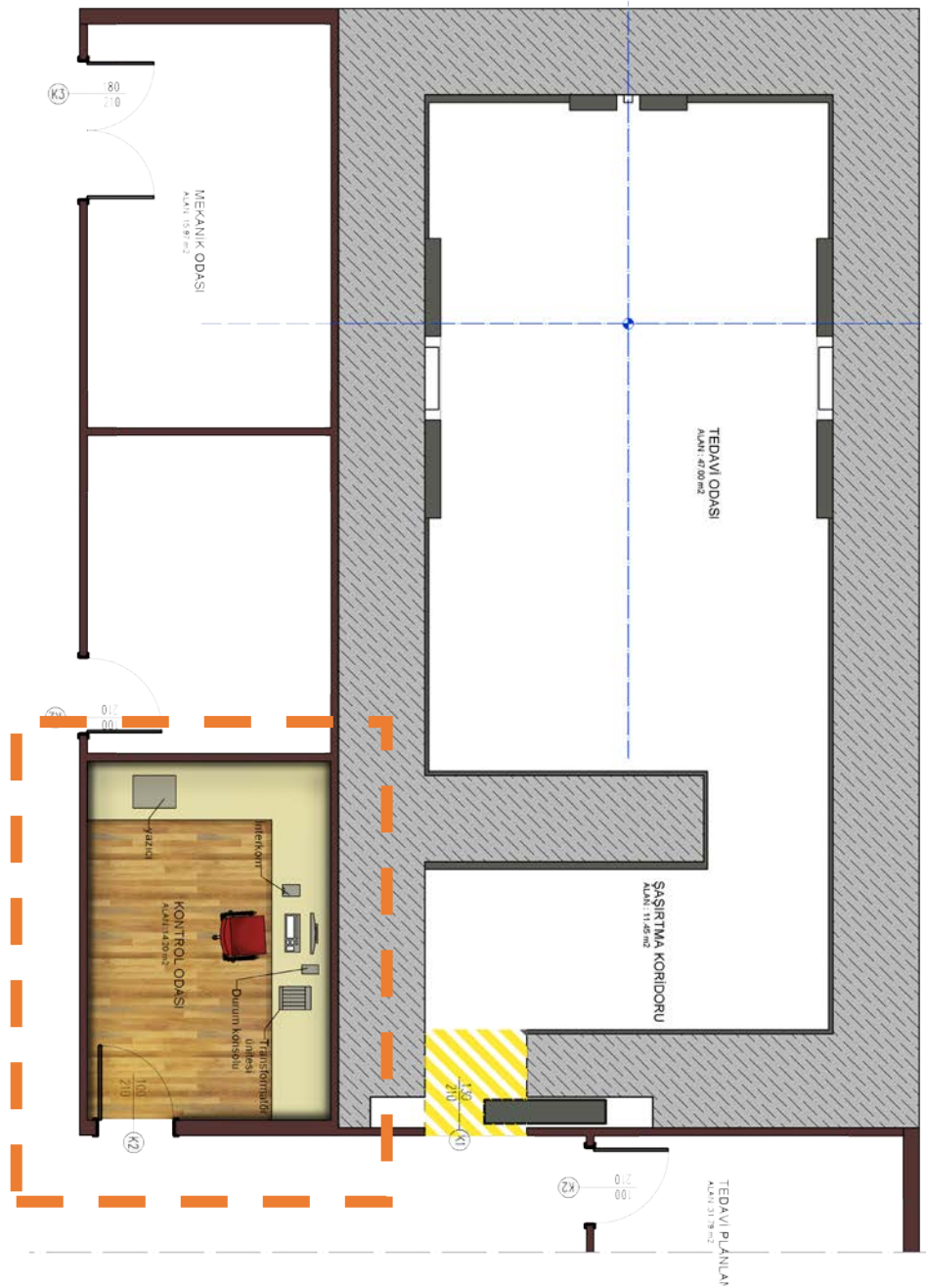
4.3.6. Medikal Gaz Hattı

Tedavi odasına medikal gaz tedariki, doğrudan gaz hattı yada oda içerisinde konumlanacak tüplerle sağlanabilir. Oda içerisine sağlanacak gaz ihtiyacı doktorlar tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Oda içerisinde bulunması gereken gazlar:

- Oksijen
- Hava
- Nitro Oksit
- Vakum
- Atık Anestezi Gazı tahliyesi

4.4. Kontrol Odası Özellikleri

Kontrol odası, Accuray firması tarafından üretilen Tomoterapi tedavi ünitesinin kontrol edildiği odadır. Bu alanda transformatör ünitesi, kontrol odası durum konsolu, kontrol odası ofis malzemeleri (*monitör, klavye, fare*), İnterkom hoparlör sistemi (*masa tipi*) ve yazıcı bulunmaktadır.



Plan 4.6 Kontrol odası planı (Ölçeksiz)

4.4.1. Transformatör Ünitesi

Transformatör ünitesi, kontrol odasında bulunan masanın altında bulunan raflara monte edilmektedir.

4.4.2. Kontrol Odası Durum Konsolu

Durum konsolu; masa üzerinde konumlanmakta olup acil durum butonu, anahtarlı resim, program ve tedavi seçenekleri, açma kapama tuşları ve radyasyon açık olduğu uyarısı vermeye işlevini görmektedir.

4.4.3. İnterkom Hoparlör Sistemi

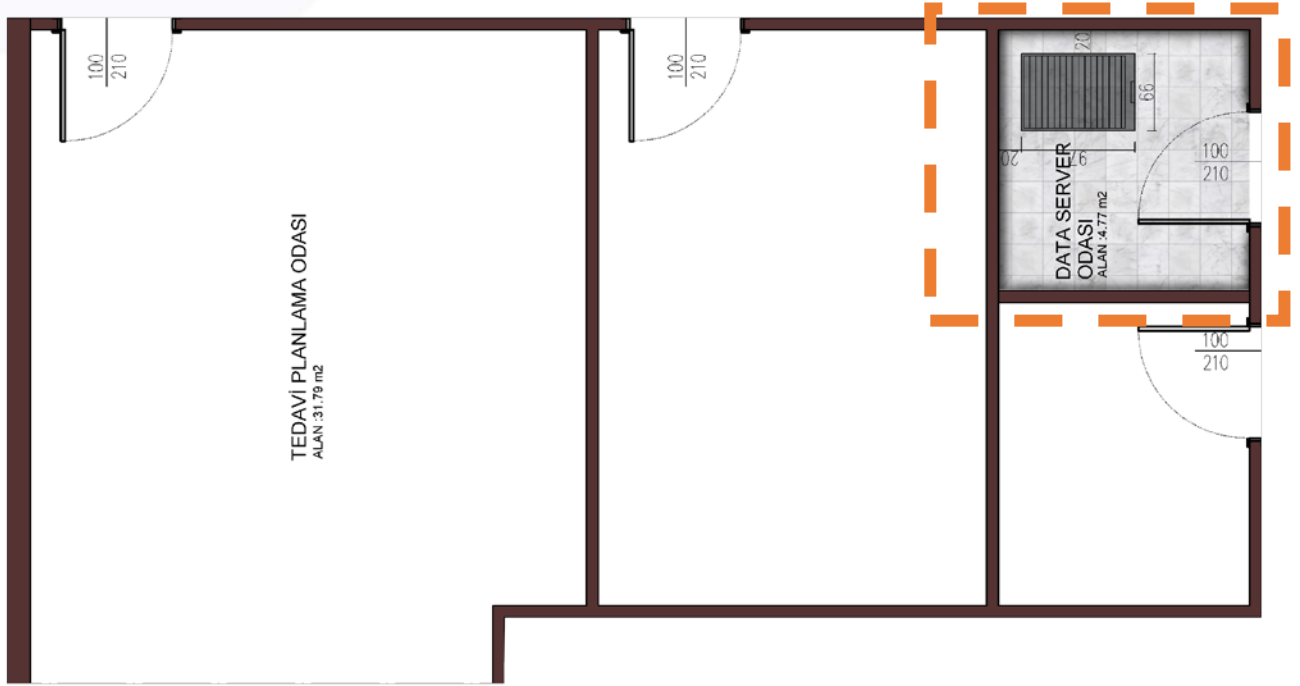
İnterkom hoparlör sistemi, masa üzerinde konumlanmaktadır. Kontrol odası ve tedavi odası arasında İnterkom sistemi RJ45 portu ile sağlanması gerekmektedir.

4.4.4. Acil Durum Öğeleri

Tedavi odası kapısının üstünde "X-ışını Açık" ışığı ve isteğe bağlı "Güç Açık" ve "Oda Hazır" ışıkları bulunması gerekmektedir. Birden fazla durum uyarı lambası seti varsa, tüm devrelerin birbirine bağlanması ve kurulum teknisyenleri Sistem Durumu Arayüzü kutusuna bağlanması için güç dağıtım birimi bağlantı kutusuna iki kablo (*her devre için*) ve bir güç kablosu aktarılması gerekmektedir. Her devrede bulunan iki kablo, aynı kanal içerisinde hem gidiş hem de geliş kabloları içermek zorundadır. Tüm ışık bağlantı kablolarını "X-ışını Açık" ışığı ve isteğe bağlı "Güç Açık" ve "Oda Hazır" ışıkları kabloları ana portalın (*gantry*) arkasındaki Sistem Durumu Arabirimi kutusuna erişecek kadar uzun olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Her kablo çıkış noktasından ilave 2 metre fazla bırakılmalıdır.

4.5. Data Server Odası

Data server odası Tomoterapi H Serisi için gerekli olan data server birimi için tasarlanmış odadır. Data server ünitesi montajı zemine yapılmaktadır. Data server birimi hasta verilerinin alındığı, depolandığı, doz optimizasyonu ve doz hesaplamaları yapıldığı optimizasyon motorudur.



Plan 4.7 Data Server Odası (Ölçeksiz)

4.6. Mekanik Oda

Mekanik Oda tipik olarak Tedavi Odası yakınında konumlanmaktadır (Plan 4.2). Tomoterapi H Serisi için gerekli olan mekanik ekipmanı içinde barındırmaktadır. Bu ekipmanlar hava kompresörü, hava tankı, kurutucu ve filtredir. 50 – Hz ve üzeri sistemler için ayrıca bir frekans dönüştürücüye ihtiyaç vardır³¹. Ekipmanlardan çıkan gürültüyü kesmek için ses izolasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır.

4.6.1. Sıkıştırılmış Hava Hattı

Mekanik oda içerisinde bir adet yağsız hava kompresörüne ihtiyaç vardır. Tedavi odasından mekanik odası arasında kompresöre bağlanmak için bakır borudan bir hat gerekmektedir. Planlanan bakım prosedürlerinde sistem temizliği sırasında bir hortum takılabilmesi için kancalı vana takılmadan önce sıkıştırılmış hava hattına bağlantı kesici vana (Resim 4.1) takılması gerekmektedir.

Boru hattı için kalın gövdeli yada geniş gövdeli borular tercih edilmesi gerekmektedir. Bakır boruların iç çapı $\frac{3}{4}$ inç olup maksimum uzunluğu 91.44 m ya da iç çapı 1 inç ve

³¹ Bknz. (3.3.2 Frekans Dönüştürücü)

maksimum uzunluğu 152.4 m olması gerekmektedir. Bakır boruları makine merkez noktasından her iki yönde 20 cm içinde olacak şekilde takılması gerekmektedir.



Resim 4.1 Bağlantı kesici vana

4.6.2. Hava Kompresörü ve Tankı

Akış oranı ve kalite gereksinimlerini karşılamak için, mekanik odasına yağsız bir hava kompresörü monte edilmesi gerekmektedir. Mekanik odada hava kompresörü yanına minimum 227 litre bir hava tankı yerleştirilmesi gerekmektedir. Hava tankını her 30 dakikada bir 4-5 saniye otomatik olarak boşaltacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.

4.6.3. Kurutucu

Tomoterapi ünitesi, 1 ile 4 °C'lik bir çiy noktası³² korumak için bir kurutucu tedarik etmelidir. Mekanik Oda Tedavi Odasına bitişik değilse yoğunlaşmayı gidermek için ikincil bir kurutucu gerekebilir.

4.6.4. Sistem İçi Hava Regülatörü

Tedavi odasında hiçbir nesneye engel olmayacak bir yere hava regülatörünü monte edilmesi gerekmektedir. Hava regülatörü tedavi odasına yerleştirilemediği takdirde mekanik odaya monte edilmelidir. Hava kompresörü ile regülatör arasında bir vana konması gerekmektedir.

³²**Çiy noktası**, bir gaz içinde bulunan serbest nemin içinde bulunduğu veya etrafında bulunduğu cisimlerin yüzeyinde yoğunlaşarak su (sıvı) durumuna geçmeye başladığı **sıcaklık** derecesidir. **Çiy noktası** havanın içerdiği nemi belirtmek için de kullanılır.

4.7. Tedavi Planlama Odası

Tedavi odası, *Plan 4.2*'de görüldüğü gibi konumlanabilmektedir. Bu odanın, sistem kurulumundan önce donanım ve kurulum için hazır olması önemlidir. Tedavi planlama odası, tedavi planlama sistemi (*bilgisayar, monitör, klavye*), film analiz sistemi ve printer ekipmanlarından oluşmaktadır.

4.7.1. Tedavi Planlama Sistemi

Planlama İstasyonu, doktorun hastanın bilgisayarlı tomografi (*BT*) verilerini analiz ettiği ve optimize edilmiş bir tedavi planı oluşturmak için kullandığı bilgisayar iş istasyonudur.

4.7.2. VIDAR Tarayıcı / Film Analiz Sistemi

Standart bilgisayar bileşenlerine ek olarak, Tedavi Planlama Odasında bir Vidar tarayıcı ve bir film analizör çalışma istasyonu içerebilmektedir.

KAYNAKÇA

- Balog, J., et al. Multileaf collimator interleaf transmission. Med Phys. , 1999.
- National Council on Radiation Protection and Measurements, 2005. NCRP 151: Structural shielding design and evaluation for megavoltage x- and gamma-ray radiotherapy facilities (Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements).
- Nelson, W.R. and P.D. LaRiviere. Primary and leakage radiation calculations at 6, 10, and 25 MeV. Health Phys. , 1984.
- T. R. Mackie, T. Holmes, S. Swerdloff, P. Reckwerdt, J. Deasy, J. Yang, B. Paliwal, and T. Kinsella, "Tomotherapy: A new concept for the delivery of conformal radiotherapy," Med. Phys. 1993d.
- S. Mutic, D. A. Low, E. E. Klein, J. F. Dempsey, and J. A. Purdy, "Room shielding for intensity-modulated radiation therapy treatment facilities," Int. J. Radiat. Oncol., Biol., Phys. 50s1d, 239–246 s2001d.
- TomoTherapy treatment system site planning guide
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; Vienna (1998); Design and Implementation of a Radiotherapy Programme: Clinical, Medical Physics, Radiation Protection and Safety Aspects, IAEA-TECDOC-1040.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE); Atlanta (2006); Hvac Design Manual For Hospitals And Clinics, Second Edition.
- TAEK; Tıbbi Radyoloji Laboratuvarlarının Havalandırılmasına İlişkin Kılavuz; RSGD-KLV-012
- TAEK; Tıbbi Radyoloji Uygulamalarının Yapıldığı Odaların Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlara Ve Zırhlama Koşullarına İlişkin Kılavuz; RSGD-KLV-007.
- TAEK; Radyasyon Alanlarının Sınıflandırılmasına İlişkin Kılavuz; RSGD-KLV-005.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Geneva (2000); Medical Electrical Equipment: Requirements for the Safety of Treatment Planning Systems, Publication IEC-62083, IEC,

- WORLD HEALTH ORGANIZATION, Geneva (1988); Quality Assurance in Radiotherapy.
- World Heath Organization, 2011; Core Medical Equipment.
- TomoTherapy klinik personeli ile kişisel iletişim.



T.C. Sağlık Bakanlığı

**Kamu Hastaneleri
Genel M¼d¼rl¼ę¼**