

CYBERKNIFE

UZAY NEŞTERİ



T.C. Sağlık Bakanlığı

**Kamu Hastaneleri
Genel Müdürlüğü**

CyberKnife

(UZAY NEŞTERİ)'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

Katkıda Bulunanlar

B.M.M. Kemal Tolga ÇETİN
B.M.M. Bilal BECEREN
B.M.M. Caner Niyazi OKU
Uzm. Dr. Öznur SARI

Grafik Tasarım - Mizanpaj

Merve Seher OKU

Ref : KHGM-KMY-MCY-001.V02

ISBN Numarası

ISBN-978-975-590-677-5

Referans Numarası

Ref : KHGM-KMY-MCY-002.V02

Mayıs 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 verimliliğin 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 Müdür

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. CyberKnife Robotik Radyocerrahi Sistemi	1
3. Temel Altyapı Gereksinimleri	5
3.1. Radyasyondan Korunma	5
3.1.1. Radyasyon Korumasında Kullanılan Malzemeler	5
3.1.2. CyberKnife Ünitesi Radyasyon Koruması	7
3.2. Havalandırma Tesisatı ve Özellikleri	9
3.2.1. CyberKnife Tedavi Odası Havalandırma Özellikleri	11
3.2.2. CyberKnife Kontrol Odası Havalandırma Özellikleri	11
3.2.3. CyberKnife Teknik Hacim Havalandırma Özellikleri	12
3.2.4. CyberKnife Tedavi Planlama Odası Havalandırma Özellikleri	12
3.3. Elektrik Tesisatı Özellikleri	13
3.4. Pis Su Tesisatı Özellikleri.....	14
3.5. Yangın Tesisatı Özellikleri.....	14
3.6. Zemin Özellikleri.....	14
3.6.1. Zemin Kaplama Özellikleri.....	14
3.6.2. CyberKnife İçin Gerekli Zemin Özellikleri	15
4. CyberKnife (Uzay neşteri) Tedavi Ünitesi Mekân Tasarımı	19
4.1. Merkez Noktasının Belirlenmesi.....	19
4.2. Önerilen Minimum Tedavi Ünitesi Ölçüleri	20
4.3. Tedavi Odası Özellikleri	25
4.4. Tedavi Odası CyberKnife Üniteleri	27
4.4.1. Tedavi Manipülatörü	27

4.4.2.	Doğrusal Hızlandırıcı (LINAC)	28
4.4.3.	Değiştirilebilir İkincil Kolimatörler	29
4.4.4.	Tedavi Manipülatörü Uzaktan Kumandalı Programlama Cihazı	29
4.4.5.	Yerden Görüntü Algılayıcı	30
4.4.6.	X-ışını Kaynakları	31
4.4.7.	X-ışını Kaynağı Eşanjörü	31
4.4.8.	X-ışını Jeneratörü	32
4.4.9.	Synchrony® Solunum Yolları Takip Sistemi Kamerası	32
4.4.10.	Acil Durum Bileşenleri.....	32
4.4.11.	RoboCouch® Hasta Konumlandırma Sistemi	32
4.4.12.	RoboCouch Sistemi Kontrol Modülü	33
4.4.13.	Xchange® Robotik Kolimatör Değiştirici	33
4.5.	Tedavi Odası Ek Üniteleri	33
4.5.1.	Telefon	33
4.5.2.	Lavabo	33
4.5.3.	İntercom.....	34
4.5.4.	Hasta Konumlandırma Lazerleri	34
4.5.5.	CCTV	34
4.5.6.	Ekipman Depolama Dolapları	35
4.6.	Kontrol Odası Özellikleri.....	36
4.6.1.	Kullanıcı Kontrol Konsolu	37
4.6.2.	LINAC Kontrol ve Acil Durum Enerji Kesme Paneli	37
4.6.3.	Synchrony Sistem İstasyonu	38
4.6.4.	CyberKnife Sistemi İdari İş İstasyonu	38
4.6.5.	Acil Durum Bileşenleri.....	38
4.7.	Teknik Hacim Odası Özellikleri.....	38
4.8.	Teknik Hacim Ek Üniteleri	40
4.8.1.	Ana Güç Bağlantı Kesme Şalteri	40
4.8.2.	Bağlantı Kutusu	40
4.8.3.	Kablo Yönetim Sistemi	40

4.8.4. Ağ Kabloları	40
4.9. Tedavi Planlama Odası	40
4.9.1. MultiPlan Tedavi Planlama Sistemi.....	41
KAYNAKÇA.....	vi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>LINAC</u>	: Linear accelerator
<u>MV</u>	: Mega Volt
<u>BT</u>	: Bilgisayarlı Tomografi
<u>TAEK</u>	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
<u>TSE</u>	: Türk Standartları Enstitüsü
<u>NOAA</u>	: National Oceanic and Atmospheric Administration

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 Tedavi Manipölatörü Ölçüleri Ve Hareket Açıları (Ölçeksiz)	28
Şekil 4.2 CyberKnife LINAC (Ölçeksiz)	28

PLANLAR DİZİNİ

Plan 3.1 Tedavi odası zırhlama özellikleri plan görünümü (Ölçeksiz)	8
Plan 3.2 Tedavi Odası Alternatif Zırhlama Özellikleri Plan Görünümü (Ölçeksiz)	8
Plan 3.3 Cyberknife Tedavi Ünitesi Havalandırma Kanalları Planı (Ölçeksiz)	13
Plan 3.4 Cyberknife, Yerden Görüntü Algılayıcı İçin Zemin Özelliği Planı (Ölçeksiz)	16
Plan 4.1 Cyberknife Tedavi Ünitesi Planı (şasırtma koridoru dâhil) (Ölçeksiz)	21
Plan 4.2 Cyberknife Tedavi Ünitesi Planı (şasırtma koridoru hariç) (Ölçeksiz)	22
Plan 4.3 Cyberknife Tedavi Odası Yerleşim Planı (Ölçeksiz)	25
Plan 4.4 Cyberknife Tedavi Odası Yerleşim Planı Ölçüleri (Ölçeksiz)	26
Plan 4.5 Hasta Konumlandırma Lazerleri (Ölçeksiz)	34
Plan 4.6 Kontrol Odası Planı (Ölçeksiz)	36
Plan 4.7 CyberKnife Ünitesi Teknik Hacim Oda Planı (Ölçeksiz)	39
Plan 4.8 Tedavi Planlama Odası (Ölçeksiz)	41

KESİTLER DİZİNİ

Kesit 3.1 Emiş Menfezi Yan Görünüşü Detayı (Ölçeksiz).....	10
Kesit 3.2 Cyberknife, Yerden Görüntü Algılayıcı İçin Zemin Kesit Görünümü (Ölçeksiz)	16
Kesit 4.1 A – A Kesiti (Ölçeksiz)	23
Kesit 4.2 B – B Kesiti (Ölçeksiz).....	24
Kesit 4.3 Cyberknife Tedavi Odası Kesiti (Ölçeksiz)	26
Kesit 4.4 X-ışını Kaynağı Yerleşim Ölçüleri (Ölçeksiz)	30
Kesit 4.5 CyberKnife Tedavi Odası Depolama Alanları (Ölçeksiz)	35

GİRİŞ

CyberKnife, sanayide kullanılan robotlar üzerine yerleştirilen gelişmiş bir lineer hızlandırıcıdır.

Bilgisayar kontrollü robot teknolojisi hasta etrafında adeta dans eder gibi dönerek, yüzlerce açıdan ışınlama ile tedaviyi gerçekleştirmektedir. CyberKnife cihazı, içerisinde birçok gelişmiş yüksek teknolojiyi barındıran alt sistemlerden oluşmaktadır. Görüntüleme kılavuzluğunda tümörün yerini saptayan sistem, ileri derece hassas, bilgisayar kontrollü robot ve modern robotik hasta pozisyonlandırma sistemi ile yüksek hassasiyete, hastalıklı dokunun tedavisini kolaylaştırmaktadır.

Bu sistem sayesinde radyasyon demetleri odaksal olarak kullanılarak, beyin ve vücuttaki kanserli dokuları yüksek dozlarla tedavi etmektedir. Normal dokular, radyasyonunun etkilerinden yüksek düzeylerde korunabilmektedir.

Kısaca; CyberKnife, tüm vücutta milimetrik doğrulukla kanser tedavisi yapmak için tasarlanmış robotik sterotaktik radyocerrahi¹ sistemidir.

¹ Sterotaktik radyocerrahi; üç boyutlu olarak koordinatların belirlenmesini takiben, yüksek dozda uygulanan radyasyonla tümörün tek seansta tamamen harap edilmesi anlamına gelmektedir.



1. Fizibilite

**2. CyberKnife Robotik Radyocerrahi
Sistemi**

1. Fizibilite

Robot tabanlı CyberKnife(uzay neşteri) ve RoboCouch hasta konumlandırma üniteleri tedavi odası tasarımı ve zırhlama özellikleri hakkında birçok yapılması gereken kıstaslar vardır. İlke olarak, CyberKnife (*Uzay neşteri*) ile tedavi edilen hastalar, diğer radyasyon tedavisinde kullanılan tedavi ünitelerindeki gibi sabitlenmesine gerek yoktur.

LINAC (Doğrusal hızlandırıcı) ile arasındaki en büyük fark, robot manipülatörün her X-ışınını uzayda her noktaya ışınlatabilmesidir. Bu sebepten dolayı merkez noktasına ihtiyaç duymamaktadır. Bu bağlamda X-ışının işaret ettiği her duvar birincil ve ikincil zırhlama gerektirmektedir. Aynı zamanda tedavi edilecek hastanın en uygun şartlarda tedavi edilmesi için CyberKnife (*Uzay neşteri*) ve RoboCouch'un bulunduğu odanın uygun koşullarda tasarlanması gerekmektedir. Uygun şartlardan emin olunmadığı takdirde CyberKnife tedavi sistemi uygulanması sağlık açısından risk oluşturmaktadır.

2. CyberKnife Robotik Radyocerrahi Sistemi

ACCURAY firması tarafından üretilen CyberKnife ve RoboCouch sistemi, prostat, akciğer, beyin, omurga, karaciğer, pankreas ve böbrek gibi vücudun herhangi bir yerinde geniş kapsamlı bir tümör için son derece kesin, özelleştirilebilir, cerrahi dışı tedavi seçenekleri sunan ilk ve tek robot radyocerrahi sistemidir.

CyberKnife sistemi, konum tekrarlama hassasiyeti 0,12 mm'den daha iyi olan ve 6 farklı derecede serbestçe hareket edebilen², Alman KUKA firması³ tarafından yapılan robot kola⁴ monte edilen doğrusal hızlandırıcı⁵ yardımıyla hastanın etrafında büyük bir üç boyutlu çalışma alanı yaratarak yüksek hassasiyetle tedavi işlemini gerçekleştirmektedir (*Resim 2.1*). CyberKnife Sistemi, bir dizi düğümden oluşan doz oluşturur. Bu sistem, düğüm başına on iki farklı konumdan radyasyon sağlar. Tedavi işlemi sırasında, manipülatör, doğrusal hızlandırıcıyı önceden planmış ve sadece seçilen noktalara seri şekilde hareket ettirerek tedavi işlemin gerçekleştirir.

² Technology in Cancer Research and Treatment ISSN 1533-0346 Volume 9, Number 5, October 2010 © Adenine Press (2010)

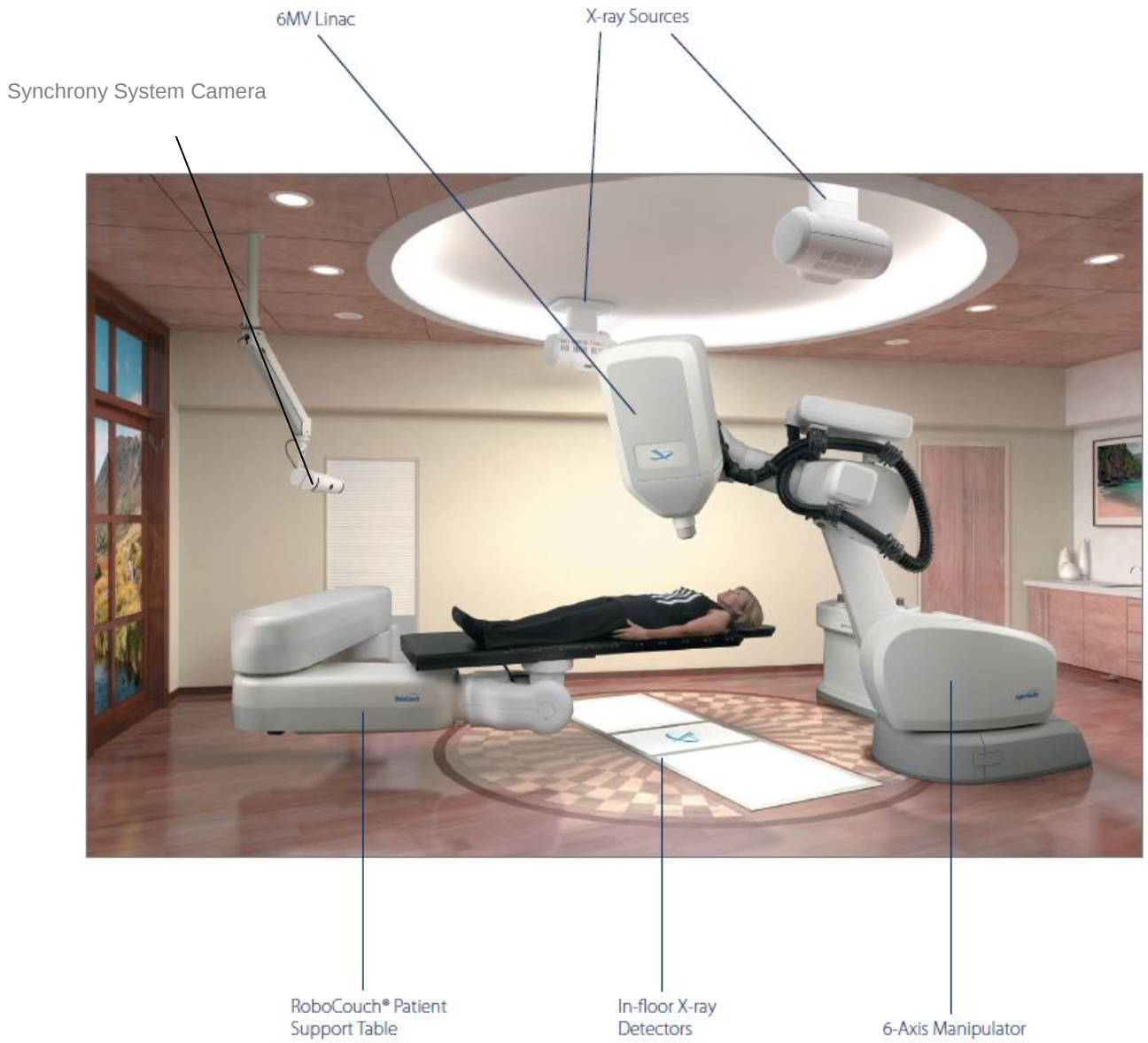
³ Kuka Roboter GmbH, Augsburg, Germany.

⁴ KR240-2 (Series 2000)

⁵ 6 MV, 400 monitor unit LINAC

RoboCouch sistemi ise özel bir robot kinematiği olarak kullanılmak üzere tasarlanmış bir hasta konumlandırma sistemidir⁶(Resim 2.1).

CyberKnife ve RoboCouch birimlerinin ihtiyaç duyduğu alan gereksinimleri doğrultusunda tasarlanacak olan mekânın uygun şartlarda olması tedavi işleminin kesintisiz ve rahat bir şekilde gerçekleşmesini sağlayacaktır.



Resim 2.1 Cyberknife Robotik Radyocerrahi Sistemi

⁶ The KUKA Robot Patient Positioner (RPP,KR240L210 MED)



Resim 2.2 Cyberknife Robotik Radyocerrahi Sistemi



Resim 2.3 Cyberknife Robotik Radyocerrahi Sistemi

3. Temel Altyapı Gereksinimleri

3. Temel Altyapı Gereksinimleri

Bu bölümde CyberKnife tedavi sisteminin ihtiyaç duyduğu radyasyon koruması, havalandırma, elektrik, pis su, yangın tesisatı ile zemin ve tavan özelliklerinden bahsedilmektedir.

3.1. Radyasyondan Korunma

Radyasyon koruması, tedavi odası tasarımında en önemli hususlardan birisidir. Tasarımda dikkat edilecek ilk husus, tedavi odası içerisinde bulunması gereken şaşırtma koridorunun olup olmayacağıdır (*Plan 4.1*)(*Plan 4.2*). Radyasyona karşı kullanılacak olan temel zırhlama malzemeleri diğer radyoloji klinik alanlarında olduğu gibi bürüt beton, kurşun ve çelik plakalardır. Sonuç olarak, radyasyon koruması zırhlama kalınlıkları, diğer faktörlerin yanı sıra her zırhlama yapılan oda için radyasyon koruması tasarım kriterlerine bağlıdır.

3.1.1. Radyasyon Korumasında Kullanılan Malzemeler

Kurşun; yüksek atomik parçacıklara ve yüksek yoğunluğa (2350 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 kontrplak veya alçı panel üzerine yapıştırılmalıdır. Kurşun kaplamalı kapı aksesuarları, koruyucu ekranlar ve panjurlar da zırhlama yapılmasında kullanılan ek ürünlerdir. Normal betona göre 30 kat daha mukavemetli fakat çok maliyetli olduğundan tercih edilmemektedir.

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 kullanılmalıdır⁷. 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)

⁷ (2350 kg/m^3), (3500 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 1 mm kurşun kaplama 10 cm betona eşdeğerdir.

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; barit⁸ agregalarını (*çeşitli büyüklüklerde kırılmış veya kırılmamış, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzeme*) 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 periyotlarda kurutulması gerekmektedir⁹.

İngiliz Gypsum tarafından üretilen baritli hazır sıva karışımını, % 15 ile % 30 arasında radyasyon yayılımında azalma gerçekleştirmiştir. Baritli hazır sıva, BT ve yüksek kVp¹⁰ (*Kilovolts peak*) göğüs birimleri gibi yüksek kVp 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 sağlar.

Alçı panel; genellikle bir karkas sistemine vida veya çivi yardımıyla monte edilen bina yapılarında kullanılan alçı esaslı bir malzemedir. Yüksek ışın

⁸ Barit, Ba, 56

⁹ Bir kat sıva uygulamasından sonra 24 ile 48 saat arası bekletildikten sonra ikinci kat sıva uygulaması yapılmalıdır.

¹⁰ Kilovolt doruğu, X-ışını tüpünün ulaştığı maximum doruk noktası anlamına gelmektedir.

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.

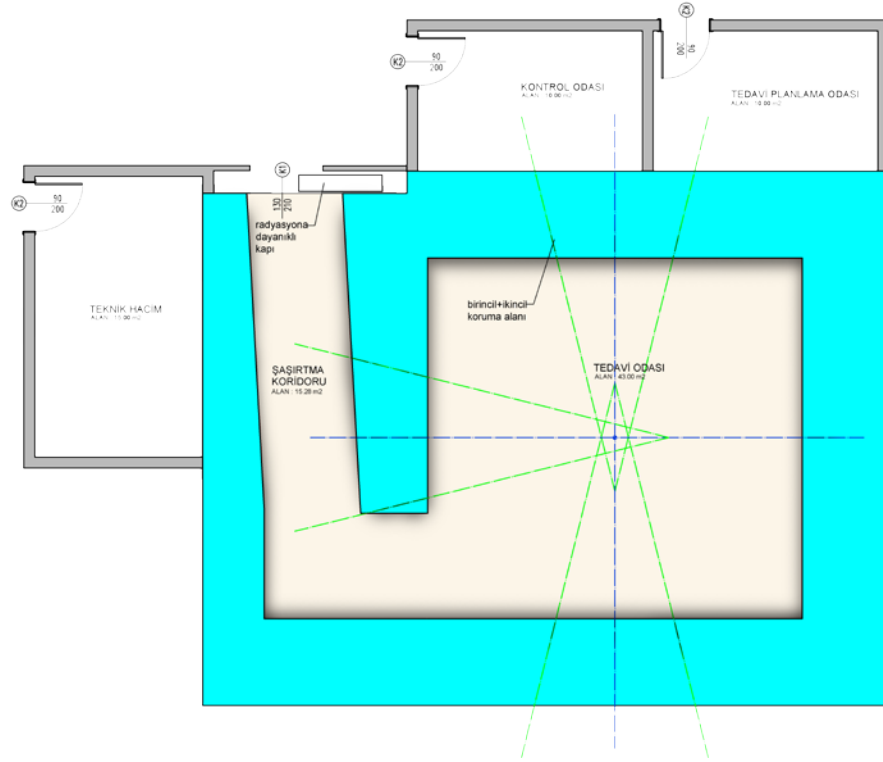
3.1.2. CyberKnife Ünitesi Radyasyon Koruması

Radyasyon koruması yapılacak olan duvarlar iki şekilde olmaktadır. İlki tasarlanacak olan oda tasarımıdaki tüm duvarlar %5 kullanım faktörü ile birincil radyasyon koruma duvarı olarak belirlenerek yapılmasıdır (*Plan 3.1*). İkincisi ise birincil ve ikincil radyasyon koruma alanları yapılarak tasarlanacak oda tipidir (*Plan 3.2*).

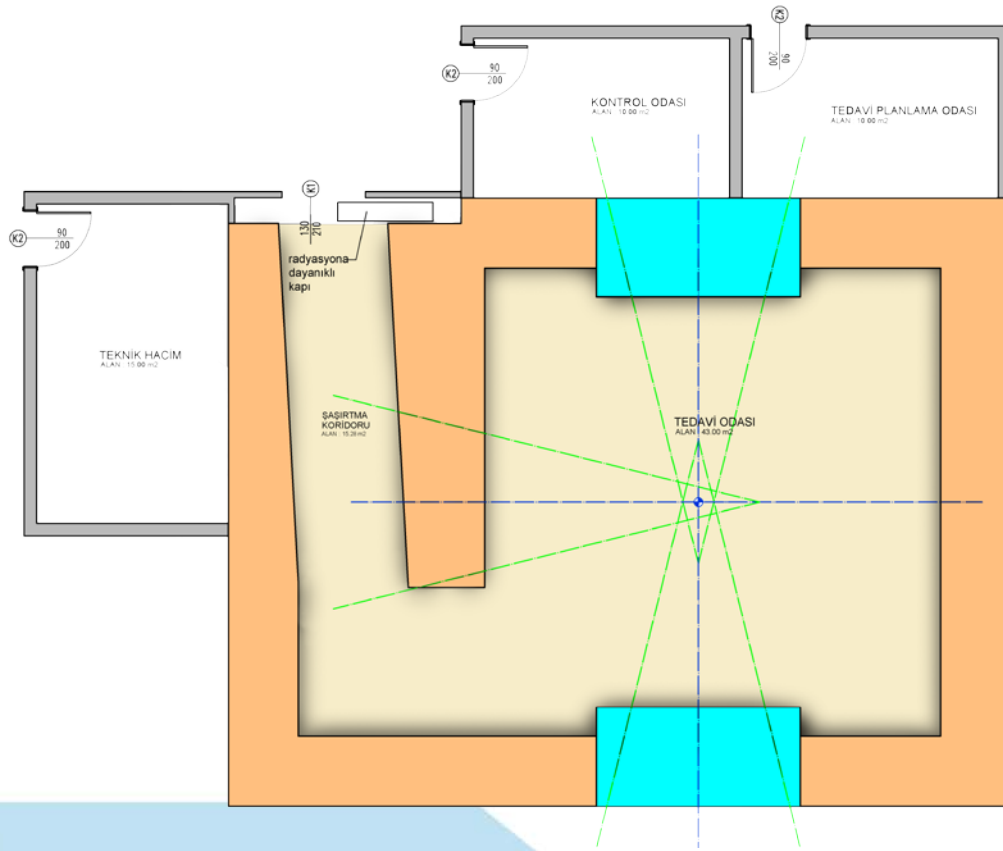
Radyasyon koruma duvarları kalınlığı minimum 106 ile 155 cm arasında olmalıdır. Duvar kalınlığı hesabı yapılırken cihazın enerjisi yanında, cihazın iş yükü, kullanım faktörü, bitişik alanların meşguliyeti, radyasyon kaynağından meşgul edilecek alanlara olan mesafeler ve bitişik alanları kullanacak personelin radyasyon görevlisi olması ya da olmaması durumları dikkate alınmalıdır.

Kullanılacak beton türü ise C35 (3500 kg/m^3)¹¹ olmalıdır. Tasarlanacak odada, ortak alanları kapsayan tüm birincil radyasyon koruma duvarları kalınlığı maksimum 155 cm olmalıdır. CyberKnife, X-ışını ışınlarını, ufuktan maksimum 22° açı ile yukarı yönlendirilmektedir. Bu açı, CyberKnife tedavi odası tavanının ikincil koruma alanı olmasını sağlamaktadır. Tavan dâhil olmak üzere ikincil radyasyon koruma duvarları minimum 106 cm olmalıdır.

¹¹ Birimi Hacim Kütlesi



Plan 3.1 Tedavi odası zırhlama özellikleri plan görünümü (Ölçeksiz)



Plan 3.2 Tedavi Odası Alternatif Zırhlama Özellikleri Plan Görünümü (Ölçeksiz)

3.2. Havalandırma Tesisatı ve Özellikleri

CyberKnife Sistemi tedavi ünitesinin havalandırılması mekanik olarak, merkezi havalandırma sisteminden ayrı gerçekleştirilmektedir. Ayrı bir havalandırma sistemine ihtiyaç duymasının sebebi oda içerisinde oluşan iyonize havanın ve oluşan ozonun merkezi havalandırma sistemine karışmasını engellemektir. Hava kontrol ünitesi, tedavi ünitesi içinde ki atmosferin, uygun şartlarda olması için birkaç işlevi tek başına gerçekleştirmektedir. Bunlar ısı şartlandırma, nem kontrolü ve oda içindeki oluşabilecek zehirli gazların tahliyesidir.

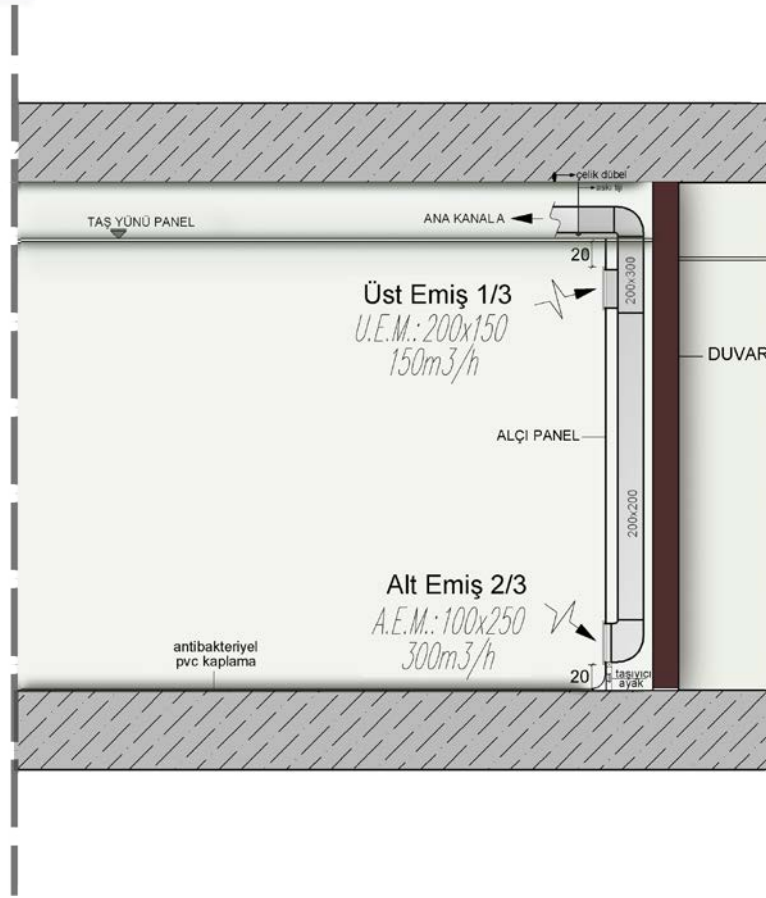
Tedavi ünitesinde uygun atmosferi sağlayabilmek için hava egzoz gücü, hava üfleme gücünden yüksek olmalıdır. ünitesi havalandırma hesabı, oda zemin alanının, betonarme tavan yüksekliği ile çarpımı sonucu çıkacak oda hacminin bir saate değişecek hava miktarı ile çarpılması sonucunda elde edilen değer olacaktır. CyberKnife Sistemi tedavi odasında ki hava değişim oranı saatte minimum 10 kez olmalıdır¹².

CyberKnife Sistemi tedavi ünitesi havalandırma sistemi menfezler ve kanallar aracılığı ile yapılmaktadır. Tedavi odasında iyonlaşan havanın tahliye edilmesinden dolayı egzoz menfezlerinin bir kısmı zemine kadar indirilmelidir (*Kesit 3.1*)(*Plan 3.3*). Odalar içerisinde bulunan hava kanallar galvanizli çelik sacdan, kanalların iç kısımları ise düz, pürüzsüz ve birleşim yerleri net sızdırmaz biçimde olmalıdır. Kanalların binaya montaj noktaları her türlü çalışma koşullarına uygun, titreşimi önleyecek vaziyette tesis edilmelidir. Hava kanalı menfez veya plenum kutuları¹³ bağlantılarında kullanılacak, esnek kanallar orta basınçlı havalandırma sistemlerine uygun, yüksek sıcaklıklarda veya yangın anında herhangi bir gaz emisyon çıkarmayacak şekilde olmalıdır. Hava kanalları Türk Standartlar Enstitüsü (*TSE*) veya idarece kabul edilecek uluslararası bir standarda uygun olarak hava kanallarının asbest ihtiva etmeyen TSE veya idarece kabul edilecek uluslararası bir standarda ait test sertifikalı malzeme ile kanal içinde veya dışında oluşabilecek yangına karşı en az 120 dakika mukavemet edecek şekilde kaplanmalıdır. Hava kanallarının akustik yalıtımı bu iş için özel geliştirilmiş minimum 20 mm kalınlığında açık hücreli polyester – polietilen köpüğü malzemenin kanal iç cidarına

¹² **Kaynak:** TAEK; Tıbbi Radyoloji Laboratuvarlarının havalandırılmasına ilişkin kılavuzu(RSGD-KLV-012)

¹³ Havalandırma sistemlerinde havanın, difüzör veya menfezlerle homojen yönlendirilmesi için kullanılmaktadır. Genellikle asma tavan uygulamalarında kullanılmaktadır.

NFPA 90A 'ya uygun yanıcı madde ihtiva etmeyen, yapıştırıcı ile yapıştırılması sureti ile yapılması gerekmektedir.



Kesit 3.1 Emiş Menfezi Yan Görünüşü Detayı (Ölçeksiz)

Radyasyon sızıntısını en aza indirmek için hava kanallarını oda tedavi odası içerisinden tahliyesi şaşırtma koridorunun sonundan gerçekleşmesi gerekmektedir. Hava kanallarını şaşırtma koridorunun tahliye noktası radyasyon sızıntısına karşı güçlendirilmelidir. Dışarıdan alınan temiz havayı sağlayan kanallar ile oda içindeki kirlenen havayı dışarı atan kanallar temiz ile kirli havanın karışmaması için çıkışları farklı yerde olması gerekmektedir. Hava kanalları çıkış yönleri insanları hava kanalları yoluyla dışarı atılan radyasyon sızıntısından korumak üzere planlanmalıdır.

CyberKnife sistemi belirli koşullar altında saptanabilir seviyede ozon üretmektedir. Oda içerisinde oluşan ozon seviyesinin saptanması, ozon ölçümleri "Ozonsonde Yöntemi" ile yapılmaktadır. Ozonsonde Yöntemi, yer tabanlı balonlu ölçme yöntemidir. Bu yöntemde, içerisine havadan daha hafif hidrojen gazı doldurulan balona (1200gr'lık) bağlanmış ölçüm cihazı (ozonsonde) kullanılmaktadır. Bu cihaz, yerden itibaren balonun

patladığı yaklaşık 35–40 km yüksekliğe kadar, mevcut hava kütlesi içerisindeki ozon miktarını ölçerek, ozonun dikey dağılımının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu yöntemin esasını oluşturan Ozonsonde Cihazı, Elektrokimyasal Konsantrasyon Hücreli (ECC) olup, atmosferdeki ozonun dikey dağılımını tespit etmek amacıyla NOAA Laboratuvarları'nda¹⁴ basit şekilde tasarlanmış, hafif ve balonla birlikte kullanılabilme özelliğine sahiptir.

Bu cihaz, içerisinde platin elektrot bulunan ve birbirine iyon köprüsü ile bağlı katot ve anot hücrelerinden oluşmaktadır. Bu hücreler, tetrafluoroethylene (*Teflon TFE*)'den yapılmış olup, içerisine ozona duyarlı %1'lik Potasyum İyodid (*KI*) çözeltisi konulmaktadır. Bu çözelti, havanın içerisindeki ozonla etkileşerek redoks tepkimesi¹⁵ oluşturmakta ve tepkime sunucunda bir akım değeri elde edilmektedir. Akım değeri ile birlikte bazı meteorolojik parametreler (hava sıcaklığı, basınç ve kutu içi sıcaklığı vb. gibi) de kullanılarak hava içerisindeki ozon miktarı hesaplanmaktadır.

3.2.1. CyberKnife Tedavi Odası Havalandırma Özellikleri

Tedavi odası, 10 °C ile 30 °C arasında olmalıdır. Nem oranı %30 ile %75 arasında olmalıdır. Oda içi basıncı 103 kPa ile 65 kPa arasında olmalıdır. Bu koşullar günün her saati haftanın her günü aynı olmak zorundadır.

Radyoloji uygulamalarında kullanılan x-ışını enerji düzeylerindeki (0-100 keV) iyonlaştırıcı radyasyonun etkisiyle azot ve oksijen moleküllerinde uyarılma ve iyonlaşma meydana gelmektedir.¹⁶ Bu iyonlaşan havanın zeminden tahliye edilmesi için tedavi odasında zeminden 20 cm yükseklikte üç adet havalandırma kanalının bulunması gerekmektedir (*Plan 3.3*)(*Kesit 3.1*).

3.2.2. CyberKnife Kontrol Odası Havalandırma Özellikleri

Kontrol odası, 10 °C ile 30 °C arasında olmalıdır. Nem oranı %30 ile %70 arasında olmalıdır. Bu koşullar günün her saati haftanın her günü aynı olmak zorundadır.

¹⁴ (Komhry, 1964, 1969; Komhry and Harris, 1971)

¹⁵ Elektron alış-verişinin olduğu kimyasal tepkimeleri belirtmek için kullanılır.

¹⁶ Harold Elford Johns, John Robert Cunningham, "The Physics of Radiology", 4th Edition", Charles C. Thomas Pub, USA, 1983.

3.2.3. CyberKnife Teknik Hacim Havalandırma Özellikleri

CyberKnife sürekli çalıştığından dolayı, teknik hacim sürekli 10 °C ile 24 °C arasında olmalıdır. Nem oranı %30 ile %70 arasında olmalıdır. Bu koşullar günün her saati haftanın her günü aynı olmak zorundadır.

3.2.4. CyberKnife Tedavi Planlama Odası Havalandırma Özellikleri

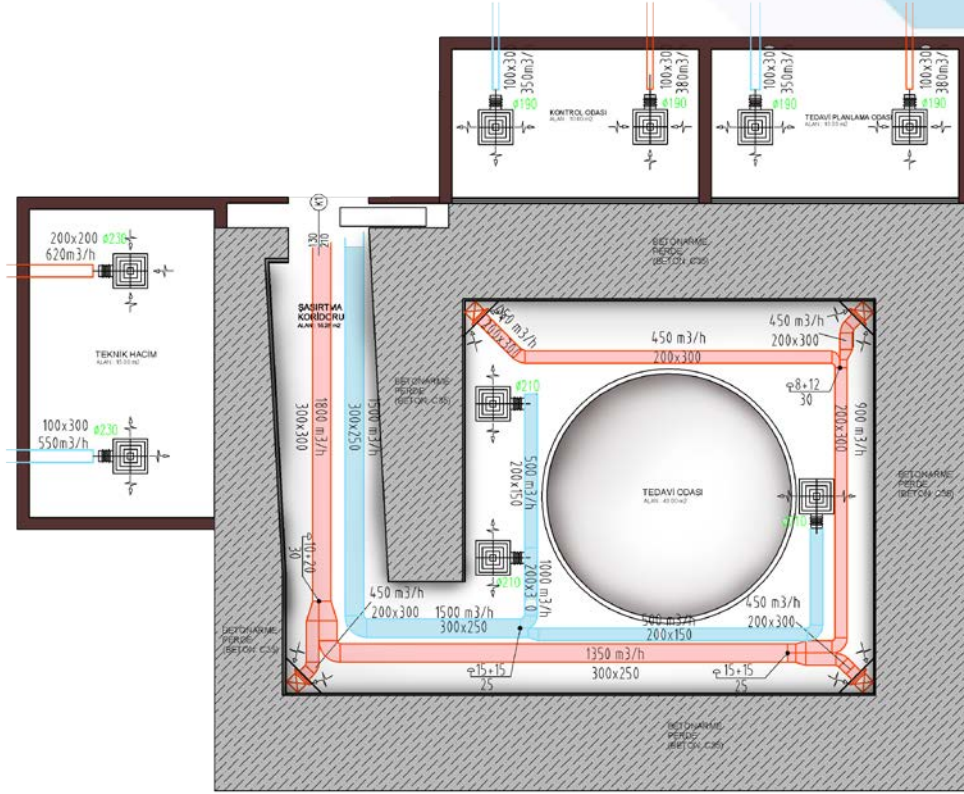
Tedavi planlama odası, 10 °C ile 30 °C arasında olmalıdır. Nem oranı %30 ile %70 arasında olmalıdır. Bu koşullar günün her saati haftanın her günü aynı olmak zorundadır.

Tedavi ünitesi içerisinde ki hava sirkülasyonunu, taş yünü asma tavan¹⁷ üzerine yerleştirilen havalandırma menfezi¹⁸ aracılığı ile hava kanalları yardımıyla dışarıya atılmaktadır. Bu işlem iki yönlü olup¹⁹ içeride ki havanın her zaman taze kalmasını sağlamaktadır (*Plan 3.3*). Plan 3.3'te kırmızı olan kanallar kirlenen havayı dışarı egzoz ederken, mavi kanallar oda içerisine temiz havayı üfleemektedir.

¹⁷ Taş yünü asma tavan kaplaması, bir tür tavan kaplama malzemesidir.

¹⁸ Asma tavana yerleştirilen, havayı hava kanallarına ileten ünite.

¹⁹ Oda içinde ki hava sirkülasyonunu sağlamak için bir yandan oda içindeki kirli havayı emerken, diğer yandan temiz hava içeriye üflenir.



Plan 3.3 Cyberknife Tedavi Ünitesi Havalandırma Kanalları Planı (Ölçeksiz)

3.3. Elektrik Tesisatı Özellikleri

CyberKnife elektrik sistemi ana sağlayıcı tri-faze, 480 VAC, 100 Amps, 55 kVA olmalıdır. Güç dağıtım birimi, 200 VAC ile 480 VAC arasında olmalıdır. Sigorta kutusu teknik hacim odasında kapının hemen yanında bulunmalıdır (Plan 4.7). Bağlantı kutusu da sigorta kutusunun yanında bulunmalıdır.

Ünite giriş voltajının +/- %5 fazdan faza ayarlanamaması durumunda bir voltaj düzenletici cihazına ihtiyaç vardır. CyberKnife kontrol ünitesinde, beklenmedik elektrik kesintilerinde ünite içinde bulunan ünitelerin zarar görmemesi için UPS ünitesine ihtiyaç vardır.

CyberKnife elektrik sistemi, RoboCouch, yerden X-ışını görüntü algılayıcı, manipülatör, LINAC ve X-ışını resim sağlayıcıyı kontrol odası, planlama odası ve teknik hacim arasında ki bağlantıyı kurmak için oluşturulması gereken bir kablo ağıdır. Bu kablolarında kablo kanalları aracılığı ile birbirlerine bağlanması gerekmektedir. Kablo kanallarının gereksinimi, kabloları çevresel faktörlerden hasar almasını engellemek ve kabloları müdahale etmek için kullanılmaktadır.

3.4. Pis Su Tesisatı Özellikleri

Lavabo sistemi, CyberKnife ünitelerinde şiddetle tavsiye edilmektedir. Zeminde olası su sızıntılarına karşın yer süzgeci bulunmamalıdır. Su ve pis su tesisatlarını kesinlikle CyberKnife tesisatları üzerinden geçirilmemelidir.

3.5. Yangın Tesisatı Özellikleri

Yağmurlama sistemi²⁰, CyberKnife tedavi ünitesi üzerine istenmedik sebeplerle su sızdırması sonucunda pahalı tamirlere ve uzun süreli kapanmalara yol açacağından tedavi odası içerisinde kullanılması önerilmemektedir. Tedavi oda içerisinde yangın dedektörleri bulunması gerekmektedir. Oda içi iyonizasyon tipi dedektörler bazı durumlarda yanlış alarm verdiğinden, bu dedektörler yerine ısı dedektörleri veya foto-elektrikli duman dedektörleri kullanılmalıdır. Bu alanlara yangın sistemi olarak halokarbon veya karbondioksit sistemler kullanılmalıdır.

3.6. Zemin Özellikleri

3.6.1. Zemin Kaplama Özellikleri

Radyoloji ünitelerinde, zemin malzemesi seçilirken kaymaya, leke tutmaya, neme karşı dayanıklı ve temizliği kolay malzemeler seçilmesi gerekmektedir.

CyberKnife diğer radyoloji tedavi ünitelerinin zemin özellikleri belirlenirken zemine temas edecek birimlerin özelliklerini bilmek gerekmektedir. Birçok bilgisayar parçalarında olduğu gibi, CyberKnife parçaları da statik elektriğe²¹ karşı duyarlıdır. Bu yüzden statik elektriğe karşı korumalı zemin kaplamaları seçilmesi gerekmektedir. Odadaki veya kontrol ekipmanı alanındaki ekipmana bitişik olan halı kaplaması veya diğer döşeme malzemeleri, ölçümler sonucunda, % 20 bağıl nemde 2.0 kV değerini aşmayacak şekilde olmalıdır. Zemin kaplaması olarak halı kaplaması kullanılırsa, karo halı kullanılması kirlenen bölümlerin yeniden değişmesine ve müdahale kapaklarına ulaşılmasına olanak sağlamaktadır.

²⁰ Yağmurlama sistemi, yangın çıktığında otomatik olarak devreye girer ve alevlerin üzerine su boşaltarak yangını söndürüp yayılmasını önler.

²¹ **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.

Zemin çukuruna yerleştirilecek tüm malzemelerden sonra²² zemin malzemesinin döşenmesi zemin kaplamasının zarar görmemesini sağlayacaktır.

3.6.2. CyberKnife İçin Gerekli Zemin Özellikleri

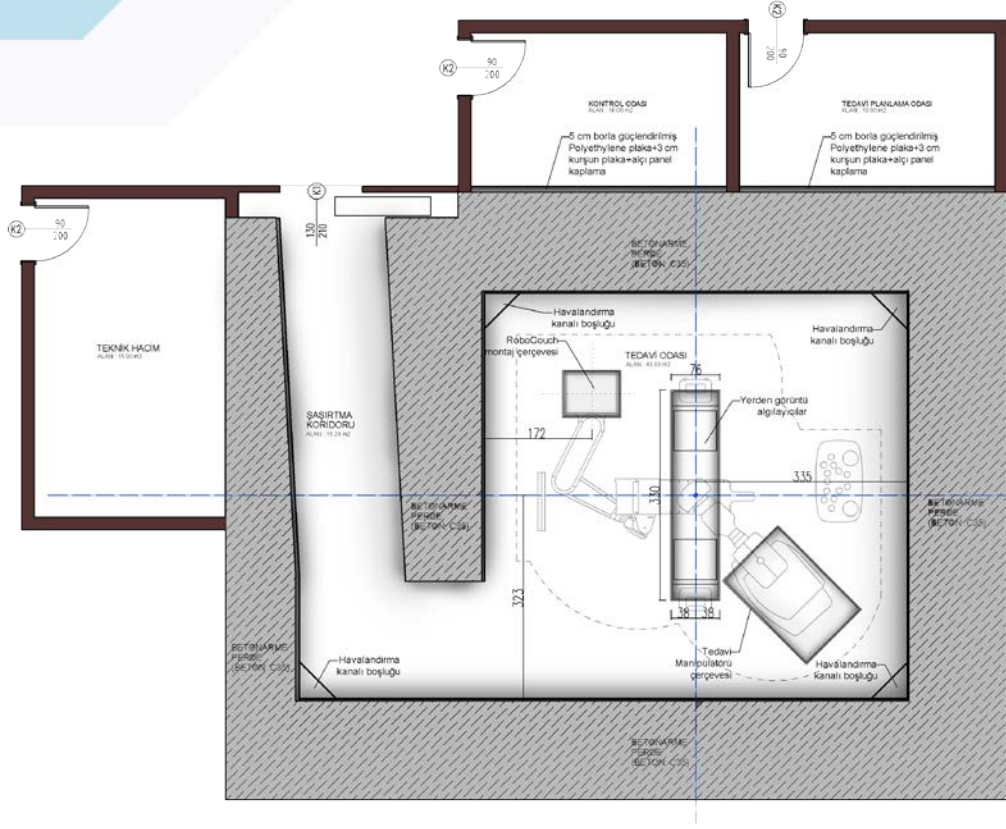
CyberKnife sistemine ait makinaların konumlanmasından önce zemine montajı yapılması gereken üniteler vardır. Bunlar, tedavi manipülatörünün zemine montajı için gerekli bir çerçeve ve RoboCouch sisteminin zemine montajı için gerekli bir çerçevedir.

Plan 3.4'te, CyberKnife yerden görüntü algılayıcının ünitesinin tedavi odasındaki konumlanacağı yer belirtilmiştir. Görüntü algılayıcı için ayrılması gereken açıklık 330x76 cm olmalıdır. Görüntü algılayıcı, resimleme merkezinden 165'er cm ve 38'er cm gelecek şekilde yerleştirilmelidir.(Plan 3.4).

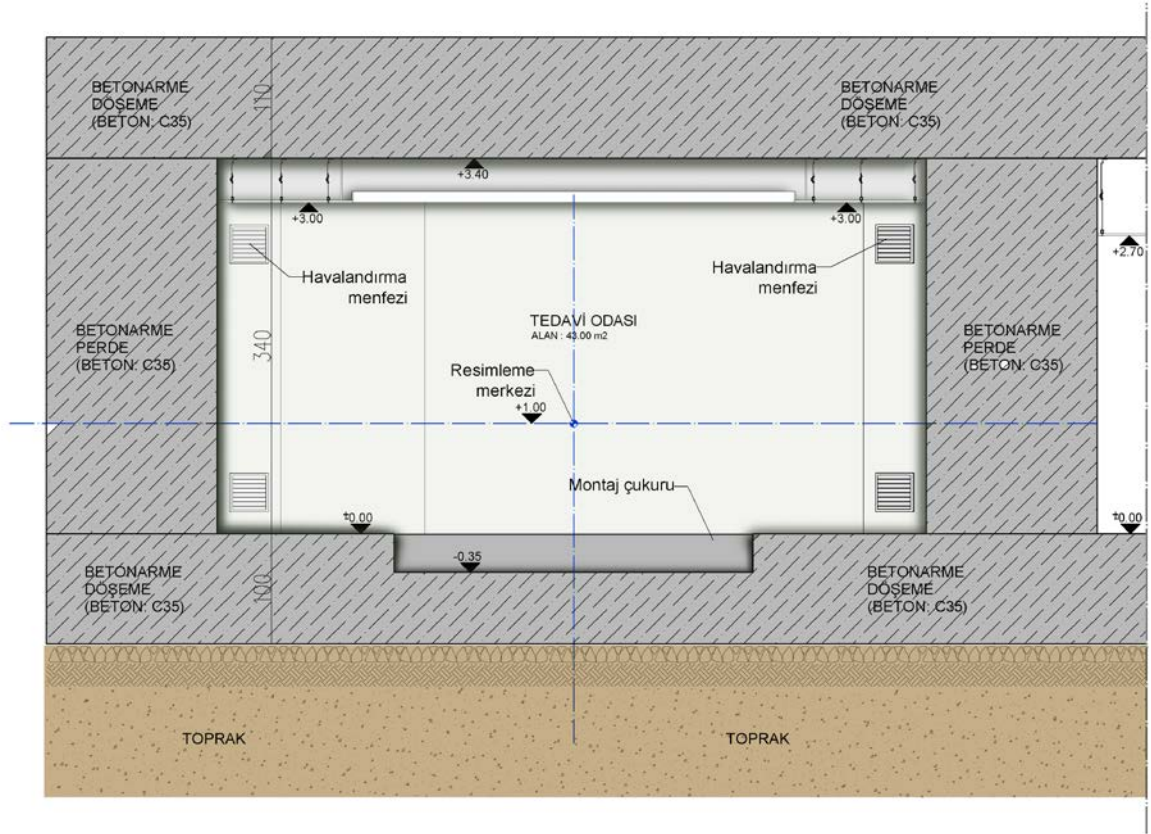
Kesit 3.2'de görüldüğü gibi CyberKnife yerden görüntü algılayıcının konumlanacağı zemin çukuru 35 cm derinliğinde olmalıdır. Montaj çukurunun zemini, kesinlikle herhangi bir zemin kaplama malzemesiyle kaplanmamalıdır. Aynı zamanda çukur tozdan ve sudan arındırılmalıdır. Çukurun içine kesinlikle şap atılmamalıdır.

Tedavi manipülatörü çerçevesi 185.4x121.9x40.6 cm ebadındadır. Tedavi manipülatörünün zemine sabitlenmesi için kullanılmaktadır. Oda içerisinde konumlanacağı alan Plan 3.4'te gösterilmektedir. RoboCouch Sisteminin zemine montajı için kullanılacak çerçevenin boyutu 91.4x73.7x4.32 cm'dir. Oda içerisinde konumlanacağı alan Plan 3.4'te belirtilmiştir.

²² Amorphous Si X-ray dedektörü



Plan 3.4 Cyberknife, Yerden Görüntü Algılayıcı İçin Zemin Özelliği Planı (Ölçeksiz)



Kesit 3.2 Cyberknife, Yerden Görüntü Algılayıcı İçin Zemin Kesit Görünümü (Ölçeksiz)

4. CyberKnife(Uzay neşteri) Tedavi Ünitesi Mekân Tasarımı

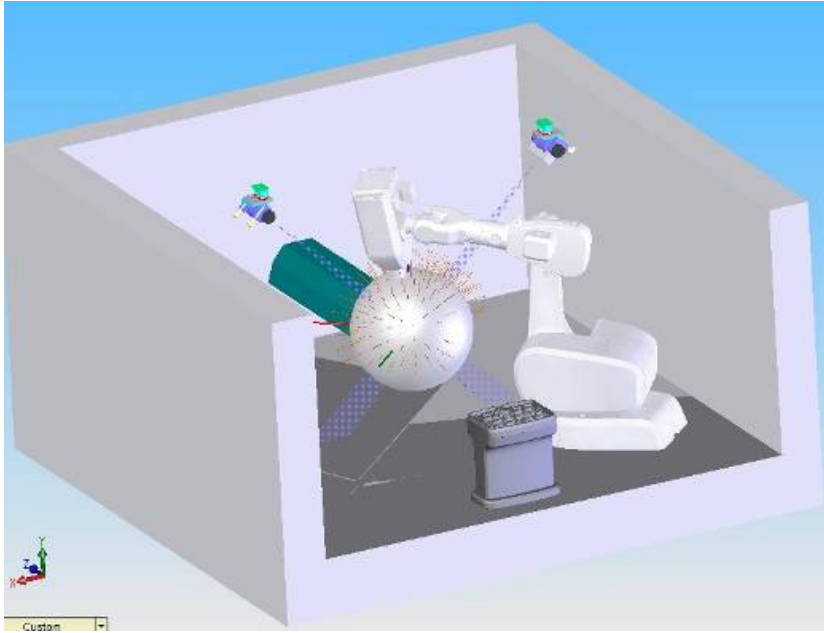
4. CyberKnife (Uzay neşteri) Tedavi Ünitesi Mekân Tasarımı

Tedavi ünitesi, CyberKnife sterotaktik radyocerrahi sisteminin gereksinimlerine uygun olarak tasarlanacak mekândır.

4.1. Merkez Noktasının Belirlenmesi

CyberKnife tedavi ünitesi, robot manipülatör aracılığıyla, doğrusal hızlandırıcı x-ışınını uzayda her noktaya ışınlatabildiği için herhangi bir merkez noktasına ihtiyaç duymamaktadır.

Röntgen kaynakları kesişim noktaları, resimleme merkezi adı altında bir kesişim noktası oluşturmaktadır. (Resim 4.1), (Kesit 3.2). Bu kesişim noktası yerden 100 cm yukarıda oluşup daha sonra ayrılarak zemindeki görüntü algılayıcılara görüntüyü aktarmaktadır.



Resim 4.1 Cyberknife Olası X-ray Işını Yapılanması

4.2. Önerilen Minimum Tedavi Ünitesi Ölçüleri

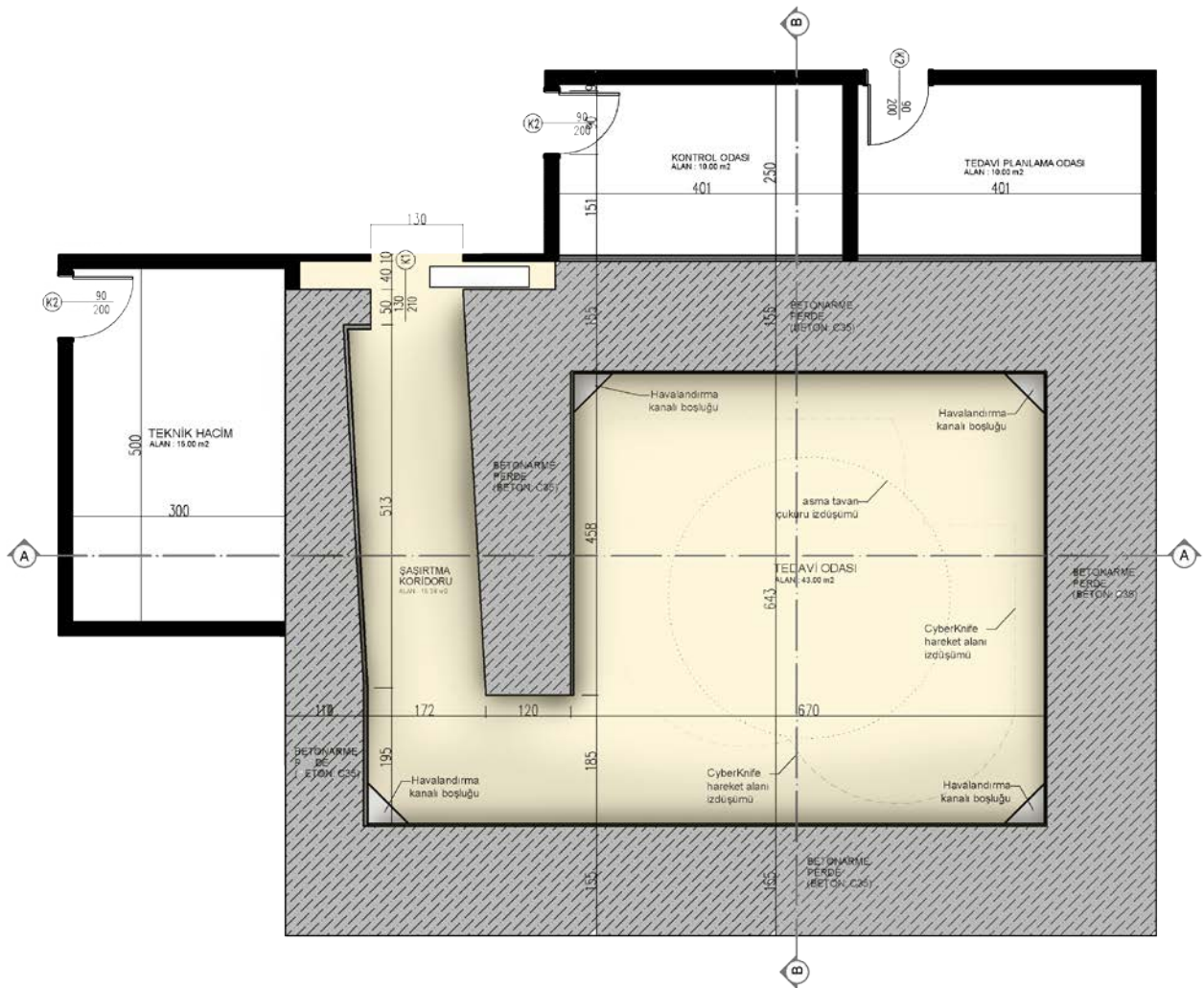
CyberKnife Sistemi, iki farklı zırhlama düzenine sahip olarak kurulabilir. Birincisi doğrusal hızlandırıcı tabanlı şaşırtma koridoru içeren oda tasarımı (*Plan 4.1*), ikincisi standart CyberKnife, şaşırtma koridoru içermeyen oda tasarımıdır. (*Plan 4.2*). Tedavi ünitesi gerekli asgari alan özellikleri alt kısımda belirtilen hususlar doğrultusunda şekillenmektedir.

- CyberKnife tedavi odası minimum 35 m² olmalıdır.
- Tedavi odası ölçüleri minimum 640x670x300 cm(*ExBxY*) ebadında olmalıdır.²³
- Radyasyona maruz kalan duvarlar Plan 4.1’de görüldüğü gibi, minimum 155 cm kalınlığında olmalıdır.
- Radyasyona ikincil maruz kalan tavan döşemesi minimum 110 cm kalınlığında olmalıdır. (*Kesit 4.1, Kesit 4.2*)
- Tedavi odası asma tavan hariç, tavan yüksekliği minimum 340 cm olmalıdır. Asma tavan dâhil, tavan yüksekliği 300 cm olmalıdır.
- Tedavi odası zemin döşeme kalınlığı minimum 100 cm olmalıdır. (*Kesit 4.1, Kesit 4.2*)
- Tedavi odasının zeminine yerleştirilecek görüntü algılayıcı için bir çukur oluşturulmalıdır²⁴.
- Tedavi odası içerisinde bulunan şaşırtma koridoru minimum genişliği 165 cm olmalıdır (*Plan 4.1*).
- Şaşırtma koridorunun sonunda bulunan oda giriş kapısı minimum 130x210 cm, radyasyona dayanıklı ve interlock (*Elektronik kapı geçiş kontrol sistemi*) sistemine sahip olmalıdır.
- CyberKnife tedavi ünitesi ayrıca kontrol odası, tedavi planlama odası ve teknik hacim bulunması gerekmektedir.

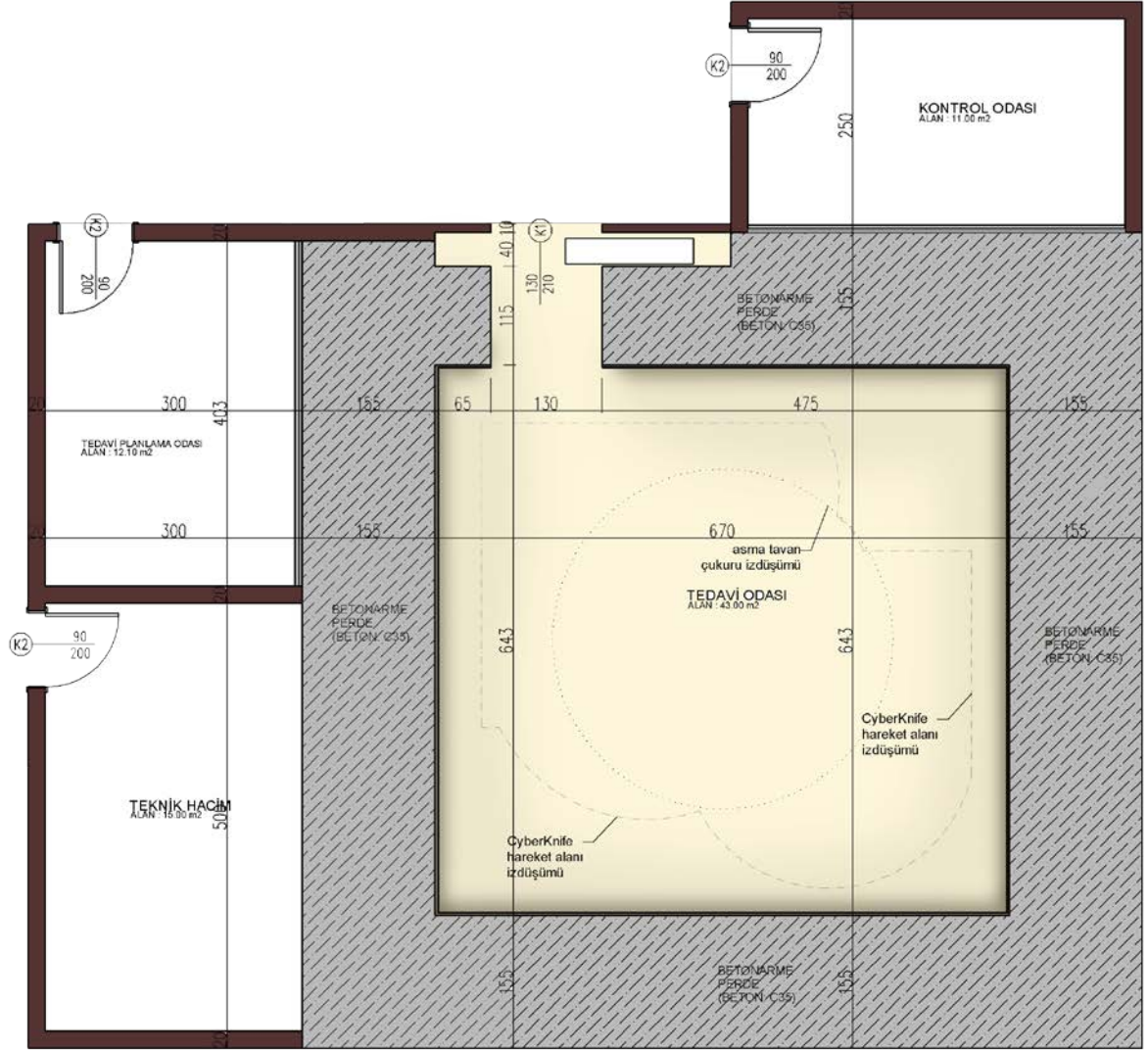
²³ CyberKnife sistemi için gerekli minimum hareket alanı ışığı altında belirlenmiştir.

²⁴ Detaylı bilgi için (3.6.2 CyberKnife İçin Gerekli Zemin Özellikleri)

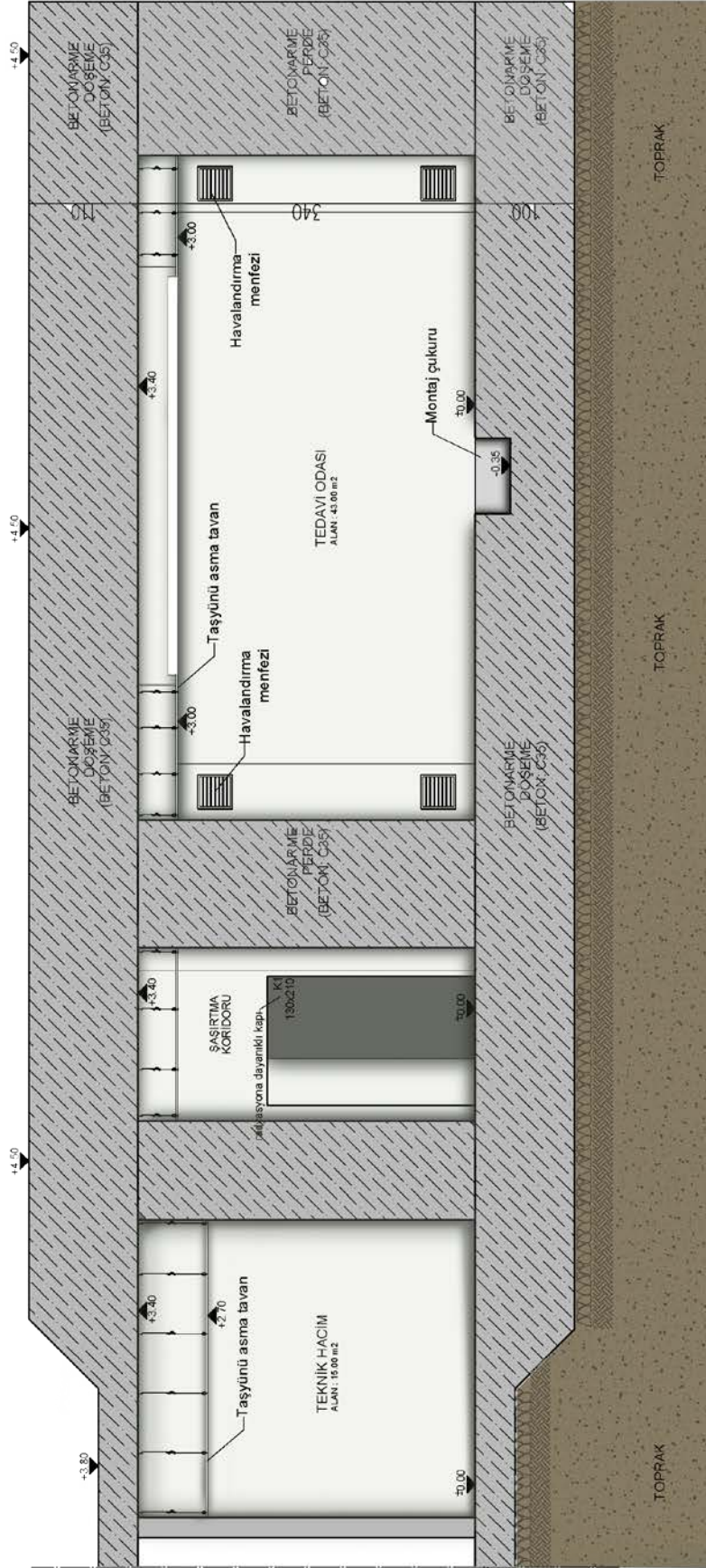
- Kontrol odası, tedavi planlama odası ve teknik hacim asma tavan hariç tavan yüksekliği 340 cm, asma tavan dâhil tavan yüksekliği minimum 270 cm olarak belirlenmelidir.
- Kontrol odası minimum 250x400x270(ExBxY) cm olup, minimum 10 m² olmalıdır.
- Tedavi planlama odası minimum 250x400x270(ExBxY) cm olup, minimum 10 m² olmalıdır.
- CyberKnife'in ünitelerinin olduğu teknik hacim, minimum 300x500x270(EXBX Y) cm olup, 15 m² olmalıdır.



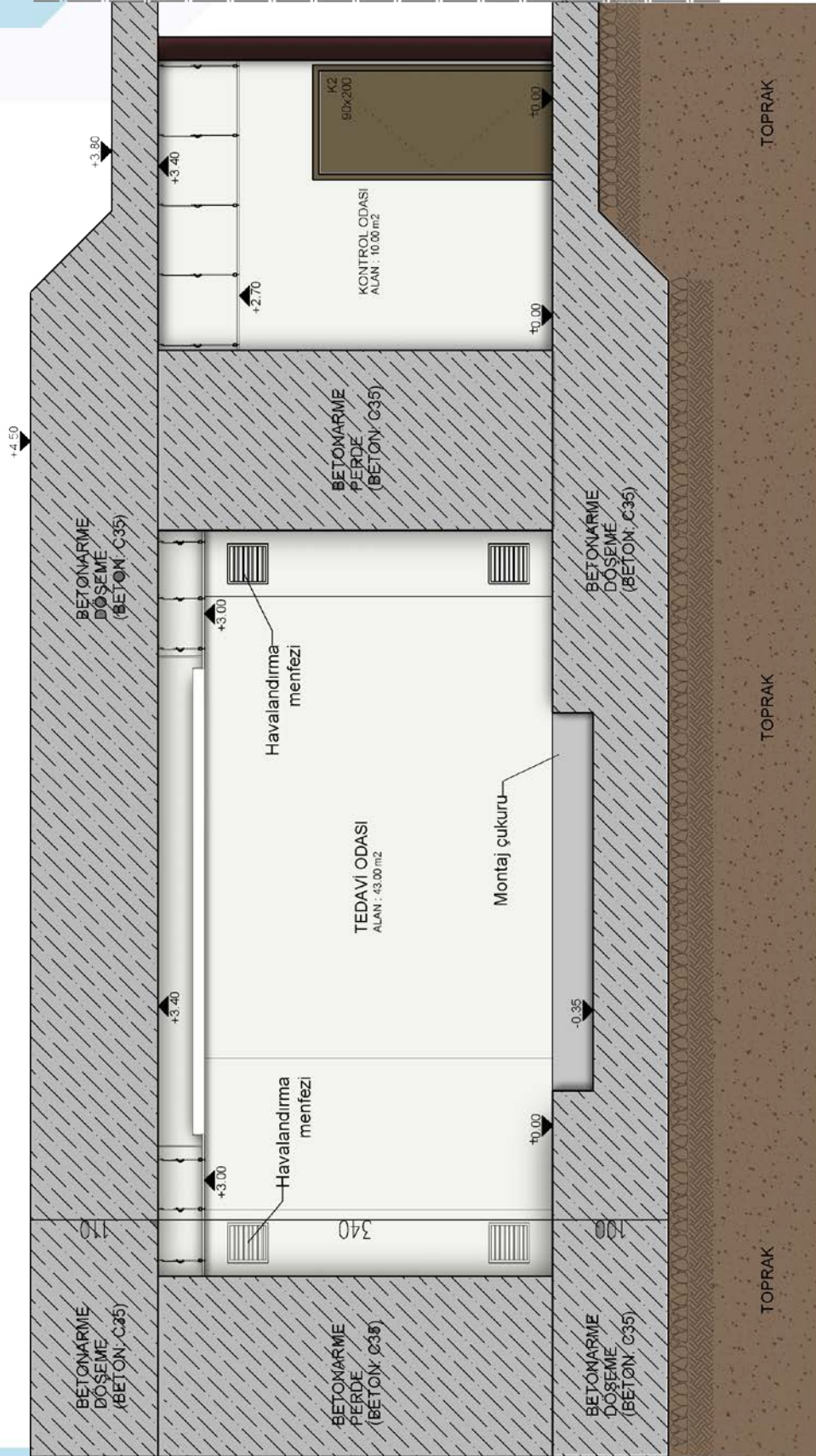
Plan 4.1 Cyberknife Tedavi Ünitesi Planı (şşırtma koridoru dâhil) (Ölçeksiz)



Plan 4.2 Cyberknife Tedavi Ünitesi Planı (şasırtma koridoru hariç) (Ölçeksiz)



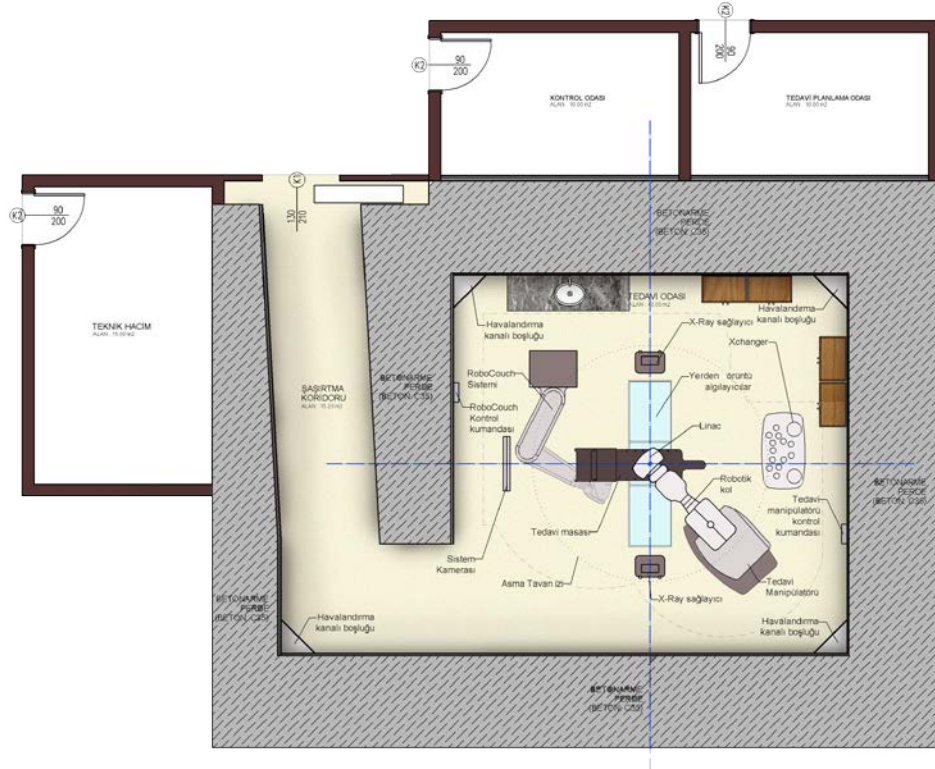
Kesit 4.1 A – A Kesiti (Ölçeksiz)



Kesit 4.2 B – B Kesiti (Ölçeksiz)

4.3. Tedavi Odası Özellikleri

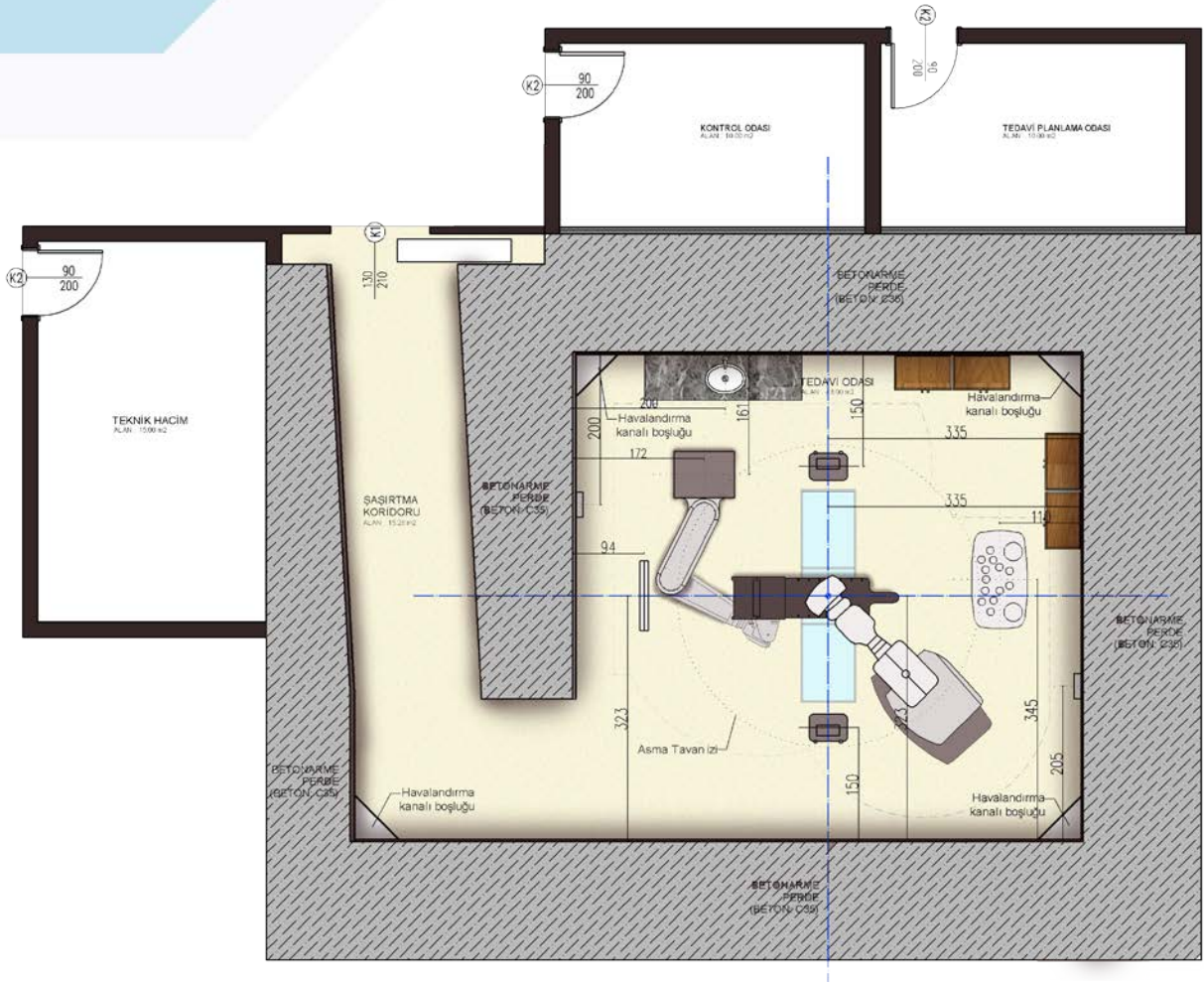
Tedavi odası, Accuray firması tarafından yapılan CyberKnife tedavi birimlerinin hareket açıları ve boyutları doğrultusunda tasarlanmış alandır. Bu alanda CyberKnife ünitelerine ek olarak, tedavi hazırlık ve tedavi esnasında duyulacak ihtiyaçlar doğrultusunda bulunması gereken lavabo ve depolamak için kullanılacak dolap üniteleri vardır.



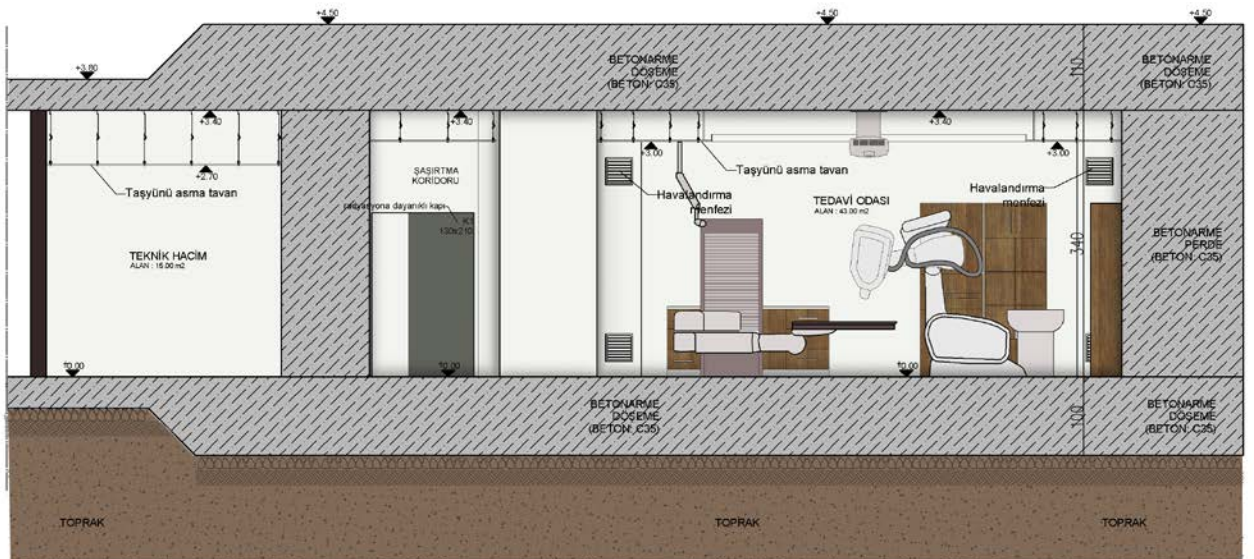
Plan 4.3 Cyberknife Tedavi Odası Yerleşim Planı (Ölçeksiz)

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

- Tedavi odası örnekte belirtilen türde ise minimum 35 m² olmalıdır.
- Radyasyona maruz kalan perde duvarların minimum kalınlığı minimum 155 cm olmalıdır.
- Oda ölçüleri minimum 670x640 cm olmalıdır (ExB).
- Radyasyona maruz kalan tavan döşemesi minimum 110 cm kalınlığında olmalıdır.



Plan 4.4 Cyberknife Tedavi Odası Yerleşim Planı Ölçüleri (Ölçeksiz)



Kesit 4.3 Cyberknife Tedavi Odası Kesiti (Ölçeksiz)

- Zemin döşemesi kalınlığı minimum 100 cm olmalıdır.
- Şaşırtma koridoru minimum 15 m² olmalıdır.
- Şaşırtma koridoru minimum 170 cm genişliğinde olmalıdır.
- Şaşırtma koridorunun kontrol odasına komşu olan duvarı uygun şartlarda zırhlanmalıdır.
- Plan 4.4'de belirtildiği gibi minimum betonarme tavan döşemesi yüksekliği minimum 340 cm'dir.
- Yapılacak minimum asma tavan yüksekliği minimum 300 cm olmalıdır.²⁵
- Şaşırtma koridorunda bulunan (K1) 130 cm genişliğinde, 210 cm yüksekliğinde radyasyon korumalı, interlock²⁶ kapı olmalıdır.

4.4. Tedavi Odası CyberKnife Üniteleri

Tedavi odasında bulunması gereken üniteler ve özelliklerinden bahsedilmektedir.

4.4.1. Tedavi Manipülatörü

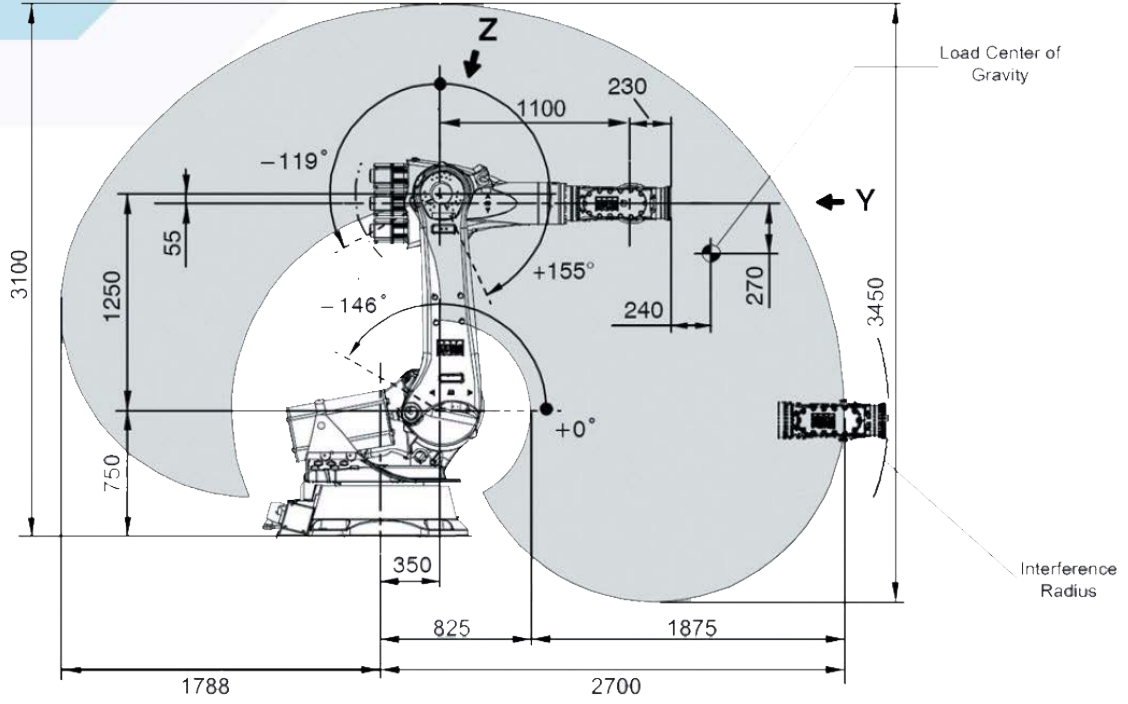
Bu ünitenin montajı zemine yapılmaktadır²⁷. Doğrusal hızlandırıcıyı hedeflemek ve konumlandırmak için 6 farklı açığa sahip manipülatörü kullanılmaktadır. Manipülatör, sabit ve önceden belirlenmiş bir çalışma alanına taşınacak şekilde programlanmıştır. Bu yüzden oda içerisinde ki diğer birimlerin doğru konumlanması, çarpışma riskine karşı dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Teknik hacim odasından gelen kablo kanalları, tedavi manipülatör montaj çerçevesi arkasında konumlanan bir bağlantı kutusuna iletilmektedir. Manipülatörün ve LINAC'ın odadaki hareketi, bitmiş duvarlar arasındaki yatay mesafeler ve bitmiş zemin ile bitmiş tavan arasındaki dikey mesafeler de dâhil olmak üzere oda içerisinde ihtiyaç duyduğu alan Bölüm 4.3'te belirtilmiştir.

²⁵ CyberKnife robot kolunun hareket aksları doğrultusunda belirlenmiştir.

²⁶ Elektronik kapı geçiş kontrol sistemidir.

²⁷ Detaylı bilgi için Bknz. (3.6.2 CyberKnife İçin Gerekli Zemin Özellikleri)



Şekil 4.1 Tedavi Manipülatörü Ölçüleri Ve Hareket Açıları (Ölçeksiz)

4.4.2. Doğrusal Hızlandırıcı (LINAC)

Bu ünitenin montajı Tedavi manipülatörüne yapılmaktadır. CyberKnife sisteminde kullanılan LINAC, 6MV; 600 MU/min, 800 MU/min veya 1000 MU/min'tır. Doğrusal hızlandırıcının konumlanacağı alan radyasyon açısından zırhlanmalıdır²⁸.



Şekil 4.2 CyberKnife LINAC (Ölçeksiz)

²⁸ Detaylı bilgi için 3.1.2 CyberKnife ünitesi radyasyon koruması

4.4.3. Değiştirilebilir İkincil Kolimatörler ²⁹

Genelde dolap içinde ya da Xchange robotik değiştirme ünitesi üzerinde bulunmaktadır. Kolimatör ölçüleri 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 50.0 ve 60.0 milimetre olarak belirlenmiştir. Bu on iki kolimatör, ayrıca ilave katı ve iğne kolimatör vardır. Her biri yaklaşık 9.07 kg ağırlığındadır.

İkincil Kolimatör



Resim 4.2 Kolimatör Masası Ve Kolimatörler

4.4.4. Tedavi Manipölatörü Uzaktan Kumandalı Programlama Cihazı

Montajı duvara yapılmaktadır. Bu birim tedavi manipölatörünü harici kontrol etmek için kullanılan el kumandasıdır. Oda içerisinde tedavi manipölatörüne yakın, bitmiş zeminden 122 cm yukarı gelecek şekilde duvarda herhangi bir yere montajı yapılabilir. Tedavi manipölatörü bağlantı kutusundan kumandanın konumlanacağı yere kablo çekilmelidir.

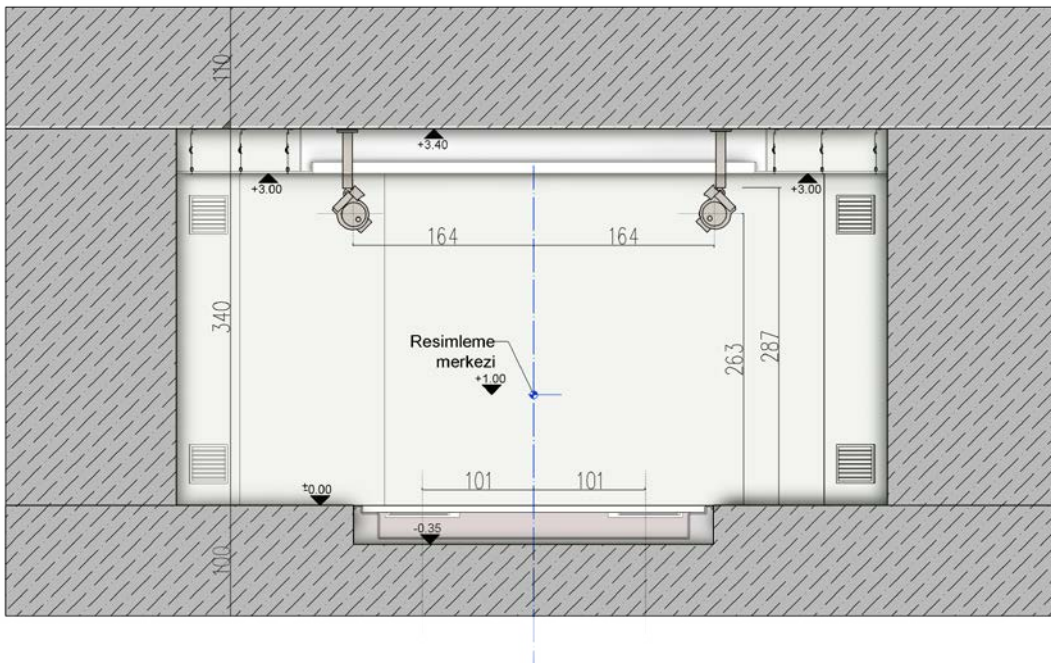


Resim 4.3 Tedavi Manipölatörü Kumanda Ünitesi

²⁹ Kolimatör: Sınırlayıcı, yön verici anlamına gelmektedir.

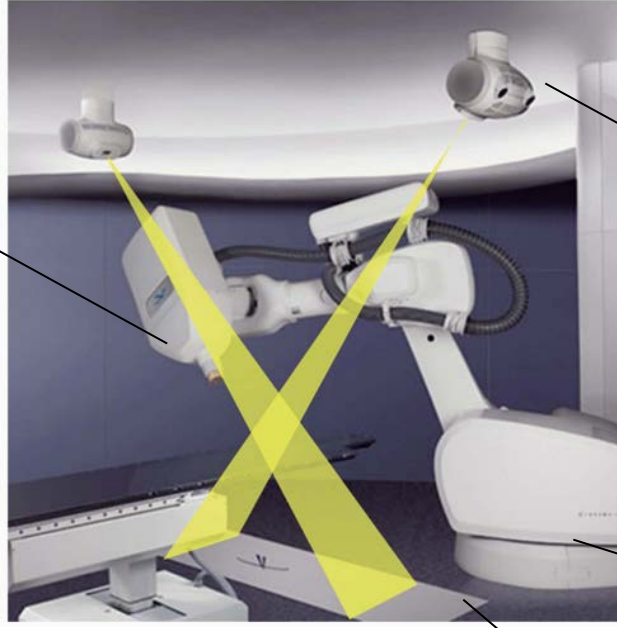
4.4.5.Yerden Görüntü Algılayıcı

Montajı zemin kotundan 35 cm aşağıya gelecek şekilde olmalıdır. Algılayıcılar, tedavide kullanılacak. Dedektörler, hastayı tedavi için doğru konumlandırmak ve tedavi sırasında hastanın konumlandırılmasını izlemek için X-ışın kaynakları ile birlikte kullanılır. Algılayıcılar fiberglas panelin altına zemin seviyesinin altına gelecek şekilde olmalıdır. Fiberglas panel ön kurulum işlemi sırasında beton içine gömülür. Odanın içine döşenecek zemin kaplamasının kotu ile fiberglas panelin zemin kotunun eşit olması gerekmektedir.



Kesit 4.4 X-ışını Kaynağı Yerleşim Ölçüleri (Ölçeksiz)

LINAC



X-ışını kaynağı

Tedavi Manipulatörü

Resim 4.4 X-ışını Kaynağı Ve Yerden Görüntü Algılayıcı

Yerden görüntü algılayıcı

4.4.6. X-ışını Kaynakları

X-ışını kaynaklarının montajı tavana yapılmaktadır (*Kesit 4.4*). Yağ soğutmalı X-ışını kaynakları tedavi sırasında hasta konumlama amacıyla kullanılmaktadır. X-ışını kaynağını tavana montajını yapmak için C profili ve ona bağlı parçalar gerekmektedir. Tavan yüksekliği 366 cm geçtiği durumlarda yüklenici firma tarafından X-ışını kaynağı için ek uzatma kiti sağlanmaktadır. Merkez noktası ile X-ışını kaynakları arasında 163.5 cm mesafe olmalıdır (*Kesit 4.4*). X-ışını kaynağına giden kablolar bağlantı için sarkıtılmalıdır.

4.4.7. X-ışını Kaynağı Eşanjörü

X-ışını kaynağı eşanjörünün montajı tavana yapılmaktadır. Eşanjör, asma tavanda herhangi bir yere montajı yapılabilir, bundan dolayı tavanda müdahale ve montaj için yeterli açıklık bırakılmalıdır (*Kesit 4.4*). Kablo uzunluğunun kısa tutulması nedeniyle, teknik hacim odasına yerleştirilmesi uygun değildir. Yüklenici firma ankraj ve montaj plakasını montaj hazırlık aşamasında tavana montajını yapmaktadır ve daha sonra eşanjörü CyberKnife sistemi montajı esnasında montaj plakasına yerleştirmektedir. Montaj plakasının önceden takılması havalandırma,

aydınlatma ve diğer ünitelerin eşanjörle çakışmaması için görsel bir kılavuz oluşturmayı sağlamaktadır.

4.4.8.X-Işını Jeneratörü

X-ışını jeneratörünün montajı zemine yapılmaktadır. Bu jeneratörün amacı X-ışını kaynağına yüksek voltaj sağlamaktır. Jeneratör kontrol, tedavi ve teknik hacim odalarından birinde konumlanabilmektedir. Fakat servis, müdahale ve iki ünite arasındaki bağlantı kablosunun uzunluğu 24.4 metre olması sebebiyle teknik hacim odasında³⁰ konumlanması tercih edilmektedir. Eğer bu şartlar uygun değilse X-ışını jeneratörü, tedavi ve kontrol odasında konumlanması uygundur. Servis erişimi ve soğutma konusunda uygun şartlar sağlandığı takdirde dolap içine konabilmektedir.

4.4.9. Synchrony® Solunum Yolları Takip Sistemi Kamerası

Kameranın montajı tavana yapılmaktadır (*Kesit 4.3*)(*Resim 2.1*). Sistem, hasta hareketini izlemek ve tedaviyi hasta hareketine uyacak şekilde ayarlamak için kullanılmaktadır. X-ışını sağlayıcı gibi Synchrony sisteminde müdahale ve servis için tavandan müdahale bölümüne ihtiyacı vardır.

4.4.10. Acil Durum Bileşenleri

Tedavi odası giriş kapısı yanına, acil durum enerji kesme butonu bulunması gerekmektedir. Harekete duyarlı acil durum sistem kapaması, tedavi odası duvarlarının merkezinde konumlanmalıdır. Tüm acil durum butonlar bitmiş zemin yüzeyinden 122 cm yukarıda olacak şekilde konumlanmalıdır.

4.4.11. RoboCouch® Hasta Konumlandırma Sistemi

Hasta konumlandırma sisteminin montajı zemine yapılmalıdır. RoboCouch® Sistemi Tedavi Manipülatörüne çapraz olarak oturur (*Plan 4.3*)(*Resim 2.1*). RoboCouch sistemine maksimum yükleme kapasitesi 227 kg'dır. Sütun kapaması standart modelde 203 cm yüksekliğinde olmaktadır (*Resim 2.1*). Opsiyonlu olarak asma tavan yüksekliğine kadar seçimde yapılabilmektedir. RoboCouch sistemine bağlantı kabloları zeminden geliyorsa kapalı model kullanılmaktadır. Eğer bağlantı kabloları tavandan geliyorsa sütun kapaması tavan boyuna kadar uzatılmalıdır

³⁰ (Bknz. 4.7 Teknik Hacim Odası Özellikleri)

(Resim 2.2). RoboCouch sistemi, ön kurulum işlemi sırasında beton içine gömülmüş montaj çerçevesine bağlanmaktadır. Kurulum için bağlantı kutusu ve teknik hacimden gelen bağlantı kutusuna ihtiyaç vardır. Ayrıca kontrol ünitesi içinde duvardan gelen bir kablo kanalına ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4.12. RoboCouch Sistemi Kontrol Modülü

Bu ünitenin montajı duvara yapılmaktadır. Sistem, bir kontrol düğümünü ve diğer elektronikleri içeren bir kontrol modülünden ibarettir. Hastanın yükleme ve kurulumu sırasında RoboCouch kontrol modülü, operatörün kolayca ulaşabileceği bir duvarda bulunması gerekmektedir. RoboCouch Sistemi Kontrol Modülü, RoboCouch sistemine bağlamak için bir bağlantı kutusu ve minimum 3.8 cm genişliğinde bir kablo kanalına ihtiyaç vardır.

4.4.13. Xchange® Robotik Kolimatör Değiştirici

Ünitenin montajı zemine yapılmaktadır. Xchange® Değiştirici tedavi manipülatörünün yanında konumlanmaktadır. İkincil kolimatörleri tutmak için kullanılmaktadır. Bu ünite kolimatörlerin kendi başına değişmesini sağlamaktadır. Xchange® Değiştiriciyi beton zemine montajını yapmak için, 5 cm genişliğinde kablo kanalı ve bir adet elektrik kutusuna ihtiyaç vardır.

NOT: Işık duyarlılığından dolayı ışıklar doğrudan Xchange değiştiricinin üstündeki tavana yerleştirilmemelidir.

4.5. Tedavi Odası Ek Üniteleri

Tedavi odasında CyberKnife sistemi ünitelerine ek olarak hastane yönetimi tarafından sağlanması gereken oda içerisinde bulunması gereken üniteler aşağıda belirtilmektedir.

4.5.1. Telefon

Telefon, servis ve acil durumları konuşmak için rutin olarak kullanılmaktadır.

4.5.2. Lavabo

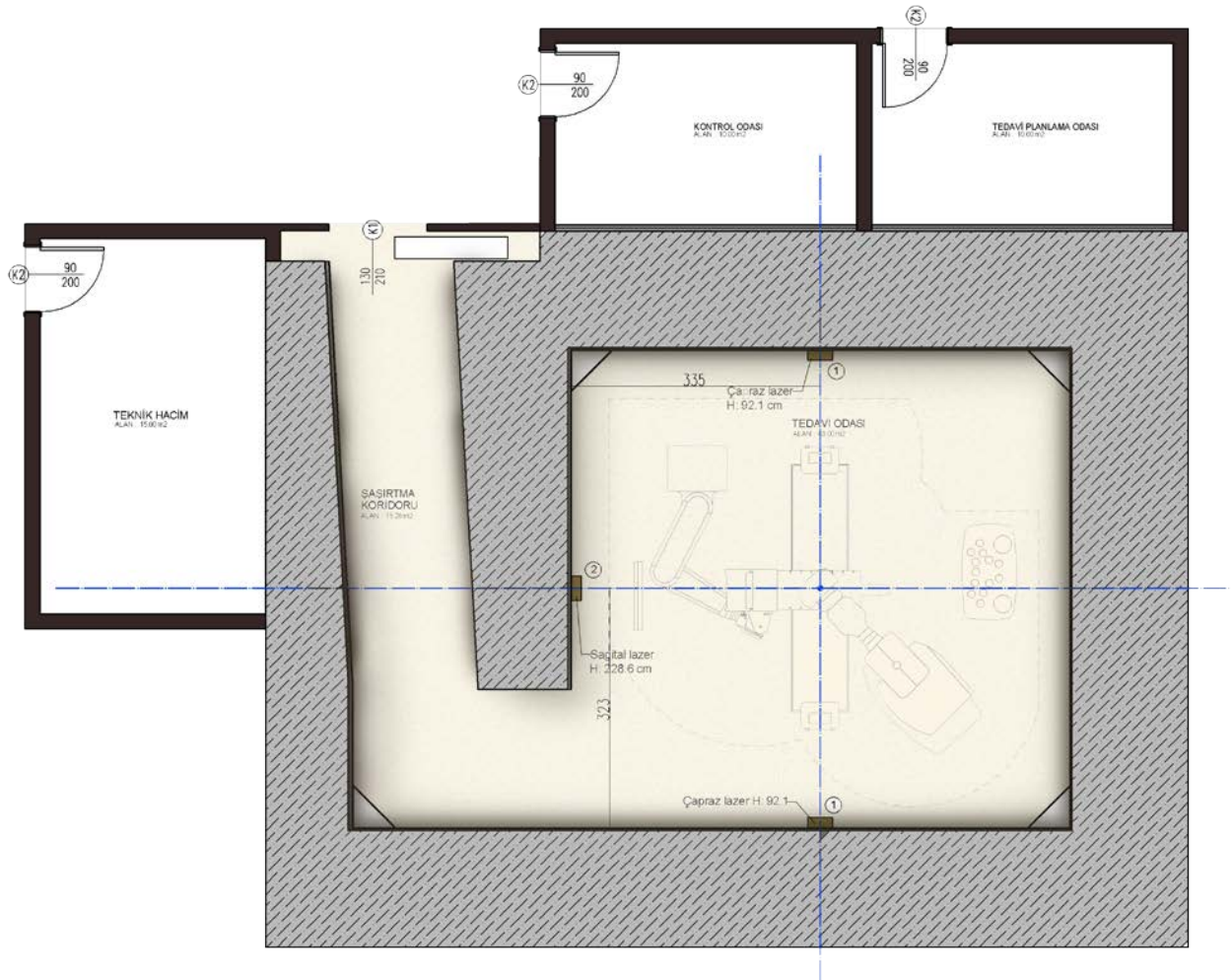
Lavabo; ellerin yıkanması, hastanın temizlenmesi ve maskelerin hazırlanması için ihtiyaç duyulmaktadır.

4.5.3. Intercom

Bir adet mikrofon ve hoparlörden oluşmaktadır. CyberKnife sistemi kurulumundan önce oda içinde kurulması gerekmektedir.

4.5.4. Hasta Konumlandırma Lazerleri

Oda içerisinde üç adet lazer bulunmaktadır. İki çapraz lazerler zemin seviyesinden 92.1 cm yukarıda olmalıdır. Diğer sagittal lazer zemin seviyesinden 228.6 cm yukarıda olmalıdır (*Kesit 4.5*).



Plan 4.5 Hasta Konumlandırma Lazerleri (Ölçeksiz)

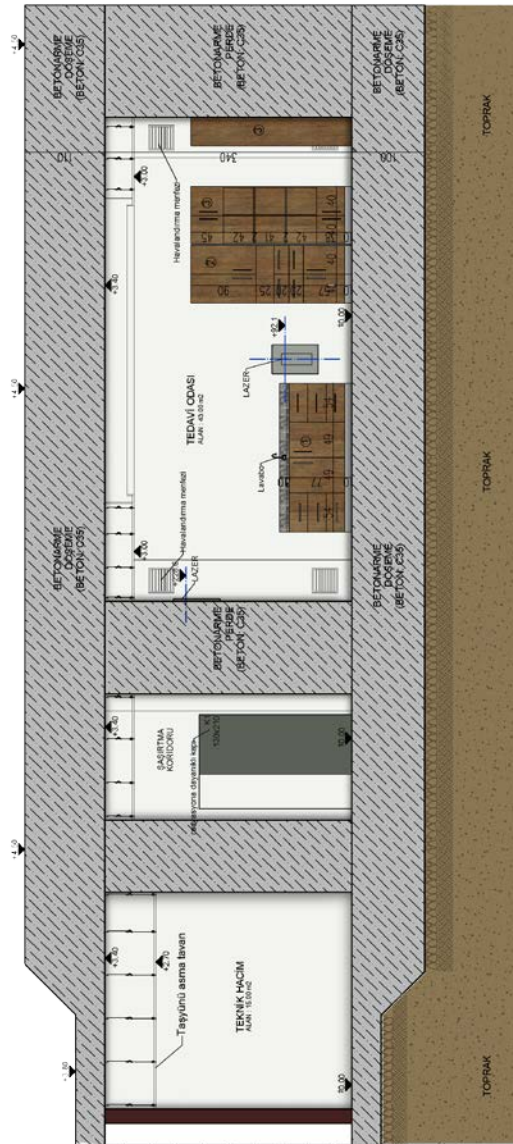
4.5.5. CCTV

Bu genellikle tedavi odasında bulunan kameralarla birlikte en az dört açıdan tedavi odasında hasta görüntüleme için kullanılan bir monitörden oluşur. İki kamera asma tavan üzerine montajı yapılırken diğer iki kamera zemin seviyesinden 91.4 cm yükseklikte olmalı ve darbelere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Eğer

tedavi ünitesinde şaşırtma koridoru varsa beşinci kamerada koridoru görecek şekilde konumlanmalıdır. Kameralara ait monitör, klavye ve hoparlör sistemleri kontrol odasında bulunmalıdır.

4.5.6. Ekipman Depolama Dolapları

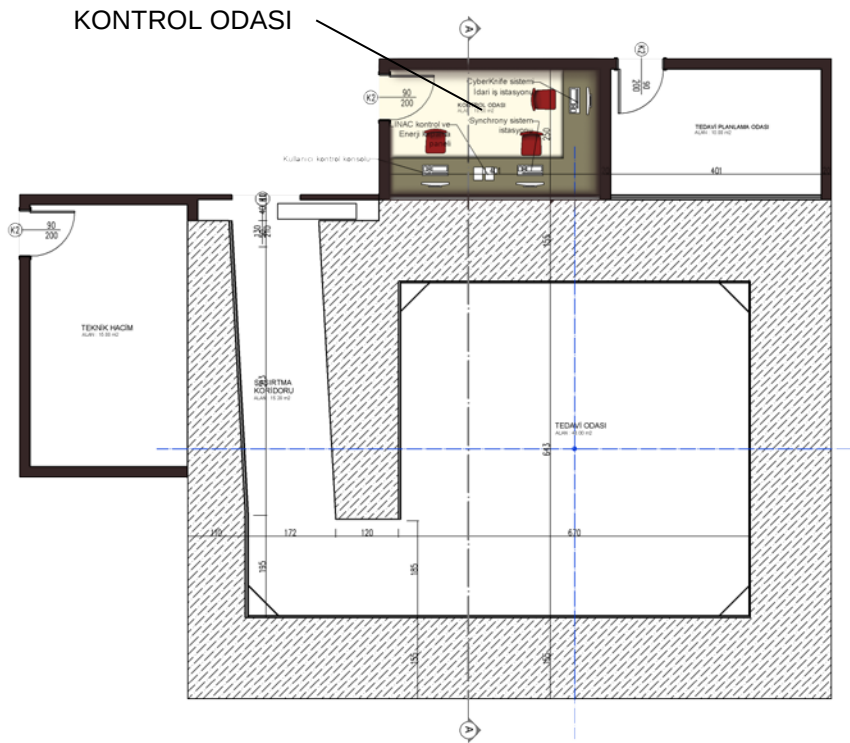
Eğer tedavi odasında Xchange® Değiştirici birimi yok ise ikincil kolimatörler dolapta depolanmalıdır. Teknik materyaller, hasta maskeleri, hastayı tedavi masasına sabitlemek için kullanılan ekipmanlar bu dolaplarda depolanmalıdır. Ayrıca evyenin tedavi odası içerisinde bulunması içinde bir evye dolabına ihtiyaç vardır. Belirtilen ihtiyaçlara uygun dolap detayı Kesit 4.5'te belirti



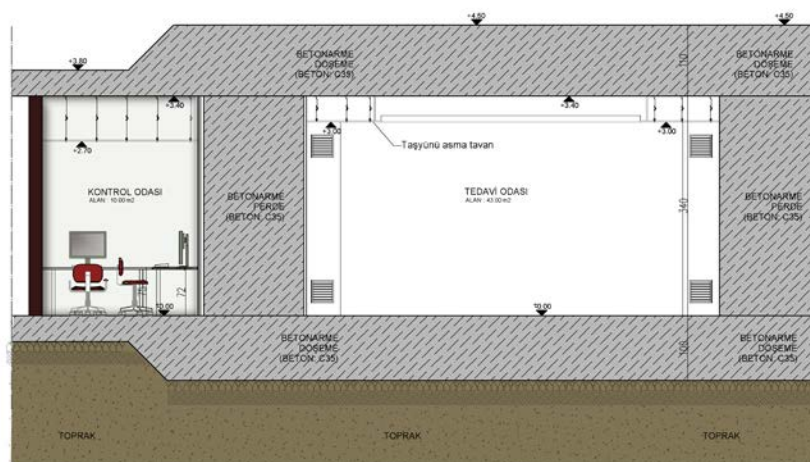
Kesit 4.5 CyberKnife Tedavi Odası Depolama Alanları (Ölçeksiz)

4.6. Kontrol Odası Özellikleri

Kontrol odası, Accuray, CyberKnife tedavi ünitesinin kontrol birimlerinin konumlandığı alandır.



Plan 4.6 Kontrol Odası Planı (Ölçeksiz)



Kesit 4.5 A – A Kesiti (Ölçeksiz)

Plan 4.6 ve Kesit 4.'da kontrol odasının minimum ölçüleri verilmektedir. Araştırmalar sonucunda tedavi odasının gerekli asgari alan özellikleri altta belirtilen hususlar doğrultusunda şekillenmektedir;

- Tedavi odası örnekte belirtilen türde ise minimum 10 m² olmalıdır.
- Radyasyona maruz kalan perde duvarların minimum kalınlığı 155 cm olmalıdır.
- Tedavi odasına bakan duvar yüzeyine radyasyon koruması yapılmalıdır. (Bknz. 3.1Radyasyon Koruması)
- Oda ölçüleri minimum 400x250 cm olmalıdır.
- Bitmiş tavan yüksekliği minimum 270 cm olmalıdır.
- Kesit 4.'da belirtildiği gibi minimum betonarme tavan döşemesi yüksekliği 340 cm'dir.
- Kontrol odasında bulunan (K2) 90 cm genişliğinde, 200 cm yüksekliğinde olmalıdır.
- Oda uygun şartlarda havalandırılmalıdır.
(Bknz. 3.2.1 CyberKnife Tedavi Odası Havalandırma Özellikleri)

4.6.1. Kullanıcı Kontrol Konsolu

Tedavi odası içerisinde konumlanacak olan kontrol ünitesi masası üzerine yerleştirilmelidir (Plan 4.6), (Kesit 4.). Bu konsol, bilgisayar LCD monitör içermektedir.

4.6.2. LINAC Kontrol ve Acil Durum Enerji Kesme Paneli

Tedavi odası içerisinde konumlanacak olan LINAC kontrol ve acil durum enerji kesmepaneli, masası üzerine yerleştirilmelidir (Plan 4.6), (Kesit 4.). Bu iki kontrol kutusu, operatöre kolayca ulaşılabilir şekilde Kontrol Odası masasını üzerinde yan yana bulunması gerekmektedir.

4.6.3. Synchrony Sistem İstasyonu

Tedavi odası içerisinde konumlanacak olan Synchrony sistem istasyonu masası üzerine yerleştirilmelidir (*Plan 4.6*), (*Kesit 4.*). **Not:** Sadece Synchrony sistemi bilgisayar teknik hacim odasında bulunması gerekmektedir (*Plan 4.7*).

4.6.4. CyberKnife Sistemi İdari İş İstasyonu

Tedavi odası içerisinde konumlanacak olan CyberKnife sistemi idari iş istasyonu masası üzerine yerleştirilmelidir (*Plan 4.6*), (*Kesit 4.*). Bu sistem, hasta, kullanıcı ve tedavi planı yönetim görevlerini yerine getiren uygulamaları barındırır. Bu istasyon, LCD monitör ve zemine veya masanın üzerine konumlanacak bir bilgisayar içermektedir.

4.6.5. Acil Durum Bileşenleri

Tedavi odası kapı kilidini atlamak için kapı kilidini geçersiz kılan bir anahtarı vardır. Bu kilit, CyberKnife sistemini test etmek ve kalibrasyon yapmak için kullanılmaktadır.

4.7. Teknik Hacim Odası Özellikleri

Teknik hacim odası, genel olarak tedavi odasının duvarlarına bitişik veya yakınında bulunur ve CyberKnife Sistemi için gerekli olan çoğu destek ekipmanlarını içinde barındırmaktadır.

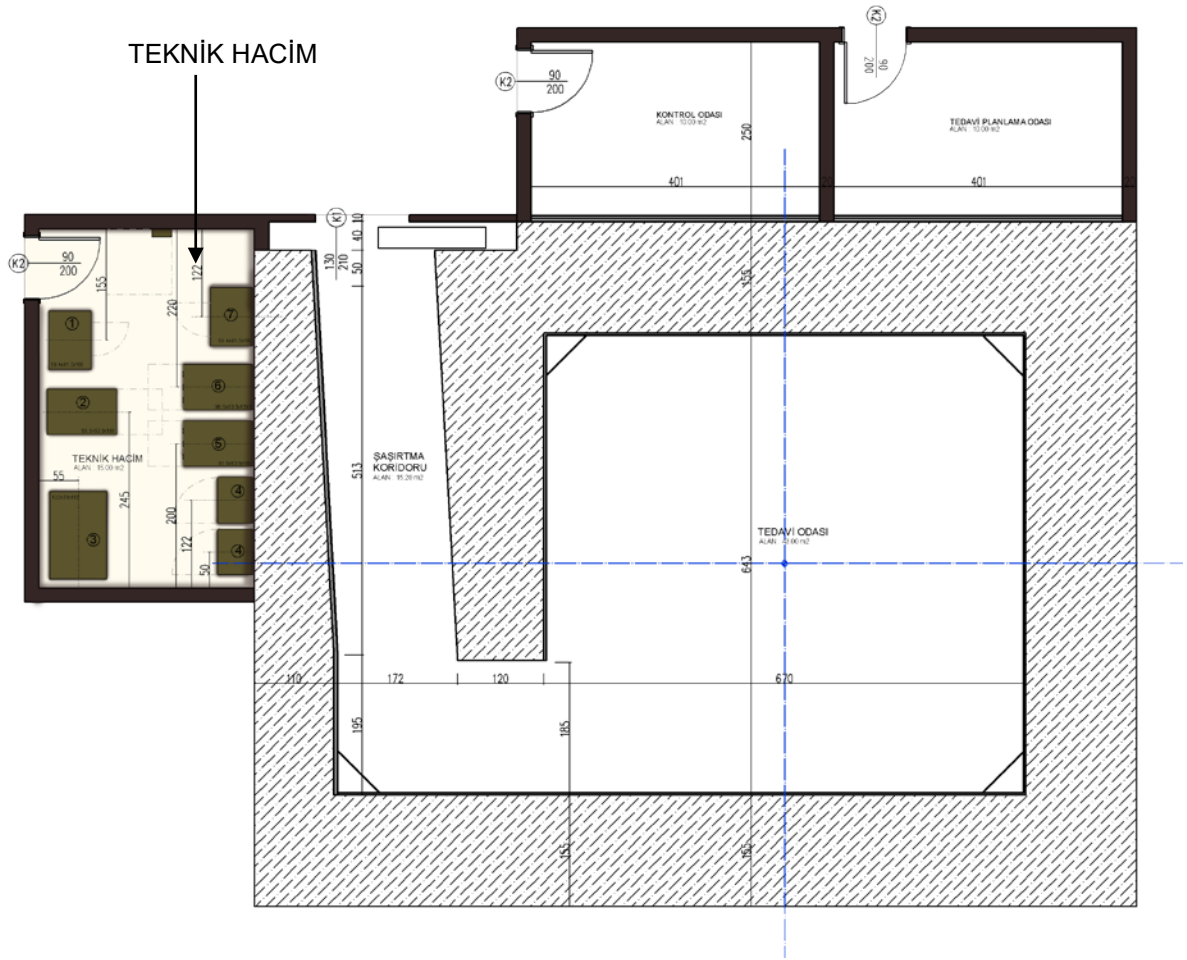
Teknik hacimde, CyberKnife sistemini destekleyici kontrol birimi, bilgisayarlar, güç dağıtım birimi ve mekanik üniteler bulunmaktadır. Tüm birimler yukarıda bahsedilen birimler zemine oturmaktadır.

*Plan 4.7'*de teknik hacim odasının minimum ölçüleri ve içerisinde konumlanması gereken birimler gösterilmiştir. CyberKnife ekipmanlarının ihtiyaç duyduğu alan sonucunda teknik hacim odası için asgari alan özellikleri altta belirtilen hususlar doğrultusunda şekillenmektedir;

- Teknik hacim örnekte belirtilen türde ise minimum 15 m² olmalıdır.
- Radyasyona maruz kalan perde duvarların minimum kalınlığı 155 cm olmalıdır.

- Oda ölçüleri minimum 500x300 cm olmalıdır.
- Bitmiş tavan yüksekliği minimum 270 cm olmalıdır.
- Minimum betonarme tavan döşemesi yüksekliği 340 cm'dir.
- Teknik hacim kapı (K2) 90 cm genişliğinde, 200 cm yüksekliğinde olmalıdır.
- Oda uygun şartlarda havalandırılmalıdır.

(Bknz. 3.2.3 CyberKnife Teknik Hacim Havalandırma Özellikleri)



Plan 4.7 CyberKnife Ünitesi Teknik Hacim Oda Planı (Ölçeksiz)

No.	Açıklama	Boyut (ExBxY) (cm)
1	RoboCouch kontrol sistemi	58,4x81,3x155
2	Mekanik raf	96,5x63,5x180
3	Modülatör	122x79x112

4	X-ray Jeneratörleri	60,9x38,1x68,5
5	Bilgisayar rafı	96,5x63,5x180
6	Güç dağılım ünitesi	96,5x63,5x129,5
7	Tedavi manipölatör kontrol birimi	58,4x81,3x155

4.8. Teknik Hacim Ek Üniteleri

4.8.1. Ana Güç Bağlantı Kesme Şalteri

Ana güç bağlantı kesme şalteri önünde müdahale amaçlı 0.82 m² (0.91x0.91 m) alana ihtiyaç duyulmaktadır (Plan 4.7). Bu şalter teknik hacimde kapıya yakın bir alanla bulunması gerekmektedir (Plan 4.7).

4.8.2. Bağlantı Kutusu

Bağlantı kutusu genellikle standart, basit duvar tipi 30x30 cm ebadındadır. Bu kutunun içerisinde 18 ile 20 adet giriş bulunması gerekmektedir. Bağlantı kutusunun bir yüzeyindeki girişlerden EPO, EMO, Anahtarlar, kapı anahtarları ve X-ışını uyarı lambası bağlantı kabloları bulunmaktadır. Kutunun diğer yüzeyinden CyberKnife sistemine giden acil durum kabloları bulunmaktadır.

4.8.3. Kablo Yönetim Sistemi

J-kancalarının en alçak noktası 190 cm veya bitmiş zeminin 30 cm üstünde olacak şekilde odanın çevresini dolaştırmak kaydıyla üç katmanlı bir J-kanca tipi kablo sistemi kullanılmalıdır.

4.8.4. Ağ Kabloları

İki adet CAT-6 network kablosuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan biri, CyberKnife LAN ve hastane LAN arasındaki iletişimi sağlamak için CyberKnife yönlendirici / güvenlik duvarına bağlanmak içindir. Diğer network kablosu ise yönetim birimi için kullanılmaktadır.

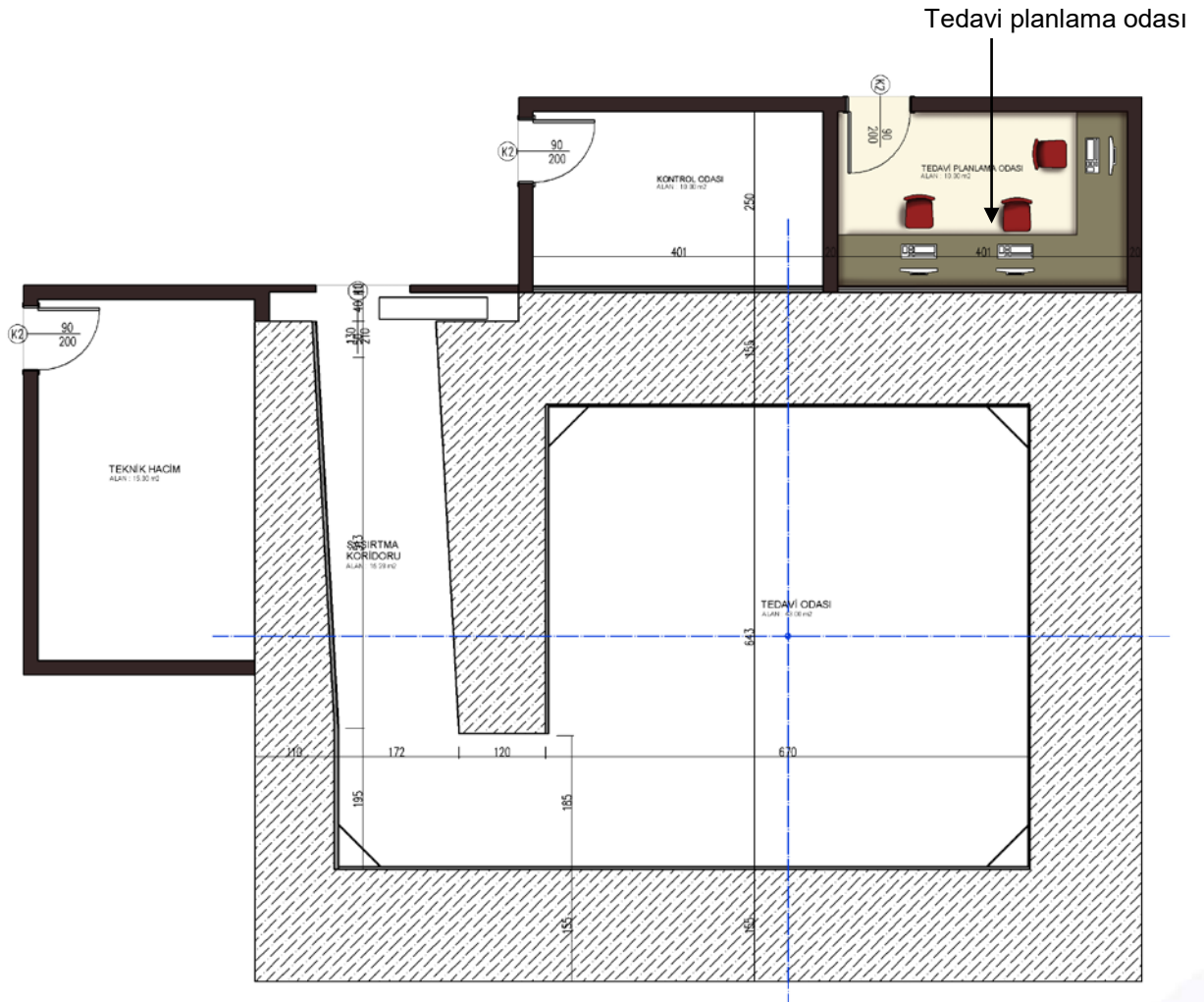
4.9. Tedavi Planlama Odası

Tedavi Planlama Odası, hastane planına göre tedavi odasına yakın istenilen bir alana yapılandırılabilir. Plan 4.8'de örnek olarak tedavi odasının bulunacağı alan belirtilmiştir. Tedavi planlama odası, sistem kurulumundan önce ön hazırlık

ekipmanlarının oda içersine konumlanması önemlidir. Tedavi Planlama Odası tipik olarak aşağıdaki ekipmanları içermektedir.

4.9.1. MultiPlan Tedavi Planlama Sistemi

Tedavi odası içersinde konumlanacak olan MultiPlan, tedavi planlama sistemi masası üzerine yerleştirilmelidir. CyberKnife tedavi ünitesi ile birlikte gelen bu planlama sistemi genellikle tedavi planlama odasında veya doktorun odasında konumlanmaktadır.



Plan 4.8 Tedavi Planlama Odası (Ölçeksiz)

KAYNAKÇA

- International Commission on Radiological Protection (ICRP103), The Netherlands, 2007; Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.
- Bethesda, Maryland; NCRP(1977), "Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100 MeV Particle Accelerator Facilities", NCRP Report No.51, National Council on Radiation Protection and Measurements.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; Vienna (1998); Design and Implementation of a Radiotherapy Programme: Clinical, Medical Physics, Radiation Protection and Safety Aspects, IAEA-TECDOC-1040.
- The American Institute of Architects Academy of Architecture; Washington, DC 2006; Guideline for Design and Construction of Health Care Facilities.
- 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.
- Chief Executive Officer of ARPANSA, (August 2008); Radiation Protection in Diagnostic and Interventional Radiology; Radiation Protection Series Publication No. 14.1.
- U.S. department of Veterans Affairs; April 2016 (rev 2/17); Surgical and Endovascular Services Design Guide.
- Radiological Protection Institute of Ireland (June 2009); The Design of Diagnostic Medical Facilities where Ionising Radiation is used.

- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY; Vienna (1998); Design and Implementation of a Radiotherapy Programme: Clinical, Medical Physics, Radiation Protection and Safety Aspects, IAEA-TECDOC-1040.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Geneva (1997); Guidelines for Radiotherapy Treatment Rooms, Publication IEC 61859.
- 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.
- <http://www.arconsupplies.co.uk>
- <http://cyberknife.bonsait.fi>



T.C. Sağlık Bakanlığı

**Kamu Hastaneleri
Genel Müdürlüğü**