



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
RADYASYON ONKOLOJİSİ
ANABİLİM DALI



**METASTATİK VERTEBRA RADYOTERAPİSİNDE 3B-KRT,
YART VE VMAT PLANLAMA YÖNTEMLERİNİN DOZİMETRİK
KARŞILAŞTIRILMASI**

SONAY GEDİK

(YÜKSEK LİSANS)

BURSA-2017



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
RADYASYON ONKOLOJİSİ
ANABİLİM DALI



**METASTATİK VERTEBRA RADYOTERAPİSİNDE 3B-KRT,
YART VE VMAT PLANLAMA YÖNTEMLERİNİN
DOZİMETRİK KARŞILAŞTIRILMASI**

SONAY GEDİK
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

DANIŞMAN:
Doç.Dr. Sibel KAHRAMAN ÇETİNTAŞ

BURSA-2017


T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK BEYANI

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum

“Metastatik Vertebra Radyoterapisinde 3B-KRT, YART ve VMAT Planlama Yöntemlerinin Dozimetrik Karşılaştırılması” adlı çalışmanın, proje safhasından sonuçlanmasına kadar geçen bütün süreçlerde bilimsel etik kurallarına uygun bir şekilde hazırlandığını ve yararlandığım eserlerin kaynaklar bölümünde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir ve beyan ederim.

Adı Soyadı
Tarih ve İmza

Sonay Gedik
04.07.2017


SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Uludağ Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Sonay Gedik tarafından hazırlanan ‘Metastatik Vertebra Radyoterapisinde 3B-KRT, YART ve VMAT Planlama Yöntemlerinin Dozimetrik Karşılaştırılması’’ konulu Yüksek Lisans/Doktora tezi 11/07/2017 günü, 13:00-14:00 saatleri arasında yapılan tez savunma sınavında jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı

Tez Danışmanı Doç. Dr. Sibel KAHRAMAN ÇETİNTAŞ

Üye Prof.Dr. A.Filiz BAYTAŞ

Üye Doç.Dr. Candan DEMİRÖZ ABAKAY

Üye

Üye

İmza



Bu tez Enstitü Yönetim Kurulu'nun

.....tarih vesayılı

toplantısında alınan numaralı kararı ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Gülşah ÇEÇENER

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Dış kapak

İç Kapak

ETİK BEYAN

KABUL ONAY

ÖZET.....	VII
İNGİLİZCE ÖZET	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Spin (Omurga) Anatomisi	4
2.2. Vertebra Metastazlarına Tedavi Yaklaşımları	5
2.3. Radyoterapinin Önemi ve Yan Etkileri	5
2.3.1. Radyoterapinin Önemi	5
2.3.2. Radyoterapinin Yan Etkileri.....	5
2.4. Radyasyon Dedeksiyonu ve Dozimetreler.....	7
2.5. Lineer Hızlandırıcılar	8
2.5.1. Lineer Hızlandırıcı Çalışma Prensibi ve Bazı Önemli Donanımları.....	8
2.5.1.1. Lineer Hızlandırıcı Çalışma Prensibi.....	8
2.5.1.2. Çok Yapraklı Kolimatör	8
2.5.1.3. Lifler Arası Geçirgenlik ve Lif Geçirgenliği.....	9
2.5.1.4. Tongue ve Groove (Dil ve Yuva) Etkisi.....	9
2.6. İleri (Forward) Planlama ve Ters (İnverse) Planlama	10
2.6.1. Üç Boyutlu Konformal Radyoterapi	10
2.6.2. Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART).....	11
2.6.3. Volumetrik Ayarlı Ark Terapi.....	11
2.7. Foton Doz Hesaplama Yöntemleri (Planlama Algoritmaları)	12
2.7.1. Düzeltme/Ölçüm Tabanlı Algoritmalar:.....	12
2.7.2. Model Tabanlı Algoritmalar:.....	12
2.7.3. Monte Carlo Tabanlı Algoritmalar:.....	13
2.8. Konformalite ve Homojenite İndeksleri	13
2.9. Doz Sınırlamaları	14
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER.....	15
3.1. Gereçler	15
3.1.1. SIEMENS Somatom Emotion Duo BT ve Simülatör Ünitesi	15
3.1.2. Siemens Artiste Lineer Hızlandırıcı Cihazı	16
3.1.3. Elekta Synergy Lineer Hızlandırıcı Cihazı.....	16
3.1.4. Alderson Randofantom.....	16
3.2. Yöntem	17
3.2.1. Randofantomun BT Görüntüsü ile 3B-KRT Tedavi Planının Yapılması	18
3.2.2. Randofantomun BT Görüntüsü ile YART Tedavi Planı Yapılması	20
3.2.3. Randofantomun BT Görüntüsü ile VMAT Tedavi Planı Yapılması	22
4. BULGULAR	27
4.1. Veriler.....	28
4.1.1. Servikal Vertebra Planlarında Elde Edilen Veriler.....	28
4.1.2. Lomber Vertebra Planlarında Elde Edilen Veriler	36
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	48
5.1. Servikal Vertebra İçin Hesaplanan Tedavi Planlarının Karşılaştırılması ..	48
5.2. Lomber Vertebra Tedavi Planlarının Karşılaştırılması.....	53

6. KAYNAKLAR	58
7. KISALTMALAR	60



ÖZET

Vertebra metastazları, kanser hastalarında sık karşılaşılan ve sağ kalımı etkileyen önemli bir durumdur. Tedavi yöntemleri cerrahi, radyoterapi ya da cerrahi sonrası radyoterapidir.

Vertebra metastaz radyoterapisinde, Üç Boyutlu Konformal Radyoterapi (3B-KRT)'nin kullanılması yaygındır ve Yoğunluk Ayarlı Ark Terapi (YART) ve Volümetrik Ark Terapi (VMAT) yöntemleri de kullanılabilir.

Bu çalışmanın amacı, palyatif vertebra radyoterapisinde farklı tedavi planlama yöntemlerinin kullanılmasının sebep olacağı avantaj ve dezavantajları ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilimdalı'nda bulunan rando fantom ile çalışılmıştır. Rando fantomun bilgisayarlı tomografi görüntüsü üzerinde, servikal ve lomber vertebralar ayrı ayrı ışınlanacak şekilde; servikal vertebra için bir 3B-KRT, iki VMAT ve üç YART tekniği ile, lomber vertebra için ise üç farklı 3B-KRT ve iki farklı VMAT ve YART tekniği ile tedavi planları hesaplanmıştır. 3B-KRT tekniği ile tedavi planı hesaplamak için Anabilimdalı'nda bulunan CMS XiO Tedavi Sistemi, YART ve VMAT tekniği için ise Monaco Tedavi Planlama Sistemi kullanılmıştır.

Çalışmanın tamamlanmasıyla, hazırlanan tedavi planları kritik organ dozları, homojenite ve konformite açısından karşılaştırılmıştır.

Kritik organ dozları; servikal vertebra ışınlanmasında tiroid, oral kavite, larenks, karotis, özefagus ve lomber vertebra ışınlanmasında böbrek açısından çok büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada elde edilen verilere göre rando fantomda yer alan kritik organların tamamı QUANTEC'te belirtilen doz limitlerinin altındadır ve kritik organ dozlarının en iyi korunduğu planlar, kullanılan tekniklere göre değişiklik göstermektedir. Servikal vertebra radyoterapisinde homojenite ve konformite indeks değerleri bakımından VMAT ve YART tekniği ile hesaplanan planlamalar 3B-KRT tekniği ile hesaplanana göre üstünlük göstermektedir. Lomber vertebra için hesaplanan tedavi planlamalarında ise homojenite indeks değeri VMAT ve YART tedavi planlarında üstünken, konformite indeks değeri bakımından YART diğer tekniklere göre üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Radyoterapi, Vertebra Metastazları, İkincil Kanserler, 3B-KRT, VMAT, YART

İNGİLİZCE ÖZET

Dosimetric comparison of 3DRT, IMRT and VMAT plans in metastatic vertebra radiotherapy

Vertebra metastases can be seen during the prognosis of cancer patients. Treatment ways of the metastasis are radiotherapy, chemotherapy and surgery. Three dimensional conformal therapy (3D-CRT) is widely used in the treatment of vertebra metastases. Also, Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) and Volumetric Arc Therapy (VMAT) are used too.

The aim of this study is to examine the advantages and disadvantages of the different radiotherapy techniques. In the aspect of this goal, it is studied with a randophantom in Uludag University Medicine Faculty, Radiation Oncology Department. By using a computerized tomography image of the phantom, one 3D-CRT plan, two VMAT and three IMRT plans for servical vertebra; three different 3D-CRT plans, two VMAT and two IMRT plans for lomber vertebra are calculated. To calculate 3D-CRT plans, CMS XiO Treatment System is used and to calculate VMAT and IMRT plans Monaco Treatment Planning System is used in the department.

The study concludes with the dosimetric comparison of the treatment plans in the spect of critical organ doses, homogeneity and conformity index. Especially thyroid doses and kidney doses are important for this work.

As a result of this study, doses of all the critical organs in randophantom are suitable for QUANTEC Dose Limit Report and critical organ doses depend on the techniques which used in radiotherapy. According to homogeneity and conformity indices, VMAT and IMRT plans are better than one in 3D-CRT plans in servical vertebra radiotherapy plans. According to the results of lomber vertebra radiotherapy plans, homogeneity inx is better in VMAT and IMRT plans. Also for lomber vertebra treatment plans, IMRT technique is better than other techniques by conformity index.

Key words: Radiotherapy, Vertebra Metastases, Secondary Cancer, 3D-CRT, VMAT,IMRT

1. GİRİŞ

Vertebra metastazları, kanser hastalarının izleminde sık karşılaşılan bir durumdur (Fourney ve ark., 2004). Son zamanlarda, kanser tanı ve tedavi oranı artmaktadır. Kanser tedavisinde erken tanı ile hastaların sağ kalımları artmıştır. İzlem süresi içinde kemik metastazı izlenme oranları da artmaktadır. Olgular lokal ileri evre ya da metastatik olgular bile modern kemoterapi ve radyoterapi yöntemleri ile uzun süre yaşayabilmektedirler. Torakal ve lomber solid kemik metastazlı ya da oligometastazlı olgularda kombine tedavilerle tam kür sağlanabilmektedir. Bu bağlamda metastatik hastalarda da sağ kalım artmaktadır. Radyoterapide amaç hem metastazın semptomlarını azaltmak ya da ortadan kaldırmak hem de kür elde etmektir. Radyasyonun küratif amaçla kullanıldığı kemik metastazlarında CTV'nin verilen tüm dozu alması ile tümörün yok edilmesi amaçlanmaktadır. Ek olarak da radyoterapi alanında olan organların korunması amaçlanmaktadır. Yine lokal ileri ve metastatik olgularda izlem süresinde ikinci ışınlama, aynı yerde metastaz tekrar etmesi ya da aynı yerde ikinci primer tümör gelişimi sebebi ile olabilmektedir.

Kanser hastalarının yaklaşık olarak üçte birinde kemik metastazı gelişir ve bu metastazların yüzde yetmiş vertebral metastazıdır (Wong ve ark., 1990). Kolorektal kanserlerin yüzde 10'unda kemik metastazı görülür (Lee ve ark., 2013). Walther 'in 1948 yılında kanser sebebiyle hayatını kaybeden 3500 hasta otopsisinde yaptığı bir çalışmaya göre tüm prostat kanserlerinin yüzde altmışaltısında, meme kanseri hastalarının yüzde kırkdördünde, tiroid kanseri hastaların yüzde otuzsekizinde kemik metastazı geliştiği tespit edilmiştir (Walther ve ark., 1948). Diğer araştırmalarda belirtildiğine göre ise metastazlarda en çok tutulan kemikler %90 oranında aksiyal iskelet (spinal kolon, pelvis, kafatası), femur ve humerustur. Genellikle çok merkezli tutulum söz konusudur (Devita ve ark., 2001). Çoğu kanser vakalarında kemik metastazı meydana gelme olasılığı olsa da, meme, akciğer, prostat, böbrek ve tiroid kanserleri kemik metastazlarına en sık yol açan kanserlerdir ve bu grup metastazların %90'ını oluştururlar (Çetintaş ve ark., 2005). Tüm kanser hastalarının yüzde 70'inin 65 yaş ve üzeri yaşlarda kaybedildiği tahmin edilmektedir (Yancik ve ark., 2000).

Kemik metastazı olan hastaların üçte ikisinden fazlasını 40-60 yaş aralığındaki sınıf oluşturur. Kemik metastazları en çok kadınlarda meme kanserlerinde, erkeklerde prostat ve akciğer kanserlerinde görülür (Engin ve ark., 2005). Vertebra, akciğer ve karaciğerden sonra en sık metastaz meydana gelen yapıdır (Lubgan ve ark., 2015). Vertebra metastazları kanser hastalarında önemli bir morbidite ve mortalite kaynağıdır (Fourney ve ark., 2004). Vertebrada korpus tutulumu öncelikli olup, lomber seviye, torakal, servikal ve sakral bölgelere göre daha sık tutulur (Gong ve ark., 2008).

Vertebra metastazlı hastaların tedavisinde amaç ağrı kontrolü, nörolojik fonksiyonların korunması veya tedavisi, aynı zamanda hastanın ayakta kalmasını sağlamaktır (Lubgan ve ark., 2015). Vertebra metastazlı hastaların tedavisinde, klinik veri, mevcut semptomların görülme süresi, tümör türü, radyosensitivite, tümör konumu, vertebra dışı yayılım, metastatik vertebra sayısı ve hastanın tıbbi durumu gibi faktörler göz önünde bulundurularak karar verilir (Lubgan ve ark., 2015). Cerrahi uygulanmasının en önemli nedeni epidural baskıyı azaltmak olmasına rağmen, aksiyel ya da fiziksel ağrı hasta morbiditesini olumsuz etkileyen önemli bir etkidir. Aksiyel ağrı hareketle artar, dinlenme halinde azalır (Fourney ve ark., 2004). Kanser yerleşiminde aksiyel ağrının en yaygın sebebi metastatik vertebra gövdesinin çökmesidir. Vertebra metastazlı hastaların tedavi yöntemleri medikal ilaç (kemoterapi-hormon-bifosfonat) tedavisi, cerrahi ve radyoterapi veya sadece radyoterapidir. Cerrahi daha agresif ve radyasyona dirençli tümörlerde hastanın tahmin edilen sağkalımı uzun ve küratif amaçla önerilir. Fakat spinal dayanıksızlık ve semptomlara da sebep olabilmektedir. Diğer durumlarda vertebra metastazlı hastaların tedavisinde radyoterapi tercih edilmektedir.

Vertebra metastazları, uzun sağ kalım beklenen kemik metastazlı hastalarda vertebra boyunca tüm kısımlarda meydana gelebilir. Tiroidin radyasyondan en çok etkilenen organların başında gelmesi, düşük dozlarda hipotiroidi veya tiroid fonksiyon bozukluğu görülmesi ve bunların yaygın olarak hastanın yaşam kalitesini etkilemesi ve cerrahinin de çoğunlukla servikal bölgede uygulanamamasından dolayı servikal vertebra radyoterapisi hasta sağ kalımı açısından önemlidir.

Radyoterapide sağlıklı doku ve organların aldıkları dozlar radyoterapi sırasında akut etkilerin tolere edilebilirliği ve radyoterapinin devamlılığı açısından önemlidir. Çünkü radyoterapi alanı içindeki organlar, özellikle özefagus, larenks ve böbrekler erken dönemde etkilenir. Oluşan semptomlar hastanın yaşam kalitesini ve beslenmesini bozar. Metastazlı hastalarda fraksiyon dozunun yüksek olması sebebi ile (2,5-3 Gy) akut yan etkiler daha erken belirmekte ve radyoterapinin devamını zorlaştırmaktadır. Literatüre bakıldığında, dünya çapında uygulanan metastatik vertebra radyoterapisinde 30 Gy 10 fraksiyon, 20 Gy 5 fraksiyon ve 8 Gy 1 fraksiyon şeklinde uygulanmaktadır (Gong ve ark., 2008). Vertebra metastazı radyoterapisinde 3B-KRT'nin kullanılması oldukça yaygındır. Fakat geliştirilen YART ve VMAT yöntemleri de kullanılabilir (Lee ve ark., 2013) (Rehman ve ark., 2014).

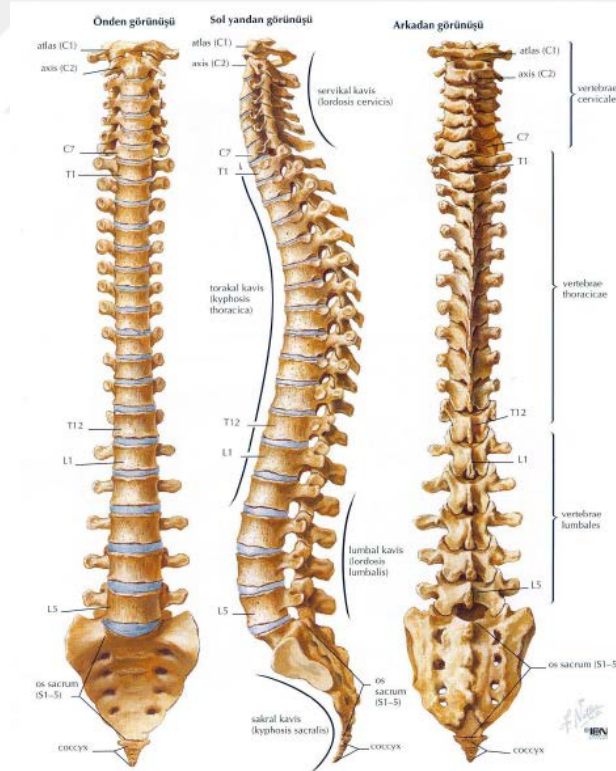
Bu çalışmanın amacı, vertebra metastazlı hastalarda 3B-KRT, YART ve VMAT tedavi yöntemlerinin kullanılmasının, dozimetrik olarak sebep olacağı avantaj ve dezavantajları tespit etmektir.

Bu çalışmanın amacı, servikal vertebra radyoterapisinde 3B-KRT (Üç Boyutlu Konformal Radyoterapi), VMAT (Volumetrik Ark Terapi) ve YART (Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi) tedavi yöntemlerinden hangisinin PTV (Planning Target Volume= Planlanan Hedef Hacim)'de doz homojenitesi, maksimum plan dozu, fraksiyon başına düşen Monitor Unit (MU) ve riskli organlar açısından en uygun radyoterapi tekniği olduğunu tespit etmektir.

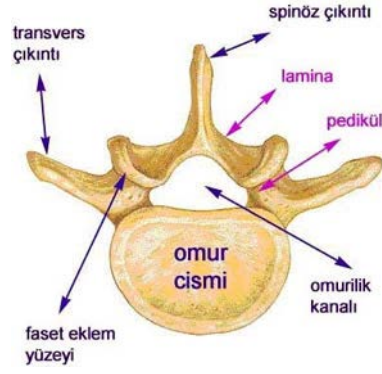
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Spin (Omurga) Anatomisi

Columna Vertebralis, 33-34 adet omurdan oluşmuş kemik yapıdır. 70 cm uzunluğunda olan omurganın içinde boyu 43-45 cm arasında değişen omurilik bulunur. Sırt boyunca uzanan omurga, baş ve vücutta yer alan iç organların ağırlığını taşır ve bu organlara destek sağlar. Omuriliğe güvenli bir kılıf olma vazifesini görür. Yukarıdan başlamak üzere ilk 24 omur, birbirine disk ve kırıkdağların bulunduğu eklemler vasıtasıyla bağlıdırlar. Bu omurlar; boyun omuru (servikal vertebra, 7 adet), sırt omuru (torakal vertebra, 12 adet) ve bel omuru (lomber vertebra, 5 adet) olmak üzere üç grupta sınıflanırlar. Diğer 9-10 adet omurun ilk beşi, kuyruk sokumu kemiğini (sakrum) ve en altta yer alan 4-5 adet omur ise kuyruk kemiğini (koksiks) oluşturur (Şekil 1 ve 2) (Netter Anatomi Atlası, 2010).



Şekil 1: Columna vertebralisin önden, sol yandan ve arkadan görünümü (Netter Anatomi Atlası, 2010)



Şekil 2: Vertebra transvers kesiti (Netter Anatomi Atlası, 2010)

2.2. Vertebra Metastazlarına Tedavi Yaklaşımları

Kemik metastazları, eksternal radyoterapi, radyonüklidler, cerrahi, kemoterapi ve bifosfanatlardan biri veya birkaçının birlikte uygulanması ile tedavi edilebilir (Dinçbaş ve ark., 2007).

2.3. Radyoterapinin Önemi ve Yan Etkileri

2.3.1. Radyoterapinin Önemi

Radyoterapi, semptomatik vertebra metastazında, ağrı palyasyonunda, nörolojik semptomlardan korunma veya kontrolünde, özellikle hassas hastalarda patolojik kırıklardan korunmada önemli bir rol oynar (Çetingöz ve ark., 2012). Radyasyon ile kanseri kontrol ederken bir yandan da sağlam dokuların korunmasına dikkat edilmelidir (Hall ve ark., 2003).

Son yıllarda görüntü kılavuzluğunda yapılan radyoterapi, planlanan dozun spinal tümöre verilmesi ve spinal kord ya da etraf organların dozunun düşük tutulmasına olanak tanımaktadır (Lee ve ark., 2013).

2.3.2. Radyoterapinin Yan Etkileri

Radyoterapinin amacı, sağlıklı dokuları maksimum düzeyde koruyarak tümör hücrelerini yok etmektir. Fakat bazı durumlarda, tümör komşuluğundaki sağlıklı dokular da yüksek miktarda radyasyona maruz kalır.

Radyoterapi uygulamalarında, birincil (terapötik) ve ikincil (saçılan ve sızıntı) radyasyondan dolayı ikincil malign neoplazmalar meydana gelir. Bu oluşumlar radyasyonun yan etkileridir. Yan etkiler radyoterapi alanında etkilenen organ ve dokularda izlenir.

Radyasyonun yan etkileri ortaya çıkış süresine göre akut yan etkiler ve geç yan etkiler olmak üzere ikiye ayrılır.

- Radyoterapinin akut yan etkisi: Radyoterapi sırasında veya hemen sonrasında ortaya çıkan yan etkilerdir. Radyoterapiyi takiben ilk birkaç hafta veya ay içinde görülen yan etkilere ise subakut yan etkiler denir.

Erken yan etkiler bölünme hızı yüksek olan hücre ve dokularda (kemikiliği, cilt ve benzeri) daha sık görülür. Kısa süre içerisinde (birkaç gün) kök hücrelerin çoğalması ile düzelmeye meydana gelir (Dinçbaş ve ark., 2007). En sık rastlanan akut yan etkiler kan değerlerinde düşüş, ciltte eritem, deskuamasyon, hiperpigmentasyon, halsizlik, bulantı, kusma, özofajit ve radyasyon pnömönisi ve benzeri etkilerdir (Dinçbaş ve ark., 2007).

- Radyoterapinin geç yan etkisi: Radyoterapi sonrası en az birkaç ay (90 gün) sonra ortaya çıkan ve ömür boyu görülebilen yan etkilerdir. İkincil kanserler geç dönemde görülebilen yan etkilerdir.

Tablo1’de gösterildiği gibi, kanser ve 0,1-2,5 Sv arasında doza maruz kalan sağlıklı doku ve organ arasında lineer bir bağlantı vardır. Tabloda, toplamda 5 değeri üzerinden olasılık tanımlanmıştır (Hall ve ark., 2006).

Tablo 1. Organ başına ikincil kanser meydana gelme olasılığı (*ikincil kanser meydana gelme olasılığı bakımından birincil sıradaki organlar) (Hall ve ark., 2006).

Organ	Olasılık(%Sv)	Organ	Olasılık(%Sv)
Mide	1,10*	Karaciğer	0,15
Kolon	0,85*	Over	0,10
Akciğerler	0,85*	Tiroid	0,08
Kemik İliği	0,50	Kemik yüzeyi	0,05
Özefagus	0,30	Cilt	0,02
Mesane	0,30	Diğer	0,50
Meme	0,20	Toplam	5,00

İlerleyen yıllarda Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan kanser merkezlerinde hastaların %10’unda ikincil kanser gelişmesi beklenmektedir. Bunun sebebi yaşam tarzı, genetik yatkınlık, radyoterapi veya kemoterapi görmüş olmaktır (Hall ve ark., 2006).

Radyoterapide radyasyona bağlı tümörlerde kür sağlanan genç hastalarda büyük önem arz etmektedir. Tedaviden 10 yıl sonra, ikincil kanser oluşma riski 70’te 1’dir. Radyasyona bağlı tümörlerin çoğu rektum, mesane, kolon, meme ve akciğerde meydana gelir. Bu tümörler tedavi alanı içinde ya da yakın sınırındadır. Ayrıca sarkomlar da en sık görülen solid ikincil kanserlerdir (Hall ve ark., 2006).

Birincil kanserlerin radyoterapisinde tümör tedavi edilirken, tümörün yakın komşuluğundaki bölgeler yerine tümörün uzağındaki organ dozları üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır. Yalnızca uzak doku veya organ dozlarının araştırılmasının sebebi, tümör çevresinin de tedavi edilmesi gerektiğidir. Fakat Rehman ve arkadaşlarının belirttiğine göre çoğu ikincil kanserleri tümör komşuluğundaki yapılarda meydana gelmektedir (Rehman ve ark., 2014). Yapılan bir diğer çalışmada, ikincil tümörlerin %60 ve %90'ının tedavi alanından 5 cm uzaklıkta meydana geldiğini gösterilmiştir (Dorr ve ark., 2002).

Boice'in yaptığı bir çalışmaya göre ise birincil kanser tedavi alanının yakınında ikincil tümör gelişme olasılığı yüzde 43'tür (Boice, 1985).

Hall ve arkadaşlarının çalışmasına göre ise 1 Gy'lik doz ile kranyal radyoterapide ikincil kanser meydana gelme olasılığı 35 yaş ve altı için %5, 35-45 yaş arası için %3'ün altında, ileriki yaşlarda ise daha da azdır (Hall, 2006).

Riskli organ dozları ikincil kanserler açısından önemlidir. Bhatti ve diğerlerinin yaptığı bir çalışmaya göre çocukluk çağı kanserlerinde tiroid dozu 20 Gy'e kadar tiroid kanseri gelişme olasılığı ile doğru orantılıdır ve 22 Gy' de en yüksek değere ulaşır (Bhatti ve ark., 2010).

2.4. Radyasyon Dedeksiyonu ve Dozimetreler

Farklı radyasyon çeşitlerinin madde ile etkileşimi, kaynak tarafından yayılan ve soğurulan radyasyon miktarının ölçülmesi için kullanılan mekanizmaların temelini oluşturur. Dedektörler bu mekanizmaların bir kısmını oluşturur.

Tüm vücut veya ekstremiteler radyasyon dozunun ölçülmesi amacı ile özel olarak tasarlanmış, kullanımı için özel prosedürler bulunan, her türlü aktif veya pasif ölçüm araçlarına dozimetre denir.

Radyasyona maruz kalınması söz konusu olduğunda, dozimetrelere bu maruziyetin miktarını belirlemek amacıyla radyasyon güvenliği ve benzeri sebeplerden ihtiyaç duyulur.

Dozimetreler kendi aralarında, doğrudan okunabilen yani aktif dozimetrelere ve okunması için bir dizi işleme tabi tutulması gereken yani pasif dozimetrelere olarak iki gruba ayrılır.

Aktif dozimetrelere elektronik ve kalem dozimetrelere, pasif dozimetrelere ise film dozimetre, termoluminesans dozimetre (TLD), optik olarak simüle edilmiş

dozimetre (OSL), cam dozimetre ve kimyasal dozimetrelerdir (Coşkun M ve Coşkun M,2003).

2.5. Lineer Hızlandırıcılar

Havası alınmış bir cam tüp içerisinde, filamandan çıkan elektronların yüksek gerilim altında hızlandırılması ve ardından tungsten hedefe çarptırılması ile elde edilir. Elde edilen X ışınlarının enerjisini arttırmak için, uygulanan gerilim artırılır. Bu şekilde elde edilen yüksek enerjili X ışınlarının enerjisi maksimum 1 MV'e kadar çıkabilmektedir. 1 MV ve üzeri enerjilerde X ışını elde edilirken, yükseltile voltaj miktarından dolayı yalıtım sorunu ile karşı karşıya kalınır. Daha yüksek enerjilerde radyasyon elde edebilmek için geliştirilen yöntemlerin ardından lineer hızlandırıcılar ile 25 MeV enerjiye sahip elektronlar üretilebilmektedir.

2.5.1. Lineer Hızlandırıcı Çalışma Prensibi ve Bazı Önemli Donanımları

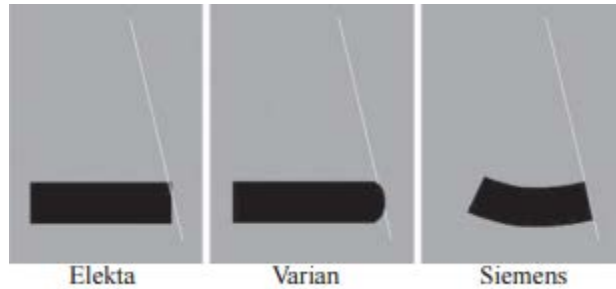
2.5.1.1. Lineer Hızlandırıcı Çalışma Prensibi

Lineer hızlandırıcı çalışma prensibi hızlandırıcı tüp içerisinde elektromanyetik dalganın rezonans çukurlarda oluşturduğu elektrik alanların etkisiyle elektronların sürekli hızlandırılmasına dayanır.

Lineer hızlandırıcılar güç kaynağı, modülatör, elektron tabancası, RF güç kaynağı, magnetron, klistron, hızlandırıcı tüp ve kolimatör sistemlerinin bir araya gelerek oluşturduğu cihazlardır.

2.5.1.2. Çok Yapraklı Kolimatör

Tedavi alanını oluşturmak için düzenli veya düzensiz birçok liften (yapraktan) oluşan sistemlerdir (Şekil 3) (Çakır ve Bilge, 2012).



Şekil 3: Elekta,Varian ve Siemens hızlandırıcılarına ait MLC tasarımları (Çakır ve Bilge, 2012).

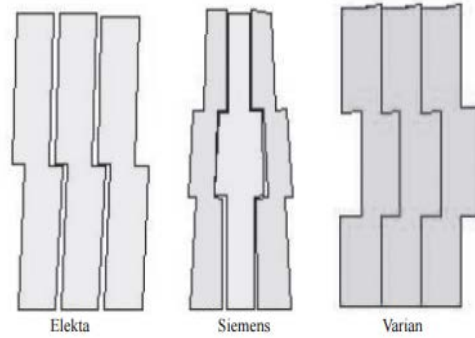
2.5.1.3. Lifler Arası Geçirgenlik ve Lif Geçirgenliği

Sızıntı, lifler arası geçirgenlik ve lif geçirgenliği olmak üzere iki bileşenden oluşur.

Sürtünmeyi önlemek amacıyla, lifler arası 0,1 mm boşluk olmalıdır. Bu boşluk yaklaşık olarak %4'ün altında olması gereken sızıntıya neden olur. Lifler arası geçirgenlik, MLC'ler ile etkileşime girmeden direkt olarak tedavi sahasına ulaşması söz konusu olan radyasyon iken; lif geçirgenliği, MLC yaprakları ile etkileşime girerek bir miktar zayıfladıktan sonra arda kalan radyasyondur. İstenmeyen bu radyasyon miktarının minimum değerde tutulabilmesi için tungsten gibi atom numarası yüksek malzemeler kullanılır. Alan genişliğine bağlı olarak, MLC sızıntısı hesaplanabilir (Arnfield ve ark., 2000).

2.5.1.4. Tongue ve Groove (Dil ve Yuva) Etkisi

MLC uçlarının tam odaklanmaması lifler arasında boşluk (gap) kalmasına neden olmaktadır. Bu boşluklar sızıntı gibi dezavantajlara neden olur. Komşu iki lif arasındaki sızıntıyı minimum seviyeye indirmek için üretici firmalar tongue ve groove tasarımlarına başvurmuşlardır. Bu dizayna göre MLC'lerin sol ve sağ köşelerinin radyasyon transmisyonları birbirinden farklıdır (Şekil 4).



Şekil 4: Elekta, Siemens ve Varian cihazları MLC'lerine arasındaki ait tongue & groove dizaynları (Çakır ve Bilge, 2012)

2.6. İleri (Forward) Planlama ve Ters (İnverse) Planlama

Işın parametrelerinin (açı, ağırlık vb.) uzman doktor ve uzman fizikçi tarafından tedavi planına başlangıçta belirlendiği planlama türüne ileri (forward) planlama denir. Parametreler belirlendikten sonra izodoz eğrileri incelenir ve yorumlanır. İstenilen doz dağılımını elde ederken lif hareketleri ve kama filtrelerden yardım alınabilir.

Hedef dozun ve kritik organ doz sınırlamalarının planlama başlangıcında yazılımda tanımlanması ve optimizasyon programının bu girdilere en uygun şekilde hesaplamasına tersten (invers) planlama denir.

Fiziksel optimizasyonda, tedavi hedefleri tümör hacminin ve riskli organların istenen doz dağılımı dolaylı olarak tanımlanır. Biyolojik optimizasyonda, problem formulasyonu tıbbi amaca daha yakındır. Biyolojik hedeflerin kullanılmasıyla, tümör kontrolü ve sağlıklı dokunun korunması biyolojik modellerle sağlanır.

Seri Organ: Organın hacminin bir kısmı radyasyona maruz kalınca tamamı zarar görüyorsa bu organ seri organ olarak adlandırılır. Örnek: Spinal kord, larenks, beyin sapı, kalp, optik sinir, kiazma, mesane, rektum vb.

Paralel Organ: Organın tüm hacmi belirli miktarda radyasyona maruz kaldığında organın tamamı zarar görüyorsa bu tür organa paralel organ denir. Örnek: Akciğer, karaciğer, böbrek vb.

2.6.1. Üç Boyutlu Konformal Radyoterapi

Üç boyutlu konformal radyoterapi, radyasyon ışınlarının tümör şekli ile eşleştirilmesiyle yapılan bir tekniktir. Daha önceki yıllarda, tedavi ışınları tümörün yükseklik ve genişliği ile eşleştirilirdi (2B-KRT). Bu şekilde uygulanan tedavide sağlıklı dokular çok fazla tedavi ışınlarının oluşturduğu alana dahil olmaktaydı. Görüntüleme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte tümörü daha iyi görüntülemek ve tedavi etmek daha hassas bir şekilde mümkün olmuştur.

Hassas şekilde yapılan tedavi, tümörü daha sıkı saran ve yok eden yüksek radyasyon dozlarının tedavide kullanımını daha mümkün kılar.

2.6.2. Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART)

Klasik eksternal radyoterapide tedavi radyasyon demetlerinin tedavi alanı boyunca tek yoğunlukta veya yoğunluğu değiştirmek için kompensatör veya wedge kullanımı yardımıyla gerçekleştirilir. Demet yoğunluğunun değiştirilmesi ile kompozit bir plan elde etme yoluyla uygulanan tedavi yöntemine yoğunluk ayarlı radyoterapi denir. Burada kompensatör ve wedge; ilerleyen dönemlerde de dinamik çok yapraklı kollimatörler modülasyon sistemleridir.

YART tekniği ile, belirlenen dozun module edilen alandan izosentıra gönderilmesi için sağlam dokular düşük de olsa doz alır. Aynı zamanda istenilen dozun sağlanabilmesi için, hızlandırıcı uzun süre çalışır halde bulunması gerekir. Yani tedavi nispeten daha uzun sürer (Hall ve ark., 2003).

YART tekniği, statik ve dinamik yoğunluk ayarlı radyoterapi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Statik yoğunluk ayarlı radyoterapide ışınlama esnasında gantri ve MLC'ler hareketsizdir. Herbir alt alan ışınlanır ve radyasyon kesilir. Ardından farklı bir alt alan oluşturulur ve tekrar radyasyon iletilir. Dinamik yoğunluk ayarlı radyoterapide ise ışınlama sırasında gantri hareketsizdir. Işınlama sırasına hareket eden MLC'ler aracılığıyla doz değişimi sağlanır. Radyasyon kesintiye uğramaksızın her bir alt alan ışınlanır (Khan, 2003)

2.6.3. Volumetrik Ayarlı Ark Terapi

YART uygulamalarının (step and shoot ve dynamic yöntemleri) tedavi ünite gantrisi de dönerek ışınlama yapan şeklidir. Tedavi birden fazla ark veya kısmi ark ile yapılabilir.

Tedavi kontrol sistemi, tedavi süresince her kontrol noktası için belirlenen parametreleri otomatik olarak düzenler. Algoritmalar vasıtasıyla MLC hareketleri kontrol edilerek pozisyon hataları engellenir. Kontrol noktaları arasında kalan bölgelere ark segmentleri adı verilir. Segmentasyon süresince, gantri açılı dilimi boyunca doz yoğunluk profilleri yeniden düzenlenir. MLC hareket yönü her bir açılı dilimi arasında değişir. Aynı açılı diliminde sol alan kenarındaki MLC'ler gantri dönerken sağ kenarına hareket eder (Uzun, 2014).

2.7. Foton Doz Hesaplama Yöntemleri (Planlama Algoritmaları)

Modern tedavi planlama sistemleri ile sanal ortamda, gerçeğe en yakın doz hesaplama algoritmaları oluşturulabilir. Bu algoritmalar; düzeltme/ölçüm tabanlı algoritmalar, model tabanlı ya da Monte Carlo tabanlı algoritmalarıdır (Evans MDC, 2006).

2.7.1. Düzeltme/Ölçüm Tabanlı Algoritmalar:

Bu algoritma türünde, referans koşullar sağlanarak düzenli tedavi alanları elde etmek amacıyla, su fantomunda yüzde derin doz, doz profilleri ve output faktörü ölçümleri yapılmalıdır. Tedavideki hasta dozu, belirli tedavi alanları için doku eksiklikleri, doku inhomojenitesi gibi düzeltmeler uygulanarak bulunur. Bu metot tamamıyla ölçümde elde edilen verilere dayalı olarak uygulanır ve zaman açısından ekonomik bir metottur. Su fantomunda elde edilen derin doz ölçümleri arasında interpolasyon yaparak dozu hesaplar ve çeşitli derinliklerde alınan doz profilleri kullanılır. Doku düzensizlikleri ve ikincil elektronlar doz hesaplamasında gözönünde bulundurulmazlar (Şahin ve ark., 2011).

2.7.2. Model Tabanlı Algoritmalar:

Model tabanlı algoritmalarda, Monte Carlo Simülasyonu ile hesaplanmış olan ışın karakteristikleri kullanılır. Meydana gelen etkileşimlerin birim elementi olan kerneller, Monte Carlo yöntemi ile hesaplanır. Doz kernel, birbirinden farklı seviyelerdeki enerji aktarımını ve primer foton doku etkileşimleri ile oluşan sudaki doz hesaplamasını tanımlar. Bu tür algoritmalar, heterojen ortamda absorbe edilen dozun daha gerçekçi tanımlamasını yapar. Hasta görüntü kesitlerindeki Hounsfield Unit (HU) ile inhomojen hasta anatomisi daha iyi örneklenir.

Hesaplanan primer foton enerji akısı, hasta enerji absorpsiyon ve geçen hesabı giriş (input) data olarak kullanılır (Şahin ve ark., 2011).

FFT (Fast Fourier Transform) konvolüsyon ve süperpozisyon algoritmaları olarak, hacimde depolanan doz iki kısımda hesaplanır.

İlk kısımda primer kerneller kullanılarak birincil elektron dozu ve daha sonrada saçılma kernelleri kullanılarak saçılan foton dozu hesaplanır.

FFT konvolüsyon, kernelleri kartezyen kordinatlarda gösterir ve her yerde değişmez. Süperpozisyon ise kernelleri küresel kordinatlarda gösterir ve lokal elektron yoğunluğu varyasyonları ile değişime izin verir. Böylece homojen olmayan yapılarda daha iyi sonuç elde edilir.

2.7.3. Monte Carlo Tabanlı Algoritmalar:

Monte Carlo Tabanlı algoritmaların çalışma prensibi, madde içindeki çok sayıda foton ve parçacığın etkileşim olasılık hesabı temeline dayanır. Foton ve elektronların etkileşim olasılıklarını belirlemek için temel fizik yasaları kullanılır. Algoritmalar arasında en doğru doz hesaplama yöntemi olarak bilinir (Şahin ve ark., 2011).

Simülasyona, bir foton veya elektron ile başlanır. Ortamda hareket edecek olan parçacık veya fotonun hareket mesafesi belirlenir. Yani etkileşim koordinatları yazılıma girilir. Meydana gelme olasılığı varolan etkileşimlerin türleri yazılır. Oluşacak parçacık veya fotonun enerjisi ve yönü belirlenir. Bu adımların tamamı parçacık veya fotonun enerjisinin alt limitine ininceye kadar veya ilgilenilen aralığın dışına çıkıncaya kadar tekrar edilir.

2.8. Konformalite ve Homojenite İndeksleri

Bu çalışmada, tedavi planlarının kalite değerlendirmesinde, ICRU'nun (International Commission on Radiation Units and Measurements) 83 Numara'lı raporunda belirtilen homojenite ve konformite indeks formülleri kullanılmıştır (ICRU83, 2010).

$$HI = \frac{D_{\%2} - D_{\%98}}{D_{\%50}}$$

$D_{\%2}$: PTV hacminin %2'sinin aldığı doz

$D_{\%98}$: PTV hacminin %98'inin aldığı doz

$D_{\%50}$: PTV hacminin %50'sinin aldığı doz

$$CI = \frac{TV_{RI}}{TV} \times \frac{TV_{RI}}{V_{RI}}$$

TV_{RI} : Referans izodozu alan hedef hacmi

TV: Hedef hacmi

V_{RI} : Hedef hacim ve hedef dışı bölgedeki referans dozu alan toplam hacim

ICRU'nun 83 Numara'lı raporunda belirtildiğine göre homojenite indeks değerinin 0'a, konformite indeks değerinin ise 1'e yakın olması optimum tedavi planı hesaplamak bakımından istenen durumdur.

ICRU 83 Raporu'na göre, hesaplanan tedavi planlamasının homojenitesinin en iyi olması için CTV'nin yüzde ikisinin aldığı dozun düşük olması ve CTV'nin yüzde doksansekinin aldığı dozun yüksek olması idealdir. Medyan dozun ise referans doza yakın olması beklenir.

2.9. Doz Sınırlamaları

Kritik organ dozları belirlenirken QUANTEC (Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic) doz-hacim limitleri dikkate alınmıştır (Tablo 2).

Tablo2: Kritik organlar için tanımlanan doz sınırlamaları (Uzun, 2014)

Kritik Organlar	Doz Sınırlamaları	Kritik Organlar	Doz Sınırlamaları
Tiroid	$V_{26} < 20\%$	Akciğer	Ortalama Doz < 20 Gy, $V_5 < 60, V_{20} < 30\%$
Larinks	Ortalama Doz < 44 Gy	Spinal Kord	Maksimum 45 Gy
Oral Kavite	Ortalama Doz < 30 Gy	Böbrek	$V_{12} < 55\%, V_{18} < 35, V_{20} < 25$
Mandibula	Maksimum 70 Gy	Karaciğer	$V_{20} < 60\%$
Beyin Sapı	$V_{60} < 1\%$		

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1. Gereçler

Bu çalışma Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilimdalı'nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan cihazlar ve sistemler aşağıdaki gibidir:

- SIEMENS Somatom Emotion Duo BT Simülör Ünitesi
- DOSIM Kontrolama Sistemi
- SIEMENS Artiste 5960 Lineer Hızlandırıcı Tedavi Cihazı
- CMS XiO 3 Boyutlu Tedavi Planlama Sistemi
- Elekta Lineer Hızlandırıcı Tedavi Cihazı
- Monaco Tedavi Planlama Yazılımı

3.1.1. SIEMENS Somatom Emotion Duo BT ve Simülör Ünitesi

SIEMENS Somatom Emotion (Erlangen, Germany) bilgisayarlı tomografi ve simülör ünitesi 45x153 cm alan boyutlarına kadar alan tarama ve -300/+300 gantri açılına kadar dönebilir özelliktedir (Şekil 5).



Şekil 5: SIEMENS Somatom Emotion Duo BT-Simülör Ünitesi, Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilimdalı.

Bu ünite de elde edilen görüntüler film çekim, banyolama gibi işlemlere gerek duyulmadan DICOM sayesinde online şekilde planlama sistemlerine aktarılır ve tedavi planlamada kullanılır.

3.1.2. Siemens Artiste Linear Hızlandırıcı Cihazı

6 ve 15 MV ile 6, 9, 12, 15 ve 21 MeV foton ve elektron enerji seviyelerinde tedavi özelliğine ve 160 liften oluşan kolimatör sistemine sahiptir. Bu sistemdeki kolimatörler x kolimatörü olarak adlandırılır. Cihaz aynı zamanda üst kolimatör sistemine sahiptir. Üst kolimatör sistemi (y kolimatörü) bağımsız hareket edebilen çenelerden oluşur. Lif genişliği 5 mm'dir. Cihaz katı ve sanal wedge filtre özelliklerine sahiptir. Sanal wedgeler 15, 30, 45 ve 60 derecedir (Kurt, 2013).

3.1.3. Elekta Synergy Linear Hızlandırıcı Cihazı

Elekta Synergy Linear Hızlandırıcı Cihazı 160 adet (MLC) çok yapraklı kolimatörlere sahiptir. MLC'ler sayesinde koruma bloklarına gerek duyulmadan istenilen geometride alanlar açılarak tedavi imkanı sunar. Megavoltaj (MV) ve EPID (Elektronik Portal Görüntüleme Sistemi) ile alan kontrolü elektronik ortamda yapılabilmektedir. 6 ve 15 MV enerji seviyelerinde tedavi yapma kapasitesine sahiptir.

Karbon fiber masa sayesinde tedavi tüm açılar için mümkündür. Tedavide standart SSD 100 cm'dir. Kontrolama ve planlama; Monaco Planlama yazılımı ile yapılmakta aynı zamanda DOSIM kontrolama sisteminden kontur aktarmak da mümkündür.

3.1.4. Alderson Randofantom

Dozimetrik ölçümler katı fantom, su fantomu ve insan eşdeğeri fantomlar kullanılarak yapılmaktadır. X-ışını ve elektronlar için soğurma bakımından insan dokusuna en yakın fantomlar 30 yılı aşkın süredir kullanılan Alderson rando fantomlarıdır (Yeşil, 2009). Doku eşdeğeri malzemeden üretilmiş olan rando fantom, birbirine paralel 2,5 cm kalınlığında kesitlerden oluşmaktadır (Şekil 6). Bu kesitler birbirine içten çıkarılıp tekrar takılabilir destek çubukları ile bağlıdır. Her bir kesit kemik, yumusak doku veya akciğer dokusuna eşdeğer pinlerle kapalı olan çukurlara sahiptir. Bu çukurlar, üzerindeki pinler çıkarılıp yerine dozimetre takılacak şekilde dizayn edilmiştir. Rando fantomun anatomisi; 155 cm boyunda, 55 kg ağırlığında bir

kadını temsil eder (Yeşil, 2009). Rando fantom malzemesinde; yumuşak dokular; insan vücudundaki yumuşak dokuların ortalama yoğunluğuna eşdeğer yoğunluktadır. İskelet; iyi şekil alabilmesi ve kortikal kemik ve spongoz ile aynı kütle yoğunluk ve zayıflatma katsayısına sahip olması amacıyla polimer döküm malzemedendir yapılmıştır. Akciğerler ise 0,30 g/cc özgül ağırlığına sahip sentetik köpükten yapılmıştır (Yeşil, 2009).



Şekil 6: Rando fantom (Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilimdalı, Ocak 2017)

3.2. Yöntem

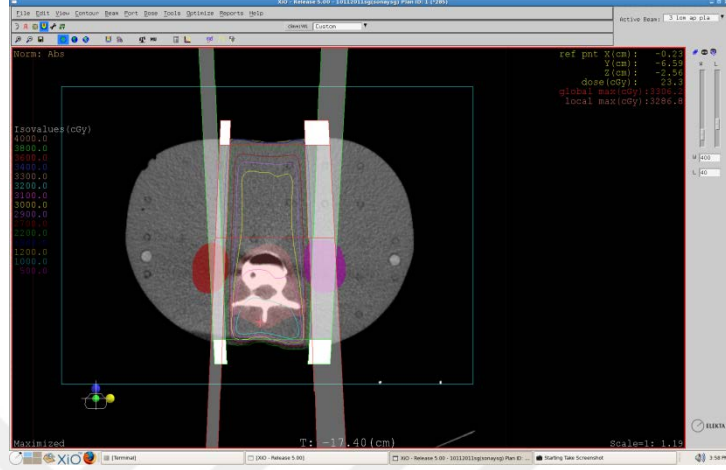
Randofantomun BT görüntüsü sırtüstü masaya düz pozisyonda 3 mm kesit kalınlığında alınmıştır (Şekil 7).



Şekil 7: BT cihazında, sırtüstü masaya düz pozisyonda rando fantom (Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilimdalı, Ocak 2017)

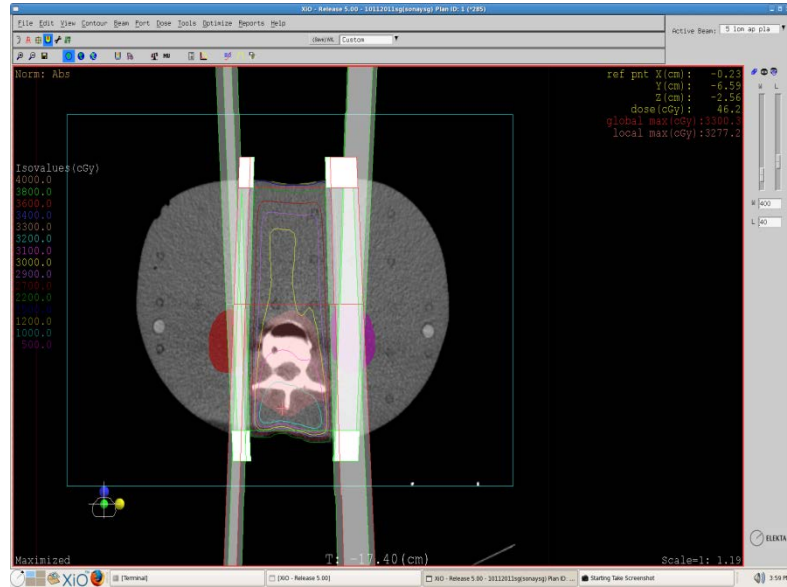
Lomber Vertebranın 3B-KRT ile Işınlanması: Lomber vertebra için üç ayrı 3B konformal tedavi planı hesaplanmıştır. Kullanılan enerjiler 6 ve 15 MV'dir.

Birinci planda lomber vertebra AP ve PA olmak üzere iki açıdan ışınlama yapılmıştır (Şekil 10).



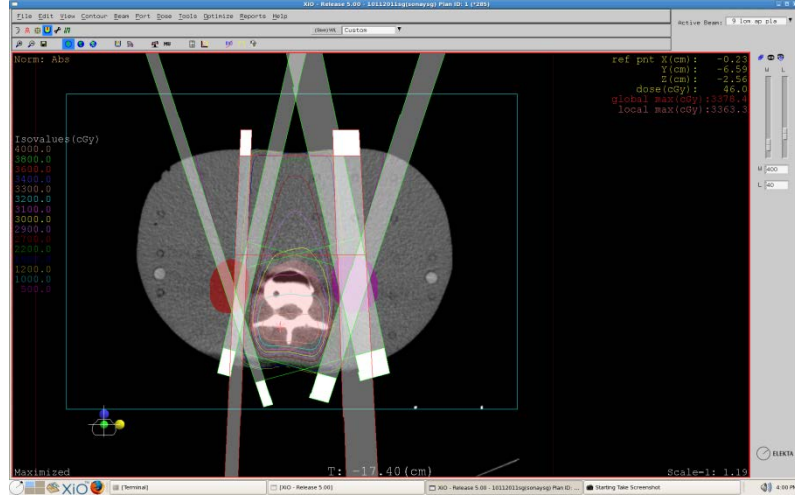
Şekil 10: Lomber 3B-KRT iki alanlı plan transvers görüntüsü

İkinci tedavi planında, iç içe AP ve PA alanları yerleştirilerek tedavi planı hesaplanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11: İç içe alan yöntemi ile lomber planı transvers kesiti

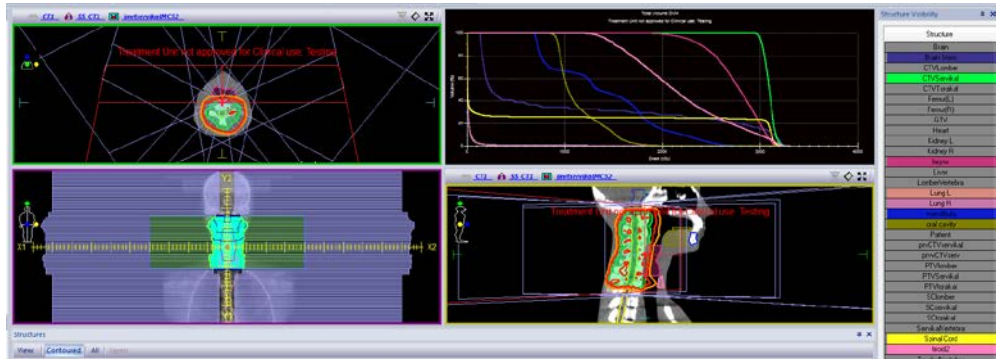
Üçüncü planda ise bir adet AP ve böbrekler tedavi sahasından çıkarılacak şekilde iki arka oblik ışın yerleştirilerek tedavi hesabı yapılmıştır (Şekil 12).



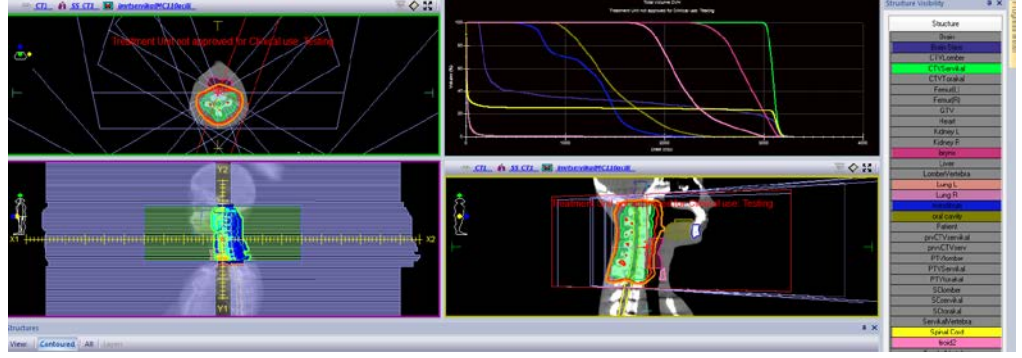
Şekil 12: Lomber vertebra için anterior ve oblik ışınlarla yapılan 3B-KRT plan transvers kesiti

3.2.2. Randofantomun BT Görüntüsü ile YART Tedavi Planı Yapılması

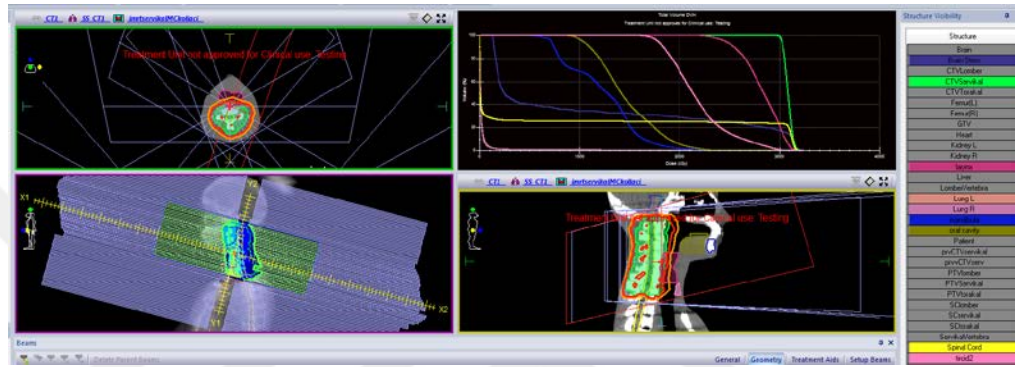
Servikal Vertebranın YART ile Işınlanması: Servikal vertebra için bir adet 0, 52, 104, 156, 208, 260, 302 derece açılarında yedi adet tedavi ışınına sahip (Şekil 13) ve iki adet (planların birinde 110 derece gantri açılı alanda 345 derece kollimatör açılı ve 250 gantri açılı alanda 15 derece kollimatör açılına sahip ışınlar olmak üzere) 110, 130, 150, 180, 210, 230 ve 250 derece açılarında (Şekil 14) (Şekil 15) yine yedi adet ışına sahip olmak üzere toplamda üç adet YART tekniği ile tedavi planı hesaplanmıştır.



Şekil 13: Servikal vertebra birinci YART tedavi planı

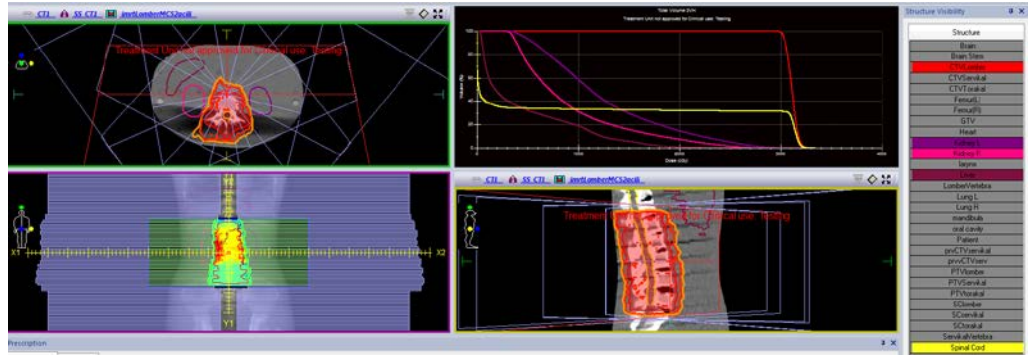


Şekil 14: Servikal vertebra ikinci YART tedavi planı

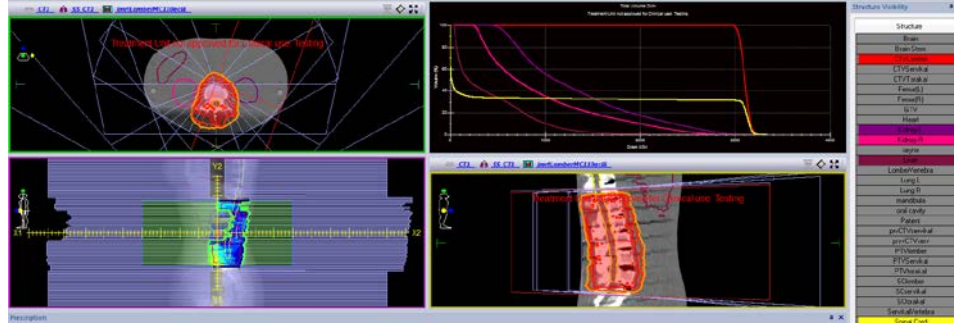


Şekil 15: Servikal vertebra kollimatör açılı YART tedavi planı

Lomber Vertebra'nın YART ile Işınlanması: Lomber vertebra için bir tane 0, 52, 104, 156, 208, 260, 302 derece açılarında yedi adet tedavi ışınına sahip (Şekil 16) ve bir adet 110, 130, 150, 180, 210, 230 ve 250 derece açılarında (Şekil 17) yine yedi adet ışına sahip olmak üzere toplamda iki adet YART planı hesaplanmıştır.



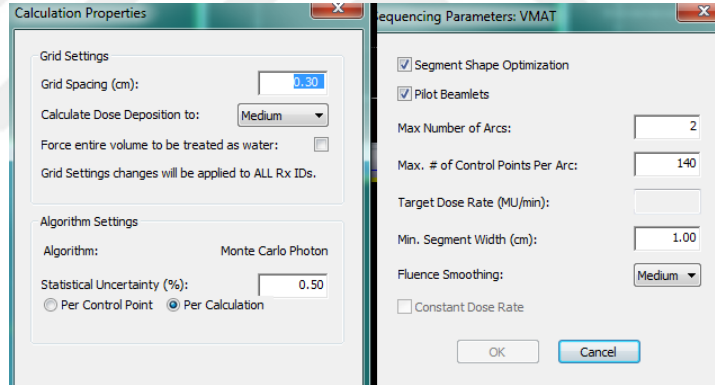
Şekil 16: Lomber vertebra için hesaplanan birinci YART tedavi planı



Şekil 17: Lomber vertebra için hesaplanan ikinci YART tedavi planı
3.2.3.Randofantomun BT Görüntüsü ile VMAT Tedavi Planı Yapılması

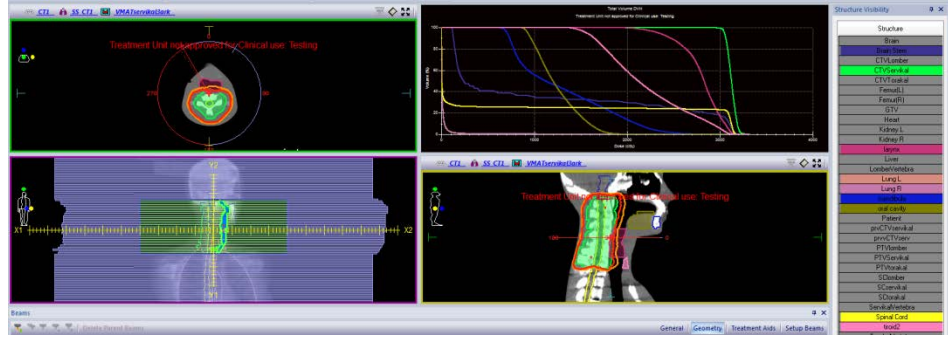
CTV Servikal ve CTV Lomber volümlerine 0.3 cm'lik marjlar verilerek her bir volüm için PTV oluşturuldu. Servikal planı için medulla spinalisin servikal vertebra içerisinde kalan kısmı çıkarılarak ikinci bir medulla spinalis (PRV medulla spinalis) oluşturuldu. Aynı işlem lomber bölge ışınlanması için yapılan planlarda kullanılmak üzere tekrarlandı.

Tüm VMAT planları 6 MV'lik fotonlar ile yapılmıştır. Ters planlama parametreleri Şekil 18'deki gibidir.

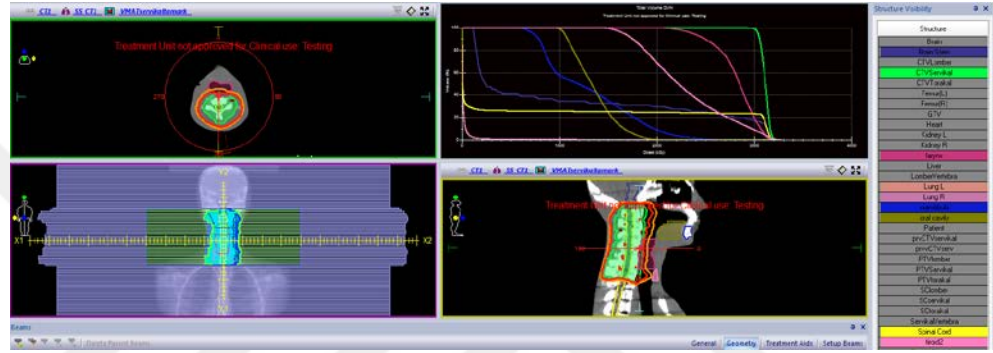


Şekil 18: VMAT tedavi hesaplarında kullanılan ters planlama parametreleri

Servikal Vertebra'nın VMAT ile Işınlanması: Plan merkezi belirlenerek, fantomu 150 derece ile tiroid ışınlanmayacak şekilde sağ ve soldan saran sırasıyla saat yönünün tersinde ve saat yönünde iki ve bir tam ark yerleştirildi (CCW 330-180 ve CW 30-180 arası) (Şekil 19).

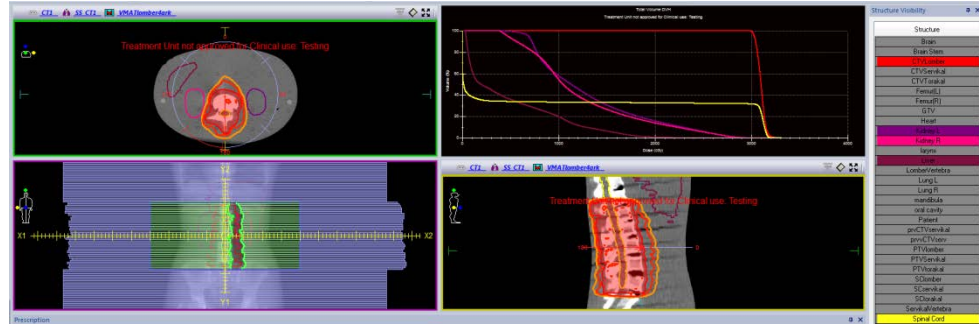


Şekil 19: Servikal vertebra için hesaplanan üç arklı VMAT tedavi planı
Ayrıca aynı plan merkezinde, tam ark ile bir VMAT tedavi planı yapıldı (Şekil 20).



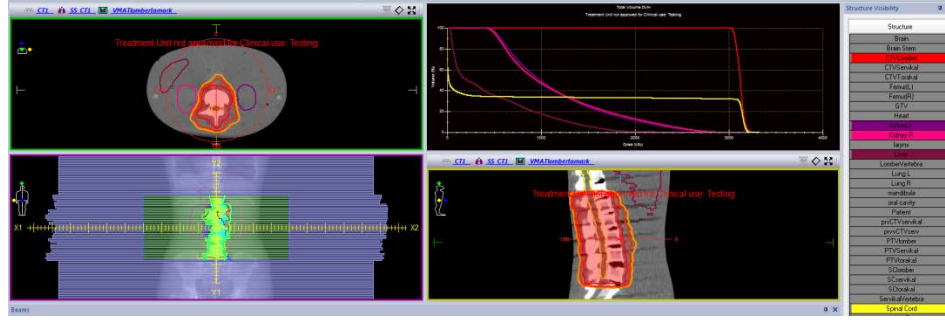
Şekil 20: Servikal vertebra için hesaplanan tam ark VMAT tedavi planı

Lomber Vertebra'nın VMAT ile Işınlanması: Plan merkezi belirlenerek, tedavi düzlemine, böbrekler korunacak şekilde üç adet kısmi ark ve bir tam ark yerleştirilerek plan hesaplandı (Şekil21).



Şekil 21: Lomber vertebra için hesaplanan üç arklı VMAT tedavi planı

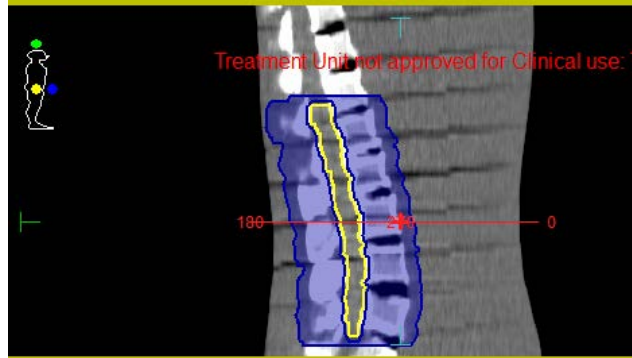
Ayrıca tam ark ile bir VMAT tedavi planı hesaplandı. Her iki VMAT tedavi planı için enerji olarak 6 MV tercih edildi (Şekil 22).



Şekil 22: Lomber vertebra için hesaplanan tam ark VMAT tedavi planı

3.2.4 Spinal Kordun Tedavi Bölgesinden Çıkarılmasıyla Hesaplanan YART ve VMAT Tedavi Planlaması

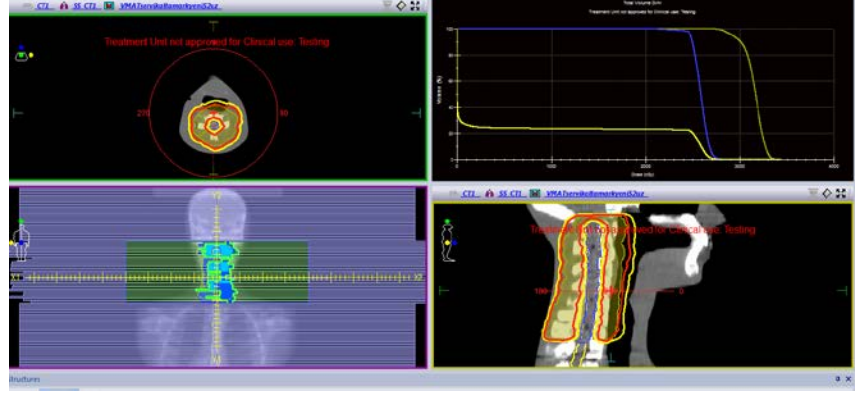
Monaco Tedavi Planlama Sistemi'nde YART ve VMAT teknikleri ile hesaplama yapmanın bir avantajı vertebra ışınlanması yaparken riskli organları ve istenen dokuları daha iyi koruyabilmektir. Medulla spinalis de bu organlardan biridir. Özellikle ikinci seri radyoterapide, vertebral metastazlarda spinal kordu korumak istenmektedir. Bu amaçla spinal kordun tedavi bölgesinden çıkarılmasıyla hesaplanan YART ve VMAT tedavi planlarında spinal kord için servikal vertebra ve lomber vertebra için ayrıca yeni birer hedef volüm oluşturulmuştur (Şekil 23). 3B-KRT tekniği ile spinal kordu bu şekilde tedavi alanından çıkarmak mümkün değildir. Yapılan planlamalarda bu hedef volümler kullanılmıştır.



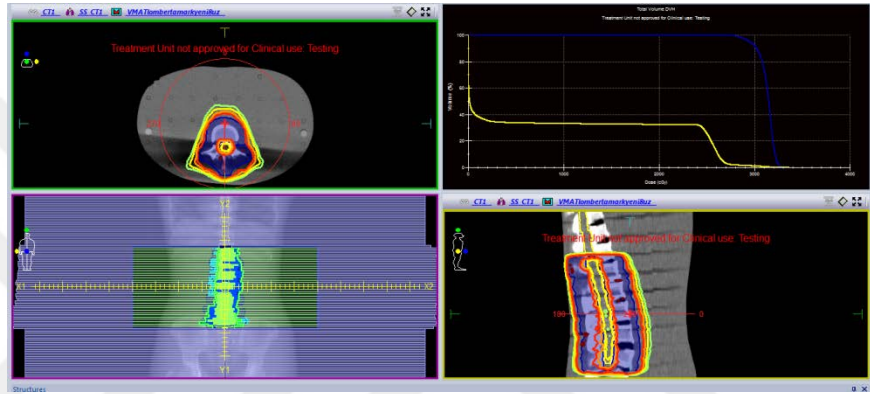
Şekil 23: Spinal kordun CTV den çıkarılması ile oluşturulan lomber bölgedeki hedef volüm

Bu kısımda servikal bölge (Şekil 24) (Şekil 25) ve lomber bölge (Şekil 26) (Şekil 27) için birer VMAT tedavi planı ve birer YART tedavi planı olmak üzere toplamda dört tane tedavi planı hesaplanmıştır.

VMAT tedavi planlamalarında tam ark tedavi alanları ve 6 MV enerjili foton kullanılmıştır.

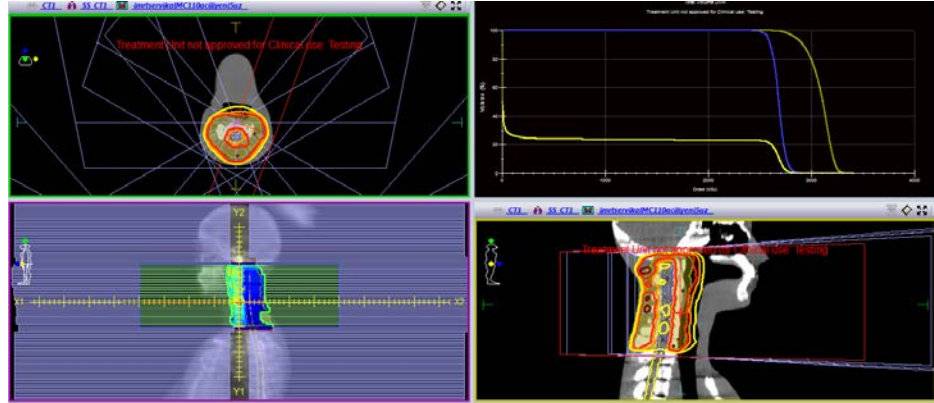


Şekil 24: Servikal vertebra için hesaplanan VMAT tedavi planı

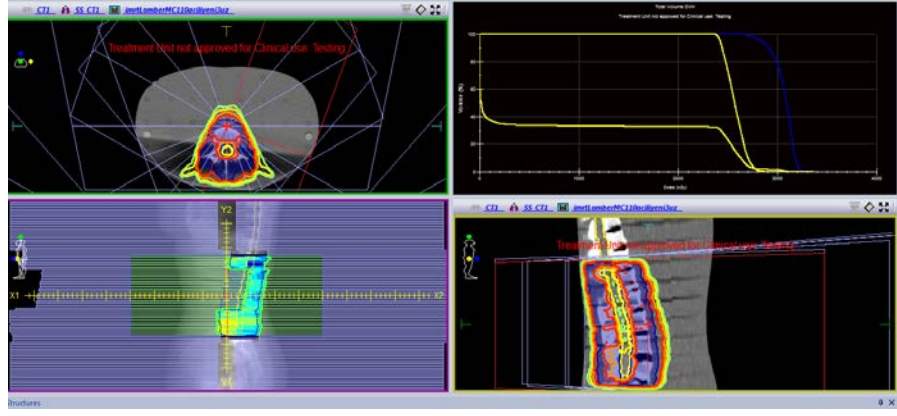


Şekil 25: Lomber vertebra için hesaplanan VMAT tedavi planı

YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında ise 110, 130, 150, 180, 210, 230 ve 250 derece açılarında yedi adet ışın kullanılmıştır (Şekil 26) (Şekil 27).



Şekil 26: Servikal vertebra için hesaplanan YART tedavi planı



Şekil 27: Lomber vertebra için hesaplanan YART tedavi planı



4.BULGULAR

Bu çalışma Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilimdalı'na ait rando fantom kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Rando fantomun bilgisayarlı tomografisi alınarak, bu görüntü üzerinde servikal ve lomber vertebralara 3B-KRT, VMAT ve YART tedavi planlama sistemleri ile hesaplamalar yapılmıştır. Her iki bölge için toplam plan sayısı 13 adettir. Bu tedavi planları ile elde edilen sonuçlar, DVH (Dose Volume Histogram) yardımıyla riskli organ dozları ve hedef volüme verilen doz verileri tablolarda gösterilmiştir.

Hesaplanan tedavi planları ile elde edilen verileri sınıflandırmak amacıyla yapılan kısaltmalar şu şekildedir:

S-3BKRT: Servikal vertebra için, sağ ve sol laterallerden birer tedavi alanı yerleştirilerek hesaplanan konformal radyoterapi tedavi planı

S-VMAT1: Servikal vertebrada iki yarım ve bir tam ark ışınları yerleştirilerek hesaplanan radyoterapi tedavi planı

S-VMAT2: Servikal vertebra için, bir tam ark ışın yerleştirilerek hesaplanan radyoterapi tedavi planı

S-YART1: Servikal vertebra için 0, 52, 104, 156, 208, 260, 302 derece açılarında yedi adet tedavi ışımına sahip YART tedavi planı

S-YART2: Servikal vertebra için 110, 130, 150, 180, 210, 230 ve 250 derece açılarında yedi adet tedavi ışımına sahip YART tedavi planı

S-YART3: Servikal vertebra için 110, 130, 150, 180, 210, 230 ve 250 derece açılarında yedi adet tedavi ışımına sahip, 110 dereceli ve 250 dereceli tedavi alanlarında 15'er derecelik kollimatör açısı olan YART tedavi planı

L-3BKRT1: Lomber vertebra için, AP ve PA alanları yerleştirilerek hesaplanan konformal radyoterapi tedavi planı

L-3BKRT2: Lomber vertebra için, iç içe AP ve PA alanları yerleştirilerek hesaplanan konformal radyoterapi tedavi planı

L-3BKRT3: Lomber vertebra için, bir adet AP ve iki arka oblik tedavi alanları yerleştirilerek hesaplanan konformal radyoterapi tedavi planı

L-VMAT1: Lomber vertebra için, iki yarım ve bir tam ark ışınları yerleştirilerek hesaplanan radyoterapi tedavi planı

L-VMAT2: Lomber vertebra için, bir tam ark ışın yerleştirilerek hesaplanan radyoterapi tedavi planı

L-YART1: Lomber vertebra için 0, 52, 104, 156, 208, 260, 302 derece açılarında yedi adet tedavi ışınına sahip YART tedavi planı

L-YART2: Lomber vertebra için 110, 130, 150, 180, 210, 230 ve 250 derece açılarında yedi adet tedavi ışınına sahip YART tedavi planı

S-VMAT_{sc}: Spinal kordun CTV'den çıkarılması ile oluşturulan yeni CTV ile yapılan servikal tam ark VMAT tedavi planı

S-YART_{sc}: Spinal kordun CTV'den çıkarılması ile oluşturulan yeni CTV ile yapılan servikal YART tedavi planı

L-VMAT_{sc}: Spinal kordun CTV'den çıkarılması ile oluşturulan yeni CTV ile yapılan lomber tam ark VMAT tedavi planı

L-YART_{sc}: Spinal kordun CTV'den çıkarılması ile oluşturulan yeni CTV ile yapılan lomber YART tedavi planı

4.1. Veriler

Yapılan radyoterapi tedavi planları ile elde edilen veriler, servikal vertebra için hesaplanan, lomber vertebra için hesaplanan ve spinal kordun CTV'den çıkarılması ile oluşturulan yeni CTV ile hesaplanan tedavi planları olmak üzere üç grupta incelenmiştir.

4.1.1 Servikal Vertebra Planlarında Elde Edilen Veriler

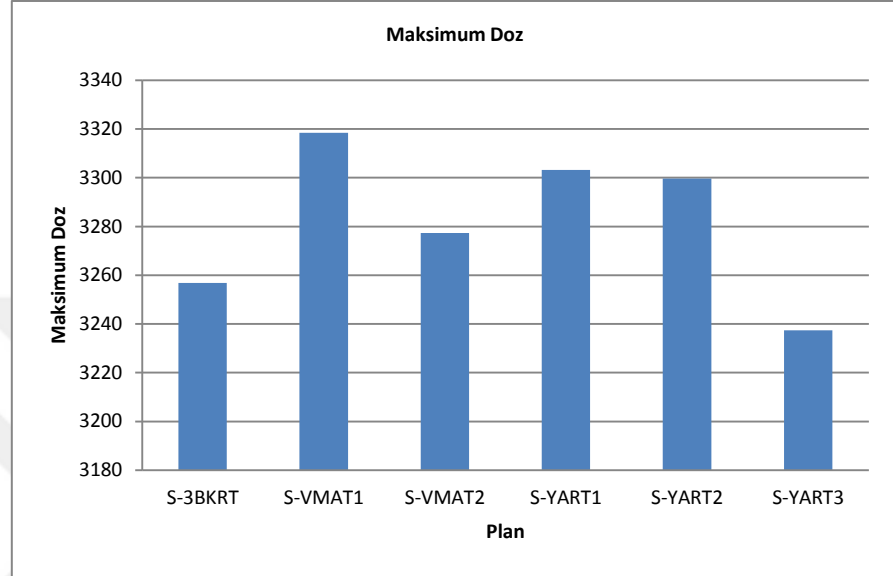
Servikal Vertebra için hesaplanan tedavi planlarında elde edilen veriler Tablo3'teki gibidir.

Tablo 3: Servikal vertebra CTV dozları

Plan Adı	CTV _{servikal} 2%	CTV _{servikal} 98%	CTV _{servikal} 50%	MU/fx	Plan Maksimum Dozu
S-3BKRT	3170	2520	3030	308,7	3256,8
S-VMAT1	3212,9	3034	3124,3	561,09	3318,5
S-VMAT2	3183,8	3027,6	3117,1	503,31	3277,3
S-YART1	3204,4	2988,1	3096,6	443,8	3303,2
S-YART2	3180	3021,2	3098,6	434,88	3299,7
S-YART3	3166,3	3011,2	3087,6	440,12	3237,4

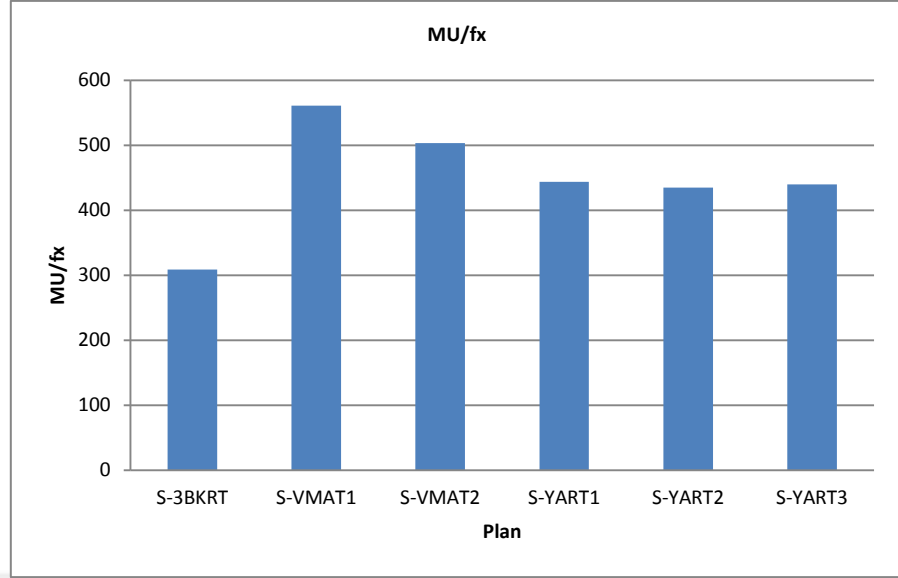
Servikal vertebraya ait CTV dozlarına bakıldığında, CTV'nin yüzde ikisinin aldığı en yüksek doz S-VMAT1 planı ile elde edilirken, en düşük doz S-YART3

planı ile elde edilmiştir. Yüzde doksansekinin aldığı doza bakıldığında ise en yüksek CTV dozu yine S-VMAT1 planı ile elde edilirken, en düşük doz, S-3BKRT ile elde edilmiştir. CTV'nin yüzde ellisinin aldığı doza bakıldığında ise en yüksek doz tekrar S-VMAT1 ile elde edilirken, en düşük doz yüzde doksansesinde olduğu gibi S-3BKRT planı ile elde edilmiştir.

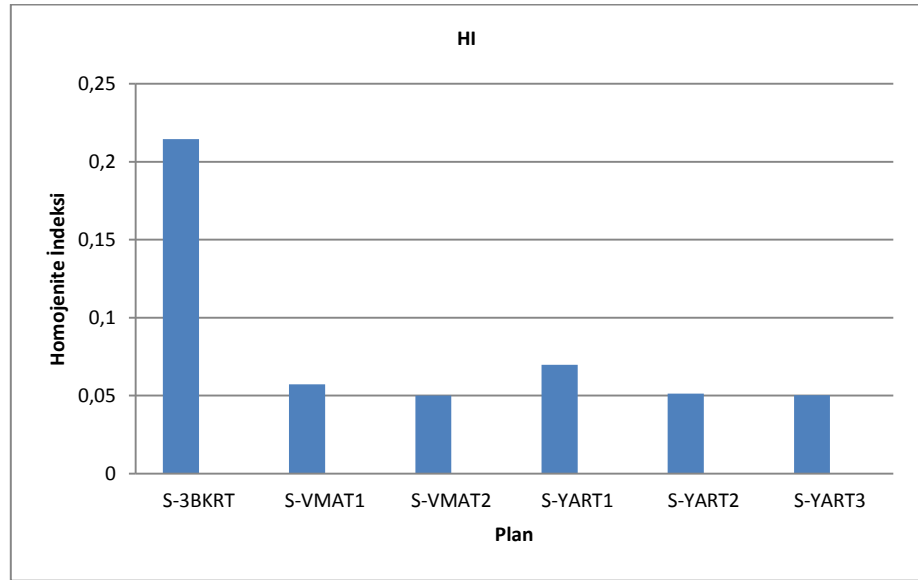


Grafik 1: Servikal Vertebra için hesaplanan tedavi planları için maksimum doz grafiği

Hesaplanan tedavi planlarında maksimum doz S-3BKRT planında 32,56 Gy, S-VMAT1 planında 33,18 Gy, S-VMAT2 planında 32,77 Gy, S-YART1 planında 33,03 Gy, S-YART2 planında 32,99 Gy ve S-YART3 planının da 32,37 Gy'dir. Optimal plan elde edilirken en yüksek maksimum plan dozu S-VMAT1 planında görülürken, en düşük maksimum plan dozu S-YART3 planında görülmüştür (Grafik1).

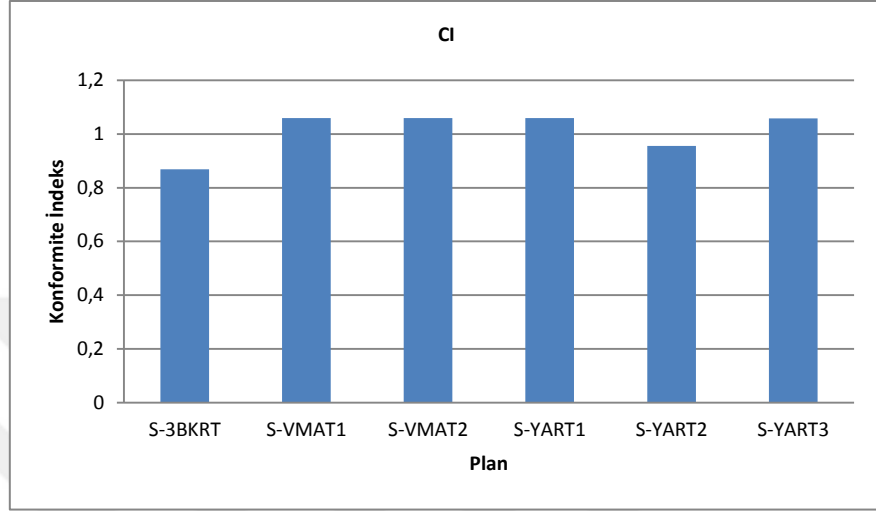


Grafik 2: Servikal Vertebra için hesaplanan tedavi planları için toplam MU/fx grafiği
 Monaco Tedavi Planlama Sistemi kullanılarak yapılan tedavi planlarında fraksiyon başına düşen MU değerleri S-3BKRT planında 308, S-VMAT1 planında 561, S-VMAT2 planında 503, S-YART1 planında 443, S-YART2 planında 434 ve S-YART3 planında ise 440'tır. Optimal plan elde edilirken en yüksek fraksiyon başına MU değeri S-VMAT1 planında görülürken, en düşük maksimum plan dozu S-3BKRT planında görülmüştür (Grafik 2).



Grafik 3: Servikal Vertebra için hesaplanan tedavi planlarında elde edilen Homojenite katsayısı grafiği

Hesaplanan tedavi planlarında HI, S-3BKRT planında 0,21; S-IMRT1 planında 0,06; S-VMAT1, S-VMAT2, S-YART2 ve S-YART3 planlarında ise 0,05 olarak hesaplanmıştır. Optimal plan elde edilirken en yüksek HI değeri S-3BKRT planında görülürken, en düşük HI değeri ise S-VMAT1, S-VMAT2, S-YART2 ve S-YART3 planlarında görülmüştür (Grafik 3).



Grafik 4: Servikal Vertebra için hesaplanan tedavi planlarında elde edilen Konformite İndeks grafiği

Hesaplanan tedavi planlarında konformite indeks değerleri, S-3BKRT planında 0,86; S-VMAT1, S-VMAT2, S-YART1 ve S-YART3 tedavi planlarında 1,05 ve S-YART2 planında ise 0,96'dır. Optimal plan elde edilirken en yüksek konformite indeks değeri 1,05 iken en düşük S-3BKRT tedavi planında elde edilen 0,86 değeridir (Grafik 4).

Servikal vertebra planları için tiroid dozları Tablo 4'te belirtildiği gibidir. En düşük minimum tiroid dozunu S-3BKRT planı sağlarken, en yüksek minimum tiroid dozu S-YART2 tedavi planında görülmüştür. Tiroidin maksimum dozlarına bakıldığında ise en düşük doz S-YART2 planında, en yüksek doz ise S-YART1 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama tiroid dozu S-3BKRT tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama tiroid dozu S-VMAT2 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC'e göre V_{26} dozları %20'nin altında olmalıdır. V_{26} dozlarına bakıldığında tüm planlar bu koşulu sağlamaktadır. En iyi sağlayan plan ise S-YART3 tedavi planlamasıdır.

Tablo 4: Tiroidin aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Tiroid (Minimum)	Tiroid (Maksimum)	Tiroid (Ortalama)	Tiroid (V ₂₆)
S-3BKRT	127	3142	1174	13,9
S-VMAT1	1330,3	3143,3	2195,3	22,79
S-VMAT2	1382,9	3216	2286,1	25,83
S-YART1	1139,6	3248,2	2179	23,67
S-YART2	1592,5	3032,1	2201,8	11,68
S-YART3	1560,2	3057,1	2181,9	11,21

Yapılan tedavi planlarında larenksin aldığı dozlar Tablo 5’te belirtildiği gibidir. En düşük minimum larenks dozunu S-3BKRT planı sağlarken, en yüksek minimum larenks dozu S-YART2 tedavi planında görülmüştür. Larenksin aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz S-YART2 planında, en yüksek doz ise S-3BKRT tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama larenks dozu S-3BKRT tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama larenks dozu S-YART3 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC’e göre ortalama dozları 44 Gy’in altında olmalıdır. Çalışmamızda 30 Gy kullanıldığı için bu limit sorun teşkil etmemiştir. Bu koşulu en iyi sağlayan plan ise 3B-KRT planıdır.

Tablo 5: Larenksin aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Larenks (Minimum)	Larenks (Maksimum)	Larenks (Ortalama)
S-3BKRT	322,0	3253,0	2743,0
S-VMAT1	1866,3	3195,6	2790,8
S-VMAT2	1962,8	3206,9	2811,7
S-YART1	1755,9	3200,7	2753,5
S-YART2	2150,0	3194,2	2819,6
S-YART3	2069,8	3201,5	2820,8

Hesaplanan tedavi planlarında oral kavitenin aldığı dozlar Tablo 6’daki gibidir. En düşük minimum oral kavite dozunu S-3BKRT planı sağlarken, en yüksek minimum oral kavite dozu S-VMAT2 tedavi planında görülmüştür. Oral kavitenin aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz S-3BKRT planında, en yüksek doz ise S-YART2 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama oral kavite dozu S-3BKRT tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama doz S-YART2 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC’e göre ortalama dozları 30 Gy’nin altında olmalıdır. Buna göre en iyi sağlayan plan ise 3B-KRT planıdır.

Tablo 6: Oral kavitenin aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Oral Kavite (Minimum)	Oral Kavite (Maksimum)	Oral Kavite (Ortalama)
S-3BKRT	75,0	321,0	112,0
S-VMAT1	824	2054,5	1243,6
S-VMAT2	894,9	2116,8	1350,3
S-YART1	812,3	2143,0	1138,0
S-YART2	747,6	2571,6	1477,1
S-YART3	808,9	2384,4	1465,1

Servikal vertebraya ait tedavi planlarında mandibulanın aldığı dozlar Tablo 7'deki gibidir. En düşük minimum mandibula dozunu S-3BKRT planı sağlarken, en yüksek minimum mandibula dozu S-VMAT1 tedavi planında görülmüştür. Mandibulanın aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz S-YART2 tedavi planında, en yüksek doz ise S-3BKRT tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama mandibula dozu S-3BKRT tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama mandibula dozu S-YART2 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC'e göre mandibula maksimum dozu 70 Gy'in altında olmalıdır. Reçete edilen doz 30 Gy olduğundan bu koşul mandibula açısından sorun teşkil etmemektedir. Bu koşulu en iyi sağlayan plan ise 3B-KRT planıdır.

Tablo 7: Mandibulanın aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Mandibula (Minimum)	Mandibula (Maksimum)	Mandibula (Ortalama)
S-3BKRT	68,0	3157,0	648,0
S-VMAT1	585,6	2899,4	1290,3
S-VMAT2	549,1	2835,8	1288,7
S-YART1	639,3	2939,3	1402,0
S-YART2	465,5	2505,8	1238,9
S-YART3	482,4	2575,7	1225

Servikal vertebraya ait tedavi planlarında beyin sapı alan içerisine çok az miktarda girmiş olsa da, beyin sapının aldığı dozlar Tablo 8'deki gibidir. En düşük minimum beyin sapı dozunu S-3BKRT planı sağlarken, en yüksek minimum beyin sapı dozu S-YART1 tedavi planında görülmüştür. Beyin sapının aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz S-3BKRT tedavi planında, en yüksek doz ise S-YART1 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama beyin sapı dozu S-YART1 tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama beyin sapı dozu S-3BKRT tedavi planında görülmektedir. QUANTEC'e göre beyin sapının V_{60} dozu %1'in altında olmalıdır. Reçete edilen doz 30 Gy olduğundan bu koşul beyin sapı açısından sorun teşkil etmemektedir.

Tablo 8: Beyin sapının aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Beyin Sapı (Minimum)	Beyin Sapı (Maksimum)	Beyin Sapı (Ortalama)	Beyin Sapı (V ₆₀)
S-3BKRT	110,0	2956,0	1231,0	0
S-VMAT1	110,7	3180,9	1090,2	0
S-VMAT2	110,6	3192,6	1088,4	0
S-YART1	129,4	3246,6	1061,8	0
S-YART2	120,0	3190,0	1077,0	0
S-YART3	123,4	3189,0	1085,4	0

Servikal vertebra radyoterapisinde akciğerlerin sadece apeks kısımları tedavi alanına girmektedir. Servikal vertebraya ait tedavi planlarında sol akciğerin aldığı dozlar Tablo 9'daki gibidir. En düşük minimum sol akciğer dozunu S-3BKRT, S-YART1 ve S-YART2 tedavi planları sağlarken, en yüksek minimum sol akciğer dozu S-VMAT1 ve S-VMAT2 tedavi planlarında görülür. Sol akciğerin aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz S-3BKRT tedavi planında, en yüksek doz ise S-YART3 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama sol akciğer dozu S-3BKRT tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama sol akciğer dozu S-YART3 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC'e göre akciğer V₅ dozu %65'in altında, V₂₀ dozu %37'nin altında ve ortalama dozu 20 Gy'in altında olmalıdır. Buna göre tüm planlar bu koşulu sağlamaktadır. En iyi sağlayan plan ise 3B-KRT planıdır.

Tablo 9: Sol Akciğerin aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Sol Akciğer (Minimum)	Sol Akciğer (Maksimum)	Sol Akciğer (Ortalama)	Sol Akciğer (V ₅)	Sol Akciğer (V ₂₀)
S-3BKRT	0	769,0	14,0	0,08	0
S-VMAT1	0,2	1683,7	16,8	0,24	0
S-VMAT2	0,2	1824,4	18,1	0,29	0
S-YART1	0	1948	22,1	0,31	0
S-YART2	0	1987	21,6	0,33	0
S-YART3	0	2209,6	22,4	0,37	0,01

Servikal vertebraya ait tedavi planlarında sağ akciğerin aldığı dozlar Tablo 10'daki gibidir. En düşük minimum sağ akciğer dozunu S-3BKRT, S-YART1 ve S-YART2 tedavi planları sağlarken, en yüksek minimum sağ akciğer dozu S-VMAT1 ve S-VMAT2 tedavi planlarında görülür. Sağ akciğerin aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz S-3BKRT tedavi planında, en yüksek doz ise S-YART2 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama sağ akciğer dozu S-3BKRT tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama sağ akciğer dozu S-YART1 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC doz sınırlarına tüm planlar uymaktadır. En iyi sağlayan plan ise V_5 , V_{20} ve ortalama dozları bakımından 3B-KRT planıdır.

Tablo 10: Sağ Akciğerin aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Sağ Akciğer (Minimum)	Sağ Akciğer (Maksimum)	Sağ Akciğer (Ortalama)	Sağ Akciğer (V_5)	Sağ Akciğer (V_{20})
S-3BKRT	0	2089,0	16,0	0,37	0
S-VMAT1	0,3	3097,5	16,8	0,48	0,11
S-VMAT2	0,4	2937,9	21,8	0,55	0,12
S-YART1	0	3045,5	26,2	0,55	0,15
S-YART2	0	3118,1	22,4	0,54	0,12
S-YART3	0	3107,8	25,3	0,55	0,14

İkinci seri vertebra metastaz ışınlamalarında medulla spinalisin doz almaması amaçlanır. Servikal vertebra tedavi planlamalarında, servikal bölgedeki spinal kordun aldığı dozlar Tablo 11'deki gibidir. Elde edilen verilere göre en yüksek minimum spinal kord dozu S-YART2 tedavi planında, en düşük minimum spinal kord dozu S-3BKRT tedavi planında görülmüştür. En yüksek maksimum spinal kord dozu S-YART1 tedavi planında, en düşük maksimum spinal kord dozu ise S-3BKRT tedavi planında görülmüştür. Ortalama spinal kord dozu ise en yüksek yine S-YART2 tedavi planında, en düşük ise S-3BKRT tedavi planında elde edilmiştir.

Tablo 11: Servikal bölgedeki spinal kordun aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Spinal Kord (Minimum)	Spinal Kord (Maksimum)	Spinal Kord (Ortalama)
S-3BKRT	2306,0	3092,0	2985,0
S-VMAT1	3000,2	3186,5	3116,0
S-VMAT2	3007,4	3206,9	3123,6
S-YART1	2963,0	3229,2	3112,7
S-YART2	3008,0	3225,1	3132,5
S-YART3	3006,3	3210,2	3121,7

Servikal vertebraya ait tedavi planlarında tüm spinal kordun aldığı dozlar Tablo 12'deki gibidir. En düşük minimum tüm spinal kord dozu tüm planlar için 0 cGy'dir. Tüm spinal kordun aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz S-3BKRT tedavi planında, en yüksek doz ise S-YART1 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama spinal kord dozu S-3BKRT tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama spinal kord dozu S-YART2 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC'e göre spinal kordun aldığı maksimum doz 45 Gy'i geçmemelidir. Reçete edilen doz 30 Gy olduğundan bu koşul spinal kord açısından sorun teşkil etmese de bu koşulu en iyi sağlayan plan S-3BKRT planıdır. Bu tablo'da spinal kordun tamamına bakıldığı için, minimum spinal kord dozu sıfır olan kısımlar da mevcuttur.

Tablo 12: Servikal vertebra için yapılan tedavi planlarında tüm spinal kordun aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Spinal Kord (Minimum)	Spinal Kord (Maksimum)	Spinal Kord (Ortalama)
S-3BKRT	0	3091,0	725,0
S-VMAT1	0	3186,5	776,9
S-VMAT2	0	3206,9	781,8
S-YART1	0	3229,2	787,4
S-YART2	0	3225,1	791,9
S-YART3	0	3210,2	790,6

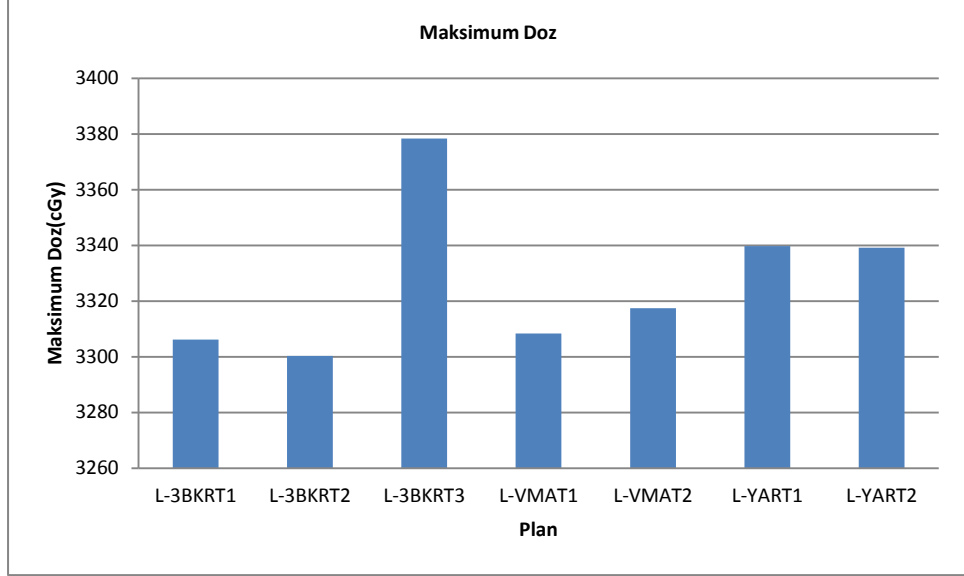
4.1.2 Lomber Vertebra Planlarında Elde Edilen Veriler

Lomber Vertebra için elde edilen veriler Tablo 12'deki gibidir.

Tablo 12: Lomber vertebra CTV dozları

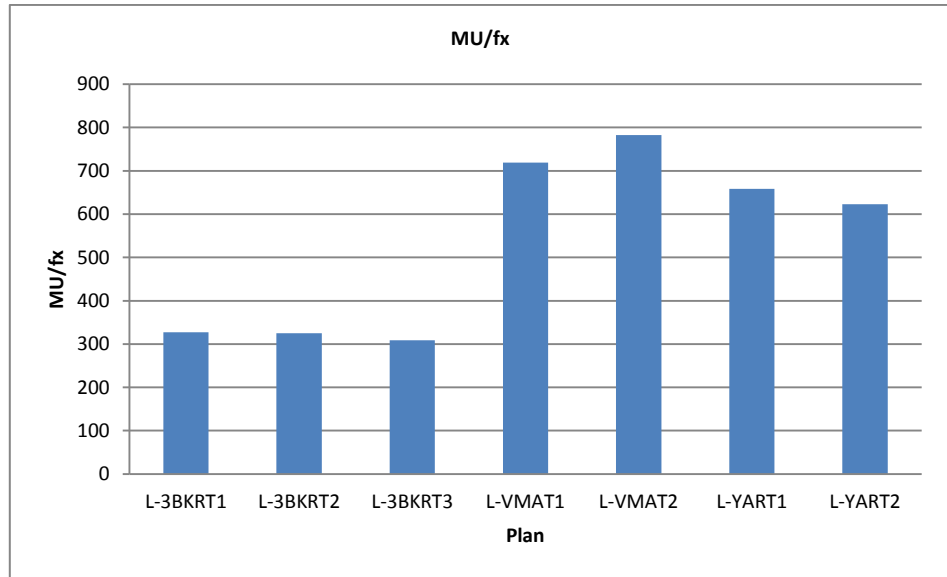
Plan Adı	CTV _{lomber} 2%	CTV _{lomber} 98%	CTV _{lomber} 50%	MU/fx	Plan Maksimum Dozu
L-3BKRT1	3250	2960	3100	327,6	3306,2
L-3BKRT2	3240	2900	3080	325	3300,3
L-3BKRT3	3350	2950	3180	308,5	3378,4
L-VMAT1	3205,8	3028,4	3113,8	729,93	3312,2
L-VMAT2	3200	3038,3	3117	797,73	3314,5
L-YART1	3218,5	3013	3116,6	657,99	3339,8
L-YART2	3203,7	3008,8	3102,8	623,02	3339,2

Lomber vertebra için çizilen CTV dozlarına bakıldığında, yüzde ikisinin aldığı en yüksek doz L-3BKRT3 planı ile elde edilirken, en düşük doz L-VMAT2 planı ile elde edilmiştir. Yüzde doksan sekizinin aldığı doza bakıldığında ise en yüksek CTV dozu L-VMAT2 planı ile elde edilirken, en düşük doz, L-3BKRT2 planı ile elde edilmiştir. CTV'nin yüzde ellisinin aldığı doza bakıldığında ise en yüksek doz L-3BKRT3 ile elde edilirken, en düşük doz L-3BKRT2 planı ile elde edilmiştir.



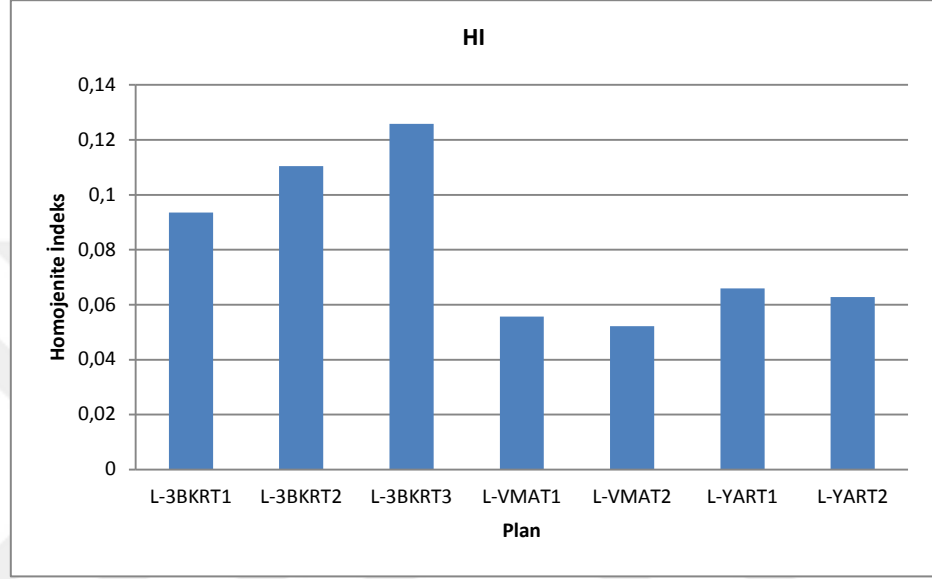
Grafik5: Lomber Vertebra için hesaplanan tedavi planları için maksimum doz grafiği

Hesaplanan tedavi planlarında maksimum doz L-3BKRT1 planında 33,06 Gy, L-3BKRT planında 30,00 Gy, L-3BKRT3 planında 33,78Gy, L-VMAT1 planında 33,12 Gy, L-VMAT2 planında 33,14 Gy, L-YART1 planında 33,39 Gy ve L-YART2 planında 33,39 Gy'dir. Optimal plan elde edilirken en yüksek maksimum plan dozu L-3BKRT3 planında görülürken, en düşük maksimum plan dozu L-3BKRT2 planında görülmüştür (Grafik5).



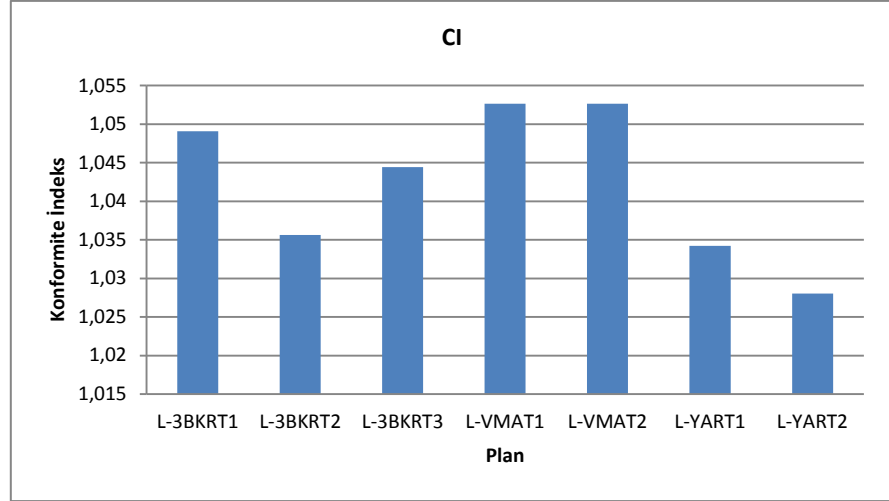
Grafik6: Lomber Vertebra için hesaplanan tedavi planları için toplam MU/fx grafiği

Lomber vertebra için yapılan tedavi planlarında fraksiyon başına MU değerleri L-3BKRT1 tedavi planında 327, L-3BKRT2 tedavi planında 325, L-3BKRT3 tedavi planında 308, L-VMAT1 planında 729, L-VMAT2 planında 797, L-IMRT1 planında 657 ve L-IMRT2 planında 623'tür. Optimal plan elde edilirken en yüksek fraksiyon başına MU değeri L-VMAT2 planında görülürken, en düşük maksimum plan dozu L-3BKRT3 tedavi planında görülmüştür (Grafik6).



Grafik7: Lomber Vertebra için hesaplanan tedavi planlarında elde edilen Homojenite katsayısı grafiği

Hesaplanan tedavi planlarında HI, L-3BKRT1 planında 0,09, L-3BKRT2 planında 0,11, L-3BKRT3 planında 0,12, L-VMAT1 ve L-VMAT2 planlarında 0,05, L-YART1 ve L-YART2 planlarında ise 0,06 olarak hesaplanmıştır. İdeal olan HI değeri 0'dır. Optimal plan elde edilirken en yüksek HI değeri L-3BKRT3 planında görülürken, en düşük HI değeri ise L-VMAT1 ve L-VMAT2 planlarında görülmüştür (Grafik7).



Grafik8: Lomber Vertebra için hesaplanan tedavi planlarında elde edilen Konformite katsayısı grafiği

Hesaplanan tedavi planlarında CI, L-3BKRT1 ve L-3BKRT3 planlarında 1,04, L-3BKRT2 ve L-YART1 planlarında 1,03, L-VMAT1 ve L-VMAT2 planlarında 1,048, L-YART2 planının da ise 1,02 olarak hesaplanmıştır. İdeal olan CI değeri 1'dir. Optimal plan elde edilirken en yüksek CI değeri L-VMAT1 ve L-VMAT2 planlarında görülürken, en düşük CI değeri ise L-YART2 planında görülmüştür (Grafik 8).

Lomber vertebraya ait tedavi planlarında sol böbreğin aldığı dozlar Tablo 13'teki gibidir. En düşük minimum sol böbrek dozu L-3BKRT3 tedavi planında, en yüksek minimum sol böbrek dozu ise L-VMAT2 tedavi planında görülür. Sol böbreğin aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz L-3BKRT2 tedavi planında, en yüksek doz ise L-VMAT2 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama sol böbrek dozu L-3BKRT2 tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama sol böbrek dozu L-YART2 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC doz sınırlarına göre böbrek doz sınırlamaları V_{12} 'si %55'ten az, V_{18} 'i %35'ten az ve V_{20} 'si ise %25'ten az olmalıdır. Tüm planların V_{12} 'si %55'in altındadır ve en düşük hacim yüzdesi L-3BKRT2 planında, en yüksek hacim yüzdesi ise L-YART2 tedavi planında görülmektedir. Tüm planların V_{18} 'i %35'in altındadır ve 18 Gy alan en düşük hacim yüzdesi L-3BKRT2 planında, en yüksek hacim yüzdesi ise yine L-YART2 tedavi planında görülmektedir. Yine tüm planların V_{20} 'si %25'in altındadır ve 20 Gy alan en düşük hacim yüzdesi L-3BKRT2 planında, en yüksek hacim yüzdesi ise tekrar L-YART2 tedavi planında görülmektedir. Sol böbreğin aldığı

dozlara bakılırsa QUANTEC’te belirtilen koşulları en iyi sağlayan plan L-3BKRT2 tedavi planıdır.

Tablo 13: Sol böbreğin aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Sol Böbrek (Minimum)	Sol Böbrek (Maksimum)	Sol Böbrek (Ortalama)	Sol Böbrek (V_{12})	Sol Böbrek (V_{18})	Sol Böbrek (V_{20})
L-3BKRT1	111	3082	713	22,18	15,21	13
L-3BKRT2	106	3040*	636*	19,69*	12,03*	9,61*
L-3BKRT3	92*	3082	853	28,5	17,08	14,14
L-VMAT1	363,6	3041,8	1277,4	45,17	17,92	13,35
L-VMAT2	445,9	3124,8	1169,7	37,61	15,99	12,601
L-YART1	303,6	3074,4	1256,6	44,37	19,92	14,64
L-YART2	414,7	3080,6	1300,5	45,87	22,53	17,43

Hesaplanan tedavi planlarında sağ böbreğin aldığı dozlar Tablo 14’te gösterildiği gibidir. En düşük minimum sağ böbrek dozu L-3BKRT3 tedavi planında, en yüksek minimum sağ böbrek dozu ise L-VMAT2 tedavi planında görülür. Sağ böbreğin aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz L-YART1 tedavi planında, en yüksek doz ise L-3BKRT1 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama sol böbrek dozu L-3BKRT2 tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama sol böbrek dozu L-VMAT2 tedavi planında görülmektedir. Sağ böbrek için tüm planların V_{12} ’si %55’in altındadır ve en düşük hacim yüzdesi L-3BKRT2 planında, en yüksek hacim yüzdesi ise L-VMAT2 tedavi planında görülmektedir. Tüm planların V_{18} ’i %35’in altındadır ve 18 Gy alan en düşük hacim yüzdesi L-YART1 planında, en yüksek hacim yüzdesi ise L-3BKRT1 tedavi planında görülmektedir. Yine tüm planların V_{20} ’si %25’in altındadır ve 20 Gy alan en düşük hacim yüzdesi L-YART1 planında, en yüksek hacim yüzdesi ise L-3BKRT1 tedavi planında görülmektedir. Sol böbreğin aldığı dozlara bakılırsa QUANTEC’in koşullarını en iyi sağlayan planlar L-3BKRT2 ve L-YART1 tedavi planlarıdır.

Tablo 14: Sağ böbreğin aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Sağ Böbrek (Minimum)	Sağ Böbrek (Maksimum)	Sağ Böbrek (Ortalama)	Sağ Böbrek (V ₁₂)	Sağ Böbrek (V ₁₈)	Sağ Böbrek (V ₂₀)
L-3BKRT1	114	3060	769	24,61	16,92	14,5
L-3BKRT2	108	2979	637	19,47	11,74	9,38
L-3BKRT3	95	2931	890	29,67	12,38	8,51
L-VMAT1	371,9	2982	1133,3	33,97	16,15	12,07
L-VMAT2	443,3	3040,9	1156	36,68	16,53	12,44
L-YART1	266,5	2894	910,4	23,46	10,24	7,27
L-YART2	226,6	2920,5	930,9	27,65	13,4	9,94

Lomber vertebraya ait tedavi planlarında karaciğerin aldığı dozlar Tablo 15'teki gibidir. En düşük minimum karaciğer dozu L-3BKRT3 tedavi planında, en yüksek minimum karaciğer dozu ise L-YART2 tedavi planında görülür. Karaciğerin aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz L-3BKRT3 tedavi planında, en yüksek doz ise L-3BKRT1 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama karaciğer dozu L-YART2 tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama karaciğer dozu L-3BKRT1 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC doz sınırlarına göre karaciğer sınırlamaları V₂₀'si %60'tan az olmalıdır. Tüm planların V₂₀'si %60'ın altındadır ve 20 Gy alan en düşük hacim yüzdesi L-YART2 planında, en yüksek hacim yüzdesi ise L-3BKRT3 tedavi planında görülmektedir. Karaciğerin aldığı dozlara bakılırsa QUANTEC'te belirtilen koşulları en iyi sağlayan plan L-YART2 tedavi planıdır.

Tablo 15: Karaciğerin aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Karaciğer (Minimum)	Karaciğer (Maksimum)	Karaciğer (Ortalama)	Karaciğer (V ₂₀)
L-3BKRT1	15	3076	537	13,14
L-3BKRT2	14	3044	462	9,61
L-3BKRT3	12	2907	557	9
L-VMAT1	23,5	2935,7	454,4	0,7
L-VMAT2	22,5	2973,6	465,3	0,57
L-YART1	24,1	3000,2	452,4	0,66
L-YART2	27,9	3000,8	403	0,33

Lomber vertebra tedavi planlamalarında, lomber bölgedeki spinal kordun aldığı dozlar Tablo 16'deki gibidir. Elde edilen verilere göre en yüksek minimum spinal kord dozu L-3BKRT3 tedavi planında, en düşük minimum spinal kord dozu L-YART2 tedavi planında görülmüştür. En yüksek maksimum spinal kord dozu L-3BKRT3 tedavi planında, en düşük maksimum spinal kord dozu ise L-3BKRT2 tedavi planında görülmüştür. Ortalama spinal kord dozu ise en yüksek yine L-3BKRT3 tedavi planında, en düşük ortalama spinal kord dozu ise L-3BKRT2 tedavi planında elde edilmiştir.

Tablo 16: Lomber bölgedeki spinal kordun aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	Spinal Kord (Minimum)	Spinal Kord (Maksimum)	Spinal Kord (Ortalama)
L-3BKRT1	3023	3212	3117
L-3BKRT2	2984	3199*	3102*
L-3BKRT3	3105	3339	3224
L-VMAT1	2995.3	3220.3	3119.5
L-VMAT2	3008.1	3243	3145
L-YART1	2974	3285.2	3143.7
L-YART2	2961.9*	3282.5	3128.5

Lomber vertebraya ait tedavi planlarında tüm spinal kordun aldığı dozlar Tablo 17'deki gibidir. En düşük minimum spinal kord dozu tüm tedavi planında eşittir. Spinal kordun aldığı maksimum dozlara bakıldığında ise en düşük doz L-3BKRT2 tedavi planında, en yüksek doz ise L-3BKRT3 tedavi planında görülmüştür. En düşük ortalama spinal kord dozu L-YART2 tedavi planı ile sağlanırken en yüksek ortalama spinal kord dozu L-3BKRT3 tedavi planında görülmektedir. QUANTEC doz sınırlarına göre spinal kordun aldığı maksimum doz 45 Gy'i geçmemelidir. Spinal kordun aldığı dozlara bakılırsa QUANTEC'te belirtilen koşulları en iyi sağlayan plan L-3B-KRT2 tedavi planıdır.

Tablo 17: Lomber vertebra için yapılan tedavi planlarında tüm spinal kordun aldığı dozlar (cGy)

Plan Adı	SpinalKord(Minimum)	SpinalKord (Maksimum)	Spinal Kord (Ortalama)
L-3BKRT1	0	3209	1111
L-3BKRT2	0	3196*	1082
L-3BKRT3	0	3338	1144
L-VMAT1	0	3259,8	1032,9*
L-VMAT2	0	3276,3	1038
L-YART1	0	3310,1	1043
L-YART2	0	3282,5	1032,5

4.1.3 Spinal Kordun Tedavi Bölgesinden Çıkarılmasıyla Hesaplanan YART ve VMAT Tedavi Planlarından Elde Edilen Sonuçlar

Tablo 18: Servikal vertebra VMAT ve YART planlarında CTV_{sc} dozları (cGy) ve plan dozları

Plan Adı	CTV _{sc} (2%)	CTV _{sc} (98%)	CTV _{sc} (50%)	CTV _{sc} (95%)	Maksimum Plan Dozu	MU/fx
S-VMAT _{sc}	3321,2	2842,5	3166,7	2922	3435,6	646,37
S-YART _{sc}	3291,6	2766,5	3111,2	2845,8	3404,9	525,33

Servikal vertebra için çizilen CTV_{sc} dozlarına bakıldığında, yüzde ikisinin aldığı en yüksek doz S-VMAT_{sc} tedavi planında 33,21 Gy iken, S-YART_{sc} tedavi planında 32,92 Gy'dir. Yüzde doksan sekizinin aldığı doza bakıldığında ise S-VMAT_{sc} tedavi planında 28,42 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 27,66 Gy'dir. CTV_{sc}'nin yüzde ellisinin aldığı doza bakıldığında ise S-VMAT_{sc} tedavi planında 31,66 Gy ve S-YART_{sc} tedavi planında 31,11 Gy'dir. CTV_{sc}'nin yüzde doksan beşinin aldığı dozlara bakıldığında ise S-VMAT_{sc} tedavi planında 29,22 Gy iken, S-YART_{sc} tedavi planında 28,45 Gy'dir. Maksimum plan dozu S-VMAT_{sc} tedavi planında 34,35 Gy ve S-YART_{sc} tedavi planında 34,04 Gy'dir. Fraksiyon başına MU değeri ise S-VMAT_{sc} tedavi planında 646 ve S-YART_{sc} tedavi planında 525'tir (Tablo 18).

Tablo 19: Servikal vertebra VMAT ve YART planlarında riskli organların aldığı dozlar (cGy)

	Plan Adı	Minimum	Maksimum	Ortalama
Tiroid	S-VMAT _{sc}	770	3080,6	1919,9
	S-YART _{sc}	1282	3143,3	2120
Larenks	S-VMAT _{sc}	1896,9	3435,6	2853,8
	S-YART _{sc}	1917	3287,5	2831,2
Oral kavite	S-VMAT _{sc}	1009,6	2176,5	1525,9
	S-YART _{sc}	649,9	2173,4	1289,7
Mandibula	S-VMAT _{sc}	680,6	2855,6	1329,9
	S-YART _{sc}	449,4	2735,7	1235,7
Beyin Sapı	S-VMAT _{sc}	84,6	3213,3	818,9
	S-YART _{sc}	102,6	3195,9	870,7
Tüm Spinal Kord	S-VMAT _{sc}	0	2836,9	614,7
	S-YART _{sc}	0	2908,8	639,7
Servikal Bölgedeki	S-VMAT _{sc}	2079,4	2840,1	2585,3
Spinal Kord	S-YART _{sc}	2395,8	2913,5	2682

Spinal kordun tedavi bölgesinden çıkarılmasıyla servikal vertebra için hesaplanan YART ve VMAT tedavi planlarında riskli organ dozları Tablo 19'daki gibidir. Yapılan bu iki tedavi planlamalarında riskli organların aldığı dozlar doz limitlerinin altındadır.

Tiroidin aldığı minimum doz S-VMAT_{sc} tedavi planında 7,7 Gy iken, S-YART_{sc} tedavi planında 12,82 Gy'dir. Tiroid maksimum dozu S-VMAT_{sc} planında 30,80 Gy ve S-YART_{sc} tedavi planında 31,43 Gy'dir. Ortalama tiroid dozu ise S-MAT_{sc} tedavi planında 19,19 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 21,20 Gy'dir.

Lareksin aldığı dozlara bakıldığında minimum doz S-VMAT_{sc} tedavi planında 18,96 Gy iken, S-YART_{sc} tedavi planında 19,17 Gy'dir. Larenks maksimum dozu S-VMAT_{sc} planında 34,35 Gy ve S-YART_{sc} tedavi planında 32,87 Gy'dir. Ortalama larenks dozu ise S-MAT_{sc} tedavi planında 28,53 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 28,31 Gy'dir.

Oral kavitenin aldığı dozlara bakıldığında minimum doz S-VMAT_{sc} tedavi planında 10,09 Gy iken, S-YART_{sc} tedavi planında 6,49 Gy'dir. Oral kavite maksimum dozu S-VMAT_{sc} planında 21,76 Gy ve S-YART_{sc} tedavi planında 21,73 Gy'dir. Ortalama oral kavite dozu ise S-MAT_{sc} tedavi planında 15,25 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 12,89 Gy'dir.

Mandibulanın aldığı dozlara bakıldığında minimum doz S-VMAT_{sc} tedavi planında 6,80 Gy iken, S-YART_{sc} tedavi planında 4,49 Gy'dir. Mandibula maksimum dozu S-VMAT_{sc} planında 28,55 Gy ve S-YART_{sc} tedavi planında 27,35 Gy'dir. Ortalama mandibula dozu ise S-MAT_{sc} tedavi planında 13,29 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 12,35 Gy'dir.

Beyin sapının aldığı dozlara bakıldığında minimum doz S-VMAT_{sc} tedavi planında 0,84 Gy iken, S-YART_{sc} tedavi planında 1,02 Gy'dir. Beyin sapı maksimum dozu S-VMAT_{sc} planında 32,13 Gy ve S-YART_{sc} tedavi planında 31,95 Gy'dir. Ortalama beyin sapı dozu ise S-MAT_{sc} tedavi planında 8,18 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 8,70 Gy'dir.

Spinal kord dozunu en düşük seviyede tutmak amacıyla hesaplanan bu planlamalarda tüm spinal kord dozuna bakıldığında minimum spinal kord dozu her iki planda da 0'dır. Maksimum spinal kord dozu S-VMAT_{sc} tedavi planında 28,36 Gy ve S-YART_{sc} tedavi planında 29,08 Gy'dir. Ortalama spinal kord dozu ise S-VMAT_{sc} tedavi planında 6,14 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 6,15 Gy'dir.

Servikal bölgedeki spinal kord dozuna bakıldığında minimum spinal kord dozu S-VMAT_{sc} planında 20,79 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 23,95 Gy'dir. Maksimum spinal kord dozu S-VMAT_{sc} tedavi planında 28,40 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 29,13 Gy'dir. Ortalama spinal kord dozu S-VMAT_{sc} tedavi planında 25,85 Gy iken S-YART_{sc} tedavi planında 26,82 Gy'dir.

Tablo 20: Lomber vertebra VMAT ve YART planlarında CTV_{sc} dozları (cGy) ve plan dozları

Plan Adı	CTV _{sc} (2%)	CTV _{sc} (98%)	CTV _{sc} (50%)	CTV _{sc} (95%)	Maksimum Plan Dozu	MU/fx
L-VMAT _{sc}	3253,5	2862,3	3149,6	2947,5	3356,5	789,14
L-YART _{sc}	3221,3	2747	3092,9	2832	3356,8	678,21

Lomber vertebra için çizilen CTV_{sc} dozlarına bakıldığında, yüzde ikisinin aldığı doz L-VMAT_{sc} tedavi planında 32,53 Gy iken, L-YART_{sc} tedavi planında 32,21 Gy'dir. Yüzde doksan sekizinin aldığı doza bakıldığında ise L-VMAT_{sc} tedavi planında 28,62 Gy iken L-YART_{sc} tedavi planında 27,47 Gy'dir. CTV_{sc} 'nin yüzde ellisinin aldığı doza bakıldığında ise L-VMAT_{sc} tedavi planında 31,49 Gy ve L-YART_{sc} tedavi planında 30,92 Gy'dir. CTV_{sc} 'nin yüzde doksan beşinin aldığı dozlara bakıldığında ise L-VMAT_{sc} tedavi planında 29,47 Gy iken, L-YART_{sc} tedavi planında 28,32 Gy'dir. Maksimum plan dozu her iki planda da 33.56 Gy'dir. Fraksiyon başına MU değeri ise L-VMAT_{sc} tedavi planında 787 ve L-YART_{sc} tedavi planında 678'dir (Tablo 19).

Tablo 21: Lomber vertebra VMAT ve YART planlarında karaciğerin aldığı dozlar (cGy)

	Plan Adı	Minimum	Maksimum	Ortalama	V ₂₀
Karaciğer	L-VMAT _{sc}	22,5	3013,9	448,7	0,24
	L-YART _{sc}	30,6	3045,4	392,4	9,47

Karaciğerin aldığı dozlar her iki planda da QUANTEC'te belirtilen doz limitlerine uymaktadır. Fakat L-YART_{sc} tedavi planına kıyasla, L-VMAT_{sc} tedavi planında karaciğerin aldığı dozlar daha düşüktür.

Tablo 22: Lomber vertebra VMAT ve YART planlarında böbreklerin aldığı dozlar (cGy)

	Plan Adı	Minimum	Maksimum	Ortalama	V ₁₂	V ₁₈	V ₂₀
Sol Böbrek	L-VMAT _{sc}	478,5	3036,9	1329,5	52,3	19,58	13,67
	L-YART _{sc}	233,6	3163,8	931,2	27,52	10,77	7,78
Sağ Böbrek	L-VMAT _{sc}	500,5	2962,4	1311	48,37	19,04	13,69
	L-YART _{sc}	237,2	3031,2	945,6	29,5	12,66	9,47

Böbrek dozları her iki planda da QUANTEC verilerine uymaktadır. Her iki böbreğin aldığı dozlar L-YART_{sc} tedavi planında daha düşüktür.

Tablo 23: Lomber vertebra VMAT ve YART planlarında spinal kordun aldığı dozlar (cGy)

	Plan Adı	Minimum	Maksimum	Ortalama
Tüm Spinal Kord	L-VMAT _{sc}	0	3259,9	868,6
	L-YART _{sc}	0	3140,4	868,9
Lomber Bölgedeki Spinal Kord	L-VMAT _{sc}	2353	2930,2	2582,6
	L-YART _{sc}	2314,7	2931,4	2572,9

Spinal kordun tedavi bölgesinden çıkarılmasıyla lomber vertebra için hesaplanan YART ve VMAT tedavi planlarında riskli organ dozları Tablo 21, Tablo 22 ve Tablo 23'teki gibidir.

Tüm spinal kord dozuna bakıldığında minimum spinal kord dozu her iki planda da 0'dır. Maksimum spinal kord dozu L-VMAT_{sc} tedavi planında 32,59 Gy ve L-YART_{sc} tedavi planında 31,40 Gy'dir. Ortalama spinal kord dozu ise her iki tedavi planında 8,68 Gy'dir.

Lomber bölgedeki spinal kord dozuna bakıldığında minimum spinal kord dozu L-VMAT_{sc} planında 23,53 Gy iken L-YART_{sc} tedavi planında 23,14 Gy'dir. Maksimum spinal kord dozu L-VMAT_{sc} tedavi planında 29,30 Gy iken L-YART_{sc} tedavi planında 29,31 Gy'dir. Ortalama spinal kord dozu L-VMAT_{sc} tedavi planında 25,82 Gy iken L-YART_{sc} tedavi planında 25,72 Gy'dir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kanser tedavisindeki gelişmeler sonucu hastaların sağ kalım süresi artmıştır. Uzun izlem süresi içinde metastaz görülme sıklığı da buna bağlı olarak artmaktadır. Son yıllarda tedavi tekniklerindeki gelişmeler ile metastatik vertebra radyoterapisinde çok daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bunun sonucu olarak kısa ve uzun dönemde tedavilere bağlı yan etkilerin neden olduğu morbidite ve mortalite ön plana çıkmıştır. Eski tekniklerin yetersizliklerinin saptanması ve teknolojik gelişmeler sonucunda, hedef volüm içinde daha etkin doz dağılımı sağlanırken, risk altındaki organları daha iyi korumaya yönelik tedaviler uygulanmaya başlanmıştır (Fourney ve ark., 2004).

Çalışma anlaşılabilirliğinin kolay olması amacıyla üç kısma ayrılmıştır;

- Servikal vertebra için hesaplanan tedavi planlarının karşılaştırılması
- Lomber vertebra için hesaplanan tedavi planlarının karşılaştırılması
- CTVsc oluşturularak hesaplanan tedavi planlarının karşılaştırılması

5.1. Servikal Vertebra İçin Hesaplanan Tedavi Planlarının Karşılaştırılması

Yapılan bu çalışmada, hesaplanan servikal vertebra tedavi planlamalarının tamamı, ICRU 50 ve 62 Numara'lı Raporları'nda belirtilen CTV izodoz farklılığı limitlerine uymaktadır (ICRU 1993) (ICRU 1999). Rehman ve arkadaşlarının yaptığı benzer bir çalışmada CTV'nin aldığı doz %90 olduğu görülürken, bizim çalışmamızda da benzerdir (Rehman ve ark., 2014).

Kairn ve diğerlerinin yaptığı çalışmada hesaplanan tedavi planlarında D_{98} değeri 30 Gy'in üzerindedir. D_{2} değeri 33,8 Gy'in altındadır. Medyan dozları ise 31,6 Gy'in üzerindedir (Kairn ve ark., 2016). Çalışmamızda, D_{98} değeri VMAT ve YART tedavi planlarında 30 Gy'e yakındır fakat 3B-KRT tedavi planında 25,5 Gy'dir. D_{2} değeri 31,70 Gy'in üzerindedir. Medyan dozu ise 30,3 Gy'in üzerindedir. D_{2} değeri bakımından en ideal tedavi planı S-YART3, D_{98} değeri bakımından en ideal tedavi planlaması ise S-VMAT1 tedavi planlamasıdır. Medyan dozuna göre ise en ideal tedavi planı S-3BKRT tedavi planıdır ve bu planların homojenite açısından ideal olması beklenir. Daha komplike planlar bu bağlamda

vertebranın belli bölgesine yerleşmiş izole metastazlara ek olarak, ikinci seri radyoterapide alternatif olarak düşünülmelidir. Vertebranın belli bir kısmına yerleşmiş tümörde yan etki oluşturacak organların dozunu düşük tutup, tümöre yüksek dozu vermek amacı ile YART tekniği kullanılabilir.

Yapılan tedavi planlarında fraksiyon başına düşen MU değerinin düşük olması tedavi edilen bölgedeki doku ve organların, radyasyona daha az maruz kalması ve tedavi süresinin kısa olması anlamına gelir. Çalışmadaki tedavi planlarında elde edilen verilere göre fraksiyon başına düşen MU değerleri VMAT ve YART tedavi planlarında benzer olsa da 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planında oldukça düşüktür. Maksimum planlama dozlarının mümkün olduğu kadar düşük olması istenilir (Lubgan ve ark., 2015).

Maksimum planlama dozunun mümkün olduğu kadar düşük olması idealdir. Servikal vertebra için hesaplanan tedavi planlarında maksimum plan dozlarına bakıldığında 32,37 Gy maksimum dozu olan S-YART3 tedavi planı en idealdir. Söz konusu bu ideal duruma en uymayan tedavi planı ise 33,18 Gy ile S-VMAT1 tedavi planıdır. Maksimum planlama dozu genellikle 3B-KRT ve YART teknikleri ile hesaplanan planlamalarda en düşüktür.

Tedavi planlamasında etkin doz dağılımı, uluslararası kabul görmüş raporlara göre homojenite ve konformite indeksleri ile tanımlanır. Homojenite indeks değerinin sıfıra yakın olması ICRU 83 raporuna göre en idealdir. Rehman ve diğerlerinin yaptığı çalışmada homojenite indeks değerine bakıldığında VMAT tekniği ile en homojen tedavi planının elde edildiği gözlemlenmiştir (Rehman ve ark., 2014). Bu çalışmada ise, homojenite indeks değeri, yapılan tedavi planlarından VMAT ve YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında sıfıra en yakındır. 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında ise homojenitenin VMAT ve YART tedavi planlarındaki kadar iyi olmadığı gözlemlenmiştir.

Homojenite indeks değerinin sıfıra yakın olması ICRU 83 raporuna göre en idealdir. Buna göre servikal vertebra için hesaplanan tedavi planlamalarından en ideal homojenite indeksine sahip tedavi planlamaları 0,05 değeri ile S-VMAT1, S-VMAT2, S-YART2 ve S-YART3 planlarında görülmüştür. En ideal olmayan tedavi planlaması ise 0,21 homojenite indeks değeri ile S-3BKRT tedavi planıdır.

Genellikle homojenite indeks değeri, VMAT ve YART teknikleri ile hesaplanan tedavi planlamalarında görülmüştür.

Konformite indeks değeri ICRU 83 raporuna göre en ideal değer birdir. Lee ve diğerlerinin yaptığı kranyospinal radyoterapisinde smartark ve konvensiyonel radyoterapi tekniklerinin karşılaştırılması çalışmasında 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planında daha iyi çıkmış olsa da bu çalışmada konformite indeks değerleri VMAT ve YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında, 3B-KRT tekniğinde elde edilen konformiteye göre daha iyidir (Lee ve ark., 2013). Konformite indeks değeri ICRU 83 raporuna göre en ideal değer 1'dir. Lee ve diğerlerinin yaptığı kranyospinal radyoterapisi çalışmasında smartark ve konvensiyonel radyoterapi tekniklerinin karşılaştırılması çalışmasında ortalama konformite indeksleri 1,22 ve 1,04 olarak hesaplanmıştır (Lee ve ark., 2013). Çalışmamızda hesaplanan tedavi planlarında en ideal konformite indeks değeri S-YART2 tedavi planına ait olmak üzere 0,96'dır. En ideal olmayan değer ise S-3BKRT tedavi planında 0,86 olarak görülür. Servikal vertebra tedavi planlamalarında en ideal konformite indeks değeri VMAT ve YART teknikleri ile hesaplanan tedavi planlamalarında elde edilmiştir.

Kritik organ dozları; servikal vertebra ışınlanmasında spinal kord, tiroid, özefagus, oral kavite ve larenks için çok büyük önem arzetmektedir. Özefagusun dozu, rando fantomun üzerindeki lokalizasyonunun belirlenememesi sebebiyle hesaplanamamıştır. Klasik anatomiye göre korpus vertebranın önünden geçen izodoz eğrilerinin yüksek olmasından dolayı, özefagus dozlarının da yüksek olacağı düşünülmektedir.

QUANTEC'te belirtilen tiroid için doz sınırlamalarına bakıldığında tüm planlar bu sınırlamaya uygunluk göstermektedir. Rehman ve arkadaşlarının torakal vertebra üzerinde yaptığı benzer çalışmada riskli organ dozları en düşük VMAT tekniği ile elde edilmiştir (Rehman ve ark., 2014). Çalışmamızda en uygun tedavi planlaması V_{26} dozuna göre, S-YART3 tedavi planıdır. S-3BKRT ve S-YART2 tedavi planları, S-YART3 tedavi planı ile yakın tiroid dozuna sahiptir. S-YART1, S-VMAT1 ve S-VMAT2 tedavi planlarında elde edilen tiroid V_{26} dozları, QUANTEC doz sınırını ancak sağlamaktadır. YART tedavi planlarında tiroid V_{26} dozunun en iyi sonuç vermesinin nedeni S-YART2 ve S-YART3 tedavi planlarında kullanılan tedavi

alanlarının oluşturulduğu gantri ve kollimatör açılarından kaynaklandığı düşünülmektedir. S-3BKRT tedavi planında ise tedavi alanlarının sağ ve sol laterallerden oluşturulmuş olması, tiroid korumasına imkan sağlamıştır. Larenks dozlarına bakıldığında tüm tedavi planları istenilen doz sınırlamalarını sağlamaktadır. En düşük ortalama doz, S-3BKRT tedavi planı ile elde edilirken, bu sırayı S-VMAT1 ve S-YART1 tedavi planları takip eder. S-VMAT2, S-YART2 ve S-YART3 tedavi planlarında elde edilen ortalama larenks dozlarının ise biraz daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan radyoterapi dozu 30 Gy olsa da, ikinci seri ışınlamalarda veya önceden başka bir tümör sebebi ile radyoterapi almış hastalarda riskli organ dozları özellikle spinal kord dozu önemlidir.

Metastaz tedavisinde fraksiyon dozunun büyük olması sebebi ile yan etkiler radyoterapi tamamlanmadan çıkabilir. Özellikle disfaji ve ciltteki yan etkiler ve sağ kalımı iyi metastatik olgularda fraksiyon dozunun geç yan etkiler açısından önemi unutulmamalıdır. Metastatik olgunun kemoterapi de alabilmesi sebebi ile organ toleransı (myelopati) daha sıkı irdelenmelidir.

Korpus vertebranın önünden geçen izodoz eğrilerinin düşük olması larenks ve özefagus açısından avantajken CTV için dezavantajdır. Bu eğrilerin en düşük olduğu tedavi planı 3B-KRT tedavi planı iken, YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlarını 3-BKRT takip eder. VMAT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında ise en yüksek izodoz eğrileri görülür.

Mandibulanın aldığı maksimum doz sınırlamalarına tüm tedavi planları uymaktadır. En iyi koruma YART tedavi planları ile sağlanırken, en yüksek mandibula dozu 3B-KRT tedavi planında görülmüştür.

Oral kavitenin aldığı dozlar QUANTEC'te belirtilen doz limitlerine göre değerlendirildiğinde, en iyi oral kavite koruması 3B-KRT ile sağlanmıştır. Benzer şekilde YART tedavi planları ile mandibula çok iyi korunurken, oral kavite yapılan tedavi planlarında en iyi korunduğu söylenememektedir.

Tedavi alanında, beyin sapı açısından tümöre 30 Gy verdiğimiz için, QUANTEC verilerine göre, yapılan bu tedavi planlarının hiçbirinin riskli olmadığı söylenebilir. Yani V_{60} değerlerine bakıldığında yüzde sıfır değeri elde edilmiştir. Tüm tedavi planları arasında benzer değerler gözlemlenmiştir.

Sol akciğer dozlarına bakıldığında tüm planlar. V_5 ve V_{20} doz limitini en iyi sağlayan tedavi planı S-3BKRT tedavi planıdır. Elde edilen sonuçlara göre sol akciğerin aldığı dozlar tüm tedavi planlarında riskli olmamakla birlikte S-3BKRT en uygundur.

Sağ akciğerin V_5 ve V_{20} hacimleri tüm tedavi planlarında QUANTEC'te belirtilen limitlerin altındadır. Tüm tedavi planları sağ akciğer açısından bu limitlere uymasıyla birlikte, en iyi sonuç S-3BKRT tedavi planı ile elde edilmiştir.

Servikal vertebra radyoterapisinde spinal kord dozu çok büyük önem arz etmektedir. QUANTEC'te belirtilen doz limitlerine göre spinal kordun aldığı maksimum doz 45 Gy'in altında olması gerekmektedir. Benzer bir çalışma olan Rehman ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada spinal kord dozunun VMAT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Rehman ve ark., 2014). Çalışmamızdaki tüm planlarda reçete edilen doz 45 Gy'in altında olsa da bu doz sınırlamasına en uygun olan tedavi planı S-3BKRT tedavi planı ile elde edilmiştir.

Riskli organ dozları, radyasyonun akut ve stokastik etkilerinden dolayı hasta yaşam kalitesini olumsuz etkilemesi ve tedavi devamlılığına olan etkisi ile ikincil kanser risklerinden dolayı mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Rehman ve arkadaşlarının torakal vertebra üzerinde yaptığı benzer çalışmada riskli organ dozları en düşük VMAT tekniği ile elde edilmiştir (Rehman ve ark., 2014). Torakal ve lomber vertebralarda klasik ön arka alan uygulamasında, alan içinde olan özefagus ve larenks dozunu düşük tutmak zordur. Çalışmamızda servikal vertebra için hesaplanan tedavi planları doz limitlerine uyum sağlamaktadır. En iyi tiroid koruması 3B-KRT ve YART teknikleri ile elde edilirken, tiroid için en iyi koruma 3B-KRT tekniği ile elde edilmiştir. Servikal vertebra radyoterapisinde spinal kord dozu, olası ikinci seri radyoterapi olasılığı yada uygulanması açısından önem arz etmektedir. Kairn ve arkadaşlarının spinal metastazlar için yaptığı çalışmada VMAT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında spinal kord dozu, YART tekniği ile hesaplanan tedavi planındakine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Kairn ve ark., 2016).

Homojenite indeks değerlerine göre VMAT ve YART tekniği ile hesaplanan tedavi planları 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planına üstünlük göstermektedir. Yine konformite indekslerine bakıldığında VMAT ve YART tekniği

ile hesaplanan tedavi planları, 3B-KRT ile hesaplanan tedavi planına üstünlük göstermektedir. Riskli organ dozlarına bakıldığında tüm tedavi planlarında elde edilen veriler QUANTEC'te belirtilen doz limitlerine uymakta olsa da tiroid için en uygun tedavi planları 3B-KRT ve YART teknikleri ile elde edilmiştir. Larenks, oral kavite, spinal kord dozlarına bakıldığında ise en iyi korumanın 3B-KRT ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Fraksiyon başına düşen MU ve maksimum tedavi plan dozu açısından 3B-KRT tekniği diğer tekniklere üstünlük göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre hastanın durumu göz önüne alındığında riskli organlar açısından ve tümörün aldığı dozların öncelik durumuna göre tekniklerden herhangi biri tercih edilebilir. Servikal vertebra radyoterapisinde riskli organlar bakımından 3B-KRT tekniği ile, tümör konformite ve homojenitesi açısından VMAT ve YART teknikleri ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yine de plana genel anlamda baktığımızda ilk seri servikal radyoterapisinde ilk tercih 3B-KRT önerilmektedir.

5.2. Lomber Vertebra Tedavi Planlarının Karşılaştırılması

Hesaplanan lomber vertebra tedavi planlamalarının tamamı ICRU'nun 50 ve 62 Numara'lı raporlarında belirtilen CTV izodoz farklılığı limitlerine uymaktadır.

Lomber vertebra için hesaplanan tedavi planlamalarında CTV'nin $D_{\%2}$ değeri, homojenite hesabı açısından en ideal olan tedavi planı L-VMAT1 tedavi planıdır. $D_{\%98}$ değeri açısından ise en iyi homojenite indeks değerinin L-VMAT2 tedavi planını ile elde edilmesi beklenir. Medyan dozuna göre ise L-3BKRT2 tedavi planı ile en iyi homojenite indeksinin elde edilmesi beklenir.

Fraksiyon başına düşen MU bakımından tedavi planları arasında büyük farklılıklar görülmüştür. 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında görülen fraksiyon başına düşen MU değeri, VMAT ve YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında görülen değerlerin yaklaşık yarısı kadar olduğu gözlemlenmiştir. VMAT tedavi planlarında, YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında görülen fraksiyon başına düşen MU değeri açısından yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tedavi planlarında maksimum dozlara bakıldığında en düşük maksimum doz L-3BKRT1 ve L-3BKRT tedavi planında görülürken, en yüksek maksimum doz L-3BKRT3 tedavi planında görülmüştür. Ayrıca, VMAT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında, YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlarına kıyasla daha düşük maksimum dozlar görülmüştür.

Homojenite indeks değeri, lomber vertebra için hesaplanan tedavi planlarında sifıra yakınlığı açısından en iyi VMAT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında elde edilmiştir. VMAT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarını YART tekniği ile hesaplanan tedavi planları takip eder. En yüksek homojenite indeks değeri L-3BKRT3 tedavi planında hesaplanmıştır. Genellikle lomber vertebra için hesaplanan tedavi planlamalarında homojenite indeks değeri VMAT ve YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlamalarında idealdir.

Lomber vertebra için hesaplanan tüm tedavi planlarında konformite indeks değeri bir değerinin üzerindedir. Konformite indeks değeri bir değerine yakın olması bakımından en iyi YART tekniği ile elde edilen tedavi planlamalarında elde edilmiştir. 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında elde edilen konformite indeks değeri YART tekniği ile elde edilenden genellikle biraz daha yüksektir. VMAT tekniği ile elde edilen konformite indeks değerinin, YART ve 3B-KRT tekniği ile elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu ve 1 değerinden nispeten uzaklaştığı sonucuna varılmıştır. Konformite indeks değeri genellikle YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlamalarında en idealdir.

Kairn ve arkadaşlarının lomber vertebra ile yaptığı çalışmada, sol böbrek dozları VMAT tedavi planında YART'a göre daha düşüktür (Kairn ve ark., 2016). Bizim çalışmamızda da VMAT tekniğinde YART'a kıyasla daha düşük dozlar gözlemlenmiştir. Sol böbreğin aldığı dozlara bakıldığında tüm tedavi planlarının doz limitlerine uygun olduğu görülmektedir. V_{12} , V_{18} ve V_{20} değerlerine bakıldığında, en uygun tedavi planının bu üç değer açısından L-3BKRT2 tedavi planı olduğu görülmüştür. V_{12} değerlerine bakıldığında, VMAT ve YART tedavi planlarında elde edilen değerin, 3B-KRT tedavi planlarında elde edilen değerin yaklaşık iki katı olduğu gözlemlenmiştir. Yine V_{18} değerine bakıldığında 3B-KRT tedavi planlarında elde edilen V_{18} değerinin VMAT ve YART tedavi planlarında elde edilen değere göre düşük olduğu gözlemlenmiştir. V_{20} değerinde ise 3B-KRT, VMAT ve YART tedavi planları arasında çok büyük farklılıkların olmadığı gözlemlenmiştir.

Sağ böbreğin aldığı dozlar, tüm tedavi planlarında literatürde belirtilen sınırların altındadır. En düşük V_{12} değeri, 3B-KRT tedavi planlarında diğer planlama tekniklerinde elde edilen değerlere göre genellikle düşük olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek V_{12} değeri genellikle VMAT tedavi planlarında elde edilmiştir. V_{18} değeri YART tedavi planlarında en düşüktür. V_{20} değeri ise yine YART tedavi planlarında en düşük iken VMAT tedavi planlarında 3B-KRT ve YART tedavi planlarına göre nispeten yüksektir.

Karaciğerin aldığı dozlara bakıldığında tüm tedavi planları V_{20} limit değerinin altındadır. Bu limiti VMAT ve YART teknikleri ile hesaplanan tedavi planları, 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarına göre daha iyi sağlar.

Spinal kordun lomber vertebraya ait tedavi planlarında aldığı dozlar, tüm tedavi planlarında QUANTEC 'te belirtilen koşulları sağlamaktadır. 3B-KRT, VMAT ve YART tedavi planlama yöntemleri ile hesaplanan tüm tedavi planları aşağı yukarı aynı miktarda spinal kord koruması sağlarken, en iyi koruma, L-3BKRT2 tedavi planı ile sağlanmıştır. Fakat L-3BKRT3 tedavi planında en yüksek maksimum spinal kord dozu görülmüştür.

Rehman ve diğerlerinin yaptığı benzer bir çalışmaya göre VMAT tekniği ile hesaplanan tedavi planlamalarında riskli organ dozları ve maksimum plan dozlarının 3B-KRT ve YART tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında elde edilenlere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda hedef hacmi en iyi VMAT tekniğinde dozun sardığı gözlemlenmiştir (Rehman ve ark., 2014). Bizim çalışmamızda ise hedef hacmi sarması bakımından en iyi sonuç YART ve VMAT tedavi planları ile elde edilmiştir. Riskli organ dozları tüm tedavi planlarında QUANTEC'te belirtilen doz limitlerinin altında olsa da teknikler arasında riskli organ dozu bakımından farklılıklar görülmektedir. Maksimum plan dozu genellikle 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında en düşüktür. Fraksiyon başına MU değerine bakıldığında en düşük değer, 3B-KRT tekniği ile hesaplanan tedavi planlarında görülür.

5.3. CTV_{sc} Oluşturularak Hesaplanan Tedavi Planlarının Karşılaştırılması

Monaco Tedavi Planlama Sistemi'nde YART ve VMAT teknikleri ile hesaplama yapmanın bir avantajı vertebra ışınlanması yaparken spinal kordu daha iyi koruyabilmektir (Kairn ve ark., 2016). Bu amaçla spinal kordun tedavi bölgesinden çıkarılmasıyla hesaplanan YART ve VMAT tedavi planlamalarında, 3B-KRT tekniği ile tedavi alanından çıkarmak mümkün olmayan spinal kord için servikal vertebra ve lomber vertebra için ayrıca yeni birer hedef volüm oluşturulmuştur (CTV_{sc}). Yapılan planlamalarda bu hedef volümler kullanılmıştır.

Servikal vertebra için hesaplanan tam ark VMAT tedavi planında tüm spinal kord maksimum dozu spinal kordun CTV_{sc} ile hesaplanan tedavi planında 32,06 Gy'den 28,36 Gy'e düşerken, servikal bölgedeki spinal kord maksimum dozu 32,06 Gy'den 28,40 Gy'e düşmüştür. Servikal bölge için spinal kord dozunu düşük tutmak amacı ile VMAT_{sc} tedavi planı tavsiye edilebilir. Servikal vertebra için hesaplanan YART tedavi planlarında ise 32,25 Gy olan tüm spinal kord maksimum dozu 29,08 Gy'e ve servikal bölgedeki spinal kord maksimum dozu 32,25'ten 29,13 Gy'e düşmüştür. YART tekniği ile spinal kord dozunu düşürmek amacı ile yine spinal kordun CTV'den çıkarılması önerilir.

Servikal bölge için spinal kord dozunu düşük tutmak amacı ile spinal kordun hedef volümden çıkarılması ile hesaplanan VMAT ve YART tedavi planlarında ise, VMAT tekniği, YART tekniğine üstünlük gösterir.

Lomber vertebra için hesaplanan tam ark VMAT tedavi planında tüm spinal kord maksimum dozu spinal kordun CTV_{sc} ile hesaplanan tedavi planlarında değişiklik göstermezken, lomber bölgedeki spinal kord maksimum dozu 32,43 Gy'den 29,30 Gy'e düşmüştür. Lomber bölge için spinal kord dozunu düşük tutmak amacı ile VMAT_{sc} tedavi planı tavsiye edilebilir. Lomber vertebra için hesaplanan YART tedavi planlarında ise tüm spinal kord maksimum dozu 32,82 Gy'den 31,40 Gy'e ve lomber bölgedeki spinal kord maksimum dozu 32,82 Gy'den 29,31 Gy'e düşmüştür. Lomber vertebra ışınlanmasında YART tekniği ile spinal kord dozunu düşürmek amacı ile yine spinal kordun CTV'den çıkarılması önerilir.

Yaptığımız bu çalışmada 3B-KRT tekniği ile en düşük spinal kord maksimum dozu sağlanmış olsa da, spinal kordun planlama hedef hacminden çıkarılması ile elde hesaplanan tam ark VMAT ve yedi ışınlı YART tedavi planlarında spinal kord dozunun daha da düşük tutulabildiği gözlemlenmiştir.



6. KAYNAKLAR

- Arnfield MR, Siebers JV, Kim JO, et al. (2000) Dynamic intensity modulated radiotherapy, *Medical Physics*, 27(10): 2231-41.
- Bhatti P, Veiga LHS (2010) Risk of second primary thyroid cancer after radiotherapy for a childhood cancer in a large cohort study: an update from the childhood cancer survivor study. *Radiation Research Center 174 (6a): 741-752.*
- Boice JD (1985) Second cancers following radiation treatment for cervical cancer. An international collaboration among cancer registries. *Journal of National Cancer Institution 178:357-62.*
- Coşkun M ve Coşkun M (2003), *Biyolojik Dozimetri ve İlgili Gelişmeler, Cerrahpaşa J Med 34: 207-218*
- Çakır A, Bilge H (2012) Çok yapraklı lineer hızlandırıcılarda kolimatör tasarımlarının önemi, *Türk Onkoloji Dergisi 27(1):46-54*
- Çetingöz, R (2012) Kemik Metastazları, *Temel ve Klinik Radyoterapi Kitabı Türk Radyasyon Onkolojisi Derneği s:387.*
- Çetintaş, S (2005) Kemik Metastazlarında Tedavi Algoritması ve Radyoterapi Editörler: ENGIN K, SAĞLIK Y, AYDINLI U, ÇETİNTAŞ S, *Kemik ve Yumuşak Doku Tümörleri, Nobel Matbaacılık, BURSA s: 731.*
- Devita H, Brown HK, Healey JH (2001) *Metastatic Cancer Of The Bone, İn Cancer Principles And Practice Of Oncology. 6th Edition, Lippincott Williams and Wilkins. Houston, Texas, pp: 2655-70.*
- Diñbaş F (2007) İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri Türkiye’de sık rastlanılan hastalıklar 2. Sempozyum dizisi No:58; s:179-186.
- Dorr W, Herrmann T (2002) Secondary primary tumors after radiotherapy for malignancies, treatment-related parameters. *Strahlenther Oncology 178:357-62.*
- Evans MDC (2006) Computerized treatment planning systems for external photon beam radiotherapy. *International Atomic Energy Agency Publication. Montreal, Quebec, Canada s: 387-406.*
- Fourney DR, Gokaslan ZL (2004) Anterior approaches for thoracolumbar metastatic spine tumors. *Neurosurgery Clinic North America 15: 443-451.*
- Gong Y, Wang J, Bai S, et al (2008) Conventionally- fractionated image-guided intensity modulated radiotherapy (IG-IMRT): a safe and effective treatment for cancer spinal metastasis. *Radiation Oncology Bio Med Central 3:11*
- Hall EJ (2006) Intensity-Modulated Radiation Therapy, Protons and The Risk of Second Cancers, *International Journal of Radiation Oncology Biological Physics*, vol. 65, No.1, pp.1-7.
- Hall EJ, Wu CS (2003) Radiation-induced second cancers: the impact of 3D-CRT and IMRT. *Int J Radiat. Oncol. Biol. Phys.56:83-8.*
- ICRU Report 83: Prescribing, Recording, and Recording Photon- Beam Intensity Modulated Arc Therapy, Vol.10, No:1, 2010.

- International Commission on Radiation Units and Measurements ICRU Report 62. Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy (Supplement to ICRU Report 50), ICRU, Bethesda, MD, 1999.
- International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report 50. Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy. Bethesda, MD: ICRU, 1993.
- Kairn T, Papworth D, Crowe SB, et al (2016) Dosimetric quality, accuracy, and deliverability of modulated radiotherapy treatments for spinal metastases. *Medical Dosimetry* 41:258-266.
- Khan FM (2003) *The Physics of Radiation Therapy* 3rd Edition, Lippincott Williams & Wilkins USA p:42-47, 222-224, 235.
- Kurt F (2013) Pankreas Kanserli Hastalarda Klasik 4 Alan Kutu Tekniği, 3 Boyutlu Konformal Radyoterapi Tekniği ve Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi Tekniđinin Dozimetrik Olarak Karşılaştırılması Yüksek Lisans Tezi, sayfa: 23, Bursa.
- Lee YK, Bedford JL, McNair HA et al (2013) Comparison of deliverable IMRT and VMAT for spine metastases using a simultaneous integrated boost *Br J Radiol*; 86:20120466.
- Lubgan D, Ziehaus A (2015) Effective local control of vertebra metastases by simultaneous integrated boost radiotherapy. *Strahlenther Onkol* Mar; 191 (3): 264-71.
- Netter FH (2010) *Atlas of Human Anatomy*, Elsevier, PA, USA 6th Edition p: 142
- Rehman JU, Tailor RC (2014) Evaluations of secondary cancer risk in spine radiotherapy using 3DCRT, IMRT and VMAT: A phantom study. *American Association of Medical Dosimetrists* 40(1):70-5.
- Şahin S, Gürler O, Gözcü T ve diğerleri (2011) Tedavi planlama sisteminde hesaplanan doz dağılımlarının dozimetrik kontrolü. *Türk Onkoloji Dergisi*. Vol:26 No:4
- Uzun A (2014) Kranyospinal Işınlamalarda Volumetrik Ayarlı Ark Tedavi, Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi ve Üç Boyutlu Konformal Radyoterapi Tedavi Planlamalarının Karşılaştırılması Yüksek Lisans Tezi, sayfa 22-23.
- Walther HE, *Krebsmetastasen*. Basel: B. Schwabe & Co. 1948
- Wong DA, Fornasier VL, MacNab I (1990) Spinal metastases: the obvious, the occult, and the impostors. *Spine (Phila Pa 1976)* 15 (1):1-4.
- Yancik R, Ries LA (2000) Aging and cancer in America: Demographic and epidemiologic perspectives. *Hematological Oncology Clinic North America* 14: 17-23.
- Yeşil A (2009) Meme Kanseri Radyoterapisinde 3 Boyutlu Bilgisayarlı Planlama ve Dozimetrik Sürecin Randofantom Üzerinde Termolüminesans Dozimetri ile Kontrolü Yüksek Lisans Tezi, s: 16 Bursa.

7. KISALTMALAR

CCW: Saat yönünün tersinde

CI: Konformite İndeks

CTV: Klinik Hedef Hacim

CW: Saat yönünde

D₉₅: İlgili hacmin %95'inin aldığı doz

D₉₈: İlgili hacmin %98'inin aldığı doz

DVH: Doz Hacim Histogramı

GTV: Görülebilir Hedef Hacim

HI: Homojenite İndeks

MU: Monitor Unit

PTV: Planlanan Hedef Hacim

V₁₂: İlgili hacmin, 12 Gy doz alan yüzdesi

V₁₈: İlgili hacmin, 18 Gy doz alan yüzdesi

V₂₀: İlgili hacmin, 20 Gy doz alan yüzdesi

V₅: İlgili hacmin, 5 Gy doz alan yüzdesi



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



Sayı: 48171802-302.04/2622
Konu: Tez Önerisi (Sonay GEDİK)

02/11/2016

TIP-RADYASYON ONKOLOJİSİ (SAĞLIK FİZİĞİ) ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

İlgi : 25.10.2016 tarihli ve 30934164-302.04/2517 sayılı yazınız.

Anabilim Dalınız Yüksek Lisans programı öğrencisi Sonay GEDİK'in tez proje önerisinin uygun olduğuna ilişkin yönetim kurulu kararı ekte gönderilmiştir.

Bilgilerinizi ve kararın adı geçen öğrenci ile danışmanına tebliğ edilmesi konusunda gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Ülgen GÜNAY
Müdür

Ek :
Yönetim Kurulu Kararı

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENSTİTÜ YÖNETİM KURULU ARA KARARI

OTURUM TARİHİ
01.11.2016

OTURUM SAYISI
2016/27

KARAR NO: 03

Tıp-Radyasyon Onkolojisi (Sağlık Fiziyi) Anabilim Dalı Başkanlığının yüksek lisans öğrencisi Sonay GEDİK'in tez konusuna ilişkin 25.10.2016 gün ve 2517 sayılı yazısı görüşmeye açıldı.

Yapılan görüşmeler sonunda Tıp-Radyasyon Onkolojisi (Sağlık Fiziyi) Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Sonay GEDİK'in "Spin radyoterapisinde 3BRT, YART ve VMAT planlama yöntemlerinin dozimetrik karşılaştırılması" isimli tez önerisinin, U.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 37/2 maddesi uyarınca uygun olduğuna oy birliği ile karar verildi.



8. TEŞEKKÜR

Uludağ Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı'ndaki Sağlık Fiziyoloji Uzmanlığı yüksek lisans eğitimim boyunca bana bilgi ve deneyimleriyle yardımcı olan çok değerli hocam ve tez danışmanım Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Sibel KAHRAMAN ÇETİNTAŞ' a çok teşekkür ediyorum.

Klinik ve teorik anlamda bilgi, tecrübe ve disiplinlerini paylaşmayı esirgemeyen saygıdeğer Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı öğretim üye ve çalışanlarına çok teşekkür ediyorum.

Başta profesyonelliğiyle bana yol gösteren Uzm. Fiz. Sema GÖZCÜ TUNÇ ve klinik, teknik ve sosyal alanlarda oluşabilecek sorunlar karşısında duruşunu bozmayan, çözüm odaklı ve gerektiğinde yol gösterici olan Uzm. Fiz. Ali ALTAY'a, birlikte çalışmaktan keyif aldığım Uzm. Fiz. Arda KAHRAMAN ve Uzm. Fiz. Zenciye KIRAY'a ve dönem arkadaşlarıma çok teşekkür ediyorum.

Akademik anlamda bana her zaman yol gösteren ve sevgisiyle kalbimi ısıtan iyi ki yollarımız kesişti dediğim sevgili ve saygı değer hocam Prof. Dr. A. Filiz BAYTAŞ'a çok teşekkür ediyorum.

Sevgili meslektaşım, kıymetli arkadaşım Uzm. Fiz. Aslıhan UZUN'a çok teşekkür ediyorum.

Tüm hayatım boyunca desteklerini hissettiğim, tercih ve seçtiğim tüm yollara saygı duyan başta ablam Nurdan GEDİK SOLAK ve tüm aileme çok teşekkür ediyorum.

9. ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Hekimhan/MALATYA’da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Hekimhan’da tamamlamıştır. 2007 yılında bir yıl İngilizce Hazırlık Eğitimi’nin ardından Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik (İngilizce) Bölümü’nde lisans eğitimine başlamış, 2012 yılında mezun olmuştur. Ardından İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı’nda birinci yüksek lisans eğitimine başlamış ve 2014 yılında başarıyla tamamlamıştır. Daha sonra 2015 yılında ikinci yüksek lisans eğitimi olacak olan Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Radyasyon Onkolojisi-Sağlık Fiziği Uzmanlığı Yüksek Lisans Programı’nda eğitim görmeye hak kazanmıştır. Bu eğitimi boyunca Uludağ Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı’nda gönüllü olarak çalışmıştır.



TEZ KONTROL ve BEYAN FORMU

03.07.2017

Adı Soyadı: Sonay GEDİK

Anabilim Dalı: Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı

Tez Konusu: Metastatik Vertebra Radyoterapisinde 3B-KRT, YART ve VMAT Planlama Yöntemlerinin Dozimetrik Karşılaştırılması

<u>ÖZELLİKLER</u>	<u>UYGUNDUR</u>	<u>UYGUN DEĞİLDİR</u>	<u>ACIKLAMA</u>
Tezin Boyutları	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Dış Kapak Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
İç Kapak Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kabul Onay Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Sayfa Düzeni	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
İçindekiler Sayfası	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Yazı Karakteri	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Satır Aralıkları	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Başlıklar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Sayfa Numaraları	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Eklerin Yerleştirilmesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tabloların Yerleştirilmesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kaynaklar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

ANABİLİM DALI ONAYI

Ünvanı Adı Soyadı: Doç. Dr. Sibel Kahraman ÇETİNTAŞ

İmza: