

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PROSTAT KANSERİ TEDAVİSİNDE KONVANSİYONEL VE KONFORMAL  
RADYOTERAPİ TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Sinem DALSUNA**

**FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2007**

**Her hakkı saklıdır**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### PROSTAT KANSERİ TEDAVİSİNDE KONVANSİYONEL VE KONFORMAL RADYOTERAPİ TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Sinem DALSUNA

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Doğan BOR  
Eş Danışman: Doç. Dr. Bahar DİRİCAN

Prostat kanseri erkeklerde en sık karşılaşılan kanser türlerinden biridir (Türkiye’ deki oran % 7.53’ tür) . Prostat kanseri tedavisinde radyoterapinin önemli bir yeri vardır. Tedavide kullanılan radyoterapi teknikleri çeşitlidir. Hastalığın evresine bağlı olarak planlanan hedef hacim (PTV) belirlenir. Organların iç hareketleri önemlidir. Hedef hacim için bu iç hareketler de göz önünde bulundurularak emniyet payı verilir. Kullanılan tekniğe bağlı olarak değişen hacimlerde sağlam doku da ışınlanır. Sağlam dokulardaki ışınlamalar hastanın yaşam kalitesini etkileyen sonuçlar doğurabilir. Hedef tümör hacmini en homojen ve en etkin şekilde ışınlarken tümör çevresi normal dokuların radyasyon hasarını en aza indirmek için çeşitli teknikler geliştirilmektedir. Son yıllarda üç boyutlu konformal ve yoğunluk ayarlı radyoterapi teknikleri donanımlı merkezlerde artarak kullanılmaktadır. Türkiye’de üç- boyutlu konformal radyoterapi tekniği yeni uygulanmaya başlanmış bir tekniktir. Bu nedenle bu çalışma önem taşımaktadır.

Bu çalışmada GATA Radyasyon Onkolojisi A.D.’ da 21 prostat kanseri hastası önce özel olarak kestirilmiş düz tahta üzerine yatırılarak tomografi kesitleri alınmıştır. Tedavi planlama sistemine BT kesitleri aktarıldıktan sonra konvansiyonel radyoterapi teknikleri (ön – arka (AP / PA) ve üç bilateral alan tekniği ; box tekniği) ve üç- boyutlu konformal radyoterapi tekniği ile tedavi planlamaları yapılmıştır. Tedavi planlama sisteminde her bir hasta için tüm tekniklerin DVH’ ları çizdirilmiş ve buradan elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Kritik organlar ve hedef organlar % olarak ve Gy cinsinden hesaplanan doz değerlerine göre karşılaştırılmıştır. (Hastalar konformal planlama tekniğine göre tedaviye alınmıştır) . Yapılan çalışma sonucunda kritik organların ve sağlam dokuların daha az doz almasını ve hedef organlarda homojen bir doz dağılımı sağlamak için üç- boyutlu konformal planlama tekniğinin konvansiyonel tekniklere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

**2007, 76 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Prostat kanseri, prostat radyoterapisi, konformal radyoterapi

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **COMPARISON OF CONVENTIONAL AND CONFORMAL RADIOTHERAPY TECHNIQUES IN PROSTATE CANCER TREATMENT**

Sinem DALSUNA

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Doğan BOR  
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bahar DİRİCAN

Prostate cancer is one of the most probable detected type in males (its ratio is 7.53 % in Turkey) . There is an important role of radiotherapy in prostate cancer therapy. There are various radiotherapy techniques in therapy. According to phase of cancer, planning target volume (PTV) is determined. Internal movements of organs are important. For PTV, regarding of these internal movements a margin is given. Related to the using technique, healthy tissue is also exposed with different volumes. The patient's life quality can be affected by these healthy tissue exposures. Several techniques are being developed to reduce radiation detriment of normal tissue around tumor with homogen and effective irradiating of target tumor volume. 3D conformal and intensity modulated radiotherapy techniques are to be used at qualified facilities, in recent years. In Turkey, 3D Conformal Radiotherapy technique is new applicable. That's why this thesis is important.

In this study, at The GATA Radiation Oncology A.D. , 21 prostate cancer patient was lied on special straight cuttec board and tomography scans were taken. After transferring BT scans to Treatment Planning System (TPS), treatment plannings done with conventional radiotherapy techniques (anterior-posterior (AP/ PA) and three bilateral field technique) and 3D conformal radiotherapy technique. For every patient, DVH' s were plotted on TPS and determined results from these DVH' s were analysed. Critic organs and target organs were compared as percentage and Gy type according to computed dose values (Patients were treated according to conformal planning technique) . As a result of this study, to provide less dose delivering of critic organs and healthy tissues and homogen dose distribution of target organs, its determined that conformal planning technique is better than conventional technique.

**2007, 76 pages**

**Key Words:** Prostate cancer, prostate radiotherapy, conformal radiotherapy

## TEŞEKKÜR

Değerli bilgileriyle uzun zaman beni bilgilendiren, buraya gelmemde büyük emeği olan, birlikte çalışmaktan gurur duyduğum danışman hocam sayın Prof. Dr. Doğan BOR' a, çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen, desteğini her zaman hissettiren, kendime güvenmemi sağlayan, çalıştığı kurumda tez çalışmalarımı yapmamı ve mesleki tecrübe edinmemi sağlayan kıymetli eş danışman hocam sayın Doç. Dr. Bahar DİRİCAN' a, fizik mühendisi olarak yetişmemde emeği geçen Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği' ndeki değerli hocalarıma, bana her zaman destek olan, tez çalışmalarımı yaptığım GATA Radyasyon Onkolojisi A.D. başkanı sayın Doç. Dr. Murat Beyzadeoğlu' na, tedavi planlama sisteminde planlama yapmama yardımcı olan Dr. Serdar SÜRENKÖK' e, Dr. Cüneyt ULUTİN' e ve Dr. Kaan OYSUL' a, tez çalışmalarım boyunca bana her şekilde destek olan Fiz. Müh. Yelda ELÇİM KAHYA ve Fiz Müh. Esin ÜLGEN GÜNDEM' e, GATA Radyasyon Onkolojisi A.D' de görev yapan teknikerlerden Kadriye DEVELİ' ye, Gülçin YILDIZ' a, Murat DIRAZ, Mutlu YILMAZ' a, Ayhan KUTLU' ya ve GATA Radyasyon Onkolojisi A.D' da çalışan diğer tüm personele, bana varlıklarıyla destek olan M. Boran GÜNGÖR'e ve Tuğba ERÇETİN' e, her şeyden önemlisi beni bu günlere getiren, her şeyi başarabileceğime her zaman inanan ve beni inandıran annem Hatice DALSUNA, babam M. Sinan DALSUNA ve abim M. Cem DALSUNA' ya, adını yazmayı unuttuğum ve hayatımın bu aşamasına gelmemde payı olan herkese sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Sinem DALSUNA  
Ankara, Mayıs 2007

## İÇİNDEKİLER

|                                                                |      |
|----------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET.....                                                      | i    |
| ABSTARCAT.....                                                 | ii   |
| TEŞEKKÜR.....                                                  | iii  |
| SİMGELER DİZİNİ.....                                           | v    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                           | vii  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                         | viii |
| 1. GİRİŞ.....                                                  | 1    |
| 2. KURAMASAL TEMELLER.....                                     | 4    |
| 2.1 Kanser.....                                                | 4    |
| 2.2 Prostat Kanseri.....                                       | 4    |
| 2.2.1 Prostat kanseri için risk faktörleri.....                | 4    |
| 2.2.1.1 Yaş.....                                               | 4    |
| 2.2.1.2 Irk.....                                               | 5    |
| 2.2.1.3 Diyet.....                                             | 5    |
| 2.2.1.4 Ailesel yatkınlık.....                                 | 5    |
| 2.2.1.5 Kimyasal maddeler.....                                 | 5    |
| 2.2.2 Hastalığın oluşumu.....                                  | 6    |
| 2.2.3 Hastalığın belirtileri.....                              | 6    |
| 2.2.4 Hastalığın tanısı.....                                   | 7    |
| 2.2.5 Hastalığın evrelemesi.....                               | 7    |
| 2.3 Prostat Kanseri Tedavisinde Hedef Organlar.....            | 9    |
| 2.3.1 Prostat .....                                            | 9    |
| 2.3.2 Seminal veziküller.....                                  | 11   |
| 2.4 Prostat Kanseri Tedavisinde Kritik Organlar.....           | 11   |
| 2.4.1 Mesane.....                                              | 11   |
| 2.4.2 Rektum.....                                              | 12   |
| 2.5 Teşhis ve Tedavi.....                                      | 13   |
| 2.5.1 Akut radyasyon etkileri.....                             | 13   |
| 2.5.2 Subakut radyasyon etkileri.....                          | 13   |
| 2.5.3 Geç radyasyon etkileri.....                              | 13   |
| 2.6 Prostat Kanseri Tedavisinde Radyoterapi Doz Değerleri..... | 14   |
| 2.7 Teşhiste Kullanılan Cihazlar.....                          | 15   |
| 2.7.1 Bilgisayarlı tomografi ( BT ).....                       | 15   |
| 2.7.2 Manyetik rezonans görüntüleme ( MRG ).....               | 17   |
| 2.7.3 Ultrason .....                                           | 19   |
| 2.8 Tedavi Planlama İşlemi.....                                | 19   |
| 2.8.1 Görüntü kaydı.....                                       | 21   |
| 2.8.2 Kesitlerin görüntülenmesi.....                           | 22   |
| 2.8.3 Alan boyutlarının ayarlanması.....                       | 22   |
| 2.8.4 Alan çeşitliliği ve kolimasyon.....                      | 23   |
| 2.8.5 Plan optimizasyonu ve değerlendirilmesi.....             | 24   |
| 2.8.5.1 Derin doz yüzdesi (%DD).....                           | 24   |
| 2.8.5.2 İzodoz eğrileri .....                                  | 28   |
| 2.8.5.3 Doz- hacim histogramları.....                          | 30   |
| 2.8.5.4 Hacim kavramları.....                                  | 32   |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.8.6 Merkezi kesit görüntüsü.....                                       | 34 |
| 2.9 Tedavide Kullanılan Cihazlar.....                                    | 36 |
| 2.9.1 Tedavi Planlama Sistemi ( TPS ).....                               | 36 |
| 2.9.2 Simülatör cihazı.....                                              | 37 |
| 2.9.3 Lineer hızlandırıcı tedavi cihazları.....                          | 38 |
| 3. MATERİYAL VE YÖNTEM.....                                              | 45 |
| 3.1 Materyaller.....                                                     | 45 |
| 3.1.1 Philips SL 25 lineer hızlandırıcı cihazı.....                      | 45 |
| 3.1.2 Mecaserto simülatör cihazı.....                                    | 46 |
| 3.1.3 Theraplan Plus 2000 tedavi planlama sistemi.....                   | 46 |
| 3.2 Yöntem.....                                                          | 46 |
| 3.2.1 Konvansiyonel eksternal – demet radyasyon terapisi teknikleri..... | 46 |
| 3.2.1.1 Ön – arka ( AP / PA ) ve üç bilateral alan tekniği.....          | 48 |
| 3.2.1.2 Box tekniği.....                                                 | 50 |
| 3.2.2 Konformal radyasyon terapisi teknikleri.....                       | 50 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....                                              | 54 |
| 4.1 Ön – Arka ( AP / PA ) ve Üç Bilateral Alan Tekniği.....              | 54 |
| 4.2 Box Tekniği.....                                                     | 56 |
| 4.3 Konformal Radyasyon Terapisi Teknikleri.....                         | 60 |
| 4.4 Planlama Tekniklerinin Karşılaştırılması.....                        | 68 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....                                                | 72 |
| KAYNAKLAR.....                                                           | 75 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                            | 77 |

## SİMGELER DİZİNİ

|                    |                                               |
|--------------------|-----------------------------------------------|
| AJC                | Amerikan Evreleme Komitesi                    |
| AP                 | Ön- Arka                                      |
| BEV                | Demet Gözünden Bakış                          |
| BT                 | Bilgisayarlı Tomografi                        |
| CTV                | Klinik Hedef Hacim                            |
| DRRs               | Yeniden Yapılandırılmış Dijital Radyografiler |
| DVH                | Doz- Hacim Histogramı                         |
| F                  | Myneord Faktörü                               |
| fMRG               | Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme     |
| GTV                | Görüntülenebilir Hedef Hacmi                  |
| Gy                 | Gray (Joule / kg)                             |
| H                  | Hounsfield numarası (BT numarası)             |
| ICRU               | Uluslararası Radyasyon Ölçüm Komisyonu        |
| IV                 | Işınlanan Hacim                               |
| MLC                | Multilif Kolimatör                            |
| MRG                | Manyetik Rezonans Görüntüleme                 |
| MSS                | Merkezi Sinir Sistemi                         |
| MU                 | Monitör Birimi                                |
| MV                 | Mega Volt                                     |
| NTCP               | Normal Doku Komplikasyon Olasılığı            |
| OR                 | Riskli Organ                                  |
| PA                 | Arka- Ön                                      |
| PET                | Pozitron Soğurmalı Tomografi                  |
| PTV                | Planlanan Hedef Hacim                         |
| SAR                | Saçılan- Hava Oranı                           |
| SPECT              | Tek Foton Soğurmalı Tomografi                 |
| SSD                | Kaynak – Cilt Mesafesi                        |
| TAR                | Doku- Hava Oranı                              |
| TCP                | Tümör Kontrol Olasılığı                       |
| TD <sub>5/5</sub>  | Minimum Tolerans Dozu                         |
| TD <sub>50/5</sub> | Maksimum Tolerans Dozu                        |
| TMR                | Doku- Maksimum Oranı                          |
| TPS                | Tedavi Planlama Sistemi                       |
| TV                 | Tedavi Hacmi                                  |
| US                 | Ultrason                                      |
| % DD               | Derin Doz Yüzdesi                             |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|            |                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | Prostat ve komşu organların yandan görünümü.....                                                                                                                                                                     | 10 |
| Şekil 2.2  | Bir prostat hastasının ışın alanının sağ demetten BEV görüntüsü.....                                                                                                                                                 | 20 |
| Şekil 2.3  | % DD' un bulunuşu.....                                                                                                                                                                                               | 25 |
| Şekil 2.4  | Çeşitli ışınların merkezi eksen derin doz eğrileri.....                                                                                                                                                              | 26 |
| Şekil 2.5  | 10 x 10 alanda a. 7 MeV, b. 12 MeV, c. 18 MeV elektron enerjileri için izodoz dağılımları.....                                                                                                                       | 29 |
| Şekil 2.6  | Prostat ışınlaması yapılan bir hastadaki prostat ve rektumun aldığı dozun diferansiyel DVH gösterimi.....                                                                                                            | 31 |
| Şekil 2.7  | Prostat ışınlaması yapılan bir hastadaki prostatın ve rektumun aldığı dozun kümülatif DVH gösterimi.....                                                                                                             | 31 |
| Şekil 2.8  | ICRU' ya göre hacim gösterimleri.....                                                                                                                                                                                | 33 |
| Şekil 2.9  | Üç- boyutlu planlaması yapılan bir prostat hastasının merkezi kesit görüntüsü.....                                                                                                                                   | 35 |
| Şekil 2.10 | Üç- boyutlu (alttan) görüntü.....                                                                                                                                                                                    | 35 |
| Şekil 2.11 | Lineer hızlandırıcının şematik gösterimi.....                                                                                                                                                                        | 40 |
| Şekil 2.12 | Elekta SL 25 Lineer hızlandırıcı cihazı .....                                                                                                                                                                        | 41 |
| Şekil 2.13 | Multilif kolimatör sisteminin dışardan görünüşü .....                                                                                                                                                                | 42 |
| Şekil 2.14 | Lineer hızlandırıcının x- ışını tedavisi için kullanımı.....                                                                                                                                                         | 43 |
| Şekil 2.15 | Lineer hızlandırıcının elektron tedavisi için kullanımı .....                                                                                                                                                        | 44 |
| Şekil 2.16 | Lineer hızlandırıcı diyagramı .....                                                                                                                                                                                  | 44 |
| Şekil 3.1  | 7 alanlı konformal planlamadan bir kesit görüntüsü.....                                                                                                                                                              | 53 |
| Şekil 4.1  | Box tekniği ile yapılmış bir tedavi planlamasına ait merkezi kesit görüntüsü.....                                                                                                                                    | 58 |
| Şekil 4.2  | Konformal teknikle yapılmış bir tedavi planlamasına ait merkezi kesit görüntüsü.....                                                                                                                                 | 67 |
| Şekil 4.3  | Konformal planlama sonucu oluşturulan 3- boyutlu görüntüler (a) hedef organların izodoza sardırılmış görüntüsü , (b) rektum ve mesane için oluşturulmuş korumalı alanlarının da gösterildiği üç boyutlu görüntü..... | 67 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|             |                                                                                                                                                     |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 | Prostat karsinoma İçin evreleme sistemi.....                                                                                                        | 8  |
| Çizelge 3.1 | AP / PA ve üç bilateral alan tekniğine göre alan boyutları, uygulanan teknik ve tümör dozları.....                                                  | 48 |
| Çizelge 3.2 | Prostat kanseri evrelemesi.....                                                                                                                     | 49 |
| Çizelge 4.1 | Hastaların hedef ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri.....                                                                              | 55 |
| Çizelge 4.2 | Box tekniğine göre hastalara uygulanan alan boyutları.....                                                                                          | 57 |
| Çizelge 4.3 | Hastaların hedef ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri.....                                                                              | 58 |
| Çizelge 4.4 | Hastaların dört farklı enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu planlamalarda hedef organ ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri..... | 60 |
| Çizelge 4.5 | Farklı tedavi tekniklerinin % olarak doz değerleri.....                                                                                             | 68 |
| Çizelge 4.6 | Farklı tedavi tekniklerinin Gy olarak doz değerleri.....                                                                                            | 70 |

## 1. GİRİŞ

Prostat kanseri erkeklerde en sık görülen kanserler arasında üçüncüyü sıradadır ve görülme sıklığı % 7.53' tür (Fırat 1998) . Erken evre prostat kanseri tedavisinde radikal prostatektomi, eksternal radyoterapi veya brakiterapi tedavi seçenekleri arasındadır. Klinik sonuçları üç tedavi modalitesine göre aynı olmakla birlikte tedaviye bağlı yan etkiler farklılık göstermektedir. Eksternal radyoterapi, cerrahi tedaviye göre daha az yan etkiye neden olması dolayısıyla öncelikli olarak tercih edilmektedir. Yeni teknolojik planlama yöntemlerinin kullanımıyla radyoterapiye ait olan yan etkilerin azaltılması mümkündür. Bu çalışmada amaç, konformal tedavi tekniği ile diğer konvansiyonel radyoterapi tekniklerini, dozimetrik olarak karşılaştırmaktır.

Üç- boyutlu konformal radyoterapi ile, üç- boyutlu anatomik bilgiye dayanan ve normal dokuya minimum, hedef hacme mümkün olan yeterli dozu sağlayacak doz dağılımını sağlayan tedavi anlatılır. Konformal doz dağılımı kavramı aynı zamanda tümör kontrol olasılığının (TCP) artırılması ve normal doku komplikasyon olasılığının (NTCP) azaltılması gibi klinik amaçları da içerir. Sonuç olarak üç boyutlu konformal radyoterapi tekniği, istenen klinik sonuçların elde edilmesinde hem fiziksel hem biyolojik temelleri içerir.

Üç- boyutlu konformal radyoterapide en uygun doz dağılımları aranmasına rağmen, bu amaçlara ulaşılmasında pek çok engel vardır. En büyük sınırlayıcı, tümör derecesi bilgisidir. Görüntüleme modern gelişmelere rağmen, klinik hedef hacim (CTV) genelde tamamen fark edilebilir değildir. Hastalığın yayılma kapasitesine bağlı olarak, görüntülen genelde CTV değildir. Bu görüntülenebilir tümör hacmi (GTV) olarak adlandırılan hacim olabilir. Sonuç olarak, eğer CTV' nin çizilen demet eksenine dik kesit görüntüsü hastalığın mikroskobik yayılımını tamamen içermiyorsa, üç- boyutlu konformal radyoterapi, konformal (uyumlandırılmış) olmanın anlamını kaybeder. Eğer hastalıklı dokunun bir kısmı kaçırılır ya da istenilen dozun altında bir değer kalırsa, bütün ilgiye , tedavi planlamasında harcanan çabalara rağmen tedavi kaçınılmaz bir şekilde başarısızlıkla sonuçlanır. Tümör kontrol olasılığı (TCP) açısından bakıldığında, CTV' nin belirlenmesindeki doğruluk, tümörün yeri konusundaki belirsizliği telafi

etmek için daha geniş ve daha basit demet düzenlemesi kullanan tekniklere göre üç-boyutlu konformal radyoterapide daha kritiktir.

CTV' nin belirlenmesinde ve değerlendirilmesindeki zorluklara ek olarak, üç - boyutlu konformal radyoterapi planlamasından daha önce ilgilenilmesi gereken başka olası hata kaynakları vardır. Görüntüleme, simülasyon ve tedavi boyunca tümör hacmi, kritik organ ve dış hatlarla ilgili olan hasta hareketi, planlanan hedef hacmin (PTV) tanımlanmasında açıklanılması gereken rastgele hataların sistematik olarak artmasına neden olabilir. Eğer PTV' nin belirlenmesinde yeterli paylar bırakılırsa, demet açıklığı PTV' ye uyumlandırılmak için şekillenir ve PTV' yi yeterli şekilde sarar. PTV' nin yeterli şekilde tedavi edilmesi için uyumlandırılmış alanların tasarımında demet eksenine dik profile, yarı gölgeye ve derinlik, radyal uzaklık ve doku yoğunluğunun fonksiyonu olarak yanal radyasyon aktarımına dikkat edilmelidir. Bu nedenle her bir tedavi seansında PTV' ye yeterli dozu sağlamak için, PTV' nin dış hattı ile alan sınırı arasında yeterli payın bırakılması gerekir.

Alanlar optimal şekilde tasarlansa bile, üç- boyutlu konformal radyoterapinin amaçlarına ulaşması için tümörün ve normal dokunun biyolojik tepkisi dikkate alınmalıdır. Başka bir deyişle, tedavi planı optimizasyonu sadece doz- hacim histogramları gibi doz dağılımına göre değil, aynı zamanda hastalığın ve ışınlanan normal dokunun doz- yanıt karakteristiğine göre değerlendirilmelidir. TCP ve NTCP' yi içeren çeşitli modeller önerilmektedir ama bu modelleri geçerli kılan klinik bilgiler yoktur. Daha güvenilir bilgiler elde edilinceye kadar, tedavi planlarının değerlendirilmesi için bu kavramların kullanımına dikkat etmek gerekir. Bu özellikle, normal doku toleransı ya da PTV' ye yakın olma limitlerinin test edilmesinin doz- artış planlarının göz önünde bulundurulmasında önemlidir.

Hastalığın derecesini doğru olarak belirlemede zor olan engellere rağmen, klinik doktoru ICRU tarafından önerilen çözümsel bir planı takip etmek zorundadır. Çeşitli hedef hacimleri (GTV, CTV, PTV) işlemin her bir adımındaki belirsizlikler ya da doğal sınırlamalar konusunda dikkatlice tasarlanmalıdır. PTV' nin son hali sadece görüntüleme bilgilerine ve diğer teşhis çalışmalarına değil, aynı zamanda o hastalığın

idaresinde elde edilen klinik deneyimlere de dayanmalıdır. GTV görüntüsünün çevresindeki alan paylarının daraltılması, hasta hareketi ya da doz dağılımındaki teknik sınırlamalar, üç- boyutlu konformal radyoterapi kavramının, her şekilde kaçınılması gereken yanlış kullanımıdır. Üç- boyutlu konformal radyoterapi ne yeni bir tedavi modalitesi ne de başarılı ve iyi test edilmiş geleneksel radyasyon terapisinden daha iyi sonuçlara sahiptir. Onun üstünlüğü tümüyle ne kadar doğru PTV' ye ve ne kadar iyi doz dağılımına sahip olduğuna dayanır. Bu yüzden, yeni bir tedavi modalitesi olarak isimlendirmek yerine, daha iyi sonuçlar elde etme potansiyeliyle tedavi planlaması için üstün bir araç olarak düşünülmelidir (Khan 2003).

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1 Kanser**

Bütün vücut dokularında hücreler kendilerini belirli bir kontrol mekanizması içerisinde yenilerler. Kontrol dışı çoğalan hücreler tümör adı verilen hücre topluluklarını oluştururlar. Bazı tümörler büyümelerine karşılık köken aldıkları dokuda sınırlı kalırlar ve komşu organlara ilerlemezler. Bunlara “benign (selim, iyi huylu) tümör” denir.

Bazı tümörler ise kan ve lenf dolaşımı ile köken aldıkları yerlerden uzaktaki organlara sıçrayabilirler. Bu tür tümörlere “malign (habis, kötü huylu) tümör” ya da “kanser” denir.

Kanser hücreleri köken aldıkları malign tümörden ayrılabilir, vücutta dolaşarak yeni yerleştikleri yerlerde çoğalabilirler. Bu şekilde köken aldıkları organ dışına sıçramış ve oralarda büyümekte olan tümörlere “metastaz” denir (Doll 1980) .

### **2.2 Prostat Kanseri**

Prostat kanseri de prostat büyümesi gibi 40 yaşından sonra ortaya çıkmaya başlayan bir hastalıktır.

Prostat kanseri, diğer kanser türleri gibi vücuttaki normal hücre büyümesinin bozularak prostat bezinin kötü huylu büyümesi olarak bilinir.

#### **2.2.1 Prostat kanseri için risk faktörleri**

##### **2.2.1.1 Yaş**

Prostat kanseri, ileri yaşlardaki erkeklerin bir hastalığı olup 40 yaşın altında nadiren görülür. Yaş arttıkça prostat kanseri gelişme riski artar. Prostat kanserlerinin % 85’ i 65 yaşın üzerindeki erkeklerde saptanır.

Prostat kanseri erkeklerde, ölüme neden olan kanserler arasında ilk sırada yer alır (Dirican 2005) .

#### **2.2.1.2 Irk**

Siyah ırkta beyaz ırka göre daha fazla görülme olasılığı vardır (Dirican 2005) .

#### **2.2.1.3 Diyet**

Hayvansal yağlardan zengin diyetin kolesterol dengesini değiştirerek prostat kanserine yol açtığı düşünülmektedir. Prostat kanserinin, yüksek yağ içerikli diyetle beslenme alışkanlığı olan toplumlarda daha sık; soya ürünlerinin bol tüketildiği uzak doğu ülkelerinde ise daha az görüldüğü gözlenmiştir. Ayrıca vitamin E, selenyum, özellikle domateste bol bulunan bir antioksidan madde olan likopen ve yeşil çay tüketiminin prostat kanseri olasılığını azalttığı öne sürülmüştür (Dirican 2005) .

#### **2.2.1.4 Ailesel yatkınlık**

Bazı ailelerde prostat kanserinin sık görülmesi genetik bir faktörün etkili olduğu görüşünü düşündürmektedir (1. derece yakınlarında prostat kanseri olanların prostat kanserine yakalanma olasılığının normalden 2 – 11 kat daha fazla olduğu saptanmıştır) (Dirican 2005) .

#### **2.2.1.5 Kimyasal maddeler**

Kadmiyumlu maddelerle çalışılırken kadmiyum buharının solunmasının prostat kanserine yol açtığı bildirilmiştir. Prostat kanserinin neden ortaya çıktığı kesin olarak bilinmemekle beraber, cinsiyet hormonları ile ilgilidir. Bugün için bilinen bilgiler ışığında testosteron adı verilen erkeklik hormonunun prostat bezindeki hücrelerde aşırı uyarım yaparak kansere yol açabileceği söylenebilir, ancak tek etken bu hormon olmayabilir ( Dirican 2005) .

### **2.2.2 Hastalığın oluşumu**

Prostat kanseri genellikle iyi huylu prostat büyümesi ile beraber bulunur. Ancak prostat büyümesi prostat bezinin iç bölümünden çıkarken, prostat kanseri, prostat bezinin dış bölümünden çıkar.

Prostat kanserinde ilk odak; bez içerisinde küçük bir nodül şeklindedir. Daha sonra tümör prostat bezini kaplar. Daha ilerlerse prostat bezi kapsülünü geçerek çevreye yayılır. Seminal veziküllere ilerler. Prostat kanseri daha da ilerlerse kan ya da lenf yoluyla vücudun diğer organlarına yayılır. Kan veya lenf yoluyla ilk önce omurgalar, leğen kemiği, kafatası ve diğer kemiklere, karaciğer ve akciğerlere yayılır (Doll 1980) .

### **2.2.3 Hastalığın belirtileri**

Prostat kanseri özellikle erken dönemlerinde çok sinsi bir hastalıktır. Kanser yıllar boyunca hiçbir belirti göstermeden yerleşip büyüyebilir. Hatta kanser başladıktan 5 – 10 yıl sonra hiçbir belirti vermeyebilir. Hastalık ilerleyince belirti başlar. Hastaların % 75 ‘inde zor idrar yapma şikayeti vardır. Bu belirtiler büyüyen prostatın idrar torbası önünde yaptığı tıkanıklık nedeniyle olmaktadır.

- Sık sık idrara çıkma,
- İdrar yaparken zorlanma,
- Gece idrara çıkma,
- İdrarın kalınlığında azalma,
- İdrarda bazen kan görülmesi,

gibi belirtiler ile erken dönemde hastalar doktora başvurabilir.

Bazen ilk belirti, tümörün uzak organlara yayılımı ile ilgili olarak, karnın alt kısımlarında, bacaklarda ve bel bölgelerinde ağrı, halsizlik, kilo kaybı olabilir. Bazen de hastalarda, prostat kanseri dokusunun her iki böbrekten çıkan idrar kanallarını (üreter) tıkaması sonucu böbrek yetmezliği ve buna bağlı belirtiler olabilir (Doll 1980) .

#### **2.2.4 Hastalığın tanısı**

Erkeklerde en çok görülen kanser olan prostat kanseri erken safhalarda teşhis edilirse, doğru ve yerinde bir tedavi ile iyileşme şansı yüksek bir hastalıktır. Henüz kapsül dışına yayılmamışsa kanserin yok edilmesi mümkündür. Bu nedenle 45 yaşını aşan erkeklerin yılda bir kez prostat kontrolünden geçmesi çok büyük önem taşır (Dobbs 1999) .

Teşhis, fiziki muayene, laboratuvar testleri, görüntüleme teknikleri ve makattan ultrasonografi eşliğinde prostattan alınan parça ile konur.

#### **2.2.5 Hastalığın evrelemesi**

The American Joint Committee (AJC) ve American Urological Association ‘nın prostat karsinoma için evreleme şeması Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir. Prostat alanlarının denenmiş sayısal değerlendirilmesi bile tümör hacmi hakkında oldukça hatalı evreleme bilgisi vermektedir.

Evre A1 veya T1a lezyonları, klinikte farkedilemeyen, iyi diferansiye adenokarsinomlardır ve prostatın iğne biyopsisi ya da üreter ameliyatlarında tesadüfen bulunurlar. Evre A2 veya T1b tümörleri aynı zamanda subklinikdir ama bunlar daha geniş ya da genelde prostatın çok odaklı kısımlarıyla daha büyük bir hacme sahiptirler.

Evre B veya T2 tümörleri elle fark edilebilir ve prostat bezinin kapsülü içinde sınırlandırılmıştır. Evre B1 veya T2a tümörleri tek bir lop içerir ve çapları 1.5 cm çapından daha azdır. Evre B2 veya T2b daha geniş intraglandular fark edilebilir tümörleri ifade eder.

Evre C veya T3a-b lezyonları ekstrakapsular genişlemeye sahiptir ve eğer periprostatik dokuları ya da bir seminal vezikül içeriyorsa C1 ya da T3a gibi alt sınıf olarak tanımlanır. İki seminal vezikülü içeren ya da 6 cm’ den daha geniş olan tümörler evre C2 ya da T3b gibi alt sınıf olarak tanımlanırlar.

Evre D veya T4 tümörleri, eğer bölgesel lenf düğümlerine doğru metastaz yayılım varsa ya da kliniksel olarak belirlenmiş, pelvik duvara doğru mesane, rektum ya da pelvik doku genişlemesi varsa, D1 alt sınıfı olarak tanımlanırlar .

D2, radyonüklit kemik taramalarında, karaciğer ve dalak taramalarında ve iskelet radyografileri ya da ameliyatlara bulunmuş ekstra pelvik yumuşak doku ya da lenf düğüm metastazlarındaki anormal bulgularla belirlendiğinde kliniksel olarak metastatik karsinomayı ifade eder.

Genel olarak, teşhis edilmiş prostat adenokarsinoma vakalarının % 10' u Evre A, % 15 - % 20' si Evre B, % 40' ı Evre C ve kalanı Evre D' dir. Evre D2' deki hastaların oranı, 20 yıl önce % 40 iken hastalığın daha çok farkında olduğu son yıllarda profesyonellerin ve halkın eğitiminin bir yansıması olarak % 25' e düşmüştür (Perez 1998) .

Çizelge 2.1 Prostat karsinoma için evreleme sistemi

| <b>Primer Tümör (T)</b>  |     |                                                                                                                                |
|--------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | TX  | Primer tümörün varlığını değerlendirecek kadar bulgu yok                                                                       |
|                          | T0  | Tümör yok                                                                                                                      |
| A1                       | T1a | Elle fark edilebilir tümör yok,                                                                                                |
| A2                       | T1b | Elle fark edilebilir tümör yok,                                                                                                |
| B1                       | T2a | Fark edilir tümörün çapı 1.5 cm' den az,                                                                                       |
| B2                       | T2b | Fark edilebilir tümörün çapı 1.5 cm' den fazla veya                                                                            |
| C                        | T3  | Fark edilebilir tümör prostatik kapsülün içine ya da ötesine doğru ilerlemiş                                                   |
| C1                       | T3a | Fark edilebilir tümör periprostatik dokuların içine doğru ilerlemiş ya da bir seminal vezikülü içeriyor                        |
| C2                       | T3b | Fark edilebilir tümör periprostatik dokuların içine doğru ilerlemiş, bir ya da iki seminal vezikülü içeriyor; tümör çapı > 6cm |
| D1                       | T4  | Tümör sabit ya da komşu yapıları içeriyor                                                                                      |
| <b>Nodal Tutulum (N)</b> |     |                                                                                                                                |

Çizelge 2.1 Prostat karsinoma için evreleme sistemi (devam)

|    |    |                                                                              |
|----|----|------------------------------------------------------------------------------|
| D1 | NX | Bölgesel lenf düğümlerinin durumunu değerlendirecek kadar bulgu yok          |
|    | N0 | Bölgesel lenf düğümlerinde tutulum yok                                       |
|    | N1 | Tek yönde bölgesel lenf düğümlerinde tutulum var                             |
|    | N2 | Zıt yönlerde, bilateral ya da bir çok bölgesel lenf düğümlerinde tutulum var |
|    | N3 |                                                                              |

## 2.3 Prostat Kanseri Tedavisinde Hedef Organlar

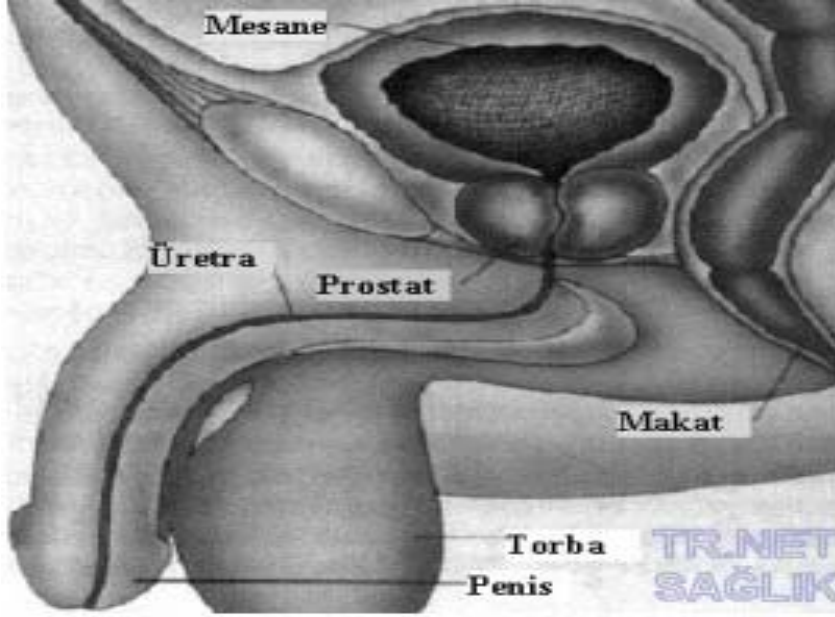
### 2.3.1 Prostat

Prostat küçük pelviste simfizis pubis ve arcus pubisin arkasında diaphragma urogenitale' nin üstünde, mesanenin altında ve ampulla recti' nin önünde bulunur (Şekil 2.1) . Uretra başlangıcını sarar. Şekli kestaneye benzer. Ortalama 8 gr ağırlığında özel bir salgı bezidir. En geniş yeri olan tabanı 4 cm, ön arka uzunluğu 2 cm, düşey yüksekliği 3 cm' dir.

Bezin fibröz bir fasyası vardır. Fasya kısmen damarlıdır. Fasyanın arka duvarında damar yoktur. Erkek fötusunda 4. ayda excavatio rectovesicalis' in pelvis döşemesine doğru, aşağıya kadar inmesi prostatı rektumdan ayırır. Bu çıkmazın alt bölümü zamanla oblitere olur. Birleşen yaprakları fasyasının arka duvarını oluşturur.

Prostat bezi fascia prostatica' den ayrı olarak ince, fakat sağlam bir kapsül ile çevrilmiştir. Kapsül prostat dokusuna sıkıca yapışmıştır.

Prostat tubuloalveoler bezlerden ve bu bezlerin arasını dolduran ara dokudan yapılmıştır. Prostat salgısı hafif alkalidir. Asit fosfataz, sitrik asit ve fibrinolizin içerir. Prostat salgısının alkali yapısı ovumun döllemesi için önemlidir (Odar 1986) .



Şekil 2.1 Prostat ve komşu organların yandan görünümü

### **Prostatta yaş ile ilgili değişiklikler**

Doğumda, prostat stroma içine gömülü bir kanal sisteminden başka bir şey değildir. Bu değişiklikler 6- 8. haftada azalır. Sonra prostat 9 yaşına kadar küçük yapısal değişikliklere uğrar. Puberti (ergenlik çağı) ' ye kadar prostat büyüklüğünde yavaş ve devamlı bir artış vardır. Ergenlik çağında 6- 12 aylık bir devre içinde değişiklikler çok hızlı olur. Büyüklüğü ergenlik çağından önceki bezin büyüklüğüne göre iki misli artar. Bu durumu follikül gelişmesine ve kısmen de kanalların değişimine bağlıdır. Bez dokusunun artışına bağlı olarak ara bağ dokusu küçülür. Bu değişiklikler testislerin testosteron salgısı nedeniyle olabilir. 30- 40 yaşı arasında bezin parankiması epitelin büyümesi ile gelişigüzel bir artış gösterir. 40 yaşından sonra 50 yaşına kadar önemli bir değişiklik olmaz. Amyloid cisimcikler sayıca artar. Bütün bu değişiklikler prostat involusyonun başlangıcını işaret eder. 40- 50 yaşından sonra prostatın büyüklüğü giderek artar (hipertrofi) ya da tersine küçülür (atrofi) .

İleri yaşlarda prostat genişler ve mesaneye doğru çıkıntı yapar. Böylece idrarın akışı engellenir. Hasta miksiyonda zorlanır veya idrar akışı tamamen kesilir. Bezin mesaneye doğru büyüyen parçası prostatektomi operasyonu ile çıkarılabilir (Odar 1986) .

### **2.3.2 Seminal veziküller (Vesicula Seminalis)**

Birbirinin içine geçmiş kesecikler, kıvrımlar ve girintileri olan tek bir kanaldır. Her iki yanda birer seminal vezikül vardır. Mesanenin arka yüzü ile rektum arasında yer alır. Her vezikül 5 cm uzunluğunda biraz piramidal şekildedir. Tabanı dışa arkaya yukarıya doğrudur. Birbiri üzerine gelişi güzel kıvrımlar yapmış, girintiler oluşturmuş tek bir kanaldır. Kanalların genişliği 3 – 4 mm dir. Kıvrımlar açıldığı zaman uzunluğu 10 – 15 cm arasında değişir. Ucu, ya da tepesi yukarıda kör bir kese olarak sonlanır.

Bezin ön yüzü mesanenin arka yüzü ile komşudur. Üreterin son parçası yakınlarından prostatın tabanına kadar uzanır. Arka yüzü rektumdan fascia rectovesicalis ile ayrılmıştır. Bezler üstte birbirlerinden ayrı olup, ductus deferens ve üreterlerin son kısımlarına komşudurlar.

Salgısı hafif alkalidir. Spermilerin enerji ihtiyaçlarını karşılayan fruktoz, az miktarda askorbik asit, fibrinojen ile pıhtılaşma enzimini içerir.

Seminal veziküller spermatozoa' lar için bir depo değildir. Bez yapısındadır. Ejakulasyon esnasında kontraksiyon yapar. Salgısı spermilerin hareketlerini arttırdığı gibi, içlerinde bulunan fruktoz ve diğer besleyici maddeler ile spermilerin ovumu dölleyinceye kadar yaşamasını sağlar (Odar 1986) .

## **2.4 Prostat Kanseri Tedavisinde Kritik Organlar**

### **2.4.1 Mesane (Vesica urinaria)**

İdrar için depo görevi yapan bir organdır. Büyüklüğü, şekli ve durumu bireylerin cinsine, yaşına ve içinde bulunan idrar miktarına bağlı olarak değişir. Boşken tamamen küçük pelvis içinde yer alır. Dolduğu zaman karın boşluğunda öne ve yukarıya doğru büyür. Ortalama kapasitesi yetişkin erkeklerde 220 ml (120- 320 ml) ‘ dir. Fakat 500 ml kadar idrarı depolayabilir.

Doğumda mesane yetişkinlere göre kısmen daha yukarıda yer alır. Buna göre mesane daha çok karın içi organ durumundadır. Ergenlik çağından sonra yetişkinlerdeki konuma gelir.

Dolu mesanenin kenarları yuvarlaklaşır ve organ yumurtamsı bir şekil alır , alt yan yüzler dolu mesanede ön yüz olur. Peritonun ayrılma ölçüsü mesanenin genişlemesine bağlıdır. Ortalama 5 cm genişler. Aşırı genişlemelerde mesane göbeğe kadar yükselir (Odar 1986) .

#### **2.4.2 Rektum ( Rectum)**

Üçüncü sakral omur yüksekliğinde sigmoid kolon ile yukarıya doğru devam eder. Birleşme yeri mesocolon sigmoideumun alt ucu ile işaretlenebilir. Sırasıyla öne aşağıya ve arkaya, sonra aşağıya, tekrar ve son olarak aşağıya, arkaya doğru ilerler. Anorektal birleşme koksiks ucunun biraz aşağısında 2- 3 cm önünde yer alır.

Rektum 12 cm uzunluğundadır. Rektumun üst üçte ikisi periton ile örtülüdür. Periton kıvrım seviyesi erkeklerde daha yüksektir.

Rektum arkada orta çizgi üzerinde 3- 4 ve 5. sakral omurlar , koksiks kemikleri , a. v. sacralis media , ganglion impar , a. v. rectalis superior ile komşudur. Rektum , foramina sacralia pelvica boyunca gevşek bağ dokusu ile sakruma tutunur. Bağ dokusu içinden sakral spinal sinirler geçer. Erkeklerde önde rektumun ön yüzünden fundus vesicae ile seminal veziküllerin üst bölümleriyle komşudur. Periton kıvrımının altında ise mesane ve seminal veziküller alt bölümleri , ductus deferensler , üreterlerin terminal parçaları ve prostat ile komşudur (Odar 1986) .

Ayrıca sağ ve sol femur başları kritik organ olarak değerlendirilmektedir.

## **2.5 Teşhis ve Tedavi**

Radyoterapide tümörlü dokunun maksimum dozu alması istenirken normal doku ve organların mümkün olduğunca en az dozu alması istenmektedir. Bunun nedeni normal doku ve organlarda gelişen yan etkilerdir. Normal doku ve organlarda radyoterapiye bağlı gelişen yan etkiler ortaya çıkış zamanlarına göre üç grupta incelenmektedir (Dirican 2005) :

### **2.5.1 Akut radyasyon etkileri**

Radyoterapi sırasında ortaya çıkan genellikle ışınlanan organın veya dokunun hızlı yinelenen hücrelerinin kaybı, hiperemi ve ödeme karakterli değişikliklerdir. Akut yan etkiler genellikle ciddi olmayıp tedaviyi aksatmazlar. Destek tedavisi ile hafifletilirler. Ciddi oldukları durumlarda ışın tedavisine ara verilmesi ve ilgili tedavinin başlatılması gerekir (Dirican 2005) .

### **2.5.2 Subakut radyasyon etkileri**

Radyoterapinin bitimini takip eden birkaç hafta ile 3 ay arasındaki bir sürede ortaya çıkarlar. Yavaş proliferen olan veya rejenerasyon yeteneği yavaş olan dokuları içeren organların (akciğer, karaciğer, böbrek, kalp, omurilik, beyin) ışınlanmasından sonra görölürler. Bu reaksiyonlar genellikle geçici olup, spontan olarak düzelirler ve nadiren ciddi bir durum arz ederler (Dirican 2005) .

### **2.5.3 Geç radyasyon etkileri**

Radyoterapi bitimini takip eden üçüncü aydan sonra, bazen yıllar sonra ortaya çıkan komplikasyonlardır. Yeterli veya ilgili doku toleransının üzerinde ışın dozu alan tüm hastalarda ortaya çıkabilirler. Bu etkiler genellikle ciddi, kalıcı ve ilerleyici karakterdedirler.

Geç radyasyon hasarları radyoterapi uygulamalarında en korkulan ve toplam ışın radyasyon dozunu kısıtlayan yan etkilerdir. Bu nedenle tedavi alanlarındaki sağlam doku ve organlar mümkün olduğunca korunmalıdır. Prostat ışınlamasında, rektum, mesane, femur başları kritik organlardır. Kritik organ ve dokularda radyasyon sonrasında pek çok değişiklik meydana gelmektedir. Rektumun radyasyona yanıtı; rektit (iltahap) , hemoraji (kanama) , fibrozis (büzüşme) , nekroz, fibrotik yapışıklıklar, proktit (iltahap) , ülserasyon, fistül (yan organa yapışıp arada köprü oluşması) ve bunlara bağlı obstrüksiyon (tıkanıklık) , perforasyon (delinme) şeklinde görülebilir. Mesanede ise; hemoraji, fibrozis, perforasyon, hematüri (idrarda kanama) , fistül, obstrüksiyon meydana gelebilir. Femur başlarında da aseptik nekroz (damarsal beslenmedeki bozukluk nedeniyle hücre ölümü) oluşabilir (Perez 2004) . Bağırsaklarda ülser, hemoraji, perforasyon görülebilir ( Dirican 2005 ) .

## **2.6 Prostat Kanseri Tedavisinde Radyoterapi Doz Değerleri**

Prostat ışınlamasında verilen doz miktarını kısıtlayan kavramlar minimum ve maksimum tolerans dozlarıdır. Normal doku ve organların tolerans sınırlarının çok üzerinde doz verilmemelidir. Minimum tolerans dozu ( $TD_{5/5}$ ) ışınlanan doku veya organda 5 yıl içerisinde % 5 oranında geç radyasyon hasarına neden olan doz miktarıdır ve doz limiti değerlerini belirlemektedir. Maksimum tolerans dozu ( $TD_{50/5}$ ) ise, 5 yıl içerisinde ışınlanan doku veya organda % 50 oranında komplikasyona neden olan doz miktarıdır. Prostat ışınlamasında kritik organlardan biri olan rektumun ( $100 \text{ cm}^3$ )  $TD_{5/5}$  değeri 60 Gy,  $TD_{50/5}$  değeri 80 Gy' dir. Mesanenin  $TD_{50/5}$  değeri 80 Gy ve mesanenin  $2/3$  ' ü için  $TD_{5/5}$  değeri 80 Gy iken;  $3/3$  ' ü için 65 Gy' dir. Femur başları için tek dozda 30 Gy üzerindeki dozlarda, fraksiyone dozlarda 70 Gy üzerindeki dozlarda nekroz görülür. (Perez 2004) . Bağırsaklarda  $400 \text{ cm}^2$  ' lik ışın alanında  $TD_{5/5}$  değeri 45 Gy;  $TD_{50/5}$  değeri 55 Gy ve  $100 \text{ cm}^2$  ' lik ışın alanında  $TD_{5/5}$  değeri 50 Gy;  $TD_{50/5}$  değeri 65 Gy' dir (Dirican 2005) .

## 2.7 Teşhiste Kullanılan Cihazlar

Yüksek kalitede yapısal görüntüler hedef hacimlerin ve normal yapıların doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar. Tedavi planlamasının çağdaş görüntüleme modaliteleri, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG), ultrason (US), tek foton soğurmalı tomografi (SPECT) ve pozitron soğurmalı tomografiyi (PET) içerir. Genelde en çok kullanılan yöntem BT ve MRG olmasına rağmen, diğer modaliteler tümörlerin görüntülenmesinde özel avantajlar sağlar. Bu modalitelerin görüntü özelliklerinin kısaca gözden geçirilmesi, bunların tedavi planlamasındaki kullanımları ile ilgili özel avantajları ve sınırlamalarını açıklama fırsatı verir (Khan 2003) .

### 2.7.1 Bilgisayarlı tomografi (BT)

Bilgisayarlı tomografide, x- ışını tüpü kullanılarak, belirli bir derinlikteki obje görüntülenmektedir. Temelde dar ışın veren x- ışını tüpü ile hastanın karşısındaki radyasyon dedektörü beraber hareket ederek tarama yapmaktadır. BT’de yüksek kalitede görüntü elde edilebilmektedir. Hasta, yüksek radyasyon dozu soğurmasına rağmen, yumuşak dokular için görüntü kalitesi düşüktür.

Görüntülerdeki düzeltmeler ve matematiksel işlemler, bilgisayar tarafından yapılmaktadır. Soğurma katsayılarına bağlı BT numaraları üretilmektedir. BT numaraları -1000 ile +1000 arasındadır. Hounsfield birimi de denilen BT numarası (H):

$$H = \frac{\mu_{\text{doku}} - \mu_{\text{su}}}{\mu_{\text{su}}} \times 1000$$

olarak hesaplanmaktadır. Buradaki  $\mu$  lineer soğurma katsayısıdır. Hounsfield numarası suyun soğurma katsayısındaki % 0,1’lik değişimi vermektedir. BT numarası, gri skalaya dönüştürülerek görüntü meydana gelmektedir. BT numarası değiştirilerek, istenilen organ görüntüsü elde edilebilmektedir (Bor 2003).

Bir BT görüntüsü, BT tarafından ölçülmüş görelî doğrusal azalım katsayısının matrisinden yeniden yapılandırılır. Tipik bir matris 1024x1024 piksel denilen resim elemanından oluşur. Her bir piksel, BT tarayıcısında kullanılan tarayıcı demet için dokunun görelî doğrusal azalım katsayısının bir ölçüsüdür. Doku temsilcilerini içeren fantomları (BT fantomları) kullanarak BT tarayıcılarının kalibrasyonunun yapılmasıyla, piksel değeri (BT numaraları) ve doku yoğunluğu arasındaki ilişki kurulabilir. Bu, doz dağılımlarının hesaplanmasında doku homojensizlikleri için piksel düzeltme sağlar (Schneider 1996) .

Üç- boyutlu tedavi planlamasının en önemli özelliklerinden biri, özgün çaprazlama ile (enine) görüntünün başka düzlemlerde yeniden yapılandırılma kabiliyetidir. Buna “digitally reconstructed radiographs” (DRRs) denir. Yüksek kaliteli DRRs elde etmek, sadece yüksek kontrast ve çözünürlükte görüntüler değil, aynı zamanda yeterli derecede küçük kesit kalınlığı gerektirir. Kesit kalınlığı, ihtiyaca bağli olarak genelde 2-10 mm arasında seçilir; örneğın, daha ince kesitler tümör konumu ya da yüksek kalitede DRRs için ve daha kalın kesitler tümör hacminin dışındaki bölgeler içindir. Spiral ya da sarmal BT tarayıcıları, hasta tarayıcı çemberine doğru ilerlerken, x- ışını tüpünün sürekli dönüşüne izin verir. Bu önemli ölçüde toplam tarama süresini azaltır ve bu yüzden yüksek kalitede BT görüntüleri ve DRRs için gerekli büyük sayıda ince kesitin kazancına izin verir.

Yüksek görüntü kaliteli BT taramasının yanı sıra, tedavi planlaması, hasta pozisyonlanması, hareketsizliğinin sağlanması ve görüntülerde görülebilen dış işaretleyiciler gibi özel etmenler gerektirir. Tedavi planlaması için BT masası düz olmalı ve hasta asıl tedavideki gibi aynı pozisyonda ayarlanabilmelidir. Hareketsizliğin sağlanması durumları üç- boyutlu konformal radyoterapi için önemlidir ve tedavide olduğu gibi BT için de aynı olmalıdır. Hasta cildinde belirleyici noktalar, plastik kateter gibi radyo opak işaretleyicilerin kullanılmasıyla BT görüntülerinde görülebilir olmalıdır.

Çünkü, DRRs' i herhangi bir düzlemde oluşturmak için BT görüntüleri işlenebilir olmalıdır. Konvansiyonel simülasyon, BT simülasyon ile değiştirilebilir. Bir BT simülatör, tedavi izomerkezini ayarlamak için lazer sınırlayıcıları, düz bir masa ya da yatak ve görüntü kayıt cihazları gibi bazı ek donanımlarla donatılmış bir BT tarayıcısıdır. BT bilgilerini işlemek için özel yazılımı olan bir bilgisayar, demet yönlerini planlar ve BEV DRRs'i oluşturur, tedavi demetleri ile aynı geometriye sahip BT simülasyon filmleri sağlar (Khan 2003).

Radyoterapi tedavi planlama sistemlerine, bilgisayarlı tomografi görüntüleri üç şekilde aktarılmaktadır:

- a. Hedef hacim tanımlanmakta ve yapılar dış kontur şeklinde çizilmektedir.
- b. BT filmleri, film tarayıcılardan geçirilerek görüntüler bilgisayara aktarılmaktadır.
- c. Veriler BT' den direkt planlama sistemine aktarılmaktadır. Dış kontur ve yapılar elle çizilmektedir. Direkt sistemler ile bilgisayarlı tomografi görüntüleri gri skala modunda tedavi planlama sisteminin monitöründe görüntülenmektedir.

Dış konturun doğru çizimi, iç yapılar ve hedef hacim tedavi tekniğinin uygulanması için önemli değildir. Fakat doz dağılımının doğruluğu için gereklidir (Sandler 1995) .

### **2.7.2 Manyetik rezonans görüntüleme ( MRG )**

MRG, nükleer manyetik rezonanstır. MRG' de hasta vücut yönüne paralel bir manyetik alan içerisine konmaktadır. Bu manyetik alanın değeri 1,5 Tesla' dır. Manyetik alan ile çekirdeğin dönme merkezinin etkileşmesiyle manyetik moment osilasyon hareketi ortaya çıkmakta ve çekirdekler Larmor frekansı ( $\omega = \gamma B_0$  ;  $\omega_0$ , Larmor frekansı  $\gamma$ , jiromanyetik oran,  $B_0$  dış manyetik alan) ile dönmeye başlamaktadırlar. Çekirdek kendi dönme frekansında bir radyofrekansa karşı çok hassastır. Rezonans frekansında bir frekans ile uyarılan çekirdekler enerji soğurmakta ve uyarılmış duruma geçmektedir. Çekirdek daha sonra bu fazla enerjisini dış manyetik alanın enerjisiyle diğer çekirdekler ya da maddenin genel yapısına aktararak durulmaktadır. Doku böylece almış olduğu frekansı geri yaymaktadır. Yayılan radyofrekans dalgaları sinyaldir. Bu sinyaller,

kesitler halinde görüntüleri oluşturmaktadırlar. Radyofrekans dalgaları kesildiğinde ise protonlar orijinal yapılarına dönmektedirler (Bor 2002).

Tedavi planlamasında, BT görüntüleri yalnız ya da MRG görüntüleri ile birlikte kullanılabilir. Genelde, merkezi sinir sistemi (MSS) tümörleri ve beyindeki anormallikler gibi yumuşak dokudaki ayrımlar konusunda MRG BT' ye göre üstündür. Aynı zamanda, MRG baş ve boyun kanserleri, sarkomalar, prostat bezi ve lenf düğümlerinin görüntülemelerinde uygundur. Diğer taraftan MRG, BT ile en iyi şekilde görüntülenen kalsifikasyon ve kemikli yapılara duyarsızdır (hassas değildir). BT ve MRG görüntü özellikleri arasında çok önemli farklılıklar bulunmasına rağmen, ikisi tedavi planlamasında kendi rollerinde tamamlayıcıdır.

BT ve MRG arasındaki en temel fark, BT elektron yoğunluğu ve atom numarasıyla (aslında x- ışını doğrusal azalım katsayısını gösteren) ilişkiliyken, MRG proton yoğunluk dağılımını gösterir. İki modalitenin de en iyi uzaysal ayırma gücü (~1mm) benzer olmasına rağmen, MRG, BT' den daha uzun sürer ve bu yüzden hasta hareketinden kaynaklanan artefaktlara daha açıktır. MRG' nin üstün bir tarafı, axial (dik), sagittal, koronal ya da oblik düzlemlerde doğrudan tarama yapmak için kullanılabilmesidir.

Tedavi planlamasındaki en önemli gereksinimlerden biri, geometrik doğruluktur. Tüm görüntüleme modalitelerinin içinde BT, en iyi geometrik doğruluğu sağlar ve bu nedenle diğer modalite görüntüleri ile karşılaştırıldığında BT görüntüleri anatomik (yapısal) yerler için referans olarak görülür.

Fonksiyonel MRG (fMRG) aynı zamanda fizyolojik aktivitenin gösterilmesiyle tedavi planlamasında yararlı olma potansiyeline sahiptir ve bu nedenle beyindeki gibi çok iyi konformal radyoterapi yapmak için hedef hacimlerin ve kritik yapıların şekillendirilmesinde yararlı olabilir (Khan 2003).

### 2.7.3 Ultrason

Ultrasonik görüntüleme, hasta konturları ve iç yapılar için geniş görüntüleme olanağı sağlamaktadır. Tedavi planlanması için karşılıklı bilgileri sağlamada tomografik görüntülere yardımcıdır. Ultrasonik görüntü kalitesi ve klinik güvenilirliği bilgisayarlı tomografi kadar iyi olmamasına rağmen bilgisayarlı tomografiden daha ucuzdur ve görüntü iyonlaştırıcı radyasyon kullanılmadan elde edilmektedir. Ultrason alt pelvis, retroperitoneal bölge, üst abdomen, meme ve göğüs duvarında yararlı bilgiler vermektedir (Khan 1994).

Ultrason giriş veya yansıma görüntüsü vermektedir. Gönderilen ses dalgaları görüntünün oluşmasını sağlamaktadır. Diagnostik radyolojide frekansı 1- 20 MHz olan ultrason dalgaları kullanılır (Khan 1994). Klinik uygulamalarda farklı dokuların ara kesitlerinde farklı yansımalar oluşmaktadır.

Ultrasonik dalgalar, ultrasonik prob ve transdüserde oluşturulur. Sıklıkla kristal materyal baryum titanat, kurşun zirkonyum titanat ve kurşun metaniobatdır. Transdüser, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren düzenektir. Bu etkiye piezoelektrik etki denmektedir. Bu etki çevresinde değişik miktarlarda elektrik alanı bulunan kristallerde oluşan mekanik osilasyon sonucu gerçekleşmektedir ve ses dalgası meydana gelmektedir. Doku ara kesitlerinden piezoelektrik materyale gelen ses dalgalarının oluşturduğu basınç değişimleri ile de kristalin zıt tarafında elektriksel potansiyel oluşmaktadır. Oluşan voltaj pulsları ile görüntü sağlanmaktadır (Bor 2002) .

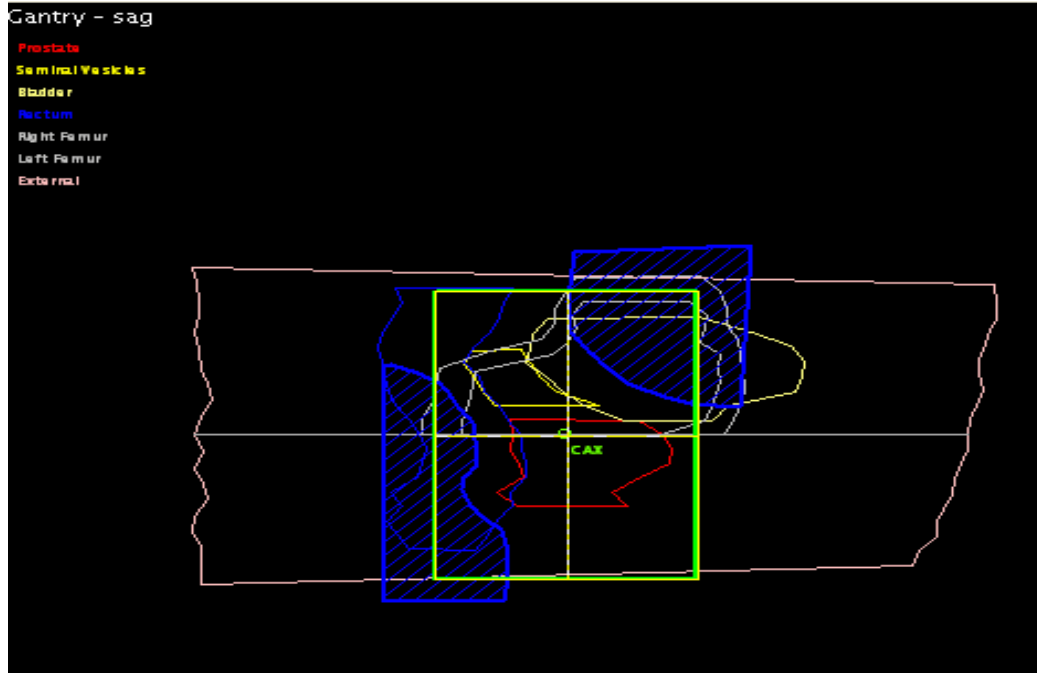
### 2.8 Tedavi Planlama İşlemi

Üç- boyutlu konformal radyoterapi tedavi planlamasının, geleneksel radyoterapi tedavi planlamasından en önemli farkı, üç- boyutlu anatomik bilgi kullanılarak klinik amaçlarla uyum içerisinde doz dağılımının optimizasyonunun yapıldığı bir tedavi planlaması olmasıdır. Anatomik bilgi genelde, yapıyı herhangi bir düzlemde ya da üç- boyutta tekrar oluşturmak için işlenebilen çaprazlama görüntülerin yakın aralıklı biçiminden elde edilir. Görüntüleme modalitesine bağlı olarak, görülebilir tümör, kritik yapılar ve konuyla ilgili diğer yerler kesit kesit ana hatlarıyla belirtilir. Radyasyon

onkoloğu hedef hacimleri her bir kesitte, görülebilir tümörü, şüpheli tümör yayılımını ve organ hareketinden, set- up hatalarından kaynaklı belirsizlikleri içerecek şekilde pay bırakarak çizer. Hedeflerin ve ilgili anatomik yapıların çizilmesindeki bu işlem “segmentasyon” (kesitleme) olarak adlandırılır (Khan 2003) .

Demet düzenlemesi ve alanların tasarlanması için bir sonraki adım, üç- boyutlu tedavi planlamasının bilgisayar yazılımını takip etmektir. Bu sistemlerin en kullanışlı taraflarından biri, çizilmiş hacimlerin ve diğer yapıların BEV (Beam’ s eye view) görünüşüne izin veren bilgisayar grafikleridir (Şekil 2.2) .

BEV (demetin gözünden bakış) terimi, sanki radyasyon kaynağının olduğu noktadan bakılıyormuş gibi, kesitlerdeki hedefin ve demetin merkezi eksenine dik düzlemdeki normal yapıların görünüşünü belirtir. BEV’ in kullanımı ile, alan payları (alan kenarı ile



Şekil 2.2 Bir prostat hastasının ışın alanının sağ demetten BEV görüntüsü

PTV şeklinin arasındaki mesafe) PTV’ yi yeterince yüksek bir doz seviyesine sardırmak için belirlenir (örneğin, tanımlanmış dozun %95’ i). Bunu başarmak için genellikle alan

payının yaklaşık olarak 2 cm olduğu düşünülür, ama verilen demet profiline ve PTV' nin çevresindeki kritik yapıların varlığına, duruşuna bağlı olarak daha fazla pay gerekebilir.

Yine de şunu hatırlatmak önemlidir; her bir demet, alan merkezine göre alan kenarlarında dozun yaklaşık %50' sine düşmesine neden olan fiziksel penumbra (yarı gölgeye) sahiptir (örneğin; %90 ile %20' lik izodoz alanları). PTV' nin aynı şekilde, yeterince ışınlanması ve PTV' deki belirsizlikleri dengelemek için, alan penumbrası PTV' nin yeterince dışında bırakılmalıdır (Dobbs 1999) .

Bir tedavi planlamasının optimizasyonu sadece uygun alan ayarlamalarının tasarımı değil, aynı zamanda demet yönlerinin, alan sayılarının, demet ağırlıklarının ve kama filtreler, kompensatörler, dinamik çok yapraklı kolimatörler gibi değiştiricilerin yoğunluğunun ayarlanmasını da gerektirir. İleri planlama sisteminde bu parametreler tekrarlayıcı ya da deneme-yanılma esasına göre seçilir ve bu nedenle karışık bir durum için, eğer yüksek dereceli optimizasyon isteniyorsa, tüm işlem çok yoğun bir çaba ister. Bununla birlikte uygulamada, çoğu uygulamacı standart teknikle başlar ve onu, verilen hasta için BEV, üç- boyutlu doz gösterimleri, aynı düzlemde olmayan demet seçimleri, yoğunluk ayarı ve doz-hacim histogramları gibi araçları kullanarak optimize eder. Zaman, üç- boyutlu konformal radyoterapi tedavisini planlamak için verilen durumun karışıklığına ve tedavi planlama sisteminin hızına bağlıdır. Son tedavi planı, hasta bilgi girdisinin kalitesi, görüntü kesitleri, görüntü kaydı, alan ayarları, doz ölçümü, plan değerlendirmesi ve plan optimizasyonu kadar iyi olmalıdır.

### **2.8.1 Görüntü kaydı**

Görüntü kaydı, bir çalışmadan diğerine görüntülerin karşılaştırılmasını kolaylaştırır ve onları tedavi planlamasında kullanışlı olacak şekilde bir bilgi tabanında birleştirir. Örneğin, MRG' de görülen yapıların haritasının BT görüntüleri üzerine birleşimi gibi görüntü birleşimi sağlayan bilgisayar programları şimdi elde edilebilir.

Çeşitli kayıt yöntemleri; nokta nokta uyumu, iki bilgi tabanındaki görüntülerin birbirine eklenmesi ve yüzey ya da yerlerin eşleştirilmesini sağlamayı içerir (Khan 2003) .

### **2.8.2 Kesitlerin görüntülenmesi**

Tedavi planlamasındaki kesitlerin görüntülenmesi terimi; dış hatlar, kritik normal yapılar, yapısal sınırlar gibi ilgili yapısal alanların kesit kesit belirlenmesi anlamına gelir. Kesitlenmiş alanlar değişik renklerde verilebilir ve BEV biçiminde ya da DRRs' te kullanılan diğer düzlemlerde görülebilir. Kesitleme aynı zamanda, seçilmiş ilgili alanların doz- hacim histogramlarının hesaplanması için önemlidir.

Kesitlerin görüntülenmesi en zahmetli işlerden biridir ama tedavi planlamasında önemli bir işlemdir. Bu işlem, yapıların sınırlarına yakın görüntü kontrastlarına dayanan otomatik belirleme ile desteklenebilmesine rağmen, hedef belirleme klinik karar gerektirir (Khan 2003) .

### **2.8.3 Alan boyutlarının ayarlanması**

Kesitlerin görüntülenmesi tamamlandıktan sonra, tedavi planlayan kişi demet yönlerini seçme ve demet açıklığı tasarımı işini yapar. Bu büyük ölçüde, üç-boyutlu tedavi planlama sisteminin BEV yeteneği tarafından desteklenir. Kesitleme sayesinde değişik renklerde görülebilir hale gelen hedefler ve kritik normal yapılar, değişik yönlerden demetin merkezi eksenine dik düzlemlerde görülebilir. Genelde, demet yönelimindeki (doğrultusundaki) engellemeler, masa ya da hasta ile gantrinin çarpışması gibi kısıtlamalar olmadıkça, hedefler ile kritik yapılar arasında daha çok fark yaratan demet yönleri tercih edilir. DRRs ile birleştirilmiş BEV yeteneği, demet yönlerinin seçiminde ve hedef etrafındaki alanların şekillendirilmesinde etkili bir araçtır.

Demet açıklığı, kritik yapıların PTV' ye yakınlığına ve CTV ile PTV arasında bırakılan paylardaki belirsizliğe bağlı olarak, otomatik ya da elle (manuel) tasarlanabilir. Otomatik tasarlamada kullanıcı PTV etrafında tek bir pay (tolerans) ayarlar. Düzensiz

pay, elle çizilir. Hedef ve kritik yapıların birbirine yakın olduğu durumlarda, hedefe ayrılan alan ile kritik yapılara ayrılan alan arasında önemli bir çakışma olur, bu nedenle demet açıklığının manuel tasarımı gerekir. Daha basit durumlarda PTV ve alan kenarları arasında alan penumbrasını ve PTV' yi sarmak için gerekli minimum izodozu hesaba katarak, otomatik paylar verilebilir. Genelde PTV ile alan kenarı arasına 2 cm. pay, %95' lik izodozun PTV' yi daha iyi sarmasını sağlar, ancak bu doz dağılımlarının gerçek hesaplamalarıyla gösterilmelidir (Khan 2003) .

#### **2.8.4 Alan çeşitliliği ve kolimasyon**

Üç- boyutlu tedavi planlaması, hedefler ve kritik yapıların her bir alan için teker teker BEV ile görülebilmesi nedeniyle, çeşitli alanların kullanımına olanak sağlar. Aynı zamanda alan çeşitliliği, toraks ve pelvis tümörleri gibi sadece iki karşılıklı alan ile tedavi edilirken, gerekli olan çok yüksek enerjili demetlerin (>10 MV) kullanımındaki ihtiyacı ortadan kaldırır. Üç- boyutlu tedavi planlaması aynı zamanda aynı düzlemde olmayan demet yönü sağlar ki, bu durumda demet merkezi eksen, hastanın enine düzleminden başka bir düzleme uzanır. Aynı düzlemde olmayan demet yönleri, bunların seçimi ile kritik yapılardan kaçınılabilen beyin tümörleri, baş- boyun ve diğer bölgeler gibi belirli durumlarda yararlı olabilir. Aynı düzlemde olmayan demet kullanırken masanın gantri ile çarpışmayacağından emin olmak için masa belli açılarda döndürülür.

Dörtten daha fazla alan kullanmak, çok fazla sayıda demet tasarlama, blokların şekillendirilmesi ve hasta üzerindeki her bir alan için tek tek blokların yerleştirilmesi ve doğruluğunun kontrol edilmesi ayarlama süresinin uzun olması problemini yaratır. Hastadan hastaya çok ağır bloklar taşımak, yanlışlıkla blok düşürmek ya da yanlış blok kullanmaya karşı dikkatli olmak zorunda olan teknisyenler için sıkıntı yaratır.

Multilif kolimatör (MLC) kullanımı, çeşitli alan bloklamaya iyi bir alternatiftir. MLC' ler elektronik olarak, alanları şekillendirmek için büyük kolaylıkla ve güvenle kullanılabilir. Simülatör filmine ya da BEV çıktısına çizilmiş olan alan, MLC ayarlarını yapmak için bilgisayara aktarılabilir. Aynı zamanda BEV alan sınırları, MLC' yi programlamak için elektronik olarak hızlandırıcıya iletilebilir. Çünkü MLC alanları

programlandığı gibi kontrol konsolunda ayarlanabilir, birçok alan etkili ve tekrar edilebilir şekilde tedavide kullanılabilir.

MLC' lerin kombinasyonu ve bağımsız çeneler, herhangi bir şekildeki alanların tasarımında hemen hemen sınırsız yetenek sağlar. Alışıldık tasarımlı bloklar, tedavideki küçük alanlar (mini- MLC' ler çok küçük adımlara uygun olmadıkça), alan ortasındaki bloklama ("island" bloklar) ya da karışık alan oluşturulmasında hala yararlıdır. Bu nedenle şekillendirilmiş çeşitli alanların kullanımı tipik olan üç- boyutlu konformal radyoterapide, MLC, pek çok sayıdaki ağır blokların taşıma, tasarlama ve depolama problemlerine lojistik bir çözüm sağlar (Khan 2003) .

#### **2.8.5 Plan optimizasyonu ve değerlendirilmesi**

Uygun plan için kriterler, radyasyon onkolojisinin hem biyolojik hem de fiziksel özelliklerini içerir. Uygun bir plan, tüm tümöre maksimum dozu verirken, normal dokuların tümüne minimum dozu vermelidir. Nicel biyolojik bitiş noktalarını elde etmek için modeller, tümör kontrol olasılığı (TCP) ve normal doku komplikasyon olasılığı (NTCP) gibi biyolojik göstergeleri içerecek şekilde geliştirilmelidir. Son zamanlarda çoğu değerlendirme, hedef hacim için doz dağılımı ve kritik organların doz sınırlamaları ile belirlenen fiziksel bitiş noktaları esas alınarak gerçekleştirilmektedir (Khan 2003) .

Plan değerlendirilmesinde kullanılan bazı kavramlar:

##### **2.8.5.1 Derin doz yüzdesi (%DD)**

Merkezi eksen derin doz dağılımlarını karakterize etmenin yolu, bir noktadaki dozu belirli bir referans noktasındaki doza normalize etmektir. Bu büyüklük genellikle su fantomunda iyon odası kullanılarak yapılan ölçümlerden çıkarılmaktadır. % DD, herhangi bir d derinliğindeki soğurulan dozun, demetin merkezi eksen boyunca  $d_0$  derinliğindeki soğurulan doza oranıdır. % DD, P ile ifade edilmektedir.

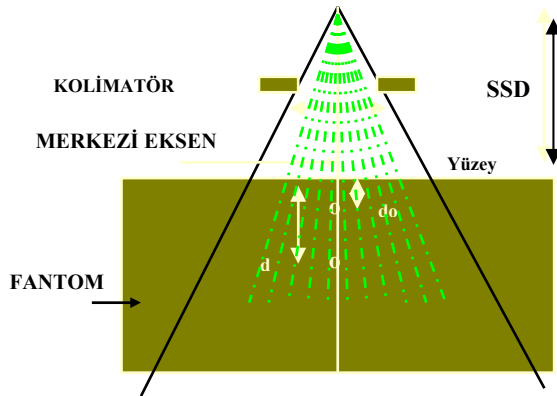
$D_d$  , d derinliğindeki doz,  $D_{d0}$  ,  $d_0$  derinliğindeki doz değerleri olmak üzere % DD değeri aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir:

$$P = ( D_d / D_{d0} ) \times 100$$

Ortavoltaj ve düşük enerjili x- ışınları için referans derinlik genelde yüzeydedir ( $d_0= 0$ ). Yüksek enerjiler için referans derinliği en yüksek soğurulan doz noktasında (build-up noktası) ( $d_0 = d_{max}$ ) alınmaktadır.

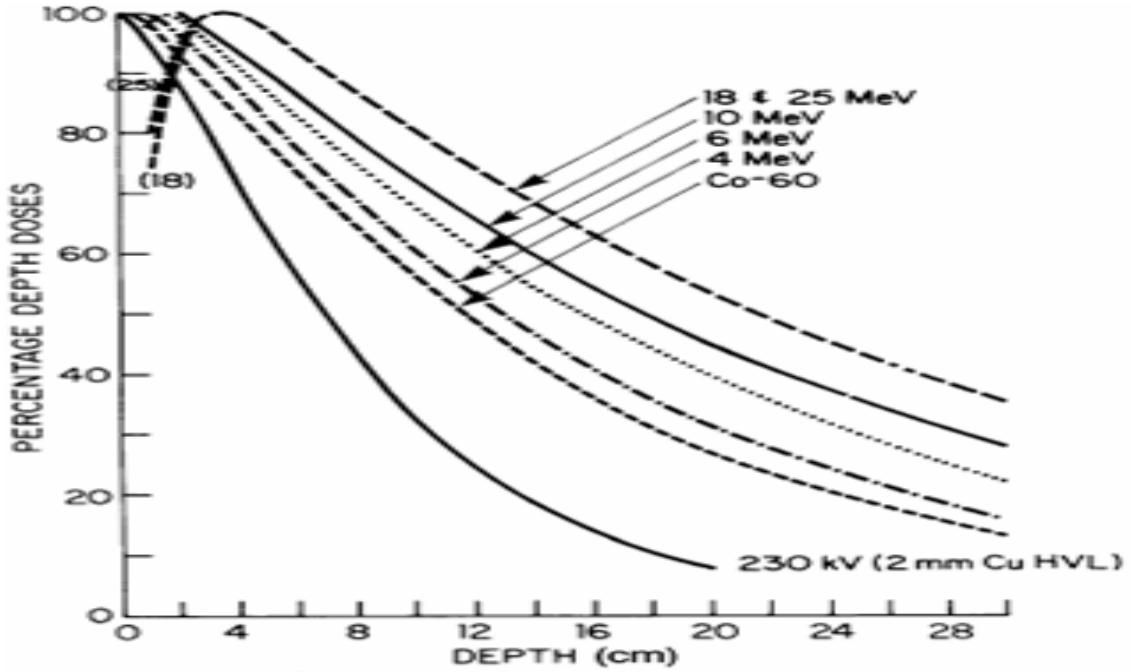
Merkezi eksen derin doz dağılımını etkileyen birçok parametre vardır. Bunlar; demet kalitesi veya enerji, derinlik, alan büyüklüğü ve şekli, kaynak- cilt mesafesi (SSD) ve demet kolimasyonudur.

%DD değerleri demet enerjisiyle artmaktadır. Bu artış verilen bir derinlik için derin doz eğrilerinin eğiminin azalması ve demet giriciliğinin artması demektir. Yani yüksek enerjili ışınlar daha giricidirler ve daha yüksek derin doza sahiptirler. Foton enerjilerinde, yüzey dozu enerji artışı ile ters orantılıdır. Elektronlarda ise fotonların



Şekil 2.3 % DD' un bulunuşu

aksine enerji seviyesi arttıkça yüzey dozu artmaktadır. Bu durum elektron saçılımı ile açıklanmaktadır. Düşük enerjilerde elektronlar kolaylıkla saçılmakta ve saçılım açısı büyümektedir. Böylece build-up dozu kısa mesafelerde oluşmaktadır.



Şekil 2.4 Çeşitli ışınların merkezi eksen derin doz eğrileri

Alan bağımlılığı saçılan elektron ve fotonlardan dolayı ortaya çıkmaktadır. Alan büyüklüğünün artması ile saçılan radyasyonun soğurulan doza katkısı artmaktadır. Saçılan dozdaki bu artış, büyük derinliklerde fantom saçılmasının da katkısıyla  $d_{max}$  'dan daha büyük olacağından %DD, artan alan büyüklüğü ile artmaktadır. % DD' daki bu artış demet kalitesine yani enerjiye bağlıdır. Saçılma olasılıkları ya da tesir kesitleri artan enerji ile azalacağından ve yüksek enerjili fotonlar daha yoğun olarak ileri saçılacağından %DD 'ların alan bağımlılığı yüksek enerjilerde düşük enerjilere oranla daha azdır (IAEA TRS-277 1997) .

%DD verileri genelde kare alanlar için geçerlidir. Kliniklerde ele alınan tedavilerin çoğunluğu dikdörtgen, bloklu ya da şekilli alanlar olduğundan bu alanların kare alanlara eşdeğerinin bulunması gerekmektedir. Kenar uzunlukları a ve b olan dikdörtgen şeklindeki bir alanın kare eşdeğerinin kenar uzunluğu aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

eşdeğer karenin kenarı=  $axb / 2 (a+b)$

Bir nokta kaynağın yayınladığı foton akısı, kaynağa olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır (ters kare kanunu). Eksternal demet tedavisi için kullanılan klinik kaynaklarının sınırlı bir büyüklüğü olduğundan, kaynağı nokta kaynak olarak kabul edebilmek için SSD genellikle büyük seçilmektedir ( $\geq 80$  cm).

%DD' lar ters kare kanunun etkisinden dolayı SSD ile artmaktadır. Bir noktadaki gerçek doz şiddeti, kaynaktan uzaklaştıkça azalmasına rağmen, bir referans noktasına göre relatif doz olan %DD' lar, SSD ile artmaktadır. İki nokta arasındaki doz oranındaki azalma kaynağa yakın mesafede, kaynağa uzak mesafelere göre daha hızlı olmaktadır. Küçük SSD' lerde %DD' lar küçük olacağından belirli bir tümör dozu için cilt dozu yüksek olacaktır. Bu nedenle SSD mümkün olduğunca büyük olmalıdır. Ancak doz hızının fazla azalmaması için optimum bir uzaklık seçilmelidir.

Herhangi bir uygulamada SSD standart SSD' den farklı olabilmektedir. Bu durumda %DD, kullanılan SSD'deki %DD' a çevrilmelidir. Bu değişim Myneord faktörü (F) ile yapılmaktadır. Yöntemde SSD ile saçılmaların değişimi göz önüne alınmaksızın, ters kare kanunu ile değişimi esas alınmaktadır (Dirican 2004) .

$P(d, r, f)$  , d derinliğinde  $r \times r$  alan genişliği ve  $f = SSD$  için derin doz yüzdesini ifade etmektedir. Ters kare kanunu, üstel azalım ve saçılma dikkate alınır,

$$P(d, r, f_1) = 100. (f_1 + d_{max})^2 / (f_1 + d)^2 . e^{-\mu (d - d_{max})} . K_s$$

Bu ifadedeki  $\mu$ , primer demet için lineer azalma katsayısı  $K_s$  saçılan dozdaki değişimi hesaplamak için bir fonksiyondur ve SSD ile değişimi göz ardı edilmiştir.

$$P(d, r, f_2) = 100. (f_2 + d_{max})^2 / (f_2 + d)^2 . e^{-\mu (d - d_{max})} . K_s$$

$$P(d, r, f_2) / P(d, r, f_1) = (f_2 + d_{max})^2 / (f_1 + d_{max})^2 . (f_1 + d)^2 / (f_2 + d)^2$$

$$= F$$

$P(d, r, f_2) = F \cdot P(d, r, f_1)$  olarak bulunur.

$f_2 > f_1$  için  $F > 1$  ve  $f_2 < f_1$  için  $F < 1$  olur (Dirican 2004) .

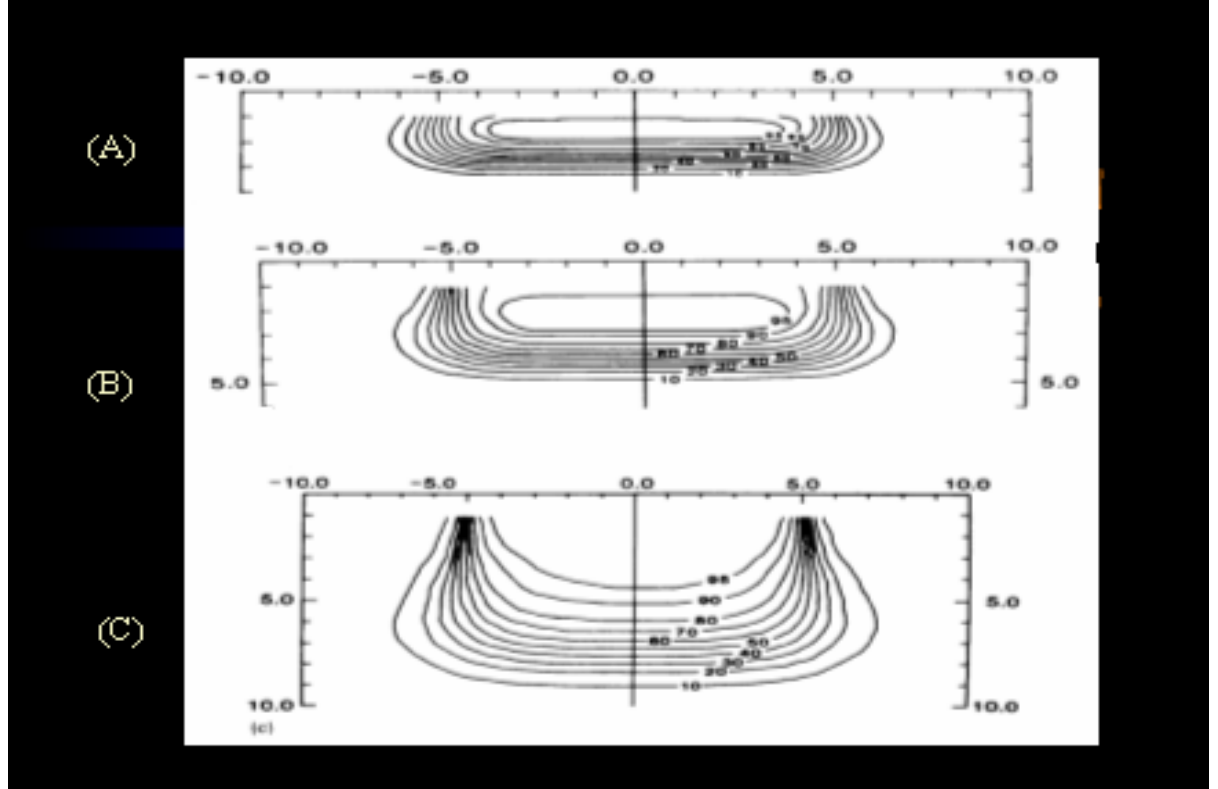
### 2.8.5.2 İzodoz eğrileri

Merkezi eksen derin doz yüzdeleri, eksen boyunca bir derinlikteki dozu tayin etmeye yarar. Bu eksen, hedef hacmin merkezi ekseni boyunca geçerse, tümör boyunca doz değişimi çıkarılabilmektedir. Ancak tümöre homojen doz vermek ve normal dokuları korumak için en azından iki boyutlu doz dağılımlarına gerek vardır. İzodoz dağılımları olarak bilinen, aynı dozu alan noktaların birleştirilmesi ile elde edilen dağılımlar radyoterapide yoğun olarak kullanılmaktadır. Bir izodoz eğrisi sabit soğurulmuş dozun bir eğrisidir. İzodoz eğrileri en çok iyon odası ve su fantomu kullanılarak elde edilmektedir.

İzodoz eğrilerinde doz, merkezi eksenden uzaklaştıkça azalmaktadır. İzodoz eğrisinin derinliği ise enerji ile artmaktadır. Eğriler alan kenarlarında saçılmalardan dolayı çan şeklinde bir görünüm almaktadır. Co- 60 gama ve yüksek enerjili x- ışınlarında saçılmanın az olması nedeni ile çan şekli görülmemekte, elektron enerjilerinde ise doz hemen soğurulduğu için izodoz eğrilerinin kenarları hızla çan şekline gelmektedir. Düşük enerjili elektronlarda tüm izodoz eğrileri bir miktar genişleme göstermekte, yüksek elektron enerjilerinin ise sadece düşük izodoz eğrilerinde çan şekli oluşmaktadır (Khan 1994, Dirican 2004) .

Geleneksel olarak tedavi planları; çeşitli alanlar, demet şekillendiriciler (kama filtreler ve kompensatörler gibi) , demet yüklemesinin kullanılmasıyla ve uygun demet yönlerinin seçilmesiyle optimize edilir. Denenen planların doz dağılımları; tek tek kesitlerdeki, ortogonal düzlemlerdeki (enine, sagittal ve koronal gibi) ya da üç- boyutlu izodoz yüzeylerindeki izodoz eğrilerine bakarak değerlendirilir. Sonraki işlem, bir

hacmi saran yüzeydeki doz eğrilerine bakarak değerlendirilir. Sonraki işlem, bir hacmi saran yüzeydeki doz değerinin belirlenmesidir.



Şekil 2.5 10 x 10 alanda a. 7 MeV, b. 12 MeV, c. 18 MeV elektron enerjileri için izodoz dağılımları

Bir izodoz yüzeyi, hacimsel doz yerinin belirlenmesi için değişik açılardan döndürülebilir. Üç- boyutlu tedavi planlamasının en önemli üstünlüklerinden biri, tek tek kesitlerde, ortogonal düzlemlerde ya da üç- boyutlu izodoz yüzeylerindeki hacimsel doz yerini göstermek için kolaylıkla kullanılabilen doz dağılımının gösterimi olmasıdır.

Doz dağılımları genellikle doz tanım noktasında dozun %100 olması için normalize edilir. Öyle ki; izodoz eğrileri, eşit doz çizgilerini, tanımlı dozun yüzde oranı olarak gösterir. Bir ya da daha fazla “boost” (genellikle hedefin bazı kısımlarında, özellikle GTV’ deki doz artımı) içeren tedavi planı için, tek tek kesitlerde, ortogonal düzlemlerde ya da izodoz yüzeylerindeki izodoz dağılımları ile tekrar gösterilebilen bileşik izodoz planları yararlıdır (Khan 2003) .

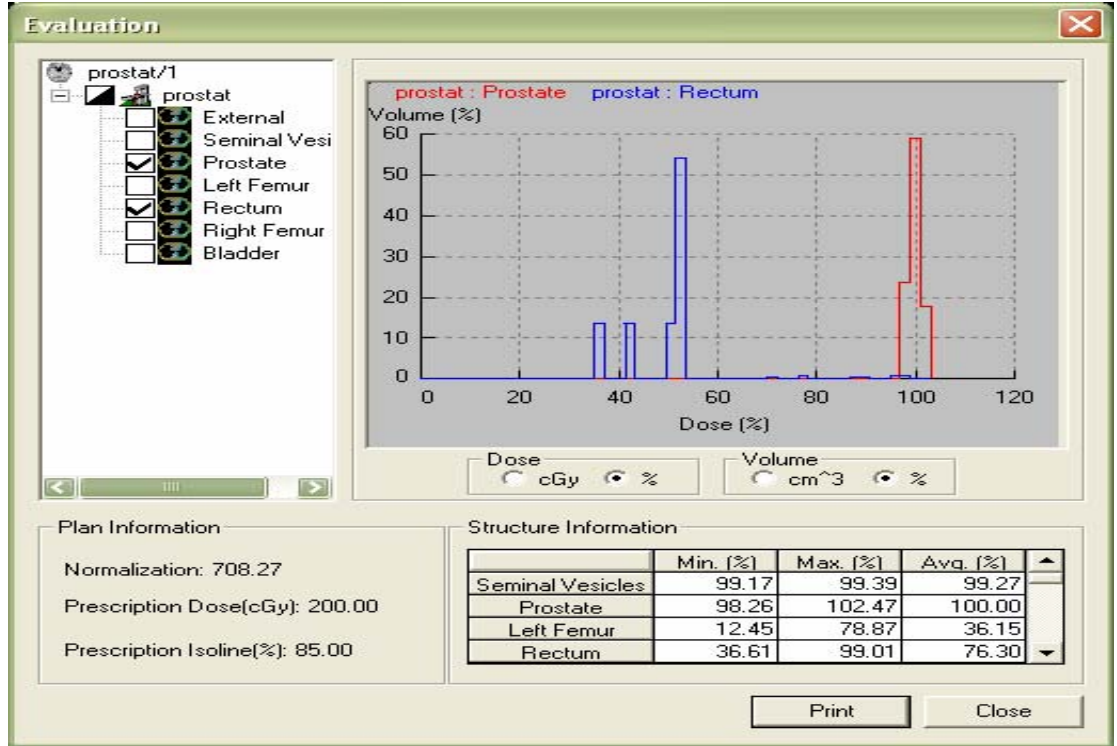
### 2.8.5.3 Doz- hacim histogramları

İzodoz eğrileri ya da yüzeylerinin görünüşündeki doz dağılım gösterimi, sadece düzenli doz bölgelerini, yüksek dozu ya da düşük dozu gösterdiği için değil, aynı zamanda onların yapısal konumlarını ve alanlarını gösterdiği için de yararlıdır. Üç- boyutlu tedavi planlamasında, bu bilgi gereklidir ama; hedefler, kritik yapılar gibi kesitlenmiş yapılar için doz- hacim histogramları (DVH) eklenmelidir. Doz- hacim histogramları, üç- boyutlu tedavi planlamasında, hastanın anatomisine ait doz dağılım bilgilerinin elde edilmesini sağlarlar. Üç- boyutlu doz dağılımındaki tüm bilgilerin özeti niteliğindedir. Basitçe, tanımlanan hacimlerde doz değerlerinin dağılım frekanslarını temsil eder. Genellikle toplam hacim yüzdesi olarak görüntülenir. Normal doku komplikasyon olasılığının (NTCP) hesaplanmasında kullanılırlar.

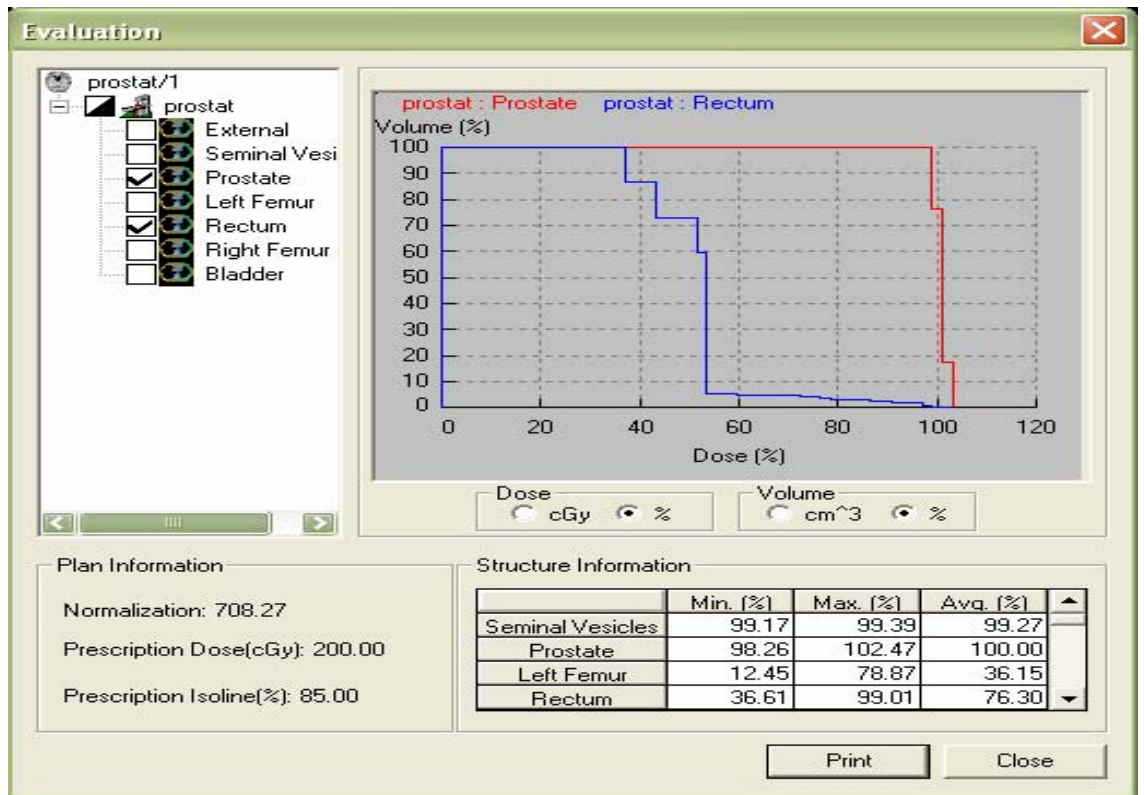
Bir doz -hacim histogramı sadece, ne kadar hacimde ne kadar doz soğurulduğıyla ilgili nicel bilgiyi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ilgili her bir anatomik yapı için tek bir eğri ile tüm doz dağılımını özetler. Bu nedenle bu, verilen planın değerlendirilmesi ya da denenen planların karşılaştırılması için önemli bir araçtır.

Doz- hacim histogramları iki şekilde gösterilirler:

**a. Diferansiyel DVH:** Bilgisayar, voksel numarası ile verilen aralıktaki ortalama dozu toplar ve dozun fonksiyonu olarak çizer. Hedef hacim için ideal DVH, tanımlanan dozun istenilen hacmin tamamına verildiğini gösteren tek kolonun işaretlendiği DVH' ıdır. Kritik yapıların DVH' larında farklı dozların farklı hacimlere verilmesi nedeniyle çok pik gözlenir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Prostat ışınlaması yapılan bir hastadaki prostat ve rektumun aldığı dozun diferansiyel DVH gösterimi



Şekil 2.7 Prostat ışınlaması yapılan bir hastadaki prostatın ve rektumun aldığı dozun kümülatif DVH gösterimi

**b. Kümülatif DVH:** Geleneksel olarak sorulan ”% izodoz eğrilerinin kapsadığı hacim ne kadardır?” sorusuna diferansiyel DVH ile cevap verilemez. Bunun için kümülatif DVH kullanılır. Bilgisayar, hedef hacmine (veya kritik yapıya) verilen dozu hesaplar ve bu hacme (hacim yüzdesi) karşı dozları çizer. Kümülatif DVH’ a 0 Gy doz için % 100 hacimle başlanır ve bütün hacimlerin aldığı doza kadar devam eder (Şekil 2.7).

#### **2.8.5.4 Hacim kavramları**

Radyasyon tedavisinde tümör için en uygun ışını, toplam fraksiyon başına dozu seçmek ve seçilen ışını en uygun teknikle tümör alanına ulaştırmak tümör hücrelerini öldürürken normal dokuları korumak önemlidir. Radyasyon tedavisinde iyi bir tedavi planlamasının yapılabilmesi için çeşitli tümör hacim kavramlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu konuda yayınlanan raporlarda tanımlamalar yapılmıştır (ICRU report 50, ICRU report 62 1999). Bu hacim kavramları:

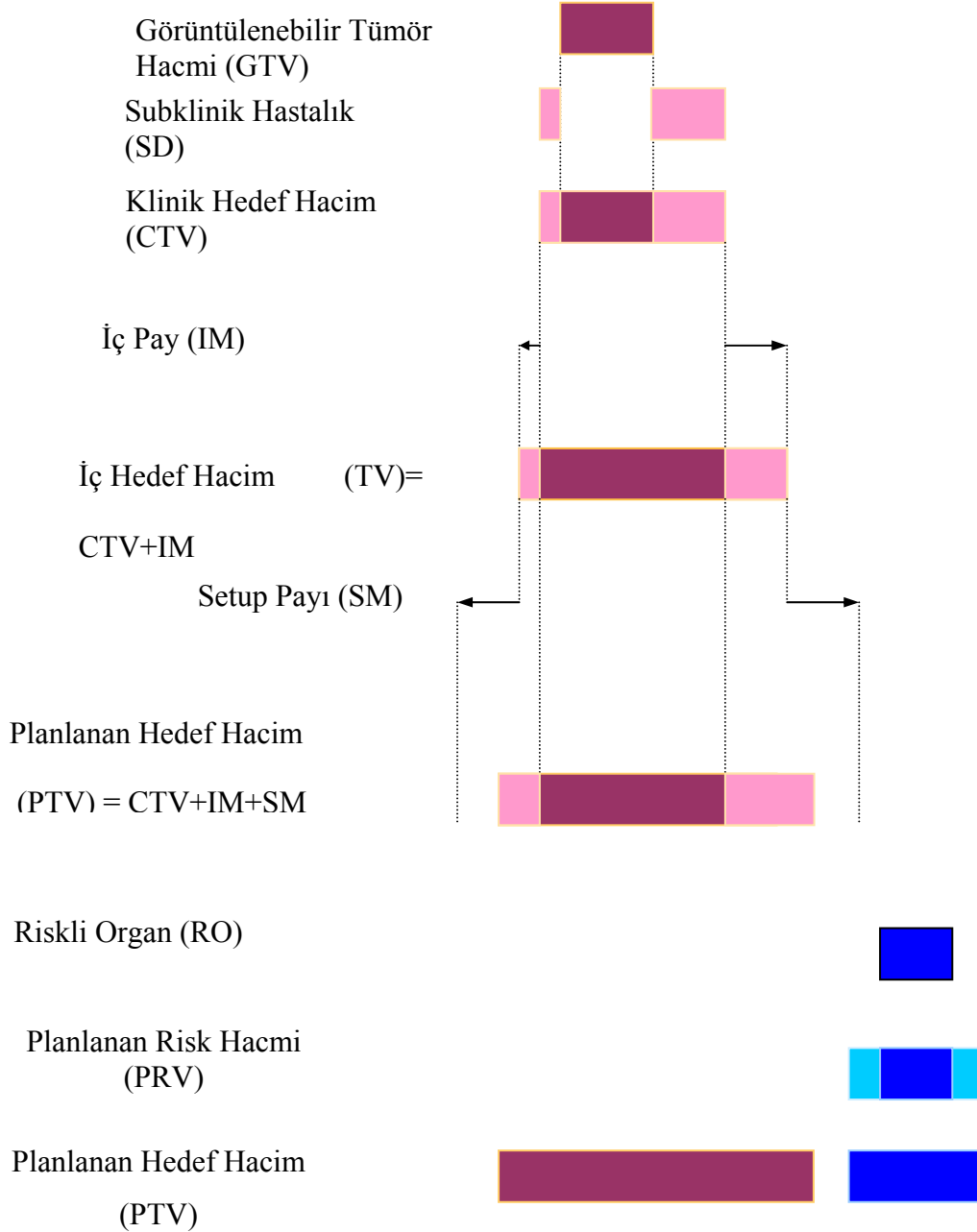
- Görüntülenebilir tümör hacmi (Gross Tumor Volume, GTV)
- Klinik hedef hacim (Clinical Target Volume, CTV)
- Planlanan hedef hacim (Planning Target Volume, PTV)
- Tedavi hacmi (Treated Volume, TV)
- Işınlanan hacim (Irradiated Volume, IV)
- Riskli organ (Organ at Risk, OR)

#### **a. Görüntülenebilir (Gross) tümör hacmi (GTV)**

Görüntülenebilir tümör hacmi tanımlanabilir, sınırları belirgin kitlenin bulunduğu ve malign büyümenin gerçekleştiği bölgedir. Genişliği ve miktarı bilgisayarlı tomografi, nükleer manyetik rezonans görüntüleme, radyografi gibi farklı görüntüleme teknikleri aracılığı belirlenmektedir (ICRU report 50, ICRU report 62 1999) .

## b. Klinik hedef hacmi (CTV)

Klinik hedef hacim (CTV), tanımlanabilir tümör hacmi ve/veya yok edilmesi gereken subklinik malign hastalığı içeren doku hacmidir. Radyoterapinin amacına ulaşabilmesi için bu hacmin tamamen tedavi edilmesi zorunludur (ICRU report 50, ICRU report 62 1999) .



Şekil 2.8 ICRU' ya göre hacim gösterimleri

#### **c. Planlanan hedef hacim (PTV)**

Planlanan hedef hacim (PTV), tedavi planlaması için kullanılan geometrik bir kavramdır. Ayrıca bu tanım önceden belirlenen ve hedef hacme verilmek istenen doz için uygun demet yerleşiminin belirlenmesinde kullanılmaktadır (ICRU report 50, ICRU report 62 1999) .

#### **d. Tedavi hacmi (TV)**

Tedavi hacmi, tümör tedavisinin başarılı olması için belirlenen dozun planlanan hacme verilmesi sırasında radyasyon onkolojisi ekibinin kabul edilebilir komplikasyonlara neden olabilecek doz sınırı içinde değerlendirdiği miktarda doz alan doku hacmidir (ICRU report 50, ICRU report 62 1999) .

#### **e. Işınlanan hacim (IV)**

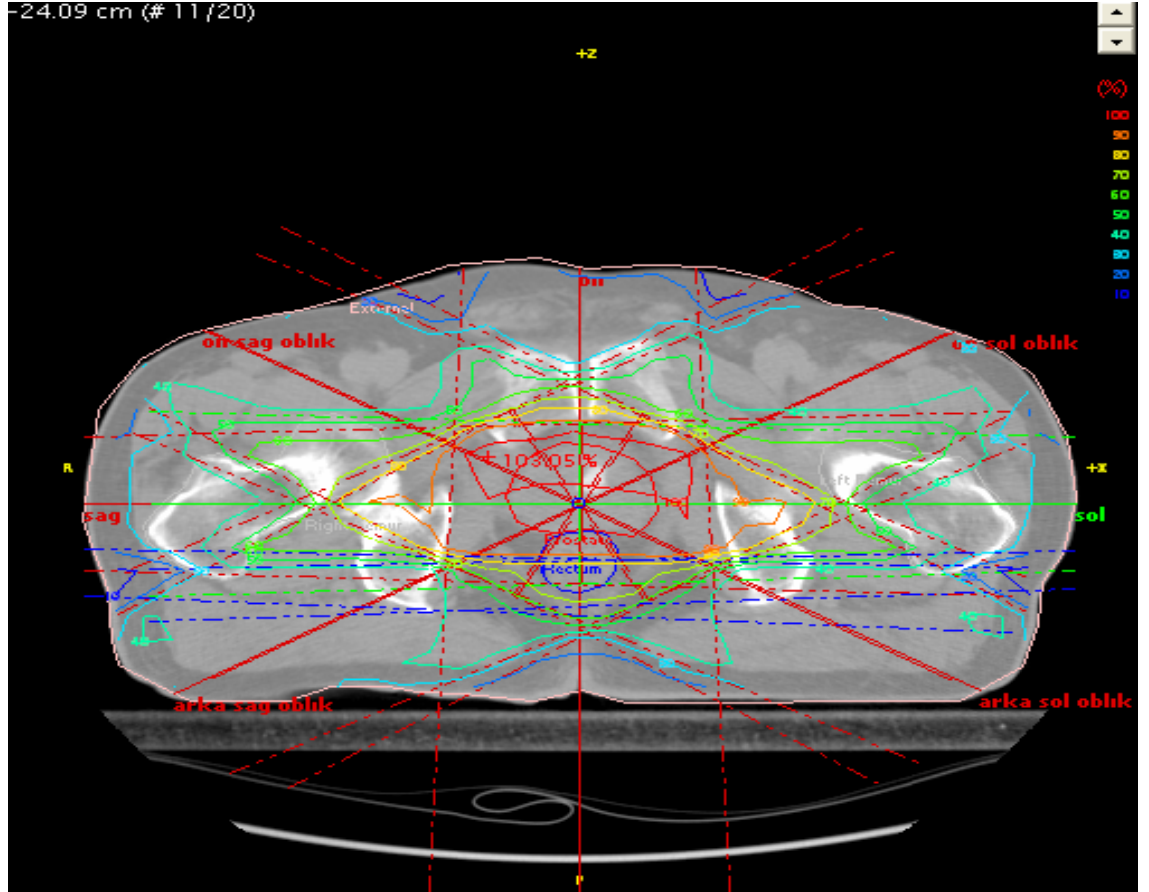
Işınlanan hacim, normal doku toleransına göre kayda değer miktarda doz alması beklenen doz hacmidir (ICRU report 50, ICRU report 62 1999) .

#### **f. Riskli organ (RO)**

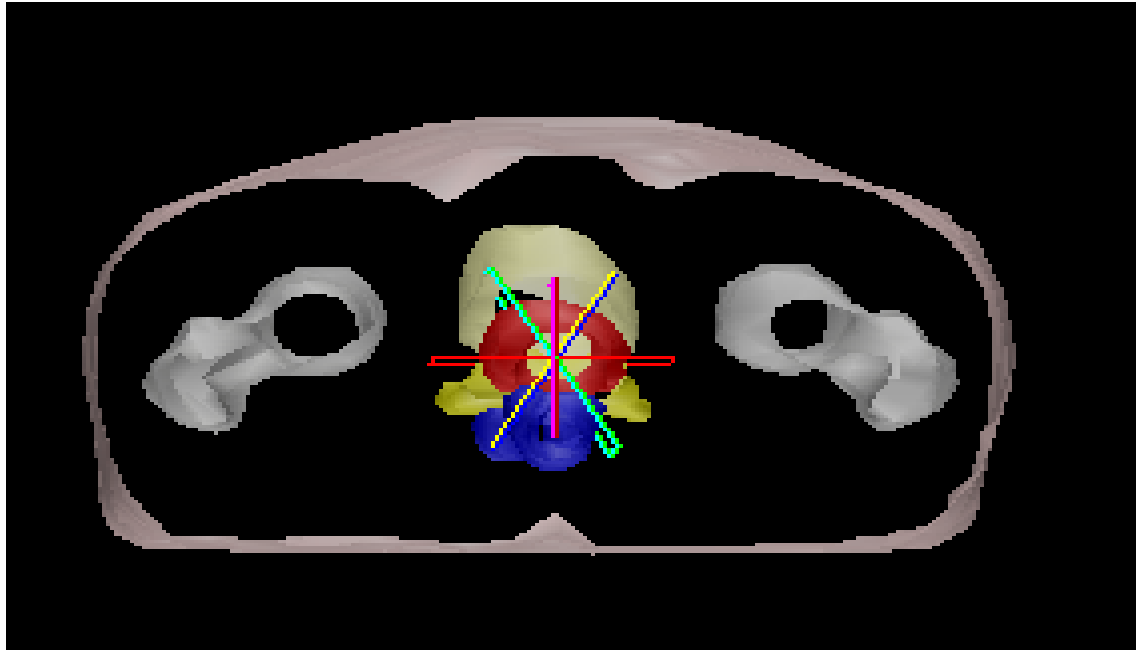
Riskli organ (kritik normal yapı), radyasyon duyarlılığı tedavi planlamasını ve/veya önceden belirlenen dozu etkileyen normal dokular (göz, omurilik vs.)' dir (ICRU report 50, ICRU report 62 1999) .

#### **2.8.6 Merkezi kesit görüntüsü**

Üç- boyutlu planlama yapılırken tedavi edilecek anatomik bölgenin çekilmiş BT görüntüleri içinden PTV' nin merkezi kesiti (genelde PTV hacminin ortasına gelen kesit seçilir.) , merkezi kesit görüntüsü olarak seçilir. Tüm demet girişleri, alan şekillendirmeleri gibi planlama işlemleri bu kesitte yapılır. Diğer BT kesitlerine de bakılarak ışın alanına giren yapılar kontrol edilir (Şekil 2.9) .



Şekil 2.9 Üç- boyutlu planlaması yapılan bir prostat hastasının merkezi kesit görüntüsü



Şekil 2.10 Üç- boyutlu (alttan) görüntü

Üç- boyutlu planlama sistemi, çekilen BT’ deki her bir kesitte tümör hacminin ve kritik normal yapıların dış konturlarının girilmesi ile oluşturulan üç- boyutlu görüntüye her açıdan bakma fırsatı verir (Şekil 2.10).

## **2.9 Tedavide Kullanılan Cihazlar**

### **2.9.1 Tedavi planlama sistemi ( TPS )**

Tedavi planlama sistemi özel bir monitör, film tarayıcı, ışıklı bir dijital yazıcı, yazıcı ve çizici gibi donanımlardan oluşan iki ya da üç boyutta planlama yapabilen ve belirli bir program altında çalışabilen yazılımdan oluşan bir sistemdir. Bilgisayar ortamında farklı enerjilerde farklı kaynak cilt mesafelerinde (SSD), istenilen alan boyutlarında foton ya da elektron demetleri oluşturmak ve bu demetleri farklı tedavi teknikleri kullanarak hastaya yöneltmek ve ışınlanan bölgedeki doz dağılımlarını elde etmek mümkündür.

Planlama sistemi içerdiği özel algoritmalar yardımıyla, sisteme önceden girilen ışınlama cihazına ait demet enerjisi, doz verimi, derin doz yüzdesi (%DD), doku-hava oranı (TAR), saçılan-hava oranı (SAR), doku-maksimum oranı (TMR), kolimatör saçılma faktörü ( $S_c$ ) ve fantom saçılma faktörü ( $S_p$ ) gibi dozimetrik parametrelerden gerekli olanlarını, sonradan girilen hedefe (yani hastaya), tedavi tekniğine (eksternal, brakiterapi, ark vb.), ışınlamaya (enerji, alan boyutu, SSD vb.) ait parametreleri ilişkilendirerek doz hesabı yapmaktadır. Bu hesaplamalar sonunda, radyasyonun hedef içindeki dağılımı, komşu doku ve organlar ile tümörün alacağı doz belirlenebilmektedir.

Planlama sistemine tedavide kullanılan cihaza ait dozimetrik parametreler kuruluş aşamasında yüklenmekte ve periyodik olarak kontrol edilmektedir. Hastaya ait bilgiler ise tedavi aşamasında, hastaya ait kontur, bilgisayarlı tomografi, simülasyon filmi, radyografik görüntü vb. kaynaklardan uygun bir biçimde girilmektedir. Hastanın ışınlanacak bölgesinde yer alan kritik organlar, tümör hacmi ve ışınlanması planlanan hedef hacim belirtilmelidir. Daha sonra istenilen özelliklere sahip foton ya da elektron demetleri oluşturularak, hedef bölge üzerine gönderilmektedir. Yazılım girilen tüm

bilgileri göz önünde tutarak istenilen dozimetrik hesaplamaları gerçekleştirmektedir (Khan 2003) .

### 2.9.2 Simülatör cihazı

Tedavi simülatörü, diagnostik x- ışını tüpü kullanılan bir cihazdır. Fakat geometrik, mekanik ve optik özellikler olarak tedavi ünitesinin taklididir. Simülatörlerde, hastaların tedavi koşulları ile aynı koşullarda simülasyon yapılmaktadır. Tedavi alanlarının ve koşullarının doğruluğu kontrol edilmektedir. Simülatörün ana fonksiyonu, çevre normal dokularla sınırlandırılmış hedef hacminin olduğu tedavi alanının görüntülenmesidir. İç organların radyografik olarak görüntülenmesi ile alanların pozisyonları doğrulanmakta ve kurşun bloklar eksternal olarak sağlanmaktadır. Bir çok ünite, dinamik görüntülemeyi sağlayan floroskopik yetenek mevcuttur. Simülatöre ihtiyacın nedenleri şunlardır:

- a. Radyasyon demeti ve hastanın eksternal ve internal anatomisi arasındaki geometrik ilişkinin basit bir x- ışını tüpü ile sağlanamaması
- b. Simülatörlerde kullanılan x- ışını enerjisinin tedavi için kullanılan x-ışını enerjilerine göre daha düşük olması nedeniyle radyografik görüntünün daha iyi olması
- c. Tedavi ünitesi odasının zamansal açıdan işgal edilmemesi
- d. Hastanın set- up' ında ve tedavi tekniğinde beklenmeyen problemlerle zamandan çalınması.

Lokalize tedavi hacmi ve set- up alanları ile diğer gerekli veriler simülatörde sağlanabilmektedir. Çünkü simülatörün özellikleri, tedavi ünitesinin özellikleri ile aynıdır. Kontur alınması, kompensatör veya bolus ile ilgili hastanın değişebilir ölçümleri uygun set- up koşulları altında sağlanabilmektedir. Standart ve kişisel koruma blok testleri simülatör ile yapılmaktadır. Modern simülatörlerde, lazer ışığı, kontur çizici ve gölge tepsisi gibi ekipmanlar vardır.

Bazı simülatörlerde tomografi düzeneği mevcuttur. Fakat görüntü kalitesi daha zayıftır.

Simulator alanlarındaki ilgi çekici gelişme, simulator içindeki BT tarayıcılarıdır (Khan 1994) .

### 2.9.3 Lineer hızlandırıcı tedavi cihazları

Eksternal demet radyoterapisinin (teleterapi) ilk uygulandığı dönemlerde konvansiyonel x- ışını tüpleri (anot ve katot ile) ve yüksek voltaj jeneratörlerinden elde edilen x- ışını demetlerinin enerjileri en fazla 300 keV' di. (Radyoterapi terminolojisinde demet enerjilerinin elektron demetleri için eV, x- ışını demetleri için gerilim biriminde [V] kullanılmasından dolayı bu noktadan itibaren x- ışını demeti enerjileri V cinsinden verilecektir). Bu yüzeysel (150 kV' a kadar) ve orta-voltaj (300 kV' a kadar) cihazlar cilt kanseri ve palyasyon (hastalığın belirtilerini iyileştirmeksizin hafifleten tedavi) tedavisinde hala efektif olarak kullanılmaktadır. Fakat bu cihazlarla elde edilen x- ışınlarının enerjileri düşük olduğundan, derine yerleşmiş tümörlerin tedavisinde tümörün üst kısmında bulunan sağlam dokuların yüksek doz almasına ve dolayısıyla da ciltte komplikasyonların oluşmasına neden olmaktaydı. Ciltteki komplikasyonların önüne geçebilmek için tümöre verilmesi gereken dozun sınırlandırılması ve ayrıca düşük enerjili x- ışınlarının kemik ve yumuşak dokudaki soğurulma farklılıkları yapılan tedavilerde sorun oluşturmuyordu. Bu nedenle derine yerleşmiş tümörlerin etkin tedavisinde yeterli giriciliğe sahip, kemik ve yağ dokusunda birbirine yakın enerji soğurması verecek, cilt ve sağlam dokulardaki olumsuz etkiyi azaltacak x- ışını cihazları üzerinde çalışmalar yapıldı.

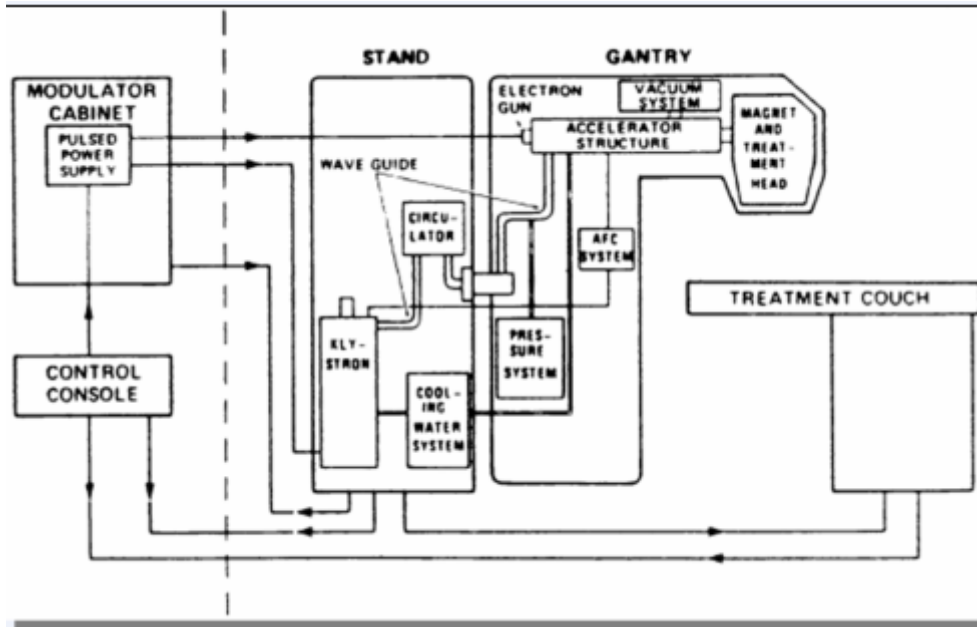
İlk medikal lineer hızlandırıcı ise 1952 yılında Londra' daki Hammersmith hastanesinde kurulmuştur ve bu cihazla ilk tedavi 1953 yılında 8 MV' luk x- ışınlarıyla yapılmıştır. Medikal lineer hızlandırıcılar (linac) yüksek giricilik özelliğine sahip yüksek enerjili x- ışınlarının elde edilebilirliğinden dolayı günümüzde derine yerleşmiş tümörlerin tedavisinde en popüler sistemlerdir.

Lineer hızlandırıcı ile yüksek enerjili x- ışını elde edilebilir veya tedavi şekline bağlı olarak elektronlar direkt olarak tedavide kullanılabilir. Bir lineer hızlandırıcı genellikle

iki farklı foton enerjisi ve dokuz farklı elektron enerjisi üretebilme yeteneğindedir. Yüksek enerjili lineer hızlandırıcılarda saçılan ışınlar azdır ve doz maksimum noktası daha derindedir. Bundan dolayı cilt daha az hasar görür (Skin sparing effect). Ayrıca lineer hızlandırıcılarda penumbra (ışın eksenine dik bir düzlem boyunca, merkezi ışıktan uzaklaştıkça özellikle de alan kenarlarına yakın bölgelerde, radyasyon kaynağına olan uzaklığın artması ve saçılan ışınların doza katkısında azalma olması nedeniyle, dozda bir azalma meydana gelir. Alan kenarlarında meydana gelen bu doz azalması penumbra olarak tanımlanır ( Khan 2003 ).) daha azdır ve alan kenarlarında daha keskin doz düşüşleri görülür. Bunun nedeni lineer hızlandırıcıların, çapı yaklaşık 2 mm olan sanal kaynak boyutuna sahip olması ve enerjilerinin yüksek oluşudur. Başka bir üstünlüğü de daha yüksek doz hızlarına (dakikada 1-10 Gy) sahip olmalarıdır. Bu sayede daha kısa tedavi sürelerinde yüksek dozlar verilebilir (Madcalse 2002) .

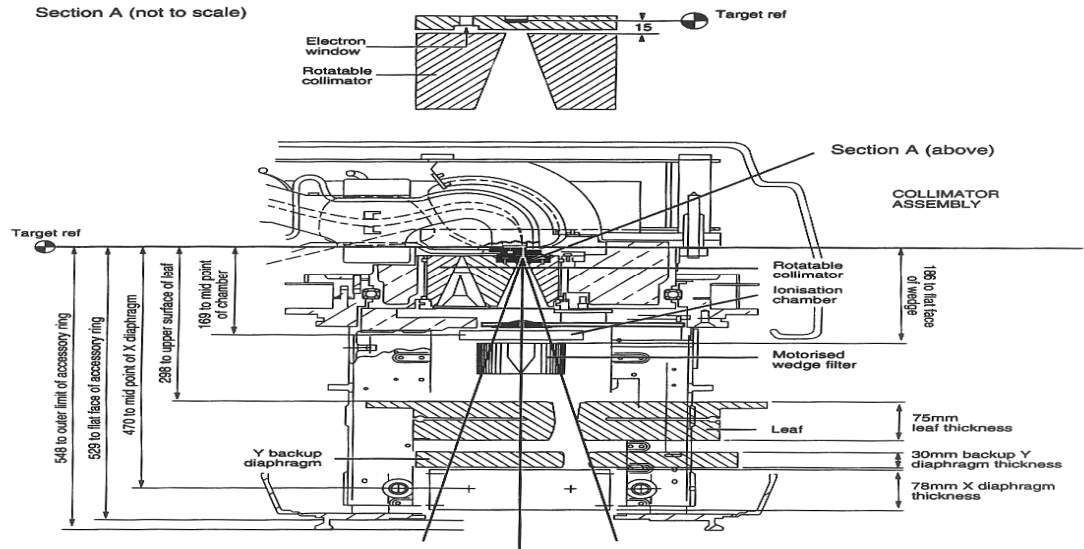
Lineer hızlandırıcı demetinin özelliklerini tam olarak kavrayabilmek için önce bu tip cihazlarla x-ışını üretimi mekanizması gözden geçirilmelidir. 1940 yılından sonra geliştirilen yüksek frekanslı, çok kısa dalga boylu osilatörler, lineer hızlandırıcılarda elektronların hızlandırılmasında kullanıldı. Daha sonra yüksek frekans kaynağı olarak 3000 MHz frekansta elektromanyetik dalga veren mikrodalga üreticisi (magnetron ve klaystron tüpleri) lineer hızlandırıcılarda kullanılmaya başlandı. Lineer hızlandırıcının evrimi, magnetron ve klaystron formunda mikrodalga jeneratörlerinin üretimi ile sonuçlanan radar geliştirme çalışmalarının bir sonucudur. Magnetron veya klaystron, mikrodalga kavitelerinde yoğun elektromanyetik alanlar oluşturabilme yeteneğindedirler (Magnetron mikrodalga kaynağı, klaystron mikrodalga yükselticidir. Küçük bir mikrodalga kaynağı ile sürülmesi gerekir). Bu yetenekleri, uygun dalga kılavuzu yapılarıyla birleştirildiklerinde, elektronları rölativistik hızlara ulaştırmayı mümkün kılar. Bu tüplerden elde edilen mikrodalga hızlandırıcı tüpün içine gönderilir. Elektron tabancasında tungsten flamanın ısıtılmasıyla elde edilen ve potansiyel farkı altında enerji kazandırıldıktan sonra ince bir demet haline getirilen elektronlar 50 keV' luk enerji ile ( $0.4c$  hızla) hızlandırıcı tüpün içine gönderilirler. Elektronlar enerji kazanmak ve hızlandırılmak için elektromanyetik dalgaların üstüne bindirilirler. Normal olarak elektromanyetik dalgaların hızı elektronlardan fazla olduğu için hızları tüp içindeki dairesel diskler ile azaltılır. Disklerin boyutları ve aralarındaki uzaklık dalganın

hızına göre belirlenir. Elektronlara yüksek hız elektromanyetik dalganın tepe noktasına bindirilerek verilir. Bu yolla elektronlar birkaç MeV enerji kazanırlar. Hızlandırma esnasında elektronları ince bir demet halinde toplamak ve hedef üzerine göndermek için tüp boyunca manyetik odaklayıcı alanlar bulunur. Hızlandırıcı tüpün sonunda elektronlar maksimum enerjilerini kazanmış olurlar. Enerjileri yaklaşık 5 MeV/metre’ dir. Daha küçük boyutlu cihazlar yapmak ve daha yüksek enerjili ışınlar elde etmek için hızlandırılmış elektronlar 90° veya 270° saptırıcı (bending) magnetler ile saptırılarak hedef üzerine veya doğrudan tüpün dışına gönderilir. Bu şekilde elde edilen yüksek enerjili elektronlar yüzeysel tümörlerin tedavisinde direkt olarak kullanılabileceği gibi yüksek erime noktasına sahip yüksek atom numaralı bir hedefe çarptırılarak yüksek enerjili x-ışınları da elde edilebilir (Madcalse 2002) .



Şekil 2.11 Lineer hızlandırıcının şematik gösterimi

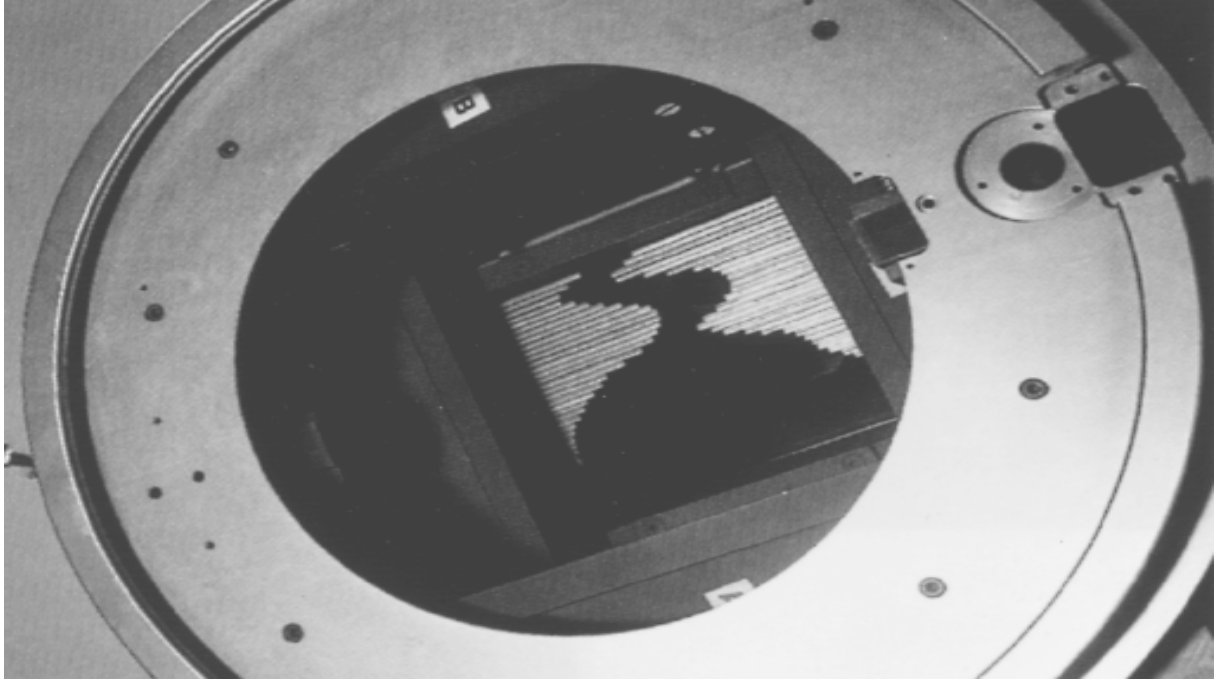
Lineer hızlandırıcı, hastanın doğru pozisyonlanması için yatay, dikey ve dönme hareketleri yapabilen bir tedavi masasına sahiptir. Lineer hızlandırıcı da radyasyon demetini üreten cihazlar gantri ve stand içine monte edilmiştir; stand sabittir ve gantriye pozisyonunda tutar; gantri, hastada hedeflenmiş farklı açılardaki demetleri oluşturabilmesi için hasta etrafında 360° dönme yeteneğindedir. Kolimatörler gantrinin bitim noktasına içten monte edilmiştir ve kolimatörlerin boyutu ve açısı ayarlanabilmektedir.



Şekil 2.12 Elekta SL 25 Lineer hızlandırıcı cihazı

Bir birincil sabit kolimatör (genellikle tungsten) hedefin altına düzleştirici filtrenin üzerine monte edilir. İki ucu açık küçük eğimli bir koni şeklindeki bu cihaz, sadece ileri doğru saçılan x- ışınlarının lineer hızlandırıcı dışına çıkmasına izin verir. Bu kolimatör kafa sızıntısından yani tedavi kafasından kaçan saçılmış fotonlardan kaçınmaya yardımcı olur. Bu kolimatörün boyutları genellikle ikincil kolimatörün olmadığı durumda 100 cm SSD' ye yaklaşık 50 cm çap verecek kadardır ( Madcalse 2002) .

Bir ikincil kolimatör sistemi genellikle yaklaşık 8 cm kalınlığında tungsten veya kurşundan yapılmış iki çift metal bloktan oluşur. Bu cihazlara verilmiş yaygın ad kolimatörler kullanılır. Çene içinden sızan doz, zırhlanmamış demetten kaynaklanan dozun yaklaşık % 0.4' ü kadardır. Hastada her çene için kolimatörler 0' dan 40 cm' ye kadar farklı dikdörtgensel alanlar oluşturmak için ayarlanabilirler (Madcalse 2002) .

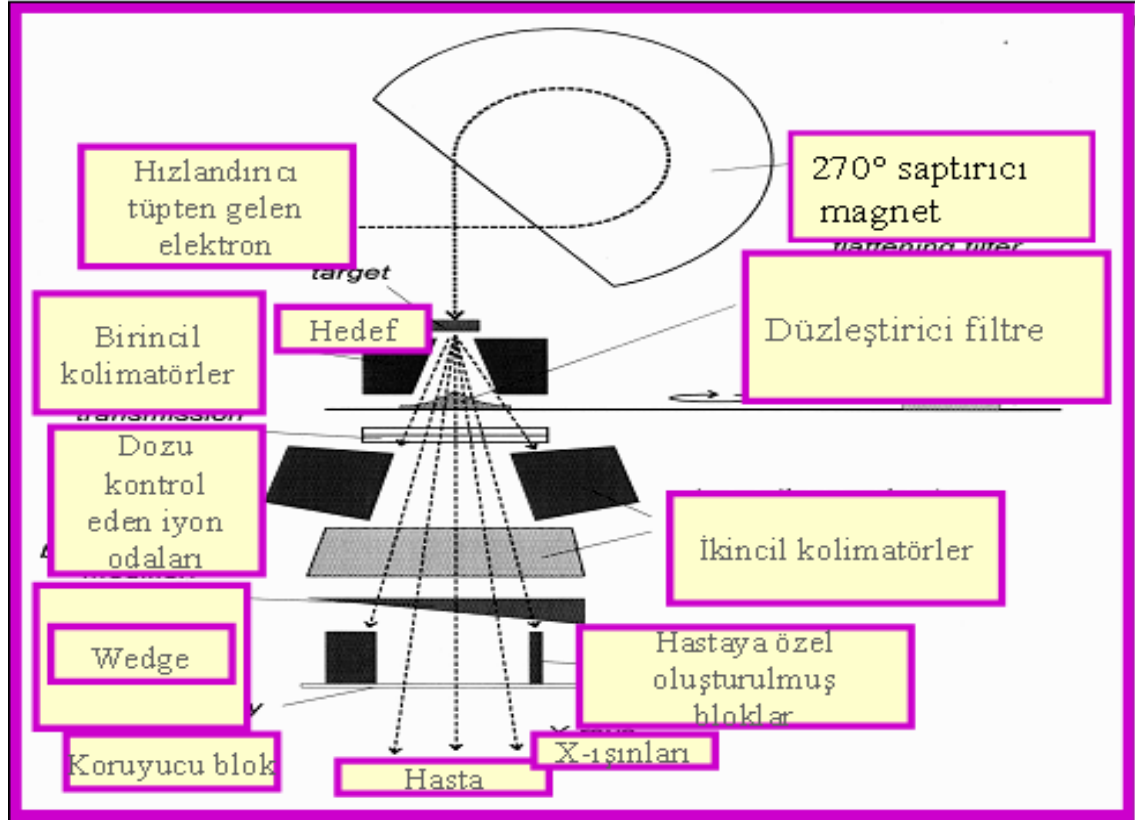


Şekil 2.13 Multilif kolimatör sisteminin dışardan görünüşü

Kurşun, serrobend ya da tungstenden yapılan üçüncül kolimatörler dairesel alanları sınırlandırmak için kullanılırlar. Bu kolimatörler demet merkezi eksenine paralel ya da demet diverjansına (ışın demetinin kaynaktan olan uzaklığın artmasına bağlı olarak açılmasıdır) uyumlu olarak dizayn edilebilirler. Bu kolimatörler genellikle hızlandırıcının kafasına bağlanan yuvalara monte edilirler. Böylece bu kolimatörler hızlandırıcının ikincil kolimatörlerinin altına yerleştirilmiş olurlar. Demet penumbrasını minimuma indirmek için kolimatör yuvasının dizaynıyla üçüncül kolimatörler x- ışını kaynağına yakın olarak dizayn edilebilir ve bu dizayn gantriye (tedavi kafası) hasta etrafında daha büyük bir hareket özgürlüğü sağlar (Khan 2003).

Lineer hızlandırıcı, elektronları yüksek güçte mikrodalgaları kullanarak lineer bir şekilde yüksek hız ve enerjiye ulaştırır. Lineer hızlandırıcının kalbi, elektron hızlandırmasının gerçekleştiği hızlandırıcı dalga kılavuzudur. Elektronları hızlandırmak için ihtiyaç duyulan mikrodalga enerjisi, kısa süreli (5 milisaniyelik) pulslar halinde dikdörtgen şekilli iletici mikrodalga kılavuzu yardımıyla mikrodalga üreticisi veya magnetrondan hızlandırıcı yapıya ulaştırılır.

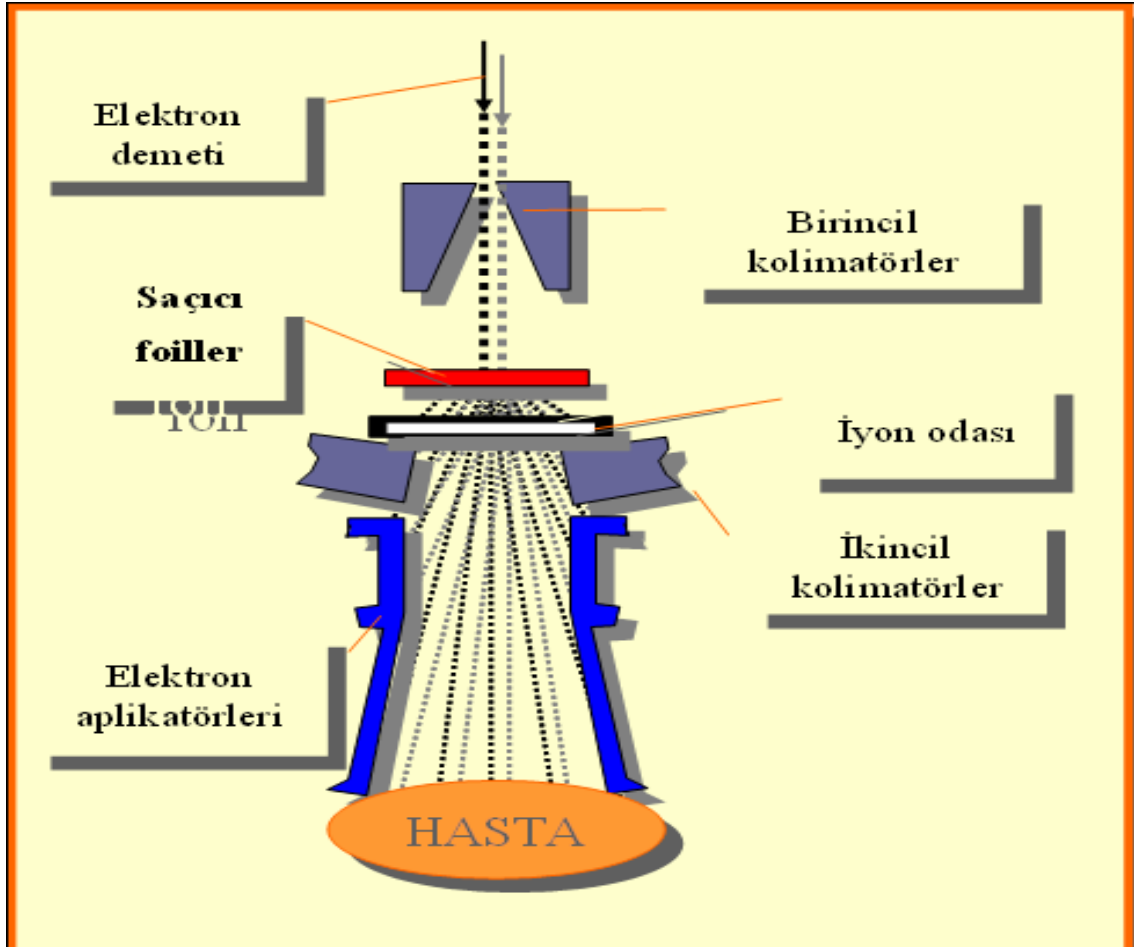
Bir lineer hızlandırıcı x- ışını modunda çalıştırıldığı zaman, elektron demeti bir hedefe çarpar ve Bremsstrahlung x- ışını üretilir. (Şekil 2.14)



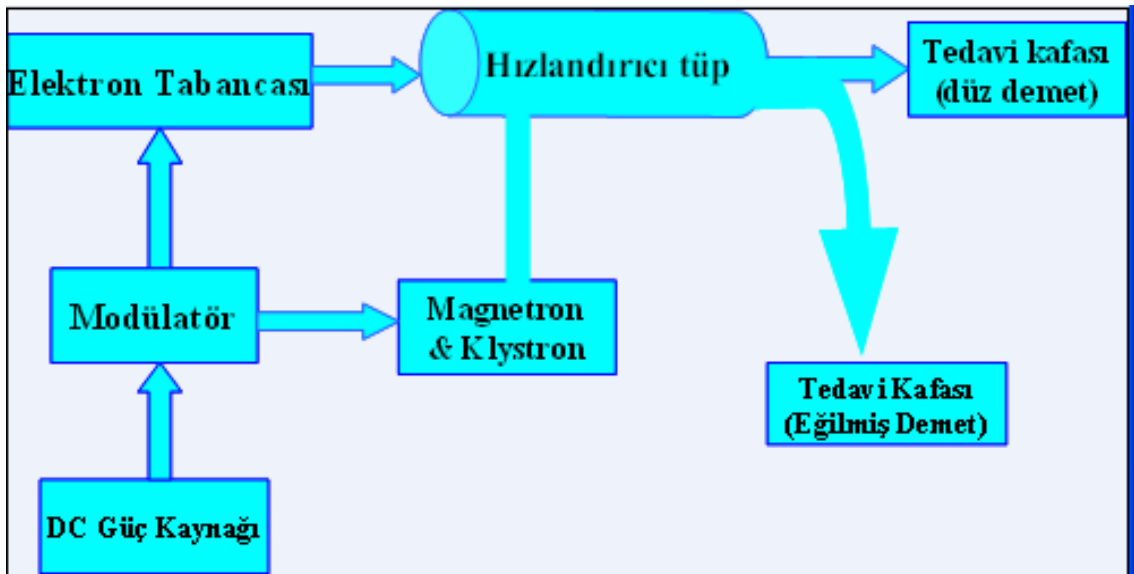
Şekil 2.14 Lineer hızlandırıcının x- ışını tedavisi için kullanımı

Lineer hızlandırıcı elektron modunda kullanılırken, elektronlar genellikle lineer hızlandırıcı çıkışında bir saçıcı foile çarparlar. ( Şekil 2.15)

Lineer hızlandırıcının çalışmasında kritik olan diğer sistemler ve yardımcı sistemler; lineer hızlandırıcı bileşenlerinin sıcaklığını düzenlemek için bir soğutma sistemi, hızlandırıcı dalga kılavuzunda vakum oluşturmak için bir iyon pompası sistemi, pnömatik sürücüler için bir basınç sistemi, iletici dalga kılavuzunun dielektrik dayanıklılığını artırmak için bir gaz sistemidir.



Şekil 2.15 Lineer hızlandırıcının elektron tedavisi için kullanımı



Şekil 2.16 Lineer hızlandırıcı diyagramı

### **3. MATERİYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Materyaller**

Çalışmada GATA Radyasyon Onkolojisi A.D.' da bulunan Philips SL 25 multilif kolimatörlü lineer hızlandırıcı cihazı, Mecaserto simülatör cihazı, Theraplan Plus 2000 tedavi planlama sistemi kullanılmıştır.

##### **3.1.1 Philips SL 25 lineer hızlandırıcı cihazı**

Philips SL 25 lineer hızlandırıcı cihazı, 6 MV ve 25 MV enerjili iki foton enerjisine, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20 ve 22 MeV enerjili dokuz elektron enerjisine sahip, multilif kolimatörlü bir lineer hızlandırıcıdır. Tungstenden yapılan ve potansiyel farkı uygulanarak ısıtılan bir flamanndan salınan 50 keV enerjili elektronların, magnetron tarafından üretilen 3000 MHz frekanslı elektromagnetik dalgalar kullanılarak hızlandırılması prensibiyle çalışır.

Philips SL 25 lineer hızlandırıcı tedavi cihazının ışınlama kafası içinde sırayla tungsten hedefi, hareketsiz birincil kolimatör, ışın tedavisinde kullanılan tungsten, wolfram ve alüminyum kombinasyonu olan ve bir çanı andıran düzleştirici filtre, iki tane monitör iyon odası, 60°' lik motorize kama filtre (wedge) , 40 çift liften oluşan multilif kolimatör sistemi ve ayna sistemi bulunur.

Cihaz 360° gantri, - 180° ile + 180° arası kolimatör, 360° tedavi masası rotasyonu yeteneğine sahiptir. Ayrıca tedavi masası düşey, ileri-geri ve yatay doğrultularda hareket edebilmektedir. Hastanın tedavi konumunu sabitlemede kullanılan iki ayrı doğrultuda (düşey – yatay) üç lazer ve kaynak cilt mesafesini gösteren ışıklı bir gösterge mevcuttur. Radyasyon alan boyutları izomerkezde 2 x 2 cm<sup>2</sup> ile 40 x 40 cm<sup>2</sup> arasındadır. Lifler tarafından bloklanmış alanda herhangi bir noktadaki geçirgenlik % 5 ' ten fazla değildir.

Tüm multilif sistemi; radyasyon türü (x- ışını, elektron) , enerjisi, alan boyutları ve merkezi, lif konumları bilgilerini içeren bir kontrol bilgisayarı, cihaz mekanik kontrollerin ve hasta bilgilerinin girildiği bir kontrol ünitesi ve renkli monitör gösterge bileşenlerinden oluşmaktadır. Liflerin konumları monitörden izlenebilmektedir.

### **3.1.2 Mecaserto simülatör cihazı**

Lineer hızlandırıcıdaki tedavi koşullarında hasta simülasyonunun yapılabildiği bir cihazdır. Kullandığı x- ışını kV mertebesindedir.

### **3.1.3 Theraplan Plus 2000 tedavi planlama sistemi**

Theraplan Plus 2000 tedavi planlama sistemi, bir monitör, film tarayıcı, ışıklı bir dijital yazıcı ve yazıcıdan oluşan, iki ve üç boyutta planlama yapabilen bir sistemdir. Sistem kuruluş aşamasında yüklenen veriler sayesinde, lineer hızlandırıcının sahip olduğu foton ve elektron enerjilerinde, tedavi planlamaları yapmaya olanak sağlar. Tedavi planlamalarının doz dağılımlarını ve doz- hacim histogramlarını hesaplar.

## **3.2 Yöntem**

Prostat kanserinin radyasyonla tedavisinde günümüze kadar farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmada 21 prostat kanseri hastası için konvansiyonel ön – arka (AP/PA) ve üç bilateral alan; box tekniği; 7 alanlı konformal radyoterapi tekniği ile tedavi planlamaları yapılmıştır.

### **3.2.1 Konvansiyonel eksternal – demet radyasyon terapisi teknikleri**

Kliniksel olarak belirlenmiş prostat kanseri tedavisi için mevcut uzun vadeli radyasyon sonuçlarının çoğu 1970’ lerde tedavi edilen hastalardan alınmıştır. O zamanlar, radyasyon tedavisi için tedavi alanı ve giriş şekilleri, pubik kemiğin yerinin kateter balonların ve mesane, rektal kontrast araçlarının bir rehber gibi kullanıldığı ve film radyografisi ile tanımlanan prostatın anatomik sınırlarının belirlenmesine bağlıydı. Bu

teknikler, BT ve MRG ile prostatın şeklinin ve yerinin tanımlanması için mevcut tekniklere alt seçenek olarak görülürdü. Bunun yanında erken radyasyon terapisi kurtarma yöntemleri, tedavi hedef hacmini sınırlandırmak için 3 bilateral alanlar ya da 4 alanlı box tekniği kullanılarak oldukça küçük 6 x 6 cm, 8 x 8 cm alanlarla tasarlanıldı. Bu yöntem, küçük T1 ve T2a tümörlerinin tedavisi için yeterli gözükse de, BT görüntüleri kullanılarak oluşturulan alanların yeniden yapılandırılması, özellikle seminal veziküllerin riskte olduğu, lokal olarak ilerlemiş hastalığı olan prostatların çoğunu sarmak için 8 x 8 cm alan boyutunun yeterli olamayacağını açıkça göstermiştir (Weil 1998) .

Geçmişte, prostata ilave dozu vermek için paralel ön – arka girişlerden, lateral girişlere (box tekniği) ya da 3 bilateral alanlara kadar değişen çeşitli teknikler kullanılmıştır. Pelvik lenf düğümlerini ışınlamak için, alan boyutu hasta cildinde 15 x 15 cm idi. Genelde, önce pelvise 45 Gy doz, sonra ek olarak sadece prostata dozu 70 Gy ya da daha fazlasına tamamlamak için 4 alan kullanılmıştır. Lenf düğümlerinde hastalığın pozitif olduğu hastalarda, common iliac düğümleri de sarmak için alan boyutları hasta cildinde 15 x 18 cm' ye (izomerkezde 16.5 x 20.5 cm) çıkartılmıştır. Alanın alt payı, prostat ve membranous üreterin birleşme yerine 1.5 – 2 cm uzaklıkta ayarlanır. Yan paylar, yan pelvis kemiğinden yaklaşık 1 – 2 cm uzaktadır. Lateral alanlar, ön – arka / arka – ön girişlerle tedavi edilene yakın bir hacmi sarar. Ön pay, simfizis pubis kabuğunun ön projeksiyonunun arkasından 1.5 cm uzaktadır. Eksternal iliac lenf düğümlerinin anatomik yeri düşünülerek, ince bağırsakların bir kısmı önden korunabilir. Girişler arkada, kendisine yakın olan rektal duvarın arkası için biraz koruma sağlayan S3 bölgesinin üstünde presakral ve pelvik lenf düğümlerini içerir (Perez 2004) .

BT' nin kullanılabilirliğine dayanan tedavi planlamasıyla, prostat boost alanları yapısal olarak şekillendirilmiştir. Seminal veziküller, pelvisin yukarısında ve mesanenin arkasında yer alır ve kliniksel ya da cerrahi evresi T3b tümörlü hastalarda küçültülmüş alanların tasarımında kritik bir faktördür (Dearnaley 1999) .

### 3.2.1.1 Ön – arka ( AP / PA ) ve üç bilateral alan tekniği

Bu teknikte prostat kanserli hastaların hastalık evrelerine göre demet giriş boyutları ve tedavi dozları belirlenmiştir. Bu belirlemede Perez'in 1998 yılında yayınladığı makalesindeki yöntem kullanılmıştır. Çizelge 3.1'de hastalığın evresine göre giriş boyutları, teknik ve tümör dozları verilmiştir. Evreye bağlı olarak uygulanan tedavilerde pelvik bölgeye AP / PA ve prostata 3 bilateral alanlarla boost ya da sadece prostata 3 bilateral alanlarla planlamalar yapılmıştır.

Çizelge 3.1 AP / PA ve üç bilateral alan tekniğine göre alan boyutları, uygulanan teknik ve tümör dozları

|                         |        | Giriş Boyutları<br>(cm izomerkezde) |                           | Teknik        |                              | Tümör Dozları <sup>*</sup><br>(cGy)   |                          |
|-------------------------|--------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| <i>Evre<sup>*</sup></i> |        | <i>Pelvis</i>                       | <i>Prostat</i>            | <i>Pelvis</i> | <i>Prostat</i>               | <i>Pelvik<br/>Lenf<br/>Düğümüleri</i> | <i>Prostat<br/>Boost</i> |
| 1                       | A1     |                                     | 8 x 10                    |               | 120°<br>bilateral<br>alanlar |                                       | 6400/6.5<br>hafta        |
| 2                       | A2, B  |                                     | 8 x 10<br>veya<br>10 x 12 |               | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 0                                     | 6600/7<br>hafta          |
| 3                       | A2, B1 |                                     | 10 x 12                   |               | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 0                                     | 6600/7<br>hafta          |
| 4                       | A2, B  | 16.5x16.5                           | 8 x 10                    | AP / PA       | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 4500/5<br>hafta                       | 2000/2<br>hafta          |
| 5                       | A2, B  |                                     | 8 x 10<br>veya<br>10 x 12 |               | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 0                                     | 6600/7<br>hafta          |
| 6                       | A2, B  | 16.5x21                             | 8 x 10                    | AP / PA       | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 4500/5<br>hafta                       | 2000/2<br>hafta          |

Çizelge 3.1 AP / PA ve üç bilateral alan tekniğine göre alan boyutları, uygulanan teknik ve tümör dozları (devam)

|    |    |           |                            |         |                              |                 |                   |
|----|----|-----------|----------------------------|---------|------------------------------|-----------------|-------------------|
| 7  | C  | 16.5x16.5 | 12 x 12<br>veya<br>12 x 14 | AP / PA | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 4500/5<br>hafta | 2500/2.5<br>hafta |
| 8  | C  | 16.5x21   | 10 x 12<br>veya<br>12 x 14 | AP / PA | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 4500/5<br>hafta | 2500/2.5<br>hafta |
| 9  | C  | 16.5x21   | 10 x 12<br>veya<br>12 x 12 | AP / PA | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 4500/5<br>hafta | 2500/2.5<br>hafta |
| 10 | C  | 16.5x21   | 8 x 10<br>veya<br>10 x 12  | AP / PA | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 4500/5<br>hafta | 2500/2.5<br>hafta |
| 11 | D1 | 16.5x21   | 10 x 12<br>veya<br>12 x 14 | AP / PA | 120°<br>bilateral<br>alanlar | 4500/5<br>hafta | 2000/2<br>hafta   |

\* Günlük Doz: Geniş pelvis alanlarına 180 cGy; prostat boost girişlerine 200 cGy.

Çizelge 3.2 Prostat kanseri evrelemesi

| <i>Evre*</i> |        | <i>Açıklama</i>                                                                      |
|--------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | A1     | İyi diferansiyeden daha kötü                                                         |
| 2            | A2, B  | Lenfadenektomi evrelemesi, negatif pelvik lenf düğümleri                             |
| 3            | A2, B1 | İyi diferansiye, evrelemesi yok                                                      |
| 4            | A2, B  | Lenfadenektomi yok                                                                   |
| 5            | A2, B  | 70 yaşından fazla                                                                    |
| 6            | A2, B  | Pozitif common iliak düğümleri, periaortik düğümlere ek olarak 4500 cGy doz          |
| 7            | C      | Negatif lenfadenektomi                                                               |
| 8            | C      | Pozitif eksternal iliak veya hipogastrik düğümler                                    |
| 9            | C      | Lenfadenektomi yok                                                                   |
| 10           | C      | Pozitif common iliak veya periaortik düğümler, PA düğümlerine ek olarak 4500 cGy doz |

### 3.2.1.2 Box tekniği

18 MV üzerindeki foton enerjileri ile, sağlam doku dozunu azaltmak için AP / PA girişlerine ek olarak yan girişler her zaman gereklidir (box tekniği) . 18 MV üzerindeki foton enerjileri ile, kalınlığı 20 cm' den daha fazla olan hastalar hariç, yan girişler sağlam doku dozunun yüksek olmaması nedeniyle çok gerekli değildir. Box tekniğini kullanmanın başlıca avantajı, AP/ PA girişlerinde meydana gelen kızarıklıklarda ve cilt dökülmelerindeki azalmadır (Perez 1998) .

### 3.2.2 Konformal radyasyon terapisi teknikleri

Üç – boyutlu tedavi planlama sistemleri pek çok açıdan farklılık gösterir; fakat hepsi ortak prensiplere dayanır. BT' ye dayanan simülasyon görüntüleri, prostat ve normal organları kesitleme ve üç – boyutlu yeniden yapılandırmalarda yüksek çözünürlük yaratmak için kullanılır. Konformal radyoterapi için simülasyon ve set – up, tedavi belirsizliklerini azaltmanın ve uzatılmış terapi süresi boyunca gerekli olan set – up tekrarlanabilirliğini genişletmenin yanı sıra çeşitli taktikleri birleştirir (Malone 2004) .

Hastanın, tüm işlemler sırasında tedavi cihazı masasına uygunluk sağlamak için, BT tarama sırasında hasta düz bir tahta üzerine yatırılır. Hasta BT taramasına alınır. Tedavi izomerkezi olarak, kemik anatomisine göre, prostat bezi içinde bir nokta seçilir.

Eğer BT simülatör kullanılıyorsa, BT ve simülasyon birleştirilir. BT data setine bağlı olarak, gerçek simülasyon oluşturulur. Gerçek simülasyon filmleri yerine dijital olarak yapılandırılmış radyograflar kullanılır (Chao 2004) .

Hacimsel BT verileri tedavi planlaması için kullanılır ve doktor BT görüntüleri üzerinden PTV' yi, rektumu ve mesaneyi belirler. BEV, normal dokuları korurken PTV için alan açıklığını şekillendirmek amacıyla kullanılır. Konformal plan 6 alanlı yapılabilir. Işınlar 45, 90, 135, 225, 270, 315 gantri açılarında konumlandırılır (7 alanlı konformal planlama için mevcut açılardaki demetlerin yanına bir de 0 gantri açısında bir demet yerleştirilir) . Konformal tedavi planlaması için, demetler BEV görüntüsü

üzerinden PTV' nin etrafına yerleştirilir. Lateral ve anteriorposterior yönlerdeki ışın penumbrasını hesaba katmak için, yaklaşık 5 mm pay kullanılır. Işınlardan üst üste gelme durumları bulunduğundan, bu payın değeri dozimetrik olarak uygun olsa da superior ve inferior yönlerde 1 cm pay kullanılır. Işın yerleştirmesi için multilife uygun konvansiyonel bloklar ya da multilif kolimasyon kullanılabilir. Multilif kolimatör kullanımı ile, alan şekilleri uzaktan ve otomatik olarak tekrarlanabilir şekilde oluşturulur. Bu durumda kurşun ve kadmiyumdan yapılan blokların kullanımı, blok maliyeti, yapımları ve günlük set- up' lar için harcanan zaman ortadan kaldırılmış olur (Tai 2004) .

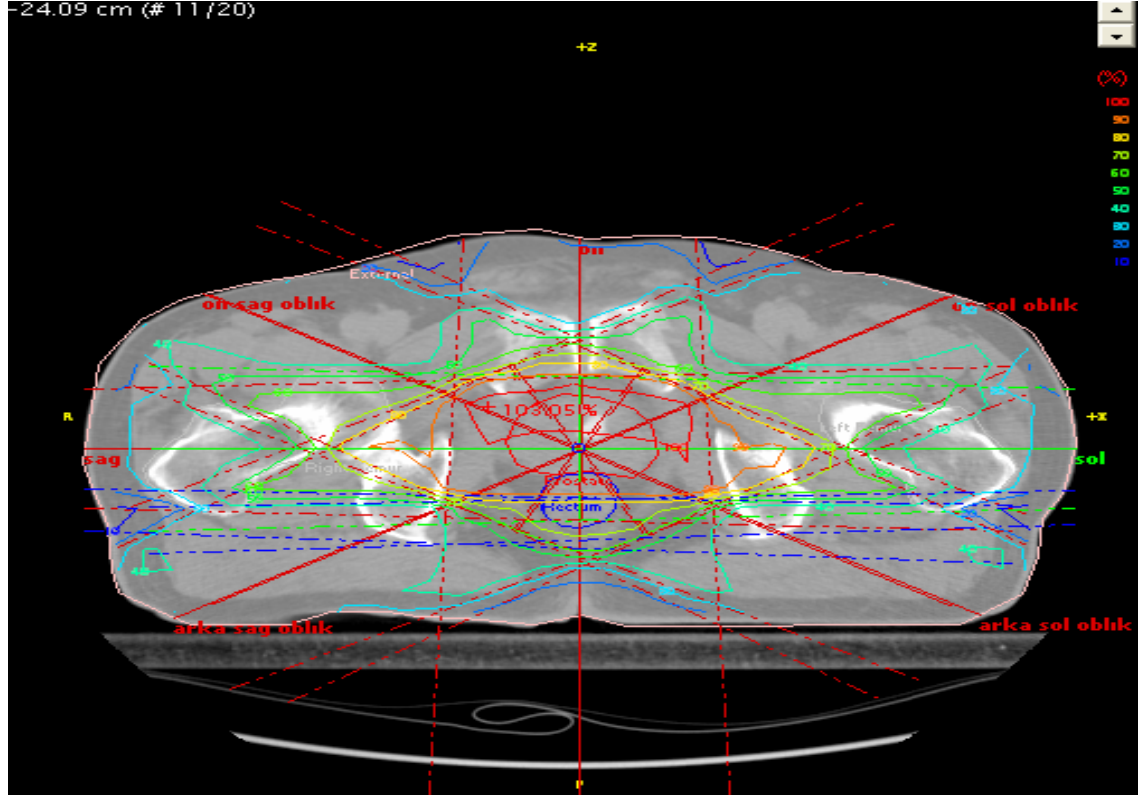
Tedavinin uygunluğuna karar vermek için, prostat, seminal veziküller, rektum, mesane ve femur başları için DVH' lar oluşturulur. Eğer bağırsak prostatın ve seminal veziküllerin yanındaysa bağırsak için de doz hesaplanır. Uygun doz dağılımı, demetlerin farklı ağırlıkları denenerek sağlanır. Genelde, 2 lateral ışın izomerkeze dozun yarısını ulaştırır, geri kalan 4 oblik ışın ise dozun kalanını ulaştırır. PTV' de homojen doz dağılımı elde etmek ve sıcak nokta oluşturmamak için, anterior oblik ve posterior oblik ışın ağırlıkları ayarlanır. Tanımlanan izodoz (% 100) PTV' yi sarar ve % 6 - % 9 arası sıcak noktalar PTV' nin içinde kalır. Rektal duvarın PTV ile birleşen kısmının tanımlanan doz veya fazlasını alması beklenir (Perez 2004) .

GATA Radyasyon Onkolojisi A.D' de prostat hastalarına tedavi planlaması için uygulanan işlemler aşağıdaki gibidir:

- Her hastaya planlama amaçlı planlama tomografisi supin pozisyonda (sırt üstü) ve diz altı kaması kullanılarak çekilir.
- Tomografi öncesi hastalar barsak temizliği açısından uyarılır.
- Mesane miksiyonla boşaltıldıktan sonra, 100 cc kontrast madde intravenöz yolla verilir.
- Planlama tomografisi çekimi esnasında, tomografi yatağını düzleştirmek amacıyla yatak üzerine tahta blok konulur.
- Kontrast maddenin uygulanmasından 20 dakika sonra prostat ve seminal veziküllerin 0.5 cm' lik seri kesitleri alınır.

- Planlama kesitlerinde ICRU 62 nolu raporuna göre, klinik hedef hacim (CTV) prostat ve seminal veziküller, planlanan hedef hacim (PTV) ise prostat ve seminal vezikülleri 1 – 1.5 cm emniyet sınırı ile kapsayacak şekilde belirlenir.
- Posterioda rektum ön duvarı prostata çok yakın olduğundan dolayı 0.8 – 1 cm emniyet sınırı bırakılır.
- Hasta konturu ile birlikte kritik organ olarak mesane, rektum ve femur başları planlama BT kesitlerinde çizilir.
- Tomografi kesitlerinde tüm hacimler belirlendikten sonra 7 alanlı üç – boyutlu planlama yapılır. Alanlar iki lateral ( 90° , 270° ) , dört oblik (45° , 135° , 225° , 315° ) ve bir ön alan (0°) olacak şekilde planlama yapılır (Şekil 3.1).
- Planlama, en iyi doz dağılımını sağlamak için demetlere ağırlık verilerek yapılır. Ön demete % 2, yan demetlere % 25, oblik demetlere ise % 12 ağırlık verilir.
- İki lateral alanda rektum ve mesane için kişiye özgün koruma blokları “ beam’s eye view “ (BEV) yardımı ile çizilir.
- Planlamada izodoz eğrilerinin PTV’ yi + % 5 ile - % 5 homojenite sınırları ile kapsamasına dikkat edilir.
- Rektum dozunun 65 Gy, mesane dozunun 70 Gy’ in altında olmasına çalışılır.
- Normalizasyon izomerkeze göre yapılır.
- Simülasyonda hasta planlama pozisyonundaki gibi yatırılır.
- İzomerkez, tuberositas iskialar, planlamadaki SSD’ ler ve pubis – prostat ilişkisi yardımıyla tespit edilir.
- Referans noktaları ve alan merkezleri lazerler yardımıyla hasta üzerine işaretlenir.
- Ön ve yan alanlar için filmler çekilir.
- Bu filmler koruma ve alan kontrolü esnasında kullanılır.
- Hasta her gün lineer hızlandırıcıda tedavi bilgisayarında kayıtlı bilgilerine göre tedaviye alınır. Simülatörde hasta üzerinde işaretlenen alan merkezleri lazerlerle çakıştırılır ve alanlar doğru olarak yerleştirilmiş olur.
- Radyoterapi dozu konvansiyonel fraksiyonlarla 200 cGy / gün , haftada beş gün olacak şekilde toplam 68 Gy’ dir.
- Lineer hızlandırıcı ile yan alanlar ve arka oblik alanlardan 25 MV enerjiyle, ön ve ön oblik alanlardan 6 MV enerji ile tedavi uygulanmaktadır.

- Planlanan alan ile tedavi alanının uyumu periyodik aralıklarla çekilen port filmleri ile kontrol edilir.



Şekil 3.1 7 alanlı konformal planlamadan bir kesit görüntüsü

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada prostat ve seminal veziküller hedef organ olarak belirlenmiştir. Kritik organlar ise prostat ışınlamalarında alanlar içine giren mesane, rektum, sağ femur başı ve sol femur başıdır. Uygulanan tüm tekniklerdeki hedef organ ve kritik organ dozlarını karşılaştırmak için tedavi planlama sisteminde doz – hacim histogramları ( DVH ) çizdirilmiştir ve çizelge değerleri oluşturulmuştur. Bu bölümde öncelikle her bir teknik için çizdirilen DVH’ lardan oluşturulan çizelgeler ve sonra tekniklerin karşılaştırıldığı çizelge verilecektir.

DVH’ larda minimum olarak verilen doz değerleri ilgili hacim içinde en düşük dozu alan hacmin % doz değerini, maksimum olarak verilen % doz değerleri ilgili hacim içinde en yüksek dozu alan hacmin % doz değerini, ortalama olarak verilen % doz değerleri girilen tüm hacmin ortalama olarak aldığı dozu ifade eder.

##### 4.1 Ön – Arka ( AP / PA ) ve Üç Bilateral Alan Tekniği

21 prostat hastasının, materyal ve yöntem bölümünde verilen çizelge 3.2’ ye göre hastalıklarının evrelemesi yapılmıştır. Çizelge 3.1’ e göre tedavi planlama sisteminde planlamaları yapılmış ve DVH’ ları çizdirilmiştir. DVH’ lardan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Bu planlama tekniğinde AP / PA ve 3 bilateral alanlarda 6 MV enerjisinde, 0°, 120°, 240° gantri değerlerinde demetler kullanılmıştır. Bu teknikteki planlamalarda dozlar, prostatın ortalama doz değerine ve % 85’ lik izodoza normalize edilmiştir.

Çizelge 4.1 Hastaların hedef ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri

| HASTA                |            | HEDEF<br>ORGANLAR (%) |                               | KRİTİK ORGANLAR<br>(%) |               |                      |                      |
|----------------------|------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------|----------------------|----------------------|
|                      |            | <i>Prostat</i>        | <i>Seminal<br/>Veziküller</i> | <i>Rektum</i>          | <i>Mesane</i> | <i>Sağ<br/>Femur</i> | <i>Sol<br/>Femur</i> |
| A.A<br>(C1)<br>(1)   | <i>Min</i> | 97.595                | 91.176                        | 67.17                  | 80.88         | 4.46                 | 3.336                |
|                      | <i>Max</i> | 102.786               | 103.29                        | 107.26                 | 100.6         | 95.89                | 94.24                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>100.177</b>                | <b>92.08</b>           | <b>96.51</b>  | <b>50.46</b>         | <b>38.48</b>         |
| A.B<br>(B1)<br>(2)   | <i>Min</i> | 98.26                 | 90.71                         | 8.65                   | 7.62          | 3.86                 | 3.70                 |
|                      | <i>Max</i> | 102.52                | 102.85                        | 106.95                 | 100.29        | 80.64                | 82.33                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>99.09</b>                  | <b>82.28</b>           | <b>73.39</b>  | <b>46.10</b>         | <b>42.78</b>         |
| A.Ö<br>(C2)<br>(1)   | <i>Min</i> | 97.94                 | 68.93                         | 70.10                  | 65.74         | 4.075                | 3.67                 |
|                      | <i>Max</i> | 102.08                | 100.89                        | 107.08                 | 104.06        | 93.18                | 92.04                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>94.41</b>                  | <b>98.49</b>           | <b>91.43</b>  | <b>43.58</b>         | <b>34.05</b>         |
| A.T<br>(B2)<br>(3)   | <i>Min</i> | 98.56                 | 98.45                         | 84.27                  | 89.46         | 3.73                 | 3.00                 |
|                      | <i>Max</i> | 101.24                | 100.91                        | 105.06                 | 102.1         | 51.53                | 40.87                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>99.70</b>                  | <b>101.25</b>          | <b>98.91</b>  | <b>22.82</b>         | <b>14.74</b>         |
| C.C<br>(C2)<br>(1)   | <i>Min</i> | 97.88                 | 99.79                         | 66.65                  | 99.96         | 4.86                 | 4.62                 |
|                      | <i>Max</i> | 102.26                | 102.26                        | 107.79                 | 103.44        | 95.55                | 93.82                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>101.09</b>                 | <b>98.78</b>           | <b>101.84</b> | <b>33.76</b>         | <b>27.80</b>         |
| C.Y<br>(C1)<br>(1)   | <i>Min</i> | 95.83                 | 98.97                         | 65.99                  | 67.24         | 3.81                 | 3.66                 |
|                      | <i>Max</i> | 103.07                | 104.09                        | 109.09                 | 103.4         | 92.14                | 93.12                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>102.32</b>                 | <b>93.54</b>           | <b>96.87</b>  | <b>37.22</b>         | <b>39.56</b>         |
| H.C<br>(B2)<br>(3)   | <i>Min</i> | 98.05                 | 97.12                         | 71.07                  | 69.54         | 3.62                 | 4.09                 |
|                      | <i>Max</i> | 103.02                | 103.06                        | 107.67                 | 100.5         | 102.77               | 101.26               |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>100.25</b>                 | <b>91.94</b>           | <b>88.55</b>  | <b>41.78</b>         | <b>42.34</b>         |
| H.D<br>(C1)<br>(1)   | <i>Min</i> | 98.15                 | 82.70                         | 67.56                  | 61.20         | 8.55                 | 7.21                 |
|                      | <i>Max</i> | 100.71                | 103.55                        | 103.70                 | 104.16        | 90.82                | 87.56                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>100.22</b>                 | <b>87.37</b>           | <b>84.54</b>  | <b>55.49</b>         | <b>31.52</b>         |
| H.Y<br>(B2)<br>(3)   | <i>Min</i> | 83.47                 | 81.83                         | 69.82                  | 86.31         | 4.38                 | 3.67                 |
|                      | <i>Max</i> | 106.36                | 100.46                        | 109.34                 | 103.15        | 90.25                | 93.53                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>96.39</b>                  | <b>89.27</b>           | <b>98.15</b>  | <b>21.46</b>         | <b>21.43</b>         |
| İ.Sa<br>(C2)<br>(1)  | <i>Min</i> | 98.74                 | 96.56                         | 69.19                  | 98.86         | 3.75                 | 3.78                 |
|                      | <i>Max</i> | 101.65                | 101.03                        | 104.4                  | 99.87         | 92.05                | 91.14                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>99.41</b>                  | <b>87.3</b>            | <b>99.43</b>  | <b>51.72</b>         | <b>45.67</b>         |
| İ.Sü<br>(C1)<br>(1)  | <i>Min</i> | 83.17                 | 97.70                         | 66.24                  | 82.69         | 4.74                 | 5.73                 |
|                      | <i>Max</i> | 102.25                | 104.17                        | 105.00                 | 104.97        | 92.70                | 92.17                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>101.93</b>                 | <b>96.22</b>           | <b>97.92</b>  | <b>35.89</b>         | <b>36.62</b>         |
| M.D.G<br>(C1)<br>(1) | <i>Min</i> | 90.88                 | 80.54                         | 68.32                  | 63.79         | 5.05                 | 5.09                 |
|                      | <i>Max</i> | 103.9                 | 82.31                         | 102.2                  | 96.54         | 79.34                | 88.53                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>81.39</b>                  | <b>85.03</b>           | <b>78.08</b>  | <b>28.00</b>         | <b>33.35</b>         |
| M.İ<br>(B2)<br>(3)   | <i>Min</i> | 98.67                 | 98.16                         | 70.53                  | 84.61         | 4.16                 | 4.60                 |
|                      | <i>Max</i> | 101.14                | 100.8                         | 107.17                 | 103.33        | 92.81                | 93.25                |
|                      | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>         | <b>99.59</b>                  | <b>97.29</b>           | <b>98.56</b>  | <b>22.26</b>         | <b>26.16</b>         |

Çizelge 4.1 Hastaların hedef ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|                               |            |               |               |              |              |              |              |
|-------------------------------|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>M.Ş<br/>(C1)<br/>(1)</b>   | <b>Min</b> | 99.44         | 82.25         | 77.7         | 83.29        | 8.89         | 5.29         |
|                               | <b>Max</b> | 101.05        | 102.01        | 104.8        | 103.4        | 104.3        | 103.4        |
|                               | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>98.04</b>  | <b>91.00</b> | <b>91.02</b> | <b>73.34</b> | <b>51.72</b> |
| <b>Ö.E<br/>(B1)<br/>(2)</b>   | <b>Min</b> | 97.21         | 49.22         | 6.51         | 4.02         | 4.26         | 4.98         |
|                               | <b>Max</b> | 103.97        | 108.73        | 113.24       | 103.86       | 78.76        | 81.22        |
|                               | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>96.6</b>   | <b>64.24</b> | <b>91.02</b> | <b>33.81</b> | <b>41.20</b> |
| <b>R.E<br/>(C1)<br/>(1)</b>   | <b>Min</b> | 98.3          | 98.95         | 84.00        | 79.4         | 5.39         | 7.35         |
|                               | <b>Max</b> | 101.5         | 98.95         | 106.66       | 104.12       | 89.73        | 82.08        |
|                               | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>98.95</b>  | <b>96.82</b> | <b>92.70</b> | <b>38.98</b> | <b>45.05</b> |
| <b>S.Ç<br/>(B2)<br/>(3)</b>   | <b>Min</b> | 98.15         | 95.21         | 70.96        | 73.30        | 4.35         | 4.15         |
|                               | <b>Max</b> | 101.95        | 102.42        | 104.24       | 103.42       | 85.78        | 41.23        |
|                               | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>98.55</b>  | <b>94.55</b> | <b>96.83</b> | <b>27.84</b> | <b>18.81</b> |
| <b>S.Y<br/>(C2)<br/>(1)</b>   | <b>Min</b> | 99.02         | 98.6          | 71.58        | 71.2         | 5.02         | 4.41         |
|                               | <b>Max</b> | 101.23        | 104.76        | 108.1        | 103.85       | 89.78        | 87.84        |
|                               | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>101.09</b> | <b>95.4</b>  | <b>96.35</b> | <b>37.94</b> | <b>33.5</b>  |
| <b>S.N.G<br/>(B1)<br/>(2)</b> | <b>Min</b> | 98.36         | 101.47        | 8.84         | 6.21         | 3.29         | 3.23         |
|                               | <b>Max</b> | 102.29        | 106.86        | 119.5        | 103.88       | 66.82        | 71.5         |
|                               | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>103.68</b> | <b>94.32</b> | <b>64.66</b> | <b>19.72</b> | <b>22.24</b> |
| <b>V.B<br/>(B1)<br/>(2)</b>   | <b>Min</b> | 90.91         | 52.36         | 15.05        | 20.58        | 2.74         | 3.24         |
|                               | <b>Max</b> | 105.01        | 104.82        | 106.03       | 103.82       | 76.32        | 77.03        |
|                               | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>98.26</b>  | <b>81.06</b> | <b>91.58</b> | <b>23.29</b> | <b>26.32</b> |
| <b>Y.P<br/>(C1)<br/>(1)</b>   | <b>Min</b> | 83.14         | 96.92         | 62.11        | 95.8         | 4.24         | 3.41         |
|                               | <b>Max</b> | 104.50        | 104.7         | 109.9        | 103.2        | 92.94        | 92.4         |
|                               | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>101.6</b>  | <b>89.2</b>  | <b>99.00</b> | <b>47.26</b> | <b>38.22</b> |

(1) : 6600 cGy / 7 hafta, 8 x 10 cm<sup>2</sup> 120° bilateral 3 alan ile tedavi (Evre C1 ve Evre C2)

(2) : 4500 cGy / 5 hafta, 15 x18 cm<sup>2</sup> AP / PA (pelvis) ve 2500 cGy / 2,5 hafta, 8 x 10 cm<sup>2</sup> 120° bilateral 3 alan (prostat) (Evre B1)

(3) : 4500 cGy / 5 hafta, 15 x15 cm<sup>2</sup> AP / PA (pelvis) ve 2000 cGy / 2 hafta, 8 x 10 cm<sup>2</sup> 120° bilateral 3 alan (prostat) (Evre B2)

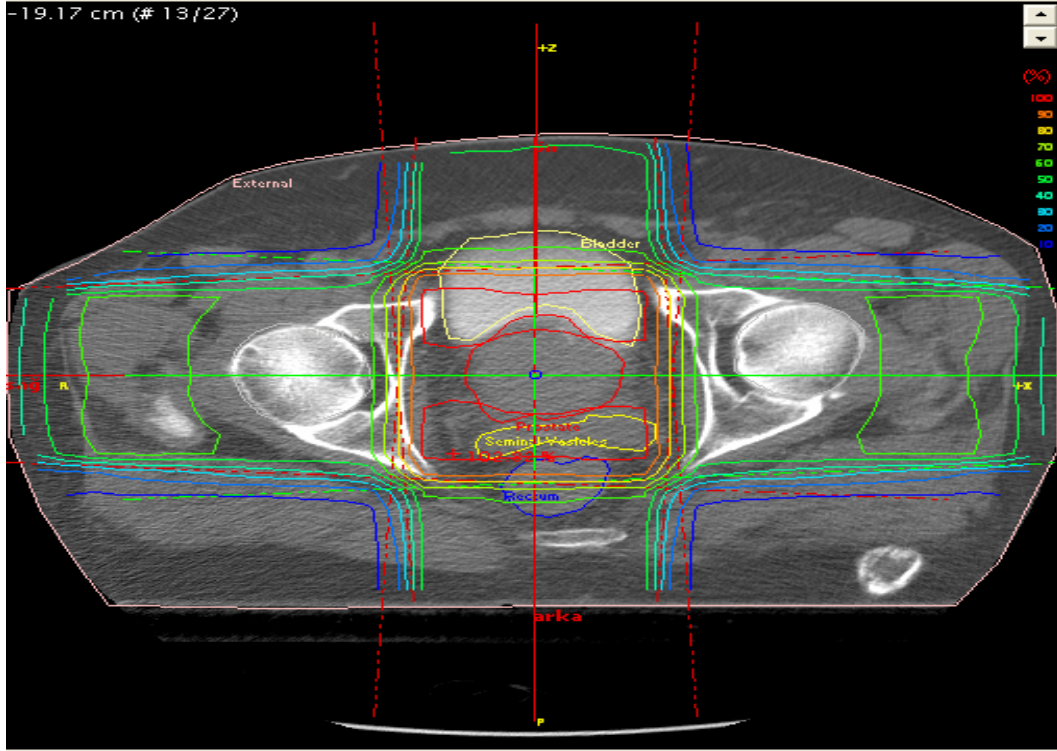
## 4.2 Box Tekniği

21 prostat kanseri hastası için uygulanacak box tekniğindeki alan boyutlarına radyasyon onkoloğuyla birlikte karar verilmiştir. Bu teknikle yapılan planlamalarda ön ve arka (0°, 180° gantri değerlerinde ) radyasyon demetinin enerjisi 6 MV, sağ ve sol (270°, 90° gantri değerlerinde ) radyasyon demetinin enerjisi 25 MV olarak seçilmiştir. Planlamada kullanılan alan boyutları Çizelge 4.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Box tekniğine göre hastalara uygulanan alan boyutları

| Hasta Adları | AP / PA                    |                             | Lateral                    |                             |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|              | <i>Uzunluk<br/>(x)(cm)</i> | <i>Genişlik<br/>(y)(cm)</i> | <i>Uzunluk<br/>(x)(cm)</i> | <i>Genişlik<br/>(y)(cm)</i> |
| <b>A.A</b>   | 8.5                        | 9                           | 8.5                        | 7                           |
| <b>A.B</b>   | 10                         | 10                          | 10                         | 8                           |
| <b>A.Ö</b>   | 11                         | 10                          | 11                         | 8                           |
| <b>A.T</b>   | 8                          | 10                          | 8                          | 7                           |
| <b>C.Y</b>   | 10                         | 10                          | 10                         | 8                           |
| <b>C.C</b>   | 8.5                        | 10                          | 8.5                        | 7                           |
| <b>H.C</b>   | 9.5                        | 11                          | 9.5                        | 8                           |
| <b>H.D</b>   | 12                         | 10                          | 12                         | 11                          |
| <b>H.Y</b>   | 11                         | 10                          | 11                         | 9                           |
| <b>İ.Sa</b>  | 8                          | 10                          | 8                          | 8                           |
| <b>İ.Sü</b>  | 10                         | 10                          | 10                         | 9                           |
| <b>M.D.G</b> | 11                         | 10                          | 11                         | 10                          |
| <b>M.İ</b>   | 8.5                        | 9                           | 8.5                        | 7                           |
| <b>M.Ş</b>   | 12                         | 8                           | 12                         | 8                           |
| <b>Ö.E</b>   | 10                         | 10.5                        | 10                         | 10                          |
| <b>R.E</b>   | 10                         | 9                           | 10                         | 9                           |
| <b>S.Ç</b>   | 9                          | 11                          | 9                          | 9                           |
| <b>S.Y</b>   | 11                         | 10                          | 11                         | 9                           |
| <b>S.N.G</b> | 8.5                        | 11                          | 8.5                        | 9                           |
| <b>V.B</b>   | 10                         | 11                          | 10                         | 10                          |
| <b>Y.P</b>   | 9                          | 10                          | 9                          | 8                           |

Çizelge 4.2’ de verilen alan boyutlarına göre tedavi planlama sisteminde yapılan planlamaların DVH’ ları çizdirilmiştir. DVH’ lardan elde edilen hedef ve kritik organ dozları Çizelge 4.3’ de verilmiştir. Bu teknikle yapılan planlamalarda dozlar, prostatın ortalama doz değerine ve % 85’ lik izodoz eğrisine normalize edilmiştir.



Şekil 4.1 Box tekniği ile yapılmış bir tedavi planlamasına ait merkezi kesit görüntüsü

Çizelge 4.3 Hastaların hedef ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri

| HASTA |            | HEDEF ORGANLAR (%) |                           | KRİTİK ORGANLAR (%) |               |                  |                  |
|-------|------------|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------|------------------|------------------|
|       |            | <i>Prostat</i>     | <i>Seminal Veziküller</i> | <i>Rektum</i>       | <i>Mesane</i> | <i>Sağ Femur</i> | <i>Sol Femur</i> |
| A.A   | <i>Min</i> | 98.59              | 96.70                     | 7.35                | 51.43         | 7.14             | 6.81             |
|       | <i>Max</i> | 101.31             | 100.77                    | 101.84              | 100.56        | 58.26            | 59.16            |
|       | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>      | <b>99.79</b>              | <b>71.56</b>        | <b>88.40</b>  | <b>47.68</b>     | <b>48.57</b>     |
| A.B   | <i>Min</i> | 98.36              | 98.73                     | 23.50               | 22.89         | 9.22             | 9.22             |
|       | <i>Max</i> | 102.20             | 100.56                    | 100.65              | 102.66        | 62.25            | 60.02            |
|       | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>      | <b>99.52</b>              | <b>83.94</b>        | <b>83.74</b>  | <b>53.44</b>     | <b>50.39</b>     |
| A.Ö   | <i>Min</i> | 99.15              | 97.09                     | 52.45               | 51.11         | 55.80            | 55.26            |
|       | <i>Max</i> | 101.11             | 100.71                    | 102.12              | 101.01        | 61.67            | 59.40            |
|       | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>      | <b>99.52</b>              | <b>87.95</b>        | <b>74.61</b>  | <b>58.30</b>     | <b>57.01</b>     |
| A.T   | <i>Min</i> | 98.44              | 98.74                     | 26.22               | 51.46         | 33.23            | 6.29             |
|       | <i>Max</i> | 101.13             | 100.70                    | 101.68              | 101.21        | 57.14            | 58.87            |
|       | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>      | <b>99.80</b>              | <b>79.09</b>        | <b>86.55</b>  | <b>50.88</b>     | <b>48.85</b>     |
| C.C   | <i>Min</i> | 99.19              | 99.05                     | 6.74                | 52.94         | 22.19            | 53.02            |
|       | <i>Max</i> | 101.45             | 101.47                    | 102.73              | 101.80        | 58.40            | 59.58            |
|       | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>      | <b>100.52</b>             | <b>79.91</b>        | <b>95.12</b>  | <b>54.50</b>     | <b>57.29</b>     |

Çizelge 4.3 Hastaların hedef ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|              |            |               |               |              |              |              |              |
|--------------|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>C.Y</b>   | <i>Min</i> | 98.64         | 99.85         | 12.24        | 52.88        | 54.99        | 54.97        |
|              | <i>Max</i> | 101.11        | 101.21        | 101.61       | 102.50       | 60.61        | 60.54        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.47</b> | <b>73.72</b> | <b>92.92</b> | <b>57.58</b> | <b>57.47</b> |
| <b>H.C</b>   | <i>Min</i> | 98.86         | 90.15         | 7.14         | 12.68        | 6.60         | 5.38         |
|              | <i>Max</i> | 101.38        | 101.46        | 100.77       | 102.89       | 102.91       | 102.89       |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.80</b>  | <b>60.87</b> | <b>84.65</b> | <b>49.27</b> | <b>51.20</b> |
| <b>H.D</b>   | <i>Min</i> | 98.49         | 79.09         | 21.49        | 29.13        | 55.70        | 55.85        |
|              | <i>Max</i> | 101.84        | 102.84        | 103.34       | 102.74       | 62.94        | 61.88        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.83</b> | <b>84.19</b> | <b>88.45</b> | <b>58.14</b> | <b>58.75</b> |
| <b>H.Y</b>   | <i>Min</i> | 74.40         | 92.12         | 11.90        | 76.80        | 5.67         | 9.52         |
|              | <i>Max</i> | 104.26        | 99.39         | 101.95       | 102.50       | 57.89        | 62.47        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>98.05</b>  | <b>61.98</b> | <b>97.33</b> | <b>39.11</b> | <b>50.92</b> |
| <b>İ.Sa</b>  | <i>Min</i> | 98.58         | 76.16         | 10.47        | 98.36        | 21.57        | 20.32        |
|              | <i>Max</i> | 101.28        | 101.35        | 101.56       | 102.23       | 57.95        | 58.52        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>97.64</b>  | <b>57.81</b> | <b>99.97</b> | <b>53.00</b> | <b>52.18</b> |
| <b>İ.Sü</b>  | <i>Min</i> | 98.05         | 95.60         | 13.53        | 52.94        | 39.06        | 41.00        |
|              | <i>Max</i> | 101.89        | 102.66        | 102.43       | 102.88       | 61.15        | 60.90        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.97</b> | <b>83.20</b> | <b>91.07</b> | <b>56.41</b> | <b>57.42</b> |
| <b>M.D.G</b> | <i>Min</i> | 98.58         | 96.03         | 19.92        | 52.29        | 55.41        | 55.61        |
|              | <i>Max</i> | 101.96        | 100.81        | 102.33       | 102.27       | 61.06        | 61.33        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.54</b>  | <b>77.63</b> | <b>87.75</b> | <b>57.79</b> | <b>57.94</b> |
| <b>M.İ</b>   | <i>Min</i> | 98.61         | 99.10         | 12.18        | 48.99        | 11.93        | 12.02        |
|              | <i>Max</i> | 101.50        | 100.34        | 100.55       | 101.21       | 60.60        | 59.20        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.61</b>  | <b>73.49</b> | <b>79.18</b> | <b>52.93</b> | <b>51.96</b> |
| <b>M.Ş</b>   | <i>Min</i> | 98.39         | 98.66         | 45.52        | 51.09        | 10.02        | 8.82         |
|              | <i>Max</i> | 101.90        | 101.05        | 101.93       | 102.35       | 60.94        | 60.75        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.75</b>  | <b>80.42</b> | <b>81.15</b> | <b>50.72</b> | <b>51.82</b> |
| <b>Ö.E</b>   | <i>Min</i> | 98.82         | 98.82         | 7.17         | 2.94         | 6.31         | 6.33         |
|              | <i>Max</i> | 101.03        | 101.58        | 102.35       | 102.68       | 59.07        | 60.45        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.42</b> | <b>73.73</b> | <b>67.94</b> | <b>52.34</b> | <b>52.43</b> |
| <b>R.E</b>   | <i>Min</i> | 98.48         | 97.31         | 18.74        | 51.76        | 42.43        | 11.65        |
|              | <i>Max</i> | 101.16        | 101.64        | 102.22       | 100.86       | 57.52        | 57.38        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.33</b> | <b>92.93</b> | <b>87.64</b> | <b>54.57</b> | <b>51.89</b> |
| <b>S.Ç</b>   | <i>Min</i> | 98.04         | 96.29         | 22.65        | 49.75        | 10.77        | 10.78        |
|              | <i>Max</i> | 101.90        | 101.44        | 102.67       | 101.77       | 60.88        | 61.09        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>98.51</b>  | <b>83.62</b> | <b>86.71</b> | <b>53.04</b> | <b>52.96</b> |
| <b>S.Y</b>   | <i>Min</i> | 98.57         | 100.14        | 50.15        | 52.41        | 11.40        | 10.67        |
|              | <i>Max</i> | 101.94        | 102.05        | 102.71       | 102.61       | 59.40        | 59.23        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.85</b> | <b>96.17</b> | <b>86.90</b> | <b>52.88</b> | <b>54.04</b> |
| <b>S.N.G</b> | <i>Min</i> | 98.93         | 87.38         | 6.11         | 4.41         | 7.81         | 7.83         |
|              | <i>Max</i> | 101.59        | 103.57        | 102.76       | 102.83       | 60.06        | 59.89        |
|              | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.41</b> | <b>73.65</b> | <b>74.84</b> | <b>53.98</b> | <b>51.04</b> |

Çizelge 4.3 Hastaların hedef ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|            |            |               |               |              |              |              |              |
|------------|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>V.B</b> | <i>Min</i> | 97.90         | 72.86         | 43.57        | 83.22        | 37.91        | 36.27        |
|            | <i>Max</i> | 103.79        | 104.40        | 104.56       | 103.48       | 58.60        | 59.04        |
|            | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.85</b> | <b>79.32</b> | <b>99.31</b> | <b>55.94</b> | <b>56.35</b> |
| <b>Y.P</b> | <i>Min</i> | 88.47         | 74.89         | 3.64         | 51.94        | 52.54        | 50.52        |
|            | <i>Max</i> | 102.05        | 101.90        | 102.80       | 101.42       | 57.94        | 59.08        |
|            | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>92.27</b>  | <b>54.40</b> | <b>96.40</b> | <b>55.76</b> | <b>56.58</b> |

#### 4.3 Konformal Radyasyon Terapisi Teknikleri

Uygulanan planlamadaki enerji kombinasyonunun en iyisini elde etmek için 4 değişik enerji kombinasyonu denenmiştir. Bu planlamalardan elde edilen kritik organlar ve hedef organların aldıkları dozlar Çizelge 4.4 ‘ te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Hastaların dört farklı enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu planlamalarda hedef organ ve kritik organlarının aldıkları % doz değerleri

| <b>HASTA</b> |          |            | <b>HEDEF ORGANLAR (%)</b> |                           | <b>KRİTİK ORGANLAR (%)</b> |               |                  |                  |
|--------------|----------|------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|------------------|------------------|
|              |          |            | <i>Prostat</i>            | <i>Seminal Veziküller</i> | <i>Rektum</i>              | <i>Mesane</i> | <i>Sağ Femur</i> | <i>Sol Femur</i> |
| <b>A.A</b>   | <b>1</b> | <i>Min</i> | 99.24                     | 99.05                     | 29.73                      | 35.23         | 4.71             | 4.25             |
|              |          | <i>Max</i> | 100.7                     | 100.43                    | 100.38                     | 99.53         | 83.13            | 80.53            |
|              |          | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>             | <b>99.77</b>              | <b>71.86</b>               | <b>65.79</b>  | <b>44.59</b>     | <b>44.42</b>     |
|              | <b>2</b> | <i>Min</i> | 98.96                     | 98.93                     | 28.11                      | 33.55         | 1.33             | 1.54             |
|              |          | <i>Max</i> | 101.51                    | 101.18                    | 100.41                     | 100.87        | 82.69            | 79.20            |
|              |          | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>             | <b>99.98</b>              | <b>68.78</b>               | <b>64.36</b>  | <b>39.99</b>     | <b>39.51</b>     |
|              | <b>3</b> | <i>Min</i> | 99.23                     | 99.15                     | 29.25                      | 32.65         | 2.21             | 2.38             |
|              |          | <i>Max</i> | 101.05                    | 101.35                    | 100.99                     | 100.27        | 82.39            | 79.48            |
|              |          | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>             | <b>100.32</b>             | <b>69.85</b>               | <b>63.10</b>  | <b>40.55</b>     | <b>40.01</b>     |
|              | <b>4</b> | <i>Min</i> | 98.85                     | 99.00                     | 28.08                      | 32.69         | 0.64             | 0.81             |
|              |          | <i>Max</i> | 101.51                    | 102.84                    | 101.55                     | 101.23        | 82.39            | 77.99            |
|              |          | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>             | <b>100.85</b>             | <b>70.25</b>               | <b>64.41</b>  | <b>39.01</b>     | <b>38.55</b>     |
| <b>A.B</b>   | <b>1</b> | <i>Min</i> | 98.05                     | 97.64                     | 36.74                      | 23.85         | 4.36             | 4.11             |
|              |          | <i>Max</i> | 101.71                    | 99.76                     | 99.71                      | 100.86        | 82.61            | 83.42            |
|              |          | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>             | <b>98.76</b>              | <b>74.47</b>               | <b>67.27</b>  | <b>43.39</b>     | <b>40.90</b>     |
|              | <b>2</b> | <i>Min</i> | 97.80                     | 98.78                     | 33.41                      | 22.06         | 1.34             | 1.29             |
|              |          | <i>Max</i> | 102.44                    | 100.11                    | 101.66                     | 101.15        | 80.25            | 80.96            |
|              |          | <i>Ort</i> | <b>100.00</b>             | <b>99.52</b>              | <b>71.98</b>               | <b>65.52</b>  | <b>39.17</b>     | <b>36.75</b>     |

Çizelge 4.4 Hastaların dört farklı enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu planlamalarda hedef organ ve kritik oranlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|     |   |            |               |               |              |              |              |              |
|-----|---|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|     | 3 | <i>Min</i> | 97.66         | 99.52         | 35.27        | 21.47        | 2.00         | 1.89         |
|     |   | <i>Max</i> | 101.95        | 100.58        | 101.07       | 100.84       | 81.01        | 81.37        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.94</b>  | <b>73.11</b> | <b>64.57</b> | <b>40.41</b> | <b>38.04</b> |
|     | 4 | <i>Min</i> | 97.80         | 99.54         | 34.91        | 20.59        | 0.83         | 0.76         |
|     |   | <i>Max</i> | 102.45        | 102.26        | 102.35       | 101.87       | 78.93        | 79.63        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.94</b> | <b>73.88</b> | <b>65.38</b> | <b>38.40</b> | <b>36.12</b> |
| A.Ö | 1 | <i>Min</i> | 98.91         | 97.49         | 36.71        | 29.10        | 17.82        | 25.39        |
|     |   | <i>Max</i> | 101.82        | 100.47        | 99.99        | 101.33       | 80.57        | 76.47        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.08</b>  | <b>74.72</b> | <b>61.35</b> | <b>64.71</b> | <b>65.23</b> |
|     | 2 | <i>Min</i> | 99.03         | 99.21         | 33.50        | 27.00        | 16.57        | 25.63        |
|     |   | <i>Max</i> | 101.22        | 101.38        | 100.66       | 101.26       | 78.50        | 72.83        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.33</b> | <b>71.65</b> | <b>59.65</b> | <b>59.39</b> | <b>59.54</b> |
|     | 3 | <i>Min</i> | 99.16         | 99.16         | 34.29        | 26.38        | 17.49        | 26.13        |
|     |   | <i>Max</i> | 101.09        | 101.16        | 101.00       | 100.25       | 78.89        | 74.47        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.08</b> | <b>72.85</b> | <b>58.74</b> | <b>60.66</b> | <b>60.77</b> |
|     | 4 | <i>Min</i> | 98.72         | 100.23        | 35.29        | 25.86        | 16.06        | 24.90        |
|     |   | <i>Max</i> | 101.96        | 103.22        | 101.33       | 102.50       | 76.70        | 71.25        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.45</b> | <b>73.05</b> | <b>58.89</b> | <b>58.39</b> | <b>58.59</b> |
| A.T | 1 | <i>Min</i> | 98.73         | 95.74         | 37.73        | 21.68        | 3.85         | 3.19         |
|     |   | <i>Max</i> | 101.32        | 99.07         | 99.68        | 100.28       | 70.94        | 70.24        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>98.36</b>  | <b>65.75</b> | <b>60.12</b> | <b>43.49</b> | <b>40.21</b> |
|     | 2 | <i>Min</i> | 98.66         | 96.97         | 33.21        | 20.14        | 1.10         | 1.25         |
|     |   | <i>Max</i> | 102.00        | 100.12        | 99.80        | 101.65       | 62.45        | 59.50        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>98.36</b>  | <b>61.93</b> | <b>58.56</b> | <b>35.45</b> | <b>37.93</b> |
|     | 3 | <i>Min</i> | 98.97         | 97.45         | 34.79        | 19.48        | 1.68         | 1.77         |
|     |   | <i>Max</i> | 101.46        | 100.40        | 100.72       | 100.89       | 63.08        | 60.32        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.58</b>  | <b>63.07</b> | <b>57.63</b> | <b>38.62</b> | <b>36.50</b> |
|     | 4 | <i>Min</i> | 99.59         | 98.57         | 51.50        | 33.87        | 5.04         | 1.08         |
|     |   | <i>Max</i> | 100.53        | 101.23        | 100.64       | 102.33       | 62.12        | 56.76        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.5</b>  | <b>80.73</b> | <b>59.02</b> | <b>48.73</b> | <b>36.07</b> |
| C.Y | 1 | <i>Min</i> | 98.99         | 99.57         | 44.49        | 32.83        | 8.90         | 7.91         |
|     |   | <i>Max</i> | 100.97        | 100.76        | 100.68       | 101.29       | 82.05        | 82.75        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.34</b> | <b>77.10</b> | <b>69.64</b> | <b>62.73</b> | <b>62.78</b> |
|     | 2 | <i>Min</i> | 97.95         | 98.64         | 37.91        | 29.25        | 4.38         | 5.95         |
|     |   | <i>Max</i> | 102.13        | 101.51        | 102.11       | 102.24       | 79.32        | 79.60        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.97</b>  | <b>74.03</b> | <b>67.45</b> | <b>57.02</b> | <b>57.47</b> |
|     | 3 | <i>Min</i> | 98.59         | 99.59         | 41.01        | 29.17        | 5.14         | 6.53         |
|     |   | <i>Max</i> | 101.30        | 101.71        | 102.19       | 101.64       | 79.81        | 80.00        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.64</b> | <b>75.27</b> | <b>66.85</b> | <b>58.19</b> | <b>58.61</b> |
|     | 4 | <i>Min</i> | 98.00         | 99.23         | 39.21        | 27.45        | 3.17         | 5.30         |
|     |   | <i>Max</i> | 102.14        | 103.66        | 104.39       | 103.38       | 78.27        | 78.31        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.17</b> | <b>75.62</b> | <b>66.93</b> | <b>56.07</b> | <b>56.54</b> |

Çizelge 4.4 Hastaların dört farklı enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu planlamalarda hedef organ ve kritik oranlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|     |   |            |               |               |              |              |              |              |
|-----|---|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| C.C | 1 | <i>Min</i> | 99.29         | 98.74         | 47.05        | 42.13        | 5.01         | 4.76         |
|     |   | <i>Max</i> | 100.31        | 99.91         | 101.15       | 100.49       | 71.24        | 76.23        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.32</b>  | <b>80.89</b> | <b>71.46</b> | <b>49.33</b> | <b>47.90</b> |
|     | 2 | <i>Min</i> | 99.20         | 97.54         | 40.99        | 38.97        | 1.64         | 1.83         |
|     |   | <i>Max</i> | 100.72        | 100.08        | 100.54       | 99.71        | 67.90        | 72.93        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>98.73</b>  | <b>77.54</b> | <b>68.65</b> | <b>43.43</b> | <b>42.54</b> |
|     | 3 | <i>Min</i> | 99.52         | 98.18         | 43.90        | 38.40        | 2.69         | 2.85         |
|     |   | <i>Max</i> | 100.35        | 100.51        | 101.38       | 99.59        | 68.62        | 73.58        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.48</b>  | <b>78.82</b> | <b>68.46</b> | <b>44.41</b> | <b>43.60</b> |
|     | 4 | <i>Min</i> | 99.07         | 97.62         | 41.02        | 37.98        | 0.80         | 1.00         |
|     |   | <i>Max</i> | 100.72        | 101.26        | 101.98       | 99.14        | 66.64        | 71.22        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.47</b>  | <b>78.59</b> | <b>67.92</b> | <b>42.53</b> | <b>41.76</b> |
| H.D | 1 | <i>Min</i> | 97.36         | 99.93         | 40.80        | 18.85        | 11.58        | 36.23        |
|     |   | <i>Max</i> | 101.1         | 101.8         | 101.39       | 101.1        | 87.47        | 90.53        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.88</b> | <b>76.33</b> | <b>61.65</b> | <b>69.96</b> | <b>75.89</b> |
|     | 2 | <i>Min</i> | 97.98         | 99.10         | 35.75        | 17.19        | 8.21         | 31.72        |
|     |   | <i>Max</i> | 102.77        | 101.95        | 101.99       | 102.23       | 84.70        | 88.04        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.51</b> | <b>72.32</b> | <b>59.18</b> | <b>65.11</b> | <b>71.96</b> |
|     | 3 | <i>Min</i> | 98.80         | 100.39        | 37.03        | 16.33        | 9.15         | 33.18        |
|     |   | <i>Max</i> | 101.75        | 103.04        | 103.41       | 101.77       | 85.06        | 88.39        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.52</b> | <b>73.01</b> | <b>58.77</b> | <b>66.35</b> | <b>72.96</b> |
|     | 4 | <i>Min</i> | 98.06         | 99.45         | 35.24        | 17.18        | 8.09         | 31.25        |
|     |   | <i>Max</i> | 102.87        | 103.29        | 103.16       | 102.74       | 83.73        | 88.11        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.25</b> | <b>72.78</b> | <b>59.42</b> | <b>64.54</b> | <b>71.47</b> |
| H.C | 1 | <i>Min</i> | 98.54         | 98.32         | 23.15        | 28.84        | 4.32         | 6.07         |
|     |   | <i>Max</i> | 101.49        | 99.79         | 99.90        | 99.71        | 99.80        | 87.95        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.04</b>  | <b>69.09</b> | <b>64.08</b> | <b>52.19</b> | <b>49.52</b> |
|     | 2 | <i>Min</i> | 98.19         | 98.63         | 19.51        | 26.13        | 1.34         | 1.30         |
|     |   | <i>Max</i> | 102.25        | 100.23        | 99.35        | 101.18       | 99.50        | 91.07        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.36</b>  | <b>65.20</b> | <b>62.23</b> | <b>48.72</b> | <b>46.01</b> |
|     | 3 | <i>Min</i> | 98.86         | 99.23         | 20.56        | 25.67        | 1.93         | 1.93         |
|     |   | <i>Max</i> | 101.64        | 100.73        | 100.49       | 100.39       | 98.56        | 91.41        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.71</b>  | <b>66.40</b> | <b>61.33</b> | <b>49.51</b> | <b>46.76</b> |
|     | 4 | <i>Min</i> | 98.28         | 99.22         | 33.09        | 29.58        | 4.10         | 18.07        |
|     |   | <i>Max</i> | 101.93        | 102.00        | 104.58       | 101.53       | 78.63        | 97.38        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.48</b> | <b>76.12</b> | <b>75.70</b> | <b>50.77</b> | <b>58.67</b> |
| H.Y | 1 | <i>Min</i> | 97.58         | 96.43         | 38.72        | 34.17        | 6.39         | 17.92        |
|     |   | <i>Max</i> | 103.09        | 99.59         | 101.11       | 100.24       | 84.10        | 98.43        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>97.92</b>  | <b>78.28</b> | <b>76.97</b> | <b>59.00</b> | <b>64.22</b> |
|     | 2 | <i>Min</i> | 97.29         | 98.40         | 33.51        | 31.38        | 4.36         | 18.55        |
|     |   | <i>Max</i> | 103.51        | 101.23        | 103.33       | 100.89       | 80.58        | 97.37        |
|     |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.53</b>  | <b>74.85</b> | <b>76.83</b> | <b>51.57</b> | <b>59.62</b> |

Çizelge 4.4 Hastaların dört farklı enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu planlamalarda hedef organ ve kritik oranlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|       |   |            |               |               |              |              |              |              |
|-------|---|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|       | 3 | <i>Min</i> | 97.55         | 98.00         | 35.27        | 31.11        | 5.09         | 19.05        |
|       |   | <i>Max</i> | 103.03        | 100.58        | 102.71       | 99.92        | 81.14        | 96.55        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>98.96</b>  | <b>76.09</b> | <b>76.31</b> | <b>52.83</b> | <b>60.64</b> |
|       | 4 | <i>Min</i> | 97.21         | 98.94         | 33.09        | 29.58        | 4.10         | 18.07        |
|       |   | <i>Max</i> | 104.08        | 102.18        | 104.58       | 101.23       | 78.63        | 97.38        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.35</b> | <b>76.12</b> | <b>75.70</b> | <b>50.77</b> | <b>58.67</b> |
| İ.Sü  | 1 | <i>Min</i> | 98.57         | 99.49         | 52.91        | 35.02        | 13.19        | 11.60        |
|       |   | <i>Max</i> | 101.67        | 102.79        | 102.35       | 101.12       | 87.09        | 99.79        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.29</b> | <b>84.61</b> | <b>76.92</b> | <b>64.13</b> | <b>63.72</b> |
|       | 2 | <i>Min</i> | 97.91         | 98.27         | 48.06        | 33.66        | 8.67         | 7.08         |
|       |   | <i>Max</i> | 102.30        | 102.80        | 102.17       | 101.70       | 84.21        | 98.01        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.92</b> | <b>82.26</b> | <b>75.10</b> | <b>59.77</b> | <b>59.15</b> |
|       | 3 | <i>Min</i> | 98.39         | 99.02         | 49.17        | 32.13        | 9.00         | 7.47         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.61        | 103.87        | 103.63       | 101.59       | 84.34        | 97.71        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.77</b> | <b>83.37</b> | <b>74.28</b> | <b>60.46</b> | <b>59.94</b> |
|       | 4 | <i>Min</i> | 97.96         | 98.36         | 48.12        | 32.52        | 8.03         | 6.57         |
|       |   | <i>Max</i> | 102.37        | 103.84        | 102.84       | 102.04       | 83.61        | 97.77        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.48</b> | <b>82.96</b> | <b>75.02</b> | <b>59.17</b> | <b>58.56</b> |
| İ.Sa  | 1 | <i>Min</i> | 98.49         | 99.17         | 50.36        | 36.47        | 5.56         | 4.03         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.57        | 101.55        | 101.75       | 100.28       | 78.63        | 72.18        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.54</b> | <b>75.02</b> | <b>75.79</b> | <b>39.97</b> | <b>36.56</b> |
|       | 2 | <i>Min</i> | 98.73         | 98.39         | 44.52        | 33.81        | 2.67         | 1.26         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.15        | 101.35        | 101.48       | 100.27       | 77.59        | 71.43        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.81</b>  | <b>71.51</b> | <b>74.33</b> | <b>36.03</b> | <b>31.90</b> |
|       | 3 | <i>Min</i> | 98.82         | 98.86         | 47.10        | 33.35        | 3.34         | 1.98         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.32        | 101.75        | 102.04       | 100.26       | 77.94        | 71.90        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.17</b> | <b>72.48</b> | <b>73.92</b> | <b>36.55</b> | <b>32.66</b> |
|       | 4 | <i>Min</i> | 98.20         | 98.49         | 47.05        | 32.43        | 2.22         | 0.85         |
|       |   | <i>Max</i> | 102.00        | 102.50        | 102.92       | 100.92       | 75.82        | 70.97        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.53</b> | <b>73.69</b> | <b>73.27</b> | <b>34.88</b> | <b>31.47</b> |
| M.D.G | 1 | <i>Min</i> | 98.40         | 97.50         | 30.30        | 26.60        | 7.63         | 40.67        |
|       |   | <i>Max</i> | 101.53        | 100.45        | 100.65       | 100.57       | 101.40       | 100.72       |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.10</b>  | <b>75.29</b> | <b>68.09</b> | <b>70.05</b> | <b>70.39</b> |
|       | 2 | <i>Min</i> | 98.03         | 98.78         | 26.83        | 24.20        | 5.82         | 35.55        |
|       |   | <i>Max</i> | 102.39        | 101.23        | 101.81       | 100.99       | 99.87        | 99.67        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.23</b> | <b>72.90</b> | <b>66.58</b> | <b>65.58</b> | <b>65.29</b> |
|       | 3 | <i>Min</i> | 97.55         | 99.26         | 27.13        | 23.61        | 6.80         | 36.35        |
|       |   | <i>Max</i> | 102.11        | 102.01        | 102.01       | 100.27       | 99.12        | 98.78        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.54</b> | <b>73.53</b> | <b>65.84</b> | <b>66.70</b> | <b>66.44</b> |
|       | 4 | <i>Min</i> | 97.75         | 99.34         | 26.36        | 23.01        | 5.68         | 34.94        |
|       |   | <i>Max</i> | 103.22        | 103.20        | 102.92       | 101.86       | 100.60       | 100.56       |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.68</b> | <b>74.68</b> | <b>66.32</b> | <b>64.80</b> | <b>64.54</b> |

Çizelge 4.4 Hastaların dört farklı enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu planlamalarda hedef organ ve kritik oranlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|            |          |            |               |               |              |              |              |              |
|------------|----------|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>M.İ</b> | <b>1</b> | <b>Min</b> | 99.12         | 99.18         | 15.50        | 9.82         | 3.61         | 3.32         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.46        | 100.64        | 100.12       | 100.81       | 79.35        | 81.14        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>99.95</b>  | <b>56.08</b> | <b>57.44</b> | <b>47.73</b> | <b>48.78</b> |
|            | <b>2</b> | <b>Min</b> | 98.48         | 98.62         | 12.92        | 8.44         | 1.11         | 1.06         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.94        | 100.34        | 99.27        | 101.24       | 77.97        | 79.20        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>99.60</b>  | <b>51.45</b> | <b>54.88</b> | <b>43.29</b> | <b>44.09</b> |
|            | <b>3</b> | <b>Min</b> | 98.96         | 99.39         | 13.65        | 8.19         | 1.56         | 1.47         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.30        | 100.68        | 100.64       | 100.82       | 78.38        | 79.99        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>100.17</b> | <b>52.74</b> | <b>54.37</b> | <b>44.25</b> | <b>45.02</b> |
|            | <b>4</b> | <b>Min</b> | 98.43         | 99.16         | 13.11        | 7.51         | 0.73         | 0.70         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.37        | 101.20        | 99.88        | 100.46       | 76.85        | 77.47        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>100.24</b> | <b>52.63</b> | <b>54.18</b> | <b>42.47</b> | <b>43.21</b> |
| <b>M.Ş</b> | <b>1</b> | <b>Min</b> | 98.59         | 98.94         | 34.72        | 12.45        | 4.34         | 4.91         |
|            |          | <b>Max</b> | 100.96        | 100.49        | 100.68       | 99.83        | 80.85        | 80.39        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>99.76</b>  | <b>75.59</b> | <b>53.15</b> | <b>55.34</b> | <b>55.59</b> |
|            | <b>2</b> | <b>Min</b> | 98.10         | 98.32         | 29.66        | 10.12        | 1.35         | 1.28         |
|            |          | <b>Max</b> | 102.19        | 100.83        | 101.48       | 99.38        | 78.45        | 78.27        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>99.53</b>  | <b>71.02</b> | <b>50.45</b> | <b>50.68</b> | <b>51.23</b> |
|            | <b>3</b> | <b>Min</b> | 98.65         | 98.84         | 31.33        | 9.76         | 3.01         | 2.97         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.62        | 100.96        | 101.71       | 99.26        | 79.30        | 78.95        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>99.95</b>  | <b>72.73</b> | <b>49.65</b> | <b>52.30</b> | <b>52.70</b> |
|            | <b>4</b> | <b>Min</b> | 97.90         | 98.41         | 31.01        | 8.65         | 1.55         | 1.79         |
|            |          | <b>Max</b> | 102.92        | 102.06        | 102.86       | 99.00        | 78.37        | 76.31        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>100.20</b> | <b>73.04</b> | <b>49.13</b> | <b>50.05</b> | <b>50.42</b> |
| <b>Ö.E</b> | <b>1</b> | <b>Min</b> | 97.72         | 98.68         | 32.57        | 5.84         | 11.27        | 13.81        |
|            |          | <b>Max</b> | 103.17        | 103.29        | 102.52       | 102.68       | 95.08        | 99.93        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>101.27</b> | <b>72.82</b> | <b>51.49</b> | <b>50.36</b> | <b>62.00</b> |
|            | <b>2</b> | <b>Min</b> | 98.23         | 99.70         | 29.90        | 3.20         | 7.91         | 10.88        |
|            |          | <b>Max</b> | 102.28        | 104.49        | 102.23       | 104.34       | 96.14        | 97.28        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>101.82</b> | <b>69.65</b> | <b>50.20</b> | <b>46.87</b> | <b>56.43</b> |
|            | <b>3</b> | <b>Min</b> | 98.89         | 99.56         | 32.26        | 4.31         | 8.44         | 10.39        |
|            |          | <b>Max</b> | 101.41        | 101.74        | 100.90       | 101.55       | 97.75        | 95.61        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>100.73</b> | <b>71.53</b> | <b>52.92</b> | <b>51.43</b> | <b>51.69</b> |
|            | <b>4</b> | <b>Min</b> | 98.07         | 99.93         | 29.92        | 1.94         | 7.64         | 11.04        |
|            |          | <b>Max</b> | 103.03        | 105.94        | 103.08       | 105.35       | 96.81        | 97.37        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>102.61</b> | <b>70.47</b> | <b>49.99</b> | <b>46.82</b> | <b>55.55</b> |
| <b>R.E</b> | <b>1</b> | <b>Min</b> | 98.60         | 100.02        | 41.22        | 27.49        | 9.32         | 6.98         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.02        | 101.42        | 101.50       | 101.06       | 86.71        | 81.68        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>100.69</b> | <b>78.12</b> | <b>64.13</b> | <b>54.54</b> | <b>52.10</b> |
|            | <b>2</b> | <b>Min</b> | 97.97         | 98.43         | 36.95        | 25.37        | 5.91         | 3.68         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.63        | 100.94        | 101.40       | 100.72       | 85.05        | 79.74        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>99.73</b>  | <b>74.99</b> | <b>61.90</b> | <b>49.74</b> | <b>47.24</b> |

Çizelge 4.4 Hastaların dört farklı enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu planlamalarda hedef organ ve kritik oranlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|       |   |            |               |               |              |              |              |              |
|-------|---|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|       | 3 | <i>Min</i> | 98.32         | 99.31         | 37.90        | 25.08        | 6.30         | 4.27         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.16        | 101.56        | 102.29       | 101.01       | 84.92        | 80.08        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.79</b> | <b>75.99</b> | <b>61.14</b> | <b>50.48</b> | <b>47.84</b> |
|       | 4 | <i>Min</i> | 97.87         | 98.97         | 37.86        | 24.16        | 4.82         | 2.54         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.95        | 102.92        | 102.83       | 102.36       | 84.32        | 78.19        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.98</b> | <b>76.31</b> | <b>61.47</b> | <b>48.50</b> | <b>46.01</b> |
| S.Ç   | 1 | <i>Min</i> | 99.10         | 97.08         | 35.49        | 38.02        | 5.50         | 6.54         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.06        | 100.16        | 99.66        | 100.29       | 89.34        | 87.62        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>98.62</b>  | <b>76.56</b> | <b>64.36</b> | <b>56.55</b> | <b>51.52</b> |
|       | 2 | <i>Min</i> | 98.98         | 98.21         | 30.81        | 36.73        | 2.23         | 3.37         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.02        | 100.67        | 100.45       | 100.36       | 88.45        | 84.64        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.82</b>  | <b>75.04</b> | <b>61.95</b> | <b>52.31</b> | <b>47.46</b> |
|       | 3 | <i>Min</i> | 98.95         | 97.83         | 32.51        | 35.62        | 2.98         | 4.27         |
|       |   | <i>Max</i> | 100.69        | 101.05        | 100.79       | 100.23       | 88.48        | 85.67        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>99.79</b>  | <b>75.27</b> | <b>61.19</b> | <b>53.46</b> | <b>48.35</b> |
|       | 4 | <i>Min</i> | 98.84         | 98.41         | 32.75        | 36.33        | 1.77         | 2.83         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.40        | 102.43        | 101.42       | 100.55       | 89.69        | 85.85        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.82</b> | <b>76.20</b> | <b>61.97</b> | <b>52.04</b> | <b>46.90</b> |
| S.Y   | 1 | <i>Min</i> | 98.89         | 99.28         | 29.90        | 39.04        | 6.54         | 13.92        |
|       |   | <i>Max</i> | 101.37        | 101.25        | 101.39       | 100.53       | 83.88        | 82.06        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.56</b> | <b>83.74</b> | <b>75.81</b> | <b>61.84</b> | <b>60.80</b> |
|       | 2 | <i>Min</i> | 98.40         | 99.81         | 26.05        | 36.98        | 4.29         | 11.91        |
|       |   | <i>Max</i> | 102.49        | 101.27        | 101.11       | 101.43       | 81.65        | 81.08        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>100.62</b> | <b>81.03</b> | <b>74.79</b> | <b>57.74</b> | <b>56.19</b> |
|       | 3 | <i>Min</i> | 98.94         | 100.43        | 26.66        | 35.82        | 5.11         | 12.43        |
|       |   | <i>Max</i> | 101.46        | 102.39        | 102.95       | 101.07       | 81.98        | 81.37        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.30</b> | <b>82.41</b> | <b>73.59</b> | <b>58.06</b> | <b>56.79</b> |
|       | 4 | <i>Min</i> | 98.43         | 100.56        | 26.90        | 34.68        | 4.76         | 10.87        |
|       |   | <i>Max</i> | 102.37        | 103.83        | 102.74       | 102.84       | 80.39        | 79.84        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>102.10</b> | <b>82.74</b> | <b>74.21</b> | <b>56.36</b> | <b>54.98</b> |
| S.N.G | 1 | <i>Min</i> | 98.91         | 100.96        | 18.35        | 8.06         | 4.12         | 4.04         |
|       |   | <i>Max</i> | 100.93        | 103.06        | 102.76       | 102.27       | 90.14        | 90.36        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.74</b> | <b>74.65</b> | <b>66.01</b> | <b>56.45</b> | <b>49.62</b> |
|       | 2 | <i>Min</i> | 98.66         | 100.28        | 14.42        | 5.14         | 1.29         | 1.30         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.86        | 103.00        | 102.28       | 102.08       | 88.20        | 88.55        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>101.53</b> | <b>69.92</b> | <b>64.34</b> | <b>50.98</b> | <b>44.45</b> |
|       | 3 | <i>Min</i> | 99.21         | 101.10        | 15.75        | 5.85         | 1.99         | 2.15         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.19        | 104.17        | 103.86       | 102.44       | 87.87        | 88.59        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>102.26</b> | <b>71.66</b> | <b>63.69</b> | <b>51.96</b> | <b>45.49</b> |
|       | 4 | <i>Min</i> | 98.79         | 101.09        | 15.48        | 4.75         | 0.82         | 0.69         |
|       |   | <i>Max</i> | 101.39        | 105.38        | 104.16       | 103.25       | 88.68        | 88.73        |
|       |   | <i>Ort</i> | <b>100.00</b> | <b>103.10</b> | <b>71.35</b> | <b>64.17</b> | <b>50.19</b> | <b>43.80</b> |

Çizelge 4.4 Hastaların dört farklı enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu planlamalarda hedef organ ve kritik oranlarının aldıkları % doz değerleri (devam)

|            |          |            |               |               |              |              |              |              |
|------------|----------|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>V.B</b> | <b>1</b> | <b>Min</b> | 98.20         | 101.14        | 41.86        | 35.38        | 22.49        | 14.96        |
|            |          | <b>Max</b> | 103.25        | 104.00        | 104.17       | 100.14       | 83.28        | 83.32        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>102.77</b> | <b>75.93</b> | <b>75.42</b> | <b>66.37</b> | <b>65.81</b> |
|            | <b>2</b> | <b>Min</b> | 98.42         | 100.40        | 35.35        | 31.67        | 22.07        | 14.28        |
|            |          | <b>Max</b> | 102.39        | 103.65        | 104.11       | 101.51       | 82.02        | 81.86        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>102.14</b> | <b>72.18</b> | <b>74.04</b> | <b>61.11</b> | <b>60.72</b> |
|            | <b>3</b> | <b>Min</b> | 98.53         | 100.55        | 37.78        | 31.41        | 22.26        | 13.80        |
|            |          | <b>Max</b> | 103.67        | 105.67        | 105.78       | 100.40       | 81.88        | 82.01        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>102.80</b> | <b>73.68</b> | <b>72.84</b> | <b>61.84</b> | <b>61.44</b> |
|            | <b>4</b> | <b>Min</b> | 98.18         | 101.27        | 36.63        | 29.77        | 21.43        | 13.64        |
|            |          | <b>Max</b> | 103.51        | 105.74        | 106.09       | 101.95       | 80.88        | 81.61        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>103.56</b> | <b>73.82</b> | <b>72.75</b> | <b>60.08</b> | <b>59.67</b> |
| <b>Y.P</b> | <b>1</b> | <b>Min</b> | 98.93         | 96.23         | 5.62         | 29.25        | 6.39         | 5.41         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.09        | 101.44        | 100.86       | 100.24       | 80.41        | 80.22        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>100.15</b> | <b>63.77</b> | <b>75.87</b> | <b>50.04</b> | <b>53.90</b> |
|            | <b>2</b> | <b>Min</b> | 98.67         | 95.39         | 2.33         | 26.69        | 2.94         | 1.78         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.63        | 101.58        | 101.07       | 100.76       | 79.70        | 79.41        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>99.95</b>  | <b>61.05</b> | <b>75.05</b> | <b>45.71</b> | <b>48.40</b> |
|            | <b>3</b> | <b>Min</b> | 98.93         | 96.82         | 3.43         | 26.63        | 3.65         | 2.58         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.29        | 101.68        | 101.80       | 100.49       | 79.81        | 79.46        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>100.62</b> | <b>62.22</b> | <b>73.99</b> | <b>46.13</b> | <b>49.01</b> |
|            | <b>4</b> | <b>Min</b> | 98.58         | 95.85         | 1.67         | 26.43        | 2.43         | 1.26         |
|            |          | <b>Max</b> | 101.76        | 102.31        | 101.45       | 101.27       | 79.77        | 78.60        |
|            |          | <b>Ort</b> | <b>100.00</b> | <b>100.61</b> | <b>61.57</b> | <b>74.95</b> | <b>45.07</b> | <b>47.89</b> |

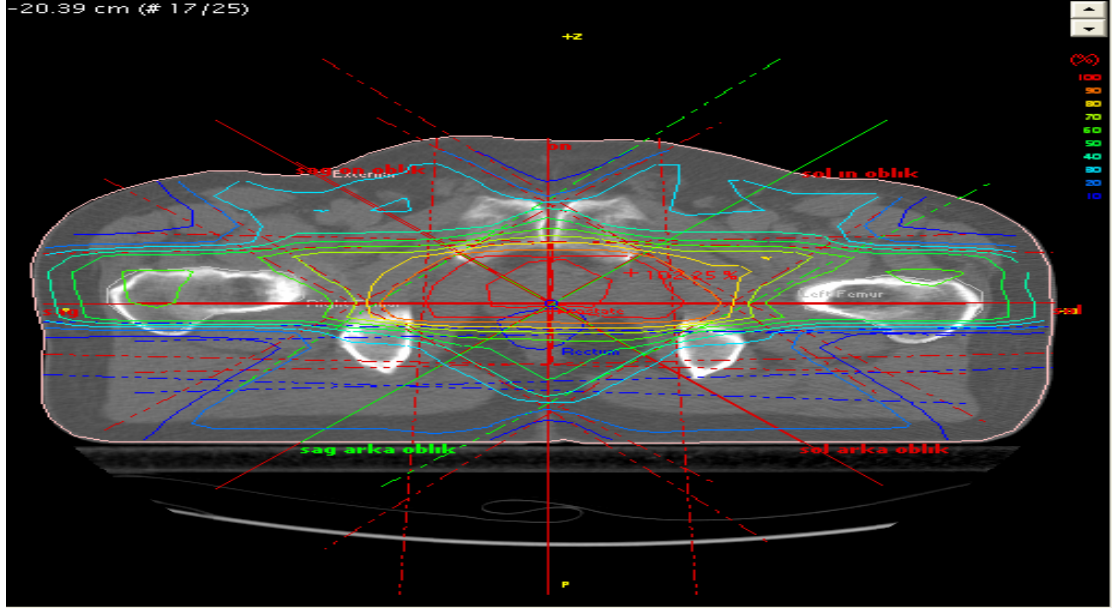
1 : Tüm demetler 6 MV

2 : Ön 6 MV , ön oblikler 6 MV , yanlar ve arka oblikler 25 MV

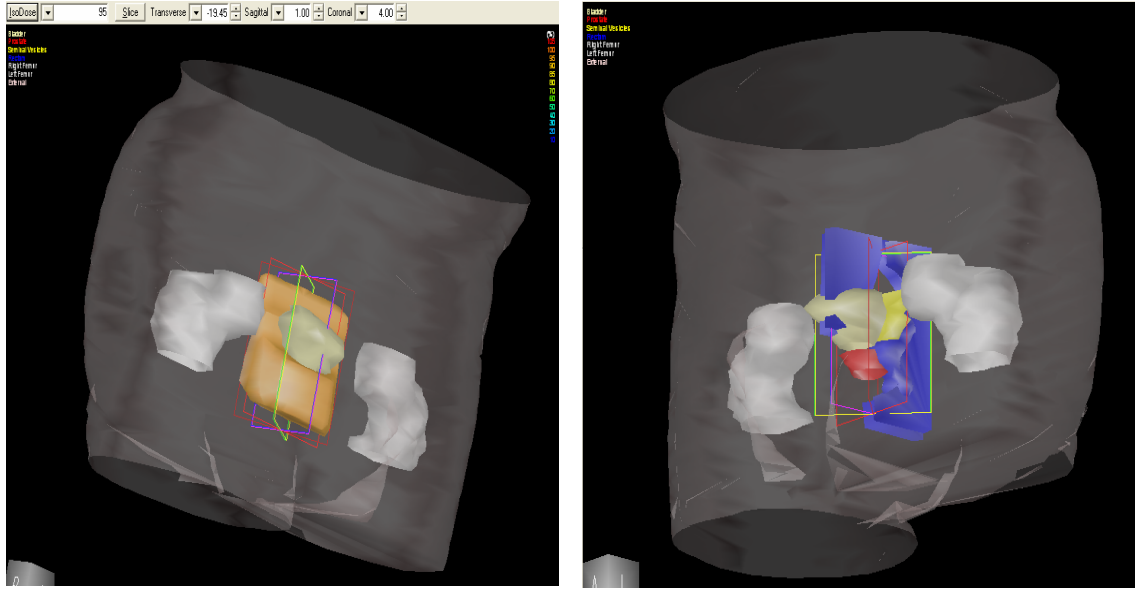
3 : Ön 6 MV , ön ve arka oblikler 6 MV , yanlar 25 MV

4 : Ön 6 MV , ön ve arka oblikler ve yanlar 25 MV

21 prostat hastasına uygulanan 4 değişik enerji kombinasyonundaki üç – boyutlu konformal planlama tekniğinde dozlar, prostatın ortalama değerine ve hedef organları homojen olarak sarması için % 95'e normalize edilmiştir.



Şekil 4.2 Konformal teknikle yapılmış bir tedavi planlamasına ait merkezi kesit görüntüsü



(a)

(b)

Şekil 4.3 Konformal planlama sonucu oluşturulan üç- boyutlu görüntüler

- a. Hedef organların izodoza sardırılmış görüntüsü
- b. Rektum ve mesane için oluşturulmuş korumalı alaların da gösterildiği üç boyutlu görüntü

#### 4.4 Planlama Tekniklerinin Karşılaştırılması

Planlama tekniklerinin karşılaştırılması, prostat ve seminal veziküllerin hedef organlar; rektum, mesane, femur başlarının kritik organlar olarak kabul edilerek DVH' lardan elde edilen % doz değerlerine göre yapılmıştır. Çizelge 4.5' te 3 teknikle yapılan planlamaların % doz değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 Farklı tedavi tekniklerinin % olarak doz değerleri

| HASTA |   | HEDEF ORGANLAR (%) |                           | KRİTİK ORGANLAR (%) |               |                  |                  |
|-------|---|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------|------------------|------------------|
|       |   | <i>Prostat</i>     | <i>Seminal Veziküller</i> | <i>Rektum</i>       | <i>Mesane</i> | <i>Sağ Femur</i> | <i>Sol Femur</i> |
| A.A   | 1 | 100.00             | 100.177                   | 92.08               | 96.51         | 50.46            | 38.48            |
|       | 2 | 100.00             | 99.79                     | 71.56               | 88.40         | 47.68            | 48.57            |
|       | 3 | 100.00             | 100.32                    | 69.85               | 63.10         | 40.55            | 40.01            |
| A.B   | 1 | 100.00             | 99.09                     | 82.28               | 73.39         | 46.10            | 42.78            |
|       | 2 | 100.00             | 99.52                     | 83.94               | 83.74         | 53.44            | 50.39            |
|       | 3 | 100.00             | 99.52                     | 71.98               | 65.52         | 39.17            | 36.75            |
| A.Ö   | 1 | 100.00             | 94.41                     | 98.49               | 91.43         | 43.58            | 34.05            |
|       | 2 | 100.00             | 99.52                     | 87.95               | 74.61         | 58.30            | 57.01            |
|       | 3 | 100.00             | 100.33                    | 71.65               | 59.65         | 59.39            | 59.54            |
| A.T   | 1 | 100.00             | 99.70                     | 101.25              | 98.91         | 22.82            | 14.74            |
|       | 2 | 100.00             | 99.80                     | 79.09               | 86.55         | 50.88            | 48.85            |
|       | 3 | 100.00             | 98.36                     | 61.93               | 58.56         | 35.45            | 37.93            |
| C.Y   | 1 | 100.00             | 102.32                    | 93.54               | 96.87         | 37.22            | 39.56            |
|       | 2 | 100.00             | 100.47                    | 73.72               | 92.92         | 57.58            | 57.47            |
|       | 3 | 100.00             | 99.97                     | 74.03               | 67.45         | 57.02            | 57.47            |
| C.C   | 1 | 100.00             | 101.09                    | 98.78               | 101.84        | 33.76            | 27.80            |
|       | 2 | 100.00             | 100.52                    | 79.91               | 95.12         | 54.50            | 57.29            |
|       | 3 | 100.00             | 98.73                     | 77.54               | 68.65         | 43.43            | 42.54            |
| H.D   | 1 | 100.00             | 100.22                    | 87.37               | 84.54         | 55.49            | 31.52            |
|       | 2 | 100.00             | 100.83                    | 84.19               | 88.45         | 58.14            | 58.75            |
|       | 3 | 100.00             | 100.51                    | 72.32               | 59.18         | 65.11            | 71.96            |
| H.C   | 1 | 100.00             | 100.25                    | 91.94               | 88.55         | 41.78            | 42.34            |
|       | 2 | 100.00             | 99.80                     | 60.87               | 84.65         | 49.27            | 51.20            |
|       | 3 | 100.00             | 99.36                     | 65.20               | 62.23         | 48.72            | 46.01            |
| H.Y   | 1 | 100.00             | 96.39                     | 89.27               | 98.15         | 21.46            | 21.43            |
|       | 2 | 100.00             | 98.05                     | 61.98               | 97.33         | 39.11            | 50.92            |
|       | 3 | 100.00             | 99.53                     | 74.85               | 76.83         | 51.57            | 59.62            |
| İs.S  | 1 | 100.00             | 101.93                    | 96.22               | 97.92         | 35.89            | 36.62            |
|       | 2 | 100.00             | 100.97                    | 83.20               | 91.07         | 56.41            | 57.42            |

Çizelge 4.5 Farklı tedavi tekniklerinin % olarak doz değerleri (devam)

|                   |          |        |        |       |       |       |       |
|-------------------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 100.92 | 82.26 | 75.10 | 59.77 | 59.15 |
| <b>İz.S</b>       | <b>1</b> | 100.00 | 99.41  | 87.30 | 99.43 | 51.72 | 45.67 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 97.64  | 57.81 | 99.97 | 53.00 | 52.18 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 100.17 | 72.48 | 73.92 | 36.55 | 32.66 |
| <b>M.D.<br/>G</b> | <b>1</b> | 100.00 | 81.39  | 85.03 | 78.08 | 28.00 | 33.35 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 99.54  | 77.63 | 87.75 | 57.79 | 57.94 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 100.54 | 73.53 | 65.84 | 66.70 | 66.44 |
| <b>M.İ</b>        | <b>1</b> | 100.00 | 99.59  | 97.29 | 98.56 | 22.26 | 26.16 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 99.61  | 73.49 | 79.18 | 52.93 | 51.96 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 99.60  | 51.45 | 54.88 | 43.29 | 44.09 |
| <b>M.Ş</b>        | <b>1</b> | 100.00 | 98.04  | 91.00 | 91.02 | 73.34 | 51.72 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 99.75  | 80.42 | 81.15 | 50.72 | 51.82 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 99.53  | 71.02 | 50.45 | 50.68 | 51.23 |
| <b>Ö.E</b>        | <b>1</b> | 100.00 | 96.6   | 64.24 | 91.02 | 33.81 | 41.20 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 100.42 | 73.73 | 67.94 | 52.34 | 52.43 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 100.73 | 71.53 | 52.92 | 51.43 | 51.69 |
| <b>R.E</b>        | <b>1</b> | 100.00 | 98.95  | 96.82 | 92.70 | 38.98 | 45.05 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 100.33 | 92.93 | 87.64 | 54.57 | 51.89 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 100.79 | 75.99 | 61.14 | 50.48 | 47.84 |
| <b>S.Ç</b>        | <b>1</b> | 100.00 | 98.55  | 94.55 | 96.83 | 27.84 | 18.81 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 98.51  | 83.62 | 86.71 | 53.04 | 52.96 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 99.82  | 75.04 | 61.95 | 52.31 | 47.46 |
| <b>S.Y</b>        | <b>1</b> | 100.00 | 101.09 | 95.4  | 96.35 | 37.94 | 33.5  |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 100.85 | 96.17 | 86.90 | 53.88 | 54.04 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 100.62 | 81.03 | 74.79 | 57.74 | 56.19 |
| <b>S.N.G</b>      | <b>1</b> | 100.00 | 103.68 | 94.32 | 64.66 | 19.72 | 22.24 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 108.73 | 98.44 | 61.33 | 53.98 | 51.04 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 101.53 | 69.92 | 64.34 | 50.98 | 44.45 |
| <b>V.B</b>        | <b>1</b> | 100.00 | 98.26  | 81.06 | 91.58 | 23.29 | 26.32 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 101.85 | 79.32 | 99.31 | 55.94 | 56.35 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 102.14 | 72.18 | 74.04 | 61.11 | 60.72 |
| <b>Y.P</b>        | <b>1</b> | 100.00 | 101.6  | 89.2  | 99.00 | 47.26 | 38.22 |
|                   | <b>2</b> | 100.00 | 92.27  | 54.40 | 96.40 | 55.76 | 56.58 |
|                   | <b>3</b> | 100.00 | 100.62 | 62.22 | 73.99 | 46.13 | 49.01 |

1 :AP / PA ve 3 Bilateral Alan Tekniği

2: Box Tekniği

3: Konformal Planlama Tekniği

Çizelge 4.6 Farklı tedavi tekniklerinin Gy olarak doz değerleri

| HASTA     |   | HEDEF ORGANLAR<br>(Gy) |                               | KRİTİK ORGANLAR<br>(Gy) |               |                      |                      |
|-----------|---|------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------|----------------------|----------------------|
|           |   | <i>Prostat</i>         | <i>Seminal<br/>Veziküller</i> | <i>Rektum</i>           | <i>Mesane</i> | <i>Sağ<br/>Femur</i> | <i>Sol<br/>Femur</i> |
| A.A       | 1 | 68.00                  | 68.12                         | 62.61                   | 65.63         | 34.31                | 26.17                |
|           | 2 | 68.00                  | 67.86                         | 48.66                   | 60.11         | 32.42                | 33.03                |
|           | 3 | 68.00                  | 68.22                         | 47.49                   | 42.90         | 27.57                | 27.20                |
| A.B       | 1 | 68.00                  | 67.38                         | 55.95                   | 49.91         | 31.35                | 29.09                |
|           | 2 | 68.00                  | 67.67                         | 57.08                   | 56.94         | 36.64                | 34.27                |
|           | 3 | 68.00                  | 67.67                         | 48.94                   | 44.55         | 26.63                | 24.99                |
| A.Ö       | 1 | 68.00                  | 64.20                         | 66.97                   | 62.17         | 29.63                | 23.15                |
|           | 2 | 68.00                  | 67.67                         | 59.81                   | 50.74         | 39.64                | 38.77                |
|           | 3 | 68.00                  | 68.22                         | 48.72                   | 40.56         | 40.38                | 40.48                |
| A.T       | 1 | 68.00                  | 67.80                         | 68.85                   | 67.26         | 15.52                | 10.02                |
|           | 2 | 68.00                  | 67.86                         | 53.78                   | 58.85         | 34.60                | 33.22                |
|           | 3 | 68.00                  | 66.89                         | 42.11                   | 39.82         | 24.10                | 25.79                |
| C.Y       | 1 | 68.00                  | 69.58                         | 63.61                   | 65.87         | 25.31                | 26.90                |
|           | 2 | 68.00                  | 68.32                         | 50.13                   | 63.19         | 39.15                | 39.08                |
|           | 3 | 68.00                  | 67.98                         | 50.34                   | 45.86         | 38.77                | 39.08                |
| C.C       | 1 | 68.00                  | 68.74                         | 67.17                   | 69.25         | 22.96                | 18.90                |
|           | 2 | 68.00                  | 68.35                         | 54.34                   | 64.68         | 37.06                | 38.96                |
|           | 3 | 68.00                  | 67.14                         | 52.72                   | 46.68         | 29.53                | 28.92                |
| H.D       | 1 | 68.00                  | 68.15                         | 59.41                   | 57.49         | 37.73                | 21.43                |
|           | 2 | 68.00                  | 68.56                         | 57.25                   | 60.15         | 39.54                | 39.95                |
|           | 3 | 68.00                  | 68.35                         | 49.17                   | 40.24         | 44.27                | 48.93                |
| H.C       | 1 | 68.00                  | 68.17                         | 62.52                   | 60.21         | 28.41                | 28.79                |
|           | 2 | 68.00                  | 67.86                         | 41.39                   | 57.56         | 33.50                | 34.82                |
|           | 3 | 68.00                  | 67.57                         | 44.33                   | 42.32         | 33.12                | 31.28                |
| H.Y       | 1 | 68.00                  | 65.55                         | 60.70                   | 66.74         | 14.59                | 14.57                |
|           | 2 | 68.00                  | 66.67                         | 42.15                   | 66.18         | 26.60                | 34.63                |
|           | 3 | 68.00                  | 67.68                         | 50.90                   | 52.24         | 35.06                | 40.54                |
| İs.S      | 1 | 68.00                  | 69.31                         | 65.43                   | 66.59         | 24.41                | 24.90                |
|           | 2 | 68.00                  | 68.66                         | 56.58                   | 61.93         | 38.36                | 39.05                |
|           | 3 | 68.00                  | 68.63                         | 55.93                   | 51.06         | 40.64                | 40.22                |
| İz.S      | 1 | 68.00                  | 67.60                         | 59.36                   | 67.61         | 35.17                | 31.06                |
|           | 2 | 68.00                  | 66.40                         | 39.31                   | 67.98         | 36.04                | 35.48                |
|           | 3 | 68.00                  | 68.12                         | 49.28                   | 50.26         | 24.85                | 22.20                |
| M.D.<br>G | 1 | 68.00                  | 55.35                         | 57.82                   | 53.09         | 19.04                | 22.68                |
|           | 2 | 68.00                  | 67.69                         | 52.79                   | 59.67         | 39.30                | 39.40                |
|           | 3 | 68.00                  | 68.37                         | 50.00                   | 44.77         | 45.35                | 45.17                |
| M.İ       | 1 | 68.00                  | 67.72                         | 66.16                   | 67.02         | 15.14                | 17.79                |
|           | 2 | 68.00                  | 67.74                         | 49.97                   | 53.84         | 35.99                | 35.33                |
|           | 3 | 68.00                  | 67.73                         | 34.98                   | 37.32         | 29.43                | 29.98                |
| M.Ş       | 1 | 68.00                  | 66.67                         | 61.88                   | 61.89         | 49.87                | 35.17                |

Çizelge 4.6 Farklı tedavi tekniklerinin Gy olarak doz değerleri (devam)

|              |          |       |       |       |       |       |       |
|--------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | <b>2</b> | 68.00 | 67.83 | 54.69 | 55.18 | 34.49 | 35.24 |
|              | <b>3</b> | 68.00 | 67.68 | 48.29 | 34.30 | 34.46 | 34.83 |
| <b>Ö.E</b>   | <b>1</b> | 68.00 | 65.69 | 43.68 | 61.89 | 22.99 | 28.02 |
|              | <b>2</b> | 68.00 | 68.29 | 50.14 | 46.20 | 35.59 | 35.65 |
|              | <b>3</b> | 68.00 | 68.50 | 48.64 | 35.98 | 34.97 | 35.15 |
| <b>R.E</b>   | <b>1</b> | 68.00 | 67.29 | 65.84 | 63.04 | 26.51 | 30.63 |
|              | <b>2</b> | 68.00 | 68.22 | 63.19 | 59.60 | 37.11 | 35.29 |
|              | <b>3</b> | 68.00 | 68.54 | 51.67 | 41.57 | 34.32 | 32.53 |
| <b>S.Ç</b>   | <b>1</b> | 68.00 | 67.01 | 64.29 | 65.84 | 18.93 | 12.79 |
|              | <b>2</b> | 68.00 | 66.99 | 56.86 | 58.96 | 36.07 | 36.01 |
|              | <b>3</b> | 68.00 | 67.88 | 51.02 | 42.12 | 35.58 | 32.27 |
| <b>S.Y</b>   | <b>1</b> | 68.00 | 68.74 | 64.87 | 65.52 | 25.80 | 22.78 |
|              | <b>2</b> | 68.00 | 68.58 | 65.40 | 59.09 | 36.64 | 36.75 |
|              | <b>3</b> | 68.00 | 68.42 | 55.10 | 50.85 | 39.26 | 38.20 |
| <b>S.N.G</b> | <b>1</b> | 68.00 | 70.50 | 64.14 | 43.97 | 13.41 | 15.12 |
|              | <b>2</b> | 68.00 | 73.94 | 66.94 | 41.70 | 36.71 | 34.71 |
|              | <b>3</b> | 68.00 | 69.04 | 47.54 | 43.75 | 34.67 | 30.22 |
| <b>V.B</b>   | <b>1</b> | 68.00 | 66.82 | 55.12 | 62.27 | 15.84 | 17.90 |
|              | <b>2</b> | 68.00 | 69.26 | 53.94 | 67.53 | 38.04 | 38.32 |
|              | <b>3</b> | 68.00 | 69.46 | 49.08 | 50.34 | 41.55 | 41.28 |
| <b>Y.P</b>   | <b>1</b> | 68.00 | 69.09 | 60.66 | 67.32 | 32.14 | 25.99 |
|              | <b>2</b> | 68.00 | 62.74 | 37.00 | 65.55 | 37.92 | 38.47 |
|              | <b>3</b> | 68.00 | 68.42 | 42.30 | 50.31 | 31.36 | 33.32 |

1 :AP / PA ve 3 Bilateral Alan Tekniği

2: Box Tekniği

3: Konformal Planlama Tekniği

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Prostat kanseri tedavisinde uygulanan yöntemlerden biri de radyoterapidir. Günümüze kadar değişik teknikler denenmiştir. AP / PA ve 3 bilateral alanlarla uygulanan tedavilerden sonra sağlam dokuların aldıkları dozları azaltmak için box tekniği ile tedavi planlaması yapılmaya başlanmıştır. Yine de kritik organ ve normal dokuların aldıkları dozlar daha aza indirgenmek istenmiştir. Teknolojik gelişmelerle birlikte 3-boyutlu konformal radyoterapi tekniği sağlam dokuya daha az doz verirken, hedef hacme mümkün olan optimum dozu vermeye olanak sağlamıştır.

AP / PA ve 3 bilateral alanlarla uygulanan planlamalar sonucu elde edilen DVH' lar ve bunun sonucunda oluşturulan çizelgede hedef ve kritik organların aldıkları dozlar % olarak verilmiştir. Araştırma ve Bulgular bölümünün en sonunda verilen karşılaştırma çizelgesinde ise Gy cinsinden dozlar verilmiştir. Rektumun aldığı dozlar değerlendirildiğinde çoğu hasta için yapılan tedavi planlamasının sonuçlarında rektumun tolerans dozunun ( $TD_{5/5} = 60$  Gy) üstüne çıkıldığı görülmüştür. Bir diğer kritik organ olan mesanenin aldığı dozlar incelendiğinde 21 prostat kanseri hastasından 11' inde mesanenin tolerans dozunun ( $TD_{5/5} = 65$  Gy) aşıldığı görülmüştür. Femur başlarının aldıkları dozlar incelendiğinde tolerans dozun ( $TD_{5/5} = 70$  Gy) üstünde bir değere çıkılmadığı gözlenmiştir.

Box tekniği kullanılarak yapılan tedavi planlamaları kritik organ dozları açısından incelendiğinde çoğu hastada rektum ve mesane dozunda, AP / PA ve 3 bilateral alanlarla uygulanan tedavi planlama tekniğine göre bir azalma olmuştur. Femur başlarındaki doz artışı, eklenen yan alanlar nedeniyle femur başlarının ışın alanına girmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Üç- boyutlu konformal planlama tekniği önce kendi içinde, değişik enerji kombinasyonları bakımından değerlendirilirse; dört değişik enerji kombinasyonu ile yapılan üç – boyutlu konformal planlamalardan elde edilen sonuçlara göre 2 nolu planın (ön ve ön oblikler 6 MV, yanlar ve arka oblikler 25 MV) diğer enerji kombinasyonu ile yapılan planlamalara göre kritik organ dozları açısından daha iyi olduğu görülmüştür. 4

nolu planlamada hedef ve kritik organ dozlarının yanı sıra, noktasal doz değerlendirilmesi yapıldığında kritik organ olarak girilmeyen ama ışınlama alanına giren bağırsak dozlarında artış olduğu gözlenmiştir. Radyoterapide tümöre yönelik yapılan planlamalarda sınırlayıcı olan her zaman normal dokuların dozlarıdır. Üç – boyutlu konformal radyoterapinin diğer tekniklere göre en büyük üstünlüğü bu konudur. 7 alandan ağırlıklı olarak yapılan tedavi planlaması sonucunda hedef organlara istenilen doz, normal dokulara daha az zarar verilerek ulaştırılabilmektedir.

7 alanla yapılan üç- boyutlu tedavi planlamalarında demetlere farklı ağırlıklar denenerek en uygun ve en homojen doz dağılımı sağlayanın, ön demet için %2, yan demetler için %25, oblik demetler için % 12 olan planlama olduğu görülmüştür.

Konvansiyonel teknik olarak uygulanan AP / PA ve 3 bilateral alan tekniği ve box tekniği; üç- boyutlu konformal radyoterapi tekniği ile, hedef ve kritik organların aldıkları dozlara göre karşılaştırıldığında; kritik organ olarak tanımlanan rektum ve mesane dozlarının konformal teknikte konvansiyonel tekniklere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Konvansiyonel tekniklerle yapılan tedavi planlamalarında rektum ve mesane için genelde 60 Gy civarında olan doz değerleri konformal tedavi planlama tekniği ile 50 Gy’ in altına düşürülmüştür. Bazı hastaların femur başı dozları konformal teknikle yapılan planlamalarda daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni oblik girişlerle femur başlarının alan içine girmesidir.

Ayrıca hastalara uygulanan aynı tedavi planlamasının sonuçlarında elde edilen doz değerlerinde de farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu farklılıkların bir nedeni de hastaların anatomik farklılığıdır (kritik organların hedef organlara komşulukları, hedef organların ve kritik organların büyüklükleri) . Farklı anatomiye sahip hastalarda farklı alan boyutları kullanılarak tedavi planlamaları yapılmıştır. Bu da doz değerlerini etkileyen bir parametredir.

Ayrıca Zelefsky ve arkadaşları, prone (yüz üstü) ve supine (sırt üstü) pozisyonlarındaki planları karşılaştırmışlar ve üç- boyutlu konformal radyoterapi ile tedavi edilen hastaların büyük çoğunluğu için prone pozisyonun daha uygun olduğunu bulmuşlardır.

Aynı zamanda 75.6 Gy ve daha yüksek dozlarla tedavi edilen hastaların, prone pozisyonda rektal duvar dozlarının daha düşük olduğunu ve tedavi alanı dışında kalan bağırsakların uzaklığının daha uygun olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca prone pozisyon, teknik olarak tekrarlanabilir ve hastaların çoğu için daha dayanılır bir pozisyon olarak bulunmuştur. Kilolu ya da ortopedik bazı sorunları nedeniyle prone pozisyonda zorluk çeken hastalar için, supine pozisyon daha dayanılır ve pratik olabilir (Perez 2004). Yapılan tez çalışmasında hedef hacme toplamda 68 Gy verildiği için rektal duvar dozunun ve diğer kritik organ dozlarının tolerans limitleri aşılmadığından hastalar supine pozisyonda planlanmıştır.

Yapılan bu çalışma sonucunda, sağlam dokuları ve kritik organları korumak için, hem dozların demet sayısı ve demet ağırlıklarının ayarlanması ile daha homojen bir şekilde dağılabildiği hem teknolojik gelişmelerle daha iyi ve tekrarlanabilir bir set-up yapılmasını sağlayan üç- boyutlu konformal tekniğin konvansiyonel planlama tekniklerinden daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Bor, D. 2002. Nükleer Tıp Fiziği Ders Notları. Ankara.
- Bor, D. 2003. Görüntüleme Teknikleri 2 Ders Notları. Ankara.
- Chao, K.S.C., Perez, C.A. and Brady, L.W., 2004. Radyasyon Onkolojisi Tedavi Kararları. Nobel Tıp Kitabevleri, 449-467, Ankara.
- Dearnaley, D., Khoo, P. and Norman, A.R.1999. Comparison of radiation side-effects of conformal and conventional radiotherapy in prostate cancer. Lancet 353, 267-272.
- Dirican, B. 2004. Radyoterapi Fiziği Ders Notları. Ankara.
- Dirican, B. 2005. İleri Radyasyon Terapisi Ders Notları. Ankara.
- Dobbs, J., Barrett, A. and Ash, D.1999. Pratical Radiotherapy Planning Third Edition. Arnold, 271- 280, London.
- Doll, R. 1980. The Epidemiology of Cancer, Cancer, 2475- 2485.
- Fırat, D. and Çelik, İ. 1998. Cancer Statistics in Turkey and in the World (1993- 1995) , Türk Kanser Araştırma ve Savaş Kurumu, Ankara.
- International Atomic Energy Agency, 1987. Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams, An International Code of Practice. Vienna.
- Khan, F.M. 1994. The Physics of Radiation Therapy. Lippincott Williams & Wilkins.
- Khan, F.M. 1994. The Physics of Radiation Therapy Third Edition. Lippincott Williams & Wilkins, 467- 475.
- Madcalse, P., Kron, T. and Hoban, P. 2002. The Physics Of Radiotherapy X- Ray From Linear Accelerators. Medical Physics Publishing, 493, Madison Wiscansin.
- Malone, S. 2004. Dose-escaleted 3D conformal radiotherapy in prostate cancer. Expert Review of Anticancer Therapy, Vol. 4, No. 4, 663-668.
- Odaz, İ.V. 1986. Anatomi Ders Kitabı 2. Cilt. Hacettepe Taş Kitapçılık Ltd., 321- 323, Ankara.
- Perez, C.A., Brady, L.W., Halperin, E.C. and Schmidt-Ullrich, R.K. 1998. Principle and Practice Oncology. Lippincott Williams & Wilkins, 1583- 1694, Philadelphia, USA.
- Perez, C.A., Brady, L.W., Halperin, E.C. and Schmidt-Ullrich, R.K. 2004. Principle and Practice Oncology. Lippincott Williams & Wilkins, 283- 313, 1692- 1761, Philadelphia, USA.
- Weil, M.D., Pickett, Kuerth, S. and Roach III, M. 1998. A three-field arc technique (3-FAT) for treating prostate cancer. Int Oncol Biol Phys 40, 733-738.
- Sandler, H.M., McLaughlin, R.K., Haken, T., Addison, H., Forman, J. and Lichter, A. 1995. Three dimensional conformal radiotherapy for treatment of prostate cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 33, 797-801.
- Schnider, U., Pedroni, E. and Lomax, A. 1996. The Calibration of CT Hounsfields Units for Radiotherapy Treatment Planing. Physics in Medicine and Biology 41, 111-124.
- Tai, K-H., Duchesne, G., Turner, S., Kneebone, A., See, A., Gonga, K. and Berry, M. 2004. Three dimensional conformal radiotherapy in the treatment of prostate cancer in Australia and New Zealand: Report on a survey of radiotherapy centres and the proceedings of a consensus workshop. Radiation Oncology 48, 502-508.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Sinem DALSUNA

Doğum Yeri: İzmit

Doğum Tarihi: 1981

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İzmir Şemikler Yabancı Ağırlıklı Lise 1995- 1999

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği  
Bölümü 1999- 2004

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği  
Anabilim Dalı 2004-2007

### Çalıştığı Kurum/ Kurumlar ve Yıl

- GATA Radyasyon Onkolojisi A.D 2005- 2007

- Aktif Çare Firması – Mersin Devlet Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Ünitesi 2007-

### Yayınları (SCI ve diğer)