

## 6 MV FOTON ENERJİSİNDE KÜÇÜK ALAN DOZİMETRESİNİN ARAŞTIRILMASI

### ANALYSIS OF SMALL FIELD DOSIMETRY FOR 6 MV PHOTON BEAMS

Yonca Yahşi

Şişli Hamidiye Etfal Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul

**Yazışma Adresi:**

Yonca Yahşi  
Şişli Hamidiye Etfal Eğitim ve Araş. Hastanesi  
İstanbul – Türkiye

E posta: yoncayahsi@mynet.com

Kabul Tarihi: 25 Ağustos 2015

**Balikesir Sağlık Bilimleri Dergisi**

ISSN: 2146-9601

e-ISSN: 2147-2238

[bsbd@balikesir.edu.tr](mailto:bsbd@balikesir.edu.tr)  
[www.bau-sbdergisi.com](http://www.bau-sbdergisi.com)

DOI: [10.5505/bsbd.2015.59672](https://doi.org/10.5505/bsbd.2015.59672)

#### ÖZET

**AMAÇ:** Çalışmanın amacı, yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT)'de çok önemli yeri olan küçük alan dozimetrisinde karşılaşılan dozimetrik sorunların aşılabilmesi için 6 MV foton enerjisinde en uygun ölçüm yönteminin araştırılmasıdır.

**YÖNTEM ve GEREÇLER:** ARTISTE lineer hızlandırıcı (6-15 MV) cihazında çok yapraklı kolimatör (MLC) ile oluşturulacak 1x1 – 15x15 cm arasındaki kare alanların rölatif doz faktörleri (RDF) Farmer, Semiflex, PinPoint, Markus PP iyon odası ve Termolüminesans dozimetri (TLD) kullanılarak araştırıldı. 6 MV için d=10 cm'de, 100 MU verilip 3'er kez ölçüm yapılarak ortalamaları alındı. Aynı alanlar Bilgisayarlı tedavi planlama sistemi (BTPS)'de oluşturuldu ve nokta doz okumaları yapıldı. Kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar kıyaslandı. Elde edilen rölatif doz faktörleri, tedavi planlama sisteminin verileriyle karşılaştırıldı.

**BULGULAR:** 6 MV foton enerjisinde, küçük alanlarda PinPoint iyon odası ve TLD cevapları kendi arasında benzer sonuçlara sahipken diğer iyon odalarına göre daha yüksek doz cevabı vermektedirler. Farmer iyon odası 4x4 cm den daha küçük alanlarda ciddi doz düşüşleri sergilemektedir. Fakat 4x4 cm den büyük alanlarda tüm iyon odaları benzer doz cevabı vermektedir.

**TARTIŞMA ve SONUÇ:** Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar doz verimi ölçümlerinde çözünürlüğü yüksek iyon odaları ve TLD kullanılması uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca 0,6 cm<sup>3</sup> iyon odaları gibi hassas ölçüm hacmi geniş olan iyon odaları, küçük alanlarda absorbe doz için uygun değildir. PinPoint iyon odası küçük alanların absorbe doz ölçümleri için iyi bir seçimidir.

**Anahtar Kelimeler:** Küçük alan dozimetrisi, Rölatif doz faktörü, iyon odası, Termolüminesans Dozimetri (TLD)

#### SUMMARY

**INTRODUCTION:** The aim of this study is to obtain the optimum measurement method to overcome the dosimetric problems in small field dosimetry which is very important in Intensity Modulated Radio Therapy (IMRT).

**METHODS:** In this study, the relative dose factors (RDF) obtained by Farmer, Semiflex, PinPoint, Marcus PP ionisation chambers and Thermoluminescence dosimetry (TLD) of the square fields between 1x1- 15x15 cm generated by multi leaf collimator (MLC) of Siemens Artiste linear accelerator (6-15 MV) were researched. For each field in d=10 cm, the measurements are performed thrice using 100 MU and averages are obtained. Same fields are created in Computer treatment planning system (CTPS) and reference point doses are recorded. The measurement results obtained from different devices are compared. Then, Relative Dose Factors are compared with data obtained by CTPS.

**RESULTS:** In 6 MV, the data obtained by PinPoint ion chamber and TLD were similar, but this data was higher dose response to other devices. However, all ion chambers have similar dose response in fields larger than 4x4 cm. Farmer ion chamber presents rapid dose decrease in fields smaller than 4x4 cm.

**DISCUSSION AND CONCLUSION:** As a result, usage of high resolution ion chambers and TLD in dose efficiency measurement are shown appropriate. Furthermore, large sensitive measurement volume ion chambers such as 0.6 cm<sup>3</sup> aren't suitable for using absorbed dose measurement in small fields. PinPoint ion chamber is a good choice for absorbed dose measurement in small fields.

**Keywords:** Small field dosimetry, Relative dose factors, ion chamber, Thermoluminescence dosimetry (TLD)

## GİRİŞ

Radyoterapide temel hedef normal doku dozunu minimumda tutup hedef hacme uygun homojen dozu vermektir. Günümüzde yaygın olan konvansiyonel tekniklerle bu pek mümkün olamamaktadır. Son yıllarda gelişen yoğunluk ayarlı radyasyon tedavisi (IMRT) ile hedefte en uygun (konformal) doz dağılımı elde edilebilmektedir. Bu tedavi tekniği sağlıklı dokuları daha iyi koruma olanağı sağlaması nedeniyle, tümörde daha yüksek dozlara ulaşılmasına imkan vermekte, böylece iyileştirilmiş tümör kürü sağlamaktadır. IMRT' nin kullanımı radyoterapinin optimizasyonu (kompleks şekilli hedef hacim için doz artırımı, riskli organ dozunun düşürülmesi, doz homojenitesinin sağlanması, vs.) açısından çok yararlı olmuştur<sup>1</sup>.

IMRT, 3-D konformal tedavinin gelişmiş bir şeklidir. IMRT' de konformal doz dağılımı lineer hızlandırıcının kafasında bulunan çok yapraklı kolimatör (MLC) yardımıyla elde edilir. Alışılmış veya klasik konformal tedavinin aksine her bir IMRT alanının doz yoğunluğu karmaşık bir yolla değiştirilir. IMRT iki şekilde uygulanır: Birincisi ışınlama esnasında kolimatör yapraklarının sürekli hareketiyle oluşturulan dinamik IMRT ( DMLC ) tekniği, ikincisi ise ışınların alt segmentlere bölünerek verildiği step and shoot tekniğidir ( SMLC )<sup>1,3</sup>.

Konformal doz dağılımını elde etmek için kullanılan IMRT alanları küçük alt alanlardan oluşur. Bazen bu alanların boyutları  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  olabilmektedir. Bu küçük alanlar da tedavi alanı içerisindeki ani doz düşüşleri gibi dozimetrik problemlere neden olurlar. Bu hızlı doz düşüşleri, tümöre verilmesi istenen dozda sapmalara neden olur.

Küçük alan kullanımında bir diğer dozimetrik problem ise ölçüm alırken kullanılan dedektörlerin tedavide kullanılan alanlara göre hacim olarak çok büyük olmasıdır. Standart dedektörler küçük alandaki doz dalgalanmalarından dolayı doz değerini tam olarak ölçemezler. Bu yüzden daha küçük hacimli iyon odalarının kullanılması gerekir<sup>4,5</sup>.

Wolfram ve Wong<sup>0.6</sup> cc Farmerve 0,015 cc PinPoint iyon odası ile yaptıkları ölçümleri hesaplanan değerlerle karşılaştırdıklarında 0,015 cc lik iyon odasının hesaplanan değerlere daha yakın okumalar gösterdiğini görmüşlerdir<sup>6</sup>.

Bu değerleri film, Termolüminesans Dozimetri (TLD) ve diamond dedektör okumalarıyla karşılaştırdıklarında ise doku eşdeğeri olması ve mükemmel uzaysal çözünürlüğe sahip olmasından dolayı en iyi sonucun diamond dedektörle okunan sonuç olduğunu bulmuşlardır.

Yapılan bu çalışmalardan görülüyor ki IMRT kalite güvenirliliği işlemi için farklı dozimetri sistemleri kullanılabilir. IMRT' nin doğrulanmasında önemli olan, en uygun ve doğru sistemi kullanmaktır.

Bu çalışmadaki amacımız yoğunluk ayarlı radyoterapide önemli yeri olan küçük alan dozimetrisinde karşılaşılan dozimetrik sorunların aşılabilmesi için en uygun ölçüm yönteminin araştırılmasıdır.

## GEREÇ VE YÖNTEM

ARTISTE lineer hızlandırıcı (6-15MV) cihazında MLC ile oluşturulan  $1 \times 1 - 15 \times 15$  cm arasındaki kare alanların rölatif doz faktörleri (RDF) farklı hacimli iyon odaları ve Termolüminesansdozimetri (TLD) kullanılarak hesaplandı. Kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar kıyaslandı. Rölatif doz faktörleri, tedavi planlama sisteminin verileriyle karşılaştırıldı.

Bir noktadaki dozu (primer doz + saçılan doz) oluşturan primer doz, alan boyutundan bağımsız iken, saçılan doz, alan boyutuna ve ışınlanan fantom boyutuna bağlıdır.

Bu nedenle dozun alan boyutuna bağıllığını göstermek için rölatif doz faktörleri bulunmuştur. Faktörleri bulmak için 6 MV' lik foton enerjisinde,  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$ ,  $4 \times 4$ ,  $5 \times 5$ ,  $6 \times 6$ ,  $7 \times 7$ ,  $8 \times 8$ ,  $9 \times 9$ ,  $10 \times 10$  ve  $15 \times 15$  cm alanlarda 10 cm derinlikte ölçüm yapıldı. Ölçümler, RW3 katı su fantomunda merkezi ekseninde, 100 MU verilerek yapıldı ve en az 3 kere tekrarlandı. Okuma değerleri  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  lik referans alanın okuma değerine normalize edilerek rölatif doz faktörleri bulundu ve alan genişliğine karşı grafik çizildi. Doz verim ölçümleri ayrıca TLD ile aynı set-up koşullarında tekrarlandı. Rölatif absorbe doz değerleri, iyon odalarının hacimlerine göre incelendi. Sonuçlar CMS XIO tedavi planlama sisteminin verileriyle karşılaştırıldı.

Katı su fantomu ölçümleri, RW3 katı su fantomu kullanılarak merkezi ekseninde 6 MV foton enerjisi için;  $d = 10 \text{ cm}$ 'de;  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$ ,  $4 \times 4$ ,  $5 \times 5$ ,  $6 \times 6$ ,  $7 \times 7$ ,  $8 \times 8$ ,  $9 \times 9$ ,  $10 \times 10$  ve  $15 \times 15 \text{ cm}$  alanda; SSD  $100 \text{ cm}$ 'de Farmer ( $0,6 \text{ cm}^3$ ), Semiflex ( $0,125 \text{ cm}^3$ ), PinPoint ( $0,015 \text{ cm}^3$ ), Markus PP iyon odaları ( $0,055 \text{ cm}^3$ ) ve PTW Unidos elektrometre kullanılarak yapıldı. Her bir ışınlama için 100 MU verildi. Ölçümlerde her iyon odası için özel dizayn edilmiş katı su fantom plakası kullanıldı. Her bir ölçüm 3 kez tekrarlanıp ortalaması alındı.

6 MV' lik foton enerjisinde,  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$ ,  $4 \times 4$ ,  $5 \times 5$ ,  $6 \times 6$ ,  $7 \times 7$ ,  $8 \times 8$ ,  $9 \times 9$ ,  $10 \times 10$  ve  $15 \times 15 \text{ cm}$  alanların merkezi eksenlerine TLD' ler yerleştirilerek 10 cm derinlikte 100 MU verilerek ölçüm yapıldı. Ölçümler en az 3 kez tekrarlandı. Okuma değerleri  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  lik referans alanın okuma değerine normalize edildi.

Gruplanan ve her birine numara verilen, TLD' ler sıralamaları bozulmadan ve ışınlamadan sonra en az 10 saat bekletilerek, TLD okuyucusuna yerleştirildi. TLD' lerin tek tek ve her birinin numarası girilerek yapılan okuma işleminin ardından, ışınma eğrileri oluşturuldu.

6 MV foton enerjisinde sırasıyla  $d=1,5$  cm ve  $d=3$  cm de 2x2, 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7, 8x8, 9x9, 10x10 ve 15x15 cm alanlar, CMS XIO'da oluşturularak nokta doz okumaları yapıldı.

## BULGULAR

### 1. İyon odası ile yapılan ölçüm sonuçları

Farmer, Semiflex, PinPoint ve Markus PP iyon odaları kullanılarak, 6 MV foton enerjisinde 1x1, 2x2, 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7, 8x8, 9x9, 10x10 ve 15x15 cm alanlarda,  $d=10$  cm' de 100 MU verilerek ölçümler alındı. Bu alanların planları CMS XIO'da oluşturularak nokta doz okumaları yapıldı.

### 2. TLD ile yapılan ölçüm sonuçları

TLD kullanılarak 6 MV foton enerjisinde 1x1, 2x2, 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7, 8x8, 9x9, 10x10 ve 15x15 cm alanlarda,  $d=10$  cm' de 100 MU verilerek ölçümler alındı. Bu alanların planları CMS XIO'da oluşturularak nokta doz okumaları yapıldı.

### 3. Btps ile yapılan ölçüm sonuçları

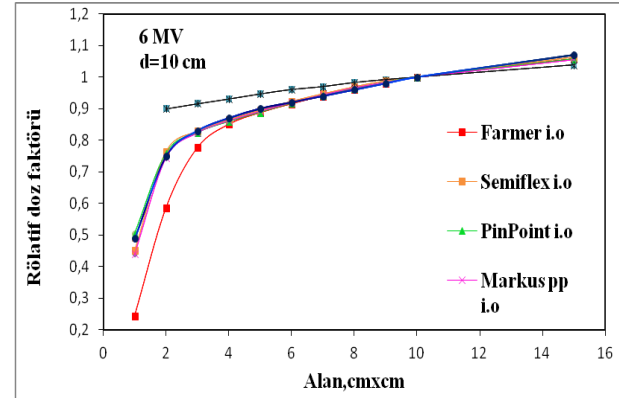
6 MV foton enerjisinde sırasıyla  $d=1,5$  cm ve  $d=3$  cm de CMS XIO'da oluşturululan 2x2, 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7, 8x8, 9x9, 10x10 ve 15x15 cm alanlarda nokta doz okuması sonuçları tablo 1 'de verilmiştir.

**Tablo-1.** Çeşitli kare alanlarda, 6 MV foton enerjisinde BTPS verileri

ALAN cm <sup>2</sup>	ENERJİ 6 MV	
	OKUMA DEĞERLERİ	RDF
2X2	60,4	0,900
3X3	61,5	0,916
4X4	62,5	0,931
5X5	63,6	0,947
6X6	64,5	0,961
7X7	65,2	0,970
8X8	66	0,983
9X9	66,6	0,992
10X10	67,1	1
15X15	69	1,028

6 MV foton enerjisi için Rölatif doz faktörleri incelendiğinde; Farmer, Semiflex, PinPoint ve Markus PP iyon odaları ile TLD kullanılarak bulunan ölçüm sonuçları şekil 1'de görülmüştür. 10 cm derinlikte yapılan ölçümler 10x10 alanın dozuna normalize edilmiştir. Rölatif doz faktörlerini mukayese edebilmek için aynı alanların planları CMS XIO'da oluşturulmuştur.

**Şekil 1.** 6 MV için farklı iyon odaları, TLD ve BTPS ile rölatif doz değerleri.



6 MV' de Farmer iyon odasının en az doz okuma yaptığı şekil 1' de görülmektedir. Bunun nedeni Farmer iyon odasının hassas hacminin daha büyük olmasına bağlı, elektron akısındaki bozulmadan dolayıdır.

Bilgisayarlı tedavi planlama sisteminin 6 MV' de verdiği rölatif doz faktörleri, sisteme girilen en küçük alanın 2x2 cm olması nedeniyle, 2x2 cm den büyük alanlar için kıyaslanmıştır. Bilgisayarlı tedavi planlama sisteminin rölatif doz faktörleri, Farmer iyon odası hariç tüm iyon odaları ve TLD sonuçlarıyla uyumludur.

## TARTIŞMA

IMRT ile tanımlanan doz, çoklu küçük alt alanlar kullanılarak verilir. MLC' ye dayalı IMRT' de alanların çoğu 1x1cm kadar küçük alanlardan verilir. Dolayısıyla, IMRT' de doğru doz hesaplaması için küçük alanlar ve onların dozimetrik özellikleri TPS' de uygun bir şekilde modellenmelidir. Bu çalışma rölatif doz faktörlerini TPS' de modellenen doz dağılımlarının doğrulanmasında farklı dozimetrik yöntemleri araştırmak ve kıyaslamak; doğruluk ve işlem kolaylığı açısından en efektif doğrulama yöntemini bulmak açısından yapılmıştır.

Çalışmada; Farmer, Semiflex, PinPoint ve Markus PP iyon odaları, Termoluminesans dozimetri (TLD) ve CMS XIO ile bulunan 6 MV foton enerjisi için rölatif doz faktörleri şekil 1'de görülmüştür.

6 MV foton enerjisi için, 1x1 cmlik alanda Semiflex iyon odası ve Markus PP iyon odasının okuma değerleri birbirine yakın olup PinPoint iyon odası ve TLD sonuçlarına göre daha düşük doz cevabı vermektedir. 2x2 ve 3x3 cm lik alanda Semiflex, PinPoint ve Markus PP iyon odasının okuma değerleri birbirine yakınken, Farmer iyon odası 4x4 cm'den daha küçük alanlardaciddi doz düşüşleri sergilemektedir. Fakat 4x4 cm'den büyük alanlarda tüm iyon odaları benzer doz cevabı

vermektedir. PinPoint iyon odası ve TLD'nin okumaları birbirine çok yakındır.

Çalışmamızda görüldüğü gibi 4x4 cm'lerden küçük alanlarda RDF'leri küçük bulunmasındaki ana sebep, dedektörün ölçüm hacminin artmasıyla lateral elektron dengesizliğinin artmasıdır. Lateral elektron dengesizliğindeki bu artış doz hesaplamalarında hatalara sebep olabileceği benzer çalışmalarla gösterilmiştir<sup>7</sup>. Bu değerlendirmelere göre küçük alanların dozimetresinde yeterince küçük hacimli iyon odasının kullanımı yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip film dozimetre ve pertürbasyon faktörü oluşturmayan doku eşdeğeri TLD ile uyumlu sonuçlar vereceği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda küçük hacimli iyon odası ile lateral elektron dengesizliğinden kaynaklanan düşük doz ölçümü azaltılırken ölçüm alanı içinde efektif ölçüm noktasının yer alması sağlanır. Bu durum, daha büyük hacimli iyon odasına göre daha az belirsizlik getirecektir.

Benzer şekilde Wolfram ve Wong<sup>6</sup>. PintPoint (0,015cc) ve 0,125 cc iyon odasıyla yaptıkları absolute doz ölçümlerinde ışınlanan bölge büyüdükçe iyon odalarının hacim etkisinin arttığını bildirmişlerdir. Dedektörün hacmi arttıkça lateral elektron dengesizliğinin arttığı için okunan değer azaldığını bildirmişlerdir.

Martens ve arkadaşları da, Markus PP iyon odası, PinPoint iyon odası ve diamond dedektör kullanarak ölçümleri karşılaştırmışlardır<sup>8</sup>. Çalışmalarının bulgularından biri PinPoint iyon odasının, radyografik filmde olduğu gibi, düşük enerjili Compton saçılma fotonlarına aşırı tepki vermesidir. Bu durum PinPoint iyon odasının merkezi elektrodunun çelik olmasına bağlıdır. 1,5 cm alan ve daha küçük alanlarda out put ölçümleri için bu iyon odasını tavsiye etmişlerdir.

Küçük alan foton ışınlarının rölatif doz faktörleri ölçümleri, kullanılan dedektörlerin yeterliliğine bağlıdır<sup>9</sup>. Pek çok çalışmada küçük alanlar için diyot ve diamonddedektörlerinin rölatif doz faktöründe en iyi sonuçları sağladığı ortaya konmuştur<sup>10,12</sup>. Bununla birlikte diamonddedektörler çok hassas ve çok pahalıdır. Diyot türü, diyot zırhı ölçümleri negatif yönde etkileyebileceğinden dikkatli seçilmelidir. Sanchez ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada, bir büyük alan Markus PP, PinPoint, Semiflex, Farmer iyon odaları, p tipi diod, diamonddedektör ve Kodak X-Omat V film kullanarak ölçümleri karşılaştırmışlardır. Çalışmada, output faktörlerinde dedektörlerin hacmi hassasiyetlerinin önemli rol oynadığı görülmüştür<sup>13</sup>. 0.6 cm<sup>3</sup> iyon odasının hassas hacminin küçük alanlardaki absorbe dozu ölçmede yetersiz kaldığı bildirmiştir. Calcina ve arkadaşları da cesitli dozimetrelerle dozimetrik parametreleri değerlendirdiği çalışmada, yüksek çözünürlüklü film ve TLD'lerin küçük radyasyon alanları

için uygun olduğu sonucuna varmışlardır<sup>14</sup>. Geniş hacimli iyon odalarının elektronik dengeğin pertürbasyonu ve hacim ortalaması sebebiyle yüksek doz gradientli bölgelerde uygun olmadığı bildirilmiştir. Benzer şekil Laub ve Wong yaptıkları çalışmada 0.6 cm<sup>3</sup> Farmer iyon odası ve 0,015 cm<sup>3</sup> PinPoint iyon odası ile yaptıkları ölçümleri hesaplanan değerler ile karşılaştırdıklarında 0,015 cm<sup>3</sup> hacimli PinPoint iyon odasının hesaplanan değerlere daha yakın okumalar gösterdiğini bildirmişlerdir<sup>7</sup>. Westermark ve arkadaşları da, küçük alanlar için yaptığı çalışmada TLD rölatif doz faktörü ölçümlerinin büyük hacimli iyon odalarına göre hesaplanan değere daha yakın okumalar gösterdiğini bildirmişlerdir<sup>15</sup>.

Pappas ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada, 5mm yarıçaplı alanın output faktörlerini jel dozimetre ile ölçmüştür<sup>12</sup>. Hacim etkisi, farklı voksel boyutları kullanılarak ve bir voksel ile sıfır voksel arasındaki ortalama doz değeri tahmini olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar PinPoint iyon odası verileriyle örtüşmüştür. Bizim çalışmamızda da rutin olarak kullanılan (0.6 cm<sup>3</sup> hacimli) iyon odalarının hassas hacminin küçük alanlardaki absorbe dozu ölçmede yetersiz kaldığı bulunmuştur. Küçük alan RDF'lerinde TLD ve PinPoint iyon odası benzer okumalar göstermiştir. Bu sonuçlar literatürle uyumlu bulunmuştur<sup>14,17</sup>.

Çalışmamız ve diğer literatürlerdeki benzer çalışmaların sonuçlarını dikkate aldığımızda, küçük alanların dozimetrik parametrelerini değerlendirirken karşılaştığımız lateral elektron dengesizliği ve dozimetre hacminin alan boyutuna uygun olacak şekilde seçimi önem taşımaktadır. Her iki faktörün de etkisini azaltmak için mümkün olan en küçük hacimli ve yüksek uzaysal çözünürlüklü dozimetre seçilmelidir. Küçük alan foton tedavisinde dozimetrelerin yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip olmasına dikkat edilmelidir. Dozimetre boyutunun ortalama hacmi ile lateral elektronik belirsizliklerin varlığı ve ortaya çıkan belirsizlikler en aza inerken; dedektörün duyarlı hacmi, dağılımın keskin düşüş bölgesi üzerindeki dozu kaydetmesi açısından yeteri kadar küçük olmalıdır. Ayrıca, dozimetre tek bir noktadaki dozdan çok doz dağılımının uzaysal bir haritasını ve konformal dağılımların doğruluğunu sağlamalıdır.

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Lütfi Özkan' a ; tez çalışmamın oluşturulmasında ve yürütülmesinde her türlü desteği gösteren ve deneyimlerini esirgemeyen başta danışman hocam Doç. Dr. Meral Kurt olmak üzere, Tıb. Rad. Fiz.Uzm. Sema Gözcü'ye teşekkürü bir borç bilirim.

**KAYNAKLAR**

1. Wiezorek T, Banz N, Schwedas M, Scheithauer M, Salz H, Georg D, Wendt TG. Dosimetric quality assurance for intensity-modulated radiotherapy. *Strahlentherapie und Onkologie*, 18: 468-474, 2005.
2. Letourneau D, Gulam M, Yan D, Oldham M, Wong JW. Evaluation of a 2D diode array for IMRT quality assurance. *Radiotherapy Oncology*, 70: 199-206, 2004.
3. Wiezorek t, Schwedas M, Scheithauer M, Salz H, Bellemann M, Wendt TG. A new tool for quality assurance for intensity modulated radiotherapy. *Strahlentherapie und Onkologie*, 178: 732-736, 2002.
4. Engler MJ, Hones G. Small beam calibration by 0,6-0,2 cc ionization chamber. *Medical Physics*, 11: 822-26, 1984.
5. Wua Z, Kalend Rd, Zheng AM. Comments on the dose measurements for a narrow beam radiosurgery. *Medical Physic*, 20: 777-79, 1993.
6. Wolfram U, Wong T. The volume effect of detectors in the dosimetry of small fields used in IMRT. *Medical Physics*, 30: 341-347, 2003.
7. Laub WU, Wong T. The volume effect of detectors in the dosimetry of small fields used in IMRT. *Medical Physics*, 30: 341-347, 2003.
8. Martens C, De Wagter C, De Neve W. The value of the PinPoint ion chamber for characterization of small field segments used in intensity-modulated radiotherapy. *Physical Medical Biology*, 45: 2519-2530, 2000.
9. Mckerracher C, Thwaites DI. Assessment of new small field detectors against standard field detectors for practical stereotactic beam data acquisition. *Physical Medical Biology*, 44: 2143-2160, 1999.
10. Devlamynck K, Palmans H, Verhaegen F, Thierens H. Dose measurements compared with Monte Carlo simulations of narrow 6 MV multileaf collimator shaped photon beams. *Medical. Physics*, 26: 9-15, 1999.
11. Palta Jr, Yeung Dk, Frouhar V. Dosimetric considerations for a multileaf collimator system. *Medical Physics*, 23: 1219-24, 1996.
12. Pappas E, Marig TG, Papadakis A, Zacharopoulou F, Damilakis J. Experimental determination of the effect of detector size on profile measurements in narrow photon beams. *Medical Physics*, 26: 3700-3711, 1999.
13. Sanchez F, Hartmann GH, Pena J, Rosello JV, Russillo G, Gonzalez DM. A new method for output factor determination in MLC shaped narrow beam. *Physica Medica*, 23: 58-66, 2007.
14. Calcina CS, Oliveria LN, Almeida CE, Almeida A. Dosimetric parameters for small field sizes using fricke xyleneol gel, thermoluminescent and film dosimeters and ionazation chamber. *Physical Medical Biology*, 52: 1431-1439, 2007.
15. Westermark M, Amdt J, Nilsson B, Brahme A. Comparative dosimetry in narrow high-energy photon beams. *Physical Medical Biology*, 45: 685-702, 2000.
16. Wysocka A, Maciszewski W. The photon beam characteristics of lineer accelerator equipped with additional narrow beam collimator. *Proceeding of EPAC*, 2563-2565, 2000.
17. Das Ji, Ding Xg, Ahnesjo A: Small fields: nonequilibrium radiation dosimetry. *Medical Physics*, 35: 206-214, 2008.