



T.C.
İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KÜÇÜK ALANLARA AİT DOZİMETRİK PARAMETRELERİN
FARKLI DETEKTÖRLERLE ÖLÇÜLMESİ**

SEVTAP YILDIRIM

SAĞLIK FİZİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Doç. Dr. HİLAL ACAR DEMİR

İSTANBUL – 2018

TEZ ONAY FORMU

Kurum : İstanbul Medipol Üniversitesi
Programın Seviyesi : Yüksek Lisans (X) Doktora ()
Anabilim Dalı : Sağlık Fiziyi
Tez Sahibi : Sevtap YILDIRIM
Tez Başlığı : Küçük Alanlara Ait Dozimetrik Parametrelerin Farklı
Detektörlerle Ölçülmesi
Sınav Yeri : Medipol Mega Hastaneler Kompleksi
Sınav Tarihi : 12.08.2018

Tez tarafımızdan okunmuş, kapsam ve nitelik yönünden Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Doç.Dr.Hilal ACAR DEMİR

Kurumu

İstanbul Medipol Üniversitesi

İmza


Sınav Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Ömer UZEL

İstanbul Medipol Üniversitesi

Prof.Dr.Bayram DEMİR

İstanbul Üniversitesi




Yukarıdaki jüri kararıyla kabul edilen bu Yüksek Lisans tezi, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ..16./08./2018. tarih ve ..2018./...32... - ..23.. sayılı kararı ile şekil yönünden Tez Yazım Kılavuzuna uygun olduğu onaylanmıştır.

Prof.Dr.Nesrin EMEKLİ

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü



BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içerisinde elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarımı ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

SEVTAP YILDIRIM





Aileme ithaf ediyorum

TEŞEKKÜR

Bilgi ve birikimini bizlere aktaran, tezimin hazırlanması sırasında yapmış olduğu tüm katkılardan dolayı danışmanım Sayın Doç. Dr. Hilal ACAR DEMİR'e,

Yüksek lisans eğitimim süresinde her türlü yardım ve desteğini bizlerden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ömer UZEL'e,

Eğitim hayatım boyunca emeklerini esirmeyen her konuda yardımcı olabilmek için elinden geleni yapan ve tez çalışmamdaki desteklerinden dolayı Öğr. Gör. Mehmet Sıddık CEBE'ye,

Yüksek lisans eğitimi süresince tecrübeleriyle bizlere yardımcı olan, sorularımıza güler yüzle cevap veren, desteklerini esirgemeyen Medikal Fizik Uzmanı Erhan DİŞÇİ, Mine DOYURAN, Nadir KÜÇÜK, Esra KÜÇÜKMORKOÇ, Emre ŞANLI ve Esra SERİN LALEŞAHİN, Pelin PAÇACI'ya,

Bilgilerini bizlerle paylaşan ve eğitimimize katkıda bulunan Sayın Doç. Dr. Esengül KOÇAK UZEL, Sayın Prof. Dr. Hale Başak ÇAĞLAR, Sayın Prof. Dr. Bünyamin KAPLAN, Doç. Dr. Dilek ÜNAL, Sayın Uzman Dr. Rashad RZAZADE ve Uzman Dr. Doğu CANOĞLU'na,

Eğitim hayatım boyunca yaptıkları her türlü katkı için, Öğr. Gör. Mustafa ÇAĞLAR'a, Hanieh MABHOUTİ'ye,

Yüksek lisans öğrencisi arkadaşlarım Dursun EŞİTMEZ, Yaprak ERÖZMEN ve Gülhan ÇAVDAR'a,

Medipol Üniversite Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü çalışanlarına,

Ve hayatım boyunca her türlü kararında bana destek olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Safa No
TEZ ONAYI FORMU	i
BEYAN.....	ii
İTHAF.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
RESİMLER LİSTESİ	xxii
1. ÖZET.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. GİRİŞ VE AMAÇ.....	3
4. GENEL BİLGİLER	5
4.1. SRS (Stereotaktik Radyocerrahi), SRT (Stereotaktik Radyoterapi), SBRT (Stereotaktik Vücut Radyoterapisi)	5
4.1.1. SRS hacmi tanımlaması.....	9
4.1.2. SRS'lerde Doz - Hacim Histogramı	10
4.2. Küçük Alan Dozimetresi.	10
4.2.1. Küçük alanların ve küçük alan dozimetresinin problemlerini belirleyen parametreler.....	11
4.2.1.1. Küçük Alan Şartları;.....	11
4.2.1.2. Alan Boyutu Tanımı	14
4.2.1.3. Küçük Alanların Enerji Spektrumunun Sertleşmesi.....	15
4.2.1.4. Küçük Alanların Demet Kalitesi ve Cihaza Özgü Referans (msr) Alanlar	16
4.2.1.5. Detektör Cevabı.....	17
4.2.1.6. Enerji Aralığı.....	19

4.2.2. Radyoterapi Demetlerinin Referans Ve Rölatif Dozimetrilerine Genel Bakış.....	21
4.2.2.1. Konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan referans demetler için referans dozimetre	21
4.2.2.2. Rölatif Dozimetre	22
4.2.3. Küçük Alan Kavramları Ve Formalizm	24
4.2.3.1. Küçük alan kavramları	24
4.2.3.2. Sudaki Referans Absorbe Dozun Elde Edilmesi İçin Formalizm	27
4.2.4. Küçük Alan Referans Koşulları	30
4.2.5. Küçük Alan Detektörleri Ve Ekipmanları.....	30
4.2.5.1. Cihaza Özgü Referans Dozimetre Ekipmanları	30
4.2.5.2. Küçük Ve Referans Olmayan Alanlarda Rölatif Dozimetre İçin Ekipman	33
4.2.6. Msr Alanlar İçin Referans Dozimetre	41
4.2.6.1. Dozimetrik Ekipman	41
4.2.6.2. Etki Parametrelerinin Düzeltilmesi	42
4.2.7. Küçük Alanların Rölatif Dozimetrisi	45
4.2.7.1. Fantomda Detektör Set-up.....	45
4.2.7.2. Lateral Demet Profili Ölçümü.....	49
4.2.7.3. Zmaks'ta Absorbe Dozun Belirlenmesi	50
5. GEREÇ VE YÖNTEM	51
5.1. Araç ve Gereçler.....	51
5.1.1. Varian Truebeam STx 2.0 Lineer Hızlandırıcı.....	51
5.1.2. Sun Nuclear 3D Scanner Su Fantomu ve 3D Reservoir™ Su Tankı	52
5.1.3. SNC Dosimetry™ Scanning Yazılım.....	53
5.1.4. PTW Semiflex 31010 İyon Odası	53

5.1.5. PTW Pinpoint 31014 İyon Odası	54
5.1.6. PTW Microdiamond 60019 Detektör	55
5.2. Yöntem	56
5.2.1. Foton Demeti Ölçümleri.....	56
5.2.1.1. Görüntülerin Elde Edilmesi.....	56
5.2.1.2. Lateral Yüklü Parçacık Dengesinin Oluşabilmesi İçin Detektörlere Özgü Gerekli Olan Minimum Alan Boyutu Büyüklüklerinin Hesaplanması	56
5.2.1.3. Su Fantomu Ölçümleri	57
6. BULGULAR.....	61
6.1. Lateral Yüklü Parçacık Dengesinin Oluşabilmesi İçin Detektörlere Özgü Gerekli Olan Minimum Alan Boyutu Büyüklüklerinin Hesaplanması	61
6.2. Su Fantomu Ölçümleri	64
6.2.1. PDD ölçümleri.....	64
6.2.1.1. 6 MV PDD grafikleri;.....	64
6.2.1.2. 6 FFF PDD Grafikleri;	69
6.2.1.3. 10 MV PDD grafikleri.....	74
6.2.1.4. 10 FFF PDD Grafikleri;	79
6.2.2 Profil Ölçümleri.....	84
6.2.2.1 PTW Semiflex 31010 İyon Odası İle Kolimatörün Mekanik Kontrollerinin Gerçekleştirilmesi.....	84
6.2.2.2. 6 MV dmaks (1.5 cm) derinlik için profil eğrileri;.....	91
6.2.2.3. 6 MV 5 cm derinlik için profil eğrileri.....	95
6.2.2.4. 6 MV 10 cm derinlik için profil eğrileri.....	100
6.2.2.5. 6 FFF dmaks (1.4 cm) derinliği için profil eğrileri	105
6.2.2.6. 6 FFF 5 cm derinlik için profil eğrileri.....	110
6.2.2.7. 6 FFF 10 cm derinlik için profil eğrileri.....	115
6.2.2.8. 10MV dmaks (2.5 cm) derinliği için profil eğrileri.....	120

6.2.2.9.	10MV 5 cm derinlik için profil eğrileri.....	126
6.2.2.10.	10MV 10 cm derinlik için profil eğrileri.....	131
6.2.2.11.	10FFF dmaks (2.4 cm) derinliği için profil eğrileri	136
6.2.2.12.	10FFF 5 cm derinlik için profil eğrileri.....	141
6.2.2.13.	10FFF 10 cm derinlik için profil eğrileri.....	146
6.2.3.	Output ölçümleri.....	151
7.	TARTIŞMA	160
8.	SONUÇ	172
9.	KAYNAKLAR	173
10.	ÖZGEÇMİŞ	176

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ÇYK: Çok Yapraklı kolimatör

MLC: Multi leaf collimator

YART: yoğunluk ayarlı Radyoterapi

IMRT: Intensity modulated radiotherapy

VMAT: Volume modulated arc therapy

SRT: Stereotaktik Radyoterapi

SRS: Stereotaktik radyocerrahi

SBRT: Stereotaktik vücut radyoterapisi

MU: Monitor unit

SSD: Source Skin Distance

F: Flatness (Düzlük)

S: Simetri

YDD: Yüzde derin doz

PDD: Percentage depth dose

TPR: Tissue Phantom Ratio

Dmax: Maksimum doz

FWHM: Full Width Half Maximum

SFX: PTW Semiflex 31010 iyon odası

PP: PTW Pinpoint 31014 iyon odası

MD: PTW Microdiamond 60019

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 6.1. TPS TPR2010 değerleri.....	61
Tablo 6.2. TPS rLCPE değerleri	61
Tablo 6.2.1.1. 6 MV enerji giriş dozu değerleri.....	67
Tablo 6.2.1.2. 6 MV enerji dmax değerleri.....	67
Tablo 6.2.1.3. 6 MV enerji 5 cm derinlikteki doz değerleri.....	68
Tablo 6.2.1.4. 6 MV enerji 10 cm derinlikteki doz değerleri.....	68
Tablo 6.2.1.5. 6 MV enerji 20 cm derinlikteki doz değerleri.....	68
Tablo 6.2.1.6. 6 FFF enerji giriş dozu değerleri	72
Tablo 6.2.1.7. 6FFF enerji dmaks değerleri.....	72
Tablo 6.2.1.8. 6FFF enerji 5 cm derinlikteki doz değerleri	72
Tablo 6.2.1.9. 6FFF enerji 10 cm derinlikteki doz değerleri	73
Tablo 6.2.1.10. 6 FFF enerji 20 cm derinlikteki doz değerleri	73
Tablo 6.2.1.11. 10 MV enerji giriş dozu değerleri.....	77
Tablo 6.2.1.12. 10 MV enerjisi dmaks değerleri.....	77
Tablo 6.2.1.13. 10 MV enerjisi 5 cm derinliğindeki doz değerleri.....	77
Tablo 6.2.1.14. 10 MV enerjisi 10 cm derinliğindeki doz değerleri.....	78
Tablo 6.2.1.15. 10 MV enerjisi 20 cm derinliğindeki doz değerleri.....	78
Tablo 6.2.1.16. 10 FFF enerji giriş dozu değerleri.....	82
Tablo 6.2.1.17. 10 FFF enerjisi dmaks değerleri	82
Tablo 6.2.1.18. 10 FFF enerjisi 5 cm derinlik için doz değerleri.....	82
Tablo 6.2.1.19. 10 FFF enerjisi 10 cm derinlik için doz değerleri.....	83
Tablo 6.2.1.20. 10 FFF enerjisi 20 cm derinlik için doz değerleri.....	83
Tablo 6.2.2.1. 6 MV enerji 0.6x0.6 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri.....	85

Tablo 6.2.2.2. 6 MV enerji 1x1 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri.....	86
Tablo 6.2.2.3. 6 MV enerji 2x2 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri.....	87
Tablo 6.2.2.4. 6 MV enerji 3x3 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri.....	88
Tablo 6.2.2.5. 6 MV enerji 5x5 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri.....	89
Tablo 6.2.2.6. 6 MV enerji 10x10 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri.....	90
Tablo 6.2.2.7. 6 MV enerji dmaks (1.5 cm) derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler	94
Tablo 6.2.2.8. 6MV için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları	95
Tablo 6.2.2.9. 6 MV enerji 5 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler.....	99
Tablo 6.2.2.10. 6MV 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	100
Tablo 6.2.2.11. 6 MV enerji 10 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler.....	104
Tablo 6.2.2.12. 6MV 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	105
Tablo 6.2.2.13. 6 FFF enerji dmaks derinliği için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler	109
Tablo 6.2.2.14. 6 FFF dmaks cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	110
Tablo 6.2.2.15. 6 FFF enerji 5 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler.....	114
Tablo 6.2.2.16. 6FFF 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	114

Tablo 6.2.2.17. 6 FFF enerji 10 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler	119
Tablo 6.2.2.18. 6FFF 10 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	119
Tablo 6.2.2.19. 10MV enerji dmaks derinliği için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler	124
Tablo 6.2.2.20. 10MV dmaks derinliği için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	125
Tablo 6.2.2.21. 10MV enerji 5cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler.....	130
Tablo 6.2.2.22. 10MV 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	131
Tablo 6.2.2.23. 10MV enerji 10cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler;.....	135
Tablo 6.2.2.24. 10MV 10 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	136
Tablo 6.2.2.25. 10FFF enerji dmaks derinliği için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler	140
Tablo 6.2.2.26. 10FFF dmaks derinliği için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	141
Tablo 6.2.2.27. 10FFF enerji 5 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler.....	145
Tablo 6.2.2.28. 10FFF 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları;.....	146
Tablo 6.2.2.29. 10FFF enerji 10 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler	150
Tablo 6.2.2.30. 10FFF 10 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları.....	151
Tablo 6.2.3.1. 6 MV için elde edilen doz verimi ölçüm verileri.....	151

Tablo 6.2.3.2. 6 MV doz verimi değerlerinin 10x10 cm ² alan boyutunda elde edilen doz verimi değerine normalize edilerek düzeltme faktörü uygulanması ile elde edilen doz verimi faktörü değerleri.....	152
Tablo 6.2.3.3. 6 FFF için elde edilen doz verimi ölçüm verileri.....	153
Tablo 6.2.3.4. 6 FFF doz verimi değerlerinin 10x10 cm ² alan boyutunda elde edilen doz verimi değerine normalize edilerek düzeltme faktörü uygulanması ile elde edilen doz verimi faktörü değerleri.....	154
Tablo 6.2.3.5. 10 MV için elde edilen doz verimi ölçüm verileri.....	155
Tablo 6.2.3.6. 10 MV doz verimi değerlerinin 10x10 cm ² alan boyutunda elde edilen doz verimi değerine normalize edilerek düzeltme faktörü uygulanması ile elde edilen doz verimi faktörü değerleri.....	156
Tablo 6.2.3.7. 10 FFF için elde edilen doz verimi ölçüm verileri.....	157
Tablo 6.2.3.8. 10 FFF doz verimi değerlerinin 10x10 cm ² alan boyutunda elde edilen doz verimi değerine normalize edilerek düzeltme faktörü uygulanması ile elde edilen doz verimi faktörü değerleri.....	158

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 4.2.1.1 Monte Carlo simülasyonu ile hesaplanmış olan su 5 cm derinlikte merkezi ekseninde yüksek enerjili foton demetlerinin absorbe dozlarının çarpışma kermalarına oranları	12
Şekil 4.2.1.2 Kaynak bloklanması etkisinin şematik gösterimi	13
Şekil 4.2.1.3 Tek boyutta hacim ortalaması etkisinin şematik gösterimi.	14
Şekil 4.2.1.4 Kolimatör ayarları ile karşılaştırıldığında açık alanın genişlemesini gösteren küçük alanlar demet profilinin FWHM'sinde çakışan penumbra etkisi	15
Şekil 4.2.1.5 4 cm ile 12 cm arasındaki alan boyutu için Palmans modeline göre TPR 20,10 (S) 'e bağlı S alan boyutu verileri ve 4 MV ile 10 MV arasındaki nominal foton demeti profili	17
Şekil 4.2.1.6 MLC yapraklarının açılıp kapanması ile sudaki absorbe doz ölçümü ..	20
Şekil 4.2.8.1 Klinik kurulum doğruluğu etkisinin gösterilmesi	48
Şekil 4.2.8.2 Lateral demet profillerinin ölçümü için iyon odasının uygun oryantasyonları	50
Şekil 5.1.3. SNC Dosimetry™ Scanning yazılımı ile elde edilen profil örneği	53
Şekil 6.2.1.1. 6 MV 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	64
Şekil 6.2.1.2. 6 MV 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	65
Şekil 6.2.1.3. 6 MV 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	65
Şekil 6.2.1.4. 6 MV 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	66
Şekil 6.2.1.5. 6 MV 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	66
Şekil 6.2.1.6. 6 MV 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	67
Şekil 6.2.1.7. 6 FFF 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	69
Şekil 6.2.1.8. 6 FFF 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	69
Şekil 6.2.1.9. 6 FFF 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	70
Şekil 6.2.1.10. 6 FFF 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	70
Şekil 6.2.1.11. 6 FFF 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	71

Şekil 6.2.1.12.	6 FFF 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	71
Şekil 6.2.1.13.	10 MV 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	74
Şekil 6.2.1.14.	10 MV 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	74
Şekil 6.2.1.15.	10 MV 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	75
Şekil 6.2.1.16.	10 MV 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	75
Şekil 6.2.1.17.	10 MV 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	76
Şekil 6.2.1.18.	10 MV 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi.....	76
Şekil 6.2.1.19.	10 FFF 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	79
Şekil 6.2.1.20.	10 FFF 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	79
Şekil 6.2.1.21.	10 FFF 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	80
Şekil 6.2.1.22.	10 FFF 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	80
Şekil 6.2.1.23.	10 FFF 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	81
Şekil 6.2.1.24.	10 FFF 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi	81
Şekil 6.2.2.1.	6 MV enerji 0.6x0.6 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil	84
Şekil 6.2.2.2.	6 MV enerji 1x1 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil....	85
Şekil 6.2.2.3.	6 MV enerji 2x2 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil....	86
Şekil 6.2.2.4.	6 MV enerji 3x3 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil....	87
Şekil 6.2.2.5.	6 MV enerji 5x5 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil....	88
Şekil 6.2.2.6.	6 MV enerji 10x10 cm ² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil	89
Şekil 6.2.2.7.	6 MV 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri.....	91
Şekil 6.2.2.8.	6 MV 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri	91
Şekil 6.2.2.9.	6 MV 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri	92

Şekil 6.2.2.10. 6 MV 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri	92
Şekil 6.2.2.11. 6 MV 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri	93
Şekil 6.2.2.12. 6 MV 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri	93
Şekil 6.2.2.13. 6 MV 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri	95
Şekil 6.2.2.14. 6 MV 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri	96
Şekil 6.2.2.15. 6 MV 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri	96
Şekil 6.2.2.16. 6 MV 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri	97
Şekil 6.2.2.17. 6 MV 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri	97
Şekil 6.2.2.18. 6 MV 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri	98
Şekil 6.2.2.19. 6 MV 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri	100
Şekil 6.2.2.20. 6 MV 1x1cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri	100
Şekil 6.2.2.21. 6 MV 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri	101
Şekil 6.2.2.22. 6 MV 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri	102
Şekil 6.2.2.23. 6 MV 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri	102

Şekil 6.2.2.24. 6 MV 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri	103
Şekil 6.2.2.25. 6 FFF 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	105
Şekil 6.2.2.26. 6 FFF 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	106
Şekil 6.2.2.27. 6 FFF 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	106
Şekil 6.2.2.28. 6 FFF 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	107
Şekil 6.2.2.29. 6 FFF 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	107
Şekil 6.2.2.30. 6 FFF 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	108
Şekil 6.2.2.31. 6 FFF 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	110
Şekil 6.2.2.32. 6 FFF 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	111
Şekil 6.2.2.33. 6 FFF 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	111
Şekil 6.2.2.34. 6 FFF 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	112
Şekil 6.2.2.35. 6 FFF 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	112
Şekil 6.2.2.36. 6 FFF 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	113
Şekil 6.2.2.37. 6 FFF 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	115

Şekil 6.2.2.38. 6 FFF 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	116
Şekil 6.2.2.39. 6 FFF 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	116
Şekil 6.2.2.40. 6 FFF 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	117
Şekil 6.2.2.41. 6 FFF 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	117
Şekil 6.2.2.42. 6 FFF 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	118
Şekil 6.2.2.43. 10MV 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	120
Şekil 6.2.2.44. 10MV 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	121
Şekil 6.2.2.45. 10MV 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	121
Şekil 6.2.2.46. 10MV 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	122
Şekil 6.2.2.47. 10MV 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	122
Şekil 6.2.2.48. 10MV 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	123
Şekil 6.2.2.49. 10MV 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	126
Şekil 6.2.2.50. 10MV 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	127
Şekil 6.2.2.51. 10MV 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	127

Şekil 6.2.2.52. 10MV 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	128
Şekil 6.2.2.53. 10MV 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	128
Şekil 6.2.2.54. 10MV 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	129
Şekil 6.2.2.55. 10MV 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	131
Şekil 6.2.2.56. 10MV 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	132
Şekil 6.2.2.57. 10MV 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	132
Şekil 6.2.2.58. 10MV 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	133
Şekil 6.2.2.59. 10MV 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	133
Şekil 6.2.2.60. 10MV 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	134
Şekil 6.2.2.61. 10FFF 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	136
Şekil 6.2.2.62. 10FFF 1x1 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	137
Şekil 6.2.2.63. 10FFF 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	137
Şekil 6.2.2.64. 10FFF 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	138
Şekil 6.2.2.65. 10FFF 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri	138

Şekil 6.2.2.66. 10FFF 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün maks derinliği için profil eğrileri	139
Şekil 6.2.2.67. 10FFF 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	141
Şekil 6.2.2.68. 10FFF 1x1cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	142
Şekil 6.2.2.69. 10FFF 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	142
Şekil 6.2.2.70. 10FFF 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	143
Şekil 6.2.2.71. 10FFF 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	143
Şekil 6.2.2.72. 10FFF 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri	144
Şekil 6.2.2.73. 10FFF 0.6x0.6 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	146
Şekil 6.2.2.74. 10FFF 1x1cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	147
Şekil 6.2.2.75. 10FFF 2x2 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	147
Şekil 6.2.2.76. 10FFF 3x3 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	148
Şekil 6.2.2.77. 10FFF 5x5 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	148
Şekil 6.2.2.78. 10FFF 10x10 cm ² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri	149
Şekil 6.2.3.1. 6 MV doz verimi grafiği	152
Şekil 6.2.3.2. 6 MV normalize edilmiş ve düzeltme faktörleri uygulanmış doz verimi grafiği	153

Şekil 6.2.3.3. 6 FFF doz verimi grafiği	154
Şekil 6.2.3.4. 6 FFF normalize edilmiş ve düzeltme faktörleri uygulanmış doz verimi grafiği	155
Şekil 6.2.3.5. 10 MV doz verimi grafiği	156
Şekil 6.2.3.6. 10 MV normalize edilmiş ve düzeltme faktörleri uygulanmış doz verimi grafiği.....	157
Şekil 6.2.3.7. 10 FFF doz verimi grafiği	158
Şekil 6.2.3.8. 10 FFF normalize edilmiş ve düzeltme faktörleri uygulanmış doz verimi grafiği.....	159



RESİMLER LİSTESİ

Sayfa No

Resim 5.1.1. Varian Truebeam STx 2.0 Lineer Hızlandırıcı	51
Resim 5.1.2. Sun Nuclear 3D Scanner Su Fantomu ve 3D Reservoir™ Su Tankı	52
Resim 5.1.4. PTW Semiflex 31010 iyon odası	54
Resim 5.1.5. PTW Pinpoint 31014 iyon odası	55
Resim 5.1.6. PTW Microdiamond 60019 detektör	55
Resim 5.2.1.1. PTW Pinpoint 31014 ve referans detektör PTW Semiflex 31010 iyon odaları ile PDD ölçümü.....	58
Resim 5.2.1.2. PTW 60019 Microdiamond detektörü ile alınan profil ölçümü	59

1. ÖZET

KÜÇÜK ALANLARA AİT DOZİMETRİK PARAMETRELERİN FARKLI DETEKTÖRLERLE ÖLÇÜLMESİ

Küçük alan dozimetrisinde, detektör boyutunun alan boyutuna eşit ya da büyük olması, penumbra ve detektör duyarlı hacminin kesişmesine yol açmaktadır. Ayrıca, lateral elektron dengesizliğinin başladığı alanlardan daha küçük alanlarda merkezi ekseninde birincil foton kaynağının kolimasyon tarafından parsiyel bloklanması ile parçacık spektrumu etkilenmektedir. Küçük alanlardaki bu sorunlar demet doz veriminde keskin bir düşüşe sebep olmaktadır. Dozimetrik ölçümlerde karşılaşılan bu belirsizliklerin en aza indirilmesinde doğru detektör seçimi de büyük rol oynamaktadır. Bu çalışmada, PTW Semiflex 31010 ve PTW Pinpoint 31014 ve referans detektör olarak PTW Microdiamond 60019 kullanılarak farklı enerjilerde ve alan boyutlarında yüzde derin doz, profil ve doz verimi ölçülmüştür. Yüzde derin doz eğrilerinde, alan boyutu küçüldükçe maksimum doz derinliğinin azaldığı, bu değişimin üç detektör incelemesi sonucunda etkin hacmi daha küçük olan PTW Pinpoint 31014 sonuçlarının PTW Microdiamond 60019 sonuçları ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. PTW Semiflex 31010 sonuçlarında ise alan boyutu küçüldükçe yüzde farkın %37 lere çıktığı görülmüştür. Hacim ortalamasından kaynaklı bu farklılıklar profil ölçümlerinde de görülmektedir. Doz verimi ölçümlerine bakıldığında ise düzeltme faktörleri kullanılmadan önce detektörlerin verdiği yanıtlar birbirinden çok farklı iken TRS 483 protokolünden alınan her detektör ve her alan boyutuna özgü düzeltme faktörlerinin uygulanması ile detektörlerin verdiği yanıtlar birbiriyle uyumlu hale gelmiştir. Detektör yanıtları arasında en büyük fark PTW Semiflex 31010' da görülmüştür. Dozimetrik değerlendirmeler sonucunda, PTW 60019 Microdiamond detektörüne en yakın sonuçların PTW Pinpoint 31014 detektörü ile elde edildiği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Küçük alan dozimetrisi, microDiamond, penumbra

2. ABSTRACT

MEASUREMENT OF PARAMETERS FOR SMALL FIELD DOSIMETRY WITH VARIOUS DETECTORS

In small field dosimetry, when detector size is equal to or larger than the field size penumbra and effective volume of the detector can be overlapped. In addition, in small fields that lateral electron inequilibrium occurs, primary photon source in central beam axis is blocked by the collimation and this effects the particle spectrum. These problems result in sharp decrease in beam output of small fields. In order to decrease the uncertainties during the measurements, selection of correct detector is vital. In this study we performed percentage depth dose, profile and output measurements in different field sizes with different photon energies using PTW Semiflex 31010 and PTW Pinpoint 31014 ionization chambers, and PTW 60019 PTW Microdiamond 60019 as a reference dosimeter. We investigated variation in detector readings for different energies and field sizes by means of acquired data and graphs. In percentage depth dose curves we observed decrease in depth of maximum for all detectors and consistency found between PTW Pinpoint 31014 and PTW Microdiamond 60019 results, while up to 37 % difference found from PTW Semiflex 31010 results with decreasing field sizes. This differences which results from volume averaging effect were also found in profile measurements. However output measurements of all detectors showed differences before applying correction factors, the results became consistent with eachother after applying correction factors of each according to TRS483. Maximum difference were seen in PTW Semiflex 31010 results. After evaluation of the dosimetric results of all detectors the closest results with PTW Microdiamond 60019 were seen in PTW Pinpoint 31014 results.

Key words: Microdiamond, output, small field

3. GİRİŞ VE AMAÇ

X – ışını 1895'te Alman fizikçi Wilhelm Conrad Roentgen tarafından fotoğraf filminde renk değişimine neden olan yeni bir ışın çeşidi olarak tarif edildikten sonra ilk kez Profesör Freund tarafından Viyana'da lösemi tedavisi için kullanıldı. Yapılan birçok çalışma ile birlikte 1900 lerin başında yüksek mitotik aktiviteye ve kötü differensiyasyona sahip dokuların radyasyona daha hassas olduklarının anlaşılması ile birlikte radyoterapinin temelleri atıldı. Deneysel uygulamaların başarılı sonuçlar vermesinin ardından birçok teknolojik ve bilimsel gelişmeler sayesinde kanser tedavisinde oldukça hızlı ilerleme sağlandı. Günümüzde; ağır metal bloklar yerine ÇYKlerin (çok yapraklı kolimatörlerin) dizaynının alan şekillendirmede kolaylık sağlaması, Coplanar olmayan demetlerin, hastanın integral dozunu arttırma eğiliminde olduğundan, gövde tedavi planlamalarında daha az kullanılması, BT taramalarının dijital simülasyon veri setinden tedavi ile aynı geometride hastanın görüntüleri olan DRR (Digitally reconstructed radiographs) görüntüleri elde edilerek hastanın tedavi pozisyonunun doğrulanıp tedavi sırasında elde edilen x ışını görüntüleri ile karşılaştırılabilmesi gibi uygulanan yeni teknik buluşlar sayesinde tümörü daha iyi kapsayan radyasyon dozları verilmesinin yanında lokal tümör kontrolü arttırıldı ve tümörü çevreleyen normal dokuda dozların azalması sağlandı. Radyoterapinin teknik buluşları gelişen teknoloji ile her gün biraz daha artmaktadır.

Eksternal radyoterapi cihazlarının teknolojik gelişmeleri ile üç boyutlu konformal radyoterapi tedavi tekniğinin yanında artık daha çok tercih edilen yoğunluk ayarlı radyoterapi, hacimsel yoğunluk ayarlı radyoterapi ve stereotaktik radyoterapi gibi tedavi teknikleri sayesinde radyoterapinin amacına bir adım daha yaklaşıldı. Radyoterapinin başlıca amacı, tanımlanmış tümör hacmine yüksek doğrulukla ölçülmüş maksimum radyasyon dozu verilirken tümörü çevreleyen sağlıklı dokuların da maksimum düzeyde korunması ve minimum radyasyon dozunu almalarıdır. Bu amaca yönelik olarak hastaya uygulanacak tedavi tekniği tümör hacmine, tümör yerleşimine ve tümörü çevreleyen kritik organların maksimum düzeyde korunumunun sağlanmasına bağlı olarak seçilir. Bu tedavi teknikleri birçok parametreden oluşmaktadır. Tedavi planlama sistemleri (TPS) tarafından oluşturulan,

ÇYK'nin hareketine, gantry dönüşüne, doz hızına vs. bağlı birçok parametre kullanılarak yapılan doz hesaplamalarının sürekli olarak takip edilmesi, karşılaştırılması ve doğrulanması gerekmektedir. Hastaya verilen dozun, hastaya özgü kalite kontrolünün yapılmasının yanında dozimetrik olarak da tedavi performansının değerlendirilmesinin birçok yöntemi vardır.

Giderek yaygınlaşan stereotaktik radyoterapi tedavi teknikleri ile küçülen hedef volüme yönelik tedaviler artmıştır. Küçük alan boyutlarının kullanıldığı tedavilerin doz ölçümü ve kontrollerinde ortaya çıkan belirsizlikler ise ölçümlerde hassasiyetin önemini göstermektedir.

Bu çalışmada; küçük alanlarda, yüzde derin doz, profil ve doz verimi parametrelerinin ölçülerek çeşitli detektörlerin verdikleri cevaplar ile aralarındaki farkların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

4. GENEL BİLGİLER

4.1. SRS (Stereotaktik Radyocerrahi), SRT (Stereotaktik Radyoterapi), SBRT (Stereotaktik Vücut Radyoterapisi)

Yunanca “üç-boyutlu” anlamına gelen stereo ve Latince “dokunmak” anlamına gelen tactic eklerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş olan stereotaktik kelimesi, insan anatomisinin yanı sıra radyolojik görüntüleme tekniklerinin de detaylı ve son derece eksiksiz bilinmesine dayanmaktadır. İnsan beyni görüntülemesi, 20. yy başlarından itibaren geliştirildi ve stereotaktik tekniklerin ilk geliştiği zamanlarda güvenilir beyin atlasları vardı. İngiliz bilim adamı Robert H. Clarke ve cerrah Sir Victor Horsley, 1906'da, primatların bozulmamış serebellumunu incelemek için ilk tanınmış stereotaktik çerçeveyi yarattılar. Amerikalı nörofizyolog Ernest Spiegel ve cerrah Henry Wycis, Horsley-Clarke çerçevesini temel alarak insan hastalar için olan bir stereotaktik çerçeve geliştirdiler. Bu çerçeve girişimsel bir cerrahi probu ile anatomik hedefi lokalize etmek için x ışınları pnömoensefalogramlarına (lumbar ponksiyon yoluyla kontrast madde enjeksiyonu gerektirir) dayanıyordu. SRS ilk olarak 1951'de İsveçli sinir cerrahı Lars Leksell tarafından tanımlanmıştır. Leksell kendi tasarımı olan 200 kV x-ışını tedavi cihazı ile birlikte trigeminal nevraji hastalarını (yoğun yüz ağrısı ataklarıyla karakterize edilen bir durum) tedavi etmek için stereotaktik çerçeve kullandı. Leksell'in stereotaktik çerçeveyi kullanmaktaki stratejisi, hedefin hassas bir stereotaktik lokalizasyonu ve minimal girişimsel prosedür olarak adlandırılan o zamandan bu yana oldukça yaygınlaşmış radyocerrahinin ilk örneği olan hedefe odaklanmış bir x ışını ile hedefin ışınlanmasıydı.

Stereotaktik tedaviler başlangıçta kilovoltaj x-ışını demetleri kullanılarak gerçekleştirilirken, foton tedavilerinin hepsi artık megavoltaj demetler (Co60 kaynaklı gama ışınları ya da lineer hızlandırıcı kaynaklı x ışınları) ile verilmektedir. Tedaviler, özel cihazlarda veya modifiye edilmiş konvansiyonel radyoterapi ünitelerinde verilir, (1).

SRS, Stereotaktik radyoterapi (SRT), SBRT, invaziv cerrahinin gereksinimlerini karşılayan küçük alanlı foton ışınlarının 3 boyutlu düzenlemeleri ile intrakranyal ve ekstrakranyal lezyonların ışınlanmasında kullanılan özel bir radyoterapi tekniğidir, (2). Hedef volüm içerisindeki sıcak noktaların radyo rezistanslı hipoksik hücrelerin ölmesinde avantaj sağlayabileceği hipotezi ileri sürülmüştür. Stereotaktik radyoterapi son on yılda oldukça gelişmiş ve popüler olmuştur. SRS, SRT ve SBRT tedavilerini konvansiyonel radyasyon tedavisinden ayıran başlıca özellik, yüksek biyolojik etkileri olan dozların bir ya da bir kaç fraksiyonda yüksek miktarda verilmesidir. SBRT tekniği radyobiyojik etki açısından SRS tekniği ile benzerlik gösterir. SRS tekniğinde kısa tedavi süresinde yüksek doz bir fraksiyonda (10-24 Gy) intrakranyel lezyonlara, SRT tekniğinde, kısa tedavi süresinde yüksek doz birkaç fraksiyonda (1-8 fraksiyon) intrakranyel lezyonlara, SBRT tekniğinde, kısa tedavi süresinde yüksek doz (6-30 Gy) birkaç fraksiyonda (1-8 fraksiyonda) ekstrakranyel lezyonlara uygulanır. SBRT tekniğinde de SRS, SRT tekniğinde olduğu gibi hedef alanı dışında dik doz düşüşü sağlamak ve risk altındaki çevre organları da daha çok korumak amaçlanır. Bu amaç üzerine planlanan tedavilerde hedef içi heterojenite artmaktadır. Konvansiyonel radyoterapide istenmeyen hedef içi doz heterojenliği, SRS, SRT, SBRT tekniklerinde normal doku içermeyen hedefler için uygundur, (3). Dozun heterojen dağılımı, genellikle hedef volüm içerisinde sıcak noktalar, hedef dışında kalan normal dokularda görülmediği sürece klinik olarak istenmektedir. Yoğunluk ayarlı radyoterapi ve stereotaktik radyocerrahi gibi radyoterapi tekniklerinin artan kullanımı, küçük alanların kullanımını da yaygınlaştırmıştır, (4). SRS, Vmat, Imrt gibi ileri radyoterapi teknikleri, yüksek doz verilen hedefi doğru lokalize etmek için çok küçük ışın alanları kullanır, (5). Bu küçük ışık alanları genellikle 0,3 x 0,3 cm² ile 4 x 4 cm² arasındaki alan boyutları olarak tanımlanır ve planlama hedef hacim (PTV) çapı genellikle birkaç santimetre kadardır, (6).

SRS/SBRT teknikleri birlikte tedavi sırasında karşımıza, tedavi süresinin uzamasına bağlı olarak hasta konforunun azalması, değişken solunum ve artan hasta hareketi gibi sorunlar çıkarmaktadır. Bu da CTV kapsamı ve normal doku korumasını riske atmaktadır. SRS/SBRT tedavilerinde daha iyi tümör lokalizasyonu, hasta sabitlemesi, planlama ve görüntü rehberliğinde görüntü takibi gerektirmektedir, (7). Normal doku toksitesini minimuma indirmek için hedefe verilen yüksek doz konformasyonu ve hedefin dışına çıkan dozun düşüş hızı kritik önem taşımaktadır. SRT doz dağılımlarında, riskleri olan organların korunması amacıyla sağlanan dik doz düşüşlerinden dolayı; SBRT uygulamaları, tüm tedavi sürecinin doğruluğunda yüksek düzeyde bir güvenlik gerektirir. Bu tür tedavilerde güvenliği ve etkinliği garantilemek için özel teknikler kullanılması gerekir. Bu teknikler arasından öncelikle, karşımıza çıkan tedavi süresinin uzamasına bağlı problemlerin azalması için düzleştirici filtresiz (FFF) ışınların kullanımı, konvansiyonel düzleştirici filtreli ışınlara kıyasla tedavi süresini 2 ile 4 kat oranında azaltabileceğinden dolayı daha iyi bir seçim olmaktadır, (3).

Son yıllarda, düzleştirici filtresiz x ışını fotonlarının kullanımında ilgi artmıştır, (8). Düzleştirici filtreli ışın profilinde, çoğunluğu saçılan radyasyona dönüşen ışın yoğunluğu büyük oranda kaldırılır. Bu yüzden düzleştirici filtre ikincil radyasyon kaynağı gibi (hem fotonlarda hem de elektronlarda) davranır. İzosentrda ekstra fokal radyasyon, foton akıcılığına %11-16 oranında katkıda bulunur ve bu katkının %70 kadarı düzleştirici filtreden gelmektedir. Filtre düz ışın üretiminde bazı negatif etkilere sebep olmaktadır;

- Azaltılmış primer ışın yoğunluğu, düşük doz oranına sebep olmaktadır.
- Alan boyunca diferansiyel absorpsiyonu (ışın spektrumundaki değişiklikler), doz hesaplamasında ve ışın modellemesinde problemlere sebep olmaktadır.
- Ekstrafokal saçılan radyasyonun önemli bir kaynağının oluşturulması
- Primer ışımada elektron kontaminasyonu
- Tedavi kafasından sızıntı radyasyonun artması, kafa koruma ihtiyacının arttırır, (9).

Düzeleştirici filtre cihaz kafasında x ışınlarının geçiş yollarından kaldırıldığında, foton üretimi çok daha verimli olmaktadır ve özellikle fraksiyon başına yüksek doz verilen stereotaktik radyoterapi (srs), stereotaktik vücut radyoterapi (sbrt) gibi tekniklerde doz hızının büyük oranda artırılması tedavi hedefleri için daha faydalı olmaktadır, (8). FFF demetlerinin kullanımı ile tedavi alanı dışında tümör ile çevre organlardaki risk (OAR) geçişlerinde hızlı doz azalımı sağlamaktadır, (7). Buna ek olarak, FFF x ışınlarının, periferal dozda, alan dışı saçılan dozda ve kafa saçılmasında azalma gibi dozimetrik avantajlar sağladığı düşünülmektedir. FFF demetleri, daha düşük enerji bileşenlerini içermektedir ve build up bölgesinde doz artışına sebep olan düzeleştirilmiş filtreli ışıdan daha yumuşak bir enerji spektrumuna sahiptir. Longitudinal düzlemde elektronik dengesizliğin olduğu maksimum doz bölgesinde, iki zıt faktör FFF fotonlarının maksimum dozlarının dozimetrik özelliklerini belirler. Birinci faktör, düzeleştirilmiş filtre lineer hızlandırıcıların gantri kafasında olmadığında FFF fotonlarının kafa saçılmasına daha az maruz kalması ve primer fotonların ortalama enerjilerinin düşmesi ile maksimum doz bölgesinde de doz azalmasının sağlanmasıdır. Bununla birlikte ikinci faktör ise, FFF fotonlarının kafa saçılması yoluyla kontaminasyonun azalması sebebiyle maksimum dozun artmasıdır. Maksimum doz bölgesinde bu iki zıt faktörün etkisi sonucu doz, FFF fotonlarından dolayı karmaşık hale gelir ve konvansiyonel düzeleştirilmiş fotonlara bağlı olarak dozda farklılık meydana gelmektedir, (8). Düzeleştirici filtre (FF), artan alan boyutu ile birlikte maksimum doz derinliğini değiştiren toplam foton akısı ve elektron kontaminasyonuna %10 katkıda bulunan saçılan radyasyonun ana kaynaklarından biridir. Ancak düzeleştirici filtre çıkarıldığında, küçük alanlar için foton spektrumundaki değişimden kaynaklanan alan dışı dozda önemli bir gelişme sağlayan FFF'i etkinleştirir. Primer ışınların gantrinin kafasındaki yüksek atom numaralı materyaller ile etkileşimleri sonucu nötron gibi ikincil olarak üretilen parçacıkların önemi, yüksek foton enerjileri için bilimsel ve deneysel çalışmalar ile doğrulanmıştır. Kry, Vassiliev ve arkadaşlarının, tedavi odası içerisinde ve dışarısında FFF ışınlarının saçılan dozun üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmanın raporunda, linaklarda düzeleştirici filtre kaldırıldığında primer ve sekonder bariyer kalınlığının gerekliliğini %10-%20

oranında azalttığı bildirilmiştir. Buna ek olarak konvansiyonel FFF demetleri için yaprak transmisyonu biraz azaltılır, (10).

Düzleştirilmiş filtrenin ışın demeti hattından çıkarılması işlemi, cihaz kafası içerisinde enerjiye göre dönen bir kruselde filtrenin, iyon odalarının servo plakalarına sinyal gönderebilmesi için gerekli elektronları oluşturan çok daha ince bir metal plaka ile değiştirilmesi şeklinde gerçekleşir. Bu ince metal plaka, primer kolimatörlerde üretilen elektron kontaminasyonunu azaltmak için gereklidir. Bununla birlikte düzleştirilmiş filtre yerine kullanılan ince plaka, düzleştirici filtreden kaynaklanan saçılmalara sebep olmasa da enerji spektrumunda önemli farklılıklar meydana gelmektedir, (9).

4.1.1. SRS hacmi tanımlaması, (1)

SRT de fraksiyon sayısı ve verilen sınırlı marjlar nedeniyle sistematik ve / ve ya randomize hataları sınırlamak kritik önem taşımaktadır. Marjlar; pozisyonlama, hareket ve meydana gelebilecek anatomik farklılıklar için verilir, aynı zamanda risk taşıyan organlar için de gereklidir. Marj sınırlarını belirlemek SRT için artan bir önem taşımaktadır. Tümör aynı zamanda risk taşıyan organların marjlarının doğru oluşturulması ile planlanma süreçlerinde planlanan hedef hacim (PTV) için uygun bir doz ve normal dokular için de güvenle uygulanabilecek bir doz arasında uzlaşma sağlanır. PTV yi tanımlamak için marj sınırlarını belirleyen etki faktörleri şunlar içerir:

- Organ hareketi, organ deformasyonu, hasta hareketi gibi hasta ile ilgili faktörler;
- Gantride eğilme, robot pozisyonu doğruluğu, masa hareketi belirsizlikleri gibi cihazın mekanik özellikleri
- Fraksiyon sayısı, doz gradyenti gibi tedavi planlama konuları;
- Belirsizlikleri şekillendiren insan faktörleri;
- Görüntü bozulması ve görüntü kayıt belirsizlikleri gibi görüntüleme ve bilişim konuları

4.1.2. SRS’lerde Doz - Hacim Histogramı, (1)

PTV doz kapsamı değerlendirilmesinde, doz hacim histogramları (DVH) kullanılarak nicelleştirilir. DVH karmaşık üç boyutlu doz dağılımlarını değerlendirmek için kritik bir araç haline gelmiştir (Drzymala ve ark., 1991). Kümülatif DVH 'ler ışınlanan hacimde absorbe edilen dozu gösteren histogramlardır ve genellikle ya mutlak hacim olarak ya da tüm yapıların hacimlerinin aldıkları rölatif doz ile ifade edilirler. DVH ler minimum doz, maksimum doz ya da medyan doz gibi değerleri tanımlamak için kullanılır. D50 % medyan dozu; doz dağılımını, hacmin %50 si D50% den daha fazla alan ve %50 si D50% den daha az alan hacimler olmak üzere, iki eşit hacme böler. Medyan dozu, her ne kadar PTV hacminde medyan absorbe dozunun nerede oluşabileceği hakkında bilgi vermese de PTV nin aldığı absorbe doz değerini tanımlamak için daha sıklıkla tercih edilir ve dolayısıyla yapıdaki absorbe doz dağılımı heterojen olduğunda daha az kullanışlıdır.

4.2. Küçük Alan Dozimetresi, (1).

Klinik medikal fiziğin radyoterapideki rolü, reçetelendirilmiş olan dozun hastaya doğru bir şekilde verilmesidir. Bunun anlamı, reçetelendirmenin doğru uygulanması için, radyasyon tıbbının tüm yönlerini kapsayan radyoterapi cihazlarının kabulü, çalıştırılması ve kalibrasyonundan, görüntü kılavuzluğu ve tedavinin uygulanmasından ve tüm prosedürlerin, iş akışlarının doğru uygulamasına kadar gösteren kapsamlı bir kalite kontrol programına ihtiyaç vardır. Kalite kontrol programının dozimetrik kısmı, ışının doğru kalibrasyonu, doz verimliliğinin ölçümü ve diğer dozimetrik fonksiyonların ölçümü ile başlar. Bu bağlamda, stereotaktik radyoterapinin doğru ışın kalibrasyonu, tedavi planlaması, ışının verilmesi ve kalite kontrolü açısından gereksinimleri konvansiyonel radyoterapiden daha sıklıdır (Thwaites, 2013). Modern radyoterapide stereotaktik radyocerrahi, stereotaktik vücut radyoterapi ve yoğunluk ayarlı radyoterapi gibi ileri teknolojilerin benimsenmesi ile foton ışınlarının küçük alan dozimetresine artan bir ilgi vardır. Son zamanlarda

radoterapide küçük alanların kullanılmasında, küçük alan dozimetrisinin oldukça kompleks ve hatalı ölçüme eğilimi olduğu belirtilmektedir, (11).

4.2.1. Küçük alanların ve küçük alan dozimetresinin problemlerini belirleyen parametreler, (12).

4.2.1.1. Küçük Alan Şartları;

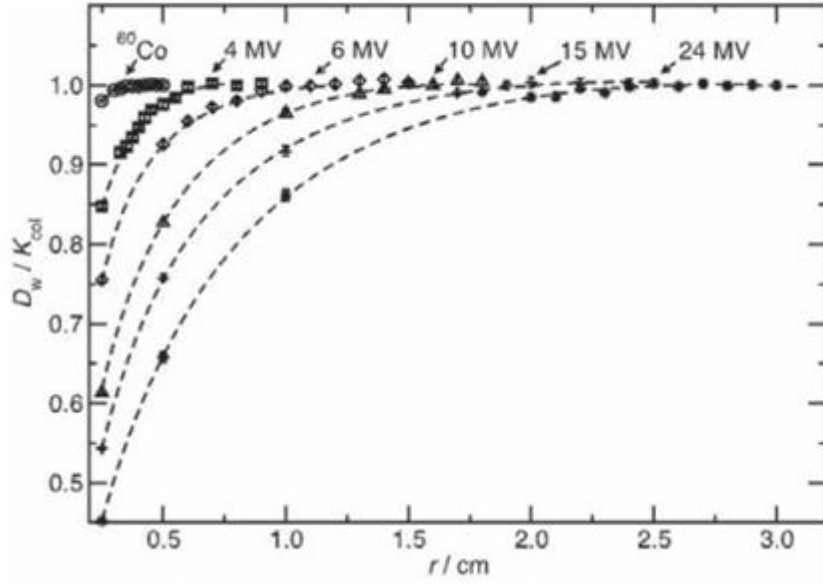
Eksternal bir foton demetinin küçük olarak nitelendirilebilmesi için aşağıdaki üç fiziki koşuldandan en az birinin gerçekleşmesi gerekmektedir;

- Merkezi ekseninde lateral yüklü parçacık dengesinin kaybolması
- Merkezi ekseninde birincil foton kaynağının kolimasyon tarafından parsiyel bloklanması
- Detektör boyutunun, alan boyutuna eşit ya da alan boyutundan büyük olması

Bu üç durumun gerçekleşmesi ile penumbra ve detektör hacmi kesişmektedir.

a. Işına bağlı koşullar

Foton demetlerinde, demet yarı genişliği ya da yarıçapı absorbe doz ölçümünde katkıda bulunan ikincil elektronların maksimum menzilden daha küçük ise, lateral yüklü parçacık dengesizliği (LYPD/LCPE) meydana gelmektedir. Bu durum, geniş demet yüklü parçacık dengesinin olduğu durumlarda belirlenen değerlere ulaşan sudaki absorbe doz ve çarpışma (collisional) kerma için gerekli minimum dairesel foton alan yarıçapı bulunarak elde edilmiştir.



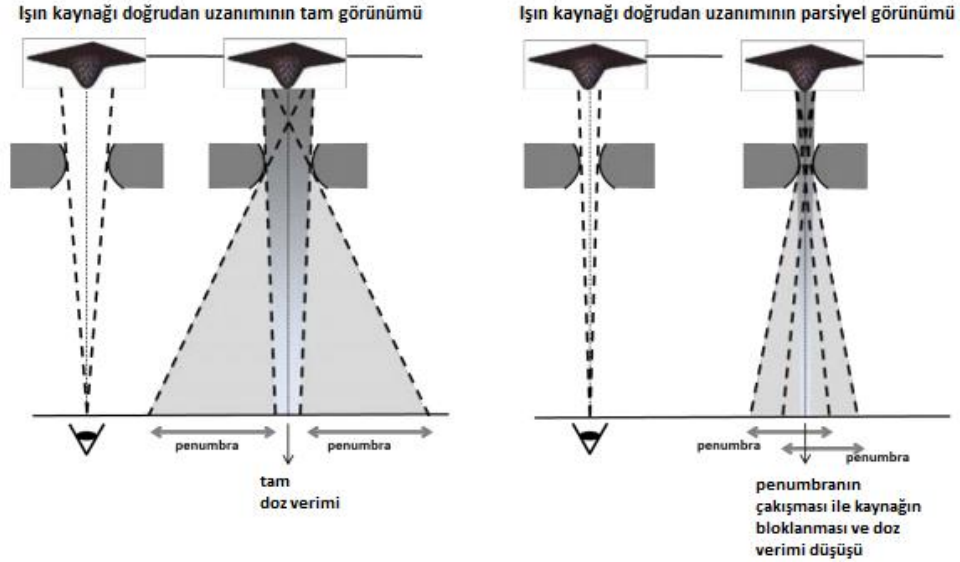
Şekil 4.2.1.1 Monte Carlo simülasyonu ile hesaplanmış olan su 5 cm derinlikte merkezi ekseninde yüksek enerjili foton demetlerinin absorbe dozlarının çarpışma kermalarına oranları

r_{LCPE} : Alan merkezinde sudaki absorbe dozun ve çarpışma kermasının eşit olduğu dairesel foton alanının minimum yarıçapıdır. Alan boyutunun r_{LCPE} 'den küçük olduğu alanlar küçük alan olarak adlandırılmaktadır.

İkinci durum primer foton kaynağının sonlu boyutu ile ilgilidir. Bu durumda ise, hedeften çıkan brems foton akı dağılımının yarı maksimumdaki tam genişliği (YMTG/FWHM) ile belirlenir. Sonlu primer foton kaynağının bir kısmının bloklanması merkezi ekseninde doz veriminin (outputun) azalmasına yol açmaktadır. Bu etki foton kaynağının boyutuna yakın ya da foton kaynağı boyutundan küçük olan alanlarda ortaya çıkmaktadır. Modern linaklarda foton kaynağının 5 mm'den büyük olmadığı düşünüldüğünde kaynak bloklanması etkisinin lateral elektron dengesizliğinin başladığı alanlardan daha küçük alanlarda görülmektedir. Kısmi kaynak bloklanması parçacık spektrumunu etkilemekte ve hızlı lokal absorbe doz gradientlerinden sorumlu olmaktadır.

Alan boyutu küçüldükçe hem LCPE kaybı hem de kaynak bloklanması etkisi ile demet doz veriminde keskin bir düşüş gözlemlenmektedir. Demet doz

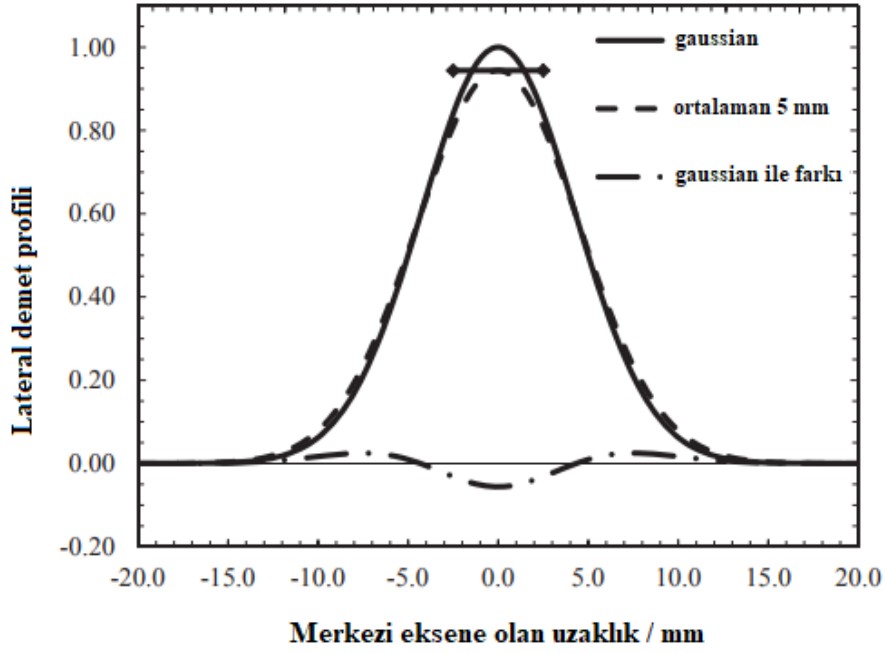
verimindeki bu düşüş, enerjinin artması, ortam yoğunluğunun azalması yani elektron erişim mesafesinin artması ile daha önemli duruma gelmektedir.



b. Detektöre bağlı koşullar;

Detektör, duyarlı hacminde meydana gelen ortalama absorbe doz ile ilişkili bir sinyal üretir ve bu sinyal dedeksiyon hacmi boyunca olan absorbe doz homojenitesinden etkilenmektedir. Bu etki hacim(volüm) ortalaması olarak adlandırılmaktadır. Küçük alanlarda üretilen sinyalden absorbe dozu bulmak için dekonvolüsyon işlemi gerekmektedir. Volüm ortalaması etkisinin yanında detektörün varlığından dolayı yüklü parçacık akısının pertürbasyonu da önemlidir.

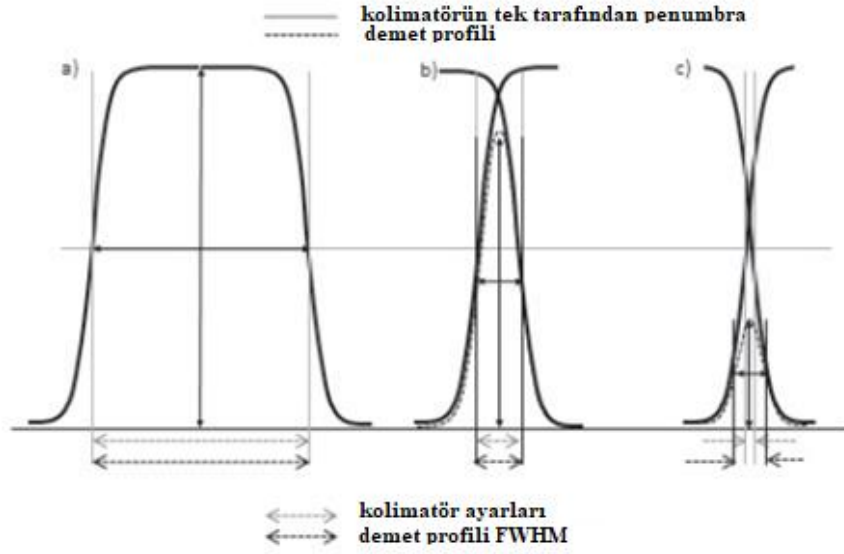
LCPE'nin kaybolduğu ve geniş doz gradientlerinin bulunduğu durumlarda akı pertürbasyonu büyük olmakta ve modellemesi zorlaşmaktadır. Volüm ortalamasından dolayı düzeltme geniş belirsizlikler içermektedir. Detektör hacminin dış kenarı r_{LCPE} değerinden küçük ise küçük alan meydana gelmektedir. Bu durumdan kurtulmak için alan boyutu $r_{LCPE} + 1/2(\text{detektörün dış hacim boyutu})$ olmalıdır.



Şekil 4.2.1.3 Tek boyutta hacim ortalaması etkisinin şematik gösterimi. Düz çizgi, küçük alan profili Gaussian eğrisini, kesikli çizgi, detektörün tarama eksenine boyunca boyutunu, noktalı çizgi, fraksiyon olarak maksimum dozda iki eğri arasındaki farkı göstermektedir.

4.2.1.2. Alan Boyutu Tanımı

Merkezi eksenindeki maksimum doz değeri azaldığı için FWHM profil eğrisinde daha düşük pozisyonda tanımlanmaktadır. Küçük alanın FWHM noktası alanın geometrik tanımı ile tutarlı değildir. %50 lik izodoz alanı kolimatörlerin oluşturduğu geometrik alan boyutundan daha geniş olmaktadır. Bu etki görünen alan genişlemesi olarak adlandırılır. Belirli bir SSD için bu etki kaynak kolimatör mesafesine bağlıdır.



Şekil 4.2.1.4 Kolimatör ayarları ile karşılaştırıldığında açık alanın genişlemesini gösteren küçük alanlar demet profilinin FWHM'sinde çakışan penumbra etkisi

Alan boyutu, kolimatör açıklığı yerine ölçüm derinliğindeki FWHM ile ifade edilmektedir. Detektör cevabı ve pertürbasyon, %50 lik izodoz alanına yani ışınlanan alana bağlıdır.

4.2.1.3. Küçük Alanların Enerji Spektrumunun Sertleşmesi

Kolimatör, primer foton kaynağının yanında gantri içindeki farklı bileşenlerden saçılan fotonları da bloklamaktadır. Böylece alan merkezine ulaşan saçılan foton sayısı da azalmaktadır. Eksen dışı alanlar için ise kafadan saçılan fotonların rölatif katkısı artmaktadır. Bu durum, düzleştirici filtrenin olduğu durumlarda filtrenin şekil ve materyaline bağlı olarak demeti yumuşaklaştırmakta ya da sertleştirmektedir. Fantom saçılması da küçük alanlarda azalma gösterir ve bu durum pek çok derinlik için azalan kafa saçılmasından daha önemlidir. Bu iki etki, alan boyutunun azalması ve ortalama foton enerjisinin artması ile merkezi eksen de foton enerji spektrumunun sertleşmesine neden olmaktadır. Foton enerji spektrumunda meydana gelen bu sertleşme, su ve detektör materyallerinin kütle

enerji absorpsiyon katsayılarının oranının değişimine (örn. azalan alan boyutu ile suyun kütle enerji absorpsiyon katsayısının silikonun katsayısına oranının artması) ve su ve detektör materyalinin durdurma gücü oranlarının potansiyel değişimine (örn. Alan boyutunun azalmasıyla sudan havaya geçişteki durdurma gücü oranının da azalması) neden olmaktadır.

Alan boyutu, LCPE'yi sağlayamayacak kadar küçük ise merkezi eksene ulaşan düşük enerjili elektronlar azalırken durdurma gücü oranını etkileyen ortalama elektron enerjisi artmaktadır.

Monte Carlo simülasyonları; foton akı spektrumunun alanın fonksiyonu ile önemli ölçüde değişmesine rağmen suda oluşan yüklü parçacık spektrumunun bu durumdan çok etkilenmediğini, yani alan boyutunun sudan havaya geçişteki durdurma gücü oranına etkisi 6MV enerjide, 10 cm derinlikte 10x10 alandan 0.3x0.3 kare alanlara ya da 0.3 cm çaplı dairesel alanlara %0,5 den daha fazla azalmadığını göstermektedir. Bununla birlikte dmaks'tan 30 cm derinliğe kadar değişim %1 den büyük olmamaktadır.

100keV den daha düşük foton enerjileri için suyun kütle enerji absorpsiyon katsayısının silikonun kütle enerji absorpsiyon katsayısına oranı önemli ölçüde değiştiğinden dolayı demetin ortalama foton enerjisinin artması silikon tabanlı diyot detektörlerin cevabını etkilemektedir.

Simülasyonlarda 10 cm derinlikte fantom saçılmasının azalmasından dolayı 10x10 cm² alandan 0.5x0.5 cm² alana zırhsız diyotların cevabının %3-4 arası değiştiği gözlemlenmektedir.

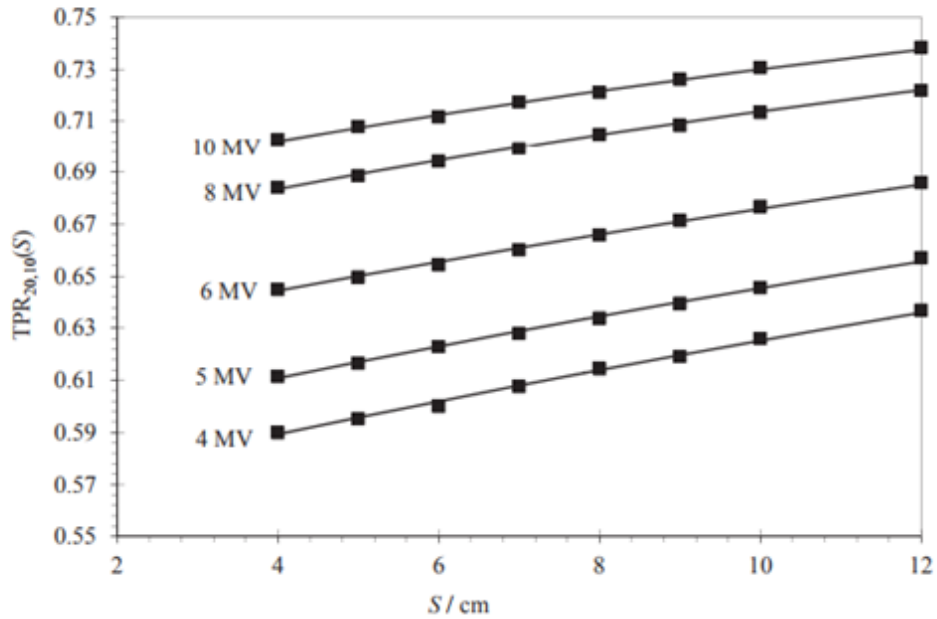
4.2.1.4. Küçük Alanların Demet Kalitesi ve Cihaza Özgü Referans (msr) Alanlar

Demet kalitesi düzeltme faktörü k_{Q0} , cihazdan cihaza çok küçük bir değişim göstermektedir. Bu durum, Gammaknife, Cyberknife, Tomoterapi gibi cihazların belirli bir iyon odası ile yapılan kalibrasyonlarının diğer cihazlarda da demet kalite indeksi uygulanmadan kullanılabileceğini göstermektedir. Lineer hızlandırıcılarda ise

homojenlik gelişmiştir ancak yine de belirli bir cihazın demet kalite indeksinin manuel aralığında olup olmadığının kontrolünün yapılması gerekmektedir. Çoğu yoğunluk ayarlı tedavide 10 MV den daha düşük enerjiler kullanılır böylelikle k_{Q00} 'ın demet kalitesine bağımlılığı azalmaktadır.

Sudan havaya geçişteki durdurma gücü oranının alan boyutuna bağlı çok küçük değişimi, iyon odaları için geniş demetlerdeki demet kalite indeks değerlerinin bütün alan boyutlarında kullanımını mümkün kılmaktadır. Alan boyutuna bağlı durdurma gücü oranı ve pertürbasyon faktörlerinde meydana gelen değişimler doz verimi düzeltme faktöründe dikkate alınmaktadır.

4.2.1.5. Detektör Cevabı



Şekil 4.2.1.5 4 cm ile 12 cm arasındaki alan boyutu için Palmans modeline göre TPR_{20,10}(S) 'e bağlı S alan boyutu verileri ve 4 MV ile 10 MV arasındaki nominal foton demeti profili

TCPE ve ya CPE varlığında durdurma gücü oranındaki değişimler, duvar etkisi, merkezi elektrot etkisi, detektör tarafından kapsanan ortam hacminin etkisi, elektron saçılma etkisi gibi pertürbasyon düzeltme faktörlerinden bağımsız olarak değerlendirilir.

Duvar ve merkezi elektrot düzeltmesi küçük ve geniş alanlar için benzer olmasına rağmen hacim ortalama etkisi ile detektör ve ortamın kütle yoğunluğundaki farklar büyük ve birbirine benzer miktardadır. Eksen dışı ölçümler için pertürbasyonlar büyük olmaktadır. Böylelikle, küçük alanlar için detektör boyutu çok küçük olsa dahi detektörlerin pertürbasyon faktörlerinin büyük olduğunu göstermektedir.

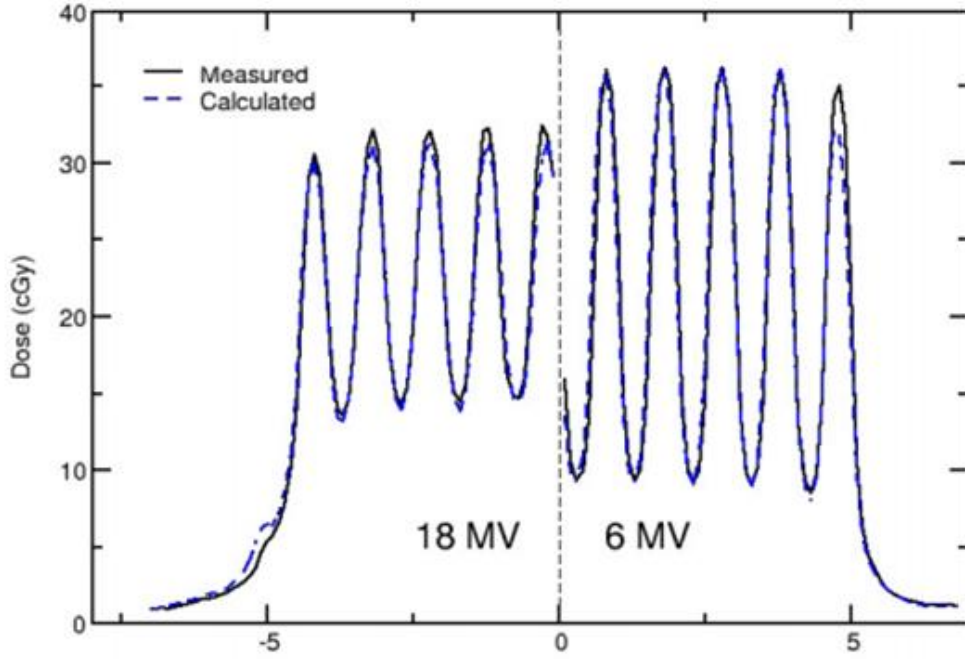
Çok küçük alanlarda bazı pertürbasyon faktörleri çok büyük olması sonucu toplam pertürbasyona katkı artık tek tek değerlendirilememektedir. Bu durum, geniş alanlar için geçerli olan Bragg-Gray kavite teorisinin çok küçük alanlarda geçersiz olması anlamına gelmektedir. Düşük detektör-demet boyutu, yanlış hizalama ve primer foton kaynak boyutu öngörülemez büyük etkilere neden olmaktadır.

Scot. ve arkadaşları su fantomunda ölçüm noktasındaki sudaki absorbe dozun, detektörün duyarlı hacminin tümünü değiştiren su hacmindeki ortalama absorbe doza oranını hacim ortalaması olarak adlandırmıştır. Bütün diğer faktörler ise detektörün su eşdeğeri olmayan bileşenlerinden kaynaklanmaktadır. Buna göre hacim ortalamasının yanı sıra küçük alan pertürbasyon faktörlerine ana katkı su ve detektör materyali arasındaki yoğunluk farkından da kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda sadece duyarlı hacimdeki yoğunluk değil diğer bileşenlerinin yoğunluğu da önemlidir. Etkileşim verilerindeki farklar düzeltme faktörlerinde önemli iken pertürbasyon faktörünün alan boyutu ile değişimindeki önemi oldukça azdır. Bu da küçük alan pertürbasyonunun kütle yoğunluk dengesi ile kompanse edilebileceğini düşündürmüştür.

Küçük katıhal detektörleri 1 cm^2 den küçük alanlarda hacim ortalaması etkisi sergilemekte, bununla birlikte metal elektrotlardan geri saçılma gibi diğer pertürbasyon etkilerine de maruz kalmaktadırlar. Diyotların enerji ve açı bağımlılıkları önemli rol oynamaktadır. Silikonun yüksek atom numarasına sahip olması ve zırhsız diyotların düşük enerjili fantom saçılma bileşenleri olmasından dolayı geniş alanlarda aşırı tepki vermekteler. Büyük alan boyutuna normalize edildiklerinde ise alan doz verimi faktörleri göz ardı edilmektedir. Geniş alanlarda aşırı tepki, çipin yanlarına ve altına yüksek atom numaralı materyal eklenerek düşük atom numaralı fotonları elimine etmesi ile dengelenmeye çalışılmaktadır. Ancak bu yüksek atom numaralı materyal küçük alanlarda yüksek pertürbasyona sebep olmaktadır.

4.2.1.6. Enerji Aralığı

Yüksek enerjili fotonların meydana getirdiği uzun lateral elektron menzili penumbra kalınlığını arttırmaktadır. Bu da özellikle küçük alanlarda ve akciğer gibi düşük yoğunluklu dokularda önemlidir. Yoğunluk ayarlı radyoterapide (YART) akı modülasyonu, temel olarak kapalı ve açık yaprak pozisyonlarından gelen demet transmisyonundan belirlenmesine rağmen lateral demet profillerinin penumbrasından da önemli ölçüde etkilenmektedir. 6 MV için tepe dozlar fazla, vadi dozlar azdır. Düşük vadi dozunun bir sebebi de 6 MV deki düşük kolimatör geçirgenliğidir. Kolimatör ile etkileşimden meydana gelen nötron üretiminin enine kesiti 18 MV'de 10 MV nin iki katı kadar olmaktadır.



Şekil 4.2.1.6 MLC yapraklarının açılıp kapanması ile sudaki absorbe doz ölçümü. İki ölçüm ve Monte Carlo hesaplaması düşük enerji için geliştirilmiş modülasyonu göstermektedir. Daha yüksek enerjilerde elektronların daha büyük bir kısmı açık alandan kapalı alan bölgesine saçılmaktadır ve MLC iletimi daha yüksektir.

Küçük alanlar için kullanılacak düzeltme faktörlerine bakarken alan boyutunu lateral profildeki FWHM'den belirlemek gerekmektedir. Ölçüm derinliği elektron kontaminasyonuna izin vermeyecek bir derinlik, 10 cm gibi, referans mesafe ise izosentrik mesafe olmalıdır. Geometrik alan boyutu da kayıt edilmelidir.

4.2.2. Radyoterapi Demetlerinin Referans Ve Rölatif Dozimetrilerine Genel Bakış

4.2.2.1. Konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan referans demetler için referans dozimetre

10 x 10 cm² alanı oluşturamayan cihazların kalibrasyonu bu alana en yakın alanda yapılır. Çoğu durumda da demet kalite düzeltme faktörleri eşit kabul edilmektedir.

FFF demetler için lateral profilin homojen olmamasından dolayı ek bir hacim ortalaması düzeltme faktörü gerekmektedir.

Tomoterapi için 85 cm mesafede 5 x 10 cm² alan kullanılmaktadır. Alfonso'nun prosedürü takip edilmektedir ve bu prosedüre göre; 5 x 10 cm² alan ile 10 x 10 cm² alan için iyon odasının cevabına bir düzeltme faktörü kullanılması önerilir. Bu faktör Monte Carlo simülasyonları ile hesaplanmıştır ve 1'e yakın bir değerdir.

Cyberknife için 6 cmlik kon ile 80 cm mesafede eşdeğer kare alandan TPR₂₀¹⁰ demet kalite indeksi hesaplanır. Demet kalite düzeltme faktörleri diğer 6 MV enerjili cihazların demet kalite düzeltme faktörlerine benzer bulunmuş ancak sadece Farmer iyon odası için %1'den büyük hacim ortalaması düzeltme faktörü gerekmektedir.

Gammaknife için kompozit alan dozimetri yerine küçük statik alan dozimetri yaklaşımı uygulanmaktadır. En büyük çapı 1.6 cm olan kon için plastik kürenin merkezine yerleştirilmiş ⁶⁰Co da kalibre edilmiş Microchamber iyon odası kullanılmaktadır. Hava kerma tabanlı yaklaşım takip edilmekte ve demet kalite düzeltmesi gerekmemektedir.

Brainlab için SSD/SDD 100 cm olacak şekilde alanın bir kenarı 10'dan büyük diğeri ise 10'dan küçük olacak şekilde (10.4 x 9.6 cm² gibi) seçilir. Bu alan 10 x 10 cm² lik alana yakındır, bu nedenle demet kalitesi ve ya referans dozimetre için özel bir prosedür uygulanmamaktadır.

4.2.2.2. Rölatif Dozimetre

a. Alan Doz Verimi Faktörleri

Geniş alanlar için dozimetrik niceliklerin alana bağımlılığı azdır bu nedenle, doz verimi faktörü dozimetre okumalarının oranıdır. Ancak küçük alanlarda özellikle pertürbasyon faktörlerindeki farklardan dolayı okumalar doz verimi faktörleri ile çarpılmaktadır.

$$\text{Doz verimi faktörü} = \frac{\text{Referans dışı alan için sudaki absorbe doz}}{\text{Referans alan için sudaki absorbe doz}}$$

Fransa'daki kazadan sonra doz verimi faktörlerinin ölçümünde en az iki farklı detektör kullanmak gerektiği belirtilmektedir.

Geniş alanlarda zırhsız diyot ve Mosfet gibi düşük enerjili x ışınlarına aşırı tepki veren detektörler için doz verimi düzeltmesi uygulanmaktadır. Bu detektörlerde alan boyutu büyüdükçe detektör cevabı lineer olarak artış göstermektedir. Buna göre, hacim ortalamasının başladığı 1 cm'ye kadar olan alanlarda iyon odası kullanılmalı

daha küçüklerde ise diyot, diamond, sıvı iyon odası, organik sintilatör kullanılmalıdır.

Küçük detektörler ile yapılan ölçümlerden elde edilen doz verimi faktörleri iyon odası kullanılan en küçük alana normalize edilmelidir. Bu alan ‘intermediate alan’ olarak tanımlanmaktadır. Metot ise daisy-chaining olarak adlandırılmaktadır.

Küçük alanların doz verimi faktörlerini elde etmek için kullanılan başka bir metot da geniş alan paralel plak iyon odasını (LAC) radyokromik film ile beraber kullanmaktır. LAC’ın alanı boyunca iki boyutlu akı dağılımından elde edilen sinyalden doz-alan çarpımına (DAP) ulaşılır. LAC ile aynı alan ve ölçüm düzleminde film kullanarak absorbe doz dağılımı elde edilmektedir. DAP ve bu değer beraber sudaki absorbe dozu bulmak için kullanılmaktadır.

b. Lateral Demet Profilleri

Profil ölçümü detektörün duyarlı hacminin boyutundan dolayı zordur. Demet penumbra boyutu ile ilişkili olarak ölçüm yönündeki duyarlı hacmin boyutu önemlidir. Geniş alanlarda penumbrayı azaltmak için kullanılan üçüncül kolimatörlerin varlığında detektör boyutu, penumbra kalınlığının hatalı ölçülmesine yol açmaktadır. Küçük alanlarda ise alanın çok büyük bir kısmı penumbra olduğundan dolayı bu durum çok daha önemli bir hal almaktadır. Küçük alan detektör pertürbasyon faktörleri alana çok büyük bir bağımlılık gösterir, bu durum penumbra ölçümündeki küçük hataların önemli dozimetrik hatalara sebep olabileceğini göstermektedir.

Küçük alanların penumbra ölçümleri için uygun detektörler; film, diyot (zırlı, zırsız ve ya CAX’ a paralel yerleşimli), diamond, küçük hava dolu iyon odaları ya da sıvı iyon odalarıdır. Bununla birlikte bazı iyon odalarının oryantasyonları dikkate alınmalı, gövde ve kablo ışınlamaları önemsenmelidir.

Underwood gözlemine göre pek çok detektör merkezi eksende eksik ya da fazla tepki verirken profilin kuyruklarında tam tersi fazla ya da eksik tepki vererek etki yaratır bu da herhangi bir doz verimi düzeltme faktörü uygulamadan ölçülen integral dozun pek çok detektör için doğru olmasını gerektirmektedir. YART tekniğinde merkezdeki doz yerine integral doz ölçümü daha önemlidir. Bu durum, doz verimi faktörü ve profil ölçümlerinin aynı detektör ile yapılmasını gerektirmektedir.

4.2.3. Küçük Alan Kavramları Ve Formalizm

4.2.3.1. Küçük alan kavramları

a. Küçük Alan Boyutu Tanımı

Elektron kontaminasyonunun olmadığı bir derinlikteki ölçüm mesafesinde lateral demet profillerinden elde edilen FWHM mesafesidir. Bahsedilen ölçüm mesafesi için 10 cm derinlik uygundur ve profil ölçümlerinde ise uzaysal çözünürlüğü iyi olan herhangi bir detektörün kullanımı mümkündür.

b. Msr Alan

Msr alan, $10 \times 10 \text{ cm}^2$ konvansiyonel alana en yakın referans iyon odasının dış sınırından en az r_{LCPE} mesafesi kadar büyük olabilecek alan olarak tanımlanmaktadır. Genelde cihazda elde edilebilen en büyük alandır.

c. Lateral Yüklü Parçacık Dengesi Menzili

r_{LCPE} , alan boyutu ile detektör boyutu arasındaki mesafeyi belirten parametredir. Demet enerjisine bağlıdır. r_{LCPE} , alan merkezindeki sudaki absorbe dozu ve sudaki kermayı sabit bir faktör ile ilişkilendiren dairesel alanın yarıçapıdır.

$$r_{LCPE} \equiv 8.396 \times TPR_{20}^{10} - 4.382 \quad (1)$$

d. Hacim Ortalaması

Hacim ortalaması düzeltme faktörü, detektör olmadığında su fantomunda referans noktadaki sudaki absorbe dozun detektörün duyarlı hacmindeki ortalama sudaki absorbe doza oranı olarak tanımlanmaktadır. Su fantomunda, detektörün duyarlı hacmi üzerinden üç boyutlu doz dağılımının integrasyonudur. Paralel plak detektör geometrisinde (paralel plak iyon odası, diyet, diamond gibi) demet eksenine dik yerleşen paralel elektrotlar mevcuttur ve detektörün demetle karşılaşan yöndeki duyarlı hacmi üzerinden lateral demet profilinin iki boyutlu integrasyonuna indirgenebilmektedir. Silindirik iyon odaları için demet eksenine dik olan duyarlı hacmin iki boyutlu alanı üzerinden yapılan integrasyon, demet ekseninden farklı lateral offset duyarlı hacim fraksiyonunu içeren bir weighting function da içerir. Unweighted integrasyon çoğu durumda yeterlidir.

$$k_{vol} = \frac{\iint_A w(x, y) dx dy}{\iint_A w(x, y) OAR(x, y) dx dy} \quad (2)$$

x ve y; demet merkezi eksenine ortogonal eksenler.

A; demet eksenine ortogonal düzlemdeki odanın duyarlı haciminin projeksiyonunun / izdüşüm alanıdır.

OAR(x,y); ‘‘Eksen dışı oran’’ olarak tanımlanmaktadır, merkezi ekseninde 1’e normalize edilmiş olan ölçüm derinliğindeki lateral demet profilidir.

w(x,y); Demet lateral koordinatlarının (x,y) fonksiyonu olarak demet eksenini (z) boyunca iyon odasının hava kavitesinin uzanımını ifade eden weighting function olarak tanımlanır.

(z) lateral demet koordinatlarının (x,y) bir fonksiyonudur.

Paralel plak detektör geometrisi için integrasyon alanı üzerinden $w(x,y) = 1$ olmaktadır.

e. Demet Kalitesi

10 cm x 10 cm lik bir alan elde edilemiyorsa, en büyük kare alan boyutu S için referans olarak Palmans’ın denklemi kullanılarak $TPR_{20,10}(S)$ hesaplanır. Eğer $SSD = 100$ değilse, ters kare kanunu dikkate alınarak düzeltme uygulanır, böylelikle elektron kontaminasyonundaki ve farklı saçılma durumlarındaki farklar göz önüne alınır.

Eşdeğer kare msr alan ölçüm derinliğinde merkezi ekseninde dikdörtgen ve dairesel alan ile aynı miktarda saçılmayı sağlayan kare alan olarak tanımlanmaktadır. Düz olmayan lateral demet profili sergileyen FFF demetleri için, eksen üzerindeki saçılmalar her bir eksen dışı elementel hacimden gelen bütün saçılmaların toplamı olduğundan, saçılma fonksiyonunun lateral integrasyonu lateral akı dağılımına dâhil edilmektedir. Elde edilen bu durum, lateral demet profili tarafından verilen birinci dereceden bir yaklaşım olan lateral akı dağılımı ile orantılıdır.

Küçük alanlar için eşdeğer alan boyutu çok farklı bir kavramdır. Kafa saçılması ve çok önemli fantom saçılması olmadığı için eşdeğer alan, aynı detektör pertürbasyon faktörünü sergileyen alan olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle

dikdörtgen alanın uzunluk ve kalınlığının geometrik ortalaması eşdeğer kare alanı bulmak için yeterli olmaktadır. Böylece eşdeğer kare küçük alan dikdörtgen alanla aynı alana sahiptir. Bu koşul dairesel küçük alanların eşdeğer kare alanlarını bulurken de geçerli olmaktadır. 4 cm'den küçük kare alanlarda fantom saçılma faktörleri kolimasyon ve linak tipinden bağımsızdır, sadece ölçüm derinliğine ve alana bağımlılık göstermektedirler. Geniş alan eşdeğer kare metodu ile küçük alan eşdeğer alan boyutu için sınır değeri 4 cm'dir.

4.2.3.2. Sudaki Referans Absorbe Dozun Elde Edilmesi İçin Formalizm

Detektör boyutu olarak detektörün dış sınırındaki iki nokta arasındaki en büyük mesafe d ise, alanın FWHM değeri;

$$FWHM \geq 2r_{LCPE} + d \text{ olmalıdır.} \quad (6)$$

a. Msr Alanı İçin İyon Odasının Karakteristik Kalibrasyonu

$$D_{w,Qmsr}^{fmsr} = M_{Qmsr}^{fmsr} N_{D,w,Qmsr}^{fmsr} \quad (7)$$

önerilen metottur. $Qmsr$, msr alanın demet kalite indeksi, konvansiyonel alan demet kalite indeksinden farklı olarak alan boyutunun parçacık spektrumu üzerindeki etkisini içermektedir.

b. Genel Demet Kalite Düzeltme Faktörü Varlığında Konvansiyonel Referans Alan İçin Kalibre Edilmiş İyon Odası

$$D_{w,Qmsr}^{fmsr} = M_{Qmsr}^{fmsr} N_{D,w,Q_0}^{fref} k_{Qmsr,Q_0}^{fmsr,fref} \quad (8)$$

$$k_{Q_{msr}, Q_0}^{fmsr, fref} = \frac{N_{D,w,Q_{msr}}^{fmsr}}{N_{D,w,Q_0}^{fref}} \quad (9)$$

Monte Carlo simülasyonları ile hesaplanmış bazı iyon odaları için değerler TRS 483 protokolünde tablolar halinde verilmiştir.

c. Genel Demet Kalitesi Düzeltme Faktörü Olmadığında Konvansiyonel Referans Alan İçin Kalibre Edilmiş İyon Odası

$$D_{w,Q_{msr}}^{fmsr} = M_{Q_{msr}}^{fmsr} N_{D,w,Q_0}^{fref} k_{Q,Q_0}^{fref} k_{Q_{msr},Q}^{fmsr,fref} \quad (12)$$

10 x 10 cm² alan boyutunun elde edilemediği cihazlarda k_{Q,Q_0}^{fref} için referans alan, fref 10 x 10 cm² referans alan olarak varsayılır.

Monte Carlo simülasyonu ile sanal 10 x 10 cm² alan oluşturulur ve $k_{Q_{msr},Q}^{fmsr,fref}$ hesaplanır. FF demetler için tavsiye edilen detektörlerde $k_{Q_{msr},Q}^{fmsr,fref} = 1$ kabul edilmektedir.

d. Alan Doz Verimi Faktörlerinin Belirlenmesi

Alan doz verimi faktörleri; toplam saçılma faktörleri ya da rölatif doz faktörleri olarak da adlandırılmaktadır.

Alan doz verimi faktörü;

$$\Omega_{Qclin,Qmsr}^{fclin,fmsr} = \frac{D_{w,Qclin}^{fclin}}{D_{w,Qmsr}^{fmsr}} = \frac{M_{Qclin}^{fclin}}{M_{Qmsr}^{fmsr}} k_{Qclin,Qmsr}^{fclin,fmsr} \quad (18)$$

Klinik alan f_{clin} , klinik demet Q_{clin} için sudaki absorbe dozun, cihaza özgü referans alan f_{msr} ve demet Q_{msr} için sudaki absorbe doza oranıdır. Ancak, doz verimi düzeltme faktörü ile çarpılması gerekmektedir. Detektör okuması bir noktadaki sudaki absorbe dozla orantılı ve bu oran her zaman sabitliğini koruyor ise bu düzeltme faktörü 1 olarak alınır. Kalorimetreler ya da transfer cihazlar da küçük alanlarda doz verimi düzeltme faktörüne ihtiyaç duyarlar.

Film, sıvı iyon odası, organik sintilatör gibi bazı küçük ve cevabı enerjiden bağımsız olan detektörler için doz verimi düzeltme faktörü 1'e yakındır. Ancak mükemmel küçük alan detektörü yoktur.

Doz verimi düzeltme faktörü ölçüm değeri Monte Carlo hesabından elde edilmektedir;

$$k_{Qclin,Qmsr}^{fclin,fmsr} = \frac{D_{w,Qclin}^{fclin} / \overline{D}_{det,Qclin}^{fclin}}{D_{w,Qmsr}^{fmsr} / \overline{D}_{det,Qmsr}^{fmsr}} \quad (19)$$

F_{msr} 'den f_{clin} 'e kadar bütün alan boyutları için uygun bir detektör olmadığında küçük alan koşulunun oluşacağı intermediate field, f_{int} en küçük alan boyutuna kadar iyon odası kullanılması, daha küçük alanlar için ise diyot ile ölçüm yapılması önerilmektedir. Böylelikle enerji bağımlılığı sınırlandırılır. Bu orta düzey alan metodu (IFM) kullanılarak alan doz verimi faktörü iki ölçüm çarpımı olarak ifade edilmektedir.

$$\Omega_{Q_{clin}, Q_{msr}}^{f_{clin}, f_{msr}} = \left[\Omega_{Q_{clin}, Q_{int}}^{f_{clin}, f_{int}} \right]_{\det} \left[\Omega_{Q_{int}, Q_{msr}}^{f_{int}, f_{msr}} \right]_{IC} \quad (20)$$

İki düzeltme faktöründen birisi $k_{Q_{clin}Q_{msr}}^{f_{int} f_{msr}} \cong 1$ olmaktadır, iyi bir iyon odası için sadece $k_{Q_{clin}Q_{msr}}^{f_{int} f_{msr}}$ kullanarak küçük alan detektörünün özellikle düşük enerjili fotonlar için tüm düzeltmeye yaptığı katkı azaltılır.

4.2.4. Küçük Alan Referans Koşulları

Kalibrasyon katsayısının düzeltmeye ihtiyaç duymadan kullanılabilceği durumlar olarak tanımlanmaktadır. SSD, derinlik, alan boyutu, fantom materyali ve boyutu, basınç, sıcaklık gibi durumların belirlenmesi durumudur.

4.2.5. Küçük Alan Detektörleri Ve Ekipmanları

4.2.5.1. Cihaza Özgü Referans Dozimetre Ekipmanları

a. Msr referans dozimetre için iyon odaları

İdeal iyon odası için;

- Su eşdeğeri olması
- Radyasyon akısını pertürbe etmemesi
- Doz hızından bağımsız olması
- Yön bağımlılığının olmaması
- Yüksek duyarlılığa sahip olması [iyi SNR (signal to noise ratio/sinyal gürültü oranı) ve sinyali kısa zamanda elde etme]

- İyi stabilite olması (kısa ve uzun zaman)
- Sudaki absorbe doz ile lineer cevap vermesi
- Zayıf enerji bağımlılığı olması
- Düşük sızıntı olması
- Önemsiz kablo etkisine sahip olması gerekmektedir.

Thimble odalar bu özellikleri çoğunu taşımaktadır. Msr dozimetre için iyon odası boyutu > alan kenarından (%50 lik absorbe doz seviyesi) en az r_{LCPE} mesafe ötede dış sınırları biten bir iyon odası olmalıdır. İyon odası, oda kavitesi boyunca radyasyon akısının yaklaşık olarak homojen olduğu bir bölgeye konumlandırılmalıdır. Odaların yapısı homojen olmalıdır ancak genellikle merkezi elektrot duvar materyalinden farklı bir malzemedir üretilmiştir. Hava kavitesi, çevre basınç ve sıcaklığa kolayca ulaşabilmesi için kapalı olmamalıdır. Alanın $6 \times 6 \text{ cm}^2$ 'den büyük ve küçük olarak ayrılması ve iyon odalarının bu alanlarda kullanımının farklılık göstermesinin nedeni en büyük oda boyutu (Farmer) ve en yüksek enerjinin r_{LCPE} değeridir. 18 MV için bu alan limiti daha büyüktür.

i. $Fmsr \geq 6 \times 6 \text{ cm}^2$ İçin Kare Eşdeğeri msr Alan Boyutu

FF demetler için yeterli duyarlılığı ve nokta ölçümü yapabilme kapasitesi arasında dengeyi sağlayabilen iyon odası, genelde 0.6 cm^3 olup, 0.3 cm^3 ile 1 cm^3 arasında olmaktadır. Bu hacimdeki odalar iyi SNR 'ye ve ihmal edilebilir sızıntıya sahiptirler. Bu denge, hava kavitesinin iç çapı 6.4 mm ve iç uzunluğu 24 mm olan Farmer tipi silindir iyon odaları ile sağlanmaktadır.

Lateral demet profilinin homojen olmamasından dolayı FFF demetler için kullanılacak iyon odasının uzunluğunun Farmer iyon odalarından daha kısa olması gerekmektedir. Kullanılacak iyon odalarının hacimleri 0.1 cm^3 ile 0.3 cm^3 arasında olmalıdır. Farmer iyon odası kullanılması durumunda ise 6 FFF demetlerde profil heterojenitesi için ~ %1.5 düzeltme uygulanır.

ii. $F_{msr} < 6 \times 6 \text{ cm}^2$ İçin Kare Eşdeğeri msr Alan Boyutu

LCPE durumu msr alanlar için olması gereken bir koşul olduğundan, referans iyon odasının dış sınırlarından en az r_{LCPE} mesafe kadar uzakta bir alan olması gerekmektedir. 6 MV için $3 \times 3 \text{ cm}^2$ ile $5 \times 5 \text{ cm}^2$ arası alan boyutlarında Farmer iyon odası kullanımı merkezi ekseninde sudaki absorbe dozun daha az okunmasına sebep olmaktadır.

^{60}Co için $r_{LCPE} = 0.6 \text{ cm}$ dir. Detektör gövdesinin çok küçük bir kısmının ışınlanması ve geniş alanlarda görülen polarite etkisinin bu iyon odalarında gözlenmemesinden dolayı, yüksek enerjili x ışınları için uygun olmayan bazı detektörler Gammaknife için uygun olmaktadır. Eşdeğer kare msr alanı 10 MV demetlerde $6 \times 6 \text{ cm}^2$ den küçük alanlar için en büyük iyon odası kavite boyutu yaklaşık 7 mm kadardır. Bu kavite, hacmi 0.3 cm^3 olan odalar tarafından sağlanmaktadır. Bu kriter alan boyutu ve enerjinin bir fonksiyonudur. Eşdeğer kare alanı 4 cm'ye kadar olan bütün alanlar LCPE şartını sağlamaktadır. 6 MV demetler için bu değer 3 cm'ye kadarken ^{60}Co için 2 cm'ye kadardır.

Gammaknife alanları için tablo 5 te verilen iyon odalarının demet kalite düzeltme faktörleri küçüktür. Daha küçük olan 1.6 cm'lik ve 1.8 cm'lik alanlarda 2 mm ve 4 mm arasında tipik kavite hacmine bağılı olarak ölçülebilmektedir. Tam lateral yük toplanması detektörün dış sınırları tarafından yerine getirilemezse bunu ek duvar materyal kalınlığı ile elde edilebilmektedir. Ancak bu fantom materyali ve duvar arasındaki arayüzde ek olarak yüklü parçacık dengesizliğinin bileşeni vardır ve bu etkileşimden dolayı LCPE yokluğunda geniş alan pertürbasyonundan farklı bir pertürbasyon düzeltme faktörüne ihtiyaç doğurmaktadır.

4.2.5.2. Küçük Ve Referans Olmayan Alanlarda Rölatif Dozimetre İçin Ekipman

a. Küçük Alanlarda Rölatif Dozimetre İçin Detektör Özellikleri

Kararlılık: Kısa dönem detektör cevabı, pek çok ışınlamanın sonunda çok sayıda yüz kGy'nin toplam biriken absorbe dozu için % 0.1 den daha iyi olmalıdır. Değişkenlikte düzeltme, etkinin tutarlı olması için ve yeniden kalibrasyonun gerekmediği durumlarda zaman zaman yapılabilir.

Doz lineerliği: En az üç büyüklükteki absorbe doz aralığı için lineerite % 0.1' den daha iyi olmalıdır. (0.01 Gy – 10 Gy gibi)

Doz hızı lineerliği: Linak'lar genellikle 0.1Gy/s ile 0.4 Gy/s doz hızı aralığında çalışmaktadır. Detektörün bu aralıktaki lineeritesi %0.1'den daha iyi olmalıdır.

Atım başına doz lineerliği: Değişen atım başına doz ile detektör cevabı iyon rekombinasyon düzeltmesi yapıldıktan sonra % 0.1'den daha iyi bir kararlılık göstermelidir. Tipik atım başına doz çalışma durumu 0.2 Gy ile 2 mGy arasındadır.

Detektör cevabının enerji bağımlılığı: Küçük alan MV radyoterapisi için detektörlerin mevcut enerji aralığı ⁶⁰Co ile 10 MV arasındadır. İdeal detektör bu enerji aralığında makroskopik etkileşim katsayıları (fotonlar için μ_{en}/ρ , elektronlar için S/ρ) suyunkine sabit bir oran ile bağlı, enerjiden bağımsız olarak dizayn edilmelidir.

Uzaysal çözünürlük: Yüksek SNR ve küçük dozimetre boyutu arasındaki ilişkiye bağlı olarak uzaysal çözünürlük cinsinden uygun detektör seçilir. Ölçülen nicelikteki gradient tarafından uzaysal çözünürlük gereksinimi belirlenir.

Detektör boyutu: Hacim ortalaması düzeltmesinin % 5'den büyük olmadığı detektör boyutu seçilir.

Oryantasyon: Demete göre detektör oryantasyonu detektör cevabından bağımsız olmalıdır ve 60°'den küçük açılar için varyasyon % 0.5'den az olmalıdır. Detektörün izotropik bir cevabı yoktur. Bunun için ya düzeltme faktörü kullanılır ya da demet geliş yönü tek yöne sınırlandırılır.

Background sinyali: sinyal sızıntısı background okumayı artırır. Detektör cevabından en az üç büyüklük kadar düşük olmalıdır. Detektörün sıfır doz okuması cihazın düşük doz limitini ve SNR yi etkilemektedir.

Çevresel faktörler: Tüm çalışma koşulu boyunca yapılan düzeltmeler herhangi bir etkiyi % 0.3 den daha iyi bir duruma azaltmaktadır. Ölçümler nem, basınç ve sıcaklık için düzeltilmelidir.

Küçük alan için ideal detektör noktadaki akıyı ölçer. Su eşdeğeri, lineer cevaba sahip, enerjiden bağımsız ve absorbe doz (akı) hızından bağımsız olmalıdır. Su kalorimetreleri bu şartları sağlasa da pratik değildir. Hava dolu iyon odalarının minimum boyutu, gövde ve kablo gibi diğer iyon odası bileşenlerinden gelen background sinyali ile karşılaştırıldığında kavite hacmi içinde üretilen iyonizasyonun değeri ile ilişkilidir. Her iyon odası için hacim ortalamasının kabul edilemez oranda büyük olduğu bir alan boyutu vardır. Bu alanın altında sıvı iyon odaları ve ya katı hal detektörleri kullanılmaktadır. Ancak bu detektörler de küçük alanlarda önemli oranda

pertürbasyon sergilemektedirler. Rölatif dozimetre için ölçülecek niceliğe göre detektör seçilmesi ve iki ya da üç detektörle ölçüm yapılması önerilmektedir.

Doz verimi faktörü ölçümünde hacim ortalaması sınırlayıcı faktördür ve detektör boyutu, detektör alanı boyunca radyasyon akısının oldukça homojen olduğu bir yerde olmalıdır. Alan doz verimi faktörünü belirlemede etkileyen diğer özellikler, enerji bağımlılığını ile ilişkili olarak detektör cevabının alan bağımlılığı, absorbe doz hızı bağımlılığı, su eşdeğeri olması ve tüm pertürbasyondur.

Profil ölçümlerinde, detektörün uzaysal çözünürlüğü, yön enerji bağımlılığı ve absorbe doz hızı bağımlılığı dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir. Hacim ortalaması etkisi ve detektör materyal özellikleri penumbra ölçümünü etkilemektedir. Homojen olmayan yön cevabı profilin şeklinde distorsiyon yaratmaktadır.

Absorbe doz hızı bağımlılığı profilin bir kısmında birkaç yüzdelerlik absorbe doz değerlerinin fazla hesaplanmasına neden olmaktadır. Düzeltme yapılmadığı sürece bu detektörler tercih edilmemelidir. Bu durum özellikle doz hızı ve atım başına doz değerlerinin yüksek olduğu FFF demetler için önemlidir. Bazı detektörler için düşük enerjili fotonların absorbe doza katkısı problemlidir. Yüzde derin doz ölçümlerinde düşük enerjili saçılan fotonların etkisi derinlikle artar bu nedenle su eşdeğeri olmayan diyot gibi detektörlerde enerji bağımlılığı ve böylece aşırı tepki meydana gelmektedir.

Saçılan fotonların merkezi eksene bir katkının olmadığı en küçük alan için demet sertleşmesi etkisi saçılma etkilerine göre ağır basmaktadır. Böylece ters bir durum oluşmaktadır.

Akı pertürbasyonu ve detektör boyut etkisi pozisyonlandırma zorluklarına neden olmaktadır. Detektör bileşimi de önemlidir, detektörde yüksek atom numaralı materyal varsa ikincil elektronların enerji akıları değişmektedir. Merkezi elektrotu yüksek atom numaralı olan iyon odaları gibi detektörlerin cevabı alan boyutu ile değişmektedir. Böyle detektörler geniş alanlarda kalibre edildiklerinde enerji cevaplarının dikkate alınması gerekmektedir. Detekte edilen foton ve elektronların enerji spektraları bakımından geniş ve küçük alanlar arasında fark vardır.

Düzeltilmeler sadece detektörün duyarlı hacmi için değil aynı zamanda detektör ve çevresindeki materyallerin yapımını da ilgilendirmektedir.

Hacmi 0.3 ile 0.6 cm³ arasında olan klasik iyon odaları

Boyutları çok büyük olduğu ve merkezi eksendeki absorbe dozu daha az okudukları için küçük alanların rölatif dozimetresine uygun değildir. Büyük hacim ortalaması etkileri nedeniyle profil ölçümlerinde kullanılmamalıdır.

Hacmi 0.01 ile 0.3 cm³ arasında olan küçük iyon odaları

Minichambers, PTW Pinpoint 31014 gibi iyon odaları 2 x 2 cm² ye kadar alanların ölçümlerinde kullanılabilirler. Düşük enerjiye cevapları iyidir ve homojen yön cevapları vardır. Cevapları absorbe doz hızından bağımsızdır. Gövde, kablo ve polarite etkileri dikkatli bir şekilde incelenmeli ve düzeltilmelidir.

Hacmi 0.002 ile 0.01 cm³ arasında olan microchamber

Ölçüm hacimleri çok küçük olduğundan hacim ortalaması etkisi çok önemli değildir. Azalan duyarlılıkları en önemli limitasyonlarıdır. Microchamber'ların sinyal sızıntılarının büyük olmasından dolayı cevapları azalmaktadır. Özellikle düşük absorbe doz bölgesinde bu durum daha da önem kazanmaktadır. Geniş alanlarda kullanımı dikkatle yapılmalıdır. Işınlanan kablo miktarı arttıkça sinyalin de arttığı literatürde gösterilmektedir.

Silikon diyotlar

Duyarlı hacimleri 0.2 mm³ ten küçük olduğundan ortalama hacim etkileri küçüktür. İçyapısı ve kullanılan materyalden dolayı açı bağımlılıkları homojen değildir ve % 3 oranında değişebilmektedir. Bu nedenle sadece demet eksenine paralel ekseninde kullanılabilirler. Diyotlar, keV enerjilerindeki silikon ve suyun kütle enerji absorpsiyon katsayılarındaki farklardan dolayı düşük enerjiye fazla tepki

verirler. Ancak küçük alanlarda saçılan radyasyon az olduğundan düşük enerjili foton akısı azdır. Uygun tipteki diyotu seçmek önemlidir. Zırhsız diyotlar (elektron diyot), küçük alanlarda zırlı diyotlardan (foton diyot) daha uygundur. Ancak 1 cm altı alanlar için doz verimi düzeltmesi kütle yoğunluğunun etkisi nedeniyle yapılmalıdır. Zırlı diyotlar düşük enerjili fotonların bazısını absorbe eder, bu nedenle enerji bağımlılığı azdır ancak Tungsten gibi yüksek atom numaralı malzeme içerirler. Düşük enerjili fotonlar için Tungsten'in yüksek kütle enerji absorpsiyon katsayısından dolayı, Tungsten silikondaki ikincil elektron akısını arttırmaktadır. Bu durum diyotların fazla tepki vermesine yol açmaktadır. Zırlı diyotların ölçüm derinliği ve alan boyutundaki değişikliklerden tam bağımsız olmadığı gösterilmiştir. Derinliğe bağlı olarak düşük enerjili fotonların katkısındaki artış nedeni ile de zırlı diyotlar fazla tepki verirler. Ancak bazı diyotların büyük derinlikte azalan cevap verdiği bildirilmiştir. Bu yüzden fazla cevabın, absorbe doz hızı bağımlılığından olduğu düşünülmüştür. Küçük alanlarda zırhsız diyot kullanımı tavsiye edilmektedir. Çok küçük alanlarda stereotaktik diyotlar kullanılmaktadır. Bu nedenle tutarlılıkları periyodik olarak kontrol edilmelidir.

Diamond detektörler

Yüksek duyarlılığa sahiptirler. Diamond detektörler ile su arasında kütle enerji absorpsiyon katsayıları ve durdurma gücü oranları açısından sabit bir oran olduğu için cevapları enerjiden bağımsızdır. Homojen yön cevapları vardır. Doğal diamond detektörler bir yönde 0.5 mm'den küçüktür ancak lateral boyutları farklı diamond seçim prosedürlerinden dolayı değişkenlik göstermektedir. Absorbe doz hızı bağımlılıkları fazladır ve düzeltilmelidir. Önemli ön ışınlamaya gerek duyarlar. Diamond detektöre bias voltajı uygulanırken dikkatli olunmalıdır aksi halde kırılabilirler. Natural diamond detektör artık üretilmemektedir. Natural diamond detektör yerine yapay buhar birikimli (CVD) diamond detektörler kullanılmaktadır. Bu detektörler için bias voltajı gerekmez. Küçük alanlar için uygundur ancak 1 cm'den küçük alanlar için kütle yoğunluklarından dolayı doz verimi faktörü düzeltilmesine ihtiyaç duymaktadırlar.

Plastik ve organik sintilatörler

Plastik ve organik sintilatörlerin çalışma prensibi, ışınlama sırasında sintilatörlerde ışık üretimi mekanizmasına dayanmaktadır. Tedavi odasının dışında bulunan photomultiplier tüpüne ışık optik fiber ile taşınmaktadır. Sintilatör cevabı sudaki absorbe dozla lineer değişmektedir. Pek çok çalışma küçük alanlarda organik ve plastik sintilatörlerin pertürbasyon faktörünün 1'e yakın olduğunu göstermiştir. Bu detektörler elektron yoğunluğu ve atomik kompozisyon açısından su eşdeğeridirler. Kütle durdurma gücü ve kütle enerji absorpsiyon katsayısı açısından keV seviyesinde dahil geniş bir enerji aralığında \pm % 2 içerisinde suya benzerler. Sintilatörler enerjiden bağımsızdırlar ve rölatif dozimetrede kullanılırlar. Plastik sintilatörler dozimetrelere çok küçük (≤ 1 mm) yapılabilirler. Küçük boyutlarına rağmen duyarlılıkları da iyidir. Sintilatörlerin kullanımındaki asıl komplikasyon, optik fiberde meydana gelen Cerenkov ışınlamasının düzeltilmesidir. Çeşitli düzeltme yöntemleri arasında spektral filtrasyon ve içi boş çekirdekli liflerin kullanımı uygun bulunmuştur. Plastik sintilatörlerin SNR'si düşük ve cevapları biriken dozla değişmektedir. Ancak yüksek uzaysal çözünürlükleri, düz enerji bağımlılıkları, küçük boyutları ile küçük alan dozimetrede kullanılmaktadırlar.

Radyografik ve radyokromik film dozimetresi

Radyografik ve radyo-kromik film dozimetresi, iki boyutlu mükemmel uzaysal çözünürlüklerinden dolayı oldukça çekicidir ancak dikkatli kullanılmaları gerekmektedir. Limitli absorbe doz aralıkları enerji bağımlılıkları ve yön bağımlılıkları vardır. Düşük enerjili fotonlara karşı artmış duyarlılıkları nedeniyle alan dışındaki düşük absorbe dozlarda fazladan cevap sergilerler. Radyokromik film, radyografik filmin değerlendirme zorluklarını büyük ölçüde ortadan kaldırmıştır. Bu filmler görünür ışığa duyarlı değildirler ancak ultraviyole radyasyona duyarlıdırlar. Radyokromik filmler, megavoltaj demetler için doku eşdeğeridirler ve enerji bağımlılığı sergilemezler. Ancak, kompozisyonuna bağlı olarak kV enerji aralığında enerji bağımlılıkları vardır. Flat bed tarayıcılarla okunurlar, dikkatli kalibrasyonları ve film cevabının uzaysal heterojenitesinin, tarayıcı cevabının ve sinyalin film oryantasyonuna bağımlılığının dikkatli araştırılması gerekmektedir. Filmin taranması kalibrasyon filmlerinin taranması ile aynı sürede yapılmalıdır. Filmlerin literatürde

verilen diğerk dezavantajları film kararması ve sıcaklık duyarlılığı etkisidir. Ancak yüksek uzaysal çözünürlüğü, su geçirmez oluşu, ışığa duyarlılığı ve işleme gerektirmemesi radyokromik filmin radyografik filme göre avantajlarıdır. Radyokromik filmler, demetin spektral bileşenlerinin değişebileceği profil, penumbra ve doz verimi faktör ölçümlerinde tavsiye edilmektedirler.

Mosfet

Genelde, in vivo dozimetrede kullanılırlar. Küçük boyutlarından dolayı yüksek uzaysal çözünürlüğe sahiptirler. Ancak, enerji ve yön bağımlılıkları vardır. SNR'leri ve tekrarlanabilirlikleri yeterince iyi değildir. Bununla birlikte kısa ömürleri vardır. Literatür, küçük alanlar için kullanımını önermemektedir.

TLD

Doku eşdeğeri olmasından dolayı en sık kullanılan TLD ler, LiF:Mg,Ti, LiF:Mg,Cu,P ve Li₂B₄O₇:Mn dir. Toz, mikroçip, çubuklar, şerit gibi farklı formlarda yapılırlar. En sık kullanılan TLD materyali LiF:Mg:Ti 'nin cevabı belli bir absorbe doz aralığında lineerdir. 1-2 Gy üzerinde supralineer davranış sergilemektedirler. TLD farklı bir enerjide kalibre edilmişse, solma ve enerji düzeltmesi gibi faktörlerin yanında supralineer davranış da düzeltilmelidir. Küçük alan dozimetresinde TLD'ler dikkatli kullanılmalıdır ve ölçüm belirsizlikleri % 2 ve ya daha iyi olmalıdır. Küçük alanlarda küçük düzeltmelere gerek duyduğu gösterilmiştir.

OSL

OSL, TLD ile aynı prensiptedir. Sadece tuzaklanan enerjiyi luminesans olarak açığa çıkarmak için ısı yerine ışığa ihtiyaç duymaktadırlar. Tipik OSL'lerde küçük yongalar ($\approx 1 \text{ mm}^3$), çubuklar, mini-noktalar ve nano-noktalar şeklinde olan karbon katkılı alüminyum oksit ($\text{Al}_2\text{O}_3: \text{C}$) kullanılmaktadır. Anlık okuma için optik fiber ve lazer tabanlı okuma sistemleri vardır ve TLD gibi pasif dozimetre olarak kullanılırlar. Geniş bir absorbe doz ve doz hızı aralığında yüksek duyarlılıkları vardır. TLD'ler ile benzer lineerite, enerji ve doz hızı bağımlılıkları bulunmaktadır.

Radyofotoluminesans (RPL) cam dozimetreler

RPL cam dozimetrelerin birikim tipi katı hal detektörüdür. Radyofotoluminesans yolu ile dozu ölçerler. Kullanılan materyal gümüş ile aktive edilmiş fosfat camdır. Küçük cam çubuklar şeklindedir (çap: 1.5 mm, uzunluk: 8-12 mm). Silver ile aktive edilmiş fosfat cam ışınlandığında gümüş iyonları içinde stabil luminesans merkezleri oluşur. Okuma tekniği olarak atımlı ultraviyole lazer uyarımını kullanır. Okuma alanı dozimetre boyutundan küçüktür. Küçük alan dozimetresi için uygun olan yüksek absorbe doz modunda çap 1.5 mm uzunluk 0.6 mm kadardır. Bir fotomültiför tüpü, cam tarafından yayımlanan turuncu flüoresanı işler. Okuma sırasında RPL sinyali silinmez. Yeniden değerlendirilebilir. Cam dozimetrelerin yeterli tekrarlanabilirliği, tedavi doz aralığında düz enerji cevapları olduğu, iyi uzaysal çözünürlükleri, keV'den MeV'ye düz enerji cevabına sahip oldukları ve düşük solmaları olduğu bildirilmiştir.

Alanine

Su eşdeğeri olduğu için iyi bir dozimetredir ancak pelletler gibi radyoterapi seviyesi için kullanılan dozimetreler, yaklaşık olarak 5 mm çap ve 2.5 mm kalınlıkları ile genelde geniştirler. Bu nedenle hacim ortalaması etkisine maruzdurlar. Küçük pelletlerde vardır. Bir diğer dezavantajı düşük duyarlılıklarıdır. % 0.5 den küçük tekrarlanabilirlik elde etmek için genelde 10 Gy üstü doza ihtiyaç duyarlar. Alanine avantajı, yoğunluğunun ve makroskopik etkileşim katsayılarının suya

eşdeğer olmasıdır. En önemli pertürbasyonu, ölçülen profillerden hesaplanabilen hacim ortalaması etkisidir.

Özetle sıvı iyon odaları, diyotlar, diamond, organik sintilatörler, radyokromik film, TLD, OSL, küçük alan rölatif dozimetresine uygundur.

b. Fantomlar

Katı fantomlar dozimetrik amaç için kullanılmadan önce fantom materyalinin homojenitesi belirlenmeli ve gerekli düzeltme faktörleri uygulanmalıdır. Fantomun CT'sinin çekilmesi homojenitenin doğrulanmasını sağlar. Katı fantomla beraber kullanılan iyon odaları yükün maksimum olduğu noktaya ve sıcaklık heterojenite etkilerine duyarlıdır. Bu etkilerin ölçüme katkısının olmayacağı gösterilmelidir. Plastik düşük sıcaklık iletkenliğine sahiptir. Dozimetre sıcaklığı detektör pozisyonunda doğrudan ölçülerek bulunmalı ve ya dozimetreler termal dengeye ulaşıncaya kadar odada bırakılmalıdırlar.

4.2.6. Msr Alanlar İçin Referans Dozimetre

4.2.6.1. Dozimetrik Ekipman

İyon Odaları

Sadece tablo 3'de verilen iyon odaları kullanılabilir. Eşdeğer kare msr alan boyutu $\geq 6 \times 6 \text{ cm}^2$ alanlar için tablo 4'deki odalar kullanılabilir. Küçük alanlarda ($< 6 \times 6 \text{ cm}^2$) tablo 5'deki odalar alan boyutu detektör dış sınırından en az r_{LCPE} mesafe fazla olduğu kontrol edildikten sonra kullanılır.

$$r_{LCPE} \equiv 8.396 \times TPR_{20}^{10} - 4.382 \quad (22)$$

Silindir iyon odasının referans noktası, hem standart laboratuvarında hem de kullanıcının demetinde oda ekseninde kavite hacminin merkezinde olmalıdır. Bu

nokta su fantomunda referans derinliğe pozisyonlandırılmalıdır. TRS 398'deki ile aynı koşullar, dengeye ulaşmak için gereken zaman, sızıntı akımının kontrolü ve düzeltilmesi, basınç, sıcaklık, nem, polarite ve rekombinasyon etkilerini düzeltirken kullanılır. Başka bir detektör kullanılacaksa kalibre edilmiş bir referans iyon odasına karşı $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ya da f_{msr} alanda çapraz kalibre edilmelidir.

4.2.6.2. Etki Parametrelerinin Düzeltilmesi

a. Hava Yoğunluk Düzeltmesi

Odanın kavitesindeki havanın kütlesi basınç ve sıcaklıktan etkilenir.

$$k_{TP} = \frac{(T + 273.15) P_0}{(T_0 + 273.15) P} \quad (36)$$

Burada T, °C cinsinden sıcaklık ve P iyon odasının kavitesindeki havanın kPa basıncıdır ve T₀ ve P₀ iyon odasının kalibrasyon katsayısının geçerli olduğu sıcaklık ve basınç için referans koşullardır, yani Sırasıyla 20°C (veya standart laboratuvarlardan kalibrasyonlar için 22°C) ve 101.325 kPa'dır.

b. Nem

Kalibrasyon katsayısı % 50 nemde geçerli ve ortam % 20 - % 80 arası nemde bulunuyorsa düzeltme faktörü gerekmemektedir. Bu oranın dışında da düzeltme gereksinimi çok olası değildir.

c. Elektrometre Kalibrasyon Faktörü, kelec

Eğer elektrometre ve iyon odası ayrı ayrı kalibre edilmişse kullanılır. İyon odası kalibrasyon faktörünün birimi Gy/C, MGy / nC veya cGy / nC dur. Kelec elektrometre okumasını yüke dönüştüren elektrometre için elde edilir ve birimi C/rdg'dir. Eğer elektrometre yük cinsinden okuma yapıyorsa kelec birimsiz olur.

d. Polarite Düzeltmesi

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \quad (37)$$

Rutinde kullanılan polarite kalibrasyonda kullanılan ile aynı olmalıdır. Küçük hacimli iyon odaları için uzun stabilizasyon gerektiği unutulmamalıdır. Gövdenin değişik miktarlarının ışınlanmasından dolayı polarite faktörü alana bağlıdır. Bu etki küçük alan dozimetresinde kullanılan bütün iyon odaları için belirlenmelidir.

e. Rekombinasyon Etkisi

$k_s < 1.03$ ise, düzeltme % 0.1 içine aşağıdaki denklem ile yaklaşıklandırılır;

$$k_s = 1 + \frac{\left(\frac{M_1}{M_2}\right) - 1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right) - 1} \quad (40)$$

İki voltaj metodu ile hesaplanan ks hem başlangıç hem de genel rekombinasyon düzeltir. Atımlı demetlerde genel rekombinasyon baskındır. Doz hızı ile yaklaşık lineer olarak skallanır.

1/M ile 1/V arasındaki ilişkinin lineer olup olmadığı bilinmiyorsa Jaffé çizimi 1/M ile 1/V arasında ölçülerek yapılır. Bu durum, özellikle rekombinasyon etkisinin saturasyon eğrisini bozduğu küçük hacimli bazı odalar için geçerlidir. Küçük hacimli odalar ayrıca zıt polariteler için asimetric saturasyon eğrisi sergilerler (özellikle voltaja bağlı polarite etkisi). Küçük hacimli odalar için uzun stabilizasyon zamanı gerektiği belirtilmiştir. Atım başına doz değerlerinin FF demetlere göre yüksek olduğu FFF demetler için de iki voltaj metodu kullanılabilir.

f. Msr Alanlarda Çapraz Kalibrasyon

Eğer fmsr alan için referans odanın kalibrasyon katsayısı varsa bu oda kullanılarak başka bir odanın çapraz kalibrasyonu yapılabilir.

$$\left[N_{D,w,Qmsr}^{fmsr} \right]_{FIELD} = \frac{\left[M_{Qmsr}^{fmsr} \right]_{REF}}{\left[M_{Qmsr}^{fmsr} \right]_{FIELD}} \left[N_{D,w,Qmsr}^{fmsr} \right]_{REF} \quad (41)$$

Bulunan kalibrasyon katsayısı msr alanların referans dozimetresinde referans odanın normal basınç ve sıcaklığı ile aynı olarak kullanılabilir.

Eğer referans odanın msr alanda kalibrasyonu yoksa çapraz kalibrasyon katsayısı;

$$\left[N_{D,w,Qmsr}^{fmsr} \right]_{FIELD} = \frac{\left[D_{w,Qmsr}^{fmsr} \right]_{REF}}{\left[M_{Qmsr}^{fmsr} \right]_{FIELD}} \quad (42)$$

ile hesaplanır. $[D_{w,Qmsr}^{fmsr}]_{REF}$, referans iyon odası kullanılarak 25 ve ya 27 no'lu denklemlerle elde edilir.

ii. Profil Ölçümleri İçin Kullanılacak Detektörler

Profil ölçümleri için film ya da demet eksenine dik düzlemde küçük hacmi olan detektörlerden kullanılacak detektörün, yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir. Bununla birlikte enerji bağımlılığının ve doz hızı ya da atım başına doz bağımlılığının az olması gereklidir.

Sıvı iyon odaları, zırhsız diyotlar, microdiamond ve organik sintilatörler profil ölçümleri için uygundur. Yapılarındaki asimetrelerden ve gövde ışınlama etkilerinden dolayı, detektör oryantasyonu gövdenin demet eksenine paralel olacağı şekilde seçilmelidir. Gövde ve kablo ışınlamanın profil ölçümlerine yaptığı etki mutlaka incelenmeli ve düzeltilmelidir. Bununla birlikte rekombinasyon etkisi incelenmeli ve gerekirse düzeltilmelidir.

4.2.7. Küçük Alanların Rölatif Dozimetresi

4.2.7.1. Fantomda Detektör Set-up

Küçük alan dozimetresinde sadece detektör seçimi önemli değildir. Jaw ve kolimatör pozisyonu, demet hizalanması, su fantomunun hizalanması, tarayıcı sistemin demetle beraber hareketi, detektör ve elektrometrenin fonksiyonelliği gibi diğer parametrelerde geniş alanlardan daha fazla önem taşımaktadır.

a. Detektör Oryantasyonu

Detektör ekseninin demet eksenine göre oryantasyonu profil şekline ve doz verimi faktör değerine etki eder. Genel kural, duyarlı hacmin en küçük boyutunun tarama yönüne dik yerleştirilmesidir. Ancak bu yapıdaki asimetri ve gövde yeri nedeniyle her zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle küçük alanların rölatif dozimetresi için dizayn edilmiş bazı micro iyon odalar küçük hacimlerinden dolayı gövde ve kablo ışınlamasına daha çok duyarlıdır. Bu etkiyi azaltmak için gövde, homojen ışınlama yapacağından demet eksenine paralel olacak şekilde ve kablo da detektörün tüm hareketinde ışınlanan uzunluğunun minimum olacağı şekilde pozisyonlandırılmalıdır. Kaçınılması gereken pozisyon gövdenin demet eksenine dik, tarama yönüne paralel olduğu pozisyondur.

Diyotlar iyon odasına karşı yüksek uzaysal çözünürlükleri ve yüksek sinyalleri nedeniyle profil ölçümlerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Zırhlı ve zırhsız diyotların ikisi de disk şeklinde aktif hacme sahiptir. Bununla birlikte tükenme bölgelerinin derinliğinden daha geniş hacme sahiptirler, bu da uzaysal çözünürlüklerinden en iyi şekilde yararlanmak için demet eksenine paralel olarak duyarlı hacimlerini yerleştirmemizi gerektirir. Ancak bu oryantasyonun, çipin etrafındaki materyalin eşit olmayan dağılımının yarattığı distorsiyonlardan dolayı asimetric lateral profile neden olduğu bildirilmiştir. Detektörler için tavsiye edilen oryantasyonlar tablo 22’de verilmiştir.

b. Referans Derinliğe Detektörün Referans Noktasının Yerleştirilmesi

Demet eksenine dik yerleştirilen silindir iyon odaları, kavite hacminin merkezi oda eksenine dik olacak şekilde yerleştirilir. Paralel oryantasyondaki odalar için iyon odasının ucudur.

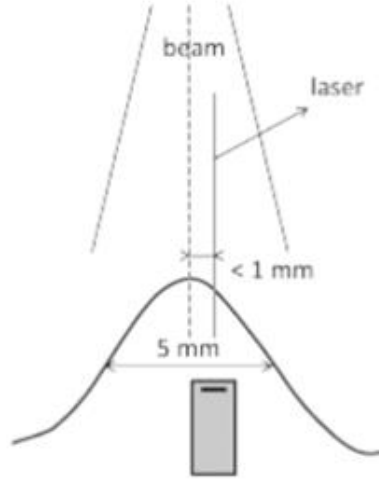
Katıhal detektörlerde, gövdenin demet eksenine paralel olduğu oryantasyonda referans nokta, detektörün ucuna ya da düz yüzüne göre üretici tarafından belirtilir. Dik oryantasyonlar için detektör merkezi kullanılır.

c. Demet Merkezi Eksenine Göre Detektör Hizalanması

Lateral profillerdeki keskin maksimum ve dik gradientten dolayı detektörün hizalanması önemlidir. Cihazın ışıklı alanına ve lazerlere göre 1 mm tipik tolerans limiti gerisinde set up yapmak küçük alanlar için yeterli değildir. İlk setup bu şekilde yapıldıktan sonra farklı düzlemde, ölçüm derinliğinde alınacak iki profil ölçümün setup'ının doğru olmasını sağlar.

i. Real Time Detektörlerin Hizalanması

Detektörün merkezi eksene hizalanması su fantomunda yapılır. Yavaş hızda, 0.1 mm seviyesindeki uygun bir adım boyutu ile tarayıcı sisteminin olası histerisis etkilerine dikkat ederek yapılacak taramalarla bu hizalama yapılır. Hizalama iki % 50 profil seviyesinin merkezine ya da profilin simetrik olduğunu varsayarak profil maksimumuna yapılır. Bu aynı zamanda alan boyutu FWHM ölçümüdür. Kolimatör pozisyonundaki küçük değişikliklerin alanın merkezindeki absorbe dozda önemli değişiklikler yapacağı bilindiğinden bu hizalama işlemi ve FWHM belirlemesi kolimatör hareket ettirilerek alan oluşturulduğunda yeniden yapılmalıdır. Hizalama iki ortogonal yönde yapılır. Bu, küçük fantom yanlış hizalamalarını dikkate alacak alan merkezini bulma işlemini içerir.



Şekil 4.2.8.1 Klinik kurulum doğruluğu etkisinin gösterilmesi: ışın lazeri, demet merkezi ekseninden 5 mm genişliğinde bir alanda 1 mm'den daha düşük bir yanlış hizalama toleransı ile kalibre edilir. Ancak bu durum profilin azami öneminin ihmal edilmemesini garanti etmez.

Yüzde derin doz ölçümlerinde alan merkezi farklı derinliklerde belirlenmeli. Böylelikle fantom ve tarayıcı sistem demet merkezi ile doğru şekilde hizalanmalıdır (merkezi eksen düzeltilmesi). Lateral demet profil ölçümlerinin doz verimi faktörlerinin ölçümünün yapıldığı derinlikte yapılması tavsiye edilir.

ii. Offline Detektörlerin Yatay Hizalanması

Offline detektörlerin doğru bir şekilde hizalanması daha önemli ve zordur. Bunun sebebi, real time dozimetreler gibi cevap hemen görülüp düzeltme yapılamayacağı için setup'daki bütün hatalar okumayı etkiler. Alan her değiştiğinde hizalama işlemi ve FWHM belirleme tekrar yapılmak zorundadır.

Film Kullanarak Set-up

Katı fantomlarda genelde bu metot kullanılır. Doğru SSD'de katı su fantomu içine detektör oyuğunun ön lateral pozisyonlanması ve lazer / ışıklı alan kullanarak hizalanması yapılır. Sonrasında film detektör oyuğunu içeren plak ile plak fantom arasına yerleştirilir. Herhangi bir fantomun lateral yer değiştirmesi gerekli mi diye kaynaktan uzakta yapılır. Kontrastı arttırmak için yüksek atom numaralı bir dummy detektör kullanılır ya da yüksek atom numaralı materyal referans noktaya yerleştirilir. Bu şekilde hizalama yapıldıktan sonra detektör konur, ölçüm derinliğine detektörün referans noktasını denk getirmek için detektör plağının üstüne fantom eklenir. Bununla birlikte her detektör ışınlamasında plağın altına, ışınlanan filmde detektör tam görünecek şekilde film yerleştirilir. Ölçülen lateral profil ve alana göre detektör pozisyon ölçümüne dayanan bu yöntem, her bir detektör için hacim ortalaması düzeltilmesi yapabilmemizi sağlar. İdeal olarak, her ışınlamada detektörlü plağın ölçümden alınmak zorunda kalmaması için özel oyuk içeren plak bu yöntemde kullanılmalıdır.

4.2.7.2. Lateral Demet Profili Ölçümü

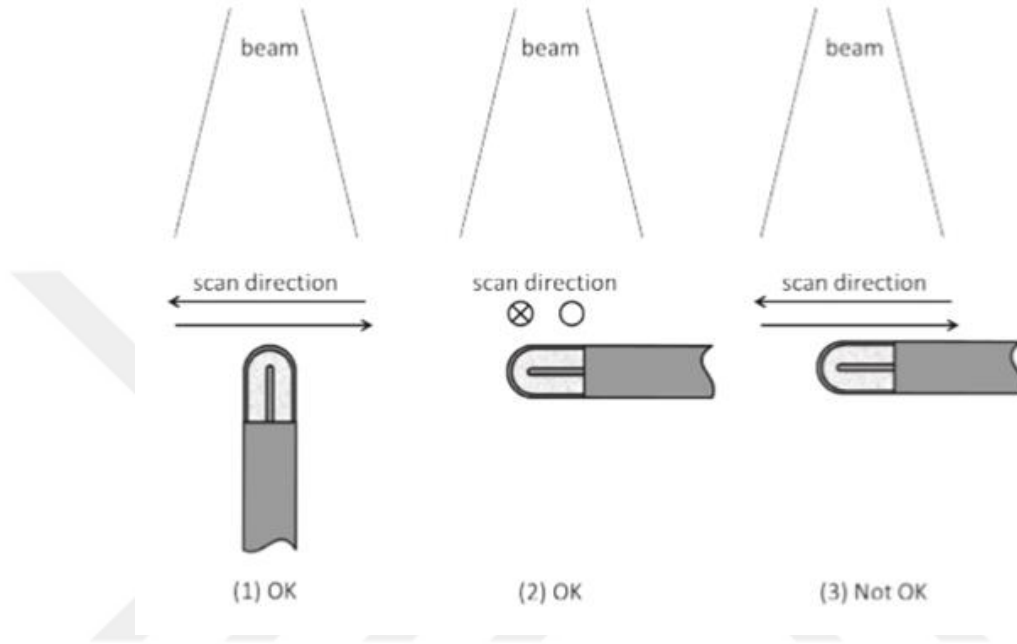
Tarama hızı ve adım boyutu için aşağıdaki koşullar dikkate alınmalıdır.

- Su yüzeyi minimum bozukluk en aza indirilir (bu, odadaki kameraların su yüzeyine odaklanmasıyla kontrol edilebilir),
- Küçük alanlar için merkezi demet alanında en küçük hız seçilmelidir,
- Adım boyutu yaklaşık 0.1 gibi profil boyunca en fazla duracağı kadar seçilmelidir.

Ölçüm sırasında cihaz doz veriminde oluşabilecek geçici değişiklikleri dikkate almak için alan detektörünün sinyalini monitör detektörü ile referanslandırmak tavsiye edilir. Ancak küçük alanlarda bu mümkün değildir. Linak kafasının altına transmisyon detektör ya da fantomun içine detektörden daha derine geniş alan paralel plak iyon odası yerleştirilir.

4.2.7.3. Zmaks'ta Absorbe Dozun Belirlenmesi

SSD set-up'da yüzde derin doz, SAD set-up'da TPR/TMR kullanılarak Zmaks'taki absorbe doz elde edilir.



Şekil 4.2.8.2 Lateral demet profillerinin ölçümü için iyon odasının uygun oryantasyonları

5. GEREÇ VE YÖNTEM

5.1. Araç ve Gereçler

5.1.1. Varian Truebeam STx 2.0 Lineer Hızlandırıcı

İlk ticari lineer hızlandırıcı olma özelliğine sahip Varian Truebeam STx 2.5 medikal lineer hızlandırıcı cihazı 6, 10 ve 15 Megavolt (MV) düzleştirici filtreli (FF), 6 ve 10 MV düzleştirici filtresiz (FFF) foton demetlerine ve ayrıca 6,9,12,15,18 ve 22 Megaelektronvolt (MeV) elektron demetlerine sahiptir. FFF enerjilerde kullanılabilen en yüksek doz hızı 6 MV (FFF) için 1400 MU/dk, 10 MV(FFF) için 2400 MU/dk dır. Yüksek doz hızı sayesinde FFF demetlerin kullanımında beam on zamanı ve toplam tedavi ışınlama süresi oldukça azalmaktadır. Truebeam STx 2.5 cihazı yüksek çözünürlüklü çok yapraklı kolimatör (HDMLC) donanımına sahiptir. HDMLC en içte bulunan 32 çift yaprağın her biri izomerkeze göre 2.5 mm genişliğinde ve dışta bulunan 28 çift yağrağın her biri izomerkeze göre 5 mm genişliğindedir. MLC yapıları yuvarlak lif uçlarından oluşmaktadır. Yuvarlak lif uçlarının yarıçapı 16 cm dir. HDMLC kullanılarak düzensiz şekilli alanlarda 40 cm genişlik ve 22 cm uzunlukta alanlar üretilebilir. Truebeam STx 2.5 tedavi cihazı ile dinamik ve konformal ark, statik ve dinamik IMRT tedavi teknikleri gerçekleştirilebilmektedir.



Resim 5.1.1 Varian Truebeam STx 2.0 Lineer Hızlandırıcı

5.1.2. Sun Nuclear 3D Scanner Su Fantomu ve 3D Reservoir™ Su Tankı

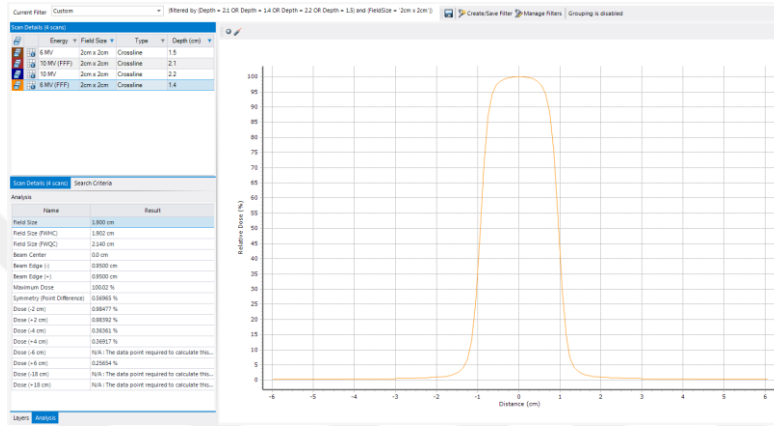
Silindirik olan 3d tarayıcı su fantomu, tüm eksenlerde tarama yapılmasını olanak sağlar. Su fantomu iç çapı 676 mm, boyu 673 mm, eni ise 875 mm kadardır. Su fantomu, 330 dereceye kadar dönebilmektedir. Su fantomu içerisinde bulunan detektör sürücüsü tarama hızı 1 ile 16 mm/sn arasında değişmektedir. Taramalar adım adım ya da devamlı olarak yapılabilmektedir. Su fantomu, cihaz merkezine yerleştirilebilmesine yardımcı olan merkez çizgileri ile ölçüm öncesi Su fantomu merkeze yerleştirilir. Su fantomuna entegre elektrometre bağlantı kablolarının doğru takıldığından emin olduktan sonra Sun Nuclear SNC dosimetry yazılımında yer alan AutoSetup™ seçeneği ile su fantomu otomatik olarak merkezlenir ve seviyelendirilir. Su fantomu içerisine su doldurulması ve ölçüm sonrası tanktan suyun boşaltılması Sun Nuclear 3D Reservoir su tankı ile gerçekleştirilir. Su fantomunun doldurulması 7 dakikadan, boşaltılması ise 5 dakikadan kısa süremektedir.



Resim 5.1.2. Sun Nuclear 3D Scanner Su Fantomu ve 3D Reservoir™ Su Tankı

5.1.3. SNC Dosimetry™ Scanning Yazılım

Sun Nuclear su fantomu, SNC Dosimetry™ yazılımı ile çalıştırılır. Yazılım, farklı enerjilerde, farklı alan boyutlarında ve derinliklerde; ölçüm adım aralığını ayarlamayı mümkün kılan; output, PDD, düzlük (flatness) ve simetri gibi kalibrasyon ve kontrol amaçlı ölçümlerin sayısal ve grafiksel ölçüm değerlerini veren bilgisayar programıdır.



Şekil 5.1.3 SNC Dosimetry™ Scanning yazılımı ile elde edilen profil örneği

5.1.4. PTW Semiflex 31010 İyon Odası

PTW Semiflex 31010 iyon odası 0.125cm^3 duyarlı hacme sahiptir. Duyarlı hacmin çapı 2.75 mm, uzunluğu da 6.5 mm'dir. Su fantomlarında doz dağılımı ölçmek için dizayn edilmiştir. Merkezi elektrotu Al^{+3} , elektrot çapı da 1.1 mm kadardır. $\pm (100 \dots 400)$ V arasında voltaj uygulanması gerekmektedir. İyon odası kablo sızıntısı $\leq 1 \text{ pC}/(\text{Gy}\cdot\text{cm})$ 'dır. Tavsiye edilen enerji ölçüm aralığı foton enerjileri için 30 kV ile 50 MV arasında, elektron enerjilerinde ise 6 MeV ile 50 MeV aralığındadır. Havadaki ölçümler için build-up cap ile kullanılır, cap kalınlığı 3 mm kadardır. Küresele yakın şekli ile su fantomunda 3 boyutlu ölçümler için uygundur.



Resim 5.1.4. PTW Semiflex 31010 iyon odası

5.1.5. PTW Pinpoint 31014 İyon Odası

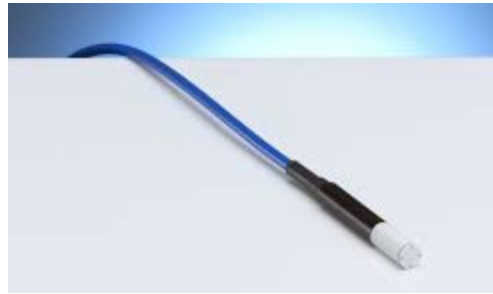
PTW Pinpoint 31014 iyon odaları, lineer hızlandırıcı cihazlarının yüksek çözünürlüğün gerekli olduğu radyasyon alanları karakterizasyonu ve stereotaktik ya da YART küçük radyasyon alanlarının değerlendirilebilmesi için motorlu su fantomunda rölatif ışın profili ölçümleri için özel olarak tasarlanmıştır. Oda eksenine dik yönde taramalarda sahip olduğu çok yüksek çözünürlükleri ile hızlı doz değişimlerinin olduğu rölatif doz dağılımı ölçülebilmektedir. Su geçirmez yapısı ile havada, katı su fantomunda ve suda ölçümler için uygundur. PTW Pinpoint 31014 iyon odaları merkezi elektrotu çapı 0.3 mm olan alüminyum, duvar materyali ise akrilik koruyucu kaplı grafitten oluşmaktadır. Nominal duyarlı hacmi 0.015 cm^3 , yarıçapı 1 mm ve uzunluğu 5 mm'dir. Nominal enerji aralıkları ^{60}Co enerjisinden 50 MV foton enerjisine kadardır. Çalışma voltajları nominal 400 V olmak üzere maksimum $\pm 500 \text{ V}$ kadardır.



Resim 5.1.5. PTW Pinpoint 31014 iyon odası

5.1.6. PTW Microdiamond 60019 Detektör

PTW Microdiamond 60019 , klinik dozimetri için sentetik tek kristal elmas dedektördür. Minimal doz hızına sahip olmasının yanında puls başına doz bağımlılığı ve yüksek uzaysal çözünürlüğü sayesinde küçük alan dozimetrisi için uygundur. Duyarlı hacmi 0.004 mm^3 , 1.1 mm çapı ve dairesel $1 \mu\text{m}$ kalınlığı ile yüzeyi disk şeklinde tasarlanmış su geçirmez yapıya sahip PTW Microdiamond 60019 detektörün referans noktası, detektörün ekseninde detektör ucundan 1 mm uzaklıkta işaretlenmiştir. Detektör duyarlı hacmi, eksenine dik olarak yapılmıştır. Nominal detektör yanıtı 1 nC/Gy ' dir. Bununla birlikte fiziksel yapısı gereği bias voltajı uygulanmaz. Sıcaklık ve enerji bağımlılıkları yoktur.



Resim 5.1.6. PTW Microdiamond 60019 detektör

5.2. Yöntem

5.2.1. Foton Demeti Ölçümleri

5.2.1.1. Görüntülerin Elde Edilmesi

Sun Nuclear su fantomu ve RW3 katı fantom ile ölçümler alınmadan önce katı fantomların ve detektörlerin, Philips Gemini TF TOF 16 bilgisayarlı tomografi cihazı ile homojenlik kontrolü için bilgisayarlı tomografileri çekilmiş, görüntüler elde edilerek ölçüm materyallerinde herhangi bir sorun olmadığı kontrol edilmiştir.

5.2.1.2. Lateral Yüklü Parçacık Dengesinin Oluşabilmesi İçin Detektörlere Özgü Gerekli Olan Minimum Alan Boyutu Büyüklüklerinin Hesaplanması

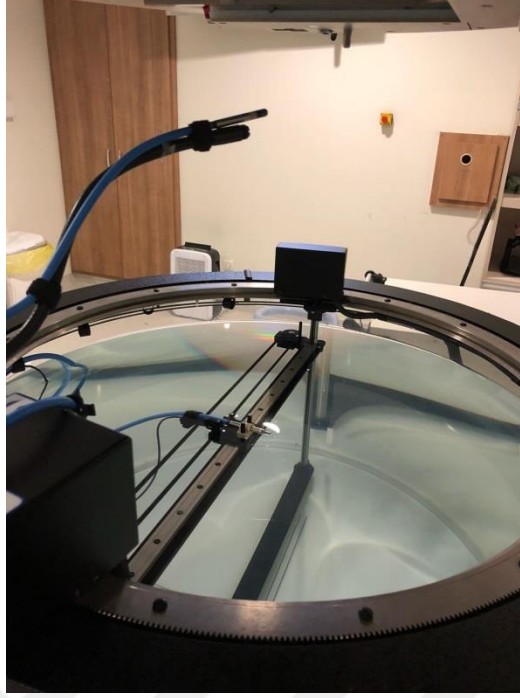
Detektör hacminin dış kenarı, alan merkezinde sudaki absorbe dozun ve çarpışma kermasının eşitlendiği r_{LCPE} olarak tanımlanan minimum dairesel foton alan yarıçapından küçük ise lateral elektron dengesinin bozulması ile birlikte küçük alan meydana gelmektedir. Bu durumun giderilebilmesi için TRS 483 küçük alan dozimetresi protokolünün önerdiği gibi alan boyutu değeri, $FHWM \geq 2r_{LCPE} + d$ olmalıdır. Burada d, detektör boyutu olarak detektörün dış sınırındaki iki nokta arasındaki en büyük mesafedir. Detektöre özgü olması gereken minimum alan boyutu değerleri, ölçümlere başlamadan önce kullanılacak her detektör için hesaplanmıştır.

5.2.1.3. Su Fantomu Ölçümleri

Ölçümler, SNC Sun Nuclear 3D scanner™ su fantomu kurulumu tamamlandıktan sonra Truebeam STx 2.5 lineer hızlandırıcı cihazında 6 MV, 6 FFF, 10 MV, 10 FFF enerjilerinde, SSD=100 cm'de, (0.6x0.6), (1x1), (2x2), (3x3), (5x5) ve (10x10) cm² açık alan boyutlarında yapılmıştır.

a. Yüzde Derin Doz Ölçümleri

Yüzde derin doz ölçümleri, 0.125 cm³ PTW Semiflex 31010 iyon odası, 0.015 cm³ PTW Pinpoint 31014 iyon odası, 0.004 mm³ PTW microDiamond 60019 detektörleri ile her bir alan boyutu ve her bir enerji için merkezi eksen boyunca yüzeyden 30 cm derinliğe kadar 0.1 mm adım boyutu ve 0.25 saniye tarama zamanı ile gerçekleştirilmiştir. PTW Semiflex 31010 iyon odası için (2x2), (3x3), (5x5) ve (10x10) cm² alan boyutlarında ve PTW Pinpoint 31014 iyon odası için (3x3), (5x5) ve (10x10) cm² alan boyutlarında yapılan ölçümlerde referans detektör olarak bir diğer 0.125 cm³ PTW Semiflex 31010 silindirik iyon odası kullanılmıştır. PTW Microdiamond 60019 detektör ile alınan ölçümlerde referans iyon odası kullanılmamıştır. PTW Semiflex 31010 iyon odası ile alınan ölçümlerde +300 V, PTW Pinpoint 31014 iyon odası ile alınan ölçümlerde +400 V'luk bias voltajı uygulanırken PTW Microdiamond 60019 detektör ile alınan ölçümlerde detektörün doğası gereği bias voltajı uygulanmamıştır. Alınan ölçümlere pürüzsüzleştirme ve maksimum doza normalizasyon işlemleri yapılmıştır.

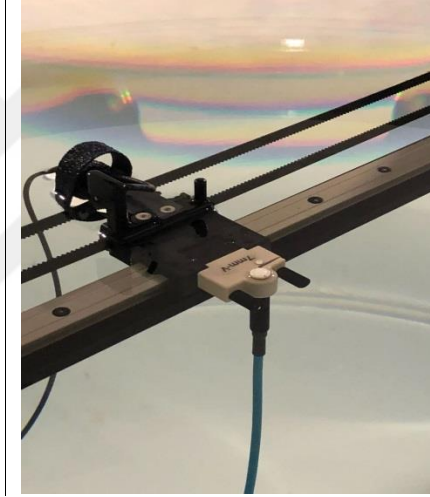


Resim 5.2.1.1. PTW Pinpoint 31014 ve referans detektör PTW Semiflex 31010 iyon odaları ile PDD ölçümü

b. Profil Ölçümleri

Profil ölçümlerine başlanmadan önce su fantomu kurulumundan sonra bir kez ölçüm alınarak SNC Dosimetry™ Scanning yazılımı ile merkez kontrolü yapıldıktan sonra 0.125 cm^3 PTW Semiflex 31010 iyon odası, 0.015 cm^3 PTW Pinpoint 31014 iyon odası, 0.004 mm^3 PTW microDiamond 60019 detektörleri ile her bir alan boyutu ve her bir enerji için 3 farklı derinlikte (dmaks, 5 ve 10 cm) gerçekleştirilmiştir. Ölçümler crossline düzleminde, 0.1 mm adım boyutu ve 0.25 saniye tarama zamanı ile yapılmıştır. PTW Semiflex 31010 iyon odası için (2x2), (3x3), (5x5) ve (10x10) cm^2 alan boyutlarında ve PTW Pinpoint 31014 iyon odası için (3x3), (5x5) ve (10x10) cm^2 alan boyutlarında yapılan ölçümlerde referans detektör olarak bir diğer 0.125 cm^3 PTW Semiflex 31010 silindirik iyon odası kullanılmıştır. PTW Microdiamond 60019 detektör ile alınan ölçümlerde referans iyon odası kullanılmamıştır. PTW Semiflex 31010 iyon odası ile alınan ölçümlerde +300 V, PTW Pinpoint 31014 iyon odası ile alınan ölçümlerde +400 V'luk bias voltajı uygulanırken PTW Microdiamond 60019 detektör ile alınan ölçümlerde

detektörün doğası gereği bias voltajı uygulanmamıştır. Alınan ölçümlere pürüzsüzleştirme ve merkezi eksene normalizasyon işlemleri yapılmıştır. Ölçüm alınan cihazın mekanik kontrolü için PTW Semiflex 31010 iyon odası ile alınan ölçümlerde, çene açıklıkları geniş bir alandan ölçüm alınacak alan boyutuna getirilerek ölçüm alındıktan sonra çene açıklıkları daha küçük bir alan boyutundan tekrar ölçüm alınacak alan boyutuna getirilerek ikinci kez ölçüm alınmıştır. Dmaks derinliğinde alınan ölçümlerde, dmaks derinlikleri her detektör için (2x2) cm² lik alan boyutunda yüzde derin doz eğrisinden elde edilen maksimum doz derinliği seçilmiştir.



Resim 5.2.1.2. PTW 60019 Microdiamond detektörü ile alınan profil ölçümü

c. Output Ölçümleri

Yüzde derin doz ve profil ölçümlerinin tamamlanmasının ardından SNC Dosimetry™ Scanning yazılımında yer alan doz ölçümü programı ile 0.125 cm³ PTW Semiflex 31010 iyon odası, 0.015 cm³ PTW Pinpoint 31014 iyon odası, 0.004 mm³ PTW microDiamond 60019 detektörleri kullanılarak her bir enerji ve her bir alan boyutunda referans derinlik olarak 10 cm derinlikte 100 MU vererek merkezde doz okumaları gerçekleştirilmiştir. Her detektör ile farklı alan boyutlarında alınan ölçüm değerlerinin, 10x10 cm² referans alan boyutunda alınan ölçüme oranlanması ile doz verimi faktörleri elde edilmiştir. Elde edilen alan boyutuna göre doz verimi okumalarının ardından detektörlerin ortalama okuma miktarları karşılaştırılmıştır.

6. BULGULAR

6.1. Lateral Yüklü Parçacık Dengesinin Oluşabilmesi İçin Detektörlere Özgü Gerekli Olan Minimum Alan Boyutu Büyüklüklerinin Hesaplanması

$$FWHM \geq 2 r_{LCPE} + d$$

$$FWHM = 2 r_{LCPE} + d_r \quad (d_r > d_t \text{ ise})$$

$$FWHM = 2 r_{LCPE} + d_t \quad (d_t > d_r \text{ ise})$$

$$d_t = \ell + t_{\text{wall}}$$

d_t : longitudinal yönde detektör boyutu

$$d_r = 2(r + t_{\text{wall}})$$

d_r : Radyal detektör boyutu

r: Kavite yarıçapı

ℓ : Kavite uzunluğu

$$r_{LCPE} \cong 8.396 \times TPR_{20}^{10} - 4.382$$

Tablo 6.1. TPS TPR_{20}^{10} değerleri

Enerji	TPR_{20}^{10}
6 MV	0,661579
6 FFF	0,626845
10 MV	0,734718
10 FFF	0,700565

Tablo 6.2. TPS r_{LCPE} değerleri

Enerji	r_{LCPE}
6 MV	1,172617284 cm
6 FFF	0,88099062 cm
10 MV	1,786692328 cm
10 FFF	1,49994374 cm

PTW Semiflex 31010 :

$$d_t = 7.05 \text{ mm}$$

$$d_r = 6.6 \text{ mm}$$

$$d_t > d_r$$

PTW Pinpoint 31014

$$d_t = 5.57 \text{ mm}$$

$$d_r = 4.04 \text{ mm}$$

$$d_t > d_r$$

PTW Microdiamond 60019

$$d_t = 1.001 \text{ mm}$$

$$d_r = 4.2 \text{ mm}$$

$$d_r > d_t$$

PTW Semiflex 31010

$$\text{ENERJİ} \quad \text{FWHM} \geq 2 r_{LCPE} + d$$

$$6 \text{ MV} \quad 23.45 + 7.05 \geq 30.5 \text{ mm} \geq 3.05 \text{ cm}$$

$$6 \text{ FFF} \quad 17.62 + 7.05 \geq 24.67 \text{ mm} \geq 2.46 \text{ cm}$$

$$10 \text{ MV} \quad 35.73 + 7.05 \geq 42.78 \text{ mm} \geq 4.27 \text{ cm}$$

$$10 \text{ FFF} \quad 30.00 + 7.05 \geq 37.05 \text{ mm} \geq 3.7 \text{ cm}$$

PTW Pinpoint 31014

ENERJİ	$FWHM \geq 2 r_{LCPE} + d$
6 MV	$23.45 + 5.57 \geq 29.02 \text{ mm} \geq 2.9 \text{ cm}$
6 FFF	$17.62 + 5.57 \geq 23.19 \text{ mm} \geq 2.32 \text{ cm}$
10 MV	$35.73 + 5.57 \geq 41.3 \text{ mm} \geq 4.13 \text{ cm}$
10 FFF	$30.00 + 5.57 \geq 35.57 \text{ mm} \geq 3.56 \text{ cm}$

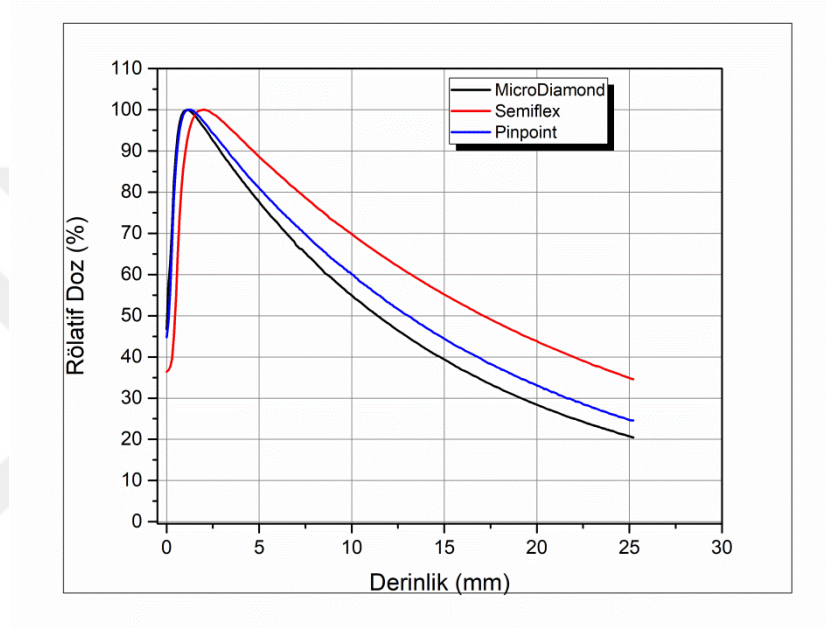
PTW Microdiamond 60019

ENERJİ	$FWHM \geq 2 r_{LCPE} + d$
6 MV	$23.45 + 4.2 \geq 27.65 \text{ mm} \geq 2.76 \text{ cm}$
6 FFF	$17.62 + 4.2 \geq 21.82 \text{ mm} \geq 2.18 \text{ cm}$
10 MV	$35.73 + 4.2 \geq 39.93 \text{ mm} \geq 3.99 \text{ cm}$
10 FFF	$30.00 + 4.2 \geq 34.2 \text{ mm} \geq 3.42 \text{ cm}$

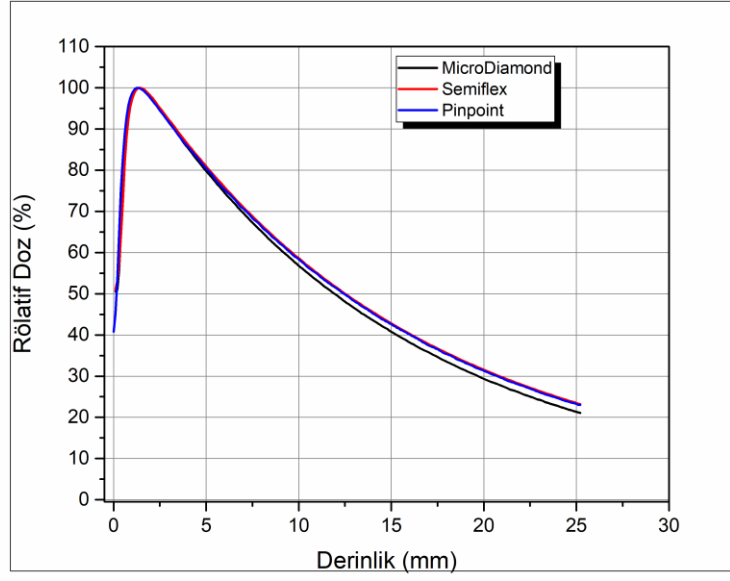
6.2. Su Fantomu Ölçümleri

6.2.1. PDD ölçümleri

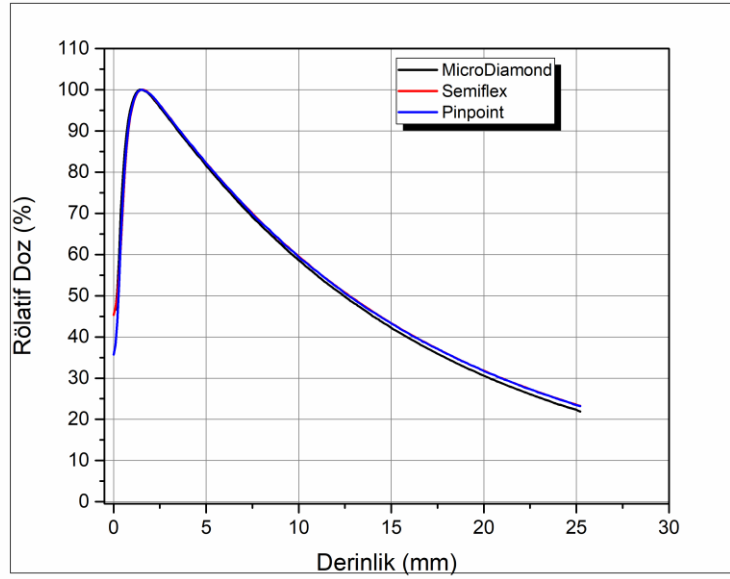
6.2.1.1. 6 MV PDD grafikleri;



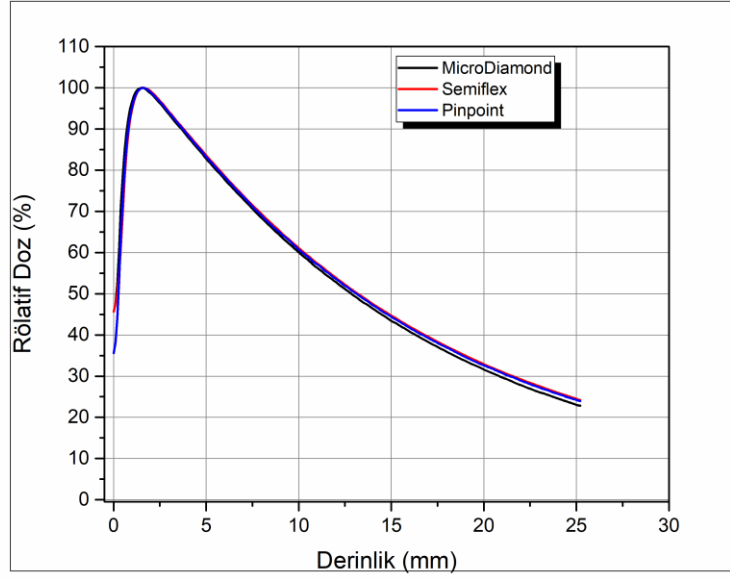
Şekil 6.2.1.1. 6 MV 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



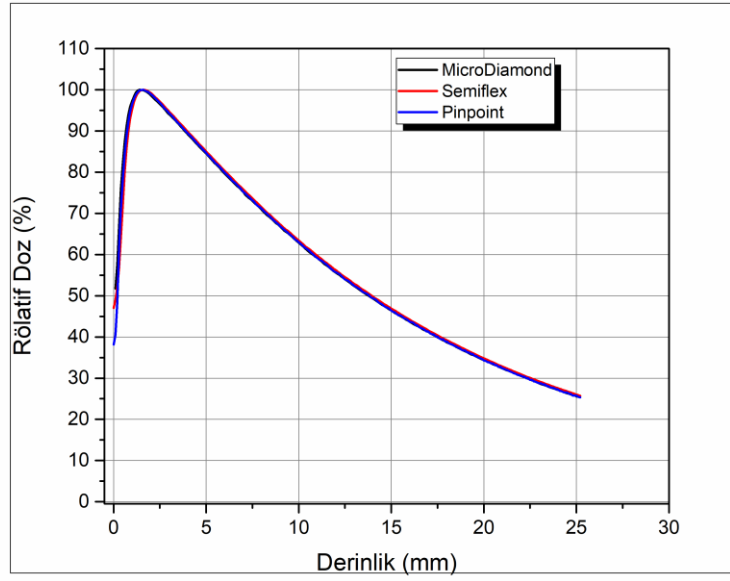
Şekil 6.2.1.2. 6 MV 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



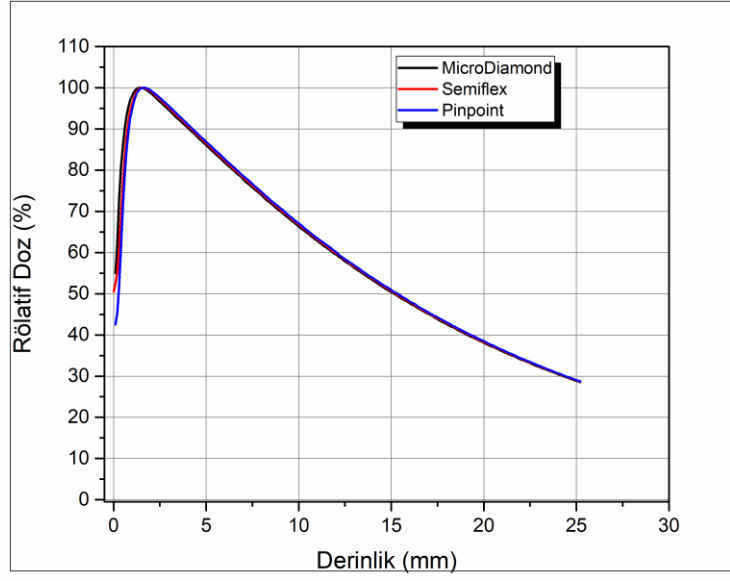
Şekil 6.2.1.3. 6 MV 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.4. 6 MV 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.5. 6 MV 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.6. 6 MV 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi

Tablo 6.2.1.1. 6 MV enerji giriş dozu değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	46.68	44.81	4.01	36.42	21.98
1x1	50.59	40.77	19.41	51.05	-0.91
2x2	46.58	35.75	23.25	45.33	2.68
3x3	47.56	35.58	25.19	45.64	4.04
5x5	51.71	38.17	26.18	47.07	8.97
10x10	55.01	42.52	22.70	50.57	8.07

Tablo 6.2.1.2. 6 MV enerji dmaks değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	1.1	1.19	-8.18	1.4	-27.27
1x1	1.4	1.3	7.14	1.4	0.00
2x2	1.5	1.49	0.67	1.59	-6.00
3x3	1.5	1.6	-6.67	1.6	-6.67
5x5	1.4	1.6	-14.29	1.6	-14.29
10x10	1.5	1.6	-6.67	1.6	-6.67

Tablo 6.2.1.3. 6 MV enerji 5 cm derinlikteki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	77.69	80.99	-4.25	81.91	-5.43
1x1	79.82	80.45	-0.79	80.98	-1.45
2x2	81.59	82.21	-0.76	82.26	-0.82
3x3	82.81	83.27	-0.56	83.61	-0.97
5x5	84.57	84.72	-0.18	85.09	-0.61
10x10	86.14	86.93	-0.92	86.57	-0.50

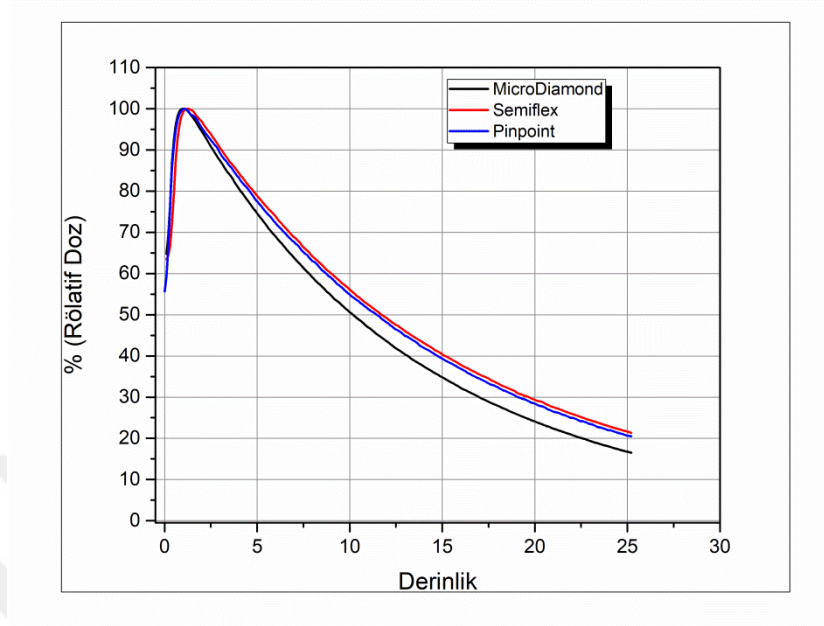
Tablo 6.2.1.4. 6 MV enerji 10 cm derinlikteki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	54.92	60.03	-9.30	60.59	-10.32
1x1	56.81	58.36	-2.73	58.65	-3.24
2x2	58.63	59.45	-1.40	59.57	-1.60
3x3	60.07	60.71	-1.07	61.14	-1.78
5x5	62.87	63.06	-0.30	63.44	-0.91
10x10	66.31	67.09	-1.18	66.8	-0.74

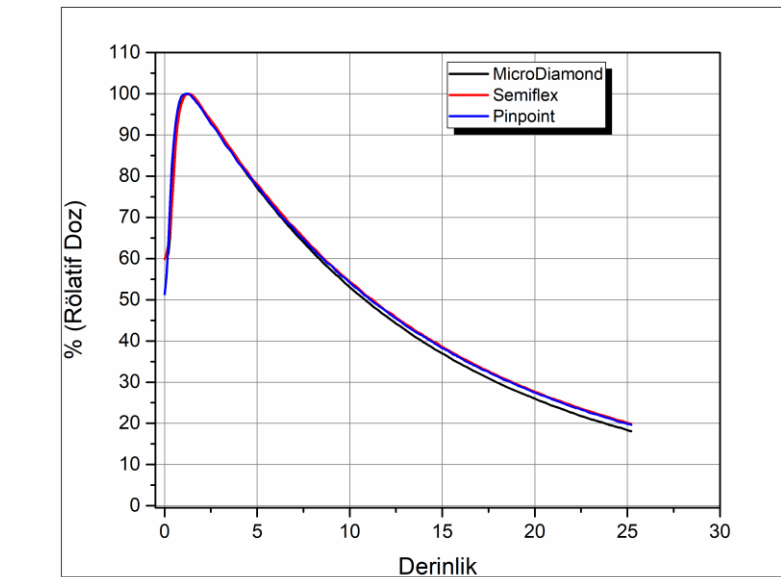
Tablo 6.2.1.5. 6 MV enerji 20 cm derinlikteki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	28.39	33.02	-16.31	33.78	-18.99
1x1	29.36	31.29	-6.57	31.58	-7.56
2x2	30.57	31.74	-3.83	31.82	-4.09
3x3	31.61	32.62	-3.20	32.94	-4.21
5x5	34.33	34.42	-0.26	34.86	-1.54
10x10	38.12	38.53	-1.08	38.29	-0.45

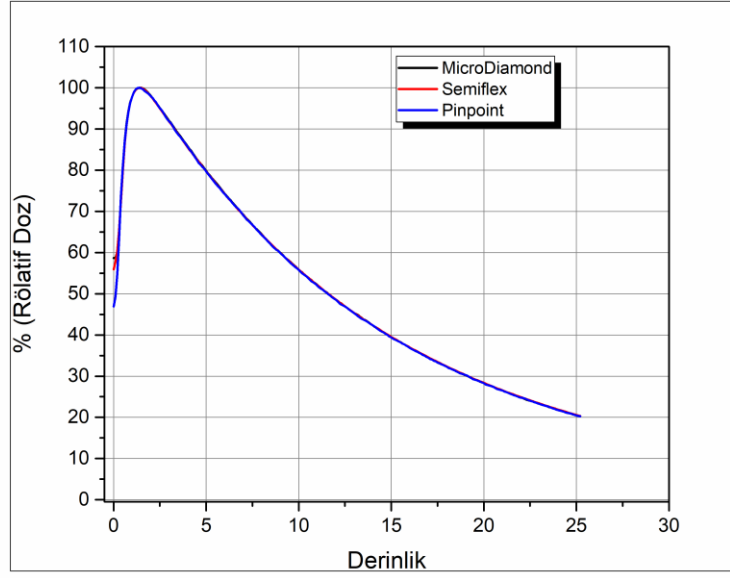
6.2.1.2. 6 FFF PDD Grafikleri;



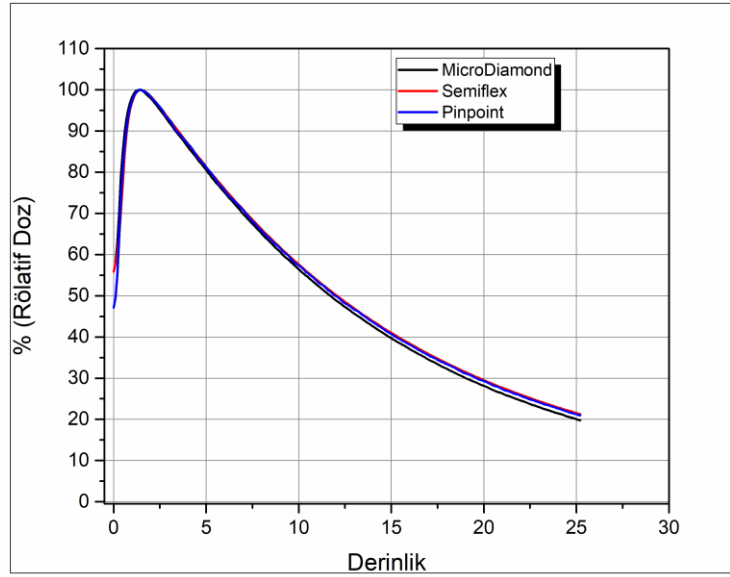
Şekil 6.2.1.7. 6 FFF 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



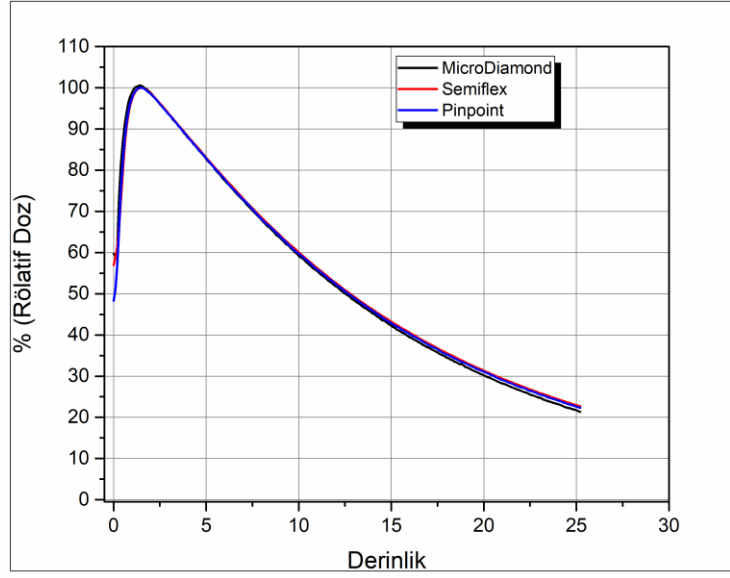
Şekil 6.2.1.8. 6 FFF 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



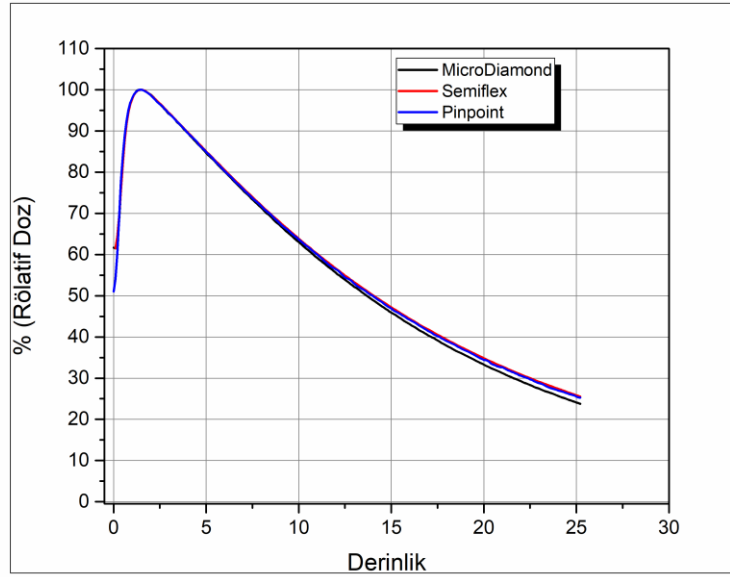
Şekil 6.2.1.9. 6 FFF 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.10. 6 FFF 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.11. 6 FFF 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.12. 6 FFF 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi

Tablo 6.2.1.6. 6 FFF enerji giriş dozu değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	64.79	55.65	14.11	63.47	2.04
1x1	60.8	51.34	15.56	59.88	1.51
2x2	58.66	46.91	20.03	55.93	4.65
3x3	58.08	47.1	18.90	55.88	3.79
5x5	59.65	48.29	19.04	56.98	4.48
10x10	61.67	51.07	17.19	61.52	0.24

Tablo 6.2.1.7. 6FFF enerji dmaks değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	1	1.1	-10.00	1.3	-30.00
1x1	1.2	1.2	0.00	1.3	-8.33
2x2	1.5	1.4	6.67	1.4	6.67
3x3	1.4	1.5	-7.14	1.5	-7.14
5x5	1.2	1.5	-25.00	1.5	-25.00
10x10	1.4	1.4	0.00	1.5	-7.14

Tablo 6.2.1.8. 6FFF enerji 5 cm derinlikteki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	74.65	77.55	-3.88	78.9	-5.69
1x1	77.18	77.62	-0.57	78.1	-1.19
2x2	79.86	79.71	0.19	79.76	0.13
3x3	80.55	81.26	-0.88	81.32	-0.96
5x5	82.78	82.91	-0.16	83.06	-0.34
10x10	84.69	84.96	-0.32	85.09	-0.47

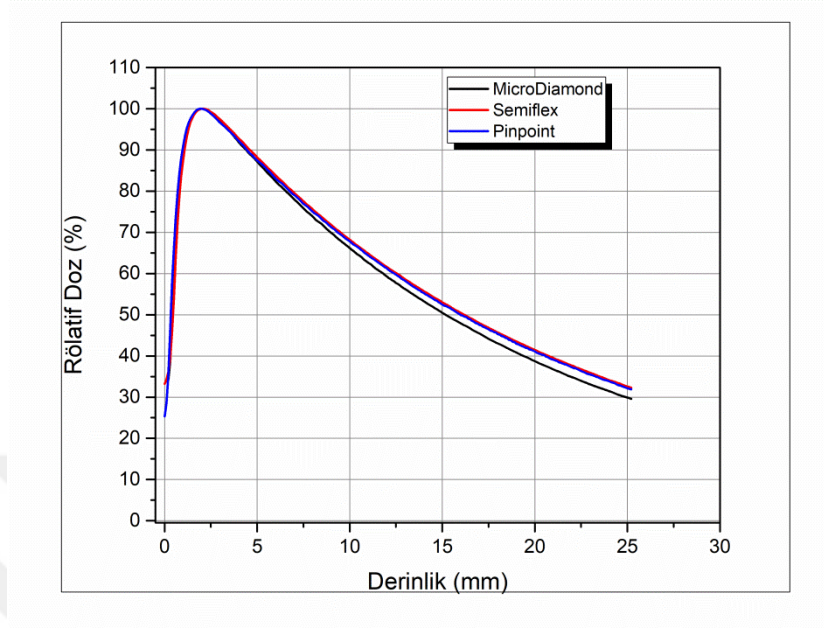
Tablo 6.2.1.9. 6FFF enerji 10 cm derinlikteki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	50.63	54.9	-8.43	56.09	-10.78
1x1	53.05	54.16	-2.09	54.43	-2.60
2x2	55.87	55.77	0.18	55.88	-0.02
3x3	56.42	57.33	-1.61	57.63	-2.14
5x5	59.18	59.72	-0.91	60.06	-1.49
10x10	63.03	63.69	-1.05	63.89	-1.36

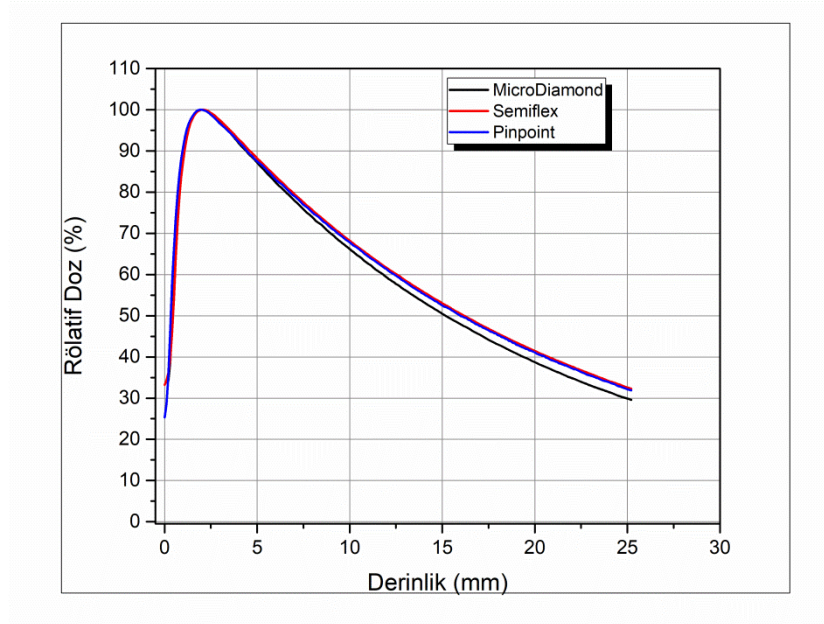
Tablo 6.2.1.10. 6 FFF enerji 20 cm derinlikteki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	24.07	29.34	-21.89	28.39	-17.95
1x1	26	27.74	-6.69	27.44	-5.54
2x2	28.29	28.38	-0.32	28.3	-0.04
3x3	28.13	29.55	-5.05	29.3	-4.16
5x5	30.25	31.37	-3.70	31.02	-2.55
10x10	33.29	34.87	-4.75	34.4	-3.33

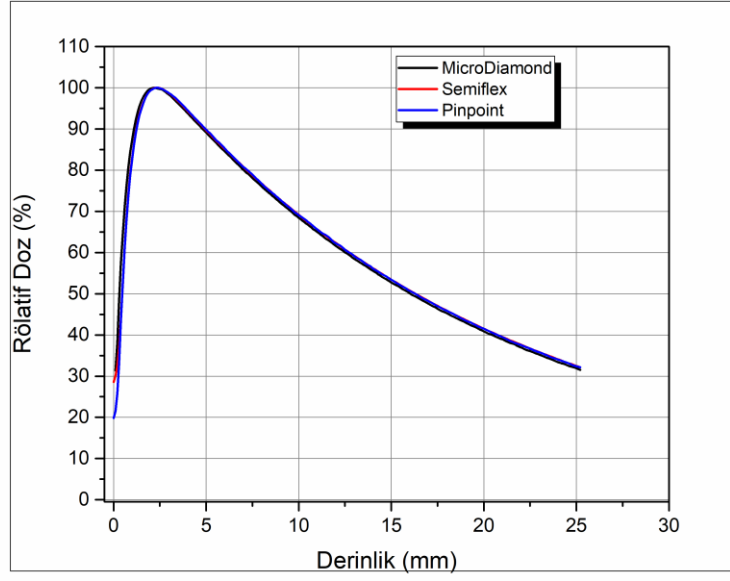
6.2.1.3. 10 MV PDD grafikleri



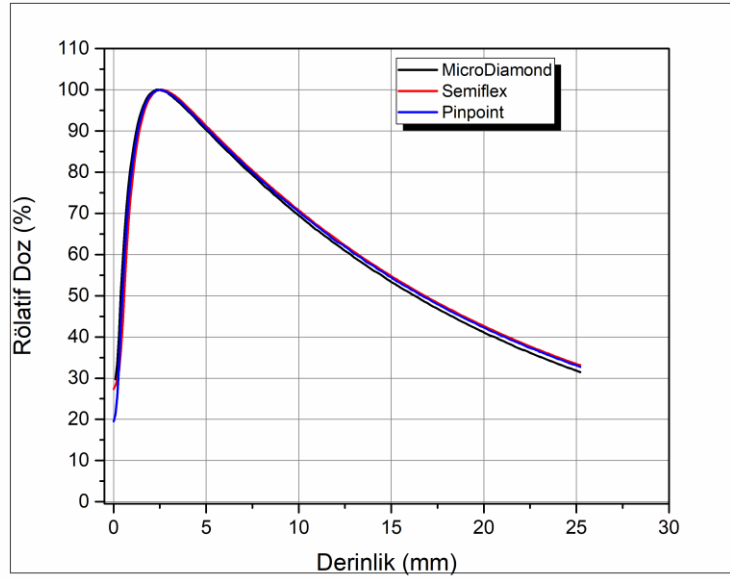
Şekil 6.2.1.13. 10 MV 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



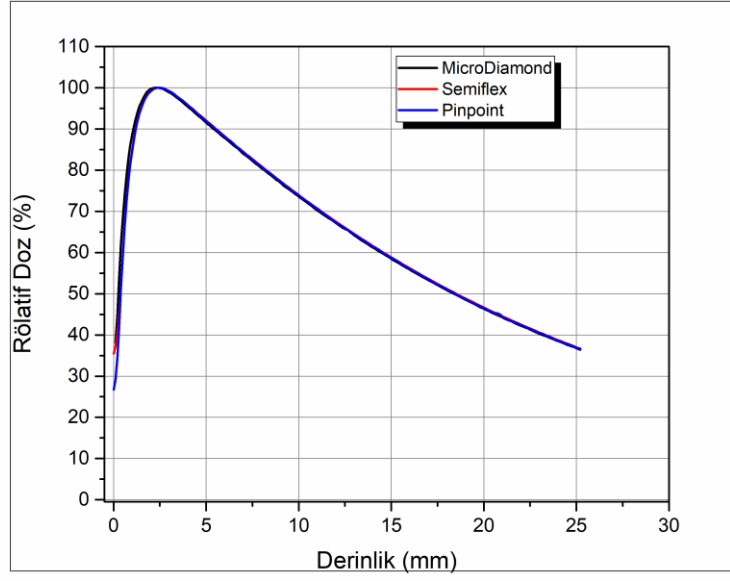
Şekil 6.2.1.14. 10 MV 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



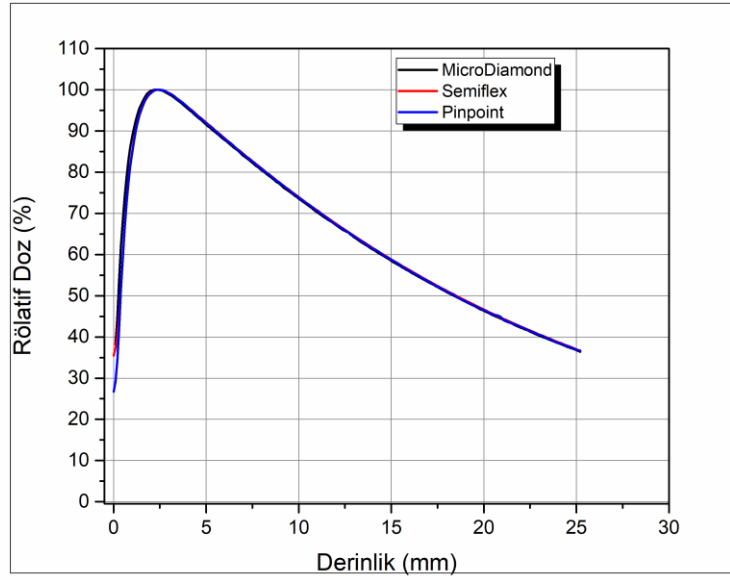
Şekil 6.2.1.15. 10 MV 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.16. 10 MV 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.17. 10 MV 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.18. 10 MV 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi

Tablo 6.2.1.11. 10 MV enerji giriş dozu değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	23.46	30.70	-30.86	30.70	-30.86
1x1	33.92	30.70	9.49	30.70	9.49
2x2	31.34	30.70	2.04	30.70	2.04
3x3	29.73	19.53	34.31	27.32	8.11
5x5	33.93	21.38	36.99	29.86	12.00
10x10	38.11	26.73	29.86	35.46	6.95

Tablo 6.2.1.12. 10 MV enerjisi dmaks değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	1.5	1.8	-20.00	2	-33.33
1x1	2	1.99	0.50	2	0.00
2x2	2.2	2.4	-9.09	2.3	-4.55
3x3	2.4	2.49	-3.75	2.6	-8.33
5x5	2.5	2.5	0.00	2.6	-4.00
10x10	2.4	2.5	-4.17	2.4	0.00

Tablo 6.2.1.13. 10 MV enerjisi 5 cm derinliğindeki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	84.49	87.76	-3.87	88.64	-4.91
1x1	87.16	87.53	-0.42	88.28	-1.28
2x2	89.17	89.85	-0.76	89.69	-0.58
3x3	90.32	90.81	-0.54	91.25	-1.03
5x5	91.24	91.56	-0.35	91.56	-0.35
10x10	91.57	91.97	-0.44	92.08	-0.56

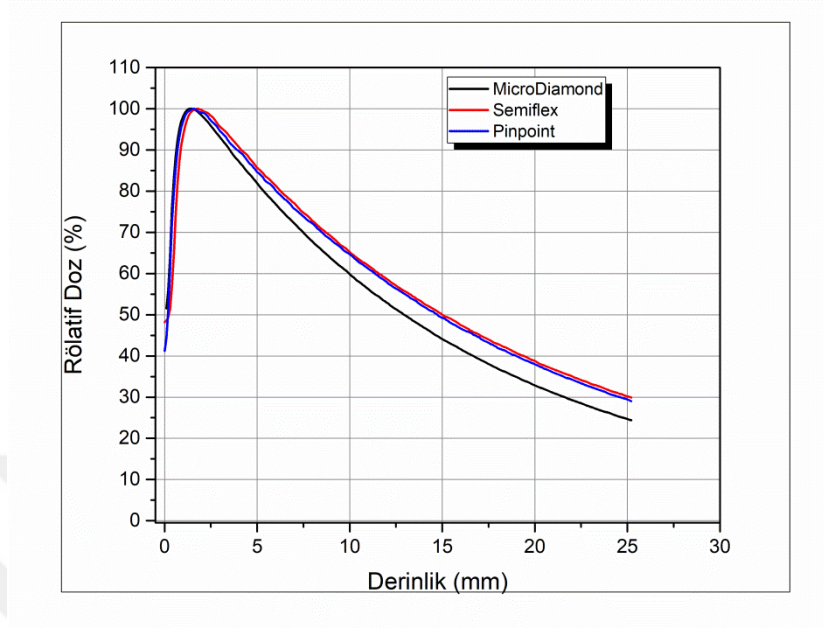
Tablo 6.2.1.14. 10 MV enerjisi 10 cm derinliğindeki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	63.95	69.1	-8.05	69.8	-9.15
1x1	66.16	67.81	-2.49	68.22	-3.11
2x2	68.43	69.08	-0.95	69.16	-1.07
3x3	69.51	70.37	-1.24	70.77	-1.81
5x5	71.54	71.94	-0.56	71.86	-0.45
10x10	73.58	73.88	-0.41	73.98	-0.54

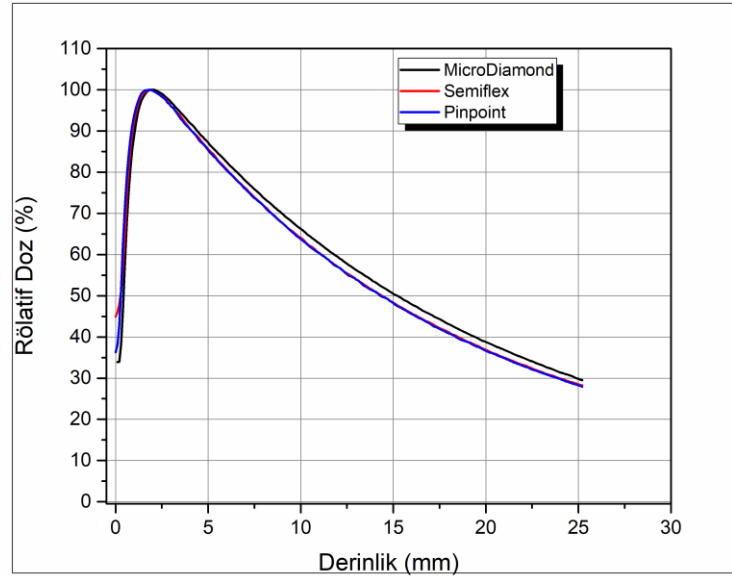
Tablo 6.2.1.15. 10 MV enerjisi 20 cm derinliğindeki doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	37.31	42.99	-15.22	43.84	-17.50
1x1	38.72	41.12	-6.20	41.48	-7.13
2x2	40.88	41.54	-1.61	41.53	-1.59
3x3	41.12	42.29	-2.85	42.68	-3.79
5x5	43.5	43.75	-0.57	43.75	-0.57
10x10	46.33	46.58	-0.54	46.67	-0.73

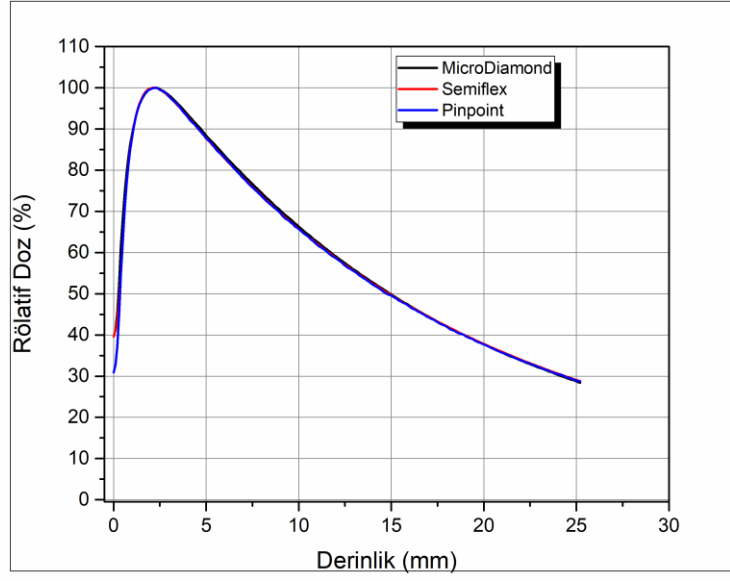
6.2.1.4. 10 FFF PDD Grafikleri;



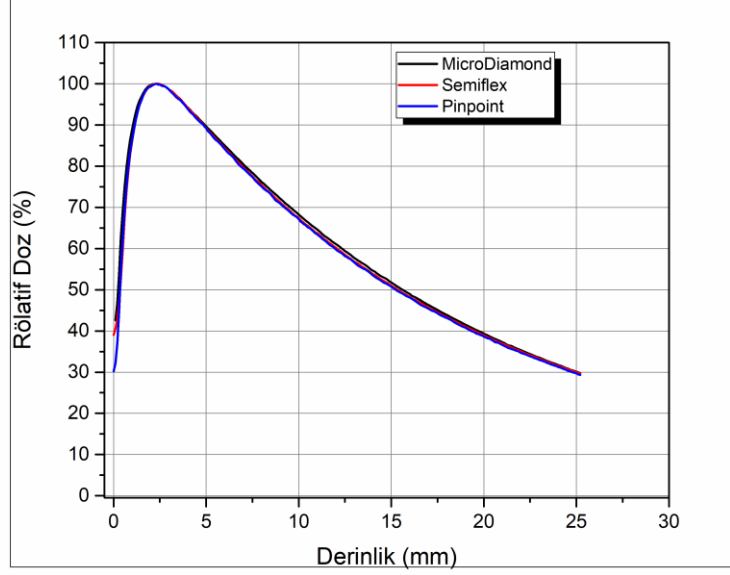
Şekil 6.2.1.19. 10 FFF 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



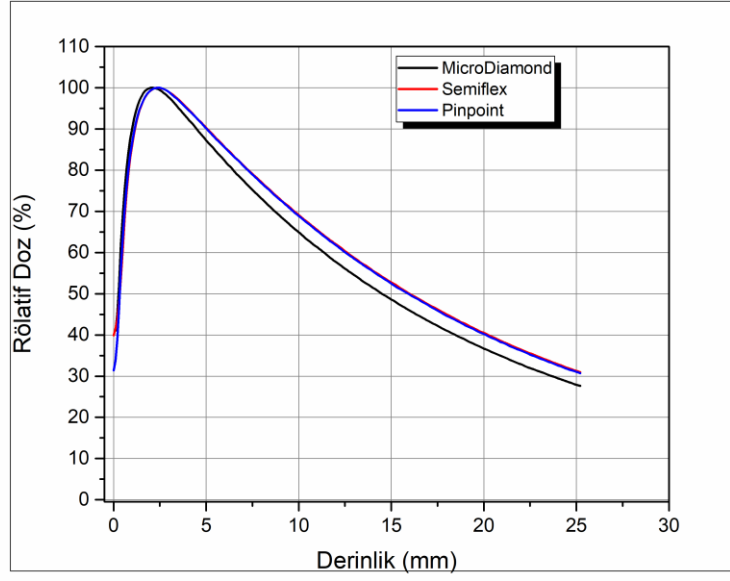
Şekil 6.2.1.20. 10 FFF 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



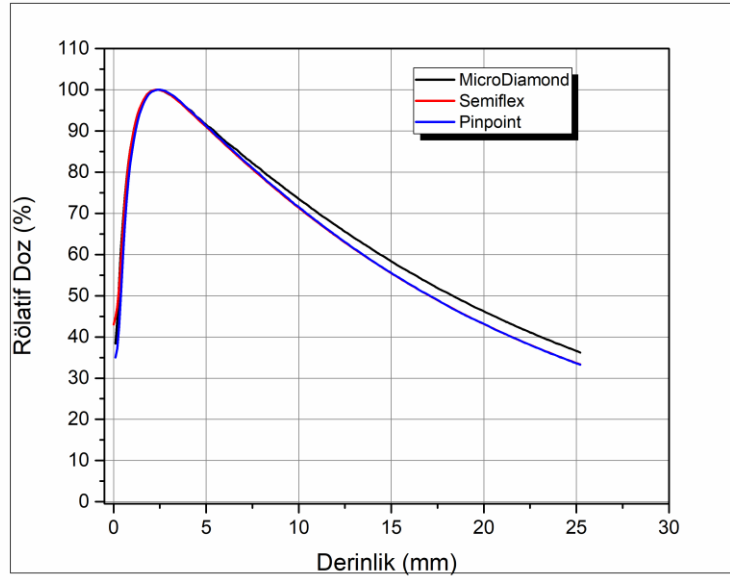
Şekil 6.2.1.21. 10 FFF 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.22. 10 FFF 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.23. 10 FFF 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi



Şekil 6.2.1.24. 10 FFF 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün PDD eğrisi

Tablo 6.2.1.16. 10 FFF enerji giriş dozu değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	51.56	41.2	20.09	48.18	6.56
1x1	33.9	36.31	-7.11	44.91	-32.48
2x2	41.2	30.89	25.02	39.58	3.93
3x3	42.59	30.25	28.97	39.06	8.29
5x5	41.05	31.43	23.43	39.91	2.78
10x10	38.43	35.06	8.77	43.05	-12.02

Tablo 6.2.1.17. 10 FFF enerjisi dmaks değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	1.4	1.6	-14.29	1.8	-28.57
1x1	1.9	1.8	5.26	1.9	0.00
2x2	2.1	2.3	-9.52	2.2	-4.76
3x3	2.3	2.3	0.00	2.4	-4.35
5x5	2.3	2.4	-4.35	2.4	-4.35
10x10	2.4	2.5	-4.17	2.4	0.00

Tablo 6.2.1.18. 10 FFF enerjisi 5 cm derinlik için doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	81.95	84.64	-3.28	85.72	-4.60
1x1	87.17	85.36	2.08	85.61	1.79
2x2	87.28	87.71	-0.49	87.8	-0.60
3x3	88.47	89.22	-0.85	89.23	-0.86
5x5	89.7	90.17	-0.52	90.3	-0.67
10x10	91.55	91.25	0.33	91.04	0.56

Tablo 6.2.1.19. 10 FFF enerjisi 10 cm derinlik için doz değerleri

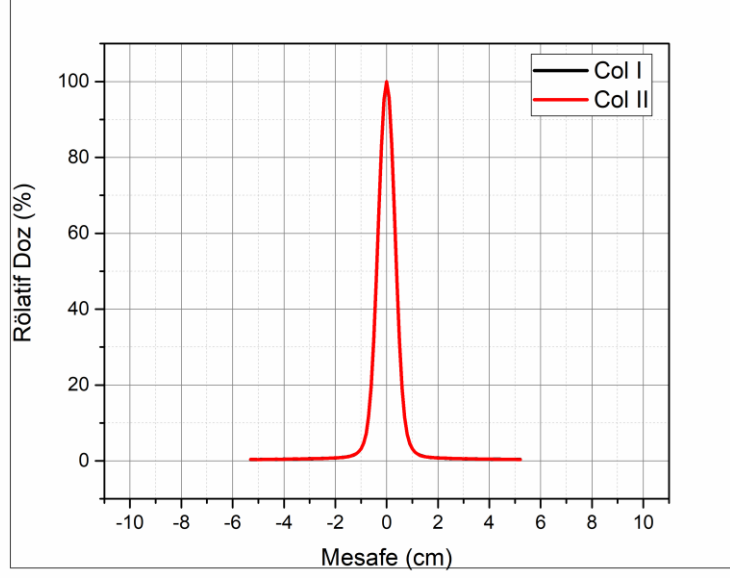
Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	59.85	64.67	-8.05	65.23	-8.99
1x1	66.21	63.71	3.78	64.09	3.20
2x2	64.94	65.66	-1.11	65.76	-1.26
3x3	66.28	67.14	-1.30	67.42	-1.72
5x5	68.25	68.88	-0.92	69.13	-1.29
10x10	73.5	71.53	2.68	71.35	2.93

Tablo 6.2.1.20. 10 FFF enerjisi 20 cm derinlik için doz değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	32.84	37.96	-15.59	38.76	-18.03
1x1	38.77	36.61	5.57	36.92	4.77
2x2	36.69	37.68	-2.70	37.86	-3.19
3x3	37.67	38.61	-2.50	38.96	-3.42
5x5	39.37	40.25	-2.24	40.51	-2.90
10x10	46.22	43.18	6.58	43.14	6.66

6.2.2 Profil Ölçümleri

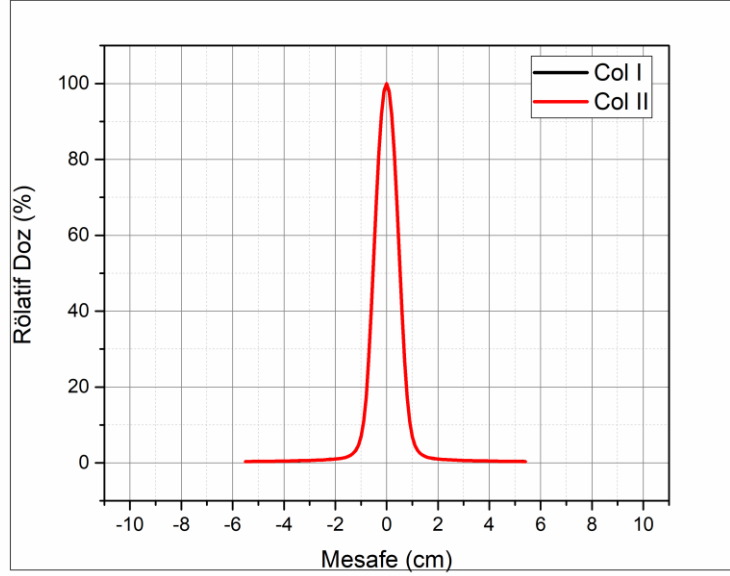
6.2.2.1 PTW Semiflex 31010 İyon Odası İle Kolimatörün Mekanik Kontrollerinin Gerçekleştirilmesi



Şekil 6.2.2.1. 6 MV enerji 0.6x0.6 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil

Tablo 6.2.2.1. 6 MV enerji 0.6x0.6 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri

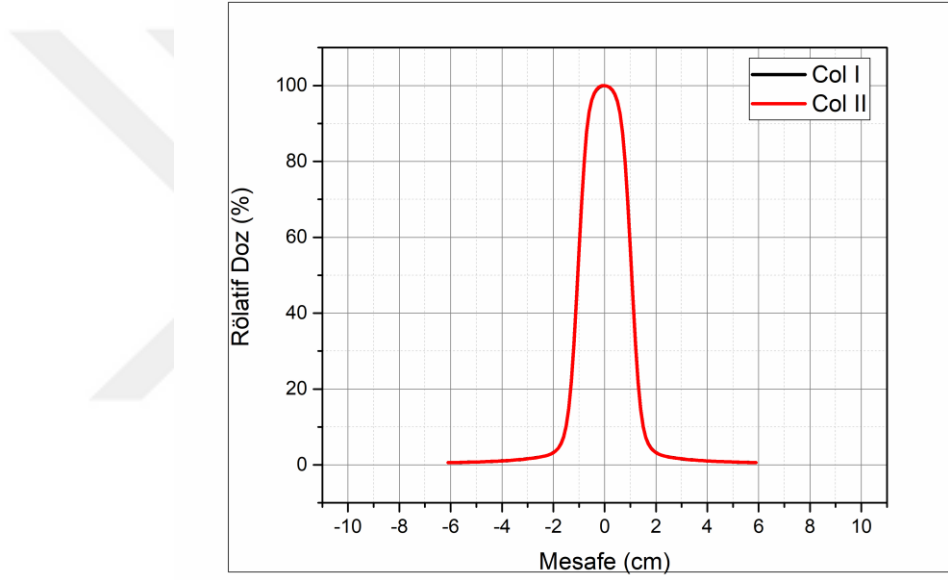
6 MV (derinlik: 10 cm)		Kolimatör Ayarları I	Kolimatör Ayarları II	I-II (%)
0.6x0.6	Düzlük (%)	28.68	28.7	-0.07
	Simetri (%)	0.6	0.65	-8.33
	Sol Penumbra (cm)	0.149	0.149	0.00
	Sağ Penumbra (cm)	0.371	0.371	0.00
	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	0.887	0.889	-0.23



Şekil 6.2.2.2. 6 MV enerji 1x1 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil

Tablo 6.2.2.2. 6 MV enerji 1x1 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri

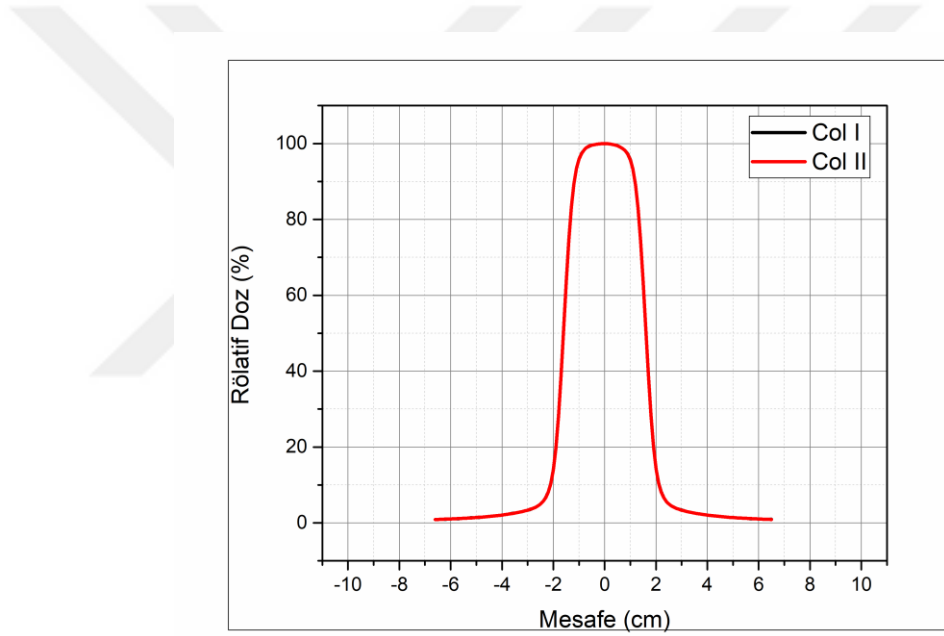
6 MV (derinlik: 10 cm)		Kolimatör Ayarları I	Kolimatör Ayarları II	I-II (%)
1x1	Düzlük (%)	23.38	22.07	5.60
	Simetri (%)	0.21	0.06	71.43
	Sol Penumbra (cm)	0.451	0.45	0.22
	Sağ Penumbra (cm)	0.453	0.452	0.22
	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	1.113	1.083	2.70



Şekil 6.2.2.3. 6 MV enerji 2x2 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil

Tablo 6.2.2.3. 6 MV enerji 2x2 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri

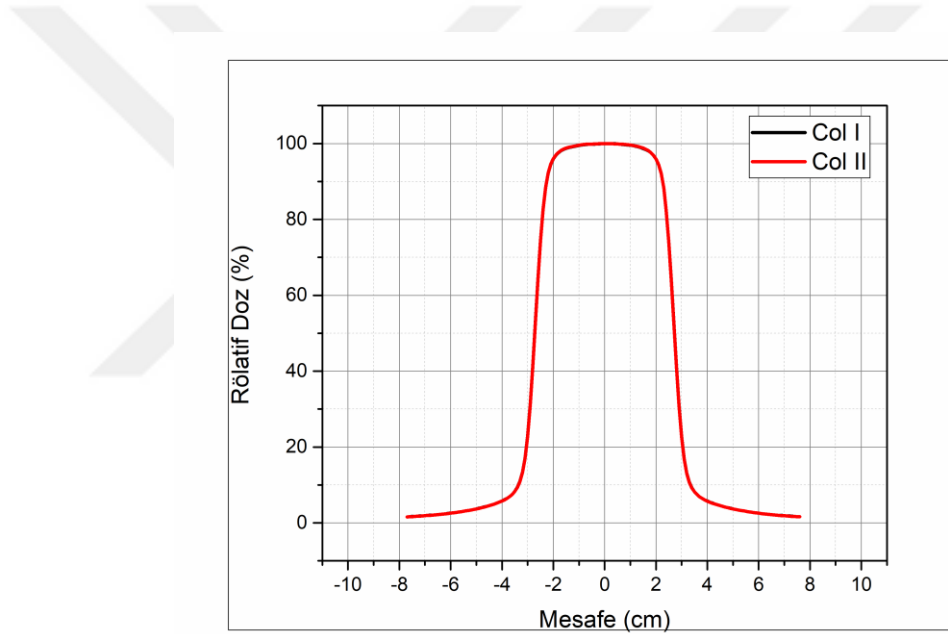
6 MV (derinlik: 10 cm)		Kolimatör Ayarları I	Kolimatör Ayarları II	I-II (%)
2x2	Düzlük (%)	14.21	14.2	0.07
	Simetri (%)	0.47	0.5	-6.38
	Sol Penumbra (cm)	0.53	0.528	0.38
	Sağ Penumbra (cm)	0.53	0.529	0.19
	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	2.11	2.107	0.14



Şekil 6.2.2.4. 6 MV enerji 3x3 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil

Tablo 6.2.2.4. 6 MV enerji 3x3 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri

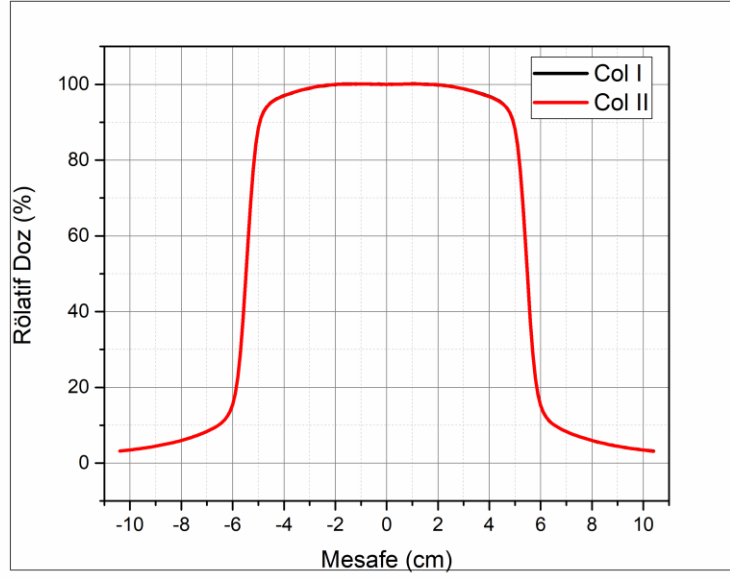
6 MV (derinlik: 10 cm)		Kolimatör Ayarları I	Kolimatör Ayarları II	I-II (%)
3x3	Düzlük (%)	8.8	8.79	0.11
	Simetri (%)	0.3	0.32	-6.67
	Sol Penumbra (cm)	0.555	0.555	0.00
	Sağ Penumbra (cm)	0.562	0.561	0.18
	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	3.219	3.219	0.00



Şekil 6.2.2.5. 6 MV enerji 5x5 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil

Tablo 6.2.2.5. 6 MV enerji 5x5 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri

6 MV (derinlik: 10 cm)		Kolimatör Ayarları I	Kolimatör Ayarları II	I-II (%)
5x5	Düzlük (%)	3.81	3.79	0.52
	Simetri (%)	0.15	0.17	-13.33
	Sol Penumbra (cm)	0.606	0.604	0.33
	Sağ Penumbra (cm)	0.603	0.603	0.00
	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	5.447	5.444	0.06



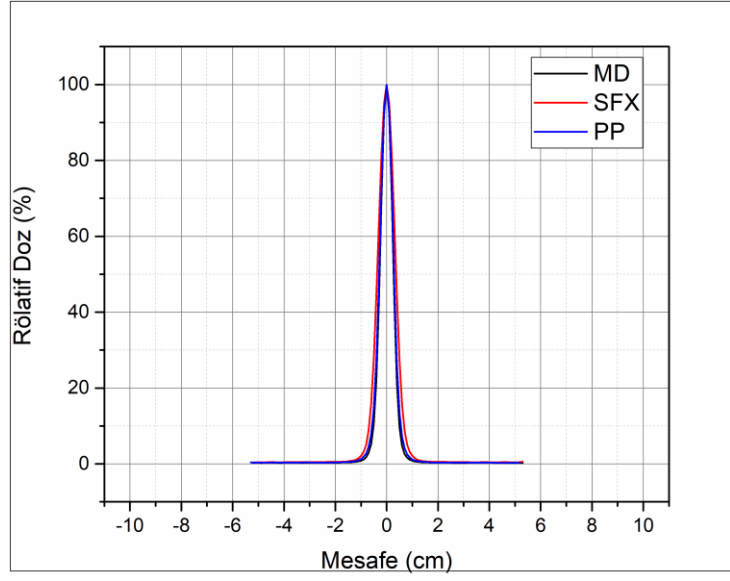
Şekil 6.2.2.6. 6 MV enerji 10x10 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil

Tablo 6.2.2.6. 6 MV enerji 10x10 cm² ile 10 cm derinlikte ikişer kez alınan profil ölçüm değerleri

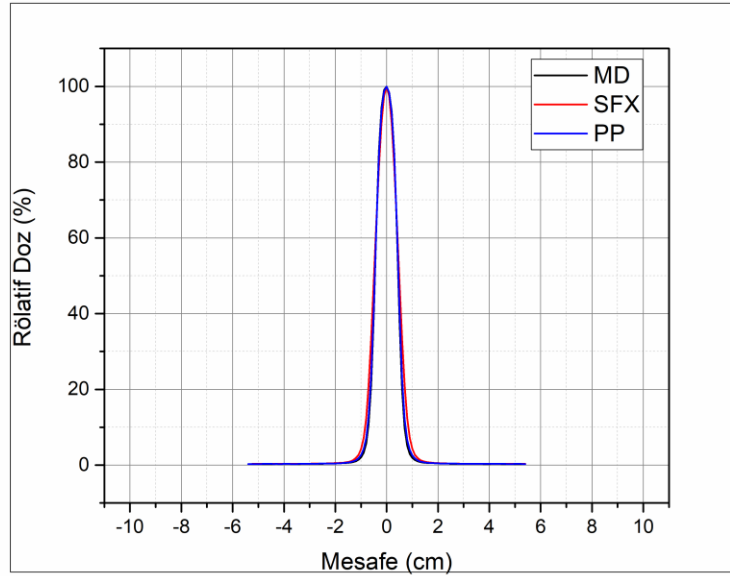
6 MV (derinlik: 10 cm)		Kolimatör Ayarları I	Kolimatör Ayarları II	I-II (%)
10x10	Düzlük (%)	2.34	2.37	-1.28
	Simetri (%)	0.24	0.29	-20.83
	Sol Penumbra (cm)	0.695	0.695	0.00
	Sağ Penumbra (cm)	0.694	0.694	0.00
	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	10.96	10.96	0.00



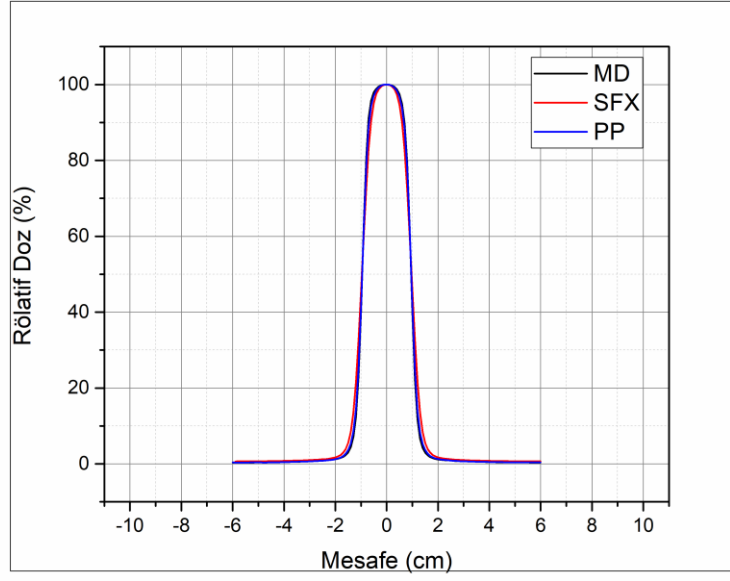
6.2.2.2. 6 MV dmaks (1.5 cm) derinlik için profil eğrileri;



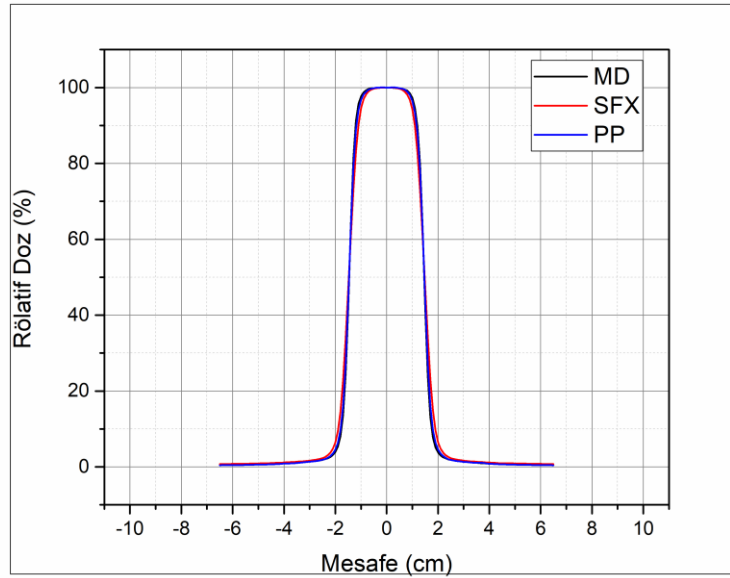
Şekil 6.2.2.7. 6 MV 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri



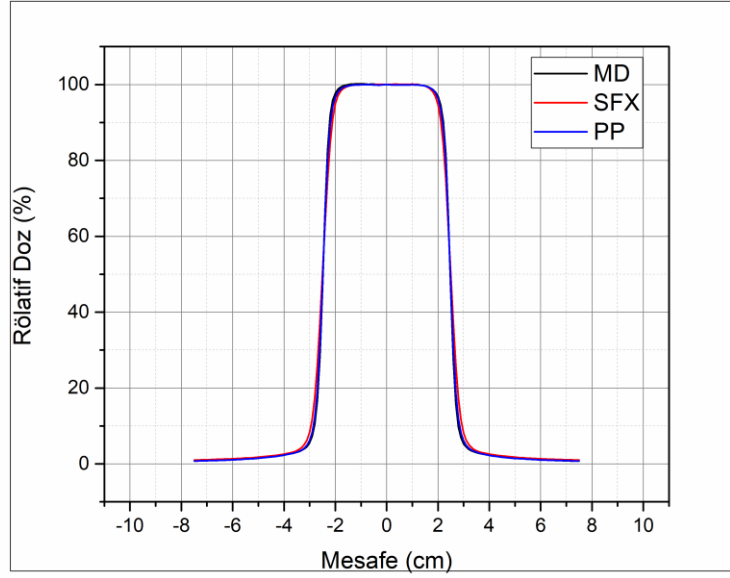
Şekil 6.2.2.8. 6 MV 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri



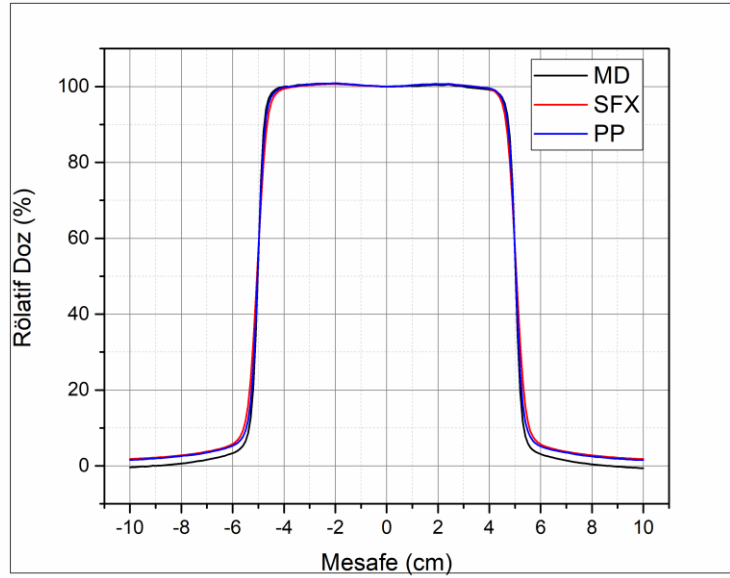
Şekil 6.2.2.9. 6 MV 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.10. 6 MV 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.11. 6 MV 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.12. 6 MV 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliğindeki profil eğrileri

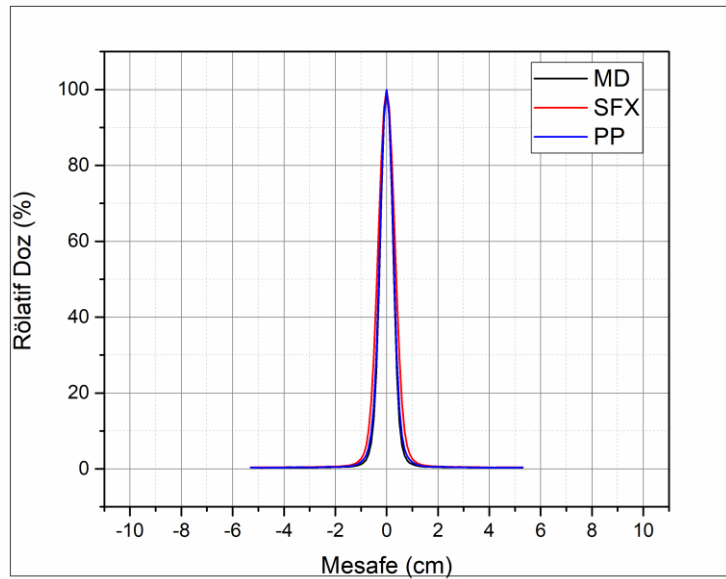
Tablo 6.2.2.7. 6 MV enerji dmaks (1.5 cm) derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

6 MV (derinlik: dmaks)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6 x 0.6	Düzlük (%)	26.2	29.03	-10.80	28.42	-8.47
	Simetri (%)	3.84	0.68	82.29	0.3	92.19
	Sol penumbra (cm)	0.22	0.2	9.09	0.15	31.82
	Sağ penumbra (cm)	0.23	0.28	-21.74	0.35	-52.17
1 x 1	Düzlük (%)	20.04	19.93	0.55	24.38	-21.66
	Simetri (%)	1.09	0.45	58.72	0.02	98.17
	Sol penumbra (cm)	0.2	0.32	-60.00	0.34	-70.00
	Sağ penumbra (cm)	0.28	0.32	-14.29	0.42	-50.00
2x2	Düzlük (%)	8.94	10.23	-14.43	14.41	-61.19
	Simetri (%)	1.37	0.63	54.01	0.43	68.61
	Sol penumbra (cm)	0.32	0.36	-12.50	0.48	-50.00
	Sağ penumbra (cm)	0.32	0.36	-12.50	0.49	-53.13
3x3	Düzlük (%)	4.96	5.58	-12.50	8.59	-73.19
	Simetri (%)	1.05	0.73	30.48	0.36	65.71
	Sol penumbra (cm)	0.33	0.37	-12.12	0.49	-48.48
	Sağ penumbra (cm)	0.33	0.38	-15.15	0.5	-51.52
5x5	Düzlük (%)	1.6	1.8	-12.50	2.86	-78.75
	Simetri (%)	0.83	0.21	74.70	0.37	55.42
	Sol penumbra (cm)	0.3	0.39	-30.00	0.51	-70.00
	Sağ penumbra (cm)	0.3	0.39	-30.00	0.51	-70.00
10x10	Düzlük (%)	0.84	0.67	20.24	0.68	19.05
	Simetri (%)	0.8	0.29	63.75	0.12	85.00
	Sol penumbra (cm)	0.34	0.4	-17.65	0.54	-58.82
	Sağ penumbra (cm)	0.34	0.41	-20.59	0.53	-55.88

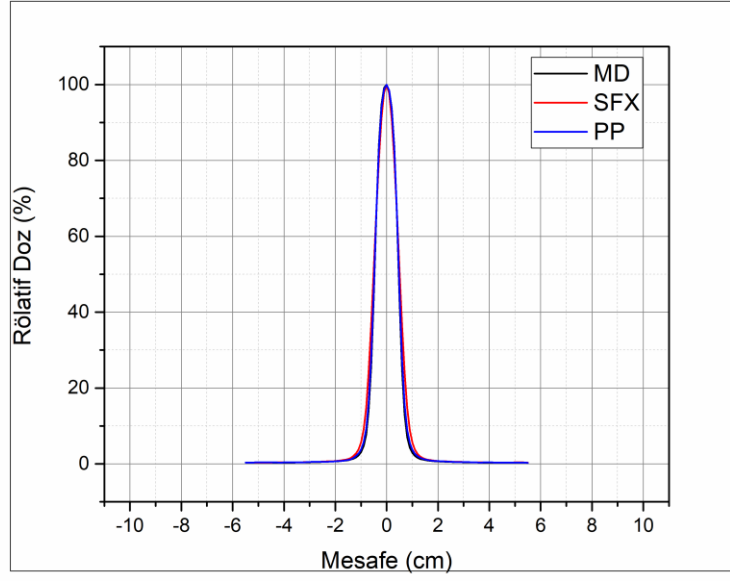
Tablo 6.2.2.8. 6MV için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

6 MV (Derinlik: dmaks)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.62	0.67	-8.06	0.84	-35.48
1x1	0.95	0.94	1.05	1.05	-10.53
2x2	1.91	1.92	-0.52	1.94	-1.57
3x3	2.92	2.93	-0.34	2.96	-1.37
5x5	4.99	4.97	0.40	5.05	-1.20
10x10	10.05	10.06	-0.10	10.11	-0.60

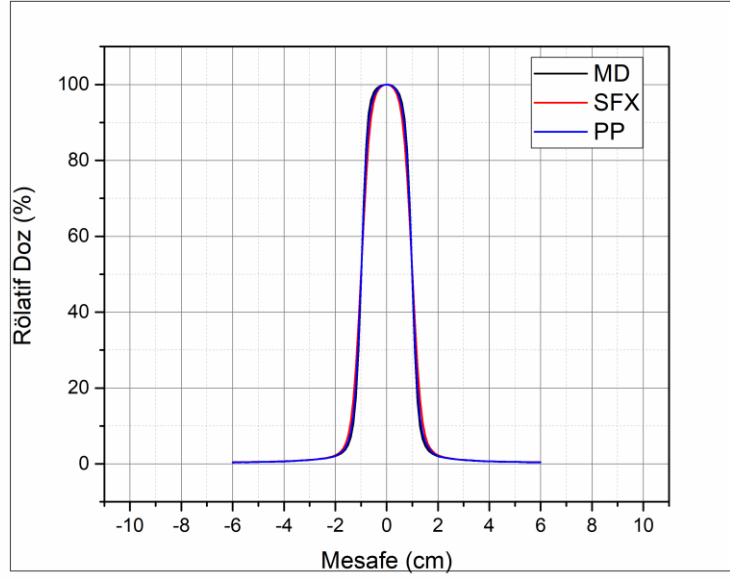
6.2.2.3. 6 MV 5 cm derinlik için profil eğrileri



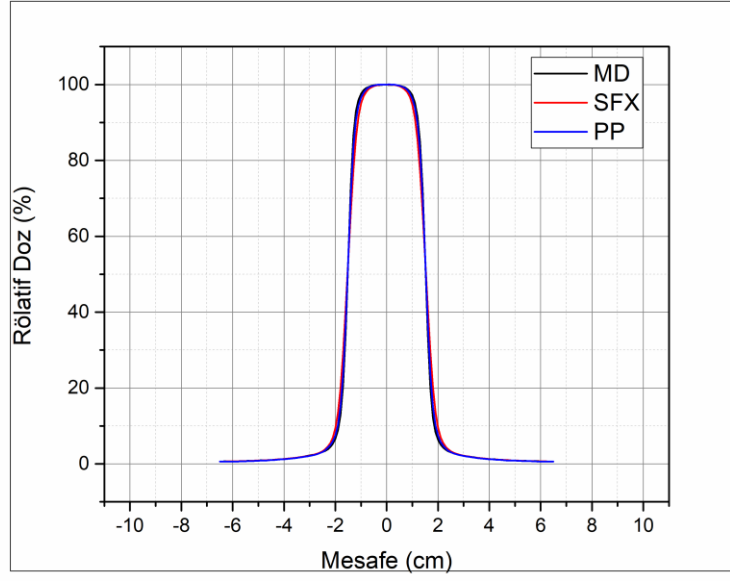
Şekil 6.2.2.13. 6 MV 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri



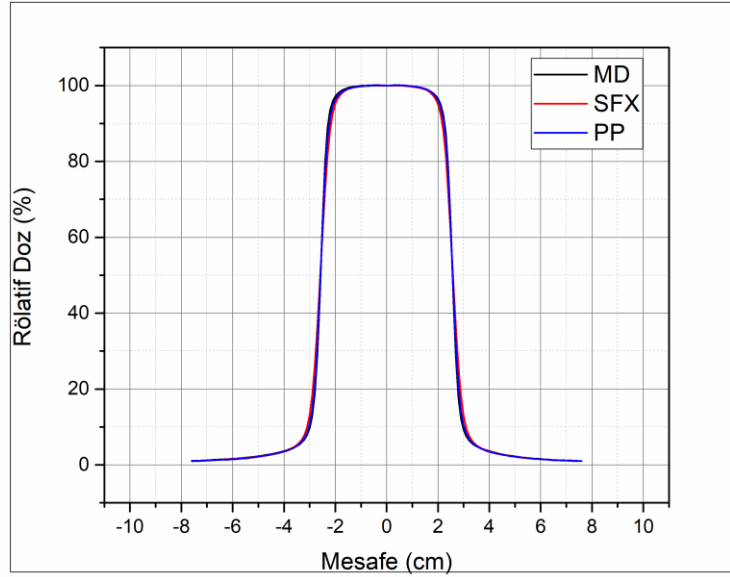
Şekil 6.2.2.14. 6 MV 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri



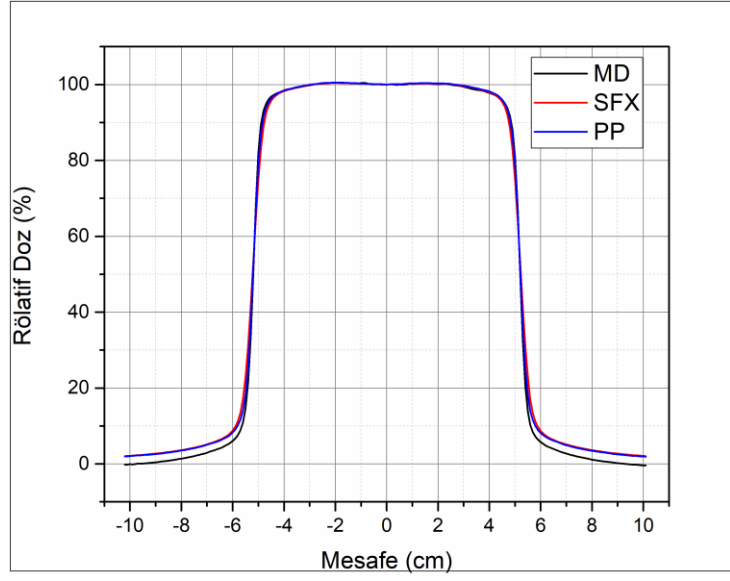
Şekil 6.2.2.15. 6 MV 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.16. 6 MV 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.17. 6 MV 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.18. 6 MV 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlikteki profil eğrileri

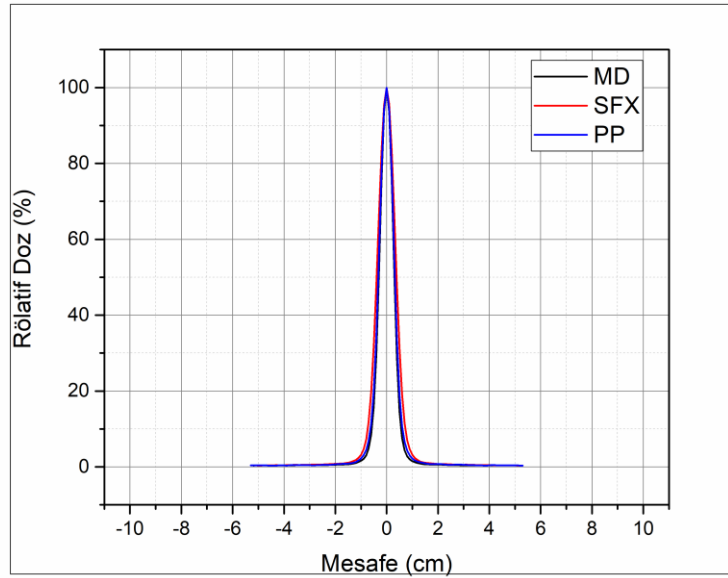
Tablo 6.2.2.9. 6 MV enerji 5 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

6 MV (derinlik: 5cm)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6 x 0.6	Düzlük (%)	31.01	28.01	9.67	25.91	16.45
	Simetri (%)	1.56	0.7	55.13	0.17	89.10
	Sol penumbra (cm)	0.04	0.27	-575.00	0.36	-800.00
	Sağ penumbra (cm)	0.25	0.29	-16.00	0.36	-44.00
1 x 1	Düzlük (%)	19.19	20.77	-8.23	23.51	-22.51
	Simetri (%)	1.01	0.34	66.34	0.13	87.13
	Sol penumbra (cm)	0.31	0.25	19.35	0.43	-38.71
	Sağ penumbra (cm)	0.3	0.33	-10.00	0.43	-43.33
2x2	Düzlük (%)	9.13	10.78	-18.07	14.36	-57.28
	Simetri (%)	1.41	0.87	38.30	0.37	73.76
	Sol penumbra (cm)	0.34	0.39	-14.71	0.49	-44.12
	Sağ penumbra (cm)	0.34	0.39	-14.71	0.5	-47.06
3x3	Düzlük (%)	4.96	6.1	-22.98	8.88	-79.03
	Simetri (%)	1.44	0.99	31.25	0.5	65.28
	Sol penumbra (cm)	0.35	0.4	-14.29	0.52	-48.57
	Sağ penumbra (cm)	0.36	0.41	-13.89	0.53	-47.22
5x5	Düzlük (%)	2.2	2.6	-18.18	3.52	-60.00
	Simetri (%)	0.61	0.29	52.46	0.2	67.21
	Sol penumbra (cm)	0.39	0.43	-10.26	0.55	-41.03
	Sağ penumbra (cm)	0.39	0.43	-10.26	0.55	-41.03
10x10	Düzlük (%)	1.6	1.41	11.88	1.52	5.00
	Simetri (%)	0.69	0.28	59.42	0.3	56.52
	Sol penumbra (cm)	0.38	0.47	-23.68	0.59	-55.26
	Sağ penumbra (cm)	0.39	0.47	-20.51	0.59	-51.28

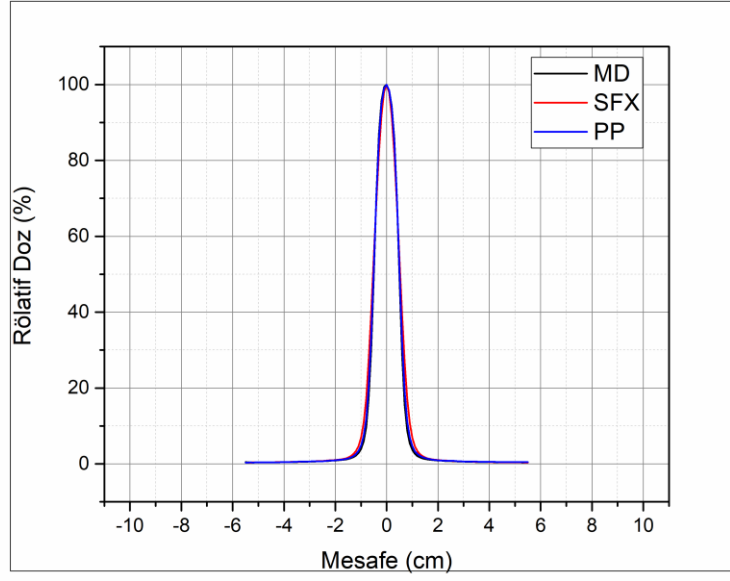
Tablo 6.2.2.10. 6MV 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

6 MV (Derinlik: 5 cm)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.68	0.68	0.00	0.82	-20.59
1x1	0.97	1.00	-3.51	1.07	-10.31
2x2	1.99	1.99	0.00	2.01	-1.01
3x3	3.039	3.05	-0.36	3.06	-0.69
5x5	5.14	5.15	-0.19	5.17	-0.58
10x10	10.40	10.40	0.00	10.45	-0.48

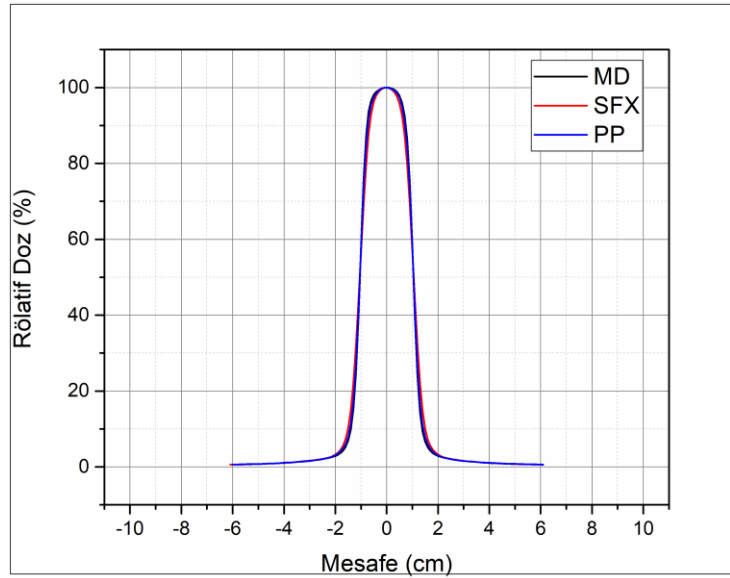
6.2.2.4. 6 MV 10 cm derinlik için profil eğrileri



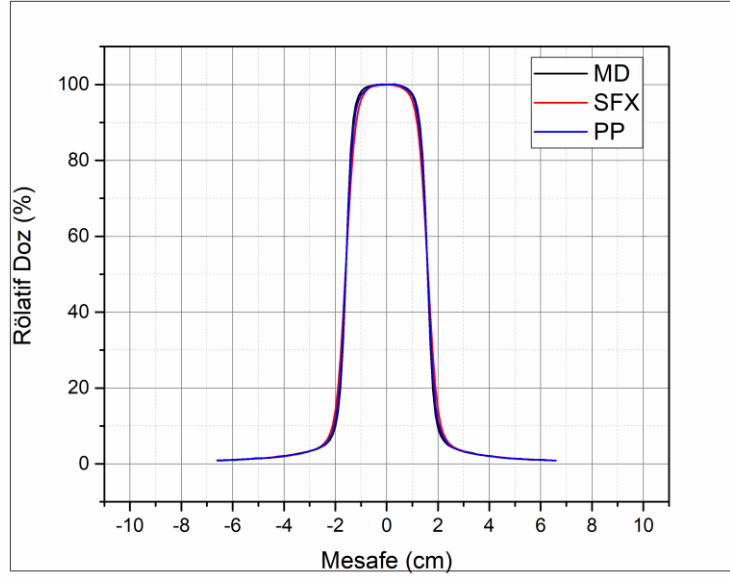
Şekil 6.2.2.19. 6 MV 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri



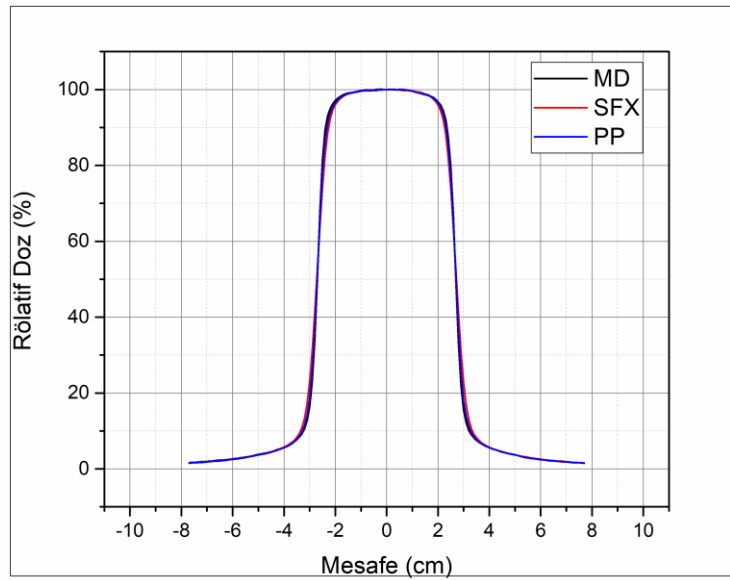
Şekil 6.2.2.20. 6 MV 1x1cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri



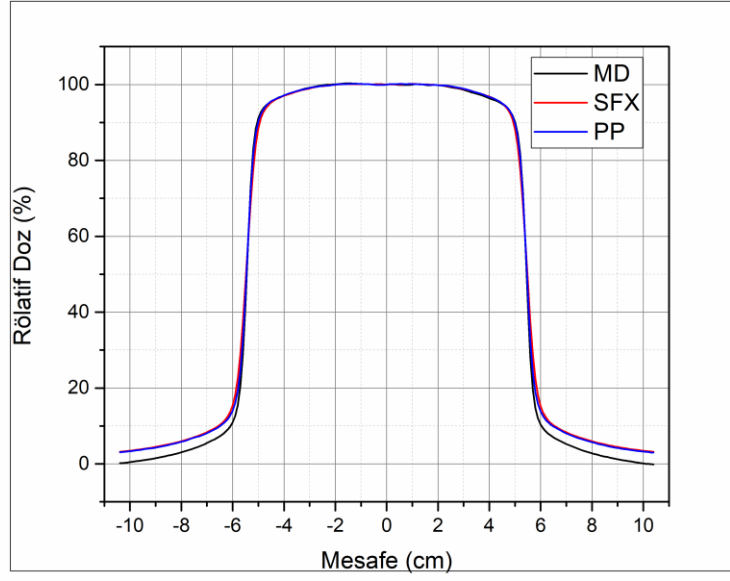
Şekil 6.2.2.21. 6 MV 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.22. 6 MV 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.23. 6 MV 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri



Şekil 6.2.2.24. 6 MV 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlikteki profil eğrileri

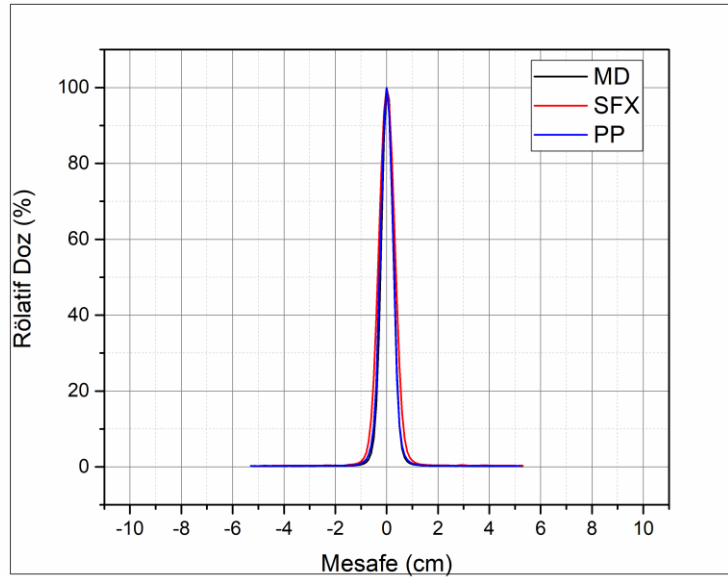
Tablo 6.2.2.11. 6 MV enerji 10 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

6 MV (derinlik: 10 cm)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6 x 0.6	Düzlük (%)	28.08	25.52	9.12	28.7	-2.21
	Simetri (%)	1.04	0.27	74.04	0.65	37.50
	Sol penumbra (cm)	0.16	0.35	-118.75	0.15	6.25
	Sağ penumbra (cm)	0.27	0.31	-14.81	0.37	-37.04
1 x 1	Düzlük (%)	18.2	19.68	-8.13	23.38	-28.46
	Simetri (%)	1.44	0.85	40.97	0.21	85.42
	Sol penumbra (cm)	0.33	0.36	-9.09	0.45	-36.36
	Sağ penumbra (cm)	0.32	0.35	-9.37	0.45	-40.63
2x2	Düzlük (%)	8.92	10.69	-19.84	14.21	-59.30
	Simetri (%)	1.27	0.83	34.65	0.47	62.99
	Sol penumbra (cm)	0.36	0.41	-13.89	0.53	-47.22
	Sağ penumbra (cm)	0.36	0.41	-13.89	0.53	-47.22
3x3	Düzlük (%)	5.03	6.22	-23.66	8.8	-74.95
	Simetri (%)	1.3	1.07	17.69	0.3	76.92
	Sol penumbra (cm)	0.38	0.43	-13.16	0.55	-44.74
	Sağ penumbra (cm)	0.38	0.44	-15.79	0.56	-47.37
5x5	Düzlük (%)	2.56	2.86	-11.72	3.81	-48.83
	Simetri (%)	0.36	0.37	-2.78	0.16	55.56
	Sol penumbra (cm)	0.42	0.48	-14.29	0.6	-42.86
	Sağ penumbra (cm)	0.43	0.48	-11.63	0.6	-39.53
10x10	Düzlük (%)	2.5	2.35	6.00	2.34	6.40
	Simetri (%)	0.77	0.42	45.45	0.24	68.83
	Sol penumbra (cm)	0.47	0.56	-19.15	0.69	-46.81
	Sağ penumbra (cm)	0.47	0.56	-19.15	0.69	-46.81

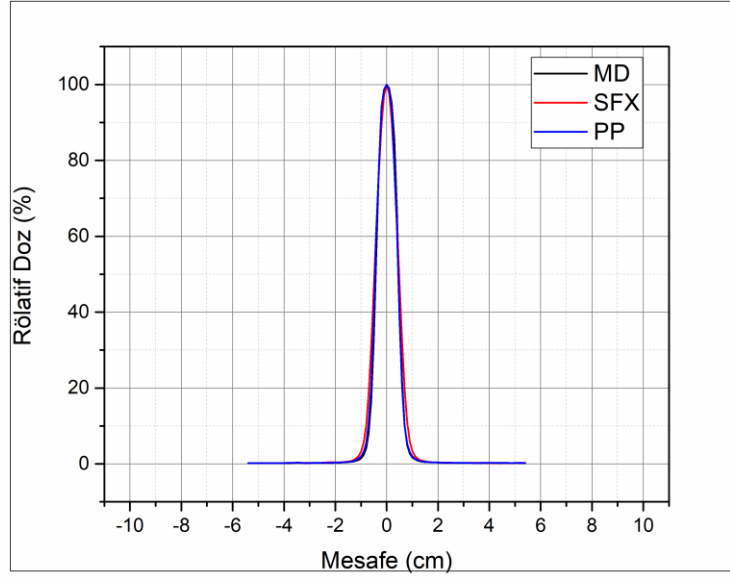
Tablo 6.2.2.12. 6MV 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

6 MV (Derinlik: 5 cm)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.68	0.68	0.00	0.82	-20.59
1x1	0.97	1.00	-3.51	1.07	-10.31
2x2	1.99	1.99	0.00	2.01	-1.01
3x3	3.039	3.05	-0.36	3.06	-0.69
5x5	5.14	5.15	-0.19	5.17	-0.58
10x10	10.40	10.40	0.00	10.45	-0.48

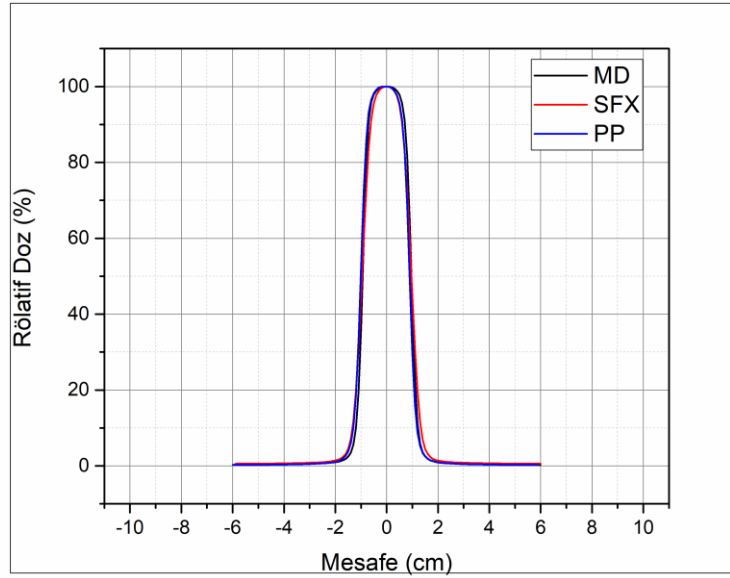
6.2.2.5. 6 FFF dmaks (1.4 cm) derinliği için profil eğrileri



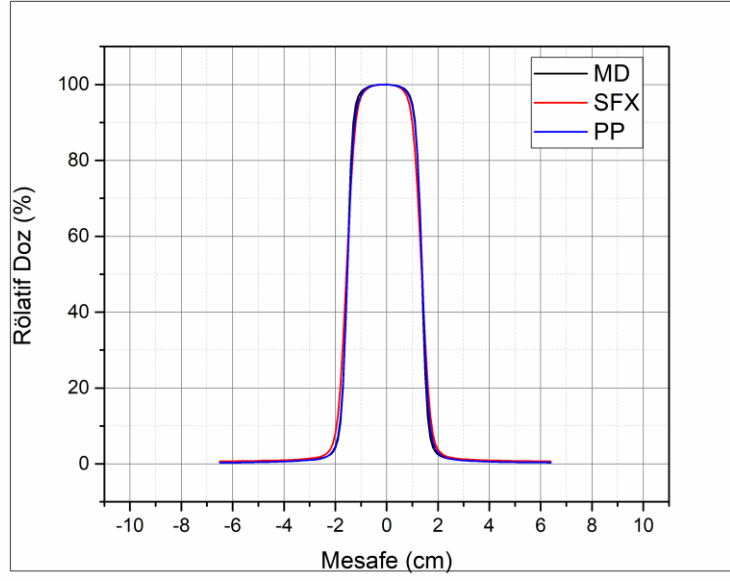
Şekil 6.2.2.25. 6 FFF 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



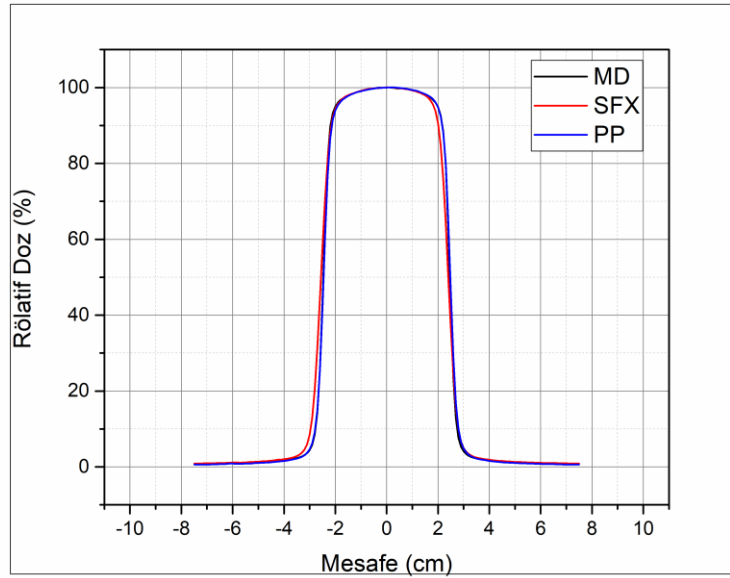
Şekil 6.2.2.26. 6 FFF 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



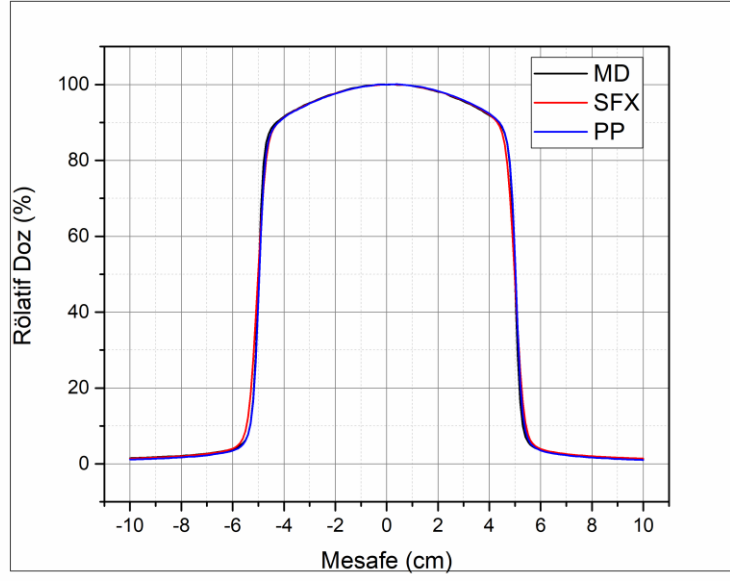
Şekil 6.2.2.27. 6 FFF 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.28. 6 FFF 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.29. 6 FFF 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.30. 6 FFF 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri

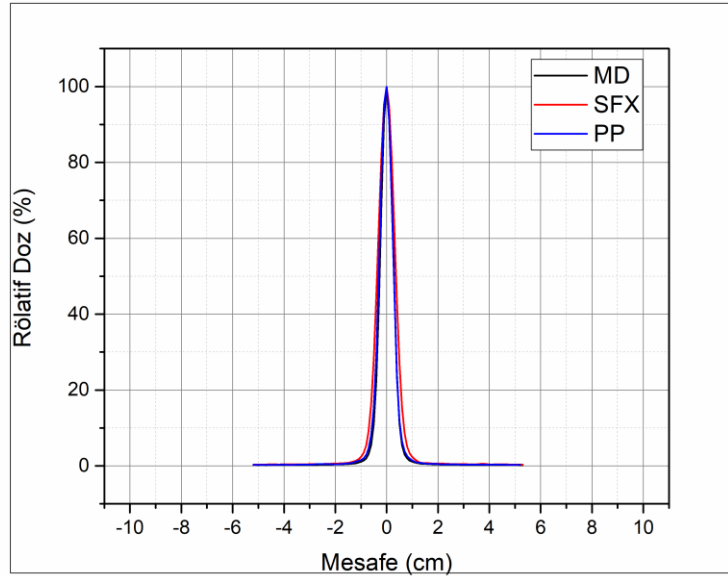
Tablo 6.2.2.13. 6 FFF enerji dmaks derinliği için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

6 FFF (derinlik: dmaks)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	Simetri (%)	14.06	5.73	59.25	4.8	65.86
	Sol penumbra (cm)	0.27	0.28	-3.70	0.32	-18.52
	Sağ penumbra (cm)	0.29	0.31	-6.90	0.33	-13.79
1x1	Simetri (%)	7.84	0.57	92.73	2	74.49
	Sol penumbra (cm)	0.3	0.27	10.00	0.43	-43.33
	Sağ penumbra (cm)	0.31	0.27	12.90	0.43	-38.71
2x2	Simetri (%)	0.57	5.53	-870.18	0.64	-12.28
	Sol penumbra (cm)	0.29	0.36	-24.14	0.47	-62.07
	Sağ penumbra (cm)	0.29	0.36	-24.14	0.47	-62.07
3x3	Simetri (%)	0.15	1.54	-926.67	0.55	-266.67
	Sol penumbra (cm)	0.29	0.36	-24.14	0.48	-65.52
	Sağ penumbra (cm)	0.3	0.36	-20.00	0.49	-63.33
5x5	Simetri (%)	0.26	0.72	-176.92	0.96	-269.23
	Sol penumbra (cm)	0.32	0.34	-6.25	0.5	-56.25
	Sağ penumbra (cm)	0.32	0.33	-3.13	0.51	-59.38
10x10	Simetri (%)	0.55	1.02	-85.45	0.79	-43.64
	Sol penumbra (cm)	0.58	0.56	3.45	0.59	-1.72
	Sağ penumbra (cm)	0.58	0.56	3.45	0.59	-1.72

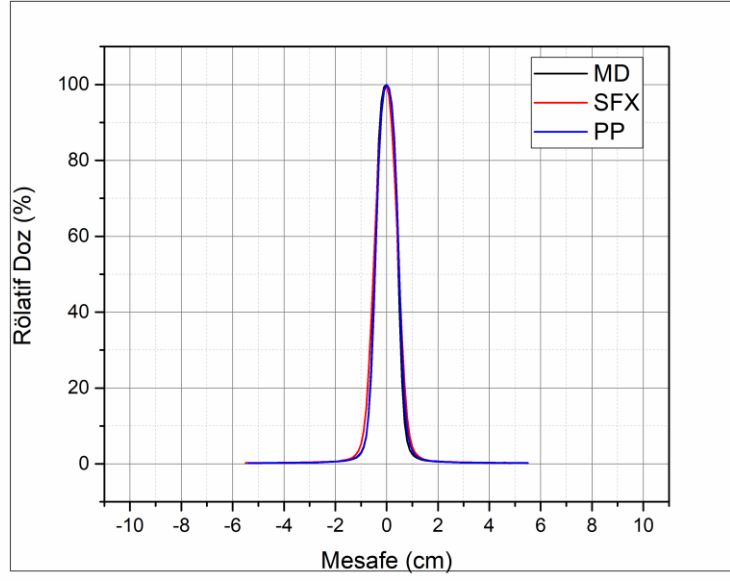
Tablo 6.2.2.14. 6 FFF dmaks cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

6 FFF (Derinlik: dmaks)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.54	0.58	-7.41	0.71	-31.48
1x1	0.89	0.91	-2.25	0.96	-7.87
2x2	1.90	1.91	-0.53	1.93	-1.58
3x3	2.91	2.92	-0.34	2.94	-1.03
5x5	4.93	4.94	-0.20	4.96	-0.61
10x10	9.98	9.98	0.00	9.99	-0.10

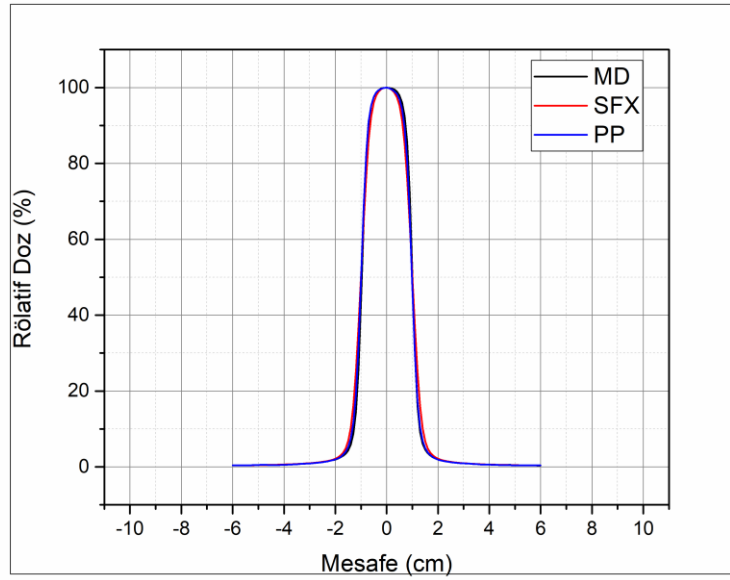
6.2.2.6. 6 FFF 5 cm derinlik için profil eğrileri



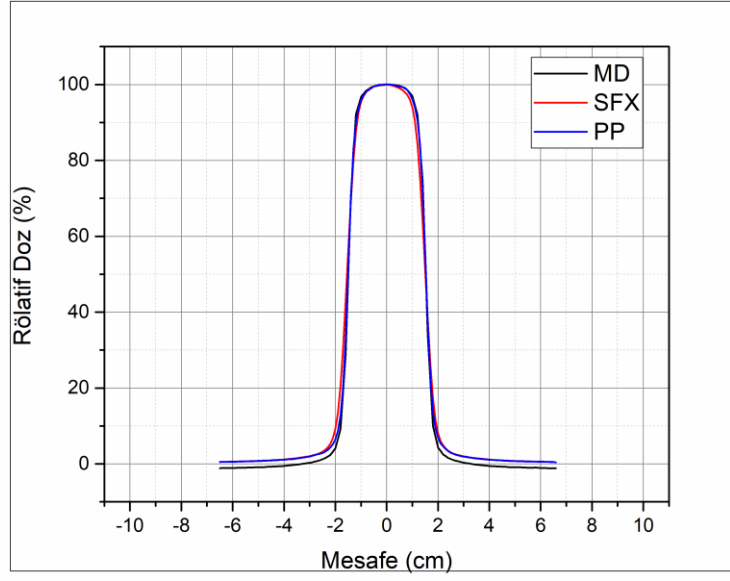
Şekil 6.2.2.31. 6 FFF 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



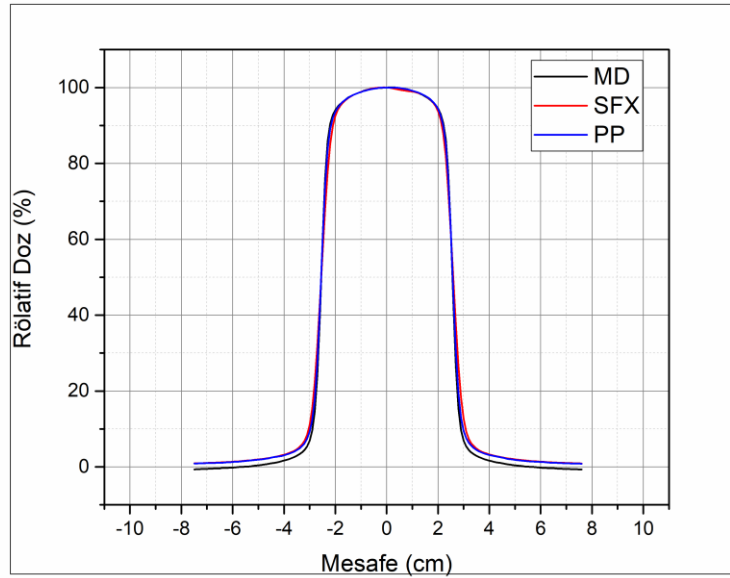
Şekil 6.2.2.32. 6 FFF 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



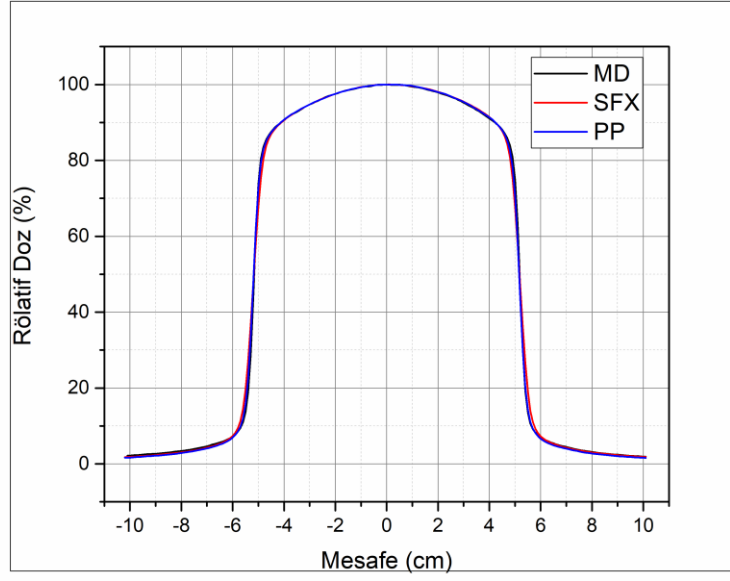
Şekil 6.2.2.33. 6 FFF 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.34. 6 FFF 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.35. 6 FFF 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.36. 6 FFF 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri

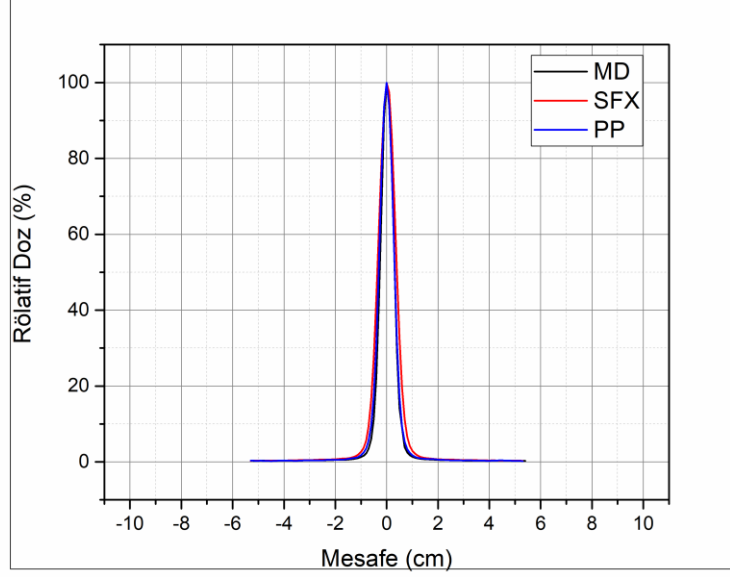
Tablo 6.2.2.15. 6 FFF enerji 5 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

6 FFF (derinlik: 5cm)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	Simetri (%)	3.18	7.86	-147.17	1.27	60.06289308
	Sol penumbra (cm)	0.28	0.29	-3.57	0.4	-42.8571429
	Sağ penumbra (cm)	0.27	0.26	3.70	0.42	-55.5555556
1x1	Simetri (%)	2.82	6.36	-125.53	4.53	-60.6382979
	Sol penumbra (cm)	0.35	0.31	11.43	0.41	-17.1428571
	Sağ penumbra (cm)	0.3	0.35	-16.67	0.42	-40
2x2	Simetri (%)	1.77	1.57	11.30	0.88	50.28248588
	Sol penumbra (cm)	0.33	0.38	-15.15	0.51	-54.5454545
	Sağ penumbra (cm)	0.34	0.39	-14.71	0.52	-52.9411765
3x3	Simetri (%)	0.8	0.47	41.25	3.34	-317.5
	Sol penumbra (cm)	0.38	0.39	-2.63	0.54	-42.1052632
	Sağ penumbra (cm)	0.39	0.41	-5.13	0.54	-38.4615385
5x5	Simetri (%)	0.42	0.67	-59.52	1.23	-192.857143
	Sol penumbra (cm)	0.38	0.47	-23.68	0.57	-50
	Sağ penumbra (cm)	0.39	0.49	-25.64	0.58	-48.7179487
10x10	Simetri (%)	0.62	0.67	-8.06	0.81	-30.6451613
	Sol penumbra (cm)	0.49	0.51	-4.08	0.65	-32.6530612
	Sağ penumbra (cm)	0.49	0.51	-4.08	0.65	-32.6530612

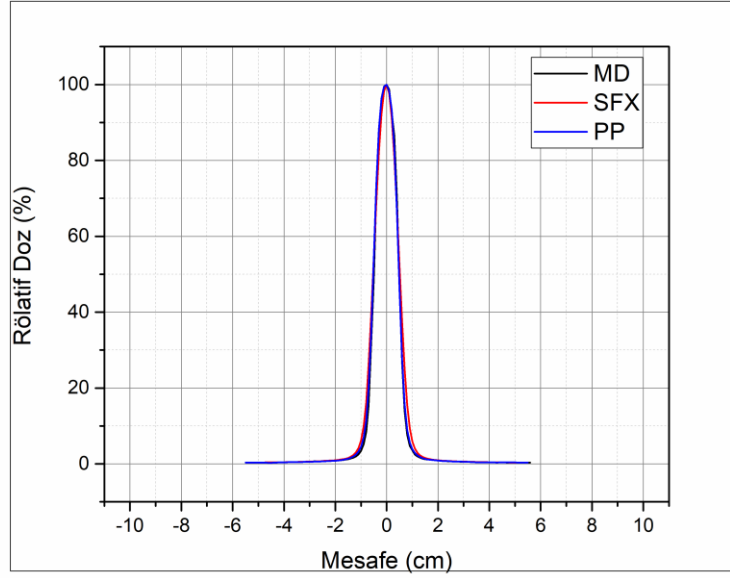
Tablo 6.2.2.16. 6FFF 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

6FFF (Derinlik:5 cm)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.56	0.61	-8.93	0.73	-30.36
1x1	0.93	0.94	-1.08	1.00	-7.53
2x2	1.98	1.98	0.00	2.01	-1.52
3x3	3.02	3.03	-0.33	3.05	-0.99
5x5	5.11	5.13	-0.39	5.15	-0.78
10x10	10.34	10.34	0.00	10.35	-0.10

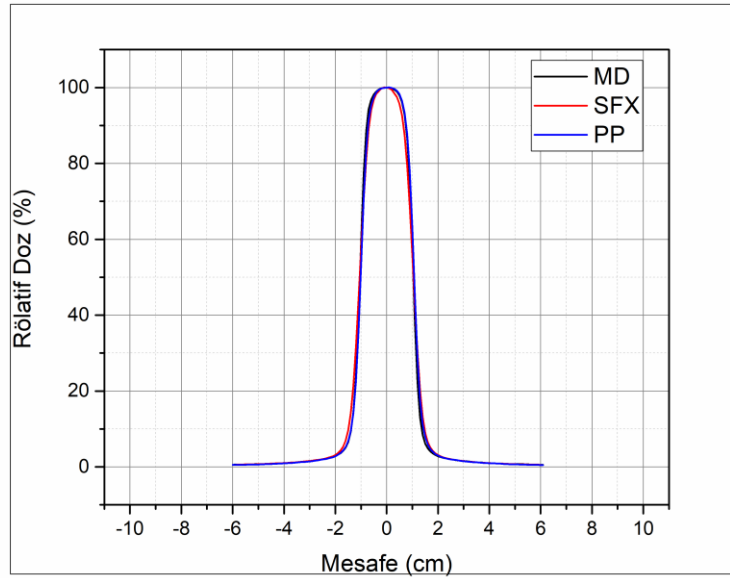
6.2.2.7. 6 FFF 10 cm derinlik için profil eğrileri



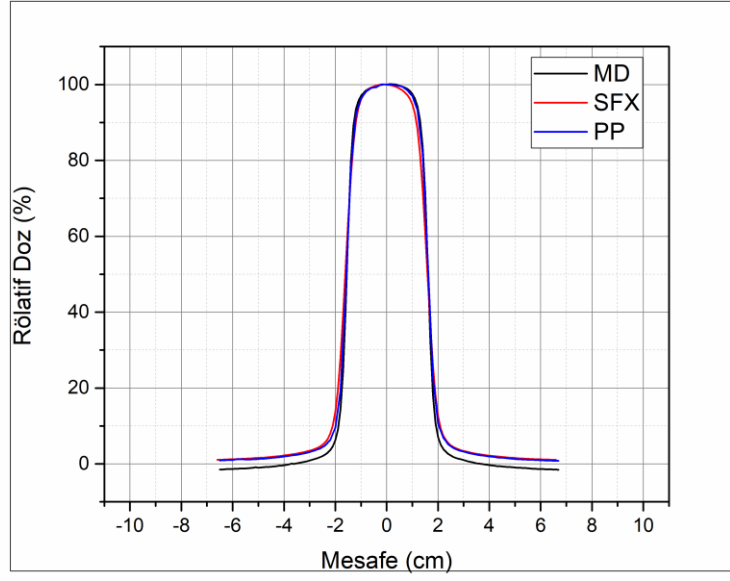
Şekil 6.2.2.37. 6 FFF 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



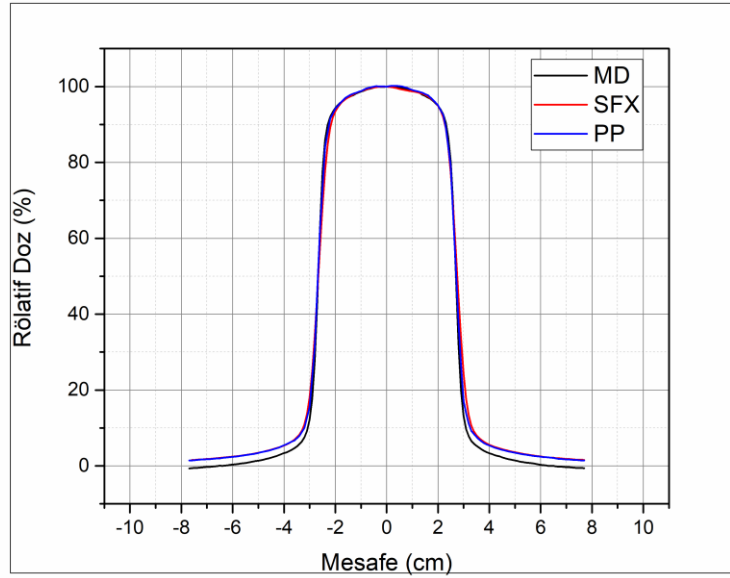
Şekil 6.2.2.38. 6 FFF 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



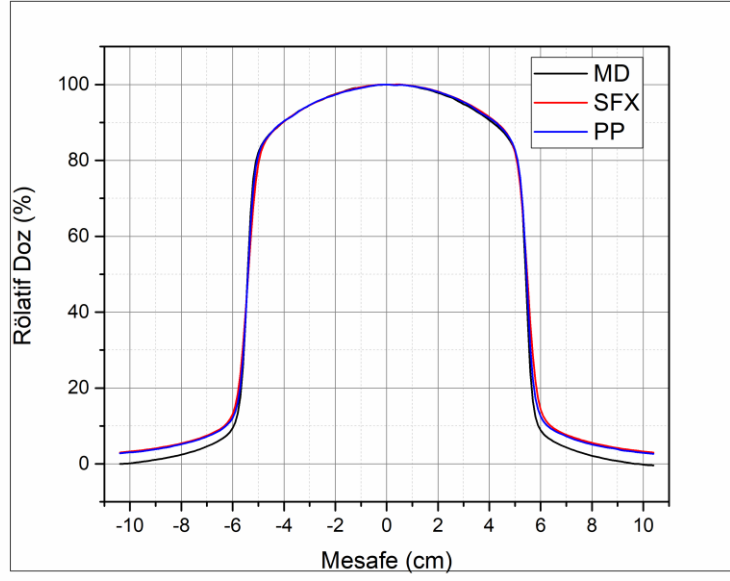
Şekil 6.2.2.39. 6 FFF 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.40. 6 FFF 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.41. 6 FFF 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.42. 6 FFF 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri

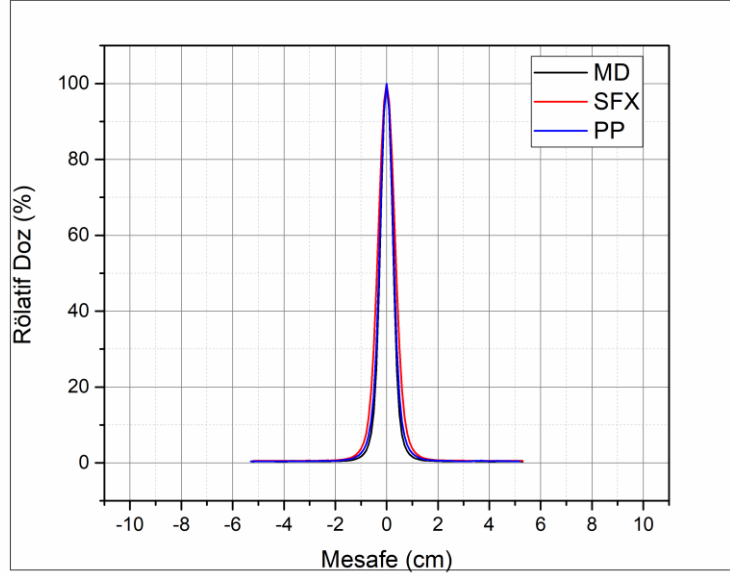
Tablo 6.2.2.17. 6 FFF enerji 10 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

6 FFF (derinlik: 10cm)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	Simetri (%)	17.65	0.58	96.71	8.45	52.12464589
	Sol penumbra (cm)	0.26	0.31	-19.23	0.37	-42.3076923
	Sağ penumbra (cm)	0.28	0.33	-17.86	0.37	-32.1428571
1x1	Simetri (%)	3.89	5.31	-36.50	1.43	63.23907455
	Sol penumbra (cm)	0.34	0.34	0.00	0.49	-44.1176471
	Sağ penumbra (cm)	0.34	0.35	-2.94	0.48	-41.1764706
2x2	Simetri (%)	2.06	4.02	-95.15	1.5	27.18446602
	Sol penumbra (cm)	0.34	0.38	-11.76	0.49	-44.1176471
	Sağ penumbra (cm)	0.35	0.38	-8.57	0.49	-40
3x3	Simetri (%)	0.68	1.33	-95.59	1.62	-138.235294
	Sol penumbra (cm)	0.38	0.41	-7.89	0.58	-52.6315789
	Sağ penumbra (cm)	0.38	0.42	-10.53	0.58	-52.6315789
5x5	Simetri (%)	0.53	0.79	-49.06	1.8	-239.622642
	Sol penumbra (cm)	0.41	0.51	-24.39	0.56	-36.5853659
	Sağ penumbra (cm)	0.41	0.51	-24.39	0.57	-39.0243902
10x10	Simetri (%)	0.61	0.93	-52.46	1.3	-113.114754
	Sol penumbra (cm)	0.61	0.55	9.84	0.75	-22.9508197
	Sağ penumbra (cm)	0.61	0.56	8.20	0.75	-22.9508197

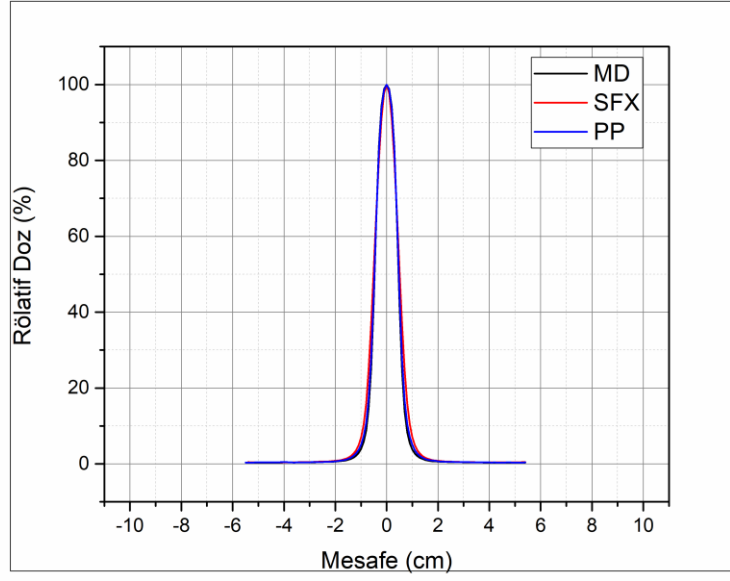
Tablo 6.2.2.18. 6FFF 10 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

6 FFF (Derinlik:10 cm)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.58	0.62	-6.89	0.76	-31.03
1x1	0.98	1.00	-2.04	1.04	-6.12
2x2	2.08	2.09	-0.34	2.09	-0.34
3x3	3.17	3.19	-0.63	3.2	-0.95
5x5	5.37	5.39	-0.37	5.42	-0.93
10x10	10.83	10.85	-0.18	10.86	-0.28

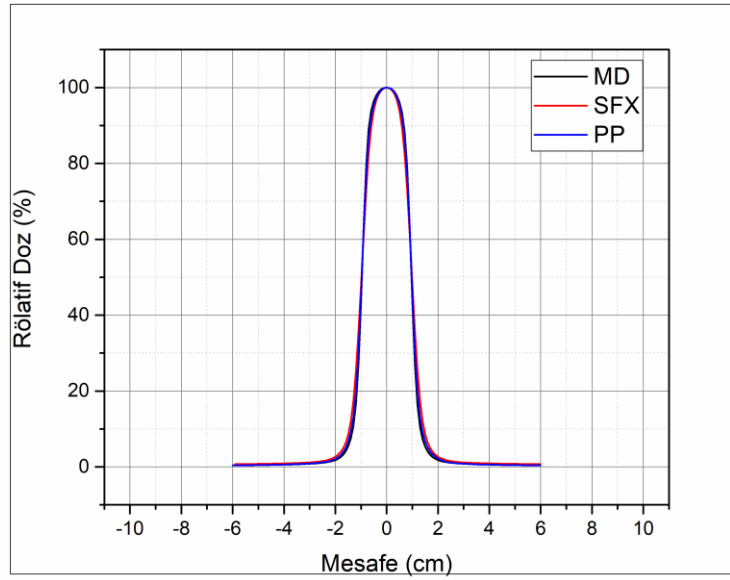
6.2.2.8. 10MV dmaks (2.5 cm) derinliği için profil eğrileri



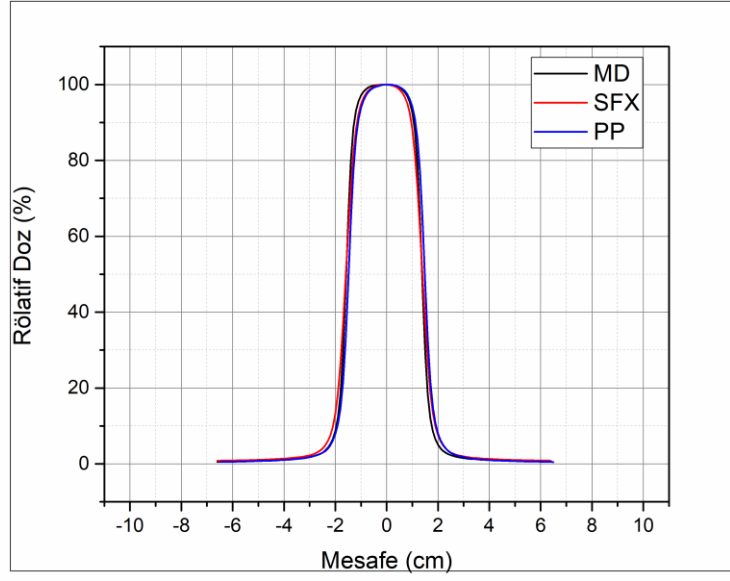
Şekil 6.2.2.43. 10MV 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



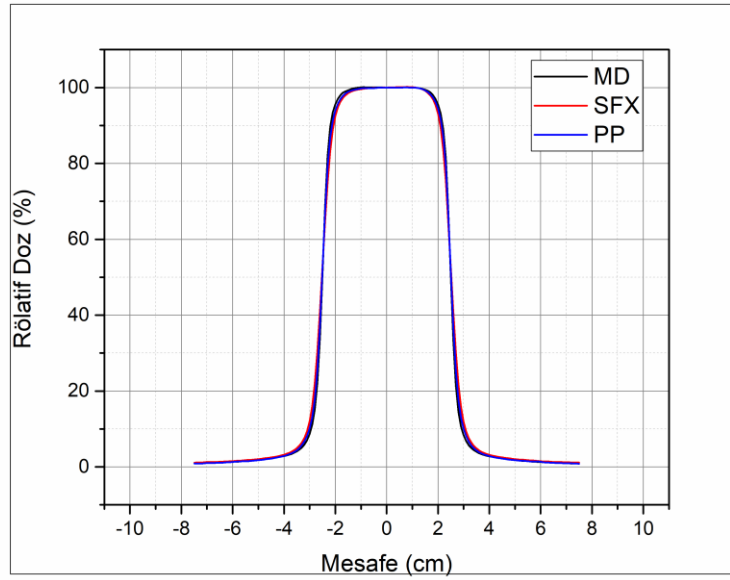
Şekil 6.2.2.44. 10MV 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



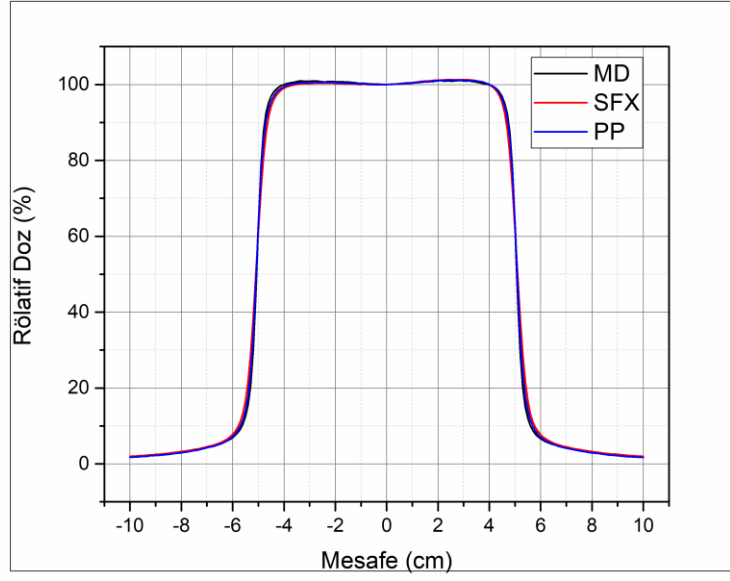
Şekil 6.2.2.45. 10MV 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.46. 10MV 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.47. 10MV 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.48. 10MV 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri

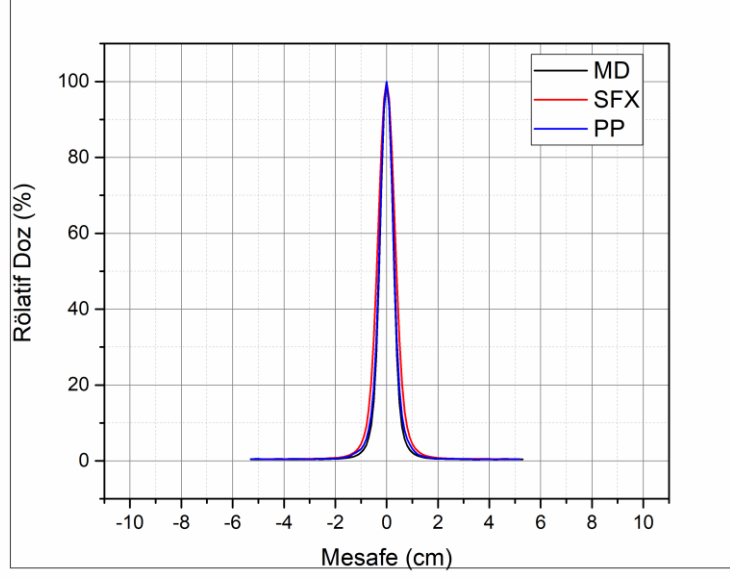
Tablo 6.2.2.19. 10MV enerji dmaks derinliği için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

10 MV (derinlik: dmaks)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6 x 0.6	Düzlük (%)	28.31	29.05	-2.61	28.85	-1.91
	Simetri (%)	0.92	0.766	16.74	0.19	79.35
	Sol penumbra (cm)	0.25	0.23	8.00	0.16	36.00
	Sağ penumbra (cm)	0.27	0.3	-11.11	0.38	-40.74
1 x 1	Düzlük (%)	20.09	18.46	8.11	24.25	24.25
	Simetri (%)	0.04	6.25	-15525.00	0.17	0.17
	Sol penumbra (cm)	0.22	0.33	-50.00	0.38	0.17
	Sağ penumbra (cm)	0.31	0.33	-6.45	0.45	-45.16
2x2	Düzlük (%)	10.17	11.53	-13.37	15.11	-48.57
	Simetri (%)	0.65	0.26	60.00	0.05	92.31
	Sol penumbra (cm)	0.36	0.42	-16.67	0.53	-47.22
	Sağ penumbra (cm)	0.37	0.42	-13.51	0.53	-43.24
3x3	Düzlük (%)	5.92	7.3	-23.31	9.89	-67.06
	Simetri (%)	0.48	0.28	41.67	0.2	58.33
	Sol penumbra (cm)	0.38	0.44	-15.79	0.56	-47.37
	Sağ penumbra (cm)	0.39	0.45	-15.38	0.56	-43.59
5x5	Düzlük (%)	2.37	3.24	-36.71	4.24	-78.90
	Simetri (%)	0.15	0.44	-193.33	0.63	-320.00
	Sol penumbra (cm)	0.4	0.47	-17.50	0.59	-47.50
	Sağ penumbra (cm)	0.4	0.47	-17.50	0.58	-45.00
10x10	Düzlük (%)	0.64	0.98	-53.13	1.3	-103.13
	Simetri (%)	0.29	0.64	-120.69	1.01	-248.28
	Sol penumbra (cm)	0.43	0.5	-16.28	0.62	-44.19
	Sağ penumbra (cm)	0.42	0.49	-16.67	0.61	-45.24

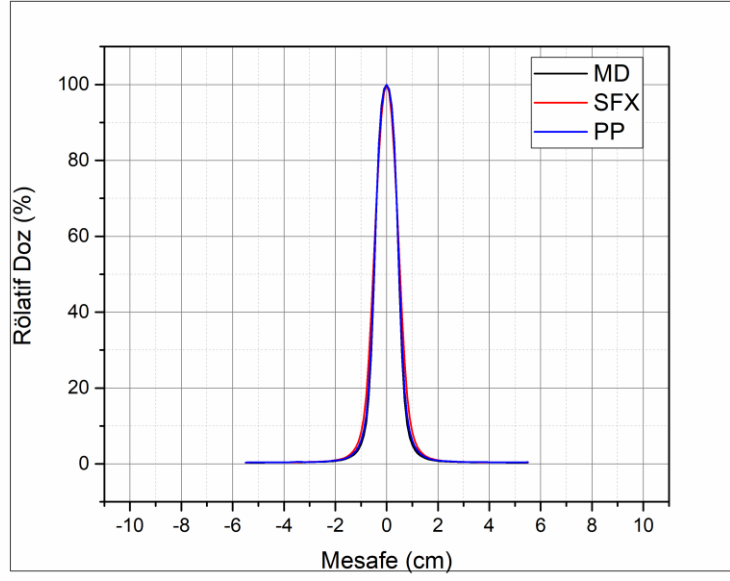
Tablo 6.2.2.20. 10MV dmaks derinliği için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

10MV (Derinlik: dmaks)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.64	0.69	-7.81	0.86	-34.38
1x1	0.97	0.99	-2.06	1.08	-11.34
2x2	1.93	1.95	-1.04	1.98	-2.59
3x3	2.96	2.97	-0.34	2.99	-1.01
5x5	5.01	5.03	-0.40	5.05	-0.80
10x10	10.14	10.17	-0.30	10.20	-0.59

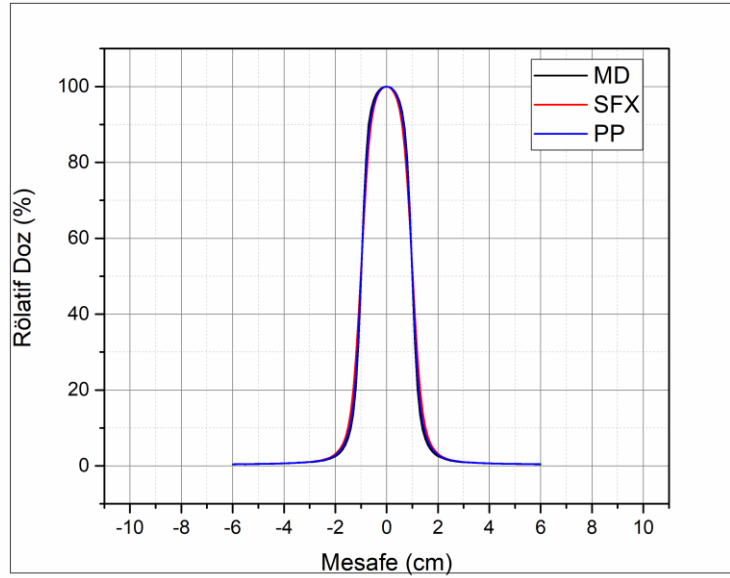
6.2.2.9. 10MV 5 cm derinlik için profil eğrileri



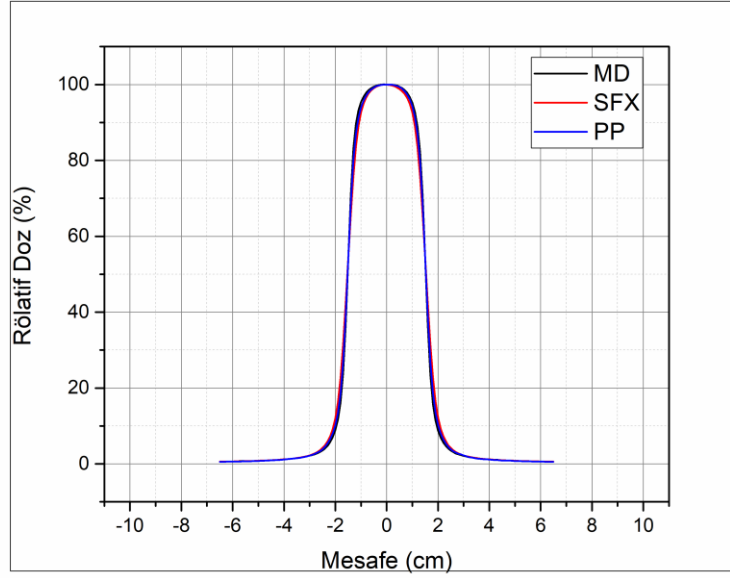
Şekil 6.2.2.49. 10MV 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



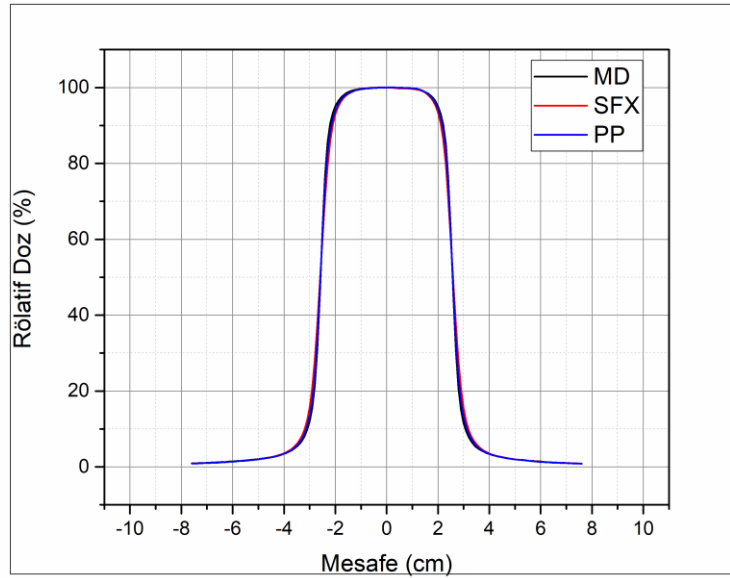
Şekil 6.2.2.50. 10MV 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



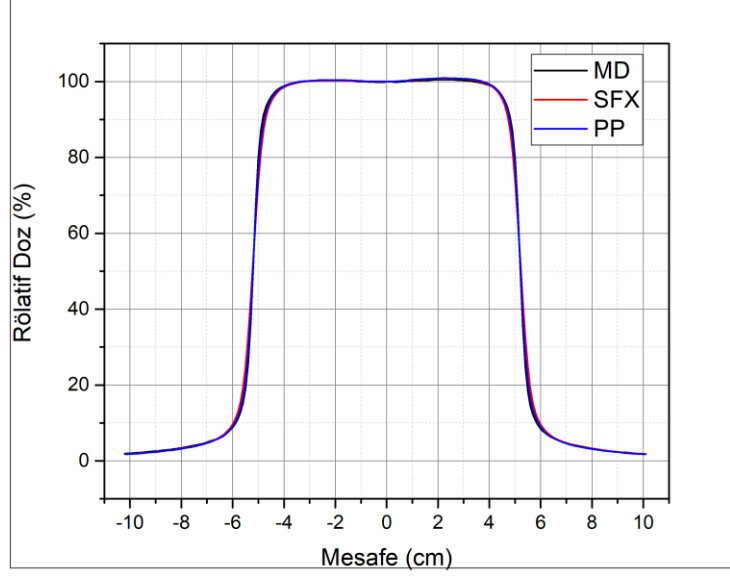
Şekil 6.2.2.51. 10MV 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.52. 10MV 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.53. 10MV 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.54. 10MV 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri

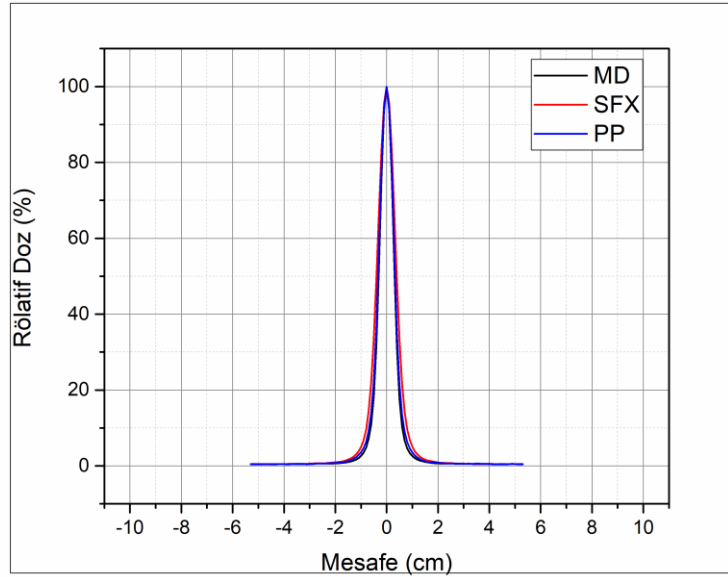
Tablo 6.2.2.21. 10MV enerji 5cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

10 MV (derinlik: 5cm)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6 x 0.6	Düzlük (%)	27.48	28.25	-2.80	26.53	3.46
	Simetri (%)	1.5	0.64	57.33	0.34	77.33
	Sol penumbra (cm)	0.28	0.29	-3.57	0.39	-39.29
	Sağ penumbra (cm)	0.28	0.3	-7.14	0.39	-39.29
1 x 1	Düzlük (%)	19.73	19.5	1.17	22.85	-15.81
	Simetri (%)	0.28	0.29	-3.57	0.02	92.86
	Sol penumbra (cm)	0.33	0.37	-12.12	0.46	-39.39
	Sağ penumbra (cm)	0.32	0.36	-12.50	0.46	-43.75
2x2	Düzlük (%)	10.38	11.89	-14.55	15.04	-44.89
	Simetri (%)	0.79	0.2	74.68	0.19	75.95
	Sol penumbra (cm)	0.39	0.45	-15.38	0.55	-41.03
	Sağ penumbra (cm)	0.39	0.44	-12.82	0.56	-43.59
3x3	Düzlük (%)	6.43	7.73	-20.22	10.16	-58.01
	Simetri (%)	0.75	0.27	64.00	0.22	70.67
	Sol penumbra (cm)	0.41	0.48	-17.07	0.58	-41.46
	Sağ penumbra (cm)	0.42	0.48	-14.29	0.59	-40.48
5x5	Düzlük (%)	3.1	3.84	-23.87	4.72	-52.26
	Simetri (%)	0.13	0.42	-223.08	0.4	-207.69
	Sol penumbra (cm)	0.44	0.51	-15.91	0.62	-40.91
	Sağ penumbra (cm)	0.44	0.51	-15.91	0.61	-38.64
10x10	Düzlük (%)	1.13	1.44	-27.43	1.62	-43.36
	Simetri (%)	0.26	0.6	-130.77	0.69	-165.38
	Sol penumbra (cm)	0.48	0.54	-12.50	0.66	-37.50
	Sağ penumbra (cm)	0.47	0.54	-14.89	0.65	-38.30

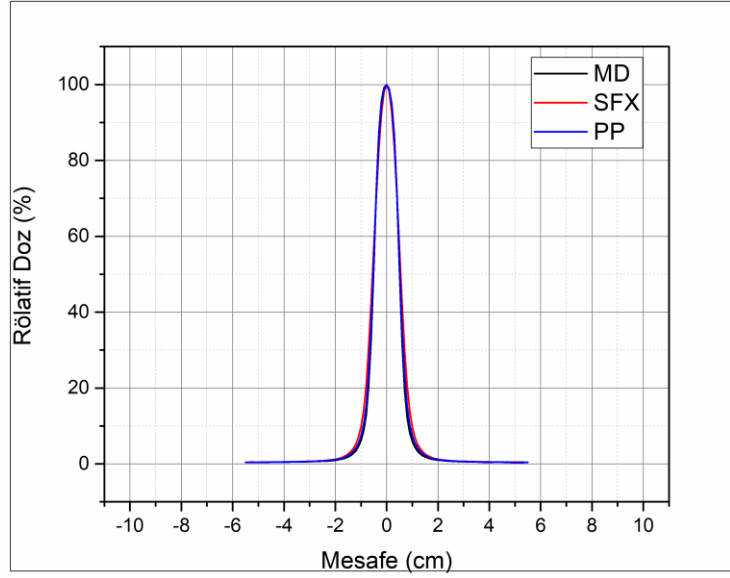
Tablo 6.2.2.22. 10MV 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

10MV (Derinlik:5 cm)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.65	0.7	-7.69	0.84	-29.23
1x1	1.00	1.00	0.20	1.09	-8.78
2x2	1.99	2.00	-0.50	2.03	-2.01
3x3	3.04	3.05	-0.33	3.07	-0.99
5x5	5.15	5.16	-0.19	5.18	-0.58
10x10	10.42	10.42	0.00	10.46	-0.38

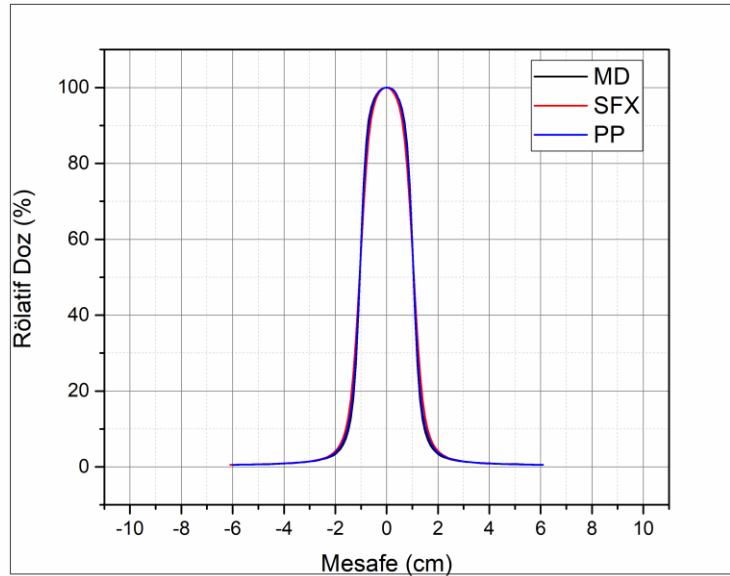
6.2.2.10. 10MV 10 cm derinlik için profil eğrileri



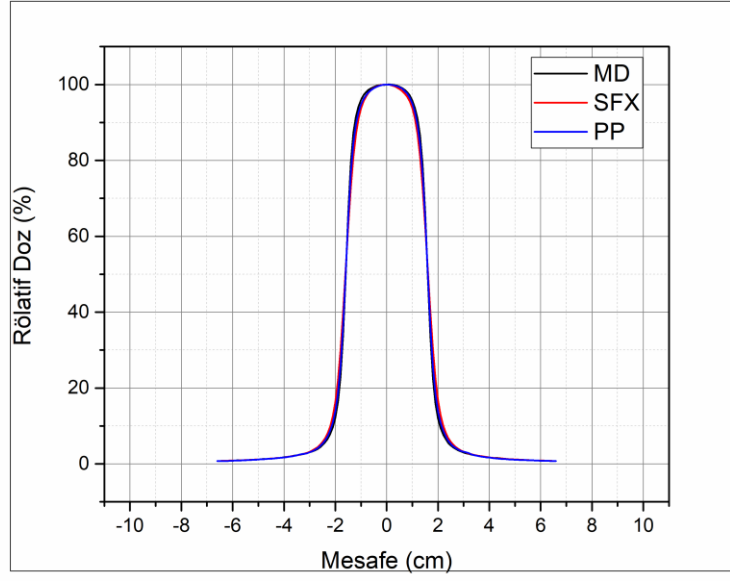
Şekil 6.2.2.55. 10MV 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



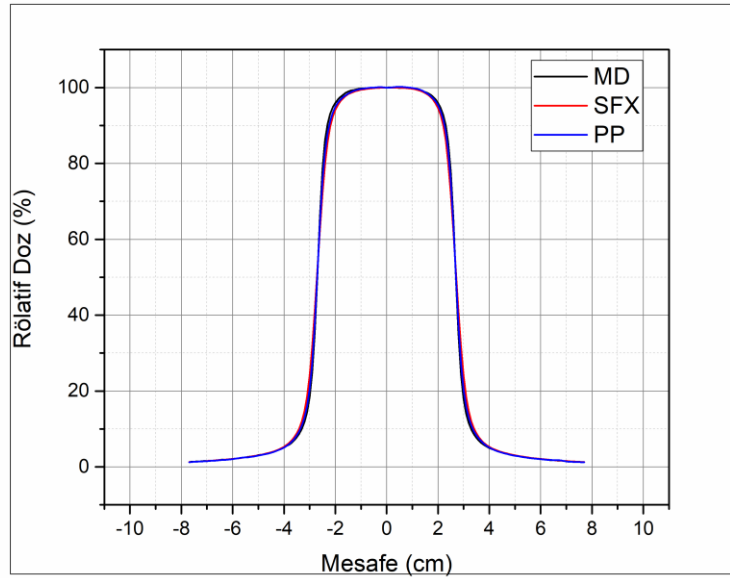
Şekil 6.2.2.56. 10MV 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



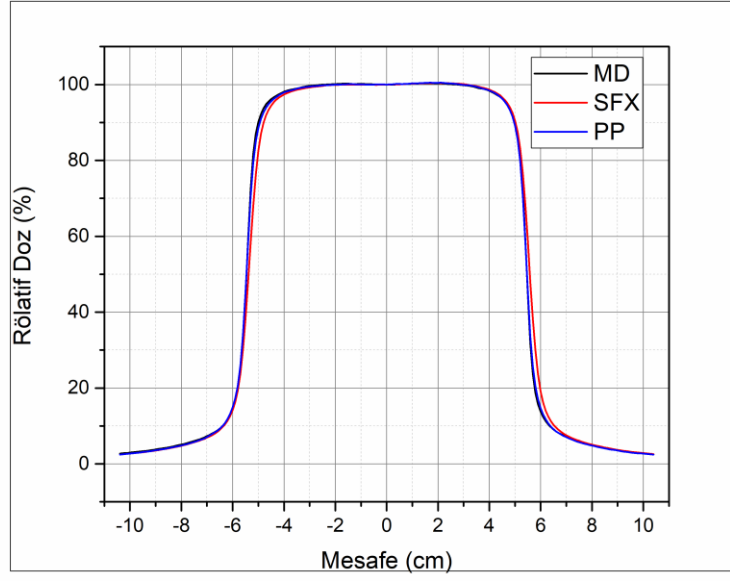
Şekil 6.2.2.57. 10MV 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.58. 10MV 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.59. 10MV 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.60. 10MV 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri

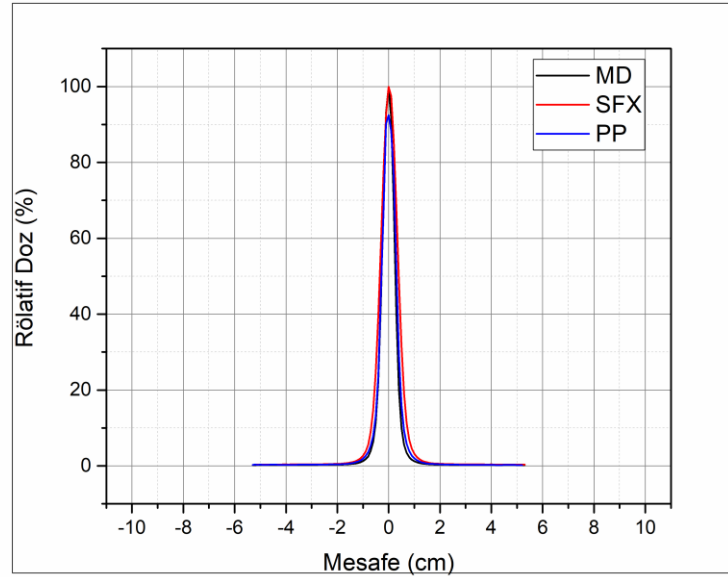
Tablo 6.2.2.23. 10MV enerji 10cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler;

10 MV (derinlik: 10 cm)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6 x 0.6	Düzlük (%)	28.26	26.14	7.50	29.21	-3.36
	Simetri (%)	0.93	0.01	98.92	0.23	75.27
	Sol penumbra (cm)	0.19	0.33	-73.68	0.15	21.05
	Sağ penumbra (cm)	0.29	0.32	-10.34	0.4	-37.93
1 x 1	Düzlük (%)	18.68	19.78	-5.89	22.01	-17.83
	Simetri (%)	0.73	0.35	52.05	0.47	35.62
	Sol penumbra (cm)	0.35	0.38	-8.57	0.48	-37.14
	Sağ penumbra (cm)	0.35	0.38	-8.57	0.47	-34.29
2x2	Düzlük (%)	10.12	11.66	-15.22	14.96	-47.83
	Simetri (%)	0.61	0.12	80.33	0.31	49.18
	Sol penumbra (cm)	0.41	0.47	-14.63	0.58	-41.46
	Sağ penumbra (cm)	0.41	0.46	-12.20	0.58	-41.46
3x3	Düzlük (%)	6.37	7.89	-23.86	10.08	-58.24
	Simetri (%)	0.55	0.37	32.73	0.26	52.73
	Sol penumbra (cm)	0.44	0.51	-15.91	0.62	-40.91
	Sağ penumbra (cm)	0.44	0.5	-13.64	0.62	-40.91
5x5	Düzlük (%)	3.38	2.86	15.38	4.95	-46.45
	Simetri (%)	0.2	0.37	-85.00	0.42	-110.00
	Sol penumbra (cm)	0.49	0.55	-12.24	0.67	-36.73
	Sağ penumbra (cm)	0.48	0.53	-10.42	0.66	-37.50
10x10	Düzlük (%)	1.81	2.35	-29.83	2.21	-22.10
	Simetri (%)	0.3	0.42	-40.00	0.71	-136.67
	Sol penumbra (cm)	0.56	0.62	-10.71	0.74	-32.14
	Sağ penumbra (cm)	0.54	0.61	-12.96	0.73	-35.19

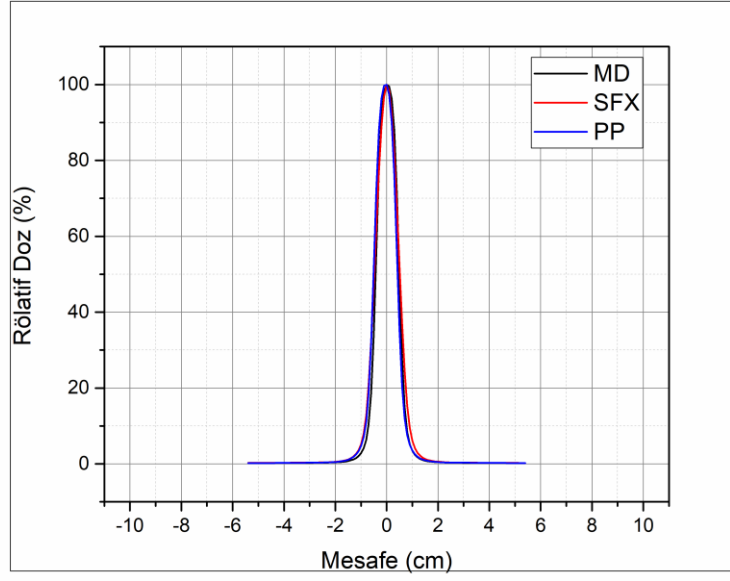
Tablo 6.2.2.24. 10MV 10 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

10 MV (Derinlik:10 cm)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.71	0.71	0.00	0.91	-28.17
1x1	1.04	1.06	-2.32	1.12	-8.11
2x2	2.10	2.11	-0.48	2.12	-0.95
3x3	3.19	3.2	-0.31	3.22	-0.94
5x5	5.40	5.41	-0.19	5.43	-0.56
10x10	10.92	10.92	0.00	10.96	-0.37

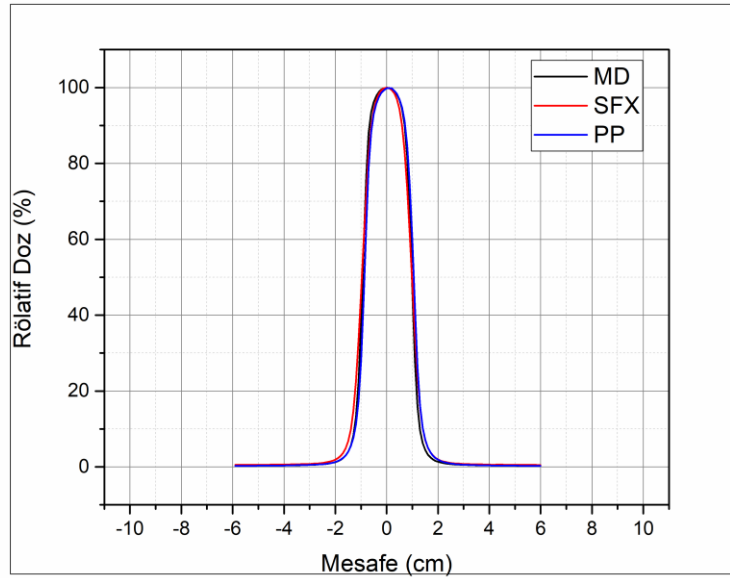
6.2.2.11. 10FFF dmaks (2.4 cm) derinliği için profil eğrileri



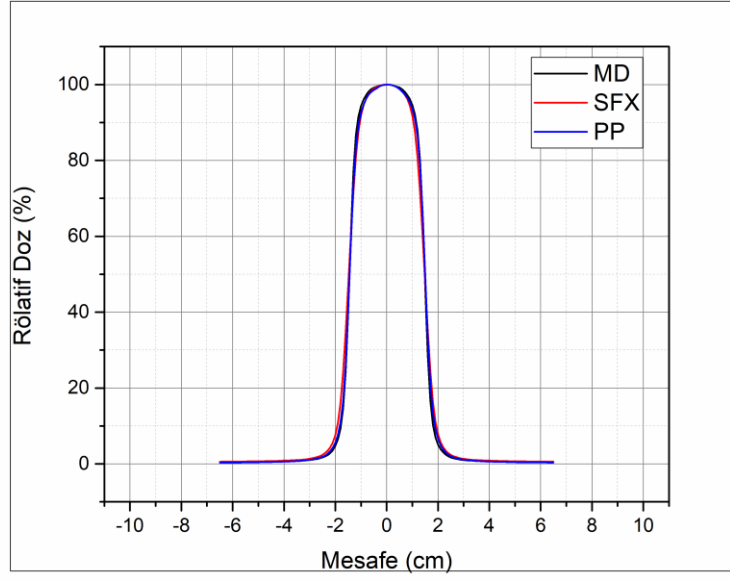
Şekil 6.2.2.61. 10FFF 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



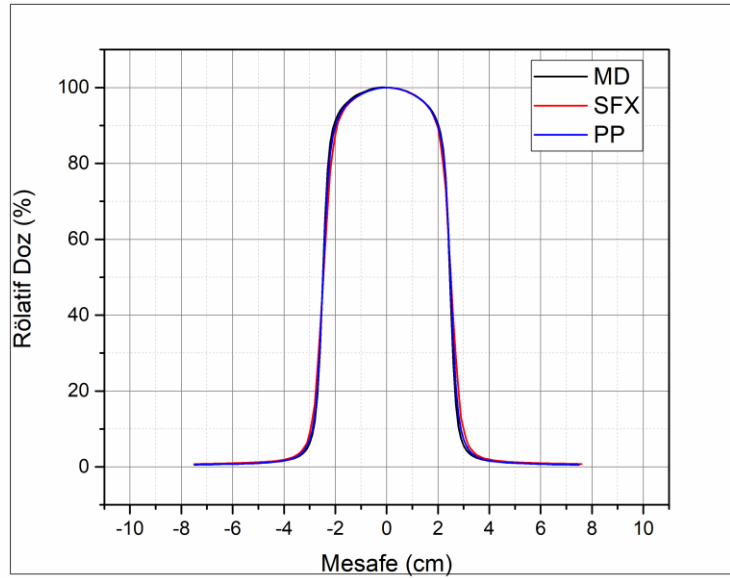
Şekil 6.2.2.62. 10FFF 1x1 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



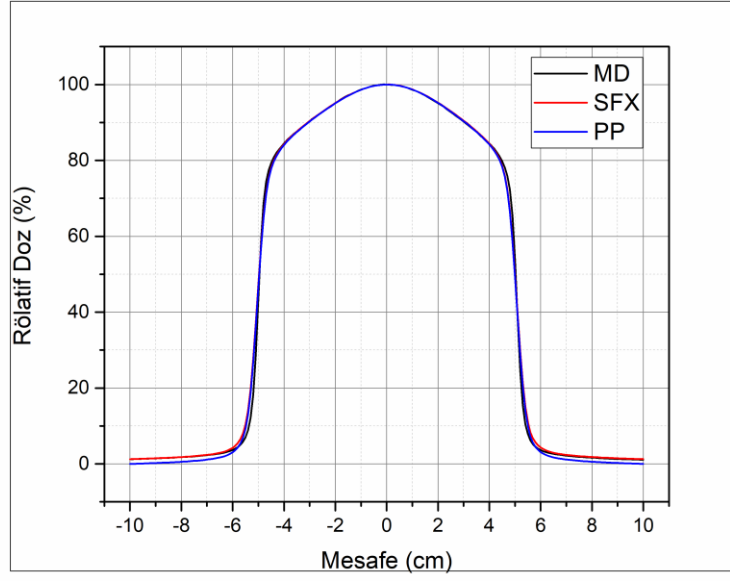
Şekil 6.2.2.63. 10FFF 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.64. 10FFF 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.65. 10FFF 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.66. 10FFF 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün dmaks derinliği için profil eğrileri

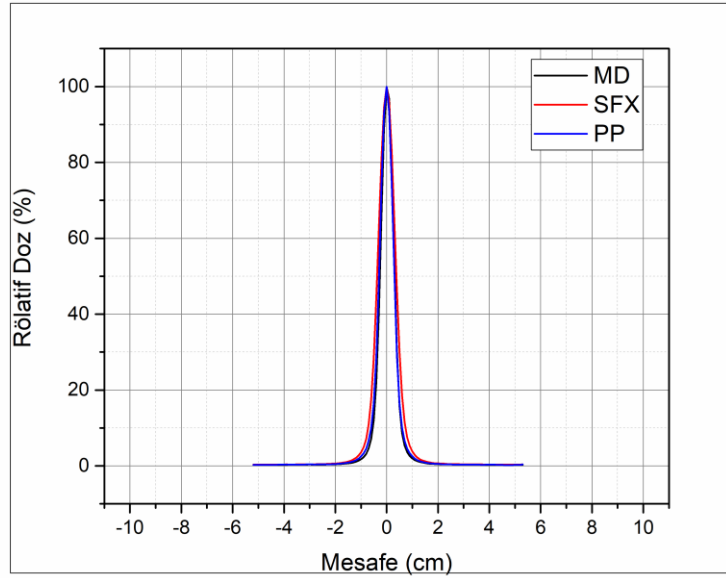
Tablo 6.2.2.25. 10FFF enerji dmaks derinliği için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

10 FFF (derinlik: dmaks)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	Simetri (%)	2.91	13	-346.74	10.7	-267.70
	Sol penumbra (cm)	0.2	0.33	-65.00	0.36	-80.00
	Sağ penumbra (cm)	0.22	0.32	-45.45	0.36	-63.64
1x1	Simetri (%)	11.61	12.58	-8.35	5.49	52.71
	Sol penumbra (cm)	0.26	0.34	-30.77	0.47	-80.77
	Sağ penumbra (cm)	0.27	0.34	-25.93	0.46	-70.37
2x2	Simetri (%)	2.2	1.28	41.82	0.87	60.45
	Sol penumbra (cm)	0.28	0.4	-42.86	0.49	-75.00
	Sağ penumbra (cm)	0.28	0.39	-39.29	0.49	-75.00
3x3	Simetri (%)	0.37	1.63	-340.54	0.16	56.76
	Sol penumbra (cm)	0.37	0.41	-10.81	0.55	-48.65
	Sağ penumbra (cm)	0.37	0.42	-13.51	0.54	-45.95
5x5	Simetri (%)	0.75	0.14	81.33	0.51	32.00
	Sol penumbra (cm)	0.42	0.48	-14.29	0.58	-38.10
	Sağ penumbra (cm)	0.42	0.48	-14.29	0.58	-38.10
10x10	Simetri (%)	0.19	0.88	-363.16	0.13	31.58
	Sol penumbra (cm)	0.78	0.57	26.92	0.92	-17.95
	Sağ penumbra (cm)	0.78	0.58	25.64	0.92	-17.95

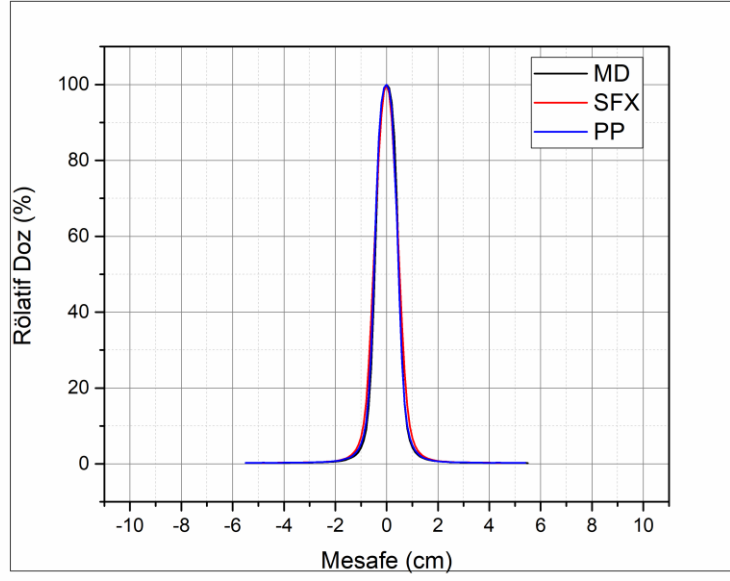
Tablo 6.2.2.26. 10FFF dmaks derinliği için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

10FFF (Derinlik: dmaks)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.54	0.61	-12.96	0.74	-37.04
1x1	0.92	0.93	-1.09	0.99	-7.61
2x2	1.92	1.93	-0.52	1.96	-2.08
3x3	2.93	2.94	-0.34	2.96	-1.02
5x5	4.96	4.97	-0.20	4.98	-0.40
10x10	9.98	10.16	-1.80	9.97	0.10

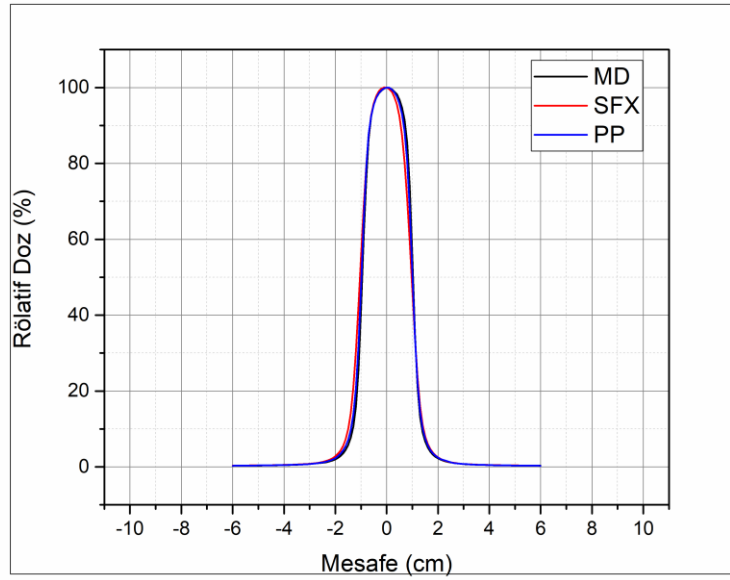
6.2.2.12. 10FFF 5 cm derinlik için profil eğrileri



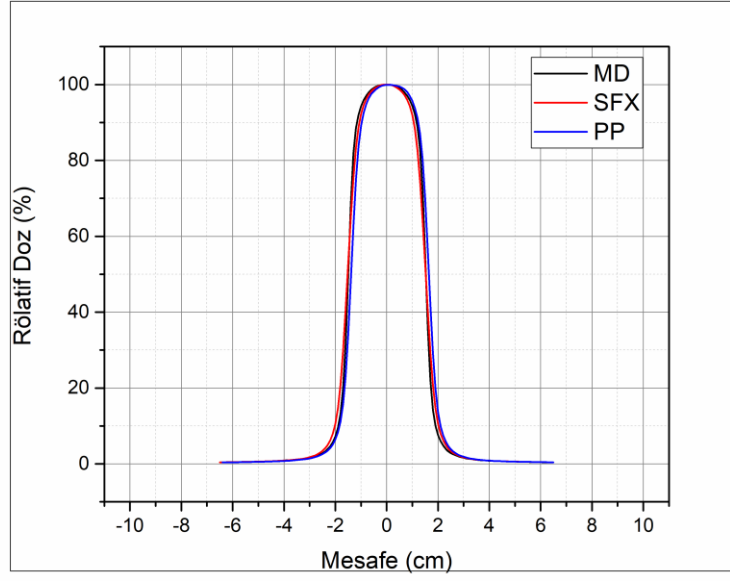
Şekil 6.2.2.67. 10FFF 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



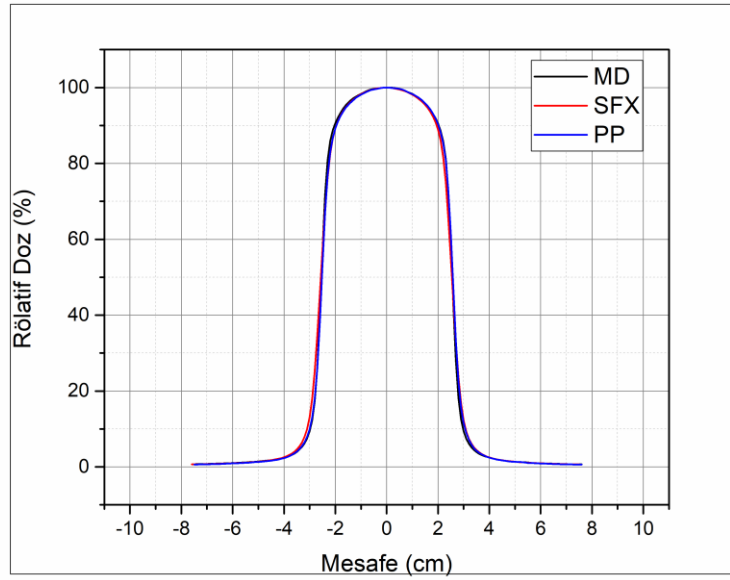
Şekil 6.2.2.68. 10FFF 1x1cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



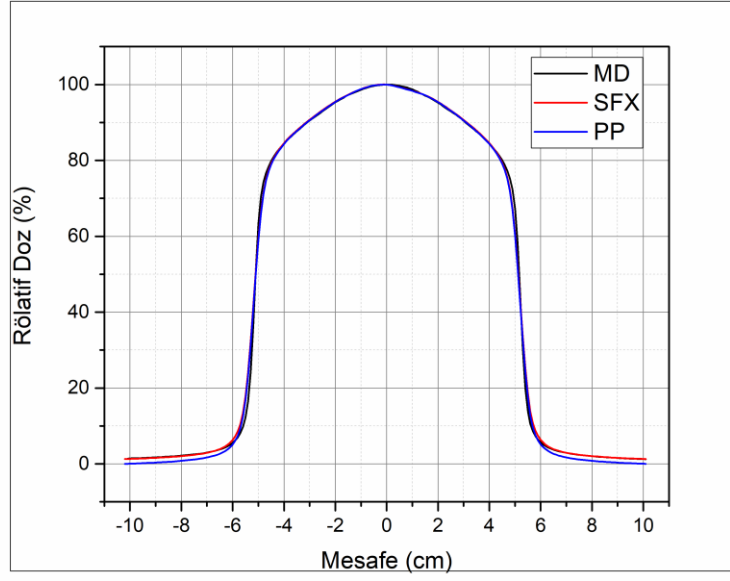
Şekil 6.2.2.69. 10FFF 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.70. 10FFF 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.71. 10FFF 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.72. 10FFF 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün 5 cm derinlik için profil eğrileri

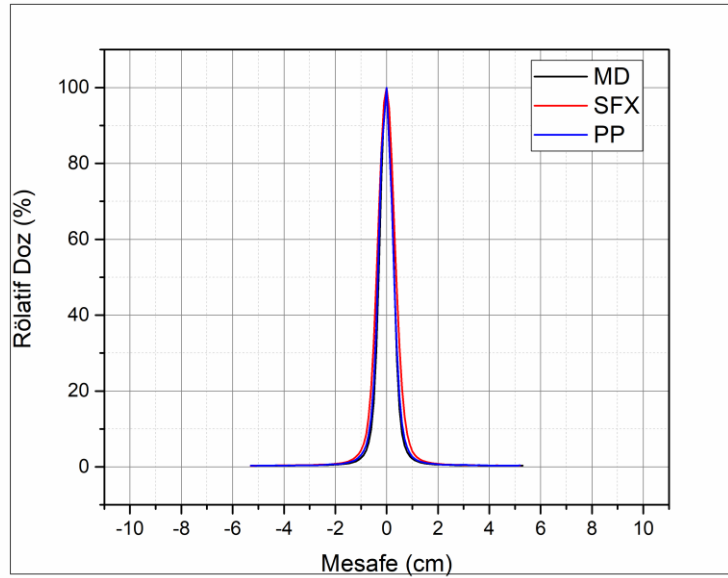
Tablo 6.2.2.27. 10FFF enerji 5 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

10 FFF (derinlik: 5 cm)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	Simetri (%)	11.18	0.7	93.74	2.3	79.43
	Sol penumbra (cm)	0.3	0.31	-3.33	0.4	-33.33
	Sağ penumbra (cm)	0.33	0.32	3.03	0.41	-24.24
1x1	Simetri (%)	3.19	7.07	-121.63	3.23	-1.25
	Sol penumbra (cm)	0.33	0.35	-6.06	0.51	-54.55
	Sağ penumbra (cm)	0.31	0.35	-12.90	0.51	-64.52
2x2	Simetri (%)	1.29	0.81	37.21	7.22	-459.69
	Sol penumbra (cm)	0.4	0.38	5.00	0.56	-40.00
	Sağ penumbra (cm)	0.36	0.38	-5.56	0.56	-55.56
3x3	Simetri (%)	0.4	1.81	-352.50	0.61	-52.50
	Sol penumbra (cm)	0.39	0.5	-28.21	0.68	-74.36
	Sağ penumbra (cm)	0.4	0.51	-27.50	0.69	-72.50
5x5	Simetri (%)	0.34	0.77	-126.47	0.42	-23.53
	Sol penumbra (cm)	0.48	0.48	0.00	0.76	-58.33
	Sağ penumbra (cm)	0.47	0.48	-2.13	0.76	-61.70
10x10	Simetri (%)	0.17	0.65	-282.35	0.7	-311.76
	Sol penumbra (cm)	0.9	0.55	38.89	1	-11.11
	Sağ penumbra (cm)	0.91	0.55	39.56	1.01	-10.99

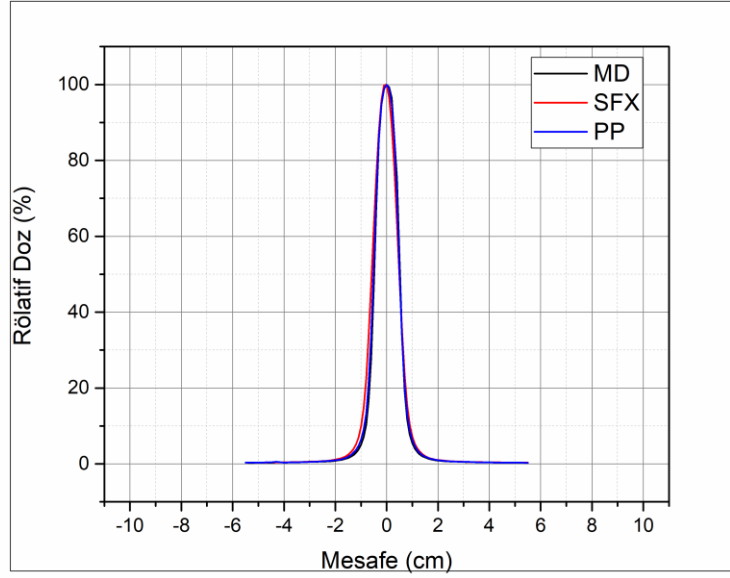
Tablo 6.2.2.28. 10FFF 5 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları;

10FFF (Derinlik:5 cm)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.57	0.62	-8.77	0.78	-36.84
1x1	0.95	0.97	-2.11	1.04	-9.47
2x2	1.98	1.99	-0.51	2.02	-2.02
3x3	3.02	3.03	-0.33	3.04	-0.66
5x5	5.10	5.10	0.00	5.11	-0.20
10x10	10.27	10.42	-1.46	10.24	0.29

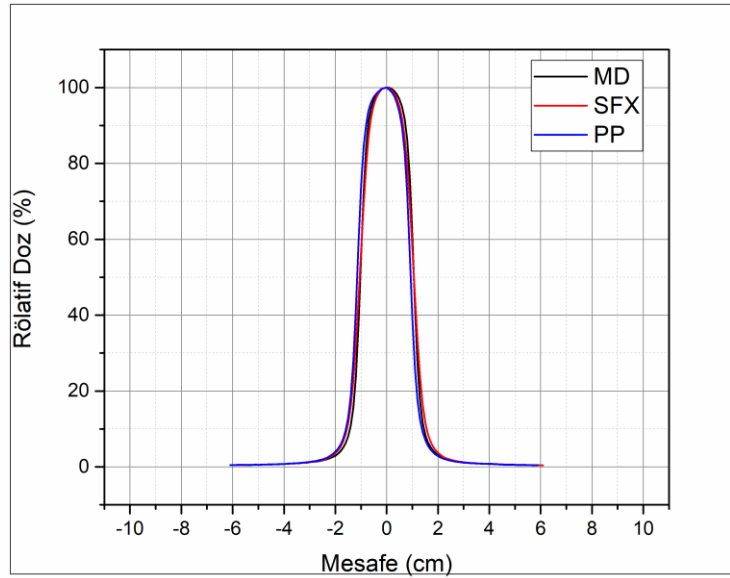
6.2.2.13. 10FFF 10 cm derinlik için profil eğrileri



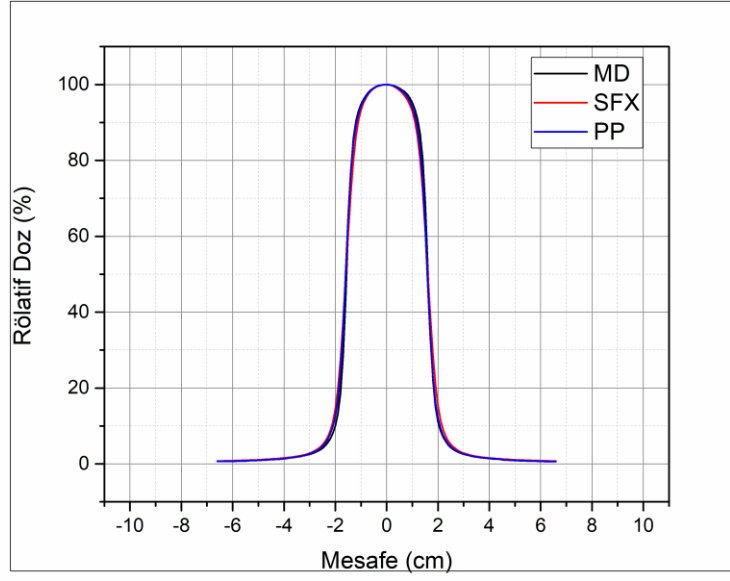
Şekil 6.2.2.73. 10FFF 0.6x0.6 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



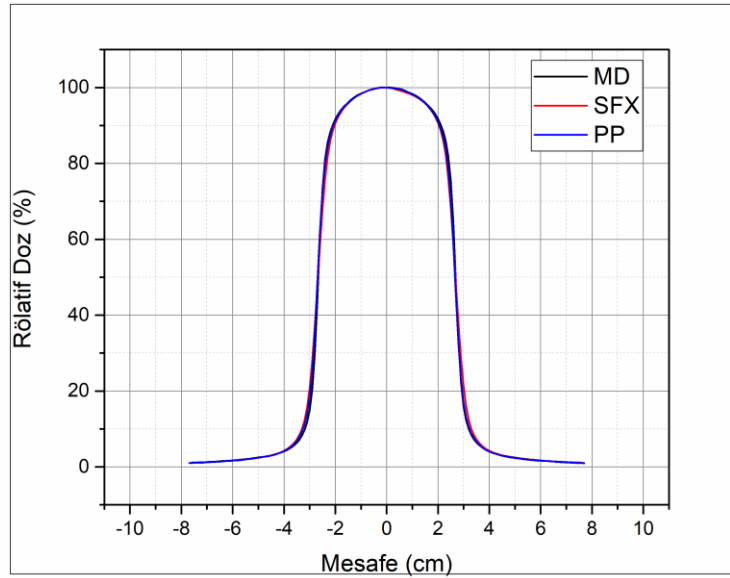
Şekil 6.2.2.74. 10FFF 1x1cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



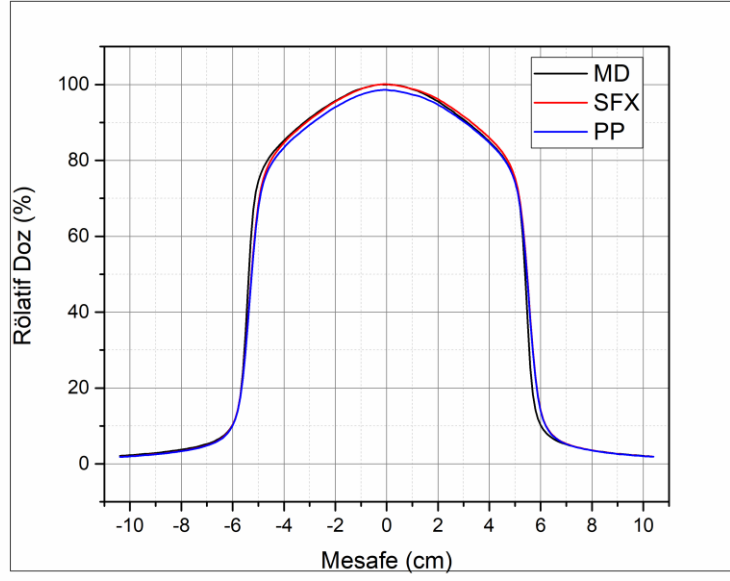
Şekil 6.2.2.75. 10FFF 2x2 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.76. 10FFF 3x3 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.77. 10FFF 5x5 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri



Şekil 6.2.2.78. 10FFF 10x10 cm² alan boyutu için üç detektörün 10 cm derinlik için profil eğrileri

Tablo 6.2.2.29. 10FFF enerji 10 cm derinlik için profil ölçüm parametrelerinden elde edilen değerler

10 FFF (derinlik: 10 cm)		MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	Simetri (%)	2.09	11.62	-455.98	3.67	-75.60
	Sol penumbra (cm)	0.26	0.29	-11.54	0.38	-46.15
	Sağ penumbra (cm)	0.24	0.31	-29.17	0.39	-62.50
1x1	Simetri (%)	8.41	0.22	97.38	6.84	18.67
	Sol penumbra (cm)	0.35	0.38	-8.57	0.48	-37.14
	Sağ penumbra (cm)	0.36	0.37	-2.78	0.48	-33.33
2x2	Simetri (%)	1.78	1	43.82	0.25	85.96
	Sol penumbra (cm)	0.39	0.42	-7.69	0.52	-33.33
	Sağ penumbra (cm)	0.39	0.42	-7.69	0.52	-33.33
3x3	Simetri (%)	0.4	0.63	-57.50	0.55	-37.50
	Sol penumbra (cm)	0.4	0.54	-35.00	0.58	-45.00
	Sağ penumbra (cm)	0.4	0.55	-37.50	0.59	-47.50
5x5	Simetri (%)	1.52	0.34	77.63	0.51	66.45
	Sol penumbra (cm)	0.58	0.62	-6.90	0.68	-17.24
	Sağ penumbra (cm)	0.58	0.62	-6.90	0.68	-17.24
10x10	Simetri (%)	0.36	0.65	-80.56	0.45	-25.00
	Sol penumbra (cm)	1.02	0.58	43.14	1.15	-12.75
	Sağ penumbra (cm)	1.03	0.58	43.69	1.16	-12.62

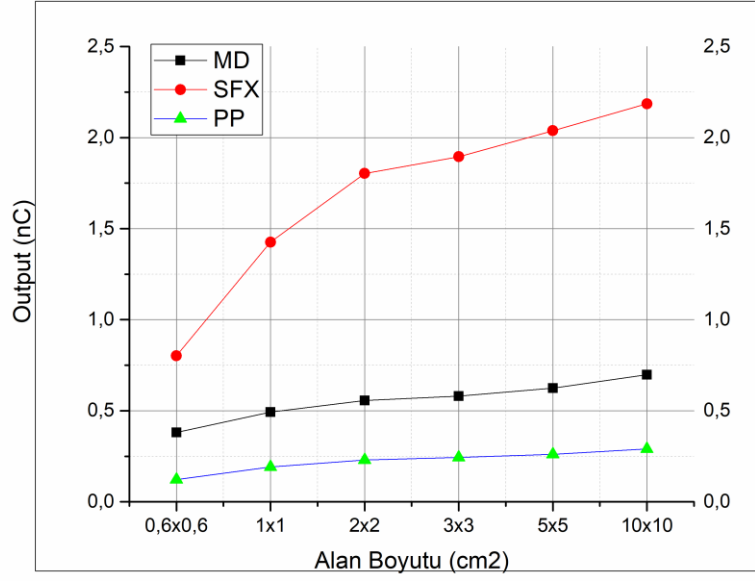
Tablo 6.2.2.30. 10FFF 10 cm derinlik için geometrik ve dozimetrik alan boyutu karşılaştırmaları

10 FFF (Derinlik:10 cm)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
Geometrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)	Dozimetrik Alan Boyutu (cm)
0.6x0.6	0.6	0.65	-8.33	0.80	-33.33
1x1	1.01	1.01	0.00	1.07	-5.94
2x2	2.01	2.09	-3.98	2.12	-5.47
3x3	3.17	3.18	-0.32	3.19	-0.63
5x5	5.38	5.36	0.37	5.36	0.37
10x10	10.77	10.93	-1.49	10.74	0.28

6.2.3. Output ölçümleri

Tablo 6.2.3.1. 6 MV için elde edilen doz verimi ölçüm verileri

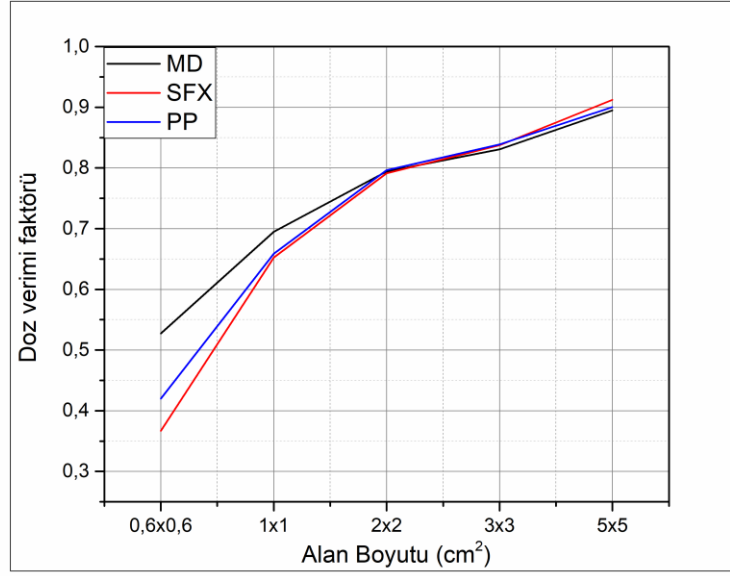
Alan boyutu (cm ²)	MicroDiamond	Semiflex	Pinpoint
0.6x0.6	0.3804	0.8021	0.1216
1x1	0.493	1.426	0.1909
2x2	0.5562	1.803	0.2302
3x3	0.5801	1.895	0.243
5x5	0.6247	2.038	0.2608
10x10	0.6982	2.186	0.2897



Şekil 6.2.3.1. 6 MV doz verimi grafiği

Tablo 6.2.3.2. 6 MV doz verimi değerlerinin 10x10 cm² alan boyutunda elde edilen doz verimi değerine normalize edilerek düzeltme faktörü uygulanması ile elde edilen doz verimi faktörü değerleri

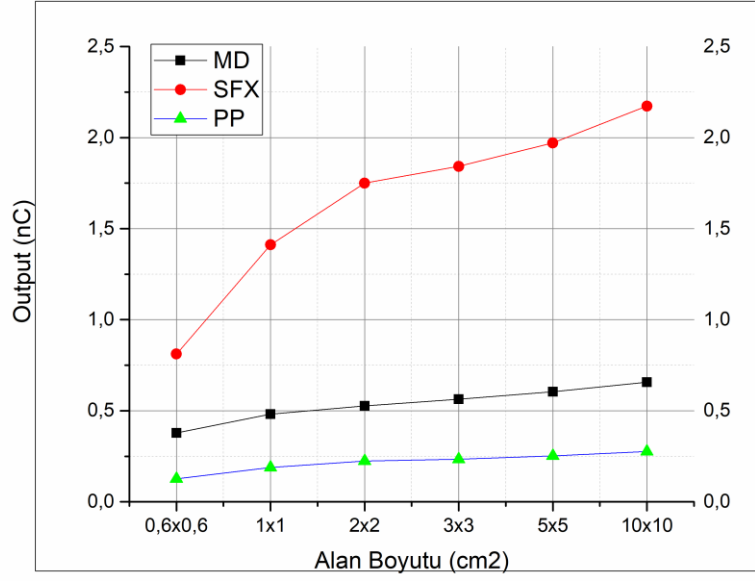
Alan boyutu (cm ²)	MicroDiamond	Pinpoint	MD-PP (%)	Semiflex	MD-SFX (%)
0.6x0.6	0.527395016	0.419744563	20.41173109	0.366925892	30.42674256
1x1	0.694803781	0.658957542	5.159188801	0.652333028	6.112625455
2x2	0.79423002	0.796204349	-0.248584066	0.831392498	-4.679057291
3x3	0.830850759	0.838798757	-0.956609614	0.867747027	-4.440781576
5x5	0.894729304	0.900241629	-0.616088612	0.932296432	-4.198714376
10x10	1	1	0	1	0



Şekil 6.2.3.2. 6 MV normalize edilmiş ve düzeltme faktörleri uygulanmış doz verimi grafiği

Tablo 6.2.3.3. 6 FFF için elde edilen doz verimi ölçüm verileri

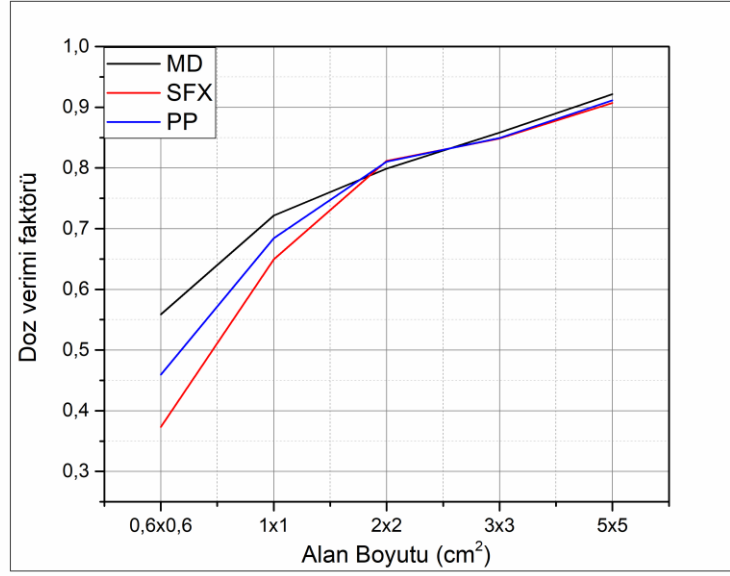
Alan boyutu (cm ²)	MicroDiamond	Semiflex	Pinpoint
0.6x0.6	0.3787	0.8111	0.1268
1x1	0.4814	1.411	0.1889
2x2	0.526	1.75	0.2233
3x3	0.5633	1.842	0.2345
5x5	0.6049	1.971	0.2516
10x10	0.6563	2.173	0.2761



Şekil 6.2.3.3. 6 FFF doz verimi grafiği

Tablo 6.2.3.4. 6 FFF doz verimi değerlerinin 10x10 cm² alan boyutunda elde edilen doz verimi değerine normalize edilerek düzeltme faktörü uygulanması ile elde edilen doz verimi faktörü değerleri

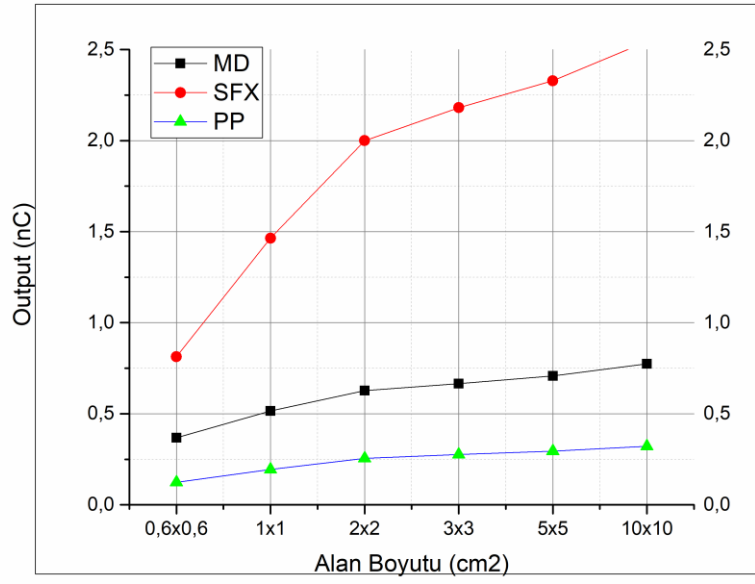
Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	0.5585	0.4592	17.7786	0.3732	33.1738
1x1	0.7217	0.6841	5.2090	0.6493	10.0360
2x2	0.7990	0.8103	-1.4171	0.8117	-1.5921
3x3	0.8582	0.8493	1.0446	0.8485	1.1386
5x5	0.9216	0.9112	1.1303	0.9070	1.5885
10x10	1	1	0	1	0



Şekil 6.2.3.4. 6 FFF normalize edilmiş ve düzeltme faktörleri uygulanmış doz verimi grafiği

Tablo 6.2.3.5. 10 MV için elde edilen doz verimi ölçüm verileri

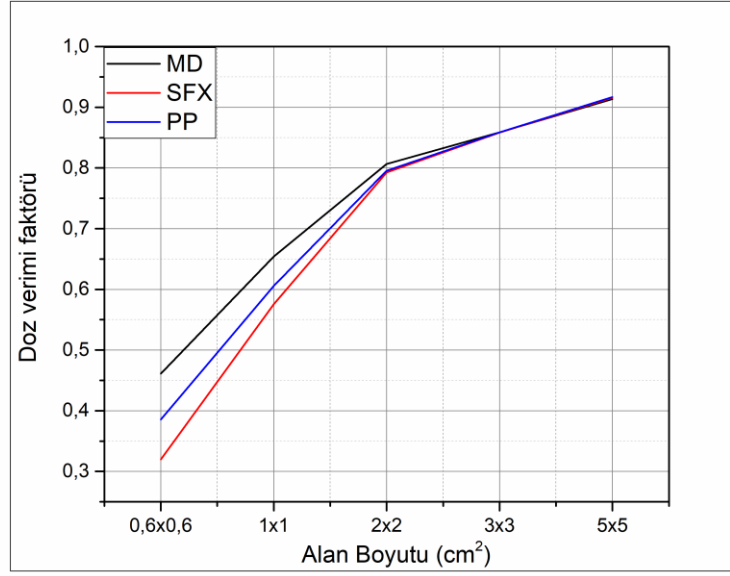
Alan boyutu (cm ²)	MicroDiamond	Semiflex	Pinpoint
0.6x0.6	0.3689	0.8138	0.124
1x1	0.5151	1.464	0.1947
2x2	0.6268	2	0.2552
3x3	0.6651	2.181	0.2761
5x5	0.7076	2.329	0.2948
10x10	0.7746	2.544	0.3215



Şekil 6.2.3.5. 10 MV doz verimi grafiği

Tablo 6.2.3.6. 10 MV doz verimi değerlerinin 10x10 cm² alan boyutunda elde edilen doz verimi değerine normalize edilerek düzeltme faktörü uygulanması ile elde edilen doz verimi faktörü değerleri

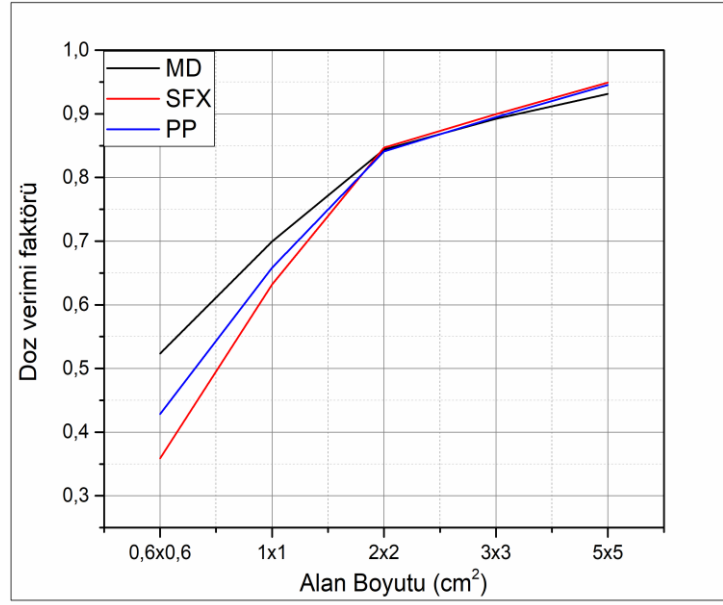
Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	0.4610	0.3856	16.3368	0.3198	30.6104
1x1	0.6543	0.6055	7.4501	0.5754	12.0542
2x2	0.8067	0.7953	1.4127	0.7924	1.7739
3x3	0.8586	0.8587	-0.0174	0.8581	0.0545
5x5	0.9135	0.9169	-0.3774	0.9154	-0.2171
10x10	1	1	0	1	0



Şekil 6.2.3.6. 10 MV normalize edilmiş ve düzeltme faktörleri uygulanmış doz verimi grafiği

Tablo 6.2.3.7. 10 FFF için elde edilen doz verimi ölçüm verileri

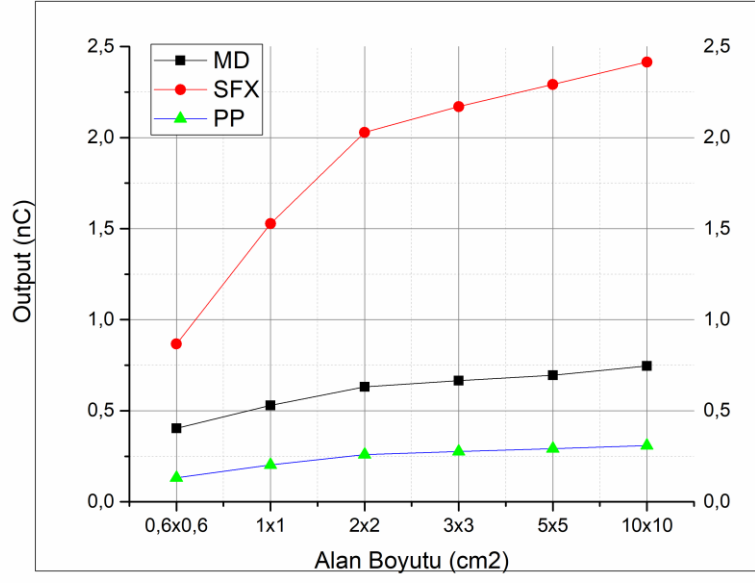
Alan boyutu (cm ²)	MicroDiamond	PTW Semiflex 31010	Pinpoint
0.6x0.6	0.4032	0.8668	0.1322
1x1	0.5301	1.527	0.2033
2x2	0.6311	2.029	0.2591
3x3	0.6654	2.17	0.2763
5x5	0.6945	2.292	0.2918
10x10	0.7456	2.415	0.3087



Şekil 6.2.3.7. 10 FFF doz verimi grafiği

Tablo 6.2.3.8. 10 FFF doz verimi değerlerinin 10x10 cm² alan boyutunda elde edilen doz verimi değerine normalize edilerek düzeltme faktörü uygulanması ile elde edilen doz verimi faktörü değerleri

Alan Boyutu (cm ²)	MD	PP	MD-PP (%)	SFX	MD-SFX (%)
0.6x0.6	0.5234	0.4282	18.1902	0.3589	31.4335
1x1	0.6995	0.6585	5.8644	0.6322	9.6194
2x2	0.8438	0.8410	0.3422	0.8468	-0.3547
3x3	0.8924	0.8950	-0.2922	0.8994	-0.7859
5x5	0.9314	0.9452	-1.4804	0.9490	-1.8898
10x10	1	1	0	1	0



Şekil 6.2.3.8. 10 FFF normalize edilmiş ve düzeltme faktörleri uygulanmış doz verimi grafiği

7. TARTIŞMA

Çalışmamızda farklı türde detektörler ile küçük alan dozimetrik parametreleri ölçülmüştür. Detektörlerin verdikleri cevaplar ile aralarındaki farkların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Alan boyutu küçüldükçe duyarlı hacmi büyük olan detektörler ile doz verimi cevaplarında azalma, geometrik alan boyutundaki genişleme bize ölçüm yapılacak detektörün tedavi planlama sistemine aktarılan verileri etkileyeceğinden küçük alan ölçümlerinde tercih edilecek detektörün ne kadar önemli olduğunu göstermiştir, (13).

Öncelikle TRS 483 protokolünün önerisi üzerine kolimatörlerin mekanik kontrollerinin yapılması amacıyla PTW Semiflex 31010 iyon odası ile 6MV enerjide jawların açılıp kapatılarak ikişer kez yapılan profil ölçümleri arasında farklılık olup olmadığı kontrol edilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre iki ölçümün karşılaştırılmasında düzlük değerlerinde alan boyutlarına göre farklılıklar; 0.6×0.6 - $10 \times 10 \text{ cm}^2$ alan boyutları için sırasıyla %0.07, %5.6, %0.07, %0.11, %0.52, %1.28 olarak elde edilmiştir. En büyük fark $1 \times 1 \text{ cm}^2$ alan boyutunda %5.6 olarak görülmüştür. Yapılan iki ölçümdeki sol ve sağ penumbra değerleri karşılaştırıldığında alan boyutlarına göre sırasıyla; %0, %0.22, %0.38/0.19, %0/0.18, %0.33/0, %0/0 olarak elde edilmiştir. Sol ve sağ penumbra arasında en büyük fark $2 \times 2 \text{ cm}^2$ alan boyutunda görülmüştür ancak genel olarak iki ölçüm arasındaki farkların çok küçük olduğu gözlemlenmiştir. İki ölçüm arasındaki FWHM sonuçları değerlendirildiğinde ise, elde edilen farklılıklar alan boyutlarına göre sırasıyla %0.23, %2.70, %0.14, %0, %0.06, %0 şeklindedir. Burada da elde edilen en büyük fark $1 \times 1 \text{ cm}^2$ alan boyutunda görülmüştür. Ölçüm sonuçlarını incelediğimizde, en büyük farklar genellikle ölçüm yaptığımız en küçük alan boyutlarında karşımıza çıkmıştır. Detektörlerimiz arasında duyarlı hacmi en büyük olan PTW Semiflex 31010 iyon odası diğer ölçümlerimizde de belirgin farklılıklar göstermiştir.

Yüzde derin doz, profil ve doz verimi ölçümlerimizde, en küçük duyarlı hacme sahip referans olarak seçtiğimiz detektörümüz PTW 60019 MicroDiamond detektör sonuçları ile diğer detektörlerden elde ettiğimiz sonuçları karşılaştırdığımızda PTW Pinpoint 31014 iyon odası sonuçlarının referans detektörümüzün sonuçlarına daha yakın olduğunu gözlemledik.

Yüzde derin doz ölçümlerinde, PTW Semiflex 31010 iyon odası ile alınan ölçüm sonuçlarına bakıldığında alan boyutu küçüldükçe, derinlik arttıkça ve yüzeye yaklaştıkça okunan dozun diğer detektörlere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Giriş dozları karşılaştırıldığında ise genel olarak PTW Semiflex 31010 iyon odasının PTW Microdiamond 60019 detektörü ile daha benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. PTW Microdiamond 60019 ile PTW Semiflex 31010 arasındaki sırasıyla 6MV, 6FFF, 10MV, 10FFF enerjileri için en büyük farklar sırasıyla 0.6x0.6 cm² alan boyutunda %21.98, 2x2 cm² alan boyutunda %4.65, 0.6x0.6 cm² alan boyutunda %30.86, ve 1x1 cm² alan boyutunda ise %32.48 olarak elde edilmiştir. Alan boyutu küçüldükçe PTW Semiflex 31010 iyon odasının referans detektörümüze göre verdiği cevaplar gitgide farklılaşmıştır. PTW Pinpoint 31014 ile referans detektörümüz arasındaki giriş dozları farkı ise PTW Semiflex 31010 'e göre daha fazladır. 6MV, 6FFF, 10MV, 10FFF enerjileri için en büyük farklar sırasıyla 5x5 cm² alan boyutu için %26.18, 2x2 cm² alan boyutu için %20.03, 5x5 cm² alan boyutu için %36.99, 3x3 cm² alan boyutu %28,97 olarak elde edilmiştir. PTW Semiflex 31010 ile en yüksek fark 0.6x0.6 cm² ya da 1x1 cm² alan boyutlarında görülürken PTW Pinpoint 31014 ile en yüksek fark ise 5x5 cm² 3x3 cm² alan boyutunda görülmüştür. Alan boyutu çok küçüldükçe PTW Pinpoint 31014 PTW Microdiamond 60019 ile benzerken PTW Semiflex 31010 değerleri büyük farklar göstermektedir.

Üç farklı derinlikte doz değerlerine baktığımız yüzde derin doz ölçümlerinde PTW Microdiamond 60019 ile PTW Pinpoint 31014 iyon odası sonuçlarına bakıldığında 6MV enerji için derinlik arttıkça 0.6x0.6 cm² kadar çok küçük alanların ölçümlerinde elde edilen en büyük fark 20 cm derinlikte %16.31 olarak elde edilmiştir. PTW Microdiamond 60019 ile PTW Semiflex 31010 iyon odası arasındaki farklara bakıldığında ise yine en büyük farkın 20 cm derinlikte %18.99 kadar olduğu görülmüştür. Diğer enerjiler için de bu durum incelendiğinde benzer sonuçlar görülmektedir. 0.6x0.6 cm² alan boyutu için en yüksek farklar 20 cm derinlikte görülmüştür. Enerji ve alan boyutu arttıkça ise farkları incelediğimizde 0.6x0.6 cm² alan boyutu için 5 cm derinlikte 6MV 'de alınan ölçümlerde elde edilen farklar 10MV sonuçlarına göre daha fazladır. Bu sonuçları 10 cm ve 20 cm derinlikte incelediğimizde de aynı şekilde 10 MV enerjide detektörler arası farkın daha az olduğu görülmüştür.

Üç farklı derinlikte yaptığımız profil ölçümlerinde, geometrik alan boyutlarını dozimetrik elde ettiğimiz alan boyutları ile karşılaştırdığımızda, genel olarak PTW Microdiamond 60019 ile PTW Pinpoint 31014 yakın sonuçları verirken PTW Semiflex 31010 daha farklı sonuçlar vermiştir. 6 MV enerji için dmaks derinliğinde PTW Microdiamond 60019 ile PTW Pinpoint 31014 arasındaki en yüksek fark 0.6x0.6 cm² alan boyutunda %8.06, PTW Microdiamond 60019 ile PTW Semiflex 31010 arasındaki en yüksek fark 0.6x0.6 cm² alan boyutunda %35.48 olarak belirlenmiştir. Bu farklar 5 cm derinlikte; sırasıyla 1x1 cm² alan boyutunda %3.51 ve 0.6x0.6 cm² alan boyutunda %20.59, 10 cm derinlikte ise sırasıyla; 0.6x0.6 cm² alan boyutunda %2.64 ve 0.6x0.6 cm² alan boyutunda %30.88 olarak belirtilmiştir. Üç derinlikte de alan boyutları arasında ortaya çıkan en yüksek fark 0.6x0.6 cm² ve 1x1 cm² alan boyutunda görülmüştür. Bu farklılıklar enerjiler ile karşılaştırıldığında ise benzer sonuçlar elde edilmiştir. Enerjinin değişmesi ile alan boyutları arasındaki farklar 6 MV enerjide detektörlerin göstermiş olduğu yanıtlardaki yüzde farklar ile benzerdir. Ancak filtreli ve filtresiz olarak karşılaştırdığımızda filtreli demetlerde elde edilen alan boyutları ve penumbra değerleri filtresiz demetlere göre daha büyüktür. 6 MV enerjide 1x1 cm² alan boyutunda PTW Microdiamond 60019 ile PTW Pinpoint 31014 karşılaştırılmasında fark %3.51 kadarken 6 FFF enerji ile yapılan ölçümde bu fark %1.08 leredir. 6 MV enerjide PTW Microdiamond 60019

ile PTW Semiflex 31010 iyon odası karşılaştırıldığında ise bu fark %10.31 kadarken 6 FFF enerjide bu fark %7.53 kadardır.

Çalışmamızda doz verimi ölçümleri bize detektörlerin düzeltme faktörlerinin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Detektörlere TRS 483 küçük alan dozimetrisi protokolünde önerilen düzeltme faktörleri uygulanmadan önce detektörler arası fark çok fazlayken düzeltme faktörlerinin uygulanması ile yanıtların birbirine yaklaştığını gördük. Düzeltme faktörleri uygulandıktan sonra 6 MV için en yüksek fark %30.42 PTW Microdiamond 60019 ile PTW Semiflex 31010 arasında $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ alan boyutunda, 6FFF için en yüksek fark %33.17 PTW Microdiamond 60019 ile PTW Semiflex 31010 arasında $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ alan boyutunda, 10 MV için en yüksek fark %30.61 PTW Microdiamond 60019 ile PTW Semiflex 31010 arasında $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ alan boyutunda ve 10 FFF için en yüksek fark %31.43 PTW Microdiamond 60019 ile PTW Semiflex 31010 arasında $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ alan boyutunda görülmüştür. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi en küçük alan boyutunda PTW Semiflex 31010 iyon odası büyük duyarlı hacminden dolayı, ortalama %30 farklı yanıt vermiştir. Çalışmadan elde ettiğimiz sonuçları diğer çalışmalar ile karşılaştırdığımızda benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Giacomo Reggiori et al. (14) tarafından yapılan çalışmada, EDGE hızlandırıcı cihazında 6MV, 6FFF ve 10FFF foton enerjileri kullanılarak IBA Blue Phantom2 su fantomunda PTW Microdiamond 60019 detektörün performansı değerlendirmek amaçlanmıştır. Kısa süreli stabilite, doz doğrusallığı ve doz hızı bağımlılığı değerlendirilmiştir. Su fantomu ölçümlerinde elde edilen PTW Microdiamond 60019 profilleri ve doz verimi faktörleri diğer detektörler ile elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Küçük alanlarda hacim ortalaması etkileri değerlendirilmiş ve her bir detektör için ilgili düzeltme faktörleri uygulanmıştır. Doz profil ölçümleri 10 cm derinlikte, $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ 'den $30 \times 30 \text{ cm}^2$ alan boyutuna kadar crossline düzlemde SSD=90 cm'de yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen penumbra değerlerine bakılmıştır. Doz verimi ölçümlerinde PTW Microdiamond 60019 ve iki detektör kullanılarak $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ den $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 'ye kadar olan alan boyutlarında 10 cm derinlikte SSD=90 cm'de yapılmıştır. $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ 'den $2 \times 2 \text{ cm}^2$ alan boyutuna kadar alınan profil ölçümlerinde; Stereotaktik diyot (SFD), Microdiamond ve PFD

diyotuna göre 0.4 mm'lik farklarla daha dar penumbra ve alan boyutlarını göstermektedir. PFD diyotu, iki detektörün hemen hemen aynı duyarlı hacmine bağlı olarak, Microdiamond detektöre benzer sonuçları göstermektedir. Diyot ve microDiamond detektöre ait profil eğrileri, dedektörlerin iyi uzaysal çözünürlüğünü gösteren ideal penumbrayı takip ettiğini göstermiştir. Penumbra değerleri, dedektör boyutlarına bağlı olmakla birlikte aktif hacimden daha fazladır. Buna göre, 10 FFF foton enerjisi için penumbra değerlerine bakıldığında SFD ile ölçülen değerler, ideal değerleri yaklaşık olarak daha iyi tahmin eder, yine de PFD ve Microdiamond ile karşılaştırıldığında, farklılıklar 0.5 mm'den büyük değildir. Profil ölçümünün yanında çalışmada, Microdiamond, SFD, PFD ve CC13 detektörleri kullanılarak 0.6x0.6 cm² den 5x5 cm² alan boyutuna kadar doz verimi faktörleri ölçülmüştür ve hacim ortalaması etkisi düzeltilmesi uygulanmıştır. Ölçüm verileri 3x3 cm² alana normalize edilmiştir. 0.6x0.6 cm² alan boyutu için PFD ve PTW Microdiamond 60019 doz verimi faktörleri arasındaki fark demet enerjisine göre % 3-4 arasındadır. Lechner ve al. FF ve FFF demetleri ile aynı alan boyutları ve aynı detektörler kullanılarak yapılan başka bir çalışmada detektörler arası doz verimi faktörü farkını %4.2 -%4.5 kadar bulmuşlardır. 6MV FFF demeti için 0.6x0.6 cm² den 1x1 cm² alan boyutuna kadar PFD-PTW Microdiamond 60019 arasında 2.8% ile 1.4% ve SFD-microdiamond arasında 1.4% ile 0.4% arasında değişim gözlemlenmiştir. 2x2 cm² alan boyutunda detektörler arasındaki farklar tüm enerjiler için ≤ %0.6 çıkmıştır. PTW Microdiamond 60019 ile alınan ölçümlerde alan boyutuna göre penumbra değerlerine bakıldığında 10 FFF için 0.6x0.6 cm² alan boyutunda 0.232 cm, 0.8x0.8 cm² alan boyutunda 0.246 cm, 1x1 cm² alan boyutunda 0.270 cm, 2x2 cm² alan boyutunda 0.352 cm, 4x4 cm² alan boyutunda 0.417 cm, 6x6 cm² alan boyutunda 0.429 cm, 10x10 cm² alan boyutunda 0.467 cm ve 15x15 cm² alan boyutunda 0.516 cm olarak elde edilmiştir. Çalışmada belirtilen sonuçlar bu tez çalışması ile karşılaştırıldığında 10 FFF için 0.6x0.6 cm², 1x1 cm², 2x2 cm² ve 10x10 cm² alan boyutlarında elde edilen sonuçlara bakıldığında sırasıyla 0.26 cm, 0.35 cm, 0.39 cm ve 1.02 cm sonuçları elde edilmiştir. Alan boyutu büyüdükçe ortaya çıkan çelişkili farkların farklı SSD'de yapılan ölçümlerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Antonio Gonzalez-Lopez et al. (15) tarafından yapılan bu çalışmada Varian 2100-DHX Linak cihazında doz verimi faktörleri, doz profilleri ve iki boyutlu doz dağılımı ölçümleri yapılmıştır. Doz verimi ölçümlerinde dmaks derinliğinde (6MV için 1.5 cm, 15MV için 2.5 cm) 6 MV ve 15 MV foton enerjileri ile 0.5x0.5 cm², 0.7x0.7 cm², 1x1 cm², 2x2 cm², 3x3 cm², 6x6 cm² ve 10x10 cm² alan boyutları kullanılmıştır. Ölçümlere başlarken SSD=100 cm, gantry 0° 'de, doz hızının ise 300 MU/dk olduğu kontrol edilmiştir. Doz verimi faktörleri ölçümlerinde EBT-2 film, PTW Pinpoint 31014 ve PTW Semiflex 31010 iyon odaları karşılaştırılmıştır. Doz verimi faktörleri sonuçlarına bakıldığında alan boyutu $\geq 2 \times 2$ cm² olduğunda Radyokromik film sonuçlarının PTW Pinpoint 31014 ve PTW Semiflex 31010 iyon odası ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Doz verimi faktörü ölçüm sonuçları 1x1 cm² alan boyutu ve 6 MV için referans olarak alınan EBT2 filmine göre PTW Pinpoint 31014 ve PTW Semiflex 31010 iyon odaları sırasıyla %10 ve %14 daha düşüktür. 15 MV için ise %10 ve %15tir. En küçük alan için bu fark daha da artmıştır. 0.7x0.7 cm² alan boyutu için film ile yapılan doz verimi ölçümlerinde 6MV için %19 ve %35, 15 MV için %17 ve %33 çıkmıştır. Çalışmada PTW Pinpoint 31014 iyon odası doz verimi sonuçları yaklaşık olarak, 0.5x0.5 cm² ile 10x10 cm² alan boyutları arasında sırasıyla 0.3, 0.49, 0.65, 0.83, 0.92, 0.95 ve 1 olarak elde edilmiştir. PTW Semiflex 31010 iyon odası için ise bu değerler; 0.21, 0.4, 0.58, 0.83, 0.92, 0.95 ve 1 şeklindedir. Bu tez çalışmasında da kullanılan PTW Pinpoint 31014 ve PTW Semiflex 31010 iyon odaları sonuçları 6MV için karşılaştırıldığında, 0.6x0.6 cm² ile 10x10 cm² arasındaki alan boyutları için elde edilen doz verimi faktörleri PTW Pinpoint 31014 ölçüm sonuçları için, 0.42, 0.66, 0.80, 0.84, 0.90 ve 1; PTW Semiflex 31010 ölçüm sonuçları için, 0.37, 0.65, 0.83, 0.87, 0.93 ve 1 olarak gözlemlenmiştir. İki çalışma karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar, benzerlik göstermekle birlikte kullanılan alan boyutlarından dolayı farklılık görülmüştür.

Lechner W. et al. (16) tarafından yapılan çalışmada küçük alan dozimetri için çeşitli detektörlerin uygulanabilirliği ve FF- ve FFF- demetleri kullanıldığında dedektör cevabındaki farklılıklar araştırılmıştır. Çalışmada 6 MV, 6FFF, 10MV, 10FFF demetlerinin doz verimi faktörleri, su fantomunda 5 cm derinlikte 10x10 cm² ile 0.6x0.6 cm² arasındaki alan boyutları kullanılarak 14 farklı detektör ile ölçülmüştür. Çalışmada Elekta Precise linear accelerator (Elekta, Crawley, UK) cihazı kullanılmıştır. 14 detektör, hacimleri doğrultusunda ‘micro’, ‘mini’ ve ‘standart’ olarak sınıflandırılmıştır. ‘micro’ grubunda, microdiamond 60019, SFD, DiodeP 60008, EFD, PFD ve microLion 31018; ‘mini’ grubunda, CC01, Pinpoint14 310014 ve CC04; ‘standard’ grubunda ise PTW Semiflex 31010, IC10, CC13, NPL2611 detektörleri yer almaktadır. Ölçümler, Blue Phantom (Wellhöfer, Schwarzenbruck, Germany) su fantomunda 5 cm derinlikte SSD=95 cm’de alınmıştır. Elde edilen doz verimi sonuçları 3x3 cm² alana normalize edilmiştir. Referans olarak Alanine Pellets detektörü kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, 10x10cm² alan boyutu için Alanine Pellets’e göre EFD ve SFD diyotları %1 fazla okurken PTW Microdiamond 60019 detektör %0.5 fazla okumuştur. Mini grup detektörlerin cevapları mikro detektörlerle karşılaştırıldığında daha farklı cevaplar gözlemlenmiştir. Pinpoint14, Pinpoint16 için değerler %4 ve %8 dir. standard grupta yer alan PTW Semiflex 31010 iyon odasının doz cevabı oranı ise 0.844 olarak bulunmuştur. detektörlerin sonuçlarına bakıldığında, 1.8x1.8cm² alan boyutu için Alanine ile %3, 2.4x2.4 cm² alan boyutu için %1 uyum içinde olduğunu göstermiştir. Aktif hacim arttıkça doz cevap oranlarının da azaldığı gözlemlenmiştir. Tez çalışmamızda da micro detektörler grubunda yer alan microdiamond detektör ile PTW Pinpoint 31014 ve PTW Semiflex 31010 detektörlerimizi karşılaştırdığımızda, microdiamond ile PTW Pinpoint 31014 iyon odası arasında 6MV için 0.6x0.6 cm² ile 10x10 cm² arasında sırasıyla; %20.41, %5.16, %0.25, %0.96 ve %0.62, PTW Semiflex 31010 iyon odası ile arasında sırasıyla; %30.43, %6.11, %4.68, %4.44, %4.20 elde edilmiştir. 6FFF ile yapılan ölçümlerde PTW Pinpoint 31014 iyon odası için sırasıyla; %17.78, %5.21, %1.42, %1.04, %1.13, PTW Semiflex 31010 iyon odası için sırasıyla; %33.17, %10.04, %1.59, %1.14, %1.59 olarak elde edilmiştir. 6 MV ve 6 FFF ile yapılan ölçümler karşılaştırıldığında PTW Pinpoint 31014 ve PTW

Semiflex 31010 değerleri arasındaki farklılıkların SSD'den dolayı kaynaklandığı düşünölmektedir.

Eyad Alhakeem ve Sergei Zavgorodni (17) tarafından yapılan çalışmada düzeltme faktörleri microdiamond ve zırhsız EFD-3G detektörleri için EBT3 filmi ve MC hesaplaması kullanılarak Varian Truebeam 6 MV cihazında 1.27-40 mm çaplı alanlar elde edilmiştir. Düzeltme faktörleri, detektörlerin merkezi demet eksenine farklı hizalanma yönleri için hesaplanmıştır. Bu rapor, 4 mm den daha küçük alanlar için düzeltme faktörlerini araştıran ilk rapordur. Daha öncesinde yapılan alışmalar EBT2/3 filmlerinin düzeltme faktörleri uygulanmasına ihtiyaç duymadığını göstermiştir(Novotny Josef et al 2009, Bassinet et al 2013, Lárraga-Gutiérrez 2014). Bu yüzden bu çalışmada film için düzeltme faktörü 1 olarak alınmıştır. Çalışmada 6 MV enerjili dairesel alanlar oluşturabilmek için Varian Truebeam linak cihazı BrainLab SRS konlar ile kullanılmıştır. BrainLab cihazı 10,12.5, 15 ve 40 mm lik dairesel kolimatöre sahip olduğundan çalışmada 1.27, 2.46 ve 3.77 mm lik çaplarında çok küçük dairesel alanları oluşturmak için kendilerinin hazırladıkları kolimatörleri kullanmışlardır. Ölçümler, izosentra yerleştirilen dedektörler ve katı su fantomunda 1.5 cm derinlikte alınmıştır. Rölatif doz verimi faktörleri, 40 mm çapındaki referans alanlardaki detektör okumalarına normalize edilerek elde edilmiştir. Doz verimi faktörü ölçümlerinde PTW-60019 microDiamond (PTW-Freiburg, Germany) ve IBA EFD-3G diode (IBADosimetry, Germany) detektörleri kullanılmıştır. İki detektör de, gövdeleri merkezi demet eksenine dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Detektörün merkezde doğru yerleştirildiğinden emin olmak için detektörün maksimum sinyali ölçtüğü noktaya kadar küçük kaydırmalar verilmiştir. Detektör hizalama doğruluğu yaklaşık olarak 0.1 mm ayarlanmıştır. Her bir detektör için üçer kez okuma yapılmış ve bu sonuçların ortalaması alınmıştır. EBT3 filmleri demet profilleri ve doz verimi faktörleri ölçümleri için 5x5 cm² lik alanlar halinde hazırlanmıştır. Film kalibrasyon, tarama uygulamaları literatürde belirtildiğı gibi yapılmıştır. (Alhakeem et al 2015) Tüm alanlar için dozimetrik alan boyutları FWHM ile tanımlanmıştır. (Cranmer-Sargison et al 2013) 40 mm lik alan boyutuna normalize edilerek elde edilen doz verimi faktörleri karşılaştırıldığında en küçük alan 1.27 mm için EFD-3G detektörü ile EBT3 film arasında %-17.9 farklılık ortaya çıkmıştır. %2.4, %1.4 ve %1.6 olan maksimum farklar sırasıyla 10,12.5 ve 15 mm lik konlar için bulunmuştur.

Microdiamond için 1.27-40 mm kon alanlarına düzeltme faktörleri uygulanması ile detektörün paralel ve dik yerleştirildiği ≥ 10 mm'lik alan boyutlarında doz verimi faktörleri küçük olmakla birlikte 0.989 ile 1.020 aralığında çıkmıştır. Merkezi eksene dik yerleştirilmiş Microdiamond detektörü doz verimi faktörleri 1.27-40 mm alan boyutlarına göre sırasıyla %87.40, %49.08, %31.81, %9.62, %6.46, %4.07 olarak belirtilmiştir. Microdiamond için elde edilen doz verimi faktörleri alan boyutlarına göre sırasıyla, 0.126, 0.509, 0.682, 0.904 olarak bulunmuştur.

Bu tez çalışmasında da benzer şekilde sonuçlar karşılaştırıldığında düzeltme faktörleri uygulanmış microdiamond detektörü 6MV enerji ve $0.6 \times 0.6 - 10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik alan boyutları için doz verimi faktörleri sırasıyla 0.53, 0.69, 0.79, 0.83, 0.89 olarak elde edilmiştir. Tez çalışmamızdaki alan boyutları ile Eyad Alhakeem ve Sergei Zavgorodni tarafından yapılan çalışmadaki alan boyutlarından birbirine en yakın alan boyutu olan 1 cm^2 lik konda elde edilen sonuçları arasında 0.21 gibi bir fark gözlemlenmiştir. Bu fark, tez çalışmamızda kullandığımız alan boyutunun kare diğer alan boyutunun ise dairesel olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Wollongong Üniversitesi Tıp Radyasyon Fiziği Merkezi (CMRP) (18) tarafından SRT Qa için "Octa" isimli iki adet birinci jenerasyon monolitik silikon diyot detektörü tasarlanmış ve karakterize edilmiştir. Octa, 512 diyottan oluşan pasif modda çalıştırılan ortogonal lineer dizi halinde düzenlenmiş iki boyutlu monolitik silikon detektörüdür. Bu çalışmada dozimetrelerin atım başına doz bağımlılığı olan filtreli demetlerde doz verimi faktörlerinin, yüzde derin doz ve profil ölçümlerinin doğruluğu gösterilmek istenmiştir. MP512 açılı bağımlılığı araştırılmış ve bunun ark tedavisi kalite kontrolü için uygun duruma getirilmesi için düzeltilmiştir. Çalışmada FFF demet kullanımında küçük alanların, rölatif doz ölçümleri için Octa'nın potansiyeli değerlendirilmiştir. Doz profilleri, yüzde derin doz eğrileri ve doz verimi faktörleri gibi TPS'te yaygın olarak kullanılan parametreler incelenmiştir. Octa detektörü diğer detektörler ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma Varian Clinac linak ve Varian Truebeam STx linak cihazlarında EBT3 Gafkromik filmler, PTW 60019 Microdiamond, CC13 iyon odası, iki tür Farmer iyon odası ve Markus iyon odası kullanılarak yapılmıştır. Doz verimi faktörü ölçümleri, SSD 90 cm'de 10 cm derinlikte katı fantomda yapılmıştır. Doz profil ölçümleri, kalite kontrol protokolünü yerinde takip etmek için SSD 90 cm'de 10 cm derinlikte katı fantomda Illawarra Cancer Care merkezinde ve SSD 100 cm'de ve 10 cm derinlikte Peter MacCallum Cancer merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Doz profil ölçümleri 10MV ve 6FFF foton enerjileri kullanılarak $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$, $1 \times 1 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$ alan boyutlarında gerçekleştirilmiştir. EBT3 film ve microdiamond detektörleri, referans detektör seçilerek, doz profil ölçümlerinden elde edilen FWHM ve penumbra değerleri karşılaştırılmıştır.

EBT3 ile Octa detektörün karşılaştırıldığı 10MV enerjide $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ alan boyutunda EBT3 FWHM değeri 0.52 cm ve penumbra değeri 0.2 cm olarak elde edilirken Octa detektör ile alınan ölçümlerde FWHM değeri 0.51 cm ve penumbra değeri 0.19 cm olarak elde edilmiştir. Çalışmada filmin referans detektör olarak kullanıldığı diğer alan boyutları, $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ve $3 \times 3 \text{ cm}^2$, için FWHM değerleri sırasıyla film için 0.99 cm ve 3 cm, Octa detektörü için ise 1.02 cm ve 2.96 cm elde edilmiştir. $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ve $3 \times 3 \text{ cm}^2$ alan boyutlarından elde edilen penumbra değerleri ise sırasıyla film için 0.29 cm ve 0.35 cm, Octa detektörü için ise 0.27 cm 0.39 cm'dir. İki ölçüme bakıldığında penumbra değerlerinde çok az bir fark varken alan boyutunda %3 'lere kadar fark görülmüştür. Microdiamond ile alınan ölçümlerde ise 6FFF enerjide $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ve $3 \times 3 \text{ cm}^2$ alan boyutlarında Microdiamond FWHM değerleri sırasıyla 0.92 cm ve 3.12 cm olarak elde edilmişken Octa FWHM değerleri sırasıyla 0.91 cm ve 3.13 cm olarak gözlemlenmiştir. Penumbra değerleri ise microdiamond için sırasıyla 0.28 cm ve 0.34 cm kadar, Octa için ise sırasıyla 0.26 cm ve 0.33 cm olduğu belirtilmiştir. $1 \times 1 \text{ cm}^2$ alan boyutunda alınan ölçümlerde Microdiamond ile Octa detektör arasında FWHM farkı %1.1 olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçları, bu tez çalışması için aynı koşullarda yapılan ölçümlerde Microdiamond sonuçları karşılaştırıldığında 6 FFF enerji için $1 \times 1 \text{ cm}^2$ ve $3 \times 3 \text{ cm}^2$ alan boyutlarında sırasıyla Microdiamond FWHM sonuçlarımız, 0.98 cm ve 3.17 cm, penumbra

sonuçlarımız ise 0.34 cm ve 0.38 cm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar benzer olup aradaki farklılığın Microdiamond farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Otto A Sauera ve Jürgen Wilbert (19) tarafından yapılan çalışmada, iki tanesi silikon diyot (küçük alan diyot detektör ve Edge detektör) ve üç tanesi iyon odası (PTW Pinpoint 31014 detektörü, PTW 0.125cc iyon odası ve Exradin A1 detektörü) olmak üzere beş farklı detektör ile 6 MV enerjili x ışını kaynağı kullanılarak küçük alanlar için doz verimi faktörleri ölçülmüştür. Çalışmada ölçümler su fantomunda 95 cm ve 100 cm olmak üzere iki farklı SSD'de, 5cm ve 10cm derinlikte gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, her bir detektör ile 1 x1 cm² 'den 10x10cm² 'ye kadar olan kare alan boyutları ile doz verimi faktörü ölçümleri rapor edilmiştir.

İki silikon diyot detektörün kullanıldığı durumda doz verimi faktörü, sub cm kare alan boyutları için jaw ve MLC ile şekillendirilen alanlarında ölçüm yapılmıştır. Jaw'larla şekillendirilen alanlar için mümkün olan en küçük kolimatör genişliği 0.5 cm iken MLC'ler ile şekillendirilen alanlarda en küçük alan genişliği 0.25 cm olarak açılabilmiştir.

Alan şekillendirmesi, Jaw'larla şekillendirilen alanlar için karşılıklı MLC'lerin tamamen açık olduğu park pozisyonuna getirildiği alanlar, MLC'ler ile şekillendirilen alanlar ise sadece MLC açıklıklarının değiştirildiği jaw'ların ise 10x10 cm² genişliğinde açıldığı alanlar olarak belirlenmiştir.

Doz verimi faktörü ölçümleri 4 detektör ile SSD=100 cm, 10 cm derinlikte alan genişliği fonksiyonu olarak JAW ve MLC ile şekillendirilen alanlarda yapılmıştır. En küçük alan boyutu 1x1 cm² 'de PTW 0.125 cc PTW Semiflex 31010 detektörü, diğer detektörler ile karşılaştırıldığında en büyük farklılığı vermektedir. 1x1 cm² alan boyutunda küçük alan diyot detektörü ile PTW Semiflex 31010 iyon odası karşılaştırıldığında Jaws'larla şekillendirilen alanlar için SSD 95, derinlik 5 cm'de aralarındaki fark %18.6 olarak elde edilmiştir, SSD'nin 100 cm derinliğin 10 cm olduğu ölçümlerde ise aralarındaki fark %15.3 kadar belirtilmiştir. Ölçülen doz verimi faktörlerindeki en düşük doz verimi faktörünü daima PTW 0.125 cc PTW Semiflex 31010 iyon odası vermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, tez çalışmamız ile karşılaştırıldığında iki çalışmada da kullanılan PTW Pinpoint 31014 iyon odası ve PTW Semiflex 31010 iyon odası ile yapılan doz verimi faktörleri sonuçlarına bakıldığında, jawların alanı şekillendirdiği ve MLC'lerin kapalı pozisyondayken yapılan ölçümlerde PTW Pinpoint 31014 iyon odası PTW Semiflex 31010 iyon odasına göre daha yüksek okumuştur. Tez çalışmamızda $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ alan boyutundan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ alan boyutuna kadar olan doz verimi faktörü ölçümlerinde iki detektör arasındaki farklar sırasıyla, %14.39, %1.01, %4.23, %3.33, %3.43 şeklindedir. En büyük fark $0.6 \times 0.6 \text{ cm}^2$ alan boyutunda görülmüştür. Sonuçlarımız literatürle uyumlu olup PTW Semiflex 31010 iyon odası bizim çalışmamızda da düşük okuma yapmıştır.



8. SONUÇ

Modern radyoterapide küçük alan dozimetresi kullanımının yaygınlaşması ile uygulanan tedavi dozlarının kalite kontrolündeki doğrulukları da oldukça önem kazanmıştır. Geniş alanlara göre çok daha fazla belirsizlik içeren küçük alanlarda, dozimetrik parametrelerin ölçülerinde kullanılacak detektör türünün seçimi belirsizlikleri en aza indirmek için oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalara ve tez çalışmamızdaki sonuçlarımıza bakıldığında da detektör seçimi büyük farklılıklara yol açmaktadır. Geniş alanların dozimetrik ölçümleri için uygun olan büyük hacimli detektörlerin küçük alanlarda alınan ölçümlerde kullanılması ölçüm sonuçlarında hatalara yol açmaktadır. Bu yüzden küçük alan ölçülerinde küçük hacimli detektörlerin kullanılması ile ölçümlerden daha doğru sonuçlar elde edilecektir. Kısa süre önce yayınlanan TRS-483 küçük alan dozimetresi protokolünde de belirtildiği gibi diyot ya da diamond detektörlerin küçük alanlar için uygun olduklarından dolayı TPS'e, küçük hacimli detektörler ile alınacak ölçümlerden elde edilen verilerin yüklenmesi önerilmektedir.

9. KAYNAKLAR

- 1- ICRU REPORT 91: Prescribing, Recording, and Reporting of Stereotactic Treatments with Small Photon Beams. Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements, 2014;14,31-53
- 2- Sharma S D, Kumar S, Dagaonkar S S, Bisht G, Dayanand S, Devi R, Deshpande S S, Chaudhary S, Bhatt B C, Kannan S. Dosimetric comparison of linear accelerator-based stereotactic radiosurgery systems. J Med Phys 2007;32:18-23
- 3- Muralidhar K R, Pangam S, Srinivas P, Ali MA, Priya V S, Komanduri K. A phantom study on the behavior of Acuros XB algorithm in flattening filter free photon beams. J Med Phys 2015;40:144-9
- 4- Gonzalez-Lopez A, Vera-Sanchez JA, Lago-Martin JD. Small fields measurements with radiochromic films. J Med Phys 2015;40:61-7
- 5- Chaudhari SH, Dobhal R, Kinshikar RA, Kadam SS, Deshpande DD. Measurement of total scatter factor for stereotactic cones with plastic scintillation detector. J Med Phys 2017;42:9-13
- 6- TH-C-BRCD-01: Small Field Dosimetry: A Clinical Perspective, Medical Physics 2012;39(6):3996
- 7- Fiz. Uzm. Songül Barlaz Us. SORU: SBRT'NİN GELECEĞİ FFF (Flattening Filter Free) DEMETLERİN KULLANILMASINDA MI YATIYOR? Medikal Fizik Dergisi 2016; Sayı 4
- 8- Sigamani A, Nambiraj A, Yadav G, Giribabu A, Srinivasan K, Gurusamy V, Raman K, Karunakaran K, Thiyagarajan R. Surface dose measurements and comparison of unflattened and flattened photon beams. J Med Phys 2016;41:85-91
- 9- IPEM topical report 1: guidance on implementing flattening filter free (FFF) radiotherapy. Geoff Budgell et al 2016 Phys. Med. Biol. 61 8360

- 10- Sharma SD. Unflattened photon beams from the standard flattening filter free accelerators for radiotherapy: Advantages, limitations and challenges. *J Med Phys* 2011;36:123-5
- 11- Godson HF, Ravikumar M, Sathiyam S, Ganesh K M, Ponmalar Y R, Varatharaj C. Analysis of small field percent depth dose and profiles: Comparison of measurements with various detectors and effects of detector orientation with different jaw settings. *J Med Phys* 2016;41:12-20
- 12- Technical Reports Series No. 483 Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy. 2017; 978-92-0-105916-1); 211
- 13- Şule Parlar. Küçük Alan Dozimetrisinde iyon odası volümünün etkisi. 2015; Doktora tezi
- 14- Reggiori G, Stravato A, Pimpinella M, Lobefalo F, De Coste V, Fogliata A, Mancosu P, De Rose F, Palumbo V, Scorsetti M, Tomatis S. Use of PTW-microDiamond for relative dosimetry of unflattened photon beams. *Phys Med*. 2017 Jun;38:45-53. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.05.046. Epub 2017 May 10.
- 15- Antonio Gonzalez-Lopez, Juan-Antonio Vera-Sanchez, Jose-Domingo Lago-Martin Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca, Carretera Madrid-Cartagena, Murcia, Spain Servicio de Proteccion Radiologica y Fisica Medica, Hospital Sant Joan de Reus, Reus, Tarragona, Spain. Small fields measurements with radiochromic films
- 16- Lechner W1, Palmans H, Sölkner L, Grochowska P, Georg D. Detector comparison for small field output factor measurements in flattening filter free photon beams. *Radiother Oncol*. 2013 Dec;109(3):356-60.
- 17- Eyad Alhakeem and Sergei Zavgorodni Output and (k_{Qclin} , Q_{msr} f_{clin} , f_{msr}) correction factors measured and calculated in very small circular fields for microDiamond and EFD-3G detectors Accepted Manuscript online 28 June 2018 Institute of Physics and Engineering in Medicine

18- G. Biasia , M. Petaseccaa , S. Guatellia , N. Hardcastleb , M. Carolana,d , V. Perevertayloe , T. Krona,b,c , A.B. Rosenfelda A novel high-resolution 2D silicon array detector for small field dosimetry with FFF photon beams Phys Med. 2018 Jan;45:117-126. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.12.010.

19- Sauer OA1, Wilbert J. Measurement of output factors for small photon beams. Med Phys. 2007 Jun;34(6):1983-8.



10. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

ADI	Sevtap	Soyadı	YILDIRIM
-----	--------	--------	----------

Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Doktora/Uzmanlık	-	-
Yüksek Lisans	-	-
Lisans	Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği	2015
Lise	Özel Saint Michel Fransız Lisesi	2009

İş Deneyimi(Sondan geçmişe doğru sıralayın)

Görevi	Kurum	Süre (Yıl-Yıl)
Medikal Fizik Stajı	Medipol Mega Üniversite Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü	2016-2018
Almanca Tercümanlık	PCE Teknik Cihazlar Paz. Tic. Ltd. Şti.	2015-2016

Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama	Konuşma	Yazma	KPDS Puanı	YDS Puanı
İngilizce	iyi	iyi	iyi	-	-
Almanca	iyi	iyi	orta	-	-
Fransızca	orta	iyi	orta	-	-

	Sayısal	Eşit Ağırlık	Sözel
ALES Puanı	75,65	73,37	62,80

Bilgisayar Bilgisi

Microsoft Office Programları	İyi
SPSS	orta
Multisim	iyi