



T.C.

ACIBADEM MEHMET ALİ AYDINLAR ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİNEER HIZLANDIRICI CİHAZINDA FİZİKSEL  
PARAMETRELERİN FARKLI ÖLÇÜM SİSTEMLERİ  
KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

ABDULLAH DENİZ DEMİRSAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RADYASYON ONKOLOJİSİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Prof. Dr. Enis Özyar

İSTANBUL-2020





T.C.

ACIBADEM MEHMET ALİ AYDINLAR ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİNEER HIZLANDIRICI CİHAZINDA FİZİKSEL  
PARAMETRELERİN FARKLI ÖLÇÜM SİSTEMLERİ  
KULLANILARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

ABDULLAH DENİZ DEMİRSAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RADYASYON ONKOLOJİSİ ANABİLİM DALI

SAĞLIK FİZİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DANIŞMAN

Prof. Dr. Enis Özyar

İSTANBUL-2020

## BEYAN

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

15/04/2020

Abdullah Deniz Demirsar

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince tüm ilgi ve nezaketinden dolayı tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Enis ÖZYAR' a

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen ve klinikte bulunduğum süre boyunca desteğiyle her zaman yanımda olan tez danışmanım değerli hocam Uzm. Fiz. Gökhan AYDIN' a,

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini bize aktaran, her türlü konuda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Banu ATALAR' a, Uzm. Fiz. Bülent YAPICI' ya ve Uzm. Fiz. Görkem GÜNGÖR' e ve Dr. Teuta ZOTO MUSTAFAYEV' e,

Tüm yüksek lisans eğitimi boyunca dostluğunu bizden esirgemeyen, her konuda rahatça fikir alışverişinde bulunabildiğim Uzm. Fiz. Namık KAYALILAR'a ve Uzm. Fiz. Latif KORKMAZ' a,

Hayatımın her bölümünde yanımda olan canım annem İlknur DEMİRSAR 'a ve her zaman desteğini hissettiğim sevgili eşim Elif DEMİRSAR 'a ve tüm aileme,

Yaşamımda bana destek oldukları, yol gösterdikleri ve tüm katkıları için en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamı Sevgili Babam Hüseyin DEMİRSAR' a ithaf ediyorum.

# İÇİNDEKİLER

BEYAN .....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
KISALTMA VE SİMGELER LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	1
SUMMARY .....	2
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	3
2 GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Klinik Lineer Hızlandırıcı Çalışma Mekanizması.....	5
2.2 Klinik Lineer Hızlandırıcılara Neden İhtiyaç Duyuldu ?.....	6
2.3 Klinik Doğrusal Hızlandırıcı Kalite Kontrolü.....	6
2.3.1 Kalite Güvenilirliği.....	6
2.3.1.1 Radyoterapide Kalite Güvenilirliği.....	6
2.3.1.1.1 Radyoterapide Kalite Güvenilirliği Kapsamında Yapılan Kontroller .....	7
2.3.1.1.2 Sapma.....	8
2.3.1.1.2 Hatalar.....	9
2.3.1.1.2 Tolerans .....	9
2.3.1.2 Mekanik Kontroller.....	9
2.3.1.2.1 İzomerkez.....	11
2.3.1.2.2 Penumbra .....	11

2.3.4.3 Alan boyutu .....	12
2.3.5 Dozimetrik Kontroller.....	12
2.3.5.1 Derin Doz Dağılımları ve ölçüm yöntemleri .....	14
2.3.5.2 Yüzde Derin Doz.....	15
2.3.5.3 İzodoz dağılımlarının genel özellikleri .....	15
2.3.5.4 Doz (Demet) Profili.....	16
2.3.5.5 Düzgünlük .....	16
2.3.5.6 İzodoz değerlerini etkileyen faktörler .....	16
2.4 Dozimetrik ve Mekanik Kalite Kontroller İçin Kullanılabilecek Ekipmanlar .	17
2.4.1 2 Boyutlu Düzlem Dedektörü .....	17
2.4.2 Silindirik İyon Odası.....	17
3. GEREÇ VE YÖNTEM .....	19
3.1 Araç ve Gereç .....	19
3.1.1 Varian Truebeam Lineer Hızlandırıcı.....	19
3.1.2 PTW RW3 Su Eşdeğeri Katı Fantomu .....	20
3.1.3 Farmer Silindirik İyon Odası .....	20
3.1.4 PTW Unidose Webline Elektrometre .....	21
3.1.5 Varian as1000 EPGC .....	22
3.1.6 İzocal BB Fantom ve Varian İzocenter Verifikasyon Sistemi.....	23
3.1.7 MPC .....	25
3.1.8 PTW StarCheck 2 Boyutlu Düzlem Dedektörü.....	26
3.1.9 PTW MultiCheck Yazılımı .....	27
3.1.10 PTW BeamAdjust Yazılımı .....	28
3.2 Yöntem.....	28
3.2.1 Varian İzomerkez Verifikasyonu ve MPC İzomerkez Ölçümü.....	28
3.2.2 MPC, İyon Odası ve EPGC ile Rölatif Output Değişiminin Ölçümü .....	29
3.2.3 PTW StarCheck ve MPC ile Alan Boyutunun Ölçümü.....	30
3.2.4 PTW StarCheck ve EPGC ile Düzgünlük Ölçümü.....	30
3.2.5 MPC ve PTW StarCheck ile Işın Merkezi Kaymasının Ölçümü.....	31
4.BULGULAR.....	32
4.1MPC, İyon odası ve EPGC ile rölatif output değişimi ölçümü.....	32
4.2 Varian İzomerkez Verifikasyonu ve MPC izomerkez Ölçümü .....	41

4.3PTW StarCheck ve MPC arasında Alan boyutu değişimi karşılaştırması.....	47
4.4 PTW StarCheck ve MPC Arasında Işın Merkezi Değişimi Karşılaştırması	52
4.5 PTW StarCheck ve EPGC arasında Düzgünlük Değişiminin Karşılaştırması .....	58
5.TARTIşMA .....	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
7. KAYNAKÇA.....	87



## KISALTMA VE SİMGELER LİSTESİ

**Vv:** Varian İzocenter verifikasyonu testi

**aSi:** Amorf Silikon

**CBCT:** Cone Beam Computed Tomography

**CT:** Bilgisayarlı Tomografi (Computed Tomography)

**Dmax:** Maksimum Doz

**EPGC** Elektronik Portal Görüntüleme Cihazı (Electronic Portal Imaging Device)

**FFF MV:** Filtresiz Demet (Flattenning Filter Free)

**kV:** Kilo Volt

**kV-CBCT:** Kilovoltage Cone-Beam Computed Tomography

**MLC:** Çok Yapraklı Kolimatör (Multileaf Collimator)

**MU:** Monitor Unit

**MV:** Mega Volt

**OBI:** On Board Imager

**PV:** Portal Vision

**RT:** Radyoterapi

**RTN:** Rotation

**Setup:** Kurulum

**SSD:** Source Skin Distance

**TPS:** Tedavi Planlama Sistemi

**SSD:** Kaynaktan hedefe uzaklık

**MPC:** Makine performans kontrolü

**SC:** PTW StarCheck

**IP:** In plane

**CP:** Cross plane

**TG:** Target gun

**LR :** Left Right

**LINAK:** Lineer Hızlandırıcı

**İO:** İyon Odası

**OBİ:** On board imager

**Setup:** Kurulum

**TPS:** Tedavi Planlama Sistemi

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1.1	TrueBeam Lineer Hızlandırıcı .....	19
Şekil 3.1.3	Farmer Silindirik İyon Odası .....	21
Şekil 3.1.4	PTW Unidose Weblin Elektrometre .....	22
Şekil 3.1.5	Varian as1000 EPGC .....	23
Şekil 3.1.6	İzocal fantom .....	24
Şekil 3.1.7	MPC yazılımı ölçüm ekranı .....	26
Şekil 3.1.8	PTW StarCheckMaxi Full Size 2D Chamber Array .....	27
Şekil 4.1.1	6 MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi karşılaştırması.....	34
Şekil 4.1.2	10 MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi karşılaştırması.....	36
Şekil 4.1.3	6 FFF MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi karşılaştırması.....	38
Şekil 4.1.4	10 FFF MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişim karşılaştırması.....	41
Şekil 4.2.1	İzomerkez boyutunun MPC ve SC ile zamana göre değişim karşılaştırması .....	43
Şekil 4.2.2	MV görüntüleme merkezinin MPC ve SC ile zamana göre izomerkezden uzaklık karşılaştırması .....	45
Şekil 4.2.3	MPC Ve kV görüntüleme merkezinin MPC ve SC ile zamana göre izomerkezden uzaklık karşılaştırması .....	47
Şekil 4.3.1.1	MPC ve SC 'in $1X_2$ Alan boyutunun zamana göre değişiminin karşılaştırması .....	49
Şekil 4.3.1.2	MPC ve SC 'in $X_2$ Alan boyutunun zamana göre değişiminin karşılaştırması .....	50
Şekil 4.3.2.1	MPC ve SC 'in $Y_1$ Alan boyutunun zamana göre değişiminin karşılaştırması .....	52
Şekil 4.3.2.2	MPC ve SC 'in $Y_2$ Alan boyutunun zamana göre karşılaştırması .....	52
Şekil 4.4.1.1	MPC ve SC sistemleri için 6 MV ışın merkezinin zamana göre değişim değerleri.....	54

Şekil 4.4.1.2 MPC ve SC sistemleri için 10 MV ışın merkezinin zamana göre değişim değerleri.....	55
Şekil 4.4.2.1 MPC ve SC sistemleri için 6 FFF MV ışın merkezinin zamana göre değişim değerleri .....	57
Şekil 4.4.2.2 MPC ve SC sistemleri için 10 FFF MV ışın merkezinin zamana göre değişimi.....	57
Şekil 4.5.1 MPC ve SC sistemleri için 6 MV ışın merkezinin 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması .....	60
Şekil 4.5.2 MPC ve SC sistemleri için 10 MV ışın merkezinin 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması .....	62
Şekil 4.5.3 MPC ve SC sistemleri için 6 FFF MV ışın merkezinin 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması .....	64
Şekil 4.5.4 MPC ve SC sistemleri için 10 FFF MV ışın merkezinin 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması .....	66
Şekil 4.5.5 EPGC ve SC sistemlerinin 6 MV enerjide 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması .....	68
Şekil 4.5.6 EPGC ve SC sistemlerinin 10MV enerjide 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması .....	70
Şekil 4.5.7 EPGC ve SC sistemlerinin 6 FFF MV enerjide 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması .....	72
Şekil 4.5.8 EPGC ve SC sistemlerinin 10 FFF MV enerjide 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması .....	74

## TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1.1	6 MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi karşılaştırması.....	32
Tablo 4.1.2	10 MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi karşılaştırması.....	34
Tablo 4.1.3	6 FFF MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi karşılaştırması .....	36
Tablo 4.1.4	10 FFF MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi karşılaştırması.....	39
Tablo 4.2.1	İzomerkez boyutunun MPC ve SC ile zamana göre değişim karşılaştırması.....	41
Tablo 4.2.2	MV görüntüleme merkezinin MPC ve SC ile zamana göre izomerkezden uzaklık karşılaştırması.....	44
Tablo 4.2.3	kV görüntüleme merkezinin MPC ve SC ile zamana göre izomerkezden uzaklık karşılaştırması.....	45
Tablo 4.3.1	MPC ve SC 'in $X_1$ ve $X_2$ Alan boyutunun zamana göre değişiminin karşılaştırması.....	48
Tablo 4.3.2	MPC ve SC 'in $Y_1$ ve $Y_2$ Alan boyutunun zamana göre değişiminin karşılaştırması.....	50
Tablo 4.4.1	6MV ve 10MV enerjiler için SC ve MPC ile ışınlama merkezinin birbirine ve zamana göre değişim karşılaştırması.....	53
Tablo 4.4.2	6MV FFF ve 10MV FFF enerjiler için SC ve MPC ile ışınlama merkezinin birbirine ve zamana göre değişim karşılaştırması.....	55
Tablo 4.5.1	MPC ve SC sistemleri için 6 MV ışın merkezinin 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması.....	58
Tablo 4.5.2	MPC ve SC sistemleri için 10 MV ışın merkezinin 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması.....	60
Tablo 4.5.3	MPC ve SC sistemleri için 6 FFF MV ışın merkezinin 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması.....	62
Tablo 4.5.4	MPC ve SC sistemleri için 10 FFF MV ışın merkezinin 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması.....	64

Tablo 4.5.5	MPC ve SC sistemleri için 6 MV ışın merkezinin 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması.....	66
Tablo 4.5.6	MPC ve SC sistemleri için 10 MV ışın merkezinin 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması.....	68
Tablo 4.5.7	MPC ve SC sistemleri için 6 FFF MV ışın merkezinin 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması.....	70
Tablo 4.5.8	MPC ve SC sistemleri için 10 FFF MV ışın merkezinin 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması.....	72





## ÖZET

Güncel radyoterapide radyocerrahi ve volümetrik ark terapi gibi ileri tedavi tekniklerinin eklenmesiyle geometrik ve dozimetrik cihaz doğruluğunu kalite kontrolü daha önemli hale gelmiştir. Bu nedenle tedavi cihazının günlük ve haftalık kalite kontrol ölçümlerinin kolay, hızlı ve minimum belirsizlik ve maksimum doğrulukla yapılabilmesi için yeni sistemler geliştirilmiştir. Çalışmada MPC (makine performans kontrolü), Vv (Varian izocenter verifikasyon testi), gibi Varian spesifik kalite kontrol yazılımlarını ve EPGC, PTW StarCheck (2 boyutlu düzlem dedektör), izocal fantom ve 0,6cc Farmer silindirik iyon odası kullanarak, 8 aylık sürede 5 farklı parametrede günlük ve haftalık periyodik ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler % output değişimi referans iyon odası, MPC ve PTW StarCheck arasında % değişim cinsinden yapılmıştır. İzomerkez boyutu değişimi, MV ve kV görüntüleme merkezlerinin izomerkezden uzaklığının değişimi ise MPC ve Vv testi ile yapılmıştır. 10x10 ve 20x20 alanda foton enerjileri için düzgünlük değişimi EPGC ve PTW StarCheck ile zamana göre değişim olarak yapılmıştır. Işın merkezinin değişimi ve alan boyutu değişimi ölçümleri PTW StarCheck ve MPC ile yapılmıştır. Bu ölçümler birbirlerine ve zamana göre değişimleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada veriler arasındaki farkların ölçüm sistem ve yazılımlarının farklılığından, setup belirsizliklerinden ve parametrelerin zamana göre değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Alınan ölçümler kendi tolerans değerlerinin içinde çıkmıştır, ayrıca farklı sistemlerin sonuçları referans ölçümlerle ve birbiriyle uyumludur. Sonuç olarak EPGC, PTW StarCheck, MPC ve Vv sistem ve yazılımları lineer hızlandırıcı cihaz spesifik kalite kontroller için günlük ve haftalık ölçümlerde kullanılabilir.

**Anahtar Sözcükler:** Alan boyutu, Cihaz spesifik kalite kontrol, Düzgünlük, İyon odası, İzomerkez

## SUMMARY

Linear accelerators, which are the main treatment device of radiotherapy, should be minimized in terms of geometric and dosimetric uncertainty in treatments such as radiosurgery and volumetric arc therapy. Therefore, new systems have been developed to make daily and weekly quality control measurements of the treatment device easy, fast and with minimum uncertainty and maximum accuracy. The aim of this study is, to make daily and weekly periodic measurements of 5 different parameters using Varian specific quality control software such as MPC (machine performance control), Vv (Varian isocenter verification test), EPGC, PTW StarCheck (2D array detector), isocal phantom and 0.6cc Farmer cylindrical ion chamber during 8 months period. These measurements were compared in terms of percent change between different methods such as reference ion chamber output, MPC and PTW StarCheck. Secondly, isocenter size and, MV and kV imaging centers' distance from isocenter change compared using MPC and Vv test. Thirdly, flatness change for 4 photon energies in 10x10 and 20x20 fields was made as time-varying with EPGC and PTW StarCheck. Fourthly the beam center shift and field size change measurements were compared using PTW StarCheck and MPC. These measurements were compared in terms of their variation with respect to time and each other. In this study, the differences between the data are thought to arise from the difference of measurement systems and software, setup uncertainties and change of parameters over time. The measurements are taken within their tolerance values. As a conclusion, the systems evaluated can be used in daily and weekly measurements for linear accelerator specific quality controls.

**Key Words:** Field size, Flatness, Ion chamber, Isocenter, Linac specific quality controls

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yaklaşık 80 yıldır lineer hızlandırıcılar kanser hastalığının tedavisinde kullanılıyor. İlk doğrusal hızlandırıcılar 1920'li yılların sonlarında tasarlanmıştır (1). Parçacık fiziği araştırmaları doğrusal hızlandırıcıların gelişiminde itici güç olmuş ve geliştirilen ilk doğrusal hızlandırıcılar atomun kontrollü bir şekilde parçalanmasını mümkün kılmıştır. Bu geliştirilen hızlandırıcılar zamanla temel parçacık fiziği, kozmoloji, medikal cihazlar ve endüstriyel teknoloji alanlarında büyük gelişmelere sebep olmuştur. (2)

1920'li yılların başlarında mevcut elektrostatik makineler lineer hızlandırıcı yapmak için gerekli gerilime ulaşamıyordu; fakat 1920'lerin sonlarında bu durum değişti. 500 kV parçacık hızlandırıcı tasarlanmaya başlandı (3). Dört yıl sonra 1932'de lityum atomunun protonlarını 400 keV'a kadar hızlandırdılar. Bu, insan tarafından kontrol edilerek atomun bölündüğü ilk çalışmaydı. (2)

1937 yılında Harvard Medical School'da "Van de Graaff jeneratörü" ile ilk hasta tedavi edilmiştir. (4) Bu çalışmalar ışığında D. W. Kerst Illinois Üniversitesi'nde 1940 yılında ilk başarılı Betatron (Lineer hızlandırıcı) kuruldu ve 2.3 MeV'luk hıza ulaştı, bu 1 gram radyumun enerjisine eşdeğer bir X-ışını enerjisi elde etmekteydi. Bu tarihten sonra 1942 yılında ilk klinik Betatron tedavisi Almanya'da, 1947 yılında ise Varian biraderler ve William HANSEN tarafından ilk doğrusal hızlandırıcı Stanford Üniversitesi'nde kurulmuştur (5). 1956 yılında dünya çapında 6 adet doğrusal hızlandırıcı kurulmuştur ve 1960 yılında ilk 360 derece dönebilen Varian Clinac 6/100 lineer hızlandırıcısı tanıtıldı. (4)

Günümüzde tüm dünyada klinik doğrusal hızlandırıcılar birçok hastalığın tedavisinde kullanılıyor. Lineer hızlandırıcıların İstenilen şekilde çalışmalarını ve ışınlama performanslarını kontrol etmek amacıyla kesinlik, doğruluk açısından

değerlendirme ve ölçümler için belli kalite kontrol yöntemleri, yazılımları ve cihazları geliştirilmiştir. Lineer hızlandırıcı cihazların kalite kontrol testlerinin belirli periyotlarla yapılması gerekmektedir. Bu kontroller farklı üreticiler tarafından geliştirilmiş ekipmanlar ile yapılabilir.

Farklı sistemler kendine özgü ölçüm ve değerlendirmeye sahiptir. Yapılan ölçüm ve değerlendirmeler sonucunda makine spesifik parametrelerin belirli limitler içerisinde olması beklenir.

Bu çalışmada A, lineer hızlandırıcı cihazında yapılması gerekli kalite kontrol rutininde mevcut ölçüm ekipmanlarının hangi fiziksel ölçüm parametresinde avantajlı olduğunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Farklı ölçüm sistemleri, yazılımları, PTW StarCheck, iyon odası dedektörü ve elektronik portal görüntüleme cihazı ile alınan ölçümler hem referans değerlere göre hem de birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Alınan ölçümler arasında ekipmanın hassaslık, kurulum basitliği, ölçüm kolaylığı, doğrusal hızlandırıcıya uygunluk, ölçüm doğruluğu ve tekrarlanabilirliği, ölçüm süresi açısından değerlendirilecek ve kalite kontrol ekipman, cihaz ve yazılımlar ile lineer hızlandırıcı cihazındaki fiziksel parametrelerinin sonuçları ve performansları karşılaştırılması amaçlanmıştır..

## 2 GENEL BİLGİLER

### 2.1 Klinik Linear Hızlandırıcı Çalışma Mekanizması

Elektron tabancasındaki tungsten katot 'un ısıtılması ile elde edilen elektronlar 50keV'lik enerji ile hızlandırıcı bakır tüpün içine gönderilir. Aynı zamanda Magnetron ve Klystrondan çıkan elektromanyetik dalgalar hızlandırıcı tüpe gelir. Böylece, hızlandırıcı tüpteki odacıklarda titreşimler oluşturulur. Odacıkta oluşan bu yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar, odacığın ortasındaki ince kanala iletilir. Bu arada elektron tabancasından elde edilen elektronlar, hızlandırıcı bakır tüpe ulaşır, elektromanyetik dalgalarla etkileşime girer ve odacıktan odacığa bu kanal boyunca doğrusal olarak hızlanarak ilerler. Son odacıktan çıkarken elektronların hızları her odacıkta aldıkları hızlarının toplamına eşit olur. Odacıklar içindeki elektrik alan elektronu hızlandırırken; manyetik alan elektronların demet halinde yönelimini sağlar. Bu işleme 'lineer hızlandırma' denir. Yüksek enerjili X-ışını üretmek için bu yüksek hızlı elektronlar, bükücü mıknatıslardan geçerek düzgün bir pozisyonlanma ile hedefe odaklanır ve hızlandırıcının kafa kısmı olan gantri ye yönlendirilirler. Burada yüksek atom numaralı ve soğurulabilen "tungsten" hedefe çarptırılarak 'Bremsstrahlung X-ışınları (frenleme X-ışını) oluşması sağlanır. Elektronun enerjisi arttıkça X-ışını yayılımı da artar ve MV mertebesindeki X ışınlarını oluşturur. Gelen elektronun soğurulması için hedef yeterli kalınlıkta olmalıdır. Linear hızlandırıcılarda X-ışınları demeti heterojen dağılıma sahiptir.

Birincil kolimatör, oluşan dağınık X-ışınlarının konik şekilli X-ışını halini almasını sağlar ve sızıntıyı minimize eder. Konik şekilli ışının homojen bir hale gelmesi için düzleştirici filtre kullanılır; bu filtre merkezinde, kenarlarından daha çok fotonu absorbe eder ve oluşan inhomojenizasyonu engeller. Filtreden geçen yüksek enerjili fotonlar birbirinden bağımsız 2 iyon odasından geçerek verilmek istenen dozun kontrolünü sağlar. Çok yapraklı kolimatörler, ışını hedef doğrultusunda şekillendirir ve maksimum dozu hedefe verirken sağlıklı dokuları da korur. (6)(9).

## **2.2 Klinik Lineer Hızlandırıcılara Neden İhtiyaç Duyuldu ?**

Konvansiyonel enerji seviyesinde (KeV) elde edilen X-ışınlarının giricilik kabiliyeti çok düşük olduğundan, enerjisinin büyük bölümünü cilde bırakır; bu da cilt reaksiyonlarının tedaviye engel olacak seviyeye ulaşmasına neden olur. Derine yerleşmiş tümörleri tedavi ederken tümörün üst kısmında bulunan cilde yakın sağlam dokular fazla miktarda doz almaktadır. Bu nedenle Lineer hızlandırıcılarda MV mertebesinde hızlara ulaşmamız gerekmektedir. (6)

## **2.3 Klinik Doğrusal Hızlandırıcı Kalite Kontrolü**

### **2.3.1 Kalite Güvenilirliği**

Kalite Güvencesi QA (Quality Assurance), bir ürün veya hizmetin verilen kalite gereksinimlerini karşılayacağına dair yeterli güvenin sağlanması için gerekli planlanmış ve sistematik eylemlerdir. (6) (7) (8)

#### **2.3.1.1 Radyoterapide Kalite Güvenilirliği**

Kalite güvenilirliği (QA) programlarının radyoterapi merkezlerinde uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Kalite güvenilirliği, tedavi planlamasındaki yanlışlıkları minimuma indirir. Böylece iyileşme oranı artar, tedavi sonuçları düzelir; komplikasyon ve hastalığın yenileme oranı azalır.

Kalite güvenilirliği sayesinde ülke içindeki ve tüm dünyadaki radyoterapi merkezlerinin dozimetrik ve tedavi sonuç verileri kayıt altına alınır, değerlendirilir ve bu veriler karşılaştırılabilir bir data haline getirilir.

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak radyoterapide uygulanan kalite güvencesi standartları ve protokolleri güncellenecek; bu güncellenen standartlar doğrultusunda daha gelişmiş yeni kalite kontrol ekipmanları ortaya çıkacaktır. Bu sayede yapılan tedavilerin istenilen kalite standartlarında olması sağlanacaktır. (6)

### **2.3.1.1 Radyoterapide Kalite Güvenilirliği Kapsamında Yapılan Kontroller**

Tedavi makinelerinin fiziksel parametrelerinin kontrolü, cihazın ışınlama performansının uluslararası dozimetrik standartlar içinde olması, Ölçüm cihazlarının periyodik bakımları ve kontrollerinin yapılması ve radyasyon güvenirliliği işlemleri radyoterapide kalite güvenirliliği kapsamındadır. (6)

### **2.3.2 Kalite Kontrol**

Kalite Kontrol, mevcut kalite standartlarına göre gerçek kalite performansının ölçüldüğü düzenleyici süreçtir ve standartlara uygunluğu sağlamak veya yeniden elde etmek için yapılması gerekli eylemlerdir. (6)

### **2.3.3 Lineer Hızlandırıcılarda Kalite Güvenirliğinin (QA) Amacı**

Radyoterapinin amacı kararlaştırılmış radyasyon dozunu bilimsel olarak kabul edilmiş kriterler içinde doğru olarak hastaya verilmesini sağlamaktır. Hastaya, tedavi planlama sisteminde planlanan ve teorik olarak yazılımlar yardımıyla oluşturulan radyoterapi dozunu hastaya tedavi cihazının doğru ve planlandığı gibi bir şekilde verebilmesi için Lineer hızlandırıcının belirli aralıklarla rutin olarak yapılan cihaz spesifik geometrik, mekanik ve dozimetrik ölçümleri vardır. Bu ölçümler cihazın geometrik özelliklerini, üretilen radyasyonun cinsini, enerji kalitesini, referans koşullardaki absolut doz miktarını, derin doz ve profil ölçüm değerlerini periyodik olarak tekrarlayarak cihazın kabul standartları içinde tutmalıdır. Klinik doğrusal

hızlandırıcı kurulma aşamasının bitiminde uluslararası protokollere bağılı kalınarak belli cihaz spesifik kabul kontrol testleri yapılır ve cihazın klinik yapıya uygunluğu ölçülür. Cihaz rutin kullanıma başladıktan sonra da belirli olarak haftalık aylık ve yıllık kalite kontrol ölçümleri yapılır ve aygıt parametrelerinin referans parametrelerle uyumu kontrol edilir. Bu ölçümler mekanik ve dozimetrik olarak iki gruba ayrılır. (6)

### **2.3.3.1 Radyoterapide Kalite Değerlendirmesi**

Kalite değerlendirmesinde yapılacak kalite ölçümlerinde cihaz spesifik özellikler ve uluslararası standartlar kapsamında kabul kriterlerin ve referans datanın belirlenmesidir. Bu kapsamda yapılan doz hesaplamalarını karşılaştırmak için kullanılan, cihazın kabul testleri esnasında belirlenen veriler referans data olarak kabul edilir. (6)

#### **2.3.3.1.1 Belirsizlik**

Belirsizlik, cihaz spesifik ölçümler yapıldığında bazı ölçüm sonuçlarından ölçümleri tekrarlamamıza rağmen emin olamayız. Bu nedenle 'Belirsizlik kavramı' tanımlanmıştır. (6)

#### **2.3.3.1.2 Sapma**

Sapma, hesaplama veya ölçümle bulunan sonucun değeri ile başka bir yöntemden elde edilen sonucun beklenen değeri arasındaki farktır. (6)

### **2.3.3.1.2Hatalar**

Belirsizliğin aksine yanlış işlem sonucu verilen bir büyüklüğün sapması ‘‘Hata’’ diye tanımlanır. Hatalar, sonuçlar tolerans değerlerinin içinde çıksa bile yapılabilir. Ölçüm sonucu tolerans değerine yaklaştıkça hata artar. Hata sistematik ise öncelikle elimine edilmelidir. Fakat bazen kullanıcı hatayı bildiği halde elimine edemeyebilir. (6)

### **2.4.3.1.2 Tolerans**

Ölçüm sonuçlarının kabul edilebilirlik seviyesine tolerans denir. Tolerans değerinin seçimi referans verilerdeki belirsizliğe bağlıdır. Tolerans düzeyi ölçümdeki belirsizlikleri içine alacak şekilde belirlenmektedir. Ölçümdeki belirsizlik, tolerans değerinden büyükse ölçümdeki rastgele değişiklikler gereksiz müdahaleye neden olacaktır. Tolerans seviyesi belirlenirken ölçüm referansına ve belirsizlik derecesine göre güven aralığı bırakılmalıdır. (6)

### **2.3.4 Mekanik Kontroller**

Mekanik kontrollerde tedavi cihazının hareketli parçalarının konumsal doğruluğu test edilir. Gantry kolimatör açıları, tedavi masası hareketleri ve dönüş açıları, alan boyutu, asimetrik alan, ışıklı alanı, izomerkez, çok yapraklı kolimatör hareketi, lazer ve optik gösterge kontrolleri yapılır. Bu testler milimetrik kağıt, cetvel, su terazisi, gafkromik film gibi klasik yöntemlerle yapılabilir veya mekanik kontroller için üretilmiş makine performans kontrolü, PTW StarCheck gibi kalite kontrol sistem ve yazılımları kullanılabilir.

Yukarıda belirtilen mekanik kontrollerin belirli kontrol ve müdahale limitleri vardır. Bu limitler kolimatör açı göstergesi kontrolünde  $\pm 1$  derece'dir.  $0^\circ$   $90^\circ$   $270^\circ$  derecelerinde SSD 100'de su terazisi ile dijital ve mekanik olarak açı kontrolü yapılır. Milimetrik kağıt üzerinde kolimatör  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $270^\circ$  döndürülerek, eksen ve çapraz tel sabitliği kontrolü yapılır. Bu test için tolerans 2 mm'dir. (6) (8) (9)

Gantrinin dönüş eksen kontrolü, gantriyi  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ve  $270^\circ$  döndürerek bu açılarda su terazisi ile yapılır. Bu test için tolerans 1 derecedir. (6) (10)

Alan boyutu gösterge kontrolünde ise SSD 100'de ışıklı alan  $10 \times 10$   $5 \times 5$   $30 \times 30$  ve  $40 \times 40$  cm<sup>2</sup> olarak açılarak milimetrik kağıt ve cetvel yardımıyla x ve y düzlemlerinde alan boyutu kontrolü yapılır. Bu test için her ekseninde tolerans küçük ve standart alanlarda 2mm, büyük alanlarda is 3mm'dir. (6) (10)

Masanın düşey hareketi ile kolimatör ekseninin paralelliği, gantri 0 derecede SSD 100 cm referans alınarak, önce 80 sonra 140 cm SSDde masa hareketi ile merkez kayması kontrolü yapılır. Bu test için tolerans 2mm'den küçük olmalıdır. (6) (10)

Masanın rotasyonu ile izomerkez kontrol testinde gantri 0 da  $10 \times 10$  alanda SSD 100 cm olarak masa 0 dereceden önce  $90^\circ$  dereceye, sonra  $270^\circ$  dereceye döndürülerek izomerkezde dönüşe bağlı kayma var mı gözlemlenir. Bu test için tolerans 2mm'dir. (6) (8)

Gafkromik filmler ile SSD 100'de 6 MV için 1,5 cm derinlikte 10x10 simetrik ve 4 farklı 5x5 asimetrik alanda ışıklı ışın alanı uyumu testi yapılır. Film ışınlandıktan sonra önce gözle, sonra tarayıcı ve yazılımlar yardımıyla ışıklı alan ve ışın alanı boyutu kontrol edilir. Bu test için tolerans değeri 2mm'dir. Çapraz tel eksenini ve radyasyon alanı eksen uyumluluğu kontrolünde ise 1.5 cm derinlikte, 6 MV enerji ile alan 10x10 açılır. Jawlar kapatılarak her 45 derecedeki kolimatör açılarında film ışınlanır. Bu ışınlama sonucunda ışıklı alana göre belirlenen noktalar ile ışın alanının uyumu  $\pm 2$  mm içinde olmalıdır. (6) (11) (8)

#### **2.3.4.1 İzomerkez**

İzomerkez, kolimatörün dönme ekseniniyle gantrinin dönme ekseninin kesiştiği noktadır. Radyoterapide kullanılan kobalt, linak ve diğer izomerkezi tedavi yapan cihazlar için önemlidir. Cihazın hareketleri ve lazerlerle olan uyum, bu nokta referans alınarak yapılır. (6) (9)

#### **2.3.4.2 Penumbra**

Doz, sabit derinlikte alan kenarına doğru azalmaktadır ve alan kenarında çok keskin olarak düşmektedir. Dozun hızla düştüğü bu bölgeye Penumbra (yarı gölge) denir. (9)

Penumbra, doz profilinde merkezi eksen dozunun %80'i ve %20'sini alan alanın kenarındaki lateral mesafedir. Hedef alanın kenarlarındaki doz azalması penumbra ve alan kenarlarındaki saçılmaya bağlı olarak değişir. (6) (9)

### **2.3.4.3 Alan boyutu**

Alan boyutu, sabit derinlikte izomerkezde merkezi eksenindeki en yüksek dozun %50'sini alan bölge alan boyutu olarak tanımlanır. Doz profil ölçümünde x ve y düzleminde yapılan taramalarda alan kenarında oluşan %50'lik dozlar arasında kalan mesafe alan boyutu olarak tanımlanır. (6) (7)

### **2.3.5 Dozimetrik Kontroller**

Dozimetrik kontrollerde cihazın ışınlama performansı değerlendirilir. Enerji, doz hızı, %derin doz, doz profil ölçüm ve kontrollerinde, su eşdeğeri katı fantomlar veya su fantomları iyon odaları ve elektrometre kullanılır. Işıklı ışın alan uyumu kontrolünde ise radyoduyarlı gafchromic filmler ve katı fantom kullanılır. Bu ölçümler uluslararası kabul standartlarında belirli rutinlerde yapılır. (6) (9) (10) (12)

#### **2.3.5.1 Dozimetrik Hesaplamaları Etkileyen Parametreler**

Dozimetrik hesaplamalarda etki parametreleri, ölçülen parametre olmayan ama ölçümü etkileyen parametrelerdir. Eğer ölçümde kullanılan iyon odası, kalibrasyonun yapıldığı referans koşullardan farklı koşullarda kullanılırsa ölçülen sinyalin doğru olması için etki parametrelerinin düzeltilmesi gerekmektedir. (9) (10)

##### **2.3.5.1.1 Sıcaklık Basınç Düzeltmesi**

Atmosferik standartlarda iyon odası kavitesinin içindeki molekül sayısı sıcaklık, basınç ve neme bağlı olarak değişir. Bu değişim için kullanılan düzeltme faktörü alttaki formül ile hesaplanmaktadır. (7)

$$K_{TP} = \frac{(273.2+T) \times P_0}{(273+T_0) \times P}$$

$$T_0 = 20 \text{ C}^\circ, P_0 = 1013 \text{ mbar}$$

### 2.3.5.1.2 Polarite Düzeltme Faktörü

İyon odasının iç kavitesinde oluşan iyon çiftlerinin iyon toplama özelliği, uygulanan polarizasyon voltajının yönüne göre değişebilir. Aynı ışınlama koşulları altında, polarize voltajın polaritesini tersine çevirirsek farklı bir okuma yapılır. (7)

$$K_{pol} = \frac{+400V+I-400VI}{2 \times I+400VI}$$

İyon odasının iç kavitesinde oluşan iyon çiftlerinin iyon toplama özelliği uygulanan polarizasyon voltajının yönüne göre değişebilir. Aynı ışınlama koşulları altında, polarize voltajın polaritesini tersine çevirirsek farklı bir okuma yapılır. (7)

### 2.3.5.1.3 Yeniden Birleşme Faktörü

İyon odasındaki kavitenin içinde ışınlanma sırasında iyon çiftleri oluşur. Bu iyon çiftlerinin yeniden birleşmesi ile meydana gelen yükün, okumayı negatif yönde etkilemesi yeniden birleşme faktörü ile düzeltilir. Bu birleşme iki farklı şekilde oluşmaktadır. Kavite içindeki farklı iyonizasyon parçacıklarının birleşmesi iyonize parçacıkların yoğunluğuna bağlıdır. Her iki birleşmede iyon odasının geometrik şekline ve iyon odasına uygulanan toplam polarizasyon voltajına ve radyasyon yük okuma hızına bağlıdır. Atımlı radyasyon cihazlarında önemli bir etkisi vardır. Suda

soğurulan dozun belirlenmesinde yeniden birleşme düzeltme faktörü  $K_s$ 'yi belirlemek için deneysel bir yöntem kullanılmaktadır. (7) (10)

$$K_s = \frac{V_{400} - 1}{V_{133}} + 1$$

### 2.3.5.2 Referans Koşullarda Absorbe Dozun Belirlenmesi

10x10 alanda 10 cm derinlikte su eşdeğeri 30x30 cm boyutlarında katı fantomlar kullanarak 100 MU isinlayarak farmer silindirik iyon odası ve elektrometre yardımı ile 100 cGy okumayı hedefledik. Bu ölçüm sisteminin toleransı %2 icindedir. (10)

### 2.3.5.1 Derin Doz Dağılımları ve ölçüm yöntemleri

Radyasyon doz dağılımı ile ilgili bilgiler su fantomu, iyon odası, su eşdeğeri katı fantom, radyoduyarlı filmler veya çeşitli dozimetrik ölçüm yapan sistemler vasıtası ile absöüt ve rölatif olarak ölçölür. Doz dağılımı hastalarda ve fantomlarda derinliğe enerji büyüklüğüne, alan boyutuna, kaynaktan uzaklığa demet kolimasyon sistemine bağılı olarak değışir. Derin doz ve izodoz dağılımlarının belirlenmesi ve şekillenmesi ve rutin ölçümlerde elektronik portal görüntüleme cihazı, StarCheck 2d fantom, haftalık absölü doz ölçümü, Varian TrueBeam cihazlarında makine performans kontrolü gibi sistemler kullanılabilir. (10)

Bu ölçümler sonucunda Yüzde derin doz (PDD), düzgünlük, simetri, doku fantom oranı (TPR) gibi belirli verilerin elde edilmesi ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması gerekmektedir. Yüzde derin dozun belirlenmesinde katı fantom ve iyon odası flattnes ölçümünde EPGC ve StarCheck iki boyutlu düzlem fantomu rölatif doz değışiminde MPC ve output ölçümü kullanılabilir. (6) (9)

### 2.3.5.2 Yüzde Derin Doz

Dozun ışınlama merkezi boyunca herhangi bir derinlikteki dozun, referans derinlikteki doza oranıdır. Enerji, derinlik, alan boyutu, hedef kaynak uzaklığı ve kaynak kolimasyon yapısına bağlı olarak değişir. Enerji arttıkça giricilik artacağından %derin doz değeride artar. Alan büyüdükçe enerjiden bağımsız olarak %derin doz değeride artar çünkü alan büyüdükçe kolimatör açıklığıda artacağından saçılmada dolayısıyla %derin dozda artış olur. (6)

Yüzde derin doz belli bir derinlikteki dozun yüzey dozuna oranı olduğu için Hedef kaynak uzaklığı olabildiğince büyük olmalıdır çünkü yakın hedef kaynak uzaklığı olması halinde ideal tümör dozu için cilt dozu yüksek olacaktır. Ancak uzaklık arttıkça yüzey dozu azalacağından kaynak hedef uzaklığı doz şiddeti ve % derindoza arasında uyumlu bir uzaklık olmalıdır. (6) (10)

### 2.3.5.3 İzodoz dağılımlarının genel özellikleri

İzodoz eğrileri fantom ya da ışına maruz kalan hacim boyunca rölatif olarak aynı dozu alan noktaların birleştirilmesi ve merkezde en yüksek dozu alan noktaya göre normalize edilmesi ile oluşturulur. İki boyutta doz dağılımlarının gösterilmesidir. Tüm derinliklerde eksen merkezinde en yüksek doz okunur. Derin doz eğrileri izomerkezden alan kenarına uzaklığa ve derinliğe bağlı bir fonksiyon olarak değişir. Çoğu ölçüm kare alanlarda yapılır. İzodoz hedef alanın kenarına doğru gittikçe azalır. Derinliğe bağlı olarak eksen merkezinde farklı foton enerjilerde farklı izodoz eğrileri görülür. İzodoz dağılımları fotonlarda kaynak boyutuna, ışın enerjisine, alan boyutuna, SSD ye kaynak kolimatör mesafesine bağlı olarak değişir. Düşük enerjilerde lateral saçılma yüksek enerjilerde ise giricilikten ötürü alan dışına doğru genişleyen bir saçılma görülür. Hedef alan için farklı derinliklerde farklı merkezler tanımlandığında her bir derinlik için farklı izodoz eğrileri elde edilir. Bu da bize

tedavi alanının doz dağılımını net bir şekilde açıklar. İzodoz eğrilerinin derinliği enerji arttıkça artar. (6) (7) (12)

#### **2.3.5.4 Doz (Demet) Profili**

Radyoterapide başlıca dozimetrik kontrollerden biri olan profil ölçümünde z ekseninde yani vertikal ekseninde sabit bir nokta seçilir ve bu nokta dozimetrik olarak x ve y eksenlerinde lateral, longitudinal ve diagonal olarak taranır. Doz Profiline tarama boyunca ölçülen noktasal dozlar merkezi eksen üzerindeki doza normalize edilir ve bu değerler off axis faktörü olarak tanımlanır. Bu dozimetrik kontrol yöntemi genelde su fantomu veya 2 boyutlu düzlem dedektörleri ile yapılır. (7)

#### **2.3.5.5 Düzgünlük**

Belirli bir ışınlama alanı için sabit derinliklerde TG, LR ve diagonal düzlemler boyunca ışın profili ölçülür. Bu ölçümün düzgünlük değerlendirmesi profil ölçümü boyunca alan yüzeyinin %80 lik kısmını içinde bulunan en yüksek ve en düşük doz değerlerinin altta belirtilen formül ile hesaplanması ile değerlendirilir ve düzgünlük değerinin 20X20 alan boyutuna kadar %2 nin daha büyük alanlarda %3'ün altında olması beklenir. 
$$\text{Düzgünlük} = \frac{(D_{max} - D_{min})}{(D_{max} + D_{min})} \times 100 \quad (6) \quad (7)$$

#### **2.3.5.6 İzodoz değerlerini etkileyen faktörler**

İzodoz dağılımlarını kaynak çapı, ışın kalitesi, alan boyutu, SSD, parametreleri etkiler. Kaynak çapı geometrik penumbra sebebiyle alan kenarındaki izodoz eğrisinin şeklini belirler. Işın kalitesi: Enerji arttıkça foton giriciliği artacağından izodoz eğrilerinin derinliği artar. Yüksek enerjilerde ileri yönlü saçılma olduğundan yan saçılma azdır bu nedenle alan kenarları daha net ve keskindir. (6)

## 2.4 Dozimetrik ve Mekanik Kalite Kontroller İçin Kullanılabilecek Ekipmanlar

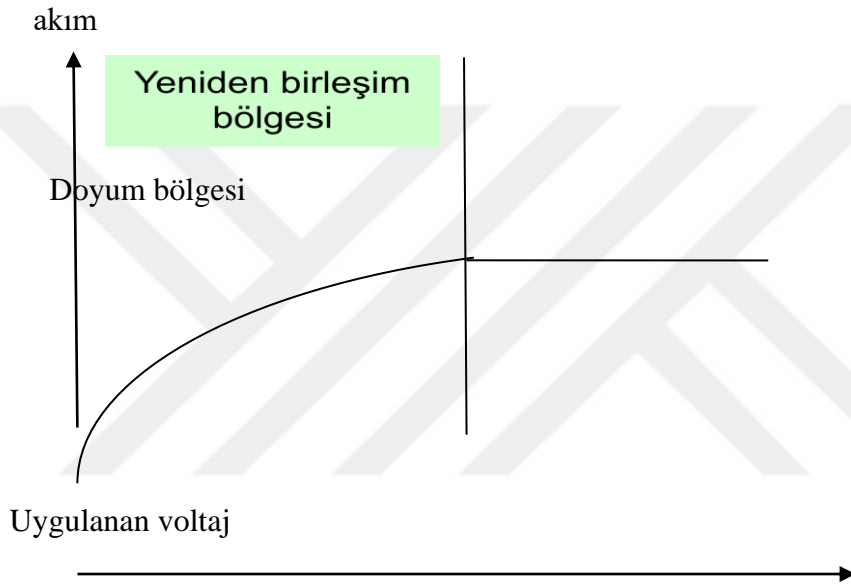
### 2.4.1 2 Boyutlu Düzlem Dedektörü

2 boyutlu düzlem dedektörü; lineer hızlandırıcılarda 2 boyutlu düzlemde ölçüm yapan, elektrometre yardımıyla çalışabilen, kalite kontrol analizlerinde kullanılan, içinde aynı düzlemde belirli aralılarla dizili iyon odalarının bulunduğu mekanik ve dozimetrik ölçümleri yapabilen, kurulması kolay; kolimatör eksenini doğruluğu, SSD kontrolü, izomerkez doğruluğu, alan boyutu, mlc hareketi, düzgünlük, simetri ve rölatif output ölçümleri yapabilen yapılardır. Bu alanda PTW StarCheck, Sun Nuclear profiler, IBA Matrixx gibi kalite kontrol üreticilerinin geliştirdiği farklı ölçüm sistemleri vardır. Bu ölçüm sistemleri arasında çözünürlük, ölçüm alanı farklılıkları gibi küçük farklılıklar olsada temelde hepsi benzer prensipte çalışır. Tedavi masasına, efektif ölçüm derinliğine, ışıklı alan, çapraz kıl ve lazerlere göre yerleştirilen 2 boyutlu düzlem dedektör, bilgisayar yazılımları ve elektrometre yardımıyla günlük, haftalık gibi periyodik ölçümleri rölatif veya absolut olarak değerlendirebilir. Bu ekipmanlar genelde periyodik mekanik ve dozimetrik kontrollerde kullanılır. (13) (14) (15)

### 2.4.2 Silindirik İyon Odası

Bir iyonizasyon odası dış tarafta iletken düşük atom numaralı bir duvar, iç merkezinde alüminyum elektrod olan, içi hava dolu kavitedir. Sızıntı akımı azaltmak için iletken duvar ile merkezi elektrod yalıtkan ile ayrılmıştır. İçi hava dolu hacimdeki iki elektrot arasına düzgün bir voltaj uygulayarak bir elektrik alan yaratılır. İyon odasının içine gelen yüksek enerjili radyasyon kavite içindeki hava ile etkileşerek kavite içinde iyon çiftleri oluşturur. Oluşan bu iyonizasyon sonucunda pozitif iyonlar ve serbest elektronlar, elektrotlar arasına uygulanan elektrik alanın etkisi ile elektrotlara ulaşır ve bir iyonizasyon akımı meydana getirir ve oluşan bu akımı elektrometre ile ölçeriz. Tipik bir iyon odasının, Radyasyon ile ışınlanması

durumunda, akım-voltaj karakteristikleri voltaj arttıkça akım doyuma ulaşır. Uygulanan düşük voltajlarda, pozitif ve negatif yükler birbirlerini nötrleyip ölçülebilen bir akım oluşmasını engelleyecek şekilde yeniden birleşme eğilimindedirler. Voltajın artırılmasıyla, daha kuvvetli elektrik alanı yükleri daha çabuk ayırır yeniden birleşme engellenir. Bu nokta, iyon-doyum bölgesinin başlangıcı olup artık voltaj artsa da akım doyuma ulaştığından sabitlenmiştir ve bu voltaj aralığı iyon odaları için seçilen işlem bölgesidir. Bu şartlar altında devrede ölçülen akım basitçe gelen radyasyonun yük oluşturma hızına eşittir (16) (10) (15)



Şekil 2.4.2 İyonlaşma odası akım-voltaj karakteristiği

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1 Araç ve Gereç

##### 3.1.1 Varian Truebeam Lineer Hızlandırıcı

Varian markasının kanser tedavisinde kullanılan TrueBeam modeli yeni jenerasyon bir lineer hızlandırıcı modelidir. Bu model robotik görüntüleme, otomatik hasta konumlandırma uzaktan hareket yönetimi yapabilir. 3-boyutlu konformal radyoterapi, görüntü eşliğinde radyoterapi, radyocerrahi, hacimsel yoğunluk ayarlı ark terapi ve stereotaktik radyoterapi dahil tüm ileri radyoterapi tekniklerinde kullanılmaktadır. Konvansiyonel tedavilerde 6 MV, 10MV, Stereotaktik radyoterapi ve radyocerrahi için gerekli olan 6 FFF MV, 10 FFF MV enerjilere ve yüksek doz hızlarına sahiptir. Entegre tümör görüntüleme ve hasta pozisyonlama sistemlerine sahiptir. kV-kV MV ile iki boyutlu ve CBCT ile 3 boyutlu görüntüler alabilir. Foton enerjilerine ek olarak yüzeysel tedavilerde de elektron enerjileri kullanılmaktadır. En geniş alan boyutu 40x40, en küçük alan boyutu ise 0.5 x0.5'tir. (16) (17)



Şekil 3.1.1 Truebeam lineer hızlandırıcı

### 3.1.2 PTW RW3 Su Eşdeğeri Katı Fantomu

Boyutları 30x30 cm olan 10, 5, 2 ve 1 milimetre uzunluğunda alternatifleri olan beyaz polistren malzemedan yapılmış, içerisinde %2 titanyum oksit olan, özkütlesi 1.045 g/cm<sup>3</sup>, elektron yoğunluğu 3.43x10<sup>23</sup> e/cm<sup>3</sup> olan, suya oldukça yakın bir elektron yoğunluğa sahip bir katı fantom malzemesidir. (17)

### 3.1.3 Farmer Silindirik İyon Odası

Absolut radyasyon doz ölçümlerinde referans dedektör olarak tavsiye edilmektedir. 0.6 cc PTW farmer silindirik iyon odası, 23 mm iç uzunluk ve 3,05 mm iç yarıçapa ölçüm alanı mevcuttur. Nominal hassas hacmi 0,6 cm<sup>3</sup>'tür. Uzun dönemdeki kararlılığı yılda %0,5'ten küçüktür. İyon odasının nominal voltajı foton için 400 Volttur. Polarite etkisi, yılda %0,5'ten; sızıntı akımı  $\pm 4$  fA'dan daha küçüktür. Hassas hacmin duvarı 0,335 mm PMMA (1,19 g/cm<sup>3</sup>) ve 0,9 mm grafitir (1,85 g/cm<sup>3</sup>). Merkezi elektrot alüminyumdur. Ayrıca, havada ölçüm alabilmek için build up kepleri vardır. Doğru doz ölçümü için sıcaklık 10-40 derece ve basınç değeri ise 700-1060 mm Hg arasında olmalıdır. İçi hava dolu olduğundan ideal gaz denklemine göre, sıcaklık basınç düzetmelerine ihtiyaç duymaktadır. (19) (18)



Şekil 3.1.3 Farmer Silindirik İyon Odası

### 3.1.4 PTW Unidose Webline Elektrometre

Bu elektrometre absolut ve rölatif doz ölçümlerinde ve doz kalibrasyonlarında kullanılabilir. İyon odası detektörlerine bağlanabildiği gibi katı hal ve elmas detektörlere de bağlanabilir, Coulomb veya Gray cinsinden okumalar yapabilir. Bu nedenle radyolojik ve elektriksel birimler kullanabilmektedir. Kullanılan iyon odasının referans şartlarına göre voltajı belirlenerek yüksek bir doğrulukla okumalar yapılabilmektedir. PTW Unidose Webline Elektrometre sıcaklık ve basınç düzeltmeleri için otomatik hesaplama yapabilir. Fotonlar için ölçüm aralığı 70 kV-40 MV'dir. Dijital kontrol edilebilen bir ekrana sahiptir. Çalışma voltaj aralığı 400, +400 volt. Referans sınıfından bir elektrometredir. (18)



Şekil 3.1.4 PTW Unidose Webline Elektrometre

### 3.1.5 Varian as1000 EPGC

Geliştirilen yeni görüntüleme detektör sistemlerinden biri de amorf silikon dizi dedektör ünitesidir. Bu sistem üstteki 1 mm kalınlıkta Cu tabakasının altında bir gadolinyum oksisülfid fosfor perdesi ve sintilasyon tabakasından oluşur; daha altta ise 40cm x 30 cm (1024 x 768 piksel) amorf silikon foto diyot dizisi içerir. Bu matristeki pikseller, 0.39mm'lik bir çözünürlüğüne sahip a-Si fotodiyot ve bir ince film transistöründen (TFT) oluşur. TFT piksel anahtarları olarak görev yaparlar ve foto diyotlar görünür fotonları elektronik sinyale dönüştürür.

Bakır levha tabakası, tedavi cihazından gelen yüksek enerjili fotonları yüksek enerjili elektronlara dönüştürür ve saçılmayı azaltır. Üretilen elektronlar sintilasyon tabakasında fosfor ile etkileşime girerek, fosforesans sayesinde optik fotonların

oluşmasına neden olur. Aktif matrisin her bir yapısı, fosfor ekranının yaydığı görünür ışığı algılar ve elektrik yüküne çevirir. Bu şekilde tüm pikseller okunur ve tüm görüntü tüm matrisi okuduğunda imaj oluşur. (12) (20)



**Şekil 3.1.5** Varian as1000 EPGC

### **3.1.6 İzocal BB Fantom ve Varian İzocenter Verifikasyon Sistemi**

Varian sistemlerine entegre olarak gelen Varian İzocenter Verifikasyon sistemi bir fantom, bir kolimatör plakası ve uygulama yazılımından oluşur. Fantom, yüzey üzerinde kesin olarak bilinen bir geometriye (Isocal BB fantom) yerleştirilmiş 16 tane tungsten b karbür BB (her biri 4 mm çapında) ile fantom 23 cm yarı çapında içi boş bir silindirdir. Kolimatör plakası, merkezinde çelik bir pime sahip alüminyum bir

levhadır. Plaka, MV kolimatörü üzerindeki aksesuar yuvasına tutturulur ve plakanın kolimatöre sabitlenmesini sağlamak için yaylı bir kilitleme sistemine sahiptir. Yazılım, OBI iş istasyonunda çalışan, izocal fantom ve kolimatör plakasının DICOM formatındaki görüntülerini alan bir uygulamadan oluşmaktadır. Yazılım bu izomerkezi, tedavi izomerkezinin konumunu ve tedavi izomerkez projeksiyonu ile kV ve MV görüntülerinin merkezlerinin arasındaki mesafeyi belirlemek için kullanır. (21)



**Şekil 3.1.6** izocal fantom

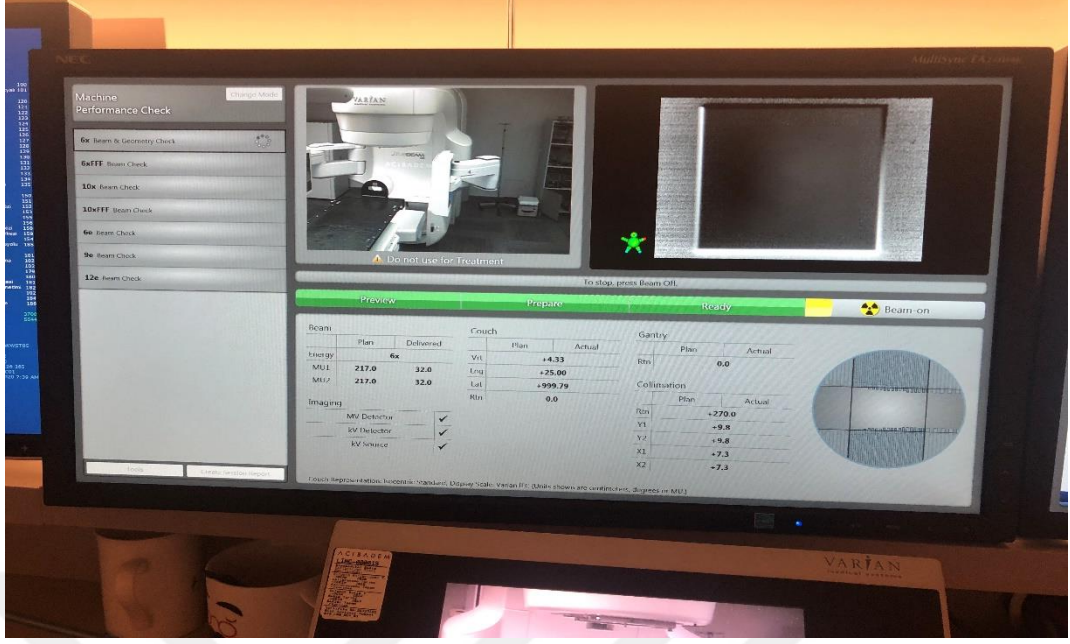
### 3.1.7 MPC

Makine performans kontrolü sistemi, Varian TrueBeam cihazına entegre bir sistem olarak gelmektedir ve Varian TrueBeam sisteminde çalışan bir kalite kontrol yazılımıdır. MPC ile ölçüm yapılırken izocal fantom, kV ve MV port kullanılır. Geometrik ve dozimetrik kontroller yapılabilmektedir.

Geometrik olarak izocal fantom kullanarak tedavi izomerkezinin boyutu, tedavi ve MV kV görüntüleme izomerkezlerindeki milimetrik kaymaları, kolimatör ve gantri dönüş eksenindeki açısal kaymayı, kolimatör ve MLC yapraklarının konumunu kontrol edilebilmektedir. Ayrıca izocal fantomu kullanmadan ışınlama performansına yönelik rölatif dozimetrik kontrollerde yapılmaktadır. Bu kontroller referans ışınlamaya göre yüzde doz değişimini, doz homojenliğini ve ışınlama merkez değişikliğini verir.

Sistem tedavi cihazındaki MPC sekmesi açılarak ve ölçülmek istenen enerjiler geometrik parametreler seçilerek tam otomatik olarak yapılır. Kullanıcı sadece izocal fantomu tedavi masasına sabitle ölçmek istediği parametreleri belirler ve ölçümler otomatik olarak gerçekleşir. Ölçümlerin sonunda analiz raporu görüntülenmektedir. İzocal fantomun her ölçüm öncesinde aynı konumda olması gerektiği için tedavi masasına sabitlenir ve kilitlenir.

Veri toplama işlemi sırasında, tedavi alanında içinde izocal fantomu olmadan ve belirli MLC desen ayarları ile önceden tanımlanmış pozisyonlarda elde edilen 12 kV ile 27 MV port görüntüsü alınır, bunları referans ölçüme göre analiz eder ve referansa göre günlük rölatif değişimleri yüzde veya milimetre biriminde gösterir.  
(22) (23) (24)



Şekil 3.1.7 MPC yazılımı ölçüm ekranı

### 3.1.8 PTW StarCheck 2 Boyutlu Düzlem Dedektörü

PTW StarCheck Maxi Full Size 2D Chamber Array (PTW, Freiburg,Almanya), paralel plak iyon odalarının yan yana dizilmesiyle oluşan iki boyutlu dozimetrik ölçüm sistemidir. 40x40 alana sahip bir matris içinde ölçüm alabilir. 40x40 alanda iki ana eksen ve 3 mm uzaysal çözünürlüğe sahip iki köşegen boyunca hizalanmış 0,08cm<sup>3</sup> hacimli toplam 707 tane paralel plak iyon odası ve İP ekseninde 138 CP ekseninde 141 ölçüm noktası bulunmaktadır. Ana eksenlerde 40 cm diagonal olarak 56,5 cm ölçüm mesafesi vardır. PTW StarCheck sisteminin çalışma gerilimi 1000 voltur. Sistemin bir eksenindeki profili ölçme süresi 100 milisaniyedir. Paralel plak iyon odaları topladıkları yükleri kapasitörde depolayarak her 200 saniyede bir profil okuması alabilirler. PTW StarCheck ölçüm cihazı SSD 100cm<sup>2</sup>'de ışıklı alan, lazerler ve çapraz kıla göre hizalanarak PTW ARRAY INTERFACE cihazına kablo ile bağlandıktan sonra Ethernet ara kablosu yardımı ile BeamAdjust veya MultiCheck yazılımlarına sahip bir bilgisayara bağlanarak kurulum tamamlanmaktadır. PTW ARRAY INTERFACE data iletimi ve cihaz için ideal çalışma voltajını sağlar. (13) (25)



**Şekil 3.1.8** PTW StarCheckMaxi Full Size 2D Chamber Array (PTW, Freiburg,Almanya)

### **3.1.9 PTW MultiCheck Yazılımı**

PTW MultiCheck yazılımı; lineer hızlandırıcıların günlük kalite kontrol ölçümlerinde PTW 2 boyutlu düzlem dedektörleri ile birlikte kullanılan, cihazın stabilite ve dozimetrik performansının ölçümünde önemli bir yeri olan bilgisayar yazılımıdır. MultiCheck Windows tabanlı bir yazılımdır. Cihazın günlük rutin foton ve elektron enerjileri için düzgünlük, simetri, rölatif doz değişimi, doz homojenitesi, alan boyutu, penumbra, merkezi eksen kayması gibi linak kalite parametrelerini 2d detektörden gelen data doğrultusunda veya referans ölçüm değerleri ile karşılaştırarak ölçen ve zamana göre istatistiksel kayıtları tutabilen, grafik ve nümerik olarak saklayan, tolerans değerlere göre karşılaştıran ve farklı protokollere göre istatistiklerini veren bir yazılımdır. Bu çalışmada PTW Starcheck 2 boyutlu düzlem dedektörü ile kullandığımız yazılımlardan biri de PTW MultiCheck yazılımıdır. (26)

### **3.1.10 PTW BeamAdjust Yazılımı**

PTW firmasının su fantomu ve 2 boyutlu düzlem dedektör ölçümlerinde kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. PTW StarCheck dedektöründen gelen verileri analiz ederek output dozu, düzgünlük, simetri, alan boyutu, penumbra, PDD, profil ölçümleri yapabilen; bu ölçüm değerlerini farklı protokollere göre hesaplayabilen ve geçmişe dönük ölçümlerle karşılaştırabilen bir yazılımdır. PTW Starcheck 2 boyutlu düzlem dedektörü bazı ölçümlerde bu yazılım ile birlikte kullanılmıştır. (26)

## **3.2 Yöntem**

Bu çalışmada PTW StarCheck, Varian Makine Performans Kontrolü ve EPGC sistemleri kullanılarak 5 farklı periyodik kalite kontrol parametresinin, zamana ve birbirine göre değişiminin karşılaştırması amaçlanmıştır. Bu çalışmada Mart 2019 ve Kasım 2019 tarihleri arasında periyodik 40 ölçüm alınmıştır. İlk ölçümler referans olarak kabul edilmiştir. Karşılaştırılan kalite kontrol parametreleri dozimetrik ve geometrik olarak iki grup şeklindedir. Dozimetrik değerlendirme parametreleri output ve düzgünlük, geometrik parametreler ise izomerkez boyutu, MV ve kV görüntü merkezlerinin izomerkezden uzaklığı, alan boyutu ve ışın merkezinin kaymasıdır.

### **3.2.1 Varian İzomerkez Verifikasyonu ve MPC İzomerkez Ölçümü**

Her iki ölçüm sistemi de izomerkez verifikasyonu yaparken izocal fantom kullanır. MPC sisteminde referans izocal fantom izomerkez noktasına göre her ölçümde kendini konumlandırır. Öncelikle sabit gantride farklı kolimatör açılarında MV port ile görüntü alır. Bu ölçümde çapraz kılın kolimatör dönüşü ile izomerkezden sapması ölçülür. Ardından bir tur rotasyon hareketi yaparak rotasyonel kaymalara göre referans izomerkezi belirler ve izomerkezin konumu ile kV ve MV

görüntülerinin merkezlerini arasındaki mesafeyi milimetre biriminde verir. İzomerkez verifikasyon sisteminde ise izocal fantomu çapraz kıl lazerler ve ışıklı alana göre izomerkeze set edilir. Önce sabit gantride kolimatörün rotasyonel hareketi ile görüntü alınır. Sonra sırasıyla 1er tur MV port ve kV sistemleri ile görüntü olarak izomerkez boyut, kV ve MV pozisyon farkları referans değerine göre milimetrik olarak elde edilir. MPC ile her hafta 5 ölçüm alındı. Varian izomerkez verifikasyon sistemi ile haftada 2 ölçüm alındı ve haftalık ortalamalarını zamansal değişimlere göre karşılaştırıldı. Bu ölçüm parametrelerinde tolerans 1 mm'dir.

### **3.2.2 MPC, İyon Odası ve EPGC ile Rölatif Output Değişiminin Ölçümü**

Bu çalışmada 4 foton enerjisi ile haftada 2 kez absolut doz ölçümü, 2 kez PTW StarCheck ve haftada 5 gün MPC ile rölatif ölçümler alınmıştır. Verilerin haftalık ortalaması alınarak yüzde doz değişimleri karşılaştırılmıştır. Rölatif doz değişim değerlerini veren StarCheck ve MPC sistemleri, referans iyon odası ile ölçülen absolut output değerine göre stabilite ve yüzde değişim açısından karşılaştırılmıştır. Bu ölçüm parametresinde MPC sistemi EPGC kullandığı için sıcaklık basınç düzeltilmesi yapılmamıştır. PTW StarCheck sistemi paralel plak iyon odalarından oluştuğu için her ölçümde düzeltme yapılmıştır. Silindirik Farmer iyon odası ile alınan referans output ölçümünde de sıcaklık basınç düzeltilmesi yapılmıştır. MPC otomatik ve değiştirilemeyen bir ölçüm sistemi olduğu için bu sistem ölçümleri 18x18 alanda alır fakat alan kenarlarındaki gürültüyü azaltmak için yazılım yardımıyla alanı daraltarak 13.3x13.3 alandaki datayı değerlendirmektedir. Bu nedenle MPC output sabitliği ölçümlerinde alan boyutu 13.3x13.3 SSD 150 cm dir ve EPGC kullanarak 13x13'lük alanda referans günkü değere göre rölatif olarak 34 MU ışınlayarak yüzde doz değişimi hesaplanmıştır. Bu ölçümlerin haftalık ortalamaları zamana ve birbirlerine göre karşılaştırılmıştır.

Referans Absolut doz ölçümünde SSD 100’de, 10x10 alanda, 10 cm derinlikte 0,6cc hacimli 30013 seri numaralı PTW Farmer silindirik iyon odası ile su eşdeğeri RW3 katı fantom kullanılmıştır ve 100 MU ışınlama yapılmıştır. PTW StarCheck ölçümü ise 10x10 alanda, 100 MU kullanarak, 1 cm efektif ölçüm derinliğinde, SSD 100 olarak katı fantom kullanılmadan ışınlanmıştır.

### 3.2.3 PTW StarCheck ve MPC ile Alan Boyutunun Ölçümü

StarCheck’in 20x20 alanda, SSD 100 cm’de, 6 MV foton enerjisi ile MPC sisteminin 18x18 alanda, 6 MV foton enerjisi ile aldığı alan boyutu ölçümlerinin referans ölçüm değerlerine göre haftalık ortalamalarını alarak zamana bağlı değişimleri karşılaştırılmıştır.

### 3.2.4 PTW StarCheck ve EPGC ile Düzgünlük Ölçümü

Profil ölçümü boyunca alan yüzeyinin %80 lik kısmını PTW StarCheck 10x10 ve 20x20 alanlarda, 100 MU ve SSD 100 cm ile (1cm efektif nokta derinliği) StarCheck’te ışınlarak hesaplanmıştır. PTW StarCheck ve EPGC sistemlerinde, ip ve cp düzgünlük hesaplarken, profil ölçümü boyunca alan yüzeyinin %80 lik kısmında=  $\frac{d_{max}-d_{min}}{d_{max}+d_{min}} * \%100$  formülü kullanılmıştır. FFF enerjilerinde doz profili farklı olduğundan düzgünlük her iki ölçüm sisteminde dmax dozu ve alan yüzeyinin %80 lik noktasındaki dozun oranlanması Filtresiz =(D<sub>cax</sub>)/(D<sub>x off-axis</sub>) D<sub>x off-axis</sub>=(Alan Boyutu )/2x %80 le bulunmuştur.

Haftada 2 kez StarCheck ile ölçüm alınmıştır. EPGC ile 10x10 ve 20x20’lik alanlarda, haftada 5 ölçüm alarak her iki ölçüm sisteminde 100 MU ışınladık. Filtreli foton ışınlamalarında SSD 100 cm, filtresizlerde ise SSD 150 cm’de ölçüm alınmıştır. Bu ölçümler excel yardımı ile hesaplanmıştır. Yapılan ölçümlere bağlı haftalık ortalama değerleri hesaplanarak zamana ve farklı sistemlerin birbirine göre

değişimleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca Tüm ölçümler boyunca 3 kez 30x30 alanda 10 cm derinlikte su fantomu kurulmuş ve periyodik ölçüm sistemleriyle zamana göre değişim trendi karşılaştırılmıştır ek olarak 3 kez PTW Starcheck ile su fantomuyla karşılaştırmak için 10 cm derinlikte düzgünlük ölçümü alınmıştır ve her iki sistemin düzgünlük verileri aynı çıkmıştır.

### **3.2.5 MPC ve PTW StarCheck ile Işın Merkezi Kaymasının Ölçümü**

MPC ölçüm sisteminde 18x18 alan ışın merkezinin, referans alan ışın merkezine göre milimetrik olarak kaymasıdır. MPC ile ışın merkez kaymasının ölçümü için farklı kolimatör açılarında alınan görüntüler kullanılır. MPC’de SSD 150 cm’de, 4 foton enerjisi ile günlük alınan ölçümlerin haftalık ortalaması ile PTW StarCheck ile 20x20 alanda, haftada 1 kez alınan ölçümlerin referans ışın merkezi ölçümlerine göre farkları karşılaştırılmasıdır

## 4.BULGULAR

### 4.1MPC, iyon odası ve EPGC ile rölatif output değişimi ölçümü

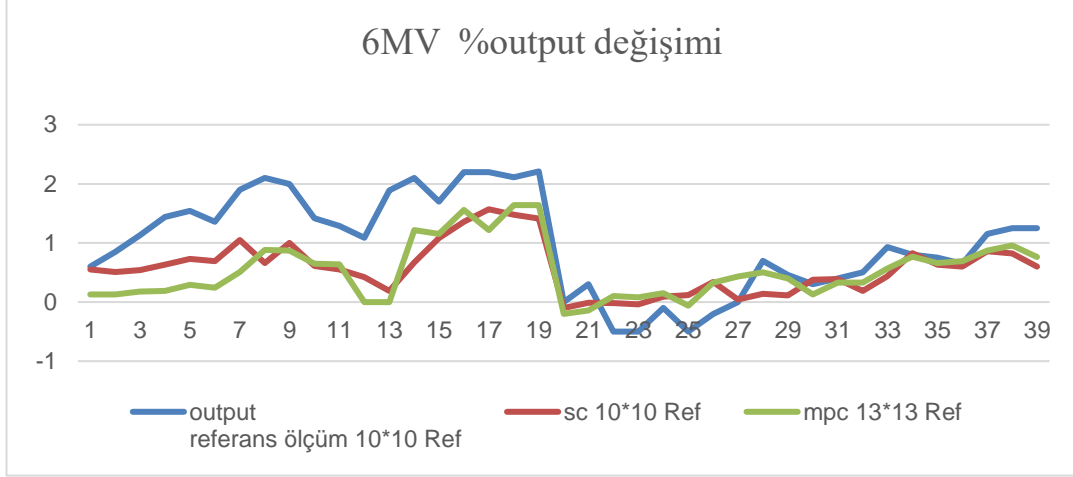
Bu çalışmada rölatif doz değişim değerlerini veren StarCheck ve MPC sistemleri, referans iyon odası ile ölçülen absolut output değerine göre stabilite ve yüzde değişim açısından karşılaştırılmıştır. 4 foton enerjisinde referans ölçümde okunan değerlere göre % output değişim tabloları ve grafikleri tablo 4.1.1 de verilmiştir.

**Tablo 4.1.1** Periyodik 40 ölçüm boyunca 6 MV foton enerjisinde iyon odası, MPC ve PTW StarCheck output ölçümlerinin zamana ve birbirlerine göre değişim tablosu aşağıdadır.

Ölçüm	Output referans ölçüm %fark	SC %fark	Sc vs ref %Farkları	MPC %Fark	MPC vs ref% farkları
Alan boyutu	10*10	10*10		13*13	
1	Ref	Ref		Ref	
2	0,77	0,55	0,45	0,13	0,87
3	0,71	0,51	0,56	0,13	0,94
4	1,13	0,54	0,59	0,18	0,95
5	1,44	0,63	0,81	0,19	1,25
6	1,54	0,73	0,81	0,29	1,25
7	1,36	0,69	0,67	0,24	1,12
8	1,9	1,05	0,85	0,51	1,39
9	2,1	0,66	1,44	0,88	1,22
10	2	1	1	0,87	1,13
11	1,42	0,61	0,81	0,65	0,77
12	1,29	0,55	0,74	0,64	0,65
13	1,09	0,42	0,67	0,96	0,13
14	1,89	0,19	1,7	0,95	0,94
15	2,1	0,67	1,43	1,22	0,88
16	1,7	1,08	0,62	1,15	0,55
17	2,2	1,36	0,84	1,56	0,64
18	2,2	1,67	0,63	1,22	0,98

19	2,11	1,48	0,63	1,84	0,47
20	2,21	1,41	0,8	1,64	0,57
21	0,5	-0,1	0,1	-0,2	0,2
22	0,3	-0,01	0,31	-0,14	0,44
23	-0,5	-0,02	-0,48	0,1	-0,6
24	-0,5	-0,04	-0,46	0,08	-0,58
25	-0,1	0,09	-0,19	0,15	-0,25
26	-0,5	0,12	-0,62	-0,06	-0,44
27	-0,2	0,34	-0,54	0,33	-0,53
28	0	0,04	-0,04	0,43	-0,43
29	0,7	0,14	0,56	0,5	0,2
30	0,46	0,11	0,35	0,4	0,06
31	0,3	0,38	-0,08	0,13	0,17
32	0,4	0,39	0,01	0,33	0,07
33	0,5	0,19	0,31	0,33	0,17
34	0,93	0,44	0,49	0,57	0,36
35	0,8	0,83	-0,03	0,77	0,03
36	0,75	0,63	0,12	0,66	0,09
37	0,65	0,6	0,05	0,69	-0,04
38	1,15	0,86	0,29	0,87	0,28
39	1,25	0,82	0,43	0,96	0,29
40	1,25	0,6	0,65	0,76	0,49
Ortalama	1,01	0,56	0,44	0,56	0,42
Max%fark	2,2	1,67	0,79	1,84	2,02

6 MV ile periyodik olarak 40 ölçüm boyunca yapılan ölçüm tablosu incelendiğinde iyon odası için en büyük fark %2,21 iken MPC için %1,64 ve PTW StarCheck için %1,57'dir. Üç sistemin zamana bağlı olarak birbiri ile karşılaştırılması şekil4.1.1'de verilmiştir. SPSS ile paired sample test yapıldığında referans iyon odası, MPC ve referans iyon odası, PTW StarCheck arasında anlamlı fark olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.1.1** 960 MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi

**Tablo 4.1.2.** 10 MV foton enerjisinde iyon odası, MPC ve PTW StarCheck output ölçümlerinin zamana ve birbirlerine göre değişim tablosu

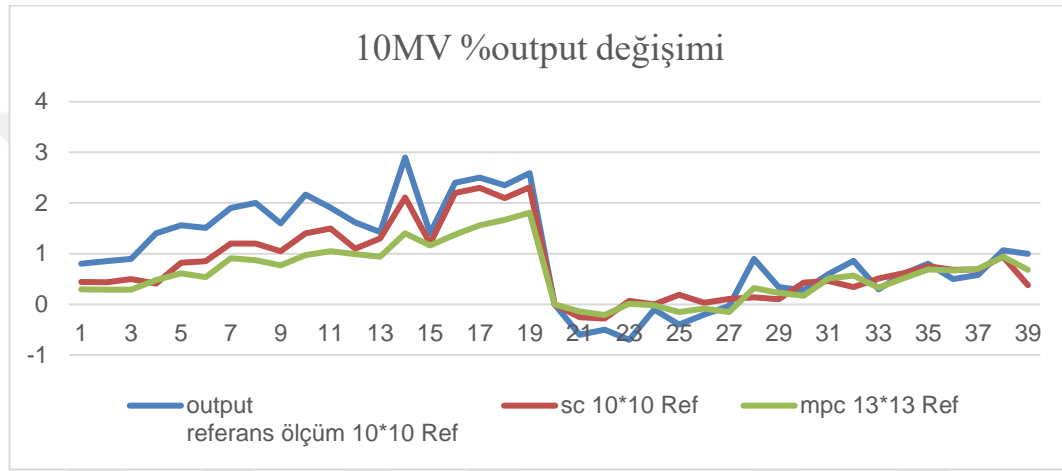
ölçüm	output referans ölçüm %fark 10*10	SC %fark 10*10	sc vs ref %Farkları	MPC %Fark 13*13	MPC vs ref% farkları
Alan boyutu	10*10	10*10		13*13	
1	Ref	Ref		Ref	
2	0,6	0,44	0,36	0,3	0,5
3	0,85	0,434	0,42	0,29	0,56
4	0,9	0,5	0,40	0,29	0,61
5	1,4	0,41	0,99	0,48	0,92
6	1,56	0,82	0,74	0,61	0,95
7	1,51	0,85	0,66	0,54	0,97
8	1,9	1,2	0,70	0,91	0,99
9	2	1,2	0,80	0,87	1,13
10	1,6	1,05	0,55	0,77	0,83
11	2,17	1,4	0,77	0,97	1,2
12	1,91	1,5	0,41	1,05	0,86

Tablo4.1.2(Devam)

13	1,62	1,1	0,52	0,99	0,63
14	1,43	1,3	0,13	0,94	0,49
15	2,9	2,11	0,79	1,4	1,5
16	1,4	1,2	0,20	1,16	0,24
17	2,4	2,2	0,20	1,377	1,023
18	2,5	2,3	0,20	1,56	0,94
19	2,35	2,1	0,25	1,67	0,68
20	2,59	2,31	0,28	1,81	0,78
21	0,5	0,3	0,20	-0,2	0,3
22	-0,6	-0,25	-0,35	-0,14	-0,46
23	-0,5	-0,28	-0,22	-0,21	-0,29
24	-0,7	0,07	-0,77	0,01	-0,71
25	-0,1	0	-0,10	-0,02	-0,08
26	-0,4	0,19	-0,59	-0,15	-0,25
27	-0,2	0,03	-0,23	-0,08	-0,12
28	-0,03	0,11	-0,14	-0,15	0,12
29	0,9	0,14	0,76	0,32	0,58
30	0,34	0,1	0,24	0,23	0,11
31	0,28	0,43	-0,15	0,17	0,11
32	0,6	0,46	0,14	0,51	0,09
33	0,86	0,34	0,52	0,57	0,29
34	0,3	0,51	-0,21	0,33	-0,03
35	0,6	0,61	-0,01	0,51	0,09
36	0,8	0,75	0,05	0,69	0,11
37	0,5	0,68	-0,18	0,67	-0,17
38	0,58	0,69	-0,11	0,7	-0,12
39	1,07	0,94	0,13	0,94	0,13
40	1	0,38	0,62	0,68	0,32
Ortalama	1	0,78	0,22	0,6	0,39
Max%fark	2,9	2,31	0,59	1,81	1,5

10MV ile alınan ölçümlerin tablosu incelendiğinde maksimum fark referans output ölçümündedir. Referans output ölçümünde  $2,9 \pm 0,7$  aralığında değerler okunmuştur. İlk ölçümdeki absolut output değeri 98.9 cGy olduğu için %2.9 luk artış kabul kriteri olan  $\pm 2$  nin içindedir. MPC ile  $1,81 \pm 0,21$  aralığında değerler alınmıştır. PTW StarCheck ile  $0,68 \pm 2,31$  aralığında veriler alınmıştır. Ortalama verilerde MPC ve PTW StarCheck birbirine benzerdir. Zamana göre % output değişimi incelendiğinde

her üç sisteminde birbirine benzer yönde değiştiği görülmektedir. Referans iyon odası sistemiyle, MPC ve Referans iyon odası sistemiyle PTW StarCheck sistemleri arasında spss analizi yapıldığında paired sample test e göre anlamlı fark olduğu görülmüştür. Üç sistemin zamana bağlı olarak birbiri ile karşılaştırılması şekil 4.1.2’de verilmiştir.



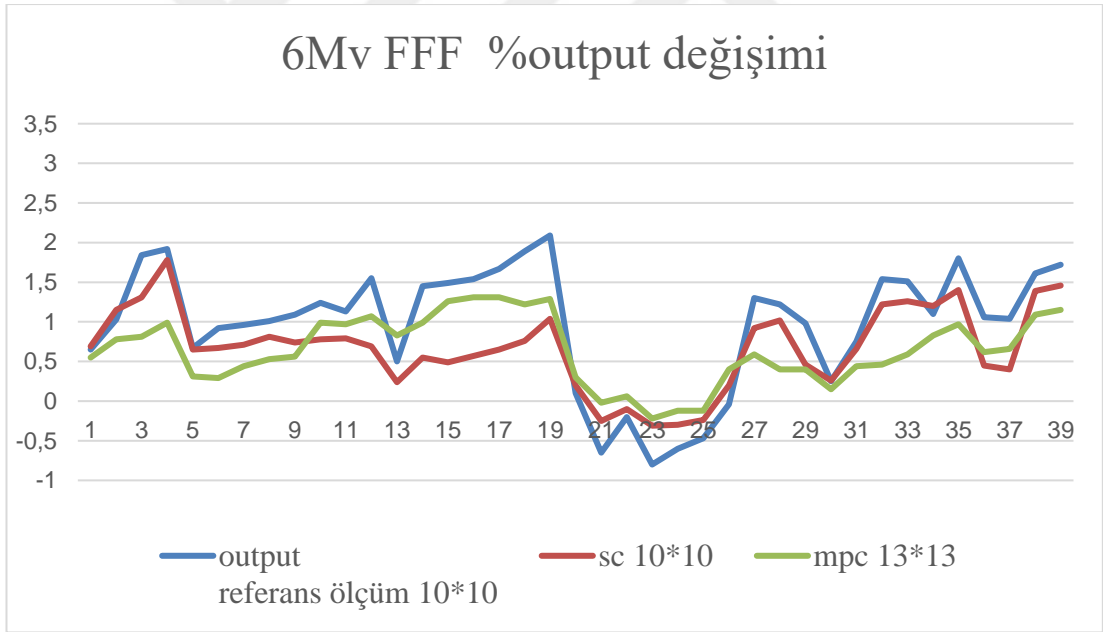
**Şekil 4.1.2** 10 MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi

**Tablo 4.1.3.** Periyodik 40 ölçüm boyunca 6 FFF MV foton enerjisinde referans output, MPC ve PTW StarCheck zamana birbirlerine göre değişim tablosu

ölçüm	output referans ölçüm %fark	SC %fark	sc vs ref %Farkları	MPC %Fark	MPC vs ref% farkları
Alan boyutu	10*10	10*10		13*13	

1	ref	ref	ref	ref	ref
2	-0,8	-0,65	-0,15	-0,2	-0,6
3	-0,79	-0,65	-0,14	-0,2	-0,59
4	0,8	-0,59	1,39	-0,3	1,1
5	0,3	0,23	0,07	0,31	-0,01
6	0,67	0,65	0,02	0,31	0,36
7	0,92	0,67	0,25	0,29	0,63
8	0,96	0,71	0,25	0,44	0,52
9	1,01	0,81	0,2	0,53	0,48
10	1,09	0,74	0,35	0,56	0,53
11	1,24	0,78	0,46	0,99	0,25
12	1,132	0,79	0,342	0,97	0,162
13	1,55	0,69	0,86	1,07	0,48
14	0,5	0,24	0,26	0,83	-0,33
15	1,45	0,55	0,9	0,99	0,46
16	1,49	0,49	1	1,26	0,23
17	1,54	0,57	0,97	1,31	0,23
18	1,67	0,65	1,02	1,31	0,36
19	1,89	0,76	1,13	1,22	0,67
20	2,09	1,04	1,05	1,29	0,8
21	0,1	0,2	-0,1	-0,3	-0,2
22	-0,65	-0,25	-0,4	-0,02	-0,63
23	-0,2	-0,1	-0,1	0,06	-0,26
24	-0,8	-0,31	-0,49	-0,22	-0,58
25	-0,6	-0,3	-0,3	-0,12	-0,48
26	-0,47	-0,24	-0,23	-0,12	-0,35
27	-0,04	0,2	-0,24	0,4	-0,44
28	1,3	0,92	0,38	0,59	0,71
29	1,22	1,02	0,2	0,4	0,82
30	0,98	0,46	0,52	0,4	0,58
31	0,25	0,26	-0,01	0,15	0,1
32	0,75	0,66	0,09	0,439	0,311
33	1,54	1,22	0,32	0,46	1,08
34	1,51	1,26	0,25	0,59	0,92
35	1,1	1,2	-0,1	0,83	0,27
36	1,8	1,4	0,4	0,97	0,83
37	1,06	0,45	0,61	0,62	0,44
38	1,04	0,4	0,64	0,66	0,38
39	1,61	1,39	0,22	1,09	0,52
40	1,72	1,46	0,26	1,15	0,57
ortalama	0,81	0,5	0,22	0,55	0,26
Max% fark	2,09	1,46	0,63	1,31	0,78

Yukarıdaki tabloyu incelediğimizde 6 FFF MV enerjide alınan ölçümlerde referans output ölçümünde  $\pm 2,09$  aralığında MPC ile  $1,31 \pm 0,3$  aralığında PTW StarCheck ile  $1,46 \pm 0,65$  aralığında veriler alınmıştır. MPC ve PTW StarCheck 'in Referans output ölçümüyle arasındaki farkların ortalamaları sırasıyla  $0,5$  ve  $0,55$  birbirine çok yakındır. 3 ölçüm sistemi incelendiğinde ortalama farklar yönünden en hassas ölçümün en yüksek  $0,81$  ortalama değişim gösteren referans output ölçümü olduğu görülmektedir. Zamana göre % output değişimi incelendiğinde her üç sisteminde birbirine benzer yönde değiştiği görülmektedir. Referans iyon odası, MPC ve referans iyon odası, PTW StarCheck sistemleri arasında spss analizi yapıldığında paired sample test e göre her iki ölçüm sistemi arasında da anlamlı fark olduğu görülmüştür. Üç sistemin zamana bağlı olarak birbiri ile karşılaştırılması şekil 4.1.3'de verilmiştir.



**Şekil 4.1.3** 6FFF MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi

**Tablo 4.1.4.** Periyodik 40 ölçüm boyunca 10 FFF MV MV foton enerjisinde referans output, MPC ve PTW StarCheck zamana ve birbirlerine göre değişim tablosu

ölçüm	output	SC	sc vs ref	MPC	MPC vs
	referans	%fark	%Farkları	%Fark	ref%
Alan boyutu	ölçüm	10*10	10*10	13*13	farkları
	%fark				
1	Ref	Ref		ref	
2	0,95	1,29	-0,34	0,45	0,5
3	1,2	1,46	-0,26	0,67	0,53
4	1,03	1,15	-0,12	0,78	0,25
5	1,84	1,31	0,53	0,81	1,03
6	1,92	1,78	0,14	0,99	0,93
7	1,98	2,1	-0,12	1,03	0,95
8	2,2	1,65	0,55	1,24	0,96
9	1,43	1,24	0,19	0,91	0,52
10	1,23	0,95	0,28	0,63	0,6
11	1,65	1,3	0,35	0,79	0,86
12	2,02	1,91	0,11	0,71	1,31
13	1,7	1,19	0,51	0,83	0,87
14	1,6	1,14	0,46	0,91	0,69
15	2,8	2,24	0,76	1,7	1,3
16	1,8	1,71	0,09	1,46	0,34
17	2,2	1,99	0,21	1,49	0,71
18	2,55	2,06	0,49	1,61	0,94
19	2,1	1,99	0,11	1,72	0,38
20	2,8	2,22	0,58	1,87	0,93
21	0,6	0,5	0,1	-0,2	-0,2
22	-0,09	0,37	-0,46	0,19	-0,28
23	-0,38	0,13	-0,51	0,25	-0,63
24	-0,45	0,21	-0,66	0,16	-0,61
25	-0,25	0,33	-0,58	0,13	-0,38
26	-0,06	0,21	-0,27	0,2	-0,26
27	0	0,3	-0,3	0,37	-0,37
28	0,56	0,43	0,13	0,57	-0,01
29	1,09	0,35	0,74	0,51	0,58
30	0,88	0,42	0,46	0,6	0,28
31	0,9	0,43	0,47	0,51	0,39
32	0,87	0,55	0,32	0,6	0,27

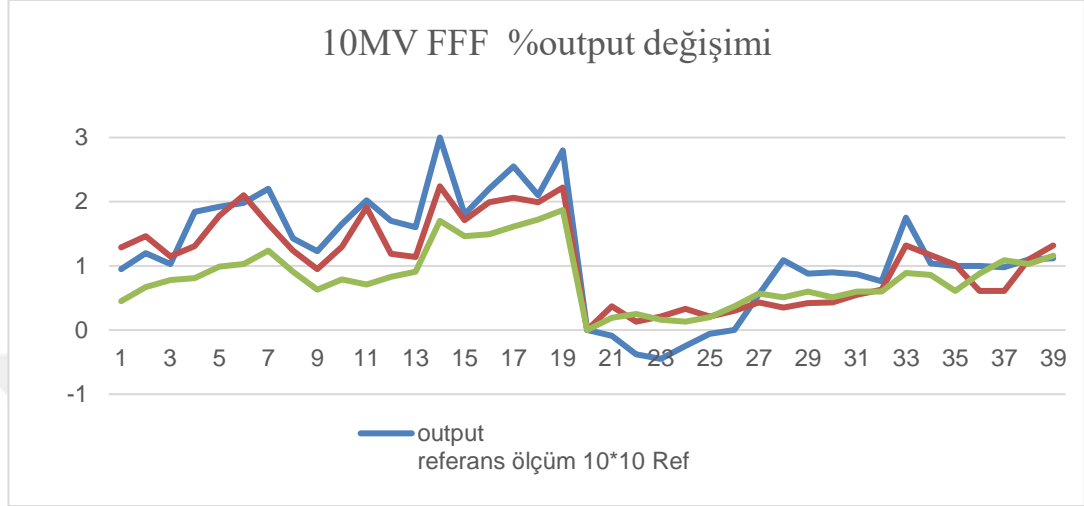
Tablo4.1.4(Devam)

33	0,76	0,63	0,13	0,6	0,16
34	1,75	1,32	0,43	0,89	0,86
35	1,04	1,17	-0,13	0,86	0,18
36	1	1,02	-0,02	0,61	0,39
37	1	0,61	0,39	0,88	0,12
38	0,98	0,61	0,37	1,09	-0,11
39	1,1	1,1	0	1,03	0,07
40	1,12	1,32	-0,2	1,16	-0,04
Ortalama	1,2	1,08	0,12	0,81	0,38
Max%fark	2.8	2,24	0,76	1,87	1,13

10 FFF MV enerji ile alınan periyodik ölçümler incelendiğinde referans output ölçümü ile alınan % veriler  $-0,45 \pm 3$  aralığında MPC ile alınan veriler  $0,13 \pm 1,87$  aralığında PTW StarCheck ile alınan ölçümlerin  $0,21 \pm 2,24$  aralığında olduğu ve referans output ölçümlerinin veriler arasındaki farklara bakıldığında en hassas olduğu anlaşılmaktadır. PTW StarCheck ile referans output arası ortalama fark %0,12 olduğundan 10 FFF MV enerji için 2. en hassas ölçüm sistemi PTW StarCheck denebilir. MPC de 0,38 ortalama fark ile 3. sıradadır. İlk haftaki referans output ölçümündeki değer 98,6 cGy olduğundan %3 lük fark  $\pm 2$  lik kabul kriterlerinin içindedir. Zamana göre % output değişimi incelendiğinde her üç sisteminde birbirine benzer yönde değiştiği görülmektedir.

Tüm ölçümlere ve grafiklere bakıldığında 3 ölçüm sisteminin zamana göre benzer şekilde değiştiği ve referans output ölçümünün en hassas olduğu anlaşılmaktadır. 10 MV ve 10 FFF MV enerjilerde PTW StarCheck 2. hassas sistem olduğu 6 MV ve 6 FFF MV enerjilerde ise MPC ve PTW StarCheck sistemlerinin referans output ölçümü ile ortalama farklarının benzer olduğu görülmüştür. Referans iyon odası, MPC ve referans iyon odası, PTW StarCheck sistemleri arasında spss analizi yapıldığında paired sample test e göre her iki ölçüm arasında da anlamlı fark olduğu

görülmüştür. Üç sistemin zamana bağlı olarak birbiri ile karşılaştırılması şekil4.1.4’de verilmiştir.



**Şekil 4.1.4** 10 FFF MV enerjinin 3 farklı ölçüm sistemi için zamana göre % output değişimi

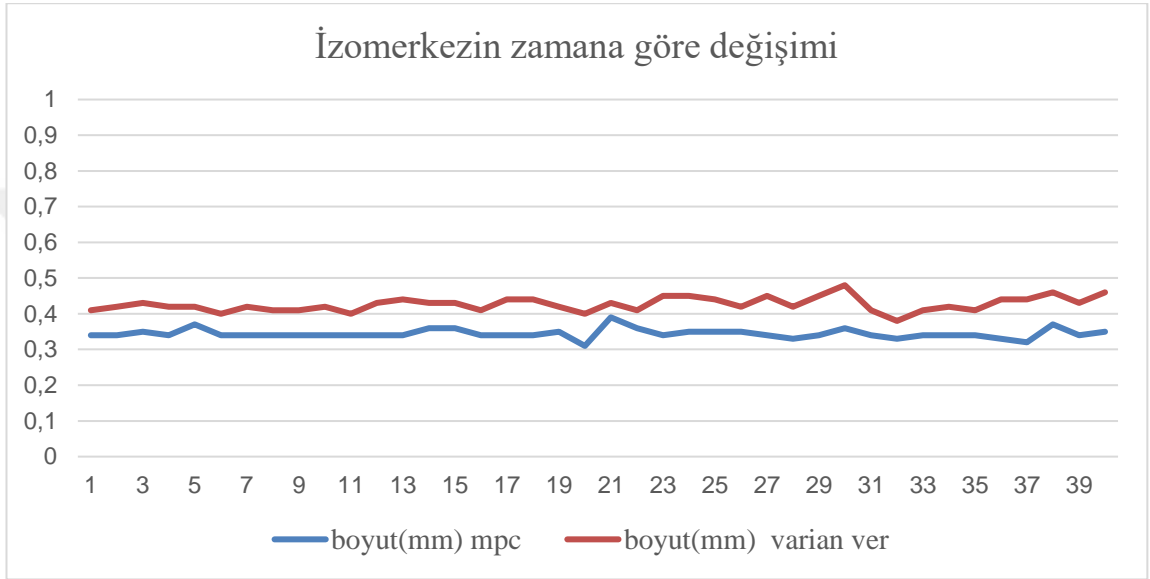
#### 4.2 Varian İzomerkez Verifikasyonu ve MPC izomerkez Ölçümü

İzocal fantom kullanarak MPC ve Varian izomerkez verifikasyonu yazılımları ile periyodik aralıklarla 40 ölçüm alınmıştır. Ölçümlerde izomerkez boyutu, MV ve kV görüntü merkezlerinin izomerkezden uzaklığı, periyodik ölçümler boyunca stabilitesi, zamana ve birbirine göre değişimleri karşılaştırılmıştır. Ölçüm setupları arasındaki ana fark MPC yazılımı sistemde kayıtlı konumuna otomatik olarak giderken Varian izocenter verifikasyon sisteminde izocal fantom lateral, vertikal ve longitudinal eksenlerde lazerlere göre yerleştirilir. Bu sayede lazerlerde kontrol parametrelerine dahil edilmiş olur.

**Tablo 4.2.1.** İzocal fantom kullanarak MPC ve izomerkez verifikasyonu yazılımlarıyla izomerkez boyutu değerlerinin zamana ve birbirine göre değişimi karşılaştırılmıştır.

Ölçüm	boyut(mm) MPC	boyut(mm) Varian ver	fark(mm)
1	0,34	0,41	0,07
2	0,34	0,42	0,08
3	0,35	0,43	0,08
4	0,34	0,42	0,08
5	0,37	0,42	0,05
6	0,34	0,4	0,06
7	0,34	0,42	0,08
8	0,34	0,41	0,07
9	0,34	0,41	0,07
10	0,34	0,42	0,08
11	0,34	0,4	0,06
12	0,34	0,43	0,09
13	0,34	0,44	0,1
14	0,36	0,43	0,07
15	0,36	0,43	0,07
16	0,34	0,41	0,07
17	0,34	0,44	0,1
18	0,34	0,44	0,1
19	0,35	0,42	0,07
20	0,31	0,4	0,09
21	0,39	0,43	0,04
22	0,36	0,41	0,05
23	0,34	0,45	0,11
24	0,35	0,45	0,1
25	0,35	0,44	0,09
26	0,35	0,42	0,07
27	0,34	0,45	0,11
28	0,33	0,45	0,12
29	0,34	0,48	0,14
30	0,36	0,42	0,06
31	0,34	0,41	0,07
32	0,33	0,38	0,05
33	0,34	0,41	0,07
34	0,34	0,42	0,08
35	0,34	0,41	0,07
36	0,33	0,44	0,11
37	0,32	0,46	0,14
38	0,37	0,44	0,07
39	0,34	0,43	0,09
40	0,35	0,46	0,11
Ortalama	0,34	0,43	0,08
Max fark	0,39	0,48	0,14

Yukarıdaki tablo incelendiğinde izomerkez boyutu milimetrik olarak MPC sisteminde  $0,34\pm0,39$ mm Vv sisteminde  $0,48\pm0,38$  mm aralığındadeğişim göstermiştir. Vv sisteminde verilerin arasındaki fark daha fazladır. Ölçüm yazılımları arası ortalama fark 0,08 mm dir. İki sistemin zamana bağlı olarak birbiri ile karşılaştırılması şekil 4.2.1’de verilmiştir.



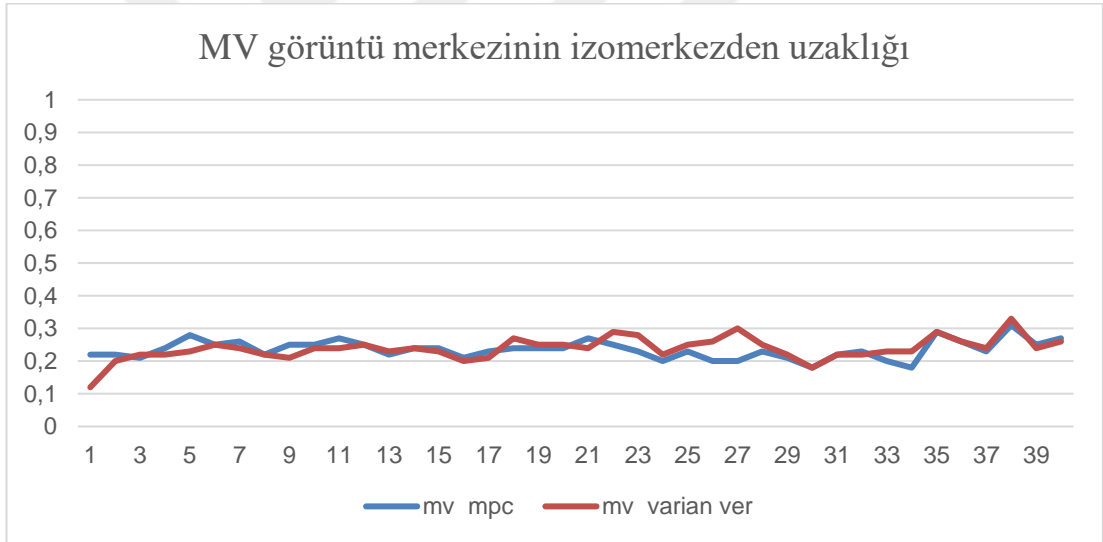
**Şekil 4.2.1** izomerkez boyutunun zamana göre değişimi

**Tablo 4.2.2.** MPC ve VV ölçüm yazılımları kullanarak MV görüntü merkezlerinin izomerkezden uzaklığının periyodik ölçümler ile zamana ve birbirine göre karşılaştırılması aşağıda verilmiştir.

Ölçüm	MV MPC(mm)	MV Varian ver (mm)	fark (mm)
1	0,22	0,12	0,10
2	0,22	0,2	0,02
3	0,21	0,22	-0,01
4	0,24	0,22	0,02
5	0,28	0,23	0,05
6	0,25	0,25	0,00
7	0,26	0,24	0,02
8	0,22	0,22	0,00
9	0,25	0,21	0,04
10	0,25	0,24	0,01
11	0,27	0,24	0,03
12	0,25	0,25	0,00
13	0,22	0,23	-0,01
14	0,24	0,24	0,00
15	0,24	0,23	0,01
16	0,21	0,2	0,01
17	0,23	0,21	0,02
18	0,24	0,27	-0,03
19	0,24	0,25	-0,01
20	0,24	0,25	-0,01
21	0,27	0,24	0,03
22	0,25	0,29	-0,04
23	0,23	0,28	-0,05
24	0,2	0,22	-0,02
25	0,23	0,25	-0,02
26	0,2	0,26	-0,06
27	0,2	0,3	-0,10
28	0,23	0,25	-0,02
29	0,21	0,22	-0,01
30	0,18	0,18	0,00
31	0,22	0,22	0,00
32	0,23	0,22	0,01
33	0,2	0,23	-0,03
34	0,18	0,23	-0,05
35	0,29	0,29	0,00
36	0,26	0,26	0,00
37	0,23	0,24	-0,01
38	0,31	0,33	-0,02

39	0,25	0,24	0,01
40	0,27	0,26	0,01
Ortalama	0,24	0,24	0,003
Max fark	0,28	0,3	0,02

Yukarıdaki tablo incelendiğinde MV görüntü merkezlerinin izomerkezden uzaklığı MPC sisteminde  $0,18\pm 0,28$ mm, Vv sisteminde  $0,12\pm 0,3$  mm aralığındadeğişim göstermiştir. Vv sisteminde veriler arasındaki fark daha fazladır. Ölçüm yazılımları arası ortalama fark 0,003 mm dir. Her iki ölçüm sisteminde periyodik 40 ölçüm boyunca zamana göre stabildir. Her iki ölçüm sistemiyle alınan ortalama değerler arasında fark yok denebilir. Bu nedenle her iki ölçüm yazılımıyla da MV görüntüleme merkezinin ortalama ölçümler boyunca izomerkezden uzaklığı 0,24 mm olarak ölçülmüştür. İki sistemin zamana bağlı olarak birbiri ile karşılaştırılması şekil 4.2.2’de verilmiştir.



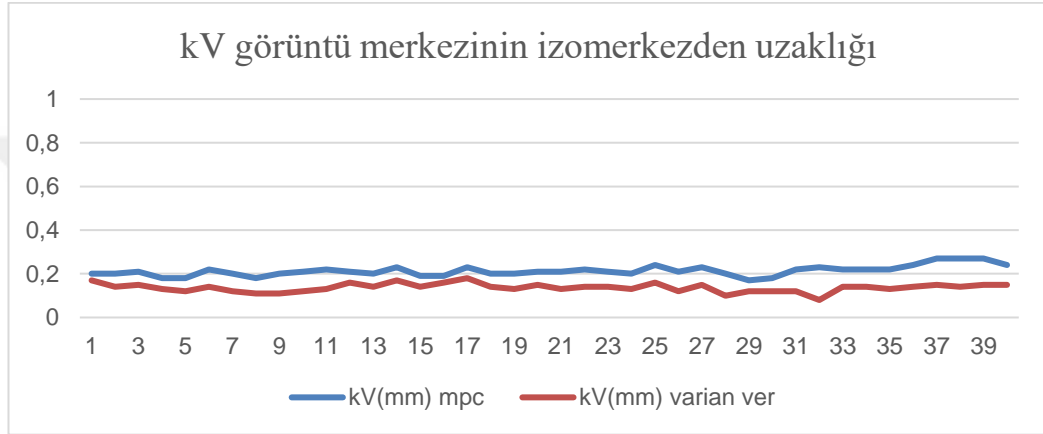
**Şekil 4.2.2** MV görüntüleme merkezinin zamana göre izomerkezden uzaklığı

**Tablo 4.2.3.** MPC ve VV ölçüm yazılımları kullanarak kV görüntü merkezlerinin izomerkezden uzaklığını periyodik ölçümler ile zamana ve birbirine göre karşılaştırılmıştır.

Ölçüm	kV(mm) MPC	kV(mm) Varian ver	Fark Mm
1	0,2	0,17	0,03

2	0,2	0,14	0,06
3	0,21	0,15	0,06
4	0,18	0,13	0,05
5	0,18	0,12	0,06
6	0,22	0,14	0,08
7	0,2	0,12	0,08
8	0,18	0,11	0,07
9	0,2	0,11	0,09
10	0,21	0,12	0,09
11	0,22	0,13	0,09
12	0,21	0,16	0,05
13	0,2	0,14	0,06
14	0,23	0,17	0,06
15	0,19	0,14	0,05
16	0,19	0,16	0,03
17	0,23	0,19	0,05
18	0,2	0,14	0,06
19	0,2	0,13	0,07
20	0,21	0,15	0,06
21	0,21	0,13	0,08
22	0,22	0,14	0,08
23	0,21	0,14	0,07
24	0,2	0,13	0,07
25	0,24	0,16	0,08
26	0,21	0,12	0,09
27	0,23	0,15	0,08
28	0,2	0,1	0,1
29	0,17	0,12	0,05
30	0,18	0,12	0,06
31	0,22	0,12	0,1
32	0,23	0,06	0,15
33	0,22	0,14	0,08
34	0,22	0,14	0,08
35	0,22	0,13	0,09
36	0,24	0,14	0,1
37	0,27	0,15	0,12
38	0,27	0,14	0,13
39	0,27	0,15	0,12
40	0,24	0,15	0,09
ortalama	0,21	0,24	0,03
Max fark	0,27	0,29	0,02

Yukarıdaki tablo incelendiğinde kV görüntü merkezlerinin izomerkezden uzaklığı MPC sisteminde  $0,17\pm 0,27$  mm, Vv sisteminde  $0,06\pm 0,19$  mm aralığında değişim göstermiştir. Vv sisteminde veriler arasındaki fark daha fazladır. Ölçüm yazılımları arası ortalama fark 0,08 mm dir. Her iki ölçüm sistemide zamana göre stabildir. Her iki ölçüm sistemide periyodik 40 ölçüm boyunca stabilite açısından benzerdir. İki sistemin zamana bağlı olarak birbiri ile karşılaştırılması şekil 4.2.3’de verilmiştir.



**Şekil 4.2.3** kV görüntüleme merkezinin zamana göre izomerkezden uzaklığı

#### 4.3PTW StarCheck ve MPC arasında Alan boyutu değişimi karşılaştırması

İki farklı kalite kontrol sistemi ile 40 periyodik ölçüm alınmıştır. MPC ölçüm yazılımı varian sisteminde kayıtlı olan SSD 150 cm de, 18x18 alanda, EPGC ile referans değerine göre fark cinsinden ölçüm almaktadır.

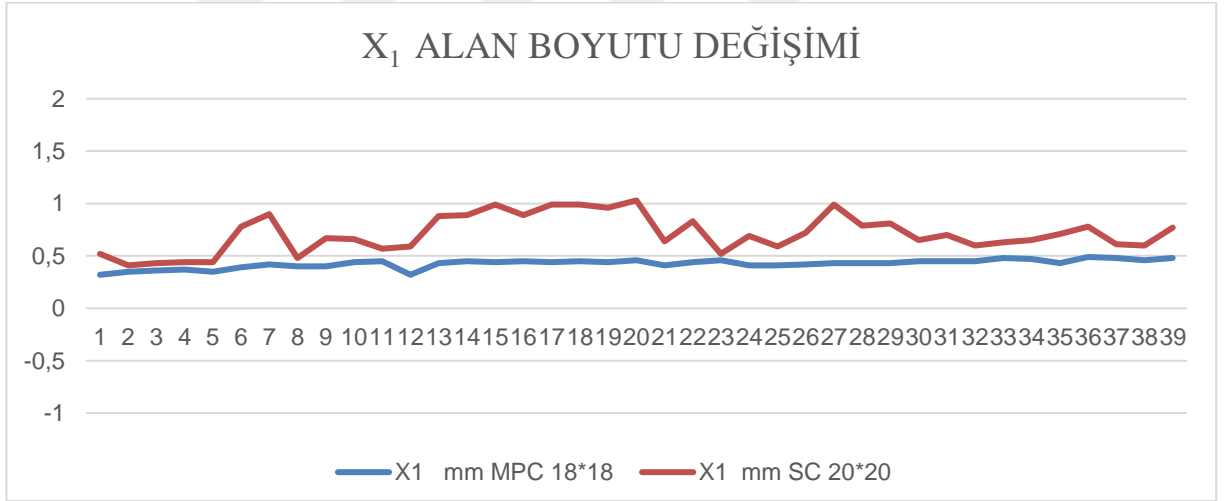
PTW StarCheck ise SSD 100 cm de 1 cm derinlikte 20x20 alan boyutunda referans değerine göre fark olarak ölçüm almaktadır. 6MV enerjide X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>, alan boyutlarındaki değişimlerin birbirlerine ve zamana göre farkları bakımından karşılaştırılmıştır.

**Tablo 4.3.1.** 40 periyodik ölçüm boyunca  $X_1$  ve  $X_2$  alan boyutunun referans değere göre değişiminin 2 farklı kalite kontrol sisteminin birbirine ve zamana göre değişiminin karşılaştırılması

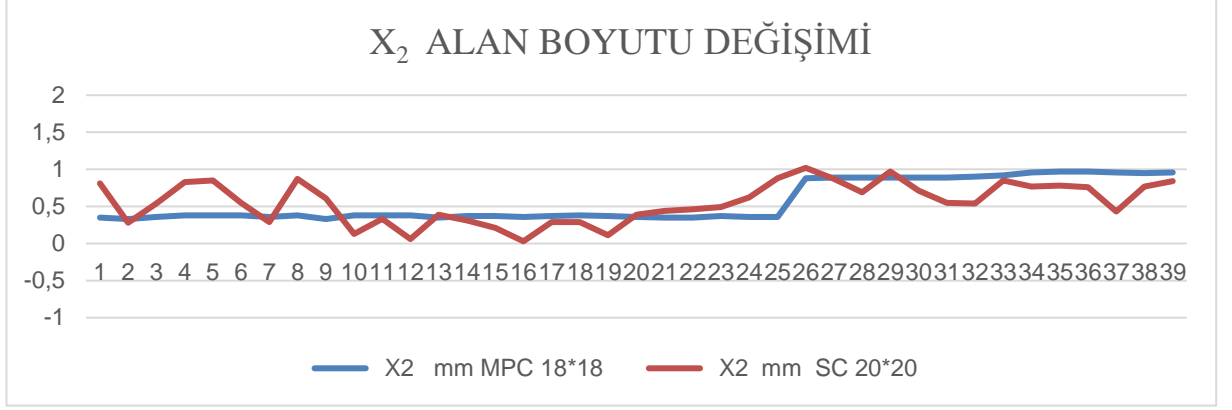
ölçüm	$X_1$	$X_1$	$X_2$	$X_2$	$X_1$	$X_2$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	MPC 18*18	SC 20*20	MPC 18*18	SC 20*20	MPC SC fark	MPC SC fark
1	Ref	Ref	Ref	Ref	0	0
2	0,32	0,52	0,35	0,81	0,2	0,46
3	0,35	0,41	0,33	0,28	0,06	0,05
4	0,36	0,43	0,36	0,54	0,07	0,18
5	0,37	0,44	0,38	0,83	0,07	0,45
6	0,35	0,44	0,38	0,85	0,09	0,47
7	0,39	0,78	0,38	0,55	0,39	0,17
8	0,42	0,9	0,36	0,29	0,48	0,07
9	0,4	0,48	0,38	0,87	0,08	0,49
10	0,4	0,27	0,33	0,61	0,27	0,28
11	0,44	0,66	0,38	0,13	0,22	0,25
12	0,45	0,57	0,38	0,33	0,12	0,05
13	0,32	0,59	0,38	0,06	0,27	0,32
14	0,43	0,88	0,35	0,39	0,45	0,04
15	0,45	0,89	0,37	0,31	0,44	0,06
16	0,44	0,99	0,37	0,21	0,55	0,16
17	0,45	0,89	0,36	0,03	0,44	0,33
18	0,44	0,99	0,37	0,29	0,55	0,08
19	0,45	0,99	0,38	0,29	0,54	0,09
20	0,44	0,96	0,37	0,11	0,52	0,26
21	0,46	1,03	0,36	0,39	0,57	0,03
22	0,41	0,64	0,35	0,44	0,23	0,09
23	0,44	0,83	0,35	0,46	0,39	0,11
24	0,46	0,52	0,37	0,49	0,06	0,12
25	0,41	0,69	0,36	0,62	0,28	0,26
26	0,41	0,59	0,36	0,88	0,18	0,52
27	0,42	0,72	0,88	1,02	0,3	0,14
28	0,43	0,99	0,89	0,87	0,56	0,02
29	0,43	0,79	0,89	0,69	0,36	0,2
30	0,43	0,81	0,89	0,97	0,38	0,08
31	0,45	0,65	0,89	0,71	0,2	0,18
32	0,45	0,7	0,89	0,55	0,25	0,34
33	0,45	0,6	0,9	0,54	0,15	0,36
34	0,48	0,63	0,92	0,85	0,15	0,07
35	0,47	0,65	0,96	0,77	0,18	0,19

36	0,43	0,71	0,97	0,78	0,28	0,19
37	0,49	0,78	0,97	0,76	0,29	0,21
38	0,48	0,61	0,96	0,43	0,13	0,53
39	0,46	0,6	0,95	0,77	0,14	0,18
40	0,48	0,77	0,96	0,84	0,29	0,12
Ortalama	0,42	0,71	0,56	0,64	0,29	0,21
Max fark	0,49	1,03	0,97	1,02	0,57	0,53

Yukarıdaki tablo incelendiğinde  $X_1$  alan boyutlarındaki zamana göre maksimum ve minimum değişim MPC için  $0,32\pm 0,49$  mm aralığındadır. PTW StarCheck için  $0,27\pm 1,03$  mm aralığındadır.  $X_2$  için ise MPC için  $0,33\pm 0,97$  ve PTW StarCheck için  $0,03\pm 1,02$  aralığındadır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama fark  $X_1$  için 0,29 mm  $X_2$  için ise 0,21 mm dir. Periyodik olarak alınan tüm ölçümler 1 mm ölçüm toleransı içindedir. Zamana göre MPC sistemi PTW StarCheck sistemine göre daha stabildir.



**Şekil 4.3.1.1**  $X_1$  Alan boyutunun zamana göre değişimi



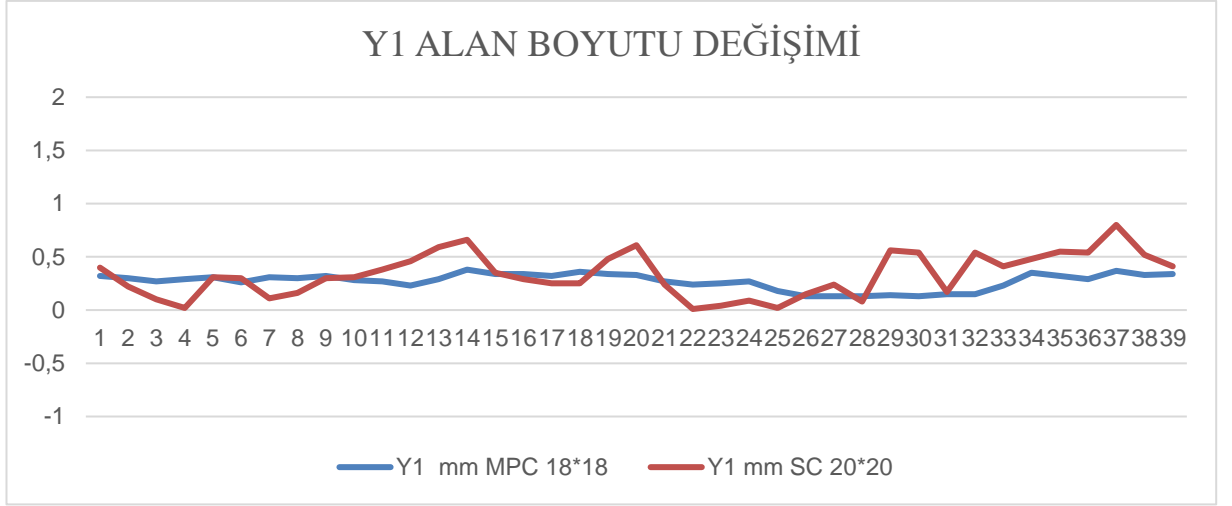
**Şekil 4.3.1.2** X<sub>2</sub> Alan boyutunun zamana göre değişimi

**Tablo 4.3.2** 40 periyodik ölçüm boyunca Y<sub>1</sub> ve Y<sub>2</sub> alan boyutunun referans değere göre değişiminin 2 farklı kalite kontrol sisteminin birbirine ve zamana göre değişiminin karşılaştırılması

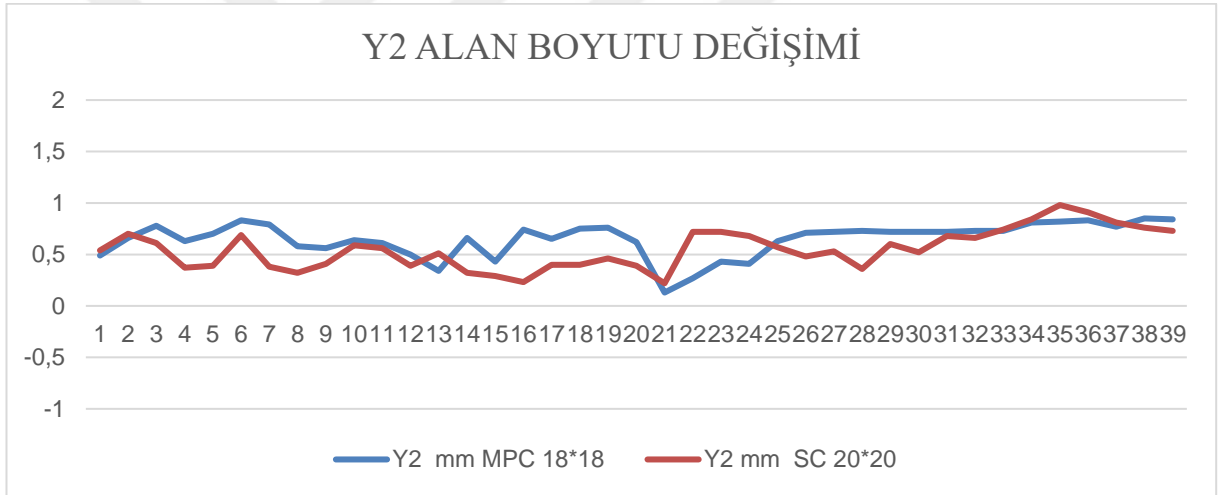
ölçüm	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	MPC	SC	MPC	SC	MPC SC	MPC SC
	18*18	20*20	18*18	20*20	fark	fark
1	Ref	Ref	Ref	Ref	0	0
2	0,32	0,4	0,49	0,54	0,08	0,05
3	0,3	0,22	0,66	0,7	0,08	0,04
4	0,27	0,1	0,78	0,61	0,17	0,17
5	0,29	0,02	0,63	0,37	0,27	0,26
6	0,31	0,31	0,7	0,39	0	0,31
7	0,26	0,3	0,83	0,69	0,04	0,14
8	0,31	0,11	0,79	0,38	0,2	0,41
9	0,3	0,16	0,58	0,32	0,14	0,26
10	0,32	0,3	0,56	0,41	0,02	0,15
11	0,28	0,31	0,64	0,59	0,03	0,05
12	0,27	0,38	0,61	0,56	0,11	0,05
13	0,23	0,46	0,5	0,39	0,23	0,11
14	0,29	0,59	0,34	0,51	0,3	0,17
15	0,38	0,66	0,66	0,32	0,28	0,34
16	0,34	0,35	0,43	0,29	0,01	0,14
17	0,34	0,29	0,74	0,23	0,05	0,51
18	0,32	0,25	0,65	0,4	0,07	0,25
19	0,36	0,25	0,75	0,4	0,11	0,35
20	0,34	0,48	0,76	0,16	0,14	0,6
21	0,33	0,61	0,62	0,39	0,28	0,23

22	0,27	0,24	0,13	0,52	0,03	0,39
23	0,24	0,01	0,27	0,82	0,23	0,55
24	0,25	0,04	0,69	0,82	0,21	0,13
25	0,27	0,09	0,53	0,68	0,18	0,15
26	0,18	0,02	0,57	0,57	0,16	0
27	0,13	0,15	0,71	0,48	0,02	0,23
28	0,13	0,24	0,72	0,53	0,11	0,19
29	0,13	0,08	0,73	0,36	0,05	0,37
30	0,14	0,56	0,72	0,6	0,42	0,12
31	0,13	0,54	0,72	0,52	0,41	0,2
32	0,15	0,17	0,72	0,68	0,02	0,04
33	0,15	0,54	0,73	0,66	0,39	0,07
34	0,23	0,41	0,73	0,74	0,18	0,01
35	0,35	0,48	0,81	0,84	0,13	0,03
36	0,32	0,55	0,82	0,98	0,23	0,16
37	0,29	0,54	0,83	0,91	0,25	0,08
38	0,37	0,8	0,77	0,81	0,43	0,04
39	0,33	0,52	0,85	0,76	0,19	0,09
40	0,34	0,41	0,84	0,73	0,07	0,11
ortalama	0,27	0,34	0,66	0,56	0,16	0,19
Max fark	0,38	0,8	0,87	0,98	0,42	0,6

Yukarıdaki tablo incelendiğinde  $Y_1$  alan boyutlarındaki zamana göre maksimum ve minimum değişim MPC için  $0,38 \pm 0,13$  mm aralığındadır. PTW StarCheck için  $0,01 \pm 0,8$  mm aralığındadır.  $Y_2$  için ise MPC için  $0,13 \pm 0,87$  ve PTW StarCheck için  $0,16 \pm 0,98$  aralığındadır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama fark  $X_1$  için 0,16 mm  $X_2$  için ise 0,19 mm dir. Periyodik olarak alınan tüm ölçümler  $\pm 1$  mm ölçüm toleransı içindedir. Zamana göre MPC sistemi PTW StarCheck sistemine göre daha stabildir.



Şekil 4.3.2.1 Y<sub>1</sub> Alan boyutunun zamana göre değişimi



Şekil 4.3.2.2 Y<sub>2</sub> Alan boyutunun zamana göre değişimi

#### 4.4 PTW StarCheck ve MPC Arasında Işın Merkezi Değişimi Karşılaştırması

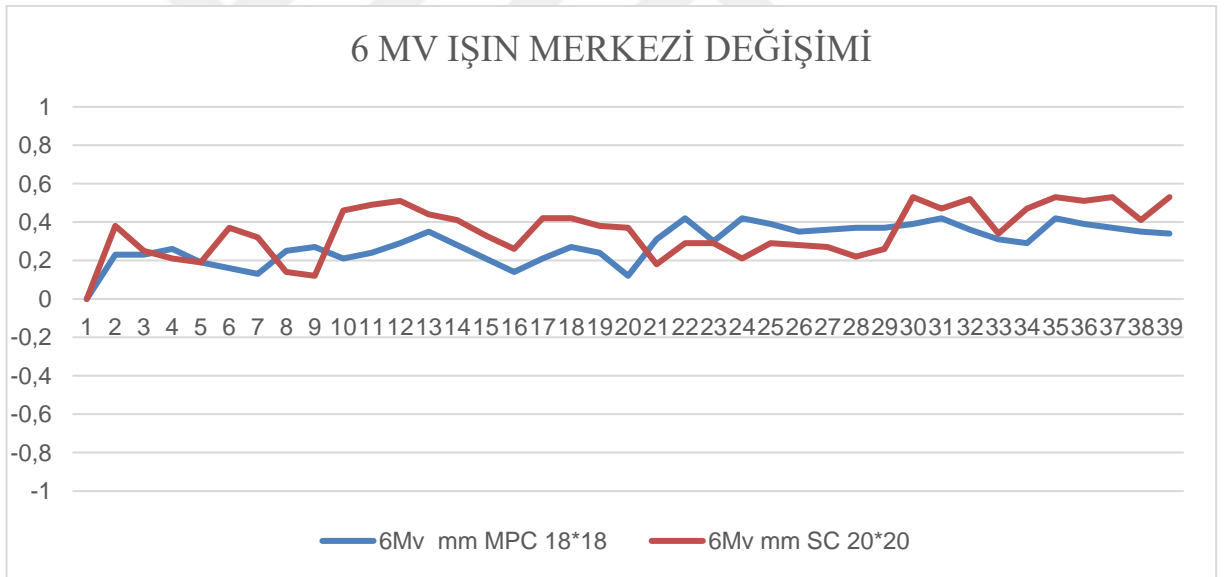
Işın Merkezi değişimini 4 farklı foton enerjisi kullanarak MPC ve PTW StarCheck kalite kontrol sistemleri zamana ve birbirine göre değişimleri periyodik 40 ölçüm ile ölçülmüştür. MPC sistemi 18x18 lik alanda SSD150 cm, PTW StarCheck sistemi ise 20x20 lik alanda SSD 100 cm de ölçüm alınmıştır.

**Tablo 4.4.1.** 6MV ve 10MV enerjiler için PTW StarCheck ve MPC ile periyodik olarak 40 hafta boyunca alınan ışınlama merkezinin birbirine ve zamana göre değişim.

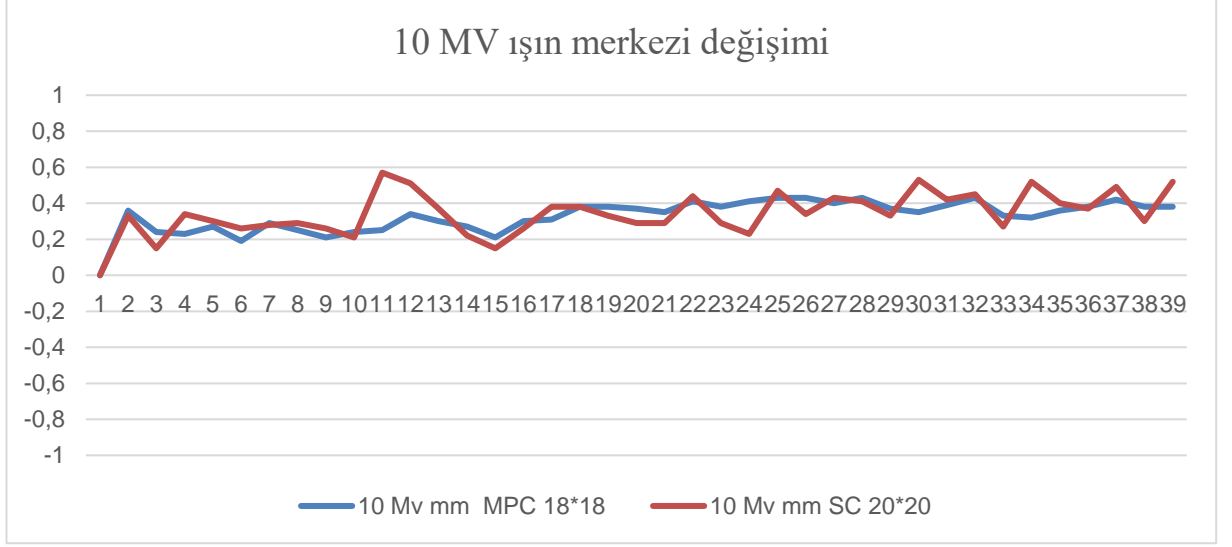
ölçüm	6MV	6MV	6MV	10 MV	10 MV	10 MV
	mm MPC 18*18	mm SC 20*20	mm FARK	mm MPC 18*18	mm SC 20*20	mm FARK
1	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref
2	0,23	0,38	0,15	0,36	0,33	0,03
3	0,23	0,25	0,02	0,24	0,15	0,09
4	0,26	0,21	0,05	0,23	0,34	0,11
5	0,19	0,19	0	0,27	0,3	0,03
6	0,16	0,37	0,21	0,19	0,26	0,07
7	0,13	0,32	0,19	0,29	0,28	0,01
8	0,25	0,14	0,11	0,25	0,29	0,04
9	0,27	0,12	0,15	0,21	0,26	0,05
10	0,21	0,46	0,25	0,24	0,21	0,03
11	0,24	0,49	0,25	0,25	0,57	0,32
12	0,29	0,51	0,22	0,34	0,51	0,17
13	0,35	0,44	0,09	0,3	0,37	0,07
14	0,28	0,41	0,13	0,27	0,22	0,05
15	0,21	0,33	0,12	0,21	0,15	0,06
16	0,14	0,26	0,12	0,3	0,26	0,04
17	0,21	0,42	0,21	0,31	0,38	0,07
18	0,27	0,42	0,15	0,38	0,38	0
19	0,24	0,38	0,14	0,38	0,33	0,05
20	0,12	0,37	0,25	0,37	0,29	0,08
21	0,31	0,18	0,13	0,35	0,29	0,06
22	0,42	0,29	0,13	0,41	0,44	0,03
23	0,3	0,29	0,01	0,38	0,29	0,09
24	0,42	0,21	0,21	0,41	0,23	0,18
25	0,39	0,29	0,1	0,43	0,47	0,04
26	0,35	0,28	0,07	0,43	0,34	0,09
27	0,36	0,27	0,09	0,4	0,43	0,03
28	0,37	0,22	0,15	0,43	0,41	0,02
29	0,37	0,26	0,11	0,37	0,33	0,04
30	0,39	0,53	0,14	0,35	0,53	0,18
31	0,42	0,47	0,05	0,39	0,42	0,03
32	0,36	0,52	0,16	0,43	0,45	0,02
33	0,31	0,34	0,03	0,33	0,27	0,06

35	0,42	0,53	0,11	0,36	0,37	0,04
36	0,39	0,51	0,12	0,38	0,49	0,01
37	0,37	0,53	0,16	0,42	0,3	0,07
38	0,35	0,41	0,06	0,38	0,52	0,08
39	0,34	0,53	0,19	0,38	0,36	0,14
ortalama	0,29	0,35	0,12	0,33	0,57	0,08
Max fark	0,42	0,53	0,21	0,43	0,41	0,32

Yukarıdaki tablo incelendiğinde 6 MV enerjide MPC ve PTW StarCheck sistemleri  $0,12\pm 0,42$ ,  $0,12\pm 0,53$  mm aralığındadır. 10MV enerjide ise  $0,19\pm 0,43$ ,  $0,15\pm 0,57$  mm aralığındadır. Alınan ölçümler stabilite açısından değerlendirildiğinde MPC sisteminin daha stabil olduğu gözlenmektedir. Tüm ölçümler 1 mm tolerans değerinin içindedir. PTW StarCheck sisteminde setup belirsizliği daha fazla olduğundan MPC kadar stabil değildir.



**Şekil 4.4.1.1** MPC ve SC sistemleri için 6 MV ışın merkezinin zamana göre değişimi



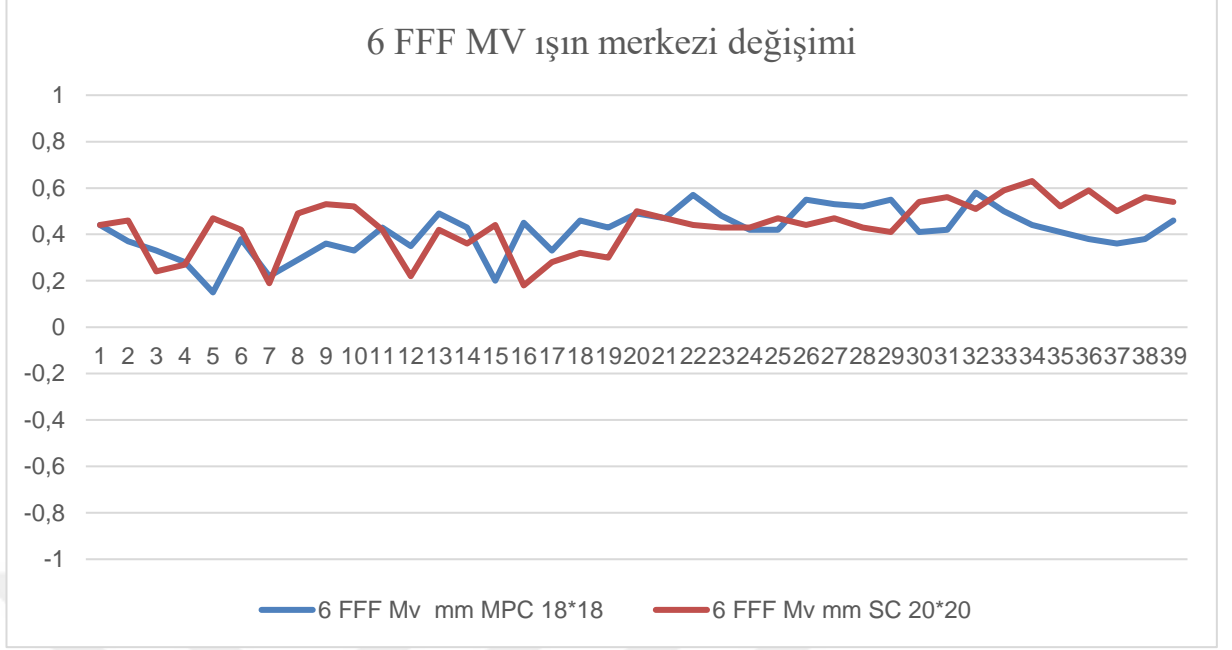
**Şekil 4.4.1.2** MPC ve SC sistemleri için 10 MV ışın merkezinin zamana göre değişimi

**Tablo 4.4.2.6** FFF MV ve 10 FFF MV enerjiler için PTW StarCheck ve MPC ile periyodik olarak 40 hafta boyunca alınan ışınlama merkezinin birbirine ve zamana göre değişim tablosu

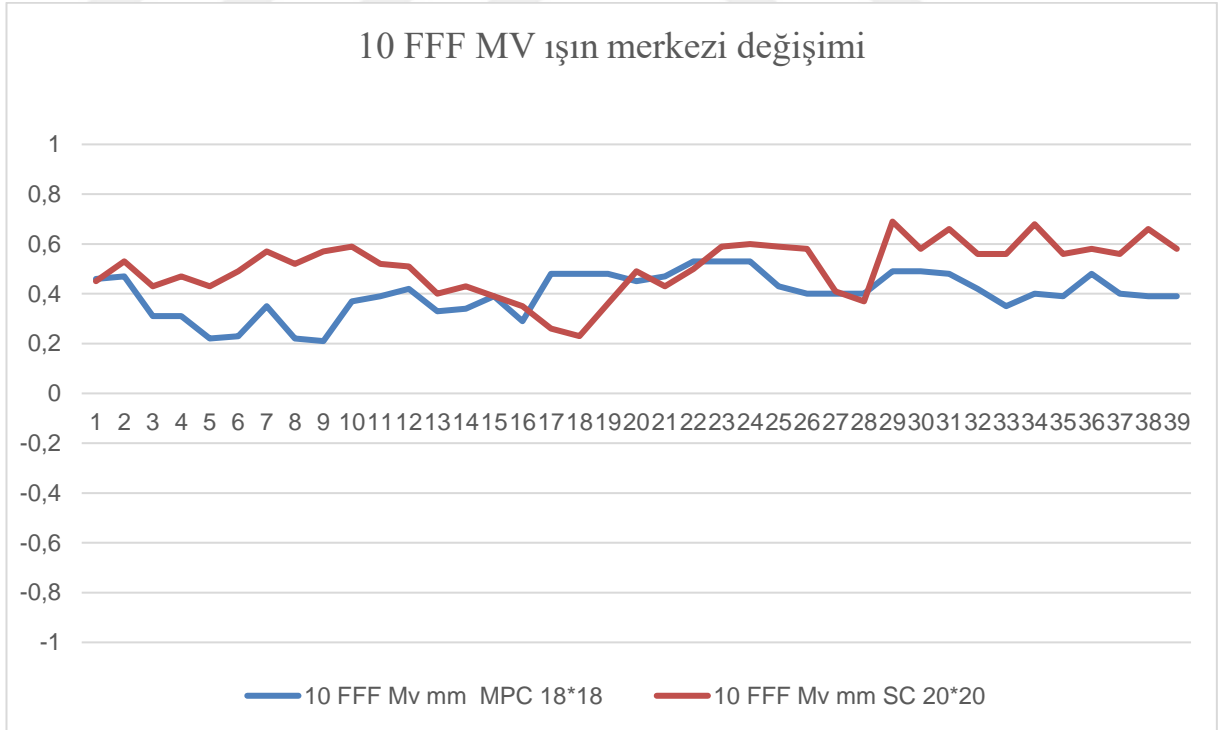
Ölçüm	6 FFF MV	6 FFF	6 FFF	10 FFF	10 FFF	10 FFF
	MV	MV	MV	MV	MV	MV
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	MPC	SC	FARK	MPC	SC	FARK
	18*18	20*20		18*18	20*20	
1	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref
2	0,44	0,44	0	0,46	0,45	0,01
3	0,37	0,46	0,09	0,47	0,53	0,06
4	0,33	0,24	0,09	0,31	0,43	0,12
5	0,28	0,27	0,01	0,31	0,47	0,16
6	0,15	0,47	0,32	0,22	0,43	0,21
7	0,38	0,42	0,04	0,23	0,49	0,26
8	0,22	0,19	0,03	0,35	0,57	0,22
9	0,29	0,49	0,2	0,22	0,52	0,3
10	0,36	0,53	0,17	0,21	0,57	0,36
11	0,33	0,52	0,19	0,37	0,59	0,22
12	0,43	0,42	0,01	0,39	0,52	0,13
13	0,35	0,22	0,13	0,42	0,51	0,09
14	0,49	0,42	0,07	0,33	0,4	0,07

15	0,43	0,36	0,07	0,34	0,43	0,09
16	0,2	0,44	0,24	0,39	0,39	0
17	0,45	0,18	0,27	0,29	0,35	0,06
18	0,33	0,28	0,05	0,48	0,26	0,22
19	0,46	0,32	0,14	0,48	0,13	0,25
20	0,43	0,3	0,13	0,48	0,36	0,12
21	0,49	0,5	0,01	0,45	0,49	0,04
22	0,47	0,47	0	0,47	0,43	0,04
23	0,57	0,44	0,13	0,53	0,5	0,03
24	0,48	0,43	0,05	0,53	0,59	0,06
25	0,42	0,43	0,01	0,53	0,6	0,07
26	0,42	0,47	0,05	0,43	0,59	0,16
27	0,55	0,44	0,11	0,4	0,58	0,18
28	0,53	0,47	0,06	0,4	0,41	0,01
29	0,52	0,43	0,09	0,4	0,37	0,03
30	0,55	0,41	0,14	0,49	0,69	0,2
31	0,41	0,54	0,13	0,49	0,58	0,09
32	0,42	0,56	0,14	0,48	0,66	0,18
33	0,58	0,51	0,07	0,42	0,56	0,14
34	0,5	0,59	0,09	0,35	0,56	0,21
35	0,44	0,63	0,19	0,4	0,68	0,28
36	0,41	0,52	0,11	0,39	0,56	0,17
37	0,38	0,59	0,21	0,48	0,58	0,1
38	0,36	0,5	0,14	0,4	0,56	0,16
39	0,38	0,56	0,18	0,39	0,66	0,27
40	0,46	0,54	0,08	0,39	0,58	0,19
ortalama	0,41	0,44	0,1	0,4	0,5	0,14
max	0,58	0,63	0,32	0,53	0,69	0,36

Yukarıdaki tablo incelendiğinde 6 FFF MV MV enerjide MPC ve PTW StarCheck sistemleri  $0,15\pm 0,58$ ,  $0,18\pm 0,63$  mm aralığındadır. 10 FFF MV MV enerjide ise  $0,21\pm 0,53$ ,  $0,13\pm 0,69$  mm aralığındadır. Tüm ölçümler 1 mm tolerans değerinin içindedir. PTW StarCheck sisteminde kurulum belirsizliği daha fazla olduğundan MPC kadar stabil değildir.



**Şekil 4.4.2.1** MPC ve SC sistemleri için 6 FFF MV ışın merkezinin zamana göre değişimi



**Şekil 4.4.2.2** MPC ve SC sistemleri için 10 FFF MV ışın merkezinin zamana göre değişimi

#### 4.5 PTW StarCheck ve EPGC arasında Düzgünlük Değişiminin Karşılaştırması

Lineer hızlandırıcı cihazların önemli kalite kontrol parametrelerinden biri de 6-10 MV Filtresiz enerjiler için düzgünlüktür. Bu parametre için 10x10 ve 20x20 alanlar için PTW StarCheck ve EPGC ile periyodik ölçümler alınmıştır. Düzgünlük ölçümünde %80 lik doz alan alan içinde  $(d_{max}-d_{min})/(d_{max}+d_{min})*\%100$  formülü kullanılmıştır. Filtreli enerjiler için ise karşı düzgünlük formülü  $D_{max}$  dozu ve ışınlanan alanın %80'indeki nokta dozunun oranlanması ile bulunmuştur. MPC sisteminde Düzgünlük kontrolü olmadığı için Eclipse planlama sistemindeki Portal dozimetri bölümünde bulunan profil özelliği ile çizgi profil export edilmiştir. Excel yardımı ile yukarıdaki formüllerle hesaplanarak EPGC ile Filtresiz enerjilerde SSD 150 filtrelielerde ise SSD 100 cm olarak ölçümler alınmıştır. PTW StarCheck sisteminin içinde bulunan BeamAdjust yazılımı da yukarıdaki formüllerle periyodik ölçümler boyunca düzgünlükteki değişimi 10x10 alanlar için aşağıdaki tabloda verilmektedir.

**Tablo 4.5.1. 10x10 alanda 6 MV foton enerjisi için hesaplanan düzgünlük değerlerinin X ve Y eksenlerde birbirine ve zamana göre değişim tablosu aşağıdadır.**

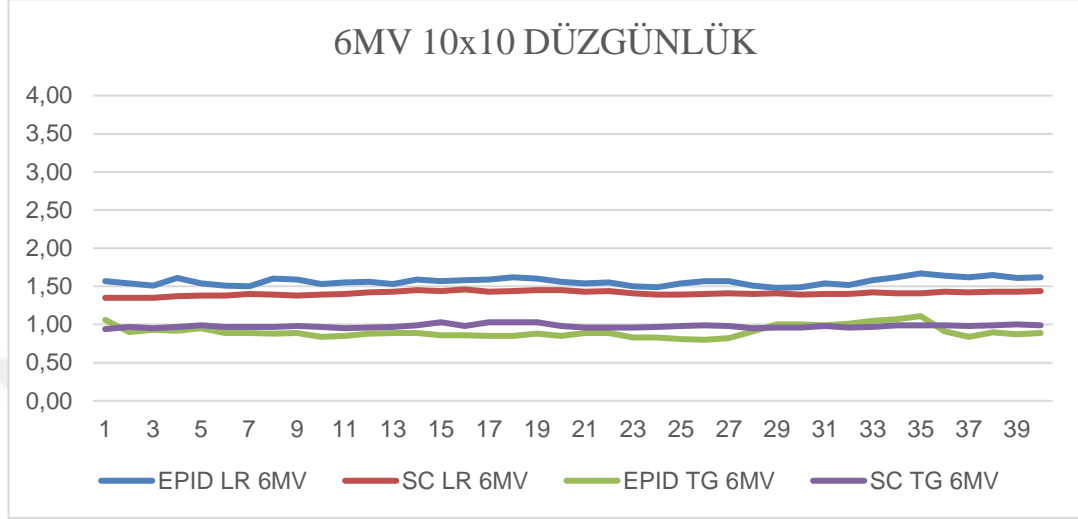
<b>10*10 flattnes</b>	<b>EPGC LR 6MV</b>	<b>SC LR 6MV</b>	<b>EPGC TG 6MV</b>	<b>SC TG 6MV</b>
1	1,57	1,35	1,06	0,94
2	1,54	1,35	0,90	0,97
3	1,51	1,35	0,93	0,95
4	1,61	1,37	0,92	0,97
5	1,54	1,38	0,95	0,99
6	1,51	1,38	0,89	0,97
7	1,50	1,40	0,89	0,97
8	1,60	1,39	0,88	0,97
9	1,59	1,38	0,89	0,98
10	1,53	1,39	0,84	0,97
11	1,55	1,40	0,85	0,95
12	1,56	1,42	0,88	0,96

Tablo4.5.1(devam)

13	1,59	1,45	0,89	0,99
14	1,59	1,45	0,89	0,99
15	1,57	1,44	0,86	1,03
16	1,58	1,46	0,86	0,98
17	1,59	1,43	0,85	1,03
18	1,62	1,44	0,85	1,03
19	1,60	1,45	0,88	1,03
20	1,56	1,45	0,85	0,98
21	1,54	1,43	0,89	0,96
22	1,55	1,44	0,89	0,96
23	1,50	1,41	0,83	0,96
24	1,49	1,39	0,83	0,97
25	1,54	1,39	0,81	0,98
26	1,57	1,40	0,80	0,99
27	1,57	1,41	0,82	0,98
28	1,51	1,40	0,91	0,95
29	1,48	1,41	1,00	0,96
30	1,49	1,39	1,00	0,96
31	1,54	1,40	0,99	0,98
32	1,52	1,40	1,01	0,96
33	1,58	1,42	1,05	0,97
34	1,62	1,41	1,07	0,99
35	1,67	1,41	1,11	0,99
36	1,64	1,43	0,91	0,99
37	1,62	1,42	0,84	0,98
38	1,65	1,43	0,90	0,99
39	1,61	1,43	0,87	1,00
40	1,62	1,44	0,89	0,99
<b>Ortalama</b>	<b>1,56</b>	<b>1,41</b>	<b>0,91</b>	<b>0,98</b>
<b>Min%fark</b>	<b>1,48</b>	<b>1,35</b>	<b>0,80</b>	<b>0,94</b>
<b>Max%fark</b>	<b>1,67</b>	<b>1,46</b>	<b>1,11</b>	<b>1,03</b>

Yukarıdaki tabloda EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,48 \pm 1,67$ ,  $1,35 \pm 1,46$  aralığında ölçümler alınmıştır. TG ekseninde ise  $0,8 \pm 1,11$  ve  $0,94 \pm 1,03$  aralığında değerler alınmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama farklar LR ve TG eksenlerinde sırası ile  $0,15$  ve  $0,07$  dir. Bu farkın başlıca sebebi iki ölçüm sisteminin kurulumları arasındaki farklılıklardır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu

anlaşılmıştır. TG ekseninin LR eksenine göre daha düz olduğu gözlenmiştir. Tüm ölçüm parametreleri %2 lik hata toleransının içindedir.



**Şekil 4.5.1** EPGC ve SC sistemlerinin 6 MV enerjide 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması

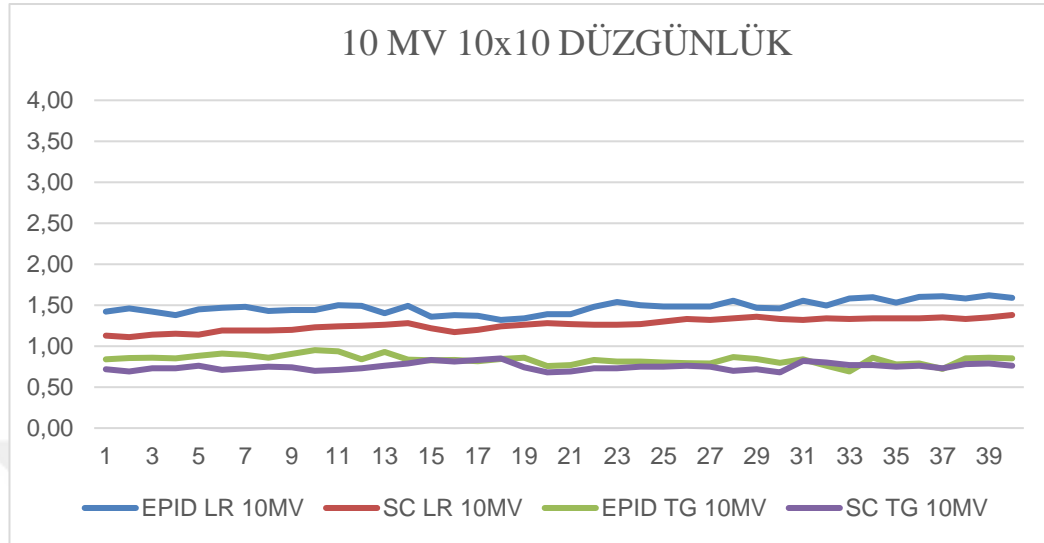
**Tablo 4.5.2.** 10x10 alanda 10 MV foton enerjisi için hesaplanan düzgünlük değerlerinin X ve Y eksenlerde birbirine ve zamana göre değişim tablosu aşağıdadır.

10*10 flattnes	EPGC LR 10MV	SC LR 10MV	EPGC TG 10MV	SC TG 10MV
1	1,42	1,13	0,84	0,72
2	1,46	1,11	0,85	0,69
3	1,42	1,14	0,86	0,73
4	1,38	1,15	0,85	0,73
5	1,45	1,14	0,88	0,76
6	1,47	1,19	0,91	0,71
7	1,48	1,19	0,90	0,73
8	1,43	1,19	0,86	0,75
9	1,44	1,20	0,91	0,74
10	1,44	1,23	0,95	0,70
11	1,50	1,24	0,94	0,71

12	1,49	1,25	0,84	0,73
13	1,40	1,26	0,93	0,76
14	1,49	1,28	0,83	0,79
15	1,36	1,22	0,83	0,83
16	1,38	1,17	0,83	0,81
17	1,37	1,20	0,82	0,83
18	1,32	1,24	0,85	0,85
19	1,34	1,26	0,86	0,74
20	1,39	1,28	0,76	0,68
21	1,39	1,27	0,77	0,69
22	1,48	1,26	0,83	0,73
23	1,54	1,26	0,81	0,73
24	1,50	1,27	0,81	0,75
25	1,48	1,30	0,80	0,75
26	1,48	1,33	0,79	0,76
27	1,49	1,32	0,79	0,75
28	1,55	1,34	0,87	0,70
29	1,47	1,36	0,85	0,72
30	1,46	1,33	0,80	0,68
31	1,55	1,32	0,84	0,82
32	1,50	1,34	0,76	0,80
33	1,58	1,33	0,69	0,77
34	1,60	1,34	0,86	0,77
35	1,53	1,34	0,78	0,75
36	1,60	1,34	0,79	0,76
37	1,61	1,35	0,72	0,73
38	1,58	1,33	0,85	0,78
39	1,62	1,35	0,86	0,79
40	1,59	1,38	0,85	0,76
<b>ortalama</b>	<b>1,48</b>	<b>1,26</b>	<b>0,83</b>	<b>0,75</b>
<b>Max%fark</b>	<b>1,62</b>	<b>1,38</b>	<b>0,95</b>	<b>0,85</b>

Yukarıdaki tabloda 10 MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,32\pm 1,62$ ,  $1,11\pm 1,38$  aralığında düzgünlük hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $0,69\pm 0,95$  ve  $0,68\pm 0,85$  aralığında değerler alınmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama farklar LR ve TG eksenlerinde sırası ile %0,22 ve %0,08 dir. Bu farkın başlıca sebebi iki ölçüm sisteminin kurulumları arasındaki farklılıklardır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 10 MV enerjide TG ekseninin LR eksenine göre daha düz

olduğu gözlenmiştir. Tüm ölçüm parametreleri %2 lik hata tolerans değerinin içindedir.



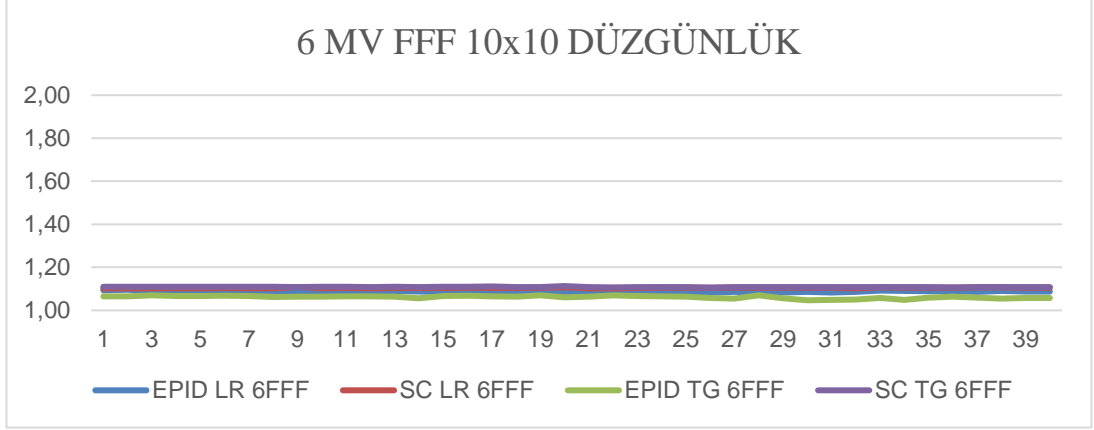
**Şekil 4.5.2** 25 EPGC ve SC sistemlerinin 10 MV enerjide 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması

**Tablo 4.5.3.** 10x10 alanda 6 FFF MV MV filtresiz foton enerjisi için hesaplanan düzgünlük değerlerinin birbirine ve zamana göre değişim tablosu aşağıdadır.

flattnes	EPGC LR 6FFF MV	SC LR 6FFF MV	EPGC TG 6FFF MV	SC TG 6FFF MV
1	1,09	1,10	1,07	1,11
2	1,10	1,10	1,06	1,11
3	1,09	1,10	1,07	1,11
4	1,09	1,10	1,07	1,11
5	1,09	1,10	1,07	1,11
6	1,09	1,10	1,07	1,11
7	1,09	1,10	1,07	1,11
8	1,09	1,10	1,06	1,11
9	1,09	1,11	1,06	1,11
10	1,09	1,10	1,06	1,11
11	1,09	1,10	1,07	1,11
12	1,09	1,10	1,07	1,11
13	1,09	1,10	1,06	1,11
14	1,09	1,10	1,06	1,11
15	1,09	1,10	1,07	1,11
16	1,09	1,11	1,07	1,11

17	1,09	1,10	1,07	1,11
18	1,09	1,10	1,06	1,11
19	1,08	1,11	1,07	1,11
20	1,09	1,11	1,06	1,11
21	1,09	1,10	1,06	1,11
22	1,08	1,10	1,07	1,11
23	1,08	1,10	1,07	1,11
24	1,09	1,11	1,07	1,11
25	1,08	1,11	1,06	1,11
26	1,08	1,11	1,06	1,11
27	1,09	1,11	1,06	1,11
28	1,08	1,11	1,07	1,11
29	1,08	1,11	1,06	1,11
30	1,09	1,11	1,05	1,11
31	1,08	1,11	1,05	1,11
32	1,09	1,10	1,05	1,11
33	1,09	1,11	1,06	1,11
34	1,09	1,11	1,05	1,11
35	1,09	1,11	1,06	1,11
36	1,09	1,11	1,06	1,11
37	1,09	1,11	1,06	1,11
38	1,09	1,11	1,05	1,11
39	1,09	1,11	1,06	1,11
40	1,09	1,11	1,06	1,11
<b>ortalama</b>	<b>1,09</b>	<b>1,10</b>	<b>1,06</b>	<b>1,11</b>
<b>Max%fark</b>	<b>1,10</b>	<b>1,10</b>	<b>1,07</b>	<b>1,11</b>

Yukarıdaki tabloda 6 FFF MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,08 \pm 1,10$ ,  $1,10 \pm 1,11$  aralığında düzgünlük ölçümleri hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,05 \pm 1,07$  ve  $1,11 \pm 1,11$  aralığında değerler hesaplanmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama farklar LR ve TG eksenlerinde sırası ile %0,01 ve %0,05 dir. 6 FFF MV enerjide ölçüm sistemleri arasında fark yoktur. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 6 FFF MV enerjide TG ekseninin LR eksenine ile neredeyse aynı oranda düzlüğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Eksenler arasında EPGC sisteminde %0,03 PTW StarCheck sisteminde ise %0,01 fark gözlenmiştir. Yukarıdaki tablodaki tüm ölçüm parametreleri %2 lik düzgünlük hata tolerans değerinin içindedir.



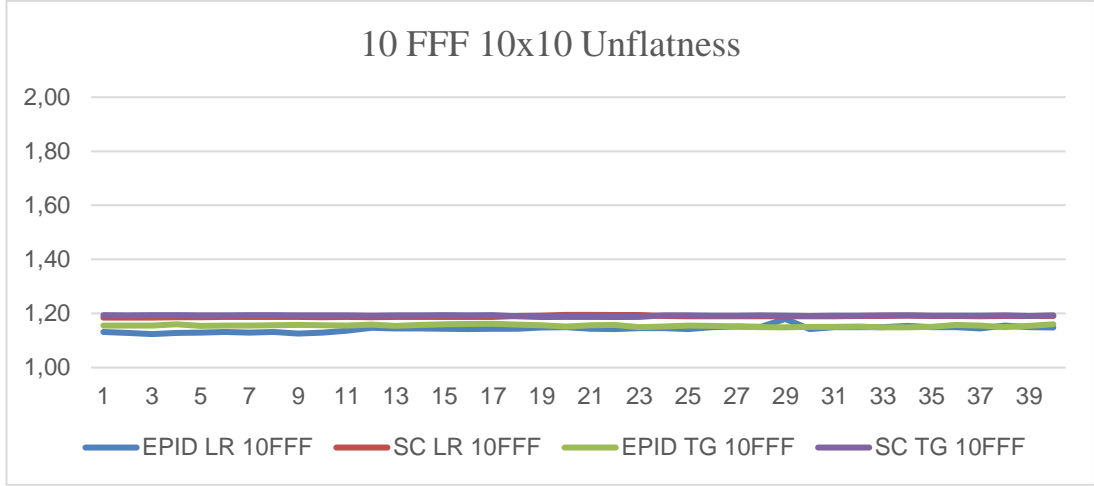
**Şekil 4.5.3** EPGC ve SC sistemlerinin 6 FFF MV enerjide 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması

**Tablo 4.5.4.**10x10 alanda 10 FFF MV filtresiz foton enerjisi için hesaplanan düzgünlük değerlerinin birbirine ve zamana göre değişim tablosu aşağıdadır.

flattnes	EPGC LR 10FFF MV	SC LR 10FFF MV	EPGC TG 10FFF MV	SC TG 10FFF MV
1	1,13	1,19	1,16	1,19
2	1,13	1,19	1,16	1,19
3	1,12	1,19	1,16	1,19
4	1,13	1,19	1,16	1,19
5	1,13	1,19	1,15	1,19
6	1,13	1,19	1,16	1,19
7	1,13	1,19	1,16	1,19
8	1,13	1,19	1,16	1,19
9	1,13	1,19	1,16	1,19
10	1,13	1,19	1,16	1,19
11	1,14	1,19	1,16	1,19
12	1,15	1,19	1,16	1,19
13	1,15	1,19	1,15	1,19
14	1,15	1,19	1,16	1,19
15	1,14	1,19	1,16	1,19
16	1,14	1,19	1,16	1,19
17	1,14	1,19	1,16	1,19
18	1,14	1,19	1,16	1,19
19	1,15	1,19	1,16	1,19
20	1,15	1,20	1,15	1,19

21	1,14	1,20	1,16	1,19
22	1,14	1,19	1,16	1,19
23	1,15	1,19	1,15	1,19
24	1,15	1,19	1,15	1,19
25	1,14	1,19	1,16	1,19
26	1,15	1,19	1,15	1,19
27	1,15	1,19	1,15	1,19
28	1,15	1,19	1,15	1,19
29	1,18	1,19	1,15	1,19
30	1,14	1,19	1,15	1,19
31	1,15	1,19	1,15	1,19
32	1,15	1,19	1,15	1,19
33	1,15	1,19	1,15	1,19
34	1,15	1,19	1,15	1,19
35	1,15	1,19	1,15	1,19
36	1,15	1,19	1,16	1,19
37	1,15	1,19	1,16	1,19
38	1,16	1,19	1,15	1,19
39	1,15	1,19	1,15	1,19
40	1,15	1,19	1,16	1,19
<b>Ortalama</b>	<b>1,14</b>	<b>1,19</b>	<b>1,16</b>	<b>1,19</b>
<b>Max%fark</b>	<b>1,18</b>	<b>1,20</b>	<b>1,16</b>	<b>1,19</b>

Yukarıdaki tabloda 10 FFF MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,12 \pm 1,18$ ,  $1,19 \pm 1,20$  aralığında düzgünlük ölçümleri hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,15 \pm 1,16$  ve  $1,19 \pm 1,19$  aralığında değerler hesaplanmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama farklar LR ve TG eksenlerinde sırası ile %0,05 ve %0,03 dir. Bu farkın başlıca sebebi iki ölçüm sisteminin kurulumları arasındaki farklılıklardır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 10 FFF MV enerjide TG ekseninin LR eksenine ile neredeyse aynı oranda düzlüğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Eksenler arasında EPGC sisteminde %0,02 fark gözlenmiştir. PTWStarCheck sisteminde ise TG veLR eksenlerinde ölçüm verileri arasında fark yoktur. Yukarıdaki tablodaki tüm ölçüm parametreleri %2 lik düzgünlük hata tolerans değerinin içindedir.



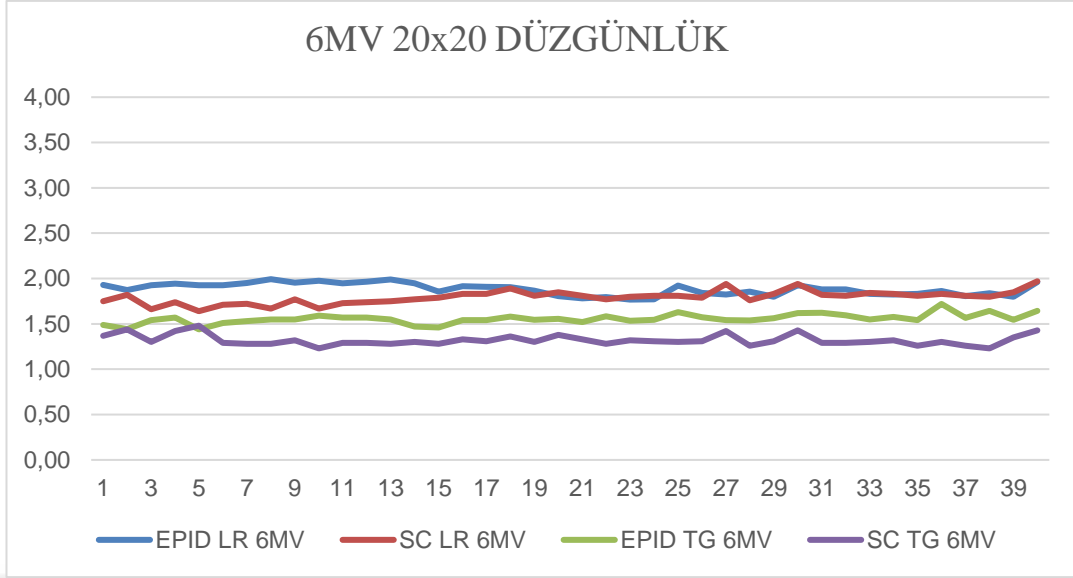
**Şekil 4.5.4** EPGC ve SC sistemlerinin 10 FFF MV enerjide 10x10 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması

**Tablo 4.5.5.** 20x20 alanda 6 MV filtreli foton enerjisi için hesaplanan düzgünlük değerlerinin birbirine ve zamana göre değişim tablosu aşağıdadır.

Düzgünlük 20x20	EPGC	SC	EPGC	SC
	LR 6MV	LR 6MV	TG 6MV	TG 6MV
1	1,93	1,75	1,49	1,37
2	1,87	1,82	1,44	1,44
3	1,93	1,66	1,54	1,30
4	1,94	1,74	1,57	1,42
5	1,93	1,64	1,44	1,48
6	1,93	1,71	1,51	1,29
7	1,95	1,72	1,53	1,28
8	1,99	1,67	1,55	1,28
9	1,96	1,77	1,55	1,32
10	1,98	1,67	1,59	1,23
11	1,95	1,73	1,57	1,29
12	1,96	1,74	1,57	1,29
13	1,99	1,75	1,55	1,28
14	1,95	1,77	1,47	1,30
15	1,86	1,79	1,46	1,28
16	1,91	1,83	1,54	1,33
17	1,91	1,83	1,54	1,31
18	1,91	1,89	1,58	1,36
19	1,87	1,81	1,55	1,30

20	1,81	1,85	1,56	1,38
21	1,78	1,81	1,52	1,33
22	1,80	1,77	1,58	1,28
23	1,77	1,80	1,53	1,32
24	1,77	1,81	1,55	1,31
25	1,92	1,81	1,63	1,30
26	1,84	1,79	1,57	1,31
27	1,82	1,94	1,54	1,42
28	1,86	1,76	1,54	1,26
29	1,80	1,83	1,56	1,31
30	1,93	1,94	1,62	1,43
31	1,88	1,82	1,62	1,29
32	1,88	1,81	1,59	1,29
33	1,83	1,84	1,55	1,30
34	1,82	1,83	1,58	1,32
35	1,83	1,81	1,54	1,26
36	1,86	1,83	1,72	1,30
37	1,81	1,81	1,57	1,26
38	1,84	1,80	1,65	1,23
39	1,80	1,85	1,55	1,35
40	1,96	1,97	1,65	1,43
<b>Ortalama</b>	1,88	1,79	1,56	1,32
<b>Max%fark</b>	1,99	1,97	1,72	1,48

Yukarıdaki tabloda 6 MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $\%1,77\pm1,99$ ,  $\% 1,97\pm1,64$  aralığında düzgünlük hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,44\pm1,72$  ve  $1,48\pm1,23$  aralığında değerler alınmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama farklar LR ve TG eksenlerinde sırası ile  $\%0,09$  ve  $\%0,24$  dir. Bu farkın başlıca sebebi iki ölçüm sisteminin kurulumları arasındaki farklılıklardır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır.6 MV enerjide TG ekseninin LR eksenine göre daha düz olduğu gözlenmiştir. Tüm ölçüm parametreleri  $\%2$  lik hata tolerans değerinin içindedir.



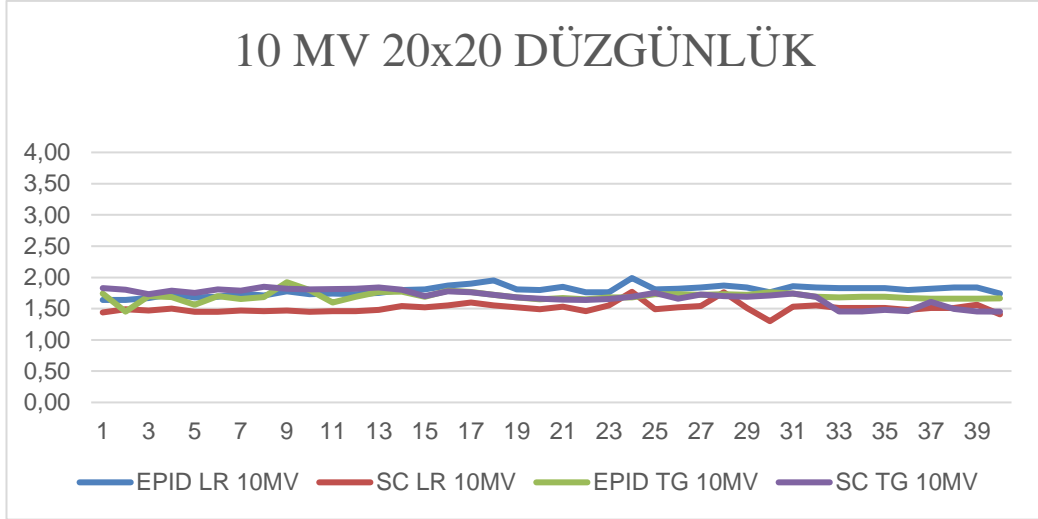
**Şekil 4.5.5** EPGC ve SC sistemlerinin 6 MV enerjide 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması

**Tablo 4.5.6.** 20x20 alanda 10 MV filtreli foton enerjisi için hesaplanan düzgünlük değerlerinin birbirine ve zamana göre değişim tablosu aşağıdadır.

Düzgünlük 20x20	EPGC	SC	EPGC	SC
	LR 10MV	LR 10MV	TG 10MV	TG 10MV
1	1,64	1,44	1,74	1,83
2	1,64	1,49	1,45	1,81
3	1,67	1,47	1,70	1,73
4	1,73	1,50	1,69	1,79
5	1,68	1,45	1,56	1,75
6	1,69	1,45	1,70	1,81
7	1,74	1,47	1,66	1,79
8	1,71	1,46	1,68	1,85
9	1,78	1,47	1,92	1,82
10	1,73	1,45	1,80	1,81
11	1,74	1,46	1,60	1,82
12	1,73	1,46	1,69	1,82
13	1,75	1,48	1,77	1,84
14	1,80	1,54	1,77	1,80
15	1,81	1,52	1,69	1,70
16	1,87	1,55	1,79	1,78
17	1,90	1,60	1,77	1,76

18	1,95	1,55	1,72	1,72
19	1,81	1,52	1,68	1,68
20	1,80	1,49	1,65	1,66
21	1,85	1,53	1,67	1,65
22	1,76	1,46	1,65	1,64
23	1,76	1,55	1,68	1,66
24	1,99	1,77	1,68	1,69
25	1,81	1,49	1,73	1,75
26	1,82	1,52	1,73	1,66
27	1,84	1,54	1,72	1,73
28	1,87	1,76	1,73	1,70
29	1,84	1,51	1,72	1,69
30	1,76	1,30	1,76	1,71
31	1,86	1,53	1,74	1,74
32	1,84	1,55	1,69	1,69
33	1,83	1,51	1,68	1,46
34	1,83	1,51	1,69	1,46
35	1,83	1,51	1,69	1,48
36	1,80	1,48	1,67	1,46
37	1,82	1,51	1,66	1,61
38	1,84	1,51	1,66	1,50
39	1,84	1,56	1,66	1,46
40	1,74	1,41	1,67	1,45
<b>ortalama</b>	1,79	1,51	1,70	1,69
<b>Max%fark</b>	1,99	1,77	1,92	1,85

Yukarıdaki tabloda 10 MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,64 \pm 1,99$ ,  $1,30 \pm 1,77$  aralığında düzgünlük hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,45 \pm 1,92$  ve  $1,45 \pm 1,85$  aralığında değerler alınmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama farklar LR ve TG eksenlerinde sırası ile %0,09 ve %0,18 dir. Bu farkın başlıca sebebi iki ölçüm sisteminin kurulumları ve ölçüm derinlikleri arasındaki farklılıklardır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 10 MV enerjide TG ekseninin LR eksenine göre daha düz olduğu gözlenmiştir. Tüm ölçüm parametreleri %2 lik hata tolerans değerinin içindedir.



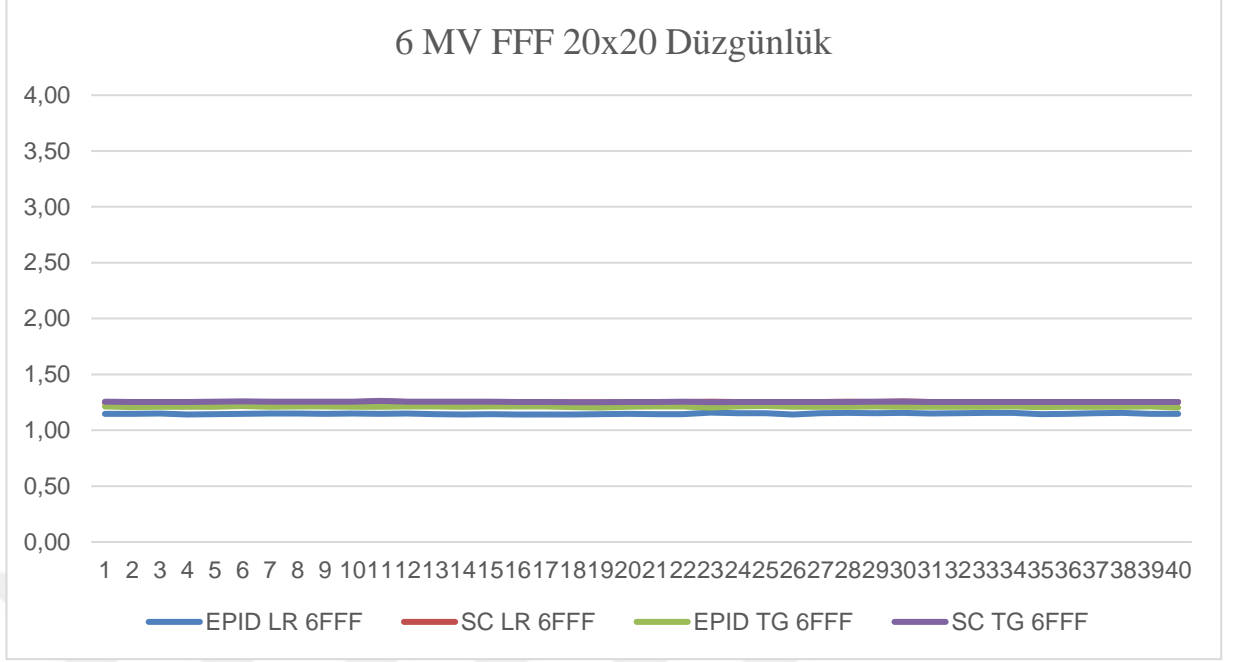
**Şekil 4.5.6** EPGC ve SC sistemlerinin 10 MV enerjide 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması

**Tablo 4.5.7.** 20x20 alanda 6 FFF MV filtresiz foton enerjisi için hesaplanan düzgünlük değerlerinin birbirine ve zamana göre değişim tablosu aşağıdadır.

Düğünlük	EPGC	SC	EPGC	SC
20x20	LR 6FFF MV	LR 6FFF MV	TG 6FFF MV	TG 6FFF MV
1	1,15	1,25	1,21	1,26
2	1,15	1,25	1,21	1,25
3	1,15	1,25	1,21	1,25
4	1,14	1,25	1,21	1,25
5	1,15	1,25	1,21	1,26
6	1,15	1,25	1,22	1,26
7	1,15	1,25	1,21	1,26
8	1,15	1,25	1,21	1,26
9	1,15	1,25	1,21	1,26
10	1,15	1,25	1,21	1,26
11	1,15	1,26	1,21	1,26
12	1,15	1,25	1,21	1,26
13	1,15	1,25	1,21	1,26
14	1,14	1,25	1,21	1,26
15	1,15	1,25	1,21	1,26
16	1,14	1,25	1,21	1,25
17	1,14	1,25	1,21	1,25

18	1,14	1,25	1,21	1,25
19	1,14	1,25	1,20	1,25
20	1,15	1,25	1,21	1,25
21	1,14	1,25	1,21	1,25
22	1,15	1,25	1,21	1,26
23	1,16	1,26	1,20	1,25
24	1,15	1,25	1,21	1,25
25	1,15	1,25	1,22	1,25
26	1,14	1,25	1,21	1,25
27	1,15	1,25	1,21	1,25
28	1,16	1,26	1,21	1,25
29	1,15	1,25	1,21	1,26
30	1,16	1,26	1,21	1,26
31	1,15	1,25	1,21	1,25
32	1,15	1,25	1,21	1,25
33	1,16	1,25	1,21	1,25
34	1,16	1,25	1,21	1,25
35	1,15	1,25	1,21	1,25
36	1,15	1,25	1,21	1,25
37	1,15	1,25	1,21	1,25
38	1,16	1,25	1,21	1,25
39	1,15	1,25	1,21	1,25
40	1,15	1,25	1,20	1,25
<b>ortalama</b>	1,15	1,25	1,21	1,25
<b>Max%fark</b>	1,16	1,26	1,22	1,26

Yukarıdaki tabloda 6 FFF MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,14 \pm 1,16$ ,  $1,25 \pm 1,26$  aralığında düzgünlük ölçümleri hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,2 \pm 1,26$  ve  $1,25 \pm 1,26$  aralığında değerler hesaplanmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama farklar LR ve TG eksenlerinde sırası ile %0,1 ve %0,04 dir. Bu farkın başlıca sebebi iki ölçüm sisteminin kurulumları arasındaki farklılıklardır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 6 FFF MV enerjide TG ekseninin LR eksenine ile neredeyse aynı oranda düzlüğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Eksenler arasında EPGC sisteminde %0,06 fark gözlenmiştir. PTWStarCheck sisteminde ise ölçüm sistemleri arasında fark yoktur. Yukarıdaki tablodaki tüm ölçüm parametreleri %2 lik düzgünlük hata tolerans değerinin içindedir.



**Şekil 4.5.7** 30 EPGC ve SC sistemlerinin 6 FFF MV enerjide 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması

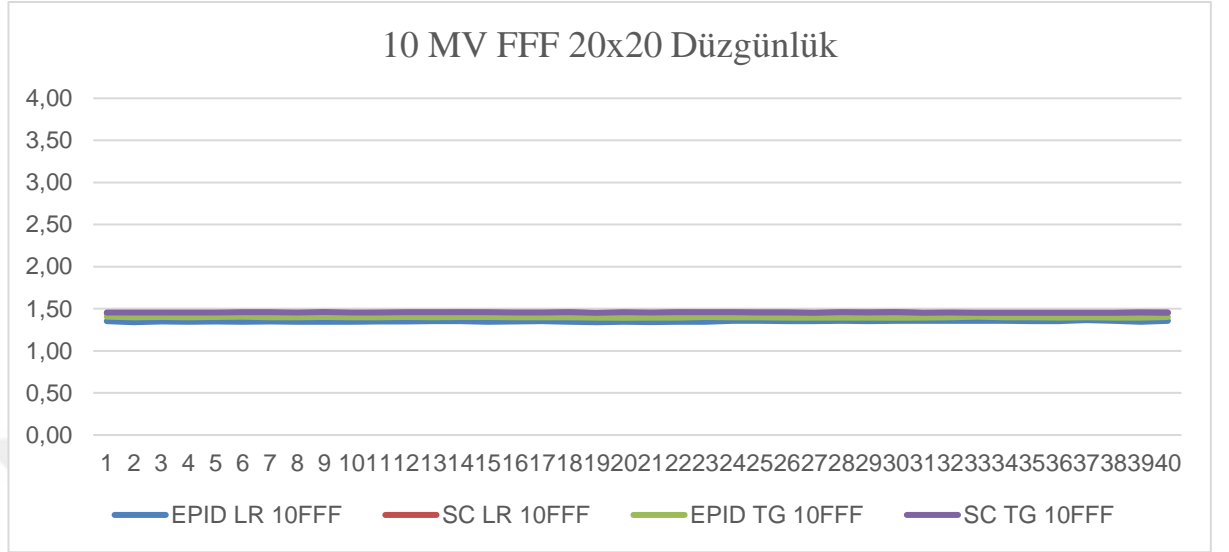
**Tablo 4.5.8.** 20x20 alanda 10 FFF MV filtresiz foton enerjisi için hesaplanan düzgünlük değerlerinin birbirine ve zamana göre değişim tablosu aşağıdadır.

Düzgünlük 20x20	EPGC	SC	EPGC	SC
	LR 10FFF MV	LR 10FFF MV	TG 10FFF MV	TG 10FFF MV
1	1,35	1,45	1,41	1,46
2	1,34	1,45	1,40	1,46
3	1,35	1,45	1,40	1,46
4	1,35	1,45	1,40	1,46
5	1,35	1,45	1,40	1,46
6	1,35	1,45	1,41	1,46
7	1,35	1,45	1,40	1,46
8	1,35	1,45	1,40	1,46
9	1,35	1,43	1,40	1,46
10	1,35	1,45	1,40	1,46
11	1,35	1,45	1,40	1,46
12	1,35	1,45	1,40	1,46
13	1,35	1,45	1,40	1,46
14	1,35	1,46	1,40	1,46

15	1,35	1,45	1,40	1,46
16	1,35	1,45	1,40	1,46
17	1,35	1,45	1,40	1,46
18	1,35	1,45	1,40	1,46
19	1,34	1,45	1,40	1,45
20	1,35	1,45	1,39	1,46
21	1,34	1,45	1,40	1,46
22	1,35	1,45	1,40	1,46
23	1,34	1,45	1,40	1,46
24	1,36	1,46	1,40	1,46
25	1,36	1,46	1,40	1,45
26	1,35	1,46	1,40	1,46
27	1,35	1,45	1,40	1,45
28	1,36	1,46	1,40	1,46
29	1,35	1,46	1,39	1,46
30	1,36	1,46	1,39	1,46
31	1,36	1,45	1,40	1,45
32	1,36	1,45	1,40	1,45
33	1,36	1,45	1,41	1,45
34	1,36	1,45	1,40	1,45
35	1,35	1,45	1,40	1,45
36	1,35	1,45	1,40	1,45
37	1,37	1,45	1,40	1,45
38	1,36	1,45	1,39	1,45
39	1,35	1,46	1,40	1,46
40	1,36	1,45	1,40	1,45
<b>Ortalama%fark</b>	1,35	1,45	1,40	1,46
<b>Max%fark</b>	1,37	1,46	1,41	1,46

Yukarıdaki tabloda 10 FFF MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,34 \pm 1,37$ ,  $1,43 \pm 1,46$  aralığında düzgünlük ölçümleri hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,39 \pm 1,41$  ve  $1,45 \pm 1,46$  aralığında değerler hesaplanmıştır. Ölçüm sistemleri arasındaki ortalama farklar LR ve TG eksenlerinde sırası ile %0,1 ve %0,06 dir. Bu farkın başlıca sebebi iki ölçüm sisteminin kurulumları arasındaki farklılıklardır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 10 FFF MV enerjide TG ekseninin LR eksenine ile neredeyse aynı oranda düzlüğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Eksenler arasında EPGC sisteminde %0,05 fark gözlenmiştir. PTW

StarCheck sisteminde ise ölçüm sistemleri arasında fark yoktur. Yukarıdaki tablodaki tüm ölçüm parametreleri %2 lik düzgünlük hata tolerans değerinin içindedir.



**Şekil 4.5.8** 31 EPGC ve SC sistemlerinin 10 FFF MV enerjide 20x20 alanda zamana göre düzgünlük karşılaştırması

**Tablo 4.5.9.** 10 cm derinlikte 10x10 ve 30x30 alanda filtrelili ve filtresiz foton enerjileri için 40 periyodik ölçüm boyunca 3 defa kurulan ve hesaplanan düzgünlük değerlerinin maksimum ve minimum okuma değerleri aşağıdaki gibidir.

DEĞER ARALIĞI	ENERJİ	TG	TG	LR	LR
		10*10	30*30	10*10	30*30
min	6 MV	2,35	2,41	2,43	2,86
max		2,61	2,42	2,71	2,98
min	6 FFF MV	1,12	1,46	1,13	1,47
max		1,13	1,46	1,13	1,47
min	10 MV	1,93	1,81	2,11	2,43
max		1,99	1,85	2,36	2,75
min	10FFF MV	1,21	1,82	1,21	1,83
max		1,21	1,83	1,22	1,83
Ortalama	6 MV	2,48	2,41	2,57	2,92
Ortalama	6 FFF MV	1,12	1,46	1,13	1,47
Ortalama	10 MV	1,96	1,83	2,23	2,59
Ortalama	10FFF MV	1,21	1,82	1,21	1,83

Yukarıdaki Su fantomu ölçümleri incelendiğinde periyodik ölçümler boyunca düzgünlük değerlerinin tüm filtreli enerjilerde stabil kaldığı gözlenmektedir. Filtresiz enerjilerde ise tolerans değerleri içinde bir artış olmuştur. Alan boyutu arttıkça düzgünlük değeri de hem filtreli hem filtresiz enerjilerde artmıştır. Su fantomu verilerinin zamana göre değişimi EPGC ve PTW StarCheck ile uyumludur.



## 5.TARTIŞMA

Günümüzde lineer hızlandırıcı cihazların kalite kontrollerinde kullanılmak üzere birçok sistem geliştirilmiştir. Bunların bazıları günlük, haftalık, periyodik kalite kontroller için de kullanılmaktadır. Periyodik kalite kontrol sistemlerinde amaç ölçülen değerlerin limitler içerisinde olması ve zamana göre değişimidir. Periyodik kalite kontrol sistemleriyle alınan verilerdeki değişimler doğrultusunda tolerans değerlerine göre gerekli durumlarda daha hassas ölçüm ekipmanları kurularak kalibrasyon yapılmaktadır. Bu çalışmada MPC, PTW StarCheck ve EPGC gibi hızlı kurulan, kolay ve hassas ölçüm alan sistemler kullanarak günlük ve haftalık ölçümler ile tekrarlanabilirlik, zamana ve birbirine göre değişim parametreleri bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalardaki amaç alınan ölçümlerin tolerans limitleri ve zamana göre değişimini ve stabilitesini değerlendirmektir. Bu çalışmada 40 periyodik ölçüm boyunca 5 farklı kalite kontrol parametresinde alınan ölçüm değerleri referans değerlere ve birbirlerine göre karşılaştırılmıştır.

Yapılan output değişim ölçümünde 4 farklı enerjide MPC ve PTW StarCheck ölçüm sistemlerindeki yüzde doz değişimleri ilk okunan değer ve referans ölçüm sistemi olan iyon odası ile alınan absolut doz ölçümü ile karşılaştırılmıştır.

Clivio ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 6 foton enerjisinde sıcaklık basınç düzeltmesi yaparak referans ölçüm şartlarında sistemlerin merkezdeki doz 3 hafta boyunca 10 ölçüm alarak ilk ölçüme göre karşılaştırmıştır. Bu ölçümlerde % output değişimi MPC ve PTW StarCheck ile doz ölçümlerinde sırası ile 6MV enerjide  $0,15 \pm 0,13$  ve  $0,4 \pm 0,4$  arasında, 10 MV enerjide  $0,1 \pm 0,29$  ile  $0,4 \pm 0,5$  arasında, 6FFF MV ölçümde  $0,24 \pm 0,24$  ile  $0,1 \pm 0,4$  arasında, 10 FFF MV ölçümde ise  $0,22 \pm 0,16$  ile  $0,5 \pm 0,3$  arasındadır. Çalışmada MPC yazılımının tekrarlanabilirlik ve % doz değişiminin değerlendirilmesi için güvenilir, hızlı, kolay kurulan ve kalite kontrol rutininden günlük ölçümler için uygun bir sistem olduğu belirtilmiştir. (23) Bizim çalışmamızda ise 40 ölçüm boyunca MPC ve iyon odası ölçümlerinde sırası

ile 6 MV enerjide %0,76 ve %1,1 arasında 10 MV enerjide %0,68 ve %1 arasında 6 FFF MV enerjide ise %1,45 ve %1,22 arasında 10 FFF MV enerjide ise %0,16 ve %1,12 arasında farklar bulunmuştur. PTW StarCheck ile aldığımız ölçümlerde 6MV enerjide %1.57, 10 MV enerjide %2.11, 6FFF MV enerjide %1,46 10FFF MV enerjide %2,24 aralığında zamana bağlı değişimler okunmuştur. Çalışmamızdaki % fark değerlerinin Clivio ve arkadaşlarını çalışmasından daha yüksek olmasının sebebi çalışmamızın 40 hafta sürmesi nedeni ile referans değere göre daha geniş bir aralıkta değerler oluşmuştur. MPC ve PTW StarCheck ile elde edilen zamana bağlı % doz değişimleri iyon odasındaki değişimlere uygundur. Ölçümlerin 21. haftasında yapılan doz kalibrasyonu da her iki ölçüm sisteminde %1'in üzerinde fark yaratmıştır. MPC doz kalibrasyonundan sonra %1,64, PTW StarCheck %1,41 oranında azalmıştır, yüzde olarak absolut output değerimizde ise %2,7 değişim olmuştur. Sistemler arası ölçüm farklılıklarının bir sebebi de sistemlerin setup farklılıklarıdır. PTW StarCheck sistemi 1 cm derinlikte SSD 100 cm de 10x10 alanda ölçüm alırken MPC sistemi MV port ile SSD 150 cm'de 13.3x13.3 alanda ölçüm alır.

Barnes ve arkadaşlarının (27) yaptıkları çalışmada ise 5 ay boyunca MPC ve iyon odası ile haftalık ölçümler alınmıştır. 6 MV enerjide iyon odası ve MPC ile sırasıyla %1,5 ve %1,27 fark, 10 MV enerjide %1.26 ve %1.34 fark 6 FFF MV enerjide %1,19 ve 1,36 fark ve 10 FFF MV enerjide %1.21 ve %1.35 fark bulmuşlardır. Bizim çalışmamızda da iyon odası ölçümlerinde daha geniş aralıkta değerler bulunmuştur yani doz sabitliği açısından iyon odası absolut doz ölçüm sistemi MPC 'den ve PTW StarCheck 'den daha hassastır. Sonuçlarımız Barnes ve arkadaşlarının çalışması ile uyumludur.

TG-142 de tavsiye edilen günlük kontrol parametrelerinden biri de tedavi cihazının izomerkezinin değişimidir. Bu kalite kontrol parametresinde izomerkezi belirlemek için izocal fantom kullanılan MPC ve Varian izocenter verifikasyonu yazılımları ile tedavi izomerkezinin kayma miktarı ve kV ve MV görüntüleme merkezinden uzaklığı 40 hafta boyunca ölçüldü. Clivio ve arkadaşlarının 3 hafta

sürede 10 ölçüm boyunca aldığı verilerde izomerkez boyutu  $0,01\pm 0,34$  mm aralığında bulunmuş MV kolunda  $0,17 \pm 0,03$  mm kV kolunda ise  $0,32\pm 0,02$  mm'lik farklar bulmuşlardır. (23)

Barnes ve arkadaşları 2017 yılında MPC ile yaptıkları izomerkez ölçümlerinde 3 ay boyunca 40 ölçüm almışlar ve izomerkez boyutunda  $0,29\pm 0,37$  mm arası bir değişim kV portta  $0,22\pm 0,04$  mm arasında değerler bulmuşlardır. (27)

Yaptığımız çalışmada MPC ile izomerkez boyutunda  $0,32\pm 0,37$  mm, MV kolunda  $0,18\pm 0,29$  kV kolunda ise  $0,11\pm 0,18$  mm arasında değişimler gözlemlendi. Varian izomerkez verifikasyonu ile yaptığımız ölçümlerde izomerkez boyutu  $0,37\pm 0,47$  mm MV kolunda  $0,12\pm 0,3$  mm ve kV kolunda ise  $0,11\pm 0,18$  mm arasında fark gözlenmiştir. Varian izomerkez verifikasyon yazılımı değerlerinin MPC 'ye göre az da olsa yüksek olmasının sebebi Varian verifikasyonun kullanıcı tarafından lazerler ve çapraz kıla göre yerleştirilmesi bu nedenle setup belirsizliklerinin daha çok olmasıdır. Tüm bu farklar 1 mm lik tolerans değerinin içindedir. Ayrıca ölçümlerin 24.haftasında merkezimizin bulunduğu bölgede 4.7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu depreme bağlı olarak her iki ölçüm sisteminde de izomerkez ölçümlerinde bir fark gerçekleşmediği gözlenmiştir.

Alan boyutu kontrolü, lineer hızlandırıcıların kalite kontrollerinde tavsiye edilen TG-142 ye göre günlük olarak kontrol edilmesi gereken parametrelerden biridir. Bu çalışmada alan boyutunun zamansal değişimini 20x20 alanlarda PTW StarCheck ölçüm sistemi ve MPC yazılımı arasındaki karşılaştırma milimetre biriminde yapılmıştır. Clivio ve arkadaşlarının 3 hafta boyunca 10 ölçüm ile yaptıkları çalışmada MPC ile X1(mm) alan boyutundaki değişim  $0,01\pm 0,01$ , X2(mm) alan boyutundaki değişim  $0,06\pm 0,02$ , Y1(mm) boyutundaki değişim  $0,05\pm 1,02$  Y2(mm) alan boyutundaki değişim ise  $0,04\pm 0,87$  arasındadır. PTW

StarCheck ile yaptıkları ölçümlerde ise  $X1(\text{mm}) 0,6\pm0,2$ ,  $X2 (\text{mm}) 0,8\pm0,2$ ,  $Y1 0,1\pm0,2$ ,  $Y2$  ise  $0,1\pm0,3$  arasındadır. (24)

MPC sistemi TrueBeam cihazına entegre bir yazılım olduğu için kullanıcı bağımlılığı yoktur ve otomatik konumlandırma ile ölçümler almaktadır ve setup belirsizliği yoktur. PTW StarCheck ölçümlerinin daha yüksek çıkmasının sebebi kullanıcıya bağlı setup belirsizliklerinin daha fazla olmasıdır.

Barnes ve arkadaşları 20x20 alanda 5 ay boyunca günlük alan boyutu değişimlerini ölçmek için kendi geliştirdikleri EPGC sistemi SunNuclear Daily QA ölçüm sistemi ve MPC kullanmışlardır. MPC, Daily QA ve EPGC ile yapılan ölçümlerde fark sırası ile  $X1(\text{mm}) 0.11 \pm 0.03$ ,  $0.19 \pm 0.47$ ,  $0.03 \pm 0.03$ ,  $X2(\text{mm})$  Alan kenarı için yapılan ölçümlerde sırasıyla  $0.05\pm 0.02$ ,  $0.18\pm0.48$ ,  $0.01\pm 0.03$  fark bulunmuştur.  $Y1(\text{mm})$  alan boyutunda  $0.06\pm0.06$ ,  $0.54\pm0.32$ ,  $0.03\pm0.05$   $Y2(\text{mm})$  alan boyutunda ise  $0.14 \pm 0.02$ ,  $0.12 \pm 0.37$ ,  $0.11 \pm 0.07$  fark bulunmuştur. Tüm veriler değerlendirildiğinde Her 3 sisteminde Tolerans değerleri içinde olduğu fakat Daily QA sisteminin setup 'ı çapraz kıl ve ışıklı alana göre yapıldığı için belirsizliğin daha fazla olduğu bu nedenle milimetrik olarak diğer iki sisteme göre daha geniş aralıkta değerler verdiğini saptamışlar. (28)

Bizim ölçümlerimizde ise MPC ve PTW StarCheck kullanılmış 20x20 alanda PTW StarCheck ve MPC alan kenarı farkları sırası ile  $X1(\text{mm})0,32\pm0,49$ ,  $0,41\pm1,03$ ,  $X2(\text{mm}) 0,33\pm0,97$ ,  $0,11\pm1,2$   $Y1 (\text{mm}) 0,13\pm0,38$ ,  $0,01\pm0,81$  ve  $Y2 (\text{mm}) 0,13\pm0,87$ ,  $0,16\pm1,03$  aralığındadır. MPC ölçüm yazılımı, TrueBeam cihazına entegre bir yazılım olduğundan her ölçümde otomatik ve kayıtlı olduğu konuma gitmesi sebebiyle belirsizlikleri minimize etmektedir. StarCheck ölçümlerinde setup ışıklı alan çapraz kıl ve lazerlere göre yapıldığından setup belirsizliği daha fazladır. Bu nedenle StarCheck ile yapılan ölçümlerde değer aralığı daha geniştir. Ayrıca ölçümlerimizin 26.haftasında  $Y2$  kolimatör sensörü değişmiştir. Bu süreçte değişim

öncesinde ve sonrasında oluşan farklar öncesi ve sonrası olarak MPC sisteminde Y2 0.57 0.71 mm PTW StarCheck sisteminde 0.48 0.57 Y1 MPC 0.18 0.13, Y1 PTW StarCheck 0.15 0.24, X1 MPC 0.41 0.42 PTW StarCheck 0.59 0.72 X2 için MPC 0.36 0.88 PTW StarCheck 0.88 1.2 milimetrelilik farklar ölçülmüştür. Her iki ölçüm sistemi de oluşan farkı gözlemlemiştir fakat MPCnin setup belirsizliği daha az olduğu için parça değişimi öncesi ve sonrası oluşan farklar daha belirgin gözlenmiştir. Bu testlerde tolerans değer 1mm olduğundan tüm değerler toleransın içindedir ve ölçümlerin arasındaki farkların ana sebebi milimetrik setup belirsizlikleridir.

Clivio ve arkadaşları MPC ile 4 foton enerjisinde 3 hafta boyunca toplam 10 ölçüm olarak ışın merkezi kaymasını milimetre olarak ölçmüşlerdir. Bu ölçümde tolerans 0.5 mm dir. Yapılan ölçümlerde maksimum fark 6MV de  $0,02\pm 0,04$  mm, 10 MV de  $0,01\pm 0,04$ , 6 MV FFF MV  $0,02\pm 0,15$  10 MV FFF MV  $0,02\pm 0,09$  mm aralığındadır. (24)

Barnes ve arkadaşları 5 ay boyunca 6 MV enerji ile MPC, DailyQA ve IC Profiler ölçüm sistemleriyle topladıkları verilerde MPC  $0,09\pm 0,5$  IC Profiler  $0,05\pm 0,45$ , Daily QA  $0,3\pm 0,1$  mm farklar bulmuştur. Ölçüm süreleri arttıkça ölçüm sistemlerinin bulunduğu farklarda artış göstermektedir. (32)

Bu çalışmada, 4 foton enerjisinde 8 ay boyunca PTW StarCheck ve MPC ölçüm sistemleri ile alınan 40 periyodik ölçümde 6 MV enerjide MPC ve PTW StarCheck ile sırasıyla  $0,12\pm 0,57$ ,  $0,09\pm 0,66$ , 10 MV enerjide  $0,19\pm 0,53$ ,  $0,11\pm 0,99$ , 6 FFF MV enerjide  $0,15\pm 0,59$ ,  $0,19 \pm 0,63$ , 10 FFF MV enerjide  $0,21\pm 0,53$  ve  $0,23\pm 0,68$  mm'lik ışın merkezi farkı bulunmuştur. StarCheck sisteminde değer aralıklarının daha geniş olmasının sebebi StarCheck ölçümlerini cihaz masasına konumlandırılan 2 boyutlu paralel plak iyon odalarından oluşan düzlem dedektör ile aldığından kuruluma bağlı belirsizlikler bulunmaktadır Oysa MPC sistemi ışın

merkezi ölçümlerini TrueBeam cihazına entegre MV port ile almaktadır dolayısıyla setup kullanıcıdan bağımsızdır ve kurulum belirsizlikleri daha azdır.

Her iki ölçüm sisteminde alınan veriler ışın merkezi için önerilen 1 mm lik tolerans değerinin içindedir. Bu da tüm ölçüm sistemlerinin ışın merkezi bakımından tutarlılığını ve ölçülen tolerans değeri altındaki farkların bir belirsizlik olduğunu fakat cihazın çalışmasını veya hasta tedavilerini etkileyen bir parametre olmadığını göstermiştir.

Linear hızlandırıcı cihazların periyodik olarak kontrol edilmesi gereken önemli bir parametresi de düzgünlüktür. Düzleştirici filtreli ve filtresiz ışınlarda farklı formülasyon ile hesaplanır.

G. Liu ve arkadaşları 6MV enerjide Siemens KD-2 linak cihazında 25x25 alanda Wellhofer BIS 710 (EPGC) cihazı, film dozimetri ve su fantomu ile yaptıkları ölçümde 1,5cm derinlikte düzgünlük karşılaştırması yapmışlar ve TG da sırasıyla %2,77, %2,51 ve %3,2 bulmuşlar LR ekseninde ise %1,91, %2,25 ve %3,1 bulunmuş. EPGC sistemi film dozimetri ile TG ve LR eksenlerinde %0,2 ve %0.34 farkla uyumlu bulunmuştur. Su fantomu sistemi diğer iki sisteme göre daha hassas sonuçlar verdiği gözlenmiştir. (29)

Baozhou.Sun ve arkadaşları TrueBeam cihazında 6 MV enerjide IBA Matrixx 2 boyutlu düzlem dedektör ve EPGC arasında 0,5 cm derinlikte 10x10 alanda düzgünlük karşılaştırması yapmışlardır. Ölçümler sonucunda sırasıyla LR ekseninde %1,45 ve %1,15, TG ekseninde ise %1,5 ve %1,55 bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda 2 ölçüm yazılımı arasında %1,2 fark bulunmuştur ve her iki sistemin de günlük kalite kontrol için uygun olduğu belirtilmiştir. (29)

Yaptığımız çalışmada 10x10 ve 20x20 alanlarda PTW StarCheck, Varian as1000 EPGC ile 6-10 MV filtresiz ve filtrelili enerjiler için 8 ay boyunca periyodik 40 ölçüm alınmıştır. Ayrıca ölçüm sürecinde 3 kez periyodik olarak su fantomu kurulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. 10x10 alanda 6 MV enerjide yapılan ölçümlerde EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,48 \pm 1,67$ ,  $1,35 \pm 1,46$  aralığında ölçümler alınmıştır. TG ekseninde ise  $0,8 \pm 1,11$  ve  $0,94 \pm 1,03$  aralığında değerler alınmıştır. 10 MV enerjide LR ekseninde  $1,32 \pm 1,62$ ,  $1,11 \pm 1,38$  aralığında düzgünlük hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $0,69 \pm 0,95$  ve  $0,68 \pm 0,85$  aralığında değerler alınmıştır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 10 MV enerjide TG ekseninin LR eksenine göre daha düz olduğu gözlenmiştir.

10x10 alanda 6 FFF MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemlerinde sırası ile LR ekseninde  $1,08 \pm 1,10$ ,  $1,10 \pm 1,11$  aralığında düzgünlük ölçümleri hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,05 \pm 1,07$  ve  $1,11 \pm 1,11$  aralığında değerler hesaplanmıştır. Heriki ölçüm sistemi de birbirine çok yakın değerler bulmuştur. 6 FFF MV enerjide ölçüm sistemleri arasında fark yoktur. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminin de oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 10 FFF MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,12 \pm 1,18$ ,  $1,19 \pm 1,20$  aralığında düzgünlük ölçümleri hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,15 \pm 1,16$  ve  $1,19 \pm 1,19$  aralığında değerler hesaplanmıştır.

Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminin de oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 10 FFF MV enerjide TG ekseninin LR eksenine ile neredeyse aynı oranda düzlüğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Eksenler arasında EPGC sisteminde  $0,02$  fark gözlenmiştir. PTWStarCheck sisteminde ise TG ve LR eksenlerinde ölçüm verileri arasında fark yoktur. Yukarıdaki tablodaki tüm ölçüm parametreleri  $2$ 'lik düzgünlük tolerans değerinin içindedir.

20x20 alanda 6 MV filtreli foton enerjisi için EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,77 \pm 1,99$ ,  $1,97 \pm 1,64$  aralığında düzgünlük hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,44 \pm 1,72$  ve  $1,48 \pm 1,23$  aralığında değerler alınmıştır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 6 MV enerjide TG ekseninin LR eksenine göre daha düz olduğu gözlenmiştir. 10 MV filtreli foton enerjisi için EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,64 \pm 1,99$ ,  $1,30 \pm 1,77$  aralığında düzgünlük hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,45 \pm 1,92$  ve  $1,45 \pm 1,85$  aralığında değerler hesaplanmıştır. Zamana göre değişimlere bakıldığında her iki ölçüm sisteminde oldukça stabil olduğu anlaşılmıştır. 6 FFF MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,14 \pm 1,16$ ,  $1,25 \pm 1,26$  aralığında düzgünlük ölçümleri hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,2 \pm 1,26$  ve  $1,25 \pm 1,26$  aralığında değerler hesaplanmıştır. 10 FFF MV enerjide EPGC ve PTW StarCheck ölçüm sistemleri sırası ile LR ekseninde  $1,34 \pm 1,37$ ,  $1,43 \pm 1,46$  aralığında düzgünlük ölçümleri hesaplanmıştır. TG ekseninde ise  $1,39 \pm 1,41$  ve  $1,45 \pm 1,46$  aralığında değerler hesaplanmıştır. Yapılan tüm ölçümler karşılaştırıldığında 20x20 alandaki düzgünlük hesaplamaları 10x10 a göre daha yüksek çıkmıştır. Bu da her iki sistemin de alan boyutu bağımlılığını göstermektedir. Ayrıca FFF enerjilerdeki değerler filtreli enerjilere göre zamana göre değişim bakımından daha stabildir. 6FFF VE 10 FFF enerjileri karşılaştırdığımızda ise tüm alanlarda 10 FFF değerlerinin daha yüksek olduğunu gözlemledik. Tüm ölçüm sistemlerinde düzleştirici filtreli enerjilerle ölçümler karşılaştırıldığında 10 MV enerjilerde tüm alanlarda 6 MV enerjilere göre daha geniş bir aralıkta değer aldıkları görülmüştür.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Output ölçümlerinin zamana göre değişimi incelendiğinde referans iyon odası ölçümlerinin; PTW StarCheck ve MPC ölçüm sistemleri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Kurulumları gereği MPC ve PTW Starcheck rölatif ölçümlerinin derinliği, referans iyon odası ölçüm derinliğiyle farklılık gösterdiği için zamana göre % değişim bakımından referans iyon odası ölçümü kadar geniş aralıkta sonuçlar gözlemlenmemiştir ancak verilerin ölçüm periyodu içerisindeki trendi uyumludur. MPC ve StarCheck sisteminin % output değişimi ölçerken alan boyutları ve SSD 'leri farklı olduğu halde zamana göre değişim değerleri çok yakındır. Ölçümlerimize göre her 3 ölçüm sistemi de zamana göre output değişiminde cihaz spesifik periyodik kalite kontrol ölçümlerinde kullanılabilir.

MPC ve PTW StarCheck ile alınan 20x20 alan boyutu değişimi incelendiğinde ortalama farkın sebebi PTW StarCheck sistemindeki çapraz kıl ve lazerlere bağlı setup belirsizliğidir. Periyodik olarak alınan tüm ölçümler tolerans değerler içindedir. MPC sistemi TrueBeam sistemine entegre bir yazılım olduğu için otomatik konumlanma kullanmaktadır. Bu nedenle kullanıcı bağımlı olan PTW StarCheck sistemine göre daha stabildir. Her iki sistemde birbirine uyumlu değişim göstermiştir fakat PTW StarCheck sisteminde setup kaynaklı belirsizlikler sebebiyle ölçüm aralığı daha fazladır.

PTW StarCheck ve MPC arasında ışın merkezi karşılaştırmasında alınan 40 periyodik ölçüm boyunca her iki sistemde birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir. PTW StarCheck sistemi çapraz kıl, lazerler ve ışıklı alana göre kurulduğu için setup belirsizliği sebebiyle ölçümlerde MPC ye göre daha büyük farklar gözlenmiştir. Tüm ölçümler tolerans değerleri içindedir.

MPC, Vv sistemleriyle izocal fantom ile izomerkez boyutunu ölçtüğümüz 40 periyodik ölçümde, her iki ölçüm yazılımının da birbirine yakın ölçümler aldığı gözlenmiştir. Zamana göre verilerde bir değişim gözlenmemiştir. İki sistemi karşılaştırdığımızda ise Vv sisteminin kurulumu sırasında lazer ve çapraz kıl kullanıldığı için belirsizlik MPC ye göre daha fazladır fakat MPC sistemi lazer kullanmadığı için cihazda oluşabilecek herhangi bir lazer izomerkez uyumsuzluğu hatasını farkedemeyecektir. MV ve kV görüntüleme merkezlerinin izomerkezden uzaklığı incelendiğinde her iki ölçüm yazılımı da birbirine çok yakın değerler almıştır fakat Vv sistemi izomerkeze ek olarak izomerkezin lazerlerle uyumunu da kontrol ettiği için daha kapsamlı bir ölçüm yapar.

Alınan tüm mekanik ölçümler toleranslar içindedir ve kullanılan kalite kontrol sistem ve yazılımları cihaz spesifik periyodik kalite kontroller için uygundur.

10x10 ve 20x20 alanda EPGC VE PTW StarCheck ile alınan düzgünlük ölçümlerine göre düzgünlük değeri her iki sistemde de alan boyutuna bağlıdır. Alan boyutu artınca hesaplanan düzgünlük değeri tüm ölçümlerde artmıştır. Filtreli ve filtersiz enerjiler karşılaştırıldığında filtersiz enerjilerin zamana göre değişim bakımından daha stabil olduğu gözlenmiştir. Sistemlerin zamana göre değişimi su fantomuyla da karşılaştırılmıştır ve zamana göre değişim bakımından filtreli ve filtersiz enerjilerde birbirleriyle uyumlu oldukları gözlenmiştir. Ayrıca su fantomu ve PTW StarCheck ile 10 cm derinlikte alınan 3 ölçüm incelendiğinde iki sistemin düzgünlük bakımından tüm ölçümlerde uyumlu olduğu görülmüştür. PTW StarCheck ve EPGC günlük ve haftalık düzgünlük ölçümlerinde zamana göre değişimleri bakımından fikir vermek için kullanılabilir. Ayrıca PTW StarCheck masaya kurulan bir sistem olduğu için tüm düzgünlük ölçümleri öncesi masanın da düz olması önemlidir.

Sonuç olarak iyon odaları ve su fantomları gibi referans ölçüm sistemleri dışında, farklı parametreleri pratik setuplarda ölçebilen ve değerlendirebilen sistemler kalite kontrol iş akışını kolaylaştırır. Özellikle tedavi cihazına entegre otomatik konumlandırma yapabilen periyodik kalite kontrol sistemlerinin, kullanıcı bağlantılı kurulum yapan kalite kontrol sistemlerine göre hem pratik hem de kişiye bağlı belirsizlikleri minimize edebilir. Periyodik kalite kontrollerde kullanılan sistemler cihazların performans değerlendirmesinde güvenle kullanılabilir. Bu sistemlerin bir standart olarak kullanımı için ilk kullanımda mutlaka referans ölçüm sistemleriyle karşılaştırılması ve ölçümlerinin doğrulanması gerekir. Cihazla ilgili yapılması gereken onarım, parça değişimi ve ayarlamalarda bu sistemler pratik olarak kullanılabilir. Bu nedenle cihaz üreticilerinin yeni sistemler üretirken entegre kalite kontrol sistemlerini de yazılımsal ve donanımsal olarak cihaza dahil etmesi önerilmektedir. Ek olarak bir bölümün kurulumunda kalite kontrol rutinini kolaylaştıran ekipmanlar da referans ölçüm sistemleri gibi dikkate alınmalı ve satın alma sürecine dahil edilmelidir.

## 7. KAYNAKÇA

1. About a new principle for producing high voltages Rolf Wideroe Wideröe, R. On a new principle for producing high voltages. Archive s f. Electrical Engineering, 387-406 (1928). <https://doi.org/10.1007/BF01656341>
2. Robert Jemison Van de Graaff Van de Graaff generator  
Url: <https://www.britannica.com/biography/Robert-Jemison-Van-de-Graaff>
3. Kerst, D. W. (1940). Acceleration of Electrons by Magnetic Induction. Physical Review, 58(9), 841–841. doi:10.1103/physrev.58.841
4. İki boyutlu düzlem dedektörd Url: <https://www.acceletronics.com/blog/2014/05/21/1937-2014-linear-accelerators-....evolved/>
5. Thwaites, D. I,& Tuohy, J. B. (2006). Back to the future: the history and development of the clinical linear accelerator. Physics in Medicine and Biology, (13), R343–R362. doi:10.1088/0031-9155/51/13/r20
6. Khan FM. The Physics of Radiation Therapy, Modern Radiation Therapy. 5thed. Lippincott Williams and Wilkins. 2014; bölüm3 başlık 17, 379-395, 42 57
7. Şenkesen Ö, Küçüçük H. Kalite kontrol. Temel Ve Klinik Radyoterapi. Bilge H,Gökçe Ç, Özyiğit G, Yıldız O. “2. baskı”.Hürriyet Matbaa s.55-61.
8. Madcalse P, Kron T, Hoban P. The Physics of Raditherapy X-Ray from Linear Accelerators. Med Phy 2002;493-505.
9. Task Group 142 report no: Quality assurance of medical accelerators (2009)
10. Absorbed dose determinations in photon and electron beams TRS398 IAEA
11. Practical guidelines for implementation of Quality Systems in radioteraphy-ESTRO booklet no:4
12. Report NO 58 Task Group 58 Herman, M.G., Batter, J.M.-T ask Group 58. (2001). Clinical use of electronic portal imaging.
13. PTW StarCheck user manual , PTW radiation medicine QA solutions 2015 s60
14. İBA Matrixx User manual Url: <https://www.iba-dosimetry.com/product/matrixx-universal-detector-array/>

15. PTW ionizing radiation detectors including codes of practise 2015 s:13 farmer type
16. Varian Medical Systems. VarianTruebeam™ Accelerator System. Kulanım Kılavuzu
17. Instruction manuel RW3 Slab Phantom T29672, (2007). PTW-Freiburg
18. Ionizing Radiation Detectors Including Code of Practice. PTW. Freiburg; 2015.
19. PTW Unidos Webline Elektrometer User Manual. PTW. Freiburg; 2007
20. Quality Control And Pre-Treatment Quality Assurance Application Of EPID (aS1000) For FF And FFF Beam VMAT Plans. Medical Physics Internatiinal Journal, vol.3, No.2, 2015
21. PTW StarCheck Ürün Kullanım Klavuzu,  
<https://www.PTWdosimetry.com/en/products/StarCheck-StarCheck-maxi-StarCheck-mr/>
22. Evaluation of Isocal geometric calibration system for Varian linacs equipped with on-board imager and electronic portal imaging device imaging systems song Gao, Weiliang Du,
23. Evaluation of the Machine Performance Check application for TrueBeam LinacAlessandro Clivio, Eugenio Vanetti, Steven Rose, Giorgia Nicolini, Maria F Belosi, Luca Cozzi, Christof Baltes & Antonella Fogliata
24. SU-F-T-480: Evaluation of the Role of Varian Machine Performance Check (MPC) in Our Daily QA Routine B Juneja S Gao P Balter P Nitsch
25. Radiation medicine qa solutions, radiation therapy quality control equipment 2015 PTW s: 61
26. Evaluation of the TrueBeam machine performance check (MPC) beam constancy checks for flattened and flattening filterfree (FFF MV) photon beams, Michael P Barnes.(2017)
27. A multi-institutional evaluation of machine performance check system on treatment beam output and symmetry using statistical process control Diana Binny,
28. SU-F-T-480: Evaluation of the Role of Varian Machine Performance Check (MPC) in Our Daily QA Routine B Juneja
29. Evaluation of the truebeam machine performance check (MPC): mechanical and collimation checks. Michael P (2017)
30. Assessment of flatness and symmetry of megavoltage x-ray beam with an electronic portal imaging device (EPID) G. Liu<sup>1</sup> , T. van Doorn<sup>2</sup> and E. Bezak<sup>2</sup>
31. Daily QA of linear accelerators using only EPID and OBI Baozhou Sun, S. Murty Goddu, Sridhar Yaddanapudi, Camille Noel, Hua Li, Bin Cai, James Kavanaugh, and Sasa Mutic

**32.** Evaluation of the truebeam machine performance check (MPC) geometric checks for daily IGRT  
geometric accuracy quality assurance, Michael P Barnes (2017)

