



ACIBADEM MEHMET ALİ AYDINLAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI LİNEER HIZLANDIRICILARDA SUN NUCLEAR
ARCCHECK ÖLÇÜM SİSTEMİ İLE CİHAZ SPESİFİK KALİTE
KONTROLLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

MERVE BOZKURT
YÜKSEK LİSANS TEZİ

RADYASYON ONKOLOJİSİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Gamze Uğurluer Sümer

İSTANBUL-2024



ACIBADEM MEHMET ALİ AYDINLAR ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI LİNEER HIZLANDIRICILARDA SUN NUCLEAR
ARC CHECK ÖLÇÜM SİSTEMİ İLE CİHAZ SPESİFİK KALİTE
KONTROLLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

MERVE BOZKURT
YÜKSEK LİSANS TEZİ

RADYASYON ONKOLOJİSİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Gamze Uğurluer Sümer

İSTANBUL-2024

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 olmadığı beyan ederim.

18.09.2024

Merve Bozkurt

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışma sürecimde ilgi ve nezaketini eksik etmeyen değerli tez danışman hocam Prof. Dr. Gamze UĞURLUER SÜMER'e,

Bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen ve klinikte bulunduğum süre boyunca tezimin hazırlanması sırasında yapmış olduğu tüm katkılardan dolayı değerli hocam Öğr. Gör. Gökhan AYDIN'a,

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini bize aktaran ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Öğr. Gör. Bülent YAPICI'ya, Öğr. Gör. Dr. Görkem GÜNGÖR'e, Prof. Dr. Enis ÖZYAR'a ve Prof. Dr. Banu ATALAR'a,

Bilgisiyle, deneyimiyle tezimde bana destek olan sevgili Hüseyin ÇETİN'e ve Alpay LEVENT'e,

Yüksek lisans eğitimim boyunca dostluğunu benden esirgemeyen, verdiği destek ve dayanışmadan dolayı canım arkadaşım Yaren ÖZYILDIRIM'a,

Sevgileriyle ve bana olan inançlarıyla hayatım boyunca her kararında beni destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMA VE SİMGELER LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
RESİMLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	1
ABSTRACT	2
1 GİRİŞ VE AMAÇ.....	3
2 GENEL BİLGİLER	5
2.1 Lineer Hızlandırıcı	5
2.2 Radyoterapide Kalite Güvenilirliği.....	5
2.3 Lineer Hızlandırıcılarda Kalite Kontrolün (QA) Amacı	6
2.3.1 AAPM Task Group-142	6
2.4 Makine Spesifik Kalite Kontrol Testleri	7
2.4.1 Gantri kalite kontrol testi	7
2.4.2 ÇYK/kolimatör kalite kontrol testi.....	8
2.4.3 Düzgünlük & simetri kalite kontrol testi	8
2.4.4 Işının tekrarlanabilirliği kalite kontrolü testi.....	8
2.5 Makine Performans Kontrolünde (MPC) Yer Alan Testler	8
2.5.1 İzomerkez testi.....	9
2.5.2 Dozun değişimi testi.....	9
2.5.3 Işın düzgünlük testi	9
2.5.4 Işın merkezi kayması testi	9
2.6 Kalite Kontroller İçin Kullanılabilecek Dozimetrik Sistemler.....	9
2.6.1 2 boyutlu dozimetrik sistemler	9
2.6.2 3 boyutlu dozimetrik sistemler	10
3 GEREÇ VE YÖNTEM	11
3.1 Araç ve Gereçler	11
3.1.1 Arccheck fantom.....	11
3.1.1.1 SNC patient yazılımı	12
3.1.2 Eclipse tedavi planlama sistemi (TPS).....	13
3.1.3 Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazı	14

3.1.4	Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazı	15
3.1.5	Isocal fantom.....	16
3.1.6	Makine performans kontrolü (MPC)	17
3.2	Yöntem.....	18
3.2.1	Varian Truebeam Lineer hızlandırıcı cihazı için Eclipse tedavi planlama sisteminde mekanik kalite kontrol planlarının oluşturulması	19
3.2.1.1	Varian Ethos Lineer hızlandırıcı cihazı için Eclipse tedavi planlama sisteminde mekanik kalite kontrol planlarının oluşturulması	19
3.2.2	Mekanik kalite kontrollerin iş akış süreçlerinin aktarılması	20
3.2.3	Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile gantri açısı, dönüşü ve hızının ölçülmesi.....	22
3.2.4	Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile düzgünlük ve simetri değişiminin ölçülmesi	26
3.2.5	Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile ışının tekrarlanabilirliğinin ölçülmesi.....	29
3.2.6	Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazda Arccheck fantomu ile çok yapraklı kolimatör (ÇYK)/kolimatör konumlarının değişiminin ölçülmesi.....	30
3.2.7	Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile gantri açısı, dönüşü ve hızının ölçülmesi	33
3.2.8	Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile düzgünlük ve simetri değişiminin ölçülmesi	35
3.2.9	Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile ışının tekrarlanabilirliğinin ölçülmesi	37
4	BULGULAR	39
4.1	Varian Truebeam ve Varian Ethos Lineer Hızlandırıcılarda Arccheck ve MPC Arasında İzomerkez Konumu ve Işın Merkezi Değişiminin Karşılaştırılması.....	39
4.2	Varian Truebeam ve Varian Ethos Lineer Hızlandırıcılarda Düzgünlük ve Simetri Değişiminin Karşılaştırılması.....	43
4.3	Varian Truebeam ve Varian Ethos Lineer Hızlandırıcılarda Işın Tekrarlanabilirliğinin Karşılaştırılması	48
4.4	Varian Truebeam Lineer Hızlandırıcıda Arccheck Fantomu ile Çok Yapraklı Kolimatör (ÇYK)/Kolimatör Konum Farklarının Sonuçları.....	51
5	TARTIŞMA.....	54
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	57
7	KAYNAKLAR.....	59
8	ÖZGEÇMİŞ	61

KISALTMA VE SİMGELER LİSTESİ

CBCT	Cone Beam Computed Tomography
CT	Bilgisayarlı Tomografi (Computed Tomography)
EPID	Elektronik Portal Görüntüleme Cihazı
FFF MV	Filtresiz Demet (Flattening Filter)
IGRT	Görüntü Rehberliğinde Radyoterapi
IMRT	Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (Intensity Modulated Arc Therapy)
keV	Kilo
kV	Kilo Volt
Linak	Lineer Hızlandırıcı
MeV	Megaelektron volt
MLC	Çok yapraklı kolimatör (Multileaf collimator)
MPC	Makine Performans Kontrolü
MRG	Manyeti Rezonans Görüntüleme
MU	Monitor Unit
MV	Megavolt
OAR	Risk altındaki organlar (Organ at risk)
OBi	On-board imaging
PTF	Penumbra (Yarı gölge) Transfer Fonksiyonu
QA	Kalite Kontrol
RT	Radyoterapi
Setup	Kurulum
TPS	Tedavi Planlama Sistemi
VMAT	Hacimsel Yoğunluk Ayarlı Ark Terapi (Volumated Modulated Arc Therapy)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 12. ölçümden alınan gantri statik testinin örnek rapor görüntüsü.....	23
Şekil 1.1. 9. ölçümden alınan gantri dinamik testinin örnek rapor görüntüsü	24
Şekil 1.1.2. 4.ölçümden alınan gantri dinamik testinde gantri hızının, maksimum hız sapmasının ve ışınlama süresini gösteren örnek rapor görüntüsü	25
Şekil 1.1.3. Gantri dinamik testinde gantri dönüşüne bağlı Arccheck izomerkezine göre ışın merkezinin konumu ve her ışıandan hesaplanan izomerkeze olan mesafenin gösterimi.....	25
Şekil 2. 6 MV enerjide statik plan tekniğinde 3 gantri açısının zamana göre düzgünlük ve simetri değerlerinin değişiminin 7.ölçümünden alınan örnek rapor görüntüsü.....	27
Şekil 2.1. 6 MV enerjide dinamik plan için IEC-y yönünde düzgünlük ve simetri değerlerinin gösterildiği 5.ölçümden alınan örnek rapor görüntüsü	28
Şekil 3. Karşılaştırma ve referans panellerinin karşılaştırma sonrası ışının tekrarlanabilirliğinin ve zaman gama histogramının gösterildiği 1. ölçümden alınan örnek rapor görüntüsü	29
Şekil 4. ÇYK/kolimatör kalite kontrol testinin 10.ölçümden alınan örnek rapor görüntüsü.....	31
Şekil 4.1. Çok yapraklı kolimatör (ÇYK)/Kolimatör kalite kontrol raporu örneği ...	32
Şekil 5. 1. ölçümden alınan gantri dinamik testinin örnek rapor görüntüsü	34
Şekil 5.1. 5.ölçümden alınan gantri dinamik testinde gantri hızının, maksimum hız sapmasının ve ışınlama süresini gösteren örnek rapor görüntüsü	34
Şekil 5.1.1. 10.ölçümden alınan gantri statik testinin örnek rapor görüntüsü.....	35
Şekil 6. 6 FFF MV enerjide statik teknikte düzgünlük ve simetri testinin 6.ölçümden elde edilen rapor görüntüsü.....	36
Şekil 6.1. 6 FFF MV enerjide dinamik plan için IEC-y yönünde düzgünlük ve simetri testinin 13. ölçümden alınan rapor görüntüsü	37
Şekil 7. Karşılaştırma ve referans panellerinin karşılaştırma sonrası ışının tekrarlanabilirliğinin ve zaman gama histogramının gösterildiği 8.ölçümden alınan örnek rapor görüntüsü	38
Şekil 8. 6 MV enerjide Varian Truebeam cihazında Arccheck fantomu ile izomerkez konumlarının ölçüm zamanına göre değişimi	39

Şekil 8.1. 6 FFF MV enerjide Varian Ethos cihazında Arccheck fantomu ile izomerkez konumlarının ölçüm zamanına göre değişimi	40
Şekil 8.1.1. Arccheck ve MPC sistemleri için 6 MV enerjide ışın merkezinin 15 ölçüm zamanına göre değişimi.....	42
Şekil 9. Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjilerinde Arccheck ve MPC ile zamana göre düzgünlük değişimi.....	43
Şekil 9.1. Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjilerinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri x ve y değişimi.....	45
Şekil 9.1.1. Varian Ethos cihazında 6 FFF MV enerjisinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri y değişimi.....	47
Şekil 10. Arccheck ve MPC ile ölçüm zamanına göre dozun değişiminin gösterimi	50
Şekil 11. 8 farklı alan boyutu için ölçüm zamanına göre maksimum mesafe farkı değişiminin gösterimi.....	52

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1. Arccheck fantom.....	11
Resim 2. Varian truebeam lineer hızlandırıcı cihazı.....	14
Resim 3. Varian ethos lineer hızlandırıcı cihazı	15
Resim 4. Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında MPC ölçümünde kullanılan Isocal fantom.....	16
Resim 5. Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında MPC ölçümünde kullanılan Isocal fantom	17
Resim 6. MPC ölçümü sırasında geometrik kontrollerin yer aldığı ekran.....	18

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Varian Truebeam ve Varian Ethos lineer hızlandırıcılarda statik ve dinamik teknikte gantri kalite kontrol testinin ölçüm zamanına göre x izomerkez konumu değişimi.....	41
Tablo 1.1. Arccheck ve MPC sistemleri için 6 MV enerjide ışın merkezinin 15 ölçüm zamanına göre değişimi.....	42
Tablo 2. Varian Trubeam cihazında 6 ve 10 MV enerjilerinde dinamik ve statik plan tekniğinin zamana göre düzgünlük değişimi	44
Tablo 2.1. Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjilerinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri değişimi.....	45
Tablo 2.1.1. 6 MV enerjide statik plan tekniğinde 3 gantri açısının zamana göre düzgünlük ve simetri değerlerinin değişiminin şematik gösterimi	46
Tablo 2.1.2. Varian Ethos cihazında 6 FFF MV enerjilerinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri y değişimi.....	47
Tablo 3. Varian Truebeam lineer hızlandırıcıda karşılaştırma ve referans ışınların ölçüm zamanlarına göre ışınlama süreleri ve farklarının gösterimi.....	49
Tablo 3.1. Varian Ethos lineer hızlandırıcıda karşılaştırma ve referans ışınların ölçüm zamanlarına göre ışınlama süreleri ve farklarının gösterimi.....	49
Tablo 3.1.2. Arccheck ve MPC ile ölçüm zamanına göre dozun değişiminin gösterimi	51
Tablo 4. Varian Truebeam cihazında 8 farklı alan boyutu için ölçüm zamanına göre maksimum mesafe farkı değişiminin gösterimi	53

ÖZET

Farklı Lineer Hızlandırıcılarda Arccheck Ölçüm Sistemi ile Cihaz Spesifik Kalite Kontrollerin Değerlendirilmesi

Radyoterapide kalite kontrol testlerinin amacı, radyasyon dozunun doğru verilmesinin sağlanması ve hataların minimuma indirilmesidir. Tedavi cihazlarının günlük, aylık ve yıllık kalite kontrol ölçümlerinin olabildiğince minimum belirsizlik ve maksimum doğrulukla gerçekleştirilmesi için yeni sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada 3 boyutlu ölçüm sistemleri kullanılarak farklı lineer hızlandırıcılarda (Varian marka Ethos lineer hızlandırıcı ve Varian marka Truebeam lineer hızlandırıcı) kalite kontrol ölçümleri kapsamında Arccheck ve Isocal fantom kullanarak 3 aylık sürede her iki cihazda ayrı ayrı 15 ölçüm alınmıştır. Bu cihazlarda Arccheck fantom ile yapılan kalite kontrol ölçümünde; zamana göre ışın profillerinden elde edilen düzgünlük ve simetri değişimi, gantri açısı ve dönüşüne bağlı olarak izomerkez etrafında nasıl hareket ettiği, çok yapraklı kolimatör (ÇYK) konumu ve kolimatör konumu arasındaki farkların belirlendiği ve ışın tekrarlanabilirliği testleri yapılmıştır. Arccheck ile gerçekleştirilen bu testlerin akabinde Isocal fantom ile her iki lineer hızlandırıcıda MPC (makine performans kontrolü) testi gerçekleştirilmiştir. Bu testte ise zamana göre ışın merkezinin değişimi, izomerkez boyutu değişimi ve dozun değişimi incelenmiştir. Bu çalışmada, Arccheck'teki değişim parametreleri ile MPC'deki değişim parametrelerinin zamana göre değişimine ve birbirine uyumuna, ayrıca MPC'nin Arccheck için destekleyici bir yöntem olup olmadığının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Alınan ölçümlerin kendi tolerans limitlerinin içinde olduğu bulunmuştur, ayrıca Arccheck ve MPC sistemlerinin sonuçları birbiriyle uyumludur. Bu iki sistemin test parametrelerinin birbirine yakın sonuç vermesi, MPC'nin Arccheck için destekleyici bir sistem olduğunu gösterir. Sonuç olarak bu iki sistem de VMAT tedavi tekniğinde lineer hızlandırıcıların makine spesifik kalite kontrolleri için güvenilir, kullanışlıdır ve klinikte uygulanabilir.

Anahtar Sözcükler: Arccheck, Isocal, İzomerkez, Düzgünlük, Simetri

ABSTRACT

Evaluation of Device Specific Quality Controls with the Arccheck Measurement System on Different Linear Accelerators

The purpose of quality control tests in radiotherapy is to ensure that the radiation dose is delivered correctly and to minimize errors. New systems have been developed to perform daily, monthly and annual quality control measurements of treatment devices with as little uncertainty and maximum accuracy as possible. In this study, within the extent of quality control measurements on different linear accelerators (Varian brand Truebeam linear accelerator and Varian brand Ethos linear accelerator) using 3D measurement systems, 15 measurements were taken separately on both devices in a 3-month period using Arccheck and Isocal phantom. In the quality control measurement made with Arccheck phantom on these devices; The flatness and symmetry change obtained from the beam profiles by time, how it moves around the isocenter depending on the gantry angle and rotation, the differences between the multi-leaf collimator (MLC) position and the collimator position were determined, and beam repeatability tests were performed. Following these tests performed with Arccheck, MPC (machine performance control) tests were performed on both linear accelerators with Isocal phantom. In this test, the change in beam center, change in isocenter size and change in dose by the time were examined. This study aims to evaluate the time-dependent response and compatibility of the change parameters in Arccheck and the change parameters in MPC, as well as whether MPC is a supporting method for Arccheck. The measurements taken were found to be within their tolerance limits, and the result of the Arccheck and MPC systems are compatible with each other. The fact that the test parameters of these two systems are close to each other shows that MPC is a supporting system for Arccheck. As a result, both systems are reliable, useful and clinically applicable for machine specific quality control of linear accelerators in the VMAT treatment technique.

Keywords: Arccheck, Isocal, Isocenter, Flatness, Symmetry

1 GİRİŞ VE AMAÇ

Radyoterapinin amacı; belirlenen tümör hacmine istenilen dozun verilip hacmi çevreleyen sağlıklı dokuyu olabildiğince en iyi şekilde koruyarak hastaya iyi bir yaşam kalitesi sunmak ve sağ kalım süresini arttırmaktır. Günümüzde lineer hızlandırıcılar birçok hastalığın tedavisinde kullanılmaktadır. 3 boyutlu konformal radyoterapi (3BKRT), yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT), volümetrik yoğunluk ayarlı ark tedavi, stereotaktik radyoterapi/radyocerrahi (SRT/SRS) gibi teknikler radyoterapi uygulamalarında geniş çapta kullanılmaktadır.

Geçmişte radyoterapinin kalite kontrolü için 1 boyutlu ve 2 boyutlu diyot dedektörler kullanılmıştır. Bu yöntemler, yoğunluk ayarlı radyoterapinin (IMRT) kalite kontrolü için zaman alıcıdır. Son yıllarda hacimsel ayarlı ark tedavinin (VMAT) kapsamlı ve doğru kalite kontrolü için birçok üretici tarafından 3 boyutlu dozimetri sistemleri geliştirilmiştir.

Lineer hızlandırıcıların istenilen şekilde çalışmalarını ve ışınlama performanslarını kontrol etmek amacıyla ölçümler için belirli kalite kontrol yöntemleri, yazılımları geliştirilmiştir. Kalite kontrol testleri, radyasyon dozunun doğru verilmesini sağlamak ve hataların en aza indirgenmesi için en önemli aşamadır ve bu testlerin belli periyotlarla yapılması gerekmektedir. Yapılacak olan testler AAPM Task Group-142 raporu test prosedürlerini kapsar ve ölçümler sonucunda makine spesifik parametrelerin belirli limitler içinde olması gerekir. Bu kontroller farklı üreticiler tarafından geliştirilmiş ekipmanlar ile yapılabilir.

Bu çalışmada SNC patient yazılımında makine kalite kontrol sekmesinde yer alan performans testleri, Arccheck fantom ile Varian Truebeam lineer hızlandırıcıda 15 ölçüm ve Varian Ethos lineer hızlandırıcıda da 15 ölçüm olacak şekilde Şubat 2024 ve Nisan 2024 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Arccheck fantom ile kalite kontrol kapsamında yapılan ölçümlerde; gantri açısına ve dönüşüne göre izomerkez etrafında nasıl hareket ettiğine, ışın profillerinden elde edilen düzgünlük ve simetri değişimine, çok yapraklı kolimatör (ÇYK) konumu ve kolimatör konumu arasındaki farkların

incelendiği ve ışın tekrarlanabilirliği testleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin ardından her iki cihazda da ayrı ayrı 15 ölçüm olacak şekilde Isocal fantom ile MPC testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testte ise, Arccheck ile yapılan testlerdeki benzer parametreler dikkate alınmıştır. Bu parametreler, ışın merkezinin değişimi, izomerkez boyutunun değişimi ve dozun değişimini kapsamaktadır. Çalışmada, Arccheck'teki parametrelerin ve buna benzer MPC'deki parametrelerin ölçüm zamanına göre değişimi ve belirlenen tolerans limitleri dahilinde birbirine uyumu hedeflenmiştir. Ayrıca MPC'nin Arccheck için güçlendirici bir sistem olup olmadığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



2 GENEL BİLGİLER

2.1 Lineer Hızlandırıcı

Lineer hızlandırıcılar, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalarla, yüksek enerjili yüklü parçacıkları doğrusal bir tüp içinde hızlandıran cihazlardır. Genel olarak bir lineer hızlandırıcı cihazı; yüklü parçacıkları üreten bir kaynak, hızlanan parçacıkları yönlendirerek hedefe doğru ulaşmalarını sağlayan yüksek frekanslı elektromanyetik dalga üreten bir cihaz, bu dalgalarla birlikte yüklü parçacıkların doğrusal bir yolda hareket etmesini sağlayan bir sistem, yüklü parçacıkları yolundan saptırarak hedefe çarpmasını sağlayan, manyetik alan içeren bir yapı, yüklü parçacıkların çarpıp X ışını oluşturmaya neden olan, farklı bileşenlerden oluşan bir hedef ve demet şekillendirici yapılardan oluşur (1, 2).

Lineer hızlandırıcılarda yüksek enerjili elektronlar kullanılarak yüzeysel tümörlerin tedavisi gerçekleştirilirken, bu elektronlar X ışını üretmek için kullanılan bir tungsten hedefe çarptırılarak derine yerleşmiş tümörlerin tedavisi de gerçekleştirilebilir (3).

Tedavide çok yapraklı kolimatör (ÇYK) sistemleri kullanılmaktadır. ÇYK'ler, birbirinden bağımsız ve otomatik hareket edebilen, tedavide düzenli ya da düzensiz tedavi alanları oluşturmak için birçok liften oluşan, ve ışın şekillendirme görevi gören yapıya sahiptir. Bu sayede tümörü şekillendirmeyi, sağlıklı dokuları en iyi şekilde korumayı sağlar (3).

2.2 Radyoterapide Kalite Güvenilirliği

Radyoterapi bölümünde tedavi süreci, bir tedavi prosedürünün tanımlanmasını, bilgisayarlı tomografi simülasyonunu, tedavi planını ve plan onayı için doktorun incelemesini ve planın doğrulanmasını, tedavi öncesi kalite kontrolü, tedaviye başlanmasını ve takip değerlendirmesini kapsar. Kalite kontrol, tedavi planındaki olası hataları minimuma indirir. Tedavi dozunun belirtilen limitler içinde doğru olarak

hastaya verilmesini sağlar. Böylece iyileşme oranı artar, tedavi sonuçları düzelir, komplikasyon ve hastalığın tekrarlama oranı azalır. Hastaya tedavi planlama sisteminde planlanan ve teorik yazılımlar yardımıyla oluşturulan radyoterapi dozunu tedavi cihazının doğru ve planlandığı şekilde hastaya verebilmesi için lineer hızlandırıcıların belirli aralıklarla rutin olarak yapılan cihaz spesifik mekanik ve dozimetrik ölçümleri vardır (4).

Tedavi cihazlarının mekanik ve dozimetrik parametrelerinin kontrolü, cihazın ışınlama performansının uluslararası dozimetrik standartlar içinde olması, rutin bakımları ve kontrollerinin yapılması radyoterapide kalite güvenilirliği kapsamındadır (4).

2.3 Lineer Hızlandırıcılarda Kalite Kontrolün (QA) Amacı

Lineer hızlandırıcılarda kalite kontrolün amacı, cihazın karakteristiğinde cihaz kabulünde alınan referans değerlerinden sapma olup olmadığından emin olunmasıdır.

Bir tedavi cihazının kurulumu ve kabul prosedüründe yapılacak olan testleri ve referans değerleri çeşitli yayınlar tanımlar. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), Amerikan Medikal Fizikçileri Birliği (AAPM) gibi kurumların yayınları bunlara örnek gösterilebilir. AAPM tarafından 2009 yılında Task Group-142 numaralı yayınlanan raporda lineer hızlandırıcıların günlük, aylık ve yıllık kalite kontrol testlerinin limitleri için önerilerde bulunmaktadır. Günümüzde birçok klinikte kalite kontrol testlerinin değerleri bu rapordaki değerler referans alınarak değerlendirilmektedir (5).

2.3.1 AAPM Task Group-142

Amerikan Tıp Fizikçileri Birliği (AAPM) Task Group 2009'da yayınlanan "Medikal Hızlandırıcıların Kalite Kontrolü" 142 raporu, mevcut prosedürlerin sıklığı ve toleransları açısından AAPM Task Group 40'ın II.tablosunu güncellemiştir.

Ayrıca, AAPM Task Group-40'ta yer almayan yardımcı cihazların (asimetrik kolimatörler, ÇYK'ler, dinamik ve sanal kolimatörler) kalite kontrolüne yönelik öneriler de eklendi. AAPM Task Group-142'de yapılan öneriler, linakta gerçekleştirilen prosedür türlerine bağlıydı. AAPM Task Group-40 ve AAPM Task Group-142'nin arkasında yatan prensip, Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu'nun (ICRU) hastaya verilen dozun reçete edilen dozun $\pm\%5$ 'i dahilinde olması yönündeki tavsiyesiydi. Bir hastada hedef hacme doz vermenin birçok adımı gözönüne alındığında, bu öneriye ulaşmak için her adımın $\%5$ 'ten önemli ölçüde daha iyi bir doğrulukla gerçekleştirilmesi gerekir. AAPM Task Group-142'nin raporu, AAPM Task Group-40'ın testlerini önemli ölçüde genişletti. Ayrıca rapor, cihaz işlevselliğinin kullanım amacındaki farklılıklara uyum sağlayan toleranslar önerdi (6).

2.4 Makine Spesifik Kalite Kontrol Testleri

SNC Patient yazılımında makine kalite kontrol testi sekmesinde yer alan testler Arccheck fantom kullanarak gerçekleştirilmektedir. Kalite kontrol ölçümleri kapsamında şu testlere bakılmaktadır:

- Gantri açısı, dönüşü ve hız testi
- ÇYK (çok yapraklı kolimatör) konumu ve kolimatör konumu arasındaki fark testi
- Işın profillerinden elde edilen düzgünlük ve simetri değişim testi
- Referans ve karşılaştırma ışınlarının tekrarlanabilirliği testi

2.4.1 Gantri kalite kontrol testi

Gantri kalite kontrol testleri, gantri açısı ve dönüşündeki hataların görüntülenmesine ve gantrinin izomerkez etrafında ne kadar doğru hareket ettiğinin görülmesine olanak tanır. Dinamik ve statik planların oluşturulmasıyla test gerçekleştirilebilir. Hem dinamik hem de statik uygulamalar için gantri kalite kontrol sonuçları, gantri açısını ve Arccheck izomerkezine göre hesaplanan izomerkezin konumunu görüntüler (7-9).

2.4.2 ÇYK/kolimatör kalite kontrol testi

Çok yapraklı kolimatör (ÇYK)/Kolimatör kalite kontrol testi, Arccheck fantomu kullanarak lineer hızlandırıcının lif bank konumları ve kolimatör konumları arasındaki farkları analiz etmek için kullanılır. Analiz için iki ölçüm gereklidir. İlk ölçüm, kolimatörleri belirtilen konuma hareket ettirir ve ikinci ölçüm kolimatörleri geri çeker ve yalnızca ÇYK lif banklarını kullanır. İki ölçüm mükemmel şekilde hizalanmışsa, ışın kenarındaki dedektörlerin tepkisi aynı olmalıdır. Herhangi bir sapma, ÇYK lif bankı/kolimatör konumlandırma hatasına karşılık gelir (7-9).

2.4.3 Düzgünlük & simetri kalite kontrol testi

Arccheck fantom kullanılarak kullanıcının IEC-y yönünde ışın düzgünlüğü ve simetrisini ve IEC-x yönünde simetriyi ölçmesine olanak tanır. Düzgünlük ve simetri kontrolleri ana gantri açılarında halihazırda standart mekanik kalite kontrollerinin bir parçasıdır. Ancak lineer hızlandırıcının dinamik modunda doğru dozun verilmesini sağlamak için düzgünlük ve simetri testi statik veya dinamik plan için yapılabilir (7-9).

2.4.4 Işının tekrarlanabilirliği kalite kontrolü testi

Bu test, aynı kalite kontrol planı için ölçülen ancak farklı zamanlarda toplanan iki ışını (referans ışın ve karşılaştırma ışını) karşılaştırmaktadır. Bu karşılaştırma, tedavinin zaman içindeki stabilitesine ilişkin kalite kontrol testi sağlar (8).

2.5 Makine Performans Kontrolünde (MPC) Yer Alan Testler

Makine performans kontrolü (MPC), günlük kalite kontrol testlerini gerçekleştirmek için önceden tanımlanmış protokollere sahip otomatik bir uygulamadır. Isocal fantom, MPC protokolünde yer alan bazı kalite kontrol testlerini gerçekleştirmek için kullanılır (10).

2.5.1 İzomerkez testi

Işının merkez ekseninin tam gantri dönüşü boyunca ideal kesişme noktası izomerkez olarak tanımlanır. MPC uygulamasındaki merkezi eksen, çok yapraklı kolimatörün (ÇYK) dönüş merkezi tarafından tanımlanır. Tedavi izomerkezi, farklı gantri açılarından alınan verilerle belirlenir. Tedavi izomerkezinin boyutu, ışının merkez ekseninin ideal izomerkezden maksimum uzaklığı olarak açıklanır (10, 11).

2.5.2 Dozun değişimi testi

Görüntüleyicinin merkezi alanında dedektör tepkisindeki temel değere göre ortalama yüzde değişimi ifade eder (11).

2.5.3 Işın düzgünlük testi

Mevcut ve referans görüntü arasındaki homojenitenin yüzde değişimini ifade eder. Homojenite, görüntüleyicinin merkez alanındaki en yüksek ve en düşük orana sahip iki piksel arasındaki fark olarak açıklanır. Bu, ışın simetrisinin bir değerlendirmesi değildir (11).

2.5.4 Işın merkezi kayması testi

Kolimatör tarafından tanımlanan alan merkezinin, referansa göre rölatif kaymasını tanımlar. Alan merkezi, ışın görüntüsündeki kolimatör kenarlarının tespitiyle oluşturulur. Bu kayma, ışın yönlendirme sisteminin, kolimatörün ve MV görüntüleme sisteminin hassasiyetini açıklar (10, 11).

2.6 Kalite Kontroller İçin Kullanılabilecek Dozimetrik Sistemler

2.6.1 2 boyutlu dozimetrik sistemler

2 boyutlu düzlem dedektörler; lineer hızlandırıcılarda 2 boyutlu düzlemde ölçüm yapan, kalite kontrol testlerinde kullanılan, içinde yan yana dizilmiş bir dizi iyon

odalarının bulunduğu mekanik ve dozimetrik ölçümleri yapabilen sistemlerdir. Kolimatör eksen doğruluğu, SSD (kaynak-cilt mesafesi) kontrolü, alan boyutu, çok yapraklı kolimatör (ÇYK) lif hareketi, düzgünlük, simetri, izomerkez doğruluğu ve rölatif output ölçümü yapabilen sistemlerdir (4).

İyon odaları ve diyot dedektörlerden oluşan iki boyutlu dozimetrik sistemler, yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) tedavi planlarının kalite kontrolünde kullanılan ve klinik olarak uygun ölçüm araçlarındandır. İki boyutlu dozimetrik sistemlere Sun Nuclear marka MapCheck, Iba marka Matrixx, EPID (elektronik portal görüntüleme cihazı) örnek olarak verilebilir. Bu ekipmanlar genelde periyodik mekanik ve dozimetrik kontrollerde kullanılır (12).

2.6.2 3 boyutlu dozimetrik sistemler

IMRT ve VMAT tedavi planlarının rutin kalite kontrolünde kullanılmak üzere birçok üretici tarafından 3 boyutlu dedektör sistemleri üretilmiştir. VMAT tedavilerinin uygulamalarının artmasıyla, yeni üretilen 3 boyutlu diyot ve iyon odalı dedektör sistemleri de geliştirilmiştir. Bu sistemlere Sun Nuclear marka Arccheck fantom ve Scandidos marka Delta 4 fantom örnek verilebilir (3).

Düzlemsel dedektörlerin sabit gantri açılı IMRT tedavi planı kalite kontroller için uygun olduğu, ancak düzlemsel tasarımlarından dolayı ışını sağ ve sol yanlarda keseceğinden, VMAT tedavilerinin tedavi öncesi kalite kontrolü için ideal olmadığı düşünülür. VMAT'ın doğru ve kapsamlı kalite kontrolü için 3 boyutlu dozimetrik sistemler, 2 boyutlu düzlemsel dedektörlerin kullanımına göre daha çok tercih edilir (13).

3 GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Araç ve Gereçler

Bu çalışmada Acıbadem Maslak Hastanesi Radyasyon Onkolojisi'ne ait araç ve gereçler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan cihazlar ve yazılım programları aşağıda verilmiştir:

- Arccheck Fantom
- SNC Patient Yazılımı
- Varian Truebeam Lineer Hızlandırıcı
- Eclipse Tedavi Planlama Sistemi
- Varian Ethos Lineer Hızlandırıcı
- Isocal Fantom
- MPC (Makine Performans Kontrolü)

3.1.1 Arccheck fantom

Arccheck, (Model 1220, Sun Nuclear, Melbourne, FL), üç boyutlu silindir şeklinde bir dedektördür. Su eş değeri materyalden yapılmıştır ve üzerinde 1 cm mesafelerle 1386 tane n tipi diyot dedektör bulunur. Arccheck, 50 ms'lik aralıklarla ölçüm yapar, tüm ölçüm verilerini zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeder ve hem mutlak hem de rölatif doz ölçümleri yapar. Fantomda mutlak doz ölçümü için iyon odalı bir ek parçayı tutabilen, silindirin merkezinde plug takılabilmesi için 15 cm çapında bir boşluk bulunmaktadır (14-16).



Resim 1. Arccheck fantom

VMAT tedavilerinde hasta planı ve cihaz kalite kontrolü sağlamak amaçlı silindirik fantom yapısı idealdir. Silindirik şekli sayesinde hacimsel yoğunluk ayarlı ark tedavisinde olduğu gibi rotasyonlu tedavi açlarına ve ışınlamaya tutarlı kalarak giriş ve çıkış dozu ölçümü sağlar. Arccheck dedektörleri, herhangi bir gantri açısında cihazdan gönderilen ışın ile karşılıklıdır. Gantrinin her bir dönüşü ile silindir üzerindeki dedektörler doz toplar. Toplanan dozların SNC Patient yazılımında doz haritaları oluşur. Oluşan doz haritaları, Eclipse tedavi planlama sisteminden gelen doz haritaları karşılaştırılır. Arccheck üç boyutlu silindir şeklinde olmasıyla hasta formuna yakın ve uygun fantomdur; fakat üzerinde bulunan dedektörlerin birbirine olan aralıkları 1 cm olduğu için küçük alanlarda doz doğrulama açısından dezavantajdır (14-16).

3.1.1.1 SNC patient yazılımı

SNC Patient Yazılımı (Sun Nuclear Corp., Melbourne, FL, ABD) kalite kontrol platformları için kullanılmak üzere geliştirilmiş olan bir yazılım programıdır. SNC Patient Yazılımı planlanan doz ile ölçülen doz noktalarını birbiriyle karşılaştırır. Bu yazılımı kullanan kişi gama analizi ile rölatif veya mutlak doz karşılaştırması yapabilir. Bu yazılımda makine kalite kontrol aracı sekmesinde yer alan, Mapcheck ve Arccheck dozimetrik ekipmanlar olarak iki seçenek bulunmakta ve bazı testler yer almaktadır. Bu kalite kontrol testlerinde; gantri kalite kontrol, çok yapraklı kolimatör (ÇYK)/Kolimatör testi, düzgünlük ve simetri testi ve ışının tekrarlanabilirliği testi yer almaktadır.

Eclipse tedavi planlama sisteminde hazırlanan tedavi planı, tedavi öncesi kalite kontrol ölçümünün yapılması için optimizasyonda hesaplatıldıktan sonra yazılıma veriler gönderilir. Işınlama başlamadan önce SNC Patient yazılımında başlat sekmesine tıklanır, ışınlama sırasında ekranın sol sekmesinde ölçülen doz haritaları görünür ve daha sonra ekranın sağ sekmesinde tedavi planlama sisteminden gönderilen veriler yüklenir. Işınlama bitiminde durdur sekmesine tıklanır, ölçülen ve planlanan doz noktaları gama analizi kullanılarak birbiriyle karşılaştırılır.

Tedavi planlama sistemindeki doz hesaplama algoritması, ölçülen ve hesaplanan dozların karşılaştırılmasında doğrulama sonuçlarını etkiler. SNC yazılımında, kullanıcı tanımlı tolerans kriterlerine ek olarak, ölçüm belirsizliği denilen ek bir parametre sağlanır. Üretici bu parametreyi şu şekilde tanımlamaktadır:

Ölçüm belirsizlikleri, cihazın mutlak kalibrasyonu ile standart doz değeri arasındaki kurulum hatası, sıcaklık değişimi, dizi dedektör kalibrasyon doğruluğu ve elektronik ölçüm hassasiyeti nedeniyle oluşan farklılıkları içerir. Ölçüm belirsizliği, kullanıcı tarafından tanımlanan yüzde kabul kriterlerine eklenir ve genellikle rölatif karşılaştırma için %1'den küçüktür ve mutlak karşılaştırma için %1'e yakındır. Bu parametre doz tolerans kriterlerini artırır ancak mesafe tolerans kriterlerini etkilemez (16).

3.1.2 Eclipse tedavi planlama sistemi (TPS)

Eclipse, proton tedavi dahil tüm radyoterapi teknikleri için geliştirilmiş bir tedavi planlama sistemidir. ARIA hasta verifikasyon sistemi ile aynı veritabanı altında çalışır ve tam entegredir.

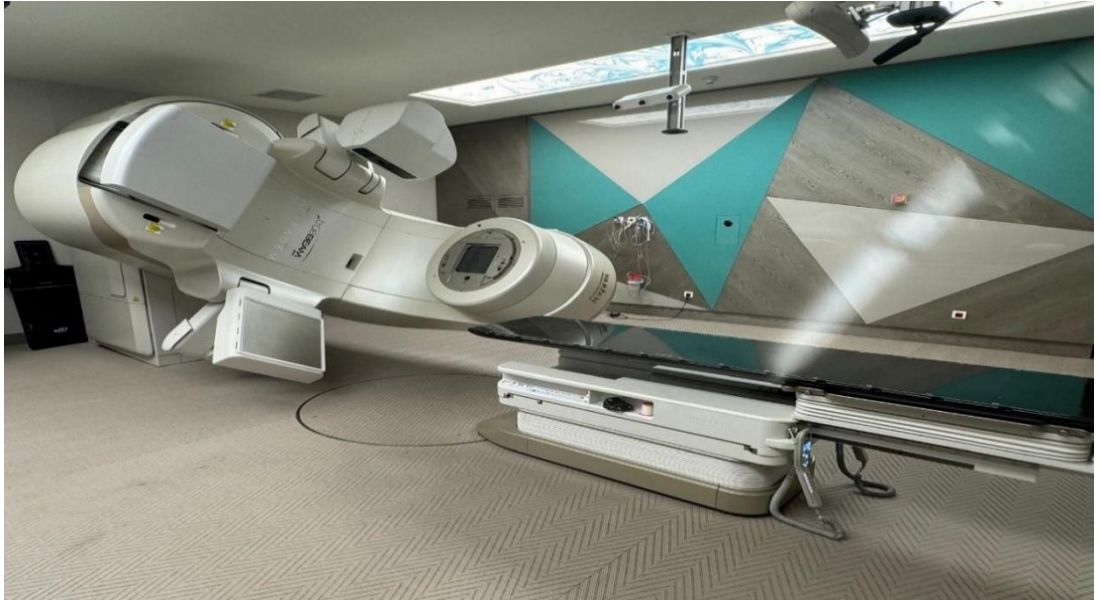
Eclipse Tedavi Planlama Sistemi (Varian Medical System, Palo Alto, CA); 3 boyutlu görüntüleme, tümör ve diğer anatomik yapıların belirlenmesi, tedavi alanlarının belirlenmesi, doz hesaplamaları ve plan değerlendirmeleri için tasarlanmış yazılımsal sistemdir. Eclipse içerisinde konturlama, planlama, plan değerlendirme vs. gibi alt uygulama bölümlerine sahiptir. Birçok özelliği bulunan menüleriyle dozimetrist, medikal fizikçi ve doktorların hastalar için en doğru tedavi planlarını oluşturmalarına, seçmelerine ve kontrol edebilmelerine olanak tanımaktadır (17).

Eclipse içerisinde bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans görüntüleme ve pozitron emisyon tomografisi gibi herhangi bir DICOM dosya formatına uyumlu görüntü bileşeni ile hastanın 3 boyutlu modelleri oluşturulabilmektedir. Verilerin aktarımı ve bilgi alışverişi DICOM radyoterapi sistemi ile sağlanmaktadır. Eclipse yazılımı sayesinde kullanıcı, sisteme görüntü tarayıcılarından hasta bilgilerini

girebilir. Bu verileri (hasta kimlik bilgileri, tomografi görüntüsü) kullanarak tedavi planlaması yapabilir ve yapılan planlamayı doz volüm histogramı parametresinde değerlendirebilmektedir. Optimizasyonun temelinde doz volüm hedefleri bulunmaktadır. Öncelikli hedefi, doz limitleri girilen bir yapıdaki dozu sınırlandırmak; sonraki hedefi ise hedef yapıdaki istenilen dozu tanımlamaktadır (18).

3.1.3 Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazı

Bu cihaz, düzleştirici filtreye (FF) sahip 6 MV, 10 MV, 15 MV ve 18 MV foton enerjilerine, 6 MV ve 10 MV düzleştirici filtresiz (FFF) foton enerjilerine sahiptir. Foton enerjilerine ek olarak yüzeysel tedavilerde de elektron enerjileri kullanılmaktadır. 6, 9, 12, 15 ve 18 MeV elektron enerjilerine sahiptir. Maksimum alan boyutu kolimatörlerle tanımlanan $40 \times 40 \text{ cm}^2$ ve 120 yapraklı ÇYK yapısına sahiptir. Standart düzleştirici filtre ışınları (FF) ve düzleştirici filtresi olmayan (FFF) olmak üzere iki tür foton ışınlarına sahiptir. Erişilebilen maksimum doz hızları 6FFF MV foton enerjileri için doz hızı 1400 MU/dk ve 10 FFF MV foton enerjileri için 2400 MU/dk 'dır. 6 MV, 10 MV ve 15 MV filtreli ışınlar için doz hızı 600 MU/dk 'dır (4).



Resim 2. Varian truebeam lineer hızlandırıcı cihazı

3 boyutlu konformal radyoterapi, yoğunluk ayarlı radyoterapi, hacimsel yoğunluk ayarlı ark tedavi, görüntü eşliğinde radyoterapi, radyocerrahi ve stereotaktik radyoterapi olmak üzere tüm gelişmiş radyoterapi tekniklerinde kullanılmaktadır. kV-kV, kV-MV ile iki boyutlu ve CBCT (cone-beam bilgisayarlı tomografi) ile üç boyutlu görüntüler alabilir (4, 19).

Truebeam sistemine entegre edilmiş 6 boyutta bağımsız hareket edebilen özelliği barındıran Varian Perfect Pitch yatağa sahiptir. Bu özelliğiyle CBCT eşliğinde hedef yeri, izomerkez doğruluğu, tedavi uygulaması ve eksenlerin kaydedilmesi süreci kontrol odasından otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir (20, 21).

3.1.4 Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazı

Varian Ethos, Varian Medical Systems şirketi tarafından üretilen bir radyoterapi tedavi cihazıdır. CBCT ve yapay zeka kullanarak adaptif radyoterapi tedavileri sunabilmektedir. 6 FFF MV düzleştirici filtresiz foton enerjisine sahiptir. Varian Ethos cihazı, sırasıyla 29 ve 28 çift liften oluşan, toplam 114 lif olmak üzere biri diğerinin üzerinde olmak üzere iki dizi paralel tungsten liften oluşan çift katmanlı bir ÇYK ile donatılmıştır. Lifler 1 cm genişliğindedir ve iki seri birbirinden 0.5 cm kaydırılmıştır. Düzleştirici filtresi genellikle hedef en düzgün ve homojen dozu sağlamak amacıyla yaklaşık olarak düz bir alan sağlamak için kullanılmıştır (20).



Resim 3. Varian ethos lineer hızlandırıcı cihazı

Yazılım kısmı ayrıca rutinde gerekli olan dozu hesaplamak, görüntüleri kaydetmek için çeşitli uygulama ve algoritmalarından oluşur. Doz dağılımlarını, tedavi sürelerini karşılaştırmak için gerçek bir hastanın tedavisini farklı bir marjla, tedavi planlarıyla veya iş akışlarıyla simüle etmek mümkündür (22).

3.1.5 Isocal fantom

Isocal fantom, yüzey üzerinde bilinen bir geometrik desene yerleştirilmiş 16 tane tungsten karbür bilyesi olan (her biri 4 mm çapında) ve 23 cm yarı çapında içi boş bir silindirdir. Bu fantom, MPC protokolünde yer alan bazı kalite kontrol testlerini gerçekleştirmek için kullanılır. Isocal fantom, lineer hızlandırıcı tedavi masasına yerleştirildikten sonra çapraz kıl ve lazerlere göre kurulumu yapıldıktan sonra tedavi cihazındaki MPC sekmesinin aktifleştirilmesiyle, ekranda istenilen enerjiler ve parametreler görüntülenir ve seçili parametreler için otomatik ölçüm gerçekleşir. Daha sonra masa, protokole göre bilinen bir konuma hareket eder ve bu konum tüm testler için referans konum olarak kullanılır. Yazılım; izomerkezi, tedavi izomerkesinin konumunu ve tedavi izomerkez projeksiyonu ile kV ve MV görüntülerinin merkezlerinin arasındaki mesafeyi belirlemek için kullanır (4, 23).



Resim 4. Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında MPC ölçümünde kullanılan Isocal fantom



Resim 5. Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında MPC ölçümünde kullanılan Isocal fantom

3.1.6 Makine performans kontrolü (MPC)

Makine performans kontrolü sistemi, Varian Truebeam cihazına entegre bir sistem olarak gelmektedir ve Varian Truebeam sisteminde çalışan bir kalite kontrol yazılımıdır. MPC, bir dizi kalite kontrol testi gerçekleştirmek ve sonuçları “geçti/başarısız” formunda sunmak için iyi kurulmuş IsoCal fantom ile linak sisteminin kV ve MV görüntülemesini kullanır (4, 24).

Geometrik ve dozimetrik kontroller yapılabilmektedir. Geometrik olarak IsoCal fantom kullanılarak tedavi izomerkezinin boyutu, tedavi MV kV görüntüleme izomerkezlerindeki milimetrik kaymaları, kolimatör ve gantri dönüş eksenindeki açısal kaymayı, kolimatör ve ÇYK yapraklarının konumu kontrol edilebilmektedir (4, 24).

MPC, yoğunluk ayarlı radyoterapi, hacimsel yoğunluk ayarlı ark tedavi, stereotaktik radyoterapi (SRS) ve stereotaktik vücut radyoterapisi (SBRT) gibi tedavi teknikleriyle hasta tedavisine başlamadan önce günlük olarak güvenilir ve hızlı test yapılmasına yöneliktir (24). Tedavi cihazındaki MPC sekmesi açılarak, ölçülmek istenen enerjiler ve geometrik parametreler seçilerek tam olarak otomatik yapılır. Kullanıcı sadece IsoCal fantomu tedavi masasına sabitler, ölçmek istediği parametreleri belirler ve ölçümler otomatik olarak gerçekleşir. Ölçümlerin sonunda analiz raporu görüntülenmektedir (4, 24).



Resim 6. MPC ölçümü sırasında geometrik kontrollerin yer aldığı ekran

3.2 Yöntem

Bu çalışma, Acıbadem Maslak Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümünde Varian marka Truebeam lineer hızlandırıcı, Varian marka Ethos lineer hızlandırıcı, tedavi planlama sistemleri, Arccheck fantomu ve Makine Performans Kontrolü (MPC) kullanılarak mekanik kalite kontrol ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada Şubat 2024 ve Nisan 2024 tarihleri arasında Varian Truebeam ve Varian Ethos lineer hızlandırıcıda hem Arccheck fantom ile hem de MPC olmak üzere ayrı ayrı 15'er ölçüm alınmıştır. Arccheck fantomu ile gantri açısı, dönüşü ve hızdaki değişimi, çok yapraklı kolimatör (ÇYK)/kolimatör konumlarının farkı, ışın profillerinden elde edilen düzgünlük ve simetri değişimi ve ışınların referans ve karşılaştırma ışın olmak üzere tekrarlanabilirliği testleri yapılmıştır. Arccheck fantom ile ölçüm alınan günün akabinde MPC testleri yapılmıştır. Arccheck ile yapılan testlere benzer olarak MPC'de bakılan parametreler; izomerkez boyutu, ışın merkezinin kayması, output değişimi ve düzgünlük değişimidir. Bu ölçüm parametrelerinin zamana ve birbirine göre değişiminin karşılaştırılması yapılmıştır. Arccheck fantom ile yapılan testlerdeki ölçüm sonuçlarının, raporların kabul kriterlerine göre tolerans limitleri içinde ve

MPC'deki sonuçlarla da tutarlı olup olmadığı değerlendirilmiştir. Ayrıca MPC'nin Arccheck için güçlendirici bir sistem olup olmadığı değerlendirilmiştir.

3.2.1 Varian Truebeam Lineer hızlandırıcı cihazı için Eclipse tedavi planlama sisteminde mekanik kalite kontrol planlarının oluşturulması

Çalışmada, 120 adet çok yapraklı kolimatöre sahip olan Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazı kullanılmıştır. Mekanik kalite kontrol planları, Eclipse (Varian Medical Systems) versiyon 13.6 tedavi planlama sisteminde (TPS) oluşturulmuştur. İlk olarak; Sun Nuclear Arccheck ürün kullanım kılavuzunda yer alan makine kalite kontrol testlerinin ölçümünde planların nasıl oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak, her bir test için planlarda farklı prosedürler uygulanmıştır. Eclipse tedavi planlama sisteminde suya eşdeğer bir sanal fantom yaratılıp bu fantom üzerine planlar oluşturulmuştur. Statik ve dinamik teknikler kullanılarak, farklı alan boyutlarında, farklı foton enerjilerinde, farklı doz hızlarında, farklı gantri ve kolimatör açılarında planlar oluşturulmuştur. Planlar hazırlandıktan sonra optimizasyonda hesaplatılıp, Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazına transfer edilmiştir.

3.2.1.1 Varian Ethos Lineer hızlandırıcı cihazı için Eclipse tedavi planlama sisteminde mekanik kalite kontrol planlarının oluşturulması

Çalışmada, 114 adet çok yapraklı kolimatöre sahip olan Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazı kullanılmıştır. Mekanik kalite kontrol planları, Ethos tedavi planlama sisteminde (TPS) oluşturulmuştur. Referans olarak Sun Nuclear Arccheck ürün kullanma kılavuzunda yer alan bilgiler doğrultusunda mekanik kalite kontrol testlerinin planları oluşturulmuştur. Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazda plan oluşturma ve yapılan testler konusunda Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazdaki ile aynı işlem adımı uygulanmıştır. Buradaki tek fark, cihazın tek enerjiye sahip olmasından dolayı planlar 6 FFF MV ile hazırlanmıştır. Planlar hazırlandıktan sonra, optimizasyonda hesaplatılıp Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazına veriler aktarılmıştır.

3.2.2 Mekanik kalite kontrollerin iş akış süreçlerinin aktarılması

Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazına planlar transfer olduktan sonra, cihazın konsol ekranında yer alan menüde Treatment (tedavi) sekmesi seçilerek planlar açılır. Daha sonra ölçüme hazırlık aşamasında Arccheck fantomunun kurulumu, gantri ve kolimatör açıları 0° derecede iken her 3 ekseninde (dikey, yanal ve boylamsal) çapraz kıl ve lazerlerin üst üste geleceği şekilde yapılır ve dozun okunabilmesi için PDI kablosu fantoma bağlanır. Kurulum tamamlandıktan sonra tedavi konsol odasında bulunan PDI kablosundan biri, ölçüm alınırken kullanacağımız bilgisayara bağlanır. Bu ölçümü gerçekleştirebilmek için SNC Patient versiyon 8.3.1 yazılımına ihtiyaç vardır. Bilgisayarda bu program aktif olduğu zaman başlat sekmesine basılır. Tedavi ekranında açık olan planın ışınlanma adımı için konsolda bulunan hazırlama tuşu aktif olur ve aynı zamanda tedavi cihazını, plandaki açı değerlerine ve alan boyutlarına getirebilmek için de hareketi sağlama tuşu aktif olur. Aktif olan tuşlara, ışıkları sönene kadar basılı tutulur. Cihaz artık ışınlama için hazırdır. Işınlama esnasında SNC Patient yazılımında ölçülen doz haritaları görüntülenmeye başlar. Işınlama bittikten sonra durdur sekmesine basılır ve veriler hesaplandıktan sonra yapılan testin adı ve tarihi acm dosya uzantısı şeklinde kaydedilir. Daha sonra ölçümün analizi için SNC Patient yazılımında araçlar sekmesinde yer alan makine kalite kontrol aracına basılır ve testler sıralanır. Hangi kalite kontrol testi planı ışınlanmışsa seçilir, kaydettiğimiz ölçüm dosyası yüklenir ve analiz sonuç raporu görüntülenir. Analiz sonuç raporları, gönderim sekmesine basılarak pdf dosya uzantısı şeklinde kaydedilir.

Arccheck fantom ile yapılan ölçümün akabinde, MPC testi için ölçüm hazırlığına başlanır. MPC test ölçümleri Isocal fantom ile gerçekleştirilir. Tedavi konsol ekranında yer alan menüde MPC sekmesi seçilerek ölçülmek istenen enerjiler ve geometrik parametreler görüntülenir. Daha sonra Isocal fantom tedavi masasına sabitlenir ve kurulumu, gantri ve kolimatör açıları 0° derecede iken her 3 ekseninde (dikey, yanal ve boylamsal) çapraz kıl ve lazerlerin üst üste geleceği şekilde ayarlanır. Kurulum tamamlandıktan sonra tedavi konsol ekranında ölçülmek istenen enerjiler ve parametreler seçilir. Tedavi masasının ve cihazın, protokole göre bilinen bir konuma gitmesi için tedavi konsolunda hazırlama ve hareket sağlama tuşu aktif olur. Aktif olan

tuşlara ışık sönene kadar basılı tutulur ve cihaz artık hazırdır. MPC sistemi, Varian Truebeam lineer hızlandırıcıya entegre bir sistem olarak geldiği için ölçümler otomatik olarak gerçekleşir. Ölçüm bittikten sonra ölçülen parametreler, geçti ya da başarısız simge şeklinde ekranda görüntülenir. Her enerji için ölçülen parametreler kontrol raporu olarak pdf uzantısı şeklinde kaydedilir.

Varian Ethos lineer hızlandırıcıda ise iş akışı şu şekilde gerçekleşir: cihaza planlar transfer olduktan sonra cihazın konsol ekranında yer alan Service sekmesi seçilerek planlar açılır. Daha sonra ölçüme hazırlık aşamasında Arccheck fantomunun kurulumu, dış lazere göre her 3 ekseninde (dikey, yanal ve boylamsal) lazerlerin ve Arccheck fantomun üzerindeki çapraz kılın üst üste geleceği şekilde yapılır ve dozun okunabilmesi için PDI kablosu fantoma bağlanır. Kurulum tamamlandıktan sonra tedavi konsol odasında Service ekranında Arccheck'in kurulumundan sonraki yanal, dikey ve boylamsal değerlerden sadece boylamsal değere 57.8 cm daha eklenerek Arccheck fantom, gantrinin iç kısmına doğru ilerler. Tedavi konsol odasında bulunan PDI kablosundan biri, Varian Truebeam lineer hızlandırıcıda da ölçüm alırken kullanılan bilgisayara bağlanır. Bu ölçümü gerçekleştirebilmek için SNC Patient versiyon 8.3.1 yazılımına ihtiyaç vardır. SNC patient yazılımında başlat sekmesine basılır, ışınlama başladığında ekranda doz haritaları görünür, ışınlama bittiğinde durdurma basılır ve ölçümler acm dosya uzantısı şeklinde kaydedilir.

Varian Ethos lineer hızlandırıcıda Arccheck fantom ile yapılan ölçümün akabinde, MPC testi için ölçüm hazırlığına başlanır. MPC test ölçümleri Isocal fantom ile gerçekleştirilir ve tedavi konsol ekranında yer alan menüde MPC sekmesi seçilerek tek enerji (6 FFF MV) için parametreler görüntülenir. Cihazda Isocal fantomun kurulumu otomatik gerçekleşir, Varian Truebeam lineer hızlandırıcıdaki gibi manuel değildir. Tedavi konsol odasında MPC ekranı açıldıktan sonra, Isocal fantomun hızlı ve otomatik olarak kurulması için cihazda bulunan hareket tuşunda mavi ışık yanar. Mavi ışık sönene kadar basılı tutulur ve Isocal fantom otomatik şekilde her 3 eksene (yanal, dikey ve boylamsal) uygun şekilde yerleşir. MPC sistemi, Varian Ethos lineer hızlandırıcıya entegre bir sistem olarak geldiği için ölçümler otomatik olarak gerçekleşir. Ölçüm bittikten sonra ölçülen parametreler, geçti ya da

başarısız simge şeklinde ekranda görüntülenir. Varian Ethos lineer hızlandırıcı tek enerjili (6 FFF MV) olduğu için, bu enerji için ölçülen parametreler kontrol raporu olarak pdf uzantısı şeklinde kaydedilir.

3.2.3 Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile gantri açısı, dönüşü ve hızının ölçülmesi

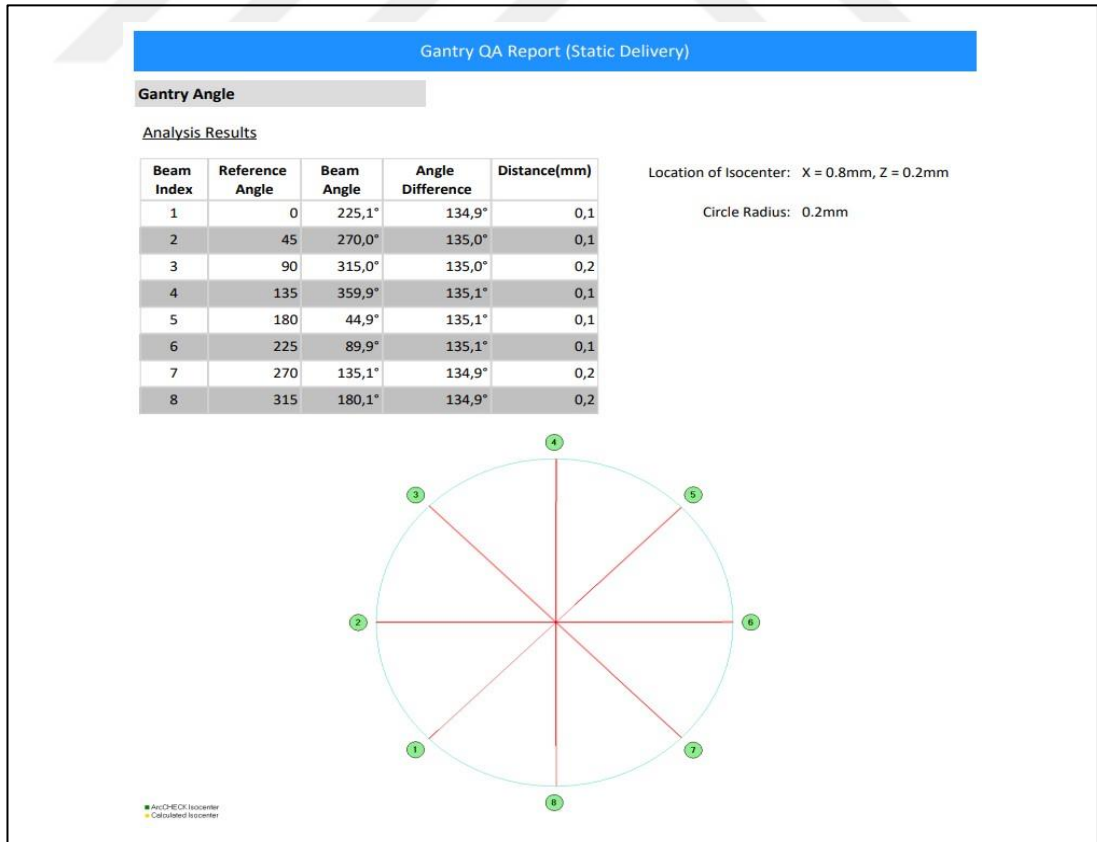
Bu çalışmada 3 ay süre zarfında Arccheck ve MPC ile 15 ölçüm alınmıştır. Varian Truebeam cihazında Arccheck fantom ile yapılacak mekanik kalite kontrol testleri, Eclipse versiyon 13.6 tedavi planlama sisteminde, Sun Nuclear Arccheck ürün kullanım kılavuzunda yer alan prosedürler referans alınarak, statik ve dinamik teknik kullanarak planlar oluşturulmuştur. Statik teknikte gantri kalite kontrol testi planı; 6 MV foton enerjisinde, 45'er derecelik açıyla toplam 8 gantri açısında (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315°), 9° derece kolimatör açısında, X=1 cm ve Y=25 cm alan boyutunda ve doz hızı 100 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. Dinamik teknikte gantri kalite kontrol testi planı; 6 MV foton enerjisinde, tek ark tam tur dönmeli 179° - 181° derecede, 9° derece kolimatör açısında, X=1 cm ve Y=25 cm alan boyutunda ve doz hızı 1200 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan planlar optimizasyonda hesaplatılıp Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazına veriler aktarılmıştır. Ölçümde kullanılan Arccheck fantomunun kurulumu, gantri ve kolimatör açıları 0° derecede iken her 3 ekseninde (dikey, yanal ve boylamsal) çapraz kıl ve lazerlerin üst üste geleceği şekilde, SSD= 86.7 cm'de yapılmıştır. Statik teknikte gantri planının ışınlaması işlemi, toplam 8 gantri açısı için ölçüm durdurulmadan yapılmıştır ve ışınlama bittikten sonra SNC Patient yazılımında veriler dosyalar halinde saklanmıştır, analiz sonucu raporu kaydedilmiştir. Dinamik teknikte de aynı işlem adımları uygulanmıştır, veriler SNC Patient yazılımında kaydedilmiştir ve analiz edilip sonuç raporu kaydedilmiştir.

Arccheck fantom ile ölçüm işlemleri bittikten sonra takiben Isocal fantom ile MPC testleri yapılmıştır. Isocal fantom tedavi masasına sabitlenmiştir ve kurulumu, gantri ve kolimatör açıları 0° derecede iken her 3 ekseninde (dikey, yanal ve boylamsal) çapraz kıl ve lazerlerin üst üste geleceği şekilde ayarlanmıştır. Kurulumdan sonra

tedavi konsol ekranında yer alan menüde MPC sekmesi seçildikten sonra tüm foton ve elektron enerjileri için ölçüm yapılmıştır. MPC sistemi, Varian Truebeam lineer hızlandırıcıya entegre bir sistem olarak bulunduğu için ölçümler otomatik olarak gerçekleşmiştir. Ölçüm bittikten sonra ölçülen parametreler, geçti ya da başarısız simge şeklinde ekranda görüntülenmiştir ve kaydedilmiştir.

Arccheck fantoma ek olarak MPC testinin gerçekleştirilmesiyle aslında birbirlerine uyumu ve her iki ölçüm sisteminin kabul kriterleri içinde olup olmadığı incelenmiştir. Arccheck fantom ile yapılan statik ve dinamik teknikte gantri izomerkez konumu testi sonucunun ortalaması alınarak zamana göre değişimi incelenip karşılaştırılmıştır. Ek olarak MPC sistemiyle de yapılan merkez kayması testi sonucu Arccheck ile karşılaştırılmıştır.

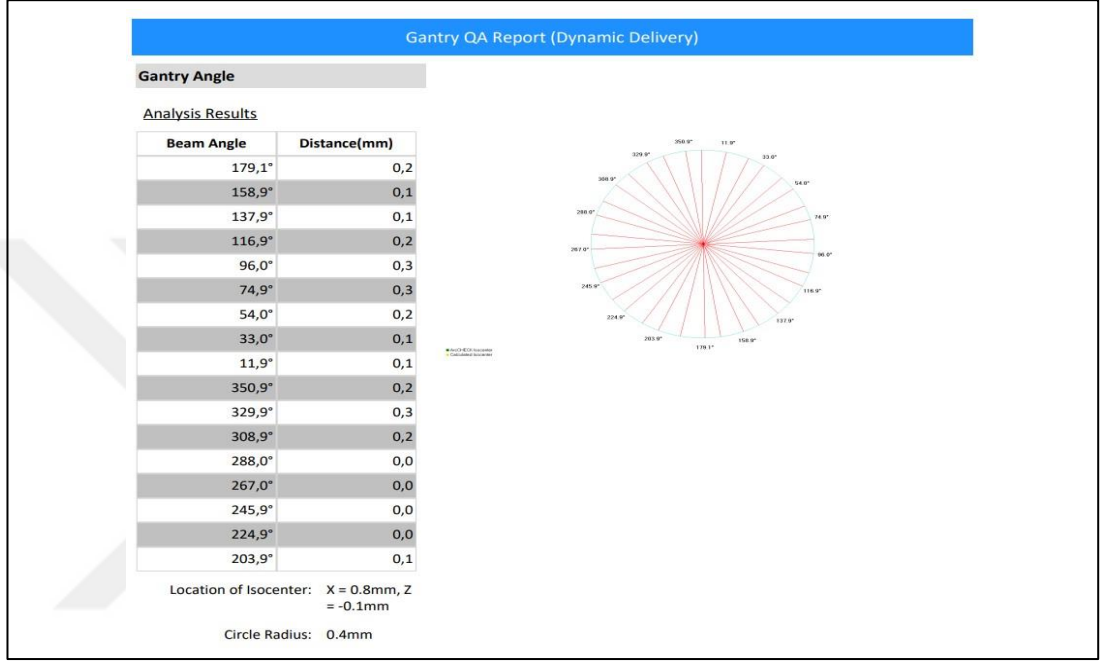
SNC Patient yazılımıyla elde edilen statik teknikte ışınlanan gantri testi ölçüm analiz raporu Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. 12. ölçümden alınan gantri statik testinin örnek rapor görüntüsü

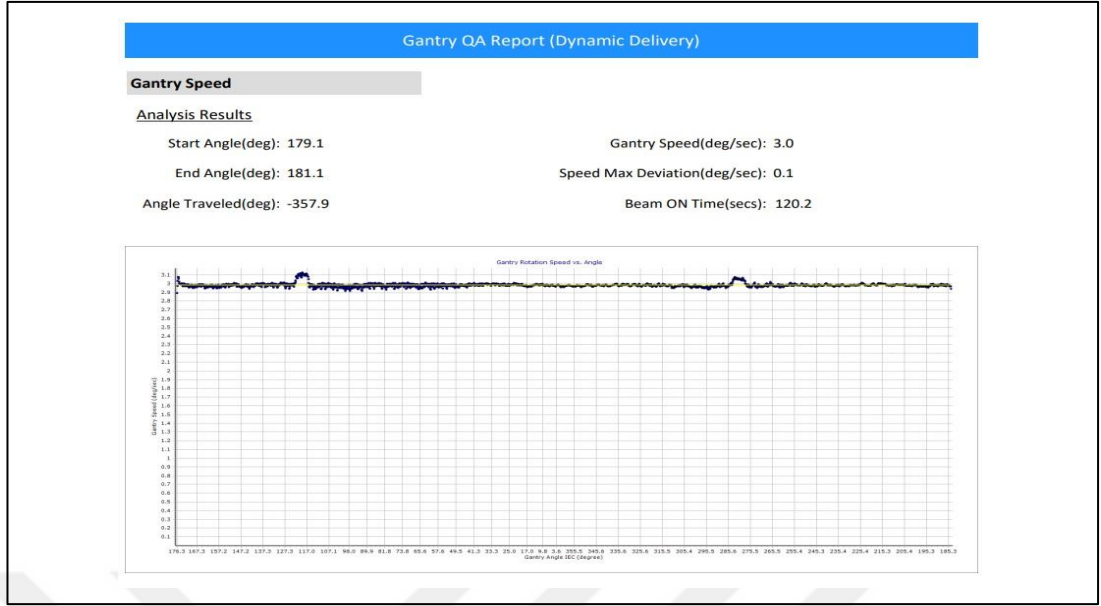
Şekil 1’de her ışın, ışın numarası ile birlikte kırmızı bir çizgi olarak görüntülenmiştir. Tabloda ise, her ışın hakkında bilgiler listelenmiştir.

SNC Patient yazılımıyla elde edilen dinamik teknikte ışınlanan gantri testi ölçüm analiz raporu aşağıda Şekil 1.1’de verilmiştir.



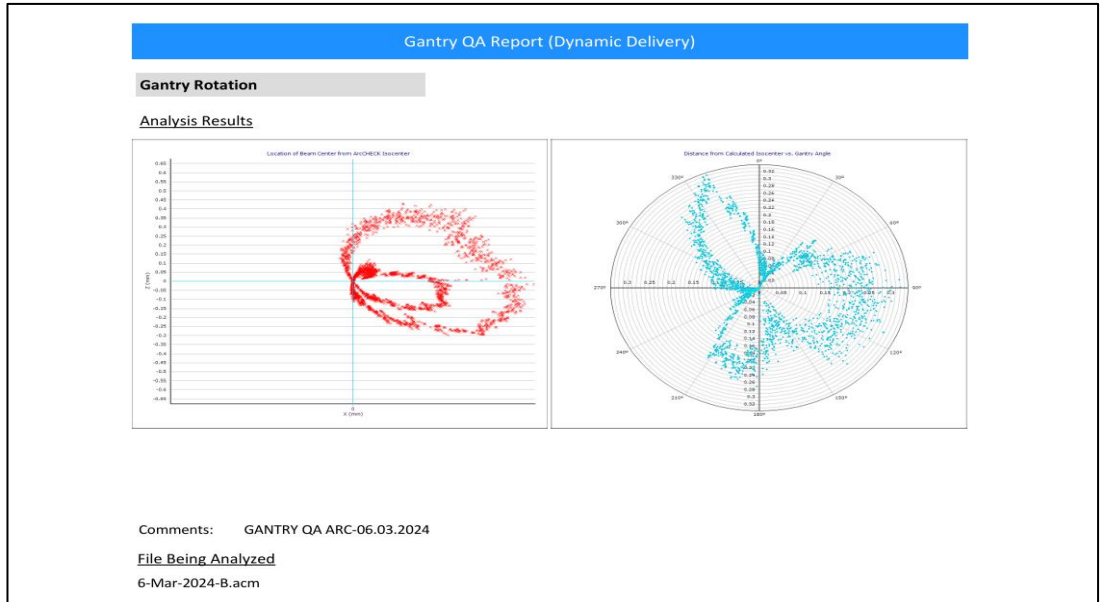
Şekil 1.1. 9. ölçümden alınan gantri dinamik testinin örnek rapor görüntüsü

Şekil 1.1’deki tabloda yaklaşık olarak her 20 derecelik bir açıyla ve ışının merkezinden hesaplanan izomerkeze kadar olan mesafe gösterilmiştir. Grafik ise, ışın profilinin %80 değerleri arasındaki orta çizgiyle tanımlandığı şekilde, her ışının merkezine karşılık gelen kırmızı çizgiler şeklinde görüntülenmiştir.



Şekil 1.1.2. 4.ölçümden alınan gantri dinamik testinde gantri hızının, maksimum hız sapmasının ve ışınlama süresini gösteren örnek rapor görüntüsü

Gantrinin başlangıç ve bitiş açıları, toplam hareket açısı, ışınlama süresi, gantri hızı, gantri hızının maksimum sapması ve gantri dönüş hızının gantri açısına göre grafik olarak gösterimi Şekil 1.1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.1.3. Gantri dinamik testinde gantri dönüşüne bağlı Arccheck izomerkezine göre ışın merkezinin konumu ve her ışından hesaplanan izomerkeze olan mesafenin gösterimi

Arccheck izomerkezi ile her ışıktan hesaplanan izomerkez arasındaki ilk ölçüm mesafesi Şekil 1.1.3'te gösterilmiştir. Şekil 1.1.3'te noktaların dağılımı, gantri dönüşü sırasında meydana gelen eğilimi göstermektedir. Kırmızı grafik, Arccheck izomerkezine (0,0) göre her ışının merkezinin konumunu göstermektedir. Mavi grafik, her ışıktan hesaplanan izomerkeze olan en kısa mesafeyi gantri açısına göre göstermektedir. Grafiklerdeki noktaların dağılımı, gantri dönüşü sırasında meydana gelen gantri bükülmesi gibi eğilimleri ortaya koymaktadır.

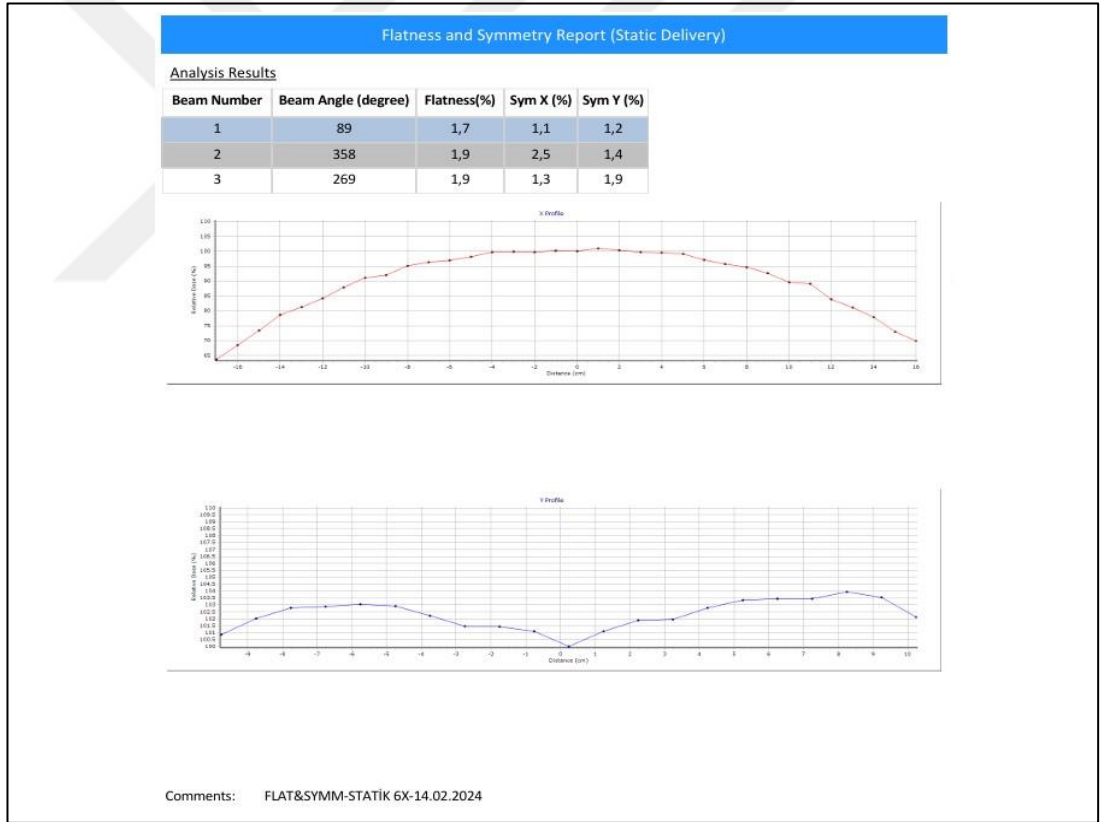
Gantri kalite kontrol testi, gantri'nin izomerkez etrafında ne kadar doğru hareket ettiği ve gantri hızının gantri açısına bağlı değişimi konusunda bilgi sağlamıştır.

3.2.4 Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile düzgünlük ve simetri değişiminin ölçülmesi

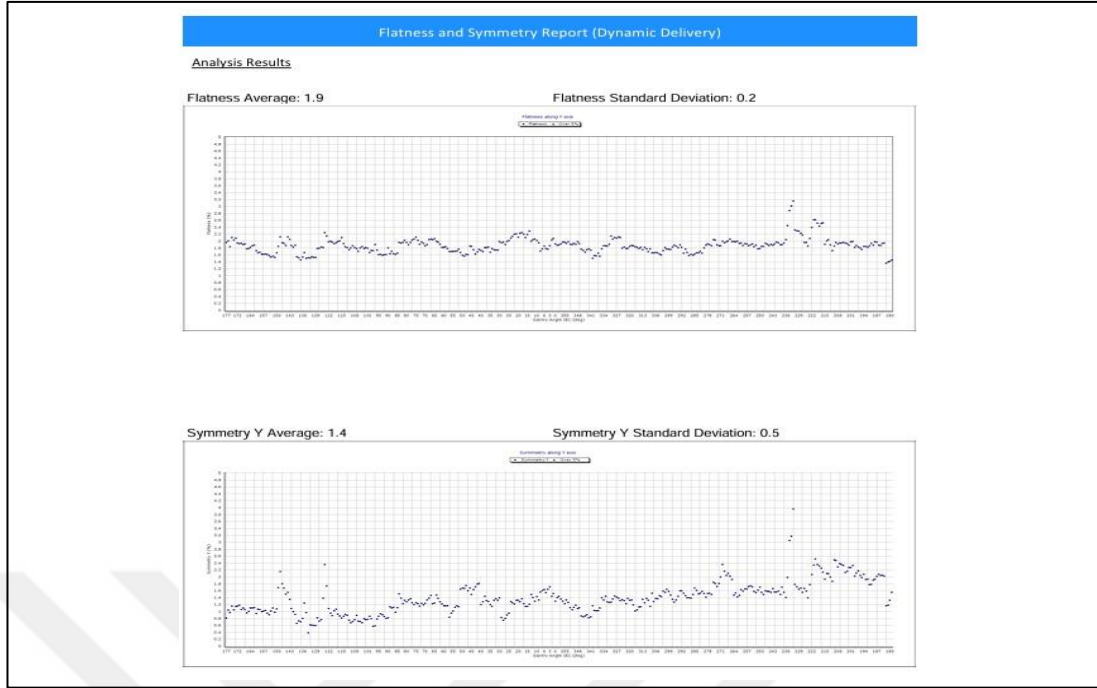
Bu çalışmada 3 ay süre zarfında Arccheck ve MPC ile 15 ölçüm alınmıştır. Varian Truebeam cihazında Arccheck fantom ile yapılacak mekanik kalite kontrol testleri, Eclipse versiyon 13.6 tedavi planlama sisteminde, Sun Nuclear Arccheck ürün kullanım kılavuzunda yer alan prosedürler referans alınarak, statik ve dinamik teknik kullanarak planlar oluşturulmuştur.

Dinamik teknikte gantri kalite kontrol testi planı, X=25 cm ve Y=25 cm alan boyutunda, tek ark tam tur dönmeli 179°-181° derecede, 0° derece kolimatör açısında, 6 MV, 10 MV ve 6 FFF foton enerjilerinde ve doz hızı 1200 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. Statik teknikte gantri kalite kontrol testi planı, X=25 cm ve Y=25 cm alan boyutunda, 3 farklı gantri açısında (0°, 90°, 270°), 0° derece kolimatör açısında, 6 MV, 10 MV ve 6 FFF MV foton enerjilerinde ve doz hızı 100 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan planlar optimizasyonda hesaplatılıp Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazına veriler aktarılmıştır. Ölçümde kullanılan Arccheck fantomunun kurulumu, gantri ve kolimatör açıları 0° derecede iken her 3 eksen (dikey, yanal ve boylamsal) çapraz kıl ve lazerlerin üst üste geleceği şekilde, SSD= 86.7 cm'de yapılmıştır.

Statik teknikte gantri planının ışınlaması işlemi, toplam 3 gantri açısı için ölçüm durdurulmadan yapılmıştır ve ışınlama bittikten sonra SNC Patient yazılımında veriler dosyalar halinde saklanmıştır, analiz sonucu raporu kaydedilmiştir. Dinamik teknikte de aynı işlem adımları uygulanmıştır, veriler SNC Patient yazılımında kaydedilmiştir ve analiz edilip sonuç raporu kaydedilmiştir. Arccheck fantom ile ölçüm işlemleri bittikten sonra akabinde Isocal fantom ile MPC testleri yapılmıştır. Her iki ölçüm sisteminin birbirine uygun parametrelerine ve ölçüm zamanına göre değişimi karşılaştırılmıştır. X ve Y eksenini doğrultusunda doz profilleri ölçülerek demet düzgünlüğü ve simetri değerleri incelenmiştir. SNC Patient yazılımıyla elde edilen statik teknikte ışınlanan düzgünlük ve simetri testi ölçüm analiz raporu Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. 6 MV enerjide statik plan tekniğinde 3 gantri açısının zamana göre düzgünlük ve simetri değerlerinin değişiminin 7.ölçümünden alınan örnek rapor görüntüsü



Şekil 2.1. 6 MV enerjide dinamik plan için IEC-y yönünde düzgünlük ve simetri değerlerinin gösterildiği 5.ölçümden alınan örnek rapor görüntüsü

Analiz yönteminde düzgünlük hesabı yapılırken kullanılan formül hesabı,

$$FLAT= 100. \frac{MX-MN}{MX+MN}$$

şeklindedir. Buradaki MX, profildeki maksimum dozdur. MN ise minimum dozdur.

Simetri için ise Arccheck'in x ve y eksenleri boyunca hesaplanabilir. Y eksenini boyunca simetri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$SYM= 100. \max \left\{ \frac{\max \{D_{CAX-j}, D_{CAX+j}\}}{\min \{D_{CAX-j}, D_{CAX+j}\}} - 1 \right\} ; \text{ tüm simetrik dedektörler için } (\pm j$$

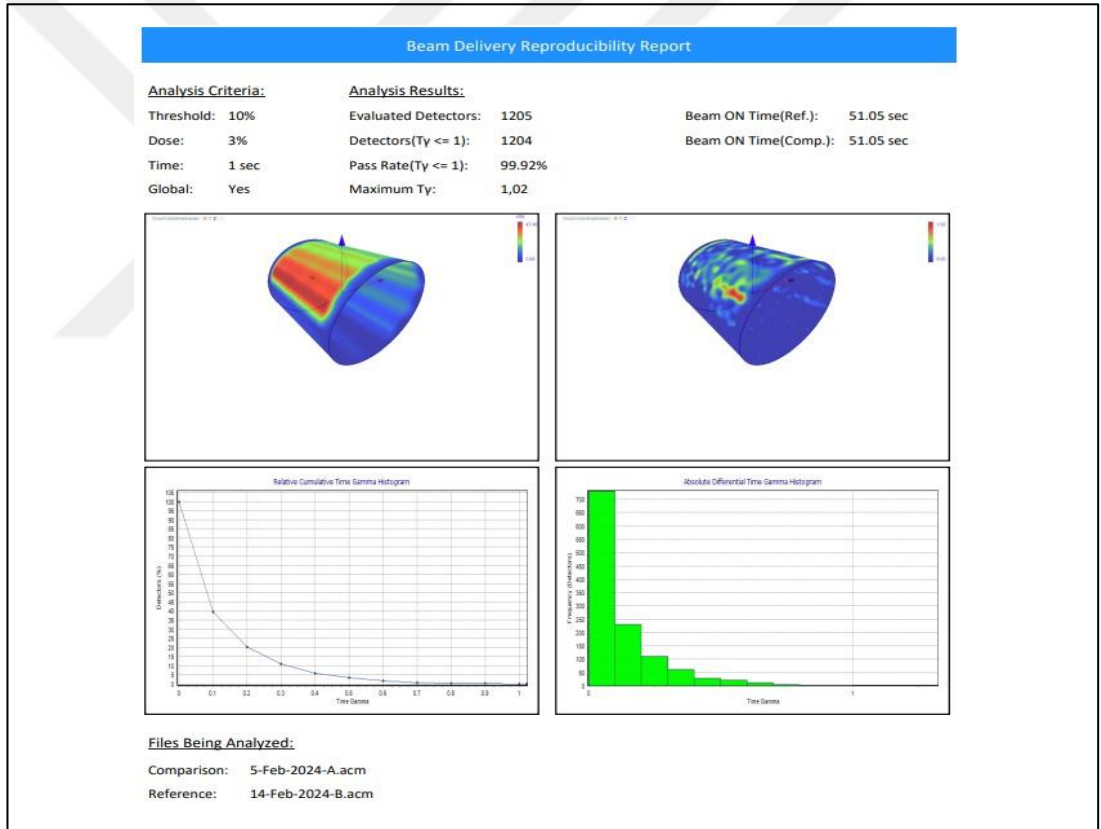
indeksinde) bu formül ile hesaplanır. D_{CAX+j} , CAX dedektöründen gelen j.inci dedektörün dozudur. Arccheck'in x eksenini boyunca simetrisini hesaplamak için daha fazla nokta gerekir. Bunun için de geliştirilmiş bir simetri denklemi kullanarak yarı alan simetrisini gerçekleştirir.

$$SYM= \text{median} \left\{ \max_i \left\{ \frac{\max \{D_{i,CAX-j}, D_{i,CAX+j}\}}{\min \{D_{i,CAX-j}, D_{i,CAX+j}\}} - 1 \right\} \right\}$$

Bu formül, i'nin Y yönünde -3 cm'den +3 cm'ye kadar ulaştığı yeri açıklar.

3.2.5 Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile ışının tekrarlanabilirliğinin ölçülmesi

Bu çalışmada 3 ay süre zarfında Arccheck ve MPC ile 15 ölçüm alınmıştır. Varian Truebeam cihazında Arccheck fantom ile yapılacak mekanik kalite kontrol testleri, Eclipse versiyon 13.6 tedavi planlama sisteminde planlar oluşturulmuştur. SNC Patient yazılımıyla elde edilen ışının tekrarlanabilirliği testi ölçüm analiz raporu aşağıda Şekil 3'te verilmiştir



Şekil 3. Karşılaştırma ve referans panellerinin karşılaştırma sonrası ışının tekrarlanabilirliğinin ve zaman gama histogramının gösterildiği 1. ölçümden alınan örnek rapor görüntüsü

Raporda, karşılaştırma ve referans ölçüm dosya adlarını, analiz sonuçlarını, karşılaştırma ve referans panelleri ile grafik ve histogram panellerinin görüntüleri görüntülenmiştir. Analiz kriterinde tolerans değeri %10, doz farkı kriteri %3 ve analiz

sırasında kullanılan zaman toleransı kriteri, saniye cinsinden tanımlanan mutlak değer olarak 1 saniye olarak seçilmiştir. Global sekmesi etkinleştirildiğinde analiz, normalizasyon dozu olarak referans verilerden maksimum doz değerini kullanır. Seçenek devre dışarı bırakıldığında analiz, normalizasyon dozu olarak referans ölçümünde analiz edilen noktadaki dozu kullanır.

Analiz sonuçlarında; sınırın üzerinde bir doza sahip olan dedektörlerin sayısı, $T_Y \leq 1$ (zaman gama değeri 1'e eşit veya 1'den küçük değere sahip olan dedektörlerin sayısı), geçiş oranı $T_Y \leq 1$ (doza ilişkin zaman gama indeksi analizi geçiş oranı yüzdesi), maksimum T_Y (zaman gama analizinden maksimum T_Y), referans ışıın (referans ölçümündeki toplam ışınlama süresi), karşılaştırma ışıın (karşılaştırma ölçümündeki toplam ışınlama süresi) yer almıştır. Şekil 3'te analiz sonuçlarında yer alan geçme oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$\text{Pass rate } (T_Y \leq 1) = \frac{\text{Detectos } (T_Y \leq 1)}{\text{Evaluated Detectors}} \times \%100 ;$$

$$\text{Pass rate } (T_Y \leq 1) = 1204/1205 \times \%100$$

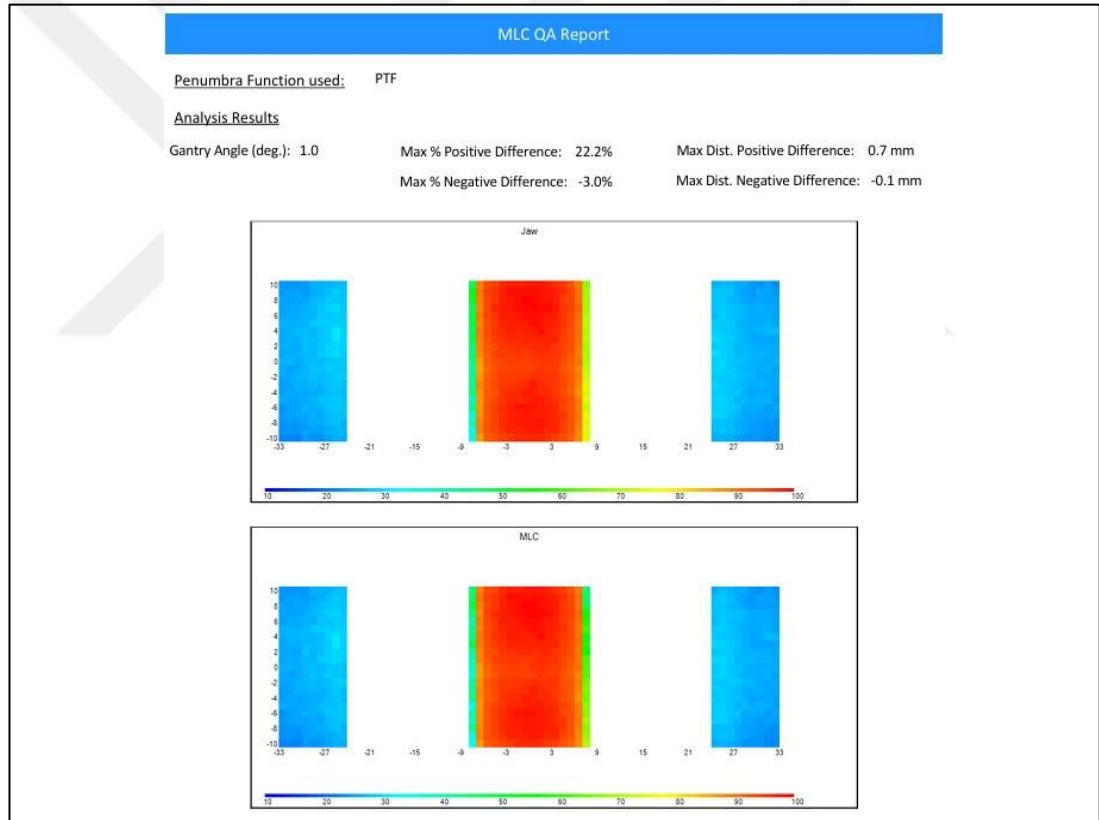
$$\text{Pass rate } (T_Y \leq 1) = \%99.92$$

3.2.6 Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazda Arccheck fantomu ile çok yapraklı kolimatör (ÇYK)/kolimatör konumlarının değişiminin ölçülmesi

Bu çalışmada 3 ay süre zarfında Arccheck fantom ile 15 ölçüm alınmıştır. Varian Truebeam cihazında Arccheck fantom ile yapılacak mekanik kalite kontrol testleri, Eclipse versiyon 13.6 tedavi planlama sisteminde, Sun Nuclear Arccheck ürün kullanım kılavuzunda yer alan prosedürler referans alınarak, statik ve dinamik teknik kullanarak planlar oluşturulmuştur.

Statik teknikte çok yapraklı kolimatör/kolimatör kalite kontrol testi, 6 MV foton enerjisinde, 0° gantri ve kolimatör açıları, doz hızı 100 MU ve toplam 8 alan boyutu (1.6cmx1.6cm, 2.7cmx2.7cm, 3.8cmx3.8cm, 4.8cmx4.8cm, 5.7cmx5.7cm, 6.6cmx6.6cm, 7.4cmx7.4cm, 8.1cmx8.1cm) için planlar hazırlanmıştır. Bu alan

boyutlarına göre planlar; örneğin 1.6 cm için kolimatör hareketli, çok yapraklı kolimatör (ÇYK) açık durumda, diğer 1.6 cm için ise bu defa ÇYK hareketli, kolimatör açık durumda olacak şekilde oluşturulmuştur. Diğer alan boyutları için de aynı işlem adımı uygulanmıştır. Dinamik teknikte ÇYK/kolimatör testi planı, 6 MV foton enerjisinde, tek ark tam tur dönmeli 179°-181° derecede, 0° derece kolimatör açısında, statik planda olduğu gibi toplam 8 alan boyutunda (1.6cmx1.6cm, 2.7cmx2.7cm, 3.2cmx3.2cm, 4.8cmx4.8cm, 5.7cmx5.7cm, 6.6cmx6.6cm, 7.4cmx7.4cm, 8.1cmx8.1cm) biri kolimatörlü diğeri ÇYK’li plan hazırlanmış şekilde ve doz hızı 1200 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. SNC Patient yazılımıyla elde edilen çok yapraklı kolimatör(ÇYK)/kolimatör testi ölçüm analiz raporu Şekil 4’te verilmiştir.

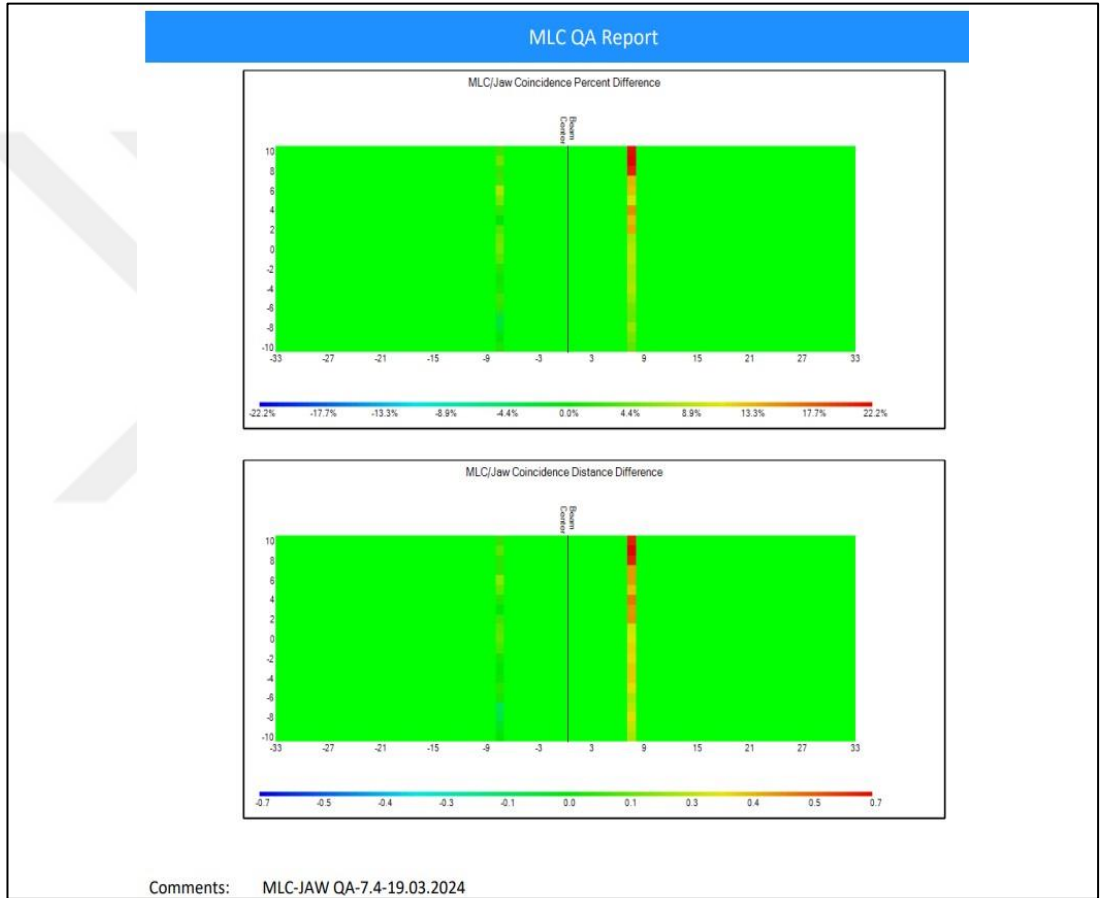


Şekil 4. ÇYK/kolimatör kalite kontrol testinin 10.ölçümden alınan örnek rapor görüntüsü

Şekil 4’te kolimatör ve ÇYK testinin örnek sonuç raporu gösterilmiştir. Kiriş kenarları üst üste binmektedir. Dikey çizgiler, ışın kenarı çakışmasını gösterir. ÇYK’ye karşılık gelen kolimatör, sıfıra yakın yeşil renkte görülmektedir. Bu da iyi

hizalandığı anlamına gelmektedir. Eğer varyasyon sıfırdan büyük ise renk, sarı veya kırmızıya döner.

Bu testte lif bankları konumları ve jaw konumları arasındaki farklar analiz edilmiştir. Ölçüm anında kolimatörler belirtilen konuma hareket ettirilir, bu aşamada çok yapraklı kolimatör (ÇYK) tamamen açık durumdadır. İkinci ölçümde ise, bu defa kolimatörler tamamen açık duruma getirilip yalnızca ÇYK lif bankları kullanılır.



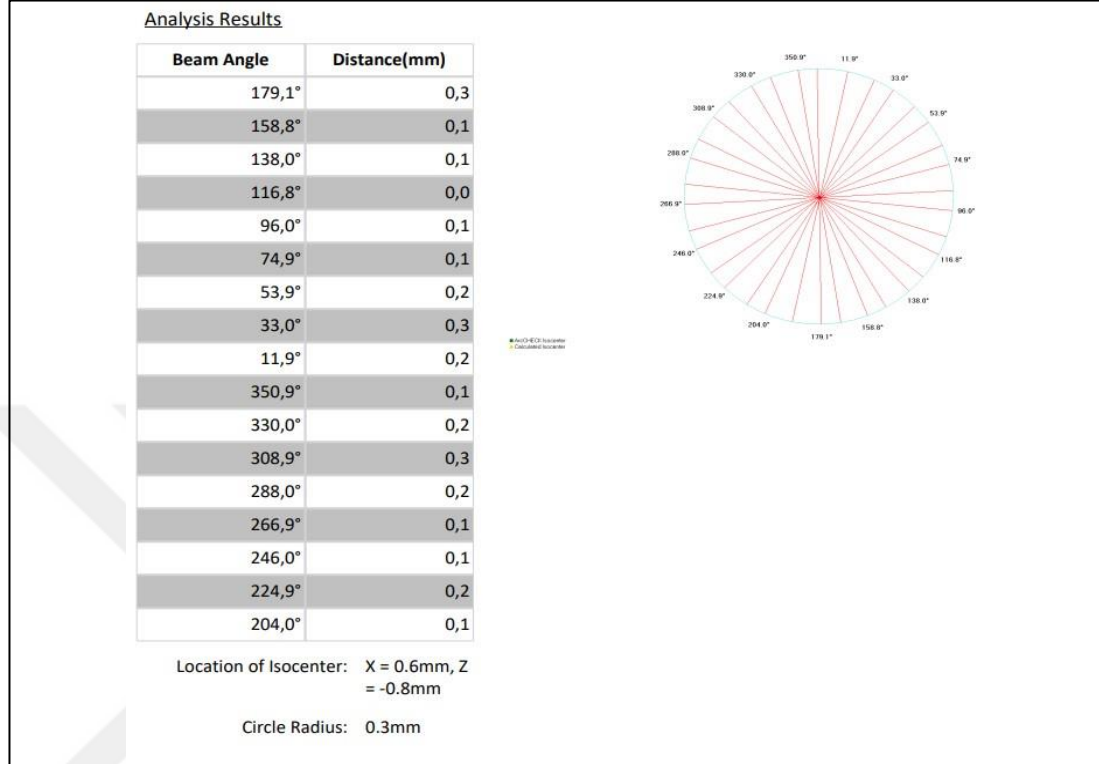
Şekil 4.1. Çok yapraklı kolimatör (ÇYK)/Kolimatör kalite kontrol raporu örneği

Şekil 4.1’de kolimatör ve ÇYK örtüşme farkı grafiği görüntülenmiştir. Analiz, hem kolimatör hem de ÇYK olmak üzere her iki ölçümü okur ve bunları maksimum değerlerine göre normalleştirir.

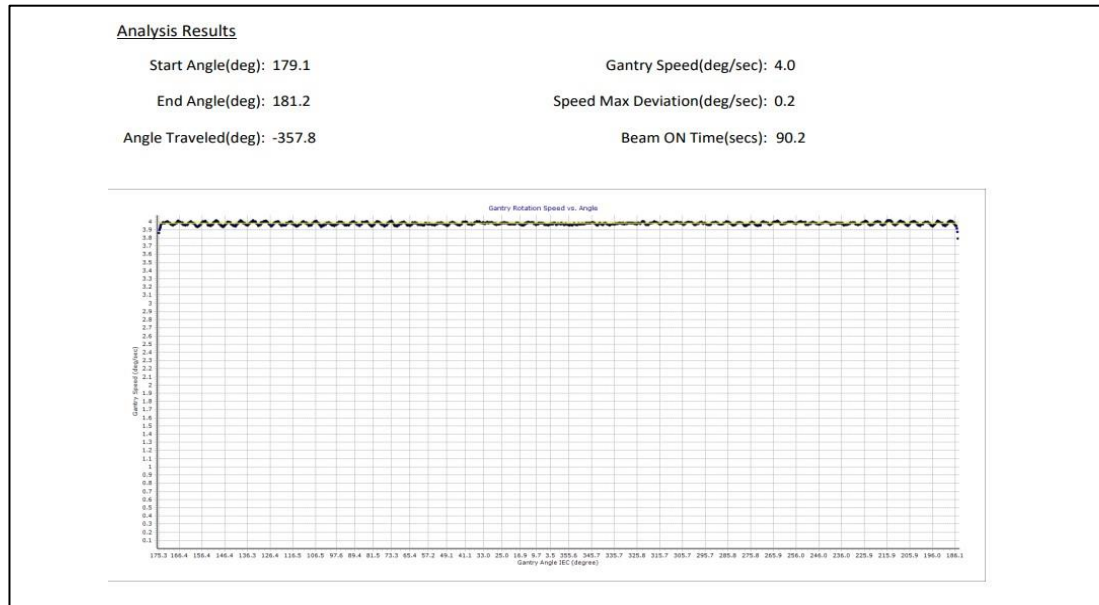
3.2.7 Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile gantri açısı, dönüşü ve hızının ölçülmesi

Bu çalışmada 3 ay süre zarfında Arccheck fantom ve MPC ile 15 ölçüm alınmıştır. Varian Ethos cihazında Arccheck fantom ile yapılacak mekanik kalite kontrol testleri, Ethos tedavi planlama sisteminde, Sun Nuclear Arccheck ürün kullanım kılavuzunda yer alan prosedürler referans alınarak, statik ve dinamik teknik kullanarak planlar oluşturulmuştur. Statik teknikte gantri kalite kontrol testi planı; 6 FFF MV foton enerjisinde, 45'er derecelik açıyla toplam 8 gantri açısında (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315°), 9° derece kolimatör açısında, $X=1$ cm ve $Y=25$ cm alan boyutunda ve doz hızı 100 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. Dinamik teknikte gantri kalite kontrol testi planı; 6 FFF MV foton enerjisinde, tek ark tam tur dönmeli 179° - 181° derecede, 9° derece kolimatör açısında, $X=1$ cm ve $Y=25$ cm alan boyutunda ve doz hızı 1200 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan planlar optimizasyonda hesaplatılıp Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazına veriler aktarılmıştır. Ölçümde kullanılan Arccheck fantomunun kurulumu, dış lazere göre her 3 ekseninde (dikey, yanal ve boylamsal) lazerlerin ve Arccheck fantomun üzerindeki çapraz kılın üst üste geleceği şekilde yapılmıştır. Kurulumdan sonra statik teknikte gantri planının ışınlaması işlemi, toplam 8 gantri açısı için ölçüm durdurulmadan yapılmıştır ve ışınlama bittikten sonra SNC Patient yazılımında veriler dosyalar halinde saklanmıştır, analiz sonucu raporu kaydedilmiştir. Dinamik teknikte de aynı işlem adımları uygulanmıştır, veriler SNC Patient yazılımında kaydedilmiştir ve analiz edilip sonuç raporu kaydedilmiştir. Arccheck fantom ile ölçüm işlemleri bittikten sonra akabinde Isocal fantom ile MPC test ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Cihazda Isocal fantomun kurulumu otomatik gerçekleşir, Varian Truebeam lineer hızlandırıcıdaki gibi manuel değildir. Tedavi konsol odasında MPC ekranı açıldıktan sonra, Isocal fantomun hızlı ve otomatik olarak kurulması için cihazda bulunan hareket tuşunda mavi ışık yanar. Mavi ışık sönene kadar basılı tutulur ve Isocal fantom otomatik şekilde her 3 eksene (yanal, dikey ve boylamsal) uygun şekilde yerleşir. MPC sistemi, Varian Ethos lineer hızlandırıcıya entegre bir sistem olarak geldiği için ölçümler otomatik olarak gerçekleşmiştir. Ölçüm bittikten sonra ölçülen parametreler, geçti ya da başarısız simge şeklinde ekranda görüntülenmiştir. SNC Patient yazılımıyla elde edilen dinamik

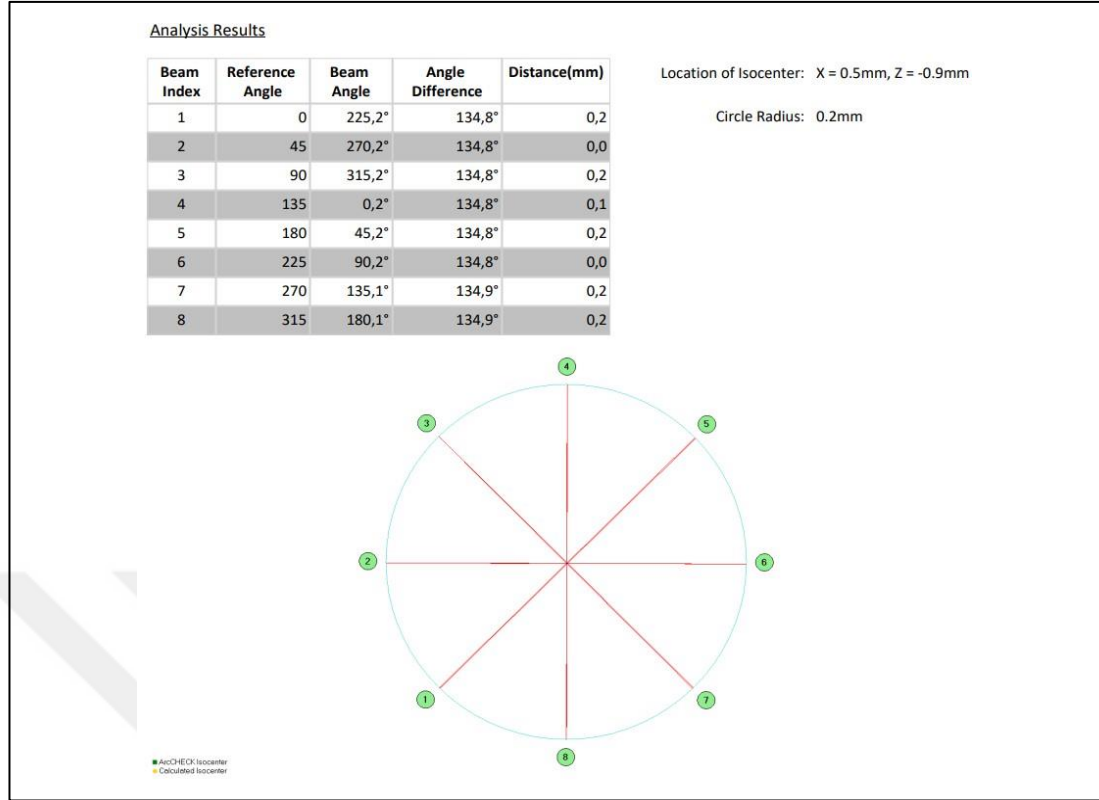
ve statik teknikte ışınlanan gantri testi ölçüm analiz raporu aşağıda Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. 1. ölçümden alınan gantri dinamik testinin örnek rapor görüntüsü



Şekil 5.1. 5.ölçümden alınan gantri dinamik testinde gantri hızının, maksimum hız sapmasının ve ışınlama süresini gösteren örnek rapor görüntüsü



Şekil 5.1.1. 10.ölçümden alınan gantri statik testinin örnek rapor görüntüsü

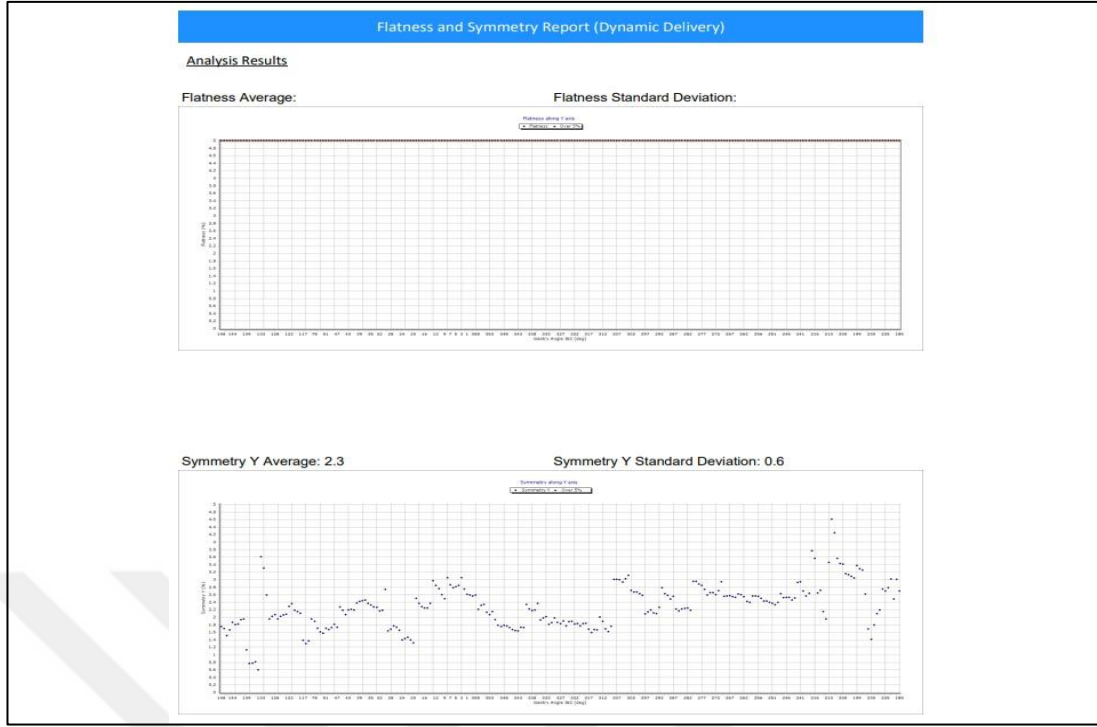
3.2.8 Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile düzgünlük ve simetri değişiminin ölçülmesi

Bu çalışmada 3 ay süre zarfında Arccheck ve MPC ile 15 ölçüm alınmıştır. Varian Ethos cihazında Arccheck fantom ile yapılacak mekanik kalite kontrol testleri, Ethos tedavi planlama sisteminde, Sun Nuclear Arccheck ürün kullanım kılavuzunda yer alan prosedürler referans alınarak, statik ve dinamik teknik kullanarak planlar oluşturulmuştur. Dinamik teknikte düzgünlük ve simetri kalite kontrol testi planı, X=25 cm ve Y=25 cm alan boyutunda, tek ark tam tur dönmeli 179°-181° derecede, 0° derece kolimatör açısında, 6 FFF foton enerjilerinde ve doz hızı 1200 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. Statik teknikte düzgünlük ve simetri kalite kontrol testi planı, X=25 cm ve Y=25 cm alan boyutunda, 3 farklı gantri açısında (0°, 90°, 270°), 0° derece kolimatör açısında, 6 FFF MV foton enerjilerinde ve doz hızı 100 MU olacak şekilde hazırlanmıştır. Dinamik plan için ölçüm bitiminde SNC Patient yazılımında durdur sekmesine basıldı, veriler dosyalar halinde saklandı ve yazılımın araçlar

sekmesinde makine kalite kontrol testi ölçüm sonucunun analiz raporu kaydedilmiştir. Statik planda ise 3 farklı gantri açısı ile ışınlama yaparken ölçüm durdurulmadan ışınlanmıştır ve ışınlama bittikten sonra SNC Patient yazılımında veriler dosyalar halinde saklanmıştır, analiz sonucu raporu kaydedilmiştir. Dinamik teknikte de aynı işlem adımları uygulanmıştır, veriler SNC Patient yazılımında kaydedilmiştir ve analiz edilip sonuç raporu kaydedilmiştir. Arccheck fantom ile ölçüm işlemleri bittikten sonra akabinde Isocal fantom ile MPC testleri yapılmıştır. SNC Patient yazılımıyla elde edilen statik teknikte ışınlanan düzgünlük ve simetri testi ölçüm analiz raporu aşağıda Şekil 6’da verilmiştir.



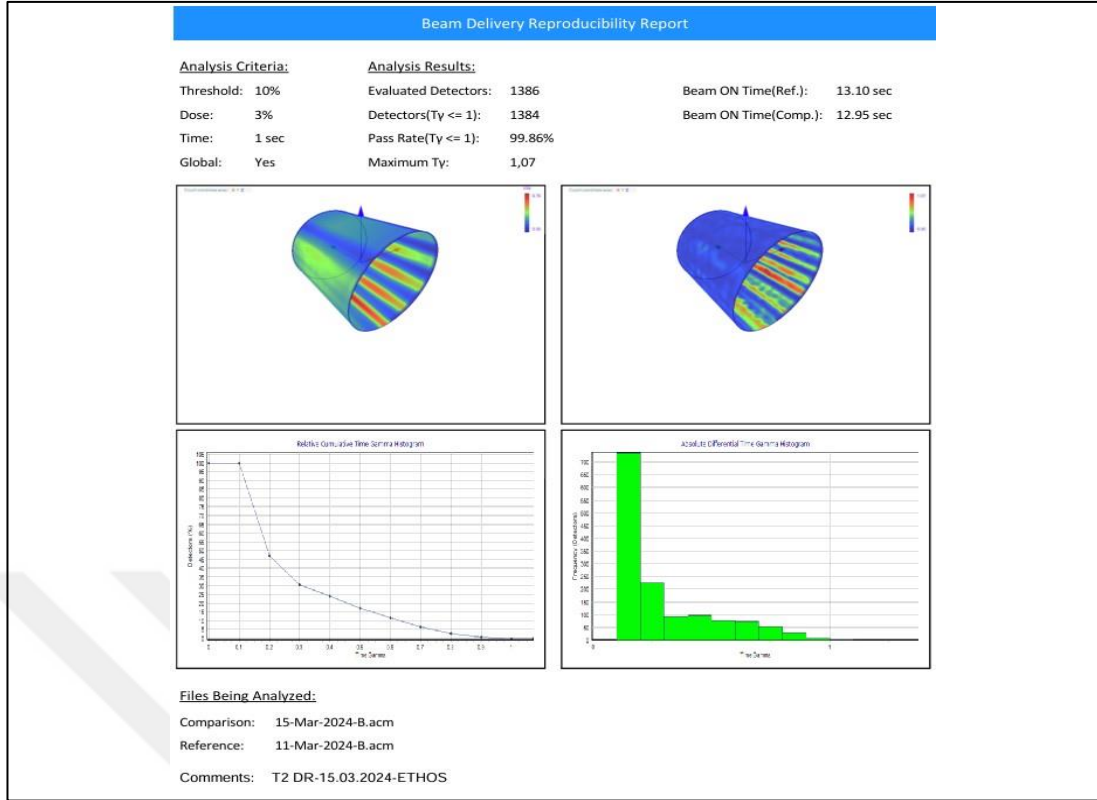
Şekil 6. 6 FFF MV enerjide statik teknikte düzgünlük ve simetri testinin 6.ölçümden elde edilen rapor görüntüsü



Şekil 6.1. 6 FFF MV enerjide dinamik plan için IEC-y yönünde düzgünlük ve simetri testinin 13. ölçümden alınan rapor görüntüsü

3.2.9 Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantomu ile ışının tekrarlanabilirliğinin ölçülmesi

Bu çalışmada 3 ay süre zarfında Arccheck ve MPC ile 15 ölçüm alınmıştır. Varian Ethos cihazında Arccheck fantom ile yapılacak mekanik kalite kontrol testleri, Ethos tedavi planlama sisteminde planlar oluşturulmuştur. SNC Patient yazılımıyla elde edilen ışının tekrarlanabilirliği testi ölçüm analiz raporu aşağıda Şekil 7’de verilmiştir.



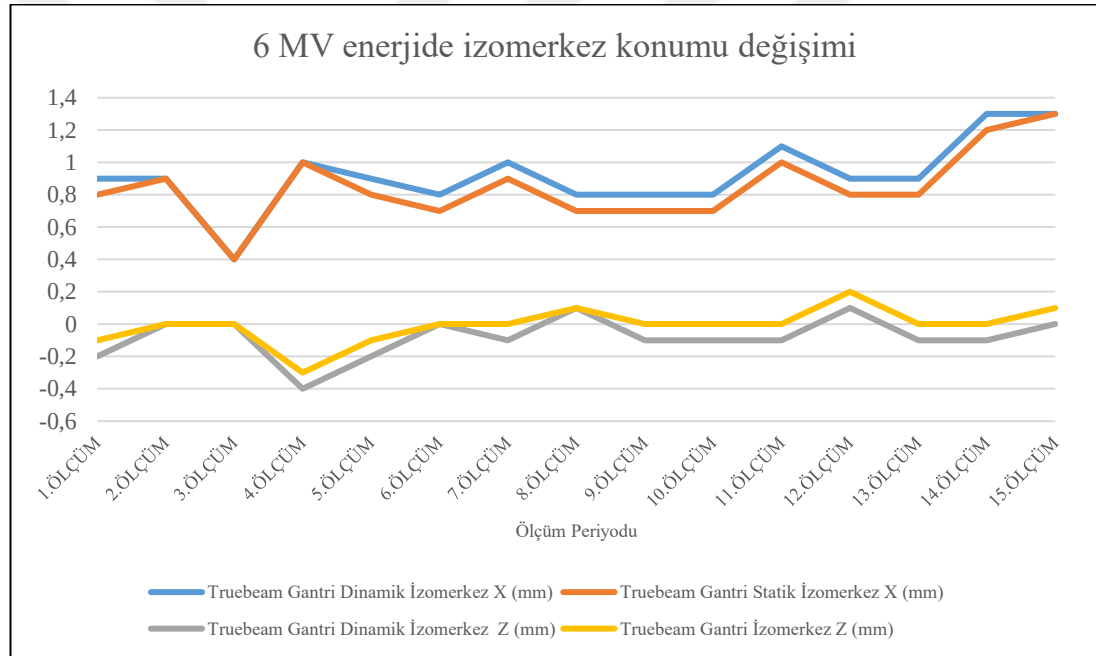
Şekil 7. Karşılaştırma ve referans panellerinin karşılaştırma sonrası ışının tekrarlanabilirliğinin ve zaman gama histogramının gösterildiği 8.ölçümden alınan örnek rapor görüntüsü

Bu test, aynı kalite kontrol planı için ölçülen ancak farklı zamanlarda toplanan iki ışını (referans ışın ve karşılaştırma ışını) karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma, tedavinin zaman içindeki stabilitesine ilişkin kalite kontrol testi sağlamıştır. Şekil 7'deki raporda, karşılaştırma ve referans ölçüm dosya adları, analiz sonuçları, karşılaştırma ve referans panelleri ile grafik ve histogram panellerinin görüntüleri verilmiştir. Yazılım, her iki ölçümde de ışınlama süresinin aynı olduğunu varsayar. Hesaplamalarda ölçüm süresinin tamamı değil, yalnızca ışınlama süresi dikkate alınmıştır. Her dedektördeki doz, zamanın bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Işın verilmeden önce arka plan verileri mevcuttur. İlk ışınlama süresinin her ölçüm için biraz farklı olması muhtemeldir. Veriler, ilk ışınlama süresiyle senkronize edilmiştir.

4 BULGULAR

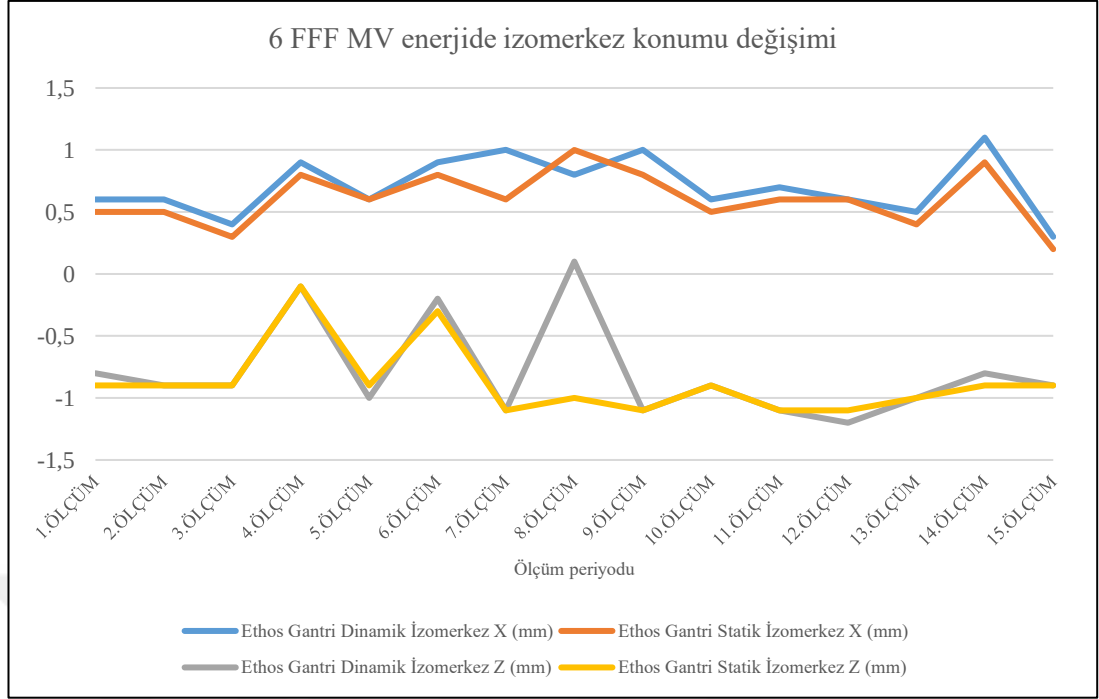
4.1 Varian Truebeam ve Varian Ethos Lineer Hızlandırıcılarda Arccheck ve MPC Arasında İzomerkez Konumu ve Işın Merkezi Değişiminin Karşılaştırılması

Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazda Arccheck fantom ile yapılan dinamik ve statik teknikle hazırlanan gantri kalite kontrol testinin 3 aylık sürede toplam 15 ölçümün ortalaması alınarak izomerkez konumu değerlerinin değişimi, aşağıda Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. 6 MV enerjide Varian Truebeam cihazında Arccheck fantomu ile izomerkez konumlarının ölçüm zamanına göre değişimi

Varian Truebeam cihazında 6 MV enerji ile alınan ölçümlerin zamana göre izomerkez konumu değişimi incelendiğinde, 15 ölçümün ortalaması alınarak gantri dinamik ve statik testin x izomerkez konumu değeri sırasıyla 0.92 mm ve 0.84 mm bulunmuştur. Gantry dinamik ve statik teknikteki x izomerkez konumlarının ± 1 mm dahilinde olduğu kabul kriterlerine uyduğu bulunmuştur.



Şekil 8.1. 6 FFF MV enerjide Varian Ethos cihazında Arccheck fantomu ile izomerkez konumlarının ölçüm zamanına göre değişimi

Varian Ethos cihazında 6 FFF MV enerji ile alınan ölçümlerin zamana göre izomerkez konumu değişimi incelendiğinde, 15 ölçümün ortalaması alınarak gantri dinamik ve statik testin x izomerkez konumu değeri sırasıyla 0.70 mm ve 0.60 mm bulunmuştur.

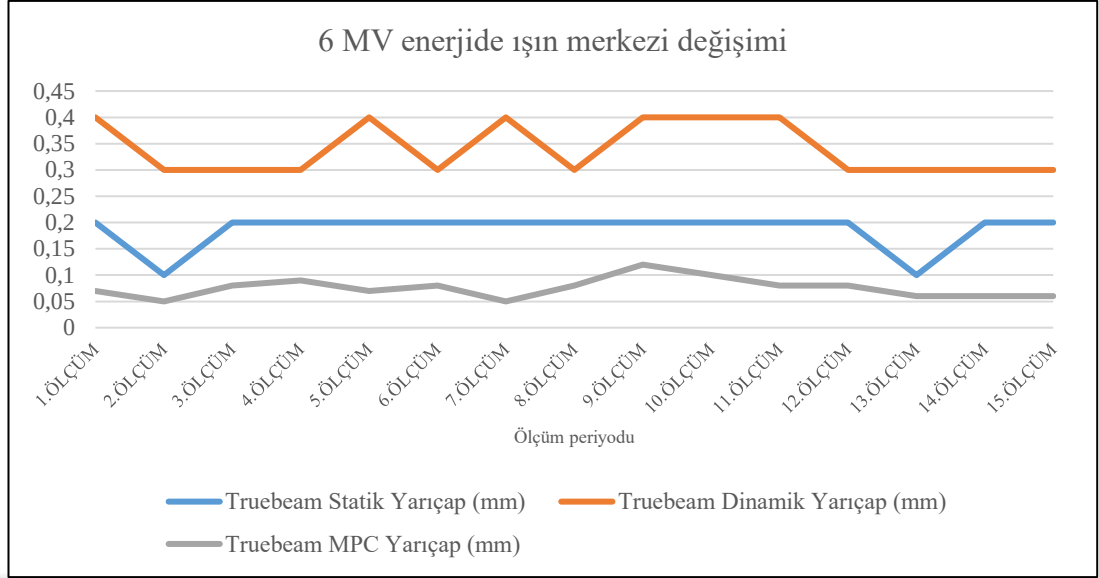
Bu ölçüm sonucu da ± 1 mm tolerans limiti içindedir. Varian Truebeam ve Varian Ethos cihazındaki dinamik ve statik teknikteki gantri x izomerkez konumu sonuçlarının birbirine benzer şekilde değiştiği ve birbiriyle uyumlu olduğu görölmüştür.

Her iki lineer hızlandırıcıda 6 MV ve 6 FFF MV enerjide statik ve dinamik teknikte hazırlanan gantri kalite kontrol testi x izomerkez konumlarının ölçüm zamanına göre sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Varian Truebeam ve Varian Ethos lineer hızlandırıcılarda statik ve dinamik teknikte gantri kalite kontrol testinin ölçüm zamanına göre x izomerkez konumu değişimi

Ölçüm Periyodu	Varian Truebeam (6 MV enerji)		Varian Ethos (6 FFF MV enerji)	
	Gantri Dinamik İzomerkez X (mm)	Gantri Statik İzomerkez X (mm)	Gantri Dinamik İzomerkez X (mm)	Gantri Statik İzomerkez X (mm)
1.ÖLÇÜM	0.9	0.8	0.6	0.5
2.ÖLÇÜM	0.9	0.9	0.6	0.5
3.ÖLÇÜM	0.4	0.4	0.4	0.3
4.ÖLÇÜM	1	1	0.9	0.8
5.ÖLÇÜM	0.9	0.8	0.6	0.6
6.ÖLÇÜM	0.8	0.7	0.9	0.8
7.ÖLÇÜM	1	0.9	1	0.6
8.ÖLÇÜM	0.8	0.7	0.8	1
9.ÖLÇÜM	0.8	0.7	1	0.8
10.ÖLÇÜM	0.8	0.7	0.6	0.5
11.ÖLÇÜM	1.1	1	0.7	0.6
12.ÖLÇÜM	0.9	0.8	0.6	0.6
13.ÖLÇÜM	0.9	0.8	0.5	0.4
14.ÖLÇÜM	1.3	1.2	1.1	0.9
15.ÖLÇÜM	1.3	1.3	0.3	0.2

Tablo incelendiğinde Varian Truebeam cihazında 11., 14. ve 15.ölçüm sonucunun 1 mm üzerinde çıktığı görülmüştür, bunun sebebi Arccheck fantomun kurulumundaki belirsizlikten kaynaklı olabilir. Arccheck ve MPC sisteminin 15 ölçüm zamanına göre ışın merkezi değişiminin birbiriyle karşılaştırılması aşağıda Şekil 8.1.2’de verilmiştir.



Şekil 8.1.1. Arccheck ve MPC sistemleri için 6 MV enerjide ışın merkezinin 15 ölçüm zamanına göre değişimi

Yukarıdaki grafikte zamana göre ışın merkezi değişimi incelendiğinde, Arccheck ve MPC'nin birbirine yakın yönde değiştiği görülmektedir. Varian Truebeam cihazında Arccheck fantom ile 3 aylık süre zarfında alınan 15 ölçümde statik ve dinamik yarıçaplarının ortalamaları sırasıyla 0.18 mm ve 0.34 mm bulunmuştur. Truebeam MPC yarıçap ortalaması ise 0.07 mm bulunmuştur. Arccheck ve MPC olmak üzere her iki ölçüm sisteminin sonucu ± 0.50 mm tolerans limitinin içinde olduğu ve birbirine uygun olduğu bulunmuştur. Arccheck ve MPC ile yapılan bu ölçüm sonuçlarının karşılaştırması aşağıda Tablo 1.1'de özetlenmiştir.

Tablo 1.1. Arccheck ve MPC sistemleri için 6 MV enerjide ışın merkezinin 15 ölçüm zamanına göre değişimi

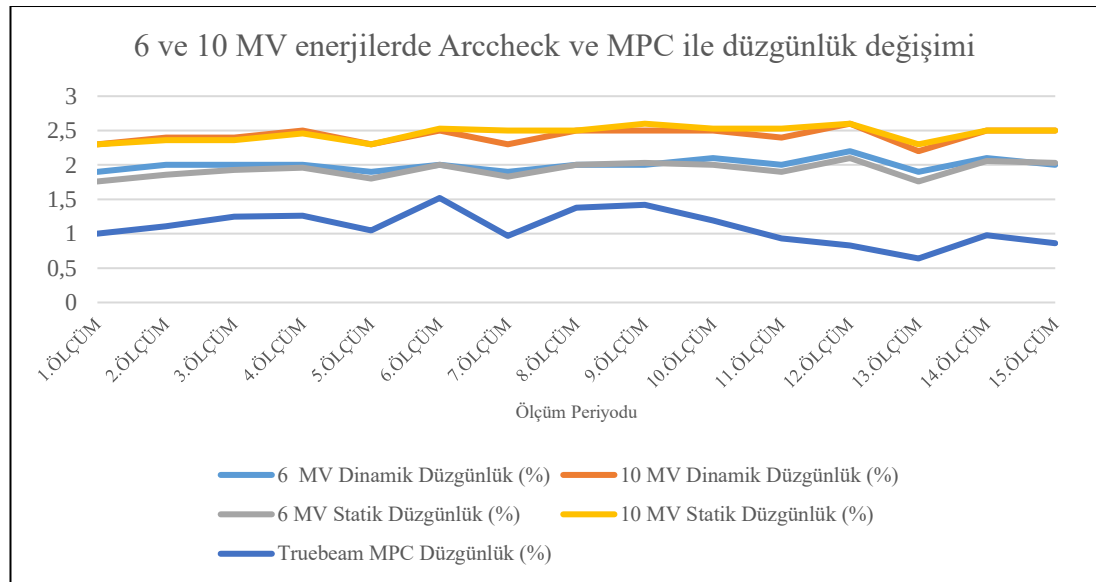
Ölçüm periyodu	Arccheck Statik Yarıçap (mm)	Arccheck Dinamik Yarıçap (mm)	Truebeam MPC (mm)
1.ÖLÇÜM	0.2	0.4	0.07
2.ÖLÇÜM	0.1	0.3	0.05
3.ÖLÇÜM	0.2	0.3	0.08
4.ÖLÇÜM	0.2	0.3	0.09
5.ÖLÇÜM	0.2	0.4	0.07
6.ÖLÇÜM	0.2	0.3	0.08
7.ÖLÇÜM	0.2	0.4	0.05

Tablo 1.1. Arccheck ve MPC sistemleri için 6 MV enerjide ışın merkezinin 15 ölçüm zamanına göre değişimi (devam)

Ölçüm periyodu	Arccheck Statik Yarıçap (mm)	Arccheck Dinamik Yarıçap (mm)	Truebeam MPC (mm)
8.ÖLÇÜM	0.2	0.3	0.08
9.ÖLÇÜM	0.2	0.4	0.12
10.ÖLÇÜM	0.2	0.4	0.1
11.ÖLÇÜM	0.2	0.4	0.08
12.ÖLÇÜM	0.2	0.3	0.08
13.ÖLÇÜM	0.1	0.3	0.06
14.ÖLÇÜM	0.2	0.3	0.06
15.ÖLÇÜM	0.2	0.3	0.06

4.2 Varian Truebeam ve Varian Ethos Lineer Hızlandırıcılarda Düzgünlük ve Simetri Değişiminin Karşılaştırılması

Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazda Arccheck fantom ile yapılan dinamik ve statik teknikle hazırlanan düzgünlük ve simetri testinin 3 aylık sürede toplam 15 ölçümün ortalaması alınarak düzgünlük değerlerinin değişimi, aşağıda Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjilerinde Arccheck ve MPC ile zamana göre düzgünlük değişimi

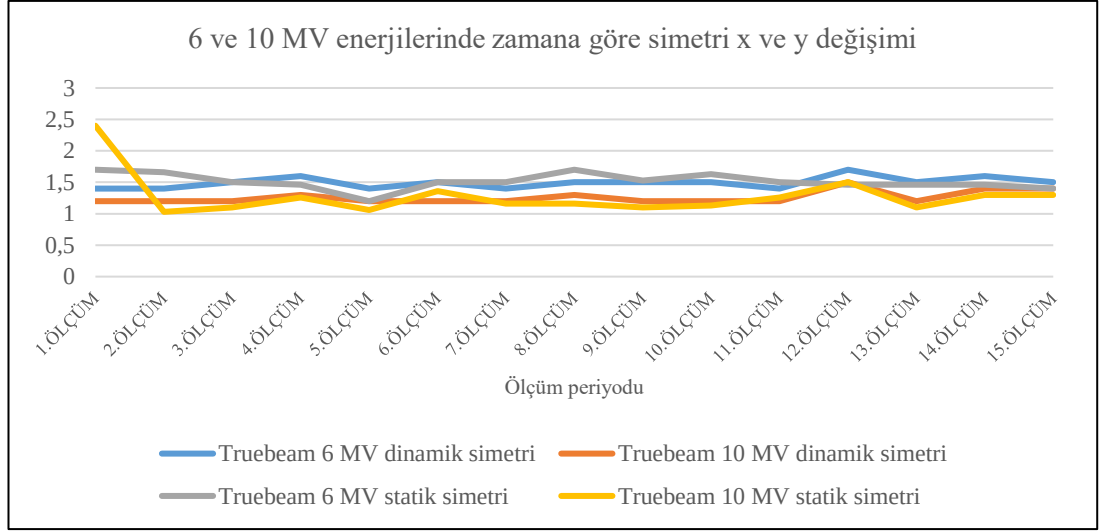
Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjide dinamik plan için ortalama düzgünlük değerleri sırasıyla %2 ve %2.42 bulundu. Bu değerler, %3'lük hata toleransının içindedir. Statik planda ise ortalama düzgünlük değeri 6 ve 10 MV enerji için sırasıyla %1.93 ve %2.45 bulundu. Bu değerler de kabul kriterine uygundur. Truebeam MPC ile yapılan düzgünlük testi ortalaması değeri %1.09 bulunmuştur. MPC sisteminin tolerans değeri olan %2'lik kabul değerinin içinde olduğu görülmüştür. Şekil 9'daki zamana göre değişimlere bakıldığında Arccheck fantom ile yapılan ölçümlerin stabil olduğu anlaşılmıştır.

Varian Truebeam lineer hızlandırıcıda 6 MV ve 10 MV enerjilerinde statik ve dinamik teknikte hazırlanan düzgünlük testinin ölçüm zamanına göre sonuçları Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Varian Trubeam cihazında 6 ve 10 MV enerjilerinde dinamik ve statik plan tekniğinin zamana göre düzgünlük değişimi

Ölçüm periyodu	6 MV Düzgünlük (%)		10 MV Düzgünlük (%)	
	Dinamik	Statik	Dinamik	Statik
1.ÖLÇÜM	1.9	1.76	2.3	2.3
2.ÖLÇÜM	2	1.86	2.4	2.36
3.ÖLÇÜM	2	1.93	2.4	2.36
4.ÖLÇÜM	2	1.96	2.5	2.46
5.ÖLÇÜM	1.9	1.8	2.3	2.3
6.ÖLÇÜM	2	2	2.5	2.53
7.ÖLÇÜM	1.9	1.83	2.3	2.5
8.ÖLÇÜM	2	2	2.5	2.5
9.ÖLÇÜM	2	2.03	2.5	2.6
10.ÖLÇÜM	2.1	2	2.5	2.53
11.ÖLÇÜM	2	1.9	2.4	2.53
12.ÖLÇÜM	2.2	2.1	2.6	2.6
13.ÖLÇÜM	1.9	1.76	2.2	2.3
14.ÖLÇÜM	2.1	2.06	2.5	2.5
15.ÖLÇÜM	2	2.03	2.5	2.5

Arccheck fantom ile 3 aylık sürede toplam 15 ölçümün ortalaması alınarak simetri değerlerinin değişimi, aşağıda Şekil 9.1'de verilmiştir.



Şekil 9.1. Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjilerinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri x ve y değişimi

Tablo 2.1. Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjilerinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri değişimi

Ölçüm periyodu	6 MV Simetri (%)		10 MV Simetri (%)	
	Dinamik	Statik	Dinamik	Statik
1.ÖLÇÜM	1.4	1.7	1.2	2.4
2.ÖLÇÜM	1.4	1.66	1.2	1.03
3.ÖLÇÜM	1.5	1.5	1.2	1.1
4.ÖLÇÜM	1.6	1.46	1.3	1.26
5.ÖLÇÜM	1.4	1.2	1.2	1.06
6.ÖLÇÜM	1.5	1.5	1.2	1.36
7.ÖLÇÜM	1.4	1.5	1.2	1.16
8.ÖLÇÜM	1.5	1.7	1.3	1.16
9.ÖLÇÜM	1.5	1.53	1.2	1.1
10.ÖLÇÜM	1.5	1.63	1.2	1.13
11.ÖLÇÜM	1.4	1.5	1.2	1.26
12.ÖLÇÜM	1.7	1.46	1.5	1.5
13.ÖLÇÜM	1.5	1.46	1.2	1.1
14.ÖLÇÜM	1.6	1.46	1.4	1.3
15.ÖLÇÜM	1.5	1.4	1.4	1.3

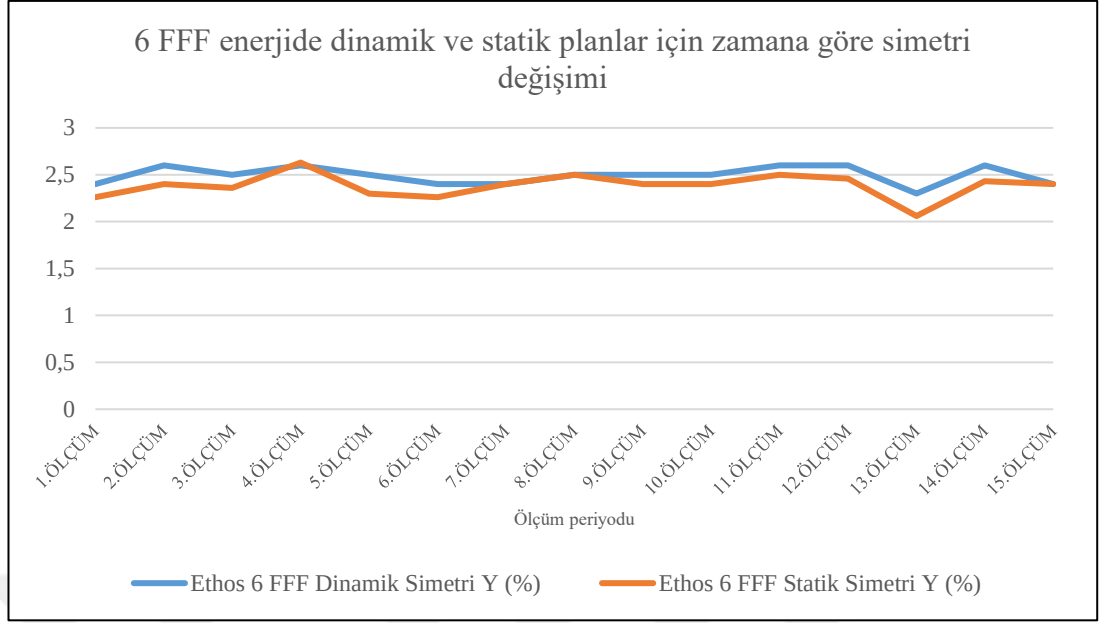
Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjide dinamik plan için ortalama simetri değerleri sırasıyla %1.49 ve %1.26 bulundu. Bu değerler, %3'lük hata toleransının içindedir. Statik planda ise ortalama simetri değerleri 6 ve 10 MV enerji

için sırasıyla %1.51 ve %1.28 bulundu. Bu değerler de kabul kriterine uygundur. Tüm ölçüm parametreleri %3'lük hata tolerans değerinin içindedir. 15 ölçüm boyunca statik teknikte hazırlanan düzgünlük simetri testinin 3 gantri açısında ölçülen düzgünlük ve simetri değerlerinin sonuçları Tablo 2.1.1'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1.1. 6 MV enerjide statik plan tekniğinde 3 gantri açısının zamana göre düzgünlük ve simetri değerlerinin değişiminin şematik gösterimi

Ölçüm periyodu	Düzgünlük (%)			Simetri X (%)			Simetri Y(%)		
	0°	90°	270°	0°	90°	270°	0°	90°	270°
1.ÖLÇÜM	1.7	1.7	1.9	2.5	1.2	1.4	1.1	0.9	1.8
2.ÖLÇÜM	2.0	1.7	1.9	2.4	1.1	1.5	1.4	1.0	1.9
3.ÖLÇÜM	2.0	1.8	2.0	2.3	1.2	1.0	1.8	1.3	1.4
4.ÖLÇÜM	2.0	1.9	2.0	2.1	0.9	1.4	1.5	1.4	2.0
5.ÖLÇÜM	1.8	1.8	1.9	2.0	1.1	1.5	1.4	1.3	1.6
6.ÖLÇÜM	2	1.9	2	2.1	1.0	1.4	1.6	1.3	1.8
7.ÖLÇÜM	1.9	1.7	1.9	2.5	1.1	1.3	1.4	1.2	1.9
8.ÖLÇÜM	2.2	1.8	2.0	2.3	1.3	1.6	1.9	1.3	1.9
9.ÖLÇÜM	2.2	1.8	2.1	2.4	1.2	1.4	1.7	1.2	1.7
10.ÖLÇÜM	2.2	1.8	2.0	2.3	1.0	1.2	1.8	1.2	1.9
11.ÖLÇÜM	1.9	1.8	1.9	1.9	1.1	1.3	1.5	1.3	1.7
12.ÖLÇÜM	2.3	2.0	2.0	2.8	1.5	1.4	1.4	1.2	1.8
13.ÖLÇÜM	1.8	1.7	1.8	2.6	1.2	1.3	1.2	1.4	1.8
14.ÖLÇÜM	2.3	2.0	1.9	2.3	1.2	1.6	1.5	1.3	1.6
15.ÖLÇÜM	2.3	1.9	1.9	2.6	1.2	1.5	1.4	1.2	1.6

Varian Ethos lineer hızlandırıcıda 6 FFF MV enerjisinde statik ve dinamik teknikte hazırlanan simetri testinin ölçüm zamanına göre sonuçları aşağıda Şekil 9.1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 9.1.1. Varian Ethos cihazında 6 FFF MV enerjisinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri y değişimi

Varian Ethos cihazında 6 FFF MV enerjide dinamik plan için ortalama simetri y değeri %2.49 bulundu. Bu değer, %3'lük hata toleransının içindedir. Statik planda ise ortalama simetri y değeri 6 FFF MV enerji için %2.38 bulundu. Bu değerler de kabul kriterine uygundur ve birbirine yakın değerler bulunmuştur. Şekil 9.1.1'de zamana göre değişimlerine bakıldığında Arccheck fantom ile yapılan dinamik ve statik teknikte simetri y değerlerinin oldukça stabil olduğu görülmüştür. Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında Arccheck fantom ile 3 ay sürede alınan toplam 15 ölçüm boyunca statik teknikte hazırlanan düzgünlük simetri testinin 3 gantri açısında ölçülen simetri y değerlerinin sonuçları aşağıda Tablo 2.1.2'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1.2. Varian Ethos cihazında 6 FFF MV enerjilerinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri y değişimi

Ölçüm Periyodu	Simetri Y (%)			
	Statik Plan			Dinamik Plan
	0°	90°	270°	
1.ÖLÇÜM	2.4	1.8	2.6	2.4
2.ÖLÇÜM	2.4	1.9	2.9	2.6
3.ÖLÇÜM	2.4	1.9	2.8	2.5

Tablo 2.1.2. Varian Ethos cihazında 6 FFF MV enerjilerinde dinamik ve statik plan için zamana göre simetri y değişimi (devam)

Ölçüm Periyodu	Simetri Y (%)			
	Statik Plan			Dinamik Plan
	0°	90°	270°	
4.ÖLÇÜM	2.7	2.3	2.9	2.6
5.ÖLÇÜM	2.4	1.7	2.8	2.5
6.ÖLÇÜM	2	2.1	2.7	2.4
7.ÖLÇÜM	2.4	2	2.6	2.4
8.ÖLÇÜM	2.5	2.2	2.7	2.5
9.ÖLÇÜM	2.5	1.9	2.8	2.5
10.ÖLÇÜM	2.4	2.1	2.6	2.5
11.ÖLÇÜM	2.6	2.1	2.8	2.6
12.ÖLÇÜM	2.5	2.1	2.8	2.6
13.ÖLÇÜM	2.1	1.6	2.5	2.3
14.ÖLÇÜM	2.5	2	2.8	2.6
15.ÖLÇÜM	2.4	2.2	2.5	2.4

Her iki test tekniğinde de simetri y değerlerinin ortalaması birbirine benzerdir ve %3'lük tolerans limiti içinde olduğundan uyumludur.

4.3 Varian Truebeam ve Varian Ethos Lineer Hızlandırıcılarda Işın Tekrarlanabilirliğinin Karşılaştırılması

Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazda Arccheck fantom ile yapılan dinamik ve statik teknikle hazırlanan ışın tekrarlanabilirliği testinin 3 aylık sürede toplam 15 ölçümün ortalaması alınarak ışınlama farkı sürelerinin değerlerinin değişimi, aşağıda Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Varian Truebeam lineer hızlandırıcıda karşılaştırma ve referans ışınların ölçüm zamanlarına göre ışınlama süreleri ve farklarının gösterimi

Ölçüm periyodu	Geçme oranı $T_y \leq 1$	Karşılaştırma ışını (sn)	Referans ışından farkı (sn)
1.ÖLÇÜM	99.92	51.05	0
2.ÖLÇÜM	100	51.00	0.05
3.ÖLÇÜM	100	51.00	0.05
4.ÖLÇÜM	100	51.05	0
5.ÖLÇÜM	100	51.00	0.05
6.ÖLÇÜM	100	51.05	0
7.ÖLÇÜM	100	51.05	0
8.ÖLÇÜM	100	51.00	0.05
9.ÖLÇÜM	100	50.95	0.1
10.ÖLÇÜM	100	51.05	0
11.ÖLÇÜM	100	51.05	0
12.ÖLÇÜM	100	51.00	0.05
13.ÖLÇÜM	100	51.05	0
14.ÖLÇÜM	100	51.05	0
15.ÖLÇÜM	100	51.05	0

Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazda Arccheck fantom ile yapılan dinamik ve statik teknikle hazırlanan ışın tekrarlanabilirliği testinin 3 aylık sürede toplam 15 ölçümün ortalaması alınarak ışınlama farkı sürelerinin değerlerinin değişimi, aşağıda Tablo 3.1’de verilmiştir.

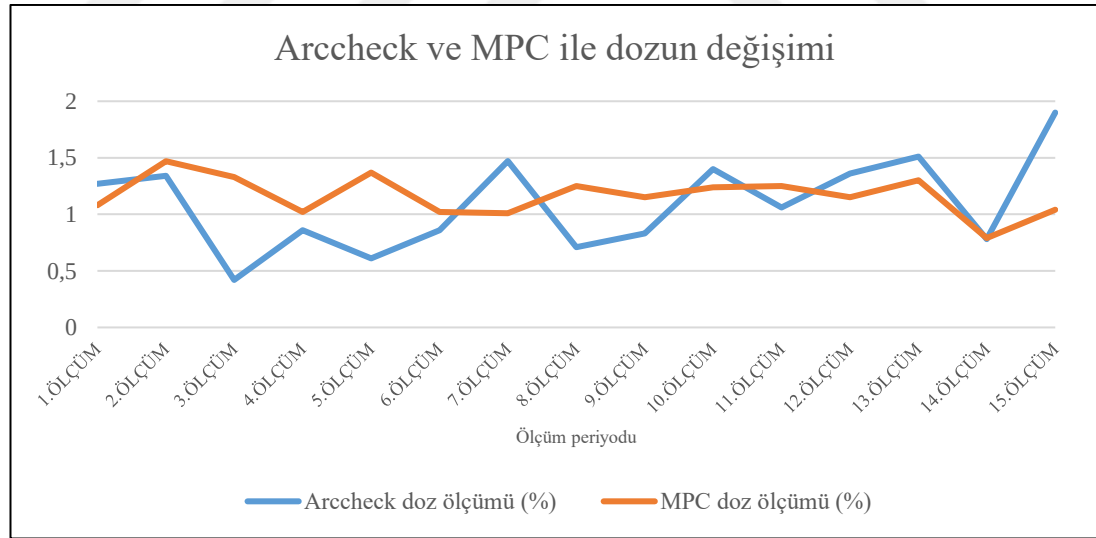
Tablo 3.1. Varian Ethos lineer hızlandırıcıda karşılaştırma ve referans ışınların ölçüm zamanlarına göre ışınlama süreleri ve farklarının gösterimi

Ölçüm periyodu	Geçme oranı $T_y \leq 1$	Karşılaştırma ışını (sn)	Referans ışından farkı (sn)
1.ÖLÇÜM	98.95	33.40	0.4
2.ÖLÇÜM	98.87	33.40	0.4
3.ÖLÇÜM	100	33.45	0.35
4.ÖLÇÜM	100	33.50	0.3
5.ÖLÇÜM	100	33.40	0.4
6.ÖLÇÜM	100	33.80	0

Tablo 3.1. Varian Ethos lineer hızlandırıcıda karşılaştırma ve referans ışınların ölçüm zamanlarına göre ışınlama süreleri ve farklarının gösterimi (devam)

Ölçüm periyodu	Geçme oranı $T_y \leq 1$	Karşılaştırma ışını (sn)	Referans ışıktan farkı (sn)
7.ÖLÇÜM	97.97	33.35	0.45
8.ÖLÇÜM	100	33.45	0.35
9.ÖLÇÜM	100	33.35	0.45
10.ÖLÇÜM	98.57	33.40	0.4
11.ÖLÇÜM	99.70	33.40	0.4
12.ÖLÇÜM	98.65	33.45	0.35
13.ÖLÇÜM	97.37	33.40	0.4
14.ÖLÇÜM	100	33.50	0.3
15.ÖLÇÜM	96.24	33.50	0.3

Aynı kalite kontrol planı için ölçülen ancak farklı zamanlarda toplanan iki ışın (referans ışın ve karşılaştırma ışını) karşılaştırıldı. Bu karşılaştırma, testin zaman içindeki stabilitesine ilişkin kalite kontrol testi sağlar.



Şekil 10. Arccheck ve MPC ile ölçüm zamanına göre dozun değişiminin gösterimi

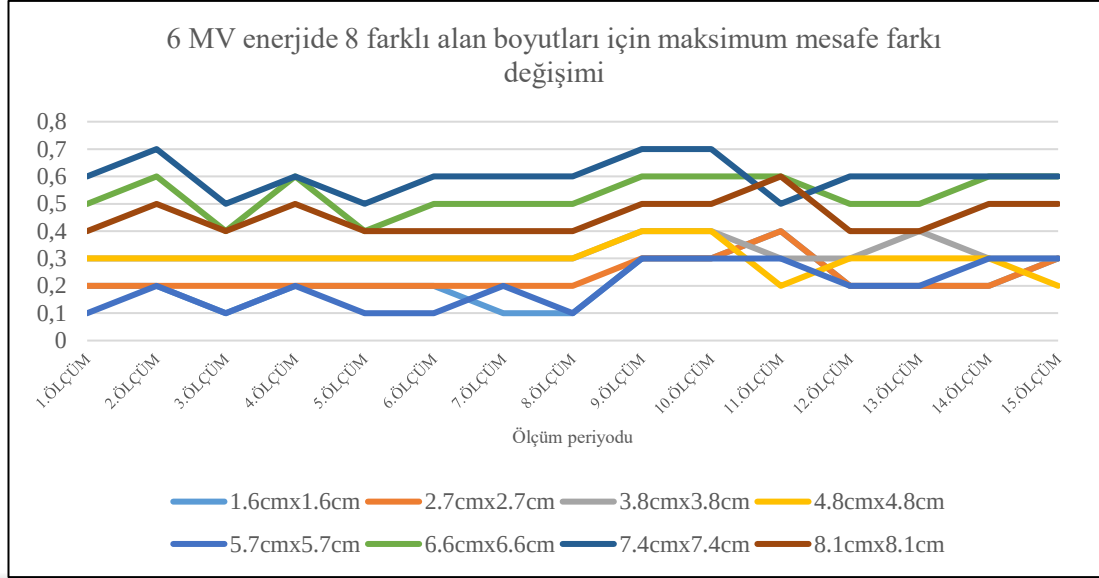
İki sistemin zamana bağlı olarak birbiriyle karşılaştırılması Şekil 10'da ve Tablo 3.1.2'de verilmiştir. Bu iki sistemin ortalama farklarının benzer olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1.2. Arccheck ve MPC ile ölçüm zamanına göre dozun değişiminin gösterimi

Ölçüm periyodu	Arccheck doz ölçümü	MPC doz ölçümü
1.ÖLÇÜM	1.02	0.64
2.ÖLÇÜM	0.11	1
3.ÖLÇÜM	0.12	1.08
4.ÖLÇÜM	0.09	0.97
5.ÖLÇÜM	0.08	0.93
6.ÖLÇÜM	0.11	0.49
7.ÖLÇÜM	0.12	0.98
8.ÖLÇÜM	0.1	0.86
9.ÖLÇÜM	0.09	1.11
10.ÖLÇÜM	0.09	1.25
11.ÖLÇÜM	0.09	1.26
12.ÖLÇÜM	0.13	1.52
13.ÖLÇÜM	0.07	1.38
14.ÖLÇÜM	0.1	1.42
15.ÖLÇÜM	0.13	1.19

4.4 Varian Truebeam Lineer Hızlandırıcıda Arccheck Fantomu ile Çok Yapraklı Kolimatör (ÇYK)/Kolimatör Konum Farklarının Sonuçları

Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazda Arccheck fantom ile yapılan dinamik ve statik teknikte toplam 8 alan boyutunda (1.6cmx1.6cm, 2.7cmx2.7cm, 3.2cmx3.2cm, 4.8cmx4.8cm, 5.7cmx5.7cm, 6.6cmx6.6cm, 7.4cmx7.4cm, 8.1cmx8.1cm) biri kolimatörlü diğeri ÇYK’li plan hazırlanmıştır ve bu testin 3 aylık sürede toplam 15 ölçümün ortalaması alınarak ÇYK/kolimatör konumlarının farkındaki değişim verileri aşağıda Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. 8 farklı alan boyutu için ölçüm zamanına göre maksimum mesafe farkı değişiminin gösterimi

1.6 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.21 mm, 2.7 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.16 mm, 3.8 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.23 mm, 4.8 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.30 mm, 5.7 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.19 mm, 6.6 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.53 mm, 7.4 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.60 mm ve 8.1 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.45 mm bulunmuştur.

Varian Truebeam cihazında ÇYK liflerin konumu AAPM Task Group 142 raporuna göre 1 mm olan tolerans sınırları içerisinde olduğu bulunmuştur.

Varian Truebeam lineer hızlandırıcı cihazında 3 aylık sürede toplam 15 ölçümün ortalaması alınarak ÇYK/kolimatör konum farklarındaki değişim sonuçları aşağıda Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Varian Truebeam cihazında 8 farklı alan boyutu için ölçüm zamanına göre maksimum mesafe farkı değişiminin gösterimi

Ölçüm periyodu	Maksimum mesafe farkı (mm)							
	1.6x1.6	2.7x2.7	3.8x3.8	4.8x4.8	5.7x5.7	6.6x6.6	7.4x7.4	8.1x8.1
1.ÖLÇÜM	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.5	0.6	0.4
2.ÖLÇÜM	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.6	0.7	0.5
3.ÖLÇÜM	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.4	0.5	0.4
4.ÖLÇÜM	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.6	0.6	0.5
5.ÖLÇÜM	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.4	0.5	0.4
6.ÖLÇÜM	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.5	0.6	0.4
7.ÖLÇÜM	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.5	0.6	0.4
8.ÖLÇÜM	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.5	0.6	0.4
9.ÖLÇÜM	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.6	0.7	0.5
10.ÖLÇÜM	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.6	0.7	0.5
11.ÖLÇÜM	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.6	0.5	0.6
12.ÖLÇÜM	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.5	0.6	0.4
13.ÖLÇÜM	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0.5	0.6	0.4
14.ÖLÇÜM	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.5
15.ÖLÇÜM	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.6	0.6	0.5

5 TARTIŞMA

Radyoterapide tedavi cihazının kalite kontrolleri, tedavinin doğru uygulanabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Günümüzde lineer hızlandırıcı cihazların kalite kontrollerinde kullanılmak için birçok sistem geliştirilmiştir ve günlük, haftalık periyodik kalite kontroller için de kullanılmaktadır. Periyodik kalite kontrollerde amaç; ölçülen verilerin tolerans limitleri içinde olması ve zamana göre değişimidir. Periyodik kalite kontrol sistemleriyle alınan verilerdeki değişimler sonucunda tolerans limitlerine göre gerektiği zaman daha hassas ölçüm sistemleri kurularak kalibrasyon yapılmaktadır.

Hacimsel yoğunluklu ark tedavi (VMAT), radyasyon dozunun tek veya çoklu ark halinde iletilmesine imkan sağlayan yeni bir radyoterapi tedavi şeklidir. Yoğunluk ayarlı radyoterapiye (IMRT) kıyasla daha düşük risk altındaki organ (OAR) dozları ve daha kısa uygulama süreleri ile hedef volümü daha iyi korumaktadır. VMAT, IMRT'ye kıyasla daha birçok parametreyi barındırmaktadır; çünkü gantry hızı, doz hızı ve çok yapraklı kolimatör (ÇYK) gibi birçok değişken vardır. Bu sebeple IMRT için geliştirilen kalite kontrol sistemleri VMAT için yeterli değildir ve VMAT'ın doğru şekilde gerçekleşmesi için daha kapsamlı kalite kontrol sistemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada Arccheck, MPC gibi hızlı kurulan, kolay ve hassas ölçüm alan sistemler kullanarak iki farklı lineer hızlandırıcılarda (Truebeam ve Ethos) belli periyotlarda ölçüm alarak zamana göre değişim parametreleri, verilen tolerans limitleri dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelerdeki amaç; alınan ölçümlerin parametrelerin zamana göre değişimi ve stabilitesini yorumlamaktır. Çalışmada, 3 ay süre zarfında toplam 15 ölçüm yapılan Arccheck'teki parametrelerin ve buna benzer MPC'deki parametrelerin ölçüm zamanına göre değişimi ve belirlenen tolerans limitleri dahilinde birbirine uyumu hedeflenmiştir. Ayrıca MPC'nin Arccheck için güçlendirici bir sistem olup olmadığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada MPC sisteminin de Arccheck ölçüm sisteminde birbirine uyan parametrelerdeki test sonuçları için güvenilir, hızlı, kolay kurulan ve kalite kontrol rutinindeki ölçümler için uygun bir sistem olduğu düşünülmüştür. Varian Truebeam cihazında Arccheck fantom ile 3 aylık süre zarfında alınan 15 ölçümde statik ve dinamik teknikte gantri izomerkez boyutu ortalama standart sapma değerleri sırasıyla 0.18 mm ve 0.34 mm bulunmuştur. Truebeam MPC gantri izomerkez boyutu ortalaması ise 0.07 mm bulunmuştur. Arccheck ve MPC olmak üzere her iki ölçüm sisteminin sonucu ± 0.50 mm tolerans limitinin içinde olduğu ve birbirine uygun olduğu bulunmuştur. Arccheck izomerkez boyutu değerlerinin MPC'ye göre az da olsa yüksek olmasının nedeni Arccheck fantomunun çapraz kıl ve lazere göre yerleştirilmesindeki kurulum belirsizliklerinden kaynaklı olmasındandır. MPC sistemi Truebeam cihazına entegre bir sistem olduğu için her ölçümde otomatik ve kayıtlı olduğu konuma gitmesi sebebiyle belirsizlikleri minimize eder. İki ölçüm sistemi de 1 mm'lik tolerans değerinin içindedir.

Lineer hızlandırıcı cihazların periyodik olarak kontrol edilmesi gereken önemli bir parametresi de düzgünlüktür. Varian Truebeam cihazında 6 ve 10 MV enerjide dinamik plan için ortalama düzgünlük değerleri sırasıyla %2 ve %2.42 bulundu. Bu değerler, %3'lük hata toleransının içindedir. Statik planda ise ortalama düzgünlük değeri 6 ve 10 MV enerji için sırasıyla %1.93 ve %2.45 bulundu. Bu değerler de kabul kriterine uygundur. Truebeam MPC ile yapılan düzgünlük testi ortalaması değeri %1.09 bulunmuştur. MPC sisteminin tolerans değeri olan %3'lük kabul değerinin içinde olduğu görülmüştür. FFF enerjiye sahip Varian Ethos cihazında düzgünlük değerleri düzeltirici filtreye sahip olmadıklarından dolayı daha yüksek bulunmuştur.

Bir diğer kalite kontrol testlerimizden olan çok yapraklı kolimatör/kolimatör testi, AAPM Task Group-142 raporuna göre lif hareketindeki maksimum sapmanın aylık olarak ölçülmesi gerekmektedir. Picket Fence testi gibi ÇYK kalite kontrol testine yönelik birçok yaklaşım önerilmiştir. Bu çalışmada ÇYK'yi değerlendirmek için Arccheck makine kalite kontrol performans testi ve MPC testleri kullanılmıştır. 1.6 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.21 mm, 2.7 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum

mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.16 mm, 3.8 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.23 mm, 4.8 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.30 mm, 5.7 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.19 mm, 6.6 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.53 mm, 7.4 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.60 mm ve 8.1 cm kolimatörlü ve ÇYK'li alan boyutunun maksimum mesafe farkı değişiminin ortalama değeri 0.45 mm bulunmuştur. Tüm veriler değerlendirildiğinde 1 mm tolerans limiti içinde olduğu bulunmuştur.



6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Varian Truebeam ve Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazlarında Arccheck fantom ve MPC ile alınan statik ve dinamik teknikte gantri kalite kontrol testinde izomerkez konumunun ölçüm zamanına göre değişimi incelendiğinde Arccheck ile alınan ölçüm sonucunun MPC'ye oranla çok az farkın sebebi çapraz kıl ve lazerlere bağlı kurulum belirsizliğidir. MPC sistemi, Truebeam cihazına entegre bir yazılım olduğundan dolayı otomatik konumlandırma yapmaktadır. Radyasyon alanının izomerkez sapmasının belirlenmesine imkan sağlayan gantri izomerkez testinin bağımsız olarak doğrulanması için Winston-Lutz yaklaşımından yararlanılabilir. Tüm ölçümler tolerans değeri içindedir ve her iki sistem de birbirine uyumlu değişim göstermiştir.

VMAT tedavi tekniğinde çok yapraklı kolimatörler (ÇYK) tedavi süresince dinamik olarak hareket eder. Bu nedenle ÇYK'lerin pozisyon doğruluğu kontrol edilmelidir. ÇYK pozisyon doğruluğu için yapılan test sonuçları AAPM Task Group 142 raporuna göre 1 mm tolerans sınırları içerisindedir. SNC Patient yazılımında tedavi planlama sisteminden (TPS) gönderilen hesaplanan doz ile Varian Truebeam lineer hızlandırıcıyla ölçülen dozdan elde edilen veriler karşılaştırılmış olup birbiri ile uyumlu bulunmuştur. Çalışmamızda Arccheck fantomuyla yapılan performans testlerinden ÇYK/kolimatör testi Varian Ethos lineer hızlandırıcı cihazında değerlendirilememiştir. SNC Patient yazılımında analiz ederken ÇYK'li ve kolimatörlü planlar ayrı ayrı yüklendiği için cihazda kolimatör bulunmadığından dolayı analiz yapılamamıştır.

Karmaşık teknolojilerin kullanıma sunulmasıyla birlikte, doğru dozun verilmesini sağlamak için daha doğru yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Arccheck, VMAT tedavi tekniği için yüksek güvenilirliğe sahip bir kalite kontrol aracı olarak kullanılabilir ve klinik uygulamalar için yararlı olan kalite kontrol performansını yürütebilir. Ayrıca hem geometrik hem de cihazın ışınlamasını test ettiği için lineer hızlandırıcıların kalite kontrolü için yararlı bir araçtır ve klinikte güvenilir ve uygulanabilir.

Alınan tüm mekanik ölçümler tolerans sınırı içindedir ve kullanılan kalite kontrol sistem ve yazılımları cihaz spesifik periyodik kontroller için uygundur. MPC'deki değişim trendi ile Arccheck'teki değişim trendi birbiriyle uyumludur. Bu iki sistemin test parametrelerinin birbirine yakın sonuç vermesi de MPC'nin Arccheck için destekleyici bir sistem olduğunu gösterir. Sonuç olarak bu iki sistem de VMAT tedavi tekniğinde lineer hızlandırıcıların makine spesifik kalite kontrolleri için güvenilir, ve klinikte uygulanabilir.



7 KAYNAKLAR

1. Tuğrul, T. (2020). Siemens artiste lineer hızlandırıcı cihazının Monte Carlo Yöntemi kullanılarak modellenmesi ve enerjiye etki eden parametrelerin değerlendirilmesi.
2. Toklu, T. (2016). Use of Monte Carlo techniques in external beam therapy of lung cancer.
3. Cengiz, F. (2015). Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi ve Volümetrik Ayarlı Ark Terapi Tekniği ile Yapılış Prostat, Mide ve Rektum Kanseri Tedavi Planlarının Mapcheck2 ve Portal Dozimetre Yöntemleriyle Karşılaştırılması (Doctoral dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
4. Demirsar, A. D. Lineer hızlandırıcı cihazında fiziksel parametrelerin farklı ölçüm sistemleri kullanılarak karşılaştırılması (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
5. Özkan, G. (2017). Akdeniz Üniversitesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı'nda bulunan lineer hızlandırıcı tedavi cihazları için kalite kontrol ve kalite güvenilirlik protokollerinin oluşturulması.
6. Klein, E. E., Hanley, J., Bayouth, J., Yin, F. F., Simon, W., Dresser, S., ... & Holmes, T. (2009). Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators a. Medical physics, 36(9Part1), 4197-4212.
7. Mhatre, V. R., & Patwe, P. T. (2017). Evaluation of Arccheck SNC machine QA tool for modern linear accelerator. Int. J. Cancer Ther. Oncol., 5.
8. Sun Nuclear Arccheck Ürün Kullanım Kılavuzu <https://www.scribd.com/document/718029490/1175411I-SNC-Patient-Software-Reference-Guide-s>
9. Deng, J., Huang, Y., Liu, S., Zhao, Y., & Wu, X. (2023). Three-dimensional semiconductor detector array Arccheck for radiation detection and quality assurance of medical linear acceleration
10. Bhatt, C. P., Singh, S., Chufal, K., & Semwal, M. (2017). A preliminary investigation on long-term consistency of MPC as a quick daily QA application. International Journal of Cancer Therapy and Oncology, 5(1).
11. Clivio, A., Vanetti, E., Rose, S., Nicolini, G., Belosi, M. F., Cozzi, L., ... & Fogliata, A. (2015). Evaluation of the machine performance check application for TrueBeam Linac. Radiation Oncology, 10, 1-11.
12. Şahin, S. Yoğunluk ayarlı radyoterapi uygulamalarında hasta planlarının kalite kontrollerinde iki farklı dozimetrik sistemin araştırılması (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
13. Baş Ayata, H., Ceylan, C., Kılıç, A., Uğur, T., Güden, M., & Engin, K. (2015). Volumetrik ark tedavi (VMAT) plan doğrulaması için silindirik diyod array performansının değerlendirilmesi. Turkish Journal of Oncology/Türk Onkoloji Dergisi, 30(1).
14. Taymaz, P. Baş boyun kanserlerinde uygulanan volumetrik ark tedavisi (vmat) planlarının nitelik güvenirliğinde farklı sistemlerin karşılaştırılması (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
15. <http://www.sunnuclear.com/solutions/patientqa/Arccheck3dvh>

16. Arumugam, S., Young, T., Xing, A., Thwaites, D., & Holloway, L. (2015, January). Benchmarking the gamma pass score using Arccheck for routine dosimetric QA of VMAT plans. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 573, No. 1, p. 012040). IOP Publishing
17. Kaptan, İ. (2016). Farklı hesap algoritmaları ile hesaplanan tedavi planlarında yüzey dozu ve alan dışı doz değerlerinin radyokromik film ölçümleri ile karşılaştırılması (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
18. Demir, E. (2021). Çoklu beyin metastazlarının stereotaktik radyocerrahi (SRS) tedavi planlarının dozimetrik olarak karşılaştırılması (Master's thesis, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
19. Varian Medical Systems. VarianTruebeam™ Accelerator System. Kullanım Kılavuzu
20. Paçacı, P. (2017). Lineer hızlandırıcı ve robotik tabanlı cihazların çeşitli kolimasyon sistemlerinin farklı anatomik bölgelerdeki tedavi kalitesine etkisinin incelenmesi (Master's thesis, İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü).
21. https://www.varian.com/sites/default/files/resource_attachments/PerfectPitchCouch
22. Dupont, F., Dechambre, D., & Sterpin, E. (2024). Evaluation of safety margins for cone beam CT-based adaptive prostate radiotherapy. *Physica Medica*, 121, 103368
23. PTW StarCheck Ürün Kullanım Kılavuzu, <https://www.PTWdosimetry.com/en/products/StarCheck-StarCheck-maxi-StarCheck-mr/>
24. Barnes, M. P., & Greer, P. B. (2017). Evaluation of the truebeam machine performance check (MPC) geometric checks for daily IGRT geometric accuracy quality assurance.

8 ÖZGEÇMİŞ



