

# Yoğunluk Ayarlı Radyoterapide Hastaya Özel Kalite Kontrol Uygulamalarında Kullanılan Gereçlerin Hata Tespit Yeteneklerinin Karşılaştırılması

Fazlı Yağız YEDEKÇİ\*

## Öz

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART) planlarının hastaya özel kalite kontrolü için kullanılan film, *in-vivo* elektronik portal görüntüleme cihazları (Electronically Portal Imaging Devices-EPID) ve iki boyutlu (2B) detektörlerin hata tespit yeteneklerini karşılaştırmaktır.

**Yöntem:** Bu çalışmada, Alderson Rando fantom kullanılmıştır. İlk olarak, Alderson Rando fantomun bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri üzerine glioblastoma (GBM) ve baş-boyun (HN) kanseri tedavisini temsil eden iki tedavi planı oluşturulmuştur. Bu planlar, orijinal planlar olarak adlandırılmıştır. Daha sonra, bilinçli bir şekilde farklı türde hatalar yaratılarak hatalı planlar elde edilmiştir. Film, *in-vivo* EPID ve 2B detektörler ile tüm planların hastaya özel kalite kontrolleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, gamma analizi yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

**Bulgular:** Orijinal planlar tüm yöntemlerde gamma analizi testini geçmiştir. HN radyoterapisi için çok yapraklı kolimatör (ÇYK) hatası, *in-vivo* EPID dozimetrisi ile tespit edilmiştir. Cihaz kalibrasyonu ile ilgili hatalar, tüm yöntemlerde yakalanmıştır. Ancak fraksiyon dozu, gantri ve kolimatör açısına bağlı hatalar, kullanılan yöntemlerle tespit edilememiştir.

**Sonuç:** Hastaya özel kalite kontrol uygulamalarında kullanılan film, 2B dedektörler ve *in-vivo* EPID dozimetrisi arasında hata tespit yetenekleri bakımından belirgin bir fark bulunmamaktadır. Tüm yöntemler, kalibrasyon hatalarını tespit etme konusunda duyarlıdır. ÇYK hatalarının tespiti için *in-vivo* EPID dozimetrisi ön plana çıkmaktadır. Ancak özellikle gantri ve kolimatöre ait mekanik hatalar, mevcut sistemlerle tespit edilememektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Radyoterapi, YART, hasta QA, dozimetri.

## Comparison of Error Detection Capabilities of Equipment Used in Patient-Specific Quality Assurance in Intensity Modulated Radiotherapy

## Abstract

**Aim:** The aim of this study is to compare the error detection capabilities of film, *in-vivo* EPID dosimetry, and two-dimensional detectors used in patient-specific quality assurance of IMRT plans.

## Özgün Araştırma Makalesi (Original Research Article)

**Geliş / Received:** 07.11.2022 & **Kabul / Accepted:** 12.04.2023

**DOI:** <https://doi.org/10.38079/igusabder.1199555>

\* Öğr. Gör. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi ABD, Ankara, Türkiye.

E-posta: [yagiz.yedekci@hacettepe.edu.tr](mailto:yagiz.yedekci@hacettepe.edu.tr) [ORCID https://orcid.org/0000-0001-9448-8278](https://orcid.org/0000-0001-9448-8278)

**Method:** Alderson Rando phantom was used in our study. In the first stage, two treatment plans were created on CT images of the Alderson Rando phantom. One of the created plans represents GBM treatment, while the other represents the treatment of the head and neck. These plans are called as the original plan. Then, the plans with errors were obtained by deliberately creating different types of errors. Quality controls of all plans were made with film, *in-vivo* EPID and 2D detectors. The obtained results were compared with the gamma analysis method.

**Results:** The original plans passed the gamma analysis for all methods. MLC error was detected by *in vivo* EPID dosimetry for head and neck irradiation. Errors related to machine calibration were caught in all methods. Errors related to fraction dose, gantry and collimator angle could not be determined by the methods used in the study.

**Conclusions:** There is no difference in error detection capabilities between film, 2D detectors and *in-vivo* EPID dosimeters, which are widely used in patient-specific quality control applications in IMRT treatments. All methods are sensitive to calibration errors. *In-vivo* EPID dosimetry comes to the fore in the detection of MLC errors. However, mechanical errors especially in the gantry and collimator could not be detected with the existing systems.

**Keywords:** Radiation therapy, IMRT, patient QA, dosimetry.

## Giriş

Radyoterapi, kanser hastalarının güvenli ve etkili bir şekilde iyonize radyasyon kullanarak tedavi edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Tedavinin temel amacı, tümöre gerekli radyasyon dozunu verirken sağlıklı dokuları radyasyonun zararlı etkilerinden korumaktır. Tedavi hazırlığı, hasta görüntülerinin alınması, çizim yapılması ve bilgisayarlı tedavi planlaması gibi bir dizi işlemi içermektedir. Bu işlemler birbirini takip eder. Amerikan Tıp Fizikçileri Birliği Radyasyon Onkolojisindeki Hataların Önlenmesi Çalışma Grubu (*Work Group on Prevention of Errors in Radiation Oncology, American Association of Physicists in Medicine*), bu süreci incelediğinde iş akışının yaklaşık %40'ında hata tespit ve önleme odaklı çalışmalar yapıldığını ortaya koymuştur<sup>1</sup>. Güvenli tedavi için, radyoterapi cihazlarının belirli aralıklarla kalite kontrolünün yapılması önerilir<sup>2,3</sup>. Bununla birlikte özellikle yoğunluk ayarlı radyoterapi (YART) uygulamalarında hastaya özel kalite kontroller önem kazanmıştır<sup>4-6</sup>. YART tedavisinde, hastaya özel kalite kontrol deneysel dozimetrik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemler genellikle tedavi planlama sisteminden (TPS) elde edilen dozların, tedavi öncesinde veya sırasında ölçülen radyasyon dozları ile karşılaştırılması esasına dayanır. Tedavi cihazları, planlama sistemleri ve ölçüm ekipmanlarının çeşitliliği klinikler arasında uygulama farklılıklarının oluşmasına sebep olmaktadır<sup>7</sup>. Bu nedenle hastaya özel kalite kontrol ölçümlerinde belirli bir standart oluşturulamamıştır.

Hastaya özel kalite kontrol ölçümlerinde film, iki boyutlu diyot detektörler, elektronik portal görüntüleme cihazları (EPID, Electronically Portal Imaging Devices), iyon odaları, jel dozimetre,

termoluminesan dozimetre (TLD), optik olarak uyarılmış lüminesans dozimetrisi (OSL) ve yazılım tabanlı programlar gibi çeşitli dozimetrik ekipmanlar kullanılır<sup>8-12</sup>.

İdeal bir ölçüm sistemi yüksek doğruluğa sahip olmalıdır ve aynı zamanda klinik iş yükünü ve tedavi cihazının meşguliyetini artırmamalıdır. Yukarıda bahsedilen dozimetrik ekipmanların iş yükleri ve doğruluk seviyeleri farklıdır. Doz doğrulamasına yönelik farklılıklar literatürde tartışılmıştır<sup>13</sup>. Ancak YART tekniği için hata yakalama yetenekleri arasındaki karşılaştırmalar sınırlıdır. Bu çalışma, gafkromik film, *in-vivo* EPID dozimetrisi ve iki boyutlu detektörlerin YART planlarının hastaya özel kalite kontrollerinde hata yakalama özelliklerini karşılaştırmayı amaçlamaktadır.

## **Gereç ve Yöntem**

### **Tedavi Planlarının Oluşturulması**

Bu çalışmada, tüm tedavi planları erkek Alderson Rando Fantom (Long Beach, British Columbia, Kanada) tomografisi üzerinde oluşturulmuştur. Bu fantom, 175 cm boyunda ve 73,5 kg ağırlığında bir erkeği temsil etmektedir. Fantom, ICRU-44 standartlarına uygun yumuşak, kemik ve akciğer dokularını simüle eden malzemelerden yapılmış evrensel bir fantomdur.

Alderson Rando Fantomun tomografi görüntüleri kullanılarak bir glioblastoma (GBM) planı ve bir baş-boyun (HN) tedavi planı oluşturuldu. GBM planları 5 radyasyon demeti ile YART tekniği kullanılarak, HN planları ise aynı teknikle 9 radyasyon demeti kullanılarak yapıldı. Bu iki planlama OP\_GBM ve OP\_HN olarak adlandırıldı. Tomografi görüntüleri elde etmek için Toshiba marka Aquilion LB (TOSHIBA Corporation, Tokyo, Japonya) model bilgisayarlı tomografi cihazı kullanıldı. Tedavi planları Raystation tedavi planlama sistemi (TPS; RaySearch Laboratories AB, Stockholm, İsveç) kullanılarak yapıldı. TPS'in model tabanlı otomatik konturlama özelliği kullanılarak konturlama işlemi gerçekleştirilmiştir, bu sayede hedef ve kritik organlar tanımlanmıştır. Daha sonra, her bir plan, hatalı tedavi senaryoları oluşturmak amacıyla yeniden düzenlendi. Bu hatalar, hatalı fraksiyon dozu (HFD), hatalı çok yapraklı kolimotor pozisyonu (HÇYP), hatalı kolimotor açısı (HKA), hatalı gantri açısı (HGA) ve hatalı doz kalibrasyonu (HDK) şeklindeydi.

### **Hatalı Tedavi Planlarının Tasarımı**

HFD için hazırlanan planlarda, OP'nin günlük tedavi dozu 200 cGy iken, hatalı bir şekilde 210, 250 ve 300 cGy olarak tasarlanmıştır.

HÇYP için hazırlanan planlarda, 2 farklı hata oluşturulmuştur. İlk hatada, merkezdeki bir ÇYK'nın pozisyonu 2 mm hatalı konumlandırılmıştır (Hata1). İkinci hatada ise, alanın kenarındaki bir ÇYK 2 mm hatalı konumlandırılmıştır (Hata2). ÇYK pozisyon hataları, optimizasyon işleminden sonra ilgili ÇYK'ların başlangıç pozisyonlarının 2 mm değiştirilmesiyle

oluşturulmuştur. ÇYK pozisyonlarının değiştirilmesinden sonra planlar, optimizasyon işlemi tekrarlanmadan yeniden hesaplanarak hatalı plan olarak kaydedilmiştir.

HKA için hazırlanan planlarda, kolimatör açıları 1, 3 ve 5 derece hata yaratacak şekilde ayarlanmıştır. Benzer şekilde, HGA planlarında 1, 3 ve 5 derece gantri açıları için hatalar oluşturulmuştur.

HDK planlamalarında, tedavi cihazının doz kalibrasyonu %1, %5 ve %10 hatalı olarak ayarlanmıştır.

## **Dozimetrik Ölçüm Ekipmanları**

### **Gafkromik Film Ölçümleri**

Çalışmada GAFchromic™ EBT3 filmleri kullanılmıştır. Bu filmler, 0,1 cGy ila 1000 cGy aralığındaki dozları ölçebilmektedir. Filmlerin kalibrasyon eğrisini oluşturmak için 5 cGy, 25 cGy, 50 cGy, 75 cGy, 100 cGy, 125 cGy, 150 cGy, 175 cGy, 200 cGy, 225 cGy, 250 cGy, 275 cGy, 300 cGy ve 350 cGy' lik ışınlamalar yapılmıştır. Işınlanan filmler, Verisoft (PTW, Freiburg, Almanya) yazılımı kullanılarak TPS dozları ile gamma analizi yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada, 2 mm uyum mesafesi, %2 doz farkı kriteri kullanılmıştır. Gamma analizi sonucunda kabul edilebilir geçme oranı %90 olarak belirlenmiştir.

### ***In-vivo* EPID ölçümleri**

*In-vivo* EPID ölçümleri iViewGT (Elekta, Stockholm, İsveç) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. iViewGT paneli aracılığıyla ölçülen çıkış dozları iViewDose (Elekta, Stockholm, İsveç) programına aktarılmıştır. iViewDose programı iViewGT'den alınan çıkış dozu bilgilerini fantomun BT görüntüleri üzerine yeniden yapılandırabilme kabiliyetine sahiptir. Böylece TPS ile oluşturulan 3B doz dağılımları, ışınlama sonrası elde edilen doz dağılımları ile karşılaştırılabilir. Karşılaştırma, 3B gamma analizi yöntemi ile yapılmıştır (gamma değerlendirme kriteri: 2mm, %2). Gamma analizi sonucu kabul edilebilir geçme oranı %90 olarak belirlenmiştir.

### **İki Boyutlu Dedektör Ölçümleri**

İki boyutlu dedektör ölçümleri PTW 2D-Array (Freiburg, Almanya) cihazı ile yapılmıştır. 2B Array cihazı YART kalite kontrollerinde sıklıkla kullanılan bir kalite kontrol ekipmanıdır. Toplamda 729 adet detektörden oluşmaktadır. Her bir dedektör 0,5 cm x 0,5 cm boyutundadır. Dedektörler arasında 1 cm boşluk vardır. Aktif ölçüm alanı 27 cm x 27 cm'dir. 2B-Array aracılığıyla elde edilen 2B doz dağılımları, TPS'te hesaplanan dozlar ile gamma analizi metodu kullanılarak karşılaştırılmıştır (gamma değerlendirme kriteri: 2mm, %2). Gamma analizini sonucu kabul edilecek geçme oranı %90 olarak belirlenmiştir.

**Etik Bildirim:** Araştırmada insan/hayvan örnekleri kullanılmadığından etik kurul onayı gerekmemektedir.

## Bulgular

Tablo 1, farklı üç dozimetre cihazıyla elde edilen gamma analizi geçiş oranlarını sunmaktadır. Tablo 1, hem GBM hem de HN planlarına ait gamma analizi sonuçlarını içermektedir. Her iki plan için, OP'ler gamma analizi geçme kriterlerini tüm ölçüm yöntemlerinde sağlamaktadır. En düşük gamma analizi geçiş oranına sahip dozimetre cihazı, Gafchromic filmlerdir.

GBM ve HN için oluşturulan HFD planlarına ait gamma analizi geçme oranları, 210 cGy, 250 cGy ve 300 cGy planları için geçiş kriterini sağlamaktadır. Ancak, HÇYP planlarındaki hatalar sadece HN ışınlamalarında *in-vivo* EPID dozimetresi ile tespit edilebilmiştir. Bu planlar, hata1 ve hata2 için sırasıyla %88,7 ve %88,5 oranları ile gamma analizinden kalmıştır. Kolimatör ve gantri açısı değerlerindeki potansiyel hataları temsil eden HKA ve HGA için açılış değerlerinde oluşturulan 1°, 3° ve 5°'lik hatalar, hiçbir yöntemde tespit edilememiştir.

Cihazın %1, %5 ve %10 yanlış kalibre edilmesi sonucu oluşan HDK hatalarına ait gamma sonuçları incelendiğinde, tüm yöntemler tarafından %5 ve %10 kalibrasyon hatası hem GBM hem de HN planları için tespit edilebilmiştir. Ancak, %1'lik kalibrasyon hatası tespit edilememiştir.

**Tablo 1.** Gamma analizi geçme oranları

Tedavi Bölgesi	Ölçüm Yöntemi	Gamma Analizi Geçme Oranları (%)														
		OP	HFD			HÇYP		HKA			HGA			HDK		
			210 cGy	250 cGy	300 cGy	Hata 1	Hata 2	1° hata	3° hata	5° hata	1° hata	3° hata	5° hata	1% hata	5% hata	10% hata
GBM	Gafchromik Film	93,6	93,6	93,5	93,6	92,5	92,6	93,4	93,5	93,5	93,4	93,2	93,1	92,7	85,5	77,4
	<i>In-vivo</i> EPID	95,8	95,8	95,8	95,7	90,1	90,4	95,9	95,6	94,9	95,4	95,4	95,2	95,3	69,9	51,2
	2D-Array	98,2	98,1	98,2	98,1	97,7	98	98,3	98,2	98,2	97,9	97,5	97,2	97,9	89,7	71,5
HN	Gafchromik Film	91,5	91,3	91,5	91,5	90,4	90,6	91,7	91,1	91	91	91,5	91,2	90,7	79,5	70,3
	<i>In-vivo</i> EPID	93,6	93,4	93,6	93,5	88,7	88,5	93,7	93,7	93,4	92,2	92,8	91,4	91,1	75,4	51,2
	2D-Array	97,8	97,8	97,8	97,9	97	97,2	98	97,6	97,7	96,6	95,7	94,7	95,1	80,2	66,7

OP: orijinal planlama, HFD: Hatalı fraksiyon dozu, HÇYP: Hatalı çok yapraklı kolimatör pozisyonu, HKA: Hatalı kolimatör açısı, HGA: Hatalı gantri açısı, HDK: Hatalı doz kalibrasyonu, GBM: Glioblastoma, HN: Baş Boyuğu

## Tartışma

Bu çalışmada, 3 farklı ölçüm yönteminin hata yakalama kabiliyetleri araştırılmıştır. Hatalı planlar oluşturulurken cihaz ve TPS kaynaklı hatalar dikkate alınmıştır, ancak hastaya bağlı potansiyel hatalar dikkate alınmamıştır. Çünkü sadece EPID *in-vivo* ölçüm yapabilmektedir ve hastaya bağlı doz dağılımlarındaki değişiklikler bu dedektör ile algılanabilmektedir<sup>14</sup>.

4407 hata örneğinin geriye dönük incelenmesinde, radyoterapi merkezlerinde en etkili hata önleme yönteminin fizikçi, doktor ve tekniker denetimi olduğu belirtilmiştir<sup>15</sup>. Yapılan

değerlendirmede, tedavi öncesi ölçümler en düşük etkinliğe sahip yöntem olarak görülmüştür. Bununla birlikte, *in-vivo* EPID ölçümleri en etkili dozimetrik yöntem olarak raporlanmıştır. Ancak, bahsi geçen çalışmadaki hata önleme etkinlikleri geriye dönük bir çalışmaya dayandığı için, dozimetrik ölçümlere dayanmamaktadır.

Radyoterapi cihazlarının doz kalibrasyon hatasının  $\pm\%3$  olması önerilmektedir<sup>16</sup>. HDK planlarında  $\%1$  hata oranı, gamma analizi geçme kriterlerini karşılamaktadır. Ancak, kalibrasyondaki hata kabul edilemez seviyelerin üstüne çıktığında, hatalar tüm yöntemlerde tespit edilmiştir. Hata oranı arttıkça, gamma analizi geçme oranları azalmıştır. Bu sonuçlar, cihaz kalibrasyonundaki herhangi bir hatanın, bu çalışmadaki yöntemlerle tespit edilebileceğini göstermektedir. Bu bulgulara uygun olarak, Thoelking ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, paralel iyon odalarından oluşan 2B Dolphin (IBA dosimetry, Almanya) dedektör için linak kalibrasyon hatasının  $\%2$ 'nin üzerine çıktığı durumlarda hata algılama işleminin gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir<sup>17</sup>. Bununla birlikte, Liang ve arkadaşlarının farklı dozimetrik ekipmanlar ile yaptığı bir başka çalışmada ise test ettikleri dedektör sistemlerinin tedavi cihazı kalibrasyon hatalarına karşı duyarsız olduğu görülmüştür<sup>18</sup>.

ÇYK pozisyonunda meydana gelen hata, sadece *in-vivo* EPID dozimetrisi yöntemiyle tespit edilebilirdi. Daha önce yapılmış bir başka çalışma sonuçlarla uyumlu bir şekilde, kasıtlı ÇYK hatalarının EPID ile tespit edilebileceğini göstermiştir<sup>19</sup>. Gözlemlenen durumun iki farklı nedeni olabilir. İlk olarak, kullanılan gamma analizi programları farklılık gösterebilir. Gamma analizi matematiksel olarak yoğun bir hesaplama içerir ve ticari olarak sunulan programlar arasında farklılık olabilir. Özellikle hesaplama süresini azaltmaya yönelik kullanılan yöntemler, gamma analizi sonuçlarındaki farklılıkların bir nedeni olabilir. İkinci neden ise, gamma analiz sonuçlarının ölçüm ekipmanlarına bağımlı olmasıdır<sup>20</sup>. Ölçüm ekipmanlarının duyarlılıkları birbirlerine göre farklılık gösterebilmektedir<sup>21</sup>. Söz konusu hata ölçümü olduğunda, hatanın büyüklüğüne göre algılanma olasılıkları da sistemler arasında değişkenlik gösterebilir. ÇYK hataları ile yaptığımız ölçümler, bu tarz hatalara *in-vivo* EPID dozimetrisinin daha duyarlı olduğunu ortaya koymuştur.

TPS'te hatalı girilen fraksiyon dozu çalışma kapsamındaki dozimetrik ekipmanlar ile tespit edilememiştir. Bu tarz bir hata dozimetrik ekipmanlar ile tespit edilmesi zor bir hatadır. Çünkü TPS'ten gelen bilgi doğrultusunda tedavi cihazı ışınlama yapmaktadır. Bu tarz hatalar gamma analizi yerine mutlak doz ölçümlerinin yapıldığı dozimetrik sistemlerde daha kolay tespit edilebileceği düşünülmektedir.

Tedavi planlarındaki gantri ve kolimatör açısındaki hatalar, gamma analizi geçme kriterlerini sağlamıştır. Bu hatalar, cihazın mekanik özellikleriyle ilişkilidir. Mekanik hatalar için kabul edilebilir limitler, literatürde genellikle  $3^\circ$ 'den daha az olarak belirtilmiştir<sup>22</sup>. Ancak, bu çalışmada kullanılan sistemler, bu tür hataları limitlerin ötesinde olsa bile tespit edememiştir. Gantri ve kolimatör hatalarının neden olduğu doz dağılımındaki değişimler, kullanılan dozimetrik

ekipmanların duyarlılığından daha azdır. Bu bulgunun diğer bir nedeni ise, yukarıda bahsedilen gamma analizi yönteminin sınırlamaları olabilir. Gantri, kolimatör ve masa açısına bağlı hataların volümetrik ark tedavilerinde tespitine yönelik yapılan bir çalışmada üç dedektör (ArcCheck, 2D-Array 729 ve EPID) karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar gamma analizinde 2 mm/%2 kriteri kullanıldığında 3° ve üstü hataların tespit edilebildiğini göstermiştir<sup>23</sup>. Çalışmada tüm dozimetrik ekipmanlar için YART planlarının gamma analizinde yaygın olarak kullanılan 3 mm/%3 kriteri tercih edilmiştir<sup>24</sup>. 2 mm/%2 kriteri genellikle stereotaktik radyocerrahi uygulamalarında önerilmektedir<sup>24,25</sup>.

Bu çalışmada, doz dağılımı üzerinde etkisi olabilecek mekaniksel ve dozimetrik hataların bazıları bilinçli olarak oluşturulmuştur. Ancak klinikte birçok farklı hatayla karşılaşılacağı unutulmamalıdır. Araştırılan hatalara ait bulguların değerlendirilmesi sonucunda, *in-vivo* EPID dozimetrisinin diğer sistemlere göre ÇYK hatalarının tespiti için daha üstün olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, mevcut senaryolarda *in-vivo* EPID dozimetresi ile tespit edilemeyen hatalar da vardır. Daha önce prostat kanserli hastalar için yapılan bir çalışmada, *in-vivo* EPID dozimetrisinin, ÇYK hataları, kalibrasyon hataları ve hasta anatomisine bağlı hataları tespit etme özelliği olduğu gösterilmiştir<sup>26</sup>. Ancak, bu çalışmada GBM ışınlamalarına ait ÇYK'e bağlı hatalar tespit edilememiştir. Bu iki çalışma arasındaki fark, yaratılan ÇYK hatalarının doz dağılımları üzerindeki etkilerinin farklı oluşundan kaynaklanmaktadır. Önceki çalışmada, bir ÇYK'nın hareket etmediği senaryo üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada ise, yaratılan hatalar ÇYK'nın pozisyon hatasıdır. Bu iki hatanın doz dağılımı üzerindeki etkileri arasındaki fark oldukça büyüktür.

## Sonuç

YART tedavilerinde hastaya özel kalite kontrol uygulamalarında yaygın kullanılan film, 2B dedektörler ve *in-vivo* EPID dozimetresi arasında hata tespit yetenekleri bakımından belirgin bir fark yoktur. Kalibrasyon hatalarına tüm yöntemler duyarlıdır, ÇYK hatalarının tespitinde *in-vivo* EPID dozimetresi daha etkilidir. Bununla birlikte özellikle gantri ve kolimatöre ait mekanik hatalar mevcut yöntemler ile tespit edilememektedir.

## KAYNAKLAR

1. Huq MS, Fraass BA, Dunscombe PB, et al. The report of task group 100 of the AAPM: Application of risk analysis methods to radiation therapy quality management. *Medical Physics*. 2016;43(7):4209-4262.
2. Chuang K-C, Giles W, Adamson J. On the use of trajectory log files for machine & patient specific QA. *Biomedical Physics & Engineering Express*. 2020;7(1):015010.

3. Smith K, Balter P, Duhon J, et al. AAPM Medical Physics Practice Guideline 8. a.: linear accelerator performance tests. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2017;18(4):23-39.
4. Pan Y, Yang R, Zhang S, et al. National survey of patient specific IMRT quality assurance in China. *Radiation Oncology*. 2019;14(1):1-10.
5. Osman AF, Maalej NM. Applications of machine and deep learning to patient-specific IMRT/VMAT quality assurance. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2021;22(9):20-36.
6. Rangaraj D, Zhu M, Yang D, et al. Catching errors with patient-specific pretreatment machine log file analysis. *Practical Radiation Oncology*. 2013;3(2):80-90.
7. Chan GH, Chin LC, Abdellatif A, et al. Survey of patient-specific quality assurance practice for IMRT and VMAT. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2021;22(7):155-164.
8. Marrazzo L, Zani M, Pallotta S, et al. GafChromic® EBT3 films for patient specific IMRT QA using a multichannel approach. *Physica Medica*. 2015;31(8):1035-1042.
9. Stathakis S, Myers P, Esquivel C, Mavroidis P, Papanikolaou N. Characterization of a novel 2D array dosimeter for patient-specific quality assurance with volumetric arc therapy. *Medical Physics*. 2013;40(7):071731.
10. Olaciregui-Ruiz I, Vivas-Maiques B, Kaas J, et al. Transit and non-transit 3D EPID dosimetry versus detector arrays for patient specific QA. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2019;20(6):79-90.
11. Belanger P, Bercier Y, Parker W, Hristov D. A software system for patient-specific quality control of intensity-modulated radiation treatments by Fricke-gel dosimetry. *The Use of Computers in Radiation Therapy*: Springer; 2000:394-396.
12. Chuang KC, Giles W, Adamson J. A tool for patient-specific prediction of delivery discrepancies in machine parameters using trajectory log files. *Medical Physics*. 2021;48(3):978-990.
13. Son J, Baek T, Lee B, et al. A comparison of the quality assurance of four dosimetric tools for intensity modulated radiation therapy. *Radiology and Oncology*. 2015;49(3):307-313.
14. Celi S, Costa E, Wessels C, Mazal A, Fourquet A, Francois P. EPID based in vivo dosimetry system: Clinical experience and results. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2016;17(3):262-276.
15. Ford EC, Terezakis S, Souranis A, Harris K, Gay H, Mutic S. Quality control quantification (QCQ): A tool to measure the value of quality control checks in radiation oncology. *International Journal of Radiation Oncology\* Biology\* Physics*. 2012;84(3):e263-e269.
16. Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, et al. Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM radiation therapy committee task group 40. *Medical Physics-Lancaster Pa-*. 1994;21:581-581.

17. Thoelking J, Fleckenstein J, Sekar Y, et al. Patient-specific online dose verification based on transmission detector measurements. *Radiotherapy and Oncology*. 2016;119(2):351-356.
18. Liang B, Liu B, Zhou F, Yin FF, Wu Q. Comparisons of volumetric modulated arc therapy (VMAT) quality assurance (QA) systems: Sensitivity analysis to machine errors. *Radiation Oncology*. 2016;11(1):1-10.
19. Heilemann G, Poppe B, Laub W. On the sensitivity of common gamma-index evaluation methods to MLC misalignments in rapidarc quality assurance. *Medical Physics*. 2013;40(3):031702.
20. Hussein M, Rowshanfarzad P, Ebert MA, Nisbet A, Clark CH. A comparison of the gamma index analysis in various commercial IMRT/VMAT QA systems. *Radiotherapy and Oncology*. 2013;109(3):370-376.
21. Woon W, Ravindran PB, Ekayanake P, Lim YY, Khalid J. A study on the effect of detector resolution on gamma index passing rate for VMAT and IMRT QA. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2018;19(2):230-248.
22. Hossain M. Output trends, characteristics, and measurements of three megavoltage radiotherapy linear accelerators. *J Appl Clin Med Phys*. 2014;15(4):4783.
23. Vieillevigne L, Molinier J, Brun T, Ferrand R. Gamma index comparison of three VMAT QA systems and evaluation of their sensitivity to delivery errors. *Physica Medica*. 2015;31(7):720-725.
24. Miften M, Olch A, Mihailidis D, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218. *Medical Physics*. 2018;45(4):e53-e83.
25. Xia Y, Adamson J, Zlateva Y, Giles W. Application of TG-218 action limits to SRS and SBRT pre-treatment patient specific QA. *J Radiosurg SBRT*. 2020;7(2):135-147.
26. Yedekci Y, Biltekin F, Ozyigit G. Feasibility study of an electronic portal imaging based in vivo dose verification system for prostate stereotactic body radiotherapy. *Physica Medica*. 2019;64:204-209.