

# Bölünmüş IMRT alanlarının birleşim bölgelerindeki doz dağılımının iki farklı dozimetrik yöntemle araştırılması

Investigation of dose distribution at intersection region of split IMRT fields using two different dosimetric modality

Leyla SÜNCAK,<sup>1</sup> Nazmiye DÖNMEZ KESEN,<sup>1</sup> Mustafa Cem UZAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü, Sağlık Fiziyi Bilim Dalı, İstanbul*

<sup>2</sup>*Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Edirne*

## AMAÇ

Çalışmada tedavi planlama sistemi (TPS) tarafından ikiye bölünerek oluşturulmuş alt alanların kesişim bölgesindeki doz dağılımlarının incelenmesi amaçlandı.

## GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmada, genişlikleri 15 cm'den fazla olan 7 IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy) tedavi alanı seçildi. Bu alanların alt alanları TPS tarafından ikiye bölünerek oluşturuldu. Bütün alanlara ait planlar kalite kontrol (QA) amacıyla gantri, kolimatör ve masa açıları 0° olarak ayarlandı. Ölçümlerde, 5 cm derinlikte iki boyutlu iyon odası sistemi ve film kullanılarak alındı.

## BULGULAR

Farklı analiz kriterlerine göre, 2D-array ile ölçülen ve TPS ile hesaplanan bölünmüş ve bölünmemiş alanlara ait dozlar arasındaki uyum sırasıyla %81–%99.2; %80.4–%99.7 arasında olup sonuçlar EBT3 film ile elde edilen uyumdan daha fazladır.

## SONUÇ

15 cm'den geniş alanların IMRT ışınlamaları için ikiye bölünmeleriyle oluşan alt alanların kesişim bölgelerinde, hesaplanan ve ölçülen doz dağılımları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görüldü.

**Anahtar sözcükler:** Bölünmüş alanlar; gama-indeks analizi; kalite kontrol; kesişim bölgesi; yoğunluk ayarlı radyoterapi.

## OBJECTIVES

The purpose of this study is to investigate dose distribution in the overlap region of two split sub-fields generated by TPS.

## METHODS

IMRT treatment fields larger than 15 cm were planned. TPS created two new sub-fields by splitting each original field. IMRT plans of 14 overlapping complementary binary sub-fields were sent to virtual phantom of TPS for quality assurance (QA) calculations by setting all gantry and collimator angles zero. The measurements at linac were taken using 2D-ion chamber lattice and film both placed at 5 cm depth in solid phantom at QA conditions.

## RESULTS

According to different analyze criterias, consistence of dose fluence related to all fields and sub-fields were found respectively between 81%–99.2% and 80.4%–99.7% by 2D-Array ion chamber system.

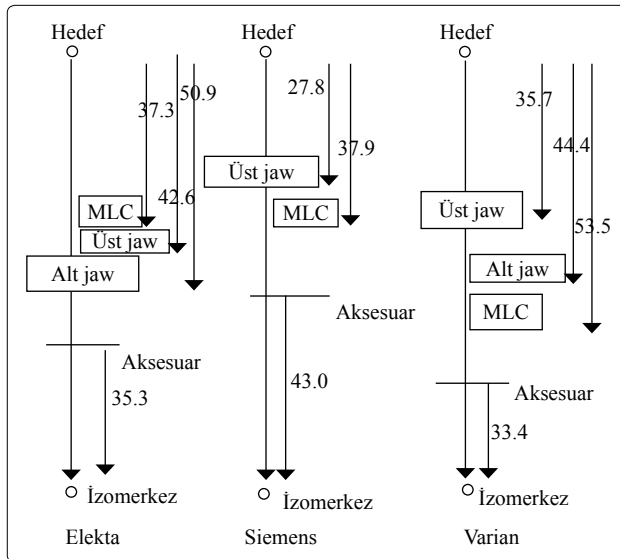
## CONCLUSION

As a result there was no statistically significant difference between calculated and measured dose distributions in overlap regions of two split fields derived from fields larger than 15 cm.

**Keywords:** Split fields; gamma-index analysis; quality assurance; overlap region; intensity modulated radiation therapy.

Bilgisayarlı doz hesaplama algoritmalarındaki ve lineer akseleratör (linak) eksternal radyoterapi (RT) cihazlarındaki teknolojik gelişmelerle birlikte bilgisayarlı tomografi (BT) kesitleri üzerinden rekonstrüksiyon yapılabilmesi sayesinde 2-boyutlu tedavilerin yerini, 1990'lı yıllardan sonra 3-boyutlu konformal RT (3BKRT) almıştır. 2000'li yıllarda çok yapraklı kolimatörlerin (Multileaf Collimator/MLC) geliştirilmesiyle yoğunluk ayarlı RT (Intensity Modulated Radiotherapy/IMRT) tekniğine geçilmiştir.<sup>[1]</sup> IMRT tedavileri, MLC'lerin statik (S-MLC) modda segment oluşturduğu 'step-and-shoot' tekniği ve daha gelişmiş olan MLC'lerin dinamik (D-MLC) modda kullanıldığı 'sliding window' teknikleriyle uygulanmaktadır. D-MLC tekniği lif/yaprak hareketi yönünde S-MLC'ye göre daha yüksek rezolüsyon sağlamakta, dolayısıyla hedef hacimde daha yüksek konformalite ve homojenlikte bir doz dağılımı oluşturabilmektedir.<sup>[2,3]</sup> Kliniğimizde kullanılan Varian marka DHX RapidArc model linak cihazının MLC konumu X ve Y çenelerinin altındadır ve eşmerkeze daha yakındır (Şekil 1).

Kaynaktan uzak konumu nedeniyle, bir lifin boyu eşmerkezde diverjans ile ancak 15 cm olabilmektedir. Dolayısıyla X1-X2 yönünde hareket eden liflerin saha kenarından itibaren gidebileceği en uzun mesafe (lif menzili) eşmerkez izdüşümünde 15 cm ile kısıtlıdır. Bu nedenle bu cihazda uy-



Şekil 1. Lineer hızlandırıcılarda farklı MLC tasarımları.

gulanacak IMRT tedavilerinin planlandığı Varian marka Eclipse model 8.9 versiyon tedavi planlama sistemi (TPS) X yönünde 15 cm'den geniş alanların planlamasını, içiçe geçen iki alt alana bölerek aynı doz dağılımını oluşturacak şekilde tekrar hesaplamaktadır.<sup>[4]</sup> Şekil 2'de 15 cm'den geniş bir alandaki IMRT planının örtüşen iki alt alana bölünerek oluşturulan IMRT planları görülmektedir.

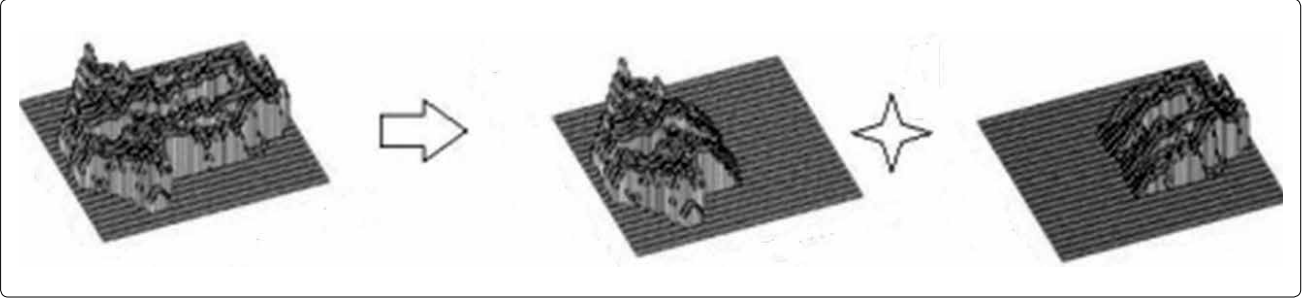
Bölünerek oluşturulan alt alanların kesişim bölgesinin iki komşu alandan ayrı ayrı doz alması, doz homojenitesinin bozulmasına ve dolayısıyla TPS'nde hesaplanandan farklı dozların oluşmasına yol açabilir.<sup>[2]</sup> Bölünmemiş alanın doz dağılımına uygun olarak TPS'nin iki alt alanda oluşturduğu doz yoğunlukları, merkezi eksen dikey kesitindeki doz profilleri üzerinden Şekil 3'te şematik olarak gösterilmiştir.

Bu çalışmada, 'sliding window' tekniği ile oluşturulan meme kanserli hastalara ait IMRT tedavi planlarından, genişlikleri 15 cm'den büyük 7 tedavi alanının doz akı haritalarının, aynı alanların linakta ışınlanabilmesi için TPS tarafından birbirlerini tamamlayan iki alt alana bölünmesiyle oluşan 14 alana ait doz akı haritalarına olan uygunluğu, 2D-Array iyon odası düzeneği ve film dozimetri kullanılarak karşılaştırıldı. Ayrıca ışınlama ile birleşim bölgesinde oluşan doz dağılımının, TPS'nde hesaplanan doz dağılımları ile karşılaştırılması amaçlandı.

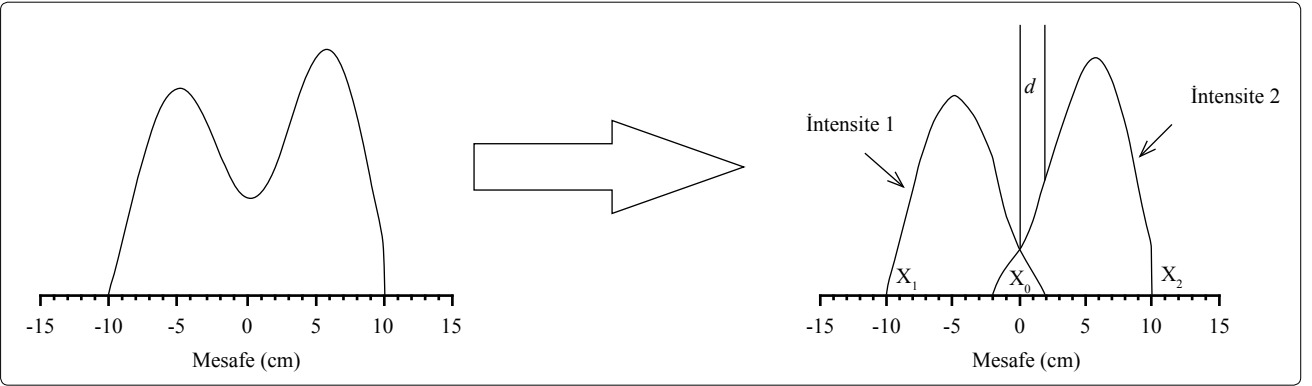
## GEREÇ VE YÖNTEM

### IMRT tedavi alanlarının TPS'nde akı haritalarının oluşturulması

Çalışmamızda, ışınlamalar Varian DHX linak cihazında 6 MV X-ışınları kullanılarak yapılmıştır.<sup>[5]</sup> Genişliği 15 cm'den fazla olan 7 tedavi alanının IMRT planması, Varian Eclipse 8.9 TPS'nde, Analytical Anisotropic Algorithm (AAA) algoritması ve 'sliding window' tekniği kullanılarak yapıldı.<sup>[6]</sup> Her bir alanın iki alt alana bölünmesiyle ikili olarak birbirini tamamlayan 14 adet IMRT planı, orijinal alanlarına uygun olarak TPS tarafından oluşturuldu. Kalite kontrol (Quality Control/QC) testleri için TPS'ye daha önce yüklenmiş PTW RW3 katı fantom BT kesitleri üzerinden oluşturulan sanal fantom kullanıldı. Kesişen alt alanlardaki IMRT planları, geniş alanlardaki planlarla birlikte



Şekil 2. Bölünerek oluşturulmuş iki alt alandaki orijinal plana uygun IMRT planları.



Şekil 3. Bölünerek oluşturulmuş IMRT alanlarında örtüşen doz yoğunluklarının orijinal doz profili ile olan uyumu.

TPS QC moduna aktarıldı. Burada QC şartlarında gantri, kolimatör ve masa açıları  $0^\circ$  olacak şekilde sanal fantomda hesaplanan doz akı haritaları, gama-indeks analiz programı yüklenmiş olan PTW Verisoft dozimetri bilgisayarına aktarıldı.

### IMRT kalite kontrol alanlarının ölçümü

Linaktaki ölçümler, PTW RW3 katı fantomunda dozimetri bilgisayarına bağlı PTW 2D-Array Seven29 iyon odası düzeneği ile QC şartlarında yapıldı. 2D-Array düzeneği 10cm kalınlığında katı fantom üzerine, sistemin ölçüm noktasının merkezi ile izomerkez üst üste gelecek şekilde yerleştirildi. PTW 2D-Array Seven29 iyon odası düzeneğinin efektif ölçüm derinliği 5 mm olduğu için<sup>[7]</sup> üzerine toplam 4.5 cm kalınlığında katı fantom konularak SSD=95 cm olarak ayarlandı. Varian Eclipse TPS'nde daha önceden hazırlanan 7 bölünmemiş IMRT alanı ve bunların bölünmesiyle oluşturulan 14 IMRT alt alanının QC planları network üzerinden linak cihazına aktarıldı. 7 bölünmemiş alanın QC ölçümü, birbirini tamamlayan iki alt alanın fantomda üst üste ışınlanması ile yapıldı. Alanların bölünmesiyle oluşan 14 alt alanın QC ışınlamaları,

kendi gama-indeks analizlerinin de yapılabilmesi için ayrıca tek olarak gerçekleştirildi. Ölçülen IMRT QC alanlarına ait doz akı haritaları PTW Verisoft 4.1 programı yardımıyla kaydedildi.

Film dozimetrisi ölçümleri için Gafchromic EBT3 Filmleri kullanıldı. Kalibrasyon için filmler  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  boyutlarında kesilerek hazırlandı. Cihazın verim kontrolü yapıldıktan sonra filmler 100 cm SAD mesafesinde 5 cm derinlikte ve  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  alan açıklığında; 25, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000 ve 1500 cGy doz değerlerinde ışınlandı. Işınlamadan sonra 24 saat bekletilen filmler ve hiç ışınlanmamış film, yönlerine dikkat edilerek Epson 10000XL tarayıcıda tarandı. Image J programı kullanılarak filmler yeşil, mavi ve kırmızı renk kanallarına ayrıldı. Değerlendirme için kırmızı kanal seçilerek doza karşılık gelen kararma derecesine göre kalibrasyon eğrisi oluşturuldu.<sup>[8]</sup>

PTW 2D-Array Seven29 iyon odası düzeneği ile aynı ölçüm konfigürasyonunda ve aynı şartlarda toplam 21 IMRT alanının QC planı, SAD=100 cm ve fantomun 5 cm derinliğine Gafchromic EBT3 Film yerleştirilerek ışınlandı. IMRT QC planlarına

ait ışınlanmış filmler 24 saat sonra kalibrasyon eğrisi ile birlikte PTW Film Scan programında Epson 10000XL tarayıcı ile taranarak doz akı haritaları elde edildi.<sup>[9]</sup>

### IMRT tedavi planlarının analizi

TPS'nde 5 cm fantom derinliğinde hesaplanan; PTW 2D-Array Seven29 iyon odası düzeneği ve Gafchromic EBT3 Filmleri ile aynı şartlarda ölçülen tüm tedavi alanlarının akı haritaları karşılaştırması PTW Verisoft 4.1 yazılımında, gama-indeks analiz yöntemiyle yapıldı. Tedavi planlama sisteminde belirlenen bölünmemiş 7 IMRT tedavi alanının kesişim bölgelerinin X-koordinat değerleri (izomerkez noktasına uzaklığı) kullanılarak, kesişim bölgelerinin analizleri de ayrıca yapıldı. Bunun yanında, kesişim bölgelerinin merkezi profil grafikleri ile TPS'nde bölünmemiş alanların merkezi profil grafikleri karşılaştırıldı. Karşılaştırma, TPS'nde hesaplanan doz akı haritaları ile 2D-Array ve Gafchromic EBT3 Film ile ölçülen lokal ve global referans doz parametreleri kullanılarak, 3, 4 ve 5 mm DTA (distance to agreement/uyum uzaklığı) ve %3, %4 ve %5 DD (dose difference/doz farkı) kriterlerine göre ve ölçülen verideki maksimum dozun %5 ve %10'u altındaki alan dışı dozların baskılanması ile yapıldı.<sup>[10]</sup>

### İstatistik programı ve dataların analizleri

Ölçümler sonucunda PTW Verisoft 4.1'de alınan ölçüm sonuçları değerlendirilip gama-indeks analizindeki başarı yüzdeleri bulundu. Bulunan veriler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programı kullanılarak değerlendirildi. Karşılaştırılan veriler, Merkezi Limit Teoremine göre örnek hacmin (alan sayısının) 30'dan küçük olmasından dolayı parametrik olmayan Wilcoxon Signed Ranks Testi ile analiz edilip, p değerinin 0.05'in altında olduğu karşılaştırmalarda farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu, aksi halde aralarında anlamlı bir fark olmadığı kabul edildi.<sup>[11]</sup>

### BULGULAR

Tedavi planlama sisteminde hesaplanan ve katı fantomda Gafchromic EBT3 Film ile ölçülen, bölünmemiş alanlar ve bu alanların kesişim bölgele-

rinin doz akı haritası ve merkezi eksen doz profilinin karşılaştırması örnek olarak Şekil 4a ve b'de görülmektedir.

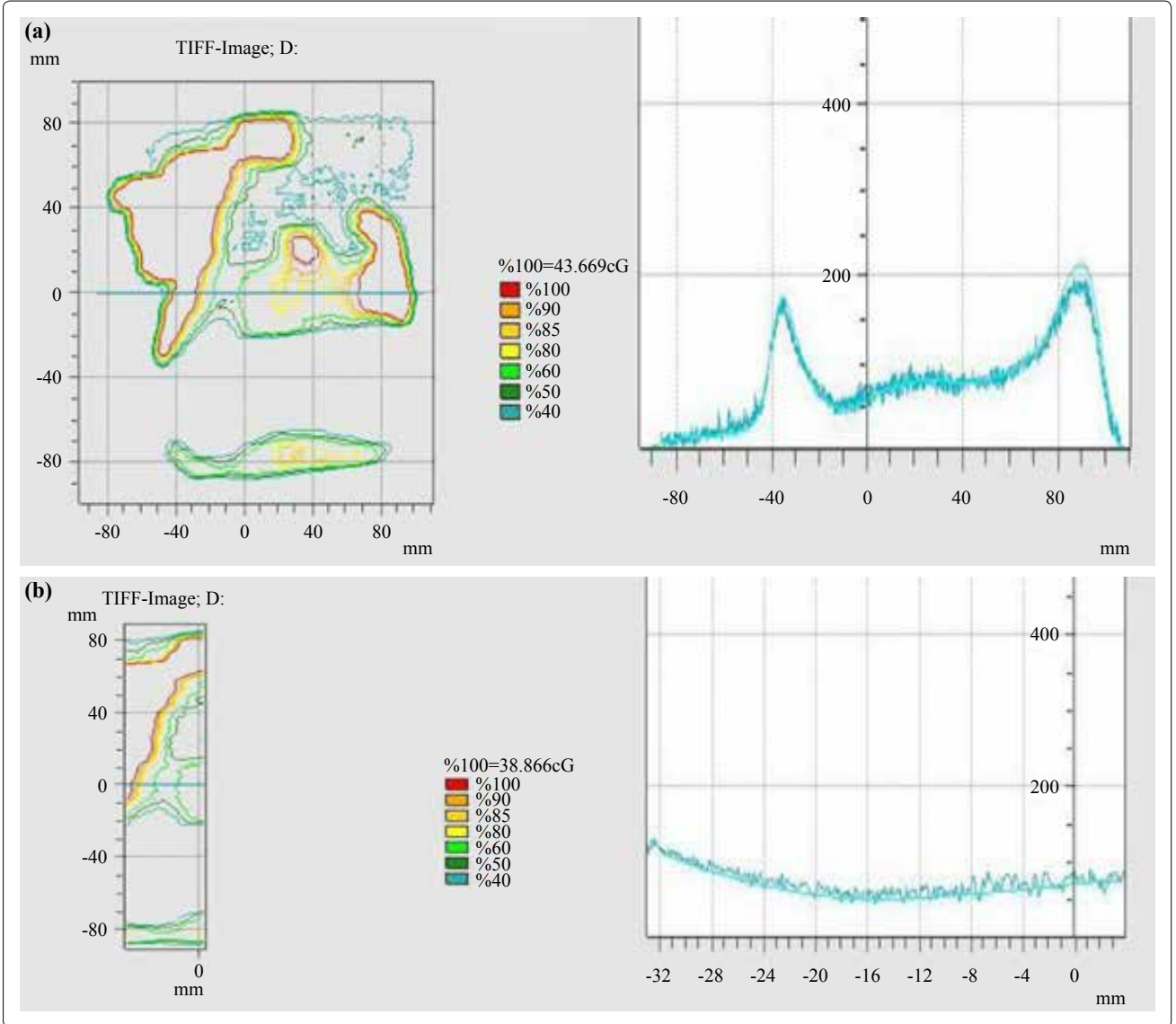
Tedavi planlama sisteminde hesaplanarak elde edilen bölünmemiş alanların doz dağılımları ile, katı fantomda 2D-Array ve Gafchromic EBT3 Film kullanılarak ölçülen doz dağılımları, gama-indeks analiz yöntemi kullanılarak karşılaştırıldı. Analiz sonuçları Tablo 1-6'da gösterilmiştir.

### TARTIŞMA

IMRT tedavileri için hazırlanan planların hasta-ya uygulanmasındaki doğruluğun kontrolü, tedavinin etkinliği için çok önemlidir. Bu amaçla yapılan QC testleri, planlananla ışınlanan arasındaki uyum tedavinin doğruluğunun niceliksel bir göstergesidir. Bu çalışmada, TPS'nden elde edilen 7 bölünmemiş alan ve bu alanların bölünmesiyle oluşan ve ikili olarak kesişen 14 alanın QC testleri katı fantomda PTW 2D-Array Seven29 iyon odası düzeneği ve Gafchromic EBT3 Film ile ölçülerek karşılaştırıldı. Bölünmüş alanların kesişim bölgelerinin doz dağılımlarının ölçümleri de ayrıca yapılarak TPS verileri ile karşılaştırıldı. Tedavi planlama sisteminde bölünmemiş 7 alanın, katı fantomda Gafchromic EBT3 Film kullanılarak elde edilen merkezi eksen doz profil eğrileri ile bu alanların bölünmesiyle oluşan iki alanın üstüste ışınlanması sonucu elde edilen kesişim bölgelerinin analiz sonuçlarından elde edilen merkezi eksen doz profil eğrileri, niteliksel olarak grafikler üzerinden incelendi.

Bölünmemiş alanlar için TPS'de hesaplanan ve 2D-Array ile ölçülen doz akı haritaları karşılaştırıldığında: Lokal referans doz kullanıldığında, ölçülen verideki maksimum dozun %5 ve %10'u altındaki dozlar baskılanarak analiz edildiğinde sırasıyla, %3 DD, 3 mm DTA için %80.4 ve %92.9; %4 DD, 4 mm DTA için %86.8 ve %96.1; %5 DD, 5 mm DTA için %90.8 ve %97.6 bulunmuştur. Maksimum dozun %10'unun baskılandığındaki uyum, %5'inin baskılandığı durumda oluşan uyumdan anlamlı olarak daha fazladır.

Global referans doz kullanılarak analiz yapıldığında benzer sonuçlar gözlenmiş, ölçülen verideki maksimum dozun %5 ve %10'u altındaki dozlar baskılanarak analiz edildiğinde sırasıyla, %3 DD,



Şekil 4. (a) Bölünmemiş alanın doz akı haritası ve merkezi eksen doz profili. (b) Kesişim bölgesinin doz akı haritası ve merkezi eksen doz profili.

3 mm DTA için %97.4 ve %99; %4 DD, 4 mm DTA için %98.3 ve %99.6; %5 DD, 5 mm DTA için %99 ve %99.7 bulunmuştur. Maksimum dozun %10'unun baskılandığında elde edilen uyum, %5'inin baskılandığı durumda oluşan uyumla karşılaştırıldığında bulunan fark, %3 DD, 3 mm DTA için anlamlı iken %4 DD, 4 mm DTA ve %5 DD, 5 mm DTA için anlamsızdır. Global referans doz kullanılarak maksimum dozun %5 ve %10'unun baskılanmasıyla elde edilen sonuçlar, lokal referans doza göre birbirine daha yakındır.

Bölünmemiş alanlar için TPS'de hesaplanan ve

EBT3 Film ile ölçülen doz akı haritaları karşılaştırıldığında: Lokal referans doz kullanıldığında, ölçülen verideki maksimum dozun %5 ve %10'u altındaki dozlar baskılanarak analiz edildiğinde sırasıyla, %3 DD, 3 mm DTA için %73.8 ve %84.2; %4 DD, 4 mm DTA için %82.5 ve %91.9; %5 DD, 5 mm DTA için %88.3 ve %95.4 bulunmuştur. Maksimum dozun %10'unun baskılandığında elde edilen uyum, %5'inin baskılandığı durumda oluşan uyumdan anlamlı olarak daha fazladır.

Global referans doz kullanıldığında, ölçülen verideki maksimum dozun %5'i ve %10'unun altın-

**Tablo 1**

Lokal referans doz alındığında bölünmemiş alanların doz akı analiz sonuçları

Bölünmemiş	Dozun %5'inin baskılanması			Dozun %10'unun baskılanması		
	TPS/2DArray	TPS/Film	p	TPS/2DArray	TPS/Film	p
3 mm, %3	80.4±6.1	73.8±5.8	0.043	92.9±2.9	84.2±4.4	0.018
4 mm, %4	86.8±5.9	82.5±5.9	0.091	96.1±2.3	91.9±3.8	0.028
5 mm, %5	90.8±5.1	88.3±5.4	0.237	97.6±1.2	95.4±3.2	0.176

TPS: Tedavi planlama sistemi.

**Tablo 2**

Global referans doz alındığında bölünmemiş alanların doz akı analiz sonuçları

Gamma-İndeks Kriterleri	Dozun %5'inin baskılanması			Dozun %10'unun baskılanması		
	TPS/2DArray	TPS/Film	p	TPS/2DArray	TPS/Film	p
3 mm, %3	97.4±1.4	90.7±5.1	0.028	99.0±0.8	92.4±3.9	0.018
4 mm, %4	98.3±1.2	95.4±3.5	0.091	99.6±0.6	96.6±2.3	0.028
5 mm, %5	99.0±0.8	97.8±2.1	0.236	99.7±0.4	98.5±1.2	0.063

TPS: Tedavi planlama sistemi.

**Tablo 3**

Lokal referans doz alındığında bölünmüş alanların doz akı analiz sonuçları

Gamma-İndeks Kriterleri	Dozun %5'inin baskılanması			Dozun %10'unun baskılanması		
	TPS/2DArray	TPS/Film	p	TPS/2DArray	TPS/Film	p
3 mm, %3	81.0±7.6	69±16.3	0.045	92.1±5.9	79.6±18.1	0.011
4 mm, %4	88.2±7.0	77.4±16.3	0.177	96.0±4.6	85.7±16.3	0.019
5 mm, %5	91.4±6.2	82.3±15.8	0.198	97.7±3.1	89.2±14.8	0.026

TPS: Tedavi planlama sistemi.

**Tablo 4**

Global referans doz alındığında bölünmüş alanların doz akı analiz sonuçları

Gamma-İndeks Kriterleri	Dozun %5'inin baskılanması			Dozun %10'unun baskılanması		
	TPS/2DArray	TPS/Film	p	TPS/2DArray	TPS/Film	p
3 mm, %3	97.6±2.2	85.5±19.2	0.06	97.6±3.4	89.1±17.2	0.065
4 mm, %4	98.6±1.7	89.7±17.3	0.03	98.8±2.6	92.3±14.4	0.051
5 mm, %5	98.9±1.6	91.8±15.6	0.099	99.2±2.1	94.1±11.9	0.037

TPS: Tedavi planlama sistemi.

daki dozlar baskılanarak analiz edildiğinde sırasıyla, %3 DD, 3 mm DTA için %90.7 ve %92.4; %4 DD, 4 mm DTA için %95.4 ve %96.6; %5 DD, 5

mm DTA için %97.8 ve %98.5 bulunmuştur. Maksimum dozun %10'unun baskılandığında elde edilen uyum, %5'inin baskılanması ile elde edilen so-



**Tablo 5**

Lokal referans doz kullanılarak tüm alan ve kesişim bölgelerinin doz akı analiz sonuçları

Gamma-İndeks Kriterleri	Dozun %5'inin baskılanması			Dozun %10'unun baskılanması		
	TPS/Film		p	TPS/Film		p
	Tüm alan	Kesişen alan		Tüm alan	Kesişen alan	
3 mm, %3	73.8±5.9	73.0±9.5	0.398	88.4±5.4	87.5±8.2	0.128
4 mm, %4	83.2±5.9	82.1±9.2	0.499	92.0±3.8	89±6.9	0.310
5 mm, %5	88.3±5.4	87.5±8.2	0.735	95.3±3.2	93.5±5.9	0.398

TPS: Tedavi planlama sistemi.

**Tablo 6**

Global referans doz kullanılarak tüm alan ve kesişim bölgelerinin doz akı analiz sonuçları

Bölünmemiş	Dozun %5'inin baskılanması			Dozun %10'unun baskılanması		
	TPS/2DArray	TPS/Film	p	TPS/2DArray	TPS/Film	p
3 mm, %3	90.7±5.2	87.8±8	0.398	92.5±3.8	89.5±5.8	0.176
4 mm, %4	95.5±1.4	93.9±2.4	0.866	96.6±2.3	97.2±2.5	0.499
5 mm, %5	97.8±2.1	97.0±4.3	0.463	98.5±1.2	97.1±1.8	0.799

TPS: Tedavi planlama sistemi.

nuçlara nazaran daha uyumlu gözükse de, bu fark istatistikî olarak anlamsızdır.

Bölünmüş alanlar için TPS'de hesaplanarak ve 2D-Array ölçüm sistemiyle ölçülerek elde edilen doz akı haritalarının karşılaştırılmasında: Bölünmemiş alanların analizlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Lokal ve Global referans doz kullanıldığında, ölçülen verideki maksimum dozun %10'unun altındaki dozlar baskılanarak analiz edildiğinde, %5'i baskılanarak elde edilen dozlardan daha uyumludur. 2D-Array ile elde edilen ölçüm sonuçları, TPS'de hesaplanan değerlere film ölçüm sonuçlarından daha yakındır.

Bölünmemiş ve bölünmüş alanlar için yapılan karşılaştırma analizlerinde: Lokal ve global referans doz kullanıldığında, maksimum dozun %10'unun baskılanması durumunda TPS'de hesaplanan doz ile 2D-Array ve EBT3 Film ile ölçülen doz arasındaki uygunluğun maksimum dozun %5'inin baskılanması durumuna oranla daha yüksek olduğu, lokal referans doz kriteri kullanıldığında ise bu durumun daha belirgin olduğu görülmektedir. Global referans doz kriteri kullanıldığında,

hesaplanan ile ölçülen dozlar arasındaki uyum, lokal doz kriteri kullanıldığında elde edilen verilere kıyasla daha fazladır. Global referans doz kriteri kullanıldığında düşük doz bölgelerinde olabilecek uygunsuzluğun gözden kaçabilmesi söz konusudur.<sup>[12,13]</sup> Klinikte analiz kriterleri belirlenirken bu durum dikkate alınmalıdır. 2D-Array ile ölçülen dozlar TPS ile hesaplanan dozlara, EBT3 Film ile ölçülen dozlardan daha yakındır. Bu çalışmada, TPS'de bölünmemiş alanların analiz sonuçlarının, bu alanların bölünmesiyle oluşan alanların tek tek analiz sonuçlarına kıyasla daha az uyumlu olduğu görülmüştür.

Howell ve ark.<sup>[14]</sup> tarafından EPID kullanılarak yapılan çalışmada, gama-İndeks analizi sonuçlarına göre IMRT planları kalite kontrollerinde, bu çalışmayla benzer şekilde bölünmüş alanların bölünmemiş alanlara göre TPS ile daha uyumlu olduğu bulunmuştur. Llinares ve ark.na<sup>[15]</sup> ait çalışmada, 10 tane hasta için 00, 500, 1000, 1500, 2100, 2600 ve 3100 gantri açılarında sahip alanlardan oluşan IMRT planlarının kalite kontrolleri için silindirik 4D-Octavius Fantom, fantom içe-

risine yerleştirilen 2D-Array iyon odası sistemi ve film dozimetri kullanılmıştır. Tedavi planlama sisteminde hesaplanan verilerle, 2D-Array iki boyutlu iyon odası ile ölçülerek elde edilen sonuçların, %3 DD, 3 mm DTA kriterlerine göre yapılan karşılaştırmasında, gama-indeks analizi değerlerinin %91.4 ile %100 arasında; TPS ile film kullanarak yaptıkları karşılaştırmada ise gama-indeks analiz değerlerinin %87.7 ile %95.5 arasında olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ise bölünmemiş alanlar için; %3 DD, 3 mm DTA, Global referans dozda ve ölçülen verideki maksimum dozun %5'i altındaki dozların baskılandığı analiz kriterlerine göre yapılan TPS ile 2D-Array karşılaştırmasında, analiz değerlerinin %96.2 ile %100 arasında; TPS-Film arasında yapılan karşılaştırmada ise analiz değerlerinin %82.6 ile %98.8 arasında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Linares ve ark.<sup>[16]</sup> çalışmalarında radiochromic filmlerin IMRT planlarının doz dağılımlarını doğrulamak için kullanılacak önemli bir araç olduğu gösterilmiştir. EBT3 ve EBT2 filmlerinin duyarlı katmanı aynı bileşene sahip olduğundan birçok özelliklerinin de benzer olduğu gösterilmiştir. Elde ettikleri sonuçlar ile çalışmacılar, EBT3 filmin EBT2 ile aynı şekilde klinik uygulama için kullanılabilirliğini vurgulamışlardır. Bunun yanı sıra EBT3 filmin yapısı simetrik olduğundan tarayıcının üstüne hangi tarafının yerleştirileceğinin bir önemi kalmamıştır. Çalışmalarında filmin her iki yüzünün taranması sonucundaki doz farkı %0.7'den daha az bulunmuştur. Böylece bu durumun kullanıcıya kullanım kolaylığı sağladığı belirtilmiştir. Spezi ve ark.<sup>[17]</sup> tarafından yapılan çalışmada, 2D-Array'in dozimetrik özellikleri incelenmiştir. 2x2 cm<sup>2</sup>'den 27x27 cm<sup>2</sup>'ye kadar olan açık alanlarda yaptıkları ölçümlerde, 2D-Array'in kısa, orta ve uzun vadede tekrarlanabilir olması ve hafifliği (2.4 kg) nedeniyle set-up kolaylığı sağladığı, bunun yanı sıra küçük alanlarda bile çok başarılı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca 2D-Array'in enerjiden bağımsız olduğu ve küçük alan boyutları içeren IMRT planlarında kullanılabilirliği belirtilmiştir. Wu ve ark.<sup>[2]</sup> tarafından yapılan çalışmada, bölünmüş ve bölünmemiş alanların film ile ölçülerek elde edilen doz dağılımlarının, hesaplanarak elde edilenlerle

uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada bölünmüş alanlara ait toplam doz yoğunluğunun, bölünmemiş alanlara ait doz yoğunluğuyla aynı olduğu görülmüştür.

Bölünmemiş alanların ve bu alanların bölünmesiyle oluşan kesişim bölgesinin TPS'de hesaplanan doz dağılımlarının, EBT3 Film ile ölçülen doz dağılımlarıyla karşılaştırılmasında; Lokal Referans Doz kullanılarak, %3 DD, 3 mm DTA için, ölçülen verideki maksimum dozun %5'i altındaki dozun baskılanması kriterleri kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarının ortalaması, bölünmemiş tüm alan için %73.8; kesişen alan için %73'tür. %4 DD, 4 mm kriterleri dikkate alınlığında, bölünmemiş tüm alan için %83.2; kesişen alan için %82.1, %5 DD, 5 mm DTA için bölünmemiş tüm alan için %88.3; kesişen alan için %87.5 bulunmuştur. Tüm alan için bulunan analiz sonuçları ile kesişim bölgesi için bulunan analiz sonuçları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamsızdır. Aynı değerlendirme, maksimum dozun %10'u baskılanarak değerlendirildiğinde benzer sonuçlar elde edilirken, aralarındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Global referans doz kullanılarak, ölçülen verideki maksimum dozun %5'i altındaki dozun baskılanmasıyla elde edilen analiz sonuçlarının ortalaması %3 DD, 3 mm DTA; %4 DD, 4 mm DTA ve %5 DD, 5 mm DTA için sırasıyla bölünmemiş tüm alanda %90.7; %95.5 ve %97.8, kesişen alan için %87.8; %95.5 ve %97 bulunmuştur. Farklar istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ölçülen verideki maksimum dozun %10'u baskılanarak analiz yapıldığında benzer sonuçlar edilmiş, aralarındaki fark anlamsız bulunmuştur.

## SONUÇ

Çalışmamızın sonucunda kliniğimizde 15 cm'den büyük alanlardaki IMRT uygulamasında, bölünerek ışınlanan alt alanlarda yapılan dozimetrik ölçümler ile TPS'de hesaplanan bölünmemiş alan dozları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda, IMRT alanlarının bölerek (split) ışınlanmaları esnasında herhangi bir doz kaybı ya da doz artışı gözlenmemiştir.



## KAYNAKLAR

1. Khan FM. The physics of radiation therapy. Lippincott Williams&Wilkins Company USA; 2003.
2. Wu Q, Arnfield M, Tong S, Wu Y, Mohan R. Dynamic splitting of large intensity-modulated fields. *Phys Med Biol* 2000;45(7):1731–40. [CrossRef](#)
3. Srivastava S, Das I. Dosimetric comparison of split fields and fixed jaw IMRT techniques for large head and neck target volumes. *Medical Physics* 2008;35(6):2741.
4. Boyer A, Biggs P, Galvin J, Klein E, LoSasso T, Low D, et al. Basic applications of multileaf collimators report of task group. No. 50 Radiation Therapy Committee AAPM Report no. 72 2001. p. 7–9.
5. Varian Clinac DHX Linear Accelerator [online] [http://www.varian.com/us/oncology/radiation\\_oncology/clinac/#.URJPEh154qQ](http://www.varian.com/us/oncology/radiation_oncology/clinac/#.URJPEh154qQ).
6. Varian Eclipse Treatment Planning System [online] [http://www.varian.com/us/oncology/radiation\\_oncology/eclipse/](http://www.varian.com/us/oncology/radiation_oncology/eclipse/).
7. PTW 2D Array 729 [online] [http://www.ptw.de/octavius\\_1.html](http://www.ptw.de/octavius_1.html).
8. Gafchromic Radiotherapy Films [online] <http://www.ashland.com/products/gafchromic-radiotherapy-films>.
9. Epson 10000XL Expression [online] <https://www.epson.com.tr/tr/viewcon/corporatesite/products/mainunits/overview/313>.
10. PTW Verisoft Software [online] <http://www.ptw.de/verisoft.html?&cId=4262>.
11. Celik Y, (editör). Nasıl? Biyoistatistik Bilimsel Araştırma SPSS 2011.
12. Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. *Med Phys* 1998;25(5):656–61. [CrossRef](#)
13. Poppe B, Ruehmann A, Willborn K, Allgaier B, Harder D. Three Dimensional Gamma-Index Analysis And Considerations of The Reference Level Definition For Dosimetric IMRT Plan Verification With 2D Ionisation Chamber Arrays. WC 2009, IFMBE Proceedings 2009;25/I. p. 248–9. [CrossRef](#)
14. Howell RM, Smith IP, Jarrio CS. Establishing action levels for EPID-based QA for IMRT. *J Appl Clin Med Phys* 2008;9(3):2721.
15. Llinares AU, Fernandez AS, Pain AE, Cabollero LJR, Oquendo MI. EP1319-Octavius Phantom and Seven29 in IMRT Patient Verification, Technical and Clinical Organization Aspects, ESTRO 31. p. 500.
16. Casanova Borca V, Pasquino M, Russo G, Grosso P, Cante D, Sciacero P, et al. Dosimetric characterization and use of GAFCHROMIC EBT3 film for IMRT dose verification. *J Appl Clin Med Phys* 2013;14(2):4111.
17. Spezi E, Angelini AL, Romani F, Ferri A. Characterization of a 2D ion chamber array for the verification of radiotherapy treatments. *Phys Med Biol* 2005;50(14):3361–73. [CrossRef](#)