



## BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ ÇEKİMLERİNDE LENS TİROİD VE ORAL MUKOZA ABSORBE RADYASYON DOZ DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ: FANTOM ÇALIŞMASI

### DETERMINATION OF ABSORBED RADIATION DOSE LEVELS OF LENSES THYROID AND ORAL MUCOSA IN COMPUTED TOMOGRAPHY IMAGING: PHANTOM STUDY

✉ Osman Günay<sup>1,2\*</sup>, Özcan Gündoğdu<sup>2</sup>, Mustafa Demir<sup>3</sup>, Hatice Semrin Timlioğlu İper<sup>1</sup>,  
 İhsan Kuru<sup>1</sup>, Doğan Yaşar<sup>4</sup>, Serpil Aközcan<sup>5</sup>, Onur Yazar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Okan Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, İstanbul, Türkiye, <sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli, Türkiye, <sup>3</sup>İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Bölümü, İstanbul, Türkiye, <sup>4</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kırşehir, Türkiye, <sup>5</sup>Kırklareli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kırklareli, Türkiye

**ORCID iD:** Osman Günay: 0000-0003-0760-554X; Özcan Gündoğdu: 0000-0003-0171-3179; Mustafa Demir: 0000-0002-9813-1628; Hatice Semrin Timlioğlu İper: 0000-0003-2112-0602; İhsan Kuru: 0000-0002-7985-3182; Doğan Yaşar: 0000-0002-1421-1680; Serpil Aközcan: 0000-0001-6661-5540; Onur Yazar: 0000-0001-9543-6891

\***Sorumlu Yazar / Corresponding Author:** Osman Günay, **e-posta / e-mail:** osman.gunay@okan.edu.tr

**Geliş Tarihi / Received:** 07.08.2019

**Kabul Tarihi / Accepted:** 27.12.2019

**Yayın Tarihi / Published:** 12.01.2020

## Öz

**Amaç:** Baş ve boyun bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülemesi, en sık kullanılan radyolojik incelemelerinden biridir. Birçok hastalığın tanısında önemli rol oynar. Lens ve tiroid bezi radyasyona karşı en duyarlı organlardır. Bu çalışmanın amacı, BT görüntülemesi yapılan hastaların, lens, oral mukoza ve tiroid dokusunun maruz kaldığı radyasyon dozunun belirlenmesidir.

**Yöntem:** Çalışmada, insan eşdeğeri olan Alderson Rando fantomunun tiroid, oral mukoza, lens bölgelerine termoluminesans dozimetreleri (TLD) yerleştirilmiş ve fantomun baş-boyun bölgesinin BT görüntülemesi yapılmıştır. Toplam 18 adet TLD kullanılmıştır. Öncelikle dozimetrelerin kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Bu dozimetrelerden 6 tanesi fantomun tiroid bölgesine, 4 tanesi oral mukozaya, 4 tanesi de lens bölgesine yerleştirilmiştir. 4 tane dozimetre ise arkaplan (background) ölçümleri için kullanılmıştır.

**Bulgular:** Lens merkezine yerleştirilen TLD'lerdeki radyasyon dozu 15,03 ile 23,71 mSv arasında (ortalama 19,83±3,93 mSv), oral mukozada 10,36 ile 19,47 mSv arasında (ortalama 15,15±2,96 mSv), tiroid bezinde ise 11,21 ile 16,73 mSv arasında (ortalama 13,97±3,90 mSv) bulunmuştur.

**Sonuç:** Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) raporlarında tüm vücut ve lensler için müsaade edilen radyasyon dozu, radyasyon görevlilerinde 20 mSv/yıl'dır. Hastalar için kesin bir limit olmamakla beraber, doz düzeyinin minimum tutulması amaçlanır. Bu nedenle referans dozunun bilinmesi çekim planlaması için önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Termoluminesans dozimetreleri, radyasyon dozu, göz, tiroid, bilgisayarlı tomografi

## Abstract

**Objective:** Head-neck computed tomography (CT) imaging is one of the most common tomography examinations in medical imaging. Lenses and thyroid are among the most sensitive organs to radiation. The aim of this study was to determine the radiation dose levels to which the patient's lens, oral mucosa, and thyroid were during head and neck CT imaging.

**Methods:** Thyroid, oral mucosa and lens areas of human equivalent Alderson rando phantom were placed in thermoluminescence dosimeter (TLD) dosimeters and computerized tomography imaging of head-neck of phantom was performed in this study. A total of 18 TLD dosimetry was used in this study. Firstly, dosimeters were calibrated. 6 of these dosimeters were placed on the thyroid of the phantom and 4 of them were placed in the mouth and 4 of them were in the lens. 4 dosimeters were used for background measurements

**Results:** The radiation dose in TLDs placed at the center of the lens was between 15.03 and 23.71 mSv (mean 19.83±3.93 mSv), the oral mucosa was 10.36 to 19.47 mSv (mean 15.15±2.96 mSv), and the thyroid gland was between 11.21 and 16.73 mSv (mean 13.97±3.90 mSv).

**Conclusion:** The permissible radiation dose for whole body and eye lenses in ICRP reports is 20 mSv/year for radiation officers. Likewise, there is no definite limit for patients, it is aimed to keep the dose level to a minimum. Therefore, knowing the reference dose is important for imaging planning.

**Keywords:** Thermoluminescence dosimeter, radiation dose, lens, thyroid, computed tomography

## Giriş

Teknolojinin ilerlemesiyle beraber sağlık alanında iyonize radyasyon kullanılarak çalışan çok sayıda görüntüleme cihazı geliştirilmiştir. Bu cihazlar arasında en çok kullanılanlarından bir tanesi de yüksek radyasyon dozu içeren bilgisayarlı tomografi (BT)'dir.<sup>1</sup> Bilgisayarlı tomografide, X-ışını tüpü hasta etrafında 360° döndürülerek görüntü elde edilmektedir. X-ışını tüpü, görüntü alınacak bölgeye göre 80 keV ile 140 keV arasında değişen enerjili X-ışınlarını hastaya gönderir. X-ışını demetinin hastayı geçen kısmı X-ışını tüpünün karşısına yerleştirilmiş dedektörler tarafından saptanarak üç boyutlu kesitsel görüntü elde edilir.

Bilgisayarlı tomografide görüntüleme sırasında hastanın maruz kaldığı radyasyon dozu birçok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin bazıları, X-ışını tüpünün kV<sub>p</sub>'si, tüp oluşturulan akım, taranan alan miktarı, taranan kesitin kalınlığı, organın pozisyonu, dokunun kalınlığı, pitch faktörü ve tarama modudur. Hastanın aldığı radyasyon dozunu etkileyen bu parametrelerin büyük kısmı kontrol masasında, operatörler tarafından değiştirilebilir. Fakat günümüzde bu parametrelerin neredeyse tamamı BT cihazı tarafından otomatik olarak belirlenmektedir.<sup>2,3</sup>

Baş ve boyun BT'si, en sık kullanılan tomografi incelemelerinden biridir ve hem travma hem de travma dışı (baş dönmesi, senkop veya kognitif bozukluğu) hastaların değerlendirilmesinde kritik rol oynar.<sup>4-6</sup>

Radyasyonun vücut organları üzerindeki stokostik ve deterministik etkileri vardır. Stokostik etkiler alınan dozdan bağımsız olarak radyasyon dozu ile kanser gelişme riskini ifade etmektedir. Deterministik etkiler ise bir eşik değer dozun olduğunu, gözlenebilen etkilerin ortaya çıkması için bu eşik değerini aşılması gerektiğini belirtir. Tanısal radyolojik incelemelerde düşük seviyede iyonize radyasyona maruz kalmanın lösemi, tiroid, akciğer ve meme kanserine neden olabileceği birçok araştırmada gösterilmiştir.<sup>7-10</sup>

Bilgisayarlı tomografi görüntülemelerindeki hızlı artış, kanser riskini de artırmıştır.<sup>11</sup> Radyasyon ile ilgili risklerin en aza indirilebilmesi için mümkün olan en düşük doz (as low as reasonably achievable (ALARA)) ile inceleme yapılması radyasyondan korunmanın temel prensiplerinden bir tanesidir.<sup>12</sup>

Lenslerin yüksek dozda radyasyona maruz kalması katarakta yol açabilir.<sup>13,14</sup> Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) Yayını 118, kataraktın indüklenmesi eşığının 500 mGy olduğunu belirtmiştir. Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu, lensler için yıllık 20 mSv'lik düşük bir mesleki radyasyon dozu limiti önermiştir.<sup>15-16</sup>

Bu çalışmanın amacı, BT görüntülemesi yapılan hastaların, lens, oral mukoza ve tiroid dokularının maruz kaldığı radyasyon dozlarının tespit edilmesidir. Bu amaç için, insan eşdeğeri olan Antropomorfik Alderson Rando Fantomu (ART)'nin tiroid, oral mukoza, lens bölgelerine TLD'ler yerleştirilmiş ve fantomun baş-boyun bölgesinin BT görüntülemesi yapılmıştır. Böylelikle, baş-boyun görüntülemesi sırasında, hastanın lens, oral mukoza ve tiroid dokusunun aldığı radyasyon dozu belirlenmiştir.

## Yöntem

Bu çalışma, ART fantomu kullanılarak gerçekleştirildi. Antropomorfik Alderson Rando Fantom, organların ve iskeletin yoğunluğu açısından yetişkin bir insanın özelliklerini taşımaktadır. ART fantomunun yapıldığı mal-

zemenin yoğunluğu 0,985 gcm<sup>-3</sup>'dir. Fantomun iskeleti doğal insan kemik tozundan üretilmiş ve 32 ayrı kesitten meydana gelmiştir. Boyu 155 cm, ağırlığı 50 kg olan kadını temsil etmektedir.<sup>17</sup>

Çalışmada kullanılan TLD-100 dozimetrelerinin eni 3,2 mm, boyu 3,2 mm ve kalınlığı 0,89 mm'dir. Bu dozimetreler, LiF, Mg ve Ti içeriğinden meydana gelmiştir. Dozimetrelerin hem kalibrasyonları hem de BT görüntülemesinden sonraki değerlendirme işlemleri Çekmece Nükleer Araştırmalar Merkezinde bulunan ikincil standart dozimetri (SSDL) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Dozimetrelerin okunması laboratuvarında bulunan WinREMS yazılımı yardımıyla bilgisayara bağlı olan Harshaw 4500 model okuyucuyla yapılmıştır.

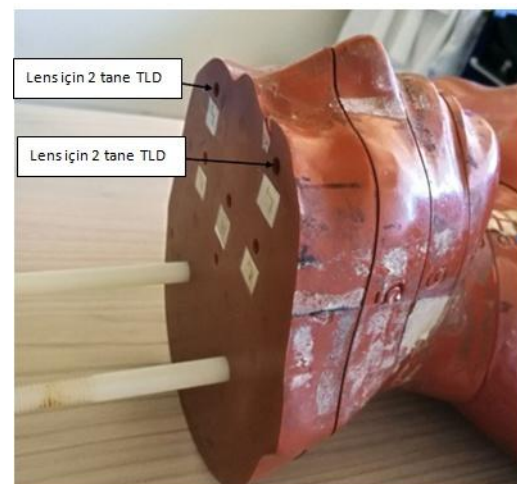
Dozimetre okuyucu cihazın kalibrasyonu için, Cs-137 kaynağı, Yxlon International MGC 41 model X-ışını sistemi ve radyasyon dozu ölçümleri için referans standart olan dozimetre kullanılmıştır.<sup>18</sup>

Bu çalışmada toplam 18 adet TLD dozimetresi kullanılmıştır. Öncelikle dozimetrelerin kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Bu dozimetrelerden 6 tanesi fantomun tiroid bölgesine, 4 tanesi oral mukozaya (ağız boşluğuna) ve 4 tanesi de lens bölgesine yerleştirilmiştir (Çizim 1).



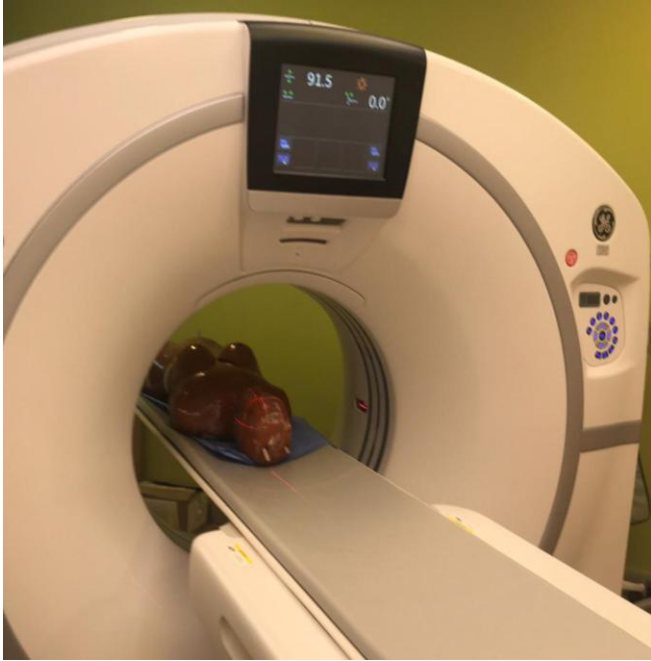
Çizim 1. Fantom üzerinde TLD'lerin yerleştirildiği kesitler

Arkaplan (Background) ölçümler için 4 dozimetre kullanılmıştır. TLD'ler fantomun içerisinde bulunan boşluklara Çizim 2'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Çizim 2. Fantom içerisindeki TLD'lerin yerleştirildiği boşluklar

Bilgisayarlı tomografi (GE marka, 64 kesit) ile fantomun baş-boyun görüntülemesi yapılmıştır (Çizim 3). Görüntülemeden sonra TLD'ler çekmece nükleer araştırmalar merkezinde okunmuştur.



**Çizim 3.** Fantomun, baş-boyun bilgisayarlı tomografi görüntülemesi

BT çekimleri tamamen otomatik modda yapılmıştır. General Elektrik Optima CT520 model cihaz kullanılarak yapılan bilgisayarlı tomografi görüntülemenin çekim süresi 9,63 saniye ve çekim uzunluğu 23,75 cm'dir. Helical modda yapılan baş boyun görüntülemede (Çizim 4) 120 kVp, 221,7 mA değerleri cihaz tarafından otomatik olarak verilmiştir. Diğer çekim parametreleri ise, CTDI<sub>vol</sub> değeri 27,84 mGy, DLP değeri 737,69 mGy.cm ve Pitch faktörü 1,38'dir. Her bölge için ortalama radyasyon dozu ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ortalamalar ve standart sapmalar, basit istatistiksel yöntem kullanılarak hesaplanmıştır.



**Çizim 4.** Fantomun BT görüntüsü

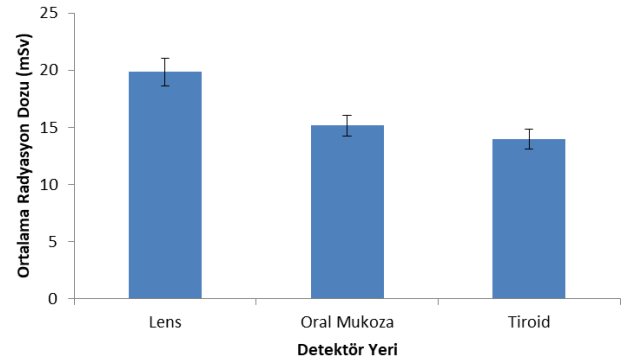
## Bulgular

Lens merkezine yerleştirilen TLD'ler de en düşük 15,03 mSv, en yüksek 23,71 mSv ve ortalama olarak 19,83±3,93 mSv hesaplanmıştır. Oral mukozadaki TLD'lerde en düşük 10,36 mSv, en yüksek 19,47 mSv ve ortalama 15,15±2,96 mSv olarak bulundu. Tiroid bölgesine yerleştirilen TLD'lerde en düşük 11,21 mSv, en yüksek 16,73 mSv ve ortalama 13,97±3,90 mSv olarak bulundu (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Lens, Oral Mukoza ve Tiroiddeki ölçülen radyasyon dozları

TLD Yeri	Minimum Radyasyon Dozu (mSv)	Maksimum Radyasyon Dozu (mSv)	Ortalama Radyasyon Dozu (mSv) ve Standart Sapma
Lens	15,03	23,71	19,83±3,93
Oral Mukoza	10,36	19,47	15,15±2,96
Tiroid	11,21	16,73	13,97±3,90

Baş-boyun çekimlerinde lensin aldığı radyasyon dozu, oral mukozaya ve tiroidin aldığı radyasyon dozundan daha fazladır (Çizim 5).



**Çizim 5.** Lens, Oral Mukoza ve Tiroiddeki ölçülen radyasyon dozlarının karşılaştırılması

## Tartışma

1972 yılında ilk olarak dokuların iç kısımlarının kesitsel olarak incelenmesini sağlayan BT cihazı kullanılmaya başlandıktan sonra pek çok hastalığın tanısında sıklıkla başvurulan bir teşhis yöntemi olarak yerini almıştır.<sup>19</sup> Standart X-ışınli röntgen cihazlarından çok daha yüksek radyasyon gücü olan bu cihazlar vücudun hemen her bölgesinde ama özellikle baş-boyun bölgesinde kritik ameliyat kararlarında, baş gelişiminin incelenmesinde, kulak burun boğaz (KBB) ameliyatları öncesinde paranasal sinüslerin değerlendirilmesinde, kafa travmalarında, beyin kanamalarında, baş boyun bölgesi tümörlerinin izlenmesinde kullanılmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar tüm medikal görüntülemelerin %11'ini BT çekimlerinin oluşturduğunu bunun da genel popülasyonun toplam radyasyon yükünün %67'sine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Yine görüntülemelerin %10'dan fazlası küçük çocuklarda ve bebeklerde yapılmakta ve bunların en az %45'i baş boyun bölgesini kapsamaktadır. Kraniyal BT görüntülemeye, to-

rasik, abdominal veya pelvik bölgelerde yapılan çekimlere oranla daha düşük hasta efektif dozu gerektirse de baş boyun bölgesi radyasyonun genotoksik etkilerine duyarlı lens ve tiroid gibi organların yer aldığı bir bölgedir.<sup>20</sup>

2012 yılında ICRP ve diğer danışma kurulları lenslerin iyonize radyasyona maruziyeti ile ilgili yeni kılavuzlar yayınladı. ICRP bu raporda, iyonize radyasyona maruz kalmanın akut, uzun süreli veya kronik olmasına bakılmaksızın katarakt oluşması için limit değerini 2 Gy den 0,5 Gy'e düşürdü. Fakat BT çekimleri ile katarakt oluşumunun kesin bir eşik değeri kesin olarak belirtilememektedir. Ayrıca aynı raporda, ICRP iyonize radyasyon ile çalışılan departmanlarda çalışanlar için mesleki lens iyonize radyasyon limitini 150 mSv/yıl'dan 20 mSv/yıl'a düşürdü. Bu raporda lenslerin bir yıl boyunca 50 mSv'i aşmaması ve 5 yılın ortalamasının da 20 mSv aşmaması tavsiye edildi.<sup>21</sup>

Bazı kişilerde çok daha düşük dozlarda tekrarlayan maruziyetler, katarakt oluşumuna neden olurken bazı kişilerde katarakt gelişimi daha uzun ve daha yüksek dozlarda görülmektedir. Bu farklılıkların sadece iyonize radyasyonun hücreler üzerinde yaptığı apoptotik etkiden değil aynı zamanda bu etkinin giderilmesinden sorumlu düzeltici etkenlerin yokluğu veya düzenli çalışmamasından da kaynaklandığı düşünülmektedir.<sup>21</sup>

Lens insan yaşamı süresince büyümeye devam eder. Ön kapsül altında yer alan hücreler sürekli lens fibrillerini salgılamaya devam ederler ve elastik bir kapsül ile sarılı lens fibriller eklendikçe hacmi artar. ICRP ve BEIR'ye göre lens insan vücudunda iyonize radyasyondan en çok etkilenen dokulardandır ve iyonize radyasyondan etkilenecek ölen veya nitelikleri bozulan önkapsül altındaki bu hücreler bozuk fibrillere ve lensin saydam dokusu içinde opak birikintilere neden olurlar. Özellikle beraberinde DNA onarıcı hücresel faktörlerde ve/veya hücre yaşam döngüsü kontrol faktörlerinde bir eksiklik veya genetik bozukluk varsa bu etkiler çok daha belirgin olur.<sup>21,22</sup> Eğer bu birikintiler dağınık ve az ise katarakt görme bozukluğuna neden olmayabilir. Ancak tekrar eden çekimler bu yapıların oluşumunu arttırmaya ve opasiteleri çoğaltmaya başladığında görmeyi doğrudan etkileyen katarakt formasyonu ortaya çıkar.

Yapılan çalışmalarda baş boyun BT de gözün iyonize radyasyondan etkilenmesini azaltmak amacı ile 3 yöntem önerilmektedir. Koruyucu kurşun göz plakları kullanmak, cihazın doğrudan hedefe odaklanmasını sağlamak ve genel olarak dozu azaltmak önerilmektedir.<sup>23</sup>

Lund ve Hallaburt'un çalışmasında baş boyun çekimlerinde gözün ve özellikle lensin daha önce düşünülen daha yoğun iyonize radyasyona maruz kaldığı daha önceki çalışmalarda 5-8 mSv arasında bulunan doz maruziyetini kendi çalışmalarında daha yüksek bulmuşlardır. Lund ve Hallaburt'un çalışmalarında çekim türüne göre 38 mSv ile 312 mSv arası değişen lens radyasyon dozu bulmuşlardır.<sup>24</sup>

Akhilesh ve ark.'nın yaptığı çalışmada lensin aldığı radyasyon dozu 41,0-43,2 mGy aralığındadır. Jibiri ve ark.'nın çalışması ise kontrastsız çekimlerde 19,58-25,08 mGy aralığında bulunan değerler kontrastlı çekimlerde 50,84 mGy'ye kadar çıkmaktadır (Ortalama 35,604±12,37).<sup>19,25</sup>

Toossi ve ark.'nın 2018 yılında yaptıkları çalışmada baş BT görüntüleme lenslerin aldığı radyasyon dozunu 17,64±1,69mSv ve 24,41±1,89mSv olarak bulmuşlardır. Aynı çalışmada tiroiddeki ortalama radyasyon dozu ise 5,00±1,17 mSv hesaplanmıştır.<sup>26</sup> Fakat Toossi ve ark. ortalamaları hesaplarken beyin BT görüntüleme tiroid

sonuçları da ortalamaya dahil etmişlerdir. Beyin BT görüntüleme sırasında tiroidler birincil radyasyona maruz kalmadığı için aldığı hesaplanan radyasyon dozu bizim çalışmamıza göre daha düşük bulunmuştur. Bizim çalışmamızdaki tiroid radyasyon doz sonucunun (13,97±3,90 mSv) bu çalışmadan daha yüksek olmasının sebebi, bizim yaptığımız BT görüntülemenin baş-boyun görüntülemesi olup tiroidin birincil iyonize radyasyona direkt olarak maruz kalmasıdır.

Abuzaid ve ark., 2017 yılında beyin BT görüntüleme tiroidin aldığı radyasyon dozunu koruyucu kalkan kullanarak ve kullanmadan hesaplamışlardır. Kalkan kullanmadan 0,20±0,05 mSv ve kalkan kullandıklarında 0,11±0,01 mSv olarak bulmuşlardır.<sup>27</sup>

Santos ve ark., 2019 yılında Alderson Rando fantomunun erkek versiyonunda BT görüntüleme tiroidin aldığı radyasyon dozunu bizmut kalkan kullanarak ve kullanmadan ölçmüşlerdir. Kalkan kullanmadan 24,70 mGy, kalkan kullanarak ise 15,09 mGy olarak hesaplamışlar ve kalkanın %39 doz azaltma gerçekleştirdiğini bulmuşlardır.<sup>28</sup>

Bizim çalışmamızda lenslerin aldığı ortalama radyasyon dozu 19,83±3,93 olup ICRP'nin tespit ettiği güvenlik sınırları içinde kalmaktadır. Lens ve tiroid radyasyon dozları yapılan diğer çalışmalarla da uyumludur.<sup>29,30</sup>

Bu çalışma ile BT çekimlerinde lens, oral mukoza ve tiroidin önemli oranda radyasyona maruz kaldığı belirlenmiştir. Tekrar çekimlerinde endikasyonu kesin olmayan veya tarama amaçlı çekimlerde organ dozlarının dikkate alınması gerekliliği bu çalışma ile ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın daha geniş kapsamlı klinik sonuçlar içermesi için farklı boyutlardaki fantomlar ile benzer çalışmalar yapılmasına ihtiyaç vardır.

### Teşekkür

Yazarlar, Alderson rando fantomun kullanılmasında destek olduğu için İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü'ne teşekkür eder.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarın herhangi bir çıkar dayalı ilişkisi bulunmamaktadır.

### Yazar Katkıları

OG, ÖG, OY, SA: Fikir; MD, DY, SA: Tasarım; OG, İK: Veri toplama; OG, HSTİ: Kaynak tarama; MD, İK: Analiz ve/veya yorum; OG, HSTİ, OY: Makale yazımı; MD: Eleştirel inceleme; OG: Yayınlama süreci

### Kaynaklar

1. Sodickson A, Baeyens PF, Andriole KP, et al. Recurrent CT, cumulative radiation exposure and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults. *Radio*. 2009;251(1):175-84.
2. McNitt-Gray MF. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: topics in CT: radiation dose in CT. *Radiograph*. 2002;22(6):1541-1553.
3. Işık Z, Selçuk H, Albayram S. Bilgisayarlı tomografi ve radyasyon. *Kln Gelişm*. 2010;23:16-18.
4. Tomar SS, Bhargava A, Reddy N. Significance of computed tomography scans in head injury. *Open J Clin Diagn*. 2013;3(03):109-114.
5. Sharif-Alhoseini M, Khodadadi H, Chardoli M, Rahimi-Movaghar V. Indications for brain computed tomography scan after minor head injury. *J Emerg Trau Shoc*. 2011;4(4):472-476.
6. Wang X, You JJ. Head CT for nontrauma patients in the emergency department: clinical predictors of abnormal findings. *Radio*. 2013;266(3):783-790.

7. Berrington de Gonzalez A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic x-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *The Lancet*. 2004;363(9406):345-351.
8. Ron E. Cancer risks from medical radiation. *Health Phys*. 2003;85(1):47-59.
9. Takamura N, Orita M, Saenko V, Yamashita S, Nagataki S, Demidchik Y. Radiation and risk of thyroid cancer: Fukushima and Chernobyl. *Lancet Diabet Endoc*. 2016;4(8):647.
10. Hall EJ, Brenner DJ. Cancer risks from diagnostic radiology. *British J Radio*. 2008;81(965):362-378.
11. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography-an increasing source of radiation exposure. *N Eng J Medic*. 2007;357(22):2277-2284.
12. Amis ES Jr, Butler PF, Applegate KE, et al. American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine. *J Amerc Col Radio*. 2007;4(5):272-284.
13. Hamada N, Fujimichi Y. Role of carcinogenesis related mechanisms in cataractogenesis and its implications for ionizing radiation cataractogenesis. *Canc Letter*. 2015;368(2):262-274.
14. Shore RE. Radiation and cataract risk: Impact of recent epidemiologic studies on ICRP judgments. *Mutation Resc Rev Mutation Resrc*. 2016;770:231-237.
15. Boal TJ, Pinak M. Dose limits to the lens of the eye: International Basic Safety Standards and related guidance. *Ann ICRP*. 2015;44(Suppl. 1):112-117.
16. Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs-threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP*. 2012;41(1-2):1-322.
17. Lee GS, Ki JS, Seo YS, Kim JD. Effective dose from direct and indirect digital panoramic units. *Imag Sci Dentis*. 2013;43(2):77-84.
18. Günay O, Demir M. Bilgisayarlı tomografi çekimlerinde hastanın yakın çevresinde radyasyon dozu ölçümleri. *SDÜ Fen Bilim Enst Derg*. 2019;23(3):792-796.
19. Jibiri NN, Adewale AA. Estimation of radiation dose to the lens of eyes of patients undergoing cranial computed tomography in a teaching Hospital in Osun state, Nigeria. *I J Radia Res*. 2014;12(1):53-60.
20. Perisinakis K, Raissaki M, Tzedakis A, Theocharopoulos N, Damilakis J, Gourtsoyiannis N. Reduction of eye lens radiation dose by orbital bismuth shielding in pediatric patients undergoing CT of the head: a Monte Carlo study. *Med Phys*. 2005;32(4):1024-1030.
21. Kleiman NJ. Radiation cataract. *Annals ICRP*. 2012;41(3-4):80-97.
22. Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, et al. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am J Epidem*. 2008;168(6):620-631.
23. Wang J, Duan X, Christner JA, Leng S, Grant KL, McCollough CH. Bismuth shielding, organ-based tube current modulation, and global reduction of tube current for dose reduction to the eye at head CT. *Radio*. 2012;262(1):191-198.
24. Lund E, Halaburt H. Irradiation dose to the lens of the eye during CT of the head. *Neuroradio*. 1982;22(4):181-184.
25. Akhilesh P, Kulkarni AR, Jamhale SH, Sharma SD, Kumar R, Datta D. Estimation of eye lens dose during brain scans using Gafchromic Xr-QA2 film in various multidetector CT scanners. *Rad protect dosm*. 2017;174(2):236-241.
26. Bahreyni Toossi MT, Zare H, Eslami Z, et al. Assessment of radiation dose to the lens of the eye and thyroid of patients undergoing head and neck computed tomography at five hospitals in Mashhad, Iran. *I J Med Phys*. 2018;15(4):226-230.
27. Abuzaid MM, Elshami W, Haneef C, Alyafei S. Thyroid shield during brain CT scan: dose reduction and image quality evaluation. *Imag Med*. 2017;9(3):45-48.
28. Santos FS, Gomez AML, da Silva CAM, do Carmo Santana P, Mourao AP. Analysis of thyroid absorbed dose in cervical CT scan with the use of bismuth shielding. *Brazil J Rad Scienc*. 2019;7(2A):1-8.
29. Aytugur E, Kose TE, Gumru B, et al. Are bismuth shields useful in dentomaxillofacial radiology practice for the protection of eyes and thyroid glands from ionizing radiation? *Iran J Radio*. 2018;15(3):e40723. doi:10.5812/iranjradiol.40723
30. Iwai K, Hashimoto K, Nishizawa K, Sawada K, Honda K. Evaluation of effective dose from a RANDO phantom in video fluorography diagnostic procedures for diagnosing dysphagia. *Dentomaxil Radio*. 2011;40(2):96-101. doi:10.1259/dmfr/51307488