

# Panoramik Radyografilerde Fraktal Analiz Metodunun Uygulanması ve Değişik Röntgen Cihazlarının Fraktal Boyut Değerine Etkisi

Application of Fractal Analysis Method on Panoramic Radiographs and Effect of Different X-Ray Devices on Fractal Dimension Value

İsmail Gümüştsoy

Sakarya Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, Sakarya

Yazışma Adresi / Correspondence:

İsmail Gümüştsoy

Ağız Diş ve Çene Radyolojisi, Diş Hekimliği Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

T: +90 264 295 4201 E-mail: : ismgum@gmail.com

Geliş Tarihi / Received : 04.07.2019 Kabul Tarihi / Accepted : 31.08.2019

Orcid :

İsmail Gümüştsoy: <https://orcid.org/0000-0002-2725-3273>

## Öz

Amaç	Bu çalışmanın amacı aynı çenenin farklı röntgen cihazları ve ekspozür parametreleri ile elde edilen dental panoramik radyografileri (PR) üzerinde aynı ilgi bölgesi için yapılan fraktal analiz (FA) sonuçlarına cihazların ve teknik faktörlerin etkisini incelemektir. ( <i>Sakarya Tıp Dergisi</i> 2019, 9(3):492-498 )
Gereç ve Yöntemler	Bu çalışmada 15 adet koyun hemimandibulasının iki farklı röntgen cihazı ve değişik ekspozür parametreleri ile elde edilen 45 panoramik röntgen görüntüsü kullanıldı. ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD) programı kullanılarak kutu sayma yöntemi ile PR'ler üzerinde mandibular trabeküler kemiğin FA'sı yapıldı. Sonuçlar Paired t-testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi.
Bulgular	15 adet koyun hemimandibulasının 1. Panoramik röntgen cihazında 57 kVp, 5 mA ve 63 kVp, 6 mA parametreleri ile çekilen panoramik görüntülerinde elde edilen ortalama fraktal boyut (FB) değeri 1,3551 ve 1,3653 idi. Yine aynı parametreler ile 2. cihazdan elde edilen ortalama FB ise 1,3632 ve 1,3698 idi. Her iki röntgen cihazı ile yapılan çekimlere ait FB değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu ( $p=0,552$ ), ( $p=0,714$ ). 1. Cihaz ile yapılan 1. ve 2. çekimlere ait FB değerleri arasında ve 2. cihaz ile yapılan 1. ve 2. çekimlere ait FB değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu ( $p=0,164$ ), ( $p=0,587$ ).
Sonuç	Aynı çenenin farklı röntgen cihazı ve tüp voltaj değerleri ile çekilen PR'leri üzerinde aynı ilgi bölgesinden elde edilen FB değerleri farklı olmakla beraber, FB değerlerindeki değişimler sonuçlarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmamıştır.
Anahtar Kelimeler	fraktal; panoramik radyografi; mandibula

## Abstract

Objective	The aim of this study was to investigate the effect of different X-ray devices and exposure parameters on fractal analysis (FA) of panoramic radiographs (PR) for the same region of interest (ROI) of the same jaw. ( <i>Sakarya Med J</i> 2019, 9(3):492-498 ).
Materials and Methods	Forty-five panoramic images taken with different X-ray devices and exposure parameters of fifteen dry sheep hemimandibles were used in this study. Fractal dimension analysis of trabecular bone was performed on the hemimandibles by using the ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD) software and box-counting method. The results were statistically evaluated using the Paired t-test.
Results	For the first X-ray device and 57 kVp, 5 mA and 63 kVp, 6 mA exposure parameters, the average fractal dimension (FD) value obtained from panoramic images of fifteen dry sheep hemimandibles were 1,3551 and 1,3653. For the same exposure parameters and second X-ray device, the average FD value obtained from panoramic images of fifteen dry sheep hemimandibles were 1,3632 and 1,3698. There was no statistically significant difference between the FD values of PRs taken with two different x-ray device ( $p = 0.552$ ). There was no statistically significant difference between the FD values of 1st and 2nd scanning of first device and the FD values of 1st and 2nd scanning of second device ( $p = 0.164$ ) ( $p = 0.587$ ).
Conclusion	Although the FD values obtained from the same ROI on the PRs taken with different X-ray devices and tube voltage values of the same jaw were different, the changes in FD values did not make a statistically significant difference in the results.
Keywords	fractals; panoramic radiography; mandible

## GİRİŞ

Kemik dokusu, insan vücudunda hareket ve destek işlevini yerine getiren kas-iskelet sisteminin önemli bir unsurudur. Kemik doku trabeküler ve kompakt olmak üzere iki kompartmandan oluşmaktadır ve bu iki yapının total kemikteki oranı yaklaşık %20'ye %80 şeklindedir. Total kemik kütlelerinin %20'lik kısmını oluşturmasına rağmen tabeküler kemik, kompakt kemikten metabolik olarak daha aktiftir ve vücutta kemik dokuyu etkileyen herhangi bir hastalığın trabeküler kemikte daha erken belirti vereceği literatürde değişik çalışmalarda belirtilmiştir.<sup>1-3</sup>

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha sedanter bir yaşam biçimine geçen ve özellikle ileri yaşlı insanlarda osteoporoz bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Primer osteoporozun yanı sıra kemikte sekonder osteoporotik etkilere neden olan hiperparatroidizm, kronik renal yetmezlik, romatoid artrit gibi birçok hastalık da çene kemiklerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Araştırmacılar bu hastalıkların kemik kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri ve bunların erken teşhisiyle ilgili bir hayli çalışma yapmıştır.<sup>4-9</sup>

Kemik kalitesi; trabeküler devamlılık, kemik geometrisi, kemikte oluşmuş olan mikrohasarlar, kemik dokunun mimarisi, mineralizasyon miktarı ve kusurları gibi birçok faktöre bağlıdır. Kemik yapının analizinde geçmiş yıllarda sıklıkla kemik mineral yoğunluğu ölçümü kullanılmaktaydı.<sup>10-12</sup> Bilgisayarlı tomografinin yaygınlaşmasıyla beraber "kemik dansite" ya da "Hounsfield Unit" (HU) ölçümleri de sıklıkla kullanıldı. Ancak güncel çalışmalar kemik kalitesinin değerlendirilmesinde sadece dansite ölçümlerinin yeterli olmadığını, trabeküler mikro-yapı analizinin de mutlaka dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur.<sup>13,14</sup> Trabeküler kemik dallara ayrılan yapısı nedeniyle, self-similarity (öz-benzerlik) ve lack of well-defined scale (iyi tanımlanmış bir ölçü biriminin olmayışı) gibi fraktal özellikler sergilemektedir. İşte bu nedenle fraktal geometrik uygulamalar ve fraktal boyut (FB) ölçümleri trabeküler kemiğin kompleks yapısını tanımlamada kullanılabilir.<sup>15-17</sup>

Teknolojinin gelişmesi ve bilgisayarların yaşamımıza girişiyle birlikte trabeküler kemik mikro-yapı analiziyle birçok kemik doku hastalığının daha erken teşhisi ve özellikle implant cerrahisi öncesinde kemik kalitesi analizi birçok bilimsel çalışmanın popüler konusu haline gelmiştir. İşte bu nedenle temel bileşenlerini inceleyerek karmaşık yapıya sahip görüntüleri analiz etmede kullanılan fraktal analiz (FA) yöntemi, özellikle son 10 yılda bilimsel araştırmalarda yoğun olarak kullanılmıştır. Bu yöntemde matematiksel bir görüntü analizi algoritması kullanılmaktadır.<sup>18</sup> Birçok araştırmacı bu yöntemin biyolojik görüntülerin analizinde faydalı bir metod olduğunu ortaya koyan çalışmalar yapmıştır. (Southard et al, Law et al, and White et al) Diş hekimliğinde de bilgisayar yardımlı görüntü analizi ile özellikle çene kemiklerindeki osteoporozu teşhis etmeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır.<sup>19-23</sup>

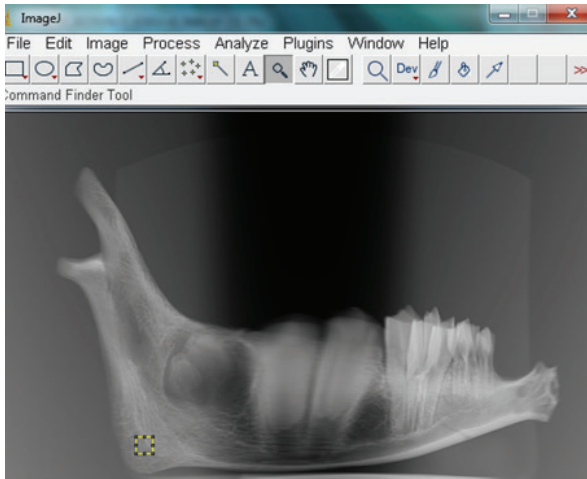
Diş hekimliğinde çene kemiklerinin incelenmesinde çoğunlukla dental panoramik radyografiler (PR) kullanılır. PR'lerin yaygınlaşması ve rutin olarak kullanıma girmesi en büyük avantajlarından. Radyografilerde kemik morfolojisi incelenebilir ve farklı ölçüm teknikleri ile değişik analizler yapılabilir.<sup>24,25</sup> Herhangi bir dental sebeple diş hekimine başvuran hastalar için kapsamlı bir radyografik inceleme amacıyla basit, pratik ve ucuz bir görüntüleme yöntemi olarak en çok tercih edilen radyografi, PR'dir.

Diş hekimliği literatüründe, standardize PR kullanılarak implant operasyonu öncesinde kalitatif ve kantitatif kemik analizini sağlayan ya da herhangi bir metabolik hastalık nedeniyle çene kemiklerindeki muhtemel osteoporotik değişimleri saptayabilen bir yöntem olarak FA'nın kullanımı ile ilgili birçok çalışma mevcuttur.<sup>8,15,16,26</sup> Çalışmamızın amacı değişik panoramik röntgen cihazları ve farklı ekspozür parametreleri ile elde edilen radyografiler üzerinde FA yönteminin tekrarlanabilirliğini araştırmaktır. Bu çalışmanın hipotezi farklı marka röntgen cihazları ile çekilen PR'lar üzerinde aynı ilgi bölgesinde yapılan FA sonucu elde edilen fraktal boyut (FB) değerleri birbirinden farklılık gösterecektir şeklinde kurulmuştur.

## GEREÇ ve YÖNTEMLER

Bu çalışmada 15 adet koyun hemimandibulasının PR'si kullanılmıştır. Metodolojik türdeki bu çalışma Mart ve Nisan 2019 tarihleri arasında Sakarya Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir. PR'lar ilgili Anabilim Dalı'nda, KaVo OP 3D Pro (Kavo Dental GmbH, Biberach/Riss, Germany) ve Vatech PCH-2500 (Vatech Co., Gyeonggi-do, Korea) röntgen cihazları kullanılarak çekildi. 1. Çekimler için ekspozür parametreleri ortalama 57 kVp, 5mA, olacak şekilde ayarlandı. Aynı çenenin farklı çekim parametreleri ile elde edilen görüntülerinde yapılan FA sonuçlarını karşılaştırabilmek için Kavo ve Vatech marka PR cihazları ile 63 kVp, 6mA parametreleriyle çekimler tekrarlandı.

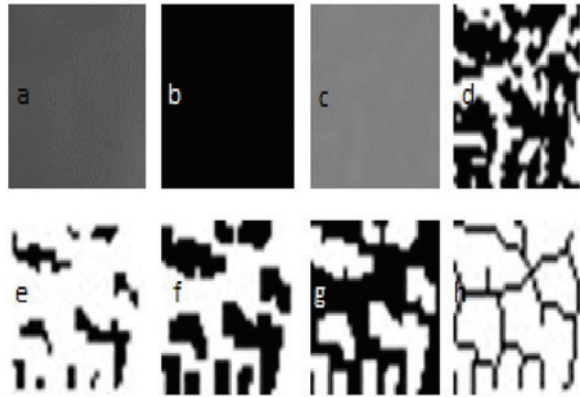
Panoramik radyografilerden elde edilen görüntülerde, inferior alveoler sinirin altında mandibular gonial bölgede, foramen, mandibular sinir kanalı, diş kökü gibi anatomik yapıların bulunmamasına dikkat edilerek, 50x50 piksel boyutunda trabeküler kemik ilgi alanı belirlendikten sonra, mandibulada box-counting metoduyla fraktal boyut (FB) analizi yapıldı (şekil 1).



Şekil 1. Koyun hemimandibulasında, mandibular gonial bölgede 50x50 piksel ebadında ilgi alanının seçilmesi.

FB analizi için gerekli işlemler aynı bilgisayarda aynı kişi tarafından National Institute of Health Image'in bir ver-

siyonu olan ve "http://rsb.info.nih.gov" adlı internet adresinden kullanımına ücretsiz olarak izin verdiği ImageJ 1.49x görüntü analiz programı ile White and Rudolph tarafından tasarlanan yöntem kullanılarak gerçekleştirildi.<sup>27</sup> FB analizi için gerekli işlemler sırasıyla şu şekilde yapıldı: Görüntüde incelenecek ilgi alanı kırıldıktan sonra 8-bit formatında kaydedilerek kopyalandı. Duplike edilmiş görüntüye Gaussian filtresi (sigma= 35 piksel) uygulanarak görüntü bulanıklaştırıldı. Gaussian filtresi uygulanarak bulanıklaştırılan görüntü 'subtraction' işlemi ile orijinal görüntü üzerinden çıkartıldı. Her piksel lokasyonuna 128 ilave edildi ve görüntünün başlangıç parlaklık derecesi ne olursa olsun 128 eşik değeri olarak belirlendi. 128 parlaklık derecesi eşik değeri alınan görüntü binary formatına çevrildi. Görüntüdeki gürültüyü ortadan kaldırmak amacıyla görüntüye erozyon ve dilatasyon işlemi uygulandı. Tersine çevrilen görüntü iskeletleştirildi ve böylece trabeküllerin sadece merkezi kısımlarının kalması sağlandı. ImageJ programında 'box-counting' fonksiyonu kullanılarak iskeletleştirilmiş görüntüye FB analizi tatbik edildi (şekil 2).



Şekil 2. FB (fraktal boyut) analizi işlem basamakları. a. Kırılan, duplike edilen ve bulanıklaştırılan ilgi alanı görüntüsü, b. Orijinalinden bulanıklaştırılan görüntünün çıkartılması, c. Çıkan sonuca 128 ilave edilmesi, d. 128 eşik değeri uygulanması, e. Erozyon işlemi, f. Dilatasyon işlemi, g. Tersine çevrilmesi, h. İskeletleştirme.

Çalışmanın sonuçları, SPSS istatistik programı kullanılarak (IBM Corp, VERSİYON 22.0, Armonk, N.Y., USA) analiz edildi. İki farklı PR cihazına ait veri setlerinin ve farklı ekspozür parametrelerine ait veri setlerinin karşılaştırılmasında Paired t-testi kullanıldı. Sonuçlar; ortalama  $\pm$  standart hata olarak verildi ve  $p < 0.05$  olması durumu istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

### BULGULAR

15 adet koyun hemimandibulasının, Kavo marka PR cihazında 57 kVp, 5 mA parametreleri ile çekilen görüntüleri üzerinde yapılan FA sonucu elde edilen ortalama FB değeri 1,3551 idi. Yine aynı parametreler ile Vatech cihazından elde edilen ortalama FB ise 1,3632 idi. Kavo ve Vatech cihazlarından elde edilen bu veriler karşılaştırıldığında FB değerleri birebir tekrarlanabilir değildi. Bununla beraber veriler arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı değildi ( $p=0,552$ ) (tablo 1).

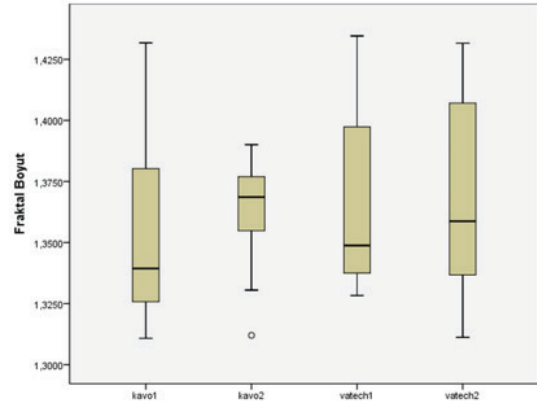
Tablo 1. Farklı cihaz ve ekspozür parametreleri ile elde edilen ortalama FB değerleri ve istatistiksel veriler			
	Kavo	Vatech	p
57 kVp, 5 mA	1.3551	1.3632	0.552
63 kVp, 6 mA	1.3653	1.3698	0.714
p	0.164	0.587	

FB: Fraktal boyut

63 kVp, 6 mA, saniye parametreleri ile Kavo marka PR cihazı ile yapılan diğer çekimlerden elde edilen ortalama FB değeri 1,3653 idi. Aynı parametreler ile Vatech cihazından elde edilen ortalama FB ise 1,3698 idi. Kavo ve Vatech cihazlarıyla yapılan 2. çekimlerden elde edilen bu veriler karşılaştırıldığında veriler arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı değildi ( $p=0,714$ ).

Kavo marka cihazla yapılan 1. ve 2. Çekimler karşılaştırıldığında FB değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu ( $p=0,164$ ). Vatech marka cihazla yapılan 1. ve 2. Çekimler karşılaştırıldığında yine FB değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu ( $p=0,587$ ). Farklı

cihaz ve ekspozür parametreleri ile yapılan çekimlere ait FB değerlerinin tanımlayıcı bilgileri şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Farklı cihaz ve ekspozür parametreleri ile yapılan çekimlere ait FB değerlerinin tanımlayıcı bilgilerini gösteren box-plot grafiği.

### TARTIŞMA

Çalışmamızda PR'ler üzerinde fraktal analiz yöntemiyle mandibular trabeküler kemiğin mikro-yapı analizi yapılmış ve bu analizlerin tekrarlanabilirliği hususunda değişik röntgen cihazlarının ve farklı çekim parametrelerinin etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışmanın hipotezi kısmen doğrulanmıştır. İki farklı röntgen cihazıyla çekilen PR'de aynı çenenin aynı ilgi alanından elde edilen FB değerleri farklıydı. Ancak veri setleri bir bütün olarak birbirleriyle karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu. Yine aynı cihazda farklı ekspozür parametreleri için yapılan analizlerde de benzer sonuçlar söz konusuydu.

Dental radyoloji alanında kemiğin kalitatif ve kantitatif olarak değerlendirilmesi amacıyla dansitometrik ve radyomorfometrik ölçümler gibi birçok yöntem denenerek günümüze kadar bir hayli çalışma yapılmıştır. Özellikle osteoporotik bireylerde vücudun farklı bölgelerindeki kemiklerin mineral yoğunluğu ile radyomorfometrik incelemelerin osteoporozun tanısında kullanımını araştıran birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların birçoğunda

Dual enerji X-ışını absorpsiyometrisi (DEXA) adı verilen yöntemle yapılan kemik mineral yoğunluğu (KMY) ölçümü verileri ve panoramik mandibular endeksler diye adlandırılan radyomorfometrik ölçümler kullanılmıştır. Ancak son yıllarda yapılan güncel çalışmalarda kemik dokusunun doğru analizinde sadece dansite ölçümlerinin ya da kemiğin makro-yapısının değerlendirildiği panoramik endekslerin yeterli olmadığı, aksine trabeküler kemiğin mikro-mimari yapısının bu hususta son derece önemli olduğu belirtilmiştir.<sup>2,10,11,13,14,17,28</sup>

Bir imajın dokusu kendisini oluşturan birçok mikro-komponentten oluşur ve araştırmacılar bu dokunun yapısal analizini gerçekleştiren birçok yöntem geliştirmiştir. Fraktal analiz yöntemi, bu kompleks şekil ve yapısal paternleri tanımlamak için fraktal matematik olarak adlandırılan bir dizi işleme dayanan bir sayısal görüntü analizi yöntemidir. Söz konusu bu yöntem özellikle son yıllarda biyolojik verilerin analizinde sıkça kullanılmıştır. Dental literatürde de osteoporotik hastalıkların çene kemiklerine etkisi ya da implant operasyonu öncesinde kemik kalite analizi ve FA ile ilgili bir hayli çalışma vardır.<sup>6,16,26,29,30</sup>

Demirbaş ve ark. orak hücreli anemiye sahip hastaların panoramik radyografileri ile yaptıkları çalışmada kontrol grubuna göre orak hücreli anemiye sahip hastaların FB değerlerini daha düşük bulmuştur.<sup>7</sup> Orak hücreli anemi hastalarında varolan hemoglobinopati nedeniyle kemik iliği hiperplazisi gelişmekte ve bunun neden olduğu sistemik etkiler kemik yapı üzerinde birtakım osteoporotik değişimlere neden olmaktadır. Buna benzer birçok çalışmada kemik üzerinde osteoporotik etkileri olan hastalıklarda çene kemiklerine ait radyografilerin FA'sı yapılmış ve FA'nın bu hastalarda trabeküler kemik yapı değişimlerini belirleme kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Suer ve ark. implantların primer stabilitesi ve FB değerlerini karşılaştırarak PR ile yaptıkları bir çalışmada, primer stabiliteyi belirleyen rezonans frekans değerleri ile FB değerleri arasında anlamlı bir korelasyon bulunduğunu belirtmiştir.<sup>26</sup> FA yönteminin diş hekimliğinde kullanımıyla ilgili olum-

lu sonuçlar bildiren birçok çalışma mevcuttur. Ancak bu çalışmaların birçoğunda aynı röntgen cihazı kullanılarak elde edilen standardize radyografiler kullanılmıştır. Örneğin Southard ve ark. 1996 yılında 10 adet insan maksillasına yapay dekalsifikasyon uygulayarak yaptıkları bir invitro çalışmada dekalsifikasyon öncesi ve sonrasındaki FB değerlerini karşılaştırmış ve ortalama FB değerinin 1,26'dan, 1,1'e düştüğünü belirtmişlerdir.<sup>19</sup> Southard ve ark. bu çalışmada farklı marka röntgen cihazları ile çekilen radyografilerden elde edilen FB değerlerini karşılaştırdı, FA sonuçlarına farklı röntgen cihazlarının etkisi ne şekilde olurdu bilinmemektedir. Diş hekimliğinde kullanılan iki boyutlu görüntülemeler ve çeşitli teknik faktörlerin bu görüntüleme yöntemleriyle yapılan FA sonuçlarına etkisiyle ilgili literatürde sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu makale bu nedenle tasarlanmıştır. Bilgimize göre bu çalışma, farklı marka PR cihazlarıyla elde edilen görüntüler kullanılarak yapılan FA incelemesine cihazların etkisini araştıran ilk çalışmadır.

Konuyla ilgili olarak Jolley ve ark. 2006 yılında 8 kuru kafatası ile yaptıkları çalışmada çeşitli kVp ve mA değerleri ve tüp açılmalarıyla maksiller kesici bölgesinden aldıkları periapikal radyografilerde FB analizleri yapmış ve non-standardize periapikal radyografilerin fraktal boyutu etkilemediğini bildirmişlerdir.<sup>31</sup> Bizim çalışmamızda da kısmen benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yaşar ve ark. ise 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada TIFF (Tagged Image File Format) formatındaki panoramik röntgen görüntülerinin JPEG'e (Joint Photographic Experts Group) çevrilğinde görüntü datasında detay kaybı yaşandığını ve FB değerlerinin değiştiğini bildirmişlerdir.<sup>32</sup>

Değişik PR cihazlarının ve farklı çekim parametrelerinin FA sonuçlarına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada birtakım limitasyonlar söz konusuydu. Öncelikli olarak çalışmanın in-vitro olması ve kuru mandibula örneklerinin kullanılmış olması, yumşak doku faktörü ve hasta hareketi gibi birtakım artefaktların söz konusu olmaması nedeniyle gerçek hasta ile yapılan çekimler birebir taklit edilememiş-

tir. İkinci limitasyon; aynı çenenin farklı PR cihazlarından elde edilen görüntülerinde farklı distorsiyon ve magnifikasyon etkilerinin söz konusu olmasıydı.

Çalışmamızdan elde edilen verilere göre farklı PR cihazlarından elde edilen görüntüler üzerinde yapılan FA sonuçları birebir aynı değildi. Yine aynı çenenin kVp, mA gibi ekspozür parametrelerinin değiştirilmesiyle elde edilen farklı PR görüntülerinde gerçekleştirilen FA sonuçları da farklıydı. Ancak söz konusu farklılıkların, veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmadığı gözlenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında, farklı PR cihazlarının ve ekspozür parametrelerinin FA yönteminin tekrarlanabilirliğine etkisi hususunda bu çalışmanın sonuçlarını dikkate almalıdır.



#### Kaynaklar

1. Rosen C. Pathogenesis of osteoporosis. *Bailliere's Clinical Endocrinology and Metabolism* 2000; 180-193.
2. Fazzalari NL, Parkinson IH. Fractal properties of cancellous bone of the iliac crest in vertebral crush fracture. *Bone* 1998, 23: 53-7.
3. Baig MA, Bacha D. *Histology, Bone. StatPearls, Treasure Island (FL), StatPearls Publishing LLC* 2019.
4. Alexandre C. Diagnosis and treatment of osteoporosis. *Curr Opin Rheumatol* 1995, 7: 240-242.
5. Ergun S, Saracoglu A, Guneri P, Ozpinar B. Application of fractal analysis in hyperparathyroidism. *Dentomaxillofac Radiol* 2009, 38: 281-8.
6. Yeşiltepe S, Yılmaz AB, Kurtuldu E, İ S. Fractal Analysis of Temporomandibular Joint Trabecular Bone Structure in Patients with Rheumatoid Arthritis on Cone Beam Computed Tomography Images. *Meandros Med Dent J* 2018: 345-351.
7. Demirbas AK, Ergun S, Guneri P, Aktener BO, Boyacioglu H. Mandibular bone changes in sickle cell anemia: fractal analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008, 106: e41-8.
8. Ruttimann UE, Webber RL, Hazelrig JB. Fractal dimension from radiographs of peridental alveolar bone. A possible diagnostic indicator of osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1992, 74: 98-110.
9. Uysal M, Gürün U, Kochai A, Özalay M. Yaşlı Hastalarda Lomber Degeneratif Değişikliklerin Osteoporoz İle İlişkisi *Sakarya Tıp Dergisi* 2016, 6: 207-211.
10. Cakur B, Sahin A, Dagistan S, Altun O, Caglayan F, Miloglu O, Hararli A. Dental panoramic radiography in the diagnosis of osteoporosis. *J Int Med Res* 2008, 36: 792-9.
11. Kademoğlu O. Osteoporoz tansında panoramik mandibular indeks ve panoramik radyografik dansitenin DEXA ile karşılaştırılması. Sağlık Bilimleri Enstitüsü Oral Diagnoz ve Radyoloji Anabilim Dalı. doktora, Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi 2004.
12. Tüzün F, Akırmak Ü, Dinç A. Kemik ve Eklem Dekadında Osteoporoz. *İstanbul* 2002.
13. Ibrahim N, Parsa A, Hassan B, van der Stelt P, Aartman IH, Wismeijer D. Accuracy of trabecular bone microstructural measurement at planned dental implant sites using cone-beam CT datasets. *Clin Oral Implants Res* 2014, 25: 941-5.
14. Baker-LePain JC, Lane NE. Role of bone architecture and anatomy in osteoarthritis. *Bone* 2012, 51: 197-203.
15. Bollen AM, Taguchi A, Hujuel PP, Hollender LG. Fractal dimension on dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2001, 30: 270-5.
16. Pothuau L, Lespessailles E, Harba R, Jennane R, Royant V, Eynard E, Benhamou CL. Fractal analysis of trabecular bone texture on radiographs: discriminant value in postmenopausal osteoporosis. *Osteoporos Int* 1998, 8: 618-25.
17. Saeed SS, Ibraheem UM, Alnema MM. Quantitative Analysis by Pixel Intensity and Fractal Dimensions for Imaging Diagnosis of Periapical Lesions. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering* 2014, 3: 138-144.
18. Gumussoy I, Miloglu O, Cankaya E, Bayraktar IS. Fractal properties of the trabecular pattern of the mandible in chronic renal failure. *Dentomaxillofac Radiol* 2016, 45: 20150389.
19. Southard TE, Southard KA, Jakobsen JR, Hillis SL, Najim CA. Fractal dimension in radiographic analysis of alveolar process bone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996, 82: 569-76.
20. Southard TE, Southard KA, Lee A. Alveolar process fractal dimension and postcranial bone density. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001, 91: 486-91.
21. Law AN, Bollen AM, Chen SK. Detecting osteoporosis using dental radiographs: a comparison of four methods. *J Am Dent Assoc* 1996, 127: 1734-42.
22. White SC, Cohen JM, Mourshed FA. Digital analysis of trabecular pattern in jaws of patients with sickle cell anemia. *Dentomaxillofac Radiol* 2000, 29: 119-24.
23. White SC. Oral radiographic predictors of osteoporosis. *Dentomaxillofac Radiol* 2002, 31: 84-92.
24. Taguchi A, Sueti Y, Ohtsuka M, Otani K, Tanimoto K, Ohtaki M. Usefulness of panoramic radiography in the diagnosis of postmenopausal osteoporosis in women. Width and morphology of inferior cortex of the mandible. *Dentomaxillofac Radiol* 1996, 25: 263-7.
25. Savic Pavicic I, Dumancic J, Jukic T, Badel T, Badanjak A. Digital orthopantomograms in osteoporosis detection: mandibular density and mandibular radiographic indices as skeletal BMD predictors. *Dentomaxillofac Radiol* 2014, 43: 20130366.
26. Suer BT, Yaman Z, Buyuksarac B. Correlation of Fractal Dimension Values with Implant Insertion Torque and Resonance Frequency Values at Implant Recipient Sites. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016, 31: 55-62.
27. White SC, Rudolph DJ. Alterations of the trabecular pattern of the jaws in patients with osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999, 88: 628-35.
28. Devlin H, Karayianni K, Mitsea A, Jacobs R, Lindh C, van der Stelt P, Marjanovic E, Adams J, Pavitt S, Horner K. Diagnosing osteoporosis by using dental panoramic radiographs: the OSTEOIDENT project. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007, 104: 821-8.
29. Zeytinoglu M, Ilhan B, Dundar N, Boyacioglu H. Fractal analysis for the assessment of trabecular peri-implant alveolar bone using panoramic radiographs. *Clin Oral Investig* 2015, 19: 519-24.
30. Updike SX, Nowzari H. Fractal analysis of dental radiographs to detect periodontitis-induced trabecular changes. *J Periodontol Res* 2008, 43: 658-64.
31. Jolley L, Majumdar S, Kapila S. Technical factors in fractal analysis of periapical radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 2006, 35: 393-7.
32. Yasar F, Apaydin B, Yılmaz HH. The effects of image compression on quantitative measurements of digital panoramic radiographs. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2012, 17: e1074-81.