

GAMA RADYASYONU İLE STERİLİZE EDİLMİŞ KORTİKAL KEMİĞİN DİNAMİK YÜK ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Kenan TÜFEKÇİ^{*1}, Ramazan KAYACAN¹, Cahit KURBANOĞLU²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye
² İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 34700, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Özet
Gama Radyasyon Sterilizasyon Kortikal Kemik	Bu çalışmada gama radyasyonu ile sterilize edilmiş kortikal kemik numunelerin dinamik mekaniksel özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin bir kısmı 30 kGy dozunda gama radyasyonu ile sterilize edilmiş, bir kısmı ise kontrol numunesi olarak bırakılmıştır. Statik mekanik özelliklerden farklı olarak sterilize edilmiş numunelerin dinamik mekanik özelliklerinden akma dayanımı, basma dayanımı ve elastisite modülü değerlerinde artışlar görülmüştür. İstatistiksel farklar Mann-Whitney testi ile $P<0.05$ güven seviyesinde test edilmiştir.

INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF GAMMA IRRADIATED CORTICAL BONE UNDER DYNAMIC LOADING

Keywords	Abstract
Gamma Radiation Sterilization Cortical Bone	The effect of gamma radiation on the dynamic mechanical properties of cortical bone was accessed in this study. The cortical bone samples were divided into two groups: an untreated control specimens and specimens subjected to gamma radiation sterilization. A dose of 30 kGy was used to sterilize the bone samples. Unlike the quasi-static mechanical tests, dynamic mechanical test have shown that gamma-irradiated cortical bone has increased yield stress, ultimate stress and modulus of elasticity. Statistical differences were determined by the Mann-Whitney test at a significance level of $P<0.05$.

1.Giriş

Gama radyasyonu ile sterilizasyon işlemi biyolojik materyallerde dahil birçok ürün için kullanılan bir yöntemdir. Son yıllarda özellikle organ nakillerinde de yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. (Zasacki, 1991). Bu yöntemle, nispeten düşük dozlarda, çok küçük virüsler haricinde çok mikro organizmanın sterilizasyon işlemi yapılabilmektedir. (Wientroub, 1988 - Hallfeldt, 1995). Bu yöntemin en önemli avantajı çok derinlere nüfuz edebilmesi ve böylece bakteri ve virüslere karşı daha etkin bir sterilizasyon sağlamasıdır. Ayrıca kimyasal yöntemlerde olduğu gibi geride kimyasal artıklar bırakmaması bir diğer avantajıdır.

Gama radyasyonuna maruz kalan biyolojik malzemelerde serbest radikallerin ortaya çıktığı bilinmektedir. Serbest radikaller ise kemik numunelerinin mekanik ve biyolojik özelliklerini değiştirmektedir. (Hamer, 1999). Gama radyasyonu ile sterilizasyon sırasında uygulanan doza bağlı olarak, kolajen alfa zincirlerinin yıkım meydana gelmekte ve böylece kortikal kemik daha kırılabilir bir yapıya dönüşmektedir (Akkus, 2001).

Uygulamada kullanılan en yaygın doz 25-35 kGy arasındadır. Bu çalışmada 30 kGy dozunda sterilize edilmiş kemik numunelerinin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişim dinamik basma deneyleri ile incelenmiştir.

2 . Materyal ve Yöntem

Gama radyasyonu ile sterilizasyonun kortikal allograft kemiğin dinamik yüklemde elde edilen mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacı ile yapılan bu deneysel çalışmada numuneler; hem yeterli kortikal korteks kalınlığına, hem de insan kemiğine benzer şekilde osteonal yapıya sahip olması nedeniyle atın (equine) radius ve metacarpal gibi ayak kemiklerinin kortikal kısımlarından elde edilmiştir. Deney gurupları oluşturulurken, aynı cins kemiğin (radius, metacarpal) aynı bölgesinden (anterior, posterior, lateral, medial) çıkarılmış olan numunelerin her iki gurupta da (kontrol ve sterilizasyon gurubu) eşit sayıda olmasına özen gösterilmiştir. Sterilizasyon gurubunda yer alan numuneler Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda (TAEK, Sarayköy, Ankara) 30 kGy dozunda sterilize edilmişlerdir.

Numuneler masaüstü torna tezgahında (Quantum, D210x320, Almanya), 6 mm çapında ve 5 mm

* İlgili yazar : kenantufekci@sdu.edu.tr

yüksekliğin de silindirik basma numuneleri olarak hazırlanmışlardır. İşleme esnasında kemiğin kurumaması ve kesme kuvvetleri etkisi altında ısınıp zarar görmemesi için üzerine sürekli olarak su püskürtülmüştür. Numuneler deneylerin gerçekleştirileceği güne kadar -20° C'de HBSS (Hank's Balanced Salt Solution) içerisinde bekletilmişlerdir.

Dinamik deneyler için Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde imalatı gerçekleştirilen ve Şekil 2'de gösterilen SHPB (Split Hopkinson Pressure Bar) deney sistemi kullanılmıştır.

SHPB deney sistemi genel olarak bir hava tabancası ve arka arkaya sıralanmış üç silindirik çubuk içermektedir (Şekil 2). Giriş ve çıkış çubukları olarak bilinen ikinci ve üçüncü çubukların üzerlerinde gerinim ölçerler ve bu iki çubuk arasında ise deney numunesi bulunmaktadır. Hava tabancası vurucu çubuk olarak ta adlandırılan birinci çubuğu harekete geçirerek hızlandırır ve namlu boyunca hareket eden bu çubuk giriş çubuğuna çarpar. Vurucu çubuğun giriş çubuğunun açıkta olan ucuna çarpması, giriş çubuğunda "giriş dalgası" olarak adlandırılan elastik gerinim dalgası oluşturur. Bu dalga giriş çubuğunda ilerleyerek giriş çubuğu-numune ara yüzeyine ulaşır. Giriş dalgasının bir kısmı ara yüzeyden giriş çubuğuna geri yansırken dalganın kalması numune boyunca ilerler ve çıkış çubuğunda "geçen dalga" yı oluşturur. Al 7075-T6 malzemesi giriş çubuğu 19.05 mm çapında ve 185 cm uzunluğunda, çıkış çubuğu ise 19.05 mm çapında ve 160 cm uzunluğundadır (Tüfekci, 2008).

Gama ile sterilizasyonun kortikal kemiğin mekanik özelliklerini belirlemek için SHPB yöntemi ile yapılan dinamik basma deneylerinde, giriş ve çıkış çubukları üzerindeki gerinim ölçerlerden 1.000.000 data/s veri toplama hızında alınan sinyallere bir örnek Şekil 3'de gösterilmiştir. Yansıyan ve geçen dalgaların analizinden sonra numunedeki gerinme hızı, gerinme ve gerilme sırasıyla Denklem 1, Denklem 2 ve Denklem 3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\frac{d\varepsilon_N(t)}{dt} = -\frac{2C_0}{L} \varepsilon_{yan}(t) \quad (1)$$

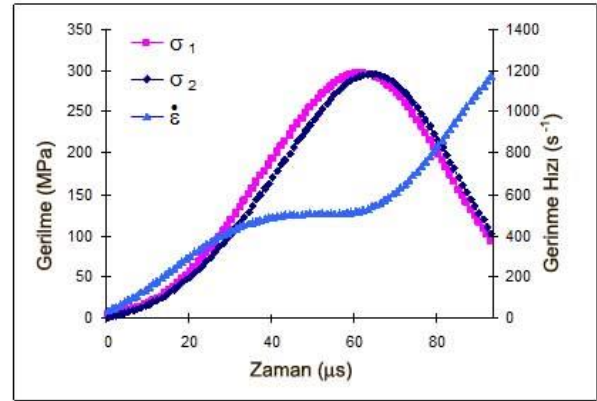
$$\varepsilon_N(t) = -\frac{2C_0}{L} \int \varepsilon_{yan}(t) \quad (2)$$

$$\sigma_N(t) = E \frac{A_0}{A} \varepsilon_{geç}(t) \quad (3)$$

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

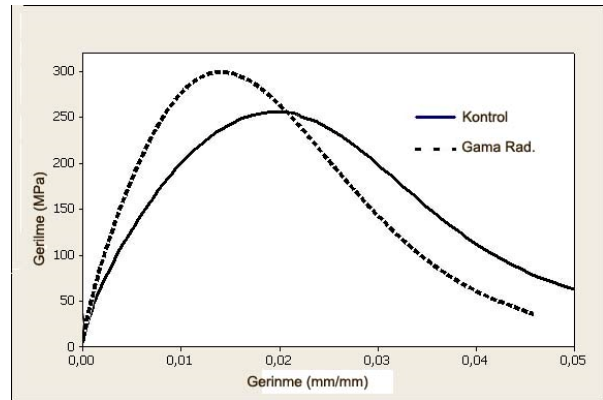
Deneyler sırasında vurucu çubuğun çarpma hızı ortalama 30 km/h civarında gerçekleşmiş olup, ortalama gerinme hızı 725 s⁻¹ civarındadır. Numune üzerinde gelen dalganın numuneyi hasar uğratma süresi yaklaşık 70-75µs civarındadır.

SHPB yöntemi ile yapılan deneyler sonrası elde edilen verilerin güvenilirliğini sağlamak için deneyler sırasında dinamik dengenin sağlanması gerekmektedir. Bu sağlamak üzere, her deneyden önce vurucu çubuk ile giriş çubuğu arasında sinyal şekillendirici bir malzeme yerleştirilerek elastik dalganın eğimi düşürülmüştür. Giriş Çubuğu-Numune ve Numune-Çıkış çubuğu arayüzeyinde oluşan σ_1 ve σ_2 gerilmeleri ile numunedeki meydana gelen gerinme hızı, örnek bir deney numunesi için Şekil 1'de gösterilmiştir. σ_1 ve σ_2 değerlerinin neredeyse üst üste çakışması numune üzerinden geçen elastik dalganın herhangi bir kayba uğrumadığını dolayısıyla dinamik dengenin sağlandığını göstermektedir.



Şekil 1. Örnek bir Numune için, Giriş Çubuğu-Numune, Numune-Çıkış Çubuğu arayüzeyindeki gerilmeler ve Numunedeki Gerinme hızı (Tüfekci, 2014)

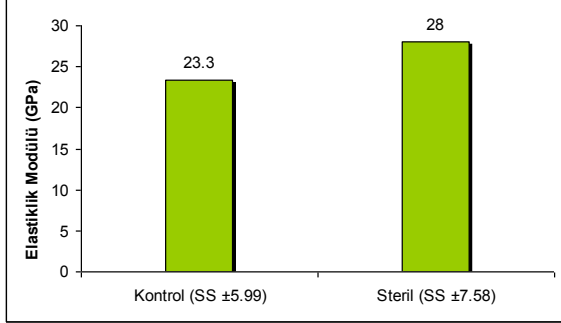
Deneylerden elde edilen kontrol ve sterilizasyon gurubundan bir numuneye ait dinamik gerilme-gerinme diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kontrol ve Sterilizasyon gurubuna ait örnek gerilme-gerinme diyagramı

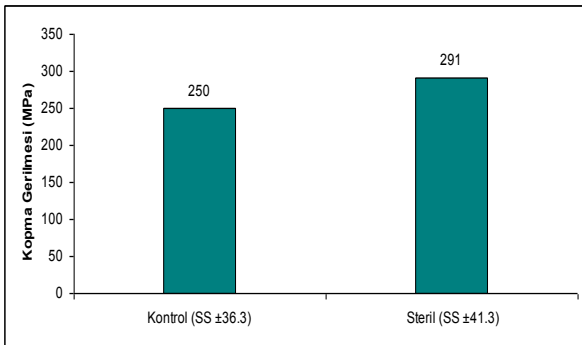
Gama radyasyonu ile sterilizasyon işleminin dinamik basmada kemiğin mekanik özelliklerine etkisini incelemek için yapılan deneylerde sterilize edilmemiş (kontrol) guruba ait 22 adet ve sterilizasyon gurubuna ait 22 adet numune dinamik SHPB basma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Kontrol gurubu ve sterilizasyon gurubuna ait numunelerin basma deneylerinden elde edilen mekanik özelliklerin istatistiksel olarak

farklılıkları Mann-Whitney testi ile kontrol edilmiştir. Kontrol ve sterilizasyon gurublarında yer alan numunelere ait ortalama elastiklik modülü değerleri Şekil 3'de, dinamik basma dayanımı değerleri Şekil 4'de, kopma gerinmesi değerleri ise Şekil5'de gösterilmiştir.

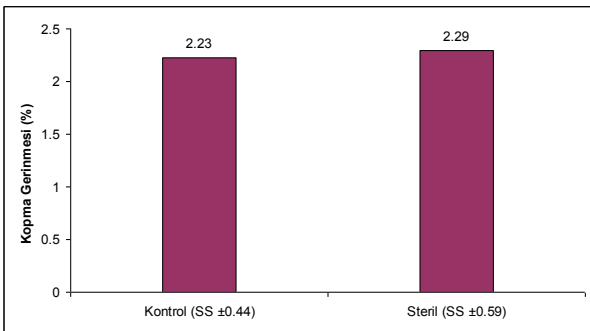


Şekil 3. Kontrol ve sterilizasyon guruplarındaki numunelerin dinamik SHPB basma deneylerinden elde edilen ortalama elastiklik modülü değerleri

Sterilizasyon gurubunda yer alan numunelerdeki elastiklik modülü değerinin kontrol gurubuna kıyasla yüksek olması istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.05$). Benzer şekilde sterilizasyon gurubunda yer alan numunelerin maksimum gerilme değerinin kontrol gurubuna kıyasla yüksek olması istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.05$). Her iki gurup arasında kopma gerinmeleri açısından ise istatistiksel olarak ciddi bir farkın olmadığı tespit edilmiştir ($P>0.05$).



Şekil 4. Kontrol ve sterilizasyon guruplarındaki numunelerin dinamik SHPB basma deneylerinden elde edilen ortalama maksimum gerilme değerleri



Şekil 5. Kontrol ve sterilizasyon guruplarındaki numunelerin dinamik SHPB basma deneylerinden elde edilen ortalama kopma gerinmesi değerleri

4. Tartışma ve Sonuç

Literatürde gama radyasyonu ile sterilize edilmiş numunelerin kortikal kemiğin mekanik özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmalarda genellikle mekanik özelliklerin kötüleştiğine dair bilgiler vardır. Mitchell vd. (2004) dört farklı insandan (genç kadın, genç erkek, yaşlı kadın ve yaşlı erkek) alınan numuneleri 31.7 kGy dozunda gama radyasyonu ile sterilize ettikten sonra yorulma deneyine tabi tutmuşlardır. Sonuçta sterilizasyona maruz kalan numunelerin yorulma çatlakları ilerlemesine karşı gösterdikleri direncin önemli ölçüde düştüğünü bulmuşlardır. Benzer bir sonuca (Akkus ve Belaney) ulaşmıştır. Gama radyasyonu ile sterilize edilmiş kemik numunelere uyguladıkları yorulma deneyleri sonucunda mekanik özelliklerinde meydana gelen azalma oranının statik deneyler sonucu meydana gelen azalma oranından daha fazla olduğunu ileri sürmüşlerdir. Tüfekci (2008) quasi-statik deneyler sonunda 30 kGy dozunda gama radyasyonu ile sterilize edilmiş kortikal kemik numunelerinin mekanik özelliklerinde düşüşler tespit etmiştir. Bu çalışmada ise; dinamik SHPB yöntemi ile basma deneyleri sonucunda gama radyasyonu ile sterilize edilmiş numunelerin sterilize edilmemiş (kontrol) numunelere oranla elastisite modülünde %20, maksimum mukavemet değerinde ise %16 oranında artış olduğu tesbit edilmiştir. Kopma gerinmesi ve tokluk değerlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Quasi-statik deneylerde mekanik özelliklerin düşmesi, dinamik deneylerde ise artış göstermesi gerinme hızının değişmesi ile birlikte hasar mekanizmasının farklılaşmasına örnek gösterilebilir.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors

5. Kaynaklar

Akkus, O., Belaney, R.M., 2005. Sterilization by Gamma Radiation Impairs the Fatigue Life of Cortical Bone by Two Orders of Magnitude. *Journal of Orthopaedic Research*, 23(5), 1054–1058

Hallfeldt, K.K., Stutzle, H., Puhmann, M., Kessler, S., Shweiberer, L., 1995. Sterilization of partially demineralized bone matrix: the effects of different sterilization techniques on osteogenic properties. *J. Surg. Res.*, 59(5), 614-620

Hamer, A.J., Stocley, I., Elson, R.A., 1999. Changes in allograft bone irradiated at different temperatures. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 81(2), 342-344

Tüfekci, K., 2008. Gerinim Hızının Kortikal Kemik Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 186s, Isparta

Tüfekci, K., Kayacan, K., Kurbañođlu, K., 2014. Effects of gamma radiation sterilization and strain rate on compressive behavior of equine cortical bone. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 34, 231 – 242

Wientroub, S., and Reddi, A.H., 1988. Influence of irradiation on the osteoinductive potential of

demineralized bone matrix. *Calcif. Tissue Int.*, 42(4), 255-260

Zasacki, W., 1991. The efficacy of application of lyophilized, radiation-sterilized bone graft in orthopedic surgery. *Clin. Orthop.*, 272, 82-87