

## **Kestanenin Sıkıştırma Yükü Altındaki Mekanik Davranışlarının Belirlenmesi**

**Burcu HAMLECI<sup>1</sup>, Metin GÜNER<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Zirai Mücadele İlaçları Üreticileri Derneği (ZİMİD), Ankara

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara  
burcuhamleci@gmail.com

Geliş Tarihi (Received): 25.05.2015

Kabul Tarihi (Accepted): 12.07.2015

**Özet:** Bu çalışmada Sariaşlama, Ayıtabanı ve Vakit kestane çeşitlerinin boyut, aritmetik ve geometrik ortalama çap, küresellik, kütle, hacim, hacim ağırlığı, özgül kütle, porozite gibi fiziksel özellikleri ile kabuk kırılma kuvveti, kırılma enerjisi ve özgül deformasyon gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Kestane çeşitleri üç farklı nem (%30, %20, %15), sabit yüklenme oranı (40 mm/min) ve üç farklı eksen (x-x: kalınlık, y-y: genişlik, z-z: uzunluk) paralel plakalar arasında sıkıştırılarak kırılmıştır. Denemeler sonucunda her kestane çeşidinde, nem seviyesinin artmasıyla kırılma kuvvetinin azaldığı, buna karşılık kırılma enerjisinin arttığı saptanmıştır. Elde edilen bu sonuç daha önce yapılan çalışmaları destekler niteliktedir.

**Anahtar kelimeler:** Kestane, kırılma kuvveti, kırılma enerjisi, statik yüklenme.

### **Determination of Mechanical Behavior of Chestnuts (*Castanea*) Under Compression Loading**

**Abstract:** In this study, physical features as dimension, arithmetic and geometric average diameter, sphericity, mass, volume, bulk density, specific mass, porosity and mechanic features as shell breaking force, breaking energy, specific deformation of Sariaşlama, Ayıtabanı and Vakit type chestnuts were determined. Chestnut types were broken by pressing paralel plates in three moisture levels (30%, 20% and 15%), constant load level (40 mm/min) and in three different axis (x-x: thickness, y-y: width, z-z: length). The test showed that in all chestnut types, as moisture level increased, breaking power decreased, whereas breaking energy increased. The results are in agreement with previous studies reported in literature.

**Key words:** Chestnut, rupture force, rupture energy, static loading.

### **GİRİŞ**

Kestane ülkemizin kıyı bölgelerinde yetişen ve tarihi çağlardan beri kültüre alınan bir meyve türüdür, özellikle Marmara bölgesinin çeşitli yörelerinde kültürü ve yetiştiriciliği ileri bir düzeydedir. Anadolu'da yaklaşık 2.5 milyon kestane ağacı bulunmaktadır. Parlak renkli, iri ve verimli tiplerin yanında, küçük meyveli, verimsiz, düşük kaliteli tipler de bulunmaktadır. Türkiye'de yetiştirilme imkanı bulunan bazı kestane çeşitleri şöyledir (Soylu 2004): Sariaşlama, Ayıtabanı, Osmanoğlu, Vakit Kestanesi, Seyrekdikeni (Acemoğlu), Dursun Kestanesi, Aşı

Kestane, Sarı Kestane, Karamehmet, Hacıbiş, Firdola, Mahmutmolla, Hacıömer.

Kestanelerin iriliklerine göre sınıflandırılmasında Türk Standartlar Enstitüsünün belirlediği sınırlar aşağıdaki gibidir (TS 1072):

<b>Boy Adı</b>	<b>Meyve Sayısı (Adet/kg)</b>
Çok iri	En çok 55
İri	56-65
Orta	66-85
Küçük	86-100
Çok küçük	101-125

Kestane, kuzey yarım kürenin Asya, Avrupa ve Amerika kıtalarında ve kısmen de Güney Amerika'da kültüre alınan bir meyve türüdür. Son istatistiklere göre, üretim yönünden Çin, Güney Kore, İtalya, Türkiye, Bolivya ve Fransa ilk sıralarda yer alan ülkelerdir.

Kestane, iinin kimyasal bileşimi ve nem oranı bakımından diğer sert kabuklu meyvelerden önemli ölçüde ayrılmaktadır. Normal koşullarda kestane meyvesinin nem oranı %40–45 olduğu halde, diğerleri birer yağlı meyvedirler ve nem oranları da genellikle %10'dan daha azdır. Kestane karbonhidratlarca zengin bir meyve olup, karbonhidratların büyük bölümü nişasta, bir bölümü de şekerler formundadır. Mineral ve vitamin bakımından da zengin bir meyvedir (Soylu 2004). Potasyumca zengin olup, demir, kalsiyum, magnezyum, fosfor, çinko minerallerini de içerir. A ve C vitaminleri açısından da zengindir.

Yapılan bu çalışmanın amacı, farklı kestane çeşitlerinde kabuk kırılma direncinin belirlenerek, kabuklu kestane meyvesi kabuğunun kırılmasına yönelik olarak tasarlanacak bir makina için gerekli verilerin elde edilmesidir.

Oloso ve Clarke (1993) çalışmalarında, Mahun cevizinin (Cashew Nut) dayanım karakteristiklerini incelemişlerdir. Sıkıştırma denemelerini farklı nem içeriği ve farklı yükleme yönlerinde gerçekleştirerek, kırılma için gerekli kuvveti, deformasyonu ve absorbe edilen enerjiyi belirtmişlerdir. Materyal boyutu olarak küçük, orta ve büyük boyutları; yüklenme yönü olarak ise meyvenin uzunluk, genişlik ve kalınlık doğrultularını esas almışlardır. Deneyden elde edilen sonuçlara göre; en yüksek kırılma kuvvetini %7,3'lük nem seviyesinde, en küçük yüklenme ekseninde elde ederken, en düşük kırılma kuvvetini %13,4'lük nem içeriğinde, yine en küçük yüklenme ekseninde elde etmişlerdir. Diğer yandan en yüksek kırılma enerjisini %15'lik nem içeriğinde, meyvenin en küçük eksen doğrultusundaki yüklenmede elde ederken, en düşük kırılma enerjisini ise %7,3'lük nem içeriğinde, yanal eksen doğrultusundaki yüklenmede ortaya çıkarmışlardır. Diğer yandan en yüksek deformasyonun %15'lik nem seviyesinde, en düşük deformasyonun ise %7,3'lük nem seviyesinde olduğunu belirtmişlerdir.

Aydın (2003) araştırmasında, fındığın bazı mekanik özelliklerini nem içeriğine bağlı olarak belirlemiştir. Bu amaçla fındığı %2,77 ve %19,98'lik nem seviyeleri arasında, belirli eksenler boyunca statik olarak yüklemiştir. Denemelerin sonucuna göre, fındıkta nem seviyesi arttıkça kabuğun kırılmaya başlaması için

gerekli olan kuvvetin azaldığını saptamıştır. Denemelerde ortaya çıkan nem seviyesi-kırılma kuvveti eğrilerinde, fındığın daha az nem seviyelerinde, kabuğun kırılması için gerekli olan kuvvetin daha büyük olduğunu belirtmiştir. Fındığın kırılması için gerekli olan kuvvetin en yüksek olduğu değerin kalınlaşmasına olan yüklenmede, en düşük olan değerin ise boylamasına yapılan yüklenmede ortaya çıktığını ifade etmiştir. Araştırmacı, fındığın küçük kırılma kuvvetinde yüksek nem seviyesine sahip olmasını, fındığın yüksek nem seviyelerinde daha yumuşak olabileceğine bağlamıştır. Araştırmacı, en yüksek kırılma kuvvetini %2,77'lik nem seviyesinde 350 N olarak ölçmüştür.

Maduako ve Faborode (2003) çalışmalarında, kakao kabuğunun statik yüklenme altındaki mekanik kırılma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Çalışmalarını Amelonado, F<sub>3</sub> Amazon, Trinitario ve Criollo çeşitleri üzerinde, yatay ve dikey yüklenme pozisyonlarında, 4 mm/min'lik yükleme hızında gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, kakao kabuğunun kırılması için gerekli kuvvetin, çeşitlere bağlı olarak değiştiğini, ayrıca dikey pozisyondaki yüklenmede kuvvet gereksiniminin yatay pozisyondakine göre daha çok olduğunu ortaya koymuşlardır. Buna göre dikey yüklenme pozisyonundaki en düşük kırılma kuvvetini Amelonado çeşidinde 520 N, yine aynı pozisyondaki en yüksek kırılma kuvvetini ise Criollo çeşidinde 870 N olarak saptamışlardır. Yatay yüklenme pozisyonlarında ise en düşük kırılma kuvvetini yine Amelonado çeşidinde 440 N, en yüksek kırılma kuvvetini ise F<sub>3</sub> Amazon çeşidinde 670 N olarak belirlemişlerdir. Birçok araştırmacı (Visvanathan et al.,1996; Braga et al.,1999; Gupta ve Das,2000; Khazaei ve ark., 2001) sert kabuklu meyvelerin belirli nem seviyelerinde farklı yüklenme oranları ve farklı yüklenme eksenlerine bağlı kırılma karakteristiklerini belirlemişlerdir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada, Türkiye'de yetiştirilen ve çalışmanın hazırlandığı dönemde Yalova Bahçe Bitkileri Araştırma Enstitüsü'nde 2006 yılı hasat döneminde temin edilen Sariaşlama, Ayıtabanı ve Vakit kestane çeşitleri kullanılmıştır. Kestaneler toz, kir, dal ve yaprak gibi bazı yabancı maddelerden elle temizlenerek arındırılmış ve temizleme sırasında, zarar görmüş olan bazı kestaneler de işlem dışı bırakılmıştır.

Denemeler meyvelerin üç değişik nem içeriğinde (%15, %20 ve %30 kuru baz), üç farklı eksende (x-x, y-y, z-z) ve sabit yüklenme hızında (40 mm min<sup>-1</sup>) kestanelerin paralel plakalar arasında sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Deneyler her nem düzeyi, yüklenme eksenini ve çeşit için üç tekerrürlü olarak yapılmış ve her tekerrürde ortalama 10 adet kestane kullanılmıştır. Denemeye alınan kestane örneklerinde çatlak veya kırık gibi fiziksel kusurlar olmamasına dikkat edilmiştir. Denemelerden önce kestanelerin % 30 nemdeki bazı boyutları, aritmetik ve geometrik ortalama çap değerleri, küresellik, birim kütle, birim hacim, hacim ağırlığı, özgül kütle ve porozite gibi bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Araştırmada kullanılan kestanelerin boyut özelliklerinin belirlenmesinde 0.01 mm hassasiyette mikrometre kullanılmıştır. Nem değerlerinin belirlenmesinde kestanelerin yanmaması için sıcaklık 60 °C alınmış ve kestanelerin bir kısmı 60 °C'lik fırında ortalama 4 saat kurutulup %20'lik nem seviyesi ve bir kısmı ise 60 °C'lik fırında ortalama 8 saat kurutulup %15'lik nem seviyesi elde edilmiştir.

Aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap ve küresellik değeri aşağıdaki formüllerden bulunmuştur (Mohsenin 1970, Sitkei 1986). Kestane çeşitleri için elde edilen değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

$$D_a = (L + W + T) / 3 \quad (1)$$

$$D_g = (L \cdot W \cdot T)^{1/3} \quad (2)$$

$$\phi = 100 \cdot (D_g / L) \quad (3)$$

Bu formüllerde;

$D_a$  = Aritmetik ortalama çap (mm)

$D_g$  = Geometrik ortalama çap (mm)

$\phi$  = Küresellik (%)

$L$  = Uzunluk (mm)

$W$  = Genişlik (mm)

$T$  = Kalınlık (mm)'tir.

Hacim ağırlığı dereceli kap ile ölçülmüştür. Dereceli kap sıkıştırılmadan materyalle doldurularak tartılmış ve kütlesi hacme bölünerek  $\text{kg m}^{-3}$  olarak hacim ağırlığı saptanmıştır. Özgül kütle, tane kütesinin tanenin boşluksuz hacmine oranıyla elde edilmiştir. Porozite, hacim ağırlığı ve özgül kütlede yararlanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = 100 \cdot (1 - \rho_b / \rho_t) \quad (4)$$

Burada;

$\varepsilon$  = Porozite (%)

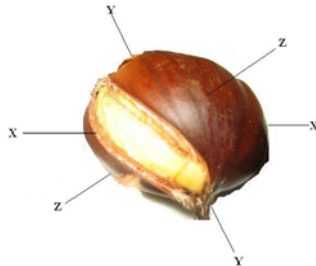
$\rho_b$  = Hacim ağırlığı ( $\text{kg m}^{-3}$ )

$\rho_t$  = Özgül kütle ( $\text{kg m}^{-3}$ )'dir.

Kestanelerin yüklenmesi Şekil 1'de gösterildiği gibi x-x, y-y ve z-z eksenlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kullanılan deneme düzeni Şekil 2'de gösterilmiş olup kestanelerin yüklenmesinde biri sabit diğeri hareketli, iki paralel plaka kullanılmıştır.

**Çizelge 1. Materyal olarak kullanılan kestane çeşitlerinin doğal nemde fiziksel özellikleri**

Fiziksel özellikler	Sarılaşma Kestanesi	Vakit Kestanesi	Ayıtabanı Kestanesi
Uzunluk (mm)	40.53	36.24	40.14
Genişlik (mm)	32.02	30.65	33.37
Kalınlık (mm)	23.66	22.05	25.16
Aritmetik Ortalama Çap (mm)	32.07	29.64	32.89
Geometrik Ortalama Çap (mm)	31.25	28.98	32.25
Küresellik (%)	77.19	80.09	80.46
Kütle (g)	16.12	13.39	16.14
Hacim (ml)	15.80	15.40	16.10
Hacim Ağırlığı ( $\text{kg/m}^3$ )	589	559	570
Özgül Kütle ( $\text{kg/m}^3$ )	1020	869	1002
Porozite (%)	%42.25	%35.67	%43.11



**Şekil 1. Materyal sıkıştırma eksenleri**

Kestaneler, deneme düzeninde TOS TRENCIN SN 55 model torna tezgahına konumlandırılan sabit plakaya yapıştırılmış ve hareketli plaka, sabit yüklenme oranında ürüne yaklaştırılmıştır (Şekil 2). Kuvvetin zamanla değişimi, bir veri algılama kartı ve bilgisayar programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Denemede NI-USB 6009 (National Instruments, Mopac Expwy, Austin TX) veri algılama kartı kullanılmıştır. Dinamometreden alınan gerilim değerleri veri algılama kartı üzerinden bilgisayar programına aktarılmıştır. Bilgisayar programı, Labview 8.0'da (National Instruments, Mopac Expwy, Austin TX) grafiksel programlama dilinde yazılmıştır (Koç, 2007). Program, 1'er saniye aralıklarla dinamometreden gerilim değerlerini okuyarak, kuvvet bilgisine çevirerek bir metin dosyasına kaydedilmiştir. Ayrıca zaman değerleri de aynı metin dosyasına kaydedilmiştir. Arabanın ilerleme hızı ( $40 \text{ mm min}^{-1} = 2/3/1000 \text{ m s}^{-1}$ ) ile zaman değerleri çarpılarak deformasyon miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra kuvvet-deformasyon grafikleri çıkartılmıştır (Şekil 3.). Toplam enerji miktarı kuvvet-deformasyon grafiğinin altındaki alana eşittir. Kuvvet-deformasyon eğrisi altındaki alanın integrali alınarak toplam enerji hesaplanmıştır. Alanı hesaplarken, birim deformasyon ile birim deformasyona karşılık gelen kuvvet değeri çarpılarak anlık enerji değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra kopma noktasına kadar olan anlık enerji değerleri toplanarak, toplam kopma enerjisi hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel analizini yapmak amacıyla da SPSS (Statistical Package for Social Sciences) istatistik paket programı kullanılmıştır.

Özgül deformasyon belirlenirken kestanenin başlangıçtaki boyutu ve deformasyona uğradıktan sonraki boyutu kullanılmış ve aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (Braga *et al.* 1999).

$$S_d = \frac{L_u - L_f}{L_u} 100 \quad (5)$$

$S_d$  = Özgül deformasyon (%)

$L_u$  = Deformasyondan önceki eksen yönündeki uzunluk (mm)

$L_f$  = Deformasyondan sonraki eksen yönündeki uzunluk (mm)

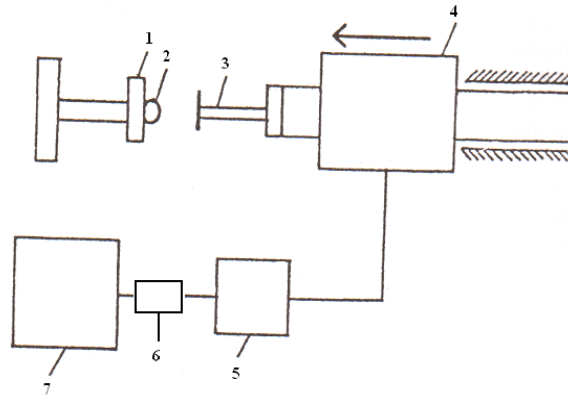
### ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan varyans analizine göre, kestanenin kırılma kuvvetlerine ve kırılma enerjilerine, araştırılan varyasyon kaynaklarının (çeşit, nem ve yüklenme eksenini) ve etkileşimlerinin etki derecelerini görmek amacıyla Duncan Testi (Çoklu Karşılaştırma Testi) yapılmıştır.

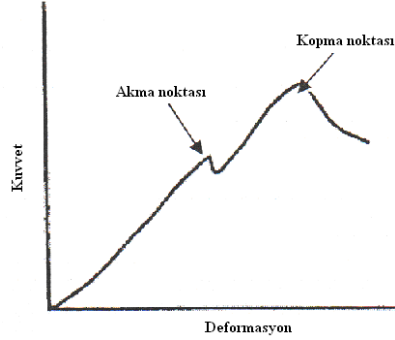
Varyasyon kaynaklarının kestone kırılma kuvveti üzerine etkileri Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'de verilmiştir.

Yapılan varyans analizi sonucuna göre, kestone çeşitlerinin kırılma kuvveti ortalamaları arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $P < 0.01$ ). Çizelge 3'de görüldüğü gibi, z-z ekseninde en büyük ortalama kırılma kuvveti 857.12 N ile Sarılaşma çeşidine aittir.

Kırılma kuvveti değeri için yapılan varyans analizi sonucunda, nem ve çeşit faktörlerinin ayrı ayrı seviye ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir ( $p < 0.01$ ). Nem×çeşit interaksyonunu istatistik olarak önemli bulunamamıştır.



Şekil 2. Deneme düzeninin şematik görünümü (1. sabit plaka, 2. kestone, 3. hareketli sıkıştırma plakası, 4. dinamometre, 5. amplifikatör, 6. veri algılama kartı, 7. USB bağlantılı PC) (Güner *et al.* 2003)



Şekil 3. Sıkıştırma yükü altındaki kestanein kuvvet-deformasyon eğrisinin genel karakteristiği (Güner 2002)

Çizelge 2. Denemeye alınan kestane çeşitlerinde nem ve eksene göre ortalama kırılma kuvveti, kırılma enerjisi ve özgül deformasyon değerleri

Nem (%)	Eksen	Çeşit	Kırılma Kuvveti (Nm)	Kırılma Enerjisi (Nm)	Özgül Deformasyon (%)
30	x-x	Ayıtabanı	359.63	28.93	34.57
	y-y	Ayıtabanı	450.30	44.02	36.36
	z-z	Ayıtabanı	451.08	68.90	64.24
	x-x	Sarıağlama	503.28	47.74	35.43
	y-y	Sarıağlama	683.97	97.55	51.71
	z-z	Sarıağlama	752.39	96.07	70.29
	x-x	Vakit	383.72	29.51	36.17
	y-y	Vakit	531.58	76.27	55.97
	z-z	Vakit	604.47	87.24	76.10
20	z-z	Ayıtabanı	653.45	47.24	59.20
	z-z	Sarıağlama	827.71	57.71	46.42
	z-z	Vakit	762.50	47.52	63.57
15	z-z	Ayıtabanı	817.49	25.85	47.92
	z-z	Sarıağlama	991.26	37.44	39.82
	z-z	Vakit	882.15	35.15	48.77

Çizelge 3. Kestane çeşitlerine göre ortalama kırılma kuvveti değerleri (z-z eksenini için)

Çeşit	Ortalama Kırılma Kuvveti (N)
Ayıtabanı (%15+%20+%30)	650.7 (c)
Sarıağlama	857.12 (a)
Vakit	749.70 (b)

Çizelge 4. Kestane nem seviyelerine göre ortalama kırılma kuvveti değerleri

Nem Seviyesi	Ortalama Kırılma Kuvveti (N)
%15	896.96 (a)
%20	747.88 (b)
%30	602.64 (c)

Çizelge 5. Kestane yüklenme eksenlerine göre ortalama kırılma kuvveti değerleri

Yüklenme Eksenini	Ortalama Kırılma Kuvveti (N)
x-x (uzunluk)	415.54 (b)
y-y (genişlik)	555.28 (a)
z-z (kalınlık)	602.64 (a)

Çizelge 4'de görüldüğü gibi nem seviyesi arttıkça kırılma kuvveti azalmaktadır. Nem seviyelerine bağlı olarak kırılma kuvveti ortalamaları arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.01$ ).

Çizelge 5'den görüldüğü gibi kestaneler kalınlık eksenini (z-z) doğrultusunda yüklenildiğinde, diğer eksenlere oranla daha fazla bir kırılma kuvvetine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan varyans analizi sonucunda, x-x ile y-y eksenlerinin ortalama kırılma kuvveti değerleri arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca x-x ile z-z eksenlerinin ortalama kırılma kuvveti değerleri arasındaki fark da istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.01$ ).

En büyük kırılma kuvveti değerine sahip olan çeşit Sarıaşlama kestanesidir. Yapılan varyans analizi sonucunda, kestane çeşitlerinin kırılma kuvveti ortalamaları arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.01$ ).

Yapılan varyans analizine göre, kestanelerin kırılması için gerekli enerji değerlerine etkisi araştırılan varyasyon kaynaklarının (çeşit, nem, yüklenme eksenini) etki dereceleri Çizelge 7, Çizelge 8, Çizelge 9 ve Çizelge 10'da verilmiştir.

Yapılan varyans analizi sonucunda, Ayıtabanı ile Sarıaşlama çeşitlerinin enerji ortalamaları arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.01$ ). Enerji gereksinim değeri en çok Sarıaşlama çeşidinde gözlemlenmiştir.

Enerji gereksinim değeri için yapılan varyans analizi sonucunda, sadece nem faktörünün seviye ortalamaları arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur. Buna ilişkin Duncan testi sonucu Çizelge 8'deki gibidir. Her üç nem seviyesi için de ortalama enerji gereksinim değerleri arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $p<0.01$ ).

**Çizelge 6. Kestane çeşitlerine göre ortalama kırılma kuvveti değerleri (%30 nemde)**

Çeşit	Ortalama Kırılma Kuvveti (N)
Ayıtabanı	420.33 (c)
Sarıaşlama	646.54 (a)
Vakit	506.59 (b)

**Çizelge 7. Kestane çeşitlerine göre ortalama enerji gereksinim değerleri (%30 nemde)**

Çeşit	Ortalama Enerji Gereksinimi (Nm)
Ayıtabanı	45.57 (b)
Sarıaşlama	81.21 (a)
Vakit	64.34 (ab)

**Çizelge 8. Kestane nem seviyelerine göre ortalama enerji gereksinim değerleri**

Nem Seviyesi	Ortalama Enerji Gereksinimi (Nm)
%15	32.81 (c)
%20	50.82 (b)
%30	84.07 (a)

**Çizelge 9. Kestane yüklenme eksenlerine göre ortalama enerji gereksinim değerleri (%30 nemde)**

Yüklenme Eksenini	Ortalama Enerji Gereksinimi (Nm)
x-x (uzunluk)	35.39 (b)
y-y (genişlik)	72.61 (a)
z-z (kalınlık)	84.07 (a)

**Çizelge 10. Kestane yüklenme eksenlerine göre ortalama özgül deformasyon değerleri %30 nemde)**

Yüklenme Eksenini	Ortalama Özgül Deformasyon (%)
x-x (uzunluk)	35.39 (c)
y-y (genişlik)	48.01 (b)
z-z (kalınlık)	69.19 (a)

**Çizelge 11. Kestane yüklenme eksenlerine göre ortalama özgül deformasyon değerleri**

Nem Seviyesi	Ortalama Özgül Deformasyon (%)
%15	45.50 (c)
%20	56.39 (b)
%30	69.19 (a)

Yapılan varyans analizine göre, x-x ile y-y eksenlerinin ortalama enerji gereksinim değerleri arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca x-x ile z-z eksenlerinin ortalama enerji gereksinim değerleri arasındaki fark da istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0.01$ ).

Enerji gereksinim değeri için yapılan varyans analizi sonucunda, eksen ve çeşit faktörlerinin ayrı ayrı seviye ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemlidir ( $p < 0.01$ ). Eksen×çeşit interaksyonu ise istatistik olarak önemli değildir. Hangi eksenlerin ve de hangi çeşitlerin ortalamaları arasındaki farkların tesadüften ileri gelmediğine ilişkin Duncan testi sonuçları Çizelge 7 ve Çizelge 9'da gösterilmiştir. Yapılan varyans analizine göre, kestanenin özgül deformasyonlarına, araştırılan varyasyon kaynaklarının (çeşit, nem ve yüklenme eksen) ve etkileşimlerinin etki dereceleri Çizelge 10 ve Çizelge 11'de verilmiştir.

Özgül deformasyon için yapılan varyans analizi sonucunda, eksen faktörünün seviyelerinin ortalamaları arasındaki farklar istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0.01$ ). Her üç eksen için de belirlenen özgül deformasyon ortalamaları arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur. Aynı zamanda nem faktörünün seviye ortalamaları arasındaki farklar da istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0.01$ ).

## TARTIŞMA ve SONUÇ

**1.** Kestane çeşitlerine nem ve kırılma yönünden varyans analizi yapıldığında, en yüksek kırılma kuvveti değeri, bütün çeşitleri için %15'lik nem değerinde elde edilmiştir. Buna bağlı olarak en düşük kırılma kuvveti değerleri ise bütün çeşitler için %30'luk nem seviyesinde elde edilmiştir.

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Aydın, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *Journal of Food Engineering*, 60(3): 315-320.
- Braga, C. G., Couto, S. M., Hara, T., Neto, A. 1999. Mechanical behaviour of macadamia nut under compressing loading. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(3):239-245.
- Gupta, R. K., Das, S. K. 2000. Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering*, 46(1): 1-8.
- Khazaei, J., Lar, M., Pour, R., Mohtasabi, S. 2002. Mechanical strength of chick pea grains under static loading. University of Tehran, Karaj, Iran.
- Khazaei, J., Rasckh, M. and Borghei, M. A. 2001. Physical and mechanical properties of almond and its kernel

**2.** Kestane çeşitlerinde nem içeriğine bağlı olarak maksimum kırılma enerjisi, bütün çeşitler için %30'luk nem içeriğinde, en düşük değerler ise %15'lik nem değerinde elde edilmiştir. Çeşitlerin nem seviyelerinin ölçülen ortalama enerji değerleri üzerine etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur. Buna göre kestane çeşitlerindeki nem seviyeleri arttıkça kırılma için gerekli enerji değerleri de artmaktadır.

**3.** Çeşitlerin nem seviyelerinin ölçülen kuvvet değerleri üzerine etkileri istatistik olarak önemli bulunmuştur. Nem seviyesi arttıkça kırılma kuvveti azalmaktadır.

**4.** Çeşitlerin ölçülen kuvvet değerleri üzerine etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur.

**5.** Ayıtabanı ve Sariaşlama kestane çeşitlerinin, kırılma için gerekli enerji değerleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur.

**6.** Çeşitlerin yüklenme eksenlerinin özgül deformasyon değerleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur.

**7.** Çeşitlerin nem değerlerinin özgül deformasyon değerleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur.

**8.** x-x ile y-y eksenlerinin ortalama enerji gereksinim değerleri arasındaki fark istatistik olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca x-x ile z-z eksenlerinin ortalama enerji gereksinim değerleri arasındaki fark da istatistik olarak önemli bulunmuştur.

**9.** x-x ile y-y eksenlerinin ortalama kırılma kuvveti değerleri arasındaki fark istatistik olarak

**10.** önemli bulunmuştur. Ayrıca x-x ile z-z eksenlerinin ortalama kırılma kuvveti değerleri arasındaki fark da istatistik olarak önemli bulunmuştur.

**11.** Nem değerlerinin belirlenmesinde kestanelerin yanmaması için en uygun sıcaklığın 60 °C ve daha düşük değerlerin alınması gerektiği saptanmıştır.

related to cracking and peeling. University of Tehran, Karaj, Iran.

Maduako, J. N., Faborode, M. O. 2003. Characterization of breaking behaviour of whole cocoa pods. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59(2): 89-96.

Oloso, A. O., Clarke, B. 1993. Some aspects of strength properties of cashew nuts. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 55(1): 27-43.

Soylu, A. 2004. Kestane yetiştiriciliği ve özellikleri, Hasad Yayıncılık, 64 s, İstanbul.

Visvanathan, R., Palanisamy, T., Gothandapani, L., Sreenarayanan, V. 1996. Physical properties of neem nut. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(1): 19-26.