

BAZI TANELİ ÜRÜNLERİN İÇSEL SÜRTÜNME AÇISI VE BASINÇ ORANLARI ÜZERİNE TANE NEM İÇERİĞİNİN ETKİSİ

Turgut ÖZTÜRK Hakan KİBAR* Bilge ESEN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun

*e-mail: hkibar@omu.edu.tr

Geliş Tarihi: 26.02.2008

Kabul Tarihi: 15.12.2008

ÖZET: Taneli ürünleri depolama sistemlerinin projelendirilmesinde içsel sürtünme açısı (ϕ) ve basınç oranı (k) depo kesit geometrisindeki basınç dağılımı üzerinde oldukça önemlidir. Bu çalışmada içsel sürtünme açısı ve basınç oranı tane nem kapsamının bir fonksiyonu olarak seçilmiş bazı taneli ürünler (fındık, mısır, arpa ve soya) için araştırılmıştır. Çalışmada basınç oranının belirlenmesinde üç farklı yöntem kullanılmıştır. Araştırma sonucunda tane nem içeriğindeki artışa bağlı olarak seçilmiş ürünlerde içsel sürtünme açısı pozitif lineer bir artış göstermiştir. Basınç oranı ise fındıkta çeşide bağlı olarak tane nem içeriğinin artışı ile değişkenlik göstermiştir. Mısır, arpa ve soyada ise tane nem içeriğinin artışına bağlı olarak basınç oranı her üç yöntemde de lineer olarak azalmıştır. Yapılan istatistik analiz sonucunda nem içeriği ve yöntemlerin $P<0.01$ olasılık düzeyinde basınç oranlarına önemli bir etkisinin olduğu, nem*yöntem interaksiyonunun ise önemsiz olduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Fındık, mısır, arpa, soya, içsel sürtünme açısı, basınç oranı

THE EFFECT OF MOISTURE CONTENT OF GRAIN ON ANGLE OF INTERNAL FRICTION AND PRESSURE RATIOS OF SOME GRANULAR CROPS

Abstract: Angle of internal friction (ϕ) and pressure ratio (k) are the most important in the design of storage systems of granular crops in point of distribution of pressure at the cross-section of silo. In the research, the angle of internal friction and pressure ratios of selected some granular crops –hazelnut, corn, barley, soybean-were evaluated as a function of moisture content of grain. In the study, the pressure ratio was determined according to three different methods. The research results showed that the angle of internal friction linearly increased with the increase in the grain moisture content for selected granular crops. The pressure ratios of hazelnut varied with the increase in the grain moisture content depend on variety. Also the pressure ratios of corn, barley and soybean linearly decreased with the increase in the grain moisture content at the every three methods. In respect to the statistical, effect of the moisture content of grain and method on pressure ratio is significant ($P<0.01$). Also the interaction of the moisture content *method is insignificant.

Keywords: Hazelnut, corn, barley, soybean, angle of internal friction, pressure ratio

1. GİRİŞ

Tane mekaniğinin kuramsal esası, mineral malzemeler için formüle edilmiştir. Ancak, biyolojik kökenli malzemeler (buğday, arpa, soya, mısır, fındık, mercimek vb.), mineral kökenli malzemelerle (kil, çakıl, kum, kırmataş vb.) karşılaştırıldığında, biyolojik kökenli malzemelerin tanecik yapısı ve mekanik özellikleri üzerinde tane nem kapsamı büyük oranda etkili olmaktadır. Bu nedenle günümüzde yatay ve düşey siloların projelendirilmesine yönelik kuramsal hesaplamalarda tane nem kapsamı dikkate alınmalıdır (Molenda ve ark. 2004).

Günümüzde, ürün depolama yapıları, ürünün fiziksel ve mekaniksel özelliklerine bağlı olarak ürünün oluşturacağı yatay ve düşey basınçlar göz önüne alınarak projelendirilmektedir. Bunun yanında, depolanan ürünün oluşturacağı basıncın hesaplanmasında farklı eşitlikler kullanılmaktadır. Yöntem ne olursa olsun, silolara yönelik kuramsal basınç hesaplamalarında, içsel sürtünme açısı ve basınç oranlarına ilişkin verilere gereksinim duyulmaktadır (Horabik ve Rusinek, 2000).

İçsel sürtünme açısı, ürünlerin depoda kaymadan durabildiği açı olarak tanımlanmaktadır. Biyolojik malzemelerin içsel sürtünme açısı, ürünlerin fiziksel özelliklerine ve geometrik yapılarına bağlı olarak değişmektedir. Bu bağlamda, bitkisel granüler ürünlerin fiziksel özelliklerini etkileyen önemli

faktörler; nem içeriği, tür, çeşit, olgunluk durumu ve yetiştirme koşulludur. (Horabik ve Rusinek, 2002).

Bitkisel granüler ürünlerin içsel sürtünme açısının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler direkt kesme kutusu veya üç eksenli basınç deneyidir (Bakker, 1999; Molenda ve Horabik, 2005). Konuya yönelik yapılmış olan çalışmalarda her iki yönteminde birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yapılan araştırmalarda genel olarak bitkisel granüler ürünlerde içsel sürtünme açısının tane nem içeriğinin artışı ile pozitif lineer bir artış gösterdiği saptanmıştır (Moya ve ark. 2002; Ogunjimi ve ark. 2002; Amin ve ark., 2004; Kingsly ve ark., 2005).

Baryeh, (2001) yerfıstığı tanelerinde nem düzeyindeki değişmeye (%5-35) bağlı olarak araştırmış içsel sürtünme açısının arttığını lineer arttığını belirlemiştir. Baryeh, (2002) %5-22 nem aralığında darının içsel sürtünme açısını araştırmıştır. Araştırma sonucunda nem kapsamı arttıkça içsel sürtünme açısının 34.5-48.5⁰ olarak arttığını saptamıştır. Molenda ve ark. (2002), bazı taneli ürünlerin içsel sürtünme açısının saptanması üzerine yaptıkları çalışmalarında, buğdayın %10.4 nem içeriğindeki içsel sürtünme açısını 26.3±0.3⁰, soya fasulyesinin %11.4 nem içeriğindeki içsel sürtünme açısını 33.9±0.9⁰, mısırın %11.7 nem içeriğindeki içsel sürtünme açısını 30.7±1.4⁰ olarak belirlemişlerdir.

Bir silonun taban ve duvarı üzerinde taneli malzemelerin uyguladığı basıncı hesaplamadaki en önemli parametrelerden birisi de yatay basıncın düşey basınca oranı olarak kabul edilen basınç oranı (k)'dır. Silonun yatay bir kesitinde düşey basınç üniform olduğundan basınç oranı (k) konstrüksiyon malzemesinin her noktasında sabittir (Janssen, 1895). Son zamanlarda taneli ürünlerin basınç oranlarının saptanmasına yönelik olarak yapılmış olan çalışmalarda pratik olarak uygulanabilen eşitlikler geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu eşitliklerde en önemli parametre ise içsel sürtünme açısıdır. Depolama yapılarının yanıl ve düşey basınçlarının belirlenmesinde gerekli parametrelerden birisi olan basınç oranı siloların projelendirme hesaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda basınç oranının genelde nem içeriğinin artışı ile azaldığı ancak bazı durumlarda ürünün geometrik yapısına, depo içerisinde tabakalaşma durumuna ve nem içeriğinin değişmesi sonucu üründe hacimsel değişimin olup olmamasına bağlı olarak da artabileceği saptanmıştır (Molenda ve Horabik, 2005).

Horabik ve Rusinek (2002), basınç oranı eşitliklerinden Eurocode1 (2003) 'i esas alarak yulaf, buğday ve kolzada %10-20 arasında değişen nem içeriklerinde basınç oranlarını araştırmışlar ve araştırma sonucunda nem içeriğinin artışı ile basınç oranlarının da arttığını belirlemişlerdir.

Taneli tarımsal ürünlerin depolandığı siloların tasarım kriterleri diğer granül ürünlerin depolandığı klasik silo tasarım kriterlerinden bazı ayrıcalıklar göstermektedir. Bunun temel nedeni de taneli tarımsal ürünlerin hasat sonrası ve depolama süresindeki nem kapsamındaki değişikliklerdir. Özellikle silo içerisinde depolanan ürünlerdeki yersel nem transferleri yatay ve düşey doğrultularda oluşan basıncı büyük oranda değiştirmektedir. Bunun temel nedenlerinden birisi depolanan ürünün nem kapsamına bağlı içsel sürtünme açısındaki değişim ve bunun sonucu olarak ta silo içerisindeki basınç oranlarında yaşanan değişimlerdir. Bu temel yaklaşımdan hareketle bu çalışmanın amacını seçilmiş bazı taneli ürünlerde (findık, mısır, arpa ve soya) tane nem kapsamının bir fonksiyonu olarak silo tasarım parametrelerinden içsel sürtünme açısı ve basınç oranlarındaki değişim düzeyi oluşturmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Araştırma materyali olarak taneli tarımsal ürünlerden findık (tombul, sivri, badem, çakıldak, mincane), mısır (karadeniz, cin, TTM-813, akpınar, şeker), arpa (Fahrettinbey) ve soya (landrace) kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Tane nem içerikleri

Araştırma materyalleri laboratuvar koşullarında oda sıcaklığında kurutulduktan sonra parçalanmış, çatlama, bozulmuş ve şekil bozukluğu gözlenen

taneler ayrılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Deney materyallerinde öncelikle hasat nemi göz önüne alınarak ürün bazında denge nemine bağlı ürün tane nem içerikleri oluşturulmuştur. Ürün tane nem içeriği olarak sırasıyla arpada %10,12, 14; findıkta %8, 12, 16; mısır ve soyada %8, 10, 12, 14 nem içerikleri kullanılmıştır. Materyallerin deneysel tane nem içeriklerinin oluşturulmasında laboratuvar koşullarındaki ürün denge nemi referans alınmıştır (Bakker, 1999). Bu bağlamda denge nem düzeyinin altındaki nem içeriklerini sağlayabilmek için kurutma işlemi yapılmıştır. Denge neminin üzerindeki nem içeriklerini sağlayabilmek için ise Balasubramanian (2001) tarafından geliştirilen eşitlik 1 kullanılmak suretiyle ilave su miktarı belirlenmiş, belirlenen bu su miktarı ürüne emdirilmiştir. Buna bağlı olarak denge nem içeriğine getirilen örneklerde nemin homojen dağılması amacıyla örnekler +4 °C'deki buzdolabında 7 gün süreyle bekletilmiştir. Deney esnasında buzdolabından çıkarılan örnekler oda sıcaklığına gelinceye kadar laboratuvar ortamında bekletildikten sonra desikatörlere alınmıştır.

$$Q = \frac{W_i (M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (1)$$

2.2.2. İçsel sürtünme açısı

Farklı tane nem içeriklerine sahip olan ürünlerin içsel sürtünme açılarının belirlenmesinde Uzuner (1996), Zou ve Bruswitz (2001), Molenda ve ark. (2002) ile Mani ve ark. (2004)'daki esaslar göz önüne alınarak direkt kesme yöntemi kullanılmıştır. Deney esnasında kullanılan hız 0.7 mm.min⁻¹'dir. Deneyler tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yapılmıştır (tüm ürünlerde, tüm nem içerikleri için). Deney esnasında uygulanan yük nedeniyle deney materyallerinde şekilsel bozulmalar gözlemlenmiştir. Bu nedenle her deneyde yeni örnek kullanılmıştır. Deney sonrası materyallerin içsel sürtünme açıları eşitlik 2, 3 ve 4'e göre saptanmıştır.

$$\sigma = \frac{N}{A} * 100 \quad (2)$$

$$\tau = \frac{T}{A} * 100 \quad (3)$$

$$\tau = (c + \sigma \times \tan \phi) \quad (4)$$

2.2.3. Basınç oranı

Basınç oranı (k) sadece ürünün yarattığı gerilmeye bağlı olmayıp, basınç oranı üzerinde; çeşit, nem içeriği, ürün birim hacim ağırlığı, silonun doldurulması esnasındaki ürün formunun tabakalaşma yapısı, içsel sürtünme açısı ile duvar sürtünme açısı da etkilidir (Lukaszuk ve Horabik 2002).

Kezdi (1974) ve Moysey (1979) silindirik siloların merkezinde ve duvarlarında doldurma ve depolama sürecinde aktif, boşaltma durumunda ise pasif durumun meydana geldiğini belirtmektedir (şekil 1). Bu bağlamda silo merkezindeki basınç oranı; aktif durumda

$$k = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \text{ olurken,} \quad (5)$$

pasif durumda

$$k = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \text{ 'dır.} \quad (6)$$

Silo duvarındaki basınç oranı; aktif durumda

$$k = \frac{1 - \sin \varphi x \cos \alpha}{1 + \sin \varphi x \cos \alpha} \text{ 'dır.} \quad (7)$$

Eşitlikteki (7) ürün kayma açısı

$$\alpha = \arcsin \frac{\sin \varphi_w}{\sin \varphi} - \varphi_w \text{ 'dır.} \quad (8)$$

Pasif durumda ise ;

$$k = \frac{1 + \sin \varphi x \cos \alpha}{1 - \sin \varphi x \cos \alpha} \text{ 'dır.} \quad (9)$$

Eşitlikteki (9) ürün kayma açısı

$$\alpha = \arcsin \frac{\sin \varphi_w}{\sin \varphi} + \varphi_w \text{ 'dır.} \quad (10)$$

Yukarıda verilen eşitliklerden de görüldüğü gibi basınç oranı tane içsel sürtünme açısı ile duvar sürtünme açısına bağlıdır. Eşitliklerin kompleks ve buna bağlı ölçülenmesi gerekli parametre sayısının fazlalığı uygulamada bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu açıdan günümüzde konuya yönelik uygulanabilir daha pratik eşitlikler geliştirilmiştir.

Geliştirilen bu eşitliklerde ölçülenmesi gerekli tek parametre tane içsel sürtünme açısıdır.

Bu çalışma kapsamında deney materyallerinin basınç oranlarının saptanmasında Lohnes (1993), Eurocode 1 (2003) ve Schulze (2005) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır. Her üç yöntemde siloların tasarımında önemli bir yer tutan basınç oranının saptanmasında ülkelere göre uygulama alanı bulabilmektedir. Dolayısıyla her üç yöntemde çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Konuya ilişkin ilgili kuramsal eşitlikler eşitlik 11, 12 ve 13' te verilmiştir. Bu bağlamda taneli ürünlerin basınç oranları;

Lohnes (1993)'e göre;

$$k_L = \frac{(1 - \sin \varphi)x(1 + \frac{2}{3}x \sin \varphi)}{1 + \sin \varphi} \quad (11)$$

Eurocode1 (2003)'e göre;

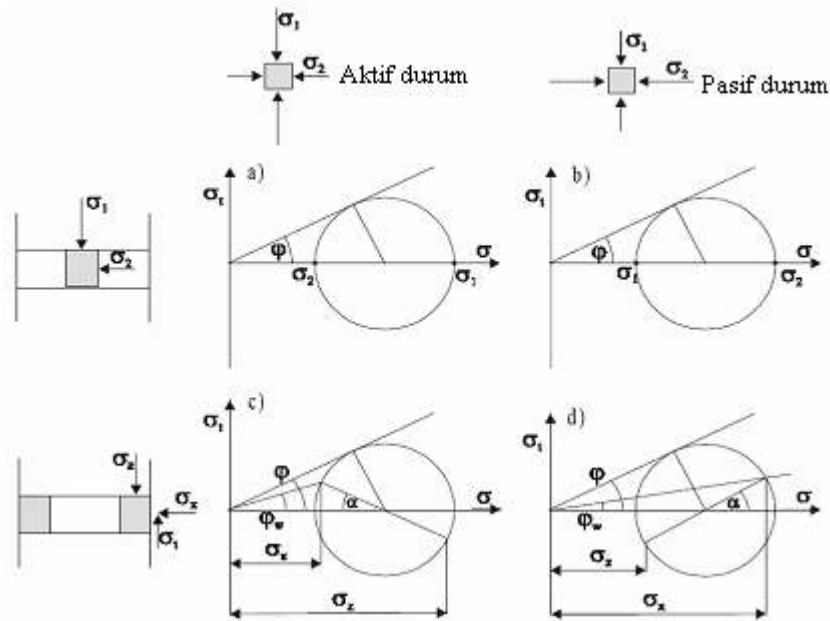
$$k_E = 1.1x(1 - \sin \varphi) \quad (12)$$

Schulze (2005)'e göre;

$$k_S = 1 - \sin \varphi \text{ 'dır.} \quad (13)$$

2.2.4. İstatistiksel analiz

Deneyler tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bütün verilere SPSS istatistik paket programı yardımıyla varyans analizleri yapılmış ve önemli çıkan işlemlerin istatistiksel gruplandırılmasında DUNCAN çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.



Şekil 1. Silindirik silolarda aktif ve pasif durumlar
(a:silo merkezi aktif, b:silo merkezi pasif, c:silo duvarı aktif, d:silo duvarı pasif)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İçsel Sürtünme Açılımları

Fındık, mısır, arpa ve soya örneklerinin farklı tane nem içeriklerindeki içsel sürtünme açıları çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1’den de görülebileceği gibi ürünlerin içsel sürtünme açıları tane nem içeriği artışına paralel olarak artmıştır. Bu bağlamda içsel sürtünme açıları ile tane nem içerikleri arasında pozitif lineer bir ilişki belirlenmiştir. İçsel sürtünme açılarının en yüksek değerleri fındıkta %16 nem içeriğinde badem çeşidinde 32.4⁰, mısırdaki %14 nem içeriğinde şeker çeşidinde 34.2⁰, arpa ve soyada ise %14 nem içeriğinde sırasıyla 22.5⁰ ve 30.5⁰ olarak saptanmıştır. En küçük değerler ise fındıkta %8 nem içeriğinde mincane çeşidinde 28.3⁰, mısırdaki %8 nem içeriğinde şeker çeşidinde 25.2⁰, arpada %10 nem içeriğinde 19.7⁰ ve soyada ise %8 nem içeriğinde 27.4⁰ saptanmıştır. Benzer şekilde Molenda ve ark. (1998) buğday; Moya ve ark. 2002; Ogunjimi ve ark. (2002) fasulye; Amin ve ark. (2004) mercimek kullanarak yapmış oldukları çalışmalarında tane nem içeriğinin artışı ile içsel sürtünme açısının arttığını saptamışlardır.

3.2. Basınç Oranları

Fındık, mısır, arpa ve soya örneklerinin farklı tane nem içeriklerindeki basınç oranları çizelge 2, 3, 4, ve 5’te verilmiştir. Çizelge 2’den de görülebileceği gibi tane nem içeriğinin artışı ile basınç oranları bazı fındık çeşitlerinde artarken bazılarında ise azalmıştır. Bu artış ve azalışlar fındığın doğal yapısına bağlı olarak gerçekleşmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda basınç oranı üzerine nem içeriği ve üç farklı yöntemin P<0.01 olasılık düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu, nem*yöntem etkisinin ise önemsiz bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Basınç oranının nem içeriği bakımından en yüksek ortalama değeri %12 nem içeriği ile çakıldak çeşidinde (0.55), yöntem bakımından ise Eurocode1 (2003) ‘e göre mincane çeşidinde (0.53) saptanmıştır.

Çizelge 3’ten de görüldüğü gibi arpada tane nem içeriğinin artışı ile basınç oranları her üç yöntemde de azalmıştır. Yapılan istatistik analizi sonucunda basınç oranı üzerine nem içeriği ve üç farklı yöntemin P<0.01 olasılık düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu, nem*yöntem etkisinin ise önemsiz bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Basınç oranının nem içeriği bakımından en yüksek ortalama değeri %10 nem içeriğinde (0.67), en düşük ortalama değeri ise %14 nem içeriğinde (0.62) saptanmıştır. Yöntemler açısından incelendiğinde ise en yüksek ortalama değer Eurocode1 (2003)’e göre (0.70), en küçük ortalama değer ise Lohnes (1993)’e göre (0.58) saptanmıştır.

Mısır çeşitlerinde tane nem içeriğine bağlı basınç oranlarının verildiği Çizelge 4’ten de görülebileceği gibi tane nem içeriğinin artışı ile basınç oranları mısır çeşitlerinde artış göstermiştir. Yapılan istatistik analizi sonucunda basınç oranı üzerine nem içeriği ve üç farklı yöntemin P<0.01 olasılık düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu, nem*yöntem etkisinin ise önemsiz bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Basınç oranının nem içeriği bakımından en yüksek ortalama değeri %8 nem içeriğinde şeker mısır çeşidinde (0.58) elde edilmiştir. Yöntemler açısından incelendiğinde ise en yüksek ortalama değer Eurocode1 (2003)’e göre Akpınar çeşidinde (0.57), en küçük ortalama değer ise Lohnes (1993)’e göre şeker çeşidinde (0.44) belirlenmiştir.

Soya örneklerinde tane nem içeriğinin artışı ile her üç yöntemde de basınç oranları lineer olarak azalmıştır (Çizelge 5). Yapılan istatistik analiz sonucunda basınç oranı üzerine nem içeriği ve üç farklı yöntemin P<0.01 olasılık düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu, nem*yöntem etkisinin ise önemsiz bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda nem içeriği bakımından en yüksek ortalama değeri %8 nem içeriğinde (0.54), en düşük ortalama değeri ise %14 nem içeriğinde (0.49) belirlenmiştir. Yöntemler karşılaştırıldığında en yüksek ortalama değeri Eurocode1 (2003)’e göre (0.57), en küçük ortalama değeri ise Lohnes (1993)’e göre (0.46) belirlenmiştir.

Çizelge 1. Deney Örneklerinin İçsel Sürtünme Açılımları

Ürünler	Nem içerikleri (%)	İçsel sürtünme açıları (derece)				
		Tombul	Badem	Mincane	Çakıldak	Sivri
Fındık	8	29.8±1.34	32.4±0.89	28.3±1.53	28.4±1.15	29.2±1.55
	12	30.9±1.76	33.6±1.01	29.8±1.63	30.8±0.87	31.3±1.35
	16	32.8±0.98	34.3±1.10	31.8±1.04	32.0±1.41	32.7±1.23
Mısır		Karadeniz	Cin	TTM 813	Akpınar	Şeker
	8	27.2±0.17	27.2±0.17	26.8±0.17	27.0±0.00	25.2±0.60
	10	28.8±0.60	29.0±0.58	27.7±0.17	27.7±0.17	30.3±0.67
	12	30.7±0.33	30.3±0.33	30.5±0.50	29.7±0.33	32.3±0.73
	14	32.3±0.33	33.2±0.17	32.8±0.17	32.2±0.44	34.2±0.17
Arpa	10			19.7±0.33		
	12			20.8±0.17		
	14			22.5±0.29		
Soya	8			27.4±0.52		
	10			28.1±0.52		
	12			29.1±0.86		
	14			30.5±0.30		

Çizelge 2. Fındıkta Farklı Tane Nem İçerikleri ve Yöntemlere Göre Basınç Oranları

Çeşitler	Yöntem	Nem içerikleri, %			Ortalama \bar{X}
		8	12	16	
Tombul	k_L	0.45	0.43	0.41	0.43 ^c
	k_E	0.55	0.53	0.50	0.53 ^a
	k_S	0.50	0.49	0.46	0.48 ^b
Ortalama	\bar{X}	0.50 ^a	0.48 ^b	0.45 ^c	
Çakıldak	k_L	0.47	0.58	0.52	0.52 ^a
	k_E	0.43	0.54	0.49	0.49 ^b
	k_S	0.42	0.52	0.47	0.47 ^c
Ortalama	\bar{X}	0.44 ^c	0.55 ^a	0.49 ^b	
Sivri	k_L	0.46	0.43	0.41	0.43 ^c
	k_E	0.56	0.53	0.51	0.53 ^a
	k_S	0.51	0.48	0.46	0.48 ^b
Ortalama	\bar{X}	0.51 ^a	0.48 ^b	0.46 ^c	
Badem	k_L	0.41	0.39	0.45	0.42 ^c
	k_E	0.51	0.49	0.55	0.52 ^a
	k_S	0.45	0.55	0.50	0.50 ^b
Ortalama	\bar{X}	0.46 ^c	0.48 ^b	0.50 ^a	
Mincane	k_L	0.47	0.45	0.42	0.45 ^c
	k_E	0.58	0.55	0.50	0.54 ^a
	k_S	0.53	0.50	0.47	0.50 ^b
Ortalama	\bar{X}	0.53 ^a	0.50 ^b	0.46 ^c	

Çizelge 3. Arpada Farklı Tane Nem İçerikleri ve Yöntemlere Göre Basınç Oranları

Çeşit	Yöntem	Nem içerikleri, %			Ortalama \bar{X}
		10	12	14	
Fahrettinbey	k_L	0.61	0.58	0.56	0.58 ^c
	k_E	0.74	0.70	0.68	0.70 ^a
	k_S	0.67	0.64	0.62	0.64 ^b
Ortalama	\bar{X}	0.67 ^a	0.64 ^b	0.62 ^c	

Çizelge 4. Mısırdaki Farklı Tane Nem İçerikleri ve Yöntemlere Göre Basınç Oranları

Çeşitler	Yöntem	Nem içerikleri, %				Ortalama \bar{X}
		8	10	12	14	
Karadeniz Yıldızı	k_L	0.49	0.46	0.43	0.42	0.45 ^c
	k_E	0.61	0.57	0.54	0.52	0.56 ^a
	k_S	0.55	0.52	0.49	0.47	0.51 ^b
Ortalama \bar{X}		0.55 ^a	0.52 ^b	0.49 ^c	0.47 ^d	
Cin	k_L	0.49	0.46	0.44	0.41	0.45 ^c
	k_E	0.61	0.57	0.55	0.51	0.56 ^b
	k_S	0.55	0.52	0.50	0.46	0.51 ^a
Ortalama \bar{X}		0.55 ^a	0.52 ^b	0.50 ^c	0.46 ^d	
TTM 813	k_L	0.49	0.48	0.44	0.41	0.46 ^c
	k_E	0.61	0.59	0.55	0.51	0.56 ^a
	k_S	0.55	0.54	0.50	0.46	0.51 ^b
Ortalama \bar{X}		0.55 ^a	0.54 ^b	0.50 ^c	0.46 ^d	
Akpınar	k_L	0.49	0.48	0.45	0.42	0.46 ^c
	k_E	0.61	0.59	0.56	0.52	0.57 ^a
	k_S	0.55	0.54	0.51	0.47	0.52 ^b
Ortalama \bar{X}		0.55 ^a	0.53 ^b	0.51 ^c	0.47 ^d	
Şeker	k_L	0.52	0.44	0.42	0.39	0.44 ^c
	k_E	0.64	0.55	0.52	0.48	0.55 ^a
	k_S	0.58	0.50	0.47	0.44	0.50 ^b
Ortalama \bar{X}		0.58 ^a	0.50 ^b	0.47 ^c	0.44 ^d	

Çizelge 5. Soyada Farklı Tane Nem İçerikleri ve Yöntemlere Göre Basınç Oranları

Çeşit	Yöntem	Nem içerikleri, %				Ortalama \bar{X}
		8	10	12	14	
Landrace	k_L	0.48	0.47	0.46	0.43	0.46 ^c
	k_E	0.59	0.58	0.57	0.54	0.57 ^a
	k_S	0.54	0.53	0.52	0.49	0.52 ^b
Ortalama \bar{X}		0.54 ^a	0.52 ^b	0.51 ^c	0.49 ^d	

Benzer şekilde Horabik ve Rusinek (2002) bazı tahılların basınç oranlarının saptanmasına yönelik olarak yapmış oldukları çalışmalarında tane nem içeriğinin artışıyla basınç oranının azaldığını saptamışlardır. Buna karşın Rusinek ve Lukaszug (2004) kolza tohumları üzerinde yapmış oldukları çalışmalarında tane nem içeriğinin artışıyla basınç oranının arttığını saptamışlardır.

4. SONUÇ

Çalışma sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

1. İçsel sürtünme açısı, tane nem içeriğindeki artışa bağlı olarak tüm ürünlerde pozitif düzeyde lineer artış göstermiştir.

2. İçsel sürtünme açılarının en yüksek değerleri fındıkta %16 nem içeriğinde badem çeşidinde 32.4⁰, mısırdaki %14 nem içeriğinde şeker çeşidinde 34.2⁰, arpa ve soyada ise %14 nem içeriğinde sırasıyla 22.5⁰ ve 30.5⁰ olarak saptanmıştır.

3. İçsel sürtünme açısının en küçük değerleri ise fındıkta %8 nem içeriğinde mincane çeşidinde 28.3⁰, mısırdaki %8 nem içeriğinde şeker çeşidinde 25.2⁰,

arpada %10 nem içeriğinde 19.7⁰ ve soyada ise %8 nem içeriğinde 27.4⁰ olarak saptanmıştır.

4. Fındık çeşitlerinde tane nem içeriğinin artışı ile bazı çeşitlerde basınç oranı azalırken bazı çeşitlerde ise artmıştır. Bu artış ve azalışlar fındığın doğal yapısına bağlı olarak gerçekleşmiştir.

5. Mısır, arpa ve soyada ise tane nem içeriğinin artışı ile basınç oranları lineer olarak azalmıştır.

6. İstatistiksel olarak deney materyallerinde (fındık, mısır, arpa ve soya) basınç oranı üzerine nem içeriği ve üç farklı yöntemin P<0.01 olasılık düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu, nem*yöntem interaksyonunun ise önemsiz bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır.

7. Çalışma kapsamında tarımsal taneli ürünlerin depolandığı siloların projelendirilmesinde yaygın olarak kullanılan Coulomb, (1776); Rankine, (1857); Janssen, (1896); Reimbert, (1955); Jenike ve Johanson (1968) v.b araştırmacılar tarafından geliştirilen eşitliklerde parametrik bir değer olarak kullanılan içsel sürtünme açıları ve basınç oranları ürün nem kapsamının bir fonksiyonu saptanmıştır. Bu bağlamda ülkemizde yaygın olarak üretimi yapılan fındık, mısır, arpa ve soya gibi taneli ürünlerin depolamasına yönelik olarak geliştirilecek olan siloların tasarımında, çalışma kapsamında elde edilen veriler alana yönelik çalışmalar yapan mühendislere ve uygulayıcılara birer veri tabanı oluşturacaktır.

5. KAYNAKLAR

Amin, M.N., Hossain, M.A., Roy, K.C., 2004. Effect of Moisture Content on Some Physical Properties of Lentil Grains. *Journal of Food Engineering*, 65, 83-87.

Balassubramanian, D., 2001. Physical Properties of Raw Cashew Nut. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(3), 291-297.

Bakker, F.W., 1999. Grains and Grain Quality. *Agro-Processing Engineering*. The American Society of Agricultural Engineers.

Baryeh, E.A., 2001. Physical Properties of Bambara Groundnuts. *Journal of Food Engineering*, 47(4), 321-326.

Baryeh, E.A., 2002. Physical Properties of Millet. *Journal of Food Engineering*, 51(1), 39-46.

Eurocode1, 2003. Basis of Design and Actions on Structures – Part 4: Actions in Silos and Tanks. European Committee for Standardization. Central Secretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brussels.

Horabik J., Rusinek R., 2000. Determination of Stress Ratio in Plant Granular Materials. Part-II. Experimental Investigations. *Acta Agrophysica*, 37, 73-81.

Horabik J., Rusinek R., 2002. Pressure Ratio of Cereal Grains Determined in Uniaxial Compression Test. *International Agrophysics*, 16(1), 23-28.

Janssen, H.A., 1895. Investigations of Pressure of Grain in Silo (in German). *Vereins Deutscher Ingenieure Zeitschrift* 39(35), 1045-1049.

Jenike, A.W., Johanson, J.R., 1968. Bin Loads. *Journal of Structures Div. ASCE*, 94 (ST4), 1011-1041.

Kezdi, A., 1974. *Handbook of Soil Mechanics*. Akademia Kiado, Budapest.

Kingsly, A.R.P., Singh, D.B., Manikantan, M.R., Jain, R.K., 2005. Moisture Dependent Physical Properties of Dried Pomegranate Seeds. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 492-496.

Lohnes, R.A., 1993. Lateral Stress Ratios for Particulate Materials. *Powder Handling and Processing*, 5, 331-335.

Lukaszuk J., Horabik J., 2002. Determination of The Angle of Internal Friction of Plant Granular Solids. *Acta Agrophysica*, p. 64.

Mani, S., Tabil, L. G., Sokhansanj, S., 2004. Mechanical Properties of Corn Stover Grind. *Transactions of The ASAE*, 47(6), 1983-1990.

Molenda, M., Horabik, J., Ross, I.J., 1998. Stress and Deformation of Wheat in Direct Shear Test. *International Agrophysics*, 12, P. 115-118.

Molenda, M., Montross, M.D., Horabik, J., Ross, I.J., 2002. Mechanical Properties of Corn and Soybean Meal. *Transactions of The ASAE*, 45(6), 1929-1936.

Molenda, M., Horabik, J., Thompson, S.A., Ross, I.J., 2004. Effects of Grain Properties On Loads in Model Silo. *International Agrophysics*, 18, P. 329-332.

Molenda, M., Horabik, J., 2005. Mechanical Properties of Granular Agro-Materials and Food Powders for Industrial Practice. Part-I Characterization of Mechanical Properties of Particulate Solids for Storage and Handling, Lublin.

Moya, M., Ayuga, F., Guaita, M., Aguado, P., 2002. Mechanical Properties of Granular Agricultural Materials. *Transactions of the ASAE*, 45(5), 1569-177.

Moya, M., Ayuga, F., Guaita, M., Aguado, P., 2002. Mechanical Properties of Granular Agricultural Materials. *Transactions of the ASAE*, 45(5), 1569-177.

Moysey, E.B., 1979. Active and Passive Pressures in Deep Grain Bin. *Transactions of The ASAE*, 22(6), 1409-1413.

Ogunjimi, A.O., Aviara, N.A., Aregbesola, O.A., 2002. Some Engineering Properties of Locust Bean seed. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 95-99.

Rusinek, R., Lukaszuk, J., 2004. Influence of Moisture Content on Pressure Ratio of Rape Seeds. *Research Agricultural Engineering*, 50(1), 11-14.

Schulze, D., 2005. Stresses in Silos; <http://www.dietmar-schulze.de/spanne.html> [Ulaşım: 15 Şubat 2005].

Uzuner, B.A., 1996. *Temel Zemin Mekaniği*. Teknik Yayınevi, Ankara.

Zou, Y., Brusewitz, G. H., 2001. Angle of Internal Friction and Cohesion of Consolidated Ground Marigold Petals. *Transactions of The ASAE*, 44(5), 1255-1259.