

Ekmeğin Reolojik Özellikleri

Doç. Dr. S. Sezgin ÜNAL — M. Hikmet BOYACIOĞLU

E.Ü. Müh. Fak. Gıda Müh. Bölümü/İZMİR

ÖZET

Ekmeğin geliştirilen pek çok gıda maddesine rağmen insan beslenmesindeki yerini ve önemini günümüzde de korumaktadır. Ekmeğin üretimi konusunda yapılan çalışmalar yanında ekmeğin kalitesini etkileyen faktörler üzerinde de önemle durulmaktadır.

Bu derlemede ekmeğin reolojik özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmalar ile geliştirilen alet ve yöntemler tartışılmıştır.

GİRİŞ

Dünya'da tüketime sunulan gıda maddeleri arasında önemini günümüzde de devam ettiren ekmeğin özellikle ülkemizde çok önemli bir yeri olduğu bilinmektedir. Ekmeğin yapım işlemi, undan ekmeğin yapılmasına kadar birçok aşamalar içerir. Ekmeğin kalitesi hammadde nitelikleri yanında, bu aşamalarda uygulanan işlemler ile bunlar sırasında oluşan reolojik değişimlerin büyük ölçüde etkisi altındadır. Günümüzde ekmeğin kalitesini iyileştirmek amacıyla yapılan pekçok çalışmada gerek uygulanan teknoloji açısından gerekse çeşitli katkı maddeleri katılarak kaliteyi mükemmelleştiren olanakları araştırılmaktadır. Her ne kadar bu işlemlerin olumlu etkileri ekmeğin saptanmasında ise de, hamur yapısının reolojik nitelikleri, hamurun reolojik özellikleri ile ekmeğin reolojik özellikleri yeterince açıklığa kavuşmamıştır. Bu konuda yapılan çok sayıda araştırma sonuçlarında da araştırmacılar oldukça karmaşık olan reolojiyle ilgili olayları tam olarak açıklayamamaktadır.

Ekmeğin özellikleri (elastikiyet, sertlik, gözeneklilik, sıkıştırılabilirlik, vb.) ekmeğin ve diğer fırın ürünlerinin niteliklerinin belirlenmesinde çok büyük önem taşımaktadır. Ekmeğin reolojik özelliklerinin, duyu yöntemleriyle saptanması birçok bakımdan sakıncalı olmaktadır. Saygın (1972) ekmeğin oluştuğu değişimlerin alet yardımı ile objektif olarak saptanmasının uygun olacağını be-

lirtmiştir. Ekmeğin reolojik özelliklerinin ölçümünde kullanılan ilk alet yaklaşık 50 yıl önce yapılmıştır. Bu yıldan beri 20 farklı alet değişik araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Yöntemlerin ve aletlerin yorumları birçok çalışmada verilmiştir (Telegdy Kovats ve ark., 1959; Matz, 1962; Tscheuschner ve Auerman, 1964; Anon., 1974).

Ekmeğin fiziksel özelliğini etkileyen en önemli faktör hacim değişikliğidir. Çünkü buna bağlı olarak toplam ve sürekli deformasyonlarda önemli değişimler olmaktadır. Deformasyon değişimleri; ilave katkı maddelerinin sebep olduğu ekmeğin içi yapısındaki değişimler ile ekmeğin içi gözenek cidarları kalınlığının hacim artışı ile azalmasından kaynaklanmaktadır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde; birçok sıkıştırma yönteminin uygulanması ve alet olarak penetrometre veya paralel plakalı konsistometreler kullanılması nedeniyle fazla farklılıklar olmamasıdır (Lasztrty, 1980). En fazla ölçülen değer olarak toplam deformasyon (sıkıştırılabilirlik) kullanılmıştır. Çeşitli araştırmacılar yüklemeye kesildikten sonra elastik ve plastik deformasyonu saptamışlardır. Bazı yeni aletlerde de süre deformasyon eğrileri kaydedilmektedir.

Ekmeğin reolojik özelliklerini belirlemek amacıyla geliştirilen objektif metodlardan ilkinin, ekmeğin içi elastikiyetinin organoleptik olarak parmakla bastırma yöntemi ile belirlenmesi oluşturmaktadır (Thomas ve Tunger, 1965). Bu yöntemde ekmeğin içi özelliklerinin iyi olarak nitelendirilebilmesi için, bilindiği gibi parmakla basılan yerin hızlı ve olabildiğince geri dönebilmesi gerekir. İdeal bir ekmeğin içi yapısı elastik ve yumuşak olmalı, ancak hamurumsu olmamalıdır. Bu özellikteki ekmeğin mide suyunun nüfuzu ve ekmeğin hazmı kolaylaştırır (Thomas, 1958).

İyi bir ekmeğin içi yapısına sahip ekmeğin parmakla basıldığında hissedilen duygular; ör-

neğin ekmeği için sertliği, yumuşaklığı, inceliği, elastikliği, ekmeği için direnci, elastiklik - plastiklik - sıkıştırılabilirlik yada viskozite gibi fiziksel kavramlarla ve doğrudan elde edilmekten çok, deri ve kaslarla elde edilen subjektif duyguların ortak etkisinin sonucudur (Thomas, 1955).

Günümüze kadar geliştirilen ve çoğunluğu direnç ilkesine dayanan ölçme aletleri ekmeği için fiziksel elastikliğinin objektif olarak değerlendirilmesinde esas olarak iki yol izlerler.

1. Birinci yöntemde; ekmeği için örneği parmak basıncına eşdeğer sabit bir ağırlıkla bastırılır. Burada ortaya çıkan deformasyon ölçülür. Belli bir sürede sabit basınç uygulayarak elde edilen değerler literatürde ekmeği için yumuşaklığın ölçümü olarak tanımlanmaktadır. Birçok araştırmada da bu yöntem kullanılmıştır (Rönnebeck, 1957).
2. İkinci yöntemde; belli bir deformasyona ulaşmak için gerekli kuvvet ölçülmektedir. Bu denemelerde ekmeği için sertliğinin karakterize edilmesine çalışılır. Bununla ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Ekmeği için ve kabukta kayma gerilimi ölçümleri ile de sertlik ölçümleri uygulanmaktadır (Thomas ve Tunger, 1965).

Ekmeği için Mekaniksel Özelliklerinin Ölçülmesinde Kullanılan Fiziksel Tanımlar

Baskı yapıldığında ekmeğin şekli ve hacminde meydana gelen değişimlere karşı, ekmeği içinde denge oluşturan kuvvetler ortaya çıkarak ekmeği için yapısında elastikiyete bağlı olarak bir gerilim oluşur. Ekmeği içinin reolojik olarak tanımlanmasında elastikiyet büyük önem taşır. İdeal elastik maddelerdeki iç kuvvetlerin şekil değişikliği ile gerilim durumu arasındaki ilişki Hooksch yasasındaki sabitlerle tanımlanmaktadır.

$$E = \frac{P}{f} \times \frac{l}{\Delta l}$$

E = elastikiyet modülü

P = etkili kuvvet

Δl = etki yönündeki bağıl uzunluk

l = değişikliği

f = örneğin yüzey alanı

l = örneğin başlangıçtaki uzunluğu

Platt ve Powers (1940), tarafından yapılan araştırmalardan çıkan sonuca göre; taze ekmeği içine etki eden değişik kuvvetlerin oluştuğu şekil değişiklikleri uygulanan ağırlığa göre belli bir oran içinde değişmektedir. Böylece ekmeği için deformasyonunun Hooksch yasasına uyduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle de ekmeği için büyük bir olasılıkla ideal elastik bir madde olarak tanımlanabilir (Thomas ve Tunger, 1965). Bu varsayımı (Telegdy Kovats ve ark., 1959; 1963; Thomas ve Tunger, 1965) kompresyon ölçümlerini baz alarak değişik koşullarda incelemiştir.

Çok sık kullanılan ekmeği içinin komprisibilitesi kavramı fiziksel olarak tam doğru değildir. Fizikte komprisibilite denince; incelenecek olan örneğe her taraftan uygulanan basınç etkisi ile meydana gelen deformasyon anlaşılmaktadır. Ekmekte yapılan ölçümlerde ise yalnızca bir veya iki yandan yapılan baskılar söz konusudur. Bice ve Geddes (1949) ekmeği içinin reolojik özelliğinin tanımlanmasında kullanılan bu kavramın yanlışlığına dikkati çekerek komprisibilite yerine, ekmeği kompresyon ölçümlerinden söz etmiştir.

Thomas ve Tunger (1965)'in belirttiğine göre; ekmeği için özelliklerinin homogen olması nedeniyle deformasyon ile ortaya çıkan gerilimler arasında linear bir bağıntının olmadığı saptanmıştır. Buna göre elastikiyet modülü etki eden baskı kuvvetlerine bağlı olarak değiştiğinden ekmeği için özellikleri Hooksch yasasına uymamaktadır. Ekmeği ideal elastik bir madde özelliği gösteremediğinden, elastikiyet modülü tipik bir parametre olarak alınmamaktadır. Zira deformasyon işlemi yalnızca basınç etkisi ile karakterize edilemez. Aynı anda etki eden eğme ve kesme kuvvetleri de etkili olmaktadır. Bu kompleks olaylar ekmeği içindeki baskı ve deformasyon arasındaki korelasyonun matematiksel olarak tanımlanmasını güçleştirmektedir. Çok kuvvetli şekil deği-

şikliklerinde veya deformasyon kuvvetinin belirli bir değeri aşmasında, elastik karşı kuvveti yavaşlamakta ve maddenin eski halini alması çok güç olmakta yada çok uzun bir süre gerekmektedir. Buna bağlı olarak ortaya çıkan elastikiyetin etkisi, elastik deformasyonun daima lokal yapı değişiklikleriyle birarada olduğu varsayımı ile doyurucu bir şekilde açıklanmaktadır. Bu değişiklikler plastik yada geri dönüşü olmayan deformasyonlar olduğundan elastik bir karakter göstermezler.

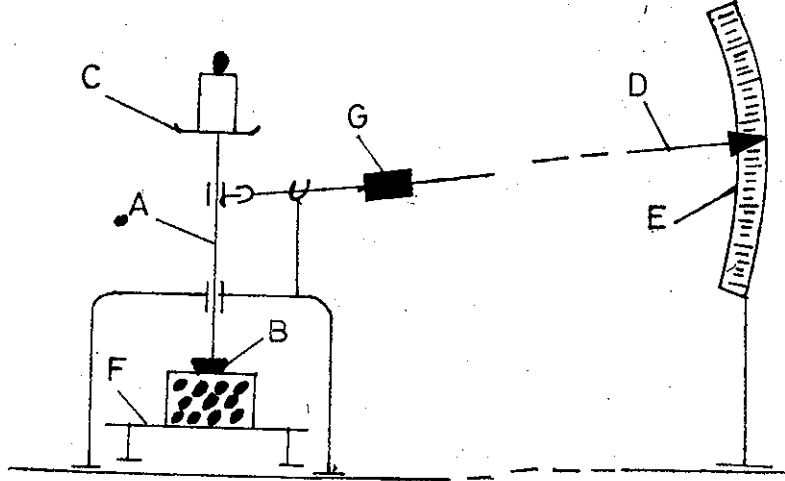
Günümüze kadar ekmek için niteliğini belirlemek için yapılan araştırmaların pek çoğunda amaç ekmeğin bayatlaması ile ilgili problemleri saptamaktır. Sadece (Hampel,

1957; Telegdy Kovats ve ark., 1963; Wasserman, 1973) tarafından yapılan araştırmalarda taze ekmeğin veya diğer fırın ürünlerinin kalitesi ve ekmek içinin fiziksel özellikleri arasındaki korelasyon saptanmak istenmiştir (Lasztity, 1980).

Reolojik Özelliklerin Tayini

Ekmek içinin fiziksel özelliklerinin ölçümünde bugün için, bütün araştırmacılar tarafından kullanılabilen standart bir yöntem ve alet üzerinde görüş birliğine varılamamıştır.

Lasztity (1980) tarafından geliştirilmiş olan oldukça basit ve duyarlı bir aletin şeması ve çalışma prensibi şöyledir.



Şekil 1. Ekmek içinin reolojik özelliklerinin ölçümünde kullanılan aletin şeması

Şekil 1'de görüldüğü gibi ekmeğe basınç yapan yarıküre şeklindeki yüzey (B), keskin kenarlı (disk, levha) bastırma yüzeyleri gibi ekmek içinini oymadığından daha uygundur. Aletin esas bileşeni, yarıkürenin tepesinde sona eren ve üstünde bir küçük cam kap bulunan (C) bir çubuktur. Bu çubuk (A) mm.'lerle derecelendirilmiştir. Çubuğa takılan (D) gösterici ucu yardımıyla E skalasından daha hassas okuma yapılabilir. Ekmek içi örneği F levhasına konur. Çubuğun ağırlığı, G'de gösterilen ilave bir ağırlıkla dengelendiğinden, ölçümde kullanılacak etkili ağırlık C'de yer alır. Sıkıştırma yapısı, aletle diğer bir ölçüm yapılacaksa, şekil veya boyutun sıkıştırma yapısı için

değiştirilebilir. Bazı durumlarda çubuğun değiştirilebilen ağırlığı, ilave (G) ile dengelenebilir.

Aletle tayin edilen veriler şunlardır : (1) toplam deformasyon (sıkıştırılabilirlik), (2) plastik deformasyon, (3) elastik deformasyon, (4) nisbi elastikiyet.

Aşağıdaki yöntemler, çeşitli parametreleri tayin etmek için kullanılmıştır.

(1) Toplam deformasyon : Kabuk ve ona yakın kısımlar 4 x 4 x 3.5 cm ekmek içi kalacak şekilde kesilirler ve sonra bu örnek sıkıştırma yapısı altında, tam bu durumda gösterge

(D) sıfırda iken yerleştirilir. Daha sonra 180 gramlık bir ağırlık küçük cam kaba konulur ve tam 2 dakika sonra göstergenin durumu okunur. Bulunan değer aletin birimlerindeki toplam deformasyonu verir.

(2) Plastik deformasyon : İki dakika geçtikten sonra ağırlık küçük cam kaptan alınır ve 1.5 dakika sonra göstergenin durumu tekrar okunur. Bu okuma alettaki plastik deformasyonu verir.

(3) Elastik deformasyon : Toplam deformasyon ile plastik deformasyon arasındaki fark elastik deformasyonu verir.

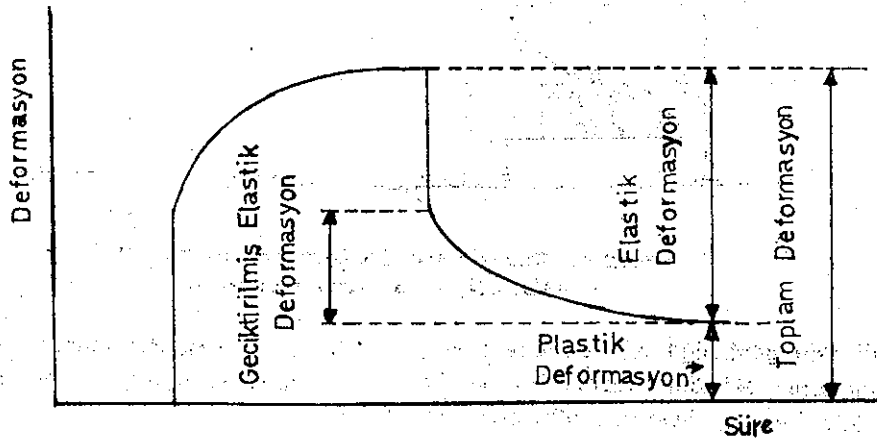
(4) Nisbi elastikiyet : Elastik deformasyonun toplam deformasyonun yüzdesi olarak ifade edilmesidir.

Her ekmekten üçer örnek alınarak, ölçümler için ortalaması olarak hesaplanır.

Ekmek İçinin Reolojik Modeli

Ekmek içinin reolojik modeli olarak Macar bilim adamı Lasztity (1980)'nin geliştirdiği yöntem aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

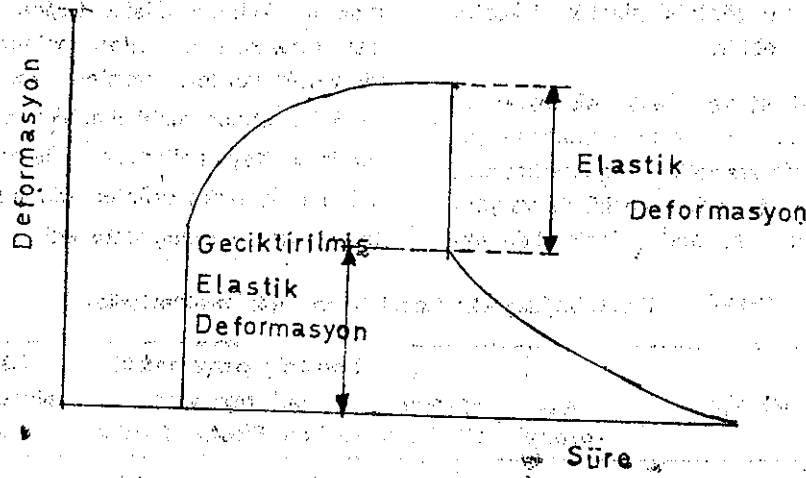
Ekmek içinin reolojik davranışını karakterize etmek için, süredeformasyon eğrileri analiz edildi. Genellikle şekil 2'de gösterildiği gibi eğriler elde edilmiştir. Örneğe basınç uygulanırken başlangıçta zayıf elastik yanıt gösterir (anında olan elastikiyet). Daha sonra gerilme oranının azaldığı gözlenebilir. Eğer uygulanan basınç kaldırılırsa, örneğin ilk andaki elastik deformasyonu tamamen geri kazanılır. Bundan sonra, geciktirilen elastikiyete uygun olarak daha yavaş bir geri dönüş gözlenebilir. Son olarak, ekmek içinin viskoz özelliklere de sahip olduğunu gösteren deformasyonun bir kısmı sabit kalır.



Şekil 2. Ekmek içinin karakteristik deformasyon-süre eğrileri

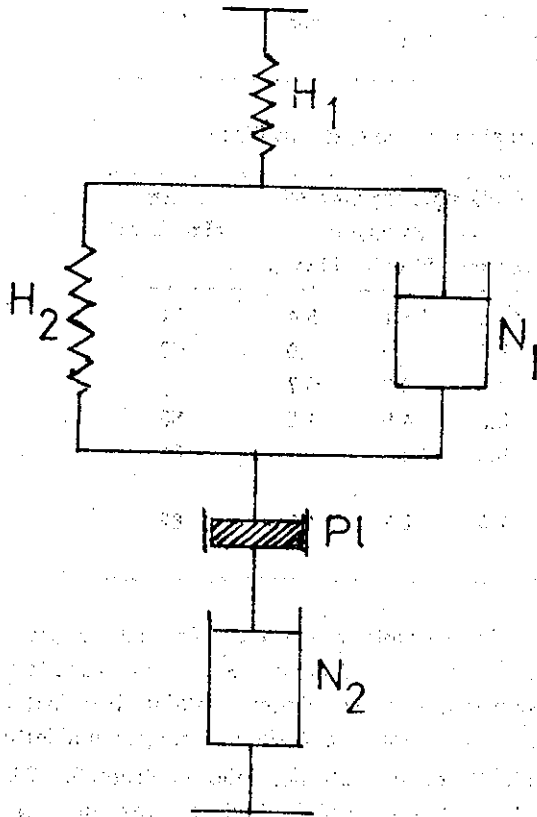
ϵ_{e_1} — elastik deformasyon; ϵ_{e_2} — geciktirilmiş elastik deformasyon; ϵ_p — sürekli deformasyon; ϵ_t — toplam deformasyon; t_0 — basınç uygulamasının başlangıcı; t_1 — basıncın kaldırılması.

Eğer yeterli şekilde düşük basınç uygulanırsa ve uygulama süresi çok uzun tutulmazsa şekil 3'te gösterilen eğri elde edilebilir.



Şekil 3. Düşük basınç ve kısa uygulama süresi kullanıldığında ekmeğin karakteristik deformasyon - süre eğrisi.

Ekmeğin reolojik davranışı şekil 4'te gösterilen modeldeki beş element ile (2 Hookean, 2 Newtonian ve 1 plastik element) tanımlanabilir.



Şekil 4. Ekmeğin karakteristik reolojiksel modeli.

Bu model beş değer ile karakterize edilebilir, elastikiyet modülü E_1 ve E_2 , 2 Newtonian elementin α_1 ve α_2 viskoziteleri ve elastik elementin değeri P_h 'dir. E_1 değeri basınç ve ilk andaki elastik deformasyondan Hooke kanunu ile hesaplanabilir.

E_2 ve α 'in hesaplanması için, Kelvin yapısı reolojik denklem kullanılabilir.

$$\epsilon = \frac{P}{E} [1 - e^{-E/\alpha \times t}]$$

- ϵ = Deformasyon (gerilme)
- P = Basınç
- E = Elastikiyet modülü
- α = Viskozite
- t = zaman

Geciktirilme süresi nispeten kısa ise, E_2 'nin yaklaşık bir değerini Hooke kanunu ile geciktirilmiş elastik deformasyon değeri kullanarak hesaplamak mümkündür. Bu değer yardımıyla da α 'in yaklaşık değeri bulunur.

α_2 viskozitesi, sürekli deformasyon ve basıncın uygulandığı süre aralığı temel alınarak hesaplanabilir. P_h değeri ölçüm serileriyle deneysel olarak tayin edilebilir.

Ekmeğin reolojik özellikleri, pratik amaçlar için toplam, elastik ve plastik deformasyonlar ile nisbi elastikiyet, elastikiyetin

görünen modülü ve görünür plastik viskozite ile karakterize edilebilir.

Tablo 1'de ticari ve test ekmeklerinin (% 1.12 kül içeriğindeki buğday unundan yapılan) reolojik karakteristikleri gösterilmiştir. Nisbi elastikiyet değerlerinin en küçük varyasyonu gösterdiği görülmektedir. Tablo 2'de ek-

mek içi kalitesi düşük buğday ekmeklerinin bazı karakteristik verileri toplanmıştır. Tablo 1 ve 2'deki veriler, verilen koşullar altında, % 65'in altında nisbi elastikiyet değerinin yetersiz kaliteyi belirttiğini göstermektedir. Doğal olarak, farklı ürünler için nisbi elastikiyetin sınırları da değişmektedir.

Tablo 1. Farklı buğday ekmeklerinin reolojik karakteristikleri

No.	Ekmek tipi	E_{app} g/mm ²	$\alpha_{pl.app}$ 10 ⁸ Poise	Kesilmiş parçalardaki deformasyon			Nisbi elastikiyet %
				Toplam	Plastik	Elastik	
1	Ticari	1.30	0.531	9.8	2.1	7.7	79
2	Buğday	1.26	0.400	10.3	2.5	7.8	76
3	Ekmeği	2.15	0.483	8.5	2.5	6.0	71
4	(% 1.12 kül	1.88	0.449	9.2	2.7	6.5	79
5	içeriğindeki undan)	1.99	0.337	10.2	3.0	7.2	69
6	Laboratuvar	2.19	0.466	8.5	2.6	5.9	70
7	yapımı test	2.19	0.657	7.9	2.0	5.9	75
8	ekmekleri	1.78	0.551	8.7	2.1	6.6	77
9	(% 1.12 kül	1.49	0.641	9.0	1.8	7.2	80
10	içeriğindeki undan)	3.09	0.548	7.5	2.5	5.0	67

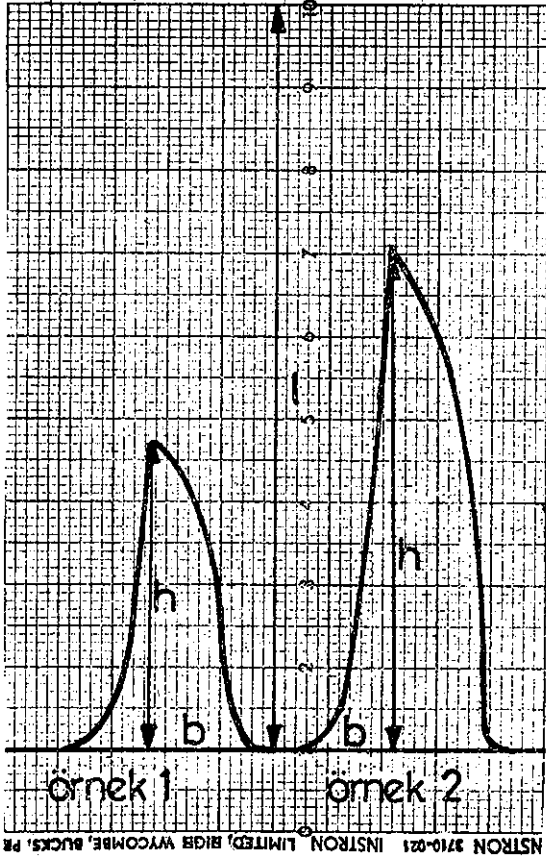
Tablo 2. Ekmek içi kalitesi düşük ekmeklerin reolojik özellikleri

No.	Ekmek tipi	E_{app} g/mm ²	$\alpha_{pl.app}$ 10 ⁸ Poise	Kesilmiş parçalardaki deformasyon			Nisbi elastikiyet %
				Toplam	Plastik	Elastik	
1	Ticari	2.65	0.192	10.5	5.1	5.4	51
2	Buğday	3.09	0.423	8.0	3.0	5.0	63
3	Ekmeği	5.60	0.362	7.5	3.8	3.7	49
4	(% 1.12 kül	3.65	0.243	9.2	4.6	4.6	50
5	içeriğindeki undan)	3.22	0.412	8.0	3.1	4.9	61
6	Laboratuvar test ekmeği	4.18	0.347	7.0	2.7	4.3	62

Instron table model 1140 aleti ile de ekmeğin doku değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Aletin tipi sıkıştırılabilirlik esasına göre dir. Bu aletle çalışmada ekmek dilimi 12 mm kalınlığında alınır ve 9 mm son kalınlığa kadar 3 mm sıkıştırılır. Hareket hızı 40 mm/dak., yazıcı kağıt hızı 200 mm/dak., kuvvet aralığı 500 gram (tam skala)'dır.

Fırın ürünlerinin dokusal özelliklerini katılan maddeler, yoğurma ve pişirme koşulları, depolama süre ve yöntemi etkiler. Her faktörün etkisi, farklı değişkenler ile numunelerin objektif doku testi ile değerlendirilebilir. Tüketici genellikle ürünü elinde sıkarak yumuşaklığını anlamaya çalışır. Bu nedenle sıkıştırma, fırında pişirilerek elde edilen gıda maddeleri-

nin objektif doku ölçümünde bir model olmaktadır. Ekmeğin yumuşaklığını belirleme bütün bir somun ayrı ayrı dilimlere ayrılıp küp yada silindir gibi standart geometrik bir şekil verilerek yapılabilir. Ekmeğin viskoelastik veya tazeliğinin zamana bağlı olması, ölçümün kontrollü deformasyon hızlarında yapılmasının önemini artırır. Burada belirtilen ölçümde; 12 mm kalınlıkta ekmeğin dilimi 3 mm veya kalınlığının % 25 oranında sıkıştırılır. Ekmeğin sıkıştırılma kuvveti deformasyonun bir fonksiyonu olarak grafik halinde kaydedilir. Eğrinin yükselen kısmının eğimi kg/mm veya pound/inch birimlerinde ekmeğin sıkıştırılabilirliğini verir. Bu değer; ekmeğin tazeliğini kaybettiğe artar ve kabul edilebilir sıkıştırılabilirlik değerleri ile depolama sonucu ortaya çıkan farklar belirlemek için bir hükme varılır. Ekmeğin diliminin elastisitesi veya esnekliği; başlangıçtaki deformasyonun sabit bir yüzdesi için geri kazanma mesafesinin, deformasyon mesafesine oranı hesaplanarak belirlenir.



Şekil 5. Farklı nitelikteki örneklere ait sıkıştırılabilirlik kurveleri

Ekmeğin dilimlerinin dokusu, dilimin merkezinden kenarlarına doğru değişmekte ve kenara yaklaştıkça sertleşmektedir. Bu nedenle paralel ölçümlerde dilimlerin aynı bölgesinde ölçüm yapılmalı, ekmeğin ortasından alınan dilimlerin birbirine yakın ve ekmeğin orta kısmından kesilmesi gerekir.

Aşağıda şekil 5'de farklı nitelikteki örnekler için sıkıştırılabilirlik (komprisibilite) kurveleri ve değerlendirilmenin nasıl yapıldığı görülmektedir.

Burada;

$$a = \frac{h \times G}{l}$$

a = g cinsinden değer

b = mm olarak deformasyon mesafesi

h = kurve yüksekliği (mm)

G = sıkıştırmada kullanılan başlık ağırlığı (g)

l = sıkala uzunluğu (mm)

a

— = g/mm cinsinden sıkıştırılabilirlik

b

değeri

Birinci örneğin değerlerine göre;

$$51 \times 5000$$

$$a = \frac{51 \times 5000}{136} = 1875 \text{ g}$$

$$b = 15 \text{ mm}$$

a

$$\frac{1875}{15} = 125 \text{ (g/mm)}$$

b

İkinci örneğin değerlerine göre;

$$92 \times 5000$$

$$a = \frac{92 \times 5000}{136} = 3357 \text{ g}$$

$$b = 11 \text{ mm}$$

a

$$\frac{3357}{11} = 307 \text{ (g/mm)}$$

b

SUMMARY

Rheological Properties of Bread

Although many foodstuffs are developed, today bread has still great importance and effective position in human nutrition. The factors effecting bread quality are considered important as well as the studies carried on bread production.

In this paper the studies which were made to determine the rheologic properties of bread and improved instruments and methods were discussed.

L I T E R A T Ü R

- Aonymous. 1974. Lebensmittel - Einfluss der Rheologie. (Alınmıştır : Lasztity 1980)
- Bice, C.W. ve W.F. Geddes, 1949. Studies on bread staling. Cereal Chem 26, 440. (Alınmıştır : Thomas ve Tunger, 1965)
- Hampel, G. 1957. Bestimmung der Krumencharakteristik mit Hilfe des Panimeters. Brot und Gebäck, 11, 45 - 49.
- Lasztity, R. 1980. Rheological studies on bread at the Technical University of Budapest. Journal of Texture Studies, 11, 81 - 115.
- Matz, S.A. 1962. Food Texture. AVI Publishing Co., Westport, Conn.
- Platt, W. ve R. Powers. 1940. Compressibility of bread crumb. Cereal Chem, 17, 601 - 621. (Alınmıştır : Thomas ve Tunger, 1965)
- Rönnebeck, H. 1957. Untersuchungen zur Entwicklung objektiver Methoden für die Beurteilung physikalischer Brotkrumeneigenschaften. Ernährungsforschung, 2, 103 - 116.
- Saygın, E. 1972. Buğday Ekmeğinin Bayatlama sı Üzerinde Araştırmalar. E.Ü. Zir. Fak. Yay. No: 175, 183 s.
- Telegdy Kovats, L.; R. Lasztity ve I. Susitzky. 1959. Effect of additives on the elastic and plastic properties of bread crumb. Periodica Polytechnica, 3, 17. (Alınmıştır : Lasztity, 1980).
- Telegdy Kovats, L.; R. Lasztity; J. Macor ve J. Nedelkovits. 1963. Über die rheologischen eigenschaften der bäckereiprodukte und stissgebäcke, Nahrung, 7, 465 - 471.
- Thomas, B. 1955. Brotbewertung und Protqualität. Brot und Gebäck, 9, 72 - 77.
- Thomas, B. 1958. Brotqualität und Bekömmlichkeit. Brot und Gebäck, 12, 8 - 12.
- Thomas, B. ve L. Tunger. 1965. Physikalische Messungen an der Brotkrume. Brot und Gebäck, 4, 65 - 74.
- Tscheuschner, H.D. ve L. aJ. Auerman. 1964. Die objective beurteilung der physikalischen krumeneigenschaften mit dem penetrometer. Bäcker und Konditor, 18, 226.
- Wasserman, L. 1973. Die Elastizität der Brotkrume. Getreide - Mehl und Brot, 27, 100.