

Mercimek Ununun Reolojik Özelliklerine Ekstrüzyonun Etkisi*

Dr. Yusuf SÜMBÜL

TÜBİTAK - Marmara Araştırma Merkezi Beslenme ve Gıda Teknolojisi Bölümü — KOCAELİ

ÖZET

Çift vidalı ekstruder çıkışına monte edilmiş ince düz kanallı reometre ve reometreye bağlı bulunan güç çeviriciler ile ekstrüzyon sırasında belli sıcaklıktaki mercimeğin basınç profili ölçülerek, çıkış basıncı belirlenmiştir. Çıkış basıncıyla ise, 1. normal stres farkı hesaplanmıştır. Moleküler yapıdaki değişmelerin duyarlı bir göstergesi olan 1. normal stres farkının kayma debisiyle doğru orantılı olarak arttığı saptanmıştır. Viskozite ise, çalışma koşullarında azalmıştır. Ayrıca, vizkozitedeki azalmanın mercimeğin ekstruder içinde kalma süresinin bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu durumun, ekstruderin dolma derecesinin artışıyla büyüyen kayma kuvveti sonunda ortaya çıkan, mekanik enerjiden kaynaklandığı saptanmıştır.

ABSTRACT

The Effect of Extrusion Operations' Conditions on Rheological Properties of Lentil Flour

A slit die rheometer with four pressure holes along the die was used in conjunction with a twin screw extruder to measure the pressure profiles are fitted linear functions to get the exit pressure for first normal stress difference calculation. The first normal diffe-

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{giriş}} + \Delta P_{\text{kanal}} + \Delta P_{\text{çıkış}} \quad (1)$$

$\Delta P_{\text{giriş}}$, girişteki basınç düşüşü olup, vizkoz yer değiştirme kadar elastik enerjiden de etkilenir; ΔP_{kanal} , kanaldaki basınç düşüşü olup tamamen vizkoz yer değiştirmeden etkilenir; $\Delta P_{\text{çıkış}}$, çıkış basıncı olup, erimiş polimerde depolanmış elastik enerjiden kaynaklanmaktadır.

JAO ve Ark., (1978)'na göre soya unu hamurunun giriş basınç düşüşü kayma debisi (shear rate) artışı ve sıcaklığın düşüşüne bağlı olarak artmaktadır. Ekstrüzyon sırasındaki ba-

rence of lentil melt is found to be proportional to wall shear rate.

Viscosity data were obtained in the shear rate range of 200-1000 1/sec. Increasing the reducing time of material inside the extruder reduced the apparent viscosity than the other operations conditions.

GİRİŞ

Sıvıların vizkozitelerinin ölçülmesinde kapiller ince düz kanallı kalıplar (capillary ve slit die) uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu teknik bir çok araştırmacı tarafından gıda ekstrüzyonu sırasında vizkozitenin belirlenmesi için başarılı bir şekilde uygulanmıştır (HARPER ve Ark., 1971; JAO ve Ark., 1978). Genel olarak erimiş bir gıda maddesinin viskoelastikliği azalmaktadır. Ancak ekstrüzyon esnasında eriyen gıda maddelerinin elastiklik özellikleri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Polimerik sıvılar bir rezervuardan dar bir kanala girdiklerinde, rezervuarın sonu ile (örneğin ekstruder), kanalın sonu (örneğin ekstruder kalıp başlığı = die) arasında bir basınç profili oluşur. Eğer rezervuarın kanal uzunluğuna oranı yeterli büyüklükte ise, basınç kinetik enerji kaybı yoluyla önemli ölçüde düşmektedir. Böylece toplam basınç düşüşü ΔP_T aşağıdaki gibi ifade edilebilir (HAN, 1978).

sınc düşüşü ayrıca gıda maddesine daha önce uygulanan proseslere bağlı olarak ta değişmektedir.

İnce düz kanallı kalıplarda deneysel olarak bulunan basınç profili ile ekstrapolasyonla

(* Bu çalışma, TÜBİTAK - Bilim Adamı Yetiştirme Grubunun desteğiyle RUTGERS New Jersey State University, Food Science Bölümü ve CAFT (Center of Advanced Food Technology) Enstitüsü NJ USA laboratuvar ve pilot tesislerinde yapılmıştır.

hesaplanarak bulunmuş çıkış basıncı, plastik ekstrüzyonunda birinci normal stres farkının belirlenmesinde kullanılmaktadır. BOGER ve BENN (1980) bu konunun teorik analizini ge-

niş bir şekilde izah etmişlerdir. Bu araştırmacılara göre birinci normal stres farkı aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir.

$$N_1 (\delta_w) = P_{c, k1s} + \tau_w (\delta P_{c, k1s} / \delta \tau_w) + (1/b) * (\delta / \delta \tau_w) * (\tau_w * \int_0^b p u^2 (y, 0) dy - p u_j b_j) + (\delta / \delta \tau_w) * [\tau_w^2 * L/b (1 - \int_0^1 f(s, \tau_w, Re) ds)] \quad (2)$$

$NN_1 (\delta_w)$ ekstruder silindir duvarında oluşan kayma debisinin bir fonksiyonu olarak birinci normal stresin değimi, u boylamasına hız, τ_w duvar kayma gerilimi, b ince düz kanallı kalıp başlığın yarı uzunluğu, $P_{c, k1s}$ çıkış basıncı, f terimi kalıp başlık çıkışındaki hız profilinin yeniden düzenlenmesi için $f = -\tau 12$

$$N_1 (\delta_w) = P_{c, k1s} + \tau_w (\delta P_{c, k1s} / \delta \tau_w) \quad (3)$$

Bir çok araştırmacı, ekstruder içinde doğrusal olmayan bir basınç profili ve negatif bir çıkış basıncı belirlemişlerdir (CHANG ve Ark., 1988; KOKINI ve Ark., 1988 RAUWENDAUL ve FERNANDEZ, 1985).

Çalışmada, çıkış basıncı ölçülerek, vizkozite ve 1. normal stres farkı hesaplanmıştır. Mercimek ununun 1. normal stres farkının hesaplanmasında, belirlenen çıkış basıncının kullanılabilirliğini saptamak ve ekstrüzyon koşullarında vizkozite ve elastikiyette oluşan değişimleri etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla bu çalışma düzenlenmiştir.

ÖZDEK VE YÖNTEMLER

Ekstrüzyonda kullanılan kırmızı mercimek satın alınmış ve çekiçli değirmenlerde kırılarak analize hazırlanmıştır. Nem miktarı AACC 44-15A standart yöntemine göre % 0,05 olarak belirlenmiştir (AACC, 1975).

Denemelerde, her türlü kontrolü yapabilecek aygıtlar ile donatılmış, vidaları aynı yönde dönen (Co-rotating) ve silindir uzunluğunun çapına oranı (L/D) 29 olan çift vidalı (WERNER PFLEIDERDE ZSK-30) laboratuvar ekstruderj kullanılmıştır.

Mercimek ununun kondisyone edilmesinde kullanılan su, akan su miktarını ölçebilen rotometre ve kontrol vanalı bir sistem ile, çalışma anında doğrudan ekstruderin besleme

$/\tau_w$ olarak kabul edilmekte ve u_j akıntı yönünde boyuna hız ve b_j ekstrude maddenin yarı yüksekliğidir. Bu denklem, yüzey geriliminin olmadığı isothermal durumlar için geliştirilmiştir. Daha vizkoz erimiş polimerler için HAN (1976) tarafından aşağıdaki denklem oluşturulmuştur.

$$\delta \tau_w \quad (3)$$

bölümüne ilave edilmiştir. Yapılan ön denemeler sonunda mercimek ununun nem miktarının, % 27 ve % 30'a ayarlanmasını uygun olacağı belirlenerek, bu nem düzeylerinde 200 ve 400 devir/dakika vida hızı ile çalışılmıştır. Ekstruder silindirinin (barrel) sıcaklık kontrolü, her bölümün kendi ısıtma sistemi ile sağlanmıştır.

Reolojik özelliklerin ölçülmesi için kanal yüksekliği 15 mm ve kanal genişliği 200 mm olan ince düz kanallı (slit die rheometry) reometre kullanılmıştır (Şekil 1). Ekstruderin çıkışına monte edilen reometreye takılan güç çeviricilerle (DYNISCO TPT 432 A) ise, hem sıcaklık, hemde basınç ölçülmüştür. Ekstruder sıcaklığı, erimiş ekstrude gıdanın sıcaklığı reometre içindeyken 125°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneme sırasında sıcaklığın sabit kalmasını sağlayabilmek için, reometre, cam yünü izolasyonlu ısı bantları ile sarılmıştır. Çünkü güvenilir sonuçlar alınabilmesi için reometre içinde gıdanın sıcaklığı $\pm 1^\circ\text{C}$ değişme ile muhafaza edilebilmelidir.

Ekstruderden reometreye geçen erimiş gıda maddesi sabit sıcaklığa ulaştığında, ekstrude gıdanın yoğunluğunun belirlenmesi için örnek toplanmıştır. Ekstrude mercimeğin yoğunluğu QUANTACHROME firmasına ait piknometre (SPY-2 stereopycnometer) ile belirlenmiştir. Değişik her yeni parametre ile çalışıldığında, ekstrude mercimeğin sıcaklık ve basıncı 3 saniyede bir toplam 2 dakikalık süre içinde (HAAKE BUCHLER girmasının RHEOCORD

SYSTEM 40) bilgisayarlı veri toplama sistemi ile kaydedilmiştir. Kayma kuvveti, kayma debisi ve vizkozite ince düz kanallı reometre (slit rheometry) prensibine bağlı olarak hesaplanmıştır (HAN, 1976).

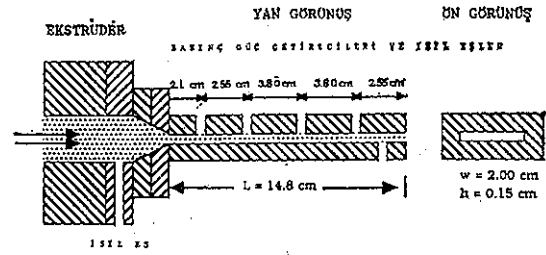
Ekstrude erimiş mercimeğin reometre çıkışındaki basıncına bağlı olarak aşağıdaki birinci normal stres farkı denklemi kullanılmıştır (HAN, 1976).

$$N_1 = P \cdot \frac{d \ln P}{d \ln \tau_w} \cdot (1 + \frac{d \ln P}{d \ln \tau_w}) \quad (4)$$

$(\frac{d \ln P}{d \ln \tau_w})$ değeri, belirli ekstrüzyon sıcaklığı ve nem miktarlarına göre değişen kayma debisine bağlı olarak $\ln P$ çıkış noktalarına karşı gelen $\ln \tau_w$ noktaları ile oluşturulan grafiğin eğimidir. Regreasyon analizleri VAX-paket bilgisayar programına göre yapılmıştır (DEVRES, 1989).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Mercimek ekstrüzyonu çalışma koşulları ve bu koşullarda ölçülen sıcaklık, basınç ve



Şekil 1. Yarık ağızlı reometrenin şematik görünüşü.

burulma (torque) değerleri Çizelge 1de verilmiştir. İnce düz kanallı reometreye monte edilmiş olan güç çeviricilerin bir fonksiyonu olarak kaydedilen basınç profilinin eğimi çizildiğinde (Şekil 2a, b, c, d), eğimin regreasyon katsayıları her durumda $r = 0,9$ 'dan büyük olarak belirlenmiştir. Ancak her güç çeviricide elde edilen basınç düşüşü eşit olmayıp bulunduğu yerin uzaklığına bağlı olarak değişmektedir. Yani $(P_3 - P_2) / \Delta Z$, $(P_2 - P_1) / \Delta Z$ 'ye eşit değildir. Bu nedenle güç çeviriciler ile öl-

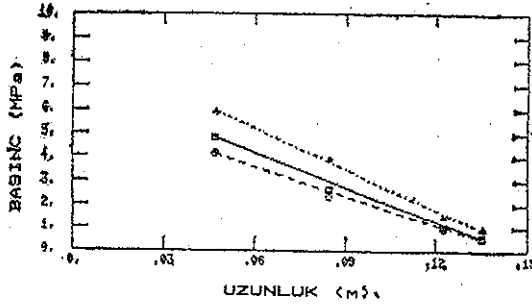
Çizelge 1. Mercimek unu ekstrüzyonunun çalışma koşulları ve reometrede belirlenen basınç ve sıcaklık profili. (*)

Ekstrüzyonun çalışma koşulları					Basınç profili (MPa) ile güç çeviricilerin reometrede bulunduğu yerler (reometrenin başlangıcına uzaklıkları, cm.)				
Nem miktarı (%)	Vida hızı (rpm)	Toplam akış oranı (kg/h) (Mer. unu + su)	Burulma (Torque) (%)	Vida dol.der. (g/dev.)	Giriş P_4 4,65 cm	Basınçlar P_3 8,45 cm	P_2 12,25 cm	Çıkış P_1 13,53 cm	Hesaplanan çıkış basıncı (P_2) 14,2 cm
% 30	400	6,0714	31	0,253	4,83	2,82	1,06	0,60	0,182
		11,7612	37	0,423	5,04	3,07	1,21	0,70	0,298
		17,9166	42	0,745	6,24	3,79	1,53	0,87	0,389
		24,2424	47	1,010	7,03	4,37	1,76	1,00	0,485
% 30	200	6,0714	35	0,506	5,19	2,64	1,12	0,63	0,123
		11,7612	41	0,846	5,68	3,32	1,36	0,81	0,335
		17,9166	49	1,490	7,11	4,17	1,66	0,93	0,349
% 27	400	5,9340	34	0,247	4,85	2,73	1,00	0,49	0,071
		11,9538	36	0,498	4,21	2,40	0,90	0,45	0,090
		18,0504	42	0,752	6,59	3,81	1,48	0,80	0,240
% 27	200	5,9340	32	0,494	4,80	2,68	1,06	0,60	0,168
		11,9538	37	0,996	4,14	2,35	0,97	0,56	0,203
		18,0504	40	1,504	5,94	3,93	1,55	0,95	0,526

(*) Ekstruder silindirin besleme kısmından kalıp başlığa doğru bölmelerinin sıcaklıkları «25 - 50 - 80 - 100 - 120°C» ve reometredeki güç çeviricilerin «4,65 cm 8,5 cm 12,5 cm 13,53 cm» bulunduğu noktalarındaki sıcaklıklar da ± 1 (125°C) olarak ölçülmüştür.

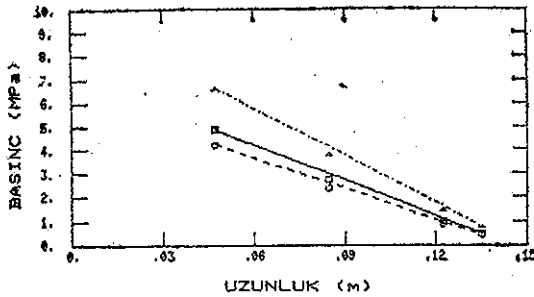
çülen basınç değerlerine bağlı olarak ekstra-polasyon hesaplaması ile (P_5 çıkış) basıncı oluşturularak denklem (4)'de bu değerler kullanılmıştır. Böylece basınç profilinde deneysel olarak ortaya çıkan hatalarda minimuma indirilmiştir. Mercimeğin çıkış basıncı ve kayma kuvveti ile oluşturulan eğriler Şekil 3'de verilmiştir. Kayma kuvvetinin artması ile çıkış basıncının da arttığı görülmektedir. Bu tür bir grafiğin tabii polimerlerin tipik görüntüsü olduğu ifade edilmektedir. HAN (1976; 1987) mısır nişastası ile yaptığı çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmiştir. Aynı araştırmacı sentetik

polimerler ile yaptığı çalışmalarda ise çıkış basıncı değişiminde bağımsız sonuçlar belirlemiştir.



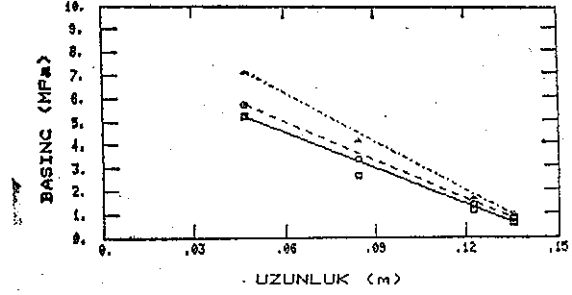
Şekil 2. a. Mercimeğin reometrede belirlenen basınç profili. 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem.

- $m = 6.0714$ kg/h
- $m = 11.7612$ kg/h
- + $m = 17.9166$ kg/h
- △ $m = 24.2424$ kg/h
- $y = 47,91x + 6,985$ $r = 0,999$
- $y = 49,22x + 7,29$ $r = 0,999$
- $y = 60,72x + 9,01$ $r = 0,999$
- $y = 68,19x + 10,17$ $r = 0,999$



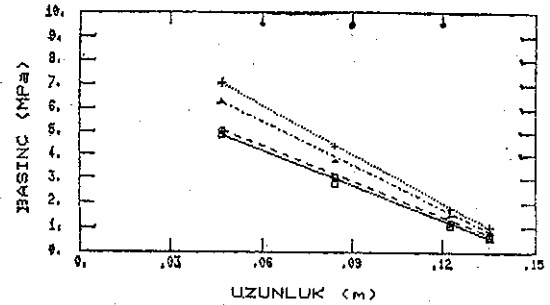
Şekil 2. b. Mercimeğin reometrede belirlenen basınç profili. 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem

- $m = 6.0714$ kg/h
- $m = 11.7612$ kg/h
- △ $m = 17.9166$ kg/h
- $y = 50,73x + 7,33$ $r = 0,991$
- $y = 54,89x + 8,13$ $r = 0,998$
- $y = 69,60x + 10,23$ $r = 0,999$



Şekil 2. c. Mercimeğin reometrede belirlenen basınç profili. 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem

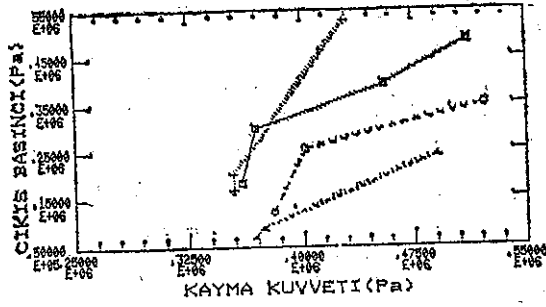
- $m = 0.0714$ kg/h
- $m = 11.7612$ kg/h
- △ $m = 17.9166$ kg/h
- $y = 49,04x + 7,03$ $r = 0,998$
- $y = 42,36x + 6,11$ $r = 0,998$
- $y = 65,32x + 9,52$ $r = 0,998$



Şekil 2. d. Mercimeğin reometrede belirlenen basınç profili. 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem

- $m = 0.0714$ kg/h
- $m = 11.7612$ kg/h
- △ $m = 17.9166$ kg/h
- $y = 47,25x + 6,88$ $r = 0,997$
- $y = 40,19x + 5,91$ $r = 0,997$
- $y = 57,23x + 8,65$ $r = 0,999$

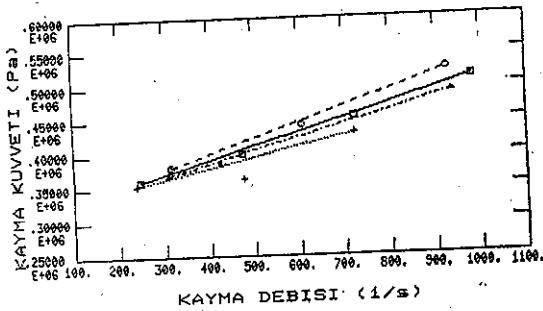
Vizkozitenin değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Şeklin incelenmesinden anlaşılacağı gibi, hem 400 hemde 200 devir/dak. vida hızı çalışma koşullarında, daha yüksek nem miktarları ile elde edilen eğrileri oluşturan noktadaki sapmalar, daha küçük olarak belirlenmiştir. Böylece bu koşullardaki ekstrüzyon sırasında mercimeğin bünyesinde oluşan değişimlerin, nem miktarının artışından daha çok etki-



Şekil 3. Mercimeğin çıkış basıncının kayma kuvvetine oranı.

- 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- + 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem
- △ 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem

lendiğini söylemek mümkündür. Ayrıca, vizkozitenin değişik nem miktarı ve vida hızı koşullarında, debiye bağlı olarak azalışı Şekil 5'de verilmiştir. Görüldüğü gibi her koşulda 200 devir/dak. vida hızındaki vizkozite azalması, daha büyük olarak belirlenmiştir. Bu durumun materyalin ekstruder içinde kalma süresine bağlı olarak artan mekanik enerjiden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Nitekim nişasta ile yapılan çalışmalarda, nişasta bünyesinde oluşan değişmelerin nem miktarının bir fonksiyonu olarak, hem termal enerjiden hem de kayma kuvvetinden etkilendiği saptanmıştır.

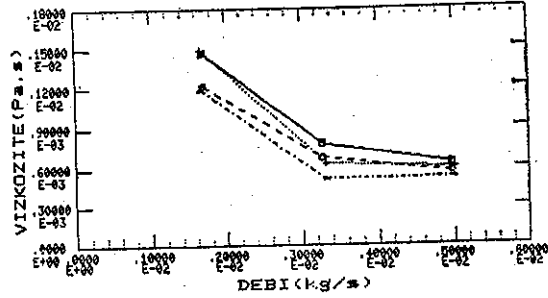


Şekil 4. Mercimeğin kayma kuvvetinin kayma debisine oranı.

- 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- + 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem
- △ 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem

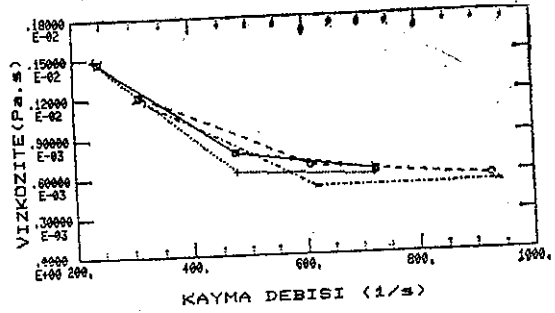
tır (BRESLAUER ve Ark., 1988; ROBERT ve PARVIZ, 1986; WASSERMAN ve Ark., 1988).

Vizkozitenin kayma debisine göre değişim profili ise Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kayma debisinin artışı ile vizkozite azalmaktadır. Böylece mercimeğin Pseudoplastik özellik gösteren bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. M mercimek vizkozitesinin, debiye bağlı olarak azalışı.

- 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- + 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem
- △ 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem

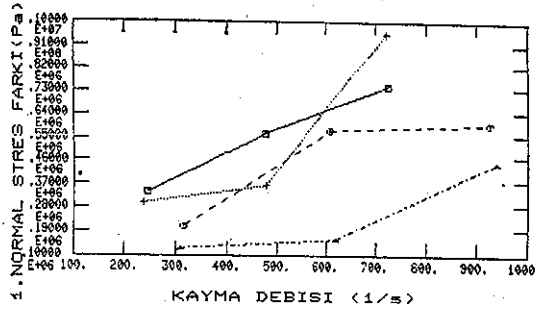


Şekil 6. Mercimek vizkozitesinin, kayma debisine göre değişimi.

- 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- + 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem
- △ 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem

Ekstrüzyon sırasında mercimeğin reolojik özelliklerinde meydana gelen değişmelerin saptanması için, 1. normal stres farkı belirlenerek, kayma debisine göre değişimi incelenmiştir.

tir (Şekil 7). Eğrilerin incelenmesinden anlaşılacağı gibi, kayma debisinin artışına bağlı olarak 1. normal stres farkı da artmaktadır. Birinci normal stres farkı, polimer sistemlerinde, moleküler yapıda, örneğin moleküler ağırlık dağılımı veya zincir yapısında olabilecek çok küçük değişimlerden bile etkilenebilir. Bu nedenle moleküler yapıda meydana gelen değişimlerin belirlenmesinde çok duyarlı bir metot olarak kullanılmaktadır (BAIRD ve Ark., 1986; LAI ve KOKINI; 1990). Böylece, bu çalışma koşullarında ekstruder içinde erimiş olan mercimeğin moleküler yapısında olabilecek değişimlerin, malzemenin elastikiyetine etkisinin, vizkozitenin etkisinden daha büyük olduğunu söylemek mümkündür. Çünkü vizkozitenin azalışı her koşulda 200 dev./dak. çalışma koşullarında daha büyük olarak belirlenirken, 1. normal stres farkının değişimi 400 dev./dak. çalışma koşullarında daha büyük olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Mercimeğin Birinci Normal Stres Farkının, kayma debisine oranı.

- 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 30 nem
- + 400 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem
- △ 200 dev./dak. ekstruder vida hızı, % 27 nem

Ayrıca, çalışma sırasında ekstruder vidasının dolma derecesi m/rpm olarak hesaplan-

mış ve Çizelge 1'de verilmiştir. m , g./dak. olarak toplam kütle akış oranı (mercimek unu + su), rpm ise, dev./dak. olarak vida hızıdır.

Bilindiği gibi mercimek, ülkemizde oldukça fazla miktarda üretilen ve yaygın şekilde tüketilen bir gıda maddesidir. Ayrıca Afrikanın bir çok ülkesinde, Orta Doğuda ve Hindistan, Pakistan gibi ülkelerde de çok tüketilmektedir. Protein miktarı bütün baklagiller gibi oldukça yüksektir. Bu çerçevede, Türk insanının damak zevkine uygun ve aynı zamanda ihrac değeri olan yeni gıdalar üretilmesine yardımcı olunabilmesi için mercimeğin ekstrüzyonu anlaşılmasına çalışılmıştır. Sonuç olarak, mercimek unu ekstrüzyonunun, nişasta ve hububat kökenli unlar ile yağsız soya unu ekstrüzyonuna benzerlik gösterdiği, bu nedenle yeni gıdaların geliştirilmesinde kullanılmasının yararlı olacağı belirlenmiştir.

GÖSTERİMLER

$P_{\text{çıkış}}$ = Çıkış basıncı, (Pa, MPa).

$-\sigma_P/\sigma_Z$ = Basınç gradiyenti, (MPa/m).

Z = İnce düz kanallı reometrenin uzunluğu, (m).

δ_w = $(2n+1/3n) * 6Q/wh^2$ olarak duvar kayma debisi, (1/s).

h = İnce düz kanallı reometrenin kanal yüksekliği, (m).

w = İnce düz kanallı reometrenin kanal genişliği, (m).

n = $\log \tau_w$ ve $\log (6Q/wh^2)$ noktaları ile oluşturulan çizgilerin eğimi.

τ_w = $-(\sigma_P/\sigma_Z) * h/2$ olarak duvar kayma debisi, (Pa).

Q = m/g olarak volümetrik debi, (m³/h).

m = Toplam akış debisi (Mercimek unu + su), (kg/h).

g = Yoğunluk, (kg/dm³).

η = τ_w/δ_w olarak vizkozite, (Pa.s).

N_1 = Birinci Normal Stres Farkı, (Pa).

KAYNAKÇA

- AACC. 45-A, 1975. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists.
- BAIRD, D.B, READ, M.D., PIKE, R.D. 1986. Polymer Engineering and Science 26 (3): 225 - 232.
- BOGER, D.V. and DENN M.N. 1980. J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 8: 163-185.

- BRESLAUER, K.J, BAUMANN, G.C. and HARTENTHALER. 1988. «Thermodynamics of corn meal components optical; and calorimetric studies». In center for Advanced Food Technology - Physical Forces Research Accomplishments Report. Rutgers Universty. NJ USA.

- CHANG, C.N., LAI, L.S. and KOKINI, J.L. 1988. On-Line Rheological Properties of Amylose and Amylopectin Based Starches and the Effect of Rheological Properties on Expansion of Extrudates. In Center for Advanced Food Technology - Physical Forces Research Accomplishments Report. Rutgers University, NJ USA.
- DEVRES, O.Y. 1989. En Küçük Kareler Yöntemi ile Eğri Yaklaşılması (Regreasyon Analizi) Vax Paket Bilgisayar Programı. TÜBİTAK-MAM Soğuk Tekniği Araştırma Bölümü, Yayın No. 121, Gebze
- HAN, C.D. 1976. Rheology in Polymer Processing. Academic Press. Inc. New York.
- HAN, C.D. 1978. Studies on structural foam processing. I. The rheology of foam extrusion, Polymer Eng. and Sci. 18 (9): 687.
- HAN, C.D. 1987. Slit rheometry. In «Rheological Measurement» (eds.) by Collyer; A.A. and Clegg; D.W. Elsevier Applied Science, New York.
- HARPER, J.M., RHODES, T.P. and WANNINGER, L.A. 1971. Viscosity model for cooked cereal doughs. American Institute of Chemical Eng. Symposium Series No. 103, 40-43.
- JAO, Y.C., CHEN, A.H., LEWANDOWSKI, D. and IRWIN, W.E. 1978. Engineering Analysis of Soy Dough Rheology in Extrusion. J. of Food Process. Eng. 2: 97-112.
- LAI, L.S. and KOKINI, L.J. 1990. An Experimental Study of the First Normal Stress Difference of 98 % Amylopectin (Amioca) and 70 % Amylose (Hylon 7) Corn starches Flowing Through a Slit Die During Extrusion. In Center for Advanced Food Technology - Physical Forces Research Accomplishments Report. Rutgers University, NJ USA.
- KOKINI, J.L., BRESLAUER, K., CHANG, C.N., HO, C.T., JAJURIA, Y., KWON, T. 1988. Extrusion of Corn Flour Biopolymers. In Center for Advanced Food Technology - Physical Forces Research Accomplishments Report. Rutgers University, NJ USA.
- ROBERT, E.A. and PARVIZ, G. 1986. An Analysis of Residence Time Distribution Patterns in a Twin Screw Cooking Extruder. Biotechnology Progress 2 (3): 157 - 163.
- RAUWENDAAL, C., FERNANDEZ, F. 1985. Polymer Engineering and Science 25 (11): 765 - 771.
- WASERMAN, P., RODIS, L. F. WEN and CHEN, R.Y. 1988. «Structure and function of polysaccharide degradation products formed during extrusion cooking». In Center for Advanced Food Technology - Physical Forces Research Accomplishments Report. Rutgers University, NJ USA.

TEŞEKKÜR

Gıda ekstrüzyonu konusunda çalışma yapmamı destekleyen Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Mehmet Pala'ya ve TÜBİTAK-Bilim Adamı Yetiştirme Grubuna teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalışmanın yapılabilmesi için büyük özveri ile her türlü kolaylığı sağlayan Sayın Prof. Dr. J.L. Kokini'ye şükranlarımı sunarım. Yine RUTGERS-New Jersey State University, Food Sci. Dept. Rheology lab. ile CAFT (Center of Advanced Food Technology) Enstitüsü çalışanlarına da teşekkür ederim.