

Tahıl Ürünlerinde Camsı Yapıya Geçiş Sıcaklığı ve Önemi

M.Murat KARAOĞLU

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü – 25240 ERZURUM (mmurat@atauni.edu.tr)

Hüseyin BOZ

Atatürk Üniversitesi Narman M.Y. O. Narman – 25530 ERZURUM

H.Gürbüz KOTANCILAR, K.Emre GERÇEKASLAN

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü – 25240 ERZURUM

Geliş Tarihi : 23.03.2008

ÖZET : Camsılığa geçiş, bir materyalin fiziksel, mekaniksel, elektriksel, termal ve diğer özelliklerinde zaman, sıcaklık ve su aktivitesine bağlı olarak meydana gelen, süreklilik arz etmeyen bir geçiş olarak karakterize edilebilir. Yarı kristalize katılar (polimerler) hem amorf hem de kristal bölgelere sahiptirler. Polimerlerin amorf bölgelerinde elastikimsi ve camsı durumun meydana geldiği sıcaklık camsı geçiş sıcaklığı (T_g) olarak adlandırılmaktadır. Camsı lığa geçiş yarı kristalize katıların sadece amorf bölgelerine has bir özelliktir. Fırın ürünlerinde nişasta ve gluten yarı kristalize polimerlerdir. Fırın ürünleri endüstrisi için nişasta ve gluten bileşenlerinin termal davranışlarının anlaşılması çok önemlidir. Durum diyagramlarında camsı geçiş noktasının belirlenmesinde, genelde differential scanning calorimetry (DSC) metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Termo-mekaniksel analiz (TMA) ve diğer salınım metotları daha hassas metotlar olmasına rağmen fazla tercih edilmemektedir. Gıda materyallerinin mekaniksel özelliklerinde camsı geçiş sıcaklığının etkisi oldukça önemlidir. Viskozitedeki hızlı değişimin bir sonucu olarak gerçekleşen yapışkanlık, gevreklik, çökme, retrogradasyon enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar gibi değişikliklerin çoğu camsılığa geçiş sıcaklığı üzerinde yer almaktadır. Depolama sırasında ekmekteki değişikliklerin bir karakteristiği olan ekmek sertliği, stabil kristal yapıdaki nişasta makromolekül zincirinin yeniden düzenlenmesi nedeniyle de oluşabilmektedir. Nişastanın retrogradasyonu özellikle bu ürünlerin camsılığa geçiş sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda depolanmalarına atfedilmektedir. Tahıl ürünlerinde bayatlama, ürün bileşenleri arasında yeniden dağılan sudan kaynaklanmaktadır. Fırın ürünlerinde bayatlama düzeyi, ürünlerin camsılığa geçiş sıcaklığı ve depolama sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı dikkate alınarak kontrol edilebilir. Su aktivitesi ve camsılığa geçiş sıcaklığı, gıda stabilitesini belirlemek amacıyla tespit edilmesi gereken iki önemli kriter olarak kullanılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Camsılığa geçiş sıcaklığı, tahıl ürünleri, depolama stabilitesi,

Glass Transition Temperature And It's Importance In Cereal Products

ABSTRACT : Glass transition is a time, temperature and water activity dependent transition, which is characterized by a discontinuity in physical, mechanical, electrical, thermal, and other properties of a material. Semi-crystalline solids are having both amorphous and crystalline regions. The temperature at which the transition in the amorphous regions of polymers between the glassy and rubbery state occurred is called the glass-transition temperature (T_g). The glass transition is a property of only the amorphous portion of a semi-crystalline solid. Starch and gluten in baked products are semi crystalline polymers. Understanding the thermal behavior of starch and gluten components is very important for the bakery industry. Most of the transitions defined in the state diagram are commonly measured by DSC method using appropriate protocol. The thermo-mechanical analysis (TMA) and other oscillation methods are less commonly used, however these methods are more sensitive. The effect of glass transition on the mechanical properties of food materials is fairly important. Many of these changes (e.g. stickiness, crispness, retrogradation, and collapse, enzymatic and nonenzymatic reactions) are resulted from the rapid changes in viscosity that takes place above the glass transition temperature. Bread crumb hardening, the changes in bread characteristics during storage, can be due to the reorganization of the starch macromolecule chains in a stable crystalline structure. Starch retrogradation especially affects products with storage temperatures above their T_g. Staling in cereal products can also result from water redistribution among the product components. The rate of staling in bakery products is controlled by the temperature difference between the storage and glass transition temperatures of the product. Water activity and glass transition temperature concepts were used to investigate the between the two distinct criteria of food stability.

Keyword: Glass transition, cereal products, storage stability

GİRİŞ

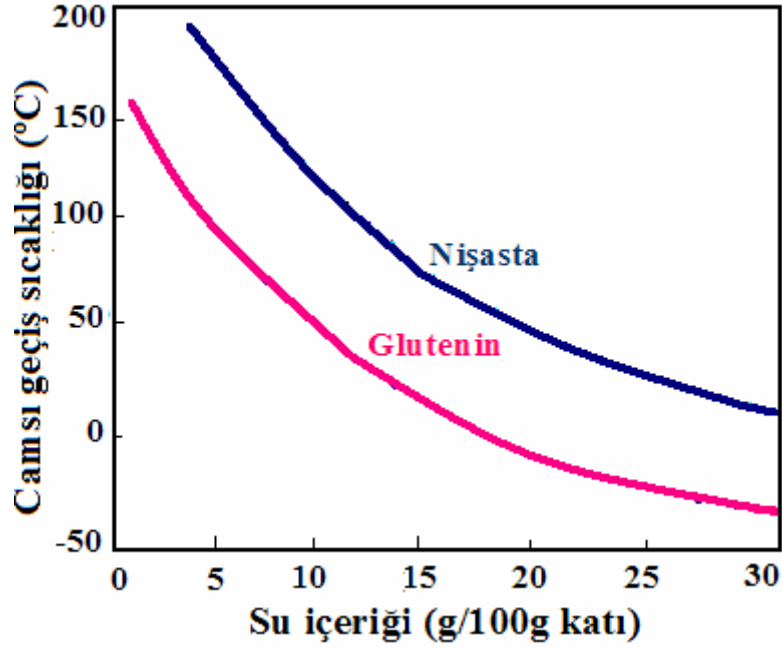
Gıdaların yapı ve tekstürlerini iyileştirmek gıda bilimcilerinin en önemli hedeflerinden biri olarak görülmektedir. Gıdaların kimyasal bileşenleri arasındaki interaksiyonlar yapı ve tekstürlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle gıdaların işleme veya depolama sırasında su, karbonhidrat, protein gibi bileşenlerde meydana gelen değişimler ve faz/hal geçişleri gıdalarda kaliteyi etkileyen önemli değişiklikler olarak öne çıkmaktadır. Gıdanın uzun süre bozulmadan muhafaza edilebilmesi ancak

bu reaksiyonların durdurulması veya minimize edilebilmesiyle mümkündür (Laksonen, 2001; Ross, 2002).

Camsılığa geçiş, bir materyalin fiziksel, mekaniksel, elektriksel, termal ve diğer özelliklerindeki süreksizliktir. Materyaller camsı durumda çok yüksek viskoziteye sahiptir. Bu nedenle de bu yapı içerisinde moleküllerin hareketliliği son derece kısıtlandırılmıştır. Şayet camsı yapı ısıtılırsa bir noktada viskozite aniden düşer ve moleküllerin

(Roos, 2002; Ross, 2003). Tahıl ürünlerindeki mevcut bu bileşenlerin camsılığa geçiş özellikleri dikkate alınarak bu ürünlerin yapı ve tekstürleri iyileştirilebilmekte, camsı durumdaki yüksek viskoziteye bağlı olarak su aktivitesi düşürülerek daha uzun süre bozulmadan muhafaza edilebilmeleri

mümkün olabilmektedir. Fırın ürünlerinin Tg'si ürün bileşimine ve özellikle su içeriği ve küçük moleküllerin varlığına bağlıdır. Su ve küçük moleküller plastikleştirici rol oynayarak polimerlerin Tg'sini düşürürler (Şekil 2).



Şekil 2. Glutenin ve nişastanın su içeriğine bağlı camsılığa geçiş sıcaklıkları (Roos, 2003).

Camsılığa geçiş sıcaklığı proteinlerin özelliklerinin belirlenmesinde çok önemli bir parametredir. Su, glutene en iyi plastik özellik kazandıran maddelerden biridir. Ancak glutenin su mevcudiyetindeki plastik özelliği, camsılığa geçiş sıcaklığında önemli düzeyde azalmaktadır. Proteinlerin ve glutenin viskoelastik özelliklerini iyileştirebilmek için sıcaklığın Tg'nin üzerinde olması gerekir. Sıcaklığın, Tg'nin altında olması,

buğday unundan yapılmış çoğu ürünlerin ve hamurların viskoelastik yapılarının azalmasına sebep olmaktadır. Örneğin; mısır proteinleri oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara kadar ısıtıldığında oldukça viskoelastik yapı kazandıkları görülmüştür ve bu elastikiyetin nedeni Tg sıcaklığı ile ilgili olabileceği ifade edilmiştir (Singh ve MacRitchie, 2001). Gluten için depolama ve camsılığa geçiş sıcaklıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo:1 Gluten için depolama ve camsılığa geçiş sıcaklıkları (Elizalde ve Pilosof, 1999).

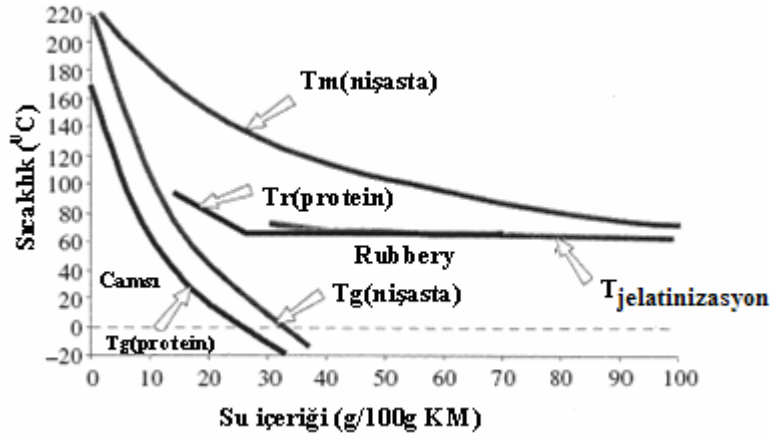
Nem İçeriği (%)	Tg (°C)	Depolama Sıcaklığı (°C)	(T-Tg) (°C)
5.9	96	70	-26
		110	14
		130	34
9.2	59	42	-17
		82	23
		102	43
12.3	25	11	-14
		50	25
		70	45

*T-Tg: Depolama sıcaklığı ve Tg arasındaki fark.

T_g ve depolama sıcaklığı (T) arasındaki fark, camsılığa geçiş bölgesinde meydana gelebilecek fizikokimyasal değişikliklerde kompozisyon, sıcaklık ve nem içeriğinin etkisini belirlemekte kullanılabilirliği bildirilmektedir. T-T_g farkı arttığında glutende gözenek genişlemesi düzenli bir şekilde azalırken çökme (collapse) düzeyi de yine düzenli olarak artmaktadır. Bu yüzden fırın ürünleri depolanırken T_g ile depolama sıcaklığı arasındaki farkın yüksek olmaması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca glutenin yapısında meydana gelen kimyasal, fizikokimyasal reaksiyonların özellikle depolamanın ilk saatlerinde meydana geldiği ve gluten camsı durumda iken bu reaksiyonların son derece sınırlı

düzye gerçekleştiği ifade edilmektedir (Elizalde ve Pilosof, 1999).

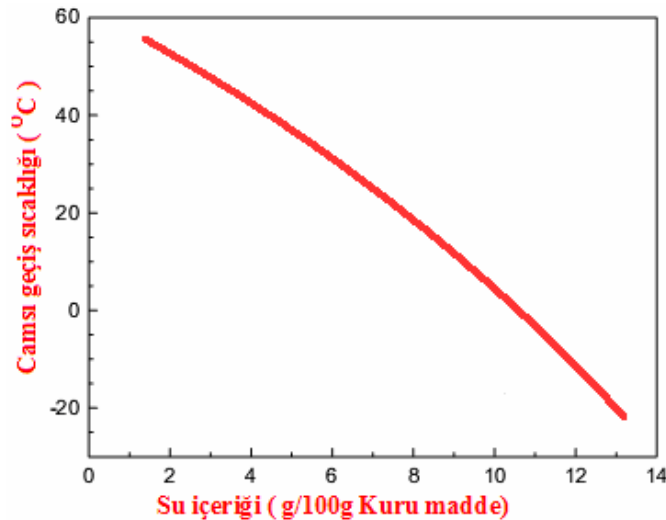
Camsılığa geçiş erime sıcaklığında değil, erimeden önce gerçekleşmektedir. Buğday nişastası için su içeriği %20–25'in üzerinde olduğunda T_g'nin oda sıcaklığının altına düştüğü ifade edilmektedir. Camsılığa geçiş sıcaklığında nişastanın amorf kısmı camsı durumdan elastimsi (rubbery) duruma geçmekte ve kristalimsi bölge erime ısısına ulaşmaya kadar sabit kalmaktadır (Şekil 3). Kristal kısımda erime ancak camsılığa geçiş sıcaklığı geçildikten sonra beklenebilir. Amorf kısmın camsılığa geçiş sırasında, kristal bölgede suyun geçiş ve moleküler hareketlilik oldukça azalmaktadır (Cuq vd., 2003).



Şekil 3. Buğday ununda, protein ve nişastanın erime (T_m), camsılığa geçiş (T_g) ve termosetting (T_r) sıcaklıklarının su içeriğinin etkisi (Cuq vd., 2003).

Donmuş hamurlar; gluten, nişasta, donmuş su ve donmamış su gibi değişik fazlar ve bileşenler içeren oldukça komplike sistemlerdir. Genel olarak

kullanılan unların gluten içeriği hamurların T_g'sini önemli düzeyde etkilemektedir (Şekil 4) (Laksonen, 2001).



Şekil 4. Hamurda su içeriğinin bir fonksiyonu olarak camsılığa geçiş sıcaklığı (Laksonen, 2001).

CAMSILIĞA GEÇİŞ SICAKLIĞI VE DOKUSAL ÖZELLİKLER

Birçok tahıl temelli gıda sınırlı düzeyde nem mevcudiyetinde ısıl proseslerle üretilir ve camsı durumda tüketilirler. Camsı polimerler gibi tahıl ürünlerinde de depolama sırasında tekstürde yumuşama meydana gelebilmektedir. Tekstürde meydana gelen değişiklikler gıdanın kalitesini olumsuz etkilemektedir. Depolama sırasında tahıl ürünlerinde meydana gelen tekstürel değişiklikler tahıl ürünlerinin ana bileşenlerinden olan gluten ve nişastanın fiziksel yapıları kontrol edilerek minimize edilebilir, dolayısıyla daha uzun süre gıda kalitesi korunabilir (Jung Chung ve Taik Lim, 2006).

Gevreklik; düşük nem içerikli tahıl ürünlerinde tekstürün önemli bir karakteristiğidir. Kahvaltılık tahıllar, kraker, gofret ve çips gibi tahıl ürünlerinde nem içeriği %6-9'un üzerine çıktığında veya su aktiviteleri 0.35-0.50 düzeyini aştığında gevreklikte kayıplar meydana gelmektedir. Tg üzerindeki sıcaklıklarda depolandıklarında oksijenin difüzyonu ve reaktantların iç hareketliliği gibi kimyasal reaksiyonlar hızlanmaktadır. Yüksek hidrasyonda ürünlerin sertliği azalmakta ve yumuşama meydana gelmektedir. Düşük nem içerikli tahıl ürünlerinde depolama sırasında geçirgenlik ve hacim küçülmesinin Tg'ye bağlı olarak sınırlandırılabilceği, gevrekliğin depolama sıcaklığının Tg'nin altında tutulmasıyla muhafaza edilebileceği ifade edilmektedir (Tolstoguzov,2000). Tg'nin altındaki sıcaklıklarda, gıda camsı durumda iken viskozite oldukça yüksek, moleküler hareketlilik son derece sınırlı ve ürün donmuş vaziyettedir. Tg'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise sıcaklığa bağlı olarak viskozite düşmekte ve moleküler hareketlilik başlamakta ve stabil durum kaybolmaktadır. Bu nedenle su ile plastik özelliği artan gıda ürünlerinde suyun difüzyonunu kontrol etmek veya sınırlandırmak için bu tip ürünlerin Tg'nin altındaki sıcaklıklarda depolanmaları gerekmektedir. Fırın ürünlerinde dondurarak depolama stabilitesi sağlanmak isteniyorsa, ürünlerde donmamış suyu azaltmak amacıyla donma oranları optimize edilmeli, Tg altında depolanmalı ve formülasyonlar Tg'yi artıracak şekilde oluşturulmalıdır (Roos ve Himberg, 1994). Ekmek gibi ürünlerde Tg'nin yüksek olması maksimum bayatlama periyodunun hızlı bir şekilde geçilmesini sağlamaktadır. Ancak ekmek gibi hava kabarcığı içeren ürünlerde ısıl iletkenliğin düşük olduğu unutulmamalıdır.

CAMSILIĞA GEÇİŞ SICAKLIĞI VE BAYATLAMA

Nişastanın retrogradasyonu bugün hala fırın ürünlerinde bayatlamının en önemli faktörü olarak düşünülmektedir. Nişastada meydana gelen plastikleşme ve moleküler hareketlilik gibi yapısal

değişiklikler, ortamdaki suyun bir fonksiyonudur (Hallberg ve Chinachoti, 2002). Nişastanın retrogradasyonu ve ürün bileşenlerindeki su geçişi fırın ürünlerinin bayatlaması açısından oldukça önem arz etmektedir. Nişastanın retrogradasyonu özellikle depolama şartları Tg'nin üzerinde olan ürünlerde görülebilmektedir. Ürün bileşenleri arasındaki su geçişi kristal yapının değişimine neden olarak durgun kristal yapıdaki nişasta moleküllerinin yeniden düzenlenmesi nedeniyle gevreklik azalmakta ve böylece bayatlama gerçekleşmektedir. Bayatlama olayı fırın ürünlerinin camsılığa geçiş sıcaklığı ve depolama ısısı arasındaki sıcaklık farkıyla kontrol edilebilir. Pişirme sırasında ekmekte sert ve kuru kabuk ile yüksek nem içeriğine sahip ekmek içine bağlı olarak ortaya çıkan su aktivitesi değişikliği nedeniyle bir denge söz konusu değildir. Ayrıca ekmek; protein ve nişasta gibi hidrofilik bileşenler içerdiğinden ortamdaki neme bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Kabukta meydana gelen tekstür kaybı genellikle nem içeriği yüksek ortamlarda depolandıklarında görülmektedir. Ekmek kabuğunda meydana gelen yumuşaklık Tg üzerindeki sıcaklıklarda elastimsi (rubbery) yapı kazanan materyaller gibi davranış sergileyen buğday gluten proteinlerinin sertliğinin kaybolmasıyla ilgilidir (Cuq vd., 2003).

Fırın ürünlerini geliştirebilmek için, işleme şartlarının bir fonksiyonu olarak yapısal bileşenlerin fiziksel özelliklerinin anlaşılması temelinde durum diyagramları oluşturulabilir ve bu diyagramlar depolama sırasında üründe meydana gelebilecek tekstürel değişiklikleri belirlemek amacıyla kullanılabilirler (Cuq vd., 2003).

CAMSILIĞA GEÇİŞ SICAKLIĞI VE MİKROBİYAL STABİLİTE

Gıdalarda su aktivitesi; mikrobiyal stabilitenin bir indikatörü olarak görülmekte ve bu amaçla gıdalarda kritik su aktiviteleri belirlenmekte, hatta gıdalar su aktivitelerine göre sınıflandırılmaktadır. Örneğin; kritik su aktivitesi değeri patojen bakteriler için 0.86, daha toleranslı olan mayalar için 0.62 dir. Bu yüzden su aktivitesi 0.62-0.90 düzeyinde olan gıdalar yarı nemli veya orta düzeyde nemli gıdalar olarak adlandırılmaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda gıdalarda su aktivitesinin ve dolayısıyla mikrobiyal gelişmenin gıda matriksindeki moleküler hareketliliğe bağlı olduğu ve bu yüzden Tg'nin gıda sistemlerinde moleküler hareketliliğin bir göstergesi olabileceği ifade edilmektedir (Vittadini vd., 2005; Chirife ve Buera, 1994).

Amorf yapıya sahip gıdalar sıcaklık ve nem içeriğindeki değişikliklere karşı çok hassastırlar. Amorf matriksler hem çok viskoz yapıya sahip bir cam gibi hem de bir sıvı gibi elastimsi (rubbery) yapı kazanabilirler. Amorf yapıya sahip gıdalar camsı

($T < T_g$) durumda iken bütün difüzyon proseslerinin düzeyi, elastikimsi (rubbery, $T > T_g$) durumdakinden çok daha sınırlı düzeydedir. Amorf bileşenler içeren gıdalarda yapılan çalışmalarda elde edilen veriler mikrobiyal gelişmenin durdurulmasında T_g 'nin olumlu etki yaptığını göstermektedir (Vittadini vd., 2005). Buna karşın depolama sıcaklığı ve T_g arasındaki farka bağlı olarak T_g 'nin üzerindeki sıcaklıklarda mikrobiyal hareketlilik büyük oranda artmaktadır. Sıcaklığı T_g 'nin altında olan bir gıda, üreticiden tüketiciye kadar olan süreç içerisinde mükemmel stabil özellik göstermektedir. Amorf

yapıya sahip gıdaların stabiliteyi su aktiviteleri ve T_g arasındaki ilişkiyle belirlenebilmektedir. Camsı durumdaki gıdalar yüksek viskoziteye sahiptirler ve yüksek viskoziteye bağlı olarak su aktivitesi düşmekte ve buna bağlı olarak da çoğu mikroorganizma aktivite gösterememektedir. Bilindiği üzere her mikroorganizma için kritik bir su aktivitesi (a_w) değeri mevcuttur. Su aktivitesi bu değer altına düşerse mikroorganizma faaliyet gösterememektedir (Tablo 2) (Chirife ve Buera, 1994).

Tablo 2. 30°C de inkübe edilmiş biyopolimerlerin a_w ve $T-T_g$ değerleri (Chirife ve Buera, 1994).

Biyopolimerler	a_w	$T-T_g$
Gluten	0.65	-10
	0.81	14
Buğday Nişastası	0.65	-32
	0.89	2
Buğday Nişastası (jelatinize)	0.63	-14
	0.85	7

Bazı araştırmacılar tarafından T_g ile suyun hareketi arasındaki ilişkinin özellikle orta düzeyde nemli ve konsantr gıdaların mikrobiyal stabilitesinin belirlenmesinde kullanılabilmesi iddia edilmiş, ancak bu iddialar deneysel çalışmalarla yeterince desteklenememiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda mısır ve buğday unu gibi nemli şartlarda camsı durumda olabilecek tahıl ürünlerinde *Aspergillus niger*'in faaliyeti gözlemlenmiş ve T_g 'nin hemen üzerindeki sıcaklıklarda *Aspergillus niger*'in gelişme gösterdiği ancak T_g 'nin altındaki sıcaklıklarda aktivite gösteremediği tespit edilmiştir (Le Meste vd., 2002). T_g 'nin altındaki sıcaklıklarda katı hale geçen su nedeniyle a_w 'nin önemli düzeyde düştüğü ve bu a_w değerlerinde mikroorganizmaların faaliyet gösteremeyecekleri ifade edilmektedir. Gıdaların mikrobiyal stabiliteyi belirlemede a_w 'ye ilaveten T_g 'nin de dikkate alınmasının daha iyi sonuçlar verebileceği ifade edilmektedir (Le Meste vd., 2002).

CAMSILIĞA GEÇİŞ SICAKLIĞININ ÖLÇÜLMESİ

Gıdalarda T_g ölçümünde birkaç metot kullanılmaktadır ancak literatürlerde en fazla öne çıkan DSC (Differential Scanning Calorimetry)'dir. Bir polimerde görülebilen erime sıcaklığı, kristalizasyon sıcaklığı ve T_g gibi termal geçişler DSC ile tespit edilebilmektedir. Camsılığa geçişte, DSC de gıdanın elastikimsi durumu ile camsı durumu arasında ısı kapasitesinde meydana gelen değişiklikler ölçülmektedir. DSC aletinin iki adet

özel ısıtma kabı bulunmaktadır. Bu kapların bir tanesine T_g sıcaklığı tespit edilmek istenen örnek konulurken diğer kapta referans madde bulunmaktadır. İki kap ısıtıcılara yerleştirilir ve ısıtmaya bağlı olarak referansa karşılık örnekte meydana gelen değişiklikler bir bilgisayar programı yardımıyla kaydedilir. DSC ölçümlerinde örneklerin nem içeriğinin düşük olması ve ölçümlere başlamadan önce örneklerde maksimum buz oluşumunu sağlayacak şekilde annealing işlemine tabi tutularak örneklerin buzdolabı şartlarında 24 saat bekletilmesi gerekmektedir (Sablanı vd., 2007; Ötleş ve Ötleş, 2005).

Karbonhidrat, yağ, protein ve su gibi bileşenler içeren gıdaların T_g sıcaklıklarına en fazla karbonhidratlar ve su gibi plastikleştirici etkisi olan bileşenler etki etmektedir. Örneğin su bazı gıdaların T_g 'sini -135°C 'ye düşürebilmektedir. Bu yüzden T_g , gıda bileşenlerinin oranlarına göre değişmektedir. Gıdalar gibi farklı bileşenler içeren kompleks karışımların camsılığa geçiş sıcaklıklarının hesaplanmasında Gordon-Taylor (1952) (Eşitlik-1) ve Couchmann-Karazs (1978) (Eşitlik-2) eşitlikleri kullanılmaktadır (Bhandari ve Howes, 1999).

$$T_{gm} = \frac{w_1 T_{g1} + k w_2 T_{g2}}{w_1 + k w_2} \quad (1)$$

$$T_{gm} = \frac{w_1 T_{g1} \left(\frac{\Delta C p_2}{\Delta C p_1} \right) w_2 T_{g2}}{w_1 + \left(\frac{\Delta C p_2}{\Delta C p_1} \right) w_2} \quad (2)$$

Eşitliklerde T_{gm} , karışımın camsılığa geçiş sıcaklığı; w_i , i bileşenin mol fraksiyonu; $\Delta C p_i$, i bileşenin geçiş durumundaki spesifik ısı; T_{g_i} , i bileşenin camsılığa geçiş sıcaklığı; k ise Gordon-Taylor parametresidir. Eğer n sayıda bileşen mevcut ise Couchmann-Karazs eşitliği aşağıdaki (Eşitlik-3) gibi genişletilebilmektedir (Bhandari ve Howes, 1999).

$$T_{gm} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \Delta C p_i T_{g_i}}{\sum_{i=1}^n w_i \Delta C p_i} \quad (3)$$

SONUÇ

Camsılığa geçiş sıcaklığı II.mertebeden bir faz değişikliğidir ve yarı kristalize katıların sadece amorf kısımlarına ait bir özelliktir. Tahıl ürünlerindeki majör bileşenler olan gluten ve nişasta bu tip ürünlerdeki en önemli polimerler olup, tahıl ürünlerinde stabilite ancak gluten ve nişastanın fiziksel yapıları kontrol edilerek sağlanabilir. Su ile plastik özellikleri artan ve camsılığa geçiş sıcaklıkları oda sıcaklığının altına düşen gluten ve nişastanın T_g 'nin altındaki sıcaklıklarda oldukça stabil oldukları söylenebilir. T_g 'nin altındaki sıcaklıklarda gıda camı yapı ve yüksek viskoziteye sahip olduğu için su aktivitesindeki düşmeye de bağlı olarak moleküler hareketlilik ve bileşenler arasındaki interaksyonlar son derece sınırlı düzeyde kalmakta ve mikrobiyal faaliyet görülmemektedir. Fırın ürünlerinde dondurarak depolama stabilitesi sağlanmak isteniyorsa, ürünlerde donmamış suyu azaltmak amacıyla donma oranları optimize edilmeli, T_g 'nin altında depolanmalı ve formülasyonlar T_g 'yi artıracak şekilde oluşturulmalıdır. Ayrıca tahıl ürünlerinde işleme şartlarının bir fonksiyonu olarak yapısal bileşenlerin fiziksel özelliklerinin anlaşılması temelinde durum diyagramları oluşturulabilir. Bu diyagramlar depolama sırasında üründe meydana gelebilecek tekstürel değişiklikleri belirlemek amacıyla kullanılabilirler.

KAYNAKLAR

- Bhandari BR, Howes T. 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40, 71±79.
- Chirife J, Buera MDP. 1994. Water activity, glass transition and microbial stability in concentrated/semimoist food systems. *Journal of Food Science*, Vol. 59, No. 5.
- Cuq B, Abecassis J, Guilbert S. 2003. State diagrams to help describe wheat bread processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 38:759-766.
- Duxbury D. 2004. Phase transitions in foods: Basic science for the modern scientist. *Food technology August* • Vol. 58, No. 8.
- Elizalde BE, Pilosof AMR. 1999. Kinetics of physico-chemical changes in wheat gluten in the vicinity of the glass transition temperature. *Journal of Food Engineering* 42:97±102.
- Hallberg LM, Chinachoti P. 2002. A fresh perspective on staling: the significance of starch recrystallization on the firming of bread. *Journal of Food Science* Vol.67, Nr. 3.
- Jung Chung HJ, Taik Lim ST. 2006. Physical aging of amorphous starches starch/stärke 58, 599–610.
- Kasapis S. 2006. *Colloquium*: The glass transition and elastic models of glass-forming liquids. *The American Physical Society*, Vol 78.
- Laksonen TJ. 2001. Effects of ingredients on phase and state transitions of frozen wheat doughs. *Academic Dissertation*. University of Helsinki Department of Food Technology. EKT series 1242.
- Le Meste M, Champion D, Roudaut G, Blond G, Sımatos D. 2002. Glass transition and food technology: A critical appraisal, *Journal of Food Science*-Vol. 67, Nr. 7.
- Ötleş S, Ötleş S. 2005. Glass transition in food industry-characteristic properties of glass transition and determination techniques. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology*, Volume 8, Issue 4.
- Road H, Jose S. 1999. The Glassy state, ideal glass transition, and second-order phase transition. *Journal of applied polymer science*, Vol. 71, 143–150.
- Roos Y.H. 2002. Glass transition and water activity. IFT's Pre-Meeting Continuing Education Program. June 14 – 15. Anaheim Marriott Hotel, Anaheim, California, USA.
- Roos YH, Himberg M-J. 1994. Nonenzymatic browning behavior, as related to glass transition, of a food model at chilling temperatures. *J. Agric. Food Chem.* 42, 893–898.
- Roos, YH. 2003. Thermal analysis, state transitions and food quality. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 71, 197–203.
- Sablani SS, Kasapis S, Rahman MS. 2007. Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering* 78:266–271
- Singh H, MacRitchie F. 2001. Application of polymer science to properties of gluten. *Journal of Cereal Science* 33: 231–243.
- Tolstoguzov VB. 2000. The importance of glassy biopolymer components in food *Nahrung* 44. Nr. 2, S. 76 – 84.
- Vittadini E, Chinachoti P, James P, Pham L, Pham X. 2005. Correlation of microbial response in model food systems with physico-chemical and mobility descriptors of the media. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 21–28.
- Zeleznek KJ, Hosney RC. 1987. The glass transition of starch, *American association of cereal chemists*, Vol 64, No:2.