

EKMEK BAYATLAMASI VE BAYATLAMA DERESESİNİ ÖLÇMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER - I

BREAD STALING AND METHODS FOR MEASURING DEGREE OF STALING-I

K. Emre GERÇEKASLAN, H. Gürbüz KOTANCILAR*, M. Murat KARAOĞLU
Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum

Geliş Tarihi: 01.02.2007

ÖZET: Nötr tat ve aromaya sahip olan, diğer aromatik gıda maddelerinin tüketilmesinde ideal bir taşıyıcı rolü üstlenen ekmeğin en büyük problemi bayatlamadır. Bayatlama mekanizmasının oldukça karmaşık ve hâlâ tam manasıyla çözülememiş oluşu ilgiyi daha da artırmaktadır

Genel olarak; ekmeğin bayatlamasında nişastanın yeniden kristalizasyonunun başlıca neden olduğu, fakat bunun ekmeğin bayatlamasıyla eş anlamlı olmadığı kabul edilmektedir. Diğer bileşenlerdeki değişimlerin ve bu bileşenlerin nişasta ile ilişkilerinin de bayatlama prosesinde önemli roller oynaması muhtemeldir.

Ekmeğin bayatlaması; mikroskopik, reolojik, termal analiz ve spektroskopik gibi metotlarla ölçülebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekmeğin bayatlaması, nişasta, retrogradasyon

ABSTRACT: The greatest problem of bread, which has neutral taste and aroma and thus it is perfect carrier for another aromatic foods, is staling. Because of the mechanism of bread staling is rather complex and not well understood, the interest on staling is increasing.

In general, it is accepted that starch recrystallization is major cause of bread staling but it is not synonymous with bread staling. Bread staling may be caused by the changes in another components and the interaction between them and starch. Bread staling can follow by various methods such as microscopic, rheological, thermal analysis and spectroscopy.

Key Word : Bread, staling, starch, retrogradation,

GİRİŞ

Ekmeğin geçmişten günümüze dünyanın her yerinde eşsiz bir statüye sahiptir. Nötr tat ve aromaya sahip olduğu için diğer aromatik gıda maddelerinin tüketilmesinde ideal bir taşıyıcı rolü üstlenir. Doyurucudur ve kesif bir enerji kaynağıdır. Her ne kadar içerdiği proteinlerin biyolojik değeri et, süt ve yumurta gibi hayvansal gıdalara nazaran eksiklik gösterse de protein içeriği azımsanamaz. Normal beyaz ekmeğin kabaca bileşimi %37 su, %8,7 protein, %50,5 karbonhidrat, %3,2 yağ, %2,0 kül olup; 100 gram ekmeğin yaklaşık 270 kalori sağlamaktadır (1).

Bayatlama ekmeğin dokusunda ve tadında zamana bağlı kalite kaybı olarak tanımlanan genel bir terimdir. Ekmeğin bayatlaması iki gruba ayrılır: kabuk bayatlaması ve ekmeğin içi bayatlaması. Kabuk bayatlaması genel olarak ekmeğin içinden kabuğa doğru nem transferinden kaynaklanmaktadır. Bu olay manyetik rezonans görüntüleme tekniği kullanılarak kanıtlanmıştır. Bu transfer yumuşak, derimsi bir yapı ile sonuçlanmakta ve kabuk bayatlaması ekmeğin içi bayatlamasından daha az nahoş olmaktadır (1, 2). Ekmeğin içi bayatlaması daha karmaşık, daha önemli ve daha az anlaşılmıştır. Ekmeğin sertliği somun içindeki konumla birlikte değişmekte, maksimum sertlik ekmeğin merkezinde meydana gelmektedir (3). Ekmeğin (eğer steril şartlarda muhafaza edilirse) biyokimyasal olarak inaktif koloidal bir sistemdir (4).

*E-posta: gurbuz@atauni.edu.tr

Bayatlama ile ekmeğin belirgin duyusal kalitelerini kaybeder ve sağlık üzerine hiçbir zararlı etkisi olmamasına rağmen tüketicinin ekmeği reddetmesine neden olur. Bu sebepten dolayı yıl içerisinde tonlarca ekmeğin atılmakta ve bu da önemli bir ekonomik kayba neden olmaktadır (5, 6).

Ankara Ticaret Odası'nın (ATO) resmi internet sitesinde (www.atonet.org.tr) yayınladığı 28.08.2004 tarihli "Ekmekteki Kayıp Ekonomi" raporunda, ülkemizdeki ekmeğin israfının ne derece önemli boyutlarda olduğu sayısal verilerle birlikte gözler önüne serilmiştir. Bu rapora göre; her 10 ekmeğin dokuzu tüketilmekte, biri ise israf edilmektedir. Rapora göre, ülkemizde günlük 120 milyon olmak üzere yılda yaklaşık 44 milyar adet ekmeğin üretilmekte ve bu ekmeklerin 40 milyar adedi tüketilirken 4 milyar adedi israf edilmektedir. Böylelikle günlük kayıp miktarı 1.9 milyon doları, yıllık ise 700 milyon doları aşmaktadır (7).

Raporda, ekmeğin çöpe atılmasındaki en önemli faktörün bayatlama olduğuna değinilmiştir. Ekmeğin israfının %70'ini lokanta, restoran ve yemekhaneler gibi toplu yemek tüketim yerlerindeki israf oluşturmaktadır. Bununla birlikte, rapora göre Türk insanı ekmeği saklamayı bilmemektedir. Türk halkının %48'i ekmeği poşette saklarken %25,3'ü plastik kabı, %12,2'si buzdolabını, %9,97'si ekmeğin dolabını geriye kalan %4,6'sı ise diğer yöntemleri kullanmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi ekmeğin uzun süre saklamanın en etkili yolu olan buzdolabı, halkımız arasında çok yaygın değildir. Etkin saklama yöntemleri bilinmediği ve üstüne üstük ihtiyaçtan fazla ekmeğin alındığı için israf artmaktadır (7).

Hemen her makalede ekmeğin bayatlama mekanizmasının oldukça karmaşık olduğu ve hâlâ tam manasıyla çözülemediği belirtilmektedir. Ekmeğin bayatlaması ekmeğin depolanmasında en sık karşılaşılan problemlerin başında gelir ve mikrobiyal aktivitenin sebep olduğu değişimler haricindeki bütün olayları kapsar (5, 8, 9, 10). Ekmeğin bayatlama hızını etkilediği düşünülen birçok faktör bulunmaktadır. Bunların başlıcaları;

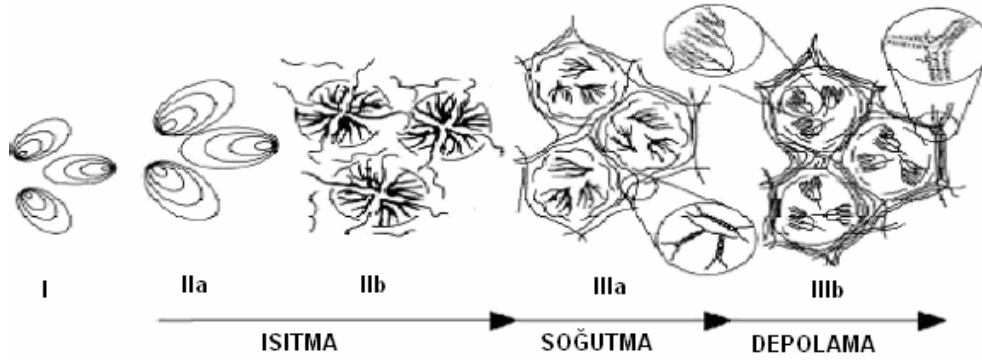
- 1) Unun biyokimyasal bileşenleri (nişasta, proteinler, pentozanlar, su ve lipitler),
- 2) Ekmeğin üretiminde kullanılan maddeler (maya, tuz, su, enzimler, ekmeğin içini yumuşatıcı katkıları),
- 3) Üretim metodu (direkt hamur metodu, sponge hamur metodu, sürekli metod),
- 4) Üretim değişkenleri (yoğurma şartları, fermentasyon süresi, son fermentasyon süresi, pişirme süresi),
- 5) Ekmeğin depolama koşulları (depolama süresi ve sıcaklığı),
- 6) Ekmeğin nemi ve spesifik hacmidir (11).

Rasmussen ve Hansen (10), modifiye atmosfer paketleme ile (MAP) depolamanın buğday ekmeğinin bayatlaması üzerinde etkisi olup olmadığını araştırmışlardır. %100 CO₂ içeren modifiye atmosferde, %50 CO₂ ve %50 N₂'den oluşan gaz karışımında ve atmosferik havada paketlenip 7 gün boyunca 20°C'de depolanan ekmekler arasında DSC ile yapılan ölçümler sonucunda kayda değer farklılıklar gözlemlenmemişlerdir.

Başlangıçta ekmekteki sertleşmenin sadece nem kaybından olduğu düşünülmüştü. Ancak, Boussingault (12) yaptığı bir çalışmada hermetik olarak kapatılmış kaplarda depolanan ekmeğin dahi bayatladığını göstermiştir. Yüzyıl sonra ise bayatlamasının gerçekte nişastadaki değişimlerden kaynaklandığı kabul edilmiştir (13, 6).

Nişastadaki değişimlerden kasıt, nişasta fraksiyonundaki yeniden düzenlemelerdir. Nişastadaki bu transformasyonlar önce jelatinizasyon sonra jelin yeniden kristalizasyonunu kapsar ve buna retrogradasyon denir. İki nişasta polimeri olan amiloz ve amilopektinin retrogradasyon kinetiği birbirinden oldukça farklıdır. Saf amiloz solüsyonu saatler içinde retrograde olurken amilopektin solüsyonunun retrogradasyonu birkaç gün gerektirmektedir. Pek çok bayatlama modeli ekmeğin sertliğinin birincil nedeni olarak amilopektin fraksiyonundaki değişimleri göstermektedir çünkü ekmeğin sertliği birkaç gün içerisinde gelişmektedir (Şekil 1). Bu sebeple amiloz fraksiyonunun bayatlamadaki rolü üzerinde pek fazla durulmamıştır (2).

Genel olarak; ekmeğin bayatlamasında nişastanın yeniden kristalizasyonunun ve nem kaybının başlıca neden olduğu, fakat bunların ekmeğin bayatlamasıyla eş anlamlı olmadığı kabul edilmektedir. Diğer bileşenlerdeki değişimlerin ve bu bileşenlerin nişasta ile ilişkilerinin de bayatlama prosesinde önemli roller oynaması muhtemeldir (5, 8).



Şekil 1. Nişasta-su karışımının ısıtılması, soğutulması ve depolanması esnasında meydana gelen değişimlerin şematik gösterimi. (I) soğuk su içerisindeki nişasta granülleri, (IIa) şişmiş nişasta granülleri, (IIb) amilozun granül dışına çıkması, (IIIa) amiloz retrogradasyonu, (IIIb) amilopektin retrogradasyonu (14).

Jagannath ve ark. (15) tanımıyla ekmek bayatlaması; amilozun zamana bağlı retrogradasyonu ve amilopektinin zamana bağlı olmayan retrogradasyonunu kapsayan nişasta retrogradasyonundan kaynaklanmaktadır.

He ve Hosoney (5), ekmek sertliği ve nem içeriği arasındaki ilişkiyi araştırdıkları çalışmada depolama esnasında sertliğin arttığını ve bununla ilişkili olarak nem içeriğinin düştüğünü rapor etmişlerdir. Ekmek sertleşmesinin başlıca nedeninin çözünmüş nişasta ve gluten proteinleri arasındaki çapraz bağlanma olduğunu, nem kaybının bu oluşumu hızlandırdığını ve bu sebepten dolayı ekmeğin daha hızlı bir şekilde sertleştiğini belirtmişlerdir.

Ekmek bayatlamasını geciktirici bir stratejinin gelişmesi için en önemli engel süreç mekanizmasının yetersiz anlaşılmasıdır. Birçok araştırma ekmek için sertleşme fenomenini incelemektedir ve önceki yayınlarda birçok teori ileri sürülmüş ve tartışılmıştır. Konu üzerindeki önemli teorilerin genel bir gözden geçirmesi burada verilmiştir.

BAYATLAMA DERECELERİNİN ÖLÇÜLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

1. Reolojik Metotlar

- 1.1. Sıkıştırma (Tek Eksende Sıkıştırma),
 - 1.1.1. Evrensel Test Makinesi
 - 1.1.2. Penetrometre,
 - 1.1.3. Doku Analizcisi,
 - 1.1.4. Q-test,
 - 1.1.5. Bloom Gelometer,
 - 1.1.6. Genel Gıda Tekstürometresi
 - 1.1.7. Wheat Institute Chomper
- 1.2. Çirişlenme özellikleri
 - 1.2.1. Brabender Visko Amilograf,
 - 1.2.2. Rapid Visko Analyzer

2. Termal Analizler

- 2.1. TMA (Termomekaniksel Analiz)
- 2.2. TGA (Termal Gravimetrik Analiz)
- 2.3. DMA (Dinamiksel Mekanik Analiz)
- 2.4. DTA (Diferansiyel Termal Analiz)
- 2.5. DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetri)

3. Infrared Spektroskopisi
 - 3.1. NIRS (Near-Infrared Spektroskopisi)
 - 3.2. FTIR (Fourier Transform Infrared)
4. NMR Spektroskopisi
5. X-ışını Kırınım (X-ray Diffraction)
6. İletkenlik (Kondüktans ve Kapasitans)
7. Mikroskopi
 - 7.1. İletilmiş (Transmitted) ve Polarize Işık Mikroskopileri
 - 7.2. CLSM (Aynı Odaklı Lazer Tarama Mikroskopisi)
 - 7.3. Elektron Mikroskopisi:
8. Amiloz ve Amilopektin Çözünürlüğü
9. Duyusal Testler

Bayatlamının mekanizması çok karmaşık olduğu ve hâlâ tam manasıyla çözülemediği için bu analizlerden elde edilen veriler tek başına bayatlamayı tanımlamada yetersiz kalabilmektedir. Çoğunlukla kullanılan metotlar, sertlik ölçümleri, DSC ve X-ışını analizleridir.

Bayatlama prosesini saran gizemden dolayı bayatlamının ölçülmesi ve/veya bayatlamaya eşlik eden değişimlerin araştırılması için çeşitli metotlar çalışılmaktadır. Herz (16) bayatlamayla ilişkili olarak ekmek içi özelliklerinde birçok değişim kaydetmiştir. Bu değişimler kabuk neminde, ufalanmada, nişasta kristalizasyonunda, opaklık ve sıklıkta artış; lezzet kaybı; ekmek içi neminde, çözünür nişastada ve ekmek içinin hidrasyon kapasitesinde düşüşü kapsamaktadır (17). Bayatlamının derecesini tanımlayacak veya ölçecek tek bir metot olmadığı açıktır (9). Ekmek bayatlamasını ölçmek için kullanılan metotların çoğu, nişasta retrogradasyonunun boyutunu belirlemede kullanılan prensiplere dayanmaktadır. Nişasta retrogradasyonunu ölçme metotları Karim ve ark. (18) tarafından yayınlanmıştır.

1. Reolojik Metotlar

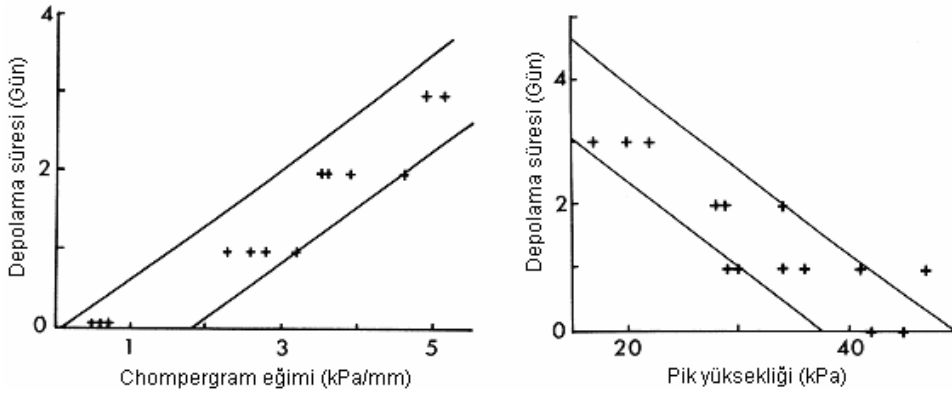
Tek Eksenli Sıkıştırma

Ekmek bayatlarırken ekmek içinin yapısı nispeten yumuşak, süngerimsi yapıdan sert ve kolay ufalanabilir bir hale dönüşür. Bundan dolayı, ekmeğin sertlik miktarını ölçmek için birçok sıkıştırılabilirlik metodu geliştirilmiştir. Bunlar tüketici kabul edilebilirliğiyle ölçülen ekmek bayatlamasıyla yüksek bir ilgileşim (korelasyon) göstermiştir. Bundan dolayı, sıkıştırılabilirlik metotları ekmeğin bayatlama derecesini ölçmede en yaygın kullanılan metotlardır. Araştırmaların çoğunda kullanılan sıkıştırılabilirlik metotlarından ve bayatlamının ölçülmesi için AACC'nin onayladığı 3 prosedürün ikisi AACC Metot 74–10A (19), uniform sıkıştırmayı garantilemek için bir piston kullanımı yoluyla uygulanan gücü saptayan bir Baker's Compressimeter ile birlikte ekmek içi sertliğindeki değişimleri ölçmektedir. AACC Metot 74–09 (19), beyaz tava ekmeği içinin sertliğinin derecesini saptamak için Instron evrensel test makinesi kullanılmaktadır. Baker ve ark. (20), %25'lik bir sıkıştırma derinliğinin (AACC Metot 74–09'da belirtildiği gibi) ekmek sertliğindeki bayatlamadan kaynaklanan önemli değişimleri belirlemek için en etkili metot olduğunu onaylamışlardır. Sıkıştırma oranı lineer olduğu ve böylece güç-zaman ilişkileri direkt olarak güç-sıkıştırma kürvelerine çevrilebildiği için Instron tipi sistemler Baker's Compressimeter'den daha avantajlıdır. Burada en önemli nokta; sıkıştırılabilirlik olarak ölçülen sertlik ve bayatlama derecesinin duyusal olarak değerlendirilmesi arasında 0.98'lik bir ilişki katsayısının bulunmuş olmasıdır (21).

Penetrometre, Doku Analizcisi, Q-Test, Wheat Research Institute Chomper, Bloom Gelometer ve General Foods Texturometer gibi sıkıştırılabilirliği ölçen diğer cihazlar da ekmek bayatlamasının boyutunu ölçmede kullanılabilir. Ekmeğin tazelik algısını veren ve ekmek içi dokusal özelliklerinin bir yansıması olan sıkıştırma testleri oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır (21).

Kotancılar ve ark. (22), yapmış oldukları bir araştırmada geleneksel yöntemle üretilen Trabzon Vakkıkebir ekmeği modifiye edilerek beyaz tava ekmeği olarak laboratuvar şartlarında üretmişlerdir. Fermentasyon süresi ve ilave edilen ekşi hamur katkısı artırıldıkça; PNR 10 Penetrometre cihazı ile ölçülen ekmeğin yumuşaklığında artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Baruch ve Atkins (23), ekmeğin bayatlamasını inceledikleri çalışmada buğday enstitüsü çığneyicisi (Wheat Institute Chomper) cihazını kullanmışlardır. Bu cihazın vermiş olduğu dinamik gerilme-germe (stress-strain) kurvelerini (chompergram) değerlendirerek sertlik gelişimini gözlemlemişlerdir. Kurvenin pik yüksekliğinin ekmeğin içindeki gluten matrisinin kuvveti, başlangıç eğiminin ise ekmeğin içinin esnekliği hakkında bilgi verdiğini belirtmişler ve depolama ile birlikte eğiminin yükseldiğini ve pik yüksekliğinin düştüğünü saptamışlardır (Şekil 2).



Şekil 2. Depolama süresine karşılık eğim ve pik yüksekliği değerlerine ait eğriler (23).

Doku Analizi (Texture Analyzer)

Ekmeğin dilimi yüzeylerinin reolojik özelliklerini nitelendirmek için Dinamometrik metotlar geliştirilmektedir (24). Instron Evrensel Test Makinesi gibi cihazlarla belirlenen sıkıştırıcı gerilme-germe (stress-strain) ilişkilerinin çalışma sonuçlarından, lineer olan kurvenin ilk bölümünün eğiminden Young'ın zorlanım katsayısı (E) belirlenebilir. Baruch ve Atkins (23), bir dinamik gerilme-germe küresinde (bayatlama süreciyle birlikte) ekmeğin içinin esnekliğinin bir ölçüsü olan başlangıç eğiminin arttığını ve gluten ağının kuvvetinin bir göstergesi olan pik yüksekliğinin azaldığını bulmuşlardır. Gerilme-germe sonuçları Schiraldi ve ark. (25) tarafından yapılan termal analizlerin sonuçlarıyla korelasyon göstermiştir. Ekmeğin ve ekmeğin içinin bayatlamasının mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler detaylı olarak incelenmektedir (21).

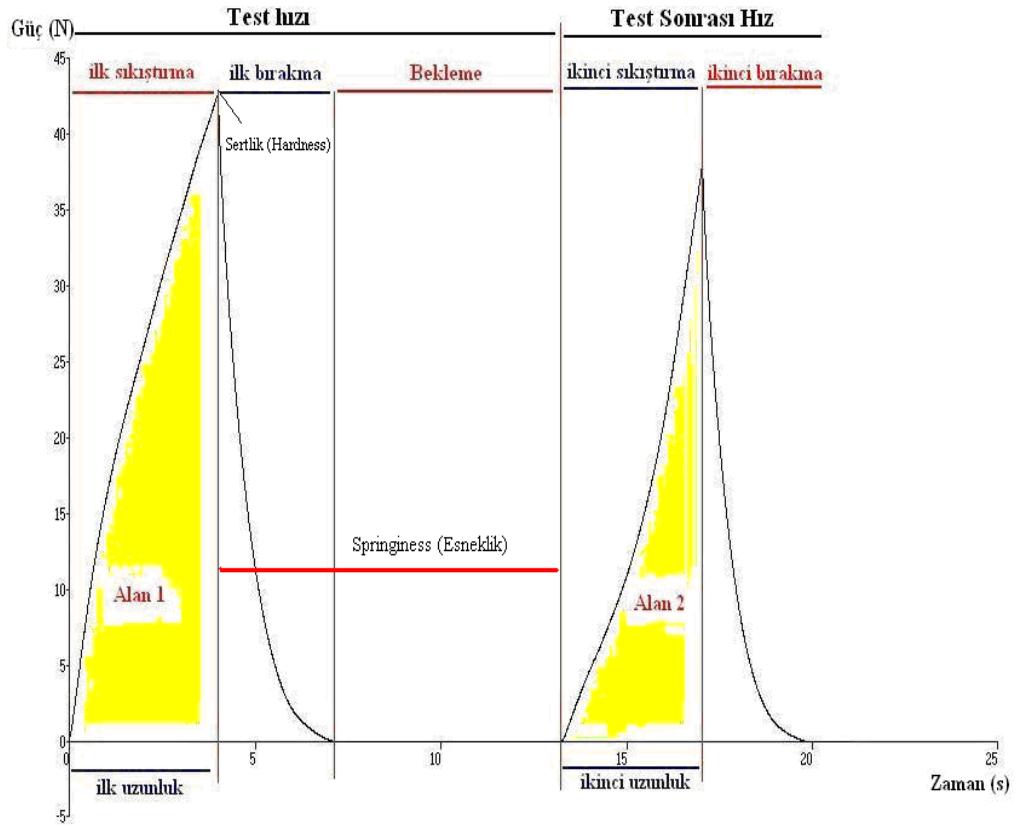
Carr ve Tadini (26) kısmen pişirilmiş dondurulmuş ekmeğin fiziksel ve dokusal özellikleri üzerine maya ve bitkisel şorteninglerin etkisini araştırdıkları çalışmalarında, doku analizi için TA-XT2i cihazını kullanmışlardır. Dört haftalık depolama periyodu esnasında elde ettikleri sonuçlar ışığında, bütün formülasyonlar için geçerli olmak üzere, esneklik ve yapışkanlık önemli düzeyde değişmezken sertlik ve çığnenme değerlerinin arttığını belirtmişlerdir. Şorteninglerin yumuşatıcı etkilerinden ötürü şortening katkılı ekmeğin daha düşük sertlik ve çığnenme değerlerine sahip olduğunu söylemişlerdir.

Çizelge 1'de TPA grafiğinden elde edilen doku parametrelerinin fiziksel ve duyusal tanımlamaları verilmiştir. Çizdirilen TPA kurvesinden (Şekil 3) yola çıkılarak bu doku parametreleri şu şekilde hesaplanmıştır:

- **Sertlik**: ilk sıkıştırma çevrimi esnasında pik gücü (birinci eğrinin yüksekliği), (N).
- **Yapışkanlık**: her iki çevrim için de sıkıştırmanın olmadığı alanlar hariç, ikinci sıkıştırma anındaki pozitif güç alanının birinci sıkıştırmadaki alana oranıdır (Alan 2/Alan 1).
- **Esneklik**: birinci sıkıştırmanın sonu ile ikinci sıkıştırmanın başı arasındaki yükseklik farkı olup ne kadarlık bir geri gelmenin olduğunu göstermektedir, (mm).
- **Çığnenme**: sertlik _ yapışkanlık _ esneklik'ten elde edilen işitir, (J).
- **Sakızimsılık**: sertlik x yapışkanlık işleminin sonucu elde edilmiştir, (N).

Çizelge 1. Mekaniksel doku parametrelerinin fiziksel ve duyuşsal tanımlamaları (26).

Parametre	Fiziksel tanım	Duyusal tanım
Sertlik (Firmness)	Deformasyon için gerekli olan güç	Ön dişler arasındaki maddeyi sıkıştırmak için gerekli olan güç
Esneklik (Springiness)	Deforme eden gücün ortadan kalkmasıyla birlikte materyalin deforme olmamış haline dönme oranı	Azı dişleriyle kısmi olarak sıkıştırılan maddenin orijinal yüksekliğine dönme oranı ve hızı
Yapışkanlık (Cohesiveness)	İç bağların dayanma gücü	Madde ısırılırken, kopmadan önceki deformasyon miktarı
Çiğnenme (Chewiness)	Katı yiyeceği parçalara ayırıp yutma durumuna getirmek için gerekli olan enerji	Maddenin yutmaya hazır hale gelinceye kadar gerekli olan çiğneme sayısı ve bir saniyedeki çiğneme sayısı ve gücü



Şekil 3. Örnek bir TPA kurvesi (27).

Meksika'ya özgü mısır ekmeğinde (Tortilla) doku analizi kullanılarak yapılan bir çalışmada ekmeğin sertliğinin ilk 24 saat içinde hızla arttığı daha sonra bu artışın yavaşlayan bir oranda yükselmeye devam ettiği tespit edilmiştir (28).

Çirişlenme Özellikleri

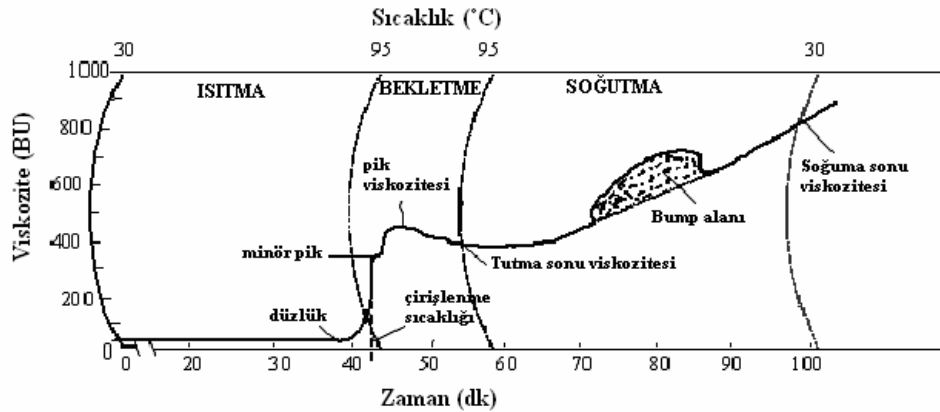
Niştasta retrogradasyonunun ekmeğin bayatlamasında önemli bir rol oynadığı hipotezi altında, ekmeğin içi bulamacılarında niştasta jelatinizasyonunun boyutunu ölçmek için Brabender Visko Amilograf, Rapid Visko Analizer ve ilgili cihazlar kullanılmaktadır. Bayatlama süresince kısmen jelatinize niştasta granülleri üzerine sertleştirici bir etkiden dolayı yaşlanmayla birlikte pik viskozitesinin düşeceği düşünüldüğü için, pik viskozitesindeki değişimlerin bayatlamının bir göstergesi olduğuna işaret edilmiştir. Ekmeğin içinin 1-cm ve 2-cm dış kısımlarının merkez kısmından daha düşük bir pik viskozitesi gösterdiği sonucuna dayanarak, ekmeğin içi merkezindeki niştasta granüllerinin ekmeğin içi dış kısmındakilerden daha az jelatinize olduğu sonucuna varılmıştır. Varriano-Marston ve ark. (29), amilograf bilgisinde Yasunaga ve ark. (30) ile aynı fikirde olmalarına rağmen amilografın fırın ürünlerindeki kesin niştasta şişme derecesine etki etmediği sonucuna varmışlardır. Ama bundan ziyade amilograf, tüm makromoleküllerin ekmeğin bulamacısının viskozitesine toplam katkısını gösterir. Toufeili ve ark. (31), bayatlama arttıkça Arap ekmeğinden yapılan çirişlerin viskoelastik katılardan ($G'' < G'$) elastoviskoz sıvılara ($G'' > G'$) dönüştüğünü bulmuşlardır (21).

Banecki (32) yaptığı amilograf çalışmalarında buğday ekmeğinden izole edilen niştastaların pik viskozitesinin ilk 24 saat içerisinde hızlı bir şekilde düştüğünü ve daha sonra bu düşüşün daha az belirginlikte devam ettiğini belirtmiştir. Viskozite değişimlerinin gidişatı sertlik kürveleri ve niştasta kristalizasyonu ile ilgili diğer ölçümlere benzemektedir (33, 34, 35).

Karaoğlu (36) pişirme prosedürü ve depolamanın kısmen pişirilmiş ve yeniden pişirilmiş beyaz tava ekmeğinin içlerinin çirişlenme özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Tekrar pişirilmiş ekmeğelerde, ilk pişirme süresinin uzatılmasının çirişlenme sıcaklığı ve yumuşaklık değerinde bir düşüşle, ikinci pik (bump) alanı ve viskozitede bir artışla sonuçlandığını belirtmiştir. Depolama zamanının artışıyla birlikte pik viskozitesi, tutma sonu viskozitesi ve soğuma sonu viskozitesinde bir azalma olduğunu rapor etmiştir.

Ekmeğin içi çirişlenme özelliklerinin belirlenmesinde soğuma esnasında meydana gelen ikinci pik alanı amiloz-lipid kompleksi oluşumu ile yakından ilgilidir; ekmeğin içi yumuşaklığını artıran şartların ikinci pik alanını da artırdığı bildirilmektedir (37).

Şekil 4'de Brabender Visko Amilograf cihazı kullanılarak çizdirilmiş, ekmeğin içi bulamacısına ait bir amilogram ve bu amilogram üzerindeki değerlendirmeler görülmektedir.



Şekil 4. Ekmeğin içi çirişlenme özelliklerini belirlemede kullanılan Brabender Visko Amilograf cihazında çizdirilen tipik bir amilogram kurvesi ve değerlendirilmesi (36).

2. Termal Analizler

Örneğe ait fiziksel özelliğın sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü ve/veya tepkime esnasında absorplanan ya da açığa çıkan ısının izlendiği analiz yöntemlerine "termal analiz" denilmektedir. Bu yöntemlerin en çok kullanılanları termogravimetri (TG), diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) dir (38).

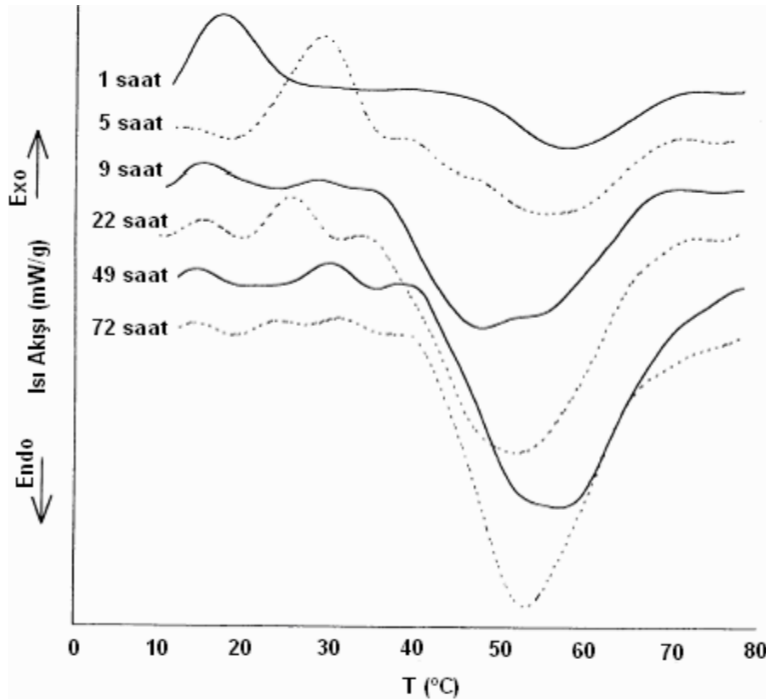
Termal analizler hem ekme bayatlamasını hem de nişasta retrogradasyonunu çalışmada geniş ölçüde kullanılmaktadır (21, 39, 40).

DSC (Diferansiyel taramalı kalorimetri) DTA ile benzerdir. Her ikisi de faz geçişleri, konformasyonel değişimler gibi bazı değişimleri izlemede kullanılabilir. Ekme bayatlamasının boyutunu kantitatif (nicel) olarak ölçmede sıklıkla DSC kullanılmaktadır. Termo analitik metotlardan Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve Diferansiyel termal analiz (DTA) nişasta retrogradasyonu üzerine temel bilgi sağlamada en kullanışlı oldukları kanıtlanmıştır (18).

Zamanın bir fonksiyonu olarak bir örneğe karşılık referans bir maddeden akan ya da geçen diferansiyel sıcaklık ya da ısıyı ölçtüklerinden dolayı; her ikisi de faz geçişleri, moleküler konformasyonel değişimler, diğer bileşenlerle olan interaksyonlar ve örneğin pirolitik bozulması gibi bazı değişimleri izlemede kullanılabilirler. Özelleştirilmiş DSC cihazları (ayarlanmış DSC ve polarizasyon DSC) da mevcuttur (41).

DSC ölçümleri sonucunda depolama süresinin uzamasıyla birlikte retrogradasyon sıcaklığında ve amilopektinin erimesi için gerekli toplam entalpide bir artış olduğu bildirilmektedir (4, 10, 42, 43, 44). Bayatlamayla birlikte endotermik pikin altındaki alan artar. Bu alan amilopektin kristallerinin erimesiyle ilişkilidir ve nişasta retrogradasyonunu ölçmede güvenilirdir (25). Şekil 5'de bayatlamayla birlikte DSC kurvesinde meydana gelen entalpi değişimi görülmektedir.

Depolanmış ekme örnekleri DSC kapları içerisinde ısıtıldıkları zaman, retrograde olmuş amilopektinin camı geçiş ve/veya erime sıcaklığına ulaşmasında bir endoterm gözlenir ve bu geçişle ilişkili olan entalpi değişimi ölçülebilmektedir. Endoterm gelişimi ve ekme içinin sertliğindeki artış için zaman skalaları büyüklük bakımından geniş ölçüde benzer olduğundan dolayı, ekme bayatlamasının boyutunu nicel olarak ölçmede DSC kullanılabilir (45). Bununla birlikte, analizde zorluğa neden olan bileşenlerin çeşitliliği ve yapıların alanı sebebiyle geniş bir sıcaklık sahası üzerinde üst üste binen geçişler olmaktadır (46).



Şekil 5. Farklı depolama zamanlarında ekme örneklerinin DSC kurveleri (25).

Zeleznaek ve Hosenev (47), depolama ve jelatinizasyon esnasında ayarlanan su düzeyinin nişastanın rekristalizasyonu üzerine etkilerini incelemiş ve rekristalizasyon derecesini Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) ile ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, ekmeek örnekleri ve nişasta jelleri arasında rekristalizasyonun üzerine nemin etkisinde önemli derecede fark olmadığını görmüşlerdir.

Ekmeek bayatlamasını araştırmak için Axford ve Colwell (48) tarafından DTA kullanılmıştır (21). Taze ekmeek örneklerinde mevcut olmayıp depolama esnasında gelişen bir endoterm piki ve pik alanındaki artışlar ekmeek sertliğindeki artışlar ile orantılı çıkmıştır. Farklı sürelerde depolanan ekmeek içinin camısı geçiş sıcaklığındaki artışın (Tg) sıkıştırma analiziyle ölçülen ekmeek bayatlamasının derecesindeki artış ile korelasyon göstermesi sebebiyle, bayatlamının derecesini tahmin etmede depolama süresince Tg ölçümlerinin kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (45). Fearn ve Russell (49) Sıkıştırılabilirlik ölçümlerinden farklı olarak, endoterm piki gelişimi spesifik somun hacmine bağımlılık göstermediği bildirilmiştir (21).

İzotermal mikrokaloimetre, sıradan DSC'den çok daha fazla duyarlı ve daha büyük örnek boyutlarına ihtiyaç duyan bir tekniktir. Bu teknik nişasta retrogradasyonunun erken safhalarını çalışmada kullanılmış ve bu tekniğin lipid ve surfaktantların antistaling etkilerinin sınanmasında etkili olduğu ispatlanmıştır (18).

Diğer termoanalitik cihazlar termogravimetrik analizler (TGA), termomekaniksel analizler (TMA) ve dinamik mekaniksel analizleri (DMA) içine alır. TGA, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bir örneğin ağırlığındaki değişimleri ölçer. Uçucu hale dönüşme, dehidrasyon ve kimyasal reaksiyonlar gibi olaylar TGA kullanılarak gözlemlenebilirken, eğer ağırlıkta bir değişme meydana gelmezse diğer basit geçişler kaçırılabilir (21, 38). Termogramlardan elde edilebilecek iki önemli bulgu vardır; (i) kütle değişiminin büyüklüğü, (ii) kütle değişiminin meydana geldiği sıcaklık derecesi (38). Schiraldi ve ark. (25), TGA kullanarak, ekmeği ısıtma anında suyun serbest kalmasının iki ana bağlanma durumuyla uyuştuğunu ve bu iki fraksiyonun ekmeğin bayatlamasına bağılı olduğunu bulmuşlardır.

TMA, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak penetrasyon, uzama, genişleme ya da küçülmedeki değişimleri ölçer ve termal genişleme katsayısında bir değişim yapma yoluyla maddenin Tg değerini belirlemede kullanılabilir. Kontrollü bir sıcaklık programına tabi tutulan madde olarak, titreşimsiz (statik) yük altında bir maddenin deformasyonu ölçülür (21).

DMA, (kontrollü bir sıcaklık programına tabi tutulan madde olarak) frekansın ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak titreşimli bir yük altında bir maddenin dinamik modülü ve sönümünü ölçer. DMA'dan; zorlanmış titreşimli ölçümler, dinamik mekaniksel termal analizler (DMTA), dinamik termomekaniksel analizler ve dinamik reoloji olarak da söz edilmektedir. DMA'da, deformasyonun germe yada bükülme modundaki örneğe uygulanan titreşim gerilimi ile oluşan titreşim geriliminin gecikmesi ölçülür. DMA termal geçişleri gözlemlenmede DSC'den 1000 kat daha duyarlıdır (39). DMA; Jagannath ve ark. (50) tarafından mayalanmamış Hint ekmeeklerinin bayatlama profillerini çalışmada, yaşlanmanın ve kurutmanın ekmeğin termal geçişleri üzerine etkisini incelemeye ve hidrokolloidler, pentozanlar ve çözünür proteinlerin ekmeek bayatlaması üzerine etkilerini araştırmada kullanılmıştır.

SONUÇ

Reolojik metotlardan biri olan tek eksende sıkıştırma ve termal analizlerden diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ekmeğin bayatlama derecesini belirlemede en sık kullanılan yöntemlerin başında gelmektedirler. Uygulanışı kolay ve hızlı sonuç veren bir teknik olduğu ve bayatlamayla birlikte ekmeekte meydana gelen değişimlerden tüketici tarafından algılanması en kolay olanı sertlikte meydana geldiği için tek eksende sıkıştırma sıklıkla kullanılan bir tekniktir.

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) tekniği ile ekmeek bayatlamasının boyutu nicel olarak ölçülebildiği için bu teknik, kullanılan termal analiz yöntemleri arasında öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Elgün A, Ertugay Z. 2003. Tahıl İşleme Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Yayınları No:718, s:376.
2. Hug-Iten S, Escher F, Conde-Petit B. 2003. Staling of bread: role of amylose and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes. *Cereal Chem*, 80 (6) 654–661.
3. Short AL, Roberts EA. 1971. Pattern of firmness within a bread loaf. *J. Sci. Food Agric.* 22: 470.
4. Fessas D, Schiraldi A. 1998. Texture and staling of wheat bread crumb: effects of water extractable proteins and pentosans. *Termochimica Acta*, 323: 17–26.
5. He H, Hosene RC. 1990. Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. *Cereal Chem*, 67 (6) 603–605.
6. Ribotta PD, Cuffini S, Leon AE, Anon MC. 2004. The staling of bread: an X-ray diffraction study. *European Food Research and Technology*, 218: 219–223.
7. Ankara Ticaret Odası (ATO) 28.08.2004 tarihli "Ekmekteki Kayıp Ekonomi" raporu. www.atonet.org.tr (03.04.2006).
8. Chen PL, Long Z, Ruan R, Labuza TP. 1997. Nuclear magnetic resonance studies of water mobility in bread during storage. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol*, 30: 178-183.
9. Sidhu JS, Al-Saqer J, Al-Zenki S. 1997. Comparison of methods for assessment of the extent of staling in bread. *Food Chem*, 58: 161–167.
10. Rasmussen PH, Hansen A. 2001. Staling of wheat bread stored in modified atmosphere. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol*, 34: 487-491.
11. Boyacıoğlu H. 1993. Ekmeğin bayatlaması, tanımı, teoriler, tayin yöntemleri ve yavaşlatma yolları. *Unlu Mamuller Dünyası*, 2 (2) 15–18.
12. Boussingault JB. 1852. Experiments to determine the transformation of fresh bread into stale bread. *Ann. Chim. Phys*, 36, 490.
13. Del Nobile MA, Martoriello T, Mocci G, La Notte E. 2003. Modeling the starch retrogradation kinetic of durum wheat bread. *Journal of Food Engineering*, 59: 123–128.
14. Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke WS, Courtin CM, Gebruers K, Delcour JA. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science and Technology*, 16: 12–30.
15. Jagannath JH, Jayaraman KS, Arya SS, Somashekar R. 1998. Differential scanning calorimetry and wide-angle X-ray scattering studies of bread staling. *Journal of Applied Polymer Science*, 67: 1597–1603.
16. Herz KO. 1965. Staling of bread. A review. *Food Technol*, 19: 1828.
17. Martin ML, Zeleznak KJ, Hosene RC. 1991. A mechanism of bread firming.I. Role of starch swelling. *Cereal Chem*, 68 (5) 498–503.
18. Karim AA, Norziah MH, Seow CC. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chem*, 71: 9–36.
19. AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Ed. Vol. II. AACC Methods 74–09, 74-10A and 74–30. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minn.
20. Baker AE, Walker CE, Kemp K. 1988. An optimum compression depth for measuring bread crumb firmness. *Cereal Chem*, 65: 302.
21. Gray JA, Bemiller JN. 2003. Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2: 1–21.
22. Kotancılar HG, Karaoğlu MM, Gerçekaslan KE, Uysal P. 2006. Ekşi Hamur Sisteminin Beyaz Tava Ekmeğinin Bayatlaması Üzerine Etkisi *Ziraat Dergisi*, 37(1) 103-110.
23. Baruch DW, Atkins TD. 1989. Using the wheat research institute chomper to assess crumb flexibility of staling bread. *Cereal Chem*, 66: 59–64.
24. Kulp K, Ponte JG Jr. 1981. Staling of white pan bread: fundamental causes. *CRC Critical Rev. Food Sci. Nutr*, 15: 1.
25. Schiraldi A, Piazza L, Riva M. 1996. Bread staling: a calorimetric approach. *Cereal Chem*, 73: 32.
26. Carr LG, Tadini CC. 2003. Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked French bread. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol*, 36: 609–614.
27. Gerçekaslan KE. 2006. Trabzon Vakkıkebir ekmeğinin bayatlamasının çeşitli yöntemlerle takibi ve Francala ekmeği ile mukayesesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 104 s, Erzurum.
28. Campas-Baypoli ON, Rosas-Burgos EC, Torres-Chavez PI, Ramirez-Wong B, Serna-Saldivar SO. 2002. Pysicochemical changes of starch in maize totillas during storage at room and refrigeration temperatures. *Starch*, 54: 358–363.

29. Varriano-Marston E, Ke V, Huang G, Ponte JG Jr. 1980. Comparison of methods to determine starch gelatinization in bakery foods. *Cereal Chem*, 57: 242.
30. Yasunaga T, Bushuk W, Irvine GN. 1968. Gelatinization of starch during baking. *Cereal Chem*, 45: 269.
31. Toufeili I, Sleiman G, Salman RA, Brockway B. 1994. Effect of staling on viscoelastic properties of pastes prepared from Arabic bread. *J Sci Food Agric*, 64: 271.
32. Banecki H. 1972. Veränderungen der während des Altbackenwerdens des Weizen-und Roggenbrotes enzymetisch isolierten Stärke. *Getreide Mehl Brot*, 26: 6.
33. Kim SK, D'Appolonia BL. 1977. Bread staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties. *Cereal Chem*, 54 (2) 207–215.
34. Morad MM, D'Appolonia, B.L., 1980. Effect of baking procedure and surfactants on the pasting properties of bread crumb. *Cereal Chem*, 57 (4) 239–241.
35. D'Appolonia BL, Morad MM. 1981. Bread staling. *Cereal Chem*, 58 (3) 186–190.
36. Karaoğlu MM. 2006. Effect of baking procedure and storage on the pasting properties and staling of part-baked and rebaked white pan bread crumb. *Int. Journal of Food Properties*. (Baskıda).
37. Karaoğlu MM. 2006. Effect of initial baking and storage time on the pasting properties and aging of part-baked and rebaked rye bread. *Int. Journal of Food Properties*. (Baskıda).
38. Yıldız A, Genç Ö, Bektaş S. 1997. Enstrümental analiz yöntemleri. *Hacettepe Üniversitesi Yayınları*, 273–283.
39. Vodovotz Y, Hallberg L, Chinachoti P. 1996. Effect of aging and drying on thermomechanical properties of white bread as characterized by dynamic mechanical analysis (DMA) and differential scanning calorimetry (DSC). *Cereal Chem*, 73(2) 264–270.
40. Baik MY, Chinachoti P. 2000. Moisture redistribution and phase transitions during bread staling. *Cereal Chem*, 77 (4) 484–488.
41. Schenz TW, Davis EA. 1998. Thermal analysis. In: Neilsen SS, editor. *Food Analysis*, 2nd ed. p 587-98.
42. Sahlström S, Brathen E. 1997. Effects of enzyme preparations for baking, mixing time and resting time on bread quality and bread staling. *Food Chem*, 58: 75-80.
43. Bárcenas ME, Haros M, Benedito C, Rosell CM. 2003. Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Res. Int*, 36: 863–869.
44. Shaikh IM, Ghodke SK, Ananthanarayan L. 2007. Staling of chapatti (Indian unleavened flat bread). *Food Chem*, 101: 113–119.
45. Jagannath JH, Jayaraman KS, Arya SS. 1999. Studies on glass transition temperature during staling of bread containing different monomeric and polymeric additives. *J Appl Polym Sci*, 71: 1147–1152.
46. Vodovotz Y, Baik M, Vittadini E, Chinachoti P. 2001. Instrumental techniques used in bread staling analysis. In: Chinachoti P, Vodovotz Y, editors. *Bread Staling*. New York: CRC Press. p 93–111.
47. Zeleznak KJ, Hosney RC. 1986. The role of water in the retrogradation of wheat starch gels and bread crumb. *Cereal Chem*, 63 (5) 407–411.
48. Axford DWE, Colwell KH. 1967. Thermal investigation of bread staling. *Chem Ind London*, 467
49. Fearn T, Russell PL. 1982. A kinetic study of bread staling by differential calorimetry. The effect of loaf specific volume. *J Sci Food Agric*, 33: 537.
50. Jagannath JH, Jayaraman KS, Arya SS. 1999. Dynamic mechanical thermal analysis of chapati and phulka (Indian unleavened bread). *Food Chem*, 64: 571–576.