

## Isıl İşlem Görmüş İçme Sütlerinde (Pastörize, UHT ve Laktozsuz UHT Süt) Hidroksimetilfurfural İçeriğinin Belirlenmesi

Müge Urgu , Turkuaz Ecem Saatli , Aylin Türk , Nurcan Koca  

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 02.06.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 27.09.2017

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): [nurcan.koca@ege.edu.tr](mailto:nurcan.koca@ege.edu.tr) (N. Koca)

☎ 0 232 311 30 29 📠 0 232 342 75 92

### ÖZ

Isıl işlem uygulaması sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonları (enzimatik olmayan esmerleşme) ürün kalitesi açısından önemlidir. Bu reaksiyonun ara ürünlerinden biri olan hidroksimetilfurfural (HMF), üretim ve depolama aşamasında özellikle sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu çalışmada, piyasadaki farklı yağ oranlarına sahip pastörize ve UHT sütlerin toplam HMF miktarları belirlenmiş ve ayrıca laktozun hidrolize edilmesinin HMF değeri üzerine etkisi saptanmıştır. Bunun yanı sıra, sütlerin bileşim ve renk değerleri de tespit edilmiştir. Toplam HMF değerleri, pastörize süt örneklerinde 1.15-4.78 µmol/L, UHT süt örneklerinde 2.16-12.74 µmol/L, laktozsuz UHT süt örneklerinde ise 27.35-35.73 µmol/L aralığında tespit edilmiştir. Her ne kadar ısı artışı ile HMF değerlerinde artış tespit edilse de, bu değerler HMF içeren birçok gıdaya göre oldukça düşük bulunmuştur. UHT sütlerin yağ içeriğinin artması ile HMF değerlerinde düşük seviyelerde artış gözlenmesine karşın, en yüksek değerler laktozun hidrolize edildiği laktozsuz UHT sütlerde elde edilmiştir. Ayrıca, laktozsuz UHT sütlerin kırmızılık değeri daha yüksek bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** İçme sütü, Hidroksimetilfurfural, Isıl işlem

### Determination of Hydroxymethylfurfural Content of Heat-Treated Milk (Pasteurized, UHT and Lactose-Hydrolysed UHT Milk)

#### ABSTRACT

Maillard reaction (non-enzymatic browning) formed during heat treatment is an important for the quality of foods. Hydroxymethylfurfural (HMF) is an intermediate compound of this reaction and can be changed with temperature during production and storage in dairy products. In this study, the HMF levels of pasteurized and UHT milks with different fat contents were determined. In addition to the effect of hydrolysis of lactose on HMF contents, the composition and colour values of milk samples were also determined. Total HMF values varied from 1.15 to 4.78 µmol/L in pasteurized milk, 2.16 to 12.74 µmol/L in UHT milk and 27.35 to 35.73 µmol/L in lactose hydrolysed milk. Although increase in heat intensity resulted in an increase in HMF values, levels were still lower than those in other food products. HMF values of UHT milk slightly increased with an increase in milk fat. The highest level was obtained in lactose hydrolysed UHT milk. Moreover, the redness values of lactose hydrolysed UHT milks were high.

**Keywords:** Milk, Hydroxymethylfurfural, Heat treatment

### GİRİŞ

İçme sütleri, çiğ sütlerin mikrobiyolojik açıdan güvenilir hale getirilmesi amacıyla ısı işlem uygulamalarına tabi

tutulmaktadır. Nitekim Türk Gıda Kodeksi, Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği'ne göre ısı işlem görmüş içme sütü; pastörizasyon, UHT veya

sterilizasyon işlemlerinden biriyle ısı işlem yaparak tüketiciye sunulan süt olarak tanımlanmaktadır [1].

Isıl işlem uygulamaları sütün yapısında kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlara neden olarak özellikle protein, karbonhidrat ve vitaminler başta olmak üzere bileşiminde birtakım farklılıkların oluşmasına yol açmakla birlikte besinsel kalite ile duyu özellikleri değiştirebilmektedir [2; 3]. Isıl işlem uygulamaları ile ortaya çıkan reaksiyonların başında proteinlerin serbest amino grupları ile indirgen şekerlerin serbest aldehit grupları arasında gerçekleşen enzimatik olmayan Maillard reaksiyonu gelmektedir [4; 5; 6]. Maillard reaksiyonu mekanizması oldukça kompleks olmakla birlikte temel olarak başlangıç, ileri ve son aşamadan oluşmaktadır [7]. Sütte Maillard reaksiyonunun başlangıç aşamasında, indirgen şeker olan laktoz ile lizin arasında kondensasyon reaksiyonu Schiff bazı oluşmakta ve daha sonra Amadori yeniden düzenlenmesi ile Amadori ürünü olarak bilinen laktulosillisin ortaya çıkmaktadır [6]. Tepkimenin ileri aşamasında, oluşan Amadori ürününün parçalanması ile furfural veya hidroksimetilfurfural (HMF), fizyon ürünleri (asetol, diasetil, pirüvaldehit vb.), redüktonlar, dehidroredüktonlar, aldehitler, aldoller ve N içermeyen polimerler esterler gibi birçok bileşik pH'ya bağlı olarak oluşmaktadır. Reaksiyonun son aşamasında ise, ortaya çıkan bu bileşiklerin kahverengi azotlu polimerler ve kopolimerlere (melanoidinlere) dönüşümü gerçekleşmektedir [8]. Reaksiyon sonucunda reaksiyona katılan yarıyapılı lizin miktarında azalma, protein polimerizasyonu, lezzet bileşenleri ve mutajenik, antioksidatif ve antikarsinojenik bileşenler oluşmaktadır. Reaksiyonun derecesi ise ısı işlem indikatörleriyle belirlenebilmektedir; bu amaçla reaksiyonun ilk aşamasında ortaya çıkabilen furososin ve karboksimetillisin, laktozun izomerizasyonu ile oluşan laktuloz ve ileri aşamada oluşabilen hidroksimetilfurfural ısı işlem indikatörleri olarak kullanılabilir [6]. Reaksiyon sonucunda oluşan ürünlerin hem çeşitliliği hem de karmaşık yapıya sahip olması bu konu üzerine yapılan çalışmaların artmasına yol açmıştır [6, 8, 9].

Isıl işlem uygulanan sütlerde Maillard reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan ara ürünlerden biri olan HMF, sütlere uygulanan ısı işlem şiddetinin ve kalitenin belirlenmesinde kullanılmaktadır [6, 10]. HMF miktarı; süte uygulanan ısı işlemin yoğunluğuna, sütün bileşimine ve depolama koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Nitekim Morales ve ark. [11] tarafından, ısı işlem yoğunluğunun artmasıyla birlikte HMF değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. HMF değerleri, düşükten yükseğe doğru pastörizasyon, direkt UHT işlemi, indirekt UHT işlemi ve klasik sterilizasyon işlemi uygulanan sütler olarak sıralanmıştır. Benzer şekilde, Akalın ve Göncü [12] tarafından yapılan çalışmada indirekt UHT işlemine tabi tutulan sütlerde HMF oranı direkt UHT işlemi uygulanan sütlere göre daha yüksek bulunmuştur. HMF tayininde, basit ve düşük maliyetli olması sebebiyle sıklıkla kolorimetrik yöntem kullanılmaktadır. Ancak, kromatografik (RP-HPLC) yöntemin daha kesin sonuç verdiği belirtilmiştir. Morales ve ark. [13], süte uygulanan ısı işlemle oluşan HMF miktarını kromatografik ve kolorimetrik yöntemler

ile ölçerek yöntem kıyaslaması yapmışlardır. Çalışma sonucunda, kolorimetrik yöntem ile elde edilen HMF değerlerinin, kromatografik yöntemle kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu fark, kolorimetrik yöntemde TBA'nın HMF yanı sıra, özellikle aldehitlerle de reaktivite gösterebilmesine bağlanmıştır. Buna karşın, iki yöntemde de örnekler arasındaki artış ve azalış eğilimleri benzer bulunmuştur. Ayrıca, pastörize ve UHT sütlerde metotlar arasındaki fark daha az bulunmuş ve şişede sterilizasyonda yani daha uzun süreli yüksek ısı işlemde farkın belirginleştiği vurgulanmıştır.

Sütte Maillard reaksiyonunu, ısı işlem derecesinin yanı sıra reaksiyona giren şeker kompozisyonu da etkilemektedir. Monosakkaritler ve indirgen disakkaritler reaksiyona girmekle birlikte, monosakkaritlerin disakkaritlere kıyasla daha hızlı reaksiyona girdiği bildirilmiştir [14, 15]. Laktozsuz sütlere laktozun enzimatik hidrolize uğrayarak glikoz ve galaktoza dönüşmesi, aminlerle (proteine bağlı lizin ve diğer NH-uçları) daha yüksek reaktivite göstermesine yol açarak Maillard reaksiyonu için daha uygun bir ortam oluşturmaktadır [16, 17]. Ayrıca, laktozsuz sütlere ilave edilen laktaz enziminin de proteolitik aktiviteler gibi istenmeyen uç aktiviteler ile serbest aminoasit miktarında artışa neden olarak reaksiyonu etkilediği bildirilmiştir [16]. Literatürde ısı işlem görmüş sütlerin HMF oranlarına dair kısıtlı sayıda çalışma bulunmakla birlikte, laktozsuz sütlerin HMF değerlerine ilişkin bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ancak, laktozun hidrolizasyonu ile ortaya çıkan indirgen şekerlerin Maillard reaksiyonunu hızlandırdığı, diğer ısı işlem indikatörleri olan laktuloz ve furososin miktarları belirlenerek ortaya konulmuştur [16, 18-20].

Isıl işlem sonucunda ortaya çıkan ürünlere süt yağının etkisi ise birçok araştırmacı tarafından çalışılmasına rağmen netlik kazanmamıştır. Claeys ve ark. [21] ve Berg [22] tarafından, süt yağının ısı işlem uygulaması sonucunda ortaya çıkan ürünler üzerine etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Buna karşın, Pellegrino [23] tarafından, ısı işlem sırasında süt yağının ısı transferini azaltarak bileşenler üzerinde koruyucu etki yarattığı ifade edilmiştir. Diğer taraftan, yüksek ısı işlem sırasında oluşan lipid degradasyon ürünlerinin Maillard reaksiyonuna katkıda bulunabileceği de belirtilmiştir [24-26].

Ülkemizde ısı işlem görmüş içme sütü üretimi artmakta ve her yıl sektöre yeni firmalar katılmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, ülkemizde satışa sunulan ısı işlem görmüş sütlerin son yıllardaki durumunu ortaya koymak amacıyla farklı firmalar tarafından satışa sunulan pastörize ve UHT sütlerin toplam HMF değerleri belirlenmiştir. Bununla birlikte, piyasada UHT sütler farklı yağ oranlarında ve laktozsuz formda (laktoz hidrolize) bulunmaktadır. Dolayısıyla, çalışma içerisinde yağ oranının ve laktozun hidrolize edilmesinin, UHT sütün HMF değeri üzerine etkisi de araştırılmıştır.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

Çalışmada İzmir'de bulunan büyük marketlerden sağlanan, farklı firmalara ait inek sütü kullanılarak üretilmiş içme sütleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, 6 adet pastörize süt örneği (1 adet tam yağlı, 5 adet yağlı) ve 29 adet UHT süt örneği (14 adet yağlı, 11 adet yarım yağlı, 4 adet yağsız) ve 2 adet laktozsuz UHT süt örneği (yarım yağlı) satın alınmıştır. Süt örnekleri 2016 yılının Nisan ayında büyük marketlerden birbirine yakın tarihlerde üretilmiş olmasına dikkat edilerek her marka için 2 örnek olacak şekilde toplanmıştır. UHT sütlerin yaklaşık depolama sürecinin (oda sıcaklığı) birinci ayında, pastörize sütlerin ise depolamanın (buzdolabı koşulları) birinci gününde olmasına dikkat edilmiştir. Örnekler analizler süresince 4°C'de saklanmıştır.

### Metot

#### Kimyasal Analizler

Süt örneklerinin kurumadde ve kül oranları gravimetrik yöntemle, yağ oranı Gerber yöntemiyle, protein miktarı Kjeldahl yöntemiyle, asitlik değeri % laktik asit cinsinden titrasyon yöntemiyle TS 1018'e göre belirlenmiştir [27]. Karbonhidrat miktarı hesaplama yöntemiyle tespit edilmiştir. pH değeri pH metre (pH 320, WTW, 82362 Weilheim, Almanya) ile, yoğunluk değeri ise laktodansimetre kullanılarak saptanmıştır.

#### Toplam HMF Analizi

Süt örneklerinin toplam HMF miktarı, Keeney ve Bassette [28] tarafından tanımlanan spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Süt örnekleri çalkalanıp homojen hale getirildikten sonra 10 mL alınarak üzerine 5 mL oksalik asit (0.3N) ilave edilmiştir. Hazırlanan örnekler vorteks ile karıştırıldıktan sonra bir saat süre ile su banyosunda (WNB 14, Memmert, Schwabach, Almanya) bekletilmiştir. Su banyosundan alınan örnekler oda sıcaklığına gelene kadar soğutulduktan sonra 5 mL %40'lık trikloroasetik asit (TCA) çözeltisi ilave edilmiş ve Whatman No.42 filtre kağıdı kullanılarak süzülür. Filtrattan 4 mL alınarak üzerine 1 mL 0.05 M tiyobarbitürik asit (TBA) çözeltisi eklenmiştir. Ardından örnekler 40°C'lik su banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra 443 nm'de ( $A_{443}$ ) absorbansları spektrofotometre (Varian, Cary 50 Bio UV-Visible Spectrophotometer, Palo Alto, CA) ile ölçülmüştür. HMF değerleri aşağıdaki eşitlik (1) ile hesaplanmış ve sonuçlar  $\mu\text{mol/L}$  olarak ifade edilmiştir:

$$\text{HMF değeri } (\mu\text{mol/L}) = (A_{443} - 0.055) \times 87.5 \quad (1)$$

### Renk Değerlerinin Belirlenmesi

Süt örneklerinin renk ölçümü Hunter renk ölçüm cihazı (CFLX 45-2 Model Colorimeter, HunterLab, Reston, VA) ile gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek ölçümden önce homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra  $L$  (parlaklık),  $a$  (yeşillik/kırmızılık), ve  $b$  (mavilik/sarıklık) değerleri belirlenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen renk değerlerinden renk değişimi ( $\Delta E$ , referans olarak 1 numaralı pastörize tam yağlı süt örneği kullanılmıştır), kroma ve esmerleşme indeksi (BI) değerleri aşağıdaki eşitlikler (2), (3) ve (4) ile hesaplanmıştır [29].

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (2)$$

$$\text{Kroma} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3)$$

$$\text{BI} = \frac{100 \times \left[ \frac{(a+1.75 \times L)}{(5.645 \times L + a - 3.012 \times b)} - 0.31 \right]}{0.17} \quad (4)$$

### İstatistiksel Değerlendirme

İncelenen örneklerin istatistiksel değerlendirmesi için SPSS istatistik paket programı (SPSS ver. 20, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) kullanılmıştır. Örnekler arasındaki farklılıkların önemi tek yönlü varyans analizi ile saptanmış, %95 güven aralığına göre örnekler Duncan testi ile gruplanmıştır. Örneklerin HMF miktarları ile pH ve renk değerleri arasındaki ilişkiyi saptamak amacıyla Pearson korelasyon testi uygulanmıştır.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

### İçme Sütü Örneklerinin Kimyasal Bileşimi

İncelenen toplam 37 adet pastörize ve UHT süt örneklerinin bileşimleri, titrasyon asitlikleri ile yoğunluk değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Örneklerin kurumadde içerikleri %8.98-12.21, protein içerikleri %2.8-3.0 aralığında değişmektedir. Yapılan çalışmada süt örneklerinin laktik asit cinsinden titrasyon asitliğinin %0.125-0.152, pH değerinin 6.56-6.73 ve yoğunluk değerinin 1.031-1.034 g/mL aralığında değiştiği saptanmıştır. Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliğinde [1] pastörize ve UHT sütlerin bileşimlerine yönelik yağ oranları dışında bir değer verilmemekle birlikte kullanılacak çiğ inek sütünün içermesi gereken protein miktarının en az %2.8 ile yoğunluk değerinin 1.028 g/mL olması gerektiği belirtilmiştir. Bu durumda örneklerin protein ve yoğunluk değerlerinin uygun olduğu saptanmıştır. Aynı tebliğde en az %3.5 yağ içeren içme sütleri tam yağlı, %3.0 yağ içerenler yağlı, %1.5 yağ içerenler yarım yağlı ve %0.15'ten az yağ içerenler ise yağsız sınıfına dahil edilmiştir. Değerler incelendiğinde süt örneklerinin yağ içeriklerinin de yasal sınırlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Pastörize ve UHT süt örneklerinin bileşimi (ortalama  $\pm$  standart sapma)

Numune	Yağ (%)	KM (%)	Protein (%)	Kül (%)	Karbonhidrat (%)	Asitlik <sup>1</sup> (%)	pH	Yoğunluk (g/mL)
P-TY (n=2)	3.6 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	12.21 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	2.9 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.65 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	5.13 $\pm$ 0.00 <sup>ab</sup>	0.152 $\pm$ 0.003 <sup>a</sup>	6.70 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	1.032 $\pm$ 0.000 <sup>b</sup>
P-Y (n=10)	3.1 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	11.17 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	2.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.68 $\pm$ 0.03 <sup>bc</sup>	4.70 $\pm$ 0.21 <sup>c</sup>	0.133 $\pm$ 0.009 <sup>b</sup>	6.73 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	1.030 $\pm$ 0.001 <sup>c</sup>
UHT-Y (n=28)	3.1 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	11.21 $\pm$ 0.38 <sup>b</sup>	2.8 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	0.68 $\pm$ 0.03 <sup>bc</sup>	4.62 $\pm$ 0.30 <sup>c</sup>	0.126 $\pm$ 0.007 <sup>b</sup>	6.63 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	1.031 $\pm$ 0.001 <sup>c</sup>
UHT-YY (n=22)	1.6 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	9.97 $\pm$ 0.29 <sup>c</sup>	3.0 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	0.69 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	4.77 $\pm$ 0.22 <sup>c</sup>	0.125 $\pm$ 0.005 <sup>b</sup>	6.67 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup>	1.032 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup>
UHT-YS (n=8)	<0.1 <sup>d</sup>	8.98 $\pm$ 0.35 <sup>d</sup>	2.9 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.74 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	5.29 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>	0.131 $\pm$ 0.005 <sup>ab</sup>	6.62 $\pm$ 0.03 <sup>bc</sup>	1.034 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>
L-UHT-YY (n=4)	1.5 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	9.95 $\pm$ 0.31 <sup>c</sup>	2.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.67 $\pm$ 0.01 <sup>bc</sup>	4.94 $\pm$ 0.18 <sup>bc</sup>	0.130 $\pm$ 0.005 <sup>ab</sup>	6.56 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	1.033 $\pm$ 0.001 <sup>ab</sup>

P-TY: Pastörize-Tam Yağlı, P-Y: Pastörize-Yağlı, UHT-Y: UHT-Yağlı, UHT-YY: UHT-Yarım Yağlı, UHT-YS: UHT-Yağsız, L-UHT-YY: Laktozsuz UHT-Yarım Yağlı, <sup>1</sup>: Laktik asit cinsinden. Küçük harfler her bir sütündeki farkı göstermektedir ( $P<0.05$ ).

## İçme Sütü Örneklerinin Hidroksimetilfurfural İçerikleri

Piyasada yer alan farklı markalara ait pastörize ve UHT süt örneklerinin HMF miktarları Tablo 2 ve Şekil 1'de verilmiştir. HMF değerleri pastörize süt örneklerinde 1.15-4.78  $\mu\text{mol/L}$ , UHT süt örneklerinde 2.16-12.74  $\mu\text{mol/L}$ , laktozsuz süt örneklerinde ise 27.35-35.73  $\mu\text{mol/L}$  aralığında tespit edilmiştir. UHT sütlerde pastörize sütlerle kıyasla daha yüksek değerlerin elde edilmesi ısı işlem yoğunluğunun artması ile HMF değerinin arttığını göstermiştir. Benzer şekilde, Morales ve ark. [11]; HMF değerlerinin pastörize sütlerde 2.49  $\mu\text{mol/L}$ , UHT sütlerde 5.6 (direkt) ve 8.7 (indirekt)  $\mu\text{mol/L}$ , şişe sterilizasyonu uygulanmış sterilize sütlerde ise 22  $\mu\text{mol/L}$  olduğunu tespit etmişler ve ısı işlem yoğunluğunun HMF değerleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca ısı işlemin etkileri laktuloz miktarıyla da belirlenmiş ve pastörize sütlerde miktar tespiti yapılamazken, direkt ve indirekt UHT işlemlerinde sırasıyla 12.0 ve 250  $\text{mg/L}$ , sterilize sütlerde ise 1120  $\text{mg/L}$  laktuloz saptamışlardır. Pereda ve ark. [30] tarafından, süte uygulanan ısı işlem yoğunluğunun furosin ve laktuloz üzerindeki etkileri incelenmiş ve pastörize sütlerde en düşük, şişede sterilize edilmiş sütlerde ise en yüksek değerler elde edilmiştir. Ayrıca, süte uygulanan sıcaklığın artmasıyla birlikte maillard reaksiyonuna katılan yarıyaşlı lisin miktarının azaldığı da saptanmıştır [13]. Buna karşın, sütlerle uygulanan ısı işlemlerde tespit edilen bu seviyelerin sağlık riskine ve mutajenik bir etkiye sebep olduğu görülmemiştir [31].

Maillard reaksiyonu her ne kadar ısı işlem ile hızlansa da depolama sırasında da reaksiyon devam ederek HMF miktarı etkilenmektedir. Richards ve ark. [32] tarafından 3 ve 9 ay boyunca depolanan UHT sütlerde toplam HMF değerinin 6.21 değerinden 11.40  $\mu\text{mol/L}$  değerlerine yükseldiği saptanmıştır. Ancak, çalışma kapsamında benzer üretim tarihlerindeki sütler kullanılarak depolama süreci göz ardı edilmiştir.

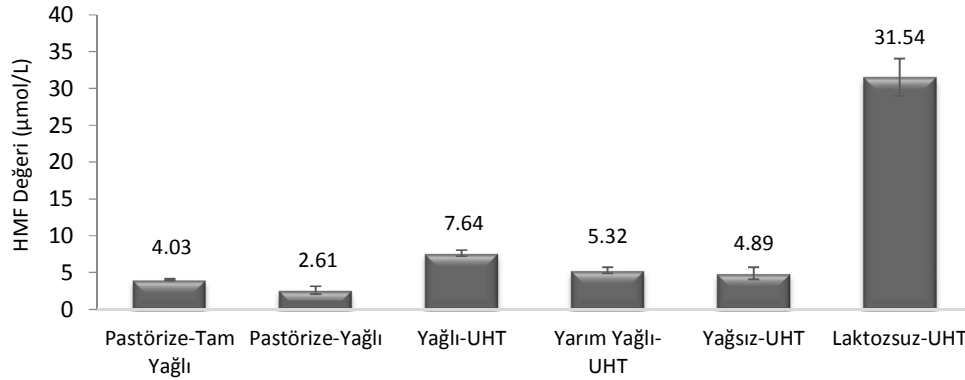
Yağ miktarları ile HMF değerleri arasındaki ilişki sadece UHT süt örneklerinde ele alınmıştır. Pastörize sütlerde tam yağlı örnek sayısının az olması sebebiyle bu anlamda değerlendirilmemiştir. UHT sütlerin ortalama HMF değerleri incelendiğinde yağ içeriğindeki artış ile birlikte, HMF değerlerinin arttığı, ancak bu artışın

istatistiksel anlamda önemli olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum aynı UHT ekipmanının kullanıldığı, yağsız, yarım yağlı ve yağlı örneklerin bulunduğu markalar (Marka 1, 3 ve 11) üzerinden de değerlendirilmiştir (Tablo 2). Aynı ekipmanda üretilen yağsız ve yarım yağlı UHT sütlerin HMF değerleri benzer bulunurken, yağlı UHT sütlerin HMF değerleri daha yüksek bulunmuştur ( $P<0.05$ ). Yarım yağlı ile yağlı UHT örneklerine sahip markalarda da yağlı UHT sütlerin HMF değerleri ise daha yüksek bulunmuştur. Yağ oranının Maillard reaksiyonu ürünleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmalarda farklı görüşler elde edilmiştir. de Koning ve ark. [33] tarafından Maillard reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan ürünlerden biri olan laktuloz miktarının yağ oranı yüksek sütlerde daha fazla olduğu vurgulanmıştır. Morales ve Jiménez-Pérez [4], UHT ve sterilize sütlerde yağ miktarı ile toplam HMF değerlerinin negatif korelasyon gösterdiği, ancak Claeys ve ark [21], yağ oranındaki artışın HMF ve laktuloz değerlerini etkilemediği, furosin değerlerini ise arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmalarda HMF değerleri toplam ve serbest HMF olarak verilebilmektedir. Toplam ve serbest HMF farklı yollardan oluşmaktadır; serbest HMF Amadori ürünü yani laktulosilisinin parçalanması ile oluşurken, toplam HMF asit katalizle hem Amadori ürününden hem de laktulozun ve diğer Maillard ara ürünlerinden oluşabilmektedir [4; 34]. Kromatografik yöntem ile belirlenen toplam ve serbest HMF değerleri üzerine yağın etkisi, süt ve laktoz/kazeinat model sistemlerinde karşılaştırılmış ve toplam HMF miktarında düşüş görüldürken, yağdaki artış serbest HMF oluşumunu süte teşvik etmiştir. Ancak laktoz/kazeinat model sisteminde herhangi bir etki saptanmamıştır [4]. Yaptığımız çalışmada, kolorimetrik yöntem ile HMF tayini yapılmıştır. Bu yöntemde yağlardan gelebilecek bileşenler ile de TBA'nın reaksiyona girmesinin, yağlı örneklerde HMF değerinde artışa sebep olabileceği düşünülmüştür. Buna karşın, Claeys ve ark. [21] yaptıkları çalışmada, sütün yağ içeriğinin HMF değeri üzerine etkisinin olmadığını kolorimetrik yöntemle HMF tayini kullanarak belirlemişlerdir. Yöntemin yanısıra, Maillard reaksiyonunun lipid degradasyon ürünleri ile de ilişkili olduğu bilinmektedir. Lipid degradasyonu ve oksidasyonu sonucunda ortaya çıkan karbonil içeren parçalanma ürünleri ile amino grupları reaksiyona girerek Maillard reaksiyonunun bir parçası olmaktadır [24-26]. Dolayısıyla, yüksek sıcaklıklarda arttığı bilinen yağ oksidasyonunun Maillard reaksiyonu ürünleri üzerinde etkisinin olabileceği de düşünülmüştür.

Tablo 2. Farklı markalara ait içme sütü örneklerinin toplam HMF değerleri (ortalama  $\pm$  standart sapma)

Markalar	Toplam HMF değerleri ( $\mu\text{mol/L}$ )					
	Pastörize Tam Yağlı	Pastörize Yağlı	UHT Yağlı	UHT Yarım Yağlı	UHT Yağsız	UHT Laktozsuz
1	-	-	4.90 $\pm$ 0.27 <sup>hA</sup>	3.44 $\pm$ 0.20 <sup>fB</sup>	3.52 $\pm$ 0.18 <sup>bB</sup>	35.73 $\pm$ 2.35 <sup>a</sup>
2	-	1.48 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	6.99 $\pm$ 0.70 <sup>f</sup>	-	-	27.35 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>
3	-	1.15 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	8.10 $\pm$ 0.30 <sup>deA</sup>	7.81 $\pm$ 0.03 <sup>bAB</sup>	7.49 $\pm$ 0.11 <sup>aAB</sup>	-
4	4.03 $\pm$ 0.16	-	5.72 $\pm$ 0.10 <sup>ghA</sup>	3.80 $\pm$ 0.19 <sup>fB</sup>	-	-
5	-	-	5.92 $\pm$ 0.15 <sup>gA</sup>	4.89 $\pm$ 0.21 <sup>eB</sup>	-	-
6	-	4.30 $\pm$ 0.92 <sup>a</sup>	8.77 $\pm$ 0.45 <sup>cdA</sup>	5.29 $\pm$ 0.14 <sup>deB</sup>	-	-
7	-	-	12.74 $\pm$ 0.63 <sup>aA</sup>	5.72 $\pm$ 0.44 <sup>dB</sup>	-	-
8	-	-	9.55 $\pm$ 0.20 <sup>bcA</sup>	5.91 $\pm$ 0.46 <sup>cdB</sup>	-	-
9	-	-	6.01 $\pm$ 0.28 <sup>gA</sup>	3.71 $\pm$ 0.06 <sup>fB</sup>	-	-
10	-	-	9.04 $\pm$ 0.23 <sup>bcA</sup>	-	6.39 $\pm$ 0.61 <sup>aB</sup>	-
11	-	1.34 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	4.91 $\pm$ 0.14 <sup>hA</sup>	2.50 $\pm$ 0.30 <sup>gB</sup>	2.16 $\pm$ 0.37 <sup>cb</sup>	-
12	-	-	7.46 $\pm$ 0.13 <sup>ef</sup>	-	-	-
13	-	-	9.71 $\pm$ 0.19 <sup>ba</sup>	8.89 $\pm$ 0.18 <sup>aA</sup>	-	-
14	-	-	7.09 $\pm$ 0.06 <sup>f</sup>	-	-	-
15	-	-	-	6.52 $\pm$ 0.16 <sup>c</sup>	-	-
16	-	4.78 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup>	-	-	-	-
n	n=2	n=10	n=28	n=22	n=8	n=4
Ortalama $\pm$ SD	4.03 $\pm$ 0.16 <sup>C</sup>	2.61 $\pm$ 1.71 <sup>C</sup>	7.64 $\pm$ 2.19 <sup>B</sup>	5.32 $\pm$ 1.94 <sup>BC</sup>	4.89 $\pm$ 2.47 <sup>BC</sup>	31.54 $\pm$ 5.93 <sup>A</sup>

n= Analiz edilen örnek sayısı, SD: Standart sapma, Küçük harfler her bir sütündeki farkı göstermektedir ( $P<0.05$ ). Büyük harfler aynı satırdaki UHT sütlerin (yağlı, yarım yağlı ve yağsız UHT) arasındaki farkı göstermektedir ( $P<0.05$ ).



Şekil 1. İçme sütü örneklerinin HMF değerleri

Örneklerin HMF değerlerindeki değişimler Şekil 1'de daha belirgin görülmektedir. Özellikle laktozsuz sütlerde HMF'nin artışı dikkati çekmektedir. Laktozsuz sütlerde laktozun enzimatik hidrolize uğrayarak daha yüksek reaktiviteye sahip olan glikoz ve galaktoza dönüşmesi, lisinlerle daha hızlı reaksiyona girmesine yol açmaktadır ve bu durumda HMF oluşumu hızlanmaktadır. Benzer şekilde, sütlerde laktoz hidrolizasyonunun furosos miktarını attırdığı ve Maillard reaksiyonuna uygun bir ortam oluşturduğu bildirilmiştir [16, 18-20].

Maillard reaksiyonu oluşumunun ısı işlem ve laktoz hidrolizasyonuna bağlı olarak değişimi yanısıra farklı pH'ların da etkisi olduğu bilinmektedir. En uygun pH aralığının 8-10 olduğu belirtilmiştir. Bu aralık, süt ve ürünlerinin pH değerlerinden daha yüksek olsa da, süt ürünlerinde de pH değişimlerin reaksiyonu etkilediği vurgulanmıştır [6]. Buna karşın, analize alınan süt örneklerinin pH değerlerinin birbirine çok yakın olması sebebiyle HMF değerlerinde elde edilen farklılıkların pH ile ilişkili olmadığı düşünülmüştür.

### İçme Sütü Örneklerinin Renk Değerleri

İçme sütü örneklerinin *L*, *a*, *b*, Kroma, BI ve  $\Delta E$  değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Örneklerin *L* değerlerinin pastörize ve yağlı UHT sütlerde en yüksek, yağsız UHT sütlerde ise en düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Değerlere bakıldığında, sütlerin parlaklık değerlerinde yağ içeriğinin belirleyici öneme sahip olduğu görülmüş, özellikle UHT sütlerde yağ içeriğinin artmasıyla *L* değerlerinin arttığı belirlenmiştir ( $P<0.05$ ). Laktozsuz UHT sütlerde *a* değerinin önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir. Nitekim analizler sırasında da diğer süt örnekleriyle kıyaslandığında bu örneklerde kırmızı rengin daha belirgin olduğu dikkati çekmiştir. Sütlerin *b* değerleri incelendiğinde, en düşük değerin yağlı sütlerde, en yüksek değerlerin ise yarım yağlı ve yağsız UHT sütlerde olduğu tespit edilmiştir.

Örneklerin renk özelliklerinin ve bu özelliklerdeki değişimin daha net tespit edilebilmesi için kroma değerlerine bakılmıştır. Değerler incelendiğinde, renk farklılıklarının en çok UHT yarım yağlı sütlerde, en az ise

pastörize tam yağlı sütler ile yağlı UHT ve laktozsuz UHT sütlerde olduğu saptanmıştır. Kroma değerlerindeki bu değişimin *b* değerlerine benzer bir eğilim gösterdiği görülmüştür.

Sadece bir markaya ait örnek grubu olduğu için pastörize tam yağlı süt kontrol kabul edilerek örneklerin

$\Delta E$  değerleri hesaplanmış, en düşük  $\Delta E$  değerlerinin yağlı pastörize ve yağlı UHT sütlerde, en yüksek  $\Delta E$  değerlerinin ise yağsız UHT sütlerde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada da laktozsuz süt örneklerinde hafif kırmızılık algılanırken, yağsız örneklerde yeşillik algılanmıştır. Nitekim,  $\Delta E$  değeri 3'ten büyük olduğunda gözle rahatlıkla ayırt edilebildiği belirtilmiştir [35].

Tablo 3. Pastörize ve UHT süt örneklerinin renk özellikleri (ortalama  $\pm$  standart sapma)

Numune	<i>L</i> değeri	<i>a</i> değeri	<i>b</i> değeri	Kroma	BI	$\Delta E$
P-TY (n=2)	95.33 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	-0.77 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	9.38 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	9.42 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	9.51 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	-
P-Y (n=10)	95.45 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>	-0.97 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>	10.34 $\pm$ 0.49 <sup>ab</sup>	10.38 $\pm$ 0.48 <sup>bc</sup>	10.43 $\pm$ 0.65 <sup>bc</sup>	1.03 $\pm$ 0.46 <sup>c</sup>
UHT-Y (n=28)	94.98 $\pm$ 0.69 <sup>a</sup>	-0.49 $\pm$ 0.60 <sup>b</sup>	9.73 $\pm$ 0.77 <sup>bc</sup>	9.76 $\pm$ 0.76 <sup>cd</sup>	10.17 $\pm$ 1.18 <sup>bc</sup>	1.19 $\pm$ 0.54 <sup>c</sup>
UHT-YY (n=22)	93.78 $\pm$ 1.00 <sup>b</sup>	-0.23 $\pm$ 0.87 <sup>ab</sup>	11.07 $\pm$ 0.50 <sup>a</sup>	11.11 $\pm$ 0.48 <sup>a</sup>	12.10 $\pm$ 1.21 <sup>a</sup>	2.57 $\pm$ 0.97 <sup>b</sup>
UHT-YS (n=8)	91.98 $\pm$ 0.48 <sup>c</sup>	-2.08 $\pm$ 1.16 <sup>c</sup>	10.69 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>	10.94 $\pm$ 0.18 <sup>ab</sup>	10.37 $\pm$ 1.32 <sup>bc</sup>	3.98 $\pm$ 0.59 <sup>a</sup>
L-UHT-YY (n=4)	92.82 $\pm$ 1.39 <sup>c</sup>	0.62 $\pm$ 1.22 <sup>a</sup>	9.91 $\pm$ 0.19 <sup>bc</sup>	9.99 $\pm$ 0.11 <sup>cd</sup>	11.53 $\pm$ 0.93 <sup>ab</sup>	2.99 $\pm$ 1.70 <sup>b</sup>

P-TY: Pastörize-Tam Yağlı, P-Y: Pastörize-Yağlı, UHT-Y: UHT-Yağlı, UHT-YY: UHT-Yarım Yağlı, UHT-YS: UHT-Yağsız, L-UHT-YY: Laktozsuz UHT-Yarım Yağlı. Küçük harfler her bir sütündeki farkı göstermektedir ( $P<0.05$ ).

Pastörize ve UHT sütlerin renk değerleri ile HMF arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla Pearson korelasyon testi uygulanmıştır. Testin sonuçlarına göre hem pastörize hem UHT süt örneklerinde parlaklık değerlerinin HMF ile korelasyon göstermediği saptanmıştır ( $P>0.05$ ). Ancak örneklerin *a* değerleri HMF miktarı ile pozitif korelasyon göstermiştir ( $P<0.05$ ). Buna karşın, UHT süt örneklerinde özellikle *b* değeri ile HMF değerleri arasında ilişki saptanmamıştır. Ayrıca esmerleşme indeksi değerleri ile HMF değerleri arasında da belirgin bir ilişki ortaya konulamamıştır. Benzer şekilde, model süt sistemlerinde yapılan çalışmada esmerleşme indeksi değeri ile Maillard reaksiyon ürünleri ile ilişki tespit edilememiş ve söz konusu ilişkinin olabilmesi için farkın gözle rahatlıkla görülebilir olması gerektiği belirtilmiştir [36]. Dolayısıyla, piyasadaki laktozsuz hariç diğer sütler uygulanan ısı işlemlerin gözle görülür bir renk değişimine neden olacak düzeyde Maillard reaksiyonuna sebep olmadığını söylemek mümkündür. Maillard reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan önemli renk değişimlerinin özellikle reaksiyonun son aşamasında, diğer basamaklarda ortaya çıkan reaktif bileşenlerden oluşan kahverengi bileşiklerden yani melanoidinlerden kaynaklandığı belirtilmiştir [6].

## SONUÇ

Bu çalışmada marketlerde satışa sunulan UHT ve pastörize sütlerin HMF değerleri ile bileşimleri ve renk özellikleri ortaya konulmuştur. Isıl işlem yoğunluğunun artması ile HMF değerlerinin arttığı, pastörize sütlerde düşük değerler elde edildiği görülmüştür. HMF değerleri açısından en dikkat çekici olan örnek grubu laktozsuz UHT sütlerdir. Laktozsuz sütlerde laktozun daha yüksek reaktiviteye sahip olan glikoz ve galaktoza dönüşmesi HMF değerlerinde önemli bir artışa neden olmuştur. Örnekler renk özellikleri açısından değerlendirildiğinde, HMF değeri ile kırmızılık değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğu, özellikle laktozsuz süt örneklerinde kırmızı rengin daha belirgin olduğu görülmüştür. Örneklerde esmerleşme indeksi ile HMF değeri arasında ise bir ilişki saptanmamıştır. Her ne kadar sütler uygulanan ısı işleminin ve laktozun hidrolizasyonunun HMF değerlerini arttırdığı görülse de, süt ve süt ürünleri birçok gıdaya kıyasla oldukça düşük HMF değerlerine sahiptir.

## KAYNAKLAR

- [1] Anonim, 2000. Türk Gıda Kodeksi Çiğ Süt ve Isıl İşlem Görmüş İçme Sütleri Tebliği. T.C. Resmi Gazete, Sayı: 23964. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, Ankara.
- [2] Ferrer, E., Alegria, A., Courtois, G., Farré, R., 2000. High-performance liquid chromatographic determination of Maillard compounds in store-brand and name-brand ultra-high-temperature-treated cows' milk. *Journal of Chromatography A* 881(1-2): 599–606.
- [3] Arena, S., Renzone, G., D'Ambrosio, C., Salzano, A.M., Scaloni, A., 2017. Dairy products and the Maillard reaction: A promising future for extensive food characterization by integrated proteomics studies. *Food Chemistry* 219: 477–489.
- [4] Morales, F.J., Jiménez-Pérez, S., 1999. HMF formation during heat-treatment of milk-type products as related to milkfat content. *Journal of Food Science* 64(5): 855-859.
- [5] Pellegrino, L., Resmini, P., Luf, W., 1995. Assessment (indices) of heat treatment of milk. In: Heat-induced changes in milk, Edited by P.F. Fox, Brussels, International Dairy Federation, 9501: 409–453 p.
- [6] Van Boekel, M.A.J.S., 1998. Effect of heating on Maillard reactions in milk. *Food Chemistry* 62(4): 403-414.
- [7] Yıldız, O., Sahin, H., Kara, M., Aliyazıcıoğlu, R., Tarhan, Ö., Kolaylı, S., 2010. Maillard reaksiyonları ve reaksiyon ürünlerinin gıdalardaki önemi. *Akademik Gıda* 8: 44-51.
- [8] Martins, S.I.F.S., Jongen, W.M.F., Van Boekel, M.A.J.S., 2001. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology* 11: 364–373.
- [9] Ames, J.M., 1998. Applications of the Maillard reaction in the food industry. *Food Chemistry* 62(4): 431-439.
- [10] Berg, H.E., Van Boekel, M.A.J.S., 1994. Degradation of lactose during heating of milk. 1. reaction pathways. *Netherlands Milk and Dairy Journal* 48: 157-175.

- [11] Morales, F.J., Romero, C., Jiménez-Pérez, S., 2000. Characterization of industrial processed milk by analysis of heat-induced changes. *International Journal of Food Science and Technology* 35(2): 193-200.
- [12] Akalin, A.S., Gönç, S., 1997. Lactulose and HMF contents in market milks. *Milchwissenschaft* 52(7): 377-380.
- [13] Morales, F.J., Romero, C., Jiménez-Pérez, S., 1996. Study on 5-hydroxymethylfurfural Formation During UHT Treatment Measured by Two Analytical Procedures. In *Heat Treatments & Alternative Methods*, International Dairy Federation, Brussels, Belgium, 464p.
- [14] Leiva, G.E., Naranjo, G.B., Malec, L.S., 2017. A study of different indicators of Maillard reaction with whey proteins and different carbohydrates under adverse storage conditions. *Food Chemistry* 215: 410-416.
- [15] Ledesma-Osuna, A.I., Ramos-Clamont, G., Vázquez-Moreno, L., 2008. Characterization of bovine serum albumin glycated with glucose, galactose and lactose. *Acta Biochimica Polonica* 55(3): 491-497.
- [16] Jansson, T., Clausen, M.R., Sundekilde, U.K., Eggers, N., Nyegaard, S., Larsen, L.B., Ray, C., Sundgren, A., Andersen, H.J., Bertram, H.C., 2014. Lactose-hydrolyzed milk is more prone to chemical changes during storage than conventional ultra-high-temperature (UHT) milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(31): 7886-7896.
- [17] Milkovska-Stamenova, S., Hoffmann, R., 2016. Hexose-derived glycation sites in processed bovine milk. *Journal of Proteomics* 134: 102-111.
- [18] Evangelisti, F., Calcagno, C., Nardi, S., Zunin, P., 1999. Deterioration of protein fraction by Maillard reaction in dietetic milks. *Journal of Dairy Research* 66: 237-243.
- [19] Messia ve M.C., Candigliota, T., Marconi, E., 2007. Assessment of quality and technological characterization of lactose-hydrolyzed milk. *Food Chemistry* 104: 910-917.
- [20] Tossavainen, O., Kallioinen, H., 2007. Effect of lactose hydrolysis on furosine formation in skim milk during pasteurisation. *Milchwissenschaft* 62(2): 188-191.
- [21] Claeys, W.L., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E., 2003. Kinetics of hydroxymethylfurfural, lactulose and furosine in milk with different fat content. *Journal of Dairy Research* 70(1): 85-90.
- [22] Berg, H.E., 1993. Reactions of lactose during heat treatment of milk: a quantitative study. Ph.D Thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
- [23] Pellegrino, L., 1994. Influence of fat content on some heat-induced changes in milk and cream. *Netherlands Milk and Dairy Journal* 48: 71-80.
- [24] Zamora, R., Hidalgo, F.J., 2005. Coordinate contribution of lipid oxidation and Maillard reaction to the nonenzymatic food browning. *Critical Reviews Food Science Nutrition* 45: 49-59.
- [25] Newton, A.E., Fairbanks, A.J., Golding, M., Andrewes, P., Gerrard, J.A., 2012. The role of the Maillard reaction in the formation of flavour compounds in dairy products – not only a deleterious reaction but also a rich source of flavour compounds. *Food and Function* 3: 1231-1241.
- [26] Sunds, A.V., 2016. Evaluation of accelerated shelf life testing of UHT milk. Master Thesis. Aarhus University, Department of Food Science, Denmark.
- [27] Anonim., 2002. Çiğ Süt Standardı. TS 1018. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- [28] Keeney M., Bassette R., 1959. Detection of intermediate compounds in the early stages of browning reaction in milk products. *Journal of Dairy Science* 42(6): 945-960.
- [29] Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S.M., 2008. Investigation of microwave treatment on the optical properties of apple slices during drying. *Drying Technology* 26(11): 1362-1368.
- [30] Pereda, J., Ferragut, V., Quevedo, J.M., Guamis, B., Trujillo, A.J., 2009. Heat damage evaluation in ultra-high pressure homogenized milk. *Food Hydrocolloids* 23:1974-1979.
- [31] Berg, H.E., Van Boekel, M.A.J.S., Jongen, W.M.F., 1990. Heating milk: a study on mutagenicity. *Journal of Food Science* 55(4): 1000-1017.
- [32] Richards, M., Buys, E.M., De Kock, H.L., 2016. Survival analysis, consumer perception and physico-chemical analysis of low fat UHT milk stored for different time periods. *International Dairy Journal* 57: 56-61.
- [33] de Koning, P.J., Badings, H.T., van der Pol, J.J.G., Kaper, J., Vos-Klomp maker, E.A.J., 1990. Effect van hittebehandeling en vetgehalte op UHT-melk. *Voedingsmiddelentechnologie* 23: 11-14.
- [34] Deeth, H.C., Lewis, M.J., 2017. Changes During Heat Treatment of Milk. In: *High Temperature Processing of Milk and Milk Products*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 584p.
- [35] Francis, F.J., Clydesdale, F.M., 1977. Food colorimetry: theory and applications. *Molecular Nutrition and Food Research* 21(1): 90-91.
- [36] Stanciuc, N., Rapeanu, G., Stanciu, S., 2010. Quantitative evaluation of colour development in milk model systems during heat treatment: a kinetic study. *Romanian Biotechnological Letters* 15(3): 5331-5341.