


Yemeklik Yağların Yüzey Gerilimi ve Temas Açılarının Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler

Alev Yüksel Aydar , Neriman Bağdatlıoğlu

Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa

Geliş Tarihi (Received): 24.07.2013, Kabul Tarihi (Accepted): 07.10.2013

 Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): alevaydar@gmail.com (A.Y. Aydar)

☎ 0 236 201 22 55 📠 0 236 412 21 24

ÖZET

Yüzey gerilimi yüzeyin 1 cm² artırılması için birim uzunluğa uygulanan kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Bir katı yüzeyle temastaki bir sıvının oluşturduğu açıya ise temas açısı denmektedir. Gıda endüstrisinde fırınlanma, kızartma, emülsiyon etme gibi proseslerin iyileştirilmesinde ve gıdalarda yeni formülasyonların geliştirilmesinde yüzey özellikleri önemli rol oynamaktadır. Kızartma işlemi, genel olarak gıdaların 150-190 °C'deki yağ içerisine daldırılarak lezzet ve kalite özelliklerini geliştirmek amacıyla çok eski zamanlardan beri uygulanan en temel işlemlerden birisidir. Temas açısı ve yüzey gerilimi yağın ıslatma ve penetrasyon özelliklerini etkilemektedir. Bu sebeple yemeklik sıvı yağların yüksek sıcaklıkta temas açılarının ve yüzeyler arası özelliklerinin belirlenmesiyle, bunların kızartma süresince ısı-kütle transferi ve yağ absorpsiyonu üzerine etkileri bulunabilir. Bu çalışmada yüksek sıcaklıktaki yemeklik yağların temas açılarının ve yüzey geriliminin belirlenmesinde uygulanan yöntemler ve çalışmalar derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey gerilimi, Yüzeyler arası gerilim, Temas açısı, Yemeklik yağlar

Methods for Determination of Surface Tension and Contact Angles of Cooking Oils

ABSTRACT

Surface tension is the force required to stretch a unit change of a surface area 1 cm². Contact angle is an angle where a liquid/vapor interface meets a solid surface. Surface properties are important in the development of new food products and improvement of processes including frying, baking, and emulsification. Deep-fat frying is one of the most common unit operations in food processing in which immersed food and hot oil come into contact at 150–190 °C that improves quality and taste of foods. Contact angle and surface tension affect the penetration and wetting properties of oils. Thus, determination of surface properties of vegetable oils at high temperatures plays a key role for understanding oil absorption and heat-mass transfer during frying. In this review, methods for determination of contact angle and surface tension of cooking oils were summarized.

Key Words: Surface tension, Interfacial tension, Contact angle, Cooking oils

GİRİŞ

Gıdaların yüksek sıcaklıkta işlenmesi süresince gıdalarda kimyasal, fiziksel ve biyolojik bazı değişiklikler gerçekleşir ve bu değişimlerin birçoğu yüzeyde ve yüzeyler arasında olmaktadır. Yüzey gerilimi ve temas açısı emülsiyon ve süspansiyon stabilitesi ve

formülasyonunda, biyolojik membranlardan moleküllerin penetrasyonunda önemlidir [1].

Kızartma yüksek sıcaklık uygulanan en temel gıda hazırlama yöntemlerinden biridir. Günümüzde hem sağlık açısından hem de ekonomik sebeplerden dolayı az yağlı ürünlere talep artmaktadır. Kızartma süresince

yağ absorpsiyonunu etkileyen birçok etmen bulunmaktadır; yağın kalitesi ve bileşenleri, kızartma süresi ve sıcaklığı, gıdadaki nem miktarı ve yüzeyler arası gerilim vs. [2, 3]. Ancak yemeklik yağların yüksek sıcaklıkta yüzey ve yüzeyler arası özelliklerinin belirlendiği sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır.

Sıvıların ıslatma ve yayılma mekanizmalarının daha anlaşılır hale gelmesi için temas (değme) açılarının belirlenmesi önemli bir rol oynar [4]. Yemeklik sıvı yağların yüksek sıcaklıkta temas açılarının belirlenmesiyle yağların yüzeyler arası özellikleri ve bunların yağ absorpsiyonuna etkileri bulunabilir, çünkü temas açıları ıslatma ve yağ penetrasyonunu etkilemektedir [5]. Temas açıları gıda endüstrisi haricinde boyama, kaplama, adhezyon (birleştirme), ısı ve kütle transferi gibi birçok prosesinde de önem taşımaktadır [6, 7].

Bu çalışmada yüksek sıcaklıkta yağların temas açılarının ve yüzey gerilimlerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler tartışılmıştır.

Tablo 1. Bazı sıvıların yüzey gerilimleri

Sıvı	Sıcaklık (°C)	Yüzey Gerilimi (mN/m)	Kaynak
Etanol	25	22.2	[8]
Palm yağı	23	30.8	[9]
Mısır yağı	25	34.6	[10]
Zeytinyağı	20	35.8	[11]
Su	25	72.0	[12]
Civa	23	485.5	[12]

Artan intermoleküler kuvvetler yüzey geriliminin artmasına neden olur. Örneğin su moleküllerindeki hidrojen bağları benzen moleküllerindeki dispersiyon kuvvetlerinden güçlü olduğundan suyun oda sıcaklığındaki yüzey gerilimi 72 mN/m benzenin oda sıcaklığındaki yüzey gerilimi olan 28.2 mN/m'den yüksektir [12].

Sıcaklıkla sıvıların yüzey gerilimi arasındaki ilişki ilk olarak Eötvös tarafından 1886 yılında bulunmuştur (Eşitlik 1, 2):

$$\gamma(V)^{\frac{2}{3}} = K_E(T_c - T) \quad [1]$$

ve

$$V = M/\rho \quad [2]$$

γ : yüzey gerilimi

V : molar hacim

K_E : Eötvös sabiti (-2.12E-7 J/mol^{2/3}K)

T_c : kritik sıcaklık

M : molar kütle

ρ : yoğunluk

Eötvös sabiti polar olmayan tüm sıvılar için hemen hemen aynı olmasına rağmen karmaşık molekül yapısına sahip sıvılarda daha yüksek olabilmektedir [13, 14].

Temas Açısı ve Yüzey Gerilimi

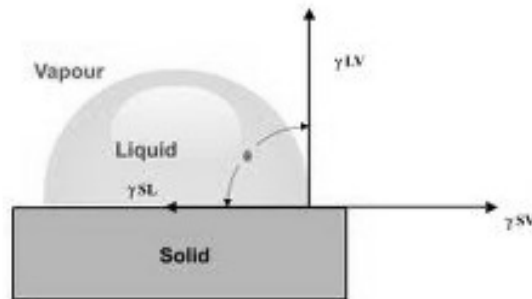
Yüzey Gerilimi

Yüzey gerilimi yüzeyin 1 cm² artırılması için birim uzunluğa uygulanan kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Yüzey geriliminin birimi SI sisteminde mN/m (miliNewtonmetre⁻¹) CGS sisteminde ise dyn/cm'dir. Suyun yüzey gerilimi oda sıcaklığında 72.8 dyn/cm'dir yani suyu oda sıcaklığında 1cm² genişletebilmek için 72.8 dyn/cm'lik bir enerjiye ihtiyaç vardır. Yüzey gerilimi " γ " simgesiyle gösterilir [1].

Bazı sıvıların yüzey gerilimleri Tablo 1'de verilmiştir. Mısır yağının oda sıcaklığındaki yüzey gerilimi 34.6 mN/m ve zeytinyağının ise 35.8 mN/m olduğu bulunmuştur (Tablo 1).

Temas Açısı

Bir katı yüzeyle temastaki bir sıvının oluşturduğu açıya ise temas açısı denmektedir. Temas açısı " θ " gösterilmektedir (Şekil 1). Katı bir yüzeye bir sıvı damlatıldığında damlanın şekli temasta olduğu katı malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre şekil alır. Yüzey gerilimi ve temas açısı arasındaki ilişki ilk olarak Young tarafından 1804 yılında (Eşitlik 3) belirlenmiştir.



Şekil 1. Temas açısı ve Young eşitliği

Young eşitliği,

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad [3]$$

γ_{SG} : Katı-gaz arası yüzeyler arası gerilim

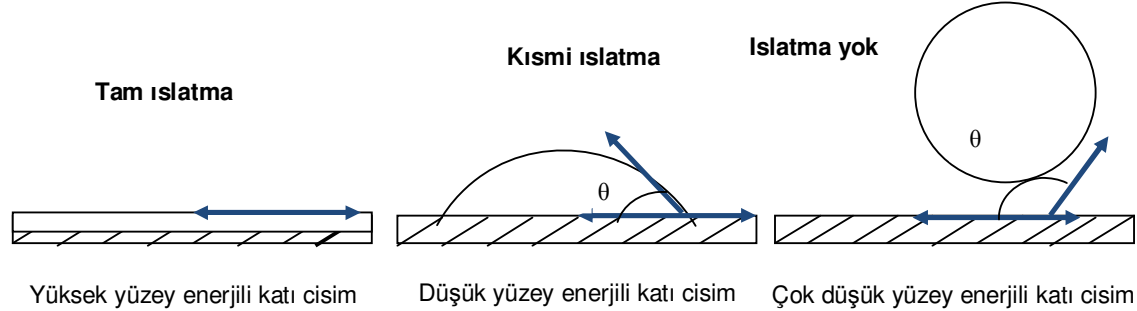
γ_{SL} : Katı-sıvı arası yüzeyler arası gerilim

γ_{LG} : Sıvı-gaz arası yüzeyler arası gerilim

θ : Temas açısı

Young eşitliği yalnızca sıvı yüzeyi düzgün, pürüzsüz, homojen, çözülmez (erimez) ve ölçüm yapılacak sıvıyla etkileşime girmeyen katı yüzeylerde uygulanabilir. Young eşitliğine göre damla hareket edene kadar 3 fazın yüzey gerilimleri toplamı sıfırdır. Katı yüzeyler yüksek veya düşük enerjili olarak karakterize edilirler. Yüksek enerjili katı yüzeylerde sıvı

yüzeyde düzgün olarak dağılır ve ince bir film oluşturur. Bu durumda temas açısı sıfırdır ve yüzey tamamen ıslanır ve hidrofilik denir. Benzer olarak düşük enerjili yüzeylerde su damlaları ayrı ayrı yerleşirler. Bunlarda temas açısı ($> 90^\circ$) ve yüzey hidrofobiktir (Şekil 2). Su damlacıkları düşük enerjili yüzeylerden ayrılmaya çalışır [1].



Şekil 2. Sıvıların farklı yüzey enerjisine sahip katı yüzeylerde ıslatma davranışları [15]

Temas açısı bir materyalin ıslanabilirlik özelliği ve katı bir yüzeyin yüzey enerjisi hakkında bilgi verir. Islanma teorisine göre, bir damlacık katı bir yüzey üzerine bırakıldığında, katı ve sıvı fazın her ikisinin akışkan dinamikleri, yüzey gerilimi, yoğunluk ve katı-sıvı sıcaklıkları, sıvının viskozitesi, yüzey pürüzlülüğü ve katının şekli gibi farklı fiziksel ve kimyasal faktörlerden etkilenir (Tablo 2). Temas açıları üç yüzey arasındaki

gerilimlere bağlı olarak değişir [1, 6, 16]. Katı-buhar arasındaki gerilim katı-sıvı arasındaki gerilimden büyükse temas açısı $0-90^\circ$ arasında, tersi durumda ise açı $90-180^\circ$ arasında olur. Büyük temas açısı sıvının yüzeyden akıp uzaklaşacağını gösterirken küçük temas açısında sıvı katı materyali ıslatacaktır. Katı yüzeyin pürüzlülüğü de sıvı absorpsiyon oranını etkileyen bir faktördür [1, 17].

Tablo 2. Bazı sıvıların temas açıları

Sıvı	Katı	Temas açısı ($^\circ$)	Kaynak
Çikolatalı süt	Cam	21.0	[18]
Tam süt	Cam	21.0	[18]
%2 yağlı süt	Cam	22.1	[18]
Yağsız süt	Cam	25.5	[18]
Ayçiçeği yağı	Ekmek	42.0	[19]
Etilen glikol	Propilen	48.0	[20]
Glisero	Propilen	63.4	[20]
Çikolata şurubu	Kurabiye	65.0	[19]
Çikolata şurubu	Ekmek	126.0	[19]

Temas açısı bir sıvının katı bir materyali ıslatabilirliği hakkında bilgi verir [5]. Eğer temas açısı 90° den küçükse yüzey hidrofobik olup sıvı kapiler gözeneklerden girebilir ve katı materyali ıslatır (Şekil 2). Temas açısı 90° den büyükse yüzey hidrofilik olup sıvı material katı materyaldeki gözeneklerden içeri giremez ve katı materyali tam ıslatamaz. Tam ıslanabilirlik temas açısı 0° iken gözlemlenir [6, 17]. Temas açısı azaldıkça yüzey enerjisi, yapışkanlık ve ıslanabilirlik artar ve temas açısı büyüdükçe yüzey enerjisi, ıslanabilirlik ve yapışkanlık azalır [17].

Islanma olayı iki genel sınıfa ayrılabilir: Temastaki bir sıvı ve katının dışarıdan müdahale görmediği yerde gerçekleşen denge ıslanma ve sıvı veya katının (veya her ikisinin) ıslanma süresi boyunca diğer fazlara geçiş halinde olduğu dinamik ıslanmadır. Sistem dengedeysen, statik, değişken formdaysa dinamik bir temas açısı elde edilir [1].

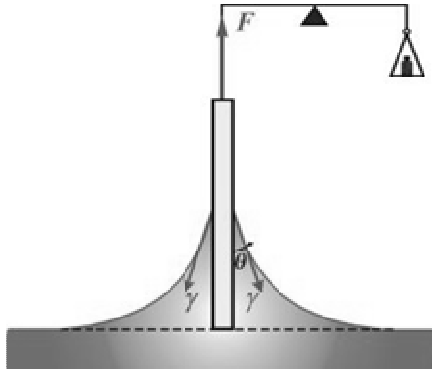
Temas Açısı ve Yüzey Gerilimi Belirleme Yöntemleri

Yüzey ve yüzeyler arası gerilimin belirlenmesinde birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları; DuNouy halka metodu, Wilhemny tabaka metodu, kapiler (kılcal) yükselme metodu, maksimum kabarcık metodu, Pendant damla ve Sessile damla yöntemleridir. Tüm sistemler için ideal olan bir yüzey gerilimi belirleme metodu bulunmamaktadır. Uygun yöntemin seçilmesinde numunenin miktarı ve özellikleri, ölçüm sıcaklığı, yüzey geriliminin mi yoksa yüzeyler arası gerilimin mi ölçüleceği gibi, zaman parametresinin çalışma kapsamında olup olmadığı gibi etkenler göz önünde bulundurulmalıdır [21].

Wilhemny Levha Metodu

Bu yöntemde düzenek esas olarak teraziyle ince bir levhadan oluşmaktadır (Şekil 3). Levha yüzey gerilimi

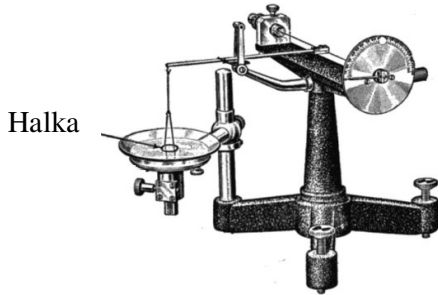
ölçülecek sıvının içine daldırılır ve teraziye konulan ağırlıklardan levhanın sıvıdan koptuğu andaki çekim ölçülerek yüzey gerilimi hesaplanır [22].



Şekil 3. Wilhemny levha

Du Nouy Halka Metodu

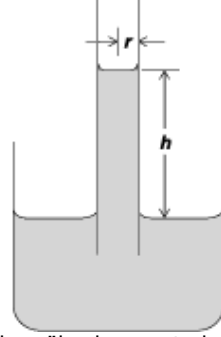
Du Nouy Halka yöntemi yüzey geriliminin ölçülmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Prensibi sıvı yüzeyine ve ya ara yüzeyine daldırılan halkanın sıvıdan ayrılması için gerekli kuvvetin yüzey ve ya yüzeyler arası gerilimle orantılı olmasına dayanır platin-iridyumdan yapılmış olan halkanın sıvıdan kopması için gerekli kuvvet kalibre edilmiş kadrandan okunmaktadır (Şekil 4) [1, 22].



Şekil 4. Du Nouy halka yüzey gerilim cihazı

Kapiler Yükselme Metodu

Bu yöntemde kapiler tüp, sıvı içine daldırılır ve tüp içinde yükselen sıvının yüksekliği ölçülür. Tüp içinde sıvının yükselmesinin nedeni kapiler tüpün iç yüzeyi üzerindeki sıvı moleküllerinin diğer moleküllere yukarı doğru bir kuvvet uygulamasıdır. Bir sıvı içerisine daldırılan kılcal borunun duvarı ile sıvı arasında adhezyon kuvvetleri, sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetlerinden daha fazladır. Böylece sıvı kılcal borunun duvarlarını ıslatır ve yayılarak kılcal içinde yükselir. Bu yükselme işlemi yükselme kuvveti ile yerçekimi kuvveti dengeleninceye kadar devam eder ve boru içindeki sıvı ile ana kaptaki sıvı arasındaki yükseklik farkı yüzey geriliminin ölçülmesini sağlar (Şekil 5) [21].



Şekil 5. Kapiler yükselme metoduna göre yüzey geriliminin belirlenmesi

Kapiler tüp içerisindeki sıvının yükselmesi yüzey gerilimiyle arasındaki ilişki aşağıdaki formülle tanımlanmıştır:

$$\sigma = \rho g h r / 2 \cos \theta \quad [4]$$

y = Yüzey gerilimi, (dyn/cm)

θ = Temas açısı,

r = Kılcal borunun çapı, (cm)

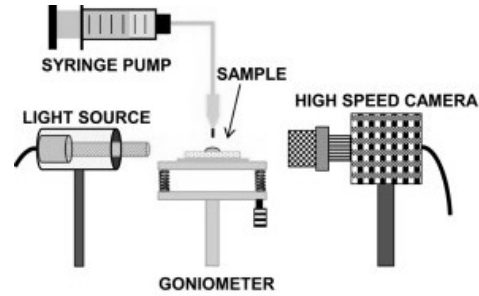
p = Sıvının yoğunluğu, (g/mL)

h = Sıvının kılcal borudaki yüksekliği, (cm)

g = Yerçekimi ivmesi (981 cm.sn²)

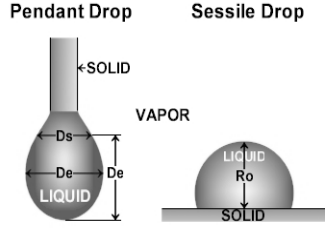
Sessile (Durağan) ve Pendant (Asılı) Damla Metotları

Sıvıların temas açılarının tespitinde en sık kullanılan yöntem Sessile damla yöntemidir ve bu yöntemle temas açısı tespitinde gonyometre cihazı kullanılır (Şekil 6). Temas açısı tespit edilmek istenen sıvı, bir mikropipet vasıtasıyla damla şeklinde katı bir yüzeye bırakılır. Bu mikrodamlanın yüksek çözünürlüklü bir kamerayla görüntüleri ve fiziksel özellikleri belirlenen süre boyunca kaydedilip bilgisayara aktarılarak sıvının temas açıları hesaplanır [1].



Şekil 6. Gonyometre cihazı

Gonyometre cihazı temel olarak damlanın bırakıldığı hücre, ışık kaynağı, mikro şırınga (mikro pipet), yüksek çözünürlüklü bir kamera ve bir bilgisayardan oluşur. Gonyometrede temas açısının yanı sıra yüzey gerilimleri de pendant (asılı) damla yöntemiyle tespit edilebilmektedir. Pendant damla yönteminin Sessile damla yönteminden farkı yüzey gerilimi tespit edilecek sıvının sabit bir yüzeyde değil mikro şırınganın ucunda asılı durmasıdır (Şekil 7).



Şekil 7. Sessile ve pendant damla

Gonyometre cihazında durağan (Sessile) ve asılı (pendant) damla, eğimli (tilting) damla, sabit kabarcık, menisküs damla tipleri ile statik temas açıları sıvının ön tarafına ilerleyen “yayıma (advancing) temas açısı” ve sıvının geri tarafına ilerleyen “çekilme (receding) temas açısı” da belirlenebilmektedir [1].

Yemeklik Yağların Temas Açıları ve Yüzey Gerilimlerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler

Yüzey gerilimi ve temas açıları belirlemek için uygulanan her bir yöntemin avantaj ve dezavantajları vardır. Bu yöntemlerden çok azı yüksek sıcaklıkta ölçümler için uygundur [23]. The Du Nouy ring ve Sessile damla metodları atmosferik basınç ve oda sıcaklıklarındaki ölçümler için en uygun yöntemlerdir. Du Nouy halka yönteminin avantajları kuvvet ölçümünden yüzey geriliminin kolayca hesaplanabilmesidir. Yüksek sıcaklıklardaki sıvıların ölçümünde ise Sessile damla ve maksimum kabarcık yöntemlerinin en uygun yöntemler olduğu belirtilmiştir [24].

Yemeklik yağların temas açıları ve yüzey gerilimlerinin belirlendiği çok az çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunda yemeklik yağların temas açıları oda sıcaklığında veya biraz daha yüksek sıcaklıklarda ölçülmüştür. Kızartma işlemi süresince yağın degradasyonu sonucu oluşan polar bileşikler yağla gıda maddesi arasındaki yüzey geriliminin düşmesine sebep olur [25].

Da Silva ve Singh [10] kızartma sıcaklığına kadar ısıttıkları mısır yağının temas açısı, yüzey gerilimi ve viskozitesini oda sıcaklığına kadar soğuttuktan sonra tespit edebilmişlerdir. 36 saat boyunca kızartmada kullanılan mısır yağı numuneleri her 3 saatte bir kızartma ünitesinden alınarak yüzeyde yayılabilirlikleri ve yüzey gerilimleri belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar hiç kullanılmamış yağların yayılabilirlikleri ve yüzey gerilimleri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonucunda mısır yağının degradasyonu yüzey gerilimlerinin % 2.02 azaldığı bulunmuştur. Mısır yağının 36 saat süren kızartma işlemi sonrasında yüzey geriliminin oda sıcaklığında 34.6 dyn/cm'den 33.9 dyn/cm'ye düştüğü tespit edilmiştir. Degrade olan yağların kullanılmamış yağlara kıyasla daha viskoz ve daha düşük yüzey gerilimine sahip oldukları da belirtilmiştir [10].

Sessile damla metodunda ölçüm yapılacak katı yüzeyin doğru belirlenmesi temas açısının ölçülebilmesinde çok

önemlidir. Katı yüzeyin pürüzsüz, kuru ve yüzeyi kirliliklerden arındırılmış olması gereklidir. Katı yüzeyin seçilmesinde bir diğer önemli parametre ise katı materyalin yüzey geriliminin ölçüm yapılacak sıvı materyalin yüzey geriliminden düşük olması gerekir. Yapılan ön değerlendirmeler sonucunda zeytin yağı ve Kanola yağının temas açılarının belirlenmesi için cam, çelik ve politetrafloroetilen (PTFE ya da Teflon™) katı yüzeyler araştırılmış ve düşük yüzey gerilimine sahip olması ve diğer katı materyaller (cam ve çelik) arasında en yüksek hidrofobik özellikteki katı materyal olduğundan dolayı PTFE'nin (1.5 mm kalınlığında) yemeklik yağların temas açıları belirlemek için uygun bir katı yüzey olduğu tespit edilmiştir. Kanola ve zeytinyağının yüksek sıcaklıklardaki (20-200°C) yağ-hava ve yağ-buhar ara yüzeylerindeki temas açıları ölçmek amacıyla hazırlanan örnekler Sessile (durağan) damla tekniğiyle PTFE bir yüzeyde gonyometre kullanılarak ölçülmüştür. Temas açısı ölçümlerinin örnek üzerindeki damla hacminden bağımsız olduğu, yapılan diğer çalışmalarda da görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada örnek yüzeylerine damlatılan damla hacim değerleri belirtilmemiştir [1].

Literatürde yemeklik yağlarda yağ-buhar ara yüzeyindeki temas açılarının tespit edildiği tek bir çalışma vardır. Bu çalışmada yüksek sıcaklık ve buharda Kanola yağı ve zeytinyağının temas açıları tespit edebilmek için gonyometreye uyumlu buhar düzeneği kurulmuştur (Şekil 8) [1].

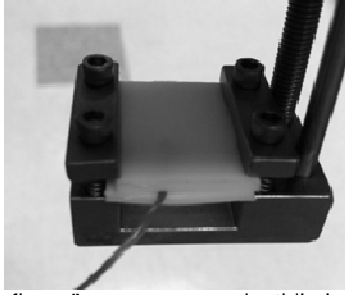


Şekil 8. Buhar düzeneği [1]

Ölçümler 110°C'den başlayıp her 20°C'de bir yeni ölçümler yapılmış olup son ölçüm sıcaklıkları yağların tütme sıcaklıklarına orantılı olarak zeytinyağı için 180°C kanola yağı için ise 200°C olarak belirlenmiştir. Sıcaklık ölçümleri iki adet termokupl kullanılarak yapılmıştır. Birinci termokupl buhar borusu içerisine yerleştirilmiş olup ikinci termokupl ise iki teflon tabaka arasında yerleştirilmiştir (Şekil 9) [1].

Yüksek sıcaklıkta yağ-hava ve yağ-buhar ara yüzeylerinde soya, yerfıstığı, kanola, zeytinyağı ve mısır yağı 20-200°C arasındaki yüzey gerilimleri pendant damla yöntemiyle tespit edilmiştir. Sıcaklık arttıkça yüzey gerilimlerinin lineer olarak düştüğü yağ-hava ve yağ-buhar ara yüzeylerinin yemeklik yağların yüzey

gerilimi üzerine önemli bir etkisi olmadığı bulunmuştur [22].



Şekil 9. Teflon yüzey üzerine yerleştirilmiş termokupl probu [1]

SONUÇ

Temas açısı, yüzey gerilimi, ara yüzey gerilimi ve serbest yüzey enerjisi ölçümleri; ıslanabilirlik, sıvı emilimi, sıvıyı yüzeyde tutma, sıvı yayılması, yüzey temizliği, yüzey heterojenliği, emülsiyon kararlılığı gibi malzeme özellikleri hakkında bilgi vermektedir.

Yemeklik yağlar gıda işlemede özellikle kızartma gibi işlemlerde kullanıldıklarından dolayı yüksek sıcaklıklara maruz kalmalarına rağmen yüksek sıcaklıkta yemeklik yağların yüzey gerilimleri ve temas açılarının tespit edildiği sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Temas açısı düştükçe sıvıların yayılabilirlikleri artar ve temas açısı 0 derece iken tam ıslaklık elde edilmektedir. Yapılan çalışmalarda temas açısı ve yüzey gerilimlerinin sıcaklıkla azaldığı bulunmuştur.

Yemeklik yağların yüksek sıcaklıktaki yüzeysel özelliklerinin tespiti kızartma süresince yağ ile gıda arasındaki ısı-kütle transfer mekanizmaları, gıdaların yağ absorpsiyonu ve nem kaybı hakkında daha fazla bilgi edinilmesini sağlayacaktır. Daha az yağlı gıdaların elde edilebilmesi için yüksek sıcaklıkta temas açısı ve yüzey gerilimleri ile yağ absorpsiyonu arasındaki ilişki araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Aydar, A.Y., 2012. Determination of Contact Angle of Olive oil and Canola Oil on a PTFE surface at Elevated Temperatures. Master of Science Thesis, NCSU.
- [2] Moreira, R.G., Elena, M.C., Maria, B., 1999. Deep Fat Frying: Fundamentals and Applications. Springer-Verlag LLC: New York, 14, pp 1-350
- [3] Blumenthal, M.M., 1991. A new look at the chemistry and physics of deep fat frying. *Food Technology* 45:68-71.
- [4] Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried food. *Trends in Food Science & Technology* 14: 364-373.
- [5] Dana, D., Saguy, I.S., 2006. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science* 128-130, 267-272.

- [6] Zhang, Z., Chen, H., Zhong, J., Saraf, G., Lu, Y., 2007. Fast and reversible wettability transitions on ZnO nanostructures. *Journal of Electronic Materials* 36: 895-899.
- [7] Gajewski, A., 2008. Contact angle and sessile drop diameter hysteresis on metal surfaces. I. *J. Heat and Mass Transfer* 51: 4628-4636.
- [8] Goncalves, F.A.M.M., Trindade, A.R., Costa, C.S.M.F., Bernardo, J.C.S., Johnson, I., Fonseca, I.M.A., Ferreira, A.G.M., 2010. PVT, viscosity, and surface tension of ethanol: New measurements and literature data evaluation. *J. Chem. Thermodynamics* 42: 1039-1049.
- [9] Ho, C.C., Chow, M.C., 2000. The effect of the refining process on the interfacial properties of palm oil. *JAOCS* 77: 191-199
- [10] Da Silva, M.G., Singh, R.P., 1995. Viscosity and surface tension of corn oil at frying temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation* 19: 259-270.
- [11] Arnikar, H.J., Kadam, S.S., Gujar, K.N., 1992. Interfacial Phenomena. Essentials of Physical Chemistry and Pharmacy, Orient Longman Limited: Bombay, pp 269-294.
- [12] Sedev, R., 2011. Surface tension, interfacial tension and contact angles of ionic liquids. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 16: 310-316.
- [13] Palit S.R., 1956. Thermodynamic interpretation of the Eötvös constant. *Nature* 177: 1180
- [14] Weast, R.C., 1969. CRC Handbook of Chemistry and Physics 50th Edition. The Chemical Rubber Co.
- [15] Mirsasaani S.S., Manjili H.M., Baheiraei N., 2011. Dental Nanocomposites, Advances in Diverse Industrial Applications of Nanocomposites Eds.; Boreddy Reddy: InTech, Chapter 19.
- [16] Hidaka, S., Yamashita, A., Takata, Y., 2006. Effect of contact angle on wetting limit temperature. *Heat Transfer-Asian Research* 35: 513-526.
- [17] Adamson, A.W., 1990. *Physical Chemistry of Surfaces* 5th Edition; Wiley Interscience; New York, pp 777
- [18] Handojoa, A., Zhai, Y., Frankel, G., Pascall, M.A., 2003. Measurement of adhesion strengths between various milk products on glass surfaces using contact angle measurement and atomic force microscopy. *Journal of Food Engineering* 92: 305-311.
- [19] Hicsasmaz, Z., Clayton, J.T., 1993. Applicability and comparison of various techniques for measurement of wettability and contact angles between oil-based liquid and starch-based solid food materials. *Journal of Food Engineering* 18: 127-143.
- [20] Han, K.N., 2002. Fundamentals of Aqueous Metallurgy, SME: Colorado, pp 3-20
- [21] Gönül, N., 2000. Çok Fazlı Sistemler I, Yüzey Kimyası ve Colloidler, Ankara.
- [22] O'Meara, M., 2012. Determination of the Interfacial Tension between Oil-Steam and Oil-Air at Elevated Temperatures. Master of Science Thesis, NCSU
- [23] Millette, J.P., Scott, D.S., Reilly, I.G., Majerski, P., Piskorz, J., Radlein, D., Debruijn, T.J.W., 2002. An apparatus for the measurement of surface tensions

- at high pressures and temperatures. *Can. J. Chem. Eng.* 80: 126–134.
- [24] Chen, Z., Xia, S., Ma, P., 2008. Measuring surface tension of liquids at high temperature and elevated pressure. *Journal of Chemistry Engineering* 58: 742-744.
- [25] Oreopoulou, V., Krokida, M., Marinos-Kouris, D., 2006. Frying of Foods. In *Handbook of Industrial Drying*. 3rd Ed. Mujumdar, A. S. Eds.; CRC Press: New York, pp 1225-1245.
-