

Yüzey Gerilim Kuvveti, Değim Açısı ve Serbest Enerji Değişimi: Bölüm 1. Temel Kavramlar

*Surface Tension, Contact Angle and Surface Free Energy:
Part 1. Basic Principles*

Gülcan COŞKUN AKAR

Ege Üniversitesi, Atatürk Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, İZMİR

Özet

Yüzeyler arası farklı davranışları açıklamak için yapılan ilk çalışmalar mekanik yönde olmuştur. Günümüzde ise bu çalışmaların yapılması gelişmiş teknolojik yöntemlerden yararlanılmaktadır. Dengelenmemiş kuvvetlerden doğan yüzey gerilimi ile sıvı-katı arasındaki etkileşimin değerlendirilmesini sağlayan değim açıının ve serbest enerji değişiminin canlı ve cansız varlıklar için önemi büyükür ve belirlenmeleri için günümüzde çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır. İki bölümden oluşan bu derlemenin birinci bölümünde yüzey gerilimi, değim açısı ve serbest enerji değişimi kavramları ve ölçüm yöntemleri anlatılarak bilimsel araştırmalar için bir kaynak oluşturulması amaçlandı.

Anahtar Kelimeler: değim açısı, yüzey serbest enerjisi, ıslanabilirlik

Abstract

Early studies describing the behaviour of different surfaces have been rather mechanical; however, current methods involve highly developed technologies of methods. Surface tension resulting from unbalanced forces and contact angle used to evaluate the interaction between liquids and solids as well as surface free energy has important influences on both living and nonliving substances. To determine their values, various methods are being used.

In the first part of this two-part review, the terms surface tension, contact angle and surface free energy and their methods of measurement are being defined in order to form a source for scientific research.

Keywords: contact angle, surface free energy, wettability

Giriş

Dişhekimliğinin her dalında, günlük uygulamalarda sıkça kullandığımız malzemelerin birbirleriyle ve bulundukları ortam ile ilişkileri sürekli araştırma konusu olmaktadır. Bunun için dişhekimliğinin yanında diğer pozitif bilim dallarından yararlanılmaktadır. Bu çalışmalar için kullanılabilecek yöntemlerin dişhekimi tarafından da bilinmesi sonucun yorumlanması açısından önemli olacaktır.

Yüzey/Arayüzey Gerilim Kuvveti

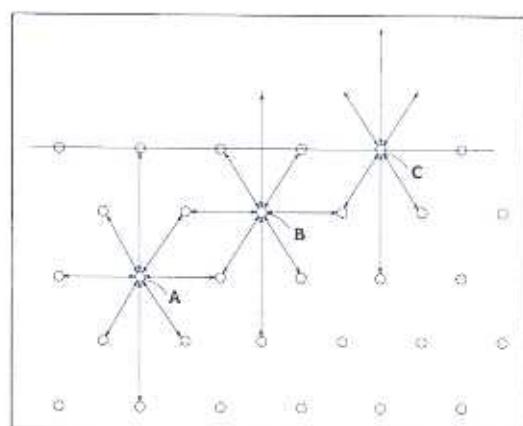
Bilindiği gibi maddenin katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç hali vardır. Bu üç yüzey de her zaman birbirleriyle etkileşim içindedir. Yüzeyler arası etkileşimler 18. yüzyıl'dan beri yapılan çalışmalarla açıklanmaya çalışılmıştır. Yüzeyler arası farklı davranışları açıklamak için yapılan ilk çalışmalar mekanik yönde olmuştur. Günümüzde katı maddelerin, aralarında kuvvetli çekim olan çok sayıda molekülden oluşan

tukları bilinmektedir. Bu moleküller dış yüzeyden her ne kadar düzgün bir dizilim gösterdikleri izlenimi verirlerse versinler katı bir cismin dış yüzeyindeki moleküller arasında da boşluklar vardır. Sıvı maddeler ise kendi kendine hareket eden moleküllerden oluşur.¹ Sivilan oluşturan moleküller türlerine göre birbirleri üzerine çekim etkisi göstermektektirler. Bir sıvının kendi molekülleri arasında var olan bu çekime *kohezyon* adı verilir. Moleküller arasındaki bu çekim kuvvetine de *kohezyon kuvvetleri* denilmektedir. Kohezyon kuvvetleri moleküller birbirlerine doğru yaklaşımak ister. Örneğin bir cam üzerindeki su veya cıva damlasının küreşel şekilde durması moleküller arasındaki kohezyon kuvvetlerinden ileri gelmektedir.²

Birbirinin aynı olmayan iki maddenin moleküller arasındaki çekime ise *adezyon* adı verilir. Protetik terimler sözlüğünde ise adezyon, moleküllerin bir cisme karşı fiziksel çekiminin sonucu olarak yakın olma hali veya birbirine degen iki cisim arasında var olan moleküller çekim olarak tanımlanmaktadır.³ Farklı tur moleküller arasındaki çekim kuvvetine *adezyon kuvvetleri* denilmektedir. Örneğin, su ile cam arasındaki çekim adezyon kuvvetlerinden ileri gelmektedir.^{2,4} Adezyon oluşturmak için kullanılan malzeme yada ince tabakaya adeziv (yapıştırıcı), adezivin uygulandığı materyale ise adherent adı verilir.⁵ İki yüzey arasındaki adezyon, hem adeziv, hem de adherent kuvvetinden fazla da olabilir. Örneğin, gerilim kuvveti altında, dış minesi ve metal alaşım arasındaki adezyonda kırıklar genellikle minede oluşur.⁶

Sıvı fazı oluşturan her bir molekül diğer molekül ile arasındaki uzaklığa *van der Waals* kuvvetleri ile körür. Sıvı fazı oluşturan moleküller arasındaki çekim kuvveti küçük olmasına rağmen, molekül sayısı geniş bir alan sağlamak için yeterlidir. Bu yaklaşım, sıvının karakteristik özelliğidir, sıvının içindeki her molekülün tüm yönlerden aynı kuvvetlerce etkilendigini destekler (Şekil 1), ancak bu düşünce her zaman doğru değildir. Örneğin, gaz-sıvı ortamında, moleküller sıvı içerisinde serbest hareket etmelerine rağmen, hareketleri moleküller arasında çok az çekim kuvvetinin olduğu gaz ortamından daha çok sınırlıdır. Sıvı moleküller arasındaki bu çekim onların gaz ortamında birbirlerinden kopmalarını önler. Yüzeydeki sıvı molekülleri iç

kısmdaki ve sıvı-gaz yüzeyindeki moleküllerle etkileşir. Sıvı içerisinde doğru daha fazla çekilen yüzeydeki sıvı molekülleri birbirlerine doğru daha çok yaklaşırlar ve sıvı yüzeyinin küçülmesine neden olurlar. Bu durumda sıvı yüzeyi gergin bir membranmış gibi davranışır. Düzgün menisküs tipindeki bu yüzey makroskopik olarak görülemez, çünkü iki faz arasında yüzey gerilimi adını alan bu yüzey filmi 100 nm veya daha az kalınlıktadır.¹



Şekil 1. Sıvı maddeyi oluşturan B ve C atomlarının, itme-maçış kimyasal bağları nedeni ile oluşan yüzey enerjileri.¹⁰

Bir çeşit su kertenkelesi, bu yüzey filmi sayesinde arka ayaklarının üzerinde su yüzeyini koşarak geçebilir, bu yüzeyde gezinebilir ve hatta ayaklarını kullanmadan suya hafifçe dokunarak su üzerinden yağlı maddeyi emebilir. Su üzerindeki film tabakası, böceğiin uzantılarının belirli kısımlardan delinebilir ama bu kadarince olmasına rağmen kopma göstermez.⁷ Benzer şekilde, su tarafından ıslatılmayacak şekilde hafifçe yağılmış igne veya jilet yavaşça ve yatay olarak su yüzeyine bırakılırsa, südan ağır olduğu halde su üzerinde yüzebilir.² Moleküller arasındaki çekim kuvvetinin oldukça az olduğu, moleküllerinin her yöne hareket gösterdiği gaz fazında söz konusu olmayan bu yüzey gerilimi sıvı ve katılarla özgü bir olaydır.⁵

Dengelenmemiş kuvvetlerden doğan yüzey geriliminin canlı ve cansız varlıklar için önemi büyük.⁸ Kütlesel çekim kuvvetinin olmadığı bir yere, örneğin, uzay boşluğununa bırakılan bir miktar sıvı küre şeklini alarak hemen en küçük yüzey alanına sahip

olur. Çünkü küre, verilen bir hacme ait en küçük yüzeye sahip olan geometrik şeklidir. Yağlı bir yüzeye püskürtülen su damlacıkları, su ile karşılaşan sabun damlacıkları ve cıva damlacıkları hep birer küre şeklindedir. Dünyanın da küre şeklinde olması, ermiş halde iken yüzey geriliminin etkisi ile en küçük yüzeyde olacak şekilde küre şeklini alması ve soğuduktan sonra şeklini korumasından ileri gelmektedir.²

Aşılı bir sıvı içerisinde cıva püskürtülürse küçük cıva damaları çözelti içerisinde dağılır ve bunlar zamanla birleşerek tek bir damla meydana getirir. Bu olayın nedeni, bir tek kütresel damanın yüzeyinin küçük damlacıkların toplam yüzeyinden daha küçük olmasıdır.² Sivının içindeki moleküller üzerine etkiyen çekim kuvvetlerinin bileskesi '0' olduğu halde sıvı yüzeyindeki moleküller sıvı içine doğru çekene net bir kuvvetin etkisi altındadır. Yüzeyi küçültmeye çalışan bu kuvvetleri yemek için sıviya dışarıdan enerji verilmesi gerekmektedir. Sabit sıcaklık ve basınçta sıvı yüzeyini 1 m^2 veya 1 cm^2 büyütmek için verilmesi gereken enerjiye yüzey gerilimi adı verilir ve γ ile simgelenir.^{8,9} Yüzey gerilimi bir sıvı yüzeyindeki 1 m veya 1 cm 'lik uzunluğu dikme keserek ikiye ayırmak için uygulanması gereken kuvvette eşit olarak da düşünülebilir. Buna göre yüzey gerilimi için SI birimi J/m^2 veya N/m ; CGS (cm-gram-saniye) birimi ise, erg/cm^2 veya dyn/cm olur.

$$1 \text{ erg/cm}^2 = 1 \text{ dyn/cm} = 10 \text{ J/m}^2 = 10 \text{ N/m} = 1 \text{ mN/m} = 1 \text{ mJ/m}^2$$

$$(1 \text{ N/m} = 1000 \text{ dyn/cm})$$

Yüzey gerilimi boyulu enerji/yüzey ya da kuvvet/uzunluk olarak ifade edilir.⁸

Yüzey gerilimini basit bir deneyle şöyle açıklayabiliriz. Birkaç damla sıvı yağ döktüğümüz elimizi akar su altında yıkamayı denedigimizde elimizi yağdan arındıramayız, fakat daha sonra elimizi sabun ile yıkadığımızda yağın kolaylıkla temizlendiğini görebiliyoruz. Su molekülleri birbirleriyle sıkı bağlar ile bağlıdır ve elimizin üzerindeki yağ ile karışmazlar. Su molekülleri yağ ile kaplı elimizin üzerinde yuvarlanan küçük damalar oluştururlar. Biz, her bir damanın çevresinde oluşan yüzey gerilim tabakasını göremeyiz. Sabun molekülleri hem su, hem de yağ moleküllerini tarafından çekilirler. Sabun moleküller-

rının bazı kısımları yağda, bazı kısımları ise suda kalırlar. Sabun oluşan yüzey gerilimini düşürür ve su ile birleşen yağ moleküllerini elimizin üzerinden uzaklaştırır. Böylece elimiz yağdan temizlenmiş olur.

Aşağıdaki olayların nedenini dış görünümü de elkileyen yüzey geriliminin bir sonucu olarak ifade edebiliriz.^{10,11}

- Damla oluşumu, yüzey gerilim formudur.
- İslatma, yüzey gerilimi yüzey adezyonunu kontrol eder. Değim açısı (θ) adeziv ve koheziv kuvvetler arasındaki rekabeti simgeler.
- Kapiller hareket, dar yapılardaki sıvının yüzey gerilimini ve adezyon davranışını kontrol eder.
- Meniskus, kapillaritenin etkisiyle sıvı sütunu yüzeyin içbükey ve dışbükey olarak şekillenmesidir.¹²

Yüzey gerilim kuvvetinin ölçülmesi

Yüzey gerilimi ölçümünde kullanılan birbirinden farklı yöntemler vardır.^{2,13,14} Bunlar, aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Sıvıların bir kılcalda yükselmesi veya düşmesi:

Bu yöntem yüzey gerilimini göstermek ve ölçmek için kullanılan en eski, fakat en direkt bir yöntemdir. Bir sıvı içerisinde batırılmış kapiller (dar bir cam boru) içinde sıvı moleküllerinin hareketleri esas alınır.

Damla kütlelerini belirleme veya damla sayma (staglamometre): Bir Traube staglamometrenin belli hacminden akan iki sıvıdan biri, yüzey gerilimi bilinen karşılaşma sıvısı olarak kullanılır. Diğer sıvının bu sıviya göre yüzey gerilim değeri hesaplanabilir.

Bir halkanın sıvıdan koparılması: Du Nouy yöntemi olarak bilinen bu yöntemle platin-iridyum合金ından yapılmış halka şeklindeki bir tel yüzey gerilimi ölçülecek sıvıya batırılır. Halka üzerindeki sıvı filmi kopuncaya kadar bir kuvvet uygulanarak hesaplamalar yapılır.

Maksimum kabarcık basıncının belirlenmesi: Su içerisinde 'h' kadar batırılmış bir cam borunun alt ucuna kabarcık oluşturmak için uygulanan basınç yüzey gerilimi ile ilişkilendirilir.

Yüzey aktif maddelerin yüzey gerilim kuvvetine etkisi

Yüzey aktif maddeler yapılarında hem hidrofilik (su-seven), hem de hidrofobik (su-sevmeyen) kısımlar taşır. Bu nedenle su içinde bulundukları zaman, yapılarından dolayı sistemde bir karışıklığa neden olurlar ve su/gaz ara yüzünde, hidrofilik grubu su fazına, hidrofobik grubu ise diğer fazaya yonelecek şekilde tutunurlar. Bu maddelerin yüzeye taşınmaları, kararlı bir durumda olan bir su molekülünün yüzeye taşınmasından çok daha kolay olduğu için yeni yüzey yaratmak için harcanan enerji çok daha düşük olacaktır. Yani yüzey gerilim kuvveti azalacaktır. Bu azalma yüzeyde biriken yüzey aktif maddenin miktarına bağlıdır. Yani artan konsantrasyonla yüzey gerilim kuvveti belirli bir konsantrasyona kadar azalmaya devam eder. Bu konsantrasyondan sonra sabit kalır.¹⁵ Kritik misel konsantrasyonu olarak bilinen bu noktada yüzey aktif moleküllerin artık tek başlarına değil grup halindedirler. Bu gruplara misel denir. Bu anda yüzey gerilim kuvvetinin yanı sıra, çözeltinin iletkenlik, osmotik basınç, karma indisi vb. diğer fizikokimyasal özelliklerinde de büyük değişiklikler oluşur. Yapılan molekül ağırlığı tayini çalışmalarını çözeltideki partiküllerin tek tek moleküller olmayıp yaklaşık 50–100 moleküllük bir-biriyle bağlanan tanecikler olduğunu göstermiştir. Misellerin yapısı gerçekte oldukça karışık, ancak bu yapıyı açıklamakta iki model kullanılmıştır. Bu modellerden biri küresel misel modeli, diğeri düzlemsel misel modelidir. Her iki modelde de moleküllerin hidrofobik uçları birbirine, hidrofilik uçları suya yönelmiştir.

Bir sıvının yüzey gerilimi katınlımkinden düşükse, sıvı katı yüzeyde yayılır. Polimerler genellikle düşük enerjili katıldır ($<40 \text{ dyn/cm}^2$).¹⁶ Polimer yüzeylerin ıslanabilirliklerinin artırılması için yüzey enerjilerinin artırılması yoluna gidilir. Rijit olmalarından dolayı katıların yüzey enerjilerinin ölçülmesi zordur. Sert katılar yumuşak olanlardan daha yüksek yüzey enerjisine sahiptirler. Moleküler teoriye göre farklı kristal yüzleri birim alanda farklı yüzey enerjileri oluştururlar. Kristal yüzeyle katılarla yüzey gerilimi daha düşüktür.¹⁷

Sıvıların yüzey gerilim değeri ortam ısısına da bağlıdır. Yüzey gerilimi ve sıcaklık arasındaki ilişki

Ramsay-Shields eşitliği ile belirtilir.¹⁸ Ortam ısısı arttıkça, değer doğrusal olarak düşecektir. Kritik ısında değer 0'dır.¹⁷ Çoğu organik ve inorganik sıvılar için ıda ısısında yüzey gerilim değeri 15–50 dyn/cm arasında değişir. Hidrojen bağları ile birleşen güçlü intermoleküler kuvvetlerden dolayı 20°C'de su için yüzey gerilim değeri oldukça yüksektir (73 dyn/cm).^{8,19} İnsan tükürügünün ortalama yüzey gerilim kuvveti 55 dyn/cm'dir.¹⁹ Sıvı metaller ve erimiş tuzlar için de yüzey gerilim değeri oldukça yüksektir.¹⁷ Civa için 20°C'de 490 dyn/cm'dir. Çözüçüler için değer 20–30 dyn/cm arasında değişir. Ergime noktaları yüksek olan metal oksitler saf metallerden daha düşük yüzey gerilimine sahiptirler. Birbiri içinde doymuş sıvı-sıvı için yüzey gerilimi değeri saf sıvının yüzey gerilim değerinden daha düşüktür.⁸ Tablo 1'de bazı maddeler için yüzey gerilim değerleri görülmektedir.²⁰

Tablo 1. Bazı materyallerin yüzey gerilim değerleri¹⁹

MATERİYAL	ÜRÜN	YÜZYE GERİLİMİ	SICAKLIK
		(dynes/cm)	(°C)
Kan		55.5-61.2	
Civa		483.5	25
Porselen	Ceramco	366	1038
Tükürük		53	37
Su		72.3	25
Etanol		22	
Amalgam	Argos	48.1	
Co-Cr-Mo (polisajlı)	Vitallium (cerrahi)	22.3	
Co-Cr-Mo (plazma ile temizlenmiş)	Vitallium (cerrahi)	> 72	
Cam	Pyrex	179	
Altın	AB Adelmetal	54.7	
Bakır		1100	1130
Gümüş		1000	1070
Polieter	Impregum	27.9	
İkinci Slikon	Empress Hydrophilic	53.8	
	Imprint Hydrophilic	52.4	
	President	21.2	
	Provil	20.2	
Kondansı Slikon	Xantropen	14.4	
Parafin		22.26	
Polietylén		31.33	
Polimetil Metakrilat		39	
Polietyluretilen	Teflon	18	
Mine		31.5	37

İslatma

Oldukça düzgün görülmelerine karşın atomik ve moleküler boyutta düzensizlikler içeren iki katı yüzeyi birbirine yapıştırmak oldukça zordur. Örneğin, parlak iki cam tabaka arasına ince bir su tabakası uygulandığında, iki camı birbirinden ayırmak oldukça güçleşir, çünkü camın yüzey enerjisi su moleküllerinin birbirlerini çekim kuvvetinden büyüktür.^{5,21} Adezyon oluşturmak için, sıvı materyal katı yüzey üzerinde kolaylıkla yayılmalıdır ve katıya bağlanabilmelidir. Eğer sıvı düşük yüzey enerjisi nedeni ile katı yüzeyi ıslatmaz ise adezyondan bahsedilemez.⁵

Adezivin aderent yüzeyi ıslatabilmesinde etkili faktörler şu şekilde sıralanabilir:⁵

- Yüzeyin temizlik derecesi
- Aderentin yüzey enerjisi (örneğin, bazı metal yüzey üzerinde oksit tabakası metalin yüzey enerjisini düşürür ve adezivin değimi engellenir.)
- Adezivin yüzey gerilimi
- Adezivin viskozitesi

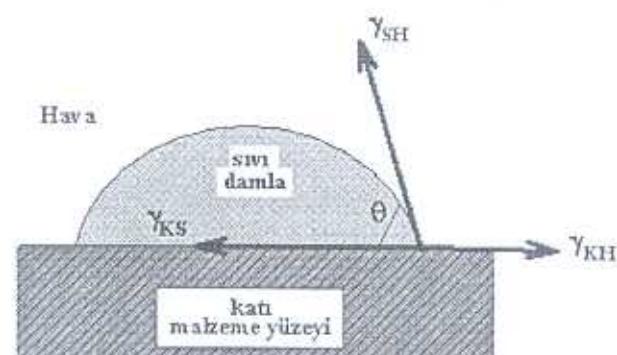
Değim Açısı

Katı yüzeyine yerleştirilen bir sıvı-damla Şek. 2'de görüldüğü gibi üç fazın (hava, sıvı, katı) arayüzey gerilim kuvvetlerinin söz konusu sistem için dengeye ulaşmasına bağlı olarak ya yüzeye tamamen yayılır (temiz bir cam üzerindeki sıvı gibi) ya da yayılmadan damla şeklinde kalır (cam üzerinde cıva, mum üzerinde su gibi). Bu yayılmanın derecesi, damyanın katı yüzey üzerinde üç fazın arayüzey gerilim kuvvetlerinin dengede olduğu noktada oluşturduğu açının sıvı tarafa doğru ölçülmesi ile bulunabilir (Şekil 2). Damyanın eğimlenmiş yüzeyine çizilen teget çizgisi ile ıslanmış katı yüzey arasında kalan açı *değim açısı* adını alır.^{11,22} Bu açı ölçmek amacı ile bir mikroskop ve gonyometre içeren değim açısı ölçüm cihazları yapılmıştır ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçülen açı değeri ne kadar küçükse sıvı malzeme yüzeyinde o kadar fazla yayılıyor, ne kadar büyükse o kadar yayılmıyor ve damla şeklini koruyor demektir (Şekil 3).^{11,23-26}

Arayüzey gerilim kuvvetlerinin denge durumunu 'Young' eşitliği değim açısı ile aşağıdaki gibi ifade etmektedir.

$$\gamma_{KH} = \gamma_{KS} + \gamma_{SH} (\cos\theta)$$

Daha önceki ifade edildiği gibi damyanın şekli malzemenin yüzey yapısına ve çevre koşullarına bağlı olup damlaya etki eden arayüzlerin gerilim kuvvetlerinin (katı/sıvı, katı/hava, sıvı/hava arayüz gerilim kuvvetleri) dengelenmesi ile son halini alır. Bazı katı yüzeylerinde damla şekli zamanla değişebilir. Bu durumda statik ve dinamik olmak üzere iki değim açısından bahsedilebilir.



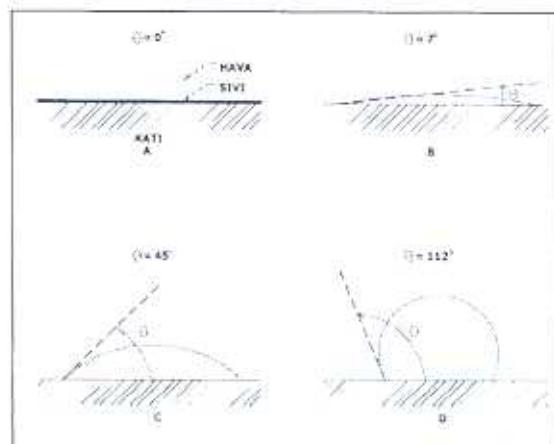
Şekil 2. Değim açısının şekilsel görünümü.

θ : Değim Açı

γ_{SH} : Sıvı-Hava arasındaki yüzey gerilimi

γ_{KH} : Katı-Hava arasındaki yüzey gerilimi

γ_{KS} : Katı-Sıvı arasındaki yüzey gerilimi



Şekil 3. Yüzeydeki ıslanmaya bağlı adezyon²⁶

- A. Değim açısı 0°: Sıvı yüzeyde tamamen yayılır
- B. Küçük Değim Açı: Çok az kontamine olmuş yüzey
- C. Büyüğ Değim Açı: Üzerindeki sıvıyı absorbe ederek kontamine olmuş yüzey
- D. Büyüğ Değim Açı: Düşük yüzey enerjisine sahip katı üzerinde oluşan zayıf ıslatma

Değim açısının zamanla bağlı olarak değişmesinde etkili olan faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.^{3,11,22,27-28}

- Kaba yüzeyler (gözle görülen veya mikroskopik olarak izlenen yüzey düzensizlikleri)
- Sivinin katı içine penetrasyonu (naylon içinde su)
- Katının heterojenöz kimyası (kırılmış mineral kristalleri)
- Katı yüzeyin veya sivının kirli olması (arabanın ön camı üzerindeki sıvı daması)
- Yüzey oksidasyon derecesi
- Yüzey enerjisi
- Sivinin yüzey gerilimi

Değim açı değeri ile katı materyallin sıvı ile ıslanabilirlik özelliği değerlendirilir.

İslanabilirliğin direkt ölçümünde optik bir yöntem olan "statik damla düşme" (*static sessile drop*) yönteminden ve "kabarcık yakalama" yönteminden (*captive bubble*) yararlanılır.²⁹⁻³² Statik damla düşme yönteminde buharlaşmaya bağlı olarak zamanla damla şeklinde ve bununla birlikte açı değerinde değişiklikler gözlenir. Kabarcık yakalama yöntemi zaman alıcıdır fakat ölçüm hatalarına daha duyarlıdır.^{30,33,34}

Son yıllarda ıslanabilirliğin değerlendirilmesinde ölçüm hatalarının azaltıldığı ve uygulama kolaylığı olan tensiometrik *Wilhelmy teknigi* ve dinamik değiim açı analiz tekniği kullanılmaktadır.³⁵⁻³⁹ Dinamik değiim açısı analizinde yüzeylerin ıslanabilirliklerinin belirlenmesi amacı ile saflığı yüksek olan sıvılar kullanılır.⁴⁰ Bunun katılar arasındaki farklılıklar analiz etmede değeri vardır. Bununla birlikte, suyun ıslatabilirliğine bağlı olarak belirlenen adezyon kuvvetinin seramik-rezin bağlantısında klinik önemi yoktur. Bunun yerine, asitlenmiş ve silanlanmış dental seramiklerin ıslanma davranışlarındaki değişikliklerin tanımlanmasında araştırma ortamı (*probing medium*) olarak adeziv ve benzeri sıvı rezin kullanılmalıdır.⁴¹

Değim açısı katı ve deneysel ortam arasındaki moleküller etkileşimin sonucudur. Yüzeyi araştırmak için kimyasal yapısı benzer iki ortam kullanıldığında, düşük yüzey gerilimi olanın değiim açısı değeri düşüktür.⁴¹ Eldeki yüzeye sivının davranışına bağlı

oluşan değiim açısının ölçülmesi ile yüzey serbest enerjisi belirlenebilir.⁴²

Serbest Enerji Değişimi

Serbest enerji değişimi, arayüz gerilim kuvveti değerlerinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$G = -\gamma_{KH} + \gamma_{SH} + \gamma_{KS}$$

γ_{KH} = Katı/hava arayüzündeki gerilim kuvveti;

γ_{SH} = Sıvı/hava arayüzündeki gerilim kuvveti;

γ_{KS} = Katı/sıvı arayüzündeki gerilim kuvveti.

Yukarıdaki eşitlik, Young eşitliğinden de yararlanılarak, sıvı/hava arayüzündeki gerilim kuvveti (γ_{SH}) kullanılarak hesaplanabilecek şekilde aşağıdaki gibi dönüştürülür.

$$\gamma_{SH} = \gamma_{KS} + \gamma_{SH} (\cos\theta) \text{ Young eşitliği}$$

$$G = -(\gamma_{KS} + \gamma_{SH} (\cos\theta)) + \gamma_{SH} + \gamma_{KS}$$

$$G = -\gamma_{KS} + \gamma_{SH} (\cos\theta) + \gamma_{SH} - \gamma_{KS}$$

$$G = \gamma_{SH} (1 - \cos\theta)$$

Bu değer bize söz konusu yüzeyin belirli bir sıvı tarafından ıslatılmasının ne kadar olası olduğu hakkında bilgi vermektedir. Bu değer ne kadar düşük ve eksi ise söz konusu ıslatmanın olasılığı o kadar yüksek demektir.

Düşük yüzey gerilimine sahip bir sıvı yüksek enerjili yüzey üzerinde hızla yayılır. Yayılma, düşük enerji düzeyine sahip bariyer tabakasının uygulanması ile kontrol altına alınabilir. Sivının katı yüzey üzerindeki adezyon kuvveti yeterli oranda artarsa, yayılma geçici.¹⁰ Çoklu metaller yüksek yüzey enerjisine sahiptirler. Bu nedenle uygun adezivler ile ıslanabilirleri kolaydır. Bunun yanında, düşük enerjiye sahip olması nedeniyle teflon adezyona dirençlidir.⁴

Sonuç

Gerek sağlıtm, gerekse laboratuvar uygulanmalarda kullandığımız materyallerin birbirleri ve bulundukları ortam ile ilişkilerinin değerlendirilmesinde kullanılabilen yöntemlerin irdelenmesi, yapılacak bilimsel çalışmalara ışık tutacaktır.

Kaynaklar

1. Probstein FD. Physicochemical Hydrodynamics. Butterworth-Heinemann. 1989; 267-314.
2. Pekin B. Sıvılar Katılar. Çözeltiler ve Fazlar Kuralı (2. Cilt). Çağlayan, İstanbul. 1990; 19-21.
3. The glossary of prosthodontic terms. The Academy of Prosthodontics. *J Prosthet Dent* 1994; 71: 41-112.
4. Phillips RW, Moore BK. Elements of Dental Materials For Dental Hygienists and Dental Assistants. 5th ed. W.B. Saunders Company, Philadelphia. 1993; 14-19.
5. Phillips RW. Skinner's Science of Dental Materials 8th Edition. W.B. Saunders Company, Philadelphia. 1982; 21.
6. Shell JS, Nielsen JP. Study of the bond between gold alloys and porcelain. *J Dent Res* 1962; 41: 1424-1437.
7. Martin PAP, Franklin W. Animals That Walk on Water. Franklin Watts. 1998; 35-40.
8. Levine IN. Physical Chemistry. 4th ed. McGraw-Hill, New York. 1995; 350-353.
9. O'Brien WJ. Dental materials and their selection. 2nd ed. Quintessence Publishing. Chicago. 1997; 37.
10. Bhushan B. Principles and Applications of Tribology. John Wiley and Sons, Inc., New York. 1999; 97-99.
11. Olphen HV. Colloidal Chemistry Clay. John Wiley and Sons, Inc., New York. 1987; 92-108.
12. Dorland WA. Dorland's Illustrated Medical Dictionary. 30th ed. W.B. Saunders, Philadelphia. 2004.
13. Baysal B. Denel Fizikokimya (çeviri). Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları Şirketi. Murettibiye Basimevi, İstanbul. 1954; 258-266.
14. Sankaya Y. Fizikokimya. Gazi Büro Kitapevi, Ankara. 1997; 173-177.
15. Barrow GM. Physical Chemistry. 5th ed. McGraw Hill College Div., 1988; 217-219.
16. Milosevic A. The influence of surface finish and in-vitro pellicle on contact angle measurements and surface morphology of three commercially available composite restoratives. *J Oral Rehabil* 1992; 19: 85-97.
17. Albert RA. Physical Chemistry. 7th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York. 2000; 306-307.
18. Kittsley SL. Physical Chemistry. 2nd ed. Barnes and Noble Inc., New York. 1963; 25.
19. Çalikkocaoglu S. Tam Protezler Cilt 1. 3. Baskı. Teknografik, İstanbul 1998; 121.
20. <http://www.lib.umich.edu/dentlib/>
21. Jacobson TE, Kroll AJ. A contemporary review of the factors involved in complete denture retention, stability and support. Part I: Retention. *J Prosthet Dent* 1983; 49: 5-15.
22. Oh W, Shen C, Alegre B, Anusavice KJ. Wetting characteristics of ceramic to water and adhesive resin. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 616-621.
23. Zisis AJ, Polyzois GL, Jagger RG, Waters MG. Wettability of visible light-curing dental lining materials. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 250-254.
24. Chebbi R. Capillary spreading of liquid drops on prewetted solid surfaces. *J Colloid Interface Sci* 1999; 211: 230-237.
25. Putz G, Goerke J, Schurz S, Clements JA. Evaluation of pressure - driven captive bubble surfactometer. *J Appl Physiol* 1994; 76: 1417-1424.
26. Oh WS, Shen C, Alegre B, Anusavice KJ. Wetting characteristic of ceramic to water and adhesive resin. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 616-621.
27. Milleding P, Gerdes S, Holmberg K, Karlsson S. Surface energy of non-corroded and corroded dental ceramic materials before and after contact with salivary proteins. *Eur J Oral Sci* 1999; 107: 384-392.
28. Rame E, Garoff S. Microscopic and macroscopic dynamic interface shapes and the interpretation of dynamic contact angles. *J Colloid Interface Sci* 1996; 177: 234-244.
29. Kilani BH, Retief DH, Guldag MV, Castleberry DJ, Fischer TE. Wettability of selected denture base materials. *J Prosthet Dent* 1984; 52: 288-291.
30. Wright PS. Observations on long-term use of a soft-lining material for mandibular complete dentures. *J Prosthet Dent* 1994; 72: 385-392.
31. Polat H, Chander S. Adsorption of PEO/PPO Triblock Co-Polymers and wetting of coal. *J Colloids Surfaces: A Physico-chemical and Engineering Aspects*. 1999; 146: 199.
32. Mondon M, Ziegler C. Changes in water contact angles during the first phase of setting of dental impression materials. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 49-53.
33. Monsenego P, Baszkin A, de Lourdes Costa M, Lejoyeux J. Complete denture retention. Part II: Wettability studies on various acrylic resin denture base materials. *J Prosthet Dent* 1989; 62: 308-312.

34. Waters MG, Jagger RG, Jerolimov V, Williams KR. Wettability of denture soft lining materials. *J Prosthet Dent* 1995; 74: 644-646.
35. Murray MD. Investigation into the wettability of poly (methylmethacrylate) in vivo. *J Dent* 1986; 14: 29-33.
36. Zissis A, Yannikakis S, Jagger RG, Waters MGJ. Wettability of denture materials. *Quintessence Int* 2001; 32: 457-462.
37. Knorr SD, Combe EC, Wolff LF, Hodges JS. The surface free energy of dental gold-based materials. *Dent Mater* 2005; 21: 272-277.
38. Rupp F, Axmann D, Ziegler C, Geis-Gerstorfer J. Adsorption/desorption phenomena on pure and TellonAl_x-coated titania surfaces studied by dynamic contact angle analysis. *J Biomed Mater Res* 2002; 62: 567-578.
39. Rupp F, Mondon M, Geis-Gerstorfer J, Ziegler C, Wurm M, Reusch B. Dynamic contact angle measurements on two type 3 impression materials. *J Dent Res* 2000; 79: 137 (abstract no. 2427).
40. Phoenix RD, Shen C. Characterization of treated porcelain surfaces via dynamic contact angle analysis. *Int J Prosthodont* 1995; 8: 187-194.
41. Della Bona A, Shen C, Anusavica KJ. Work of adhesion of resin on treated lithia disilicate-based ceramic. *Dent Mater* 2004; 20: 338-344.
42. Combe EC, Owen BA, Hodges JS. A protocol for determining the surface free energy of dental materials. *Dent Mater* 2004; 20: 262-268.

Yazışma Adresi:

Dr. Gülcen COŞKUN AKAR
Ege Üniversitesi,
Atatürk Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu
35100 - Bornova / İZMİR
Tel : (232) 388 40 00 / 1543
Faks : (232) 388 03 25
E-posta : coskung@den.lege.edu.tr