



Received / Makale Geliş Tarihi 20.11.2023
Published / Yayınlanma Tarihi 31.01.2024
Volume / Issue (Cilt/Sayı) 8 (38)
ss / pp 164-174

Research Article / Araştırma Makalesi
10.5281/zenodo.10642733
Mail: editor@pejoss.com

Muhammet Murat Dağlıan
<https://orcid.org/0009-0002-1940-231X>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Raci Erzın
<https://orcid.org/0009-0006-8894-2503>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Cumali Yılmaz
<https://orcid.org/0009-0007-7516-3698>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

İrfan Tağa
<https://orcid.org/0009-0004-4327-1166>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Yasin Parmaksız
<https://orcid.org/0009-0000-1612-1868>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Cumali Kaya
<https://orcid.org/0009-0007-3386-9131>
Milli Eğitim Bakanlığı, Adana / TÜRKİYE

Paralel Levhalar Arasındaki Sabun Baloncuğunun Eksantrikliği

Eccentricity of Soap Bubble Between Parallel Plates

ÖZET

Bu çalışma; sabun baloncuklarının eksantrikliği ile levhalar arasındaki gerilim ilişkisini göstermek amaçlı bir model oluşturmaktadır. Çalışma, kapsamlı bir alan olan minimal yüzeyler konusuna mütevazı bir katkı yapmak amacıyla bir model oluşturmaktadır. Çalışma, kapsamlı bir alan olan minimal yüzeyler konusuna mütevazı bir katkı yapmak amacıyla bir model oluşturmaktadır. Araştırmada deneysel bir model çalışması yürütülmüştür. Elde edilen bulgular neticesinde ulaşılan sonuçlar; Paralel levhalar arasındaki sabun baloncuklarının yüksekliği ve genişliği, levhalar arasındaki gerilimin ikinci dereceden işlevidir ve gerilim arttıkça yükseklik artar genişlik azalır. Paralel levhanın elektrik alanındaki sabun baloncuğunun şekli elipsoidin bir parçasıdır ve eksantrikliği gerilim ile orantılıdır. Sabun baloncuğunun deformasyonu, yüzey gerilimi ve elektrik alan kuvveti arasındaki dengedir, sabun baloncuğu modelinin kuvvet dengesinin analizi sabun baloncuğu modelinin eğriliği ile yüzey yükü yoğunluğu arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılabilir. Çalışma, sabun baloncuklarının şeklini hesaplamak için bir yöntem öneren ve aslında sayısal simülasyon yoluyla tartışan teorik bir model oluşturmaktadır, son olarak deneysel verilere oldukça yakın olan sabun baloncuğunun eksantrikliği ile gerilim arasındaki orantısız ilişki elde edilir.

Bir sonraki araştırmacı, elektrik alanlarındaki sabun baloncuğunun sarsıntılı durumlarını inceleyebilir. Sistemin farklı DC elektrik alanları altında sabun balonlarının mikro salınım frekansını veya zamanla değişen elektrik alanında zorlamalı salınımlarını gözlemleyerek sistemin eşdeğer esneklik katsayısını ve sabun baloncuğunun salınım frekansını araştırabilir

Anahtar Kelimeler: Sabun Baloncuğu, Eksantriklik, Yüzey Gerilimi.

ABSTRACT

This work; creates a model to show the eccentricity of the soap bubbles and the tension relationship between the plates. The study aims to make a modest contribution to the comprehensive field of minimal surfaces.

An experimental model study was conducted in the research. The conclusions reached as a result of the findings obtained;

The height and width of soap bubbles between parallel plates are quadratic functions of the tension between the plates, and as the tension increases, the height increases and the width decreases.

The shape of the soap bubble in the electric field of the parallel plate is part of the ellipsoid and its eccentricity is proportional to the voltage.

The deformation of the soap bubble is the balance between surface tension and electric field strength, analysis of the force balance of the soap bubble model can be used to determine the relationship between the curvature of the soap bubble model and the surface charge density.

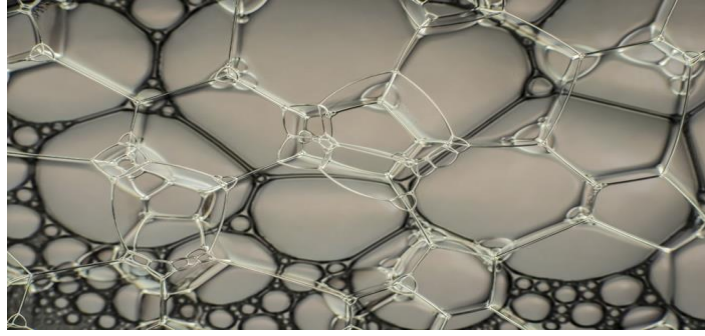
The study establishes a theoretical model that proposes a method to calculate the shape of soap bubbles and actually discusses it through numerical simulation, finally obtaining the proportional relationship between the eccentricity of the soap bubble and the stress, which is quite close to the experimental data.

The next researcher might study the jerky states of soap bubbles in electric fields. It can investigate the equivalent elasticity coefficient of the system and the oscillation frequency of the soap bubble by observing the micro-oscillation frequency of soap bubbles under different DC electric fields of the system or their forced oscillation in a time-varying electric field.

Keywords: Soap Bubble, Eccentricity, Surface Tension.

1. GİRİŞ

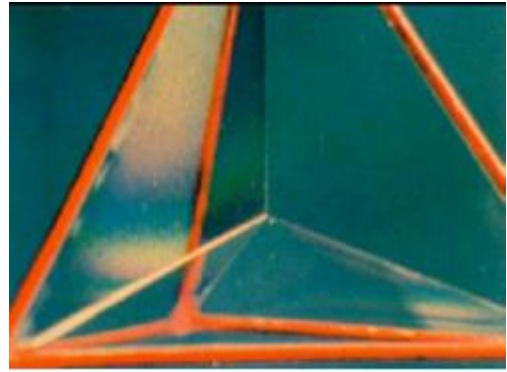
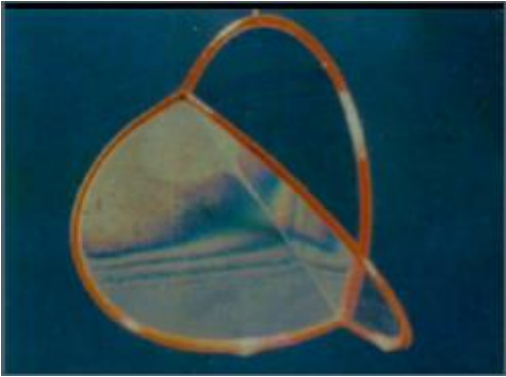
Bir sabun baloncunu oluşturmak kolaydır. Ancak kolay bozulan yapılarından dolayı onlarla sistemli bir çalışma yapmak zordur. Sabun baloncunun harcadığı enerji yüzeyiyle orantılıdır. Köpük, en az enerji harcayacağı şekli almak ister. Bunun için yüzeyinin mümkün olduğunca küçük olması gerekir. Bu durumda da alacağı en uygun şekil küre olacaktır.



Resim 1. Sabun Köpükleri

Belçikalı fizikçi Joseph Plateau sabun baloncuklarının yapısı ve özellikleri üzerine pek çok deney yürütmüş ve dört basit sonuca ulaşmıştır (Özsöylev, 1998). Bunlar;

1. Bir sabun zarı (sabun köpüğünden elde edilen zar) düzgün parçacıklar topluluğundan oluşur.
2. Her bir düzgün parçanın ortalama eğriliği (yani yüzeylerinin ortalama eğimi) sabittir
3. Üç sabun baloncunun yüzeyleri, birleştikleri yerde düzgün bir eğri meydana getirir ve 120°'lik bir açıyla her bir yüzeyi böler (Resim 2).
4. Ortaya çıkan altı eğri birbirlerine yaklaştıkları yerde bir nokta oluştururlar ve bu noktada her çift eğri arasındaki açı eşittir (yaklaşık 109.28°) (Resim 3).



Resim 2. Plateau'nun 3. Kuralı (Güner ve Çağdaş, 2019) **Resim 3.** Plateau'nun 4. Kuralı (Güner ve Çağdaş, 2019)

Plateau kanunları aslında tek bir prensibin sonucunda doğmuştur: Verilen bir hacim için en küçük yüzey alanı veren şekiller, sabun baloncuklarına benzer. Yani sabun zarlarını model alan matematiksel yüzeyler minimal yüzeylerdir. Minimal yüzeylerin iç ve dış yüzeylerindeki basınç eşit olduğu için doğal bir kararlılık halindedirler (Güner ve Çağdaş, 2019).

Bir sıvının içindeki moleküller çevrelerindeki moleküllerce bütün yönlerde eşit kuvvetle çekilir. Halbuki sıvı yüzeyindeki moleküller sıvının içerisine doğru çekilirken dışarıya doğru çekim kuvveti olmaz. Böylece sıvı yüzeyindeki moleküller sıvının içerisine doğru çekilmiş olurlar. Bunun sonucunda da sıvı yüzeyi gerilmiş esnek bir zar gibi davranır. Bir sıvının birim yüzeyindeki molekülleri uzaklaştırmak için gerekli enerji, yüzey geriliminin birimini verir (Ursavaş vd., 2020).

Yüzey gerilimi bir sıvının yüzey katmanının esnek bir zar gibi davranmasına yol açan etkinin adıdır. Tüm sıvıların yüzeyleri sanki gerilmiş bir zarla kaplıymış gibi davranır. Bu olayda sıvı yüzeyi olası en küçük alanı kaplayacak şekilde büzülür. Yüzey geriliminin matematiksel modeli birim uzunluğa düşen kuvvettir (fizikdersi.gen.tr, 2017). $\gamma = F/L$ Birimi N/m'dir, ama kuvvet küçük olduğu için dyne/cm cinsinden de belirtilir. Bu 1 cm uzunluğunda bir zarı kırmak için kaç dyne kuvvet uygulamak gerektiği demektir (Ursavaş vd., 2020).

Yüzey geriliminin nedeni sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetidir (Kohezyon kuvveti, su-su çifti gibi benzer moleküller arasında oluşan çekim kuvvetidir). Sıvının iç kısımlarındaki moleküllerin etrafı diğer sıvı molekülleri tarafından sarılmıştır. Bir molekül her yanından eşit miktarda kohezyon kuvveti etkisi altında kalır. Ama sıvı ile hava sınırındaki moleküllerin üst taraflarında sıvı molekülü yoktur, sadece aşağı ve yanlara doğru çekilirler. Bu yüzden sınırdaki sıvı molekülleri ile yanlarındaki moleküllerin kohezyonu kuvveti daha güçlüdür. Sabun köpükleri minimum yüzey-gerilim potansiyel enerjisine sahiptirler (Kavurmacıoğlu ve Arıdağ, 2015).

Yüzey gerilimi sıvının sıcaklığı, saflığı ve cinsine göre değişebilmektedir. Bu nitelikler doğrudan sıvının kohezyon gücüne etki eder. Bu etkiden dolayı da yüzey geriliminin değişimi gerçekleşir.

Sıvının sıcaklığı: Sıcaklık arttıkça sıvı molekülleri hareketlenir ve hareket arttıkça kohezyon etkisi zayıflar. Kohezyon etkisi zayıfladığı için de yüzey gerilimi zayıflar. Örneğin 20°C sıcaklıkta suyun yüzey gerilimi 0,0773 N/m iken 100°C sıcaklıkta (aynı saflığa sahip) suyun yüzey gerilimi 0,059 N/m olur (Aydar & Bağdatlıoğlu, 2014).

Sıvının Saflığı: İçerisine herhangi bir madde karışmayan sıvıya saf sıvı denir. Sıvıya karışan bazı maddeler sıvının yüzey gerilimini arttırırken bazı maddeler sıvının yüzey gerilimini azaltır. Yüzey gerilimi düşük olan su daha çok köpürür ve daha çok kir çözme gücüne sahip olur. Deterjanlar, sabunlar, şampuanlar ve diğer temizlik malzemeleri etkilerini arttırmak için suyun yüzey gerilimini azaltır. Suya tuz eklendiğinde ise tuzlu-suyun yoğunluğu artar ve yüzey geriliminde artış meydana gelir (Aydar & Bağdatlıoğlu, 2014).

Sıvının Cinsi: Sıvının sahip olduğu moleküller arası bağın kuvveti kohezyonu dolayısıyla yüzey gerilimini etkiler. Örneğin 20°C sıcaklıkta suyun yüzey geriliminin (0,0773 N/m) yüksek olmasının nedeni yapısında bulunan hidrojen bağlarıdır. 20°C sıcaklıkta bulunan cıva da ise metalik bağ bulunur ve yüzey gerilimi (0,48 N/m), suyun yüzey geriliminden çok daha yüksektir.

Bir sıvı içerisinde, yüzeyde olan ve yüzeyde olmayan moleküllerinin incelenmesi, bu durumu daha kolay anlayabilmemizi sağlar. Moleküller birbirlerine çekim kuvveti uygulamaktadırlar. Sıvı içerisindeki moleküllere uygulanan kuvvetler simetriktir ve birbirlerini dengelerler. Yüzeyde ise durum farklıdır. Sıvı moleküllerin üzerinde gaz moleküller vardır ve bunların uyguladıkları çekim kuvvetleri çok düşüktür. Dolayısıyla sıvı moleküllerinin birbirlerine uyguladıkları kuvveti dengeleyemezler ve yüzeyde bir gerilme oluşur (Göktepe ve Mülâyım, 2015).

Küçük çelik iğnenin suya batmaması, bazı böceklerin su üzerinde yürüyebilmeleri, bunların ağırlıklarıyla sıvının yüzey gerilimine karşı koyamamalarından kaynaklanmaktadır.

Aralarında d kadar uzaklık bulunan özdeş iki iletken levha iletken bir telle bir üreticinin uçlarına bağlanarak yüklenirse levhalar arasında düzgün bir elektrik alan oluşur. Oluşan elektrik alan E , levhalar arasındaki her noktada sabit olup (+) yüklü levhadan (-) yüklü levhaya doğrudur. Levhalar arasındaki potansiyel farkın (V), levhalar arasındaki uzaklığa (d) oranı levhalar arasındaki elektrik alan şiddetini (E) verir ($E = \frac{V}{d}$). (Ergül ve Gürel, 2002).

Elektrik alan, elektrik yüklerin etkisiyle oluştuğuna göre, elektrik alan içindeki yüklü parçacıklara da bir kuvvet etkimelidir. Düzgün bir elektrik alan içindeki + yüklü parçacığa elektrik alan ile aynı yönlü, (-) yüklü parçacığa ise elektrik alana zıt yönlü bir elektriksel kuvvet etki eder. Bu kuvvet $F = q \cdot E$ ise $E = \frac{F}{q}$ olduğundan $F = q \cdot \frac{V}{d}$ olur.

Bu çalışmada; paralel levhalar arasına yerleştirilen sabun baloncuğunun alacağı geometriksel şekil, elektrik yükü ve potansiyel dağılımı ile sabun baloncuğu şekli arasında ki ilişki ve aralarındaki ilişkinin uygun teorik analizlerle açıklanmaya çalışılmıştır.

1.1. Amaç

Sabun baloncuğunu sabit bir duruma getirilip paralel levhalar arasına yerleştirildiğinde, sabun baloncuğunda oluşacak değişiklikleri açıklamak araştırmaya değer görülmüştür.

Bu çalışma sabun baloncuklarının eksantrikliği ile levhalar arasındaki gerilim ilişkisini göstermek amaçlı bir model oluşturmaktadır.

2. YÖNTEM

Bu araştırmada deneysel bir model çalışması yürütülmüştür.

2.1. Kullanılan Materyaller

1) Bakalit bakır levha (10cm * 10cm)	11) Beher (50mL)
2) pcb kartı ara parçası (1cm)	12) Polarize Filtre
3) Krokodil kablo	13) Ampül
4) Timsah klips	14) Tripod (fotoğraf makinesi için)
5) Transformator	15) Bilgisayar
6) Direnç ($10^3 \Omega$)	16) Kamera
7) Bulaşık deterjanı	17) Görüntü analizi programı (Tracker)
8) Gliserin	18) Geometrik çizim programı (Geogebra)
9) Saf su	19) Yüzey gerilimi ölçüm cihazı
10) Enjektör (1 mL)	

2.2. Deneysel Materyallerin Kurulumu

2.2.1. Sabun Baloncuğunun Hazırlanması

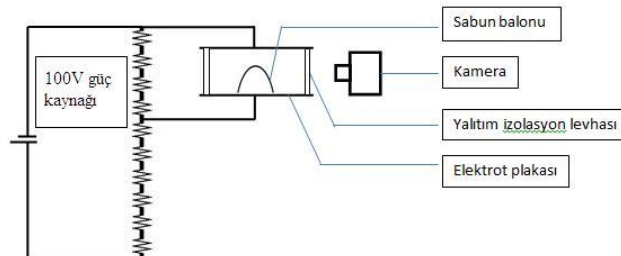
Sabun balonunun uzun süreli elektrik alanı altında deformasyonunu gözlemlemek için sabun balonlarının hemen patlamaması gerekiyordu. Bunun için baloncuk elde edilen su karışımının içerisine gliserin eklenmiştir. Karışım oranı; Su: Bulaşık Deterjanı: Gliserol: 50:2:3.5 (hacimsel olarak) şeklindedir. Du Nouy halka koparma yöntemiyle (Işık vd., 2018), sabunlu suyun yüzey gerilimi $\gamma=3,27 \times 10^{-12}$ N/m olarak ölçülmüştür.

2.2.2. Güç Kaynağı

Sabun baloncuklarının paralel levhalarda önemli ölçüde deforme olduğunu görmek için yüksek bir voltaj gereklidir. Aşırı akım ve regülasyon voltajını önlemek için birkaç $10^3 \Omega$ direnç seri olarak elektrotla bağlanmıştır.

2.2.3. Paralel Levhaların Elektrige Bağlanması

Elektrot plakası tek taraflı iletken bakır bir levhadır. İletken yüzeyleri karşılıklı (yüz yüze) yerleştirilir. Paralel levhalar yalıtım levhası ile 1 cm kadar ayrılır.



Şekil 1. Deney Kurulum Şeması

3. BULGULAR

3.1. Birinci Deneme: Sabun Balonunun Şekli ve Gerilim İlişkisi

3.1.1. Deneysel Amaç ve İlke

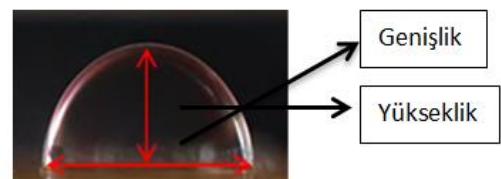
Elektrot plakalarındaki sabun balonu deforme olmakta – sabun balonunun yukarı doğru şiştiği gözlenebilir – (Şekil 2 ve Şekil 3) sabun köpüğünün yüksekliği ve genişliği de pozitif ve negatif elektrot potansiyeli farklılıkları arttıkça değişmektedir. Bu deneyin amacı sabun köpüğünün şekli ile gerilim arasındaki ilişkiyi anlatmaktır.



Şekil 2. 0V uygulanan baloncuk



Şekil 3. 50V uygulanan baloncuk



Şekil 4. Baloncukta yükseklik genişlik

3.1.2. Deney Adımları

- ✓ Enjektör ile 0.2ml sabun köpüğü pozitif elektrot plakasına enjekte edilmiştir.
- ✓ Elektrot levhası kurulmuş ve gücü açılmıştır.
- ✓ Güç açılmadan önce ve sonra sabun baloncuğunun şeklindeki değişiklikler gözlemlenmiş ve gerekli notlar alınmıştır.
- ✓ Sabun baloncuğunun öncesindeki ve sonrasındaki yükseklik, genişlik değişimleri bilgisayar yazılımı olan Tracker ile ve sabun balonunun eksantrikliği (Geometride eksantriklik bir konik kısmın özelliklerini belirtmek için kullanılan bir terimdir, genel olarak e harfi ile gösterilir. Eksantrikliğin, kabaca sözü edilen konik kısmın çemberden ne kadar farklı olduğunu gösteren bir sayı olduğu söylenebilir. Konik kısımlarda: Çemberin eksantrikliği 0 dır.) Geogebra yazılımı ile ölçülmüştür.

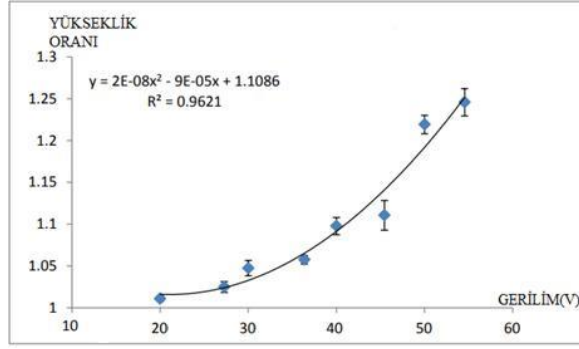
3.1.3. Sabun Balonunun Şekli ve Gerilim Arasındaki İlişki

Farklı gerilimlerde sabun köpüğünün yüksekliği ve genişliği Tablo 1’de rapor edilmiştir.

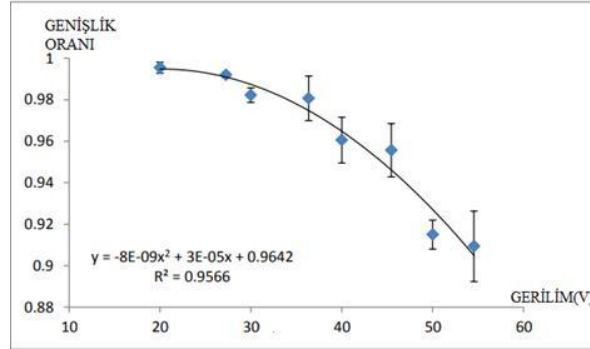
Tablo 1: Farklı Gerilimlerde Sabun Balonunun Yüksekliği ve Genişliği

Gerilim(V)	Yükseklik (önce) (pixel)	Yükseklik (sonra) (pixel)	Genişlik (önce) (pixel)	Genişlik (sonra) (pixel)
20	308.5	313.0	607.0	602.0
	296.5	299.0	607.0	606.0
	313.0	315.5	613.0	611.0
	310.0	314.5	626.5	625.0
	310.0	312.5	623.5	619.0
25	305.5	310.0	614.5	609.0
	297.0	307.0	630.5	624.0
	307.5	315.0	612.0	608.0
	306.5	313.0	617.5	613.0
	304.0	313.0	613.5	609.0
30	298.0	314.0	625.5	617.0
	285.5	298.5	629.0	616.5
	300.0	313.5	632.5	618.6
	284.0	301.0	626.5	614.0
	306.0	316.0	620.0	611.5
35	295.5	312.5	627.0	609.0
	302.5	317.5	602.0	595.0
	302.0	321.5	606.5	599.5
	302.5	321.0	601.5	596.0
	293.0	309.0	632.5	610.0
40	341.5	377.0	739.0	710.0
	362.0	390.0	722.0	708.0
	350.5	387.0	745.5	710.0
	360.5	397.0	730.5	701.5
	344.5	379.5	749.0	710.5
45	303.5	344.0	626.5	593.5
	293.5	327.5	626.5	592.5
	308.0	333.0	607.0	590.5
	303.0	334.0	612.0	593.5
	291.0	326.0	628.0	592.0
50	347.5	420.0	744.0	680.5
	359.0	440.0	716.5	661.0
	349.5	427.0	740.0	671.5
	353.5	436.5	744.0	675.0
	358.0	431.5	729.0	673.0
55	294.5	375.5	628.0	560.5
	300.0	370.5	609.5	564.5
	300.5	375.5	633.5	563.0
	298.5	371.0	619.5	563.0
	315.0	386.5	605.5	563.5

Yükseklik oranının gerilime oranı, uygulanan elektrik alanının sonucunda sabun baloncuğunun yüksekliği ve genişliğinin orijinal yükseklik ve genişliğe bölünmüş halidir. Birden çok denemenin ortalaması alındığında yüksekliğin genişliğe oranını yaklaşık olarak gerilim eğrisi olduğu bulunmuştur (Şekil.5 ve Şekil.6).



Şekil 5. Yükseklik-Gerilim karşılaştırılması

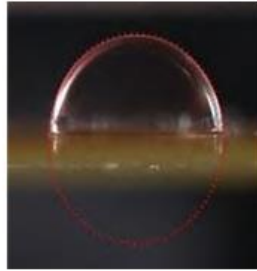


Şekil 6. Genişlik-Gerilim Karşılaştırılması

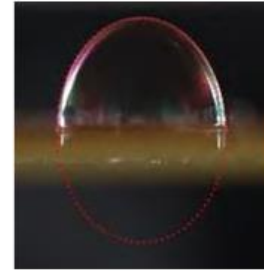
Sabun baloncuğunu farklı gerilimler altında gözlemlerken; sabun baloncuğu şekli de gerilim ile birlikte değişir, gerilim uygulanmadığında sabun baloncuğu küreseldir ve gerilim uygulandıktan sonra sabun baloncuğunun şekli elips şekline yakındır. Yani gerilim yükseldikçe eksantriklik hızı artar (Şekil 7, 8, 9).



Şekil 7. 30 V



Şekil 8. 40V



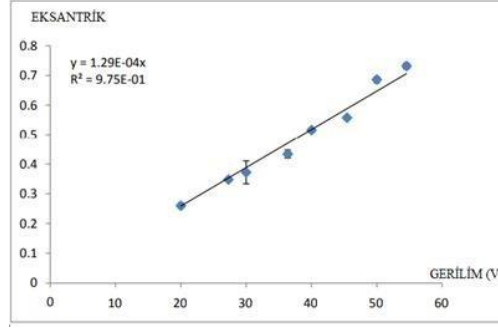
Şekil 9. 50V

Farklı gerilimlerde ölçülen sabun balonunun eksantrikliği Tablo 2. de gösterilmiştir.

Tablo 2: Farklı gerilimlerde sabun balonunun eksantrikliği

Gerilim (V)	Eksantriklik	Gerilim (V)	Eksantriklik
20	0.25	40	0.52
	0.27		0.51
	0.26		0.51
	0.27		0.51
	0.25		0.53
25	0.35	45	0.55
	0.35		0.56
	0.35		0.56
	0.34		0.56
	0.35		0.56
30	0.42	50	0.67
	0.34		0.70
	0.41		0.68
	0.37		0.69
	0.32		0.69
35	0.43	55	0.73
	0.43		0.73
	0.46		0.75
	0.42		0.73
	0.43		0.72

Şekil 10’da eksantriliğin gerilime karşı olan eğrisi gösterilmektedir. Sabun balonunun eksantrik hızı ve gerilimle kabaca doğru orantılı olduğu bulunmuştur.



Şekil 10. Eksantrik- Gerilim

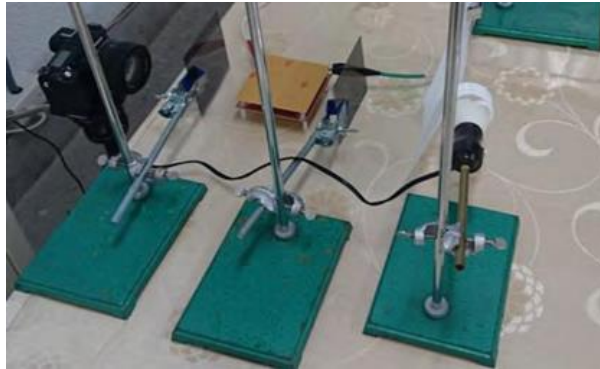
3.2. İkinci Deney: Sabun Modelinin Kutuplaşmasının Gözlenmesi

3.2.1. Deneysel Amaç ve İlke

Sabun molekülleri polar olmayan bir karbon zinciri ve bipolar hidrofilik uçtan oluşur. Bu nedenle poların uç kısmı modelin içine yönlendirilir ve böyle bir düzenleme sabun modelinin kutuplaşmasına neden olur. Denemenin kutuplaşmasını doğrulama yöntemi sabun baloncukları ve ışık kaynağı arasında dikey kutup yönlerine sahip iki kutuplaşma plakası yerleştirmektir (sabun balonu ve kamera arasında). Sabun molekülleri ilk polarize filtrenin polarizasyon yönüne paralel bir yönde düzenlendiğinde polarize filtreden ışık geçmez, ilk polarize filtrenin polarizasyon yönüne dik bir yönde düzenlendiğinde ışık sabun modelinden geçmesine rağmen ikinci polarize filtresinden geçemez. Moleküler düzeneğin yönü, dikey yönde iki bileşene sahipse ışık gözlenebilir. Çünkü moleküller elektrik alanının yönü boyunca hizalanma eğilimindedirler. Bu yüzden sabun balonunun yüzeyinin parlaklığı dolaylı olarak elektrik alanının yönünü açıklar.

3.2.2. Deney Adımları

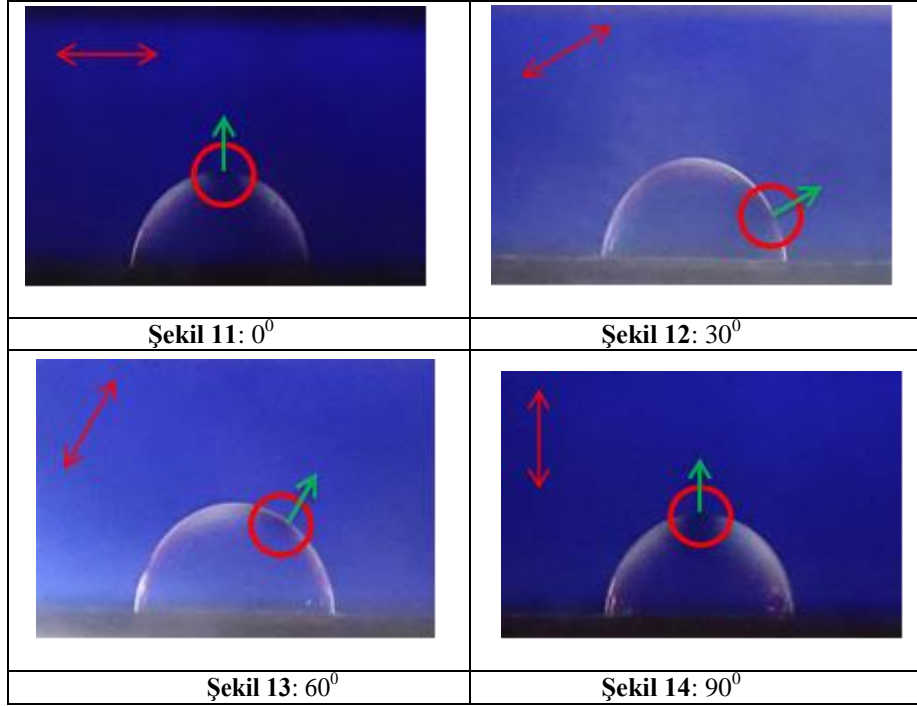
- ✓ Sabun balonu-ışık kaynağı ve sabun balonu-kamera arasında iki polarize filtresi yerleştirilmiştir. Polarizasyon filtresi diktir (şekil 5).
- ✓ İki polarize filtresinin polarizasyon yönünü dik tutarken güç açılmış ve iki polarize filtresi aynı anda döndürülmüştür.
- ✓ Sabun baloncuğunun yüzeyinin parlaklığı gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır.



Şekil 5. Deney Görseli

3.2.3. Sabun Balonu Modelinin Polarizasyonu Gözlenmesi

Polarize filtresi 0°, 30°, 60°, 90° döndüğünde kamera tarafından kaydedilen sabun balonu modeli Şekil 11, 12, 13 ve 14 te gösterilmiştir.



Şekil 11, 12, 13 ve 14 te görüldüğü gibi polarize filtresi döndüğü zaman, sabun balonunun en karanlık yüzeyi de onunla beraber döner ve sabun baloncuğu modeli normal vektörü herhangi bir polarize filtresinin polarizasyon yönüne dik veya paraleldir.

3.3. Sabun Baloncuğu Eş Potansiyel Durumu

- ✓ Yerçekimi, yüzey gerilimi ve hava basıncının neden olduğu kuvvet ve elektrik alanının kuvveti dahil olmak üzere sabun baloncuğunun kuvvetini düşünün, burada yüzey gerilimi ve hava basıncı sabun modelinin yüzeyine diktir. Yer çekimi olduğunda statik dengeyi elde etmek için elektrik akımı sabun modelinin yüzeyine dik olmalıdır. Bu nedenle sabun modelinin potansiyel farkı ($\Delta V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{r}$) daima sıfırdır, yani sabun modeli eş potansiyeldir.
- ✓ Ek olarak, deney 2 ve polarizasyon özelliklerinin gözlenmesi ve ilkelerine göre, sabun moleküllerinin elektrik alanı uygulandıktan sonra hala sabun modeli yüzeyine dik olduğu tahmin edilmektedir. Bu ayrıca sabun baloncuğunun yüzeyinin eş potansiyel yüzey olduğunu gösterir.
- ✓ Paralel levha uzunluğu yeterince geniştir, sabun baloncuğu levhanın kenarından etkilenmez. Şekli simetriktir.
- ✓ Sabun modelinin kalınlığı çok incedir ve sabun baloncuğunun hacmi sabittir.

3.4. Sabun Modeli Şekli ve Yüzey Yükü Yoğunluğu Arasındaki İlişki

Sabun modelinin statik dengesi göz önünde bulundurularak sabun modelinin eğriliği ile yüzey yükü yoğunluğunun σ noktasının elektrik alan gücüne oranı ($E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$) alana uygulanan elektrostatik basınçtır ($P_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = \frac{\sigma^2}{2\epsilon_0}$). Sabun modeli, dışarıya doğru elektrostatik basınca ve hava basıncı farkı bir de iç yüzey gerilimine maruz kalmaktadır. Sabun baloncuğuna elektrik alanı uygulanmadığı zaman eğrilik K_0 dır. Yani güç dengesi ve pozitif kavramını Laplace Yasası'ndan bilinmektedir ($P_E + 4\gamma K_0 = 4\gamma K$). Böylece elektrik şarj yüzeyi yoğunluğu ve sabun modeli arasındaki ilişki elde edilebilir. $\sigma = \sqrt{8\epsilon_0\gamma(K - K_0)}$ formülü sabun baloncuğunun deforme olduğu zaman elektrik şarj dağılımını göstermektedir. Sabun baloncuğunun şekli belirlendiği sürece elektrik yük dağılımı ve yüzey elektrik alanı belirlenebilir. Uygulanan elektrik alanı olmadığında, sabun modeli her yerde elektriksiz olarak nötrdür. Bu yüzden eğrilik her yerdedir. Sabun baloncuğu küresel görüldüğünde ancak paralel levhalar arasında potansiyel bir fark olduğunda sabun balonları her yerde eşit olmayacak şekilde elektrik alan kuvvetine maruz kalır. Sabun baloncuğunun elektrik alanında deforme olmasının nedeni yüzey gerilimini elektrik alan kuvvetinin etkilemesidir.

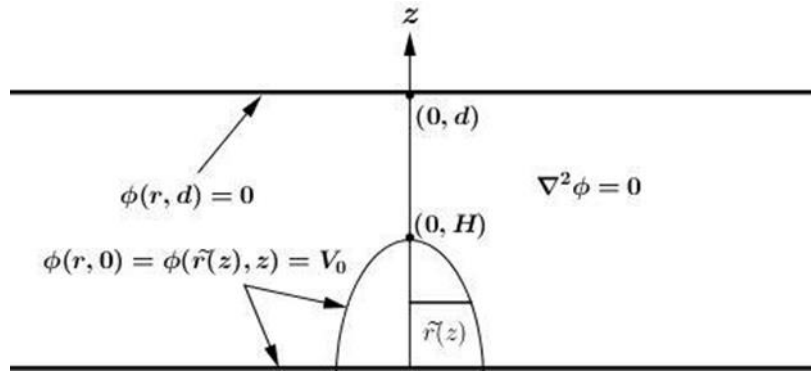
3.5. Sabun Baloncuğu – Paralel Elektrik Levha Sistemi Enerjisi

Elektrik yüzey dağılımı ile sabun balonunun şekli arasındaki ilişkiyi bilinebilir. Fakat yükler arasında coulomb gücünü bulmak kolay değildir. Bu yüzden sistem enerjisi açısından düşünülmelidir. Sabun balonu – paralel levha sisteminin enerjisi iki biçimde stoklanır: Statik elektrik potansiyel enerjisi ve yüzey gerilim enerjisi.

3.5.1. Statik Elektrik Potansiyel Enerjisi

Şekil 15'te gösterildiği gibi, silindirik koordinat sisteminde potansiyel fonksiyon $\phi(r, z)$ elektrik yük dağılımı olmayan paralel levhalar arasında Laplace denklemi kurularak bulunur ($\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$). Asimetrik sabun balonunun şekli ise $[\tilde{r} = \tilde{r}(z)]$ sabun köpüğünün elektrik potansiyeli fonksiyonunun sınır koşullarını belirler.

- (1) $\phi(r, 0) = \phi(\tilde{r}(z), z) = V_0$
- (2) *olduğunda* $r \gg$ *sabun balonunun genişliği*, $\frac{\partial}{\partial r} \phi(r, z) \rightarrow 0$
- (3) $\phi(r, d) = 0$



Şekil.15: Sabun Köpüğünün Elektrik Potansiyeli Fonksiyonunun Sınır Koşulları

Sistemin elektrostatik potansiyel enerjisi elektrostatik alan enerji yoğunluğunun hacim integrali ile elde edilebilir.

$$U_E = \iiint \frac{1}{2} \epsilon_0 |\nabla \phi|^2 d\tau = \epsilon_0 \pi \iint |\nabla \phi|^2 r dr dz$$

3.5.2. Yüzey Gerilim Enerjisi

Yüzey gerilimi sabun modelinin yüzey alanıyla orantılı olabilir. Sabun balonu iç ve dış yüzeye sahiptir.

($U_S = 2\gamma S$; $\gamma =$ *yüzey gerilim kat sayısı*, $S =$ *Sabun balonunun yüzey alanı*).

Sistem dengeye ulaştığı zaman toplam enerji ($U = -\iiint \frac{1}{2} \epsilon_0 |\nabla \phi|^2 d\tau + 2\gamma S$) değer olmalı, yani $\delta U = 0$ olmalı ve hacim korunması uyumlu bir şekilde sınırlanmalıdır. ($\int_0^H \pi r^2 dz = CONST$)

3.6. Sayısal Değer Simülasyonu

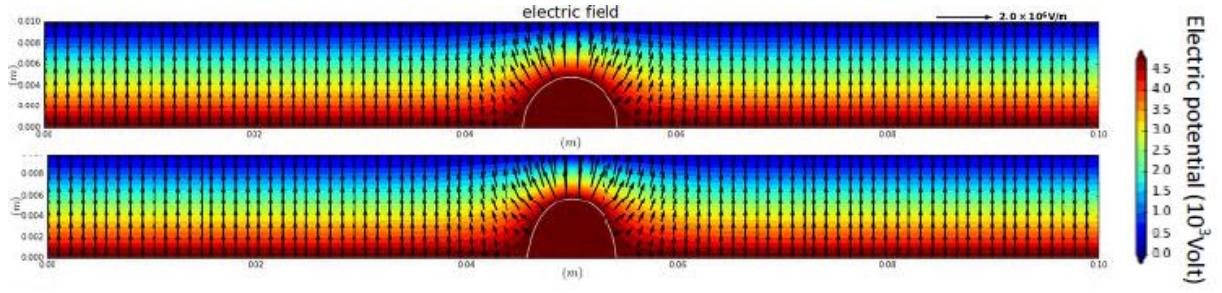
Elektrot plakası $1,00 \times 10^{-1}$ m çapındadır, aralığı $1,00 \times 10^{-2}$ m'dir. Burada elektrot levhasının ortasındaki sabun baloncuğunun asimetrik (yarı elips) olduğunu varsayıyoruz, sıvı hacmi 0,2 ml'de sabitlenmiştir, yarım kürenin başlangıç yarıçapı $R=4.57 \times 10^{-3}$ m'dir ve korunmuş hacim koşulu altında eksantrikliği değiştirilir. Sistem merkezinin sabun balonunun dış merkezliğinde nasıl etkilendiğini görülmüş olur.

3.6.1. Elektrostatik Potansiyel

Program dili python ve relaxation metodu ile sistemin elektrostatik potansiyelini hesaplamak için Laplace denklemi çözülür. Sistem kapasitesi ve sabun baloncuğunun dış merkezliği arasında ilişki elde edilir. Simülasyon sonuçlarında sabun baloncuğunun deformasyonunun uzayda potansiyel fonksiyonların dağılımını etkilediği görülür (Şekil 16, 17). Sistem kapasitesi ($C = \frac{\iiint \epsilon_0 |\nabla \phi|^2 d\tau}{V^2}$) eksantrikliğinin (e) eğrisine

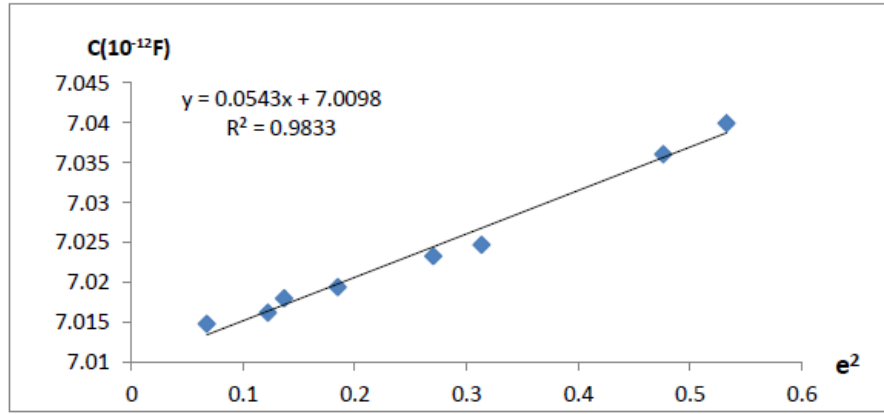
örnek olarak Şekil 18 de verilir. Sabun balonunun dış merkezliği yükseldiğinde kapasitenin değerinin de arttığı görülebilir ve kapasitenin değeri kabaca eksantrikliğin ikinci dereceden fonksiyonudur.

$(C(e) \approx \eta e^2 + C(0))$. η , farad (F) için sabittir. ($\eta = 5,43 \times 10^{-14} F$)



Şekil 16. (üstte) Şekil 17. (altta) Sabun köpüğünün sistemin potansiyel dağılımı üzerindeki etkisi.

Sabun baloncucu ve elektrot plakası gerçek oranlarıyla yazılır ve sabun balonunun eksantrikliği sırasıyla 0,37 altta 0,73 üsttedir.

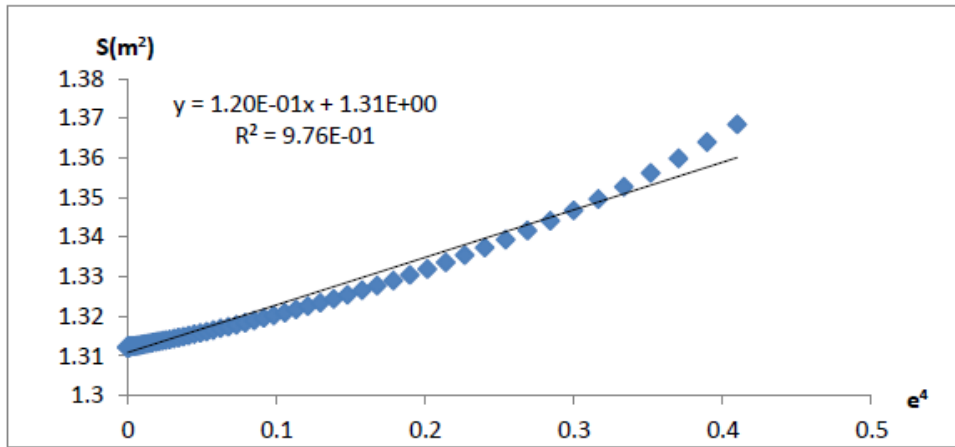


Şekil 18. C-e²

3.6.2. Yüzey Gerilim Enerjisi

Sabun baloncucunun uzun eksenini a , kısa eksenini b olsun. Daha sonra onun yüzey alanını yazalım: $S = \pi(b^2 + a^2 \frac{\cos^{-1}(b/a)}{\tan(\cos^{-1}(b/a))})$.

Sabit hacim koşulları altında $a = \sqrt[3]{\frac{1}{1-e^2}} R$, $b = \sqrt[3]{1-e^2} R$ 'dir. Şekil 19'da deney sonuçları ($e < 0,8$) aralığında S yüzey alanının e^4 olduğunu göstermektedir. Şöyle;



Şekil 19. S-e⁴

$S(e) \approx a e^4 + S(0)$ = a'nın sabiti m²dir ($a = 1,20 \times 10^{-5} m^2$).

Sistem enerjisini eksantriklik olarak şöyle ifade edebiliriz:

$$\delta U = \delta \left(2\gamma S - \frac{1}{2} CV^2 \right) = \delta \left(2\gamma (ae^4 + S(0)) - \frac{1}{2} (\eta e^2 + C(0)) V^2 \right) = 0$$

$$\text{Eksantriklik ve voltaj gerilim arasındaki ilişki: } e = \sqrt{\frac{\eta}{8\gamma a}} V$$

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma sabun baloncuklarının eksantrikliği ile levhalar arasındaki gerilim ilişkisini göstermek amaçlı bir model oluşturmaktadır, orantılı sabit bir değer verilirse deney sonucuna yakın bir değer elde edilir. Analiz sürecine bakıldığında, yüzey gerilim katsayısı ölçümü hatası, eğri uydurma ve sayısal simülasyon yöntemi yanlışlığı olası hatalardır.

$\left(\sqrt{\frac{\eta}{8\gamma a}} = 1,32 \times 10^{-4} (\text{birimi: } V^{-1}) \right)$ Sonuçları gözden geçirdiğimizde e – V grafik eğimi $(1,29 \pm 0,05) \times 10^{-4} (V^{-1})$ burada elde edilen hatta %2'sidir.

Her sabun baloncuğunun arasındaki farkı azaltmak için enjektör, sabit hacmi ölçmek için kullanılmıştır. Her sabun köpüğünün boyutunun aynı olduğunu düşünüyoruz. Sonuç olarak gerilimlerin ortalaması alınarak, hata sayısını en aza indirerek sonuçların daha güvenli olması sağlanabilir.

Paralel levhalar arasındaki sabun baloncuklarının yüksekliği ve genişliği, levhalar arasındaki gerilimin ikinci dereceden işlevidir ve gerilim arttıkça yükseklik artar genişlik azalır.

Paralel levhanın elektrik alanındaki sabun baloncuğunun şekli elipsoidin bir parçasıdır ve eksantrikliği gerilim ile orantılıdır.

Sabun baloncuğunun deformasyonu, yüzey gerilimi ve elektrik alan kuvveti arasındaki dengedir, sabun baloncuğu modelinin kuvvet dengesinin analizi sabun baloncuğu modelinin eğriliği ile yüzey yükü yoğunluğu arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılabilir.

Çalışma, sabun baloncuklarının şeklini hesaplamak için bir yöntem öneren ve aslında sayısal simülasyon yoluyla tartışan teorik bir model oluşturmaktadır, son olarak deneysel verilere oldukça yakın olan sabun baloncuğunun eksantrikliği ile gerilim arasındaki orantısal ilişki elde edilir.

5. ÖNERİLER

Bir sonraki araştırmacı, elektrik alanlarındaki sabun baloncuğunun sarsıntılı durumlarını inceleyebilir. Sistemin farklı DC elektrik alanları altında sabun balonlarının mikro salınım frekansını veya zamanla değişen elektrik alanında zorlamalı salınımlarını gözlemleyerek sistemin eşdeğer esneklik katsayısını ve sabun baloncuğunun salınım frekansını araştırabilir.

KAYNAKLAR

- Aydar, A. Y., & Bağdatlıoğlu, N. (2014). Yemeklik yağların yüzey gerilimi ve temas açılarının belirlenmesinde uygulanan yöntemler. *Akademik Gıda*, 12(1), 108-114.
- Ergül, O., & Gürel, L. Elektromanyetik saçınım problemlerinde elektrik alan, manyetik alan ve birlesik alan integral denklemleri. *URSI-Türkiye 2002 Bilimsel Kongresi*, 158-161.
- Göktepe, F., & Mülayim, B. (2015). Elektrik Alan Lif Çekimi (Elektrospinning) ile Nano Liflerden İplik Üretim Yöntemleri. *Tekstil ve Mühendis*, 22(99), 50-67.
- Güner, Y., & Çağdaş, G. (2019). Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler ile Biçim Arama Yaklaşımı. *Journal of Computational Design*, 1(1), 35-54.
- Işık, S. G., Kırbıyık, M., Çevik, A., Kalkan, E. B., Okur, S. & Yılmaz, M. (2018). Yüzey Aktif Organik Maddelerin Tayini. *Gümrük ve Ticaret Dergisi*, (12), 75-80.
- Kavurmacıoğlu, Ö., & Arıdağ, L. (2015). Strüktür Tasarımında Geometri ve Matematiksel Model İlişkisi. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 59-76.
- Özsöylev, H. N. (1998). Sabun Baloncuklarıyla Deneysel Matematik. *Bilim ve Teknik*, (06), 44-48.
- Ursavaş, N., Aydar, A. & Alpay, E. (2020). Farklı Öğretim Programlarının Su ile İlişkili Kazanımlar Açısından İncelenmesi. *Anadolu Öğretmen Dergisi*, 4(1), 98-113.