

Dielektrik Malzemelerin Yüzeyleri için İslanabilirlik ve Buharlaşma Hızının Analizine Yönelik Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Bir Yaklaşım

Mustafa KARHAN^{*,a} 

^{a,*} Çankırı Karatekin Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 18100, Çankırı, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 17.06.2021
Kabul: 06.08.2021

Anahtar Kelimeler:

Ayrık Kosinüs
Dönüşümü (AKD),
dielektrik malzeme,
ıslanabilirlik,
buharlaşma hızı,
görüntü işleme,
yaşlanma

ÖZ

Dielektrik malzemelerin yaşlanması, servis verdikleri süre boyunca kaçınılmaz bir durumdur. Dielektrik malzemelerin, elektriksel özelliklerinin yanısıra yüzey özellikleri de kararlı çalışmasına, performansına ve servis verme süresine etki eden önemli faktörler arasındadır. Elektrik alan ve nem varlığında elektriksel yaşlanma olaylarının başladığı ve hızlandığı ele alındığında, ıslanabilirliğin özellikle dış mekân uygulamalarında büyük önem arz eden yüzey özellikleri arasında olduğu aşikardır. İslanabilirlik, katı yüzeylerin karakterize edilmesine ve katı-sıvı etkileşimlerini belirlemeye imkan sağlamaktadır. Bu çalışmada dielektrik malzeme yüzeyine damlatılan 167,9 mS/cm iletkenliğe ve 20 µL hacme sahip tuzlu su damlacıklarının anlık görüntüleri dijital mikroskop kullanılarak 1., 10., 20., 30, 40. ve 50. dakikalar olmak üzere 5 farklı zaman noktası için alınmıştır. Elde edilen görüntüler, görüntü işleme teknikleri kullanılarak iyileştirilmiş ve damlacık görüntüsü bölütlenmiştir. Tuzlu su damlacık görüntülerine Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD) uygulanmış ve AKD katsayıları çıkartılmıştır. Çıkartılan katsayıların standart sapması için zamana bağlı olarak saçılım grafiği çizdirilmiştir. Elde edilen zamana bağlı noktalar için eğriler (linear ve quadratic) uydurulmuş ve uydurulan eğrilerin matematiksel eşitlikleri elde edilmiştir. Dielektrik malzemelerinin yüzeyleri için ıslanabilirliği ve buharlaşma hızını değerlendirmeye ve yorumlamaya yönelik olarak AKD tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Sonuç olarak görüntü işleme teknikleri kullanılarak buharlaşma, zaman, ıslanabilirlik ve temas açısı arasındaki ilişki gözlemlenmiştir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.09>

A Discrete Cosine Transform Based Approach to Analysis of Evaporation Rate and Wettability for Dielectric Materials' Surfaces

ARTICLE INFO

Received: 17.06.2021
Accepted: 06.08.2021

Keywords:

Discrete Cosine
Transform (DCT),
dielektrik malzeme,
wettability,
evaporation rate,
image processing,
aging

ABSTRACT

The aging of dielectric materials is unavoidable during their service life. In addition to the electrical properties of dielectric materials, the surface properties that affect their stable operation, performance, and service life are among the important factors. Considering that the electrical aging phenomena initiate and grown in the presence of electric field and humidity, it is obvious that wettability is among the surface properties that are of great importance especially in outdoor applications. Wettability allows characterization of the solid surfaces and determination of solid-liquid interactions. In this study, snapshots of saltwater droplets with a conductivity of 167.9 mS/cm and a volume of 20 µL dropped onto the dielectric material surface were taken using a digital microscope for 5 different time points, 1st, 10th, 20th, 30th, 40th, and 50th minutes. The obtained images were enhanced using image processing techniques and the droplet image was segmented. Discrete Cosine Transform (DCT) was applied to the saline droplet images and the DCT coefficients were extracted. The standard deviation of the extracted coefficients was plotted as a time-dependent scatter graph. For the time-dependent points obtained, linear and quadratic polynomial curves were fitted and the mathematical equations of the fitted curves were obtained.

*Corresponding author: mustafakarhan@gmail.com

To cite this article: M. Karhan, "A Discrete Cosine Transform Based Approach to Analysis of Evaporation Rate and Wettability for Dielectric Materials' Surfaces", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.2, pp. 160-168, 2021. doi:<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.09>

A DCT-based approach is presented to evaluate and interpret the wettability and evaporation rate for the dielectric materials' surfaces. As a result, the relationship between evaporation rate, time, wettability, and contact angle is observed using image processing techniques.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.09>

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Islanabilirlik, bir sıvının bir yüzey üzerine yayılması, bir sıvının gözenekli bir ortama nüfuz etmesi veya bir sıvının diğeriyle yer değiştirmesi olabilir. Islanabilirlik, yüzeyleri karakterize etmeye ve katı/sıvı etkileşimlerini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Islanabilirlik çoğunlukla durağan damla (sessile drop) ile tanımlanmaktadır [1]. Dielektrik malzemelerin yüzey özellikleri, malzemelerin kararlı çalışmasına, performansına ve servis ömürlerine önemli seviyede etki etmektedir. Dielektrik malzemelerin yüzey özellikleri arasında bulunan islanabilirlik karakteristiğinin (hidrofobisite ve hidrofilisite) belirlenmesi ve değerlendirilmesi temas açısı ölçümleri gerçekleştirilerek yapılmaktadır [2, 3]. Elektrik alan ve nem mevcudiyetinde elektriksel yaşlanma olaylarının başladığı ve büyüdüğü de dikkate alındığında dielektrik malzemelerin yüzey islanabilirlik davranışının önemi ortaya çıkmaktadır [4-8].

Islanabilirlik kavramı ile büyük bir ilintisi bulunan buharlaşma hızı çip üzerinde laboratuvar (lab-on-chip) gibi birçok modern teknolojide kendine yer bulmaktadır. Buharlaşma hızı, tuz çözeltileri içeren damlacıkların buharlaşmasında tuz konsantrasyonu zamanla birlikte değişmektedir. Tuz konsantrasyonundaki değişim damlacık buharlaşma hızını etkilemektedir [9]. Bu bağlamda, durağan damlanın buharlaşma hızı; damla yarıçapı, temas açısı, bağıl nem, ortam sıcaklığı, damlacık boyutu, pürüzlülük, atmosferik basınç, islanabilirlik ve difüzyon katsayısı gibi birçok faktöre bağlıdır [9-16].

Literatürde farklı sıvılar, farklı yüzey parametreleri, farklı çevre koşulları ve farklı dielektrik malzeme yüzeyleri için islanabilirlik ve buharlaşma hızı üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Almohammadi ve Amirfazli, elektrik alan olması ve olmaması durumunda PEMA, alüminyum, PS ve Teflon yüzeyler için durağan bir damlanın doğal (difüzyon sınırlı) buharlaşmasını incelemişlerdir. Elektrik alanının durağan su damlacığı geometrisi (temas açısı, taban çizgisi ve yüzey alanı) üzerindeki etkisini farklı yüzey islanabilirlikleri için incelemişlerdir. Buharlaşma süresini ve modunu araştırmak için buharlaşma hızını, temas açısını, yüzey alanını ve damlacığın taban çizgisini ölçmüşlerdir. Çok büyük temas açısı

histerezisi olan yüzeyler hariç, elektrik alanının buharlaşma oranını azalttığını (veya zamanı arttırdığını) gözlemlemişlerdir [17].

Hu ve Larson, şekli yerçekiminden etkilenmeyecek kadar küçük ve dolayısıyla küresel şekilde bir tepeciği andıran bir damlacık üzerindeki buhar konsantrasyonu dağılımını ve buharlaşma akışını çözmek için bir FEM modeli geliştirmişlerdir. Buhar fazı su konsantrasyonu alanı, damlacık yüksekliğindeki değişikliklere hızla uyum sağladığını ve yarı sabit olarak kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir [14]. Rowan ve arkadaşları, PMMA malzeme yüzeyindeki su damlacıklarının buharlaşmasının incelenmesine yönelik olarak temas açısı ve yükseklik ölçümlerini kullanmışlardır. Kütle kaybı hızının küresel yarıçapla değil, damlacık yüksekliğiyle orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Zaman içinde yükseklik ve temas açısı için doğrusallık gözlemlemişlerdir [18].

Erbil ve arkadaşları, bir video-mikroskopi tekniği kullanarak zamana bağlı damla buharlaşmasını izleyerek PMMA ve PET yüzeylerindeki su damlacıklarının gerileyen temas açılarını ölçmüşlerdir. Video-mikroskopi tekniği ve görüntü analizi ile PMMA ve PET yüzeylerdeki farklı hacimlerdeki su damlacıkları için zamanla temas çapı değişimini gözlemlemişlerdir. PMMA yüzeyindeki daha büyük damla boyutu için hem ilerleyen ("advancing") temas açısının θ_a hem de gerileyen ("receding") temas açısının θ_r daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. [19]. Wang ve arkadaşları, PMMA yüzeyi için etanol ve su karışımını içeren durağan damlanın buharlaşmasını incelemişlerdir. Saf su damlası ve etanol-su damlası testinin farklı buharlaşma davranışları sergilediklerini gözlemlemişlerdir [20].

Bu çalışmada, dielektrik malzeme yüzeyi üzerine tuzlu su çözeltisi damlatmak ve damlacık görüntüsü almak için bir platform tasarlanıp uygulanmıştır. Hazırlanan platform yardımıyla dielektrik malzeme yüzeyi üzerinden farklı zaman noktalarından alınan damlacık görüntüleri görüntü işleme teknikleri yardımıyla işlenmiştir. Literatürde durağan damlanın yükseklik, temas çapı, yüzey alanı ve hacim gibi damlacığın geometrisi ile ilişkili değerler ölçülüp buharlaşma hızına yönelik değerlendirmeler yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, dielektrik malzeme yüzeyi için islanabilirlik ve buharlaşma hızını

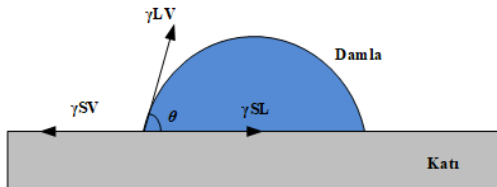
inceleyeme yönelik olarak görüntü işleme tabanlı yeni bir perspektif sunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1 Temas Açısı (Contact Angle)

Thomas Young [21] tarafından tanımlanan ıslanabilirlik kavramı katı-sıvı etkileşimlerini belirlemeye imkân sağlamaktadır. Katı yüzeyleri karakterize etmeye yardımcı olan ıslanabilirlik kavramı malzemelerin temel özellikleri arasındadır ve yüzey mühendisliğinde aktif ve önemli bir rol oynamaktadır. Bir yüzeyin ıslanabilirliği (hidrofobikliği ve hidrofilikliği), üç yüzey geriliminin (sıvı yüzey gerilimi (γ_{LV}), katı yüzey gerilimi (γ_{SV}) ve sıvı-katı ara yüzey gerilimi (γ_{SL})) arasındaki mekanik bir dengenin sonucunda oluşan temas açısı ile açıklanmaktadır ve Young denklemi ile ifade edilmektedir. İfade edilen bu eşitlik Eş. 1'de verilmiştir. Aynı zamanda Young açısı veya statik temas açısı olarak tanımlanan temas açısı için eşitlik Eş. 1'de verilmiştir [22]. Şekil 1'de katı bir yüzey üzerine bırakılan damla için temas açısı ve yüzey gerilimlerine yer verilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği üzere ölçülen temas açısının (θ) 90° 'den küçük veya büyük olma durumuna göre malzeme yüzeyinin hidrofobisitesi veya hidrofobisitesi hakkında değerlendirme yapılabilmektedir.

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad (1)$$



Şekil 1. Durağan damla ve temas açısı (Sessile drop and contact angle)

2.2. Damlacık Görüntülerinin Alınması ve Temas Açısı Ölçümü (Acquisition of Droplet Images and Contact Angle Measurement)

Görüntü işleme tabanlı ıslanabilirliğin ve buharlaşma hızının incelenmesine yönelik olarak sunulan bu yaklaşımda, dielektrik malzemeleri temsilen mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan elektriksel yalıtkan bir malzeme olan Poly (methyl methacrylate) (PMMA) dielektrik malzeme kullanılmıştır. PMMA malzeme, elektrik mühendisliği uygulamalarında, yüksek gerilim uygulamalarında, biyomedikal uygulamalarda ve optik uygulamalarda aktif rol oynayan önemli ve çok yönlü bir polimerik malzemedir [2, 23-26].

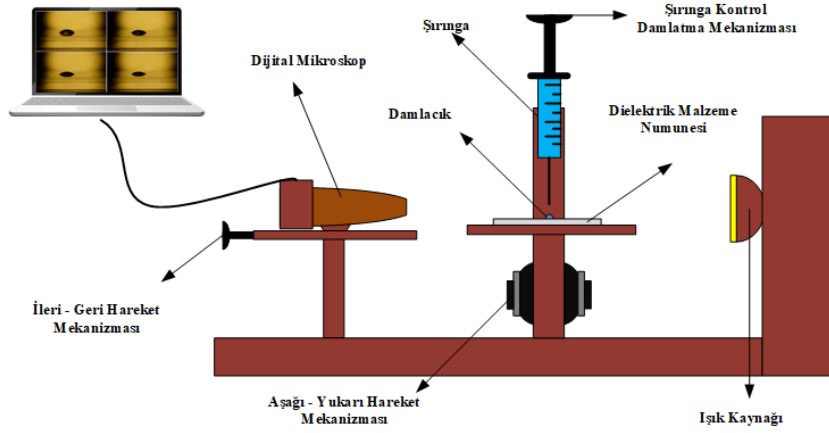
Dielektrik malzemenin yüzeyinin ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) $0.008 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülük değerini (R_a) ölçmek için Mitutoyo SJ-410 profilometre kullanılmıştır. Yüzey üzerine bırakılacak damla için 167.9 mS/cm iletkenliğe sahip bir NaCl çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin iletkenlik değerleri gerçek hayatta elektriksel yalıtkanların, sıvı anlamında karşılaşılabileceği veya maruz kalabileceği değerlere yakın değerler olarak öngörülmüştür. Hazırlanan tuzlu su çözeltisinin iletkenlik değeri SG78 – SevenGo Duo pro pH/Ion/Conductivity Meter, Mettler Toledo, Spain) yardımıyla ölçülmüştür. Numune yüzeyine bırakılan tuzlu su damlacıklarının hacmi yaklaşık $20 \mu\text{L}$ 'dir. Tuzlu su çözeltilerinin damlatıldığı şırınga yaklaşık olarak 0.80 mm eğim uzunluğuna ('bevel length') ve 29.69° eğim açısına ('bevel angle') sahiptir. Islanabilirlik ve buharlaşma hızı analizi için damlacık görüntüleri ve temas açısı ölçümü yapılmadan önce dielektrik malzeme numune yüzeyinin düzgün ve temiz olmasına dikkat edilmiştir. Her dielektrik malzeme numune yüzeyine tuzlu su çözeltisi damlatılmadan önce numune yüzeyi alkol ile temizlenmiş ve sonra kurutulmuştur.

Belirlenen farklı zaman noktalarında dielektrik malzeme yüzeyi üzerinden damlacık görüntüsü almak ve temas açısı ölçümleri gerçekleştirmek için tasarlanan sistemin donanım kısmı Şekil 2'de verilmiştir. Tuzlu su damlacık görüntüleri Celestron 44308 dijital mikroskop yardımıyla alınmıştır. Alınan damlacık görüntülerinden temas açısı ölçümleri Karhan'ın [2] geliştirdiği MATLAB yazılım platformunda hazırlanan GUI (graphical user interface-grafiksel kullanıcı arayüz) üzerinden gerçekleştirilmiştir. Temas açısı ölçümlerinin gerçekleştirildiği bu GUI'de ölçümler yarım açı metodu ($\theta/2$) yöntemine dayanmaktadır. Yarım açı yöntemi, sabit damlanın ideal bir kürenin parçası olduğunu ve damlanın yandan görünümünün bir daire olduğunu varsayar. Sonuç olarak, bu yöntem yardımıyla damlanın yarıçapına ve yüksekliğine bağlı olarak temas açısı hesaplanır [22,27]. Şekil 2' de dielektrik malzeme yüzeyindeki tuzlu su damlacık görüntülerinin alındığı platforma yer verilmiştir.

2.3. Ayrık Kosinüs Dönüşümü (Discrete Cosine Transform)

Ahmed ve arkadaşları [28] Ayrık Kosinüs Dönüşümünü (AKD) ilk olarak yetmişli yılların başlarında tanıttı. AKD, işaret ayrıştırma ve sıkıştırma yaygın olarak kullanılan popüler bir yöntemdir. AKD, temel olarak bir işareti değişen büyüklük ve frekanslardaki sinüzoidlerin toplamı olarak temsil eder. Böylelikle bu dönüşüm yardımıyla, görüntünün piksel değerleri bir alandan diğerine aktarılır. AKD dönüşümü, bir DC katsayısı ve AC katsayılarından oluşur. Birkaç düşük seviyeli frekans

katsayısında saklanan dönüştürülmüş görüntü bilgilerinin çoğu görüntünün sol üst köşesinde bulunur [29,30].



Şekil 2. Damlacık görüntüsü almak için tasarlanıp uygulanan platform
(The designed and implemented platform to take the droplet image)

Bir $M \times N$ 'lik bir X görüntüsünün Ayırık Kosinüs Dönüşümü Eş. 2 ve Eş. 3'te tanımlanmıştır.

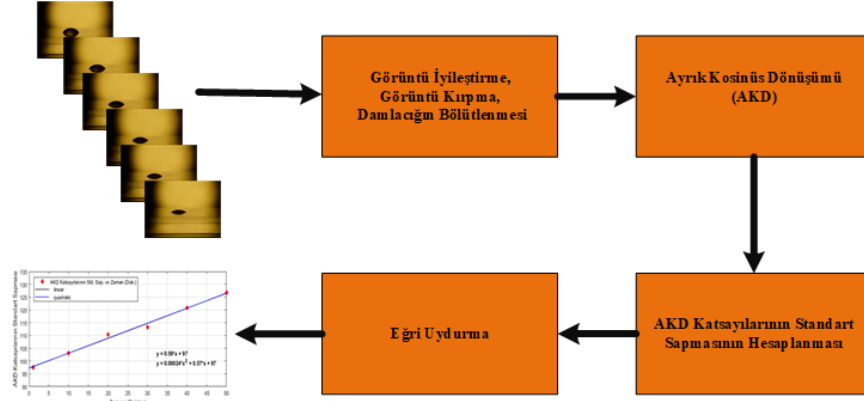
C_{pq} değerlerine X 'in AKD katsayıları denir.

$$C_{pq} = a_p a_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} X_{mn} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}, \quad \begin{matrix} 0 \leq p \leq M-1 \\ 0 \leq q \leq N-1 \end{matrix} \quad (2)$$

$$a_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M}, & p=0 \\ \sqrt{2/M}, & 1 \leq p \leq M-1 \end{cases} \quad a_q = \begin{cases} 1/\sqrt{N}, & q=0 \\ \sqrt{2/N}, & 1 \leq q \leq N-1 \end{cases} \quad (3)$$

Bu çalışma kapsamında dielektrik malzeme yüzeyine bırakılan damlacık görüntülerinden çıkartılan AKD katsayıları ve bu katsayıların standart sapmaları öznitelik çıkartma işlem basamağını

oluşturmaktadır. Dielektrik malzeme yüzeyleri için ıslanabilirlik ve buharlaşma hızının analizine yönelik önerilen AKD tabanlı yaklaşımın işlem basamakları Şekil 3' te verilmiştir.



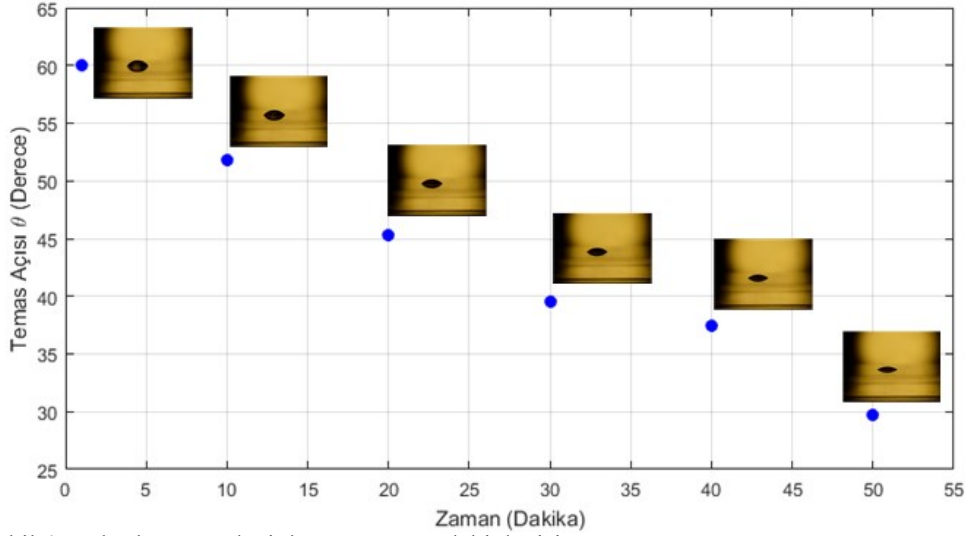
Şekil 3. Islanabilirlik ve buharlaşma hızının analizine yönelik önerilen AKD tabanlı yaklaşımın blok diyagramı
(Block diagram of the proposed DCT-based approach to analysis of wettability and evaporation rate)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Temas açısı ölçümleri yapılırken Karhan'ın [2] geliştirdiği MATLAB yazılım platformunda hazırlanan kullanıcı arayüzü kullanılmıştır. Kullanılan bu GUI temas açısı hesaplamalarını yarım açı yöntemini kullanarak yapmaktadır. Dielektrik malzeme yüzeyine damlatılan 167.9 mS/cm iletkenliğe ve 20 μ L hacime sahip tuzlu su

damlacığının damla şekli değişimi ve temas açısı değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Temas açısı değerleri hesaplanırken ve damlacık görüntüleri alınırken ortam sıcaklığı $23.5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, nem ise RH %34 \pm 2 olarak ölçülmüştür. Doğal buharlaşma nedeniyle damlacığının taban yarıçapında ve yüksekliğinde değişiklikler gözlemlenmiştir. Damlacığının taban çapındaki değişim, damlacığının

yüksekliğindeki değişimin yanında ihmal edilebilecek seviyelerdedir.

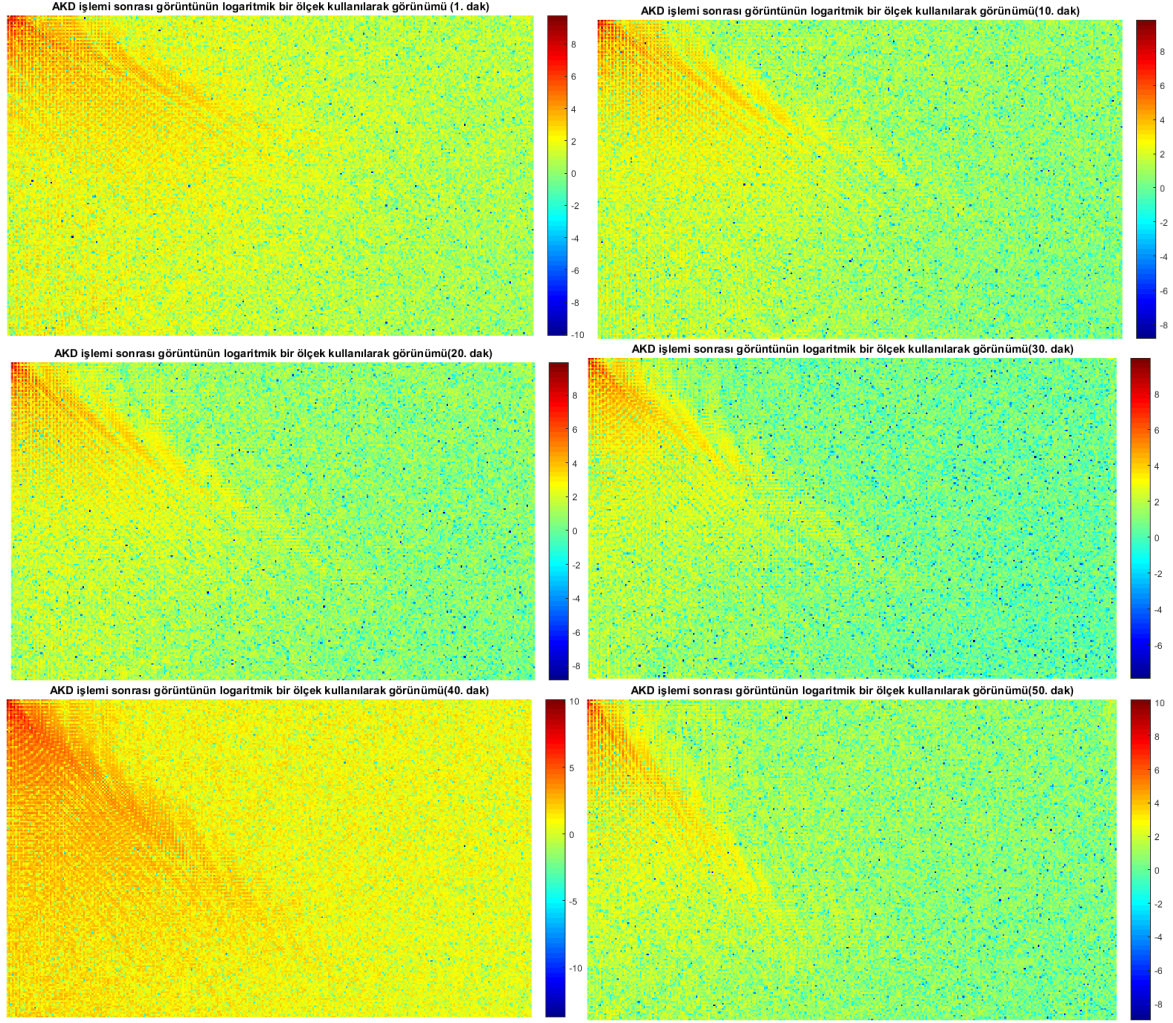


Şekil 4. Buharlaşma nedeniyle temas açısındaki değişim (*Change in contact angle due to evaporation*)

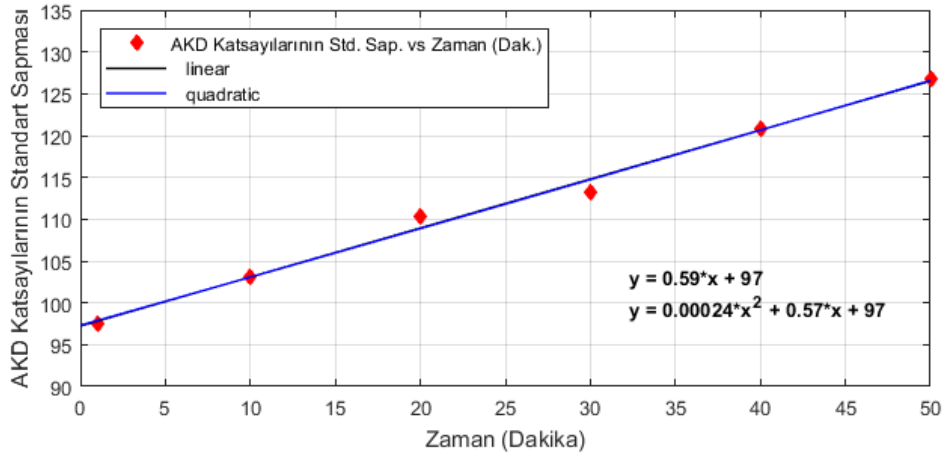
Buharlaşma hızını analiz etmek adına önceden belirlenen farklı zaman noktalarında (1., 10., 20., 30., 40. ve 50. dakikalar) malzeme yüzeyinden damlacık görüntüleri dijital mikroskop yardımıyla alınmıştır. Görüntü alımı için seçilen zaman noktaları, temas açısındaki değişimi, damlacık hacmindeki değişimi ve damlacık yüksekliğindeki değişimi net bir şekilde gözlemleyebilmek için deneysel olarak belirlenmiştir. Elde edilen görüntülerden damlacık görüntüleri bölütlenip kırıldıktan sonra her bir görüntüye ayrık kosinüs dönüşümü uygulanarak AKD katsayıları elde edilmiştir. Şekil 5'te sırasıyla 1., 10., 20., 30., 40. ve 50. dakikalarda dielektrik malzeme yüzeyi üzerinden alınan 167.9 mS/cm iletkenliğe sahip tuzlu su damlacık görüntülerinin AKD işlemi sonrası

logaritmik ölçek kullanılarak görünümlerine yer verilmiştir.

Şekil 6'da sırasıyla 1., 10., 20., 30., 40. ve 50. dakikalarda dielektrik malzeme yüzeyi üzerinden alınan 167.9 mS/cm iletkenliğe sahip tuzlu su damlacık görüntülerinin AKD katsayılarının standart sapmalarına yer verilmiştir. Şekil 6'da da görüldüğü üzere katsayılar temas açılarıyla ilintili bir şekilde doğrusal şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu anlamda ıslanabilirlik ve buharlaşma hızına yönelik olarak AKD katsayılarının anlamlı bilgiler içerdiği gözlemlenmiştir. Şekil 6'da AKD katsayılarının standart sapmaları için uydurulan eğrilere (linear ve quadratic) yer verilmiştir.



Şekil 5. AKD işlemi sonrası görüntülerin logaritmik bir ölçek kullanılarak görünümü (The view of images after the DCT process using a logarithmic scale)



Şekil 6. AKD katsayılarının standart sapması için uydurulan eğriler (linear ve quadratic) (The fitted curves (linear and quadratic) for the standard deviation of the DCT coefficients)

AKD katsayılarının standart sapmaları için elde edilen bu eğriler, dielektrik malzemelerin yüzey özellikleri, ıslanabilirlik davranışı ve buharlaşma hızı arasındaki korelasyona ışık tutmaktadır. Böylece bu parametreler üzerinden zamana bağlı olarak

değerlendirmeler yapılabilmektedir. Tablo 1'de uydurulan eğrilerin eşitliklerine ve R^2 değerlerine yer verilmiştir. Uydurulan eğrilerin R^2 değerlerinin birbirine çok yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 1. AKD katsayılarının standart sapmaları için uydurulan eğriler
(Fitted curves for the standard deviations of the DCT coefficients)

Eğri Uydurma Yöntemi	Derece	Eşitlik	R ²
Polinomsal	1 (Linear)	$y = 0.59x + 97$	(4) 0.9919
Polinomsal	2 (Quadratic)	$y = 0.00024x^2 + 0.57x + 97$	(5) 0.9921

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Dielektrik malzemeler hizmet verdikleri sürece yaşlanma kaçınılmaz bir olaydır. Bu çalışmada, dielektrik malzemelerin, elektriksel özelliklerinin yanı sıra kararlı çalışmasına, performansına ve servis verme süresine etki eden temel yüzey özelliklerinden biri olan ıslanabilirlik davranışının görüntü işleme tabanlı analizi gerçekleştirilmiştir. Dielektrik malzeme yüzeyine 167.9 mS/cm iletkenliğe ve 20 µL hacme sahip tuzlu su damlacığı bırakılmıştır. 1., 10., 20., 30, 40. ve 50. dakikalarda yüzey üzerindeki tuzlu su damlacığından aynı şartlarda alınan görüntülerin Ayırık Kosinüs Dönüşümü katsayıları çıkartılmıştır. Çıkartılan katsayıların standart sapmalarına ait saçılım grafiği zamana bağlı olarak çizdirilmiştir. Elde edilen zamana bağlı noktalar için 1. derece ve 2. derece (linear ve quadratic) eğriler uydurulmuştur. Elde edilen eğriler yüksek R2 değerlerine sahiptir. Zamana bağlı olarak farklı zaman noktalarında elde edilen temas açılarının doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenirken, AKD sonrası elde edilen katsayıların standart sapması da ilintili olarak doğrusal bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak damlacık görüntülerinden AKD kaynaklı elde edilen noktalar, temas açısı ile yüksek seviyede ilintili olduğu gözlemlenmiştir. Sunulan bu yaklaşım ile birlikte, sadece damlacık görüntülerinden malzemelerin yüzeyleri için ıslanabilirlik davranışı ve buharlaşma hızı hakkında değerlendirme ve yorum yapılabilmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, damlacık görüntüleri alımı için zaman nokta aralıkları kısaltılıp daha fazla görüntü alınarak direkt olarak temas açısı tahmini yapılması planlanmaktadır. Temas açısı ölçümü yapılmadan farklı algoritmalar kullanarak, temas açısı değerlerinin tahmininin yapılması planlanmaktadır. Yapılan bu çalışma, AKD kaynaklı öznelikler kullanılarak temas açısı tahminlerinin doğru bir algoritmayla yapılabileceğine temel oluşturmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] R. E. Johnson and R. H. Dettre, *Wetting of low-energy surfaces*, Vol. 49, Marcel Dekker, Inc.: New York, 1993.
- [2] M. Karhan, "Experimental investigation of wettability and evaporation for the surface of PMMA dielectric material used in high-voltage applications and outdoor electrical applications," *Applied Physics A*, vol. 127, no.6, pp.1-11, 2021. doi: <https://doi.org/10.1007/s00339-021-04630-6>
- [3] A. Ersoy and A. Kuntman, "Polimerik yalıtkanlarda yüzey özelliklerinin temas açısı ile incelenmesi," *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO2008)*, Bursa, Turkey, 2008, pp. 107-111.
- [4] M.C. Lanca, "Electrical ageing studies of polymeric insulation for power cables," Ph.D. dissertation, Universidade Nova De Lisboa, Portugal, 2002.
- [5] M. Karhan, M. F. Çakır and M. Uğur, "A New Approach to the Analysis of Water Treeing Using Feature Extraction of Vented Type Water Tree Images," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol.16, no. 3, pp. 1241-1252, 2021. doi: <https://doi.org/10.1007/s42835-021-00667-y>
- [6] L. Hui, L. S. Schadler and J. K. Nelson, "The influence of moisture on the electrical properties of crosslinked polyethylene/silica nanocomposites," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 20, no. 2, pp. 641-653, 2013. doi: <https://doi.org/10.1109/TDEI.2013.6508768>
- [7] M. Karhan, A. E. Yılmaz and M. Uğur, "Investigation the effect of solution conductivity on the growth rate and shape of water trees observed in distribution cables," *Istanbul University-Journal of Electrical & Electronics Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 3445-3451, 2017.
- [8] Y. Fan, R. X. Yang, H. Chen and H. L. Zhang, "The impact of air relative humidity on corona-resistant polyimide film", *6th International Forum on Strategic Technology IEEE*, 2011, Vol. 1, pp.80-83.

- [9] S. Y. Misyura, "The dependence of drop evaporation rate and wettability on corrosion kinetics," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 610, no. 125735, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125735>
- [10] S. Y. Misyura, G. V. Kuznetsov, D. V. Feoktistov, R. S. Volkov, V. S. Morozov and E. G. Orlova, "The influence of the surface microtexture on wettability properties and drop evaporation", *Surface and Coatings Technology*, vol. 375, pp. 458-467, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.07.058>
- [11] S. Y. Misyura, "Heat transfer and convection of evaporating sessile droplets in transition from superhydrophilic to superhydrophobic structured wall: Optimization of functional properties", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 112, pp. 104474, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.104474>
- [12] S. Chakraborty, M. A. Rosen and B. D. MacDonald, "Analysis and feasibility of an evaporative cooling system with diffusion-based sessile droplet evaporation for cooling microprocessors", *Applied Thermal Engineering*, vol. 125, pp. 104-110, 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.appltherg.2017.07.006>
- [13] S. Semenov, A. Trybala, R. G. Rubio, N., Starov, V. Kovalchuk and M. G. Velarde, "Simultaneous spreading and evaporation: Recent developments," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 206, pp. 382-398, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.08.006>
- [14] H. Hu and R. G. Larson, "Evaporation of a sessile droplet on a substrate," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 106, no. 6, pp. 1334-1344, 2002. doi: <https://doi.org/10.1021/jp0118322>
- [15] F. Girard, M. Antoni, S. Faure and A. Steinchen, "Influence of heating temperature and relative humidity in the evaporation of pinned droplets," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 323, no. 1-3, pp. 36-49, 2008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.12.022>
- [16] D. Hu, H. Wu and Z. Liu, "Effect of liquid-vapor interface area on the evaporation rate of small sessile droplets," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 84, pp. 300-308, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2014.05.024>
- [17] H. Almohammadi and A. Amirfazli, "Sessile drop evaporation under an electric field," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 555, pp. 580-585, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.07.022>
- [18] S. M. Rowan, M. I. Newton and G. McHale, "Evaporation of microdroplets and the wetting of solid surfaces," *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 99, no. 35, pp. 13268-13271, 1995. doi: <https://doi.org/10.1021/j100035a034>
- [19] H. Y. Erbil, G. McHale, S. M. Rowan and M. I. Newton, "Determination of the receding contact angle of sessile drops on polymer surfaces by evaporation," *Langmuir*, vol. 15, no. 21, pp. 7378-7385, 1999. doi: <https://doi.org/10.1021/la9900831>
- [20] Z. Wang, X. F. Peng, A. S. Mujumdar, A. Su and D. J. Lee, "Evaporation of ethanol-water mixture drop on horizontal substrate," *Drying Technology*, vol. 26, no. 6, pp. 806-810, 2008. doi: <https://doi.org/10.1080/07373930802046526>
- [21] T. Young, "III. An essay on the cohesion of fluids," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 95, pp. 65-87, 1805. doi: <https://doi.org/10.1098/rstl.1805.0005>
- [22] K. Y. Law and H. Zhao, *Surface wetting: characterization, contact angle, and Fundamentals*. Basel, Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [23] U. Ali, K. J. B. A. Karim and N. A. Buang, "A review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate) (PMMA)," *Polymer Reviews*, vol. 55, no. 4, pp. 678-705, 2015. doi: <https://doi.org/10.1080/15583724.2015.1031377>
- [24] H. S. Park, H. S. Park, M. S. Gong, "Preparation of silver/poly (methyl methacrylate) nanocomposites by in-situ radical polymerization using silver carbamate complex," *Macromolecular Research*, vol. 18, no. 9, pp. 897-903, 2010. doi: <https://doi.org/10.1007/s13233-010-0913-2>
- [25] S. M. Pawde, K. Deshmukh, "Investigation of the structural, thermal, mechanical, and optical properties of poly (methyl methacrylate) and poly (vinylidene fluoride) blends," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 114, no. 4, pp. 2169-2179, 2009. doi: <https://doi.org/10.1002/app.30641>

- [26] S. Rajendran, M. Sivakumar and R. Subadevi, "Effect of salt concentration in poly (vinyl alcohol)-based solid polymer electrolytes," *Journal of Power Source*, vol.124, no.1, pp. 225-230, 2003. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(03\)00591-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(03)00591-3)
- [27] H. Gu, C. Wang, S. Gong, Y. Mei, H. Li and W. Ma, "Investigation on contact angle measurement methods and wettability transition of porous surfaces," *Surface and Coatings Technology*, vol. 292, pp. 72-77, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.03.014>
- [28] N. Ahmed, T. Natarajan and K. Rao, "Discrete cosine transform," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 23, no. 1, pp. 90-93, 1974. doi: <https://doi.org/10.1109/T-C.1974.223784>
- [29] S. Roy and A. K. Pal, "An indirect watermark hiding in discrete cosine transform-singular value decomposition domain for copyright protection", *Royal Society open science*, vol. 4 no.170326,pp.1-22,2017. doi: <https://doi.org/10.1098/rsos.170326>
- [30] M. Majhi and A. K. Pal, "An image retrieval scheme based on block level hybrid dct-svd fused features," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 80, no.5, pp. 7271-7312, 2021. doi:<https://doi.org/10.1007/s11042-020-10005-5>