

## Investigation of Hydrophobicity and Hydrophilicity of Molybdenum Used in Defense and Aerospace Industry

Mustafa Karhan\*, Musa Faruk Çakır, Çağatay Ersin

Electronics and Automation Department, Cankiri Karatekin University, Turkey

**Abstract:** Molybdenum is an important material used mainly in the defense and aerospace industries, as well as in industries such as healthcare, electronics and nuclear. In this study, wetting behavior of molybdenum which has an important place in defense industry and aerospace industry has been investigated. Commercial purity molybdenum was used as the sample. In order to interpret on the hydrophobicity and hydrophilicity of molybdenum samples, pure water was dropped on the samples. Snapshots were taken from the samples with the help of digital microscope and then contact angles were measured. Contact angle measurements were performed using an image processing-based software prepared on the MATLAB platform. The contact angle (for uniform samples, very close surface roughness values and the same measurement medium values) was measured as  $\theta = 61^\circ \pm 6^\circ$ .

**Keywords:** molybdenum, contact angle, hydrophobicity, hydrophilicity, image processing

## Savunma ve Havacılık Sanayinde Kullanılan Molibdenin Hidrofobitesinin ve Hidrofilitesinin İncelenmesi

**Özet:** Molibden savunma, uzay ve havacılık sanayi başta olmak üzere sağlık, elektronik ve nükleer gibi sektörlerde kullanılan önemli bir malzemedir. Bu çalışmada savunma sanayi ve havacılık sanayinde önemli bir yer tutan molibdenin ıslanma karakteristiği incelenmiştir. Numune olarak ticari saflıkta molibden kullanılmıştır. Molibden numunelerinin hidrofobite ve hidrofilitesleri hakkında yorum yapabilmek için numuneler üzerine saf su damlatılmıştır. Dijital mikroskop yardımıyla numunelerden anlık görüntü alınmış ve daha sonra temas açıları (contact angle) ölçülmüştür. Temas açısı ölçümleri, MATLAB platformunda hazırlanan görüntü işleme temelli bir yazılım aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Temas açısı (birörnek numuneler, çok yakın yüzey pürüzlülüğü değerleri ve aynı ölçüm ortam değerleri için)  $\theta=61^\circ\pm6^\circ$  ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** molibden, temas açısı, hidrofobite, hidrofilite, görüntü işleme

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

Mustafa Karhan, Musa Faruk Çakır, Çağatay Ersin, 'Investigation of Hydrophobicity and Hydrophilicity of Molybdenum Used in Defense and Aerospace Industry', Elec Lett Sci Eng , vol. 15(3) , (2019), 74-80

### 1. Giriş

Molibden ve alaşımları, savunma, uzay ve havacılık sanayinde önemli bir yer tutmaktadır [1-4]. Özellikle roketlerin üretim safhasında nozullerin üretiminde aktif bir rol üstlenmektedir. Yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesinden dolayı roketlerin yapısal parçalarının (yönlendirme kanatlarında, destek kanatlarında, pompalar, türbin tekerlekleri, ısı/radasyon kanalları) üretiminde büyük önem arz etmektedir [1-3].

Molibdenin savunma, havacılık ve uzay uygulamalarında tercih edilebilirliği malzemenin ısı sertliği, yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mekanik özellikler sağlaması gibi özellikleri ile açıklanabilir [1-3]. Molibden sağlık, elektronik ve nükleer gibi alanlarda da kullanımı görülmektedir [1-5].

Ticari saflıktaki molibden, TZM (Ti-Zr-Mo), MHC (Mo-Hf-C), Mo-W, Mo-Re, Mo-Al, Mo-Ta, Mo-Nb, Mo-Ni, Mo-Cu, Mo-Ti, Mo-Na, Mo-C gibi molibden alaşımları endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde görülmektedir [1-3].

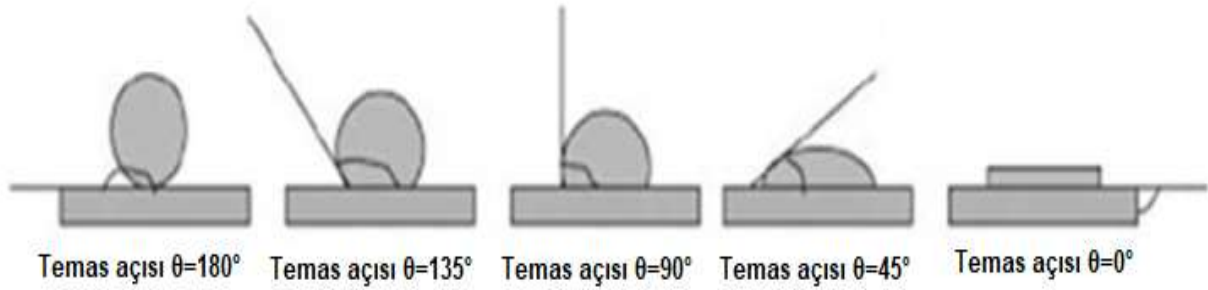
Corresponding author; Tel.:0 376 213 42 01 [mustafakarhan@gmail.com](mailto:mustafakarhan@gmail.com)

ISSN 1305-8614 © 2016 [dergipark.org.tr/else](http://dergipark.org.tr/else) All rights reserved.

Islanma karakteristiği (hidrofobisite ve hidrofilitite), elektrik ve elektronik mühendisliği, tekstil mühendisliği, inşaat mühendisliği, gıda mühendisliği, maden mühendisliği, metalürji ve malzeme mühendisliği ve kimya mühendisliği gibi birçok farklı mühendislik alanı içerisinde karşımıza çıkmaktadır [6-11].

## 2. Temas Açısı

Katı bir yüzeyin ıslanma karakteristiği gerek pratik uygulamalarda gerek AR-GE çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Bir yüzeyin ıslanma karakteristiği (hidrofobisitesi ve hidrofilititesi) temas açısı (contact angle) olarak adlandırılan yüzey ile su damlası arasındaki açıyla açıklanabilecek bir karakteristiktir. Ölçülen temas açısı değeri  $90^\circ$ 'den düşük ise yüzey hidrofilik özellik gösterir,  $90^\circ$ 'den büyük ise hidrofobik özellik gösterir,  $150^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında ise süperhidrofobik özellik gösterir. Katı yüzeyin ıslanabilirliği yüzeyin kimyasal özelliklerine ve mikro yapısına bağlıdır. Temas açısı; yüzey gerilimi, pürüzlülük, yüzey temizliği, ortam parametreleri gibi birçok faktöre bağlıdır [6,11,12]. Şekil 1'de bir su damlasının katı yüzeyle yaptığı farklı temas açıları gösterilmiştir.

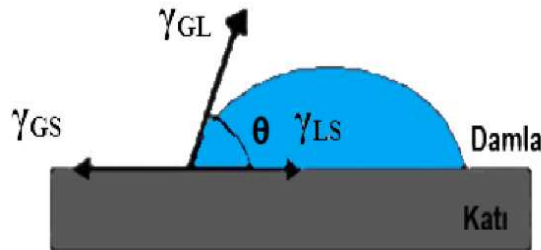


Şekil 1. Bir su damlasının katı yüzeyle yaptığı farklı temas açıları ( $\theta=180^\circ, 135^\circ, 90^\circ, 45^\circ$  ve  $0^\circ$ )

Islanabilirlik kavramı 1805 yılında yüzyıl önce Thomas Young tarafından tanımlanmıştır [13]. Young eşitliği Denklem 1'de gösterilmiştir. Şekil 2'de bir su damlasının katı yüzeyle yaptığı temas açısının şematik gösterimine yer verilmiştir.

$$\gamma_{GS} = \gamma_{GL} \cdot \cos \theta + \gamma_{LS} \quad (1)$$

Denklem 1'de  $\theta$  temas açısını,  $\gamma_{GL}$  sıvı yüzey gerilimini,  $\gamma_{GS}$  katı yüzey gerilimini ve  $\gamma_{LS}$  sıvı-katı arayüzey gerilimini göstermektedir.

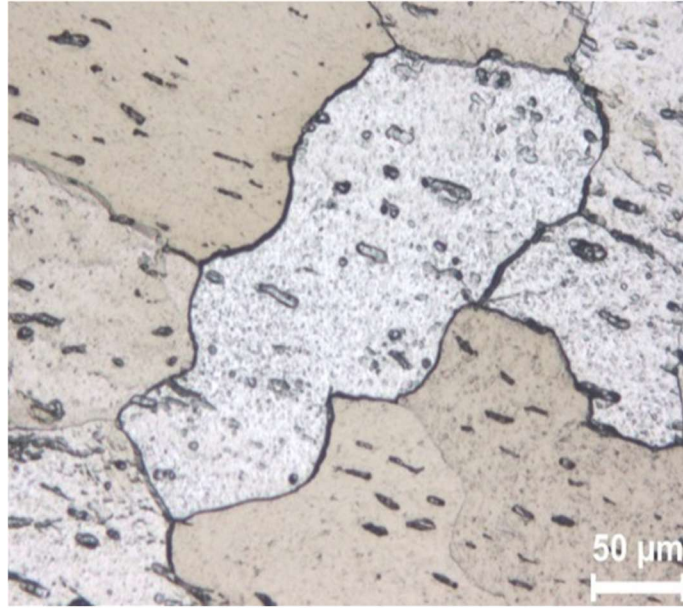


Şekil 2. Temas açısı

## 3. Temas Açısı Ölçümü ve Sonuçları

Bu çalışmada ticari saflıkta molibden numunesi için temas açısı değerleri ölçülmüştür. Ticari saflıktaki molibden  $> \%99,97$  oranında molibden içermektedir. Elastikiyet modülü 320 – 330 Gpa seviyelerinde, poisson oranı 0,38 değerindedir. Çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve ortalama

sertlik değeri sırasıyla 600 – 650 Mpa, 450 – 550 Mpa ve 225 BHN seviyelerindedir [1,2,14]. Şekil 3'te ticari saflıktaki molibdenin mikroyapısı verilmiştir.



Şekil 3. Ticari saflıktaki molibdenin mikroyapısı [1]

Kozbial ve arkadaşları Molybdenum Disulfide ( $\text{MoS}_2$ ) hidrofobisite ve hidrofilitesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kozbial ve arkadaşları  $\text{MoS}_2$ 'nin ortam havasına bir gün maruz kaldıktan sonraki temas açısında yaklaşık  $20^\circ$ 'lik bir artış gözlemlemişlerdir. Hidrofilik Molybdenum Disulfide ( $\text{MoS}_2$ ) yüzeyinin, ortam havasındaki hidrokarbonları adsorbe ettiğini ve böylece hidrofobik hale geldiğini belirtmişlerdir [15]. Allogho ve Ashrit, Molibden oksit ince filmlerin ıslanabilirlik (hidrofobisite ve hidrofilisite) davranışlarını incelemişlerdir Film mikroyapısının, nem içeriğinin ve UV ışınlarının bu filmlerin ıslanabilirlik davranışları üzerinde derin bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [16]. Literatürde farklı molibden alaşımlar için temas açısının hesaplanmasına, hidrofobik ve hidrofilik davranışlarına yönelik çalışmalar bulunmaktadır [15-18].

Temas açısı değerleri alınmadan önce numunenin yüzeyinin birörnek olmasına ve temiz olmasına dikkat edilmiştir. Her ölçüm öncesi numuneler alkol ile temizlenip saf su ile durulandıktan sonra kurutulmuştur. Temas açısı ölçümü yapılacak molibden numuneleri için yüzey pürüzlülük değeri ortalama olarak  $R_a=0,436\mu\text{m}$  ölçülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ) Mitutoyo SJ-410 marka/model profilometre kullanılarak elde edilmiştir. Ticari saflıktaki molibden numunesi Şekil 4'te verilmiştir. Temas açısı değerleri alınırken ortam değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Temas açısı ölçülürken ortam değerleri

<b>Ortam Sıcaklığı</b>	25 °C
<b>Bağıl Nem</b>	% 43 RH
<b>Basınç</b>	906,19 hPa



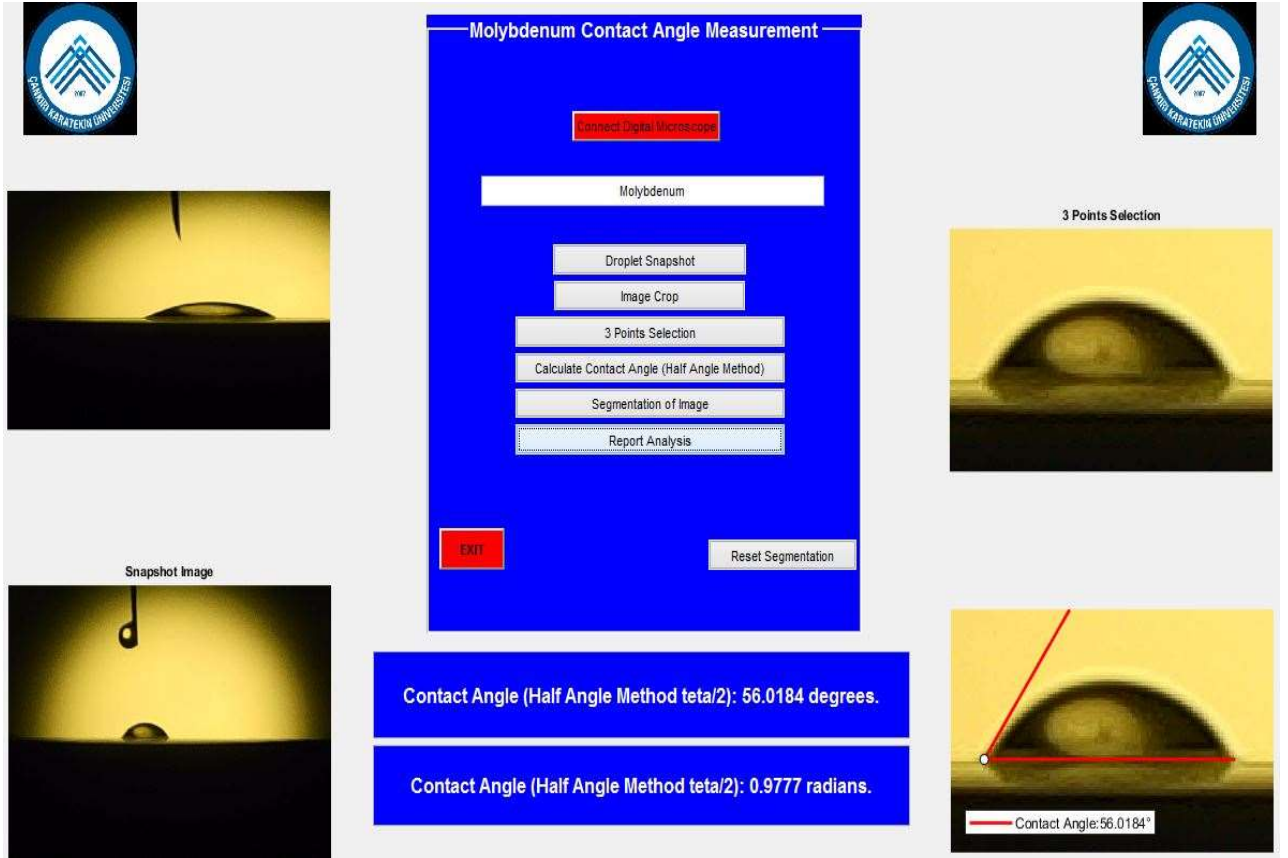
Şekil 4. Temas açısı ölçülecek molibden numunesi

Numune, temas açısı ölçümü yapılacak platforma düzgün bir şekilde yerleştirilmiştir. Temas açısı ölçümü yapılırken Damla Yayınımı (Sessile Drop) yöntemi kullanılmıştır. Görüntüler alınırken Celestron 44308 marka/model dijital mikroskop kullanılmıştır. Görüntü işleme kısmında deney ortamından dijital mikroskop ile alınan görüntüler MATLAB platformunda önerilen görüntü işleme algoritması yardımıyla işlenmiştir. Çıktı olarak temas açıları elde edilmiştir. Numuneler üzerine saf su damlatılarak temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te ticari saflıkta molibden numunesinin üzerinde saf su damlacığı verilmiştir.



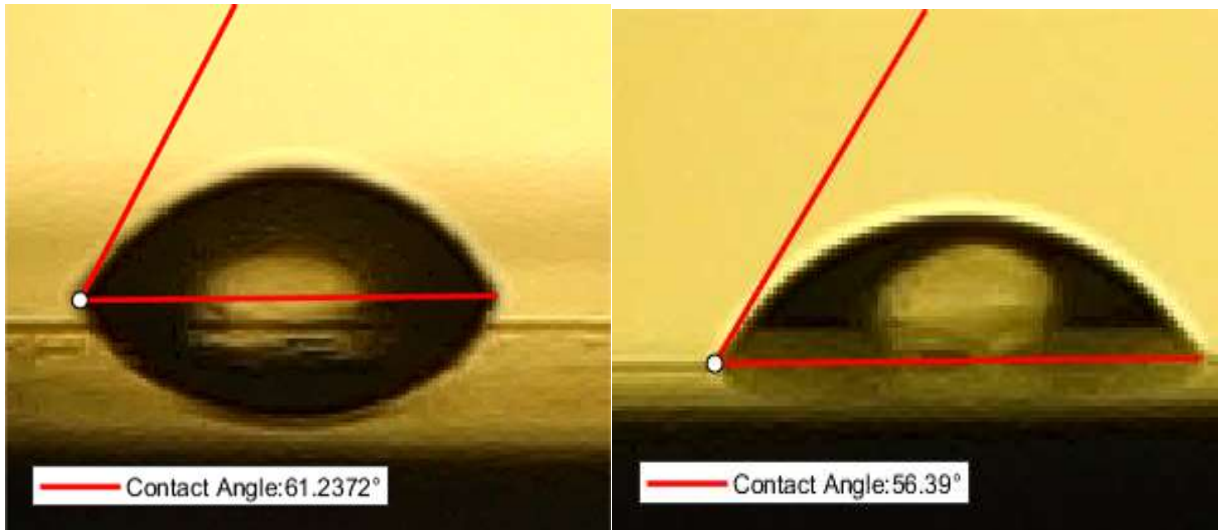
Şekil 5. Saf su damlacığının molibden numunesinin üzerine bırakıldığı andaki mikroskop görüntüsü

Önerilen görüntü işleme algoritmasında deney ortamından alınan dijital mikroskop görüntüsü için öncelikle renk tabanlı bir bölütleme yapılmaktadır. Elde edilen görüntü ikili görüntüye çevrilmektedir. İkili görüntüdeki ışık kaynaklı anlamsız bölgeler morfolojik filtreden geçirilmekte ve görüntünün maskesi oluşturulmaktadır. Daha sonra elde edilen maskelenmiş görüntüden manuel olarak damlacığın yüzeye birleştiği sol uç nokta, yüzeye birleştiği sağ uç nokta ve tepe noktası seçilmektedir ve nihayetinde yarım açı ( $\theta/2$ ) metodundan faydalanarak temas açısı hesaplanmaktadır. Görüntü işleme tabanlı yazılımda Molibdenin temas açısının ölçümüne yönelik MATLAB platformunda hazırlanan arayüz Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Temas ölçümlerinin yapıldığı arayüz

Temas açısı ölçümleri sonucunda  $\theta=61^{\circ}\pm 6^{\circ}$  değerleri elde edilmiştir. Şekil 7’de numune üzerine bırakılan saf su damlacığı için temas açısı görüntüleri ve değerleri verilmiştir. Elde edilen temas açılarındaki küçük farklılıklar yüzey pürüzlülüğü, kirlilik, saf su damlacığının numuneye temas anından sonra geçen süre, ortam parametreleri gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır



Şekil 7. Ölçülen temas değerleri ve görüntüleri

#### 4. Sonuçlar

Hidrofobisite ve hidrofilisite birçok endüstriyel alanda üretim aşamasında aktif ve önemli bir rol üstlenmektedir. Bu alışma kapsamında savunma sanayi ve havacılık sanayinde önemli bir yer tutan molibdenin ıslanma karakteristiği (hidrofobisite ve hidrofilisite) hakkında yorum yapmaya yönelik olarak temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Temas açısı ölçümleri görüntü işleme algoritması yardımıyla MATLAB platformunda hazırlanan arayüz yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen temas açıları numunelerin servis ömrü hakkında yorum yapabilmeye imkân sunacaktır. Elde edilen temas açılarındaki küçük farklılıklar yüzey pürüzlülüğü, kirlilik, saf su damlacığının numuneye temas anından sonra geçen süre, ortam parametreleri gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Temas açısı (birörnek numuneler, çok yakın yüzey pürüzlülüğü değerleri ve çok yakın ölçüm ortam değerleri için)  $\theta=61\pm6^\circ$  ölçülmüştür. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı endüstriyel alanlarda kullanılan molibden alaşımlarının temas açıları ölçölüp karşılaştırılması planlanmaktadır.

#### Referanslar

- [1] Gökçe, H., ifti, İ., Demir, H. Cutting parameter optimization in shoulder milling of commercially pure molybdenum. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 40(7), 360, 2018.
- [2] Gökçe, H., “Molibden ve alaşımlarının işlenebilirliğinin incelenmesi”, Doktora Tezi Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018.
- [3] ifti, İ., Gökçe, H. Molibden alaşımlarının işlenmesinde kesici takım ve kesme parametrelerinin Taguchi Metodu ile optimizasyonu. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 34(1), 201-203, 2019.
- [4] Pavel, C. C., Tzimas, E., “Raw materials in the European defence industry”, European Commission, DG Joint Research Centre, Petten, Netherlands, 2016.
- [5] Paradis, P. F., Ishikawa, T., Yoda, S., ”Noncontact measurements of thermophysical properties of molybdenum at high temperatures”, International Journal of Thermophysics, 23(2), 555-569, 2002.
- [6] Evcin, A., Ersoy, B., Uygunoęlu, T., Güneş, İ., “Farklı mineral katkıların epoksi zemin kaplama malzemesinin ıslanmazlığına ve yüzey enerjisine etkisi”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33(2), 581-590, 2018.
- [7] Ersoy, A., Kuntman, A., “Polimerik yalıtkanlarda yüzey özelliklerinin temas açısı ile incelenmesi”, Elektrik–Elektronik–Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO2008), 107-111, 2008.
- [8] Syakur, A., Berahim, H., Rochmadi, T., “Hydrophobic Contact Angle and Surface Degradation of Epoxy Resin Compound with Silicon Rubber and Silica”, Electrical and Electronic Eng., 2, 5, 284-291, 2012.
- [9] Asano, H., Shiraishi, Y., “Development of paper-based microfluidic analytical device for iron assay using photomask printed with 3D printer for fabrication of hydrophilic and hydrophobic zones on paper by photolithography”, Anal. Chim. Acta, 883, 55–60, 2015.

- [10] Xu, Z., “An inclined plane based dynamic contact angle algorithm and its validity in application of hydrophobicity measurement for insulating materials”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 20(5), 1832-1835, 2013.
- [11] Karhan, M., Çakır, M. F., Issı F., Eyüpoğlu, V., “Polimerik Yalıtkanların Elektrik Alan Altında Hidrofobitesinin İncelenmesi, TR82 Ar-Ge ve Yenilik Proje Pazarı-2019, 2019.
- [12] Kartal, F. E., “Nanokompozit Süperhidrofobik Yüzey Sentezi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği, Ankara, 2009.
- [13] Young, T. III. An essay on the cohesion of fluids. Philosophical transactions of the royal society of London, (95), 65-87, 1805.
- [14] Ghoniem, N. M., “Assesment of high-temperature refractory metals”, UCLA – Apex meeting, 1-76, 1998.
- [15] Kozbial, A., Gong, X., Liu, H., Li, L., “Understanding the intrinsic water wettability of molybdenum disulfide (MoS<sub>2</sub>)”, Langmuir, 31(30), 8429-8435, 2015.
- [16] Allogho, G. G., Ashrit, P. V., “Wettability and photochromic behaviour of Molybdenum oxide thin films, Thin Solid Films, 520(6), 2326-2330, 2012.
- [17] Hula, R. C., Edtmaier, C., Holzweber, M., Hutter, H., Eisenmenger-Sittner, C., “The wetting behaviour of silver on carbon, pure and carburized nickel, cobalt and molybdenum substrates”, Applied Surface Science, 256(14), 4697-4701, 2010.
- [18] Lin, C. T., Lee, H. T., Chen, J. K., “Synthesis and characterization of molybdenum/phenolic resin composites binding with aluminum nitride particles for diamond cutters”, Applied Surface Science, 284, 297-307, 2013.