

ZnO Katkılı Greslerin Sıcaklık ve Soğurma Özelliklerinin Araştırılması

Nimeti DÖNER¹*, Gökhan GÖKDEMİR¹, Zerrin SERT², Fatih ŞEN³

¹Gazi University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, ANKARA

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

³Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyokimya Bölümü, KÜTÜHYA

(Alınış / Received: 05.12.2020, Kabul / Accepted: 08.06.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 31.08.2021)

Anahtar Kelimeler

Gres,
Mikroparçacık,
Sıcaklık dağılımları,
Soğurma,
Işınım özellikleri

Öz: Dış ortamlarda çalışan büyük iş makinalarının hareketli aksamalarını yağlamakta kullanılan greslerin iki tipi seçilerek, ısıl özellikleri hem deneysel hem sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Gerçek çalışma şartlarını simule eden bir test düzeneği hazırlanmıştır. Katkısız ve mikroparçacık katkı greslerin sıcaklık ve moment değişimleri bu test düzeneğinde analiz edilmiştir. Katkı maddesi olarak yüksek enerjili elektromanyetik ışınım özelliğine sahip, yarı iletken bir malzeme olan ZnO (çinko oksit) ağırlıkça farklı oranlarda greslere karıştırılarak test edilmiştir. Işınım özellikleri görünür dalga boyunda ve 2.5–20 µm'lik kızılötesi dalga boyu aralıklarında incelenmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar, Ayrık Dipol Yaklaşımı (DDA) yöntemiyle soğurma verimlilik faktörleri bakımından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar moment, sıcaklık ve soğurma değerleri şeklinde sunulmuştur. Sıcaklık ve moment değişimleri, metalik mikroparçacıkların ağırlıkça katkı oranlarına ve greslerin tipine göre değişiklik göstermiştir. Kauçukla kalınlaştırılmış gres, lityumla kalınlaştırılmış grese göre daha yüksek momentlere ulaşmaktadır. Katkılı greslerin soğurma değerleri, kızılötesi dalga boyundaki katkısız greslere göre daha küçüktür. Bu nedenle, katkı greslerin büyük iş makinalarının hareketli aksamalarında oluşan ısıyı hızlı bertaraf edebilecekleri öngörülmektedir.

Investigation of Temperature and Absorption Properties of ZnO Additived Greases

Keywords

Grease,
Microparticle,
Temperature distributions,
Absorption,
Radiative properties

Abstract: Two types of greases, namely, lithium- and caoutchouc-thickened greases, used to lubricate the moving parts of huge heavy machines operating in outdoor environments are selected and their thermal properties are investigated using both experimental and numerical methods. A test setup for simulating the actual operating conditions is prepared. The temperature and torque variations of greases without additives and with microparticle additives are analyzed in the test setup. ZnO (zinc oxide), a semiconductor material that relies on high energy electromagnetic radiation as an additive, is tested by mixing it into greases in weight fractions. The radiative properties are analyzed in the visible and the infrared wavelength ranges of 2.5–20 µm. Furthermore, the experimental results are validated by the discrete dipole approximation (DDA) method by evaluating the absorption efficiency factors. The obtained results are presented with the changes in momentum, temperature and absorption values. The temperature and torque distributions vary according to the weight fractions of the metallic microparticles and the type of greases. The caoutchouc-thickened grease reaches higher torques than the lithium-thickened grease. The absorption values of the greases with additives are smaller than the greases without additives in the near-infrared wavelength. Therefore, it is seen that greases with additives can quickly eliminate the heat generated in the moving parts of heavy machines.

*İlgili Yazar, email: nimetidoner@gazi.edu.tr

1. Giriş

Gresler endüstriyel yağlamada oldukça yaygın kullanılan, sürtünmeyi azaltarak makinelerin daha az tahrip olmasını sağlayan ve korozyonu önleyen yarı sıvı akışkanlardır. Viskoz özelliğe sahip gresler menteşeler, pimler, darbe ve talaşlı imalat tezgâhlarının ayna, mil, dişli gibi tüm hareketli parçalarında kullanılmaktadır. Bunların

yanında, yol yapım çalışmalarında kullanılan büyük arazi araçlarının, hareketli aksamaların yataklarında da uygulanmaktadır ve ağır çalışma şartları altında, özelliğini yitirmesinden dolayı günlük olarak değiştirilmektedir. Dolayısıyla, yağlama işlemi koruyucu ve hasar önleyici özelliği nedeniyle, araçların ve hareketli parçalarının servis bakım periyodunun uzamasını ve makina sistemlerinin uzun çalışma ömürlü olmasını sağlar. Ağır iş makinalarında greslerin uygulanmasının dezavantajı ise, her gün yapılan yağlama işlemi, işçilik ve yağ-bakım maliyetini artırmaktadır.

Dış ortamda çalışan makineler gündüz güneş ışınımına maruz kalmaktadır. Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınları 300 nm ila 2500 nm dalga boyu aralığında olup, yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı %5 ultraviyole, %43 görünür ve %52 kızılötesi dalga boyu aralığına denk gelmektedir [1-6, 8]. Bu nedenle, dış ortamlarda çalışan makinelerde hareketli parçalarda oluşan sürtünme kaynaklı ısı probleminin yanında, güneş ışınımının soğurulmasından kaynaklanan ısının da azaltılması gerekmektedir. Bunun için görünür ve kızılötesi dalga boylarındaki soğurmayı en aza indirmek önemlidir.

Gresin içeriği ve ısıl özellikleri, çalışma koşullarına ve kullanıldığı endüstriyel uygulamalara göre çeşitlilik gösterir. Gres üç bileşenden oluşur. Bunlar; kalınlaştırıcı, baz yağ ve katkı maddeleridir ve içerdiği kalınlaştırıcıya göre adlandırılır [9]. Lityum ile kalınlaştırılmış gres; ağır yük ve yüksek hızda çalışan mekanik sistemlerde geniş uygulama sıcaklığı, su geçirmez özelliği ve düşük maliyet nedeniyle oldukça yaygın kullanılmaktadır. Kalsiyum ile kalınlaştırılmış gres ise genellikle orta ve hafif yük altında çalışan mekanik sistemlerde kullanılmaktadır [10, 11].

Sürtünmenin sebep olduğu ısının, baz yağdan daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip nano-mikro parçacıklar kullanılarak ortamdaki hızlı transfer edilmesi ve aynı zamanda yağlama özelliğinin sürdürülebilirliği üzerine literatürde bir çok çalışmalar mevcuttur. Prasad vd. [12] çeşitli metalik mikroparçacıkların yağa eklenmesi durumunu inceleyerek, uzun çalışma sürelerinde sıcaklık değişimlerini analiz etmişlerdir. Nicoletti [13], Si, SiO₂, Al, Al₂O₃, Cu, CuO gibi nano parçacıkların grese eklenmesini sayısal modelleyerek çalışmıştır ve nano parçacık içeren greslerin viskozitelerinin yüksek oranda sıcaklığa bağlı olduğunu tespit etmiştir. Goyal vd. [14] ise grese nano parçacık eklenmesinin ısıl özellikleri nasıl etkilediğini irdeleyen derleme çalışması yapmışlardır. Buna göre, grese nano parçacık eklenmesinin yatak-yük taşıma kapasitesini artırdığını, sürtünme kuvvetlerini ve temas yüzeylerindeki temas alanını azalttığı tespit edilmiştir. Peña-Parás vd. [15], sıcaklığın CuO ve TiO₂ nanoparçacık katkılı yağlayıcıların aşırı basınç altındaki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, hareketli yüzeylerin temas alanında bir azalma ve yük taşıma kapasitesinde bir artış bulmuşlardır. Karbon nano-tüp eklenmiş greslerin ısıl iletkenlikleri Hong vd. [16] tarafından incelenip, nano parçacıkların ağırlıkça karışım oranının ısıl özellikleri etkilediği sonucuna varmışlardır. Başka bir çalışmada, sıcaklık ve viskozitenin greslerin performansına etkileri, grafit katkılı gres ile incelenmiş ve sıcaklık arttıkça viskozitenin azaldığı görülmüştür [17].

Gresler lityum, sodyum ve kalsiyum gibi uzun yağ asit zincirli sabunların kalınlaştırma özelliğinin dağıtılmasıyla yağlamayı gerçekleştirir. Lityum ile kalınlaştırılmış gresler, çok fonksiyonlu özellikleri ve uzun kullanım süreleri ile sodyum ve kalsiyum ile kalınlaştırılmış greslerin yerini almaktadır [18]. Yaşlandırma işlemi öncesi ve sonrasındaki lityum bazlı gresin, soğurma özellikleri düşük sıcaklıklarda Zhou vd. [19] tarafından araştırılmıştır. Mekanik sistemlerde nano parçacık katkılı gresin (TiO₂, Al₂O₃, CuO, ve karbon nanotüplerin) ısıl iletkenlik, sürtünme ve yük direnci Pena-Paras vd. [20,21] tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmalarında iki farklı grese, ağırlık miktarları % 0.01, % 0.05 ve % 0.1 olan nano katkı maddeleri ekleyerek çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda nano parçacık katkılı greslerin ısıl ve tribolojik performans için kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Greslerin veya nanoakışkanların ısıl ve akış özelliklerinin incelenmesinde solar ışınımını dikkate alarak yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Bunlardan birinde, güneş ışınımına maruz kalan nano sıvıların ısıl davranışları Kandasamy vd. [22] tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada; sıcaklığın, nanoparçacık hacim oranının ve akış alanının güneş ışınımından oldukça etkilendiğini ve akış özelliklerinin değiştiğini tespit etmişlerdir. Wang vd. ve Ahlatli vd.'lerinin çalışmalarında [23, 24], güneş ışınımına maruz kalan nanoakışkan kullanan akış kanalları ve güneş kolektörlerinin ısıl performansları ve optik özellikleri değerlendirilmiştir. Literatürde greslerin özelliklerini inceleyen çalışmalardan, baz yağdan daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip nanoparçacıklar kullanıldığında, sistemde oluşan ısının ortamdaki daha hızlı uzaklaştırıldığı ve yağlama özelliğinin sürdürülebilirliğinin korunduğu görülmüştür. Ancak, literatürde bir iki çalışma dışında, greslerin ışınım özelliklerinin pek incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle, çalışmamızda dış ortamlarda çalışan makinelerde kullanılan greslerin katkısız ve mikroparçacık katkılı durumları, sıcaklık, moment ve ışınım özellikleri bakımından incelenecektir.

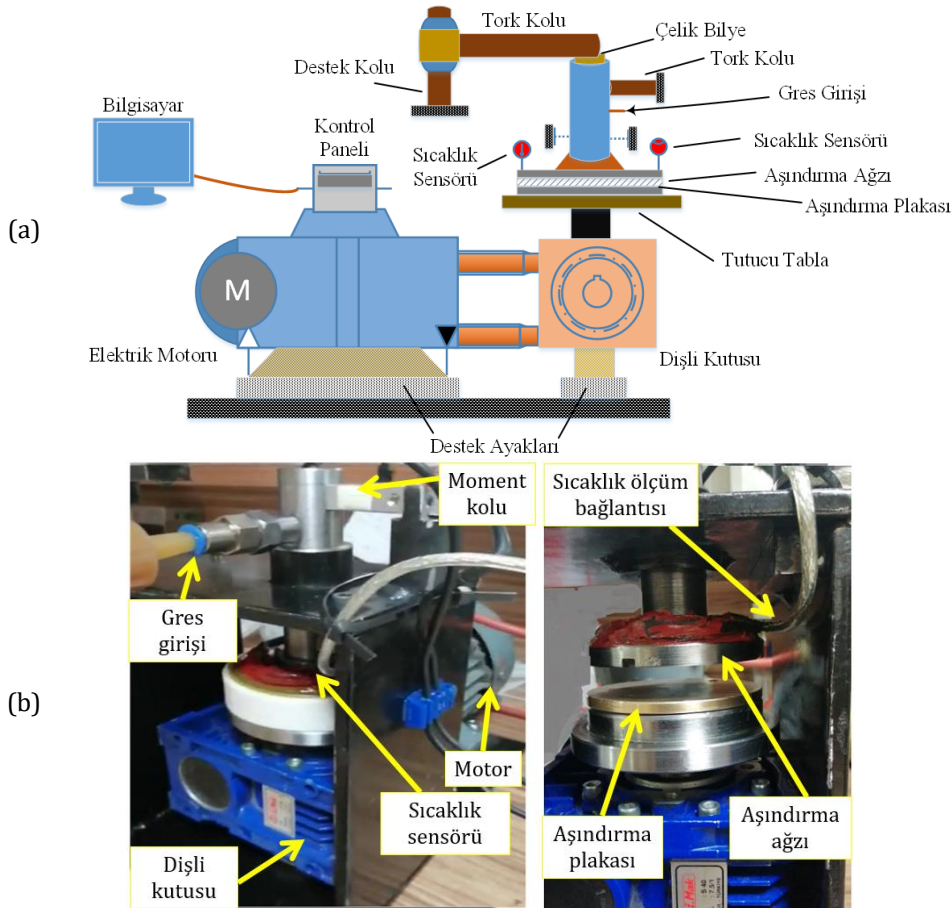
Çalışmamızda, gerçek çalışma koşullarını simule eden test düzeneğinde greslerin sıcaklık ve moment değişimleri incelenmiştir. Anlatım kolaylığı için, lityum kalınlaştırıcı gres, Gres 1 ve kalsiyum kalınlaştırıcı gres, Gres 2 olarak adlandırılmıştır ve gresler DIN standardında, sırasıyla 51502-KP 2 K-20 ve 51825-KP 2 E-10 kodlu ürünlerdir. Katkı maddesi olarak ZnO mikroparçacıkları kullanılmıştır. Katkısız greslerin görünür ve kızılötesi dalga boyu aralığındaki ve ZnO katkılı greslerin yakın-kızılötesi (infrared) dalga boyu aralığındaki soğurma özellikleri deneysel çalışmalar ile ölçülmüştür. Dış ortamlarda güneş ışınımına uzun süre maruz kalan iş

makinelerinin hareketli aksamalarının yatak bölgelerinde kullanılan greslerde; sürtünme sonucu oluşan sıcaklık artışı (ısınma) ile birlikte, güneş ışınımının soğurulması sonucu daha fazla sıcaklık artışı (ısınma) oluşmakta, dolayısıyla yataklardaki ısı problemi daha karmaşık hale gelmektedir. İş makinelerinin çalışma periyodunun aksamaması ve hareketli aksamaların efektif ve uzun süre çalışabilmesi için, yataklardaki ısının hızlı bir şekilde ortamdaki transfer edilmesi yada yapısal özellikler ile ısı artışının önlenmesi gibi çözümler gerektirmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Sıcaklık ve moment değişimi ölçümleri

Şekil 1'de greslerin sıcaklık ve moment değişimlerini incelemek için hazırlanan deney düzeneğinin (a) şematik görünümü ve (b) fotoğrafı verilmektedir. Deney düzeneğinde birbiri ile sürtünme halinde olan birer adet çelik aşındırma çenesi ile, pirinç malzemeden yapılmış aşınma plakası mevcuttur. Sistemde tahrik elemanı olarak 3 faz 450 Volt, 0,25 kW gücünde, 1390 dev/dak dönme hızına sahip elektrik motoru kullanılmıştır. Motorun hemen çıkışında, hareketi 90 derece yön değiştiren, 7,5/1 tahvil oranına sahip dişli redüktör bulunmaktadır. Bu redüktör ile motorun sahip olduğu 1390 dev/dak dönme hızı test parçalarına ortalama 185 dev/dak olarak iletilmekte, döndürme momenti de ortalama 7,5 kat arttırılmaktadır. Her iki yönde döndürme ile uygulanan yük miktarı ayarlanabilmektedir. Tork kolu mili üzerinden yük aşındırma çenesine iletilmektedir. Aşındırma çenesi milinin üzerine uygulanan kuvvetin mil üzerinde sürtünme kuvveti oluşturarak sürtünme kuvvetinin ölçümünde hataya neden olmaması için noktasal temas sağlamak üzere bir adet çelik bilye yerleştirilmiştir. Aşındırma çenesi milinin eksenine boyunca 5 mm çapında bir delik açılarak test edilecek gres yağının sürtünme ortamına bu kanaldan sevk edilmesi sağlanmıştır. Yükleme miktarı bir load-cell ile ölçülerek elektronik kontrol kartına gönderilmektedir. Bu değerlerin ölçülmesi, yapılacak ölçüm karşılaştırmalarının aynı şartlarda olmasını sağlamak açısından önemlidir.



Şekil 1. Test düzeneği (a) şematik görünümü ve (b) fotoğrafları

Yükleme, aşınma plakası üzerinden aksel yönde doğrudan tahrik tablasına etkidiğinden, yükü üzerine alarak redüktöre ek yük getirmemesi için konik bir yükleme rulmanı kullanılmıştır. Tüm yük bu rulmanın üzerinde olup diğer tahrik parçalarına ek bir kuvvet uygulamamaktadır. Aşınma plakası 80 mm çapında, 5 mm kalınlığında pirinç-bronz malzemeden üretilmiştir. Bu malzeme bir çok uygulamada yatak malzemesi olarak kullanıldığından gerçek çalışma şartlarını sağlamak üzere seçilmiştir. Elektronik kontrol ünitesi Arduino Uno cinsi programlama kartına sahiptir. Ünitenin içinde aynı zamanda üç fazlı motoru kontrol etmek üzere elektrik kontaktörleri mevcuttur. Bu kontaktörler sayesinde elektrik motorunun dönme zamanı ve yönü kontrol edilmektedir.

Elektronik programlama kartı, sıcaklık ve yük sensörlerinden aldığı bilgileri işleyerek kontrol ünitesinin üzerindeki LCD ekrana ve kullanılan bir seri port veri yolu ile bilgisayar ortamına gönderilmektedir. Hazırlanan kontrol programında elektrik motorunun, dolayısıyla sürtünme parçalarının birbiri üzerinde hangi süreyle sağa sola döneceği ayarlanmaktadır. Bu uygulama için 10 saniye sağa, 10 saniye sola dönecek şekilde ayarlanmıştır. Her bir sağa ve sola dönüş tamamlandığında 1 tekrar yapılmış sayılmaktadır. Bu süre göz önünde bulundurularak tekrar sayısı kontrol ünitesi üzerinde ayarlanabilmektedir. Kontrol ünitesi, her bir tekrardan sonra tekrar sayacını 1 arttırarak saymakta, ayarlanan tekrar sayısına ulaşıncaya sistemi durdurmaktadır. Aşınma plakası tahrik tablasına yerleştirildikten sonra, 60 cc hacimli bir enjektör ile test yağı aşındırma çenesinin ekstenel kanalı boyunca çalışma alanına sevk edilir. Bu enjektör ile gönderilen yağ miktarı ölçülebilmektedir. Bu durum, test edilerek karşılaştırılan yağların aynı şartlarda ve miktarda uygulanması açısından önemlidir. Yapılan testlerde, yağ kanallarında bulunan yağ hariç çalışma alanına verilen ilk yağ miktarı 12 cc'dir. Yağ uygulaması yapıldıktan sonra çeneler birbiri üzerine oturtularak yüklemeye somunu ile uygulanmak istenen yük miktarı ayarlanmaktadır. Yük miktarı eş zamanlı olarak LCD ekran üzerinden görüldüğü için miktar ayarı kolaylıkla yapılabilmektedir. Yapılan ilk testlerde bu miktar 40 kg olarak seçilmiştir. Yükleme miktarı tüm numunelerin test edilmesi sırasında aynıdır. Ayarlanan tekrar sayısına ulaşıncaya kadar cihaz çalışmakta, her bir tekrar sonunda ölçülen yüklemeye, moment, sıcaklık ve tekrar sayısı LCD ekranda ve bilgisayar seri ekranına yazdırılarak kaydedilmektedir.

2.2. Soğurma özelliğinin ölçümü

Işınım, ısı transferi mekanizmalarından biri olup, elektromanyetik dalgalar veya fotonlar yardımıyla gerçekleşen, hacimsel enerji aktarımıdır. Işınımın dalga özelliği, mikron olarak dalga boyu (λ) ile ifade edilir. Uygulamada karşılaşılan elektromanyetik ışınım, 10^{-10} 'dan 10^{10} 'a kadar geniş bir dalga boyu aralığındadır. Görünür dalga boyu 0.4 ile 0.7 μm aralığında iken kızılötesi (infrared) daha boyu 0.75 μm ile 100 μm aralığında yayılır [7]. Madde elektromagnetik ışınım ile etkileştiğinde, yapısında bulunan elektronların salınım ve yörünge değiştirmeleri sonucunda enerji açığa çıkmaktadır. Bu durumda, maddenin iç enerjisi ve sıcaklığında değişimler gerçekleşmektedir.

Maddelerin soğurma özelliği, dalga boyu, maddenin parçacık boyutu ve yansıtma indeksi ($m = n + ki$) ile değişir. Yansıtma indeksi, n reel kısım ve k sanal kısım olmak üzere iki parametreden oluşur ve dalga boyuna göre soğurma ve saçılma özelliklerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir [25]. Ayrıca, bir ortamda yayınan ışınım parçacıklar ile karşılaştığında, parçacıklar tarafından soğurulur veya yansıtılır. Işınımın ortamdaki geçerken soğurulmasından kaynaklanan şiddetindeki azalma, Denklem (1) de verilen Beer-Lambert yasası [8] ile ifade edilir:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-Lk_{\text{toplam}}} \quad (1)$$

Burada L ortamın derinliğini (cm), I_0 başlangıçtaki ışınım şiddetini (W/m^2), I ortamdaki ışınım şiddetini (W/m^2), $k_{\text{toplam}} (=k_{\text{gres}} + k_{\text{parçacık}})$ ise gresin (k_{gres}) ve katkı maddesinin ($k_{\text{parçacık}}$) soğurma katsayılarının toplamını tanımlamaktadır.

Çalışmada soğurma ölçümleri iki farklı spektrofotometre cihazı ile yapılmış olup, görünür dalga boyundaki (UV-VIS) soğurma ölçümlerinde, PerkinElmer Lambda 750 spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. UV-VIS dalga boyundaki soğurma ölçümleri, organik ve inorganik maddelerin miktarını belirlemek için sıkça kullanılan bir yöntemdir. Moleküler absorpsiyon spektroskopisi, λ dalga boyunda bir ışın yolu olan şeffaf bir kap içinde bir çözeltinin geçirgenliğinin (T) veya absorpsiyonunun ($A = -\log T$) ölçülmesine dayanır. Bu soğurma ölçümleri çözelti halindeki numunelere yapılabilmektedir. Bu yüzden yarı-katı yağlayıcı olan gres hekzan ile seyrestirilmiş ve çözelti haline getirilmiştir. Sekiz adımda oluşturulan çözelti üzerinden soğurma ölçümleri yapılmıştır. Birinci çözelti, 50 ml hekzan ile 0.1 gr gres manyetik karıştırıcıda 30 dakika karıştırılıp, 0.4 μm 'lik filtreden süzülerek oluşturulmuştur. Daha sonraki yedi çözelti, 2 ml önceki adımdaki çözelti (gres+hekzan karışımı) ve 2 ml hekzanın vorteks karıştırıcı ile karıştırılması ile elde edilmiştir. Bu süreç, Gres 1 ve Gres 2 için aynı adımlar ve sürelerde tekrarlanmıştır. Görünür dalga boyunda sadece katkısız gresin soğurma değerleri ölçülebilmektedir, katkılı greslerin ölçümleri için birçok test yapılmış, ancak metal parçacıkların çökmesi nedeniyle sonuç elde edilememiştir. Mikroparçacık katkılı ve katkısız greslerin, yakın-kızılötesi dalga boyu aralığındaki soğurma özellikleri PerkinElmer Spectrum Two spektrofotometre cihazı (FTIR) ile ölçülmüştür. Tüm ölçümler oda sıcaklığında yapılmış ve sonuçların kararlılığı için en az üç kez tekrarlanmıştır.

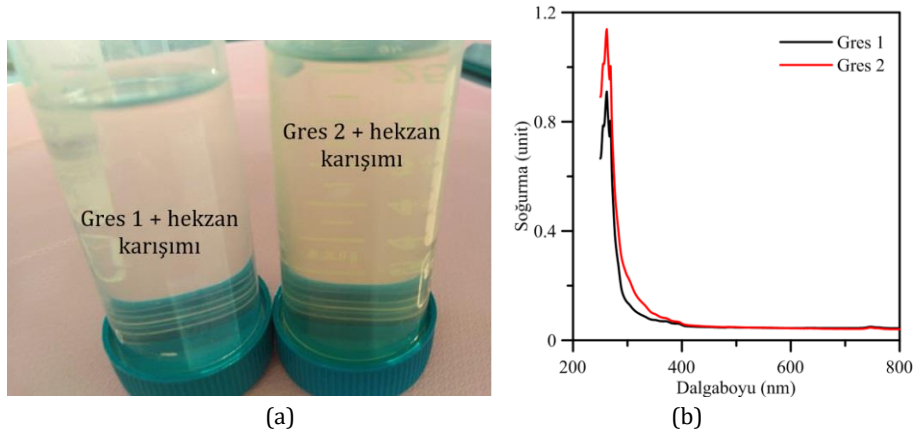
Deneylerde kullanılan ZnO Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir ve parçacık büyüklükleri 5 μm 'den küçüktür. ZnO ultraviyole ışınlar karşı güçlü koruma sağlayan yani UV emici özellik gösteren bir yarı iletkenidir. Ayrıca yapılan çalışmalarda ZnO katkılı nanoakışkanlı ısı transferi analiz deneylerinde başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür [26]. ZnO'nin kararlı haldeki şeklinin hegzagonal yapıda olması ve deneylerde kullanılan ZnO'nin %99 saflıkta olması nedeniyle, DDA yönteminde mikroparçacıkların şekli hegzagonal olarak kabul edilmiştir. Bunlara ek olarak; ZnO mikroparçacığının yansıtma indeksi $m = 2 + 0.5i$ [27] olarak alınmıştır.

2.3. Soğurma ve saçılma etkenliklerinin sayısal hesabı

DDA yöntemi bir ortamdaki ışınım saçılmasının modellenmesini sağlar [28]. Bu sayısal yöntemin hesaplama doğruluğu, birçok çalışmada çeşitli büyüklük ve geometrilerdeki parçacıklar ve topaklanmalar için test edilmiş ve yüksek hassasiyette sonuçlar verdiği görülmüştür [25, 29]. Bir parçacık üzerine gelen ışınımın etkileri yansıtma, kırılma ve soğurmadan oluşur. Dolayısıyla, bu yöntem bir parçacığın ışınım özellikleri olan yok olma, saçılma ve soğurma etkenliklerini tanımlayan Q terimlerini (birimsiz) hesaplar. Açık kod olarak ulaşılabilen, fortran programlama dilinde yazılmış ve DDSCAT olarak adlandırılan programda yansıtma indeksi, dalga boyu ve efektif yarıçap ($a_{\text{efektif}} = N^{1/3}a$) veri olarak kullanılır [30]. Efektif yarıçap formülündeki, N parçacık sayısı, a ise parçacık yarıçapıdır [25]. Bir parçacığın kesit alanındaki soğurma, saçılma ve yok olma katsayısı $C_i = Q_i \pi a_{\text{efektif}}^2$ şeklinde tanımlanır. Burada i alt indisi yok olma, soğurma ve saçılmayı ifade etmektedir ($C_{\text{yok_olma}} = C_{\text{soğ}} + C_{\text{saç}}$). DDA yönteminin hassasiyeti dipol olarak isimlendirilen uç hesaplama noktalarının sayısı ile oldukça alakalıdır. Dipol nokta sayısı (N) yüksek değerlerde olduğunda ve $|m|kd < 1$ kriteri sağlandığında DDA sonuçlarının doğru olduğu kabul edilir. Burada d kafes uzunluğu, m yansıtma indeksi, k ise dalga sayısıdır ($2\pi/\lambda$). Yöntem ile ilgili daha fazla ayrıntılı Türkçe bilgilere Kaynakça [31]'den ulaşılabilir. Gres içindeki bir tek ZnO mikroparçacığın ışınım soğurma ve saçılma etkenlikleri, $a_{\text{efektif}} = 2.5 \mu\text{m}$ efektif yarıçap için, $10 \times 10 \times 10$ ortalama açılma dağılımı ve $N=170688$ dipol sayısı kullanılarak hesaplanmıştır. Parçacık şekli hegzagonal olduğu için üç adet şekil parametresi tanımlanır. Bunlar hegzagonal parçacığın uzunluğu a_1 ve alt kenar genişliği a_2 ve ışınım saçılma doğrultuları şeklinde olup, dalga boyu aralığı 2–20 μm için analizler yapılmıştır. DDA yöntemi ile hegzagonal ZnO nanoparçacıkların UV dalga boyundaki ışınım özelliklerinin incelendiği Al-Hilli ve Willander [32] tarafından yapılan çalışmada, hegzagonal şekilli parçacıkların farklı büyüklük oranlarındaki ışınım özellikleri arasında çok küçük farklar olduğu, esas önemli özelliğin efektif yarıçap olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, ZnO parçacığının farklı geometrik özellikleri için analizler yapılmamıştır. Bir malzeme içinde (gömülü halde) olan metalik parçacıkların yansıtma indeksinin sanal kısmını tanımlayan k parametresinin, soğurma ve saçılma özelliklerini çok daha fazla etkilediği ve bu parametrenin bilinen değerlerinden çok daha büyük olması gerektiği Dombrovsky'nin [33] deneysel ve modelleme çalışması ile tespit edilmiştir. Bu çalışmaya dayanarak, DDA analizlerimizde ikinci yansıtma indeksi $m = 2 + 5.0i$ kullanılarak soğurma ve saçılma özelliklerinin değişimi incelenmiştir.

3. Sonuçlar ve Yorumlar

Görünür dalga boyu aralığındaki soğurma özelliği ölçümleri için, Gres 1 ve Gres 2'nin hekzan karışımı çözeltileri Şekil 2 (a)'da ve ölçüm sonuçları Şekil 2 (b)'de verilmektedir. Bu soğurma değerleri, dış ortamda çalışan ağır iş makinelerinde kullanılacak gresler için büyük önem taşımaktadır.

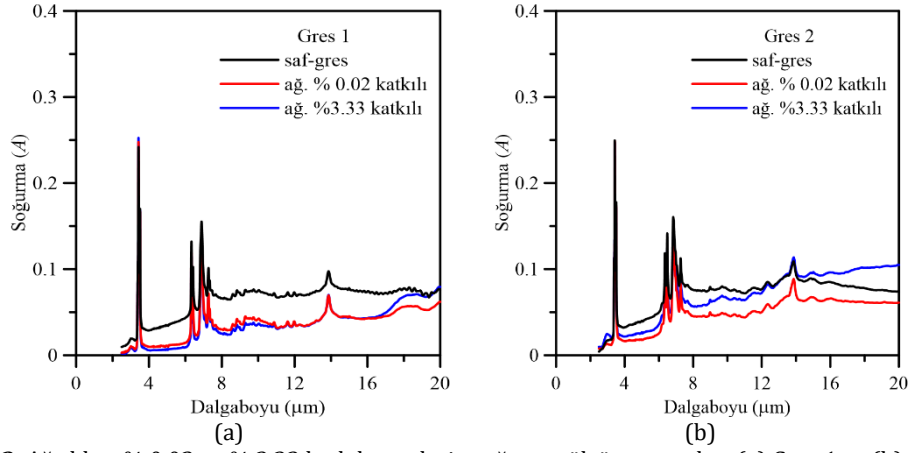


Şekil 2. (a) Gres numunelerinin çözelti halleri ve (b) Görünür dalga boyundaki soğurma değerleri

Katkısız greslerin tanımlanan dalga boyu aralığındaki soğurma ölçüm sonuçları incelendiğinde, soğurma değerlerinin 0.4 μm (400 nm) ve üzerindeki dalga boylarında, ~ 0.1 değerinde olduğu Şekil 2 (b)'den görülmektedir. Dalga boyu 0.3 μm (300 nm) civarında, Gres 1 ve Gres 2'nin maksimum soğurma değerlerinin sırasıyla ~ 0.8 ve ~ 1 olduğu tespit edilmiştir. Yani, 0.4 μm den büyük dalga boyu aralıklarındaki soğurma değerleri ile karşılaştırıldığında Gres 1'in yaklaşık 8 kat, Gres 2'nin yaklaşık 10 kat büyük soğurma özelliğine sahip olduğu görülür.

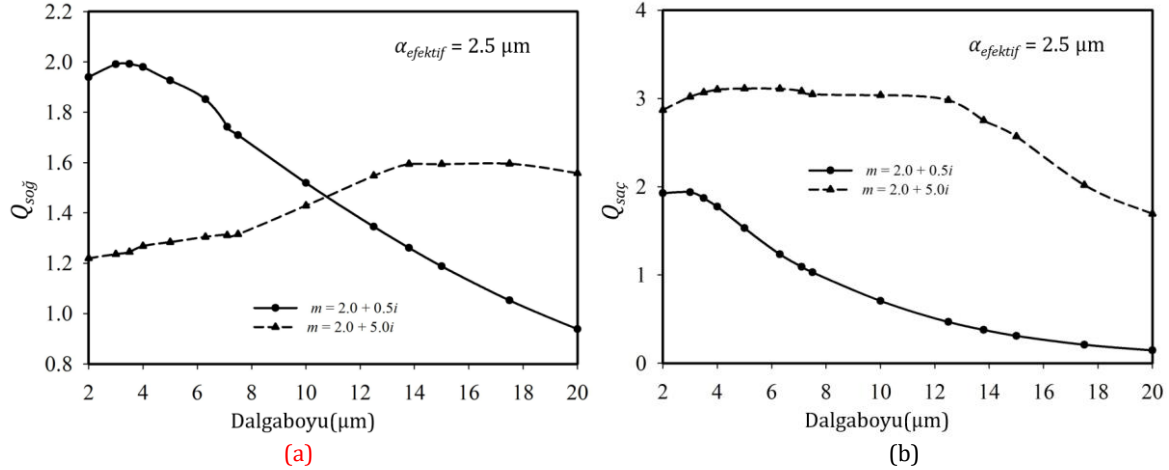
Ağırlıkça % 0.02 ve % 3.33 oranında ZnO mikroparçacıkları katılan greslerin 2.5–20 μm dalga boyundaki ölçülen soğurma özellikleri Şekil 3'de verilmektedir. Her iki gresin katkısız soğurma değerleri, katkılı durumlarına göre yüksek çıkmıştır. Sadece Gres 2'nin %3.33 katkılı durumu, dalgaboyu 14–20 μm aralığında iken, katkısız gresin değerlerinin üzerine çıktığı görülür. Gres 1'in ağırlıkça iki katkı durumlarının soğurma değerlerinin birbirine yakın

olduğu ve katkısız Gres 1'in değerlerinin çok altında olduğu Şekil 3 (a)'dan görülmektedir. Gres 2'nin soğurma değerleri Şekil 3 (b)'den incelendiğinde ise; %3.33 katkılı numunenin soğurma değerlerinin, %0.02 katkılı duruma göre biraz yüksek olduğu görülür. Her iki gresin incelenen bu dalgaboyu aralıklarındaki soğurma değerleri, 3.2 ve ~7 μm dalga boylarında elde edilen pik değerleri hariç, Şekil 2 (b) deki UV-görünür dalga boyu aralığındaki soğurma değerlerinden küçüktür.



Şekil 3. Ağırılıkça % 0.02 ve % 3.33 katkılı greslerin soğurma ölçüm sonuçları (a) Gres 1 ve (b) Gres 2

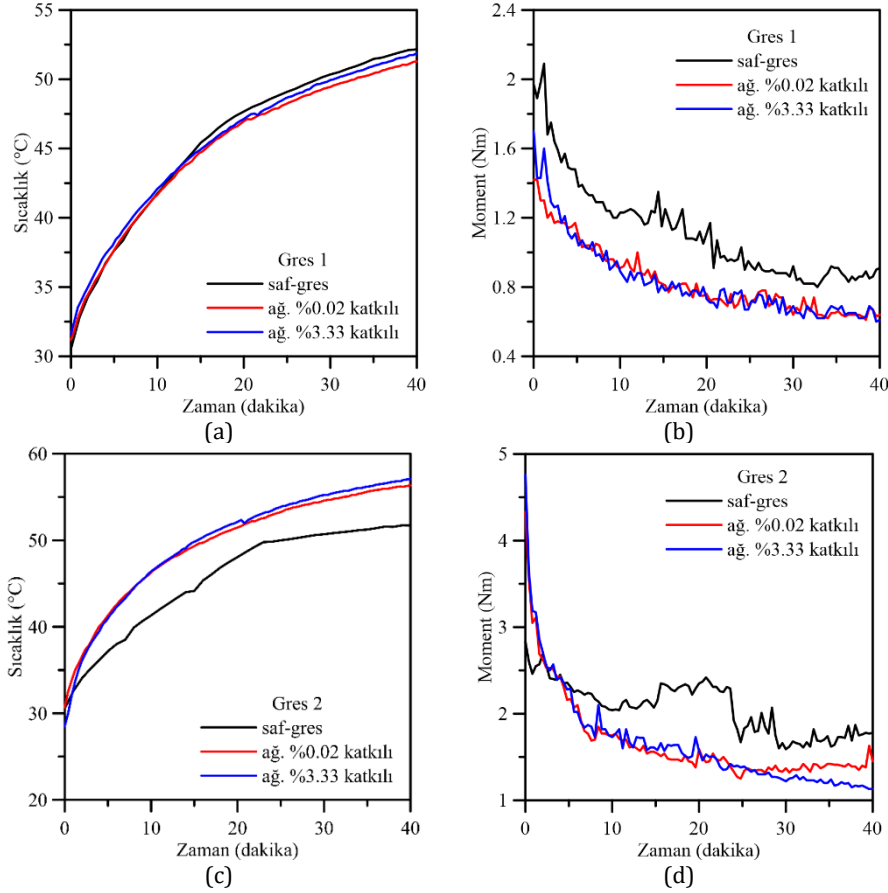
DDA ile gres içindeki bir tek ZnO parçacığının yakın-kızılötesi (2.5–20 μm) dalga boyu aralığında hesaplanan $Q_{soğ}$ ve $Q_{saç}$ değerleri, iki yansıtma indeksi için Şekil 4'de verilmektedir. Sanal indeksin büyük olduğu durumda ($k=5$) elde edilen $Q_{soğ}$ değerleri, deneysel ölçüm sonuçlarına benzer şekilde, dalga boyu ile artış göstermektedir. Deneysel sonuçlarda (Şekil 3 (a) ve (b) de) görülen, soğurma değerlerinin 7 ve 14 μm civarındaki pikleri, Şekil 4 (a)'daki değişim eğrisinde de hafifçe gözlenmektedir. Hesaplamalar tek parçacık için yapıldığından, $Q_{soğ}$ değerlerinde bu değişimler çok belirgin değildir. Deneysel soğurma sonuçlarında belirgin piklerin oluşması, karışımda daha fazla mikroparçacık bulunmasından kaynaklanmaktadır. Sanal indeksin küçük ($k=0.5$) değeri için hesaplanan $Q_{soğ}$, deneysel sonuçların aksine, dalga boyu arttıkça belirgin bir şekilde azalmaktadır.



Şekil 4. Gres içindeki tek ZnO parçacığının DDA ile hesaplanan (a) soğurma ve (b) saçılma etkenlikleri

Katkısız ve katkılı Gres 1 ve Gres 2'nin Şekil 1'de gösterilen test düzeneğinde yapılan sıcaklık ve moment ölçümleri Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5 (a) ve (c)'den, katkısız Gres 1'in sıcaklık değerleri ZnO+Gres 1'in sıcaklık değerlerine göre bir miktar yüksek olduğu gözlenmiştir. Katkısız Gres 2'nin sıcaklık değerleri ZnO+Gres 2'nin değerlerine göre küçüktür. Katkı maddesi olan ZnO mikroparçacıkların ısı iletkenliği (29 W/mK) [34], esas malzeme olan gresinkinden daha yüksek olduğundan; ZnO+gres karışımının, yatak içerisindeki sıcaklığı çevre yüzeylere hızlı transfer etmesi sözkonusudur [35]. Bu durum, makine aksamlarının çalışma ömrünü ve yataklardaki greslerin kullanım ömrünü olumlu etkileyeceği öngörülmektedir. Moment değişimlerini veren Şekil 5 (b) ve (d) incelendiğinde katkısız her iki gresin moment değerlerinin daha yüksek olduğu görülür. Bilindiği gibi artan moment ile uygulanan kuvvetin artması gerekmektedir. Katkılı Gres 1 ve Gres 2'nin momentleri ise daha küçüktür. Çalışma periyodunun ilk 10 dakikasındaki momentler yüksek iken, daha sonraki çalışma sürelerinde sıcaklıkların artması nedeniyle, uygulanan moment değerleri azalmaktadır. ZnO+Gres 1'in moment değerleri, ZnO+Gres 2'nin

değerlerinden daha azdır. ZnO+Gres 1'in moment değerleri, ilk çalışma periyodu hariç, 1 Nm değerinin altına inerken, ZnO+Gres 2'nin moment değerleri 2 Nm'nin altındadır. Yani, ZnO+Gres 2, yatak içinde daha zor hareket kabiliyetine sahip iken, ZnO+Gres 1 daha kolay hareket kabiliyetine sahiptir. Gres 1 ve Gres 2'nin sıcaklık ve momentlerdeki önemli farklılıkların, kendi yapısal özellikleri ve kalınlaştırıcı malzemelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcaklık ölçümü deneylerindeki standart sapma değerleri, katkısız gresler için 5.40 olup, ZnO+Gres 1 için 5.25 ve ZnO+Gres 2 için 5.55 olarak bulunmuştur. Moment ölçümlerindeki standart sapma değerleri katkısız Gres 1 ve Gres 2 için 1.22 ve 1.78 iken, katkılı Gres 1 ve Gres 2 nin değerleri sırasıyla 1.35 ve 2.12 olarak tespit edilmiştir. Standart sapma değerlerinin yeteri kadar küçük olması, sonuçların güvenilirliğini teyit etmektedir.



Şekil 5. Katkısız ve katkılı Gres 1 ve Gres 2'nin test düzeneğindeki çalışma testlerine göre (a) ve (c) sıcaklık değişimleri, (b) ve (d) moment değişimleri

4. Sonuçlar

Dış ortamlarda çalışan ağır iş makinalarının (boldozer, greyder, ekskavatör gibi) hareketli aksamalarının yatak kısımlarında en yaygın kullanılan greslerden, lityum ve kauçuk kalınlaştırıcı greslerin, ısıl özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan bir test düzeneği yardımıyla, sıcaklık ve moment değişimi irdelenmiştir. 2.5–20 μm dalga boyu aralığındaki soğurma özellikleri, katkısız ve ZnO mikroparçacıkları katkılı numuneler için analiz edilmiştir. Her iki grese ağırlık oranı %0.02 ve %3.33 olan ZnO mikroparçacıkları homojen olarak eklenmiştir. Deneysel çalışmaların yanı sıra greslerin soğurma ve saçılma etkenlikleri, iki yansıtma indeksi ($m=2.0+0.5i$ ve $m=2.0+5.0i$) için Ayrık Dipol Yaklaşımı (DDA) kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel ve nümerik çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Görünür dalga boyunda katkısız Gres 2'nin soğurma değerleri, Gres 1'in değerlerinden büyüktür. Her iki gres tipinin maksimum soğurma değeri 0.3 μm dalga boyunda gerçekleşmektedir.
- Kızılötesi dalga boyunda her iki gres tipi için katkısız greslerin soğurma değerleri katkılı numunelerin soğurma değerlerinden yüksektir.

- Sıcaklık ve moment dağılımları, metal mikroparçacıkların ağırlıkça katkı oranlarına ve greslerin çeşidine göre değişmektedir. ZnO katkılı Gres 1'in sıcaklık dağılımları, katkısız duruma göre daha düşüktür. Gres 2'nin sıcaklık dağılımlarında ise ZnO katkılı Gres 2'nin sıcaklıkları daha yüksektir.
- Kauçukla kalınlaştırılmış gres (Gres 2), lityumla kalınlaştırılmış gres (Gres 1) daha yüksek moment değerlerine sahiptir.
- Gres içindeki ZnO parçacığının $m=2.0+5.0i$ şeklindeki yansıtma indeksi kullanılarak yapılan ışınım özellikleri analizde, soğurma etkenlik değerleri, deneysel soğurma sonuçlarına benzer şekilde değişimler göstermiştir. Dalga boyu arttıkça, soğurma özelliği de artmıştır.
- Katkılı greslerin ısı transferi özelliklerinin, katkısız greslerin özelliklerine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Kaynakça

- [1] Levinson R., Berdahl P., Akbari H. 2005. Solar spectral optical properties of pigments e part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. *Solar Energy Material Solar Cells*, 89, 319-349.
- [2] Xie G., Xiong J.Y., Liu H.T., Xu B.P., Zheng H.F., Yang Y.J. 2015. Experimental and numerical investigation on a novel solar still with vertical ripple surface. *Energy Conversion and Management*, 98, 151-160.
- [3] O. Behar O., Khellaf A., Mohammedi K. 2015. Comparison of solar radiation models and their validation under Algerian climate—the case of direct irradiance. *Energy Conversion and Management*, 98, 236-251.
- [4] Zhou Z., Cheng Q., Li P.P., Zhou H.C. 2014. Non-imaging concentrating reflectors designed for solar concentration systems. *Solar Energy*, 103, 494-501.
- [5] Cheng Q., Chai J. L., Zhou Z., Song J.L., Su Y. 2014. Tailored non-imaging secondary reflectors designed for solar concentration systems. *Solar Energy*, 110, 160-167.
- [6] Cheng Q., Chai J., Zhang Z. 2016. Investigation of double-layer coating pigmented with CuO particles of different concentrations on aesthetic and thermal aspects. *International Journal of Thermal Sciences*, 105, 36-44.
- [7] Çengel, Y. A. 2012. Isı ve Kütle Transferi Pratik Bir Yaklaşım, 3. Baskı, ss 878.
- [8] Howell J.R., Siegel R., Mengüç M.P. 2010. *Thermal Radiation Heat Transfer* fifth ed., CRC Press, Taylor & Francis Group New York.
- [9] Kaneta M., Ogata T., Takubo Y., Naka M. 2000. Effects of a thickener structure on grease elastohydrodynamic lubrication films. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 214 (4), 327-36.
- [10] Lugt, P.M. 2013. *Grease Lubrication in Rolling Bearings*. Wiley & Sons, New York, NY.
- [11] Sanchez M. C., Franco J., Valencia C., Gallegos C., Urquiola F., Urchegui R. 2011. Atomic Force Microscopy and Thermo- Rheological Characterisation of Lubricating Greases. *Tribology Letters*, 41(2), 463-470.
- [12] Prasad B. K., Rathod S., M. S. Yadav M. S., O. P. Modi O. P. 2010. Effects of Some Solid Lubricants Suspended in Oil Toward Controlling the Wear Performance of a Cast Iron. *ASME Journal of Tribology*, 132(4), 041602.
- [13] Nicoletti R. 2014. The Importance of the Heat Capacity of Lubricants with Nanoparticles in the Static Behavior of Journal Bearings. *ASME Journal of Tribology*, 044502-1.
- [14] Goyal D., Dang R. K., Dhama SS, Chauhan A. 2017. Effect of Nanoparticles based Lubricants on Static Thermal Behaviour of Journal Bearings: A Review. *Research Journal of Engineering and Technology*, 8(2).
- [15] Peña-Parás L., García-Pineda P., Maldonado-Cortés D., Garza G. T., Taha-Tijerina J., 2017. Temperature dependence of the extreme-pressure behavior of CuO and TiO₂ nanoparticle additives in metal-forming polymeric lubricants. *Industrial Lubrication and Tribology*, 69 (5), 730-737.
- [16] Hong H., Waynick A., Roy W. 2007. Heat transfer nanolubricant and nanogrease based on carbon nanotubes. *ECS Transactions*, 2 (12), 133-138.
- [17] Lee C.-G., Hwang Y.-J., Choi Y.-M., Lee J.-K., Choi C., Oh J.-M. 2009. A study on the tribological characteristics of graphite nano lubricants. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 10, 85-90.

- [18] Fikry RM, El-Adly RA, Ismail NA, El-Tabei AS., Al-Aidy H. 2013. Some azine and azole derivatives as antioxidant additives for lithium lubricating grease. *Egyptian Journal of Petroleum*, 22, 61–71.
- [19] Zhou Y., Bosman R., Lugt P.M. 2018. A model for Shear Degradation of Lithium Soap Grease at Ambient Temperature. *Tribology Transactions*, 61(1), 61-70.
- [20] Peña-Parás L., Taha-Tijerina J., García A., Maldonado D., Nájera A., Cantú P., Ortiz D. 2015. Thermal transport and tribological properties of nanogreases for metal-mechanic applications. *Wear*, 332, 1322-1326.
- [21] Peña-Parás, L., Gao, H., Cortés, D.M., Vellore, A., García-Pineda, P., Montemayor, O.E., Nava, K.L., Martini, A. 2018. Effects of substrate surface roughness and nano/micro particle additivesize on friction and wear in lubricated sliding. *Tribology International*, 119, 88–98.
- [22] Kandasamy, R., Muhaimin, I., Mohamad, R. 2013. Thermophoresis and Brownian motion effects on MHD boundary-layer flow of a nanofluid in the presence of thermal stratification due to solar radiation. *International Journal of Mechanical Sciences*, 70, 146-154.
- [23] Wang, N., Xu, G., Li, S., Zhang, X. 2017. Thermal properties and solar collection characteristics of oil-based nanofluids with low graphene concentration. *Energy Procedia*, 105, 194-199.
- [24] Ahlatli, S., Mare, T., Estelle, P., Doner, N. 2016. Thermal performance of carbon nanotube nanofluids in solar microchannel collectors: an experimental study. *International Journal of Technology*, 2, 78-85.
- [25] Doner, N., Pargan, A.R., Aygahoglu, A., Liu, F., Sen, F. 2019. Radiative properties of hematite particles in the UV-visible spectrum. *International Journal of Thermal Sciences*, 139, 79-87.
- [26] Demirpolat, A. B., Daş, M. 2020. CuO ve ZnO İçeren Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11 (1), 225-238.
- [27] Yoshikawa, H., Adachi, S. 1997. Optical Constants of ZnO. *Japanese Journal of Applied Physics*, 36, 6237-6243.
- [28] Draine, B. T., Flatau, P. J. 1994. Discrete-Dipole Approximation For Scattering Calculations. *Journal of the Optical Society of America. Part A, Optics and Image Science*, 1491-1499.
- [29] Ayranci, I., Vaillon, R., Selçuk, N. 2007. Performance of discrete dipole approximation for prediction of amplitude and phase of electromagnetic scattering by particles. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 103, 83-101.
- [30] Draine, B.T., Flatau, P.J. (2014), User Guide to the Discrete Dipole Approximation Code DDSCAT 7.3. <http://arXiv:1305.6497>.
- [31] Döner, N. 2017. İs (siyah karbon) topaklanmalarında yapısal durumların ışınım özelliklerine etkileri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 22, Sayı 1, 125-137.
- [32] Al-Hilli, S.M., Willander, M. 2006. Optical properties of zinc oxide nano-particles embedded in dielectric medium for UV region: Numerical simulation. *Journal of Nanoparticle Research* 8, 79–97.
- [33] Dombrovsky, L. A. 2010. Radiative properties of metal particles in infrared and microwave spectral ranges. *Thermopedia*. Doi:10.1615/thermopedia.000148.
- [34] Kim, SH, Choi, SR, Kim, D. 2007. Thermal Conductivity of Metal-Oxide Nanofluids: Particle Size Dependence and Effect of Laser Irradiation. *J Heat Transfer* 129:298–307. Doi:10.1115/1.2427071.
- [35] Tawfik M.M. 2017. Experimental Studies of Nanofluid Thermal Conductivity Enhancement and Applications: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75 1239-1253.