



## Investigation of the usage of nano-Titanium dioxide Produced with Polyethylene glycol and Alginate additives as nanofluid

Keyhan Arslan<sup>1</sup> , Emel Akyol<sup>1\*</sup> , Ahmet Selim Dalkılıç<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Yıldız Technical University, Esenler, Istanbul, 34210, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Yıldız Technical University, Besiktas, Istanbul, 34349, Türkiye

### Highlights:

- Production of nano titanium dioxide by high temperature oxidation method
- Obtaining water-based nanofluid using nano titanium dioxide at different concentrations
- Investigation of the effect of surfactant type and concentration on the stabilization of nanofluid

### Keywords:

- Energy efficiency
- Nanofluid
- Titanium dioxide
- Polyethylene glycol
- Alginate

### Article Info:

Research Article

Received: 14.08.2023

Accepted: 19.03.2024

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1343165

### Acknowledgement:

This work was supported by research Fund of Yıldız Technical University with DOP Project: FYL-2020-3916

### Correspondence:

Author: Emel Akyol  
e-mail: eakyol@yildiz.edu.tr  
phone: +90 212 383 4763

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, it is aimed to synthesize TiO<sub>2</sub> nanoparticles with two different additives, PEG and Alginate, by high temperature oxidation method and to obtain water-based nanofluids by using the synthesized nano titanium dioxides at different concentrations. Characterization of TiO<sub>2</sub> nanoparticles is summarized in Figure A. In addition, different concentrations of surfactants were used in the production of nanofluids.

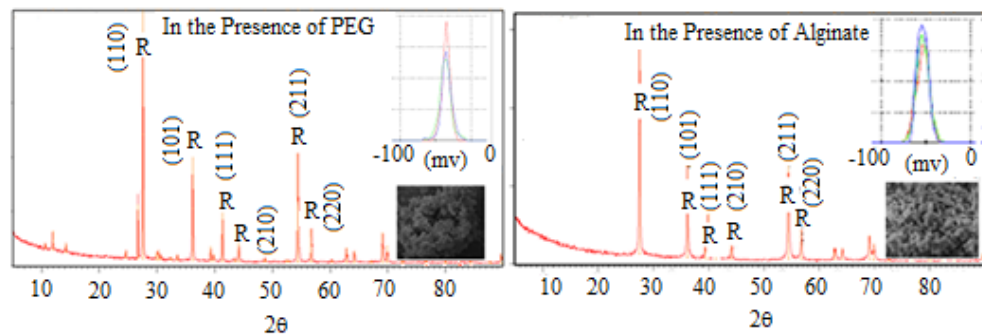


Figure A. Characterization of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in the presence of PEG and Alginate

**Purpose:** The effect of synthesis conditions of TiO<sub>2</sub> nanoparticles, surfactant type and concentration on the stabilization of the nanofluid was investigated. Nanofluids were measured from their thermophysical properties, stabilization and density.

### Theory and Methods:

Nano titanium particles were synthesized by high temperature oxidation method with two different additives, PEG and alginate. 10% Titanium powder, 5% vegetable oil, 1% additive by weight were mixed in ultrasonic bath for 30 minutes. Then, the mixture in an alumina crucible was fed into a muffle furnace (Protherm), heated to a temperature of 900°C at a rate of 10°C/min and burned for 30 min. XRD, SEM, FTIR and BET measurements were used for the characterization of the synthesized TiO<sub>2</sub> particles. Water-based nanofluids were prepared at different concentrations from synthesized nano titanium dioxides. Sodium dodecyl sulfate (SDS) and gum arabic were used to examine the effect of surfactant type and concentration on the stabilization of the nanofluid.

### Results:




The results of XRD and FTIR analysis confirmed the formation of rutile TiO<sub>2</sub>. According to the SEM results, all the particles are nanocrystalline size. It was observed that the particles synthesized with both additives were homogeneously dispersed for at least 72 hours. It was observed that nanofluids produced by nanoparticles in the presence of alginate started to collapse after 96 hours. In addition, it was observed that the precipitation increased as the concentration increased. In the presence of PEG particles, precipitation, and interlayer formation were observed in some of the nanoparticles in the upper layer after 120 hours. Surfactants have been observed to increase stabilization.

### Conclusion:

In conclusion, it was observed that the additives used in the production of nanoparticles affect the thermophysical properties of the nanofluid. As a result of the experimental studies, it was seen that TiO<sub>2</sub> nanoparticles produced with Alginate additive were more successful in preparing and stabilizing nanofluids than those produced with PEG additive.



## Polietilen glikol ve Alginat katkıları ile üretilen nano Titanyum dioksitin nanoakışkan olarak kullanımının incelenmesi

Reyhan Arslan<sup>1</sup> , Emel Akyol<sup>1\*</sup> , Ahmet Selim Dalkılıç<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Esenler, İstanbul, 34210, Türkiye

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş, İstanbul, 34349, Türkiye

### ÖNEÇIKANLAR

- Yüksek sıcaklıkta oksidasyon yöntemi ile nano titanyum dioksit eldesi
- Nano titanyum dioksitlerden farklı konsantrasyonlarda kullanılarak su bazlı nanoakışkan elde edilmesi
- Yüzey aktif madde türünün ve konsantrasyonunun nanoakışkanın stabilizasyonuna etkisinin incelenmesi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 14.08.2023

Kabul: 19.03.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1343165

### Anahtar Kelimeler:

Enerji verimliliği,  
nanoakışkan,  
titanyum dioksit,  
Polietilen glikol,  
Alginat katkı maddeleri

### ÖZ

Ülkemizde ve dünyada teknolojinin gelişmesi ile enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu sebeple, ısı enerjisinin verimli kullanılması çok önemlidir. Az miktarlarda nanomalzeme kullanılarak oluşturulan nanoakışkan sistemler üstün termofiziksel özellikleri nedeni ile ısı transferini ve enerji verimliliğini artırmaktadırlar. Bu sebeple nanoakışkanların üretilmesi ve termofiziksel özelliklerinin incelenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, yüksek sıcaklıkta oksidasyon yöntemi ile Polietilen glikol (PEG) ve Alginat katkı maddeleri varlığında titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) nanopartiküllerinin sentezlenmesi ve sentezlenen nano titanyum dioksitlerden farklı konsantrasyonlarda su bazlı nanoakışkan elde edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, yüzey aktif madde türünün ve konsantrasyonunun nanoakışkanın stabilizasyonuna etkisini incelemek amacı ile farklı konsantrasyonlarda sodyum dodesil sülfat (SDS) ve arap zıncığı kullanılmıştır. Sentezlenen TiO<sub>2</sub> partiküllerinin karakterizasyonu için XRD, SEM, FTIR ve BET ölçümlerinden yararlanılmıştır. Nanoakışkanların önemli termofiziksel özelliklerinden stabilizasyonu ve yoğunluğu da bu çalışma kapsamında ölçülmüştür. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, Alginat katkı maddesi ile üretilen TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin, nanoakışkanın stabilizasyonunda PEG katkı maddesi ile üretilene göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

## Investigation of the usage of nano-Titanium dioxide Produced with Polyethylene glycol and Alginate additives as nanofluid

### HIGHLIGHTS

- Production of nano titanium dioxide by high temperature oxidation method
- Obtaining water-based nanofluid using nano titanium dioxide at different concentrations
- Investigation of the effect of surfactant type and concentration on the stabilization of nanofluid

### Article Info

Research Article

Received: 14.08.2023

Accepted: 19.03.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1343165

### Keywords:

Energy efficiency,  
nanofluid,  
titanium dioxide,  
Polyethylene glycol,  
Alginate

### ABSTRACT

With the development of technology in our country and in the world, the need for energy is increasing day by day. For this reason, efficient use of heat energy is very important. Nanofluid systems created using small amounts of nanomaterials increase heat transfer and energy efficiency due to their superior thermophysical properties. For this reason, it is important to produce nanofluids and examine their thermophysical properties. In this study, it was aimed to synthesize titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) nanoparticles in the presence of Polyethylene glycol (PEG) and Alginate additives by high temperature oxidation method and to obtain water-based nanofluids at different concentrations from the synthesized nano titanium dioxides. In addition, different concentrations of sodium dodecyl sulfate (SDS) and gum arabic were used to examine the effect of surfactant type and concentration on the stabilization of the nanofluid. XRD, SEM, FTIR and BET analysis were used for the characterization of the synthesized TiO<sub>2</sub> particles. Stabilization and density, which are important thermophysical properties of nanofluids, were also measured in this study. As a result of the experimental studies, it was seen that TiO<sub>2</sub> nanoparticles produced with Alginate additive were more successful in preparing and stabilizing nanofluids than those produced with PEG additive.

## 1. Giriş (Introduction)

Nanoakışkanlar, saf sıvılara kıyasla ısı transfer performansını artırmak için umut verici yeni olanaklar sunduklarından yeni nesil ısı transfer akışkanları olarak kabul edilirler. Baz sıvısı içinde askıda kalan nanopartiküller yüksek ısı iletkenlikleri nedeniyle ısı transfer ekipmanlarının verimini önemli ölçüde artırmaktadırlar [1-3].

Nanoakışkanların kullanımını belirleyen en önemli parametreler termofiziksel özellikleridir. Titanyum dioksit içeren nanoakışkanlar, düşük basınç düşüşü ve düşük viskozite sayesinde iyi bir ısı transferi gerçekleştirmesi ve iyi bir dağılım stabilitesine sahip olması gibi üstün özelliklerinden dolayı nanoakışkan olarak kullanımı ilgi çekmektedir. Ayrıca, titanyum dioksit nispeten maliyet açısından uygundur ve toksik değildir [4-7].

Nanomalzemeleri üretmek için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımlar olmak üzere iki ana yaklaşım vardır. Yukarıdan aşağı yaklaşımında hacimsel malzemeye dışarıdan mekanik veya kimyasal işlemler ile enerji verilmesi sonucunda malzemenin nano boyuta kadar inebilecek küçük parçalara bölünmesi esastır. Mekanik öğütme en bilinen ve kullanılan yukarıdan aşağıya yöntemlerdendir. Aşağıdan yukarıya yaklaşım atomik veya moleküler boyuttaki yapıları kimyasal reaksiyonlar ile büyütürken nanopartikül oluşturulması olarak ifade edilebilmektedir. Nanokristalin metal ve alaşımlarının üretiminde kullanılan ilk yöntem olan gaz yoğunlaştırma tekniği aşağıdan yukarıya yaklaşımıyla çalışmaktadır. Kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, elektroçürme, sol jel ve sprey piroliz yöntemleri de bu yaklaşımın en çok bilinen diğer uygulamalarıdır [8-12].

Nanoakışkanlar, nanopartiküllerin baz akışkan içinde dağıtılmasıyla hazırlanır. Nanoakışkanın uygulanması için iyi bir dağılım ön koşuldur. Bu nedenle bazen nanoakışkanların stabilitesini artıran yüzey aktif maddeler kullanılır. Ayrıca, dağılmış partiküllerin yüzey modifikasyonu ve dağılmış nanopartiküllerin kümelerine güçlü kuvvet uygulanması nanoakışkanların kararlılığını artırabilir. Nanoakışkan hazırlamak için tek aşamalı ve iki aşamalı fiziksel olmak üzere iki temel yöntem vardır. Kimyasal süreç, nanoakışkanların hazırlanmasında ortaya çıkan bir başka teknolojidir. Karbon nanotüpler ve oksit partiküller içeren nanoakışkanlar genellikle iki adım yöntemiyle üretilir. [1, 13]. Nanoakışkanların stabilizasyonu, çalışmalarda önemli bir parametredir. [14-16]. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri, nanoparçacıkların boyutu, şekli, yüzey yükü ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Nanoakışkanların ısı iletkenliği, suyun ısı iletkenliğinden çok daha yüksektir. Bu nedenle, nanoakışkanlar ısı transferini önemli ölçüde artırabilirler. Nanoakışkanların yoğunlukları da suyun yoğunluğundan daha düşüktür. Bu nedenle, nanoakışkanlar sudan daha hafiftir ve daha kolay pompalanırlar. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar, nanoakışkanların performansını ve uygulamalarını önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. Örneğin, nanoakışkanlar, geleneksel akışkanlara göre daha yüksek ısı transfer katsayılarına sahip oldukları için, ısı transferi uygulamalarında kullanılabilecekleri gösterilmiştir. Nanoakışkanlar, geleneksel akışkanlara göre daha düşük viskozitelere sahip oldukları için, sürtünmeyi azaltmak ve yakıt verimliliğini artırmak için kullanılabilecekleri gösterilmiştir. Nanoakışkanlar, geleneksel akışkanlara göre daha yüksek yüzey gerilimlerine sahip oldukları için, sıvıların sızmasını önlemek için kullanılabilecekleri gösterilmiştir. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar, nanoakışkanların çok çeşitli uygulamalarda kullanılabileceklerini göstermektedir. Nanoakışkanlar, ısı transferi, soğutma, tıbbi uygulamalar ve elektronik gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Nanoakışkanların performansını ve uygulamalarını daha iyi anlamak

için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir [17-21]. Nanoakışkanların stabilizasyonu, nanoparçacıkların sıvı içinde dağılmasını ve çökmesini engellemektir. Nanoakışkanların stabilizasyonu için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın yöntemler, yüzey aktif madde ekleme, elektroforez ve termal işlemlerdir. Nanoakışkanların stabilizasyonu ve termofiziksel özellikleri, nanoakışkanların performansını ve uygulamalarını önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle, nanoakışkanların stabilizasyonu ve termofiziksel özellikleri, nanoakışkanların geliştirilmesinde ve kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. Yüzey aktif maddeler, nanoparçacıkların yüzeyinde bir film oluşturarak onları sıvı içinde stabilize ederler. Elektroforez, nanoparçacıkları sıvı içinde bir elektrik alan kullanarak hareket ettirir ve onları bir arada tutar. Termal işlem, nanoparçacıkların yüzeyini değiştirerek onları sıvı içinde daha kararlı hale getirir [22-24].

Literatürde nanoakışkanın stabilizasyonu artırmak amaçlı pek çok farklı yüzey aktif madde kullanımı incelenmiştir. Nanoakışkan teknolojisinde termofiziksel özellikleri etkileyen parametreler son derece önemlidir. Nanoakışkanlar, geleneksel ısı değiştirici akışkanlara göre üstün özellikleri de olsa ticari uygulamalarda kullanılması için viskozite, özgül ısı, termal iletkenlik ve yoğunluk gibi fizikokimyasal özelliklerinin tahmin edilebilir olması gerekmektedir. Nanopartikülün boyutu, şekli, partikül hacim oranı, sıcaklık, nanoakışkanın pH'ı, kayma hızı, baz akışkan türü gibi parametreler nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini etkiler. Partikül boyutunun değişmesiyle, nanoakışkanın viskozitesinde dramatik değişimler olabilir [1, 4, 5, 25-28]. Subaşı ve Erdem, nanoakışkanların termofiziksel ve reolojik özelliklerinin yüksek doğrulukla belirlenmesi için bir Yapay Sinir Ağları (ANN) tabanlı bir yaklaşım önermiş ve doğruluk açısından klasik korelasyondan da iyi sonuçlar almışlardır [29]. Başka bir çalışmada, Yüksel ve İzgi, sıvı soğutucu akışkanı içerisine nano boyuttaki metal partiküller karıştırılarak motor içerisindeki ısı iletiminin arttığını göstermişlerdir [30].

Literatürde genellikle ticari olarak satın alınan hazır nanopartiküller kullanılmıştır. Bu çalışmada, farklı olarak, PEG ve alginat katkı maddesi varlığında oksidasyon yöntemi ile nano boyutta TiO<sub>2</sub> sentezlenmiş ve nanoakışkanın stabilizasyonuna etkisi araştırılmıştır. Her iki katkı maddesi ile sentezlenen nano titanyum dioksit partikülleri ile su bazlı nanoakışkanın yoğunluk ve zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, PEG ve Alginat varlığında üretilen nano titanyum dioksit kullanılarak oluşturulan su bazlı nanoakışkan ortama, arap zamkı ve sodyum dodesil sülfat (SDS) yüzey aktif maddelerinin farklı konsantrasyonlarının etkisi araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Metot (Experimental Method)

### 2.1. Nano Titanyum Dioksit Üretimi (Nano Titanium Dioxide Production)

Nano titanyum dioksit üretiminde Titanyum tozu (%99,5, Alfa Aesar) PEG (polietilen glikol, Sigma-Aldrich), destile su ve alginat kullanılmıştır. Titanyum dioksitten nanoakışkan elde edilmesi sürecinde Sodyum Dodesil Sülfat (Merck KGaA), distile su ve Arap Zamkı (ZAG Kimya) yüzey aktif maddeler olarak kullanılmıştır.

Ağırlıkça %10 Titanyum tozu, %5 bitkisel yağ, %1 katkı maddesi ve geri kalanı destile su ile tamamlanarak ultrasonik banyoda 30 dk. tutulmuştur. Daha sonra 80°C etüvde 24 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Etüvden çıkartılan çözeltiler 10°C /dk. hızla 900°C 'de 30 dk. yüksek sıcaklıklı kül fırınında yakma işlemine tabi tutulmuştur. Yakma işleminden sonra topaklanan partiküller toz haline getirmek için yüksek enerjili bilyalı öğütme yöntemi tercih edilmiştir. Yüksek

enerjili bilyalı öğütücü 50 kgHz'lik hıza ayarlanarak 15 dakikalık periyotlarla nano partiküller altı defa öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Sentezlenen nano TiO<sub>2</sub> partiküllerinin karakterizasyonu XRD, SEM, FTIR ve BET cihazları ile yapılmıştır.

## 2.2. Titanyum Dioksit Nanoakışkanın Hazırlanması (Preparation of Titanium Dioxide Nanofluid)

İki farklı katkı maddesi ile üretilen nanotitanyum dioksit farklı konsantrasyonlarda kullanılarak yedi farklı nanoakışkan ortamı hazırlanmıştır. Nanoakışkanın kimyasal oranları Tablo 1'de gösterilmiştir. Nanoakışkanlar hacimce %0,5, %0,1, %2'lik konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Ayrıca, yüzey aktif maddenin etkisini gözlemlemek için sodyum dodesil sülfat (SDS) ve arap zamkı 10 ve 1 kütle oranlarında kullanılmıştır. P05 hacimce %0,05'lik, P1 %1'lik, P2 %0,2 PEG varlığında üretilen titanyum dioksit nanoakışkanını ifade etmektedir. Benzer olarak G05 hacimce %0,05'lik, G1 %1'lik ve G2 %0,2 Alginat varlığında üretilen titanyum dioksit nanoakışkanını temsil etmektedir. P1A0, hacimce %0,1'lik PEG varlığında üretilen TiO<sub>2</sub> içinde kütlece 1/0,1 oranında dağılmış arap zamkını; P1A1, hacimce %0,1'lik PEG varlığında üretilen titanyum dioksiti içinde kütlece 1/1 oranında dağılmış arap zamkını; P1S0, hacimce %0,1'lik PEG tabanlı titanyum dioksiti içinde kütlece 1/0,1 oranında dağılmış SDS; P1S1, hacimce %0,1'lik PEG varlığında üretilen titanyum dioksiti içinde kütlece 1/1 oranında dağılmış SDS'yi temsil eder. G1A0, hacimce %0,1'lik Alginat tabanlı titanyum dioksiti içinde kütlece 1/0,1 oranında dağılmış arap zamkını; G1A1, hacimce %0,1'lik Alginat tabanlı titanyum dioksiti içinde kütlece 1/1 oranında dağılmış arap zamkını; G1S0, hacimce %0,1'lik Alginat varlığında üretilen titanyum dioksiti içinde kütlece 1/0,1 oranında dağılmış SDS; G1S1, hacimce %0,1'lik Alginat varlığında üretilen titanyum dioksiti içinde kütlece 1/1 oranında dağılmış SDS'yi temsil eder. Nanoakışkanlar 100 W güce sahip ultrasonikasyon ile bir saat %50 kapasite ile ultrasonikasyona tabii tutulmuştur. Yüzey aktif madde türünün etkisini gözlemek için Sodyum dodesil sülfat ve arap zamkı farklı konsantrasyonlarda kullanılmıştır.

## 2.3. Nanoakışkanların Yoğunluğunun Ölçülmesi (Measuring the density of nanofluids)

Nanoakışkanların yoğunluğu termodinamik özelliklerin başında gelir. Yoğunluk değerleri piknometre ile ölçülmüştür. Ölçüm sırasında ortam sıcaklığı ve numunelerin sıcaklığı 25°C olarak ölçülmüştür. *D*, piknometrenin boş ağırlığını (gr); örnek ile dolu piknometre ağırlığını (gr) *P*<sub>0</sub>, su ile dolu piknometre ağırlığını (gr); *P*<sub>s</sub> ifade eder. Piknometre ile yoğunluk hesaplamaları Eş. 1'den yararlanarak hesaplanır [31].

$$\gamma = \frac{(P_s - D)}{(P_0 - D)} \quad (1)$$

## 3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

### 3.1. Sentezlenen TiO<sub>2</sub> Partiküllerinin Karakterizasyonu (Characterization of Synthesized TiO<sub>2</sub> Particles)

Sentezlenen TiO<sub>2</sub> partiküllerinin karakterizasyonu için XRD, SEM, FTIR ve BET ölçümlerinden yararlanılmıştır.

#### 3.1.1. X-ray dağılımı ölçümü (XRD) (X-ray dispersion measurement (XRD))

XRD ölçümleri PANalytical X'Pert PRO cihazı kullanılarak yapılmıştır. PEG varlığında sentezlenen TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri çoğunlukla rutil yapıdadır. PEG varlığında üretilen nano TiO<sub>2</sub> partiküllerinin 2θ=27° piki rutil fazın (110) düzlemini gösteren pikler [32]. Şekil 1'de PEG varlığında sentezlenen TiO<sub>2</sub> partiküllerinin XRD görüntüsü gösterilmiştir. XRD görüntüsündeki ana pikler 27,5595(110), 36,2031(101), 41,3369(111), 44,1268(210), 54,4153(211), 56,7341(220) TiO<sub>2</sub> rutil nanopartiküllerine ait olan piklerdir. Şekil 2'de Alginat varlığında sentezlenen TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin XRD görüntüsü gösterilmiştir. Benzer şekilde, XRD görüntüsündeki ana pikler 27,5424(110), 36,1653(101), 41,3233(111), 44,1339(210), 54,3919(211) ve 56,7071(220) TiO<sub>2</sub> rutil nanopartiküllerine ait olan piklerdir.

#### 3.1.2. Brunauer-Emmett-Teller (BET) yüzey alanı ve gözenek hacmi değerlendirmesi (Brunauer-Emmett-Wires (BET) surface area and pore volume assessment)

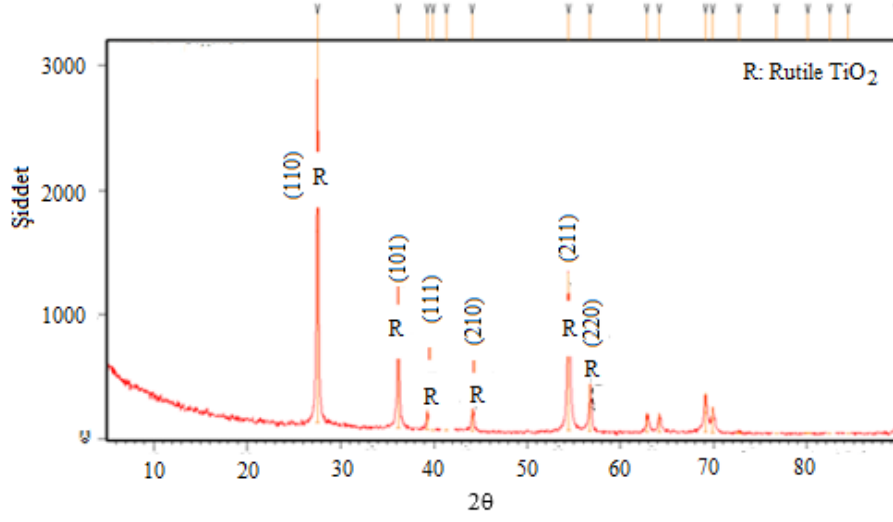
Azot ortamında TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri BET (Quantachrome Quadrosorb SI cihazı) analizine tabii tutulmuştur. BET analizlerine göre PEG ve Alginat varlığında sentezlenen TiO<sub>2</sub> partiküllerinin ortalama gözenegi sırasıyla 14,62 nm ve 34,76 nm'dir. Analiz sonuçlarına göre BET yüzey alanları Alginat varlığında ve PEG varlığında sırasıyla 1,2686 m<sup>2</sup>/g ve 9,0487 m<sup>2</sup>/g' dir. Alginat varlığında sentezlenen TiO<sub>2</sub> nano partiküllerinin ortalama gözenegi daha büyük, BET yüzey alanları ise tam aksine daha küçüktür. 2θ

#### 3.1.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) (Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR))

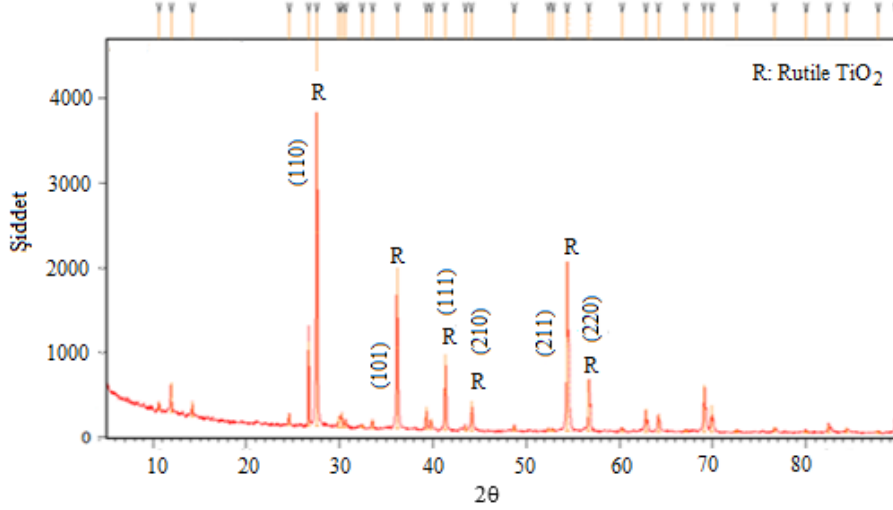
FTIR (karakterizasyonu ile 500- 4000 cm<sup>-1</sup> aralığında Perkin Elmer Spectrum 100 ile ölçümler yapılmıştır. PEG ve Alginat katkı maddesi desteğiyle sentezlenen TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerine ait FTIR pikleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4' de gösterilmiştir. PEG ve Alginat katkı

**Tablo 1** Nanoakışkanların İçeriği (Content of Nanofluids)

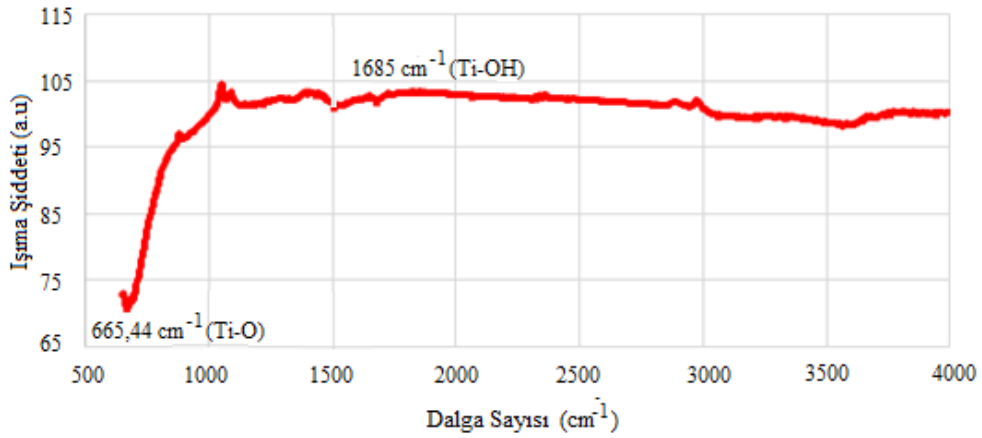
Nano akışkan	TiO <sub>2</sub> Hacim konsantrasyonu (%v)	TiO <sub>2</sub> Kütlesi (gr)	Su Kütlesi (gr)	TiO <sub>2</sub> Kütle konsantrasyonu (%m)	Arap Zamkı Kütlesi (gr)	SDS Kütlesi (gr)	TiO <sub>2</sub> /YüzeyAktif Madde Oranı (Kütle Oranı)	Su Hacmi (ml)	Su Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> ) (25°C)
P05	0,05	0,05005	100	0,00050	-	-	-	99,705	0,99705
P1	0,10	0,10010	100	0,00100	-	-	-	99,705	0,99705
P2	0,20	0,20020	100	0,00200	-	-	-	99,705	0,99705
P1A0	0,10	0,10010	100	0,00100	0,01001	-	10	99,705	0,99705
P1A1	0,10	0,10010	100	0,00099	0,10010	-	1	99,705	0,99705
P1S0	0,10	0,10010	100	0,00100	-	0,01001	10	99,705	0,99705
P1S1	0,10	0,10010	100	0,00099	-	0,10010	1	99,705	0,99705
G05	0,05	0,05005	100	0,00050	-	-	-	99,705	0,99705
G1	0,10	0,10010	100	0,00100	-	-	-	99,705	0,99705
G2	0,20	0,20020	100	0,00200	-	-	-	99,705	0,99705
G1A0	0,10	0,10010	100	0,00100	0,01001	-	10	99,705	0,99705
G1A1	0,10	0,10010	100	0,00099	0,10010	-	1	99,705	0,99705
G1S0	0,10	0,10010	100	0,00100	-	0,01001	10	99,705	0,99705
G1S1	0,10	0,10010	100	0,00099	-	0,10010	1	99,705	0,99705



Şekil 1. PEG varlığında sentezlenen TiO<sub>2</sub> partiküllerinin XRD görüntüsü (XRD image of TiO<sub>2</sub> particles synthesized in the presence of PEG)



Şekil 2. Alginat varlığında sentezlenen TiO<sub>2</sub> partiküllerinin XRD görüntüsü (XRD image of TiO<sub>2</sub> particles synthesized in the presence of Alginate)



Şekil 3. PEG ile Sentezlenen TiO<sub>2</sub> Partiküllerine ait FTIR Pikleri (FTIR Spectra of TiO<sub>2</sub> Particles Synthesized with PEG)

maddesi desteğiyle sentezlenen nano TiO<sub>2</sub>'lerin sırasıyla 664,44 cm<sup>-1</sup>'de ve 675,08<sup>-1</sup>'de Ti-O gerilmeleri gözlenmiştir. Çözeltinin

hidroksil iyonlarının (OH<sup>-</sup>) TiO<sub>2</sub> yüzeyi ile temas ederek güçlü bir oksitleyici ajan olan hidroksil radikali (OH•) oluşturmak üzere geniş

yüze alanı sağlar.  $1685\text{ cm}^{-1}$  ve  $1679\text{ cm}^{-1}$ 'de Ti-O gerilme pikleri gözlemlenmiştir [33-35]. Alginat katkı  $\text{TiO}_2$  nanopartikülünün  $889,18\text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda görülen C-O-C gerilme pikidir.

Bir polisakkarit türü olan alginatın COO- uç grubunun titreşim piki Alginat polisakkaritinde bulunan COO- uç grubunun titreşimine ait simetrik gerilme pikleri  $1810,13\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenmiştir. C=C aromatik gerilme pikleri  $1417\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenmiştir.

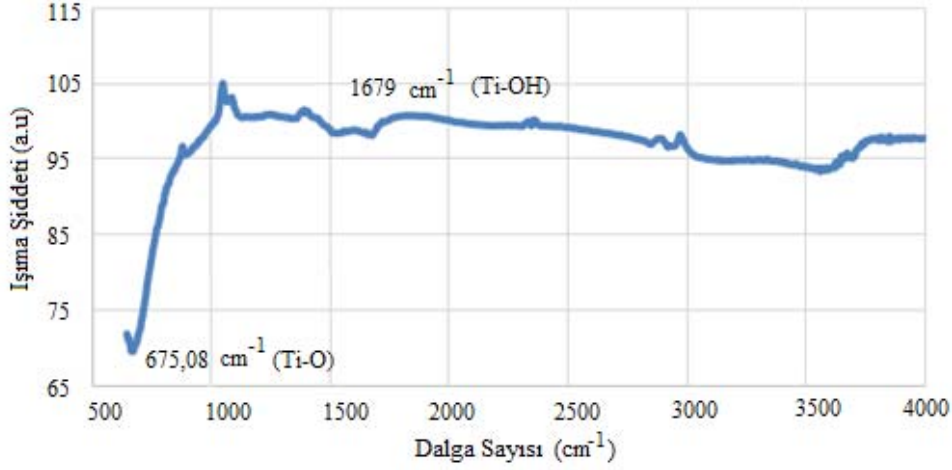
### 3.1.4. Titanyum dioksit partiküllerinin SEM analizi (SEM analysis of titanium dioxide particles)

PEG ve Alginat varlığında  $\text{TiO}_2$  nanopartiküllerin taramalı elektron mikroskobu (Zeiss EVO® LS 10) ile görüntüleri alınmıştır. Görüntülerdeki partiküller Adobe Reader DC ile ölçülmüştür ve Şekil 5 ve Şekil 6 'da gösterilmiştir. PEG katkı madde desteğiyle üretilen partiküllerin ortalama boyutu  $125,55(\pm 10)\text{ nm}$  olarak bulunmuştur. Alginat katkı madde desteğiyle üretilen partiküllerin ortalama boyutu  $156,7(\pm 11)\text{ nm}$  olarak bulunmuştur.

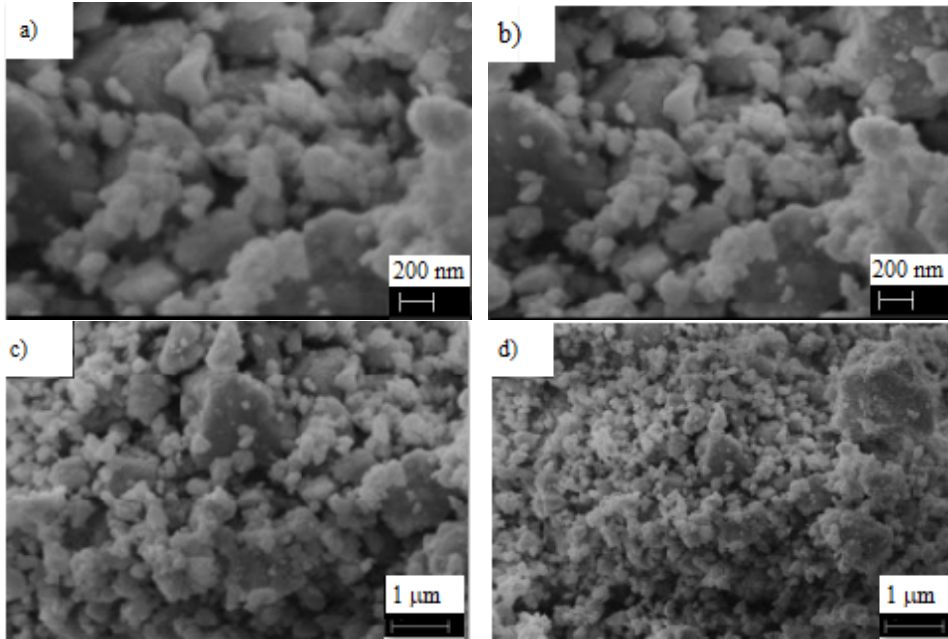
### 3.2. Titanyum Dioksit Nanoakışkanının Fiziksel Gözlemleri (Physical Observations of Titanium Dioxide Nanofluid)

Nanoakışkanlar 7 farklı kütle oranına göre üretilen iki farklı titanyum dioksit ile hazırlanmıştır. Nanoakışkanlar hacimce %0,5, %0,1, %2'lik konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Ayrıca, yüzey aktif madde etkisini gözlemlemek için sodyum dodesil sülfat (SDS) ve arap zıncı  $1/0,1$  ve  $1/1$  kütle oranlarında kullanılmıştır. Şekil 7'de PEG varlığında  $\text{TiO}_2$  nanopartiküllerinden ve Şekil 8'de ise alginat varlığında  $\text{TiO}_2$  nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanlar gösterilmiştir.

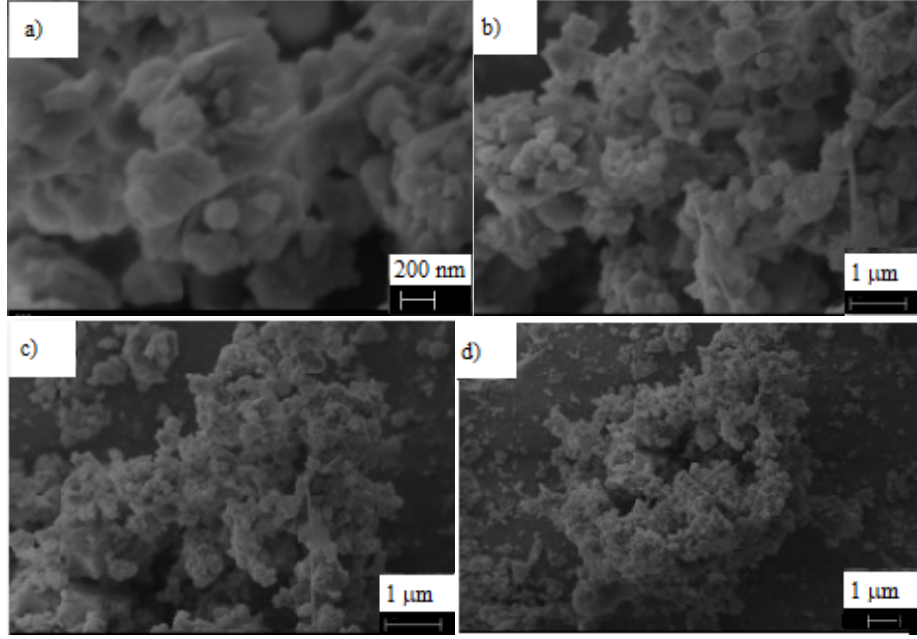
Fiziksel gözlemler, sonikasyon bitiminde, sonikasyon 24, 96, 120 saat sonra fotoğraflanmıştır. Alginat ve PEG varlığında üretilen titanyum dioksit partiküllerinin sonikasyon sonrasında 72 saat boyunca Her iki nanopartikül homojen olarak dağılım göstermiş, 96 saatten sonra bir miktar çökme gözlemlenmiştir. Fiziksel gözlemlere dayanarak, alginat varlığında üretilen nano titanyum dioksit nanoakışkanlarında



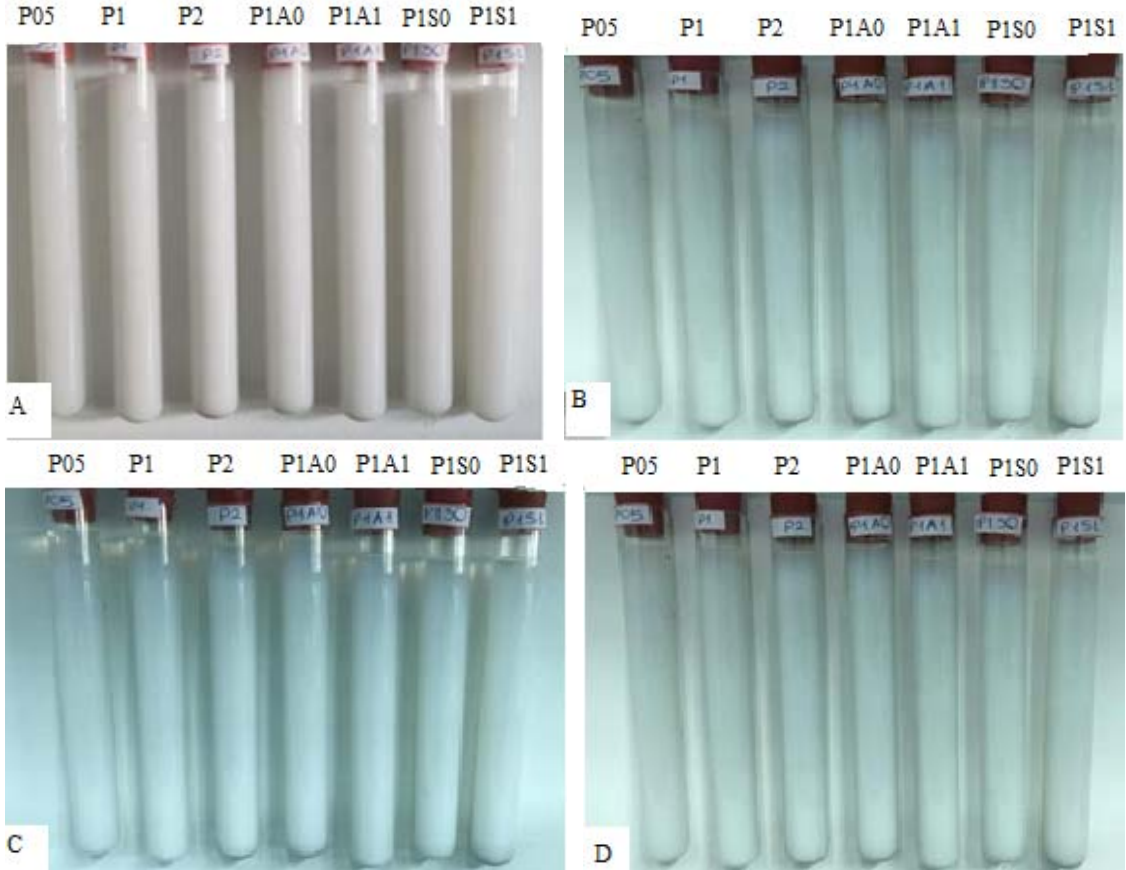
Şekil 4. Alginat Katkı Maddesi ile Sentezlenen  $\text{TiO}_2$  Partiküllerine ait FTIR Pikleri  
(FTIR Spectra of  $\text{TiO}_2$  Particles Synthesized with Alginate)



Şekil 5. Alginat katkı maddeli Nanopartiküllerinin SEM Görüntüsü (SEM Image of Alginate Additive Nanoparticles)



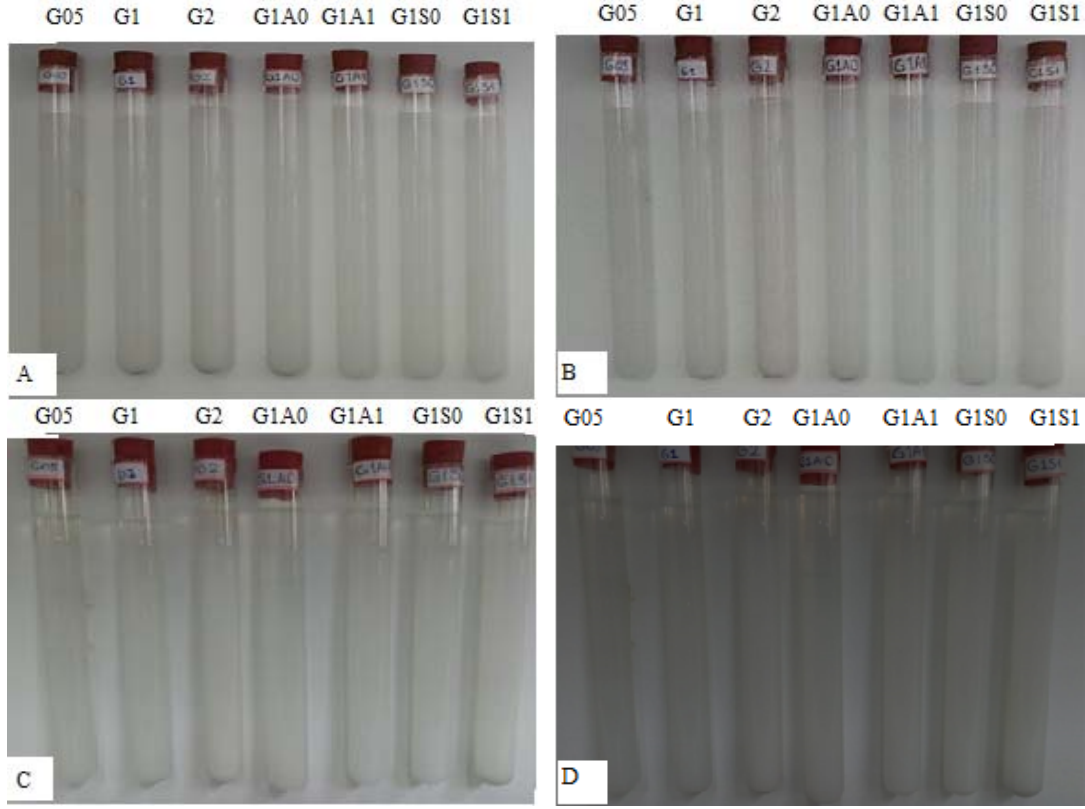
Şekil 6. PEG katkı maddeli Nanopartiküllerinin SEM Görüntüsü (SEM Image of PEG Additive Nanoparticles)



Şekil 7. PEG katkısı ile üretilen TiO<sub>2</sub> Nanoakışkanının Fiziksel Gözlemleri: A)0.saat, B)24.saat, C)96.saat, D)120.saat  
(Physical Observations of TiO<sub>2</sub> Nanofluid produced with PEG additive: A)0<sup>th</sup> hour, B)24<sup>th</sup> hour, C) 96<sup>th</sup> hour, D)12<sup>th</sup> hour)

konsantrasyon arttıkça 96. Saatten sonra nanoakışkanın stabilizasyonu azalmıştır. Ayrıca, fiziksel gözlemlere göre alginat varlığında nanoakışkanlarda arap zamkı, SDS varlığında üretilene

göre daha az stabilizasyona katkı da bulunmuştur. PEG katkılı üretilen nanopartiküller sonikasyon sonrası ve 24, 96, 120. saatlerde fotoğraflanmıştır. Gözle yapılan inceleme sonunda PEG ve Alginat



**Şekil 8.** Alginat katkısı ile üretilen TiO<sub>2</sub> Nanoakışkanının Fiziksel Gözlemleri: A)0.saat, B)24.saat, C)96.saat, D)120.saat  
(Physical Observations of TiO<sub>2</sub> Nanofluid produced with Alginate additive: A)0<sup>th</sup> hour, B)24<sup>th</sup> hour, C) 96<sup>th</sup> hour, D)12<sup>th</sup> hour)

katkısı ile üretilen nanoakışkanın çökme davranışı arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Nano partiküllerin kararlılığı ile ilgili daha net bir sonuç alabilmek için zeta potansiyel ölçümlerine bakılmasının uygun olacağı görüşüne varılmıştır.

### 3.3. Titanyum Dioksit Nanoakışkanının Zeta Potansiyeli Ölçümleri (Measurements of the Zeta Potential of Titanium Dioxide Nanofluid)

Zeta potansiyeli (ZP) ölçülmesi için Malvern Nano ZS Zeta cihazı kullanılmıştır. Bu parametre, dağılımdaki yüklü partiküller arasındaki itme derecesini gösterir. Yüksek ZP, elektriksel itme nedeniyle partiküllerin toplanmasını önleyen yüksek yüklü partikül anlamına gelir. ZP düşükse, çekim itmenin üstesinden gelir ve karışımın pıhtı oluşturması muhtemeldir [35-37].

İletkenlik, pH ve katkı maddesi gibi parametreler zeta potansiyele etki eder. Elde edilen on dört çözeltinin zeta potansiyeli üç defa ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır ve Tablo 2’de görülebilir.

Kolloidal kararlılık DLVO (Derjaguin, Landau, Verway, ve Overbeek) teorisi ile açıklanabilir. Kolloidal bir kararlılık, Van der Waals partiküllerinin birbirine karşı uyguladığı çekici kuvvetler toplamı ve itici elektriksel çift tabakalı kuvvetler ile açıklanabilir. Zeta potansiyeli ise bir partikülün toplam yükü olarak basitçe tanımlanabilir. Zeta potansiyeli +30 mV’ den daha pozitif olan -30mV’ den daha negatif olan partiküller stabil olarak tanımlanabilir [38]. Tüm çözeltilerin zeta potansiyeli -30 mV’ den büyüktür. Her on dört çözelti de stabil olarak tanımlanabilir. Tüm ölçümler sonikasyondan sonra üçer defa yapılarak ortalaması alınmıştır. Her iki nanopartikül tipi incelendiğinde P05, P1, P2 nanoakışkanlarından partikül konsantrasyonu arttıkça zeta potansiyeli artmıştır. Benzer bir şekilde, alginat katkılı nanopartiküllerde kütle konsantrasyonu

arttıkça, nanoakışkanın zeta potansiyeli artmıştır. G1A0 ve G1A1 nanoakışkanları karşılaştırıldığında arap zıncı konsantrasyonu arttıkça, zeta potansiyeli azalmıştır. P1A0 ve P1A1 nanoakışkanları da benzer olarak arap zıncı konsantrasyonu arttıkça, zeta potansiyeli azalmıştır. Tam aksine SDS yüzey aktif madde etkisi incelendiğinde, nanoakışkanlarda SDS kütle konsantrasyonu arttıkça her iki nanopartikül tipinde zeta potansiyeli artmıştır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir; sodyum dodesil sülfat (SDS), anyonik bir yüzey aktif maddedir. Anyonik yüzey aktif maddeler, suyun yüzeyinde negatif yük oluşturur. Negatif yüklü SDS, pozitif yüklü nano titanyum dioksit parçacıklarını stabilize eder ve zeta potansiyelini artırır. Arap zıncı, noniyonik bir yüzey aktif maddedir. Noniyonik yüzey aktif maddeler, suyun yüzeyinde nötr bir yük oluşturur. Nötr yüklü arap zıncı, pozitif yüklü nano titanyum dioksit parçacıklarını stabilize etmez ve zeta potansiyelini düşürür.

**Tablo 2.** Çözeltilerin Zeta Potansiyelleri (Zeta Potentials of Solutions)

Çözelti	Zeta Potansiyeli (mV)
G05	-53,30
G1	-52,10
G2	-51,40
G1A0	-53,30
G1A1	-52,20
G1S0	-52,40
G1S1	-52,50
P05	-34,40
P1	-34,10
P2	-33,70
P1A0	-36,40
P1A1	-36,10
P1S0	-37,50
P1S1	-42,70



Alginat içeren nanopartikül kullanılan nanoakışkanlarda zeta potansiyeli en yüksekte en düşüğe sırasıyla; G05, G1A0, G1S1, G1S0, G1A0, G1 G2' dir. Aynı konsantrasyonda arap zamkının düşük miktarda kullanımı nanopartikülün zeta potansiyelini artırmıştır. Arap zamkının tam aksine SDS'nin %0,1 oranında kullanımı nanopartikülün zeta potansiyelini artırmıştır. %0,05 kütle konsantrasyonuna sahip nanopartikül ile G1A0 nanoakışkanının zeta potansiyeli aynı olarak ölçülmüştür. PEG varlığında titanyum dioksit ve alginat varlığında titanyum dioksit karşılaştırıldığında, Alginat varlığında nano titanyum dioksitin tüm nanoakışkanlarının zeta potansiyelinin PEG varlığında nanotitanyum dioksitin tüm akışkanlarına göre büyüktür. PEG varlığında titanyum nanopartikülünün oluşturduğu nanoakışkanların zeta potansiyelleri büyükten küçüğe sırasıyla P1S1, P1S0, P1A1, P1A0, P05, P1 ve P2 olarak sıralanabilir. PEG varlığında titanyum dioksit için yüzey aktif madde kullanımı zeta potansiyelini belirgin oranda değiştirdiğin söylenebilir. P nanoakışkanlarında SDS kullanımının, arap zamkı kullanımına göre zeta potansiyelinde etkisi daha büyüktür.

Su bazlı nanotitanyum dioksit nanoakışkanının zeta potansiyel ölçümleri literatürde yapılan çalışmaya göre yaklaşık -10 mV ile -50 mV arasında değişmiştir [28]. Örneğin, %0,05 kütle konsantrasyonu için -52 mV olarak ölçülmüştür [37]. Bu ölçümde G05 nanoakışkanının zeta potansiyeline denk geldiği tespit edilmiştir. Alginat katkı maddeli titanyum dioksit nanoakışkanların zeta potansiyeli -53,3 mV ile 51, 40 arasında, PEG katkı maddeli titanyum dioksit nanoakışkanının zeta potansiyeli -33,70 mV ile -42,70 mV arasında değişmektedir. En yüksek zeta potansiyeline sahip olan G05 numunesinin zeta potansiyel grafiği Şekil 9'da verilmektedir. Her iki yöntemle elde edilen nanotitanyum dioksit ile yapılan

nanoakışkanların zeta potansiyelleri literatüre yakın olarak bulunmuştur.

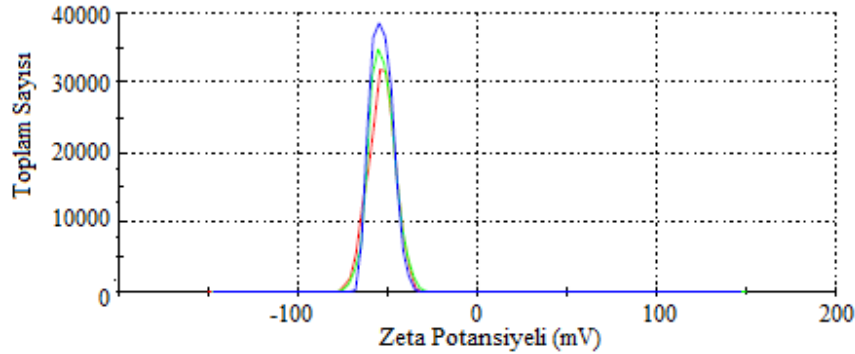
### 3.4. Titanyum Dioksit Nanoakışkanının Yoğunluk Ölçümleri (Density Measurements of Titanium Dioxide Nanofluid)

Nanoakışkanların yoğunlukları piknometre ile denklem (1)' e göre hesaplanmıştır. Her nanoakışkanın piknometre ile ağırlığı ölçümü üçer defa yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Ayrıca karışım kuralı (denklem 4.17) ile her nanoakışkanın yoğunluğu hesaplanmış ve karışım kuralına ve piknometre ölçümüne göre hesaplanan yoğunluk karşılaştırılmıştır ve Tablo 3'de görülebilir.

Su bazlı nano titanyum dioksit nanoakışkanının yoğunluk ölçümleri literatürdeki ölçümler ile yakın olarak bulunmuştur. Örneğin, Chavan ve Pisa tarafından hacimce %0,1, %0,2 konsantrasyona sahip nano titanyum dioksit nanoakışkanlarının yoğunlukları sırasıyla; 1,002, 1,006 olarak ölçülmüştür [5]. Her iki katkı maddesi ile üretilen nano titanyumdan oluşturulan nanoakışkanların yoğunluğu ile literatürdeki ölçümler ile benzerdir.

### 4. Simgeler (Symbols)

PEG	: Polietilen glikol
TiO <sub>2</sub>	: Titanium dioksit
SDS	: Sodyum dodesil sülfat
XRD	: X-Işını Kırınım yöntemi
SEM	: Elektron Mikroskopu Analizi
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
BET	: Yüzey analiz ve porozite cihazı



Şekil 9. G05 Nanoakışkanının Zeta Potansiyeli (Zeta Potential of G05 Nanofluid)

Tablo 3. Nanoakışkanlarının Yoğunluğu (Density of Nanofluids)

Nanoakışkan	Çözelti ile dolu olan piknometrenin ağırlığı (gr)	Yoğunluk ( gr/m <sup>3</sup> )	Karışım kuralına göre yoğunluk (gr/m <sup>3</sup> )	Fark (%)
G05	79,987	0,997	1,159	16,221
G1	80,149	1,000	1,320	32,019
G2	80,403	1,005	1,644	63,544
G1A0	80,160	1,000	1,324	32,345
G1A1	80,213	1,001	1,356	35,382
G1S0	80,158	1,000	1,320	32,010
G1S1	80,200	1,001	1,322	32,020
P05	78,175	0,962	1,159	20,456
P1	80,189	1,001	1,320	31,919
P2	80,304	1,003	1,644	63,856
P1A0	80,193	1,001	1,324	32,260
P1A1	80,350	1,004	1,356	35,024
P1S0	80,170	1,000	1,320	31,979
P1S1	80,210	1,001	1,322	31,994

- P05 : Hacimce % 0,05'lik PEG ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı
- P1 : Hacimce %1'lik PEG t ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı
- P2 : Hacimce %0,2'lik PEG ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı
- P1A0 : Hacimce %0,1'lik PEG ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı (TiO<sub>2</sub>/ arap zımkı oranı: 1/0,1)
- P1A1 : Hacimce e %0,1'lik PEG ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı (TiO<sub>2</sub>/ arap zımkı oranı: 1/1)
- P1S0 : Hacimce %0,1'lik PEG ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı (TiO<sub>2</sub>/ SDS oranı: 1/0,1)
- P1S1 : Hacimce %0,1'lik PEG tabanlı titanyum dioksit nanoakışkanı (TiO<sub>2</sub>/ SDS oranı: 1/1)
- G05 : Hacimce % 0,05'lik Alginat t ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı
- G1 : Hacimce %0,1'lik Alginat ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı
- G2 : Hacimce %0,2'lik Alginat ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı
- G1A0 : Hacimce %0,1'lik Alginat ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı (TiO<sub>2</sub>/ arap zımkı oranı: 1/0,1)
- G1A1 : Hacimce %0,1'lik Alginat ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı (TiO<sub>2</sub>/ arap zımkı oranı: 1/1)
- G1S0 : Hacimce %0,1'lik Alginat ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı (TiO<sub>2</sub>/ SDS oranı: 1/0,1)
- G1S1 : Hacimce %0,1'lik Alginat ile üretilen titanyum dioksit nanoakışkanı (TiO<sub>2</sub>/ SDS oranı: 1/1)

## 5. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, nano titanyum partikülleri PEG ve alginat olmak üzere iki farklı katkı maddesi ile yüksek sıcaklıkta oksidasyon yöntemi ile sentezlenmiştir. Her iki katkı maddesi ile sentezlenen titanyum dioksit numunelerinin XRD ve FTIR incelemeleri sonucu rutil fazda olduğu tespit edilmiştir. BET analizi sonuçlarına göre PEG ve Alginat varlığında sentezlenen titanyum partiküllerinin ortalama gözeneği sırasıyla 14,62 nm ve 34,76 nm'dir. PEG varlığında ve Alginat varlığında sentezlenen titanyum partiküllerinin yüzey alanları ise sırasıyla 9,0487 m<sup>2</sup>/g ve 1,2686 m<sup>2</sup>/g'dir. Alginat varlığında sentezlenen TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerin ortalama gözeneği daha büyük, BET yüzey alanları ise tam aksine daha küçüktür. SEM analizi sonuçlarına göre PEG katkı maddesi ile üretilen partiküllerin ortalama boyutu 125,55(±10) sentezlenen titanyum partiküllerinin nm ve Alginat katkı maddesi ile üretilen partiküllerin ortalama boyutu 156,70(±11) nm olarak bulunmuştur.

Her iki katkı malzemesi ile sentezlenen partiküllerin en az 72 saat boyunca homojen olarak dağıldığı gözlenmiştir. Alginat varlığında nanopartiküllerin oluşturduğu nanoakışkanların 96 saatten sonra çökmeye başladığı gözlemlenmiştir. Ek olarak, konsantrasyon arttıkça çökmenin arttığı gözlenmiştir. PEG varlığında partiküller, 120 saatten üst tabakadaki nanopartiküllerin bir kısmında çökme ve ara tabaka oluşması gözlemlenmiştir. Ara tabakanın sebebi, sonikasyon süresinin yeterli olmaması nedeni ile meydana gelmiş olabilir. Fiziksel gözlemler, nanoakışkanın stabilizasyonu üzerine tek başına yeterli değildir ve bu nedenle, zeta potansiyel ölçümüne ihtiyaç duyulmuştur. Hazırlanan tüm nanoakışkanların zeta potansiyeli -30 mV' dan büyüktür ve stabil olarak tanımlanabilirler. Alginat içeren nanopartiküllerinin kullanıldığı nanoakışkanlarda zeta potansiyeli en yüksekten en düşüğe sırasıyla; G05, G1A0, G1S1, G1S0, G1A0, G1 G2' dir. PEG varlığında titanyum nanopartikülünün oluşturduğu nanoakışkanların zeta potansiyelleri büyükten küçüğe sırasıyla P1S1, P1S0, P1A1, P1A0, P05, P1 ve P2 olarak bulunmuştur. Partikül oranı arttıkça, zeta potansiyeli azalmıştır. Alginat varlığında üretilen TiO<sub>2</sub>

nanoakışkanlarının stabilizasyonu PEG varlığında üretilen nanopartiküllerin kullanıldığı nanoakışkanlara göre daha fazladır. Anyonik Sodyum dodesil sülfat yüzey aktif maddesi zeta potansiyelini artırırken, noniyonik arap zımkının stabilizasyonu azalttığı görülmüştür. PEG ve Alginat katkı maddesi ile üretilen nanotitanyum kullanılarak su bazlı nanoakışkanların zeta potansiyel ölçümleri ve yoğunluk ölçümleri literatürde ölçülmüş su bazlı nanotitanyum dioksit nanoakışkanlarının zeta potansiyel ve yoğunluk ölçümleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu alışma sonunda nano partiküllerin üretiminde kullanılan katkı maddelerinin nanoakışkanın termofiziksel özelliklerini etkilediği gözlemlenmiştir. Sentezlenen partiküllerin karakterizasyonu ve tüm analizler göz önünde bulundurulduğunda Alginat katkı maddesi ile üretilen nanopartiküller ile hazırlanan nanoakışkanların daha iyi stabilizasyona sahip olduğu görülmüştür. Dağılım ve stabilizasyonun artırılması için farklı katkılarla nano partikül üretiminin ve nanoakışkan olarak kullanımının incelenmesi faydalı olacaktır.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Bu alışmayı FYL-2020-3916 numaralı DOP projesi ile destekleyen Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz. Çalışmaya katkılarından dolayı Gökberk YALÇIN' a ayrıca teşekkür ederiz.

## Kaynaklar (References)

1. Arslan, R., Özdemir, V. A., Akyol, E., Dalkilic, A. S., Wongwises, S., Thermophysical properties of nanofluids, *Current Nanoscience*, 17 (5), 694-727, 2021.
2. Das, S.K., Choi, S.U., Patel, H.E., Heat transfer in nanofluids - a review, *Heat Transfer Engineering*, 27 (10), 3-19, 2006.
3. Turgut A., Sağlanmak ř., Doğanay S., Experimental investigation on thermal conductivity and viscosity of nanofluids: Particle size effect, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 95-103, 2016.
4. Mostafizur, R.M., Saidur, R., Aziz, A.A., Bhuiyan, M.H.U., Thermophysical properties of methanol based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 85, 414-419, 2015.
5. Chavan, D., Pise, A., Experimental investigation of effective viscosity and density of nanofluids, *Materials Today: Proceedings*, 16, 504-515, 2019.
6. Selvakumar, R.D., Wu, J., A comprehensive model for effective density of nanofluids based on particle clustering and interfacial layer formation, *Journal of Molecular Liquids*, 292, 111415, 2019.
7. Sommers, A.D., Yerkes, K.L., Experimental investigation into the convective heat transfer and system-level effects of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-propanol nanofluid, *Journal of Nanoparticle Research*, 12 (3), 1003-1014, 2010.
8. Teng, T.P., Hung, Y.H., Estimation and experimental study of the density and specific heat for alumina nanofluid, *Journal of Experimental Nanoscience*, 9 (7), 707-718, 2014.
9. Srikant, R.R., Rao, D.N., Subrahmanyam, M.S., Krishna, V.P., Applicability of cutting fluids with nanoparticle inclusion as coolants in machining, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J-Journal of Engineering Tribology*, 223 (2), 221-225, 2009.
10. Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammed, H.A., A review on applications and challenges of nanofluids, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 15 (3), 1646-1668, 2011.
11. Gürmen, S., Ebin, B., Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1, *Metallurji Dergisi*, 150, 31-38, 2008.
12. Senol, S., Akyol, E., Preparation and characterization of pH-sensitive hydrogels from photo-crosslinked poly (ethylene glycol) diacrylate incorporating titanium dioxide, *Materials Science-Poland* 38 (3), 443-449, 2020.
13. Köysüren Ö., Köysüren H.N., Preparation of polyvinyl alcohol composite nanofibers and solid-phase photocatalytic degradation of polyvinyl alcohol, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (4), 1411-1418, 2018.
14. Ali, A.R.I., Salam, B., A review on nanofluid: preparation, stability, thermophysical properties, heat transfer characteristics and application, *SN Applied Sciences*, 2 (10), 1636, 2020.

15. Narayan, M.R., Raturi, A., Deposition and characterisation of titanium dioxide films formed by electrophoretic deposition, *International Journal of Materials Engineering Innovation*, 3 (1), 17-31, 2012.
16. Yu, J.C., Yu, J., Ho, W., Zhang, L., Preparation of highly photocatalytic active nano-sized TiO<sub>2</sub> particles via ultrasonic irradiation, *Chemical Communications*, 19, 1942-1943, 2001.
17. Zhu, Y.J., Chen, F., Microwave-Assisted preparation of inorganic nanostructures in liquid phase, *Chemical Reviews*, 114 (12), 6462-6555, 2014.
18. Choi, S., Eastman, M. D., Transparent, ultra-high thermal conductivity liquids, *Science*, 267 (5192), 1685-1687, 1995.
19. Li, J., Wang, L. Nanofluids: A promising thermal interface material for electronic devices, *Journal of Thermal Science and Technology*, 3 (3), 305-312, 2009.
20. Chen, X., Zhou, S., Zhang, Y., Preparation and characterization of TiO<sub>2</sub> nanofluids for thermal management. *Chinese Journal of Aeronautics*, 23 (4), 609-615, 2010.
21. Zhang, X., Wang, X., Liu, Y., Preparation and characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluids for thermal management. *Applied Thermal Engineering*, 31 (15), 3303-3309, 2011.
22. Li, Z., Zhang, Y., Zhang, Y., Preparation and characterization of TiO<sub>2</sub>-water nanofluids with different surface modification agents for thermal management. *Applied Thermal Engineering*, 34 (1), 105-112, 2012.
23. Bushehri, M.K., Mohebbi, A., Rafsanjani, H.H., Prediction of thermal conductivity and viscosity of nanofluids by molecular dynamics simulation, *Journal of Engineering Thermophysics*, 25, 389-400, 2016.
24. Chamsa-ard W, Brundavanam S, Fung CC, Fawcett D, Poinern G., Nanofluid types, their synthesis, properties and incorporation in direct solar thermal collectors: A Review. *Nanomaterials*. 7 (6):131, 2017.
25. Amrollahi, A., Rashidi, A.M., Emami Meibodi M., Kashefi K., Conduction heat transfer characteristics and dispersion behaviour of carbon nanofluids as a function of different parameters, *Journal of Experimental Nanoscience*, 4 (4), 347-363, 2009.
26. Naser A., Joao A., Teixeira, Abdulmajid A., A review on nanofluids: Fabrication, stability, and thermophysical properties, *Journal of Nanomaterials*, 1, 33, 2018.
27. Hwang, Y., Lee, J.K., Lee C.H., Jung, Y.M., Cheong, S.I., Lee, C.G., Ku, B.C., Jang S.P., Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids, *Thermochimica Acta*, 455 (1-2), 70-74, 2007.
28. Suganthi, K.S., Rajan, K.S., Metal oxide nanofluids: Review of formulation, thermophysical properties, mechanisms, and heat transfer performance, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 76, 226-255, 2017.
29. Fidan T., Alyamaç Seydibeyoğlu E., Experimental investigation of thermophysical and rheological properties of water-based nanofluids containing graphene nanoplatelets with different specific surface areas, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (1), 389-398, 2021.
30. Subaşı A., Erdem K., Prediction of specific heat of hybrid nanofluids using artificial neural networks, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (1), 377-387, 2022.
31. Yüksel T., İzgi A., Experimental investigation of the effects of nanofluid use in engine coolant on heat conduction and emissions at different engine speeds, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 39 (1), 17-28, 2024.
32. 31.Gülüm, M., Bilgin, A., Regression Models for Predicting Some Important Fuel Properties of Corn and Hazelnut Oil Biodiesel-Diesel Fuel Blends, *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, Cilt 1, Editör: Dincer, I., Colpan, C.O., Kizilkan, O., Ed. Academic Press, US, 829-850, 2018.
33. Tristantini D., Mustikasari, R., Modification of TiO<sub>2</sub> Nanoparticle with PEG and SiO<sub>2</sub> for Anti-fogging and self-cleaning application, *International Journal of Engineering and Technology*, 11 (2), 80-85, 2011.
34. Chougala, L.S., Yatnatti, M.S., Lingnagoudar, R.K., Kamble, R.R., Kadadevarmath, J.S., A simple approach on synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and its application in dye sensitized solar cells, *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 9 (4), 04005-1-04005-6, 2017.
35. Al-Amin, M., Dey, S.C., Rashid, T.U., Shamsuddin, S., Solar assisted photocatalytic degradation of reactive azo dyes in presence of anatase titanium dioxide, *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology (IJLRET)*, 2 (3), 14-21, 2016.
36. Samimi, S., Maghsoudnia, N., Eftekhari, R.B., Dorkoosh, F., Lipid-Based Nanoparticles for Drug Delivery Systems, *Characterization and Biology of Nanomaterials for Drug Delivery*, Cilt 1, Editör: Mohapatra, S.S., Ranjan, S., Dasgupta, N., Mishra, R.K., Thomas, S., Elsevier, US, 47-76, 2019.
37. Das S., Chaudhury, A., Recent advances in lipid nanoparticle formulations with solid matrix for oral drug delivery, *AAPS PharmSciTech*, 12, 62-76, 2011.
38. Freitas C., Müller, R.H., Effect of light and temperature on zeta potential and physical stability in solid lipid nanoparticle (SLNTM) dispersions, *International Journal of Pharmaceutics*, 168 (2), 221-229, 1998.
39. Sass, R., *Data Banks of Electrolytes*, *Encyclopedia of Applied Electrochemistry*, Cilt 1, Editör: Kreysa, G., Ota, K., Savinell, R.F., Springer New York, US, 291-294, 2014.
40. Kaszuba, M., Corbett, J., Watson, F.M., Jones, A., High-concentration zeta potential measurements using light-scattering techniques, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 368 (1927), 4439-4451, 2010.

