

## Homojen Olmayan Sıvılardan Işık Saçılmasının Mie Teorisi İle İncelenmesi

Halide ŞAHAN<sup>1</sup>, Fatma Aysun UĞUR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksek Okulu, Teknik Programlar Bölümü / OSMANİYE

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü / ADANA

Alınış tarihi:28.09.2007, Kabul:24.01.2008

**Özet:** Bu çalışmada, homojen olmayan sıvılarda gerçekleşen ışık saçılması Mie Teorisi ile incelenmiştir. Homojen olmayan sıvı olarak 0°C sıcaklıkta, %0.35 tuzluluk oranına ve 400 nm dalga boyunda  $N_o = 1.35141+ik$  (kırılma indisinin sanal kısmı;  $k = 0.005, 0.01, 0.05$ ) kırılma indisine sahip deniz suyu alınmıştır. Deniz suyu içinde homojenliği bozan (quartz, kaolinit ve montmorillonit) yapılar birer saçılma merkezi olarak ele alınarak ışık saçılması incelenmiş ve çözümler için programlar tasarlanmıştır. Böylece parçacıkların büyüklük parametresine bağlı olarak, ışık şiddetinin değişimi elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, Mie saçılma yönteminin farklı yapı ve malzemelerin yapı, oluşum ve dinamiğini incelemeye çok önemli bir araştırma aracı olacağı gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Işık, Işık Saçılması, Homojen Olmayan Sıvı, Mie Teorisi

## Investigation of Light Scattering from Non-Homogeneous Liquids by Using Mie Theory

**Abstract:** In this study, light scattering in non-homogeneous liquids was investigated using Mie Theory. As a non-homogeneous liquid, it was taken sea water having a ratio of %0.35 salt at 0°C temperature and having a refractive index of  $N_o = 1.35141+ik$  (the imaginary part of refractive index;  $k = 0.005, 0.01, 0.05$ ) at 400 nm. Materials causing non-homogeneous within the sea water (quartz, kaolinite, montmorillonite) were considered as a scattering center and made programs for solutions. Therefore, size effect on intensity of light was obtained. As a result, it was found that Mie scattering method is a powerful method on investigation of various structure and materials dynamics.

**Key Words:** Light, Light Scattering, Non-homogeneous Liquid, Mie Theory.

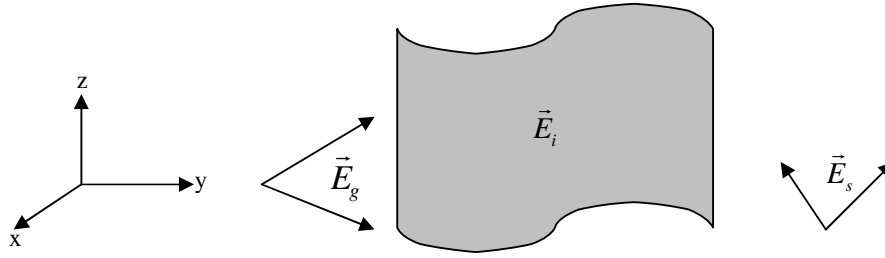
### Giriş

Parçacıklar tarafından ışığın saçılması teorisi, kuantum alan teorisi temelinde geliştirilebilir. Işık bir madde ile etkileştiği zaman, ışığın elektrik alanı ışığın polarizasyonunun titreşimine neden olur ve ışığı yayar. Frekans kaymaları, açısal dağılım, saçılan ışığın şiddeti ve polarizasyonu, saçıcı malzemedeki moleküler etkileşimler, şekil ve büyüklük tarafından belirlenir. Yarı makroskopik görüşte, ilk olarak Einstein tarafından ileri sürülen ışık saçılması, ortamın dielektrik sabitindeki yerel dalgalanmaların bir sonucudur. Parçacıklar tarafından ışık saçılması kristal, sıvı süspansiyonlar gibi pek çok araştırmanın konusudur. Bu araştırmalar Mie teorisinin farklı yapı ve geometrilere uygulanmasını içerir (Yılmaz vd, 2003a). Ayrıca, bu çalışmalar, saçılma

hesaplamalarını yapan bilgisayar programlarını da içerir. Burada yapmış olduğumuz çalışmanın amacı, ışık saçılma yöntemini kullanarak, çok katmanlı düzlem sistemindeki parçacıkların fiziksel ve yapısal özelliklerini incelemektir. Kullanmış olduğumuz bu basit model, bazı tip ferroelektriklerdeki ışık saçılma problemlerini incelemek için de oldukça yararlı olmuştur (Yılmaz vd, 2003b). Böylece, parçacıkların ışık saçma özellikleri, saçılma merkezlerinin büyüklüğü, şekli, geometrisi hakkında önemli bilgiler sağlar (Şahan vd., 2002). Bu çalışmada incelenen saçılma merkezlerinin geometrisi, büyüklüğü, fiziksel özelliği, gelen ve saçılan elektromanyetik dalgaların temel parametreleri göz önünde bulundurularak saçılma problemi teorik olarak hesaplanmıştır.

## Materyal ve Metot

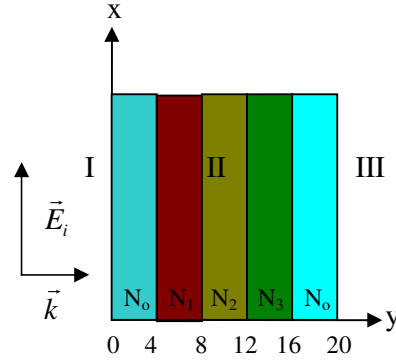
Parçacıklar tarafından ışık saçılmasının en genel hali Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Bir parçacık tarafından ışık saçılmasının gelen, iç ve saçılan alanlar olarak gösterimi.

Şekil 1’deki ışık saçılma problemi, elektromanyetik dalga denkleminin çözümleri olan öz fonksiyonlar cinsinden  $\mathcal{E}_g$ ,  $\mathcal{E}_i$  ve  $\mathcal{E}_s$  alanlarının açıklmaları yardımıyla çözümlür (Kerker, 1969). Gelen alan açıklım fonksiyonlarının katsayıları verilen gelen alandan belirlenir. Saçılan ve iç alan açıklım fonksiyonları ise elektromanyetik sınır koşullarının uygulanması ile belirlenir. Burada, zaman bağımlı gelen  $\vec{E}_g$  elektrik alanı, bir parçacık üzerine düşer ve  $\vec{E}_i$  ile gösterilen bir iç alana neden olur. Bu durumda  $\vec{E}_g$  gelen alanın bir kısmı parçacık tarafından yeniden yayınlanır ve bu alan saçılmış alan  $\vec{E}_s$  ile gösterilir. Başlangıçta gelen alan ve parçacıkla ilgili bilgilerin verildiği kabul edilir ve problem,  $\vec{E}_i$  ve  $\vec{E}_s$  alanlarını hesaplamaktan ibarettir (Barber ve Hill, 1990).

Bu çalışmada, rastgele dipol yönelimi olan izotrop ve anizotrop iki tabaka sınırı kabul edilmiş ve bu sistem için Maxwell Denklemlerinin çözümü elde edilmiş ve bu çözümden hareketle saçıcı ortam olarak ele alınan deniz suyu ve bu suyun içinde saçılma merkezleri olarak kabul edilen quartz, kaolinit ve montmorillonit gibi üç farklı kırılma indisli katlardan oluşan çok katmanlı bir düzlem yapı için inceleme yapılmıştır (Şekil 2) (Şahan, 2002). Gerçekte elektromanyetik bir dalga olarak ışığı, Maxwell’in ışık görüşlerine göre model alırız (Kliger vd., 1990). Kullandığımız sonlu kalınlıktaki düzlem, küçük parçacıklı saçılma olayını ve çözüm metodunu veren bir örnektir. Düzlem için burada verilen metot silindirik, küre gibi geometrilerin iç ve saçılan alanlarını bulmak için kullanılan metotlara çok benzerdir.



Şekil 2. Farklı kırılma indislerine sahip çok katmanlı bir plaka sistemi.

Şekil 2’de model olarak belirlediğimiz sistemin elektromanyetik dalgalar ile etkileşimi incelendiğinde; gelen düzlem dalganın elektrik alanı, (1) denkleminde verildiği gibi, z- doğrultusunda yayılır ve x-doğrultusunda polarizedir.

$$E^i(kz) = E_1^+ e^{ikz} i_x \quad (1)$$

Burada, gelen dalganın genlik ve fazı  $E_1^+$  katsayısı ile belirlenir. Dalganın bir kısmı düzlem tarafından yansıtılacağından, birinci bölgedeki toplam elektrik alan aşağıda denklem 2’de verildiği gibi olur;

$$E_1(kz) = (E_1^+ e^{ikz} + E_1^- e^{-ikz}) i_x \quad (2)$$

İkinci bölgedeki elektrik alan aşağıda denklem 3’de verildiği gibidir;

$$E_2(mkz) = (E_2^+ e^{imkz} + E_2^- e^{-imkz}) i_x \quad (3)$$

Üçüncü bölge ise, z-doğrultusunda sonsuza gittiğinden, dalga sadece z-doğrultusunda yayılır ve aşağıda denklem 4’de verildiği gibi olur.

$$E_3(kz) = E_3^+ e^{ikz} i_x \quad (4)$$

$E_1^-, E_2^+, E_2^-, E_3^+$  bilinmeyen katsayıları için ifadeler;  $z = 0$  ve  $z = 4$  ara yüzeylerinde sınır koşulları uygulanması ile elde edildi. Aynı zamanda, elektromanyetik dalga; TM polarizasyonunda, yani manyetik alan bu eksene paralel olacak şekilde dikkate alındı.

## Bulgular

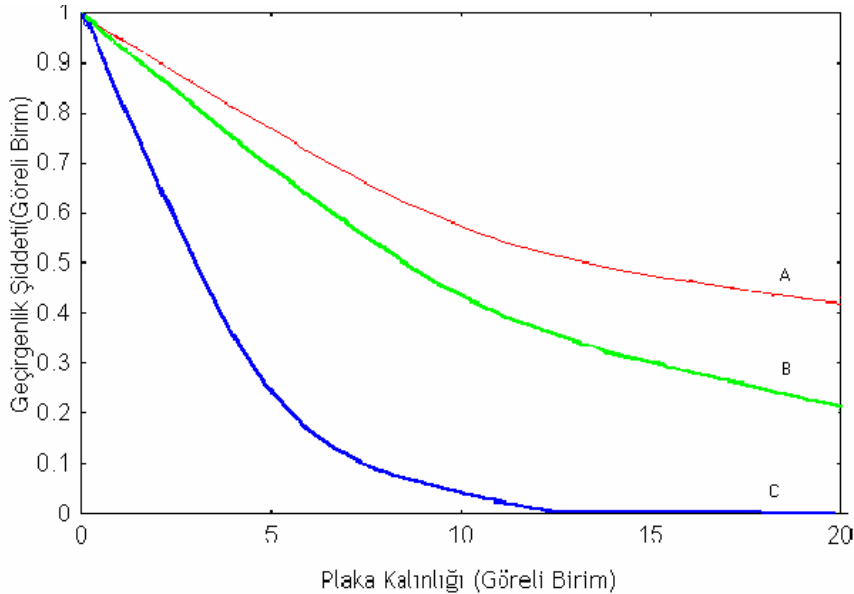
Bir önceki bölümde tanımladığımız teoriyi esas alarak, yan yana dizilmiş ve birbirinden bağımsız (basit yaklaşım) farklı kırılma indislerinden oluşan çok katmanlı bir düzlem sistemi için, bir parçacık tarafından saçılmanın nümerik simülasyonları gerçekleştirildi. Simülasyonu gerçekleştirdiğimiz bilgisayar programı standart Fortran 77 programlama dilinde hazırlandı ve bu program, sonlu kalınlıktaki bir düzlem (plaka) için yansıyan, geçen ve iç şiddetleri hesaplamaktadır. Simulasyonda saçılmayı etkileyen faktörler ortamın kırılma indisi, gelen ışığın polarizasyonu, saçılan ışığın şiddet dağılımı ve büyüklük parametresi şeklinde sıralanabilir. Burada büyüklük

parametresi olarak belirtilen ifade,  $x = ka = \frac{2\pi a}{\lambda}$  ürünü

olup, düzlemin merkezinden dışına doğru olan alan yönelimi için gelen dalganın faz değişimine eşit olmaktadır (Kerker, 1969).

Bu çalışmada, simülasyonlarımız şu koşullar altında gerçekleştirilmiştir: Saçıcı ortam olarak, 0°C sıcaklık, %0.35 tuzluluk oranına sahip, 400 nm dalga boyunda  $N_0 = 1.35141+ik$  ( $k = 0.005, 0.01, 0.05$ ) kırılma indislerine sahip deniz suyu ve bu suyun içinde saçılma merkezi olarak kabul ettiğimiz sırasıyla, kırılma indisi;  $N_1 = 1.16+ik$  ( $k = 0.005, 0.01, 0.05$ ) olan quartz, kırılma indisi;  $N_2 = 1.17+ik$  ( $k = 0.005, 0.01, 0.05$ ) olan kaolinit ve kırılma indisi;  $N_3 = 1.14+ik$  ( $k = 0.005, 0.01, 0.05$ ) olan montmorillonit alınarak ışık saçılması simülasyonu yapıldı. Burada kırılma indisinin “ $ik$ ” sanal kısmıdır ve sabit terimler ise probleme uygun kabullenmeler yapılarak alınmıştır.

Şekil 2’deki çok katmanlı düzlem sisteminde, sistemin x-ekseni boyunca sıralanan her bir katmanın kalınlığı görece olarak 4’er birim olmak üzere 0–20 büyüklük parametresi arasında belirlendi. Düzlem dizisinin eksenine +x doğrultusunda olmak üzere, belirlenen materyal eksenine dik (TM Polarizasyonlu) elektromanyetik dalga gönderildi. Böylece katmanların kalınlığına (büyüklük parametresi) bağlı olarak, geçen ışık şiddetinin değişimi elde edildi (Şekil 3). Şekil 3’teki grafikte; A eğrisinde; (k) kırılma indisinin soğurmadan sorumlu kısmı sırasıyla 0.005, B eğrisinde 0.01 ve C eğrisinde ise 0.05 alınarak çok katmanlı düzlem sistemi için sonuçlar elde edilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.



**Şekil 3.** Farklı kırılma indislerine sahip çok katmanlı bir plaka sistemi boyunca optik geçirgenlik şiddetinin değişimi. A eğrisinde; (k) kırılma indisinin soğurmadan sorumlu kısmı sırasıyla 0.005, B eğrisinde 0.01 ve C eğrisinde ise 0.05 alınarak birbirleri ile karşılaştırılması.

## Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, ilk olarak sınır koşulları metodu kullanılarak sonlu bir düzlem için ışık saçılması incelenmiş, rastgele dipol yönelimi olan izotrop ve anizotrop iki tabaka için Maxwell Denklemlerinin çözümü elde edilmiştir. Daha sonra, yapılan nümerik hesaplamalar ve modelleme için geliştirilen simülasyon programlarında saçıcı ortam olarak ele alınan deniz suyu ve bu suyun içinde saçılma merkezi olarak kabul edilen quartz, kaolinit ve montmorillonit gibi farklı kırılma indisli katlardan oluşan çok katmanlı bir düzlem için inceleme yapılmıştır. İncelenen saçılma merkezlerinin geometrisi, büyüklüğü, fiziksel özelliği, gelen ve saçılan elektromanyetik dalgaların temel parametreleri göz önünde bulundurularak saçılma problemi teorik olarak hesaplanmış ve geçirgenlik şiddetinin büyüklük parametresine göre değişimi incelenmiştir. Geçirgenlik şiddeti, büyüklük parametresinin, polarizasyonun, saçılma açısının, kırılma indisinin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Ortamın soğuruculuğu artarken geçirgenlik şiddetinin düzlemler boyunca exponansiyel olarak azalmakta olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, her bir katmanın farklı kırılma indisine sahip olması, şiddet osilasyonunu etkilemektedir. Özellikle, kırılma indisinin sanal kısmı bu osilasyonu reel kısmına göre daha fazla etkilemektedir. Kırılma indisinin küçük olduğu alanda, şiddet daha büyük olurken kırılma indisinin büyük olduğu alanlarda ise şiddet daha küçük olmaktadır. Yapılan inceleme sonucunda, saçılma şiddetinin farklı değişkenlere bağlı olarak değişiminin bu saçıcıların özelliklerinin tespitinde kullanılabileceği gösterilmiştir. Aynı zamanda Mie saçılma yönteminin, farklı yapı ve malzemelerin yapı, oluşum ve dinamiğini inceleme ve özelliklerini belirleme olanağı verdiği gösterilmiştir.

## Kaynaklar

- Barber, P.W., Hill, S. C. 1990. Light Scattering by Particles: Computational Methods, World Scientific, London, 3-15.
- Kerker, M. 1969. The Scattering of Light, London, 8-26.
- Kliger D.S., Lewis J. W., Randall, C. E. 1990. Polarized Light In Optics and Spectroscopy, London, 9-25.
- Şahan, H. 2002. Homojen Olmayan Sıvıların Optik Özelliklerinin Mie-Tindall Saçılması ile İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 99s.
- Şahan, H., Yılmaz, S., Mamedov, A.M., Yavuz, A. 2002. Determining the Waste Materials in the Sea Water by the Scattering Method. BPL, 10, 162- 167.
- Yılmaz, S., Mamedov A. M., Şahan H., Gunel, G. 2003a. Mie Scattering in Ferroelectrics With Diffuse Phase transitions. Ferroelectrics, 291, 177-186.
- Yılmaz, S., Mamedov, A. M., Şahan, H., Gunel, G. 2003b. Light Scattering in some Order-Disorder Type Ferroelectrics Due to Phase Transitions. Ferroelectrics, 296, 29-36.