

DENİZ SUYU KOROZYON ORTAMINDA BAZALT/EPOKSİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

İbrahim DEMİRCİ^{1,*}, Ahmet AVCI¹

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

*ibrahimdemirci66@gmail.com aavci@selcuk.edu.tr

Özet

Epoksi matrisli elyaf takviyeli kompozitler yüksek dayanım ve rijitliklerinden dolayı ileri teknoloji ürünleri olarak endüstride yaygın kullanılmaktadır. Son zamanlarda kullanım sahasının genişliği, yüksek dayanım ve rijitlik, korozyon direnci, gürültü, titreşim ve ısı yalıtım özelliklerinin iyi olması ve maliyetinin karbon elyaflardan düşük olması nedeniyle, elyaf takviye malzemesi olarak kompozitlerde bazalt elyaflar tercih sebebi olmuştur. Dolayısıyla araştırmacılar bazalt elyaf takviyeli kompozitler ile ilgili çalışmalara yönelmişlerdir. Yapılan çalışmada, vakum infüzyon yöntemi ile 6 tabakalı bazalt elyaf takviyeli (BTP) epoksi kompozit levhalar üretilmiştir. Üretilen bu levhalardan çekme numuneleri ASTM D 3039/D 3039M standartlarına uygun olarak hazırlanmış ve Akdeniz suyu korozyon ortamında 0, 10, 20 ve 40 gün sürelerinde bekletildikten sonra çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Artan deniz suyu korozyon sürelerine göre çekme dayanımlarındaki % azalmalar tespit edilmiştir. 40 gün deniz suyu ortamında bekletilen BTP/Epoksi kompozitlerin çekme dayanımında %26.5'lik kaybın olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bazalt Elyaf, Kompozitler, Korozyon, Mekanik Özellikler.

INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOURS OF BASALT/EPOXY COMPOSITES IN SEA WATER CORROSION ENVIRONMENT

Abstract

Fiber reinforced composites based on epoxy matrix because of their high strength and stiffness as advanced technology products have been used widely in the industry. In recently, basalt fibers have been the preferred fiber reinforcement material in composites because of the wide area of use, high strength and rigidity, good

corrosion resistance, noise, vibration and thermal insulation properties and low cost of carbon fibers. Therefore, researchers are directed to work on basalt fiber reinforced composites. In this study, 6 layered basalt fiber reinforced (BTP) epoxy composite sheets were produced by vacuum infusion method. Tensile specimens were prepared from these sheets in accordance with ASTM D 3039/D 3039M standard and tensile tests were carried out after 0, 10, 20 and 40 days in Mediterranean water corrosion environment. % losses in tensile strengths were determined according to the increasing sea water corrosion periods. It has been determined that the tensile strength of BTP/Epoxy composites kept in sea water environment for 40 days is 26.5% loss.

Keywords: Basalt Fibers, Composites, Corrosion, Mechanical Properties.

1. Giriş

Polimer matrisli elyaf takviyeli kompozitler birçok endüstriyel alanda sağlamış oldukları yüksek dayanım ve rijitlik, hafiflik gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Polimer matrisli, özellikle epoksi matrisli elyaf takviyeli kompozitlerde genel itibarıyla mekanik özellikleri, maliyetler ve kullanım yerlerine göre karbon, aramid ve cam elyaflar takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Karbon elyafların diğer elyaflardan yüksek dayanım ve rijitliğinin yanında çok hafif olması beraberinde yüksek maliyeti de getirmektedir. E-Cam elyafların karbon elyaflardan düşük dayanım ve rijitliğe sahip olmasının yanında maliyetinin düşük olması kullanım yerlerini genişletmektedir. Düşük maliyetle beraber diğer elyaf takviyeleri kadar yeterli mekanik performans sergilememesi, araştırmacıları yüksek maliyetler göstermeyen ve cam elyaflardan daha iyi mekanik performans sergileyen yeni elyaf takviyesi arayışına sürüklemiştir [1-5]. Öncelikle askeri savunma ve deniz donanmasında kullanım sahası olan (ABD, Sovyetler Birliği) bazalt elyafların ticari endüstriye entegre edilmesiyle, araştırmacıların ilgi odağı olmuş ve endüstride kullanımı gün geçtikçe artmıştır. Bazalt elyafların karbon ve cam elyaflara alternatif olabileceği noktasında yoğunlaşmışlardır. Bazalt elyaflar, bazalt volkanik taşların yüksek sıcaklıkta ergitilmesiyle elde edilmektedir. Bazaltların kimyasal yapısı cam elyaflara benzer olup, özellikle çevresel asitlere karşı kimyasal kararlılığı yüksektir. Bazalt elyaflar -200°C ile 600°C geniş sıcaklık aralığında kullanılabilir. Bazalt elyafların çekme dayanımı ve elastikiyet modülünün cam elyaflardan yüksek olmasında kimyasal kompozisyonu etki etmektedir

[1, 2, 5, 6, 7, 8]. Bazalt elyafların kimyasal kararlılığının cam elyaflardan daha iyi olması, korozyon ortamında kullanımı açısından cam elyaflara göre avantajlı hale gelmektedir. Bu durum bazalt elyafları gemi endüstrisinde kullanımına da sevk etmiştir. Wei ark.(2011) yapmış oldukları çalışmada cam elyaf takviyeli (CTP) ve bazalt elyaf takviyeli (BTP) kompozitleri deniz suyu korozyon ortamında beklettiklerinde, ilk 30 gün deniz suyu korozyon ortamında mekanik özelliklerde hızla düşüş kaydedildiğini ve bundan sonra da, kompozitlerde ağırlık artışının olmadığını, mekanik özelliklerde de düşüşlerin oldukça azaldığını hatta kayıpların olmadığını ifade etmişlerdir. Mekanik özelliklerdeki düşüşlerde kompozit numunelerdeki ağırlık artışının etkin olduğunu belirtmişlerdir [9].

Yapılan çalışmada, deniz suyu korozyon ortamında 0, 10, 20 ve 40 gün sürelerde bekletilen bazalt elyaf takviyeli (BTP) epoksi kompozitlere çekme deneylerinin uygulanması ve korozyon sürelerine göre çekme dayanımdaki azalmaların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bazalt elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin üretiminde, Kammany Vek firmasından temin edilen 400 tex bazalt elyaf twill kumaş kullanılırken, matris olarak ise DGEBA(MGS L160) orta vizikoziteli epoksi ve sertleştirici olarak ise ağırlıkça %36 oranında MGS H260S kullanılmıştır. Bazalt elyaf takviyeli epoksi kompozitler Şekil 1.'deki gösterilen vakum infüzyon yöntemiyle plakalar halinde üretildikten sonra, ASTM D 3039/D 3039M standardına göre 250x25mm boyutlarında çekme numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 2'de verildiği gibi Instron 3369 çekme-basma test ünitesinde 2mm/dk çekme hızında her bir numune için 3'er tekrar yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deniz suyu korozyon ortamı olarak ülkemizin de kıyısının bulunduğu Akdeniz suyu seçilmiştir. Akdeniz suyunun kimyasal yapısında; Cl⁻(21.2 mg/L), Na⁺(11.8 mg/L), SO₄²⁻(2.95mg/L), Mg²⁺(1.408mg/L), Ca²⁺(423mg/L), K⁺(463mg/L), Br⁻(155mg/L), BO₃³⁻(72mg/L), I⁻ (2mg/L) olmak üzere toplam çözünmüş madde 38 g mg/L'dir [12]. Deniz suyu korozyon ortamında BTP/Epoksi kompozitlerin korozyon süreleri Wei ve ark.(2011) ve Liang ve ark.(2015) yapmış oldukları çalışmalar temel alınarak, 0, 10, 20 ve 40 gün olarak belirlenmiştir.



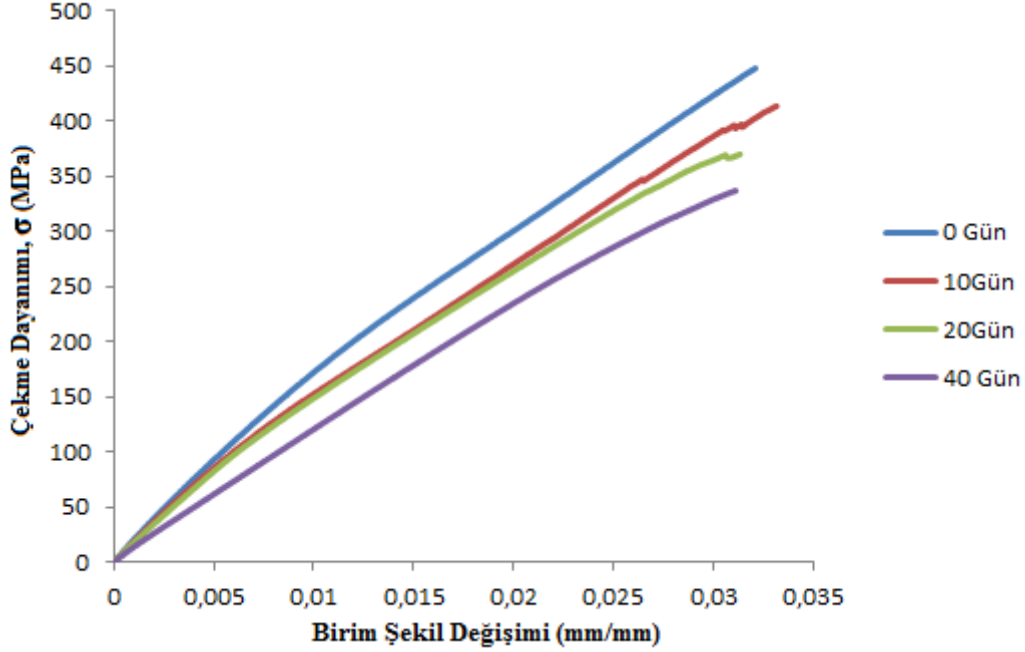
Şekil 1. Vakum infüzyon ünitesi [10].



Şekil 2. BTP/Epoksi Kompozitlerin Çekme Deneyleri.

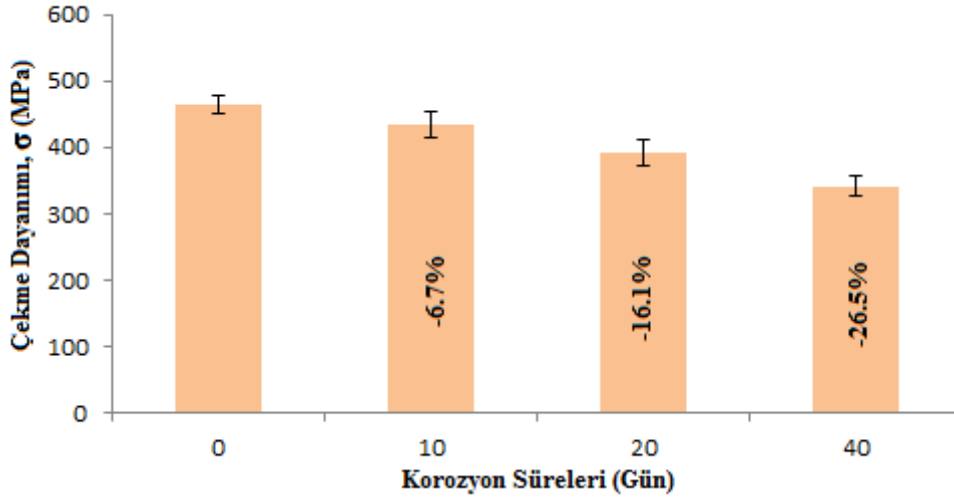
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

ASTM D 3039/D 3039M standardına göre her bir numune için 3'er tekrar yapılarak deniz suyunda 0, 10, 20 ve 40 gün korozyon sürelerinde BTP/Epoksi kompozitlerin test edilen çekme deneyi sonuçları aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3. BTP/Epoksi kompozitlerin çekme dayanımı-birim şekil değiştirme grafiği.

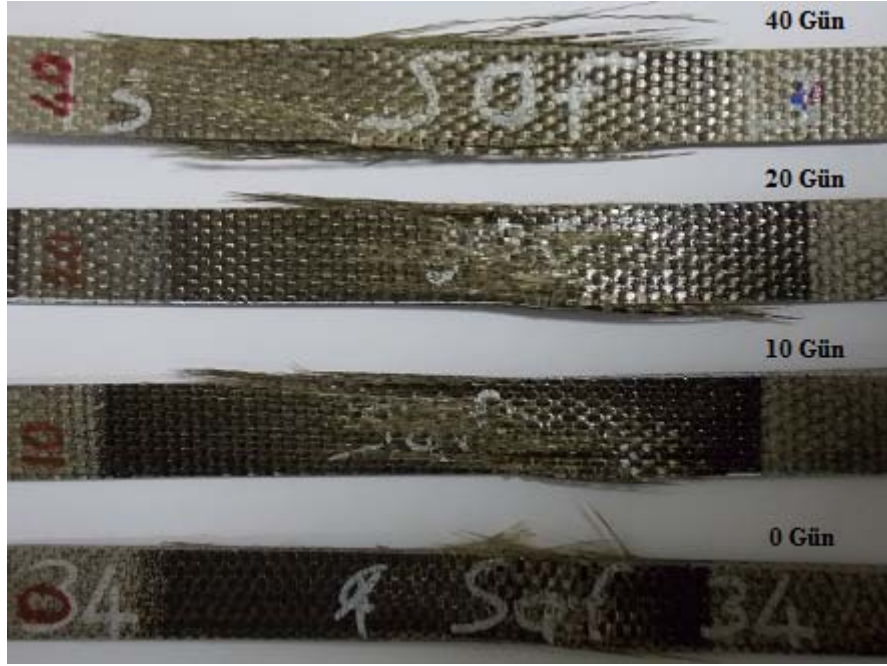
Şekil 3'de verilen BTP/Epoksi kompozitlerin 0, 10, 20 ve 40 gün deniz suyu korozyon ortamında bekletilen çekme deneyi sonuçları incelendiğinde, deniz suyu korozyon ortamında bekletilmeyen BTP/Epoksi kompozitlerin çekme dayanımı ortalama 465.3 MPa değerinde bulunurken, 10 gün korozyon süresinde 434.1 MPa, 20 gün korozyon süresinde 390.7 MPa ve 40 gün korozyon süresi sonunda ise ortalama yaklaşık 341.8 MPa değerleri elde edilmiştir. Deniz suyu korozyon ortamında bekletilen, korozyona maruz kalmamış ve grafikte 0 gün olarak verilen BTP/Epoksi kompozitlerin çekme dayanımlarının standart sapmaları Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Deniz suyu korozyon sürelerine göre BTP/Epoksi kompozitlerin çekme dayanımları.

Deniz suyu korozyonuna maruz bırakılmış ve bırakılmamış (0,10,20 ve 40 gün) BTP/Epoksi kompozitlerin standart sapmalarıyla birlikte Şekil 4’de verilmiş, aynı zamanda korozyon sürelerine göre çekme dayanımlarındaki % kayıplarda Şekil’4 deki sütun grafikleri üzerinde sunulmuştur. Deniz suyunda 10 gün korozyon süresi sonunda bekletilen BTP/Epoksi kompozitlerde, korozyona maruz kalmamış kompozitlere göre çekme dayanımında %6.7 azalma gözlemlenirken, 20 günün sonunda çekme dayanımında %16.7 azalmanın gerçekleştiği görülmüştür. 40 gün deniz suyunda korozyona maruz kalmış BTP/Epoksi kompozitlerde ise çekme dayanımında %26.5’lik azalmanın gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4’deki değerler göz önünde bulundurulduğunda deniz suyunun BTP/Epoksi kompozitleri etkilediği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte 0, 10, 20 ve 40 gün deniz suyu korozyon sürelerine göre BTP/Epoksi kompozitlerin Şekil 3’deki eğrilerin eğimlerine bakıldığında rijitliklerinin, korozyon süresinden etkilendiği görülmektedir. Korozyon süresinin artmasıyla rijitliklerinde azaldığı gözlemlenebilmektedir. Deniz suyunun rijitlik ve kompozitin yapısal bütünlüğü üzerindeki etkileri Şekil 5 ve Şekil 6’da verilen makro resimlerden açıkça gözlemlenebilmektedir. Wei ve ark. (2011) yapmış oldukları çalışmada, bazalt elyaf ve E-cam elyaf takviyeli kompozitlerinde deniz suyunun korozyon etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada deniz suyunun kompozitler üzerine yapmış olduğu korozif etkiyi çekme ve üç nokta eğme testleriyle çekme ve eğme dayanımındaki azalmaları inceleyerek belirlemeye çalışmışlardır. Kompozitlerin 10 gün korozif ortamda beklettikten sonra,

bazalt elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin (BTP) çekme dayanımında yaklaşık %7-10 arasında bir azalma tespit etmişlerdir. 20 günün sonunda korozyon ortamında bekletilen BTP/Epoksi kompozitlerde yaklaşık %14-19 ve 30 gün sonunda ise yaklaşık %20-25 arasında azalmalar olduğunu gözlemlemişlerdir. E-Cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerde (CTP) deniz suyundaki ilk 10gün bekletilme süresinin ardından %16'lık çekme dayanımında önemli oranda kayıp belirlemişlerdir. Yapılan çalışmayla benzer bulgular taşıdığı yorumlanmıştır.



Şekil 5. Deniz suyunda 0,10, 20 ve 40 gün korozyon süreleri sonunda çekme deneyleri uygulanan BTP/Epoksi kompozitler.

Şekil 6'da 0, 10, 20 ve 40 gün deniz suyu korozyonunda bekletilen BTP/Epoksi kompozitlerin çekme deneyleri sonucunda meydana gelen hasar tipleri gözlenmektedir. Korozyon sürelerine göre meydana gelen hasarlar gözlemlendiğinde, korozyon süresinin artmasıyla oluşan hasar alanlarının genişlediği, tabakalararası ayrılma hasarı olarak tanımlanan delaminasyon hasarlarının tüm tabakalarda etkilen hale geldiği ve arttığı görülmektedir. Korozyon süresinin artmasıyla numunelerin tamamen kırılma hasarına uğrayana kadar, delaminasyon hasarlarında genişleyerek büyüdüğü 6 tabakada etkin olduğu deneyler esnasında da Şekil'6 da görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



Şekil 6. Deniz suyunda 0,10, 20 ve 40 gün korozyon sürelerinde çekme deneyleri sonucu BTP/Epoksi kompozitlerde meydana gelen hasarlar.



Şekil 7. 40 gün deniz suyu korozyon ortamında bekletilen BTP/Epoksi kompozitlerde çekme deneyleri sonucunda meydana gelen hasarların mikroskop görüntüsü.

Şekil 7’de ise 40 gün deniz suyu korozyon süresi sonunda çekme deneyleri neticesinde meydana gelen elyaf kırılmaları ve delaminasyon hasarları gözlemlenebilmektedir. Deniz suyunun BTP/Epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerine etki etmesinde, bazalt elyafların kimyasal kompozisyonunda yanında, epoksi matrisin yapının bozulmasına neden olarak elyaf/matris arayüzey dayanımını da

etkilediği yorumlanmaktadır. Deniz suyu içerisinde çözünmüş NaCl iyonlar halinde bulunmaktadır. Bu iyonlar su molekülleri ile birlikte deniz suyu korozyonu ortamında kompozitlere nüfuz etmektedir [11]. Dolayısıyla kompozitlere nüfuz eden bu iyonların kompozitlerin çekme dayanımındaki azalmalarda etkin rol oynayan matrisin bozulmasına, matris/elyaf arayüzey dayanımının azalmasına, tabakalar arası ayrılma hasarı olarak bilinen delaminasyon hasarına ve elyaf yüzeylerinde hasarlar oluşumuna neden olduğu düşünülmektedir[9]. Bununla birlikte bazalt elyafın bünyesinde %15.3 miktarında bulunan Fe'nin, kompozite nüfuz eden su molekülleri tarafından hidrolize edilerek oksitlenmesi de elyaf/matris arayüzeyinin bozulmasına neden olabileceği kanaati oluşmuştur[9].

4. Sonuçlar

Bu çalışmada deniz suyu ortamında 0, 10, 20 ve 40 sürelerinde bekletilen BTP/Epoksi kompozitlerin ASTM D 3039/D 3039M standardına göre çekme deneyleri gerçekleştirilmiş, deney sonuçları ve hasar analizleri yapılmıştır. Genel itibariyle çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmuştur.

- BTP/Epoksi kompozitler deniz suyu ortamında 0,10,20 ve 40 gün sürelerinde beklettikten sonra gerçekleştirilen çekme deneyleri neticesinde 465.3 MPa, 434.1 MPa, 390.7 MPa ve 341.8 MPa ortalama çekme dayanımları elde edilmiştir.
- Çekme dayanımlarında artan korozyon sürelerine göre; %6.7, %16.1 ve %26.5 azalmaların olduğu tespit edilmiştir.
- Çekme dayanımı-birim şekil değiştirme grafiklerinden korozyon süresinin artmasıyla, azalan eğim ile birlikte rijitliğinde azaldığı tespit edilmiştir.
- Artan korozyon süresinin yapısal bütünlüğünü etkilediği, BTP/Epoksi kompozitlerin makro resimlerdeki büyüyen hasar bölgelerinden de anlaşılır nitelikte olmuştur.
- Deniz suyunda korozyon süresinin artmasıyla delaminasyon hasarlarının arttığı ve nihai hasar olan elyaf kırılması hasarıyla sonuçlandığı görülmüştür.
- Delaminasyon hasarlarının artmasında NaCl'ün deniz suyunda çözünmüş halde bulunan iyonlarının su molekülleri vasıtasıyla kompozite nüfuz ederek

elyaf/matris arayüzeyini bozmasından ve elyaf yüzeylerinde hidroliz reaksiyonlara neden olmasından kaynaklandığı yorumlanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma İbrahim DEMİRCİ'nin yüksek lisans tez çalışmasından faydalanılarak hazırlanmış olup, sağladıkları alt yapı desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri (B.A.P) Koordinatörlüğüne ve Makine Mühendisliğine teşekkür edilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Demirci MT. The effects of SiO₂ nanoparticle addition on the fatigue behaviors of surface cracked and uncracked basalt fiber reinforced composite pipes, Ph. D. Thesis. Konya, Turkey: The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk University the Degree of Doctor of Philosophy in Metallurgical and Materials Engineering, 2015.
- [2] Demirci MT, Tarakçıoğlu N, Avcı A, Akdemir A, Demirci İ. Fracture toughness (Mode I) characterization of SiO₂ nanoparticle filled basalt/epoxy filament wound composite ring with split-disk test method, *Composites Part B* 2017; 119: 114-124.
- [3] Colombo C, Vergani L, Burman M. Static and fatigue characterization of new basalt fiber reinforced composites, *Composite Structure* 2012;94: 1165-74.
- [4] Povloski D, Mislavsky B, Antonov A. Cnc cylinder manufacturers test basalt fiber, *Reinf Plast* 2007:36-9.
- [5] Deak T, Czigan T. Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibers: a comparison, *Text Res J* 2009;79(7):645-51.
- [6] Czigan T. Basalt fiber reinforced hybrid polymer composites, *Mater Sci Forum*. 2005;473-474:59-64.
- [7] Wang X, Wu Z, Wu G, Zhu H, Zen F. Enhancement of basalt FRP by hybridization for long-span cable-stayed bridge, *Composites Part B* 2013;44:184-92.
- [8] Manikandan V, Jappes WJT, Kumar SSM, Amuthakkannan P. Investigation of the effect of surface modifications on the mechanical properties of basalt fibre reinforced polymer composites, *Composites Part B* 2012;43:812-8.
- [9] Wei B, Cao H, Song S. Degradation of basalt fibre and glass fibre/epoxy resin composites in seawater, *Corrosion Science* 2011; 53:426-431.

- [10] Kaybal H B. Production of CNT added carbon fiber reinforced epoxy nanocomposites and examination of drilling parameters, MSc Thesis, Konya, Turkey: The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk University the Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, 2015.
- [11] Liang Y, Zhao R X, Ding C F. Moisture absorption and mechanical degradation studies PMI foam cored fiber/epoxy resin sandwich composites. *International Journal of Engineering Research and Applications* 2015; 4(5):78-85.
- [12] <http://www.lenntech.com/composition-seawater.htm> [Ziyaret Tarihi: 6 Haziran 2002].