

# FARKLI ORTAM KOŞULLARINA MARUZ BIRAKILAN KOMPOZİT MALZEMENİN EĞİLME DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Ayla TEKİN\*, Ümran ESENDEMİR\*\*, Ayşe ÖNDÜRÜCÜ\*\*

\*Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu, Manisa

\*\*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Böl. Isparta

## ÖZET

Kompozit malzemeler uygulama alanı olarak farklı iklim koşullarında kullanıldıklarından çok büyük sıcaklık değişimlerine ve farklı ortam şartlarına maruz kalabilmektedir. Bu çalışmada, dört farklı ortam koşulunda bekletilen örgü cam elyaf takviyeli epoksi kompozitin eğilme davranışı incelenmiştir. Standartlara uygun olarak hazırlanan numuneler kullanılarak yapılan deneylerle farklı ortamlarda bekletilen malzemelere ait elastisite modülleri tespit edilmiştir. Dört farklı ortamda bekletilen numunelerin üç nokta eğme deneyi sonucu elde edilen sehim değerleri ve eğilme dayanımları karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen sehim değerlerinin teorik olarak hesaplanan sehim değerleri ile birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak; saf suda, deniz suyunda ve asitli suda bekletilen kompozit numunelerin yük taşıma kapasitesinin, oda sıcaklığı ortamında bekletilen numunelere göre daha düşük olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit malzeme, sehim, ortam şartları, üç nokta eğme deneyi

## EXPERIMENTAL AND THEORETICAL ANALYSIS BENDING BEHAVIORS OF COMPOSITE MATERIALS SUBJECTED TO DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS

### ABSTRACT

Composite materials can be exposed to very large temperature changes and different environmental conditions as they are used in different application areas and climates. In this study, bending behavior of epoxy composite material reinforced with meshed fiberglass held in four different environmental conditions was examined. Modules of elasticity of the materials held in different environments were determined with tests performed on samples prepared according to standards. Deflection values and bending strength obtained as a result of three-points bending tests held in four different environmental conditions, were compared. Deflection values from test results seems analogous with theoretically calculated deflection values. As a result of this experimental and numerical study, load carrying capacity of the composite samples held in pure water, sea water and acidic water was observed as lower than the ones that were held in room temperature conditions.

**Keywords:** Composite material, deflection, environmental conditions, three-points bending test

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler; malzeme bilimi, metalurji, kimya, katı mekaniği ve mühendislik uygulamalarında önemli rol oynamaktadır. Sudhir ve Shivukumar [1], E-cam fiber takviyeli kompozitlerin üç farklı matris oranı için çekme basma ve eğilme deneyi uygulayarak elde edilen verileri nümerik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Otomobil, uzay, deniz ve diğer ulaşım araçlarında kullanılan çoğu yapılar farklı yüklere maruz kalırlar. Bu yapılar, daha çok eğilme gerilmesine

maruzdur. Yapıların maruz kaldığı eğilme yükleri zamanla tehlikeli hasarlara neden olabilir. Eğilme yüküne maruz yapılarda nötr ekseninde gerilme sıfır olurken, en dış ve en iç fiberler maksimum eğilme gerilmesine maruz kalırlar. Bu nedenle, Rathnakar ve Shivanan, eğilme yükü altındaki fiber takviyeli kompozitlerin dayanım ve rijitliğini deneysel olarak araştırmışlardır [2]. Çoğu kompozitlerin uzun süreli statik dayanımı, daha düşük kısa süreli dayanımlarından çok daha önemlidir. Çünkü; bu uzun süreli statik dayanım uzun süre periyodunda belirli çevresel (örneğin hava, asit, deniz suyu ve ortam sıcaklığı vb.) etkilere maruz kalır. Malzemenin farklı ortamlara maruz kalması sonucunda malzemenin özelliklerinde bozulmalar meydana gelecek ve bu bozulmaların (kuvvet kaybı, asidik veya alkalın çözeltiler, sıcaklık vs.) etkisiyle sürünme kopması hızlanacaktır [3]. Manola ve arkadaşları [4] yaptıkları çalışmada, yapılandırılmış tabakalı fiber kompozit sandviç kirişlerin eğilme davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Belevi ve İnançer [5], karbon fiber, kevlar (aramid) ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerine darbe, sıcaklık, nem ve tuz gibi ortam şartlarının etkilerini incelemiştir. Ghafoori ve Motavalli [6] tarafından önerilmeli çelik takviyeli kirişlerin eğilme ve arayüzey davranışlarını incelemiştir. Kılıç ve arkadaşları [7], anizotropik elastisite teorisini kullanarak ortotropik ankastre kirişlerdeki eğilme ve kaymadan dolayı oluşan sehim denklemlerini analitik olarak bulmuşlardır. Esendemir [8], üçgen yayılı yüke maruz ankastre kirişlerdeki eğilme ve kaymadan dolayı oluşan sehim denklemlerini analitik olarak bulmuştur. Çalışma sonucunda kiriş boyu atıkça kayma etkisinin azaldığı ve hata oranı düştüğü görülmüştür. Üçgen yayılı yük için 45°lik oryantasyon açısında hata oranının en küçük olduğu görülmüştür. Oryantasyon açısı büyüdükçe toplam çökmenin küçüldüğü gözlenmiştir. Esendemir ve arkadaşları [9], üçgen yayılı yüke maruz basit mesnetli kirişlerdeki toplam sehim denklemlerini bulmuşlardır. Usal ve arkadaşları [10], her iki tarafından mesnetlenmiş uniform yayılı yüke maruz kompozit kirişin statik ve dinamik analizini yapmışlardır. Problem çözümünde polimer matriks ve termoplastik kompozit malzeme kullanılmıştır. Tagarielli ve arkadaşları [11], üç nokta eğilme deneyi ile her iki tarafından mesnetlenmiş sandviç kirişlerin çökmesini bulmuşlardır. Esendemir ve arkadaşları [12], serbest ucundan P yüküne maruz kompozit ankastre kirişin eğilme davranışını incelemiştir. Soğuk, sıcak, nemli, deniz suyu ve oda sıcaklığı olmak üzere 5 farklı ortamda bekletilen kompozit numunelerin maksimum eğilme gerilmeleri ve sehim değerleri deneysel ve teorik olarak bulunmuş ve karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, dört farklı ortam koşulunda bekletilen örgü cam elyaf takviyeli epoksi kompozitin eğilme davranışı incelenmiştir. ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerle farklı ortamlarda bekletilen malzemelere ait elastisite modülleri tespit edilmiştir. Dört farklı ortam koşulunda bekletilen numunelerin üç nokta eğme deneyi sonucu elde edilen sehim değerleri karşılaştırılmıştır.

## 2. GENEL FORMÜLASYONLAR

Anizotropik elastisite teorisinde düzlem gerilme durumunda gerilme–şekil değiştirme ifadesi [13];

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{16} \\ a_{12} & a_{22} & a_{26} \\ a_{16} & a_{26} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

(1)

olarak verilmektedir. Burada ,

$$\begin{aligned}
a_{11} &= S_{11}m^4 + (2S_{12} + S_{66})m^2n^2 + S_{22}n^4 \\
a_{12} &= S_{12}(n^4 + m^4) + (S_{11} + S_{22} - S_{66})n^2m^2 \\
a_{22} &= S_{11}n^4 + (2S_{12} + S_{66})n^2m^2 + S_{22}m^4 \\
a_{16} &= (2S_{11} - 2S_{12} - S_{66})nm^3 - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66})n^3m \\
a_{26} &= (2S_{11} - 2S_{12} - S_{66})n^3m - (2S_{22} - 2S_{12} - S_{66})m^3n \\
a_{66} &= 2(2S_{11} + 2S_{22} - 4S_{12} - S_{66})n^2m^2 + S_{66}(n^4 + m^4)
\end{aligned} \tag{2}$$

$$S_{11} = \frac{1}{E_1}, S_{12} = -\frac{\nu_{12}}{E_1}, S_{22} = \frac{1}{E_2}, S_{66} = \frac{1}{G_{12}}$$

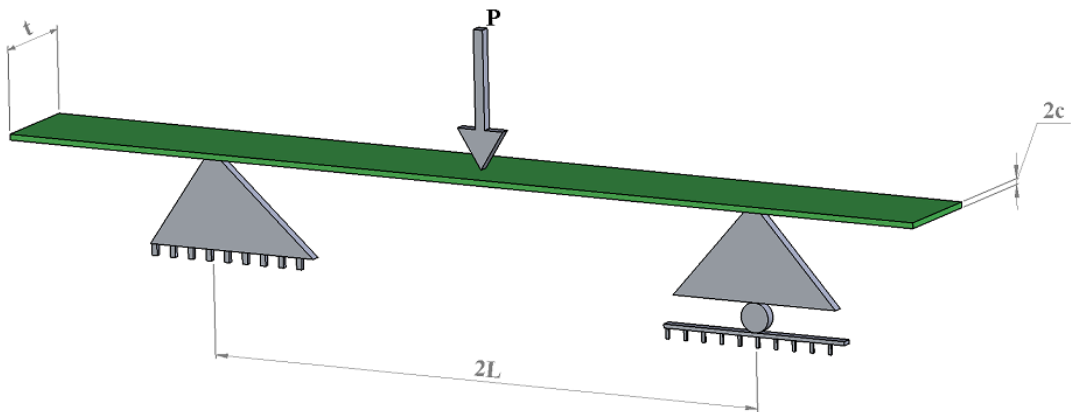
burada  $m = \cos \theta$ ,  $n = \sin \theta$  şeklindedir. Şekil değiştirme bileşenleri ise [14];

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \tag{3}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \tag{4}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \tag{5}$$

şeklindeğir. şekil 1' de her iki tarafından mesnetlenmiş orta noktasından P y¼k¼ne maruz kompozit kiriş verilmektedir.



şekil 1. Orta noktasından P y¼k¼ne maruz her iki tarafından mesnetlenmiş kiriş

Ortasından P yüküne maruz kiriş için gerilme denklemleri [15];

$$\sigma_x = \frac{3P}{4tc^3} \left( xy + ry^2 - \frac{rc^2}{3} \right)$$

(6)

$$\sigma_y = 0$$

(7)

$$\tau_{xy} = \frac{3P}{8tc^3} (c^2 - y^2)$$

(8)

$$r = \frac{a_{16}}{a_{11}}$$

şeklinde. Bu kiriş için genel sehim denklemi ve maksimum sehim denklemi aşağıdaki gibidir [16];

$$\delta = \frac{3P}{4tc^3} a_{12} \left( \frac{xy^2}{2} + \frac{ry^3}{3} - \frac{rc^2 y}{3} \right) + \frac{3P}{8tc^3} a_{26} \left( c^2 y - \frac{y^3}{3} \right) - \frac{3P}{24tc^3} a_{11} x^3 + \frac{3P}{8tc^3} a_{11} L^2 x$$

(9)

$$\delta_{\max} = \frac{P}{4tc^3} a_{11} L^3$$

(10)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, orta noktasından P yüküne maruz her iki tarafından mesnetlenmiş cam elyaf takviyeli epoksi örgü kompozit malzemenin eğilme davranışının incelenmesi için üç nokta eğme deneyi yapılmıştır. Farklı ortam koşullarında atmosfer şartlarında bekletilen kompozit numunelerin ortam ve bekletilme süreleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı ortam koşullarındaki kompozit malzemelerinin bekletilme süreleri

Deney grupları	Numunelerin bekletildiği ortamlar	Bekletme süresi
1	Oda sıcaklığı (22°C)	3 ay
2	Saf su	3 ay
3	Deniz suyu	3 ay
4	Asitli su (%30 HCL+%70 saf su)	2 ay

Deneylerde kullanılan numune kirişlerin genişliği  $t=25\text{mm}$ , yüksekliği  $2c=1.46\text{ mm}$ , uzunluğu  $250\text{ mm}$ 'dir. Verilen bu ölçülerde numuneler kesildikten sonra farklı ortamlarda belirli sürelerde bekletilmiştir (Tablo 1). Farklı ortamlarda bekletilen bu numunelerin elastisite modülleri  $100\text{kN}$  kapasiteli Instron-8801 çekme cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Kompozitin elastisite modülünün belirlenmesi

Farklı ortamlarda bekletilen numunelerin elastisite modülleri çekme deneyi sonucu elde edilerek Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı ortamlarda bekletilen kompozit numunelerin mekanik özellikleri

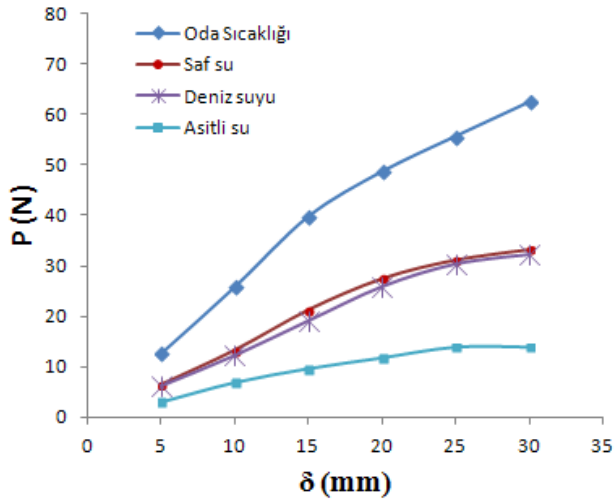
Oda sıcaklığında bekletilen numune		Saf suda bekletilen numune		Deniz suyunda bekletilen numune		Asitli suda bekletilen numune	
$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)	$E_1$ (MPa)	$E_2$ (MPa)
28354	28354	14103	14103	13660	13660	6210	6210

Tablo 2'den görüleceği üzere oda sıcaklığında bekletilen numunenin elastisite modülüne göre farklı ortamlarda bekletilen numunelerin elastisite modüllerinin değiştiği ve değerinin düştüğü gözlenmiştir. Elastisite modülleri belirlenen kompozit malzemelerden hazırlanan numunelere ayrıca üç nokta eğme deneyi uygulanmıştır. Eğme deneyinde mesnetler arası mesafe  $2L=150\text{mm}$  olarak alınmıştır. Her bir grup için üç adet deney yapılmıştır ve elde edilen sonuçların ortalaması alınarak maksimum sehim değerleri elde edilmiştir. Şekil 3'te kompozit numuneye üç nokta eğme deneyinin uygulanışı görülmektedir.



Şekil 3. Kompozit numuneye eğme deneyinin uygulanışı

Farklı ortam koşullarında bekletilen dört grup malzeme için eğme deneyi esnasında elde edilen kuvvet – sehim değerleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Farklı ortamlarda bekletilen numunelerin eğme deneyi sonucu elde edilen sehim değerleri

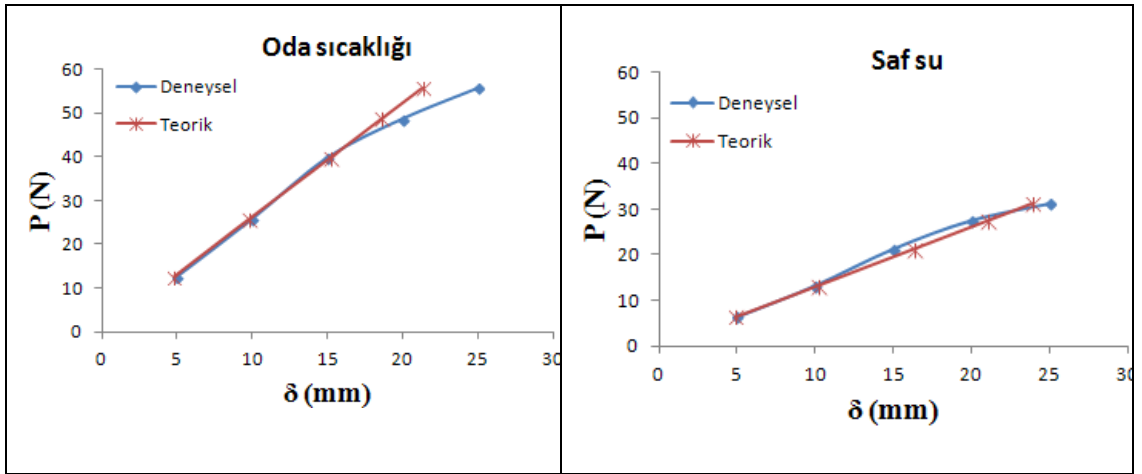
Şekil 4’ten görüldüğü üzere kuvvet arttıkça bütün gruplar için sehim değerlerinin arttığı görülmektedir. Asitli suda bekletilen numunenin diğer ortamlarda bekletilen numunelere nazaran daha az kuvvet taşıdığı gözlenmiştir. Saf su ve deniz suyunda bekletilen numunelerin sehim değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı görülmektedir. Saf su, deniz suyu ve asitli suda bekletilen numunelerin sehim değerlerinin oda sıcaklığında bekletilen numunelerin sehim değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

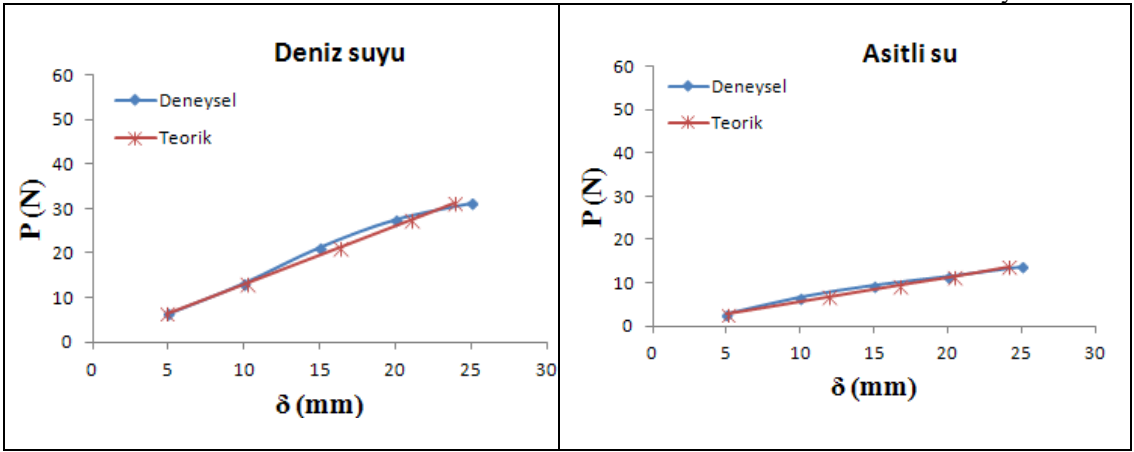
Herbir grup için teorik sehim değerleri denklem (10) kullanılarak hesaplanmıştır. Atmosfer şartlarında bekletilen numunenin deneysel ve teorik sehim değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Bu tablodan deneysel ve teorik sehim değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı gözlenmektedir.

Tablo 3. Atmosfer şartlarında bekletilen numunenin deneysel ve teorik sehim değerleri

Kuvvet (P) [N]	<b>Deneysel</b>	<b>Teorik</b>
	Sehim ( $\delta$ ) [mm]	Sehim ( $\delta$ ) [mm]
12,7	5	4,8
25,9	10	9,8
39,9	15	15,2
48,8	20	18,6
55,8	25	21,3
62,6	30	23,8

Şekil 5'te farklı ortamlarda bekletilen numunelerin deneysel ve teorik sehim değerlerinin karşılaştırılması grafikler halinde verilmiştir. Tüm grafiklerde deneysel ve teorik sehim değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.





Şekil 5. Farklı ortamlarda bekletilen numunelerin deneysel ve teorik sehim değerlerinin karşılaştırılması

Farklı ortamlarda bekletilen numunelerin eğilme gerilmesi değerleri denklem (6) kullanılarak hesaplanmış ve değerleri Tablo 4' te verilmiştir.

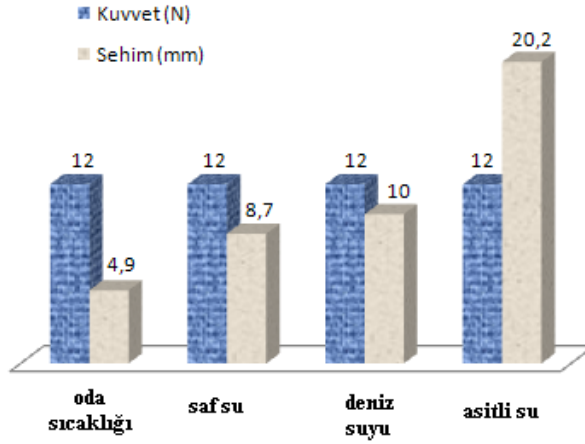
Tablo 4. Farklı ortam koşullarındaki numunenin sehim - eğilme gerilmesi değerleri

Oda sıcaklığı		Saf su		Deniz suyu		Asitli su	
Sehim (mm)	Gerilme (MPa)	Sehim (mm)	Gerilme (MPa)	Sehim (mm)	Gerilme (MPa)	Sehim (mm)	Gerilme (MPa)
5	53,62	5	26,81	5	26,17	5	12,24
10	109,35	10	55,73	10	51,93	10	28,66
15	168,46	15	89,50	15	81,10	15	40,32
20	206,00	20	115,68	20	109,81	20	49,31
25	236,00	25	131,30	25	128,77	25	58,26
30	264,30	30	140,08	30	136,79	30	59,53

Tablo 4'te örneğin 20mm sehim değeri için gerilme değeri oda sıcaklığında 206MPa iken bu değer sırasıyla saf suda 115.68MPa, deniz suyunda 109,81MPa ve asitli suda 49,31MPa'dır. Bu tablo'dan görüleceği üzere saf suda, deniz suyunda ve asitli suda bekletilen numunelerin eğme dayanımları oda sıcaklığında bekletilen numunelere göre daha düşüktür. Bu sonuç literatürle uyum içindedir. Mühendislik malzemelerinin eğme dayanımı ile çekme dayanımı arasında bir ilişki mevcuttur ( $\sigma_{eg} > R_m$ ). Mourad ve arkadaşları da yaptıkları çalışmada [17], cam/epoksi ve cam/poliüretan kompozit malzemeleri deniz suyunda bir yıl belettikten sonra kompozitlerin çekme dayanımlarında %19 oranında bir azalma olduğunu belirtmişlerdir.



Aynı P yüküne maruz farklı ortamlarda bekletilen numunelere ait sehîm değerleri Şekil 6'da grafik halinde verilmiştir.



Şekil 6. Aynı P yüküne maruz farklı ortamlarda bekletilen numunelere ait sehîm değerleri

Bu grafikten, aynı P yükünde farklı ortamlarda bekletilen numunelerin sehîm değerlerinin, oda sıcaklığında bekletilen numunenin sehîm değerinden daha büyük olduğu görölmektedir. Dolayısıyla numunelerin yük taşıma kapasiteleri azalmıŐtır. Örneğin, asitli suda bekletilen numunelerin renginin değiştiği ve çok fazla sehîm gösterdiği görölmüŐtür. Bu numunelerde asitli suyun etkisiyle malzemede ki liflerin zayıflaması ve matris malzemede kimyasal bozulmanın oluŐması sonucu çok fazla sehîm oluŐtuęu sonucuna varılmıŐtır. İlave olarak bu numunelerde geri dönüŐü olmayan Şekil deęiŐtirmeler gözlenmiştir. Metalik malzemelerdeki plastik deformasyona benzer bir durumun ortaya çıkması, kompozit malzemelerde görölmeyen bu davranıŐ, matris malzemede önemli bozulmaların olduğu sonucunu düŐündürmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dört farklı ortamda bekletilen cam elyaf örgü kompozit malzemenin eğme davranışı deneysel ve teorik olarak incelenmiŐ ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Farklı ortamlarda bekletilen numunelerin deneysel ve teorik olarak elde edilen sehîm değerleri birbirine yakın olarak elde edilmiştir.

- Saf suda bekletilen numunenin yük taşıma kapasitesi, oda sıcaklığında bekletilen numuneye göre ortalama %46.72 oranında düşmüştür.
- Deniz suyunda bekletilen numunenin yük taşıma kapasitesi, oda sıcaklığında bekletilen numuneye göre ortalama %49.49 oranında düşmüştür.
- Asitli suda bekletilen numunenin yük taşıma kapasitesi, oda sıcaklığında bekletilen numuneye göre ortalama %75.56 oranında düşmüştür.
- Tüm deney grupları için uygulanan yük arttıkça sehim değerleri beklendiği gibi artmaktadır. Ancak P=sabit bir değer için sehim değerlerinin normal atmosfer şartlarında bekletilen malzemelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla s asitli su, deniz suyu ve saf suda bekletme halinde hızla düşmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Sudhir S. Mathapati, Shivukumar S. Mathapati, 2015. Testing and analysis of mechanical properties of E-glass fiber reinforced epoxy polymer composites. International Journal of Research and Innovations in Science&Technology, 2(1), 46-52.
- [2] Rathnakar, G., Shivanan, H.K., 2013. Experimental evaluation of strength and stiffness of fibre reinforced composites under flexural loading. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), 2 (7), 219-222.
- [3] Almusallam, T., Al-Salloum, Y. , Alsayed, S. , Alhozaimy. A., 2002. Durability of GFRP rebars in stressed concrete beams at different environments. 6th Saudi Eng Conf, KFUPM, Dhahran, 3,263-276.
- [4] Manalo, A.C., Aravinthan, T., Karunasena ,W., 2010. Flexural behaviour of glue-laminated fibre composite sandwich beams. Composite Structures, 92, 2703-2711.
- [5] Belevi, M., İnançer, G., 2008. Darbe ve ortam şartlarının kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkileri. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4,19-31.
- [6] Ghafoori, E., Motavalli, M., 2013. Flexural and interfacial behavior of metallic beams strengthened by prestressed bonded plates, Composite Structures. 101, 22–34.
- [7] Kılıç, O., Aktaş, A., Dirikolu, M.H., 2001. An investigating of the effects of shear on the deflection of an orthotropic cantilever beam by use of anisotropic elasticity theory. Composites Science and Technology, 61, 2055-2061.
- [8] Esendemir, Ü., 2005. The effects of shear on the deflection of linearly loaded composite cantilever beam. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 24(11), 1159-1168.
- [9] Esendemir, Ü., Usal, M.R., Usal, M., 2006. The effects of shear on the deflection of simply supported composite beam loaded linearly. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 25(8), 835-846.
- [10] Usal, M.R., Esendemir, Ü., Usal, M., 2008. Static and dynamic analysis of simply supported

C.B.Ü. Soma MYO Tek. Bil. Der. 2016 – Sayı 21 Cilt I  
beams. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27(3), 263-276.

[11] Tagarielli, V.L., Fleck, N.A, Deshpande, V.S., 2004. Collapse of clamped and simply supported composite sandwich beams in three-point bending. *Composites: Part B*, 35, 523–534.

[12] Esendemir, Ü., Durak, E., Tunay, R.F. Usal, M.R., 2015. Flexure behavior of composite cantilevers subjected to different environmental conditions. *Materials Testing*, 57, 227-233.

[13] Lekhnitskii, S.G., 1981. *Theory of Elasticity of an Anisotropic Body*. Mir Publishers, Moscow.

[14] Jones, R.M., 1975. *Mechanics of Composite Materials*, Mcgraw-Hill, Kogakusha, Tokyo.

[15] Esendemir, Ü., 2004. An elastic-plastic stress analysis in a polymer-matrix composite beam of arbitrary orientation supported from two ends acted upon with a force at the mid point. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23(6), 613-623.

[16] Esendemir, Ü., 2009. Derivation of equations for flexure and shear deflections of simply supported beams. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 15(2), 187-193.

[17] Mourad, A.H.I., Abdel-Magid, B.M. El-Maaddawy, T. Grami M.E., 2010. Effect of seawater and warm environment on glass/epoxy and glass/polyurethane composites. *Applied Composite Materials*, 17,557-573.