

Hibrit Kompozit Plakaların Farklı Çevresel Koşullarda Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi¹

Hüseyin Fırat KAYIRAN²

Ayşe ÖNDÜRÜCÜ³

Özet: Bu çalışmada, hibrit kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin farklı ortam koşullarında davranışları araştırılarak literatüre katkı olması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada Karbon, E-cam ve aramid fiberlerin farklı kombinasyonları uygulanarak tabakalı hibrit kompozit plakalar üretilerek, belirlenen süre içerisinde oda koşulları, soğutucu ve Akdeniz suyuna maruz bırakılmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda elastisite modülü ve kopma mukavemetleri belirlenen hibrit kompozit plakaların mekanik davranışlarını nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, mekanik özelliklerin soğuk ortamda, oda koşullarına göre daha fazla olduğu, deniz suyunda bırakılan numunelerin mekanik özelliklerinin ise oda koşullarına göre daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hibrit kompozit plaka, Elastisite modülü, Soğuk ortam etkisi, Deniz suyu etkisi, farklı ortam şartları, Kopma mukavemeti

Determination of Mechanical Properties of Hybrid Composite Plates Under Different Environmental Conditions

Abstract: In this study, it was aimed to contribute to the literature by investigating the behavior of the mechanical properties of hybrid composite materials under different ambient conditions. In the study, different combinations of carbon, E-glass and aramid fibers were applied and the hybrid composite plates were produced, and they were exposed to room conditions, coolant and Mediterranean water within the specified period. As a result of the experiments, it was investigated how the modulus of elasticity and the hybrid composite plates whose rupture strengths were determined affect the mechanical behavior. As a result of the study, it was concluded that the mechanical properties were higher in cold environment than the room conditions and the mechanical properties of the samples left in the sea water were lower than the room conditions.

Keywords: Hybrid composite plate, Elasticity module, Cold environment effect, Sea water effect, different environmental conditions, Tensile strength

¹ Bu çalışma 1.Uluslararası Mersin Sempozyumundaki (01-03 Kasım 2018) tarihinde Mersin'de gerçekleşen sözlü sunum olarak sunulan '*Farklı Ortam Kosullarının Hibrit Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi*' adlı çalışma referans alınarak hazırlanmıştır.

² Dr., Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, Mersin İl Koordinatörlüğü, huseyinfirat@tkdk.gov.tr

³ Prof. Dr., Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik Anabilim Dalı, ayseondurucu@sdu.edu.tr

GİRİŞ

Bilim adamları, kompozit malzemelerin özellikle son yıllardaki gelişimine oldukça önem vermişlerdir. Mühendislik uygulamalarında günümüzde tercih edilen kompozit malzemeler yapı ve makine elamanları seçiminde, üstün mukavemet, rijitlik ve stabilite durumlarındaki avantajları ile tercih edilmektedirler. Kompozit malzemeler günümüz teknolojisinde oldukça önemlidir. Kompozit malzemelerin çatısı altında olan hibrit kompozitler, iki veya daha fazla farklı fiber takviyesinin aynı matris içinde bulunduğu kompozit malzeme grubu olarak adlandırılabilirler.

Kompozit malzemelerin üstün balistik özellikleri, düşük yoğunluk, hafiflik ve kimyasallara karşı üstün dayanımlarından dolayı zırh, silah, roket ve mühimmat üretimi, insansız hava sahası araçları, heronlar ve milli savunma bakanlığı projelerinde sıkça kullanılmaktadırlar. Öndürücü (2012), pim bağlantılı örgü cam epoksi prepreglerin dayanımları üzerine deniz suyunun etkisini araştırmıştır. Deniz suyunda bekletilen deney numunelerinin mukavemetlerinin kuru numunelerin mukavemetlerine göre daha az olduğu sonucuna ulaşmıştır. Yapılan literatür incelemesinde; kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesiyle ilgili çalışmaların olduğu görülmüştür. Örneğin; Tabakalı hibrit kompozit malzemelerin mekanik özellikleri oda koşullarında incelenmiştir Ünal vd, (2018), tabakalı kompozit numunelerin çekme ve eğilme yükleri altında mekanik davranışı üzerine nanokil ilavesinin etkilerini araştırmışlardır. Nanokil ilavesi ile çekme ve eğme dayanımının pozitif olarak arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Okutan ve Karakuzu (2003), E-cam ve epoksiden oluşan hibrit kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Kayıran (2018) yapmış olduğu bir çalışmada, farklı çevresel koşullara maruz bırakılan hibrit kompozit malzemelerin burkulma davranışlarını araştırmıştır. Deniz suyunda bekletilen malzemelerin burkulma yüklerinin oda koşullarına göre daha az olduğu belirlenmiştir. Soğuk ortamda bekletilen malzemelerin burkulma yüklerinin ise oda koşullarına göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşmıştır. Öndürücü ve Kayıran (2018), yapmış oldukları diğer bir çalışmada, hibrit kompozit kirişlerin yanal burkulma davranışlarına soğuk ortamın etkisini araştırmışlardır. Öndürücü ve Kayıran, (2019), bir başka çalışmada Deniz suyunun hibrit kompozit plakaların burkulma davranışına etkisini araştırmışlardır. Deniz suyunda bekletilen malzemelerin burkulma dayanımının oda koşullarına göre daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Abdel (2019), deniz suyu ortamındaki kompozitlerin malzemelerin dayanıklılığını araştırmışlardır. Sathishkumar vd, (2014), hibrit elyaf takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Altan (2009) tarafından farklı sıcaklıklara maruz bırakılan kompozit malzemelerde sıcaklığın artmasıyla mekanik özelliklerinin değiştiği sonucuna ulaşmıştır. Boukhoula ve Adda-Bedia, (2006), kompozit malzemelerde fiber açısının nem tutma ve malzemede meydana gelen bozunmaları incelemişlerdir. Gu (2009) yapmış olduğu çalışmada, deniz suyunda bekletilen cam ve polyesterden oluşan kompozitlerin mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Deniz suyuna konulan numunelerin deniz suyunda kalma sürelerinin artması ile deformasyonların meydana geldiği sonucuna ulaşmıştır. Yadagiri vd, (2020), Hindistan cevizi-karbon fiber takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. elde ettikleri sonuçları literatür ile paylaşmışlardır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Kompozit malzemelerin kullanım şartlarına göre farklı çevresel koşullara maruz kaldığı aşıkardır. Çalışmada kullanılan tabakalı hibrit kompozit plakaların üretimi Fibermak Mühendislik firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile farklı ortam koşullarının hibrit kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada; fiber karbon dimi, E-cam dimi ve aramid dimi ve matris olarak da epoksi reçine kullanılmıştır. 12

tabakalı olarak üretilen hibrit kompozit plakalar 90 gün oda koşullarında, 90 gün soğutucuda (-18 °C), 90 gün Akdeniz suyu, 150 gün soğutucuda (-18 °C) ve 150 gün Akdeniz suyuna maruz bırakıldıktan sonra; numunelerin E_1 elastisite modülleri ve kopma mukavemetleri belirlenmiştir. Hibrit kompozitler, simetrik $[(0/90)_3]_s$ ve simetrik olmayan $[(0/90)_3]_{as}$ istif açılarında dizayn edilmiştir. Plakalar 400mm x 400mm boyutlarında üretilmiştir. Üretilen hibrit kompozit plakalar 20mmx200mm ölçülerinde kesme makinesi yardımıyla numune kesimi yapılmıştır. Hibrit kompozit plakaların mekanik davranışlarına farklı ortam şartlarının etkisini araştırmak için numuneler gruplara ayrılarak, oda koşulları, Akdeniz suyu ve soğutucu ortamlarında önceden belirlenen sürelerde maruz bırakılmışlardır Tablo 1.'de bu çalışma için belirlenen farklı ortam koşulları ve farklı ortamlardaki bekleme süreleri yer almaktadır.

Tablo 1. Farklı ortam koşulları ve bekleme süreleri

Belirlenen Gruplar ve Bekleme Süreleri				
1.grup	2.grup	3.grup	4.grup	5.grup
Oda koşulları-90 gün	Akdeniz suyu-90 gün	Soğutucu (-18 °C)-90 gün	Akdeniz suyu-150 gün	Soğutucu (-18 °C)-150 gün

Numunelerin farklı ortam koşullarındaki bekleme süreleri tamamlandıktan hemen sonra mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çekme deneyleri yapılmıştır. 12 tabakalı hibrit kompozit plakalar sıcak presleme yöntemiyle imal edilmiştir. Hibrit kompozit malzemelerin üretiminde fiber olarak dimi (twill) dokuma karbon, dimi (twill) dokuma E-cam, dimi (twill) dokuma aramid olmak üzere üç farklı fiber ve matris malzemesi olarak da Araldite LY1564 / Aradur 3486 epoksi reçine sistemi kullanılmıştır. Hibrit kompozit malzemede kullanılan fiberlerin genel özellikleri Tablo 2.'de, hibrit kompozitlerin kısa gösterimleri ve dizilim açıları ise Tablo 3.'te verilmiştir.

Tablo 2. Hibrit kompozit malzemede kullanılan fiberlerin genel özellikleri

Fiberler	Ağırlık (g/m ²)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Şekil değiştirme oranı (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Karbon	245	3800	240	1.60	1.78
E-Cam	300	2306	81.50	2.97	2.58
Aramid	300	3000	112	2.40	1.44

Tablo 3. Hibrit kompozitlerin oryantasyon açıları ve istifleme dizilimleri

Konfigürasyonlar	İstifleme dizilimi	Malzeme dizilim açıları
C ₁₂	$[(0/90)_3]_s$	$[0_c/90_c/0_c/90_c/0_c/90_c]_s$
CG	$[(0/90)_3]_s$	$[0_c/90_c/0_G/90_G/0_c/90_c]_s$
CAG	$[(0/90)_3]_s$	$[0_c/90_c/0_A/90_A/0_G/90_G]_s$
CAG*	$[(0/90)_3]_{as}$	$[0_c/90_c/0_A/90_A/0_G/90_G/0_c/90_c/0_A/90_A/0_G/90_G]$
GAC	$[(0/90)_3]_s$	$[0_G/90_G/0_A/90_A/0_c/90_c]_s$

Tablo 3'de C: Karbon fiber A: Aramid fiber, G: Cam fiber, s: Simetrik, as: Antisimetrik istifleme dizilimini ve *: antisimetrik konfigürasyonu ifade etmektedir.

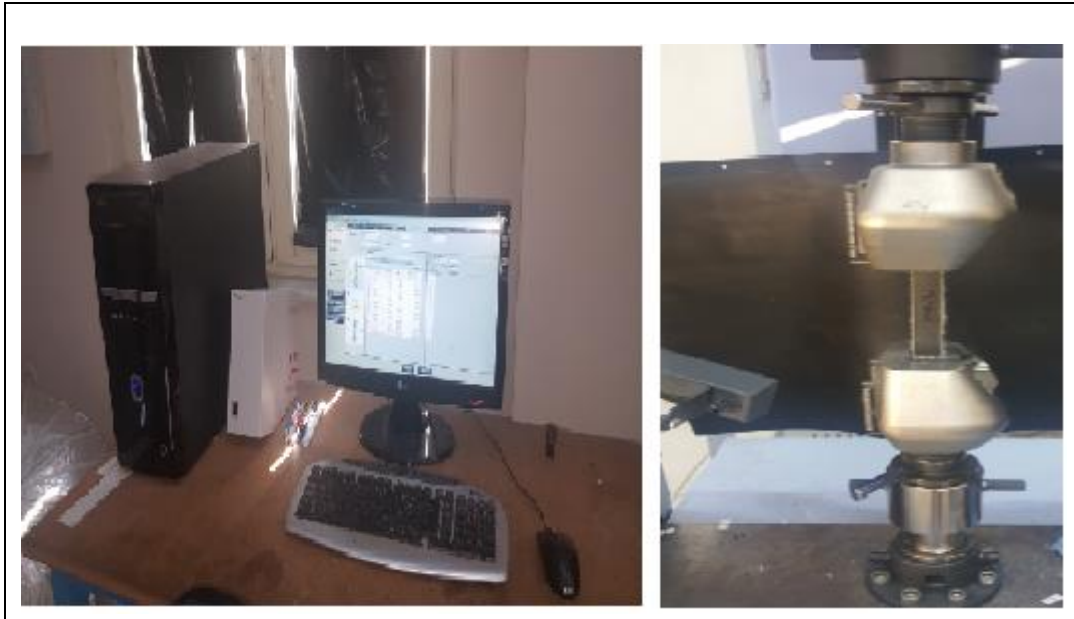
Hibrit Kompozit Plakaların Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Şekil 1’de çekme deneyinde kullanılan hibrit kompozit plakalar verilmiştir.



Şekil 1. Hibrit kompozit deney numuneleri

Hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde Test cihazı ± 100 kN yük kapasitesinde olan Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Shimadzu AG-X çekme test cihazı kullanılmıştır (Şekil 2). Deney numunelerine oda sıcaklığında 2 mm/dk hız ile yük uygulanarak ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanan deney numunelerinin mekanik özellikleri elde edilmiştir.



Şekil 2. Deneyler için kullanılan çekme test cihazı

BULGULAR

Deney numunelerinin mekanik özellikleri belirlenmeden önce hassas terazi ile tartılarak ortalama nem tutma oranları belirlenmiştir. Deney numunelerinin ortalama nem tutma oranları Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4. Hibrit kompozit numunelerin nem oranları

Ortam Koşulları	Nemlilik oranları (%)				
	C ₁₂	CG	CAG	CAG*	GAC
Soğuk ortam ⁹⁰	5,550	2,560	34,62	4,350	1,160
Soğuk ortam ¹⁵⁰	12,11	5,290	38,54	7,250	3,650
Akdeniz suyu ⁹⁰	16,66	10,25	56,62	8,630	14,81
Akdeniz suyu ¹⁵⁰	30,00	19,53	64,60	13,40	16,22

Her bir deney için 3'er adet numune kullanılmış olup elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Çekme deneyi sonucunda her bir grup numune için elde edilen E₁ elastisite modülleri Tablo 5.'te, her bir grup numune için elde edilen kopma mukavemetleri ise Tablo 6.'da yer almaktadır.

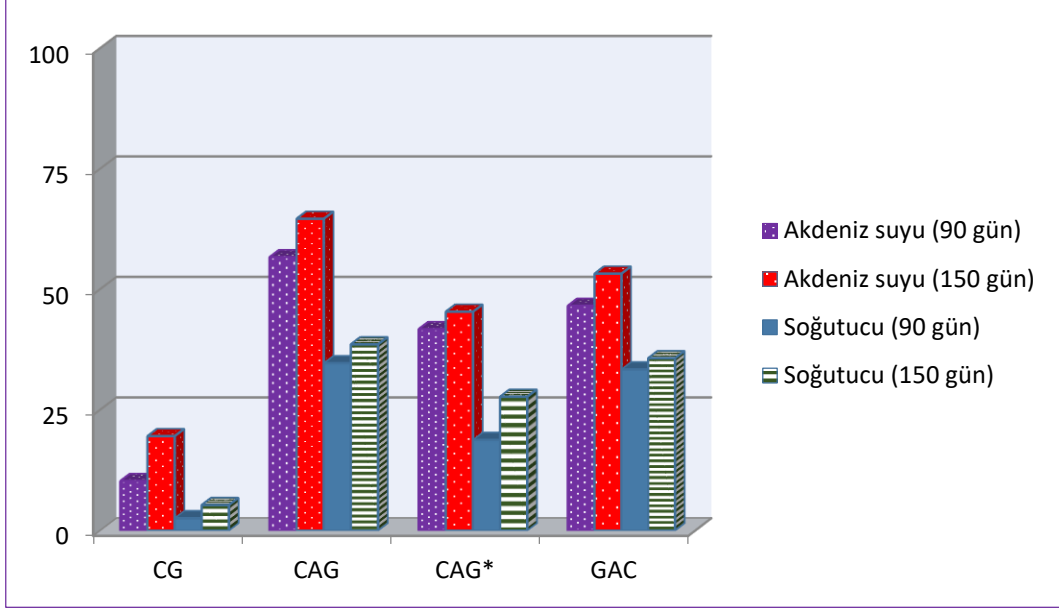
Tablo 5. Hibrit kompozit numunelerin E₁ elastisite modülleri

Malzemeler	E ₁ elastisite modülleri (GPa)				
	Oda koşulları	Soğuk ortam ⁹⁰	Soğuk ortam ¹⁵⁰	Akdeniz suyu ⁹⁰	Akdeniz suyu ¹⁵⁰
C ₁₂	68,64	72,15	75,83	60,99	59,02
CG	50,70	55,62	66,10	43,21	40,96
CAG	39,47	42,50	41,47	35,49	33,64
CAG*	38,59	40,62	42,39	35,27	34,11
GAC	35,08	37,87	39,75	31,61	26,62

Tablo 6. Hibrit kompozit numunelerin kopma mukavemetleri

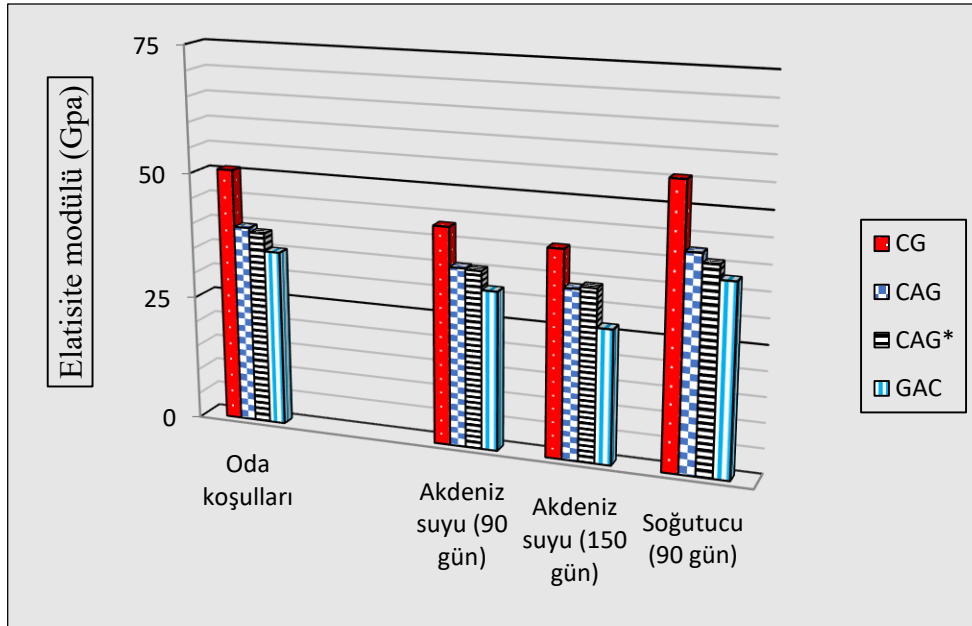
Malzemeler	Kopma mukavemeti (MPa)				
	Oda koşulları	Soğuk ortam ⁹⁰	Soğuk ortam ¹⁵⁰	Akdeniz suyu ⁹⁰	Akdeniz suyu ¹⁵⁰
C ₁₂	882,45	927,60	974,89	784,10	758,78
CG	651,81	715,08	849,80	555,52	526,59
CAG	507,43	546,40	533,15	456,27	432,48
CAG*	496,13	522,23	544,99	453,45	438,54
GAC	451,01	486,88	511,05	406,38	342,23

Şekil 3'te bütün ortamlar için hibrit kompozit malzemelerin nem oranları verilmiştir.



Şekil 3. Hibrit kompozit numunelerin (%) nem oranları

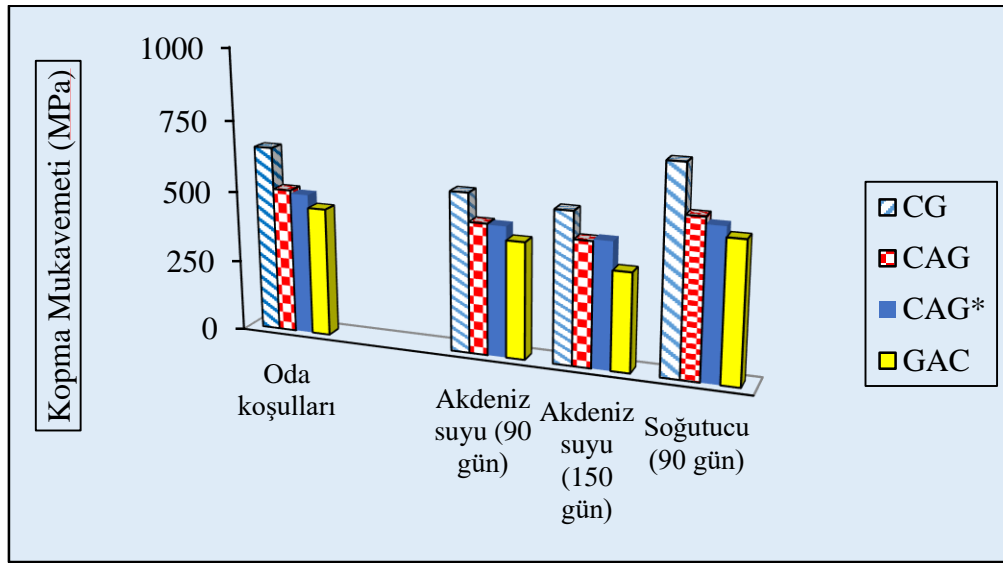
Şekil 3’de Akdeniz suyunda bekletilen numunelerden CAG’nin en yüksek nem oranına sahip olduğu belirlenmiştir. 90 gün soğutucuda bekletilen numunelerden CG’nin ise en düşük nem oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Diğer numunelerin nem oranlarının ise ortamlara göre farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 3). Şekil 4’de 90 gün soğutucuda bekletilen hibrit kompozit numunelerin E_1 elastisite modülü verilmiştir.



Şekil 4. Hibrit kompozit numunelerin E_1 elastisite modülleri

Soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit numunelerin E_1 elastisite modüllerinin diğer ortamlarda bekletilen numunelerin E_1 elastisite modüllerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit numunelerin E_1 elastisite modüllerinin ise diğer ortamlarda bekletilen hibrit kompozit numunelerin E_1 elastisite modüllerinden daha az olduğu görülmektedir. 150 gün soğutucuda bekletilen CG’nin elastisite modülünün en yüksek olduğu, 150 gün Akdeniz suyunda bekletilen GAC’ın

ise en düşük elastisite modülüne sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 5’de hibrit kompozit numunelerin kopma mukavemetleri verilmiştir.



Şekil 5. Hibrit kompozit numunelerin kopma mukavemetleri

Şekil 6’da tüm ortamlar için CG’nin kopma mukavemeti en yüksek olduğu GAC’nin kopma mukavemeti ise en düşük olduğu görülmektedir. Soğuk ortamda bekletilen hibrit numunelere ait kopma mukavemetlerinin diğer ortamlara göre daha fazla olduğu, deniz suyunda bekletilen hibrit numunelere ait kopma mukavemetlerinin ise diğer ortamlara göre daha az olduğu görülmektedir. Yapılan bu çalışmada elde edilen bulgular literatür ile desteklenmektedir. en iyi mekanik özellik değerlerinin kuru haldeki numuneler için elde edildiği ve malzemelerin deniz suyu içerisinde kalma süreleri arttıkça mekanik özelliklerinde genel olarak azalmaların meydana geldiği belirlenmiştir. Örneğin; yapmış olduğu çalışmada deniz suyuna konulan numunelerin deniz suyunda kalma sürelerinin artması ile hem matris hem de ara yüzeylerinde bozulmalar görüldüğü sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan bu çalışmada da benzer bir sonuç elde edilmiştir (Gu, 2009; Mourad vd.,2010; Örçen ve Gür, 2011; Abdurrohman ve Adhitya, 2019). Yapılan bir çalışmada benzer olarak, statik yük altındaki farklı oryantasyon açlarına sahip tek yönlü cam fiber takviyeli polimer kompozitlerin farklı sıcaklıklardaki (25°C, -20°C ve -60°C) mekanik davranışları incelenmiştir. Sıcaklığın düşmesiyle kompozitin çekme ve basma dayanımlarının arttığı,. çekme yükleri altında sıcaklık -60°C’a kadar azaldığında boylamasına dayanımın %12 artış gösterdiği, basma yükleri altında ise sıcaklığın azalmasıyla boylamasına basma dayanımının %28, enine basma dayanımının %50 arttığı sonucuna varılmıştır (Torabizadeh, 2013)

Kompozit malzeme uzun süre nemli ortamda bulunması sonucu su emdiği, kompozit malzemede şişme ve kalıcı şekil değiştirmeler olduğu, fiber matris arasına yerleşen tuzlu suyun korozyon etkisi nedeniyle matriste mikro bozunmalar, fiber-matrislerin ara yüzeyinde zayıflamalar oluştuğundan mekanik özelliklerde düşüş meydana gelebileceği kanaatine varılmıştır.

SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, 12 tabakalı hibrit kompozit plakaların mekanik davranışı üzerine farklı çevresel koşulların, farklı fiberlerin (karbon, E-cam, aramid) ve farklı oryantasyon açılarının mekanik özellikler üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Hibrit kompozit malzemelerin İstifleme diziliminin, farklı fiber ve oryantasyon açılarının mekanik özellikleri etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.
- Soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin, oda koşullarında bekletilen malzemelerin E_1 elastisite modüllerinin ve kopma mukavemetlerine nazaran daha fazla olduğu, deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit numunelerin oda koşullarında bekletilen numunelere göre E_1 elastisite modüllerinin ve kopma mukavemetinin daha az olduğu sonucuna varılmıştır.
- Tüm çevresel koşulları için; en yüksek mekanik özelliklerin 150 gün soğutucuda bekletilen numunelerde ortaya çıktığı, en düşük mekanik özelliklerin ise 150 gün Akdeniz suyunda bekletilen numunelerde olduğu belirlenmiştir.
- Hibrit kompozit numunelerden; simetrik dizilişli malzemelerin E_1 elastisite modülünün antisimetrik dizilişli malzemelerin E_1 elastisite modülüne göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.
- Nemin ve tuzlu suyun hibrit kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini ve dayanımını olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abdel, B.M.A.M, Mourad, A.H, Idrisi, A.H, Wrage, M.C. (2019). *Longterm durability of thermoset composites in seawater environment*. Composites Part B, 168, pp. 243–253.
- Abdurohman, K, Adhitya, M. (2019). *Effect of water and seawater on mechanical properties of fiber reinforced polymer composites: a review for amphibious*. ISAIM 2019, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 694-012035.
- Altan, M.F., Kartal M.E. (2009). *Investigation of buckling behavior of laminated reinforced concrete plates with central rectangular hole using finite element method*. Material Design, 30, 2243–2249.
- Boukhoulda BF, Adda-Bedia E, Madani K. (2006). *The effect of fiber orientation angle in composite materials on moisture absorption and material degradation after hygrothermal ageing*. Compos Structure. 74:406–18.
- Fibermak Composites, (2018). Erişim tarihi: 15.9.2018. Erişim adresi: <http://www.fibermakcomposites.com>
- Gu, H. (2009). *Behaviours of glass fiber-unsaturated polyester composites under seawater environment*. Materials and Design 30, 1337-1340.
- Kayıran, H.F. (2018). *Farklı ortam koşullarına maruz hibrit kompozit plakalarda burkulma davranışının incelenmesi*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 139, Isparta.
- Mourad, A. H. I., Magid, B. M. A., Maaddawy, T. E. Grami, M. E. (2010). *Effect of seawater and warm environment on glass/epoxy and glass/polyurethane composites*. Applied Composite Materials, 17, 557-573.
- Okutan, B., Karakuzu, R., (2003). *The Strength of Pinned Joints in Laminated Composites*. Composites Science and Technology, 63, 893–905.
- Öndürücü, A. (2012). *The effects of seawater immersion on the bearing strength of woven glass-epoxy prepreg pin-loaded joints*. International Journal of Damage Mechanics, 21, 153-170.
- Örçen, G., Gür, M. (2011). *Cam fiber takviyeli dokuma epoksi kompozit prepreglerin mekanik özellikleri üzerinde çevre şartlarının etkisi*. 18. Ulusal Mekanik Kongresi, Fırat Üniversitesi, 1-10, Elazığ.

- Öndürücü, A., Kayıran, H.F., (2018). *Hibrit Kompozit Kirişlerin Yanal Burkulma Davranışlarına Soğuk Ortamın Etkisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 22, Özel Sayı, 156-164.
- Öndürücü, A., Kayıran, H.F., (2019). *Effect of Seawater on the Buckling Behavior of Hybrid Composite Plates*. Journal of Composite Materials, 53 (9), 1135-1144.
- Sathishkumar, T.P,Naveen, J.Satheeshkumar,S. (2014).*Hybrid fiber reinforced polymer composites – a review*.Journal of Reinforced Plastics and Composites.<https://doi.org/10.1177/0731684413516393>, Research Article, 33;5.
- Torabizadeh, M. A. (2013). *Tensile, compressive and shear properties of unidirectional glass-epoxy composites subjected to mechanical loading and low temperature services*. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 20, 299-309.
- Ünal, H. Y., Öner, G., Pekbey, Y. (2018). *Comparison of the experimental mechanical properties and DMA Measurement of Nanoclay*. Hybrid Composites. European Mechanical Science, 2-1, 31-36
- Yadagiri, N.Naresh, B. Phanindra,Varalaxmi, P.(2020).Mechanical Properties of Coconut–Carbon Fiber Reinforced Hybrid Composites.Recent Trends in Mechanical Engineering, 519-526.