

Atıf İçin: Erklığ, A. ve Yıldırım, B. (2025). Nano-Silika Katkılı Kenevir/Reçine Kompozitleri Suda Yaşlandırmanın Darbe Dayanımına Etkisi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(2), 682-691, 2025.

To Cite: Erklığ, A. & Yıldırım, B. (2025). The Effect of Water Aging on the Impact Strength of Nano-Silica Hemp Fiber/Epoxy Composites. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 15(2), 682-691, 2025.

Nano-Silika Katkılı Kenevir/Reçine Kompozitleri Suda Yaşlandırmanın Darbe Dayanımına Etkisi

Ahmet ERKLİĞ¹, Bilal YILDIRIM^{2*}

Öne çıkanlar

- Doğal kompozitler suda yaşlandırıldı.
- Takviye oranının darbe dayanımına etkisi incelendi.

Anahtar Kelimeler

- Kenevir elyaf kompozit
- Nano silika
- Suda yaşlandırma
- Charpy

ÖZET

Bu çalışmada doğal kenevir elyaf kumaş ile üretilen nano silika katkılı polimer kompozitlerin su ile yaşlandırılmasının Charpy darbe davranışına etkileri araştırılmıştır. Nano parçacık katkısının hidrofilik davranışa etkilerini gözlemlemek amacıyla nano silika parçacıkları ağırlıkça %0.5, %1.5 ve %3 oranlarında reçineye eklenerek kompozit üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozitlerden ISO 179/92 standardına göre 55 x 10 mm ölçüsünde numuneler kesilmiş ve 800 saat 30°C'de çeşme suyunda yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırılan numuneler 15 J sarkaç enerjili Köger 3/70 darbe test cihazı ile test edilmiştir. Ölçülen sonuçlar hem emilen enerji hem de tokluğu gösterecek şekilde tablo haline getirilmiştir. Testler sonucunda nano katkısının tokluğu ve emilen enerjiyi düşürdüğü görülmüştür. %1.5 nano silikanın tokluğu %33.73 emilen enerjiyi ise %22,54 azalttığı gözlenmiştir. Yaşlandırma sonrasında ise darbe enerjisinde en fazla düşüş %1.5 nano oranında %33.4 olarak ölçülürken toklukta %3 nano oranında %32 olarak ölçülmüştür.

The Effect of Water Aging on the Impact Strength of Nano-Silica Hemp Fiber/Epoxy Composites

Highlights:

- Natural composites aged in water
- The effect of reinforcement ratio on impact resistance was examined.

Keywords:

- Hemp fiber composite
- Nanosilica
- Water aging
- Charpy

ABSTRACT:

In this study, the effects of water aging on the Charpy impact behavior of polymer composites reinforced with natural hemp fiber fabric and nano-silica were investigated. To observe the influence of nano-particle addition on hydrophilic behavior, nano-silica particles were added to the resin in weight percentages of 0.5%, 1.5%, and 3% for composite production. Samples with dimensions of 55 x 10 mm were cut from the produced composites according to ISO 179/92 standard, and the aging process was carried out in tap water at 30°C for 800 hours. The aged samples were tested using a Köger 3/70 impact test device with 15 J pendulum energy. The measured results were tabulated to show both absorbed energy and toughness. The test results revealed that the addition of nano-silica reduced both toughness and absorbed energy. It was observed that 1.5% nano-silica reduced toughness by 33.73% and absorbed energy by 22.54%. After aging, the greatest decrease in impact energy was measured as 33.4% for the 1.5% nano-silica, while the greatest reduction in toughness was 32% for the 3% nano-silica.

¹ Ahmet ERKLİĞ ([Orcid ID: 0000-0003-3906-3415](https://orcid.org/0000-0003-3906-3415)) Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

² Bilal YILDIRIM ([Orcid ID: 0009-0007-5743-6197](https://orcid.org/0009-0007-5743-6197)), Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Bilal YILDIRIM, e-mail: bilalyildirim@gantep.edu.tr

Bu çalışma Bilal Yıldırım'ın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin hızlı gelişimi, yüksek mekanik özelliklere sahip malzemelere olan talebi artırmıştır. Bu talep, araştırmacıları geleneksel malzemeler yerine kompozit malzemelere yönlendirmiştir. Kompozit malzemeler, genellikle bir "matris" ve bir "takviye elemanı" içerir. Takviye elemanı, genellikle fiber malzemesi olarak adlandırılır ve kompozitin mukavemetini belirler. Matris malzemesi ise fiberler arasındaki gerilim aktarımını sağlar ve plastik deformasyona geçişte çatlak ilerlemesini önler. Fiber takviyeli polimer kompozitler (FRP), geleneksel mühendislik malzemelerine kıyasla üstün mukavemet ve sertlik-ağırlık oranları nedeniyle büyük ilgi görmüştür.

Doğal elyaflar biyolojik olarak parçalanabilir, çevre dostu, yenilenebilir ve tamamen veya kısmen geri dönüşümü gerçekleştirilen hammaddelerdir. Bu sebeplerle, son birkaç yılda doğal lif bazlı kompozit malzemeler üzerine yapılan araştırmalar büyük bir ivme kazanmıştır (Keta ve ark., 2019). Asim Shahzad (2012) yayınladığı makalede kenevir elyafla ilgili genel bilgiler vermiş, ekolojik dostluğu ve dayanıklılığı ile kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanıldığını ve kimyasal bileşiminden bahsetmiştir. Kenevir liflerinin sağladığı üstün dayanıklılık ve sertliğin, onları kompozit malzemelerde kıymetli bir takviye unsuru haline getirdiğini vurgulamıştır. Demirek ve arkadaşları (2021) kenevirin pamuktan sonra en yüksek selüloz oranına sahip olduğunu belirtmiştir. Bu da mekanik özelliklerinin güçlü olduğu anlamına gelmesinin yanı sıra biyo çözünürlüğüne de katkıda bulunur ve daha çevre dostu bir elyaf olmasını sağlar. Kenevir ayrıca gövde lifleri grubunda bulunması sebebiyle de kompozit üretimi için büyük avantaj sağlamaktadır. Epoksi matrise silika eklenmesi durumunda termal genleşme katsayısında azalma, ısı iletkenlikte artış ve arker mekanik özelliklerde de artışa sebep olmaktadır (Tuncer ve ark., 2018). Longkullabutra ve ark. (2018) yazdıkları makalede kenevir lifi ve kenevir lifi/epoksi reçine kompozitlerinin karbon nanotüplerle güçlendirilmesini inceleyerek, gelecekte biyo-kompozitlerin potansiyeli vurgulanmıştır.

Doğal elyaflı malzemelerin dayanıklılığını değerlendirirken karşılaşılan ana sorunlardan biri, nem emilimi nedeniyle mekanik özelliklerinin düşüşüdür. Bu, bu tür malzemelerin geliştirilmesi için önemli bir engeldir, çünkü zamanla performanslarını, özellikle nemli ortamlarda, sınırlar (Mittal ve ark., 2016). Dış mekân uygulamalarında suya maruz kalma sıklıkla meydana geldiğinden, doğal elyaflı kompozitlerin mekanik dayanıklılığı ele alınması gereken başlıca endişelerden biridir (Cai ve ark., 2022). Alamri ve Low (2012), doğal lif takviyeli kompozitlerin su emme özellikleri üzerindeki farklı ağırlık yüzdelerindeki nano kil katkı maddelerinin etkisini araştırdılar. Su emilimi sonucunda kompozitlerin bükülme dayanımı, bükülme modülü ve kırılma tokluğunun önemli ölçüde azaldığını buldular. Suhara Panthapulakkal ve Mohini Sain tarafından kaleme alınan makale (2007), özellikle otomotiv iç yüzeyleri için kenevir lifinin polimer kompozit ürünlerde kullanımını incelemektedir. Su emme özellikleri üzerine odaklanan Suhara Panthapulakkal ve Mohini Sain, bu kompozit malzemelerin performansını değerlendirmekte ve gelecekteki gelişmeler için önemli bilgiler sağlamaktadır.

Charpy darbe testi, malzemelerin darbe dayanımını ölçmek için kullanılır. Bu test, bir numunenin kırılma enerjisini belirler. Özellikle malzemelerin tokluk, süneklik ve kırılmalılık gibi mekanik özelliklerini değerlendirmede kullanılır. Tokluk, bir malzemenin kırılmadan önce enerji absorbe etme kapasitesini ifade eder. Yüksek tokluğa sahip bir malzeme, darbe ve çarpma gibi ani yükler altında kırılmadan önce büyük miktarda enerji emebilir. Bu, malzemenin sünekliğinin yüksek olduğu anlamına gelir ve kırılma yerine şekil değiştirme eğiliminde olduğunu gösterir. Tokluk hem dayanıklılık hem de güvenlik açısından önemli bir özelliktir ve özellikle inşaat, otomotiv ve havacılık gibi endüstrilerde kritik bir rol oynar. Kompozit malzemeler kırılmalılık özelliklerinden dolayı darbe davranışında düşük

dayanıma sahiptirler. (Bozkurt ve ark., 2017; Ejaz ve ark., 2022) Yapılan çalışmalarda nano parçacık takviye ederek bunun gelişmesi amaçlanmıştır. Genellikle grafen (Doğan ve ark., 2019), karbon nanotüp (Kara ve ark., 2021), silika (Erkliğ ve ark., 2022) ve kil (Rafiq ve ark., 2017) gibi nano malzemeler kompozit malzemelerin mekanik ve darbe özelliklerini arttırmak için reçine içerisine eklenmektedir. Raghul ve ark. (2021) yazdığı makalede sisal, palmiye ve cam elyaf hibridine yapılan %2 nano silika katkısının emilen enerjiyi 1,1 J'den 2,9 J'e çıkardığını paylaşmıştır. Wang ve ark. (2006) %2,5 nano kil katkılı reçinenin (aromatik bir reçine olan digliseryl eter bisfenol A(DGEBA)) 30 günlük yaşlandırma sonrasında kırılma tokluğunun saf reçineden yüksek olduğunu ayrıca yaşlandırma süresinin nano kil katkılı ve saf reçine arasındaki kırılma tokluğu oranı değiştirmedikini gözlemlemiştir. Kara ve ark. (2021) Karbon elyafı yaptığı çalışmada çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) kullanmış ve 3 hafta saf suda yaşlandırmıştır. Uygulamış olduğu düşük hız darbe testinde yaşlandırma süresi arttıkça MWCNT'nin etkisini yitirdiğini yani saf numunelere kıyasla daha hızlı darbe dayanımı kaybettiğini gözlemlemiştir. Saha ve ark. (2021) yaptığı çalışmada keten ve keneviri ağırlıkça %10, %15, %20, %30 oranlarında karıştırarak kompozitler üretiyor ve 250 saat oda sıcaklığında saf suda yaşlandırıyor. Yapmış olduğu çekme testlerinin sonucunda ağırlıkça %30 keten içeren numunelerin en ez su emdiğini sonucunda ise en yüksek çekme direncine sahip olduğunu gözlemliyor.

Assarar ve Scida (2011) keten ve cam elyaf takviyeli reçine kompozitini suda oda sıcaklığında yaşlandırmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre cam elyafı ve keten elyafı kompozitlerinin batırılma süresi arttıkça çekme geriliminin azalmaktadır. Cam elyafı kompozitlerinde, batırılmanın ilk 10 günü içinde azalma yaklaşık %9 iken, keten elyafı kompozitlerinde bu azalma batırılmanın ilk günü içinde yaklaşık %13'tür. Fakat keten elyafının çekme direnci uzun vadede daha fazla azalma neredeyse göstermemiş, 20 günün sonunda %15 azalmıştır. Cam elyafı ise doyumluk durumunda (40 günden fazla) %25 azalış göstermiştir. Singh ve ark. (2023) nano silika katkısının charpy darbe etkilerini gözlemlemiş ve jüt kumaşına nano silika partikül eklemiştir. Ağırlıkça %2 oranında SiO₂ emilen enerjiyi %40'a kadar arttırdığını rapor etmiştir. Velmurugan ve ark. (2023) jüt tabanlı hibrit kompozite yaptığı %6 nano silika partikülünün darbe tokluğunu %8,3 arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Literatür incelendiğinde, nano silikanın (SiO₂) mekanik özelliklerin geliştirilmesine katkı sağladığı görülmektedir. Ancak, doğal kompozitlerdeki katkılarının sınırlı olduğu görülmüştür. Ayrıca kenevir elyaf kullanılarak yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Kenevir takviyeli kompozitlerin yaşlandırması ile ilgili çalışmalar ise çok daha azdır. Kenevirle üretilen kompozitlerin yaşlandırılıp darbe testine tabi tutulduğu literatür ise hiç bulunamamıştır. Bu çalışma, nano silika katkılı kenevir elyaf/reçine kompozitlerinin emilen enerji ve tokluk özelliklerini incelemenin yanı sıra, malzemeye uygulanan suda yaşlandırma işleminin bu özellikler üzerindeki etkilerini de araştırmaktadır. Böylece, yaşlandırma koşulları altında nano silikanın malzemenin mekanik performansına olan katkıları değerlendirilmektedir. Elyaf/reçine kompozitinin emilen enerji ve tokluğu incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Malzemeler

Çeşme suyuna maruz bırakılmış polimer matrisli doğal kompozitlerin darbe ve tokluk özelliklerini araştırmak için kenevir elyaf kumaş kullanılmıştır. Kompozit plaka üretimlerinde kullanılan Momentive-MGS LR160 reçine ve Momentive-MGS LH260S sertleştirici Dost Kimya firmasından satın alınmıştır. 470 g/m² düz dokunmuş %100 kenevir kumaş Romanya'daki CAVVAS şirketinden tedarik edilmiştir. Nano silika (SiO₂) parçacıkları ise Nanografi firmasından satın alınmıştır. Reçine ve sertleştirici 100:35 oranında karıştırmak suretiyle reçine karışımı oluşturulmuştur. Reçine ve sertleştiricinin fiziksel özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Reçine karışımına ayrıca nano silika (SiO₂)

da eklenmiştir. Ayrıca elyaf ve nano katkısının mekanik özellikleri Çizelge 2 ve 3'te verilmiştir. Çizelgelerde belirtilen özellikler satın firmalardan edinilmiştir.

Çizelge 1. Reçine sisteminin fiziksel özellikleri

Malzeme	Teknik özellikler	Ölçüler
MGS LR160	Yoğunluk	1.13-1.17 g/cm ³
	Viskozite	700-900 mPas
MGS LH20S	Yoğunluk	0.93-0.97 g/cm ³
	Viskozite	80-100 mPas

Çizelge 2. Kumaşın mekanik özellikleri

Lif	Çekme direnci (MPa)	Yoğunluk(g/cm ³)	Elastik modülü (GPa)
Kenevir	550-1110	1.4	30-70

Çizelge 3. Nano silikanın fiziksel özellikleri

Nano partikül	Yoğunluğu(g/m ³)	Partikül boyutu(nm)	Özgül yüzey alanı(m ² /g)
Nano silika (SiO ₂)	2.2	15-35	150-550

Üretim ve Kesim

Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi (VARIM) ile dokuma kenevir elyaf kompozit plakalar 3 kat kumaş kullanılarak üretilmiştir.

Kompozit üretimi, birinci aşaması reçine sisteminin hazırlanması ve ikinci aşaması kumaşların platforma istiflenmesi olmak üzere iki aşamada tamamlanmıştır. İlk olarak, epoksi reçinesi çeşitli miktarlarda nano silika (0, %0.5, %1.5 ve %3) ile 8000 rpm'de 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Literatürde nano silika kullanılan çalışmalar incelendiğinde %0,5 ile %3 aralığında katkı yapıldığı gözlenmiştir. Alsaadi ve ark. (2018) nano silika takviyesini %0.5, %1, %1.5, %2.5 ve %3 oranlarında yapmışlardır. Kullanılacak nano katkı oranı literatür gözetilerek seçilmiştir. Bu karıştırma için bir mekanik karıştırıcı kullanıldı, ardından bir sertleştirici eklenip 8000 rpm'de 10 dakika daha karıştırılmıştır. Reçine karışımı ürünün üzerinde yazan 100:35 oranı gözetilerek hazırlanmıştır. Toplamda dört farklı kompozit plaka, tüm plakaların aynı özelliklere sahip olduğunu doğrulamak için el serimi ve ardından vakum torbası kalıplama işlemi kullanılarak aynı anda üretilmiştir. Üretim platformu, elektrikli ısıtma ekipmanına sahip düz bir alüminyum platformdan oluşmaktadır. Kompozit örneklerin üretiminin ikinci aşamasında, 40*40 cm boyutlarında 12 dokuma kenevir kumaşı kesilmiş ve kumaşlar alüminyum platform üzerinde istiflenmiştir. Bir silindir kullanılarak, reçine sistemi daha sonra 3 katmanlı her bir katmanın üzerine eşit şekilde uygulanmıştır. Bu adımdan sonra, kumaşların her iki tarafına da hava kanalı yerleştirilmiştir, Şekil 1. Reçinenin homojen yayılımını elde etmek için üçüncü kat kumaşın üzerine bir dağıtım filesi ve bu filenin üretim sonrasında kolay çıkarılabilmesi için altına bir kat soyma kumaşı yerleştirilmiştir. Kalıp sistemi, tüm montajı vakum naylonu ile kaplayarak ve vakum sızdırmazlık bandı ile mühürleyerek oluşturulmuştur. Sistem, kumaşların emiliminden kaynaklanan fazla reçinenin, infüzyon hortumları aracılığıyla bir basınç göstergeli infüzyon reçine tankına akmasını sağlamak ve epoksi ile ıslatılmış kompozitlerin belirli bir basınç altında sabit kalmasını sağlamak için 6 saat boyunca 690 mmHg vakum basıncında tutulmuştur. Daha sonra, epoksi ile emdirilmiş lif kumaşları, kurlama sürecini tamamlamak için 24 saat oda sıcaklığında saklanmıştır. Ardından 2 saat boyunca 40°C'de post kurlanmaya maruz bırakılmıştır. Son olarak, kompozit plakalar bir CNC router kullanılarak kesilmiştir, Şekil 2. Tüm örneklerin kalınlıkları $3,4 \pm 0.2$ mm'dir.

Yaşlandırma işlemi öncesi numunelerin tamamıyla kuru olmasını sağlamak amacıyla 50 derecede ağırlıkları sabit kalacak şekilde bekletilmiştir. Daha sonra her numunenin ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüştür. Tüm mekanik testler için her bir numune grubundan on beş adet üretim yapılmıştır. Bunların beş tanesi yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış, kontrol grubudur ve "kuru" olarak

adlandırılmıştır. Geriye kalan on numune 800 saat boyunca çeşme suyunda, 30°C sıcaklıkta bekletilmiştir. Bu numunelerin yarısı 800 saat sonrasında kabinlerden çıkarılıp ıslak halde test edilmiştir ve "ıslak" olarak adlandırılmıştır. Kalan son grup ise yaşlandırma işlemi tamamlandıktan sonra tekrardan kurutulmuş ve kuru halde test edilmişlerdir ve "tekrar-kuru" olarak adlandırılmışlardır.



Şekil 1. Kompozit üretim süreci



Şekil 2. CNC kesici

Suda Yaşlandırma

Bu araştırmanın en kritik noktalarından biri olan yaşlandırma süreci, makine mühendisliği laboratuvarında bulunan yaşlandırma kabinlerinde gerçekleştirilmiştir. Standartlara göre, gerekli sıcaklığı ± 3 °C'ye kadar koruyabilen bir yaşlandırma kabini gerekmektedir. Kabinlerin tamamında sabit sıcaklık elde edebilmek amacıyla ayarlanabilir ısıtıcılar kurulmuştur. Bu ısıtıcılar ± 3 °C sıcaklığı koruyabilmek için gereklidirler. Tankın her yerinde homojen bir ısı dağılımı elde etmek için sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Numunelerin serbest dolaşımı, birbirleriyle ve sıvıyla tam yüzey teması sağlamak için bir ayırıcı kullanılarak önlenmiştir.



Şekil 3. Yaşlandırma düzeneği

Kabin ile ilgili tüm ekipmanlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Sıcaklık kontrolü düzenli olarak dijital bir termometre kullanarak yapılmıştır. Numuneler 800 saat boyunca çeşme suyunda 30°C sıcaklıkta yaşlandırmaya maruz bırakılmıştır. Yaşlandırma işleminin hava sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi için bu sıcaklık seçilmiştir. Yaşlandırma işlemi ASTM D5229/D5229M-14 standardına göre yapılmıştır. Bu işlem sonrasında numuneler oda sıcaklığında kuru ağırlıklarına dönene kadar bekletilmiştir. Fakat numuneler tamamen kuru ağırlığa dönmediği için 0.1 gram fazlası yeterli görülmüştür. Kurutulan numuneler tekrar kuru olarak adlandırılmıştır.

Charpy Darbe Testi

Hidrotermal yaşlandırmaya tabi doğal kompozit plakaların darbe dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak için testler, Şekil 4'te gösterilen 15 J sarkaç enerjili darbe test cihazı Köger 3/70 cihazı ile ISO 179/92 standardına göre yapılmıştır. 55 x 10 mm boyutlarındaki test numuneleri, darbe testi için düzlem yönünde ve çentiksiz olarak test edilmiştir.



Şekil 4. Charpy test cihazı

Darbe test cihazı, cihaz gövdesine bağlı dönen bir kola bağlı bir kütleye sahip bir sarkaçtan oluşur. Sarkaç belirli bir yükseklikten düşer ve test örneğine çarpar ve numune sarkaç kinetik enerjisinin bir kısmını emer. Emilen enerji denklem 1'den, malzemenin tokluğu denklem 2'den hesaplanmıştır. Emilen enerji W şu şekilde hesaplanır:

$$W = E_1 - E_2$$

(1)

Burada E_1 ve E_2 sırasıyla başlangıç ve son enerjidir.

$$K = W/A$$

(2)

Burada W emilen enerjidir (J), A alandır (m²) ve K darbe direncidir (J / m²). K ayrıca tokluk olarak da ifade edilir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

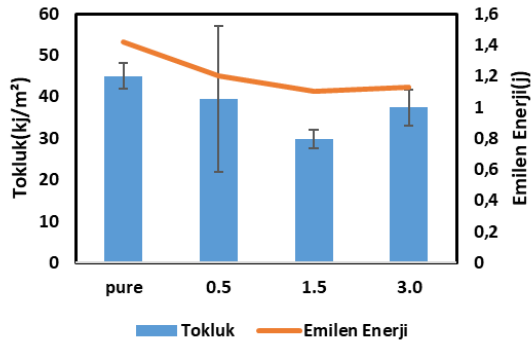
Nano silika katkılı ve saf kenevir/epoksi kompozitlerin Charpy darbe deneyi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kuru, yaş ve tekrar kuru deney setleri için beşer adet numune teste tabi tutulmuştur. Daha sonra her koşul için beş numunenin ortalaması alınarak nihai sonuçlar elde edilmiştir.

Kuru numuneler için Charpy darbe testi sonuçları Şekil 5(a)'da ıslak numuneler için Şekil 5(b)'de ve tekrar kuru numunelerin test sonuçları Şekil 5(c)'de verilmiştir. Kuru kontrol grubu incelendiğinde Şekil 5 (a) en yüksek emilen enerjinin 1.42 J ile nano katkı içermeyen saf numunelerde ölçüldüğü görülmektedir. En düşük enerjinin 1.1 J ile %1.5 nano içeren numunelerde olduğu görülmektedir. Darbe tokluk değerlerinde de aynı durum tekrar ederek 45.01 kJ/m² olarak ölçülen değer %1.5 nano katkıyla 29.83 kJ/m²'ye düştüğü gözlenmektedir.

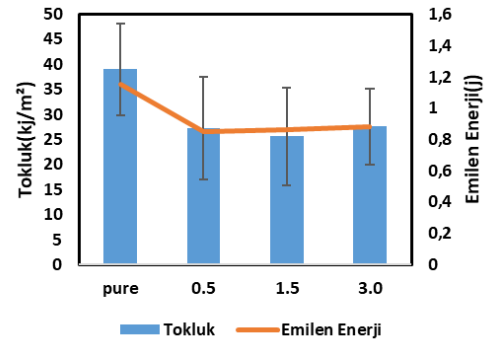
Islak numuneler incelendiğinde Şekil 5 (b) aynı trendin devam ederek en yüksek enerji ve tokluk değerlerinin sırasıyla 1,15 J ve 39,04 kJ/m² olarak yine saf numunelerde ölçüldüğü görülmektedir. % 1.5 nano katı yapıldığında ise bu değerlerin 0,86 J ve 25,64 kJ/m²'e düştüğü görülmüştür. Doğal kompozitlerde yaşlandırma sonrasında mekanik özelliklerin düşüşü literatür ile aynı doğrultudadır. (Bourgogne ve ark., 2024; Kollia ve ark., 2020). Oğuz ve ark. (2022) hidrotermal yaşlanma nedeniyle meydana gelen çekme dayanımındaki bozulmayı şişme ve matris plastikleşmesi ile ilişkilendirmiştir.

Tekrar kuru olarak adlandırılan ve kuru ağırlıklarına geri döndürülen numunelerde Şekil 5 (c) saf durumda yine en yüksek tokluk değeri 21,03 kJ/m² olarak elde edilirken bu kez en düşük değerler 18,18 kJ/m² olarak %0,5 nano katkı oranında elde edilmiştir. Şekil 5(a) ve (b)'den de görüleceği üzere kuru numunelerin tokluğu ve emilen enerjisi yaşlandırma sonrasında düşmüştür. Toklukta %13 ile %31 arasında bir düşüş gözlenirken emilen enerjide %19 ile %29 arasında bir düşüş gözlenmiştir. Bu oran nano katkısı arttıkça artma eğiliminde olmuştur. Bununla beraber %1,5'tan sonra bir miktar toparlanma da görülmüştür. Yaşlandırılan ve kuru ağırlıklarına geri dönene kadar kurutulan 'tekrar kuru' numunelerin özellikleri ise belirgin miktarda tekrar azalmıştır. Kontrol grubu olan kuru numunelere kıyasla toklukta %37 ile %54 arasında bir düşüş olurken emilen enerjide %39 ile %56 arasında düşüş meydana gelmiştir. Araştırmacılar tarafından nano katkısının darbe dayanımının artması beklenirken oldukça büyük bir düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi ise (Thakur ve ark., 2018) nano partikülün doğal kumaştaki sünekliği azaltarak malzemeyi daha kırılgan hale getirmesiyle açıklanabilir.

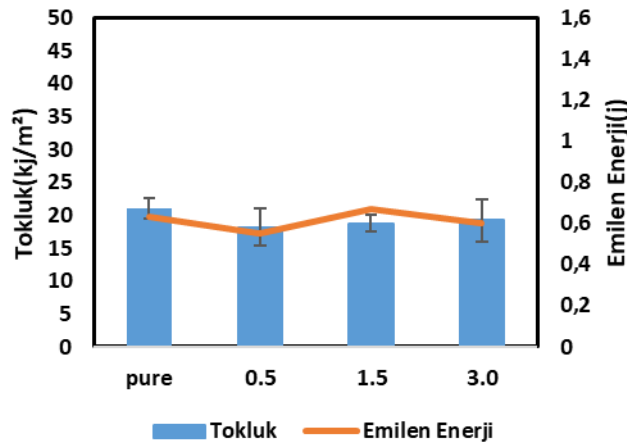
Doğal olmayan (karbon/cam hibrid) kompozit ile çalışan Doğan (2019) ve cam elyaf kompozit ile çalışan Bozkurt (2012) nano partikül katkısı ile ürettikleri numunelerin darbe dayanımının sırasıyla %14,5 ve %27,1 arttığını gözlemlemiştir. Bunun sebebini ise arayüzey etkileşiminin artması ve (doğal olmadığından) yüksek kırılma kırılma sahip kumaşların sünekliğinin artması ile izah etmişlerdir. Bizim çalışmamızda doğal elyaf kullanmamız sebebiyle süneklik oldukça yüksektir. Nano silika eklemek bu sünekliği azaltmış, kırılma kırılma sebep olmuştur. Bu sebeple emilen enerji ve tokluk değerlerinde düşüş gözlenmiştir.



(a)



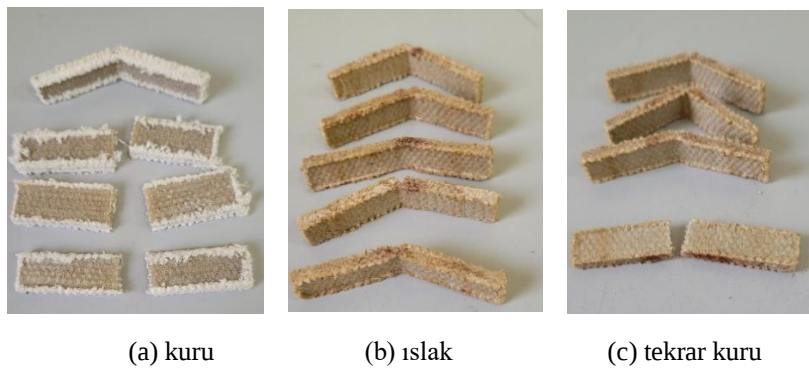
(b)



(c)

Şekil 5. Kuru (a), ıslak (b) ve tekrar kuru (c) numunelerin tokluk ve emilen enerji değerleri

Charpy testi sonrası numunelerde; kuru kontrol numunelerinde tam kırılma olurken Şekil 6 (a), yaşlandırılmış numunelerde ve tekrar kurutulmuş gruplarda Şekil 6 (b) ve (c) tam kırılma meydana gelmemiştir. Çıplak gözle yapılan gözlem sonucunda kuru grupta elyaf kopması ve delaminasyon meydana gelirken ıslak ve tekrar kuru gruplarda elyaf bükülmesi ve elyaf yırtılması gözlenmektedir. (Oğuz ve ark., 2021)



(a) kuru

(b) ıslak

(c) tekrar kuru

Şekil 6. Kuru (a), ıslak (b) ve tekrar kuru (c) numunelerin darbe testinden sonraki görüntüsü

SONUÇ

Bu çalışmada, nano silika katkısının kenevir elyafli kompozitlerin darbe dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Saf, ağırlıkça %0.5, %1.5 ve %3 oranlarında eklenen nano silika; kuru, ıslak ve tekrar kuru gruplarına ayrılarak incelenmiştir. 800 saat 30°C suda bekletilen numuneler ıslak; kuru

ağırlığına geri dönen kadar kurutulan numuneler tekrar kuru olarak adlandırılmıştır. Deneysel çalışmanın sonuçları şunlardır:

- ✓ Kontrol olarak isimlendirilen kuru grubunda emilen enerji 1.42 J değeri ile en yüksek değeri vermiştir. %0.5, %1.5, %3 nano katkı içeren numunelere kıyasla sırasıyla %15.49, %22.54 ve %20.42 daha yüksek sonuç verdiği gözlenmiştir. Darbe tokluğu ise sırasıyla %12.46, %33.73 ve %16.8 düşüş görülmüştür.
- ✓ Islak olarak isimlendirilen grup en yüksek değerleri yine nano katkı içermeyen numunelerde göstermiştir. Emilen enerji saf kıyasla sırasıyla %26.09, %25.22 ve %23.48 azalırken tokluk sırasıyla %30.40, %34.32 ve %29.43 azalmıştır.
- ✓ Tekrar kuru olarak adlandırılan grupta da aynı trend gözlenmemiştir. Toklukta en fazla düşüş %53.86 ile %0.5 silika içeren numunelerde gözlenmiştir.

Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda nano silikanın kenevir/reçine kompozitinin darbe dayanımına katkı sağlamadığı; tam tersine hem emilen enerjiyi hem de tokluk değerini düşürdüğü söylenebilir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Alamri, H., & Low, I. M. (2013). Effect of water absorption on the mechanical properties of nanoclay filled recycled cellulose fibre reinforced epoxy hybrid nanocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 44, 23-31.
- Alsaadi, M., Bulut, M., Erklığ, A., & Jabbar, A. (2018). Nano-silica inclusion effects on mechanical and dynamic behavior of fiber reinforced carbon/Kevlar with epoxy resin hybrid composites. *Composites Part B: Engineering*, 152, 169-179.
- Assarar, M., et al. "Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: Flax-fibres and glass-fibres." *Materials & Design* 32.2 (2011): 788-795.
- Astm, D. "5229/D5229M-14e1-Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials." ASTM International, West Conshohocken, PA (2014).
- Bourgogne, Quentin CP, et al. "Influence of different long and short ageing protocols on the mechanical behaviour and damage mechanisms of a hemp fibre reinforced polypropylene." *Next Materials* 4 (2024): 100096.
- Bozkurt, Ömer Yavuz, Özkan Özbek, and Atban Rafea Abdo. "The effects of nanosilica on charpy impact behavior of glass/epoxy fiber reinforced composite laminates." *Periodicals of Engineering and Natural Sciences* 5.3 (2017).
- Cai, Ming, et al. "Durable mechanical properties of unidirectional flax fiber/phenolic composites under hydrothermal aging." *Composites Science and Technology* 220 (2022): 109264.
- Chohan, J. S., SA, M. A., & V, S. S. (2023). Investigation of nano SiO₂ filler loading on mechanical and flammability properties of jute-based hybrid polypropylene composites. *Silicon*, 15(17), 7247-7263.
- Demirbek, Dilara, and Meliha Oktav Bulut. "KENEVİR LİFLERİNİN ELDESİ, ÖZELLİKLERİ VE KOMPOZİT UYGULAMA ALANLARI." *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences* 4.2 (2021): 176-191.

- Doğan, Nurettin Furkan, et al. "Mechanical and low velocity impact characterization of carbon/glass hybrid composites with graphene nanoplatelets." *Materials Research Express* 6.8 (2019): 085304.
- Ejaz, M., Azad, M. M., Shah, A. U. R., Afaq, S. K., & Song, J. I. (2022). Synergistic effect of aluminum trihydrate and zirconium hydroxide nanoparticles on mechanical properties, flammability, and thermal degradation of polyester/jute fiber composite. *Cellulose*, 29(3), 1775-1790.
- Erkliğ, A., Bozkurt, Ö. Y., & Al-tekreteı, W. F. (2022). Influence of Nano-Silica on the Mechanical Properties of Jute/Glass Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Composites. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(2), 399-410. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1146108>
- ISO, EN: 179-1. Plastics—determination of Charpy impact properties—Part 1: non-instrumented impact test. European Committee for Standardization. CEN, Bruxelles, Belgium (2000)
- Kara, Memduh, et al. "The effect of hydrothermal aging on the low-velocity impact behavior of multi-walled carbon nanotubes reinforced carbon fiber/epoxy composite pipes." *Applied Composite Materials* 28 (2021): 1567-1587.
- Keya, Kamrun N., et al. "Natural fiber reinforced polymer composites: history, types, advantages and applications." *Materials Engineering Research* 1.2 (2019): 69-85.
- Kollia, Evgenia, et al. "Effect of water aging on the mechanical properties of flax fiber/bio-based resin composites." *Journal of Applied Polymer Science* 137.13 (2020): 48787.
- Longkullabutra, Haruthai, et al. "Mechanical Properties of Hemp Fiber Composites with Carbon Nanotubes Reinforcement." *Advanced Materials Research* 55 (2008): 553-555.
- Mittal, V., Saini, R., & Sinha, S. (2016). Natural fiber-mediated epoxy composites—a review. *Composites Part B: Engineering*, 99, 425-435.
- Oğuz, Zeynal A., and Ahmet Erkliğ. "Hydrothermal aging effect on the tensile properties of hybrid aramid/glass/epoxy composites: Comparison of distilled water and seawater." *Journal of Composite Materials* 56.24 (2022): 3695-3714.
- Oguz, Z. A., Erklığ, A., & Bozkurt, Ö. Y. (2021). Degradation of hybrid aramid/glass/epoxy composites hydrothermally aged in distilled water. *Journal of Composite Materials*, 55(15), 2043-2060.
- Panthapulakkal, Suhara, and Mohini Sain. "Studies on the water absorption properties of short hemp—glass fiber hybrid polypropylene composites." *Journal of Composite Materials* 41.15 (2007): 1871-1883.
- Rafiq, A., Merah, N., Boukhili, R., & Al-Qadhi, M. (2017). Impact resistance of hybrid glass fiber reinforced epoxy/nanoclay composite. *Polymer Testing*, 57, 1-11.
- Raghul, K. S., et al. "Mechanical behaviour of sisal palm glass fiber reinforced composite with addition of nano silica." *Materials today: proceedings* 37 (2021): 1427-1431.
- Saha, Abir, Santosh Kumar, and Divya Zindani. "Investigation of the effect of water absorption on thermomechanical and viscoelastic properties of flax-hemp-reinforced hybrid composite." *Polymer Composites* 42.9 (2021): 4497-4516.
- Shahzad, Asim. "Hemp fiber and its composites—a review." *Journal of composite materials* 46.8 (2012): 973-986.
- Singh, S., Agarwal, C., Panwar, N. L., & Upadhyay, V. (2023). Experimental investigation of jute fabric/nano-SiO₂ reinforced epoxy composite. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2181264.
- Thakur, Ashish, et al. "Characterization and evaluation of mechanical behavior of epoxy-CNT-bamboo matrix hybrid composites." *Materials Today: Proceedings* 5.2 (2018): 3971-3980.
- Tuncer, Can. CaCO₃, SiO₂ ve grafen nano partikül katkısının tabakalı cam elyaf kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi. MS thesis. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- Wang, Lei, et al. "Hydrothermal effects on the thermomechanical properties of high-performance epoxy/clay nanocomposites." *Polymer Engineering & Science* 46.2 (2006): 215-221.