



Atık Malzemelerin Epoksi Matrisli Kompozitlerde Katkı Olarak Kullanımına Yönelik Bir İnceleme

A Review on the Use of Waste Materials as Additives in Epoxy Matrix Composites

Lutuf Ertürk^{1*}, Sakine Kırath²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, TÜRKİYE

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 18100 Çankırı, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 25/12/2023

Kabul / Accepted: 19/02/2024

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2024

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2024

Öz

Dünya nüfusunun sürekli artması, doğal kaynakların tükenerek zamanla yok olmasına ve atık malzemelerin ise artmasına neden olmaktadır. Atık malzemelerin değerlendirilmesi, hem doğada sınırlı miktarda bulunan kaynakların tüketimini azaltmakta hem de bu malzemelerin çevrede oluşturduğu problemleri en aza indirmektedir. Literatürde, kompozit malzemelerde katkı olarak atık malzemelerin kullanımına yönelik birçok çalışma bildirilmiştir. Tarımsal atıklar, hayvansal atıklar ve tekstil atıkları gibi birçok atık malzemenin kompozit malzemelerde kullanıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda atık malzemelerin kompozit malzemelerde kullanılmasının çekme, eğilme, kırılma mukavemeti gibi mekanik özellikler açısından birçok avantaj sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Mekanik özellikler, kompozit, atık, geri dönüşüm, epoksi”

Abstract

The continuous increase in the world's population causes natural resources to be depleted and destroyed over time and waste materials to increase. Utilizing waste materials both reduces the consumption of resources that are limited in nature and minimizes the problems these materials create in the environment. Many studies on the use of waste materials as additives in composite materials have been reported in the literature. It has been seen that many waste materials, such as agricultural waste, animal waste, and textile waste are used in composite materials. Studies have concluded that the use of waste materials in composite materials provides many advantages in terms of mechanical properties such as tensile, bending, and fracture strength.

Key Words

“Mechanical properties, composite, waste, recycling, epoxy”

1. Giriş

Doğal kaynakların tükenmesi ve bu kaynaklara olan talebin sürekli artması, üretilen malzemelerde maliyetleri artırmaktadır. Bu maliyet artışı özellikle son yıllarda alternatif kaynak sorusunu gündeme getirmiştir. Nüfus artışının istihdam olanaklarını azaltması nedeniyle üretilen malzemelerin satış fiyatı, pazarlama açısından önemli bir parametredir. Atık malzemelerin değerlendirilmesiyle azalan üretim maliyeti, üretilen malzemelerin satış potansiyelini artırmaktadır. (Bağçe ve Temiz, 2019; De Rosa vd., 2011).

Genel olarak kompozit malzemeleri güçlendirmek için doğal katkı maddelerinin kullanılması, mineral katkı maddelerine kıyasla aşağıdaki faydaları sağlar (Sapuan vd., 2003; Herrera-Franco, 1997):

- Dayanıklılık ve sertlik
- Hafiflik
- Yenilenebilirlik
- Ekonomiklik
- Çevre dostu olması
- Kaynakların bol olması

Öte yandan bu malzemelerin dezavantajları ise şunlardır (Sapuan vd., 2003; Belmares, 1981):

- Nem ile bozulma
- Hidrofobik polimerlere zayıf yüzey yapışması
- Tek tip olmayan dolgu boyutları
- Yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun olmama
- Mantar ve böcek saldırısına yatkınlık

Kenevir, ananas, pamuk, bambu, keten, jüt, sisal, muz, şeker kamışı gibi birçok doğal lifin polimer matrisli kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak uygun olduğu ve birçok alanda kullanıldığı ifade edilmiştir. Doğada kendiliğinden yok olabilen bu liflerin yanı sıra şeker kamışı küspesi, mısır sapı, ayçiçeği sapı gibi tarım atıklarının da takviye malzemesi olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir (Koçhan, 2020). Literatürde, takviye malzemesi olarak mısır sapı, ayçiçeği sapı (Ashori ve Nourbakhsh, 2010), ananas lifi (Luo ve Netravali, 1999), muz lifi (Idicula vd., 2006), palmiye lifi (Jacob vd., 2004), hindistan cevizi lifi (Ghavami vd., 1999), yer fıstığı lifi (Panneerdhass, 2014), hindistan cevizi kabuğu (Agunsoye vd., 2012), kayısı çekirdeği kabuğu (Kocaman, 2019), kestane kabuğu (Çemrek, 2011), fındık kabuğu (Büyükkaya, 2019), ceviz kabuğu (Adibelli vd., 2022), palmiye çekirdeği kabuğu (Baffour-Awuah vd., 2021) gibi birçok doğal malzemenin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Yapılan çalışmalarda sadece tarım atıkları değil aynı zamanda hayvansal atıklar (boynuz gibi) da katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir. Kumar ve diğerleri (2017), atık halindeki boynuzu öğütüp epoksi içerisinde takviye malzemesi olarak kullanmışlar ve boynuz ile üretilen kompozitin bazı kullanımlar için uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Toro ve diğerleri (2007a,b) yaptıkları çalışmalarda, propilen içerisine takviye malzemesi olarak katılan öğütülmüş yumurta kabuğunu kalsiyum karbonat ve pudra gibi bazı ticari malzemelerle karşılaştırmış ve propilen+yumurta kabuğu tozunun bunların yerini alabileceğine dikkat çekmişlerdir. Bunlara ek olarak, midye, istiridye kabuğu ve inci kabuğu gibi deniz kabuklarının atıkları yüksek oranda (yaklaşık %96) kalsiyum oksit içermektedir. Dolayısıyla, kompozit malzemelerde bu atıkların, piyasada ticari olarak satılan kalsiyum karbonata alternatif olabileceği bazı çalışmalarda (Ji vd., 2009; Koçhan, 2019; Silva vd., 2019) bildirilmiştir (Koçhan, 2020).

Tekstil atıkları da kompozit malzemelerde kullanılabilen atık malzemelerden birisidir. Bu atıklar tekstil fabrikalarında üretim sürecinde ya da tüketim sonrası ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda tekstil atıkları, tüketim öncesi ve tüketim sonrası olmak üzere ikiye ayrılır. Tüketim öncesi atıklarını çeşitli sanayilerde kullanılan elyaf, tekstil ve pamuk sanayi yan ürünü malzemeler oluşturmaktadır. Tüketim sonrası atıklar ise tüketicinin artık ihtiyaç duymayıp attığı tekstil malzemeleridir. Bu malzemelerin atılma nedenleri ya eski olmaları ya da modasının geçmesidir (Yaldizci, 2016). Tekstil atıkları, suni iplik fabrikalarında oluşan atıklar, tekstil imalatı esnasında oluşan atıklar ve tüketicilerin tekstil atıkları olmak üzere üç ana gruba ayrılır (Kozak, 2010). Fabrika atıkları (özellikle polyester iplik fabrikalarından çıkan atıklar) işlenerek yeniden iplik ve elyaf olarak, atık kumaşlar ise elyaf olarak kullanılabilirlerdir. Tekstil atıkları, dolgu malzemesi, kâğıt yapımı, yalıtım malzemesi, yeni iplik üretiminde de değerlendirilebilmektedir. Parça kumaşın büyük bir kısmı geri kazanılmaktadır. Ancak, iplik fabrikası atıkları yakılmakta ya da çöpe atılmaktadır (Üçgül ve Turak, 2015).

2022 TÜİK verilerine göre, toplam 3136 tesisten atık bertaraf ve geri kazanım tesisine gelen atık miktarı 133 183 175 tondur. Bu atıkların 51 737 143 tonu geri kazanım tesislerinde geri kazanılmış, geriye kalan 81 446 031 ton atık ise bertaraf edilmiştir. Atık bertaraf ve geri kazanım tesisine gelen ve geri kazanılan atık miktarları 2020 yılına göre artış göstermiştir. Görüleceği üzere, ülkemizde de atık malzeme miktarları artmakta, atık malzemelerin geri dönüşümü gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır (Url-1).

Kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan epoksi reçine, en önemli termoset polimerden biridir. Bu polimerler amorf yapıda ve yüksek oranda çapraz bağlıdır. Ayrıca yüksek çekme mukavemeti ve elastiklik modülü, kolay işlenebilme, boyutsal kararlılık, iyi termal ve kimyasal direnç, düşük tokluk ve zayıf çatlak direnci gibi çeşitli özelliklere sahiptir. Bu nedenle epoksinin tek başına

kullanımı birçok uygulamada mümkün değildir. Epoksi içerisine çeşitli katkı maddeleri eklenerek zayıf özellikleri iyileştirilir. Epoksi reçinesinin mukavemetini iyileştirmenin en başarılı yöntemlerinden biri, çapraz bağlı polimere dağılmış kauçuk parçacıkları dahil etmektir. Epoksi reçineye kauçuk malzeme eklenmesi camsı geçiş sıcaklığı (T_g), termal ve oksidatif stabiliteyi düşürdüğünden, son yıllarda epoksi reçineyi sertleştirmek için yüksek performanslı termoplastikler kullanılmıştır (Sapuan vd., 2003).

Kompozit malzemeler fiber ve matris olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır. Fiber taşıyıcı ve matris bağlayıcı olarak görev yapmaktadır. Her iki bileşenin de görevini sorunsuz yapabilmesi için arayüzey bağlanma dayanımının iyi olması gerekmektedir. Kompozit oluşumu sürekli, süreksiz ve kısa formda fiber kullanımı ile yapılabilmektedir. Ayrıca fiber kullanmaksızın bir polimer, metal ya da seramik malzeme ile bir katkı maddesinin birleşimi ile oluşabilmektedir. Kullanım yerine bağlı olarak da çeşitli formlarda kompozitler, farklı üretim teknikleri vasıtasıyla üretilmektedir. Bu üretim formları; polimer matrisli, seramik matrisli, metal matrisli kompozitler olabileceği gibi, sürekli fiber takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli kompozitler gibi de olabilmektedir (Şahin, 2022). Bu çalışmada, fibersiz atık malzeme ile takviye edilmiş epoksi matrisli kompozitlerin çeşitli mekanik özelliklerine genel bir bakış sunulmuştur. Tüm dünyada geri dönüşümün çevresel ve ekonomik boyutu göz önüne alındığında yapılan çalışmalar dikkate değerdir. Bu kapsamda ilerleyen zamanlarda da çalışmalar yapılmaya devam edilecektir.

2. Sonuçlar

Son yıllarda kompozit malzemelerde katkı olarak atık malzemelerin kullanımına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Sürdürülebilirlik, çevre, ekonomi, iklim değişikliği gibi konuların oldukça popüler olduğu günümüzde atık malzemelerin geri dönüşüm süreci yoğun olarak araştırılmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde epoksi reçineler daha yaygın bir kullanıma sahip olduğundan, bu çalışmada atık malzeme içeren epoksi matrisli kompozit malzemeler incelenmiştir. Araştırmalarda çeşitli atık malzemelerin kullanımıyla oluşturulan kompozitlerdeki özelliklerin incelenmesi detaylı bir şekilde görülmektedir. Bu çalışmada tarımsal, endüstriyel ve diğer atık türlerinin uygulamalarına genel bir bakış sunulmuştur. Atık malzemeler çeşitli ağırlık ya da hacim oranlarında epoksiye eklenmiştir. İncelenen mekanik özelliklere bağlı olarak uygun ASTM standartları gereğince numuneler elde edilmiş ve testler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu gibi çeşitli analizlerle içyapı incelenerek hasarın kaynağı tespit edilmiştir.

Son zamanlarda ormansızlaşmayı azaltmak ve böylece çevreyi kurtarmak için önlemler alınmaktadır. Bu kapsamda, yapısal uygulamalar için ahşap yerine tarımsal atık ürünler kullanılmaktadır (Nagarajan vd., 2020). Hindistan cevizi kabuğu, sert tarımsal atıklardan biridir. Hindistan cevizi kabuğu, yüksek mukavemet ve modül özelliklerinden dolayı yüksek potansiyeli olan bir malzemedir. Hindistan cevizi kabuğu tozu düşük maliyeti, yenilenebilirliği, yüksek özgül mukavemet/ağırlık oranı, düşük yoğunluğu ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleri diğer malzemelerle karşılaştırıldığında takdire değerdir. Hindistan cevizi kabuğu tozunun epoksi reçine ile karıştırılması özelliklerini geliştirmekte ve çok çeşitli uygulamalar yaratmaktadır (Somashekhar vd., 2018). Demirhindi kabuğu da tarımsal atık olan gıda dışı bir parçadır. Demirhindi meyvesi kabuğundan çıkarıldıktan sonra bu kabuklar atık olarak bertaraf edilir. Bu kabuklar sert olduğu için kompozit malzemelerde katkı maddesi olarak kullanıldıklarında daha iyi dayanım sağlarlar (Somashekhar vd., 2018). Benzer şekilde bunların dışındaki bazı meyvelerin kabukları ve çeşitli küspeler de katkı maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca geri dönüşüm ve atık yönetimi sürecinde doğal elyaflar epoksi kompozitlerde incelenmektedir. Bu malzemeler ağırlıklı olarak otomobil (kapı panelleri, iç parçalar ve kabin kaplamaları), havacılık ve ambalaj malzemelerinde kullanılmaktadır. Doğal lifler, inorganik malzemelere göre düşük maliyet, biyolojik olarak parçalanabilme ve düşük yoğunluk gibi avantajlara sahiptir. Doğal liflerin çevresel etkileri sentetik liflere göre daha azdır (Lakshumu Naidu ve Kona, 2018). Günümüzde araştırmalar sürdürülebilirlik, çevre, ekonomi gibi birçok faktörün etkisiyle doğal lifler ve atık malzemelere doğru eğilim göstermektedir.

Tablo 1’de hindistan cevizi, ceviz, fındık, demirhindi, yer fıstığı, elma, limon, ayçiçeği, pirinç kabuğu ve çeşitli türden küspeler gibi tarımsal atıkların epoksi kompozitlerde kullanımına yönelik literatürde yapılan çalışmalar gösterilmektedir.

Tablo 1. Çeşitli tarımsal atıkların epoksi kompozitlerde kullanımına yönelik literatür araştırması

Referans	Kompozit malzeme	Optimum katkı oranları (ağırlıkça)	İncelenen mekanik özellikler	Bulgular
Chanap (2012)	Epoksi+hindistan cevizi kabuğu	% 20	Çekme, eğilme, sertlik	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Panneerdhass vd. (2014)	Epoksi+yer fıstığı kabuğu	% 40	Çekme, basma, eğilme, darbe	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Salleh vd. (2014)	Epoksi+hindistan cevizi kabuğu	% 4	Çekme, darbe	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Shakuntala vd. (2014)	Epoksi+elma kabuğu	% 15	Çekme, eğilme, kısa kırıç kayma	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Prabhakar vd. (2015)	Epoksi+yer fıstığı kabuğu	% 15	Çekme	Çekme dayanımı % 48.2 ve elastisite modülü % 63.3 artmıştır.
Prithivirajan vd. (2015)	Epoksi+pirinç kabuğu+lif özü	% 30 ve 40 (katkı maddesine göre optimum oranlar değişmektedir)	Çekme, eğilme, darbe	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli tarımsal atıkların epoksi kompozitlerde kullanımına yönelik literatür araştırması (devam)

Referans	Kompozit malzeme	Optimum katkı oranları (ağırlıkça)	İncelenen mekanik özellikler	Bulgular
Shivamurthy vd. (2015)	Epoksi+Jatropha tohum küspesi	% 40	Çekme, sertlik	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Sajith vd. (2017)	Epoksi+hindistan cevizi kabuğu+pirinç kabuğu+hint ağacı	% 4.5	Sertlik, çekme	Yüksek lignin içeriği özellikleri iyileştirmiştir.
Nam vd. (2018)	Epoksi+pirinç kabuğu	% 0.3 ve 0.5 (mekanik özelliğe göre optimum oranlar değişmektedir)	Çekme, eğilme, yorulma	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Salasinska vd. (2018)	Epoksi+ceviz kabuğu	% 30	Çekme, darbe ve sertlik	Çekme ve darbe dayanımı azalmıştır. Sertlik dayanımı artmıştır.
Somashekhar vd. (2018)	Epoksi+hindistan cevizi kabuğu+demirhindi kabuğu	% 50	Çekme, eğilme	Çekme dayanımı artmıştır. Eğilme dayanımında değişim yoktur.
Souza vd. (2018)	Epoksi+odun atığı	% 50-100	Anderson-Darling ve Bartlett test	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Barczewski vd. (2019)	Epoksi+ceviz kabuğu+fındık kabuğu+ayçiçeği kabuğu	%15-35 (katkı maddesine göre optimum oranlar değişmektedir)	Çekme, eğilme, sertlik, darbe	Çekme, eğilme ve darbe dayanımı azalmıştır. Sertlik dayanımı % 8 artmıştır.
Singh vd. (2019)	Epoksi+şeker kamışı küspesi	% 10	Sertlik, eğilme, çekme, darbe	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Nagarajan vd. (2020)	Epoksi+ α -selülozik mikro dolgu	%15	Çekme, eğilme, darbe	Çekme dayanımı % 60.9, eğilme dayanımı % 63.3 ve darbe dayanımı %39 artmıştır.
Sharma vd. (2021)	Epoksi+limon kabuğu	%15	Çekme, eğilme, darbe	Çekme ve eğilme dayanımı azalmıştır. Darbe dayanımı artmıştır.
Arpitha vd. (2022)	Epoksi+bor nitrür ve mısır koçanı	% 3.5/3.5	Çekme, eğilme, sertlik	Çekme ve eğilme dayanımı artmıştır. Sertlik dayanımı azalmıştır.
Pranay vd. (2022)	Epoksi+silika+pirinç kabuğu	% 4-6 (mekanik özelliğe göre optimum oranlar değişmektedir)	Çekme, basma, eğilme	Silika dolgu pirinç kabuğuna göre daha iyi sonuçlar vermiş olup, mekanik özellikler artmıştır.
Rajan vd. (2023)	Epoksi+selüloz nanofiber	% 3	Çekme, eğilme, darbe, sertlik	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.

Kentsel katı atık (MSW) yakma külü, kentsel katı atıkların yakılmasından sonraki kalıntıdır. Günümüzde bu atıklar çöp sahasına gönderilmektedir. MSW yakma külünün, kompozit malzemeler için dolgu maddeleri gibi potansiyel olarak ikincil kaynaklar olarak kullanılan bir oksit ve karbonat seramik karışımı bakımından zengin olduğu bilinmektedir (Keong vd., 2017). Ayrıca suni taş üretimi için kalsit mermer atığının epoksi reçineye dahil edilmesi teknik-ekonomik bir yöntemi temsil edebilir, çevreye atılan kalıntı miktarını azaltabilir, mermer atıklarına ekonomik değer katabilir ve istihdam yaratılmasını sağlayabilir. Alınan mermerin sadece %75'i bitmiş ürün haline gelir, kalanı atılır (Silva vd., 2018).

Tablo 2'de tavuk tüyü, yumurta kabuğu, seramik atığı, mermer atığı, uçucu kül gibi endüstriyel, hayvansal ve tekstil atıklarının epoksi kompozitlerde kullanımına yönelik literatürde yapılan çalışmalar gösterilmektedir.

Tablo 2. Çeşitli hayvansal, endüstriyel, tekstil atıkların epoksi kompozitlerde kullanımına yönelik literatür araştırması

Referans	Kompozit malzeme	Optimum katkı oranları (ağırlıkça)	İncelenen mekanik özellikler	Bulgular
Mishra vd. (2010)	Epoksi+tavuk tüyü	% 20	Kısa giriş kayma, çekme, eğilme	Eğilme dayanımı ve elastisite modülü artmıştır. Tabakalar arası kayma dayanımında değişim yoktur.
Chyad (2011)	Epoksi+seramik atığı (Irak taşı tozu)	% 12	Darbe, kırılma tokluğu, çekme, sertlik	Seramik tozlarının miktarının artması ile mekanik özellikler 2 kat iyileştirilmiştir.
Ahmetli vd. (2012)	Epoksi+mermer tozu	-	Çekme, sertlik	Mekanik özellikler artmıştır.
Keong vd. (2017)	Epoksi+uçucu kül	% 10	Eğilme, çekme	Mekanik özellikler azalmıştır.
Yousef vd. (2017)	Epoksi+ ametal atık (atık baskılı devre kartları)	-	Çekme	Elastisite modülünde hafif bir azalış vardır.
Silva vd. (2018)	Epoksi+mermer tozu	-	Eğilme, basma	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Adesina vd. (2020)	Epoksi+lastik kauçuğu	% 5	Sertlik, çekme	Sertlik değeri %22 artmıştır. Elastisite modülü ise azalmıştır.
Baccouch vd. (2022)	Epoksi+tekstil atığı (pamuk+polyester+ pamuk/polyester)	-	Çekme, darbe	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Arivendan vd. (2023)	Epoksi+su sümbülü bitkisi+yumurta kabuğu	% 5/30	Çekme, eğilme, darbe	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Rahman ve Li (2023)	Epoksi+endüstriyel atık (çelik çürufu+mermer tozu+polivinil klorür atığı)	%75	Çekme, basma	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Lee vd. (2023)	Epoksi+çeşitli plastik atıklarından elde edilen kömür (char)	%15-30 (katkı maddesine göre optimum oranlar değişmektedir)	Çekme, eğilme, sertlik	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Temiz vd. (2023)	Epoksi+monomer kauçuğu+lastik atığı	% 30 (3:1)	Çekme, sertlik	Çekme dayanımı ve elastisite modülü artmıştır. Sertlik dayanımı azalmıştır.
Yawas vd. (2023)	Epoksi+tavuk tüyü+yumurta kabuğu+kaolin	-	Çekme, eğilme, darbe	Mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Abdulhameed vd. (2024)	Epoksi+lastik parçacıkları	% 10-40 (mekanik özelliğe göre optimum oranlar değişmektedir)	Çekme, eğilme, sertlik	Çekme, eğilme dayanımları ve sertlik değerleri azalmış, ancak kabul edilebilir seviyede olmuştur.

3. Genel Değerlendirme

- Ülkemizde atık malzeme miktarı artmaktadır. Bu nedenle atık malzemelerin geri dönüşümü gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır.
- Atık malzemelerin değerlendirilmesi hem doğada sınırlı miktarda bulunan kaynakların tüketimini azaltmakta hem de bu malzemelerin çevrede oluşturduğu problemleri en aza indirmektedir.
- Atık malzemelerin değerlendirilmesiyle azalan üretim maliyeti, üretilen malzemelerin satış potansiyelini artırmaktadır.
- Literatürde, kompozit malzemelerde katkı olarak atık malzemelerin kullanımına yönelik birçok çalışma bildirilmiştir. Tarımsal atıklar, hayvansal atıklar ve tekstil atıkları gibi birçok atık malzemenin kompozit malzemelerde kullanıldığı görülmüştür.

- Yapılan çalışmalarda atık malzemelerin kompozit malzemelerde kullanılmasının çekme, eğilme, kırılma mukavemeti gibi mekanik özellikler açısından birçok avantaj sağladığı sonucuna varılmıştır.
- Gelecek çalışmalarda atık malzeme takviyeli epoksi, sürekli fiber ile takviye edilerek daha mukavim hale getirilebilir.
- Ayrıca çeşitli tür ve oranlarda hibrit takviyeler kullanılarak özelliklerdeki değişimler incelenebilir.
- Şu an sentetik fiberler yerine doğal fiberler kullanılarak geri dönüşümün etkisi artırılmaya çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalara ek olarak farklı fiberlerin kullanılması ile incelemeler yapılabilir.

Referanslar

- Abdulhameed, J.I., Ali, A.H., Kara, İ.H., Mahan, H.M., Konovalov, S.V., & Al-Nedawi, N.M. (2024). Preparing eco-friendly composite from end-life tires and epoxy resin and examining its mechanical, and acoustic insulation properties. *International Journal of Nanoelectronics and Materials (IJNeaM)*, 17(1), 1-5.
- Adesina, A.Y., Zainelabdeen, I.H., Dalhat, M.A., Mohammed, A.S., Sorour, A.A., & Al-Badou, F.A. (2020). Influence of micronized waste tire rubber on the mechanical and tribological properties of epoxy composite coatings. *Tribology International*, 146, 106244.
- Adıbelli, Ü., Mutlu, D., Çakır Yiğit, N., & Karagöz, İ. (2022). Ceviz kabuğu dolgulu epoksi hibrit kompozit malzemelerin hazırlanması ve karakterizasyonu. 10. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2022, İstanbul.
- Agunsoye, J.O., Isaac, T.S., & Samuel, S.O. (2012). Study of mechanical behaviour of coconut shell reinforced polymer matrix composite. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11(8), 774-779.
- Ahmetli, G., Kocak, N., Dag, M., & Kurbanli, R. (2012). Mechanical and thermal studies on epoxy toluene oligomer-modified epoxy resin/marble waste composites. *Polymer Composites*, 33(8), 1455-1463.
- Arivendan, A., Thanigai, W.J.J., Ramakrishnan, K., & Devisai, D.A. (2023). Biological waste water hyacinth (Eichhornia crassipes) plant powder particle with cellulose filler-reinforced epoxy polymer composite material property analysis. *Journal of Bionic Engineering*, 20(3), 1386-1399.
- Arpitha, G.R., Jain, N., Verma, A., & Madhusudan, M. (2022). Corn cob bio-waste and boron nitride particle-reinforced epoxy-based composite for lightweight application: fabrication and characterization. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-8.
- Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (2010). Bio-based composites from waste agricultural residues. *Waste Management*, 30(4), 680-684.
- Baccouch, W., Ghith, A., Yalcin-Eniç, K., Çezgin, H., Miled, W., Lebrand, X., & Faten, F. (2022). Investigation of the mechanical, thermal, and acoustic behavior of cotton, polyester, and cotton/polyester nonwoven waste-reinforced epoxy composite. *Journal of Industrial Textile*, 51(6), 876-899.
- Baffour-Awuah, E., Akinlabi, S.A., Jen, T.C., Hassan, S., Okokpujie, I.P., & Ishola, F. (2021). Characteristics of palm kernel shell and palm kernel shell-polymer composites: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1107(1), 12090.
- Bahçe, H.T., & Temiz, Ş. (2019). Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı tabakalı kompozitlerin kıyaslanması. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 125-146.
- Barczewski, M., Sałasińska, K., & Szulc, J. (2019). Application of sunflower husk, hazelnut shell and walnut shell as waste agricultural fillers for epoxy-based composites: A study into mechanical behavior related to structural and rheological properties. *Polymer Testing*, 75, 1-11.
- Belmares, H., Barrera, A., Castillo, E., Verheugen, E., Monjaras, M., Patfoort, G.A., & Bucquoye, M.E. (1981). New composite materials from natural hard fibers. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 20(3), 555-561.
- Büyükkaya K. (2019). Examining the breaking and bending behaviors of the polymethylmetacrylate composites reinforced with hazelnut shell powder. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 20(2), 1-8.
- Chanap, R. (2012). Study of mechanical and flexural properties of coconut shell ash reinforced epoxy composites. *National Institute of Technology Rourkela*, 5(7), 41.

- Chyad, F.A. (2011). The effect of waste ceramic materials (Iraqi stones dust powders) on the mechanical properties of epoxy resin. *Engineering & Technology Journal*, 29(16).
- Çemrek, Ş. (2011). Kayısı çekirdeği ve kestane kabuklarının alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi. (*Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- De Rosa, I.M., Santulli, C., & Sarasini, F. (2011). Mechanical characterization of untreated waste office paper/woven jute fabric hybrid reinforced epoxy composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(3), 1366-1373.
- Ghavami, K., Toledo Filho, R.D., & Barbosa, N.P. (1999). Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. *Cement and Concrete Composites*, 21(1), 39-48.
- Herrera-Franco, P., Valadez-Gonzalez, A., & Cervantes-Uc, M. (1997). Development and characterization of a HDPE-sand-natural fiber composite. *Composites Part B: Engineering*, 28(3), 331-343.
- Idicula, M., Boudenne, A., Umadevi, L., Ibos, L., Candau, Y., & Thomas, S. (2006). Thermophysical properties of natural fibre reinforced polyester composites. *Composites Science and Technology*, 66(15), 2719-2725.
- Jacob, M., Thomas, S., & Varughese, K.T. (2004). Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composites. *Composites Science and Technology*, 64(7-8), 955-965.
- Ji, G., Zhu, H., Jiang, X., Qi, C., & Zhang, X.M. (2009). Mechanical strengths of epoxy resin composites reinforced by calcined pearl shell powders. *Journal of Applied Polymer Science*, 114(5), 3168-3176.
- Keong, G.C., Walad, M.H.B.M., Xiong, O.W., Haikel, M.N., Ling, C.H., Ravichandran, R.K.S.O., Kiang, L.T., & Hing, T.L. (2017). A study on mechanical properties and leaching behaviour of municipal solid waste (MSW) incineration ash/epoxy composites. *Energy Procedia*, 143, 448-453.
- Kocaman, S. (2019). Farklı kimyasallarla modifiye edilen doğal atık takviyeli epoksi reçine matrisli kompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(1), 77-86.
- Koçhan, C. (2019). Mechanical properties of waste mussel shell particles reinforced epoxy composites. *Materials Testing*, 61(2), 149-154.
- Koçhan, C. (2020). Midye kabuğu/epoksi parçacık takviyeli kompozitin mode-I kırılma tokluğunun deneysel olarak incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 599-604.
- Kozak, M. (2010). Tekstil atıkların yapı malzemesi olarak kullanım alanlarının araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 62-70.
- Kumar, D., Boopathy, S.R., Sangeetha, D., & Bharathiraja, G. (2017). Investigation of mechanical properties of horn powder-filled epoxy composites/Raziskava mehanskih lastnosti epoksi kompozitov s polnilom iz rozevine v prahu. *Strojniski Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 63(2), 138-148.
- Kurnaz, M., & Oktay, B.M. (2017). Ekolojik malzemeler kullanarak üretilen ısı yalıtım levhalarının özelliklerinin incelenmesi. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 1(1), 15-17.
- Lakshumu Naidu, A., & Kona, S. (2018). Experimental Study of the Mechanical Properties of Banana Fiber and Groundnut Shell Ash Reinforced Epoxy Hybrid Composite. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 31(4), 659-665. <https://doi.org/10.5829/ije.2018.31.04a.18>.
- Lee, S., Kim, Y.T., Lin, K.Y.A., & Lee, J. (2023). Plastic-waste-derived char as an additive for epoxy composite. *Materials*, 16(7), 2602.
- Luo, S., & Netravali, A.N. (1999). Mechanical and thermal properties of environment-friendly "green" composites made from pineapple leaf fibers and poly (hydroxybutyrate-co-valerate) resin. *Polymer Composites*, 20(3), 367-378.
- Mishra, S.C., Nayak, N.B., & Satapathy, A. (2010). Investigation on bio-waste reinforced epoxy composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(19), 3016-3020.

- Nagarajan, K.J., Balaji, A.N., Basha, K.S., Ramanujam, N.R., & Kumar, R.A. (2020). Effect of agro waste α -cellulosic micro filler on mechanical and thermal behavior of epoxy composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 152, 327-339.
- Nam, G., Kim, J., & Song, J.I. (2019). Mechanical performance of bio-waste-filled carbon fabric/epoxy composites. *Polymer Composites*, 40(2), 1504-1511.
- Panneerdhass, R., Gnanavelbabu, A., & Rajkumar, K. (2014). Mechanical properties of luffa fiber and ground nut reinforced epoxy polymer hybrid composites. *Procedia Engineering*, 97, 2042-2051.
- Prabhakar, M.N., Shah, A.U.R., Rao, K.C., & Song, J.I. (2015). Mechanical and thermal properties of epoxy composites reinforced with waste peanut shell powder as a bio-filler. *Fibers and Polymers*, 16(5), 1119-1124.
- Pranay, V., Ojha, S., Raghavendra, G., Dheeraj, G., & Anjali, A. (2022). Evaluation of mechanical and tribological properties of biowaste and biowaste based silica particulate epoxy composites. *Silicon*, 14(8), 4367-4374.
- Prithivirajan, R., Jayabal, S., & Bharathiraja, G. (2015). Bio-based composites from waste agricultural residues: Mechanical and morphological properties. *Cellulose Chemistry and Technology*, 49(1), 65-68.
- Rahman, M.U., & Li, J. (2023). Influence of waste filler on the mechanical properties and microstructure of epoxy mortar. *Applied Sciences*, 13(11), 6857.
- Rajan, S.T.K., Nagarajan, K.J., Balasubramani, V., Sathickbasha, K., Sanjay, M.R., Siengchin, S., & Balaji, A.N. (2023). Investigation of mechanical and thermo-mechanical characteristics of silane-treated cellulose nanofibers from agricultural waste reinforced epoxy adhesive composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 126, 103492.
- Sajith, S., Arumugam, V., & Dhakal, H.N. (2017). Comparison on mechanical properties of lignocellulosic flour epoxy composites prepared by using coconut shell, rice husk and teakwood as fillers. *Polymer Testing*, 58, 60-69.
- Salasinska, K., Barczewski, M., Górný, R., & Kloziński, A. (2018). Evaluation of highly filled epoxy composites modified with walnut shell waste filler. *Polymer Bulletin*, 75(6), 2511-2528.
- Salleh, Z., Islam, M.M., Yusop, M.Y.M., & Idrus, M.M.A.M. (2014). Mechanical properties of activated carbon (AC) coconut shell reinforced polypropylene composites encapsulated with epoxy resin. *APCBEE Procedia*, 9(Icbee 2013), 92-96.
- Sapuan, S.M., Harimiand, M., & Maleque, M.A. (2003). Mechanical properties of epoxy/coconut shell filler particle composites. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 28(2), 171-182.
- Shakuntala, O., Raghavendra, G., & Samir Kumar, A. (2014). Effect of filler loading on mechanical and tribological properties of wood apple shell reinforced epoxy composite. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.
- Sharma, H., Singh, I., & Misra, J.P. (2021). Effect of particle size on physical, thermal and mechanical behaviour of epoxy composites reinforced with food waste fillers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235(16), 3029-3035.
- Shivamurthy, B., Murthy, K., Joseph, P.C., Rishi, K., Bhat, K.U., & Anandhan, S. (2015). Mechanical properties and sliding wear behavior of jatropa seed cake waste/epoxy composites. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(1), 144-156.
- Silva, F.S., Ribeiro, C.E.G., & Rodriguez, R.J.S. (2018). Physical and mechanical characterization of artificial stone with marble calcite waste and epoxy resin. *Materials Research*, 21(1), 1-6.
- Silva, T.H., Mesquita-Guimarães, J., Henriques, B., Silva, F.S., & Fredel, M.C. (2019). The potential use of oyster shell waste in new value-added by-product. *Resources*, 8(1), 13.
- Singh, T., Tejyan, S., Patnaik, A., Singh, V., Zsoldos, I., & Fekete, G. (2019). Fabrication of waste bagasse fiber-reinforced epoxy composites: Study of physical, mechanical, and erosion properties. *Polymer Composites*, 40(9), 3777-3786.
- Somashekhar, T.M., Naik, P., Nayak, V., Mallikappa, & Rahul, S. (2018). Study of mechanical properties of coconut shell powder and tamarind shell powder reinforced with epoxy composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 376(1), 12105.

Souza, A.M., Nascimento, M.F., Almeida, D.H., Silva, D.A.L., Almeida, T.H., Christoforo, A.L., & Lahr, F.A. (2018). Wood-based composite made of wood waste and epoxy based ink-waste as adhesive: A cleaner production alternative. *Journal of Cleaner Production*, 193, 549-562.

Şahin, Y. (2022). *Kompozit Malzemelere Giriş*, 4. baskı. Ankara, Seçkin Yayıncılık.

Temiz, M., Kocaman, İ., & Ahmetli, G. (2023). Evaluation of EPDM waste in environmentally friendly epoxy hybrid composite. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.

Toro, P., Quijada, R., Arias, J.L., & Yazdani-Pedram, M. (2007a). Mechanical and morphological studies of poly (propylene)-filled eggshell composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 292(9), 1027-1034.

Toro, P., Quijada, R., Yazdani-Pedram, M., & Arias, J.L. (2007b). Eggshell, a new bio-filler for polypropylene composites. *Materials Letters*, 61(22), 4347-4350.

Üçgöl, İ., & Turak, B. (2015). Tekstil katı atıklarının geri dönüşümü ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 3(3).

Url-1 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2022-49570>, 16.12.2023 tarihinde erişildi.

Yaldızci, E.Ş. (2016). Kumaş atıklarının polyeüster eüü kompozit malzeme üretiminde değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

Yawa, D., Umaila, M., Arki, J., & Samuel, B.O. (2023). Manufacturing and optimization of the mechanical properties (tensile strength, flexural strength, and impact energy) of a chicken feather/eggshell/kaolin hybrid reinforced epoxy composite using the Taguchi technique. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-16.

Yousef, S., Tatariants, M., Bendikiene, R., & Denafas, G. (2017). Mechanical and thermal characterizations of non-metallic components recycled from waste printed circuit boards. *Journal of Cleaner Production*, 167, 271-280.