



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Atık Lastiklerin Geri Dönüşümü İçin Kenevir Katkılı Yeşil Kompozit Üretiminin Araştırılması

Arife ŞİMŞEK¹, Gökhan DEMİR^{*2}

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Almus Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 60250, Tokat, Türkiye

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun, Türkiye

Arife ŞİMŞEK, [ORCID No:0000-0002-7177-1764](https://orcid.org/0000-0002-7177-1764), Gökhan DEMİR, [ORCID No:0000-0002-3734-1496](https://orcid.org/0000-0002-3734-1496)

*Sorumlu yazar e-posta: gokhan.demir@omu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 06.11.2023

Kabul: 01.05.2024

Online Ağustos 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1386928](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1386928)

Anahtar Kelimeler

Atık lastik,
Geri dönüşüm,
Kauçuk,
Kenevir,
Yeşil yapı malzemesi

Öz: Günümüzde artan çevre sorunları, endüstride sıklıkla kullanılan petrol türevli malzemelerin yerine, organik temelli biyo-bozunur malzemelerin tercih edilmesine neden olmuştur. Bu nedenle mukavemeti düşük olan polimerlerin mekanik dayanımını artırmak için kenevir, keten, jüt gibi doğal liflerle katkılanmış kompozitler hazırlanmaktadır. Çalışma kapsamında, ana maddesi kauçuk olan ömrünü tamamlamış atık lastiklerin (ÖTL) geri dönüşümü için kenevir katkıli kompozit (zemin kaplama) malzeme üretimi ve kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla, granül hale getirilmiş kauçuk lastikler ile %10 ve %20 oranlarda olacak şekilde 90-125-250 µm kenevir kütüğü birleştirici malzeme binder ile karıştırılarak kenevir katkıli kompozit ürünler hazırlanmıştır. Son ürün olarak kenevir içerikli yeşil ürün elde edilmesi, sağlığa ve çevreye zararlı olmayan, doğa dostu, karbon salımının azaltılmasını destekleyen kenevir katkıli zemin kaplama malzemesi olarak kullanım potansiyelinin araştırılması amacıyla yapılan analizler sonucunda 90 µm partikül boyutu olan % 10 ve % 20 kenevir katkıli kompozit numuneler ham kauçuk ile benzer ve üstün özellikler göstermiştir. Üretilen kompozit malzeme ile çevre dostu, karbon salımını azaltan bir zemin kaplama malzemesi elde edilmesinin yanı sıra üreticinin bağlayıcı ajan olarak kullandığı binder oranı düşürülerek maliyet açısından da kazanç sağlanmıştır.

Investigation of Hemp-Added Green Composite Production for Recycling Waste Tires

Article Info

Received: 06.11.2023

Accepted: 01.05.2024

Online August 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1386928](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1386928)

Keywords

Green construction material,
Hemp,
Recycling,
Rubber,
Waste tire

Abstract: Increasing environmental problems today have led to the preference for organic-based biodegradable materials instead of petroleum-derived materials, which are frequently used in the industry. For this reason, composites doped with natural fibers such as hemp, flax and jute are prepared to increase the mechanical strength of polymers with low strength. Within the scope of the study, the production and use of hemp-added composite (flooring) material for recycling end-of-life waste tires, the main ingredient of which is rubber, was investigated. For this purpose, hemp-added composite products were prepared by mixing granulated rubber tires with 90-125-250 µm hemp tow binder material in the ratios of 10% and 20%. As the final product, it is aimed to obtain a green product containing hemp. It is a nature-friendly, environmentally friendly, hemp-added flooring material that is not harmful to health and the environment, in areas open to human use such as recreation areas. As a result of the analyses carried out to investigate the potential to be used as an adhesive, 10% and 20% hemp-added composite samples with 90 µm particle size showed similar and superior properties to raw rubber. In addition to obtaining an environmentally friendly floor covering material that reduces carbon emissions, the composite material produced also provides cost savings by reducing the binder ratio used by the manufacturer as a binding agent.

1. Giriş

Son yıllarda, artan çevre sorunları endüstrilerin çevre dostu ürünler yapmak için petrol bazlı malzemeleri, tarım bazlı malzemelerle değiştirmesine neden olmuştur. Yeşil ürünler üretme girişiminde, polimerleri güçlendirmek için doğal lifler ve hibrit kompozitler kullanılmaya başlanmıştır. Kenevir, keten, jüt, sisal gibi doğal lifler, yaygın olan inorganik veya sentetik liflere göre, (örneğin cam ve karbon lifleri) bazı avantajlara sahiptir. Bunlar daha az yoğunluk, işleme sırasında daha az makine aşınması, sağlık açısından tehlike teşkil etmemesi ve yüksek derecede esneklik sağlamasıdır (Mwaikambo ve ark., 2007; Kabir ve ark., 2012; Haghghatnia ve ark., 2017). Endüstrideki önemli doğal liflerden biri, kısa hasat döngüsüne sahip olan ve çok çeşitli ortamlarda kolaylıkla yetiştirilebilen kenevirdir. Ek olarak, yaklaşık 310-1110 MPa çekme mukavemeti olan kenevir, tüm sak lifleri arasında en güçlü liflerden biridir (Müssig & Christian, 2010).

Genel olarak kenevir gibi doğal lifler, sertleşip polimerin deformasyonunu azaltıp, elastik modülünü artırarak kompozitlerin mekanik performansını olumlu yönde etkileme eğilimindedir (Moni Ribeiro Filho ve ark., 2019). Mevcut araştırmalara göre kenevirin ağaçlara göre iki kat daha verimli bir karbon emme ve tutma kapasitesi sergilediği bulunmuştur. Bu özel yöntem, su tasarrufuna sağladığı faydaların yanı sıra su kirliliğini en aza indiriyor, ekim için daha az alan gerektiriyor, antibakteriyel özelliklere sahip ve dayanıklılık gösteriyor. Kenevir lifinin polimerlerde takviye malzemesi olarak kullanılması, hafif yapısı, biyolojik olarak parçalanabilirliği, satın alınabilirliği, düşük yoğunluğu, yaygın bulunabilirliği ve yenilenebilir doğası gibi avantajlı özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmüştür (Müssig ve ark., 2020). Birçok yazar, kompozit malzemenin ticarileştirilmesi ve endüstriyel uygulaması için gerekli önemli niteliklerin imalatını ve değerlendirmesini gerçekleştirerek polimerlerde takviye maddesi olarak keneviri kullanmıştır (Deeraj ve ark., 2021; Tucci ve ark., 2022; Kumar ve ark., 2023). Dhakal ve ark. (2007), kenevir lifi ile güçlendirilmiş kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde su emmenin etkisini araştırdılar. Oda sıcaklığında su emiliminin Fickian davranışını takip ettiği bulunmuştur, ancak daha yüksek sıcaklıklarda emme davranışı Fickian değildir. Bu su alım davranışı, nemin neden olduğu bozulma nedeniyle yüksek sıcaklıklarda büyük ölçüde değişir. Kompozitteki su içeriği malzemenin mukavemetinde önemli bir düşüşe yol açar. Rousin ve ark. (2006), reçine transfer kalıplama kullanarak kenevir lifini polye ester reçineye dönüştürerek kompozit üretti ve mekanik özelliklerini inceledi. Kenevir lifi içeriğinin eklenmesiyle mekanik özellikler arttığını ve %35'lik lif hacmi içeriğinde en yüksek mekanik özelliklere ulaştığını bildirmiştir. Sair ve ark. (2018), Kenevir elyaf takviyeli poliüretan kompozitlerin mekanik ve termal iletkenlik özelliklerini incelemiş kompozitlerin ısıl iletkenliğinin yoğunlukla doğrusal olarak arttığını, ağırlıkça %15 fiber yüklemeli kompozitlerin mekanik özellikleri mukavemette %40 artış sağladığını belirtmiştir. Ölçülen özellikler, poliüretan-kenevir elyaf kompozitinin, geleneksel yalıtım malzemelerine (cam yünü, mineral yün vb.) kıyasla iyi yalıtım özellikleri sunduğunu gösterdi. Kakrodi ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada kenevir liflerinin öğütülmüş lastik kauçukla birlikte kullanılması, iki takviye ile polietilen polimer matrisi arasında genel olarak iyi bir bağ olduğunu gösterdi. %50 kenevir liflerinin kullanılması aynı zamanda çekme mukavemeti ve elastik modülde önemli bir artışa katkıda bulunmuştur. %60 oranında kenevir ilavesi ile bükülme özellikleri de %260 oranında arttırmıştır. Öte yandan, ağırlıkça %26 oranında kauçuk parçacıklarının kullanılması, kompozitlerin çekme mukavemeti, sertliği ve yoğunluğunun azalmasını yanı sıra enerji emiliminin artmasına da neden olmuştur.

Geri dönüştürülmüş kaynaklardan takviye kullanımı da sürdürülebilir kompozitler üretmek ve atılan malzemeleri yeniden kullanmak için alternatif bir yoldur. Atık kauçuk lastik parçacıklarının, son derece dayanıklı olması ve biyolojik olarak parçalanamaması nedeniyle kauçuk bileşenin yaşam döngüsüne dahil edilmesi önemlidir. Dolayısıyla, döngüsel ekonomiye geçiş, atık ürünler için geri dönüşüm ve yeniden kullanım yollarının uygulanmasını gerektirir.

Bu çalışma, önde gelen ve gelişmekte olan alanlardan birini, sürdürülebilir malzemelerin ve atık işlemenin, yani atık kauçuk lastik ve kenevir yan ürünlerinin geliştirilmesini ele almaktadır. Bu kapsamda, ana maddesi kauçuk olan ömrünü tamamlamış atık lastiklerin (ÖTL) geri dönüşümü için kenevir katkılı kompozit (zemin kaplama) malzeme üretimi, üretilen malzemenin mekanik özelliklerini (basınç ve darbe testi gibi), termogravimetrik özelliklerini, morfolojisini, termal yapısını ve su emme özellikleri araştırılmıştır.

2. Ömrünü Tamamlamış Atık Kauçuk Lastikler (ÖTL)

Sanayileşmenin ve tabii kaynakların bilinçsizce tüketiminin çevresel sorunlara etkisi günümüzde fazlaca hissedilmeye başlamıştır. Artan nüfusla beraber motorlu taşıtların da kullanımı orantılı şekilde yükselmektedir. Artan taşıt sayısı ile birlikte taşıtlar için kullanılacak olan lastik sayısının da paralel şekilde arttığı gözlenmektedir.

Lastik üretimi için toplam doğal ve sentetik kauçuk malzemelerin %70' inden fazlası kullanılmaktadır (Myhre & MacKillop, 2002; Karger-Kocsis ve ark., 2013). Bir lastiğin kullanımı artık verimli veya tatmin edici derecede güvenli olmadığına, kullanım ömrünü tamamlamış lastik (ÖTL) olarak da adlandırılan atık bir lastik haline gelir (Mangili ve ark., 2015). Her yıl, dünya çapında yaklaşık 17 milyon tonun üzerinde eskimiş lastik hurdaya ayrılmaktadır (Wayal & Wagle, 2013; Nuzaimah ve ark., 2018). Ne yazık ki, tüm atık lastiklerin %1'inden çok daha azının doğal olarak bozulması, kauçuğun karmaşık çapraz bağlı yapısı olması nedeniyle yüzlerce yıl almaktadır (Adhikari ve ark., 2000; Gupta ve ark., 2012; Liu ve ark., 2020).

Ömrünü tamamlamış lastiklerin atılmasıyla ilgili iki kritik sorun vardır. Birincisi, israf açısından ekonomik kayıptır. Atık olarak ayrıldığında, hem bertaraf alanlarına nakliyeden kaynaklanan ek maliyetler oluşmasına, hem de arazinin farklı amaçlarla kullanımının kısıtlanarak tükenmesine neden olmaktadır. İkincisi, sudaki ve karadaki organizmalar için tehlike oluşturan, terk edilmiş atık lastiklerin neden olduğu çevre kirliliğidir. Atık lastikler depolama sahasında bertaraf edildiğinde, zehirli gazlar oluşur ve bu gazlar belirli basınç altında patlama riski taşırlar. Bu nedenle, atık lastik kauçuklarının geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılma girişimleri gerekli hale gelmektedir. Lastik geri dönüşümü aynı derecede bir hammadde kaynağını temsil eder ve atık lastikleri toplayan insanlara kazanç imkânı sunar, böylece ekonomik kalkınmayı destekler.

Mevcut durumda kauçuk lastik atıkları, geri dönüştürülüp zemin döşemelerinde, kaplamalarında kullanılıyor. Ancak kauçuk granüllerin bağlama aşamasındaki gerekli malzemeler maliyeti arttırmakta ve kauçuk içeriği nedeniyle çevresel açıdan da tehlike oluşturmaktadır. 25 Kasım 2006 Tarihinde 26357 Sayılı Resmî Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren "Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği" ne göre geri kazanım ve bertaraf işlemlerinin, hava, su, toprak, bitki ve hayvanlar üzerinde tehlike yaratmadan, ses ve koku yoluyla çevreye herhangi bir olumsuz etkide bulunmadan ve doğal çevre ile koruma alanlarına zarar vermeden yapılması zorunludur. Bu yönetmeliğe bağlı olarak kenevir katkılı atık kauçuk lastiklerin üretimi hammadde kazanımı, çevre dostu ve sürdürülebilir dayanıklı ürünler üretimi ile ülke ekonomisine ve özellikle doğaya katkı sağlanması önemlidir.

2.1. Atık kauçuk lastiklerin geri dönüşümü

Ülkemizdeki lastiklerin karmaşık yapısı ve bileşimi, lastiklerin geri kazanım ve geri dönüşüm süreçlerine önemli kısıtlamalar getirmektedir. Lastiklerin %70-80 oranında kükürtle sertleşen kauçuk bileşeninin yanı sıra, polyester, naylon veya selülozdan yapılan elyaf ve çelik kordlar, lastikleri güçlendirmek için kullanılan temel bileşenlerdir. Bu nedenle, liflerin ve çelik bileşenlerin kauçuktan ayrılması, lastiklerin geri dönüşümü sırasındaki ilk zor adımdır (Ramarad ve ark., 2015). Bu ayrıştırma işlemleri tamamlandıktan sonra, atık lastiklerin geri dönüştürülmesinin bir sonraki aşaması ise farklı boyut ve şekillerde lastiğin parçalanarak öğütülmesidir (Şekil 1) (Manuel, 2001).



Şekil 1. Ömrünü tamamlanmış lastiklerin geri dönüşüm kademeleri (Antakya Belediyesi, 2014).

Üretilen lastikler eriyemez ve çözünemezdir, yeniden işlenmeleri de teknik olarak karmaşıktır (Zhang ve ark., 2009). Ömrünü tamamlamış lastikler aynı zamanda enerji kaynağıdır. Örneğin, %90 organik malzeme içeren atık lastikler, kömürden (18.6-27.9 MJ/kg) (18.6-27.9 MJ/kg) daha fazla ısıl değere (32.6 MJ/kg) sahiptirler (Fazli & Rodrigue, 2020). Atık lastiklerin yakılması, enerji üretmek veya

geri kazanmak için bu tüketim sonrası ürünün önemli bir miktarının ortadan kaldırılması bir yöntem olarak görülmektedir. Ancak bu yöntem, hava kirliliği ve küresel ısınma gibi önemli olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır (Mangili ve ark., 2014; Cazan ve ark., 2019).

Lastiklerin geri kazanılması, lastiklerin geri dönüşüm sürecine ilişkin bir başka karmaşık tekniktir (Dubkov ve ark., 2012; Dobrotă & Dobrotă, 2018). Kullanılmış lastiklerin geri kazanılması, vulkanize kauçuğun 3B bağlantılı, erimez ve çözünmez ağının, ham kauçuğun yumuşak, düşük modüllü, kolay işlenebilir ve vulkanize edilebilir malzeme kaplama özelliklerine dönüştürülmesi ve parçalanmasıdır (De Sousa, 2016). Lastiklerin geri dönüşümü, fiziksel geri kazanım ve kimyasal geri kazanım süreçleri olarak sınıflandırılabilir.

Hem kimyasal hem de fiziksel yaklaşımlar ikincil kirliliğe yol açabilir ve aşırı enerji tüketimini içerebilir (Li ve ark., 2011). Örneğin, kimyasal yöntem, yüksek reaksiyon sıcaklığı, karmaşık enstrümantasyon ve reaktör tesisleri ile kimyasalların kullanımını içerir. Tüm bu hususlar çevresel ve maliyet kaygılarını oluşturmaktadır (Choi ve ark., 2017). Vulkanize kauçuğun kükürt giderme işleminde mikroorganizmaların kullanılması (mikrobiyal kükürt giderme) başka bir alternatiftir, ancak yalnızca toz haline getirilmiş atık lastik lastiklerinin yüzeyindeki kükürt çapraz bağlarını kırar. Ayrıca yavaş bir süreçtir (Li ve ark., 2011; Yao ve ark., 2013).

Son on yılda, enerji tüketimini azaltmanın yanı sıra çevresel zorlukları ele alan basit lastik geri dönüşüm yollarından biri, kauçuk zemin lastiği gibi termoplastik polimerlere dahil etmektir (Satapathy ve ark., 2010; Fazli & Rodrigue, 2020). Bu tür termoplastik malzemeler işlenebilirlik özelliği ile birleştirilmiş kauçuğun esnekliğine sahip çok işlevli bir polimerik matris oluşturur (Fazli & Rodrigue, 2020).

2.2. Kompozit malzemeler

Kompozit malzemeler; en az iki farklı malzemenin makro düzeyde birleştirilmesi ile istenilen özelliklerin elde edilebilmesi amacıyla, metal, plastik ve seramik malzemelerden sonra geliştirilen malzemelerdir. Kompozit malzemeler matris (anafaz) ve takviye fazı adı verilen bileşenlerden oluşur. Kompozit malzemeler genellikle anafaz malzemesinin ismi ile adlandırılmaktadır. Bu malzemeler genellikle metal, seramik veya polimer matrisli olarak sınıflandırılabilir.

Metal matrisli kompozitler, genellikle çelik ve alüminyum gibi monolitik metallere oranla avantajlar sağlamak için kullanılır. Bu avantajların bazıları, alüminyum ve titanyum gibi düşük yoğunluklu metalleri güçlendirerek daha yüksek özgül mukavemet, grafit gibi düşük termal genleşme katsayılarına sahip liflerle takviye ederek daha düşük termal genleşme katsayıları ve yüksek sıcaklıklarda mukavemet gibi özelliklerin korunması yer alır. Seramik matrisli kompozitler, karbon veya silisyum karbür gibi liflerle güçlendirilmiş alümina kalsiyum, alümina silikat gibi seramik bir matrise sahip olan kompozitlerdir. Bu kompozitlerin avantajları arasında yüksek mukavemet, sertlik, yüksek servis sıcaklığı limitleri, kimyasal eylemsizlik ve düşük yoğunluk sayılabilir. Polimer Matrisli Kompozitler uygulamalarında en çok kullanılan kompozit türüdür. Bu kompozitler gerilme mukavemeti, kırılma/çatlama dayanıklılığı, aşınma ve korozyon dirençleri yüksektir. Yine bu kompozitlerin en önemli dezavantajları termal dirençlerinin düşük ve termal genleşmelerinin yüksek olmasıdır (Chawla, 2012; Okçuer, 2021).

2.2.1. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan doğal lifler

Doğal lifler, bitki, hayvan veya mineraller gibi herhangi bir doğal kaynaktan elde edilen lifler olarak tanımlanabilir. Asbest, biyolojik olarak parçalanamayan ve enerjisi yoğun olan seramik ve metal lifleri mineral lifler arasında bulunur. İpek, saç, yün, kürk, tüy vb. lifleri ise hayvansal lifleri oluşturmaktadır. Kendilerine ait özelliklerini veren selüloz, lignin ve hemiselülozdan bitki lifleri oluşur. Kompozit polimerlerin amacına en uygun kullanılan bitki lifleri kenevir, kenaf, jüt ve ketendir (Dabhi, 2016). Uygulama alanlarında bakıldığında doğal liflerle takviye edilen kompozitler günümüzde çeşitlenmekte ve kullanımı artmaktadır, Çizelge 1'de bazılarının özellikleri verilmiştir (Mohammed ve ark., 2015).

Çizelge 1. Doğal liflerin özellikleri (Mohammed ve ark., 2015)

Fiber	Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Dayanımı (MPa)	Young Modülü (Gpa)	Kopma uzaması (%)
Keten	1.4	88-1500	60-80	1.2-1.6
Kenevir	1.48	550-900	70	1.6
Jüt	1.46	400-800	10-30	1.8
Rami	1.5	500	44	2
Hindistan cevizi	1.25	220	6	15-25
Sisal	1.33	600-700	38	2-3
Pamuk	1.51	400	12	3-10
Kenaf(kabuk)	1.2	295	2.7	6-9
Kenaf(çekirdek)	0.21	-	-	-
Şeker kamışı	1.2	20-290	19.7-27.1	1.1
Ananas	1.5	170-1672	82	53
Muz	1.35	355	33.8	53

2.2.2. Endüstriyel kenevir

Kenevir, çeşitli iklim ve toprak koşullarında yetişen tek yıllık bir bitkidir. Hızlı büyüme oranı, yüksek miktarda biyokütle ve umut verici enerji oranları nedeniyle, potansiyel olarak değerli bir enerji ürünü olarak kabul edilir. Elyafı, yağı, tıbbi bileşikleri ve biyoenerji için hammadde olarak birçok endüstride potansiyele sahiptir (Marrot, 2022).

Kenevir ve keten lifleri gibi doğal bitki lifleri, şu anda sentetik liflerin yerini alacak kompozitlerde takviye edici maddeler olarak kullanım için yüksek araştırma ilgisi görmektedir (Müssig, 2010; Fuqua ve ark., 2012; Van Vuure ve ark., 2015). Endüstriyel kenevir olarak bilinen kenevir, dünyanın en eski ekili ve en yaygın kullanılan endüstriyel ürünlerinden biridir (Tahir ve ark., 2011). Kenevir ekimi ayrıca ekilebilir tarımda ürün rotasyonlarının çeşitlendirilmesine izin verir ve gübre ve herbisitler için düşük gereksinime sahiptir (Ranalli & Venturi, 2004; Amaducci ve ark., 2015). Ayrıca ve çevre dostu için oldukça uygun olan düşük girdili bir ürün olarak kabul edilir (Amaducci & Gusovius, 2010; Liu ve ark., 2017).

Kenevir gibi biyo-bazlı malzemelerin kullanımı ile ilgili çalışmalarda, malzemenin ömrü boyunca kendisinde depolanan ve fotosentez yoluyla tutulan karbon, genellikle negatif bir atmosferik CO₂ emisyonu olarak kabul edilir. Bu bağlamda, kenevir ve saman gibi hızlı büyüyen biyo-bazlı malzemeler, kompozit malzeme yapımında kullanıldığında önemli bir karbon yakalama ve depolama potansiyeline sahip olduğu belgelenmiştir (Pittau ve ark., 2018; Pittau ve ark., 2019; Scrucca ve ark., 2020). Bu kazanıma ek olarak, endüstriyel keneviri üretime dahil ederek arazilerin biyolojik çeşitliliğini artırmak, yeraltı sularındaki nitrat seviyelerini azaltmak, bitkilerde daha fazla karbon tutmak ve diğer mahsullerdeki zararlıları ve hastalıkları azaltmak gibi geniş kapsamlı faydalara sahiptir (Donfouet ve ark., 2017). Kenevir, benzer bir verimle (Finnan ve ark., 2013) üstün sera gazı azaltımına (sırasıyla kanola ve şeker pancarına göre %140 ve %540 daha fazla) sahip olduğundan ve ormansızlaşmayı azaltabildiğinden (Casas ve ark., 2005) benzer ürünlerle karşılaştırıldığında daha avantajlı olduğu söylenebilir. Kenevir ayrıca piroliz yoluyla işlenebilir ve diğer ürünler arasında biyo-kömür üretilebilir; biochar olarak karbonu tutabilir ve kirleticileri filtrelemek için kullanılabilir (Liu ve ark., 2017; Parvez ve ark., 2021).

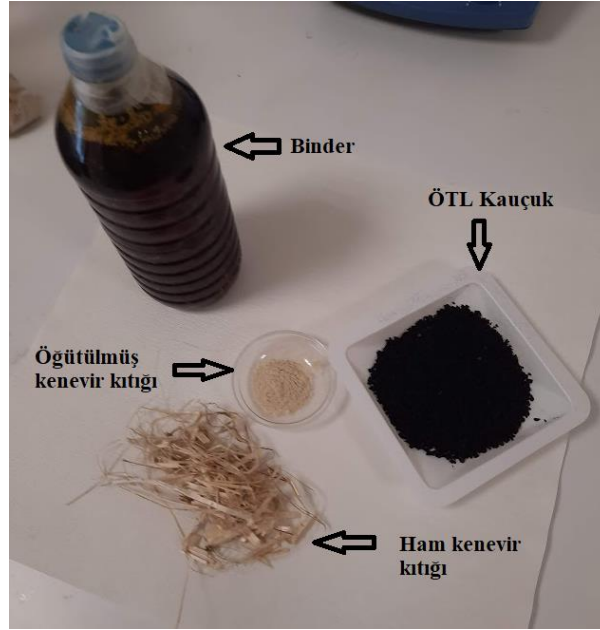
Genel olarak kenevir gibi doğal lifler, sertleşip polimerin deformasyonunu azaltarak ve elastik modülünü artırarak kompozitlerin mekanik performansını etkileme eğilimindedir (Moni Ribeiro Filho ve ark., 2019). Geri dönüştürülmüş kaynaklardan takviye kullanımı da sürdürülebilir kompozitler üretmek ve atılan malzemeleri yeniden kullanmak için alternatif bir yoldur.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan 2-3 mm boyutlarında granül kauçuk ve bağlayıcı olarak kullanılan binder MERİDAPARK park ekipmanları firmasından temin edilmiştir. Kenevir kırıkları Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Kenevir Araştırma Enstitüsü tarafından sağlanmıştır. Üretimde kullanılan malzemeler Şekil 2’de sunulmaktadır.

Kenevir ve kauçuğu birleştirmek için kullanılan binder tek komponentli, solventsiz, poliüretan bazlı çok amaçlı bağlayıcı, yapıştırıcıdır. $1.09 \pm 0.01 \text{ g / cm}^3$ yoğunluğa sahip binder kauçuk zemin dökme/kaplama sistemlerinde kullanılan bağlayıcı bir ajandır.



Şekil 2. Kompozit zemin malzemesi için kullanılan malzemeler.

3.2. Yöntem

Çizelge 2. Kompozit üretiminde kullanılan kütlece ve hacimce malzeme yüzdeleri

Numune adı	Toplam kütle (gr)	Kenevir oranı	Kenevir kütle(gr)	Binder oranı	Binder hacmi (ml) (d= 1.1g/cm ³)	Kauçuk oranı	Kauçuk kütlesi(gr)
Ham kauçuk	20	0%	0	15%	2.72	85%	17
90 µm %10	20	10%	2	15%	2.72	75%	15
90 µm %20	20	20%	4	15%	2.72	65%	13
125 µm %10	20	10%	2	15%	2.72	75%	15
125 µm % 20	20	20%	4	15%	2.72	65%	13
250 µm % 10	20	10%	2	15%	2.72	75%	15
250 µm % 20	20	20%	4	15%	2.72	65%	13

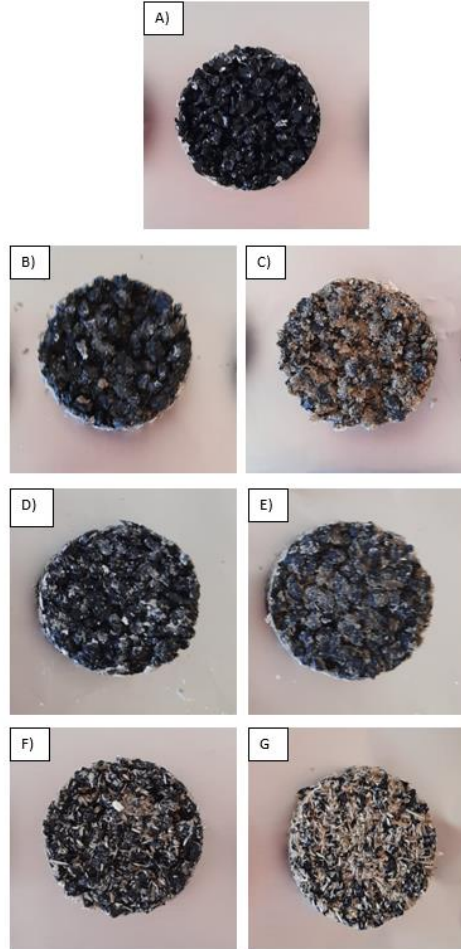
Kenevir katkılı kauçuk kompozit üretimi için Çizelge 2’de verilen kütle ve hacim oranları kullanılarak soğuk döküm olarak üretildi. Toplam malzeme kütlesi 20 gr olacak şekilde 90, 125 ve 250 µm parçacık boyutunda öğütülmüş kenevir kırıkları geri dönüşüm ürünü atık lastik kauçuklara 90, 125 ve 250 µm boyutlarında elek kullanılarak elde edilen kenevir kırıklarından %10 ve %20 oranlarında, üretici firmadan soğuk dökümde %20 binder kullanıldığı bilgisi alınarak maliyet açısından binder

oranını düşürmek için %15 oranında binder eklenerek numuneler hazırlanmıştır. Kontrol numunesi oluşturulmasında sadece atık lastiklerden oluşan granül ham kauçuk kullanılmıştır.

3.3 Kompozit karakterizasyonun belirlenmesi için gerekli analizler

3.3.1. Basınç testi

Numunelerin boyutları ASTM D 575 – 91 standardına göre $28.6 \pm 0,1$ mm çapında ve $12.5 \pm 0,5$ mm kalınlığında üretilmiştir. Numuneler oluşturulduktan sonra OMÜ KİTAM (Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma Merkezi) INSTRON 5982 üniversal çekme-basma cihazında basınç testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Farklı tane boyutunda kenevir kütüğü eklenerek hazırlanan kauçuk numuneler A) Ham Kauçuk B) 90 µm %10 C) 90 µm %20 D) 125 µm %10 E) 125 µm %20 F) 250 µm %10 G) 250 µm %20.

3.3.2. Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR) analizi

Testlerde kullanılan kauçuk FTIR analizi yapılarak fonksiyonel grupların absorpsiyon bandındaki değişiklikler belirlenmiştir. Bunun için oda sıcaklığında OMÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Perkin Elmer Markalı cihazda, $4000-600 \text{ cm}^{-1}$ aralığında grafikler oluşturulmuştur.

3.3.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Kompozit numunelerin morfolojisini incelemek ve fazlar arasındaki arayüzey kalitesini gözlemlemek için taramalı elektron mikroskobu kullanıldı. SEM analizleri OMÜ KİTAM' da bulunan

JEOL markalı JSM-7001F model cihazda yapılmıştır. Örnekler elektriksel iletkenliğin sağlanması için Au-Pd ile kaplanmıştır. Kontrol numunesi ham kauçuk dahil toplam 7 numunenin 10x - 20x - 50x - 100x görüntüleri alınmıştır.

3.3.4. Düşen ağırlık darbe testi (drop weight impact test)

Düşen ağırlık darbe testi ile belirli bir yükseklikten kompozit malzeme üzerine tanımlanmış bir ağırlığın düşürülmesi yoluyla dayanımı belirlenmesi için İstanbul Teknik Üniversitesi İTÜpleks laboratuvarında yapılacak analiz için 54*88mm olarak numuneler üretilerek hizmet alımı öncesinde deneme çalışması yapılmıştır.

3.3.5. Termogravimetrik analiz (TGA)

Kompozit malzemenin sıcaklık artışı ile bünyesinde meydana gelen termal ve gravimetrik değişimleri belirlemek için 5 °C /dk sıcaklık oranı, 60 ml/dk akış oranı, 15 mg numune miktarı ve azot gazı kullanılarak OMÜ Kimya Mühendisliği Bölümü Shimadzu (Japan) marka DTG-60 model eş zamanlı TG/DTA/DTG analiz cihazı kullanılmıştır.

3.3.6 Su emme testi

Kompozit malzemenin su emme kapasitesini belirlemek ASTM D570 standardına göre hazırlanan numunelerin M1 ilk tartımı Radwag analitik terazi ile alındıktan sonra 24 saat saf su içerisinde bekletilmiştir. 24 saat sonra numuneler kuru bezle kurutularak M2 son tartım değerleri tartılarak alınmıştır. Denklem (1) de verilen formüle göre numunelerin su içeriği hesaplanmıştır.

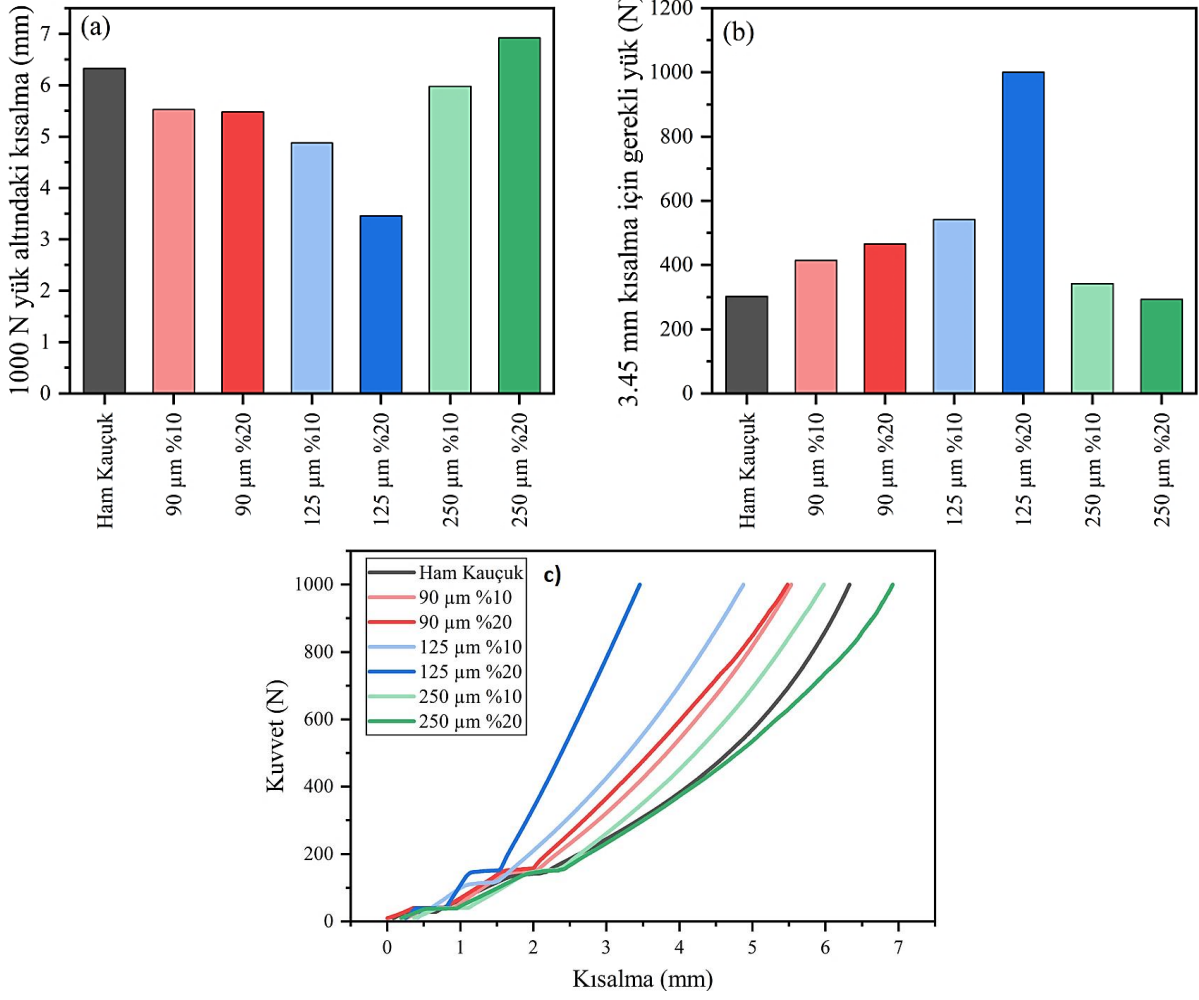
$$\% \text{ Su içeriği} = [(M2-M1)/M1] \times 100 \quad (M2 : \text{son tartım} ; M1: \text{ilk tartım}) \quad (1)$$

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Basınç testi sonuçları

Basınç testi bir kauçuk kompozitin statik yük altında ne kadar elastik davrandığını belirlemek için kullanılır. Kimyasal bağlar yeterince güçlüyse basınç testi sonuçları daha az kalıcı deformasyon gösterir (Kakrodi ve ark., 2013).

Şekil 4.a ve 4.c de tüm örneklerin 1000 N yük uygulanarak sıkıştırılarda gösterdikleri basınç dayanımı ve kısalma (mm) görülmektedir. Buna göre ham kauçuğa yakın dayanım gösteren numuneler ise 250 µm %20 ve 250 µm %10 olarak görülmektedir. Ancak 250 µm olan numunelerde sıkıştırma sonrasında parçalanma gözlemlendiği için (Şekil 5) ham kauçuğa en yakın kısalma 90 µm %10 ve 90 µm %20 kenevir ilave edilmiş numunelerde görülmektedir. Şekil 5.b de ise 3.45 mm kısalmaya karşılık gelen yük grafiği bulunmaktadır. Şekil 4.b de 1000 N yüke karşılık 3.45 mm kısalma 125 µm %20 kenevir eklenmiş numunede görülmektedir. Diğer numuneler aynı kısalma miktarı için daha düşük yük yeterlidir. El-Shekeil ve ark. (2024) nitril bütadien kauçuk ve hurma lifi takviyeli kompozitlerin mekanik performansının ve özellikleri incelemiş, daha yüksek fiber içeriğiyle kalınlıktaki azalma yüzdesinin arttığını, dolayısıyla kompozitlerinin sıkıştırma direncinin arttığını bildirmiştir. Çalışmamızda benzer olarak 250 µm kenevir eklenmiş numuneler yüke dayanım göstermiş ve kırılmış, 125 µm kenevir eklenen numuneler ise maksimum (1000 N) uygulanan yüke düşük dayanım göstermiştir. Benzer olarak Fernea ve ark. (2019), kenevir parçalarıyla güçlendirilmiş alçı kompozitin mekanik ve termal özelliklerini araştırmış ve sonuçlar, kenevir parça lifi yükü arttıkça kompozitlerin termal iletkenliğinin, bükülme ve basınç dayanımının azaldığını ortaya çıkarmıştır (Babu & Ratnam, 2021). Kakroodi ve ark. (2013) kenevir gibi doğal liflerin termoplastik bir matrise dahil edilmesinin darbe dayanımında önemli bir azalmaya yol açtığını bildirmiştir. Bu sonuçlara dayanarak optimum kenevir-kauçuk oranı ve parçacık boyutu belirlenmesi fiber takviyeli kompozitlerin basınç dayanımını arttıracakı düşünülmektedir.



Şekil 4. Basınç testi sonuç grafiği a) 1000 N yük altındaki kısalma kutu grafik b) 3.45 mm kısalma için gerekli yük (N) kutu grafik c) 1000 N yük altındaki kısalma çizgi grafik.



Şekil 5. 250 µm numunelerde 1000 N yük basınç sonrası deformasyon görünümü.

4.2. FTIR analiz sonuçları

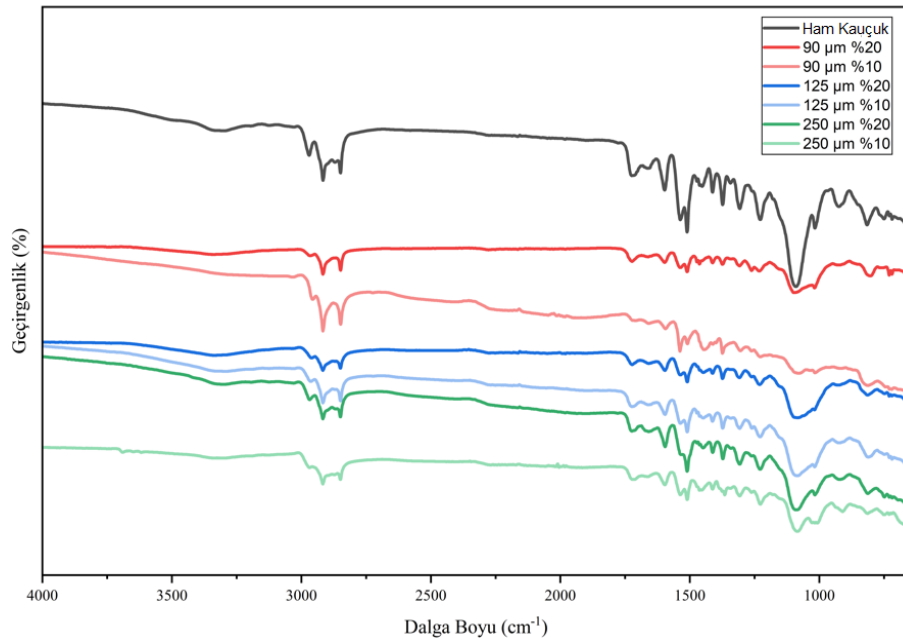
Malzemelerin tanımlanması ve doğrulanması, kullanılmış katkı malzemelerin tanınması için için FTIR analizleri KİTAM'dan hizmet alımı yapılarak tamamlanmıştır. Analizler 4000-650 cm^{-1} dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiş ve Şekil 6'da verilmektedir.

FTIR test sonuçları incelendiğinde ilk olarak 2850- 2900 cm^{-1} de arasında yer alan titreşim pikleri, C=CH, CH₂, CH₃ gruplarının asimetric ve simetric gerilmelerine karşılık gelir (Rolere ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2017). Kauçuklara kenevir eklenmeleri durumunda piklerin yaklaşık aynı dalga boyunda gözlenmiş olması içeriklerin bu bağ yapısında yüksek oranda değişiklik meydana getirmediğini göstermektedir.

1730 cm^{-1} 'deki titreşimler, hemiselülozun C-O titreşimine atfedilir (Smith, 1998; Lu & Oza, 2013a, Lu & Oza, 2013b).

1550 ve 1493 cm^{-1} 'deki titreşimler, aromatik lignin gruplarının varlığından kaynaklanmaktadır (Datta ve ark., 2016; Hahhighatnia ve ark., 2017).

1086 ve 1030 cm^{-1} , ligninden kaynaklanan aromatik CH gruplarının düzlem içi deformasyonuna atfedilmiştir (Stark ve ark., 2016). Bu pikin şiddetin ham kauçuğa göre azaldığı gözlenmektedir. Bunun sebebi kenevirdeki selüloz veya -O-H gibi fonksiyonel gruplara sahip diğer bileşikler ile karboksilat anyonu arasındaki H bağı etkileşimlerinden kaynaklandığı söylenebilir. 759 ve 699 cm^{-1} 'de yer alan titreşim tepe noktaları, sırasıyla aromatik halkadaki CH gruplarının deformasyonuna ve düzlem dışı bükülmesine karşılık gelir (Rolere ve ark., 2015). Diğer pik değerleri ise bağlayıcı olarak tanımladığımız binder kaynaklı piklerdir. Sonuç olarak FTIR spektrumunda kenevirin etkilerine rastlanmış ancak kauçuk içeriğinde çok büyük bir değişiklik gözlemlenmemiştir.



Şekil 6. FTIR spektrometresi analiz sonuçları.

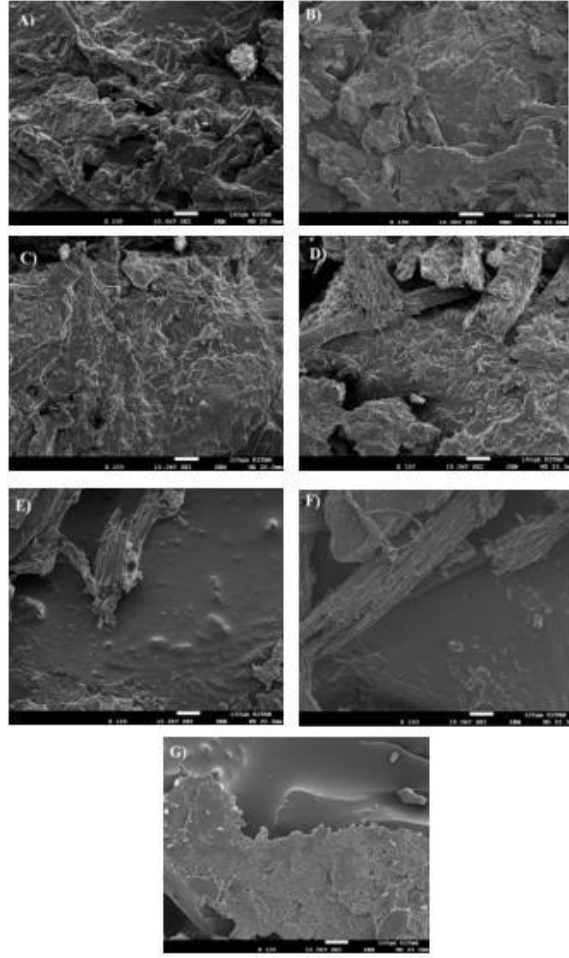
4.3. SEM analiz sonuçları

Kenevir takviyeli kauçuk numunelerin ve ham kauçuğun yüzey morfolojisini ve fazlar arasındaki arayüzey kalitesini incelemek için SEM ile elde edilen görüntüleri Şekil 7'de verilmektedir.

Kompozitlerde konsantrasyonun yanı sıra parçacık boyutu nihai karışım özelliklerini etkiler (Datta & Włoch, 2015; Halász ve ark., 2020). Fazli & Rodrigue (2020) yaklaşık 1 μm 'lik kauçuğun, matriste daha kolay dağıldığını; ancak böyle bir parçacık boyutunun kriyojenik teknikle bile üretilmesinin kolay olmadığını ifade etmiştir.

Şekil 7'de verilen SEM görüntülerine göre 90 μm %20 ve 125 μm %10 olarak hazırlanan örneklerin iyi arayüz teması ile kauçuk matrisini iyi oranda kapladığını görebiliyoruz. 250 μm parçacık boyutlu kenevir katkılı numunelerde ise yüzey ile tam bir birleşme, yapışma sağlanmadığı gözlemlenmektedir. Candau ve ark. (2021) termoplastikteki kauçuğun kütle oranı ağırlıkça %10-20'ye yaklaştığında kompozitin mekanik performansı kötüleştiğini bildirmiştir. Bu nedenle, kauçuğun matris içinde iyi bir dağılımını elde etmek ve iki faz arasındaki arayüzey yapışmasını geliştirmek için, kauçuk

ve matris elemanının parçacık boyutunu azaltmak, bağlayıcılar veya vulkanizasyon ajanları ile yüzey modifikasyonunu sağlamak gerekir (Li ve ark., 2020; Zedler ve ark., 2020).

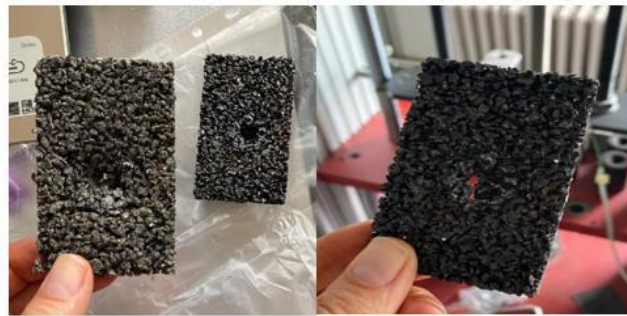


Şekil 7. A) 90 µm %10 B) 90 µm %20 C) 125 µm %10 D) 125 µm %20 E) 250 µm %10 F) 250 µm %20 G) Ham kauçuk SEM görüntüleri.

4.4. Düşen ağırlık darbe testi sonuçları

Düşen ağırlık darbe testi için İTÜpleks laboratuvarında deneme çalışması olarak 54*88mm olarak kenevir-kauçuk numuneleri oluşturularak analiz edilmiştir (Şekil 8).

Analiz sonuçlarına göre Şekil 8’de görüldüğü gibi cihaz tarafından 200 N yük ile gönderilen konik uçlu ağırlık numunenin delinmesine neden olmuştur ancak numune 200 N yüke dayanamadığı için cihaz tepkiyi titreşim olarak algılayıp sonuç vermemiştir. Bu nedenle düşen ağırlık darbe testi sonuçları verilememektedir.



Şekil 8. Düşen ağırlık darbe testi sonuçları.

Lee ve ark. (2001), sert ve esnek kompozitlerin enerji emme davranışını incelediler; bunun sonucu, enerjinin esnek kompozitler yerine sert kompozitler tarafından daha iyi emildiğini gösterdi. Ancak Gopinath ve ark. (2012) ve Wang ve ark. (2017), sert kompozitlerle karşılaştırıldığında daha büyük deformasyona sahip esnek kompozitlerde enerji soğurma yeteneğinin daha iyi olduğunu kanıtladı. Wang ve ark. (2017), polimer matrisli kompozitlerin darbesine karşı direncin kullanılan matris tipine bağlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Arikian & Sayman (2015) PMC'lerin gerekli darbe tepkisini elde etmek için hem matris hem de takviyenin uygun şekilde seçilmesi önemlidir.

Darbe testi sonucunda oluşan kırılmaya benzer olarak Kakroodi ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada Maleatlı polietilen (MAPE) /kenevir matrisli kompozit darbe test sonucuna yönelik MAPE matrisi test koşulları altında (oda sıcaklığı) kırılmazken, kenevir eklenmesi görünür bir kırılma meydana getirdiğini bildirdi. Bununla birlikte, kenevir içeriğinin artmasıyla yani %10-60 kenevir eklendiğinde 369.2 J/m'den 127.5 J/m'ye darbe mukavemetinde önemli düşüşler gözlemlendiği bildirilmiştir. Ayrıca Katz ve ark. (2008), Caminero ve ark. (2018), Mahesh ve ark. (2019) kompozitte kullanılan takviye ve yapısı, kompozit tabakanın kalınlığı ve istifleme sırası gibi çeşitli faktörler, kompozitlerin farklı darbe tepkilerinin elde edilmesinden sorumlu olduğunu belirtmiştir.

4.5. Termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları

Termogravimetrik analiz, numunelerin sıcaklık arttıkça fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri ve sıcaklıkla uçucu organik salınımını belirlemek için yapılmıştır. Ham kauçukta ilk termal bozunma 28.62 °C sıcaklıkta gerçekleşirken, kenevir eklenmiş diğer numunelerde %20 oranında 250 µm kenevir eklenen numune haricinde tüm numunelerde bozunma 30°C nin üzerinde gerçekleşmiştir. Kenevir eklenmesi termal stabiliteyi düşürmekle birlikte sıcaklıkla kütle kaybı ve en az uçucu madde salınımı 90 µm %20 kenevirli numunede gerçekleşmiştir (Çizelge 3). Fiber takviyeli kompozitlerin termal stabiliteyi düşürmesine ilişkin sonuçlar Lee ve ark. (2013); Okçuer (2021) tarafından sunulmuştur.

Çizelge 3. TGA sonuçları

Numune	Başlangıç °C	Bitiş °C	Kütle kaybı (%)
Ham kauçuk	28.62	201.20	-2.154%
90 µm %10	33.64	201.20	-2.617%
90 µm %20	32.94	201.20	-2.139%
125 µm %10	28.53	201.20	-2.916%
125 µm %20	38.19	201.20	-3.664%
250 µm %10	32.71	201.20	-2.435%
250 µm %20	28.35	201.20	-3.694%

4.6. Su emme testi sonuçları

24 saat saf su içerisinde bekletilen numuneler kurularak tartılmıştır. Çizelge 4'te verilen sonuçlara göre en düşük su içeriği ham kauçuktan sonra 90 µm %10 kenevir katkı içeren numunede görülmektedir. En yüksek içerik ise kütlece ve boyut olarak fazla olan 250 µm %20 kenevir katkı içeren numunede görülmektedir.

Doğal elyafli kompozitlerin su emme özellikleri, elyafın doğal özellikleri, elyaf yüklemesi ve yönelimi, plastik türleri (matrisin viskozitesi), elyaf-matris etkileşimi, kullanılan katkı maddesi, maruz kalan alan gibi iç faktörler ve yüzeyler, boşluk içeriği, lümen boyutu ve ıslatma ortamının nemi ve sıcaklığı ve yüzey koruması gibi dış faktörlerden etkilenir (Jawaid & Abdul Khalil, 2011; Jawaid ve ark., 2011; Dittrich ve ark., 2014; Ahmad Saidi ve ark., 2018; Ramlee ve ark., 2019). Su emme kapasitesini etkili bir şekilde en aza indirmek için, fiber üzerinde yüzey işlemi, bağdaştırıcı veya birleştirme maddesi gibi katkı maddelerinin dahil edilmesi ve nanopartiküllerin dahil edilmesi dahil olmak üzere modifikasyon yöntemlerinin ileriye dönük kullanımı gibi önemli çabalar sarf edilmektedir (Chen ve ark., 2015; Martín del Campo ve ark., 2020). Hidrofilik olan kenevir liflerinin eklenmesi, kompozit malzemeler tarafından tutulabilen su içeriğini büyük ölçüde artırır bu nedenle kenevir gibi

doğal elyaf malzemelerle oluşturulacak kompozitlerde hem mekanik hem fiziksel özellikleri açısından optimum matris oranının bulunması önemlidir.

Çizelge 4. Su emme testi sonuçları

Numune	İlk Tartım (M1)(mg)	Son Tartım (M2)(mg)	% Su içeriği
Ham kauçuk	4451.6	4835	8.61
90 µm %10	4788	5254.1	9.73
90 µm %20	4433	5240.3	18.21
125 µm %10	4705.5	5182.4	10.13
125 µm %20	4663	5530.6	18.61
250 µm %10	4697	5196.8	10.64
250 µm %20	4789	6130.4	28.01

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada kompozit üretiminde kenevir katkısı kullanılarak atık lastiklerin geri dönüşümünde yeşil yapı malzemesi üretimi hedeflenmiştir.

–Kenevir kıtık ve ömrünü tamamlamış lastik atıklar kullanılarak oluşturulan kompozit malzeme analiz sonuçlarına göre basınç testinde 1000 N yük altında ham kauçuk 6 mm lik kısılma gösterirken, 90 µm %10 kenevir ilave edilmiş kompozit 5.46 mm kısılma göstererek daha yüksek dayanım göstermiştir.

–FTIR sonuçlarına göre kauçuğa kenevir ilavesi kauçuktaki fonksiyonel grupların yapısını değiştirmemiştir.

–SEM görüntüleme sonuçlarına göre 90 ve 125 µm parçacık boyutlu numunelerin arayüz teması ve kauçuğu kaplama potansiyeli uygun görünürken 250 µm boyutlu numunelerde iyi bağlanma olmadığı görülmektedir.

–Düşen ağırlık darbe testine göre deneme amaçlı yapılan teste %10 oranında 125 µm kenevir eklenerek hazırlanan deneme numunesi 200 N yüke dayanamadığı için cihaz tepkiyi titreşim olarak algılayıp sonuç vermemiştir. Bu nedenle diğer numuneler için analiz tekrar edilmemiştir.

–TGA sonuçlarına göre sıcaklıkla termal bozunma ham kauçuk dışındaki numunelerde 30 °C nin üzerinde başlamıştır ve uçucu organik madde salınımı 90 µm %20 numunesinde -2.139% olarak ham kauçuğun (-2.154) da altındadır.

–Su emme testi sonuçları ise lifli yapıda olması nedeniyle kenevir katkılı numunelerin % su içeriği ham kauçuğa (%8.61) göre fazladır, ancak 90 µm %10 kenevir eklenmiş numune % 9.73 su içeriği ile % 8.61 olan ham kauçuğa en yakın değere sahiptir.

Sonuç olarak çalışmada elde edilen kompozit örnekleri ham kauçuğa benzer ve üstün özellikler göstermektedir. En iyi sonuçlar 90 µm kenevir eklenen numunelerde elde edilmiştir. Ancak bu çalışmada en önemlisi hem atık lastiklerin geri dönüştürülmesi, hemde bitkisel bir ürün olan kenevirin dahil edilerek yeşil yapı malzemesi üretimi ile karbon salınımını azaltan çevre dostu kompozit oluşturularak alternatiflerine referans olacak bir ürün üretilmesidir.

Teşekkür

Bu çalışma PYO.MUH.1908.21.003 proje numarası ile Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

Adhikari, B., De, D., & Maiti, S. (2000). Reclamation and recycling of waste rubber. *Progress in Polymer Science*, 25, 909-948. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00020-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00020-4)

- Ahmad Saidi, M. A., Ahmad, M., Arjmandi, A. Hassan, R., & Rahmat, A. (2018). The effect of titanate coupling agent on water absorption and mechanical properties of rice husk filled poly (vinyl Chloride) composites. *Woodhead Publishing*, 197-210. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102160-6.00010-X>
- Amaducci, S., & Gusovius, H. J. (2010). Hemp–cultivation, extraction and processing. In: Müsig, J. (Ed.), *Industrial Applications of Natural Fibres* (pp. 109-134). John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK,
- Amaducci, S., Scordia, D., Liu, F. H., Zhang, Q., Guo, H., Testa, G., & Cosentino, S. L. (2015). Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*, 68, 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.041>
- Antakya Belediyesi. (2014). Ömrünü tamamlamış lastiklerin toplanması. Erişim tarihi: 23.02.2024 <https://www.antakya.bel.tr/NotFound.aspx?aspxerrorpath=/icerik/102/145/omrunutamamlamis-lastiklerin-toplanmasi.aspx>
- Arikan, V., & Sayman, O. (2015). Comparative study on repeated impact response of E glass fiber reinforced polypropylene & epoxy matrix composites. *Composites Part B: Engineering*, 83, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.08.051>
- Babu, K. S., & Ratnam, C. (2021). Mechanical and thermophysical behavior of hemp fiber reinforced gypsum composites. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2245-2249. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.363>
- Caminero, M. A., García-Moreno, I., & Rodríguez, G. P. (2018). Experimental study of the influence of thickness and ply-stacking sequence on the compression after impact strength of carbon fibre reinforced epoxy laminates. *Polymer Testing*, 66, 360-370. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.02.009>
- Candau, N., Oguz, O., Le' on Albiter, N., Forster, G., & MasPOCH, M. L. (2021). Poly (lactic acid)/ground tire rubber blends using peroxide vulcanization. *Polymers (Basel)*, 13, 1496. <https://doi.org/10.3390/polym13091496>
- Casas, X. A., & Pons, J. R. I. (2005). Environmental analysis of the energy use of hemp-analysis of the comparative life cycle: diesel oil vs. Hemp-diesel. *International Journal of Agricultural Resources Governance Ecology*, 4(2), 133–9. <https://doi.org/10.1504/IJARGE.2005.007195>
- Cazan, C., Cosnita, M., & Isac, L. (2019). The influence of temperature on the performance of rubber-PET-HDPE waste -based composites with different inorganic fillers. *Journal of Clean. Production*, 208, 1030-1040. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.045>
- Chawla, K. K. (2012). *Composite materials: Science and engineering*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74365-3>
- Chen, R. S., Salleh, M., Ab Ghani, M., Ahmad, S., & Gan, S. (2015). Biocomposites based on rice husk flour and recycled polymer blend: effects of interfacial modification and high fibre loading. *BioResources*, 10(4), 6872-6885. <https://doi.org/10.15376/biores.10.4.6872-6885>
- Choi, G. G., Oh, S. J., & Kim, J. S. (2017). Clean pyrolysis oil from a continuous two-stage pyrolysis of scrap tires using in-situ and ex-situ desulfurization. *Energy*, 141, 2234-2241. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.015>
- Dabhi, A. S. (2016). *Biodegradable natural fiber composites: fabrication and characterization of hemp fiber with PLA powder composites*. (MSc.) Thesis, The University of Texas at Austin, Austin, U.S.A.
- Datta, J., & Włoch, M. (2015). Morphology and properties of recycled polyethylene/ground tyre rubber/thermoplastic poly (esterurethane) blends. *Macromolecular Research*, 23, 1117-1125. <https://doi.org/10.1007/s13233-015-3155-5>
- Datta, J., Parcheta, P., & Surówka, J. (2016). Softwood-lignin/natural rubber composites containing novel plasticizing agent: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*, 95, 675-685. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.036>
- Deeraj, B. D. S., Joseph, K., Jayan, J. S., & Saritha, A. (2021). Dynamic mechanical performance of natural fiber reinforced composites: a brief review. *Applied Science and Engineering Progress*, 14(4), 614-623. <https://doi.org/10.14416/j.asep.2021.06.003>
- De Sousa, F. D. B. (2016). Vulcanization of natural rubber: past, present and future perspectives. (pp. 47–88.) In: Hamilton, J. L. (Ed.), *Natural rubber: Properties, behavior and applications*. Nova Science Publishers: New York.

- Dhakal, H. N., Zhang, Z. Y., & Richardson, M. O. W. (2007). Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, 67(7-8), 1674-1683. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.06.019>
- Dittrich, B., Wartig, K. A., Mülhaupt, R., & Schartel, B. (2014). Flame-retardancy properties of intumescent ammonium poly (phosphate) and mineral filler magnesium hydroxide in combination with graphene. *Polymers*, 6, 2875-2895. <https://doi.org/10.3390/polym6112875>
- Dobrotă, D., & Dobrotă, G. (2018). An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development. *Journal of Clean. Production*, 172, 3591-3599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.022>
- Donfouet, H. P. P., Barczak, A., Detang-Dessendre, C., & Maigne, E. (2017). Crop production and crop diversity in France: a spatial analysis. *Ecological Economics*; 134, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.11.016>
- Dubkov, K. A., Semikolenov, S. V., Ivanov, D. P., Babushkin, D. E., Panov, G. I., & Parmon, V. N. (2012). Reclamation of waste tyre rubber with nitrous oxide. *Polymer Degradation and Stability*, 97, 1123-1130. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.04.006>
- El-Shekeil, Y. A., AL-Oqla, F. M. Refaey, H. A., Bendoukha, S., & Barhoumi, N. (2024). Investigating the mechanical performance and characteristics of nitrile butadiene rubber date palm fiber reinforced composites for sustainable bio-based materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 29, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.01.092>
- Fazli, A., & Rodrigue, D. (2020). Waste rubber recycling: A review on the evolution and properties of thermoplastic elastomers. *Materials*, 13, 782. <https://doi.org/10.3390/ma13030782>
- Fernea, R., Manea, D.L., Tamas-Gavrea, D.R., & Rosca, I.C. (2019). Hemp-clay building materials-an investigation on acoustic, thermal and mechanical properties. *Procedia Manufacturing*, 32, 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.205>
- Finnan, J., & Styles D. (2013). Hemp: a more sustainable annual energy crop for climate and energy policy. *Energy Policy*, 58, 152-62. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.02.046>
- Fuqua, M. A., Huo, S., & Ulven, C. A. (2012). Natural fiber reinforced composites. *Polymer Reviews*, 52, 259-320. <https://doi.org/10.1080/15583724.2012.705409>
- Gopinath, G., Zheng, J. Q., & R. C. (2012). Effect of matrix on ballistic performance of soft body armor. *Composite Structures*, 94, 2690-2696. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.03.038>
- Gupta, V. K., Ganjali, M. R., Nayak, A., Bhushan, B., & Agarwal, S. (2012). Enhanced heavy metals removal and recovery by mesoporous adsorbent prepared from waste rubber tire. *Chemical Engineering Journal*, 197, 330-342. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.04.104>
- Haghighatnia, T., Abbasian, A., & Morshedian, J. (2017). Hemp fiber reinforced thermoplastic polyurethane composite: An investigation in mechanical properties. *Industrial Crops and Products*, 108, 853-863. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.020>
- Halász, I.Z., Kocsis, D., Simon, D. A., Kohari, A., & Barany, T. (2020). Development of polypropylene-based thermoplastic elastomers with crumb rubber by dynamic vulcanization: a potential route for rubber recycling. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64, 248-254. <https://doi.org/10.3311/PPch.13962>
- Jawaid, M., Abdul Khalil, H.P.S., Khanam, P.N., & Bakar, A. A. (2011). Hybrid composites made from oil palm empty fruit bunches/jute fibres: water absorption, thickness swelling and density behaviours. *Journal Polymers Environment*, 19, 106-109. <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0203-2>
- Jawaid, M., & Abdul Khalil, H. P. S. (2011). Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: a review. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.043>
- Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: an overview. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2883- 2892. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.053>
- Kakroodi, A. D., Kazemi, Y., & Rodrigue, D. (2013). Mechanical, rheological, morphological and water absorption properties of maleated polyethylene/hemp composites: Effect of ground tire rubber addition. *Composites Part B: Engineering*, 51, 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.03.032>

- Karger-Kocsis, J., Meszaros, L., & Barany, T. (2013). Ground tyre rubber (GTR) in thermoplastics, thermosets, and rubbers. *Journal of Material Science*, 48, 1-38. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6564-2>
- Katz, S., Grossman, E., Gouzman, I., Murat, M., Wiesel, E. & Wagner, HD. (2008). Response of composite materials to hypervelocity impact. *International Journal Impact Engineering*, 35, 1606-1611. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2008.07.032>
- Kumar, G. S., Rathan, A., Bandhu, D., Reddy, B. M., Rao, H. R., Swami, S., Saxena, K.K., Eldin, S.M., & Prashanth, N. N. A. (2023). Mechanical and thermal characterization of coir/hemp/polyester hybrid composite for lightweight applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 26, 8242-8253. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.144>
- Lee, B. L., Walsh, T. F., Won, S. T., Patts, H. M., Song, J. W., & Mayer, A. H. (2001). Penetration failure mechanisms of armor-grade fiber composites under impact. *Journal of Composite Material*, 35, 1605-1633. <https://doi.org/10.1106/YRBH-JGT9-U6PT-L555>
- Lee, J. M., Mohd Ishak, Z. A., Mat Taib, R., Law, T. T., & Ahmad Thirnezir, M. Z. (2013). Mechanical, thermal and water absorption properties of kenaf-fiber-based polypropylene and poly (butylene succinate) composites. *Journal of Polymers and Environment*, 21, 293-302. <https://doi.org/10.1007/s10924-012-0516-4>
- Li, S., Tian, H., Wu, H., Ning, N., Tian, M., & Zhang, L. (2020). Coupling effect of molecular weight and crosslinking kinetics on the formation of rubber nanoparticles and their agglomerates in EPDM/PP TPVs during dynamic vulcanization. *Soft Matter*, 16, 2185-2198. <https://doi.org/10.1039/c9sm02059d>
- Li, Y., Zhao, S., & Wang, Y. (2011). Microbial desulfurization of ground tire rubber by thiobacillus ferrooxidans. *Polymer Degradation and Stability*, 96, 1662-1668. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.06.011>
- Liu, S., Ge, L., Gao, S., Zhuang, L., Zhu, Z., & Wang, H. (2017). Activated carbon derived from biowaste hemp hurd and retted hemp hurd for CO₂ adsorption. *Composites Communications*, 5, 27-30. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2017.06.002>
- Liu, H.L., Wang, X.P. & Jia, D.M. (2020). Recycling of waste rubber powder by mechanochemical modification. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118716. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118716>
- Lu, N., & Oza, S. (2013a). A comparative study of the mechanical properties of hemp fiber with virgin and recycled high density polyethylene matrix. *Composites Part B: Engineering*, 45, 1651-1656. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.076>
- Lu, N., & Oza, S. (2013b). Thermal stability and thermo-mechanical properties of hemp-high density polyethylene composites: effect of two different chemical modifications. *Composites Part B: Engineering*, 44, 484-490. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.03.024>
- Mahesh, V., Joladarashi, S., & Kulkarni, S. (2019). Investigation on effect of using rubber as core material in sandwich composite plate subjected to low velocity normal and oblique impact loading. *Sci Iran Trans Mech Eng*, 6, 897-907. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.5538.1331>
- Mangili, I., Oliveri, M., Anzano, M., Collina, E., Demetrio, P., & Lasagni, Marina. (2014). Full factorial experimental design to study the devulcanization of ground tire rubber in supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.06.001>
- Mangili, I., Lasagni, M., Anzano, M., Collina, E., Tatangelo, V., Franzetti, A., Caracino, P., & Isayev, A. I. (2015). Mechanical and rheological properties of natural rubber compounds containing devulcanized ground tire rubber from several methods. *Polymer Degradation and Stability*, 121, 369-377. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.10.004>
- Manuel, H. J. (2001). Standards for rubber granulates and powders. *KGK-Kautschuk und Gummi Kunststoffe*, 54, 101-105.
- Marrot, L., Meile, K., Zouari, M., DeVallance, D., Sandak, A., & Herrera R. (2022). Characterization of the compounds released in the gaseous waste stream during the slow pyrolysis of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Molecules*, 27(9), 2794. <https://doi.org/10.3390/molecules27092794>
- Martín del Campo, A., Robledo-Ortiz, J.R., Arellano, M., Jasso-Gastinel, C. F., Silva-Jara, J. M., López-Naranjo, E. J., & Perez Fonseca, A. A. (2020). Glycidyl methacrylate as compatibilizer of poly (lactic acid)/nanoclay/agave fiber hybrid biocomposites: effect on the physical and

- mechanical properties. *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*, 19, 455-469. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Mat627>
- Mohammed, L., Ansari, M. N., Pua, G., Jawaid, M., & Islam, M. S. (2015). A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 243947. <https://doi.org/10.1155/2015/243947>
- Moni Ribeiro Filho, S. L., Oliveira, P. R., Panzera, T. H., & Scarpa, F. (2019). Impact of hybrid composites based on rubber tyres particles and sugarcane bagasse fibres. *Composites Part B: Engineering*, 159, 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.09.054>
- Müssig, J. (2010). *Industrial Applications of Natural Fibres*. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester, UK.
- Müssig, J., Amaducci, S., Bourmaud, A., Beaugrand, J., & Shah, D.U. (2020). Transdisciplinary top-down review of hemp fibre composites: from an advanced product design to crop variety selection. *Composites Part C: Open Access*, 2, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100010>
- Müssig, J., & Christian, S. (2010). *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*. John Wiley & Sons.
- Mwaikambo, L. Y., Tucker, N., & Clark, A. J. (2007). Mechanical properties of hemp-fibre-reinforced euphorbia composites. *Macromolecular Materials Engineering*, 292, 993-1000. <https://doi.org/10.1002/mame.200700092>
- Myhre, M., & MacKillop, D. A. (2002). Rubber recycling. *Rubber Chemistry and Technology*, 75(3), 429-474. <https://doi.org/10.5254/1.3547678>
- Nuzaimah, M., Sapuan, S. M., Nadlene, R., & Jawaid, M. (2018). Recycling of waste rubber as fillers: A review. *IOP Conf. Ser. Materials Science Engineering*, 368, 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/368/1/012016>
- Okçuer, T. H. (2021). *Endüstriyel kenevirden kompozit malzeme geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, Türkiye.
- Parvez, A. M., Lewis, J. D., & Afzal, M. T. (2021). Potential of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) for bioenergy production in Canada: status, challenges and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110784. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110784>
- Pittau, F., Krause, F., Lumia, G., & Habert, G. (2018). Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls. *Building and Environment*, 129, 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.006>
- Pittau, F., Lumia, G., Heeren, N., Iannaccone, G., & Habert, G. (2019). Retrofit as a carbon sink: the carbon storage potentials of the EU housing stock. *Journal of Clean Production*, 214, 365-76. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.304>
- Ramarad, S., Khalid, M., Ratnam, C.T., Chuah, A.L., & Rashmi, W. (2015). Waste tire rubber in polymer blends: a review on the evolution, properties and future. *Progress Materials Science*, 72, 100-140. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.02.004>
- Ramlee, N. A., Jawaid, M., Zainudin, E. S., & Yamani, S. A. K. (2019). Tensile, physical, and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibre reinforced phenolic hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(4), 3466-3474. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.016>
- Ranalli, P., & Venturi, G. (2004). Hemp as a raw material for industrial applications. *Euphytica*, 140, 1-6. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4749-8>
- Rolere, S., Liengprayoon, S., Vaysse, L., Sainte-Beuve, J., & Bonfils, F. (2015). Investigating natural rubber composition with Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy: A rapid and non-destructive method to determine both protein and lipid contents simultaneously. *Polymer Testing*, 43, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.02.011>
- Rouison, D., Sain, M., & Couturier, M. (2006). Resin transfer molding of hemp fiber composites: optimization of the process and mechanical properties of the materials. *Compos Sci Technol*; 66(7e8):895-906. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.07.040>
- Sair, S., Oushabi, A., Kammouni, A., Tanane, O., Abboud, Y., & El Bouari, A. (2018). Mechanical and thermal conductivity properties of hemp fiber reinforced polyurethane composites. *Case Studies in Construction Materials*, 8, 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.02.001>

- Satapathy, S., Nag, A., & Nando, G. B. (2010). Thermoplastic elastomers from waste polyethylene and reclaim rubber blends and their composites with fly ash. *Process Safety and Environmental Protection*, 88, 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2009.12.001>
- Scrucca, F., Ingrao, C., Maalouf, C., Moussa, T., Polidori, G., Messineo, A., Arcidiacono C., & Asdrubali, F. (2020). Energy and carbon footprint assessment of production of hemp hurds for application in buildings. *Environmental Impact Assessment Review*, 84, 106417. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106417>
- Smith, B. (1998). *Infrared spectral interpretation*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203750841>
- Stark, N. M., Yelle, D. J., & Agarwal, U. P. (2016). Techniques for characterizing lignin. In: Faruk, O., Sain, M. (Eds.), *Lignin in Polymer Composites* (pp. 49-66). Elsevier, Vancouver, Canada.
- Tahir, P. M., Ahmed, A. B., Azry, S. O. A. S., & Ahmed, Z. (2011). Retting process of some bast plant fibres and its effect on fibre quality: a review. *BioResources*, 6, 5260-5281.
- Tucci, F., Larrea-Wachtendorff, D., Ferrari, G., & Carlone, P. (2022). Pulling force analysis in injection pultrusion of glass/epoxy composites. *Materials and Manufacturing Processes*, 37(15), 1715-1726. <https://doi.org/10.1080/10426914.2022.2049296>
- Van Vuure, A. W., Baets, J., Wouters, K., & Hendrickx, K. (2015). Compressive properties of natural fibre composites. *Materials Letters*, 149, 138-140. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.01.158>
- Wang, H., Hazell, P. J., Shankar, K., Morozov, E. V., & Escobedo, J. P. (2017). Impact behaviour of Dyneema fabric-reinforced composites with different resin matrices. *Polymer Testing*, 61, 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.04.026>
- Wayal, A. S., & Wagle, M. D. (2013). Use of waste plastic and waste rubber in aggregate and bitumen for road materials. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(7), 301-306.
- Yao, C., Zhao, S., Wang, Y., Wang, B., Wei, M., & Hu, M. (2013). Microbial desulfurization of waste latex rubber with *Alicyclobacillus sp.* *Polymer Degradation and Stability*, 98, 1724-1730. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.06.002>
- Zedler, Ł., Kowalkowska-Zedler, D., Colom, X., Canavate, J., Saeb, M.R., & Formela, K. (2020). Reactive sintering of ground tire rubber (GTR) modified by a trans- polyoctenamer rubber and curing additives. *Polymers*, 12(12), 3018. <https://doi.org/10.3390/polym12123018>
- Zhang, S. L., Xin, Z. X., Zhang, Z. X., & Kim, J. K. (2009). Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder. *Waste Management*, 29, 1480-1485. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.004>
- Zhang, J., Gao, J., Chen, Y., Hao, X., & Jin, X. (2017). Characterization, preparation, and reaction mechanism of hemp stem based activated carbon. *Results in physics*, 7, 1628-1633. <https://doi.org/10.1016/J.RINP.2017.04.02838>