KENEVİR DOLGULU PLA BİYOKOMPOZİTLERİN MEKANİK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

*Yalçın BOZTOPRAK*1, Murat YAZICI*2, Meltem COŞKUN*3 , Samet Hakan ASLAN*1*

[1] *Faculty of Technology, Metallurgy and Materials Engineering, Marmara University*

[2] *Applied Mechanics and Advanced Materials Research Group (AMAMRG) Lab.,*

Department of Automotive Engineering, Bursa Uludag University, Faculty of Engineering,

TR16059, Gorukle/Bursa/Turkiye

[3]*Department of Physics, Faculty of Science, Firat University, 23119, Elazığ, Türkiye*

E-mail: yboztoprak@marmara.edu.tr

Orcid: https://orcid.org/0000-0003-1714-7394

With increasing environmental concerns, interest in natural and sustainable materials has increased. In this context, lignocellulosic fibers, especially plant-derived biomaterials such as cannabis, stand out. Cannabis has advantages such as high cellulose content, short production time, low water and chemical requirements, high strength and durability. It is also suitable for organic farming as it is environmentally friendly and enriches the soil.In this study, the mechanical properties of biocomposites formed by adding 5%, 10%, 15% and 20% cannabis fiber to PLA (polylactic acid) matrix were investigated. It was observed that the hardness value increased, but the modulus of elasticity, tensile strength and % elongation values decreased. In addition, fiber distribution was analyzed with SEM images of PLA samples with 10% and 20% cannabis additives.

Her geçen gün daha da artan çevresel endişeler sebebiyle doğal malzemelerin önemi daha da artmıştır. Bu amaç doğrultusunda da liflerinin benzersiz özellikleri nedeniyle lignoselülozik lifler olarak da adlandırılan bitki lifleri gibi biyomalzemelerin kullanımına olan ilgi son yıllarda artmıştır. Bu tür malzemeler; çok fazla kullanılabilirlik, yenilenebilirlik, biyolojik olarak doğada parçalanabilirlik gibi özelliklerinin yanı sıra azaltılmış ağırlık, artan esneklik daha fazla kalıplanabilirlik, düşük maliyet ve ses yalıtımı gibi üstün özelliklere sahiptir. Bütün bu avantajlarının yanı sıra insan sağlığı açısından da konuyu ele aldığımızda sadece çalışma ortamında değil aynı zamanda üretim sonrasında da çok daha az sağlık tehlikesi ve düşük maliyet avantajlarını sunar. Biyokompozitlere son yıllarda ilgi çok fazla artmış olsa da potansiyeli tam olarak keşfedilmemiştir. Günümüzde kullanım alanları çok kısıtlı olsa da ilerleyen zamanlarda otomotiv de dahil olmak üzere birçok sektörde kullanılmaya başlanacağı tahmin edilmektedir. Bu biyokompozitler; ahşap artıkları (talaş ve kâğıt), çimenler, atık kağıtlar, tarımsal kalıntılar (saman, kabuklar, koçanlar, fındık kabukları, gıda dışı tohumlar gibi), gıda sanayi artıkları gibi farklı kategorilerde gruplandırılabilir.Biyokompozitlerde kenevir kullanılmasının nedenleri ve kenevirin özellikleri: Kenevir, cannabinaceae familyasından olup odunsu ve bir yıllık bir bitkidir. Anavatanı Asya olan kenevir çeşitli yollarla tüm dünyaya yayılmıştır. Bu sebeple hem bulunabilirdir hem de üretim süresi kısadır. Günümüzde iki alt türü bulunmaktadır. Bunlar; Cannabis sativa ve Cannabis indica'dır. Endüstriyel uygulamalar için önemli olan ve lif üretiminde kullanılan türü Cannabis sativa'dır. Kenevir kimyasal olarak; %74 selüloz, %18 hemiselüloz, %4 lignin ve %1 pektinden oluşur. Kenevir liflerinin üretiminde yüksek su tüketiminin olmaması, gübre ve tarım ilacına ihtiyaç duymadan yetiştirilebilmesi gibi nedenlerle toprak ve çevrenin korunmasını amaçlayan organik tarım üretimi için uygunluğunu göz önüne sermektedir. Ek olarak kenevir, ürün rotasyonuna uygun bir bitki olduğundan yabani otları yok ederek sonraki ürün için zengin bir toprak yapısı bırakmaktadır. Kenevir, yüksek mukavemet, dayanıklılık ve emicilik sağlayan doğal bir liftir. Yıllık lif verimi oldukça yüksektir ve bu

liflerden üretilen kumaşlarda boncuklanma(pilling) problemi yaşanmaz. Kenevir 20°C'de, %65 bağıl nemde %12, %95 bağıl nemde ise %30 nem alır ve bu 2 değerler pamuk ve ketenden çok daha yüksektir (Özdemir ve Tekoğlu, 2013). İyi elektrostatik özellikler, UV koruma sağlama ve antialerjik özellikler sergiler. Kenevirler; ilaç yapımında, kâğıt yapımında, yakıt yapımında (biyoyakıt), kumaş yapımında, tüm tekstil ürünlerinde, otomotiv sektöründe, petrol ve petrokimyanın kullanıldığı her alanda, kozmetik ve sabun yapımında, elektrik üretiminde, inşaat sektöründe, yem sanayisinde, yağ yapımında, asfalt ve yol yapımında aktif olarak kullanılmaktadır. Günümüzde araştırmacılar kenevir üzerine yaptıkları çalışmalarda, hem kenevir bitkisinin özelliklerine göre değerlendirilmesini hem de yeni üretim metotları geliştirmeyi amaç haline getirmişlerdir. Çünkü kenevir liflerinin, pamuk ve benzeri hammaddelerle karıştırıldığında daha dayanıklı iplikler üretilmesine imkân sağladığı ve birim alandaki verim eldesinin yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu sebeple kenevir lifi, sentetik lifler, cam lifleri ve birçok life karşı rakip konumdadır. Hatta kenevir lifinin kullanım alanlarında cam lifinden daha hafif olması, özellikle ısı ve ses izolasyonunda kenevire öncelik kazandırmaktadır. Sentetik liflerle benzer yapı ve kesite sahip olan kenevirin, dayanıklılık ve stabilite açısından sentetiklerle kıyaslanabilirliği bulunmaktadır. Bu sebeple kenevir lif ve iplik üretiminde sentetikler gibi daha basit ve seri üretim metotları geliştirilerek kenevirin daha yaygın ve kullanılabilir hale getirilmesi sağlanmalıdır. Bu sayede yeni pazarlar ve istihdam alanlarının önünün açılmasına olanak verilmiş olacaktır. Kenevir lifinin sahip olduğu üstün ekolojik özellikleri sebebiyle organik tekstil üretim potansiyelinin olması ve tekstil performans özelliklerinin iyi olmasından dolayı kenevir ürünlerinin üretim-tüketim bandında önümüzdeki yıllarda ciddi artış olması beklenmektedir. Ülkemizde de iklim ve toprak şartlarının uygunluğu sebebiyle yetiştirilebilen kenevir bitkisinin uygulama alanlarının geliştirilmesinin ülke ekonomisine ve istihdama büyük katkı sağlayacağı ön görülmektedir.

PLA üzerine yapılan çalışmalarda, Henan Üniversitesi'nde Ruihua Hu ve Jae-Kyoo Lim, kenevir fiber ve PLA filmleri sıcak preste ağırlıkça %30-40-50 fiber hacim oranlarında basmış ve birtakım mekanik testler yapmışlardır. Uyguladıkları alkali yüzey işleminin, kompozit üzerinde olumlu etki ettiğini fark etmişlerdir. Üretilen kompozitlerin de mekanik özellikleri bu yönde iyileşmiştir [1]. Percy Festus Alao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise alkali işleminin yanında silan yüzey işlemi uygulanmıştır. Ağırlıkça %30 ve 50 fiber içeriğine sahip kompozitlerin nem/su absorpsiyonuna bakılmış ve bu değerlerde azalma gözlemlenmiştir [2]. Moyeenuddin A. Sawpan ve arkadaşları kısa kenevir fiberlerine ek olarak, uzun kenevir fiberlerini de kullanmış ve ikisi arasında karşılaştırma yapmıştır. Yüzey işlemi olarak alkali ve 3 silanı tercih eden çalışma sonucunda, uzun fiberli kompozitlerin mekanik özelliklerinde daha yüksek değerlere ulaşılmıştır [3]. Bir başka çalışmada Zhenzhen Xu, Li Yang ve arkadaşları, herhangi bir yüzey işlemi uygulamadan kenevir fiberin yanında PLA fiberi de kullanarak iğneleme yöntemiyle hibrit fiber oluşturmuşlardır. PLA fiber oranı %10-20-30 ve hibrit fiber oranı sabit %40 olacak şekilde belirlenmiştir. Daha sonra ürettikleri kompozitler üzerinde deney yaptıklarında, hibrit fiber teknolojisinin, geleneksel laminat kompozitlere nazaran daha iyi özelliklere sahip olduğu sonucuna varmışlardır [4]. Satoshi Kobayashi ve Keita Takada, yüzey işlemi uygulamadan kenevir iplik ve PLA reçinesini micro-braided yöntemini (merkezde bir kenevir ipliği, bu ipliğin etrafında ise sekiz PLA ipliği) kullanarak MBY'ler üretilmişlerdir. Sonucunda ise daha yüksek kalıplama basıncının, kenevir lifini eksenel olarak değil, radyal olarak tahrip etme eğiliminde olduğunu görmüşlerdir [5]. Güney Kore, Dankook Üniversitesi'nde, Young Seok Song ve arkadaşları kenevirleri düz dokulu ve dimi dokulu olmak üzere iki farklı kumaş yapıda kullanmış ve PLA peletleri ile birlikte sandviç şeklinde lamine ederek sıcak preste basmıştır. Çalışmada fiber içeriği ağırlıkça %6-20 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak dimi dokuma kumaşlı kompozitler, düz dokumaya göre daha iyi mekanik, termal ve viskoelastik davranış göstermiştir. Kompozitlerinin CTE'si, fiber hacim oranının artmasıyla birlikte önemli ölçüde azalmıştır [6]. Seung Hwan Lee ve Young Seok Song'un yaptığı çalışmada yine düz dokulu kenevir kumaş kullanılmış ve PLA reçinesi ile birlikte basınçlı kalıplamada basılmıştır. Alışılmışın dışında bir yüzey işlemi seçilmiş, kenevir kumaş yüzeyi selülaz enzimi ve amonyak ile işleme sokulmuştur. Çalışmada fiber içeriği ağırlıkça %25-35 olarak belirlenmiştir. Isıl büzülme hariç, diğer özelliklerde amonyak ve enzimin bir yardımı olmadığının, hatta bazı durumlarda negatif etki ettiği sonucuna varılmıştır [7]. Son olarak, Kırklareli Üniversitesi'nde, Süleyman Sinan Öztürk'ün doğal elyaf dolguli polilaktik asit biyokompozit yapıların araç uygulamalarında incelenmesi için yaptığı çalışmada dokuma olmayan (non-woven) kenevir kumaş ve PLA, 50:50 oranında iğneleme tekniği ve ardından sıcak pres uygulamasıyla kompozit yapılar üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda ise numunelerin 4 saat boyunca suya batırıldıktan sonraki çekme dayanımında artma, eğilme dayanımı ve eğilme modülünde ise azalma meydana gelmiştir. Deney sıcaklığı arttıkça eğilme dayanımında ve eğilme modülünde ise yine azalma görülmüştür [8]. Polipropilen üzerine yapılan çalışmalarda ise Çin'de Hongming Wu ve arkadaşları, kenevir fiber ve PLA filmleri enjeksiyon makinesinde ağırlıkça sabit %10 fiber hacim oranında basmış ve birtakım mekanik testler yapmışlardır. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak, yüzey modifikasyonu NaOH, γ-valerolakton ve dodesil bromür ile yapılmış ve birbirileriyle 4 karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak dodesil bromür (C12) ile yüzey işlemine tabii tutulan kompozitler, diğerlerine nazaran daha iyi mekanik özellikler göstermiştir [9]. Başka bir çalışmada ise Célia Badji ve arkadaşları, PP ile birlikte 38 gün boyunca havuzlama işlemine tabii tutulmuş kenevir fiberleri kullanmıştır. Maleik anhidrit ile aşılanmış fiber oranı ağırlıkça %10 ve 30 olacak şekilde ekstrüde edilmiş ve enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. Fransa'nın güney batısında (Pau) iki tür doğal atmosfer şartlarına maruz bırakma deneyi 12 ay boyunca gerçekleştirilmiştir. İlki dışarda bir güverteyi temsil ederken, ikincisi bir arabanın içini simüle etmiştir. Numuneler yerle 45° açı yapacak şekilde galvanizli raflara sabitlenmiş ve güneye doğru yönlendirilmiştir. Lamine ön camlar, otomotiv uygulaması için malzemeleri korumuştur. Bozulmaya maruz bırakılmış ve bırakılmamış malzemeler daha sonra testler yardımıyla karşılaştırılmıştır. Bu testler sonucunda İklimlendirme olmayan bölgede, artan fiber oranıyla birlikte elastik modülü artmıştır. Ayrıca biyokompozitlerin modül değerleri, hava durumları gözetmeksizin işlenmemiş PP'lerden daha yüksektir. Böylece liflerin malzeme sertleştirme

etkisi deney boyunca sürdürülmüştür. Geleneksel sapmadaki eğilme mukavemeti, liflerin bir dolgu etkisine sahip olduğu anlamına gelen lif oranı ile bir artış göstermiştir. Bununla birlikte malzeme ne olursa olsun hem polimer hem de kenevir liflerinin bozunması nedeniyle deney süresi ile azalmıştır [10]. Theresa Sullins ve arkadaşları, dolgu malzemesi için mat formatında kenevir fiber, matris malzemesi için ise PP peleti kullanmıştır. Ağırlıkça %15 ve %30 kenevir lifine göre önceden tartılmış PP yığınına, ağırlıkça %5 Polybond 3200 eklemiş ve MAPP karışımı daha sonra işlenmeden önce PP ile harmanlamıştır. İşlemde, kenevir lifleri ve PP peletler bir ikiz ekstrüderde birleştirilmiştir. Bu birleştirme işlemi, liflerin erimiş polipropilen ile emprenye edilmesini sağlamıştır. Bileşik karışım, dikdörtgen şekilli bir kalıptan ekstrüde edilmiş ve bant formunu oluşturmak üzere soğutulmuştur. Bileşik bant formu 25 mm uzunluğunda parçalara kesilmiş ve düşük kesmeli plastikatöre beslenmiştir. Yük, PP'yi eritmek için düşük kesmeli plastikatörde ekstrüde edildikten sonra, bir kalıba yerleştirilmiş ve plakaya sıkıştırılarak kalıplanmıştır. Yapılan bu çalışmada MAPP bağlayıcı ajanının eklenmesi, NaOH ile işleme alınmış kenevir liflerine kıyasla daha iyi sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir [11]. Son olarak ise Hajer Hadiji ve arkadaşları, polipropileni doğal bitki elyaflarıyla dolgu etmiş ve ağırlıkça %50 fiber matris oranında carding/cross lapping/needle punched yöntemi ile üretilmiştir. Yapılan testler sonucunda ise dokunmamış kompozitlerin kayıp faktörünün frekansla biraz değiştiğini ve doğal liflere dayalı dokunmamış kompozitlerin, cam-PP kompozitlere nazaran daha yüksek sönümleme özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Nitekim, kenevir-PP ve keten-PP kompozitlerinin kayıp faktörü ~%5'e ulaşırken, cam-PP kompozit ~%2'yi geçememektedir [12]. A. Rachini ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 5 birleştirme ajanı kullanım sayısının polipropilen/kenevir elyaf kompozitlerinin mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aynı anda iki organosilanın kullanımı hiç birleştirme ajanı kullanılmayan kompozitlerle karşılaştırıldığında çekme mukavemetini ve darbe direncini %40'tan fazla arttırdığı görülmüştür. Tek başına VTMO birleştirme ajanı kullanıldığında kompozitin çekme mukavemeti ve darbe direnci orta derecede arttığı ancak birleştirme ajanına sahip olmayan kompozitle karşılaştırıldığında su emiliminin kötüleştiği görülmüştür. Buna karşılık VTMO + SiAn birleştirme ajanlarının kullanıldığı kompozitlerin su emiliminin %43 azaldığı gözlemlenmiştir [13]. Polietilen çalışmalarında ise Rita Solizenko, Janis Kajaks, Olga Nestore ve Silvija Kukle'nin yaptığı çalışmada bileşenlerin rulo değirmende ısı verilerek karıştırılması ve soğutulması ardından granül haline getirildikten sonra 1mm plaklar şeklinde preslenmesiyle üretilen ağırlıkça %10 ile %40 arasında kenevir lifi kullanılan LLDPE/kenevir liflerine dayalı kompozitlerin kullanım özellikleri incelenmiş, liflerin kimyasal bileşimindeki değişikliklerin, kompozitlerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. En iyi sonuçlar BPL lifli kompozitlerde elde edilmiş ancak PLV ve BLV lifli kompozitlerin sonuçlarının çok farklı olmadığı gözlemlenmiştir [14]. Na Lu ve Shubhashini Oza'nın yaptığı çalışmada NaOH işlemi uygulanmış %20 ila %40 arasında değişen lif hacim oranı ile üretilen Kenevir-rHDPE ve kenevir-vHDPE kompozitlerinin mekanik ve termo-mekanik özellikleri üzerine bir inceleme yapılmıştır. Elyaforanının artmasıyla çekme mukavemetinin de arttığı görülmüştür. Kenevir-rHDPE kompozitlerinin mekanik özelliklerinin, elyaf yüklemesine bağlı olarak kenevir-vHDPE kompozitlerinin mekanik özelliklerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [15]. Na Lu ve Shubhashini Oza'nın yaptığı çalışmada Kenevir-HDPE kompozitlerinin termalstabilitesi ve termo-mekanik özellikleri ile ilgili olarak elyaf yüklemesi ve yüzey işlevselleştirmesi üzerine bir inceleme yapılmıştır. Hem silan hem de NaOH işleminin, kenevir-HDPE kompozitlerinin termal stabilitesini iyileştirdiği görülmüştür. Bu iki yüzey işleme yöntemi arasında silanla işlenmiş kenevir-HDPE kompozitlerinin üstün termal kararlılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Sertlikteki artışın, işlenmiş kenevir-HDPE kompozitleri için işlenmemiş olanlardan çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Silan uygulaması yapılmış kenevir içeren kompozitlerin, NaOH işlemi yapılmış kenevir kompozitlerine kıyasla daha yüksek elastik mekanik özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir [16]. 6 Zane Zelca1, Silvija Kukle, Janis Kajaks'ın yaptığı çalışmada aynı atık arıtma yöntemleri ile yüksek mekanik kompozit özellikler ve düşük su absorpsiyonu elde etmenin mümkün olmadığı, bu nedenle kompozitlerin kullanım amacı ve en uygun işleme kombinasyonlarının kullanılmasının düşünülmesi gerekildiği anlaşılmıştır [17]. J. Kajaks ve Z. Zelca'nın yaptığı çalışmada kenevir liflerinin farklı ön işleme yöntemlerinin lineer düşük yoğunluklu polietilen kompozitlerinin operasyonel özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Çekmenin deneysel değerlerinin (mukavemet, elastik modül ve bağıl uzama) en iyi sonuçların bir interfaz değiştirici ile (ağırlıkça %5) sisteme doping yapılarak elde edilebileceğini görülmüştür [18]. K. Merkel, H. Rydarowski, J. Kazimierczak ve A. Bloda'nın yaptığı çalışmada en iyi mekanik özelliklerin kimyasal ve enzimatik işlemlerden sonra mekanik işlemlerle ekstrakte edilen mikro selülozun lif olarak dolgu edildiği kompozitte (MCF-HS/HDPE) olduğu gözlemlenmiştir ancak kenevir ve pirina lifleri için bile sonuçların oldukça tatmin edici olduğu gözlemlenmiştir. Kenevir samanından elde edilen selüloz liflerinin, otomotiv biyokompoziti olarak, kenevir ve pirina liflerinin ise tarımsal filmler üretmek için kullanılabileceği görülmüştür [19]. Navjot Pal Singha, Lakshay Aggarwalb ve V.K. Guptac'ın yaptığı çalışma sisal-kenevir liflerinin HDPE için birlikte kullanılmasının, tek kullanılmasından daha iyi mekanik özellikler gösterdiğini gözlemlemek için yapılmıştır. Çekme mukavemetinin; %15 sisal ve %15 kenevir lifleri içeren kompozitlerin %30 kenevir, %70 HDPE ve %30 sisal, %70 HDPE içeren kompozitlerle karşılaştırıldığında sırasıyla %47 ve %56 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sisal liflerinin, hibrit kompozitlerin çekme mukavemetini kontrol etmede kenevir liflerinden daha baskın olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan bu çalışmada %100 saf HDPE'nin her zaman hibrit kompozitlere göre daha yüksek mukavemet gösterdiği kanıtlanmıştır [20]. Magdalena Węgrzyn, ve arkadaşları yaptığı çalışmada iyonik sıvıların %10-20 kenevir dolguli yenilenebilir polietilen bazlı biyokompozitlerin mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada fosfonyum iyonik sıvısının parçalanmasının darbe mukavemeti ve sertlik gibi bazı mekanik özellikleri geliştirdiği görülmüştür. %20 kenevirlifi dolguli kompozit için iyonik sıvıların çekme mukavemetinde artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir [21]. Désiré Chimeni-Yomeni, Adrien Faye, Denis Rodrigue, Charles Dubois'in yaptığı çalışmada eriyik birleştirme yoluyla üretilen ve etilen polimerizasyon aşılaması ile yüzey

işlemine tabi tutulan lineer orta yoğunluklu polietilen (L) kompozitlerinin (ağırlıkça %20), yüksek aşılama seviyesinin mekanik özellikleri (gerilme ve darbe dayanımı) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İşlenmiş kenevir kompoziti (L20PH) ile işlenmemiş kenevir kompoziti (L20H) karşılaştırıldığında modifikasyonun fiber kompozitin su emme oranını %44 azalttığı görülürken uzamayı ve mukavemeti sırasıyla %197 ve %14 arttırdığı görülmüştür [22]. 7 Haixia Fang,1 Yaolin Zhang,1 James Deng,1 Denis Rodrigue'nin yaptığı çalışmada 3- Kompozisyon yönteminin kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi ve kompozitlerin su emme özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yığın karıştırıcıda hazırlanan kompozitlerin çift vidalı ekstrüderlerde hazırlanan kompozitlerden daha iyi özellikler gösterdiği görülmüştür. Çift vidalı ekstrüderde birleştirme işlemi sırasında kullanılan birleştirici ajanların, lif işleme prosesi işlemi sırasında kullanılan birleştirici ajanlara göre kompozitlerin eğilme akma dayanımını arttırmada daha etkili olduğu gözlemlenmiştir [23]. Na Lu ve Shubhashini Oza'nın yaptığı çalışmada silan ve NaOH işleminin kenevir-HDPE kompozitlerinin özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kompozitlerin termal kararlılıklarının fiber kimyasal modifikasyonundan sonra büyük ölçüde iyileştirildiği görülmüştür. Hem silan hem de NaOH işleminin, kenevir-HDPE kompozitlerinin termal stabilitesini iyileştirdiği görülmüştür. Bu iki yüzey işlemi metotları arasında silanla işlenmiş kenevir-HDPE kompozitlerinin üstün termal kararlılık gösterdiği görülmüştür. Termo-mekaniksonuçların işlenmiş ve işlenmemiş kenevir kompozitler için %40 lif hacim fraksiyonuna kadar arttığı ve %50 lif hacim fraksiyonunda ise düştüğü yani maksimum sertliğin sadece %40 lif yüklemesiyle elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Sertlik artışının işlenmiş kenevir-HDPE kompozitleri için işlenmemiş olanlardan çok daha yüksek olduğu görülmüş ve silanla işlenmişkenevir içeren kompozitlerin NaOH ile işlenmiş kenevir kompozitlerine kıyasla daha yüksek elastik mekanik özellikler gösterdiği gözlemlenmiştir [24]. Sukhdeep Singha, Dharmpal Deepakb, Lakshya Aggarwalc, V.K. Guptab'ın yaptığı çalışmadaHDPE matrisinde kenevir liflerinin içeriğinin %10-%30 arasında arttırılmasıyla elde edilecek mekanik özellikler incelenmiştir. Eşit içerikli saf ve geri dönüştürülmüş HDPE matrisine kenevir liflerinin eklenmesiyle eğilme mukavemetinin azaldığı görülmüştür. HDPE matrisindekenevir liflerinin güçlendirilmesinin, gerilme mukavemetini azalttığı görülmüştür. %50 saf HDPE ve %50 geri dönüştürülmüş HDPE olacak şekilde hazırlanan numunelerde kenevir içeriğinin %10'dan %30'a artmasının sırasıyla kompozitlerin çekme mukavemetini 0,53 MPa ve 2,20 MPa kadar düşürdüğü görülmüştür. Ancak %20 kenevir lifli kompozitin 50-50 saf ve geri dönüştürülmüş HDPE karışımı olan numuneyle karşılaştırıldığında çekme mukavemetinin 0,28 MPa daha fazla olduğu gözlemlenmiştir [25].

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Numunelerin Hazırlanması

İlk olarak 38-180 mikron arasında öğütülmüş kenevir partikülleri ve PLA granülleri, birlikte 100 °C'de 24 saat boyunca etüv fırınında kurutulmuştur. Daha sonra elek analizi yapılmış kenevir partikülleri ve PLA, ağırlıkça %5-10-15 ve 20 kenevir olacak şekilde tartılarak ekstrüzyon işlemine hazırlanmıştır. Homojen karışım elde etmek için Mikrosan marka (Mikrosan Makine A.Ş., Türkiye) çift vidalı bir ekstrüzyon makinesinde 25-35 bar basınç altında, 80 dev/dak dönüş hızında ve 170-200 °C arasındaki sıcaklıklarda eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir. Ektrüzyon makinesinde soğutma işlemi için suya daldırılan polimer kompozitler; kırıcı yardımıyla granül formuna getirilmiş ve yapıdaki nemi uzaklaştırmak için etüv fırınında 105°C' de 12 saat boyunca kurutulmuştur. Test numuneleri, Yonca Makine adlı enjeksiyon makinesinde, sıcaklığı 170–240 °C, enjeksiyon basıncı 700-900 bar ve vida dönme hızı 25 dev/dak olacak şekilde basılmıştır.

2.2.Test Yöntemleri

2.2.1.Çekme Testi

Çekme deneyi ASTM D 638 standardına göre Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan Zwick Z010 marka test cihazı ile oda sıcaklığında, 5 mm/dak. hızında yapılmıştır. Her gruptan beşer numune olacak şekilde ölçümler alınmıştır.

2.2.2. Darbe Testi

Darbe test numunesi ISO standardı Tip 1A olarak belirtilmiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olup test sonuçları kJ/m2 cinsinden belirtilmiştir. Üretilen polimer malzemelerin kırılganlık dayanımlarının belirlenmesi için kullanılan Izod darbe testi; ASTM D-256 standartlarına göre kalıpla basılmış numuneler üzerine 5,4 kJ'lük sarkacın düşürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Darbe testleri için Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan Zwick marka darbe test cihaz kullanılmıştır. Her gruptan beşer numune olacak şekilde ölçümler alınmıştır.

2.2.3. Üç Nokta Eğme Testi

Üç nokta eğme testi ASTM D790 standardına göre Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan Zwick Z010 marka test cihazı ile oda sıcaklığında, 1 mm/dak. hızında yapılmıştır. Her gruptan üçer numune olacak şekilde ölçümler alınmıştır.

2.2.4. Aşınma Testi

Aşınma testi DVT DA 6 adlı test cihazında ASTM D 5963-4 standardına göre yapılmıştır. Standart çapı 15,5 mm ve kalınlığı ise 7 mm olan numuneler, her gruptan üçer adet olacak şekilde, 10 N yük altında, 40 metrelik mesafe boyunca dönme hızı 40 dev/dak. olan ve aşındırıcı görevi yapacak tamburun üzerinde teste tabii tutulmuştur.

2.2.5. Yoğunluk Ölçümü

Plastik enjeksiyon ile üretilen numunelerin yoğunluk ölçümlerinin yapılması için Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan Precisa 205A SCS marka yoğunluk belirleme cihazı kullanılmış ve yoğunluk testleri gerçekleştirilmiştir.

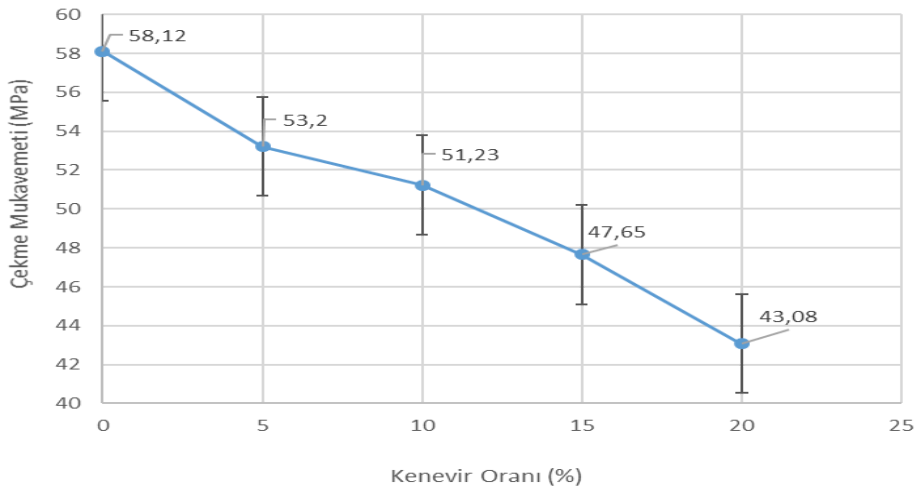
2.2.6. Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan Zwick marka sertlik cihazı ile D tipi durometre kullanılarak yapılmıştır. Her grubun farklı numune ve bölgelerinden yaklaşık onar adet ölçüm alınmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

PLA (%)	**Kenevir (%)**
% 0	% 100
% 5	% 95
% 10	% 90
% 15	% 85
% 20	% 80

3.1.Çekme Testi



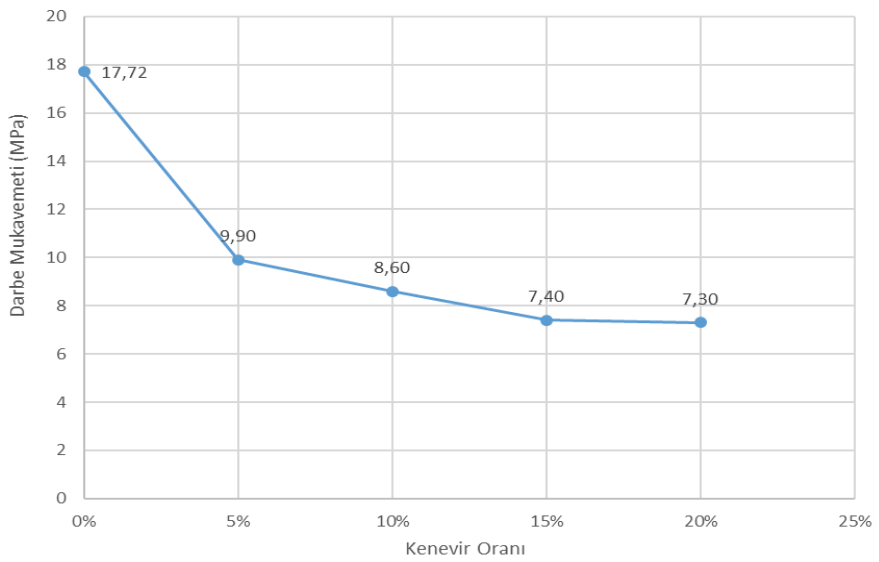
Şekil.3.1. Kompozit numunelerin çekme mukavemeti

Kenevir oranı arttıkça, malzemenin çekme mukavemeti azalmaktadır. Bu, kenevir eklenmesinin malzemenin mukavemetini düşürdüğünü göstermektedir. Kenevir ilave edilmemiş saf PLA'nın çekme mukavemeti 58.12 MPa'dır. %5 kenevir ilave edildiğinde çekme dayanımı 53.2 MPa'a düşmüştür. İlave edilen kenevir oranı arttıkça bu düşüş devam etmiştir. Kenevir oranı %20'ye çıktığında ise 43.08 MPa ile en düşük çekme mukavemeti görülmüştür.

Kenevir eklenmesiyle PLA'nın esnekliği azalmış olup sertliği ve kırılganlığı artmıştır. Bu da çekme dayanımının düşmesine sebep olmuştur.

3.2.Darbe Testi

Şekil 3.3 saf PLA ve kenevir dolgulu PLA kompozitlerin darbe dayanımını göstermektedir. Elde edilen veriler incelendiğinde en yüksek darbe mukavemetinin saf PLA'da yaklaşık 18 MPa olduğu görülmüştür. Kenevir dolgulu PLA kompozitleri arasında ise en yüksek darbe mukavemetinin ağırlıkça %5 kenevir içeriğine sahip kompozitte 9,90 MPa olduğu görülmüştür. PLA, kompozitteki kenevir oranı azaldıkça darbe mukavemetinin arttığı, dolayısıyla kenevir oranı ve darbe mukavemeti arasında ters orantı olduğu gözlemlenmiştir. Kenevir oranı arttıkça malzemenin tokluğu azalmış ve malzeme kırılganlaşmıştır. Bu nedenle darbe mukavemetinde azalma meydana gelmiştir.

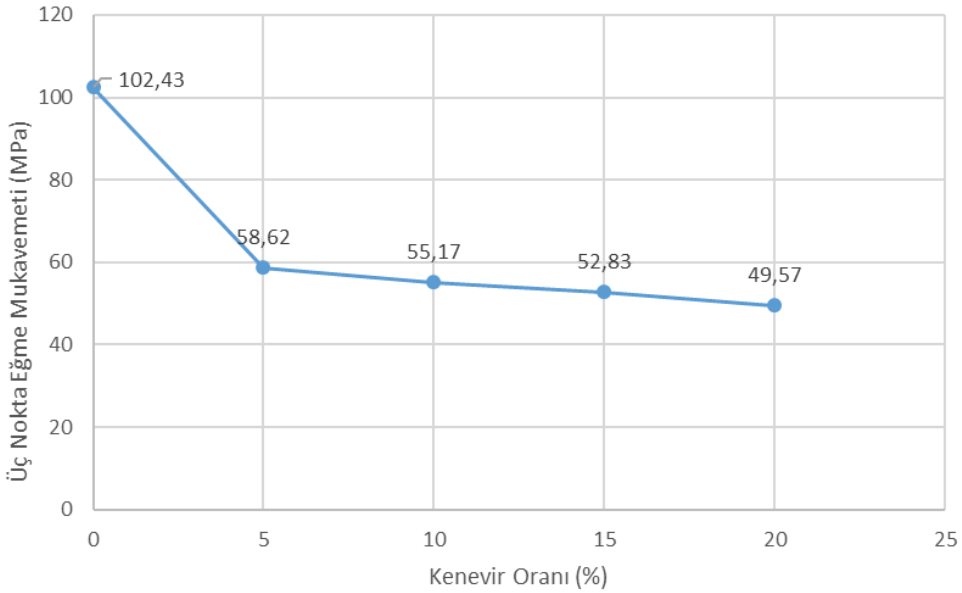


Şekil.3.2 Kompozit numunelerin darbe mukavemeti

Kenevir ilave edilmemiş saf PLA'nın darbe mukavemeti en yüksek seviyededir (17.72 MPa). Kenevir oranı arttıkça darbe mukavemeti azalmaktadır. %15'ten sonra çok az bir azalma görülmüştür.

3.3.Üç Nokta Eğme Testi

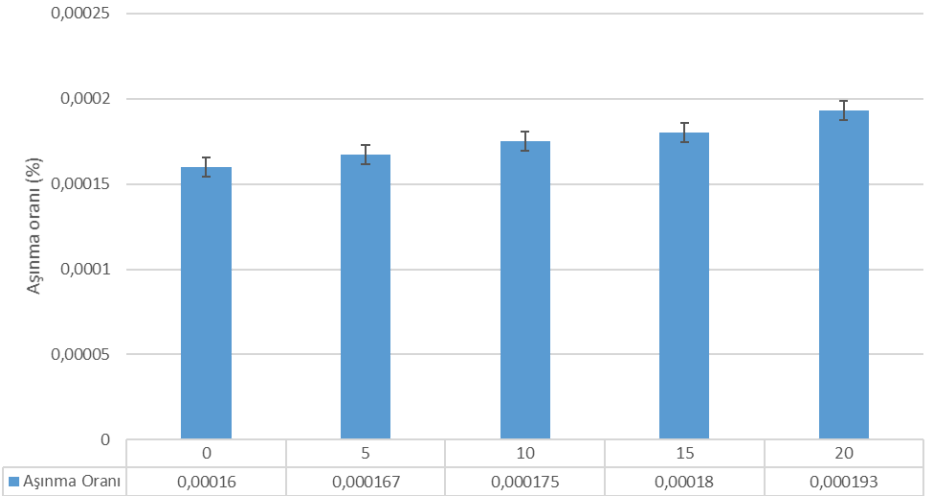
Şekil 3.3 saf PLA ve kenevir dolgulu PLA kompozitlerin üç nokta eğme dayanımlarını göstermektedir. Saf PLA'nın, kenevir dolgulu PLA kompozitlere nazaran çok daha yüksek dayanım gösterdiği görülmüştür. Kenevir ilave edilmemiş saf PLA'nın eğilme mukavemeti en yüksek seviyededir (102.43 MPa). Kenevir oranı arttıkça eğilme mukavemeti azalmaktadır. Kenevir oranındaki artış, malzemenin eğilme mukavemetini önemli ölçüde düşürmektedir. İlk %5'lik artışta büyük bir düşüş yaşanırken daha sonraki kenevir artışlarında düşüş devam etmekle birlikte yavaşlamıştır. Kenevir oranının artmasıyla esneklik azaldığı için eğilme mukavemetindeki azalma beklenen bir durumdur.



Şekil.3.3 Kompozit numunelerin üç nokta eğme mukavemeti

Kenevir ilave edilmemiş saf PLA'nın eğilme mukavemeti en yüksek seviyededir (102.43 MPa).
Kenevir oranı arttıkça eğilme mukavemeti azalmaktadır. Kenevir oranındaki artış, malzemenin eğilme mukavemetini önemli ölçüde düşürmektedir. İlk %5'lik artışta büyük bir düşüş yaşanırken daha sonraki kenevir artışlarında düşüş devam etmekle birlikte yavaşlamıştır. Kenevir oranının artmasıyla esneklik azaldığı için eğilme mukavemetindeki azalma beklenen bir durumdur.

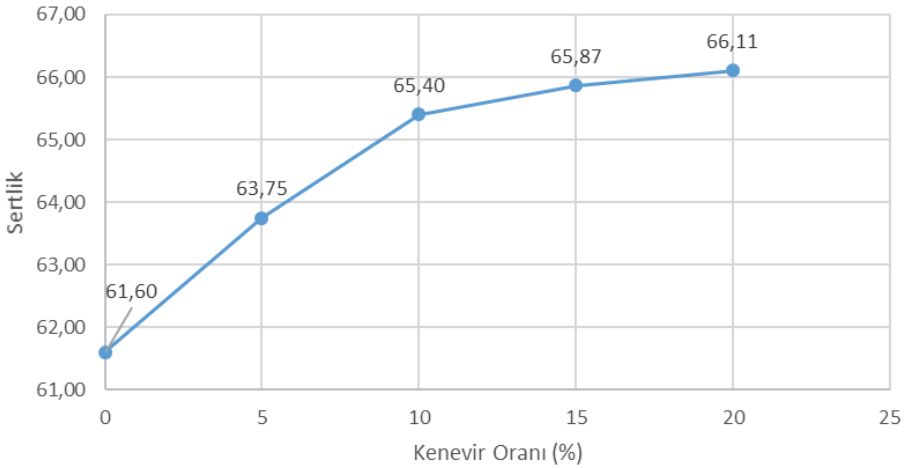
3.4.Aşınma Testi



Şekil.3.5. Kompozit numunelerin aşınma testi

Kenevir oranı arttıkça aşınma oranı da artmaktadır.Bu durum, partiküllerin aşınma direncini olumsuz etkilediğini göstermektedir.Partikül takviyesi, aşınma gibi yüzeyle ilgili özelliklerde dezavantaj oluşturabilmektedir. Partiküllerin yüzeyde çıkıntı yapması veya zayıf bağlanması, yüzeyden daha kolay kopmalarına neden olur. Burada kenevir oranı arttıkça aşınma dayanımı azalmıştır.

3.6.Sertlik Ölçümü



Şekil.3.6. Kompozit numunelerin sertlik değerleri

Kompozit malzemede kenevir oranı arttıkça sertlik arttığı görülmektedir.Ancak bu artış %10'dan sonra çok az olmakla birlikte birbirine çok yakındır. Bu da, malzemenin yapısal doygunluğa yaklaştığını ve fazladan takviyenin

sınırlı katkı sağladığını gösterir. Eğer hedef malzeme sertliğini artırmaksa %10-15 kenevir oranı optimum olabilir. %20'nin üzerindeki oranlar, karışım ve işlenebilirlik sorunları doğurabilirken, sertliğe fazla katkı sağlamayabilir.

Conclusions

•Kenevir, PLA'yı biyobozunur yapıda destekleyen ancak mekanik olarak zayıflatan bir dolgudur.

Kenevir partiküllerinin, PLA'nın sertliğinde artışa neden olduğu gözlemlenirken çekme mukavemeti, % uzama, eğilme, darbe ve aşınma mukavemeti değerlerinde düşüşe neden olduğu ve PLA matrisli kompozitin saf PLA'ya göre daha sert ve gevrek olduğu tespit edilmiştir.

Sertlik gerektiren fakat yüksek dayanım istenmeyen ürünlerde kenevir dolgulu PLA kompozitler kullanılabilir. Çünkü her ne kadar mekanik özellikler zayıflasa da sürdürülebilirlik, maliyet ve çevre dostu malzeme açısından bu tür malzemeler avantaj sağlamaktadır.

Mekanik özelliklerin geliştirilmesi için:

-Kenevirin lif formunda kullanılması veya partiküller ile birlikte kısa lifler ile de takviyelendirilmesi

-Partikül yüzeyinin kimyasal modifikasyonu (örneğin NaOH işlemi)

- Matrisle uyumu artırıcı uyumlaştırıcı kullanılması önerilmektedir.

Acknowledgments

The acknowledgments come at the end of an article after the conclusions and before the notes and references.

References

[1] R. Hu and J.-K. Lim, "Fabrication and Mechanical Properties of Completely Biodegradable Hemp Fiber Reinforced Polylactic Acid Composites," Journal of Composite Materials, vol. 41, no. 13, pp. 1655–1669, Jul. 2007.

[2] P. F. Alao, L. Marrot, H. Kallakas, A. Just, T. Poltimäe, and J. Kers, "Effect of Hemp Fiber Surface Treatment on the Moisture/Water Resistance and Reaction to Fire of Reinforced PLA Composites," Materials, vol. 14, no. 15, p. 4332, Aug. 2021.

[3] M. A. Sawpan, K. L. Pickering, and A. Fernyhough, "Improvement of mechanical performance of industrial hemp fibre reinforced polylactide biocomposites," Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, vol. 42, no. 3, pp. 310–319, Mar. 2011.

[4] Xu Z, Yang L, Ni Q, Ruan F, Wang H. Fabrication of high-performance green hemp/polylactic acid fibre composites. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. January 2019.

[5] Satoshi Kobayashi & Keita Takada (2015) Transverse properties of hemp/PLA composite fabricated with micro-braiding technique, Advanced Composite Materials, 24:6, 509-518, Jun 2014.

[6] Y. S. Song, J. T. Lee, D. S. Ji, M. W. Kim, S. H. Lee, and J. R. Youn, "Viscoelastic and thermal behavior of woven hemp fiber reinforced poly(lactic acid) composites," Composites Part B: Engineering, vol. 43, no. 3, pp. 856–860, Apr. 2012.

[7] S. H. Lee and Y. S. Song, "Effect of enzyme and ammonia treatments in green composite systems," Journal of Composite Materials, vol. 47, no. 26, pp. 3249–3255, Oct. 2012.

[8] S. ÖZTÜRK, “THE INVESTIGATION OF POLYLACTIC ACID BASED NATURAL FIBER REINFORCED BIOCOMPOSITES FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS,” Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, pp. 21–31, Jun. 2020.

[9] H. Wu, D. Xu, Y. Zhou,J. Guo, W. He, Y. He, Y. Yi, and S. Qin, “The Improved Mechanical and Thermal Properties of Hemp Fibers Reinforced Polypropylene Composites with Dodecyl Bromide Modification,” Fibers and Polymers, vol. 22, no. 10, pp. 2869–2877, Jun. 2021. [10] C. Badji, J. Beigbeder, H. Garay, A. Bergeret, J.-C. Bénézet, and V. Desauziers, “Exterior and under glass natural weathering of hemp fibers reinforced polypropylene biocomposites: Impact on mechanical, chemical, microstructural and visual aspect properties,” Polymer Degradation and Stability, vol. 148, pp. 104–116, Feb. 2018. 17

[11] T. Sullins, S. Pillay, A. Komus, and H. Ning, “Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments,” Composites Part B: Engineering, vol. 114, pp. 15–22, Apr. 2017.

[12] H. Hadiji, M. Assarar, W. Zouari, F. Pierre, K. Behlouli, B. Zouari, and R. Ayad, “Damping analysis of nonwoven natural fibre-reinforced polypropylene composites used in automotive interior parts,” Polymer Testing, vol. 89, p. 106692, Sep. 2020.

[13] A. Rachini, G. Mougin, S. Delalande, J.-Y. Charmeau, C. Barrès, and E. Fleury, “Hemp fibers/polypropylene composites by reactive compounding: Improvement of physical properties promoted by selective coupling chemistry,” Polymer Degradation and Stability, vol. 97, no. 10, pp. 1988–1995, Oct. 2012.

[14] Rita Solizenko, Janis Kajaks, Olga Nestore, Silvija Kukle, “The Exploitation Properties of Hemp Fibres Containing Linear Low Density Polyethylene Composites” Material Science and Applied Chemistry, vol. 27, 2013.

[15] N. Lu and S. Oza, “A comparative study of the mechanical properties of hemp fiber with virgin and recycled high density polyethylene matrix,” Composites Part B: Engineering, vol. 45, no. 1, pp. 1651–1656, Feb. 2013.

[16] N. Lu and S. Oza, “Thermal stability and thermo-mechanical properties of hemp-high density polyethylene composites: Effect of two different chemical modifications,” Composites Part B: Engineering, vol. 44, no. 1, pp. 484–490, Jan. 2013.

[17] Z. Zelca, S. Kukle, and J. Kajaks, “Water Absorption and Tensile Properties of Hemp Waste and Polyethylene Composites,” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 500, p. 012003, Apr. 2019. [18] J. Kajaks, Z. Zelca, and S. Kukle, “The Effect of Modification Methods on the Performance Characteristics of Composites Based on a Linear Low-Density Polyethylene and Natural Hemp Fibers,” Mechanics of Composite Materials, vol. 51, no. 5, pp. 677–682, Oct. 2015.

[19] K. Merkel, H. Rydarowski, J. Kazimierczak, and A. Bloda, “Processing and characterization of reinforced polyethylene composites made with lignocellulosic fibres isolated from waste plant biomass such as hemp,” Composites Part B: Engineering, vol. 67, pp. 138–144, Dec. 2014. 18

[20] N. P. Singh, L. Aggarwal, and V. K. Gupta, “Tensile Behavior of Sisal/Hemp Reinforced High Density Polyethylene Hybrid Composite,” Materials Today: Proceedings, vol. 2, no. 4–5, pp. 3140–3148, 2015.

[21] M. Węgrzyn, E. Rudnik, R. Kamocka-Bronisz, and B. Kukfisz, “Mechanical and Thermal Properties of Biocomposites Based on Polyethylene from Renewable Resources Modified with Ionic Liquids,” Journal of Polymers and the Environment, vol. 29, no. 6, pp. 1808–1816, Jan. 2021.

[22] D. Chimeni‐Yomeni, A. Faye, D. Rodrigue, and C. Dubois, “Behavior of polyethylene composites based on hemp fibers treated by surface‐initiated catalytic polymerization,” Polymer Composites, vol. 42, no. 5, pp. 2334–2348, Feb. 2021.

[23] H. Fang, Y. Zhang, J. Deng, and D. Rodrigue, “Effect of fiber treatment on the water absorption and mechanical properties of hemp fiber/polyethylene composites,” Journal of Applied Polymer Science, vol. 127, no. 2, pp. 942–949, May 2012.

[24] N. Lu and S. Oza, “Thermal stability and thermo-mechanical properties of hemp-high density polyethylene composites: Effect of two different chemical modifications,” Composites Part B: Engineering, vol. 44, no. 1, pp. 484–490, Jan. 2013.

[25] S. Singh, D. Deepak, L. Aggarwal, and V. K. Gupta, “Tensile and Flexural Behavior of Hemp Fiber Reinforced Virgin-recycled HDPE Matrix Composites,” Procedia Materials Science, vol. 6, pp. 1696–1702, 2014.