

Tarımsal atıklardan elde edilen sürdürülebilir tekstil lifleri: Ananas yaprağı lifleri

Ece Kalaycı¹, Osman Ozan Avinc^{*2}, Ahmet Bozkurt³, Arzu Yavaş⁴

14.12.2015 Geliş/Received, 25.01.2016 Kabul/Accepted

ÖZ

Ananas yaprağı lifleri, adından da anlaşılacağı gibi ananas bitkisinin yapraklarından elde edilen doğal bir lif türüdür. Ananas bitkisi genellikle meyvesi için yetiştirildiğinden, her yıl tonlarca ananas yaprağı tarımsal atık olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılarındaki selüloz oranı oldukça yüksek olan bu lifler, üstün mekanik özellikleri ve suyu seven yapısı ile iyi bir tekstil malzemesi olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, kolay ulaşılabilir, biyobozunur ve geri dönüştürülebilir olması sayesinde özellikle biyo-kompozitlerin üretiminde tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir. Hem tarımsal atıkların değerlendirilmesi hem de çevre dostu özellikleri ile sürdürülebilir üretimin hedeflendiği şu günlerde, ananas yaprağı lifi önemli bir hammadde kaynağıdır. Bu derleme çalışmasında, ananas yaprağı liflerinin yapısı, özellikleri, elde edilme yöntemleri ve kullanım alanları gibi başlıklar detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ananas yaprağı lifi, biyobozunur, çevre dostu, doğal lif, PALF

Sustainable textile fibers obtained from agricultural wastes: Pineapple leaf fibers

ABSTRACT

Pineapple leaf fiber, as is evident from its name, is a natural fiber that is obtained from pineapple plant. Tons of pineapple leaves are wasted every year since pineapple plant is mostly cultivated for only fruit production. Pineapple fiber has high cellulose content in their structure and is known to be a useful textile material with excellent mechanical properties and hydrophilic character. Furthermore, this fiber has become a preferred material in the production of biocomposites owing to its properties such as easily being accessible, biodegradable and recyclable. Today, pineapple leaf fiber is an important raw material resource that can contribute to sustainable production with both utilization of agro-wastes and its eco-friendly properties. In this review, topics such as structure, properties, end uses and extraction methods of pineapple fibers are examined in detail.

Keywords: pineapple leaf fiber, biodegradable, ecofriendly, natural fiber, PALF

* Sorumlu Yazar / Corresponding

¹ Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli – ekalayci@pau.edu.tr

² Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli - oavinc@pau.edu.tr

³ Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli - ahmetbozkurt2020@gmail.com

⁴ Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli - aozerdem@pau.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

‘Sürdürülebilirlik’ son yıllarda neredeyse tüm dünyanın önem verdiği bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilirliği, temel olarak gelecek kuşakların devamlılığını tehlikeye atmadan, bugünkü kaynaklar ile yaşam kalitesini, çeşitliliğin ve üretkenliğin devamlılığını sağlamak olarak özetlemek mümkündür [1]. Çevresel, sosyal ve ekonomik olarak üç temel ayak üzerinde kurulu olan sürdürülebilirlik esasları bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, sadece toplumun bir kesimi tarafından değil her bir bireyin bu konuda farkındalığının sağlanması gerekmektedir.

Tekstil endüstrisi de diğer birçok endüstri alanı gibi hammadde seçiminde üretim yöntemlerinde sürdürülebilirliği destekleyen çözümlerin arayışı içerisinde. Örneğin tekstil terbiye işlemlerinde su tüketiminin azaltılması, atık suların arıtılması, atık suların tekrar kullanılması ve hatta susuz terbiye işlemleri tekstildeki sürdürülebilir çözümlerden bazılarıdır [2-5]. Günümüzde birçok kurumun ve araştırmacının hassasiyetle, üzerinde çalıştığı bu konuda, her geçen gün farklı, yaratıcı ve etkin çözümler geliştirilmektedir.

Petrol esaslı sentetik lifler yerine doğal liflerin kullanımının tercihi de sürdürülebilir tekstil üretimine alternatif oluşturabilecek yöntemlerden biridir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve bilinen pamuk, keten, yün, ipek gibi liflerin yanında farklı performans özelliklerine sahip birçok farklı doğal lif bulunmaktadır. Sadece tekstil materyallerinde değil tekstil liflerinin kullanıldığı tüm alanlarda sentetik lifler yerine alternatif oluşturabilecek benzer özelliklerde doğal liflerin kullanılması mümkündür. Özellikle kompozit malzemelerde güçlendirici olarak kullanılabilen çok sayıda doğal lif çeşidi bulunmaktadır [6-14]. Ayrıca her geçen gün azalan petrol kaynakları göz önüne alındığında, her yıl kendiliğinden yenilenen doğal materyallerin kullanımı hem çevresel hem de ekonomik anlamda avantajlı hale gelmektedir [7, 9, 15, 16].

PALF (PineApple Leaf Fibers) lifleri olarak da bilinen ananas yaprağı lifleri de hem tekstil ürünlerinde hem de kompozit yapılarda yaygın olarak kullanılabilen bir doğal lif türüdür [17-25]. Ülkemizin coğrafi konumu ve iklimi sebebiyle bu bitkinin ülkemizde yetiştirilmiyor oluşundan dolayı, ananas lifli tekstil ürünlerine pek de aşına olmasak da ananas bitkisinin yaygın yetiştirildiği coğrafyalarda ananas lifli tekstil ürünleri oldukça popüler ve değerlidir. Tarımsal ananas bitkisi yetiştiriciliğinin atık maddeleri olan ananas yaprak lifleri oldukça higroskopiktir ve yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptirler [21, 22, 26-31]. Genel olarak meyvesi için

yetiştirilen bir bitki türü olan ananas bitkisi, özellikle meyve suyu endüstrisi için oldukça önemli hammadde kaynaklarından biridir [11, 23, 27, 32]. Meyve suyu üretiminde kullanılan meyvelerinin suyu çıkartıldıktan sonra geriye kalan kısmı A vitaminince zengin olup hayvan yemi olarak kullanılmaktadır [23, 27]. Ananas bitkisi ayrıca bromelain türü ananas bitkisi yapraklarından elde edilen (çıkartılan) bromelain enzimi ile ilaç endüstrisinin de önem hammaddelerinden biridir [23]. Çoğunlukla ananas meyvesi üretiminde tarımsal atık olarak elde edilen ananas yaprağı lifleri, günümüzde sadece lif odaklı ananas yetiştiriciliği ile endüstriyel olarak da üretilebilmektedir [6].

Yüksek hidrofilite, spesifik mukavemet ve modül gibi özellikleri sayesinde ananas yaprağı lifleri diğer doğal lifler arasında önemli bir yere sahiptir [21, 33]. Yaklaşık %70 oranında selüloz içeren yapısı ile pamuk liflerine benzer niteliktedir ve bu sayede pamuk eğirme sistemlerinde yapılan küçük modifikasyonlar ile kolaylıkla eğrilebilmektedirler [23, 34]. Sadece %100 ananas yaprağı lifleri olarak değil ayrıca jüt, rami, pamuk gibi doğal lifler ve diğer bazı sentetik elyaflar ile karıştırılma yeteneğine sahiptirler [21, 23]. Kreme çalan beyaz renkte, ince ipeksi lifler olan ananas yaprağı lifleri ter emicilik ve anti-bakteriyel performanslara sahip bir elyaf cinsidir [17, 18, 21, 23, 35-40]. Hem çeşitli tekstil ürünlerinde hem de kompozit yapılar içerisinde yaygın bir kullanım potansiyeline sahiptir. Bu derleme çalışmasında ananas yaprağı liflerinin yapısı, özellikleri, üretim yöntemleri, kullanım alanları ve bu liflere uygulanan terbiye işlemleri gibi başlıklar detaylı olarak incelenmiştir.

2. ANANAS BİTKİSİ (PINEAPPLE PLANT)

Ananas (*Ananas comosus*), Bromeliaceae ailesine ait çok yıllık otsu bir bitki türüdür [6, 17, 18, 20, 23, 26, 27, 29, 32, 34, 37, 41-43]. Eni ve boyu 1-2 m arasında değişiklik gösteren bu bitki meyve etrafında çevrelenen yaklaşık 2,5-6 cm kalınlığında ve 90-140 cm uzunluğunda yapraklardan (20-30 adet) oluşmaktadır [26-28, 32, 41]. Genellikle kıyı kesimlerde ve tropikal iklime sahip bölgelerde yetiştirilen ananas bitkisinin dünyadaki yıllık üretimi FAO (Food and Agriculture Organization)’nun 2011 değerlerine göre 21,9 milyon ton civarında olduğu kaydedilmiştir [29, 32]. Bu bitkinin yetiştirilme amacı her ne kadar çoğunlukla meyvesi olsa da, 1 hektar alandan tonlarca taze ananas bitkisi yaprağı elde edilebilmektedir [11, 34].

Ananas bitkisi muzdan sonra dünyada üretimi yapılan en önemli tropikal bir bitkidir [22, 23, 27, 44] (Şekil 1). Ananas bitkisinin en büyük üreticileri Brezilya, Endonezya, Hawaii, Tayland ve Filipinlerdir [10, 11, 16, 45-47]. Fakat Hindistan, Malezya, Küba ve Pasifik

adaları gibi daha birçok alanda yetiştirilebilmektedir [25, 36, 41, 45, 46, 48, 49]. 2008 yılı rakamlarına göre ananas bitkisinin üretimi sırasında yılda 384 673 ton civarında atık malzeme ortaya çıkmaktadır [32]. İçerisinde ciddi oranda lif barındıran bu atık malzemeler genellikle ya yakılmakta ya da çürümeye bırakılmaktadır [50-52]. Bu sebeple ananas yetiştiriciliğinden geriye kalan yaprakların lif üretiminde kullanılması hem bu yaprakların değerlendirilmesi hem de çevreye zarar verilmemesi adına büyük önem taşımaktadır [50, 51].

Ayrıca ananas bitkisinin her yıl kendini yenileyebilmesi, kolay ulaşılabilirliği, geri dönüşümü ve kolaylıkla doğaya karışabilmesi sayesinde, ananas yaprağı lifleri endüstriyel kullanım için ideal bir malzeme haline gelmektedir [6, 10, 42]. Ananas bitkisinin 1300-2000 arasında türü olduğu bilinse de ananas yaprağı lifleri genellikle comosus türünden elde edilmektedir [23, 26, 42, 45, 53].



Şekil 1. Ananas bitkisi (Pineapple plant) [54]

2.1. Ananas Bitkisinin Tarihi (History of Pineapple Plant)

Ananas bitkisinin tarihteki yeri çok eskiye dayanmaktadır. İlk olarak Columbus ve ekibi tarafından 1493 yılında Karayip adalarında görülen bu bitki, Amerika kıtasının keşfi ile birlikte Güney Amerika'nın kıyı kesimlerine ve tropikal iklimin hâkim olduğu tüm bölgelerine yayılmıştır [26, 38, 55]. Bu bitkiye meyvesinin çam kozalağına benzer yapısı yüzünden İngilizce olarak çam anlamına gelen 'pine' kelimesi ile meyveyi temsilen elma anlamına gelen 'apple' kelimelerinin bir araya getirilmesiyle 'pineapple' adı verilmiştir. Ancak bizim dilimizde de olduğu gibi birçok dilde bu bitki 'ananas' olarak bilinmektedir. Bu kelimenin de kökeni yerli amazon dilinde 'mükemmel meyve' anlamına gelen 'anana' kelimesine dayanmaktadır. Ananas aynı zamanda 'hoş geldin' anlamında kullanılan eski bir semboldür ve dekorasyon malzemeleri üzerinde damga olarak kullanımına sık rastlanmaktadır. Egzotik özelliklere sahip ananas

bitkisinin Amerika kıtasından az bulunur olmasından dolayı Amerikalılar 17'inci yüzyılda Karayipler' den ananas ithal etmeye başlamış ve bu sayede ananas Amerika'daki sağlıklı insanların simgesi haline gelmiştir. Ananas bitkisinin Dünyadaki diğer tropikal bölgelere yayılmasında Portekizlerin önemli bir rolü vardır. Afrika'nın güney ve batı kıyıları, Madagaskar, Güney Hindistan, Çin, Java, Filipinler ve Malezya'yı ananas bitkisi ile tanıştıranın Portekizliler ve İspanyollar olduğu bilinmektedir [38, 51, 56, 57]. Bugünlerde gıda maddesi, tıbbi, kozmetik ya da endüstriyel uygulamalar gibi çeşitli amaçlar için yetiştirilen birçok ananas bitkisi türü bulunur [32]. Örneğin, ananas bitkisi yapraklarından 'bromelain' enzimi elde edilmektedir ve bu enzim gıda endüstrisinden, ilaç sanayiine birçok alanda kullanılabilir. Ya da, ananas suyu ve kumdan oluşan karışımın filika güverte temizliğinde oldukça başarılı olduğu kaydedilmiştir. Balık oltaları, balık ağları, hamaklar ya da peştamallarda kullanılmıştır [55]. Ayrıca, suyu alınmış kurutulmuş ananas atık malzemeleri de sığır, tavuk, domuz gibi hayvanlar için besin maddesi olarak kullanılabilir [58].

2.2. Ananas Bitkisinin Tarımı (Cultivation of Pineapple Plant)

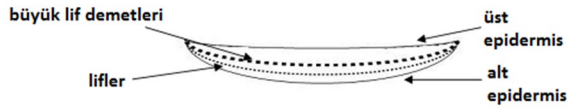
Ananas bitkisi tropikal ve yarı tropikal iklime sahip coğrafyalarda yetiştirilen en önemli bitki türlerinden biridir [8, 26, 29, 47, 52, 59]. İklim şartları, toprak yapısı gibi çevresel şartlar bitki gelişimini yakından etkilemektedir [50]. Sıcaklık ananas bitkisinin üretimi üzerinde en etkili olan faktördür. Ananas bitkisinin yetiştirilmesi için gerekli optimum şartlar 23-32 °C arasındaki sıcaklıklar olarak kaydedilmiştir [26]. Sıcaklığın 10 °C'nin altına düşmesi ya da 36 °C'nin üzerine çıkması bitkinin yaprak ve köklerindeki büyümeyi durdurmaktadır. Ananas bitkisi 10 °C'e kadar olan düşük sıcaklıklara dayanıklı olsalar da daha düşük sıcaklıklara ve dona karşı hassastırlar. Her ne kadar güneşi seven bir bitki olsa da, lif amaçlı üretilen ananas bitkileri genellikle gölgeli alanlarda yetiştirilir [55, 60]. Gölgeli alanlarda yetiştirilen ananas bitkisinin daha az meyve verdiği ancak yapraklarının daha fazla geliştiği gözlemlenmektedir [26]. Bu sayede de yapraklardan daha dayanıklı lifler elde edilmektedir.

Toprak özellikleri ise ananas bitkisinin yetiştirilmesinde önemli olan parametrelerden bir diğeridir. Organik madde bakımından zengin ve drenaj sorunu olmayan kumlu-tınlı toprak türleri ananas yetiştiriciliği için en ideal toprak türü olarak kabul edilebilmektedir [60, 61]. Ananas bitkisinin yetiştirilmesinde diğer birçok bitki de olduğu gibi sulama, gübreleme, yabancı ot ve zararlı böcekler ile mücadele büyük önem taşımaktadır. Ananas bitkisi su depolayabilen hücrelere sahip olmasından dolayı kuraklığa karşı dayanıklı bir bitki türü olarak

kabul edilmektedir [60]. Ancak sulama sırasında toprakta oluşan göllenmelere karşı oldukça hassastır. Kapalı alanlarda da kolaylıkla yetiştirilebilen ananas bitkisi, bu sayede sadece tropikal iklime sahip coğrafyalarda yetiştirilmek zorunda değildir. Birçok ülkede kapalı alanlarda dekorasyon bitkisi olarak da yetiştirilebilmektedir [60].

3. ANANAS YAPRAĞI LİFLERİ (PINEAPPLE LEAF FIBERS)

Ananas yaprağı liflerinin lif hücreleri ananas yaprağı içerisinde elyaf demetleri halinde bulunmaktadır [51, 59]. Ananas yaprağı lifleri, hasat sonrasında ananas yaprakların üst yüzeylerinde bulunan epidermis tabakasının bazı biyolojik ya da mekanik işlemler yardımı ile uzaklaştırılıp lif demetlerinin ortaya çıkartılması işlemi ile elde edilmektedir [51, 55] (Şekil 2). Birçok kimyasal bileşenin bir araya gelmesi ile oluşan ananas yaprağı lifleri (PALF lifleri), yüksek oranda polisakkarit ve lignin içeren aynı zamanda az miktarlarda da olsa yağ, vaks, pektin, üronik asit, anhidrid, pentosan, renkli pigment ve inorganik maddeler içeren çok hücreli lignoselülozik liflerdir [6, 7, 16, 18, 23, 27, 29, 34, 41, 59, 62-64].



Şekil 2. Ananas bitkisi yaprağının enine kesiti (Crosssection of pineapple plant leaf) [45]

Ananas yaprağı liflerinin küçük (2-9 mm uzunluğunda) ve ince lif hücrelerinin bir araya gelerek oluşturduğu ipliksi bir görünümü vardır [41, 42, 65]. Lif enine kesitinde, lif hücreleri kompakt bir yapı sergilemektedir [41]. Silindirik lif hücrelerinin uçları kavisli (yuvarlakça), hücre çeperlerindeki lignin oranı yüksektir [16, 26, 41]. Dar bir lümeneye sahip [26, 41] ananas yaprağı liflerinin selüloz oranı %70-82 arasındadır [6, 8, 17, 19, 20, 27, 32, 41, 66, 67].

4. ANANAS YAPRAĞI LİFLERİNİN ELDE EDİLMESİ (PRODUCTION OF PINEAPPLE LEAF FIBERS)

Ananas bitkisi dünya üzerinde geniş bir üretim alanına sahip olup genellikle meyvesi için üretildiğinden yaprakları içerisinde bulunan lifler tarımsal atık kategorisindedir. Bu sayede ayrı bir sulamaya, gübrelemeye ya da ilaçlamaya gerek olmadan her yıl tonlarca ananas yaprağı lifi üretilebilmektedir [68]. Biyo-kompozitlerin yaygınlaşması ile birlikte ananas lifleri gibi doğal kaynaklı yenilenebilir atık malzemelerin kullanımı önemli hale gelmiştir [6, 15, 18, 20, 69, 70].

Yiyecek olarak kullanılmayan bu biyo-materyaller tarımsal endüstri için geniş bir pazar oluşturmaktadır [71].

Ananas bitkisinin taze yapraklarından %2-3,5 arasında değişen oranlarda lif elde edilebilmektedir [21, 26, 36, 72, 73]. Elyaf yaprak uzunluğu boyunca devam etmektedir [27, 59]. Yaprakların seçimi elyafın hazırlanmasında ilk adımdır ve hayati bir önem taşımaktadır [36]. Genç yapraklardan elde edilen lifler yumuşak ve zayıftır. Özellikle gölgede değil de güneşte yetiştirilen ananas bitkisinin yapraklarının verimi düşük olur. Güçlü ve esnek lif elde etmek için kısmen gölgede ve orta olgunlukta yapraklar tercih edilmelidir [36]. Yapılan araştırmalara göre tekstil üretimine en uygun niteliklere sahip ananas lifleri Hindistan ve Filipinler’de yetiştirilmektedir [17, 36]. Lifleri ayırmak için genellikle 1-1,5 yaşında yapraklar kullanılmaktadır [26]. Çünkü bu tipteki lifler yaprak dokusudan daha kolay ayrılmaktadır. Ananas yapraklarının seçimi yapıldıktan sonra liflerin çıkarılması için uygulanacak yöntemin seçimi lif kalitesine etkileyen bir parametredir [36]. Ananas bitkisi yaprakları içerisinde bulunan liflerin bitki dokularından ayrılması çeşitli biyolojik, mekanik ya da kimyasal yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 3). Havuzlama (çürütme) ve kırma (dekortikasyon) ananas liflerinin elde edilmesinde en sık kullanılan yöntemlerin başında gelmektedirler [21, 26-28, 37, 59, 74-77].



Şekil 3. Ananas yaprağı liflerinin üretimi sırasıyla; (a) meyve vermiş ananas bitkisi [60], (b) ananas bitkisi yaprakları [61], (c) ananas yaprakları içerisinde bulunan lifler [32] ve (d) ananas yaprağı lifleri [68] [Production of pineapple leaf fibers (a) pineapple plant with fruit, (b) pineapple plant leaves, (c) fibers in the pineapple leaves and (d) pineapple leaf fibers, respectively]

4.1. Ananas Liflerinin Biyolojik Yöntemler ile Elde Edilmesi (Extraction of Pineapple Leaf Fibers with Biological Methods)

Havuzlama (çürütme) yöntemi yaprak ve gövde liflerinin çıkartılmasında kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Ananas yaprağı liflerinin çıkartılmasında da kullanılan bu yöntem en ekonomik yöntemlerden biri olmasına rağmen, çok zaman alıcı olduğu için günümüzde pek tercih edilen bir yöntem değildir [26, 27, 36, 59]. Havuzlama yöntemi, ananas yapraklarının akan suda ya da çığde ıslatılarak, yumuşatılması ve mikroorganizmalar yardımı ile lif demetlerinin korteksten ayrılması işlemi olarak özetlenebilmektedir [59, 74]. Su içerisinde bekletme işlemi 15-30°C arasında değişen sıcaklıklarda 24 saatten 10 güne kadar değişen

sürelerde uygulanabilmektedir [26, 28, 78]. Su içerisinde geçen süre arttıkça liflerin yaprakтан ayrılması daha da kolaylaşmaktadır. Havuzlama yönteminin dekortikasyon yöntemine kıyasla genel olarak life daha az zarar verdiği, aynı zamanda daha yüksek selüloz miktarına sahip liflerin elde edildiği kaydedilmiştir [26].

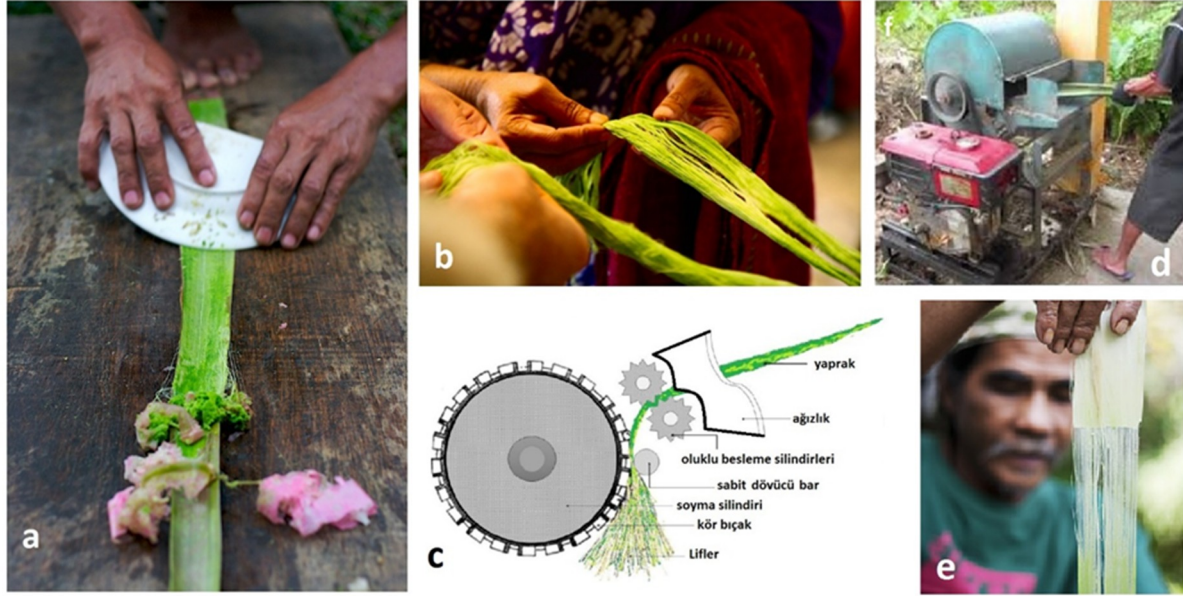
Havuzlama (çürütme) yönteminde, üzerine çizikler atılan ananas yaprakları küçük demetler halinde bağlanır ve genellikle banyo oranı 1:20 olan havuzlama tankları içerisinde bekletilir [21]. Havuzlama işleminin daha hızlı olması için banyoya %0,5 üre veya diamonyum fosfat (DAP) ilave edilebilir [21]. Hindistan Teknoloji Geliştirme Derneği raporuna göre; ananas yaprağı liflerinin işlenebilirliğini arttırmak için ananas yapraklarının en az 18 gün su içinde bekletilmesi gereklidir. Havuzlama ile ananas yaprağının yapısı gevşer ve pentosanlar, lignin, yağ, balmumu (vaks), pektin gibi kimyasal maddelerin uzaklaştırılması sağlanır [21]. Lif demetlerindeki bu gevşeme doğal pektinin çeşitli doku parçalarının yok edilmesinden dolayıdır [78]. Çevre koşulları, pH, sıcaklık, bakteri, havalandırma ve ışık gibi etkenler havuzlama işleminde önemli unsurlardır. [78] Suda havuzlama (çürütme) işlemi için 26 saat, 6.8-7.2 pH aralığı ve oda sıcaklığı yeterlidir. Havuzlama işlemi sonrasında mekanik olarak ayrılan lifler durgun suda (gölet) yıkanır ve asılarak kurutulur [21]. Ananas liflerin elde edilmesinde çiğde çürütme (havuzlama) yöntemi de kullanılan yöntemler arasındadır. Ancak çiğde çürütme tekniği ile elde edilen liflerin kalitesi suda çürütme yöntemi ile elde edilen liflerin kalitesi kadar iyi değildir [32, 49]. Bu sebeple suda çürütme yöntemi daha tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Havuzlama işleminden sonra yapılan çekme mukavemeti testleri havuzlama aracılığıyla pektin gibi yapışkan maddelerden arındırılan ananas lifinin çekme dayanımının herhangi önemli bir değişikliğe uğramadığını göstermiştir. Ayrıca havuzlama işlemi ile ananas lifinin lignin ve hemiselüloz miktarı önemli ölçüde azaltılabilmektedir [79].

Ananas liflerinin elde edilmesinde uygulanan biyolojik yöntemlerden biri de enzim kullanılarak gerçekleştirilen havuzlama (çürütme) işlemidir [74]. Bu yöntemde, suda ve çiğde havuzlama yönteminde bakteri ve mikroorganizmaların yaptığı görev enzim ve enzim karışımları tarafından kontrollü şekilde tanklar içerisinde gerçekleştirilmektedir. Poligalakturonaz, pektinaz, hemiselülaz, selülaz gibi enzimler bu yöntemde kullanılabilen enzim çeşitlerinin başında gelmektedir.

Ananas liflerinin elde edilmesinde geleneksel yöntemle gerçekleştirilen havuzlama metodunun kullanılması yerine enzimler kullanılması, lif kalitesinde ve verimde artış sağlamasının yanında zamandan tasarruf da sağlamaktadır. Fakat enzim kullanımında enzimlerin aktivitesinin devamlılığının olup olmadığına dikkat edilmesi gerekmektedir[74]. Selülaz enzimi gibi aktivitesinin devamlılığı olabilecek enzimlerin sodyum hipoklorit gibi kimyasallar yardımı ile aktivitesinin durdurulması gerekebilmektedir [74].

4.2. Ananas Liflerinin Mekanik Yöntem ile Elde Edilmesi (Extraction of Pineapple Leaf Fibers with Mechanical Methods)

Ananas lif demetlerinin ananas yaprağından ayrılması mekanik yöntemde elle ya da makine yardımı ile gerçekleştirilebilmektedir [27, 28, 46, 80] (Şekil 4). Ananas liflerinin elle çıkartılması işleminde işlem oldukça basit ve ilkindir. Yaprakların dış yüzeyleri kör bir bıçak ya da porselen bir tabak yardımı ile yaprağın bir ucundan diğer ucuna doğru kazınarak ananas lif demetlerinin yüzeye çıkması sağlanmaktadır [22, 51, 55, 76, 78]. Bu işlem liflerin zarar görmemesi için oldukça önemli ve sabır gerektiren bir işlemdir. Daha sonra elde edilen lifler temiz bir suda iyice yıkanarak, kurutulmaktadır [51, 55]. Güneşte kurutmak liflerin kırılma özelliği göstermelerine sebep olacağından dolayı, kurutma işleminin gölge alanlarda yapılması gerekmektedir [22]. Ananas liflerinin nem oranı % 5-7 olacak şekilde kurutma işlemi tamamlandıktan sonra tarama işlemine tabii tutularak, hafif sarımtırak renkte, parlak ananas yaprağı lifleri (PALF) elde edilmektedir [25, 55, 78]. Ayrıca ananas yaprağı liflerinin elle çıkartılması işleminde hasattan sonra en fazla 3 gün içerisinde liflerin yaprakтан çıkartılması gerekmektedir. Aksi takdirde yapraklar kurumaya başlayacağından liflerin yaprak içerisinde zarar görmeden çıkartılması çok zor bir hal almaktadır [59]. Ananas liflerinin elle çıkartılması çok fazla iş gücü gerektirmesi ve aynı zamanda elde edilen lif oranının makine yardımı ile elde edilen lif oranına göre daha az olması bu yöntemi daha pahalı hale getirmektedir [36]. Fakat Filipinler gibi bazı ülkelerde, ananas liflerinin çıkartılmasında kör bıçak ya da porselen tabak kullanımı tercih edilmektedir [59]. Hindistan ve Endonezya gibi ülkeler ise ananas lifi eldesinde makine kullanımını tercih eden ülkeler arasındadır [79].



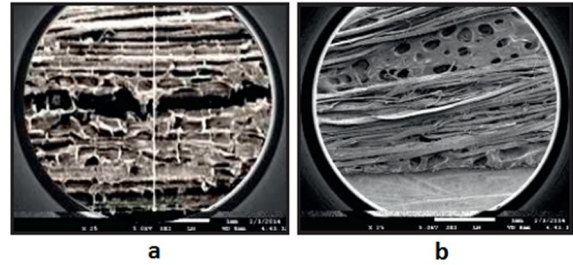
Şekil 3. Ananas yaprağı liflerinin mekanik yöntemlerle elde edilmesi; (a) elle porselen tabak kullanımı ile ayrılma işlemi [81], (b) elle ayrılan lifler [82], (c,d) dekortikatör kullanımı ile liflerin yaprakattan ayrılması [83-85], (e) dekortikatör ile yaprakattan ayrılmış lifler [86]. [Extraction of pineapple leaf fibers with mechanical methods; (a) hand extraction method by using ceramic plate, (b) hand extracted fibers, (c,d) fiber extraction from leaf by using decorticator, (e) extracted fibers using decorticator]

Ananas yaprağı lifi elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan diğer yöntem dekortikatör adı verilen makineler yardımı ile gerçekleştirilmektedir [26, 28, 46, 74]. Kıрма/soyma amaçlı kullanılabilen bu makinalarda, silindirler arasında ezilen ananas yapraklarının yüzeyleri soyularak liflerin elde edilmesi amaçlanmaktadır [21, 74, 76, 78]. Dekortikatör adı verilen makine, bir şaft üzerine monte edilmiş dönen bir tambur sistemini içermektedir [36, 78]. Bu sistemde tamburun çevresi üzerinde elektrikli tahrik vasıtası ile döner bir dövme hareketi oluşturan bir dizi pürüzlü yapı monte edilmiştir [36]. Tambur döndükçe yaprak tambur destek plakası arasına beslenir. Yaprak yarıya geldiğinde yavaş yavaş geri çekilir ve bu kez kalan diğer yarısı daha önce olduğu gibi aynı şekilde makine içerisine beslenir [36, 78]. Elde edilen lifler yıkanır ve kurumaya bırakılır [36]. Şekil 5’de elle ve dekortikatör yardımı ile üretilen ananas yaprağı liflerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Dekortikatör ile çıkartılan ananas yaprağı liflerinin elle elde edilen liflere göre daha kaliteli ve düzgün olduğu gözlemlenmektedir [59]. Ananas yaprağı liflerinin elde edilmesi sırasında kullanılan üretim yöntemi liflerin kalitesini belirlemektedir. Bu sebeple ihtiyaç duyulan kalite dikkate alınarak üretim yöntemine karar verilebilmektedir [59].

Bu yöntemde bazen bir süre havuzlama işlemine tabii tutulmuş ananas yaprakları kullanılabilir. Kıрма yöntemi bir bakıma havuzlama işleminin devamı olarak uygulanabilmektedir [74]. Havuzlarda işlem görmüş bitki yapraklarının kıрма işlemine tabii tutularak liflerin çıkartılması sağlanabilmektedir [74]. Aynı şekilde son

geliştirilen bazı yeni makinalar ile lifler ilk olarak kırma işlemine maruz bırakılmaktadır. Bu işlemde dekortikatör makinelerine benzer bir sistemde, ancak bıçaklar yardımıyla yaprak yüzeyinde ince kesiklerin oluşması sağlanmakta, bu işlem ardından lifler havuzlama işlemine tabii tutulmaktadır. Yaprak yüzeyinde oluşan kesikler mikroorganizmaların daha hızlı yaprak yüzeyindeki tabakayı çürütmesini sağlamaktadır [21].

Son yıllarda yapılan araştırmalar ile ananas yaprağı liflerinin elde edilmesinde kullanılan makinalar biraz daha geliştirilmiştir. Yüzeyi pürüzlü (dişli) silindirler ara



Şekil 4. (a) Elle çıkartılan ananas yaprağı liflerinin ve (b) dekortikatör kullanılarak üretilen ananas yaprağı liflerinin SEM görüntüleri [22]. SEM photos of (a) hand extracted pineapple leaf fibers and (b) pineapple leaf fibers extracted using decorticator

sından geçerken yaprak yüzeyinin kırılarak deforme olması ve liflerin açığa çıkması esasına dayanan bu konvansiyonel makineler, silindirler üzerine çeşitli açılarda konumlandırılmış bıçaklar yardımı ile yaprak yüzeyini soyarak liflerin elde edilmesi şeklinde yeniden düzenlenmişlerdir [22]. Ayrıca konvansiyonel yöntemde lif eldesinden sonra gerçekleştirilen yıkama kurutma işlemi için de ayrı bir makine sistemi geliştirilmiştir [52]. Bu yeni makine sistemleri ile konvansiyonel yöntemde göre daha yüksek mukavemette ve modülde liflerin elde edildiği belirtilmiştir [22, 52]. Ayrıca elle çıkartılan liflere kıyasla elde edilen liflerin çok daha beyaza yakın olduğu kaydedilmiştir [22].

Ayrıca, literatürde kompozit yapılarda kullanılacak lifleri hedef alacak şekilde geliştirilmiş dekortikatör benzeri mekanik yapılara rastlamak da mümkündür [76]. Kompozit yapılarda kullanılan ananas lifleri genellikle kısa lifler halinde kesilerek kullanılırlar. Bu makinelerde hedef lifleri küçük parçalara bölerek, mekanik kuvvetler ile lifler üzerindeki yaprak tabakasını ezmektir. Bu sayede lifler yıkanıp kurutulduktan sonra eleme işlemine tabii tutularak yeterli uzunluğa sahip kompozit yapılarda kullanıma hazır ananas yaprağı lifleri üretilebilmektedir [76].

4.3. Ananas Liflerinin Zamb Giderme İşlemi (Degumming Process of Pineapple Leaf Fibers)

Ananas yaprağı havuzlama işleminden sonra bile yapısında %30'dan fazla lignin, pektin, pentosan gibi ananas lifine sertlik kazandıran yapışkan maddeler içermektedir [22, 36]. İçerdikleri bu yapışkan madde miktarları ananas bitkisinin çeşidine ve yetiştiği bölgeye göre değişiklik gösterebilmektedir [36]. PALF (Pineapple Leaf Fibers) liflerinin yumuşak ve ince bir yapı kazanabilmesi için bu yapışkan maddelerden kurtulması gerekmektedir [22, 26]. Bu sebeple, havuzlama işleminden farklı olarak çeşitli kimyasal maddelerin yardımı ile bu maddelerin uzaklaştırılması sağlanır [36] (Tablo 1). Özellikle kaliteli ananas yaprağı liflerinden üretilmiş ipliklere ihtiyaç duyulan durumlarda kimyasal ya da enzim ile zamb giderme işlemleri gerçekleştirilmektedir [26]. Alkaliler özellikle sodyum hidroksit (NaOH) kolayca hemiselüloz ile reaksiyona girebildiğinden tercih edilen zamb giderme yöntemlerin başında gelmektedir. Zamb giderme işleminde alkali veya asit konsantrasyonu, sıcaklık ve süre oldukça önemli parametrelerdir [87]. Bu sebeple işlemler sırasında bu parametrelerin hassasiyetle belirlenmesi gerekir [26]. PALF liflerine uygulanan zamb giderme işlemi mukavemette çok hafif bir artış sağlarken, kopma uzaması da daha yüksek oranlarda bir artış sağlanmaktadır [45, 88].

Ananas yaprağı liflerinin kimyasallar ile zamb giderme işlemi sırasıyla; sülfürik asit (H₂SO₄) gibi bir asit içerisinde daldırıp bekletme, yıkama, sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile kaynatma, yıkama, ağartma, suyun uzaklaştırılması, yağlama ve kurutma şeklindedir. Zamb giderme işleminde dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de işlem sırasında tek liflerin birbirlerine bağlanmasını sağlayacak miktarda zambın bırakılmasıdır [26]. Aksi halde lifler birbirlerinden bağımsız konumda tek tek lifler halinde kalacaktır. Tek liflerin uzunluğunun kısa olmasından dolayı zambı tümüyle giderilmiş lifler eğrilememektedir [26].

Ananas yaprağı liflerine uygulanan zamb giderme işlemi sırasında kullanılan sodyum hidroksitin konsantrasyonu, süre ve sıcaklık arttıkça ananas yaprağı liflerinin yumuşaklığı artmakta ancak büyük ölçüde ağırlık ve mukavemet kaybı gözlemlenmektedir [26, 87]. Örneğin, %5 sodyum hidroksit konsantrasyonunda 12 saat süre ile işlem gören ananas liflerinin yapısındaki pektin, lignin gibi yabancı maddelerin azaldığı ve doğrusal yoğunluğunda da düşüş yaşandığı kaydedilmiştir [87]. Ananas liflerine zamb giderme işlemi uygulanan başka bir çalışmada ise, ananas lifi % 4-12 oranında değişen NaOH konsantrasyonlarında, 30-90 °C'de, 4-8 saat süre işleme tabii tutulmuştur. Yapılan değerlendirmelere göre sıcaklık ve konsantrasyon artışı ile birlikte liflerin ağırlığında bir azalma gözlemlenirken, lif demetinin mukavemetinde artış olduğu belirtilmektedir [79].

Bir saat boyunca oda sıcaklığında sodyum karbonat (Na₂CO₃) kullanılarak gerçekleştirilen zamb giderme işlemi liflerin mukavemet değerleri incelenmiştir. Bununla birlikte bir grup ananas lifi bir saat boyunca 100 °C'de kaynatılmış, diğer gruba da hem ısı işlem hem de alkali işlem uygulanmıştır [22]. Sonuçlara göre, hem kimyasal hem de ısı işlem ananas yaprağı liflerinin mukavemetinde artış sağlamıştır [22].

Ananas liflerinin zamb giderme işlemlerinde sadece alkaliler değil, silan ve asitlerin kullanımı da mümkündür [22]. Fakat asitlerin kullanıldığı zamb giderme işlemlerinde liflerin zarar görmemesi için alkali kullanılarak gerçekleştirilen işlemlere göre çok daha dikkatli çalışılması gerekmektedir. Yoğun konsantrasyon liflerin çekme dayanımlarını düşürmekte ve liflerin eğirme işlemlerinde sorun yaşanmasına neden olabilmektedir [26].

Ananas yaprağı liflerinin zamb giderme işlemi ayrıca enzimlerin kullanımı ile de gerçekleştirilebilmektedir [89]. Pektinaz kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada zamb giderme işlemi için optimum şartlar, %8 pektinaz, pH 7, sıcaklık 52 °C ve süre 4 saat olarak kaydedilmiştir [89]. Zamb giderme işlemi sonrası gerçekleştirilen ard işlemler ile (45 dakika boyunca ksilen ile görülen işlem

ardından 15 dakika süre ile H_2O_2 'e maruz bırakılır) tekstil işlemleri için gerekli özelliklere sahip kalitede liflerin üretiminin sağlanmış olduğu belirtilmektedir [89]. Sonuç olarak zambak giderme işlemi uygulanan ananas liflerinin içerisindeki selüloz harici yabancı

maddeler ciddi oranda azaltılarak, liflerin daha ince, daha esnek ve daha yumuşak hale gelmesi sağlanmaktadır [26]. Bunun sonucu olarak, liflerin işlenebilirliği artmakta ve daha kaliteli iplikler oluşturulabilmektedir.

Tablo 1. Ananas yaprağı lifinin kimyasal yapısı (Chemical structure of pineapple leaf fibers) [26]

	Lif elde etme yönteminde uygulanan işlem		
	Dekortikatör	Havuzlama	Zambak giderme
Alfa-selüloz	79,36	87,36	94,21
Hemi-selüloz	13,07	4,58	2,26
Lignin	4,25	3,62	2,75
Kül	2,29	0,57	0,37
Alkol/benzen	5,73	2,27	0,77

4.4. Ananas Liflerinden İplik Üretimi (Pineapple Fiber Yarn Spinning)

Ananas yaprağı lifleri zambak giderme işlemi uygulandıktan sonra çeşitli eğirme yöntemleri ile iplik haline getirilebilmektedir [45, 77]. Eğirme işlemi sırasında çok küçük farklılıklar ile jüt liflerine ya da pamuk liflerine uygulanan eğirme sistemlerinin kullanılabilmesinin [34, 37, 63] yanı sıra Kamgarn (yün) iplik eğirme sistemleri ile de ananas yaprağı lifleri iplik haline getirilebilmektedir [26, 77] (Tablo 2).

Pamuk eğirme sistemlerinde eğrilecek ananas yaprağı liflerinin 30-50 mm uzunluğunda kesilmesi gerekmektedir. Bu şekilde pamuk lifleri ya da diğer doğal/sentetik lifler (poliester, ipek) ile birlikte karışım olarak kullanıma uygun hale gelmektedir [26, 45, 90, 91]. Kamgarn iplik üretim yönteminde ise lifler zambak giderme ve bazı kimyasal uygulamalara maruz bırakıldıktan sonra eğirme işlemi gerçekleştirilebilmektedir [26]. Bu sistemde kullanılan

makinalar için liflerin uygun uzunluğu ise 50-70 mm aralığındadır [26]. Tablo 2'de bazı araştırmalarda bahsi geçen %100 ananas lifli ve karışım ipliklerin bazı özelliklerine yer verilmiştir [26].

Ananas yaprağı liflerinin hızlı su emme kabiliyeti ve kaba yapısı nedeniyle, %100 ananas yaprağı ipliklerinden üretilmiş kumaşlar genellikle sert, hava ve su geçirgenliği yüksektir. Genel olarak şeffaf olan ananas yaprağı lifli kumaşların genel görünümü keten ve rami kumaşlara benzer niteliktedir [39, 90, 92]. Fakat ananas yaprağı lifli kumaşların tuşesi keten ve rami gibi lifler ile üretilen kumaşlarınkinden daha kabardır [39]. Bu sebeple bu liflerin özellikle giysilik kumaşlarda karışım olarak kullanımına sık rastlanmaktadır [90, 93]. Poliester ve ananas lifli karışım ipliklerden dokunmuş kumaşlar iyi bir tuşeye ve örtücülük özelliğine sahiptir. Ancak bu karışım aşınmaya karşı duyarlı olabilmektedir. İplik kalitesi %100 pamuğa göre düşük olsa bile kimyasal işlem görmüş ananas lifi pamuk ile karıştırılarak yaygın olarak kullanılmaktadır [77].

Tablo 2. Ananas yaprağı liflerinin kimyasal bileşenleri (Chemical compositions of pineapple leaf fibers) [93]

	% 100 Ananas	% 65 Pamuk / % 35 Ananas	%70 Poliester / % 30 Ananas	% 50 Yün / % 50 Ananas
İncelik (tex)	100	32	20	125
Mukavemet (cN/tex)	10,91	10,1	7,89	7,71
Uzama (%)	3,2	3,14	3,7	3,58

5. ANANAS YAPRAĞI LİFLERİNİN KİMYASAL YAPISI (CHEMICAL STRUCTURE OF PINEAPPLE LEAF FIBERS)

Ananas yaprağı liflerinin kimyasal yapısı bitkinin yetiştirildiği bölgenin iklim şartlarına, toprak yapısına, bitkinin yaşına göre farklılık gösterebilmektedir [45, 50, 94]. Bu sebeple Ananas yaprağı lifleri içerisinde bulunan α -selüloz, pentosanlar, lignin, yağ, vaks (balmumu), pektin, azotlu bileşikler, antioksidanlar gibi birçok kimyasal bileşiğin yüzdeleri literatürde farklılık gösterebilmektedir [16, 23, 29, 32, 42]. Tablo 3' de

ananas yaprağı liflerinin kimyasal içeriğinin oranları kaynaklar eşliğinde belirtilmiştir.

Çok hücreli lignoselülozik bir elyaf olan ananas yaprağı lifleri yapısında %5-13 oranında lignin bulundurur ve lignin miktarı bitkinin farklı bölgelerinde çeşitlilik göstermektedir [23]. Lif toplam ağırlığı içinde pentosan varlığının yaklaşık olarak %17-18 civarında olması ananas yaprağı liflerinin sert bir lif olmasına neden olmaktadır.

Tablo 3. Ananas yaprağı liflerinin kimyasal bileşenleri (Chemical compositions of pineapple leaf fibers) [93]

Selüloz içeriği (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin miktarı (%)	Pektin (%)	Nem miktarı (%)	Kül (%)	Yağ-Vaks (%)	Kaynak
80-81	16-19	12	2-2,5				[93]
80-81	16-19	4,6-12	2-3				[95]
70-82	18	5-12			0,7-1,1		[6, 43, 96]
69,5-71,5	17-17,8	4,4-4,7	1-1,2		0,71-0,87	3-3,3	[63, 96]
68,5	22,2	4			0,6	2,5	[96, 97]
80-81	16-19	4,6-12	2-3	11,8			[98, 99]

Ananas şerit gibi bir yapıda olup lignin ve pentosan gibi lifin mukavemetine katkıda bulunan maddeler birbirine yapışık haldedir [7, 23, 26, 29, 34]. Ananas lifinin kimyasal yapısının diğer doğal lifler ile karşılaştırılması Tablo 4' de verilmiştir. Ananas yaprağı liflerinin yapısında bulunan lignin miktarının rami ve keten liflerindeki çok az bir oranda daha yüksek, jüt, kenaf ve sisal liflerindeki ise daha az olduğu

gözlemlenmektedir [26]. PALF liflerinin, içerdiği selüloz miktarı açısından hindistan cevizi lifleri ile kıyaslandığında daha yüksek selüloz oranına sahip olduğu belirtilmektedir [32]. PALF liflerinin içerdiği selüloz miktarının fazlalığı, bitkinin meyvesinin ağırlığının daha fazla olmasını sağlarken, liflerin kimyasal performansını doğrudan etkilemektedir [32].

Tablo 4. Ananas yaprağı liflerinin kimyasal bileşenlerinin diğer selülozik lifler ile karşılaştırılması (Chemical composition comparison of pineapple leaf fibers with other natural fibers) [12, 28, 97, 100, 101]

	Selüloz içeriği (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin miktarı (%)	Pektin (%)	Vaks (%)
Ananas	70-82	16-22,2	5-13	1-3	2,5-3,3
Pamuk	92,89	2,67	0,54	0,58	0,85
Bambu	26-43	30	21-31		
Keten	71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,5-1,7
Kenevir	68-74,4	15-22,4	3,7-10	0,9	0,8
Rami	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0,7	1,9	0,3
Sisal	60-78	10-14,2	8-12	10	2
Jüt	61-71,5	13,6-20,4	12-13	0,2	0,5
Kenaf	72	20,3-21,5	9-19	3-5	-
Abaka	56-63	20-25	7-9	1	3
Hindistan cevizi	32-43	0,15-0,25	40-45	3-4	-
Hurma Yaprığı	46	28	20	-	-

6. ANANAS YAPRAĞI LİFLERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ (PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF PINEAPPLE LEAF FIBERS)

Yüksek kristalin derecesine sahip (%44-60) ananas yaprağı lifleri birçok doğal life nazaran oldukça iyi mekanik özelliklere, yüksek mukavemete ve sertliğe sahiptir [6, 8, 16, 18, 19, 27, 32, 65, 66]. PALF liflerinin çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde, liflerin kimyasal yapısındaki farklılıklara bağlı olarak kopma mukavemeti 143-1627 MPa, başlangıç modülü 4,2-82,51 GPa, kopma uzaması %0,88-4 aralığında değişim göstermektedir [9, 32, 40, 50, 67, 75] (Tablo 5). Ananas yaprağı liflerinin mukavemet uzama eğrisi ve bazı doğal lifler ile karşılaştırılması Şekil 6' da verilmiştir. Lif çapı ile mukavemet özellikleri arasında ilişkiyi araştıran bir çalışmada, lif çapı 45 mikrondan 205 mikrona çıktığında, kopma mukavemetinin 362 MPa'dan

748 MPa'ya, başlangıç modülünün 25 GPa'dan 36 GPa'ya ve kopma uzamasının %2'den %2,8'e yükseldiği kaydedilmiştir [45, 94]. Ayrıca ananas yaprağı liflerinin tokluğunun 970 MN/m² olduğu belirtilmektedir [12].

Beyazımsı renge sahip, yumuşak ve ipek gibi parlak lifler olan PALF lifleri, kopma mukavemeti yüksek liflerdir [12, 17, 21, 41, 66, 107]. PALF liflerinin yaş ve kuru mukavemetleri karşılaştırıldığında sıra dışı bazı sonuçlar göze çarpmaktadır [27, 108]. PALF lif demetinin yaş halde mukavemetinin %50 oranda azaldığı gözlemlenirken lifler iplik haline getirildiğinde PALF ipliklerinin yaş mukavemeti kuru haline göre %13 artmaktadır [27, 32, 50, 108].

Tablo 5. Ananas yaprağı liflerinin özellikleri (Properties of pineapple leaf fibers)

Yoğunluk (g/cm ³)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Başlangıç Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Lif çapı (µm)	Kaynak
1,44	413-1627	34,5-82,51	1,6-3	20-80	[27, 32, 65, 102-104]
1,52	170	6,2	3	5-30	[32]
1,526	143	4,2	3-4	50	[20]
1,56	170	62	-	-	[9, 105]
1,44	180	82	3,2	-	[46]
-	362-748	25-36	2-2,8	-	[46]
1,44	-	-	0,88	-	[106]
1,52-1,56	413-1627	34,5-82,51	1,6	20-80	[99]

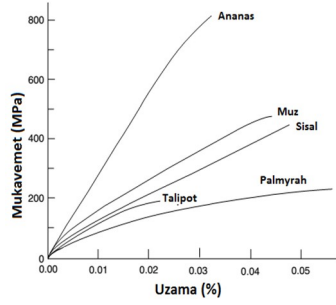
Ayrıca PALF liflerinin elde edilmesi sırasında kullanılan kimyasal maddeler de liflerin özelliklerini etkileyebilmektedir. Asit ya da alkali ile muamele görmüş ananas yaprağı liflerinin amorf bölgelerinin, her hangi bir kimyasal ile işlem görmemiş ananas yaprağı liflerinin sahip olduğu amorf bölgeye oranla daha az olduğu belirtilmektedir.

İncelik bakımından gayet iyi bir kaliteye sahip olan ananas yaprağı lifleri, jüt liflerinden çok daha ince bir yapıda olsa da pamuk liflerinin neredeyse 10 katı daha kaba bir karaktere sahiptir [23, 29, 34, 47, 59, 108]. Ananas yaprağı liflerinin jüt liflerinden 2,5 katı oranda daha uzayabilir olduğu ve daha yumuşak olduğu

kaydedilmektedir [26]. Aynı zamanda ananas lifleri jüt liflerine kıyasla daha mukavemetlidir [26] (Tablo 6). Eğilme ve burulma rijitliği pamuk liflerine nazaran daha yüksek olan ananas yaprağı lifleri pamuk liflerine göre daha sert liflerdir. Bu nedenle ananas yaprağı lifleri eğilme ve bükülmeye karşı büyük direnç gösterir. Bükülme işlemi kesilir kesilmez çözülme eğiliminde olmalarından dolayı, iplikler için istenilen sıklığı bükümü oluşturmada güçlük çekilir [79]. Kopma mukavemeti abaka liflerinden %25 oranında daha fazla olan PALF lifleri [41], iplik üretimi sırasında mekanik etkilere jüt liflerinden daha dayanıklıdır [18, 32, 108]. Rijitlik, bükülebilirlik, burulma rijitliği gibi özellikleri jüt liflerinininki gibi yüksektir [27, 32, 50].

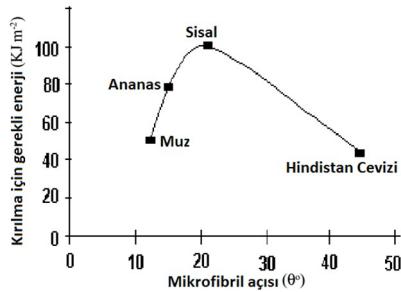
Tablo 6. Ananas lifleri ile diğer liflerin özelliklerinin karşılaştırılması (Properties comparison of pineapple leaf fiber with other natural fibers) [26, 32, 93, 99, 109]

Lif Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Başlangıç Modülü (GPa)	Kopma anındaki Uzama (%)	Nem Çekme
Ananas	1,07-1,52	170-1627	6,21-82,5	1,6	11,8
Pamuk	1,5-1,6	287-597	5,5-12,6	3-10	8-25
Bambu	0,8	221-1000	22,8-89	1,3	-
Keten	1,4-1,5	345-1500	27,6-80	1,2-3,2	7-10
Kenevir	1,48	550-900	70	1,6	8-10
Rami	1,5	220-938	44-128	2,0-3,8	12-17
Sisal	1,33-1,5	400-700	9-38	2-14	11
Jüt	1,3-1,46	393-800	10-30	1,5-1,8	12
Cam lifi (E-glass)	2,5	2000-3500	70	2,5-3,0	-
Aramid	1,4	3000-3150	63-67	3,3-3,7	-
Karbon	1,4-1,75	4000	230-240	1,4-1,8	-
PBI (polibenzimidazol)	1,3-1,43	-	-	28-30	13-15
PBO (polibenzobisoksazol)	1,54-1,56	5600-5800	180-280	1-3,5	0,6-3



Şekil 5. Ananas lifleri ve yakın özelliklerde bazı doğal liflerin mukavemet uzama eğrileri (talipot: hurma yaprağı lifleri, palmyrah: palmiye gövde lifleri) (Stress and strain curves of pineapple fiber and some other natural fibers with closer performance properties) [27]

Doğal lifler içerdikleri selüloz miktarı arttıkça ve mikrofibriller arasındaki açı azaldıkça daha yüksek mukavemet sergilemektedir [32]. Liflerin mikrofibril açısı arttıkça liflerin sertliği azalmaktadır. Mikrofibril açısı nispeten düşük (14°) olan ananas yaprağı liflerinin sert bir lif olduğu, ananas liflerinin mikrofibril açısı ve yüksek selüloz oranı sayesinde üstün mekanik özelliklere sahip olduğu kaydedilmiştir [6, 7, 12, 20, 27, 45]. Bazı kaynaklarda mikrofibril açısı $5-15^\circ$ arasında değişir olarak belirtilmektedir [26, 46]. Ananas yaprak liflerinin yüksek mukavemet, yüksek sertlik ve düşük maliyete sahip olmasının yanı sıra mükemmel mekanik özellikler göstermesi tekstil sektöründe özellikle kompozit malzeme üretimi için dikkatleri ananas lifine çekmiştir [6, 27, 30, 33, 110, 111]. Çeşitli doğal lifler ile hazırlanmış kompozit bir yapının içerisinde bulunan doğal lifin mikrofibriller açısı ile kırılma için gerekli enerji miktarı (kırılma işi) arasındaki ilişki Şekil 7' de gösterilmektedir. Sisal lifli kompozit yapının kırılması için gerekli enerji miktarının (kırılma işi) diğer lifli kompozit yapılara kıyasla en yüksek olduğu, ananas lifli kompozit yapının kırılması için gerekli enerji miktarının (kırılma işi) da sisal lifli kompozit yapının hemen ardından geldiği gözlemlenmektedir [12].



Şekil 6. Doğal lifler ile hazırlanan kompozit yapıların kırılması için gerekli enerji miktarı (kırılma işi) ile liflerin mikrofibriller açısı arasındaki ilişki (Relationship between microfibril angle and work of fracture of natural fiber composite structures) [12]

Birçok doğal life nazaran çok daha yumuşak bir yüzeye sahip bu liflerin nem çekme özellikleri iyidir, bu sayede

yüksek verimde boyamalar gerçekleştirilebilmektedir [63, 107]. İçerdiği yüksek selüloz miktarı sayesinde suyu seven bir yapıya sahiptir [27, 28, 63, 107]. İçi boş, multiselüloz bir yapıda olan ananas yaprağı lifleri ayrıca oldukça yüksek yalıtkan özellikler sergilemektedir [63].

7. ANANAS YAPRAĞI LİFLERİNİN KULLANIM ALANLARI (END-USES OF PINEAPPLE LEAF FIBERS)

Ananas yaprağı liflerinin ayırt edici özellikleri göz önüne alındığında, hem tekstil endüstrisinde hem de kompozit malzemelerin kullanıldığı birçok endüstride kullanılmaya uygun bir hammadde haline gelmektedir [14, 17, 18, 27, 32, 43, 63, 66, 95]. Ananas yaprağı lifleri tarih boyu farklı coğrafyalarda çok çeşitli amaçlar için kullanılmıştır. Ayakkabıdan, şapkaya, çantadan takıya, gömleğe, pantolona, etek gibi günlük giysilerden gelinliğe çeşitli şekillerde kullanımına rastlamak mümkündür [26, 28, 34, 75]. Ayrıca perde, masa örtüsü, yatak örtüsü, paspas, halı, döşemelik kumaş, havlu gibi ev dekorasyonunda kullanılan ürünlerde de kullanılabilirler [27, 28, 34, 50, 75, 78, 112]. Ananas yaprağı lifleri Filipinler için özel bir yere sahiptir. Filipinlerde 'piña' adı verilen bu liflerden üretilen giysiler ülkenin ulusal giysisini simgelemektedir [26, 38, 51, 55, 59, 91, 112-116] (Şekil 8). Barong Tagalog adı verilen bu giysiler hem kadın hem de erkekler tarafından genellikle özel günlerde giyilmektedir [51, 117]. Ayrıca son yıllarda ananas lifleri Fransa ve İspanya gibi modanın öncüsü sayılan ülkelerde birçok tasarımcı tarafından kullanılan lüks bir malzeme haline gelmiştir. Özellikle gece elbiseleri, gelinlikler ve buna benzer lüks ürünlerin üretiminde el dokuması ananas lifli kumaşlar tercih edilmektedir [59]. Kâğıt ürünlerin üretimi için de uygun nitelikte olan ananas yaprağı lifleri yüksek mukavemeti sayesinde halat ve iplerin yapımında da kullanılabilirler [22, 23, 26, 40, 43, 63, 75, 78, 118].

Ananas yaprağı lifleri sahip olduğu fiziksel ve mekanik özellikleri ile teknik tekstillerin bazı alanlarında da kullanılan bir malzemedir [6, 37, 50]. Kemer kordonlarında, konveyör bantlarında, iletken giysilerde, hava yastığı bağlama şeritlerinde ve ayakkabı bağcıklarında kullanım bulan [50] ananas yaprağı lifleri, ses emici ve ısı yalıtım malzemesi olarak da tercih edilebilmekte [15, 32, 76] bunların yanı sıra medikal teknik tekstillerde kullanılan kompozit yapılarda da kullanılabilirler [71, 126]. Ayrıca dokusuz yüzey, ya da iri dokuma gibi çeşitli formlarda jeotekstil ya da tarım tekstili malzemesi olarak kullanımına rastlamak mümkündür. Erozyonu ve tarımda toprak kaybını önlemek amacıyla kullanılan bu ananas lifli yapılar, toprağın bir arada tutulmasını sağlayarak yapının delikli kısımlarında da bitkinin büyümesine izin vermektedir.



Şekil 7. Ananas yaprağı lifleri ve karışımları kullanılarak üretilen; (a) kumaşlar [119], (b) gelinlik [116], (c) gece elbisesi [120], (d) çanta [121], (e) denim [122], (f) gömlek [123], (g) elbise [115], (h) bluz [92], (i) yelpaze [124], (j) pantolon [125]. [(a) fabrics, (b) wedding dress, (c) night dress, (d) bag, (e) Jeans, (f) shirt, (g) dress, (h) blouse, (i) hand fan, (j) trousers produced from pineapple leaf fibers and its blends]

Ananas liflerinin doğal bir lif olması da uzun vadede toprağın zarar görmesini engellemektedir [79].

Ananas yaprağı lifleri son yıllarda yenilikçi düşünceye ilham kaynağı olmaktadır. Bunlardan biri de ananas yaprağı lifleri kullanılarak elde edilen 'Pinatex' adı verilen deri benzeri doğal malzemelerdir [68, 127]. Dokusuz yüzey haline getirilen ananas yaprağı liflerinin bazı mekanik ve kimyasal işlemlere tabii tutulması sonucu deri malzemeler yerine kullanılabilir hem doğa dostu hem de sürdürülebilir doğal bir malzeme üretilmektedir [68, 77, 127]. Ayakkabı, çanta hatta mobilyalar dâhil deri ürünlerin yaygın olarak kullanıldığı sektörler bu malzemenin kullanım alanlarının başında gelmektedir [77]. Ayrıca bu malzeme boyama ve baskı ile kolaylıkla renklendirilebilmektedir [127]. Şimdiden büyük markaların ilgi odağı haline gelmiş bu ticari ürün,

deri ürünlere ve petrol kökenli malzemelere bir alternatif olabilecek potansiyele sahiptir [68, 127] (Şekil 9).

Sadece dokusuz yüzey olarak değil dokuma formunda ve yün, pamuk, polyester gibi lifler ile karışım halinde oluşturulan ananas lifli yüzeyler de deri ürünler yerine alternatif oluşturabilecek performans özelliklerine sahiptir [77]. Bu konuda yapılan bir araştırmada, inek derisi ile ananas lifli dokuma yüzeylerin mekanik özellikleri, haslık değerleri karşılaştırılmıştır. Ananas lifli yüzeylerin (tamamı ananas lifli, ananas-pamuk karışımı, ananas-polyester-yün karışımı) deri yüzeylere kıyasla daha iyi haslık değerlerine (sürtme, ışık, ter) sahip olduğu, sadece ananas-yün-polyester karışımı yüzeylerin deri malzemeye göre daha yüksek kopma uzaması sergilediği kaydedilmiştir [77].



Şekil 8. Ananas yaprağı liflerinden üretilmiş 'Pinatex' isimli deri benzeri ticari malzeme ile üretilen ürünler [68, 127] (Commercial products such as 'Pinatex' produced from leather-like material which is derived from pineapple leaf fibers)

8. ANANAS YAPRAĞI LİFLERİNİN KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANIMI (USAGE OF PINEAPPLE LEAF FIBERS IN COMPOSITE MATERIALS)

Ananas yaprağı lifleri (PALF) tekstil yapılarında kullanımlarının yanı sıra kompozit yapılar için de önemli bir malzemedir [45]. Ananas yaprağı lifleri, kompozit yapılar içerisinde termosetler, termoplastikler, biyobozunur plastikler ve doğal kauçuk [7, 33, 40, 128] gibi çeşitli matris malzemeleri ile birlikte kullanımına sık rastladığımız cam lifleri gibi yüksek mukavemet özelliklerine sahip sentetik lifler yerine alternatif oluşturabilecek potansiyele sahiptir [10, 33]. Özellikle son yıllarda oldukça mühim hale gelen biyo-kompozit (yeşil kompozit) malzemeler için, doğal lifler büyük önem taşımaktadır ve ananas lifleri uygun niteliklere sahip doğal lifler arasında öne çıkan lif türlerinden biridir [6, 8, 15, 23, 40, 69, 111, 129]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ananas bitkisinin meyvesi üzerinde bulunan taç yapraklarından da lif üretilebileceği [13, 130] ve üretilen bu kısa liflerin biyo-kompozit üretiminde güçlendirici olarak kullanılabilmesi gözlemlenmiştir [13].

Yüksek mukavemet, iyi mekanik özellikleri ve sentetik liflere kıyasla kısmen düşük fiyat avantajı ile kompozit malzemelerin üretiminde oldukça yüksek bir kullanım potansiyelini bünyesinde barındırmaktadır [7, 8, 13, 23, 31, 40, 111, 128]. Literatürde polyester [9, 23, 33, 45], polipropilen [7, 8, 23, 30, 33, 45], polietilen [9, 30, 33, 45, 131, 132], fenolformaldehit, polikarbonat [45, 133] ve benzeri gibi birçok matris çeşidi ile birlikte kullanımına rastlamak mümkündür. Ananas liflerinin mukavemeti her ne kadar karbon, grafit ya da aramid gibi yüksek performans lifleri ile kıyaslandığında düşük kalsa da, kullanım amacına uygun olarak yeterli mukavemeti sağlayabilmektedirler [30, 31, 40, 134]. Aynı zamanda biyobozunur kompozitlerin üretilmesi sağlanmış olmaktadır [8, 15, 70]. Daha yüksek mukavemetlerin istenildiği durumlarda çeşitli yüksek mukavemetli lifler ile birlikte kullanılarak hem fiyat hem de performans özellikleri açısından optimum şartlar yakalanabilmektedir [6].

PALF dokusuz yüzey malzeme ile güçlendirilen polyesterin mukavemet, esneklik ve darbe özelliklerinde kayda değer bir gelişme yaşandığı kaydedilmiştir [128]. Ananas liflerinin güçlendirici olarak kullanıldığı polietilen kompozit ile yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş, kompozitin mukavemet ve esneklik özelliklerinin geliştirildiği gözlemlenmiştir [128].

9. ANANAS YAPRAĞI LİFLERİNE UYGULANAN TERBİYE İŞLEMLERİ (TEXTILE FINISHING TREATMENTS APPLIED ON PINEAPPLE LEAF FIBERS)

Doğal bir lif olan ananas yaprağı lifleri kullanım yerlerine uygun olarak birçok terbiye işlemine maruz kalabilmektedir. Hem tekstil materyallerindeki kullanımında hem de kompozit yapılar içerisindeki varlığında başta ön terbiye ve yüzey modifikasyon işlemleri olmak üzere, boya- baskı gibi renklendirme işlemleri ya da bitim işlemleri uygulanabilmektedir. Ananas yaprağı liflerine en sık uygulanan işlemlerin başında kimyasal işlemler gelmektedir [78, 110] ve kimyasal işlem olarak da en yaygın kullanılan yöntem alkali ile muamele işlemidir [9, 57, 78, 110, 135]. Genellikle sodyum hidroksit (NaOH) [14, 33, 57, 66, 110, 128, 131, 133, 136-138], sodyum karbonat (Na_2CO_3) [52, 138] gibi alkaliler kullanılmaktadır. Bunun yanında genellikle kompozit yapılarda kullanılacak ananas yaprağı liflerine, dinitrofenilasyon [110], benzoilasyon [110], benzoilasyon-asetilasyon [110], asetilasyon [105] gibi kimyasal modifikasyon işlemlerinin uygulanabildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca peroksit [131], benzoil peroksit (BPO) [66], silan [70, 131, 133, 136], çitosan [57], asetik asit [97], oksalik asit [97], sukkinik asit [97], tartarik asit [97], sitrik asit [97] gibi maddeler ya da enzimler [96, 139, 140] de ananas liflerinin kimyasallar ile modifikasyonu sırasında kullanıma sahiptir.

Kimyasal işlemlerin yanında, aşı polimerizasyonu [29, 78, 105], buhar ile muamele [57], gibi işlemler de ananas liflerine uygulanan işlemler arasındadır. Bu işlemlerin birçoğu ananas yaprağı liflerinin mekanik özelliklerini daha iyileştirmek [133] ve kompozit yapılar içerisinde yüzeyler arası bağlanma kabiliyetini [10, 111, 131] geliştirmek amacıyla gerçekleştirilmektedir.

Ananas yaprağı liflerinin sahip olduğu yüksek selüloz oranı sayesinde boyanabilme kabiliyeti oldukça iyidir. Özellikle asit ve alkali ile muamele edilmiş ananas lifinin boyayı emme gücü çok yüksektir [97]. Selülozik esaslı liflerin boyanmasında en fazla tercih edilen reaktif boyarmadde ile ananas yaprak lifinin boyanması durumunda çıkan sonuçlar diğer bir selülozik elyaf olan pamuk ile yakın derecelere sahiptir [137]. Ananas lifinden yapılmış kumaşların baskı ve boya işlemleri selülozik bir lif olmasından dolayı kolaydır. Literatürde ananas yaprağı liflerinin reaktif boyarmaddeler [137, 138], doğal boyalar [141], bazik boyarmaddeler [97], asit boyarmaddeler [142], direkt boyarmaddeler [142] ile boyanabildiği ve iyi haslık değerlerinin elde edildiği kaydedilmiştir [44, 137].

10. SONUÇ (CONCLUSION)

Ananas yaprağı lifleri genellikle meyve üretimi amacıyla yetiştirilen ananas bitkisinin hasat sonrası tarımsal atık olarak ortaya çıkan yapraklarından elde edilmektedir. Ananas yaprağı lifleri, hem çevre dostu, biyobozunur, antibakteriyel karakteri hem de sahip olduğu üstün mukavemet özellikleri ile günümüzde birçok endüstri alanında kullanım potansiyeli yüksek bir lif türüdür. Tarihi oldukça eski yüzyıllara dayanan bu lifler, asırlık boyu çeşitli tekstil ürünlerinden, balıkçılık malzemelerine, halatlara birçok alanda kullanım bulmuştur. Günümüzde de halen tekstil endüstrisinin önemli hammadde kaynaklarından biridir. Her ne kadar genellikle yaygın olarak üretildiği tropikal ya da yarı-tropikal iklime sahip ülkelerde daha bilinen ve kullanılan bir materyal olsa da, sahip olduğu üstün özellikleri sayesinde ekolojik kompozit yapıların üretiminde de tercih edilen bir lif türüdür. Özellikle dünyanın birçok ülkesinde öncelikli olarak sürdürülebilir üretimin hedeflendiği şu günlerde, ananas yaprağı bitkileri hem tarımsal atıkların değerlendirilmesi hem de yenilenebilir, geri dönüştürülebilir doğal kaynakların kullanılması açısından ideal bir seçenek olarak kabul edilmektedir. Bu liflerin bilinirliğinin artması ve bu tarz tarımsal atıklardan elde edilen doğal liflerinin kullanımının yaygınlaştırılması başta tekstil olmak üzere birçok endüstrisinin geleceği için büyük önem taşımaktadır. Bu derleme çalışmasında ananas yaprağı liflerinin yapısı, üretim yöntemleri, özellikleri, kullanım alanları ve bu liflere uygulanan terbiye işlemleri gibi konulara yer verilmiş, tarımsal atık liflerinden biri olan ananas yaprağı liflerine dikkat çekmek hedeflenmiştir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Sürdürülebilirlik. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilirlik> [13 Ekim 2015]
- [2] H. Y. Odabaşoğlu, O. O. Avinç ve A. Yavaş, "Susuz Boyama," *Tekstil ve Mühendis*, cilt 20, no. 10, pp. 62-79, 2013.
- [3] M. Eyvaz, M. Bayramoğlu ve M. Kobya, "Tekstil Endüstrisi Atıksularının Elektrokoagülasyon ile Arıtılması: Teknik ve Ekonomik Değerlendirme", *İTÜ Dergisi/e*, cilt 16, no. 1-3, pp. 55-65, 2010.
- [4] A. Büyükdere, "Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojileri ile Arıtılması ve Geri Kazanılması," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [5] F. O. Kocacı ve U. Alkan, "Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 7, no. 1, pp. 47-55, 2002.
- [6] L. U. Devi, S. Bhagawan ve S. Thomas, "Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber-Reinforced Polyester Composites", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 64, no. 9, pp. 1739-48, 1997.
- [7] M. Biswal, S. Mohanty ve S. K. Nayak, "Influence of Organically Modified Nanoclay on the Performance of Pineapple Leaf Fiber-Reinforced Polypropylene Nanocomposites", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 114, no. 6, pp. 4091-4103, 2009.
- [8] S. K. Chattopadhyay, R. Khandal, R. Uppaluri, and A. K. Ghoshal, "Influence of Varying Fiber Lengths on Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Ma-G-Pp Compatibilized and Chemically Modified Short Pineapple Leaf Fiber Reinforced Polypropylene Composites", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 113, no. 6, pp. 3750-3756, 2009.
- [9] D. N. Saheb ve J. Jog, "Natural Fiber Polymer Composites: A Review", *Advances in Polymer Technology*, cilt 18, no. 4, pp. 351-363, 1999.
- [10] A. Mohamed, S. Sapuan ve A. Khalina, "Selected Properties of Hand-Laid and Compression Molded Vinyl Ester and Pineapple Leaf Fiber (Palf)-Reinforced Vinyl Ester Composites", *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, cilt 5, no. 1, pp. 68-73, 2010.
- [11] A. Mohamed, S. Sapuan, M. Shahjahan ve A. Khalina, "Effects of Simple Abrasive Combing and Pretreatments on the Properties of Pineapple Leaf Fibers (Palf) and Palf-Vinyl Ester Composite Adhesion", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, cilt 49, no. 10, pp. 972-978, 2010.
- [12] K. Joseph, R. D. Tolêdo Filho, B. James, S. Thomas ve L. Carvalho, "A Review on Sisal Fiber Reinforced Polymer Composites", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, cilt 3, no. 3, pp. 367-379, 1999.
- [13] B. L. S. Sipiao, R. L. M. Paiva, S. A. S. Goulart ve D. R. Mulinari, "Effect of Chemical Modification on Mechanical Behaviour of Polypropylene Reinforced Pineapple Crown Fibers Composites", *Procedia Engineering*, cilt 10, pp. 2028-2033, 2011.
- [14] S. Nilofer ve C. B. SBVJ, "Compression Properties of Palf Fiber Polymer Composite", *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research (IJETER)*, cilt 3, no. 6, pp. 492-494, 2015.
- [15] S. Luo ve A. Netravali, "Mechanical and Thermal Properties of Environmental-Friendly "Green" Composites Made from Pineapple Leaf Fibers and Poly (Hydroxybutyrate-Co-Valerate) Resin", *Polymer Composites*, cilt 20, no. 3, pp. 367, 1999.

- [16] W. W. Nadirah, M. Jawaid, A. A. Al Masri, H. A. Khalil, S. Suhaily ve A. Mohamed, "Cell Wall Morphology, Chemical and Thermal Analysis of Cultivated Pineapple Leaf Fibres for Industrial Applications", *Journal of Polymers and the Environment*, cilt 20, no. 2, pp. 404-411, 2012.
- [17] U. Hujuri, S. K. Chattopadhyay, R. Uppaluri ve A. K. Ghoshal, "Effect of Maleic Anhydride Grafted Polypropylene on the Mechanical and Morphological Properties of Chemically Modified Short-Pineapple-Leaf-Fiber-Reinforced Polypropylene Composites", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 107, no. 3, pp. 1507-1516, 2008.
- [18] L. U. Devi, K. Joseph, K. C. M. Nair ve S. Thomas, "Ageing Studies of Pineapple Leaf Fiber-Reinforced Polyester Composites", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 94, no. 2, pp. 503-510, 2004.
- [19] L. U. Devi, S. Bhagawan ve S. Thomas, "Dynamic Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber Polyester Composites," *Polymer composites*, cilt 32, no. 11, pp. 1741-1750, 2011.
- [20] L. U. Devi, S. Bhagawan ve S. Thomas, "Dynamic Mechanical Analysis of Pineapple Leaf/Glass Hybrid Fiber Reinforced Polyester Composites", *Polymer composites*, cilt 31, no. 6, pp. 956-965, 2010.
- [21] S. Banik, D. Nag ve S. Debnath, "Utilization of Pineapple Leaf Agro-Waste for Extraction of Fibre and the Residual Biomass for Vermicomposting", *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, cilt. 36, no. 2 , pp. 172, 2011.
- [22] Y. Yusof, S. A. Yahya ve A. Adam, "Novel Technology for Sustainable Pineapple Leaf Fibers Productions", *Procedia CIRP*, cilt 26, pp. 756-760, 2015.
- [23] E. Bozacı, T. Öktem ve N. Seventekin, "Ananas Yaprak Lifi", *Tekstil & Konfeksiyon*, cilt 3, pp. 167-170, 2007.
- [24] U. Wisittanawat, S. Thanawan ve T. Amornsakchai, "Mechanical Properties of Highly Aligned Short Pineapple Leaf Fiber Reinforced-Nitrile Rubber Composite: Effect of Fiber Content and Bonding Agent", *Polymer Testing*, cilt 35, pp. 20-27, 2014.
- [25] Y. Indrayani, D. Setyawati, T. Yoshimura ve K. Umemura, "Termite Resistance of Medium Density Fibreboard Produced from Renewable Biomass of Agricultural Fibre", *Procedia Environmental Sciences*, cilt 20, pp. 767-771, 2014.
- [26] R. R. Franck, *Bast ve Other Plant Fibres*, cilt 39: Crc Press, 2005.
- [27] A. K. Mohanty, M. Misra ve L. T. Drzal, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: CRC Press*, 2005.
- [28] T. Rowe, *Interior Textiles: Design and Developments*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009.
- [29] A. Mohanty, P. Tripathy, M. Misra, S. Parija ve S. Sahoo, "Chemical Modification of Pineapple Leaf Fiber: Graft Copolymerization of Acrylonitrile onto Defatted Pineapple Leaf Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 77, no. 14, pp. 3035-3043, 2000.
- [30] R. Chollakup, R. Tantatherdtam, S. Ujjin ve K. Sriroth, "Pineapple Leaf Fiber Reinforced Thermoplastic Composites: Effects of Fiber Length and Fiber Content on Their Characteristics", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 119, no. 4, pp. 1952-1960, 2011.
- [31] R. Arib, S. Sapuan, M. Ahmad, M. Paridah ve H. K. Zaman, "Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fibre Reinforced Polypropylene Composites", *Materials & Design*, cilt 27, no. 5, pp. 391-396, 2006.
- [32] M. Asim, K. Abdan, M. Jawaid, M. Nasir, Z. Dashtizadeh, M. Ishak ve E. Hoque, "A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites," *International Journal of Polymer Science*, 2015.
- [33] Y. Payae ve N. Lopattananon, "Adhesion of Pineapple-Leaf Fiber to Epoxy Matrix: The Role of Surface Treatments", *Sonklanakarın Journal of Science and Technology*, cilt 31, no. 2, pp. 189, 2009.
- [34] A. Mohanty, S. Parija ve M. Misra, "Ce (Iv)-N-Acetylglycine Initiated Graft Copolymerization of Acrylonitrile onto Chemically Modified Pineapple Leaf Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 60, no. 7, pp. 931-937, 1996.
- [35] "Other Natural Fibres" [Çevrimiçi]. Available: http://texmin.nic.in/policy/Fibre_Policy_Sub_%20Groups_Report_dir_mg_d_20100608_6.pdf [: 10 Eylül 2015]
- [36] M. J. M. Sunil Pardeshi ve Vijay Goud. (Eylül). "Extraction of Pineapple Leaf Fiber and its Spinning : A Review" [Çevrimiçi]. Available: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/45/4417/extraction-of-pineapple-leaf1.asp> [: 3 Eylül 2015]
- [37] S. Dey ve K. Satapathy, "A Combined Technology Package for Extraction of Pineapple Leaf Fibre-an Agrowaste, Utilization of Biomass and for Application in Textiles", *National Institute of Research on Jute and Allied Fibre Technology Indian Council of Agricultural Research, Kolkata*, 2013.

- [38] L. Oijala, "Fiber Watch: It's Ripe Time to Pull out the Pineapple Leaves" [Çevrimiçi] Available: <http://ecosalon.com/fiber-watch-its-ripe-time-to-pull-out-the-pineapple-leaves/> [: 04 Kasım 2015]
- [39] J. Bai ve S. Cui, "Pretreatment of Pineapple Leaf Fiber with Bu-Gong Tea Saponin", International Conference on Manufacturing and Engineering Technology (ICMET 2014), Sanya, China, pp. 33, 2014.
- [40] S. Özdemir ve O. Tekoğlu, "Ekolojik Tekstil Ürünlerinde Kullanılan Hammaddeler," Akdeniz Sanat Dergisi, cilt 4, no. 8, pp. 27-30, 2014.
- [41] G. Yazıcıoğlu, "Pamuk Ve Diğer Bitkisel Lifler", İzmir: Tekstil Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi, Basım Ünitesi, 1999.
- [42] M. A. Rahman, "Study on Modified Pineapple Leaf Fiber", Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, cilt 7, no. 2, 2011.
- [43] N. Reddy ve Y. Yang, "Biofibers from Agricultural Byproducts for Industrial Applications," Trends in Biotechnology, cilt 23, no. 1, pp. 22-27, 2005.
- [44] D. P. Bartholomew, R. E. Paull ve K. G. Rohrbach, The Pineapple: Botany, Production and Uses: CABI, 2002.
- [45] A. Mohamed, S. Sapuan, M. Shahjahan ve A. Khalina, "Characterization of Pineapple Leaf Fibers from Selected Malaysian Cultivars", Journal of Food, Agriculture & Environment, cilt 7, no. 1, pp. 235-240, 2009.
- [46] K. Satyanarayana, J. Guimarães ve F. Wypych, "Studies on Lignocellulosic Fibers of Brazil. Part I: Source", Production, Morphology, Properties and Applications, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, cilt 38, no. 7, pp. 1694-1709, 2007.
- [47] S. Bansal ve P. Sodhi, "Pineapple Leaf Fibers: Eco Souvenir", Research Journal of Humanities and Social Sciences, cilt 5, no. 2, pp. 141-147, 2014.
- [48] A. Datta, B. Samantaray ve S. Bhattacharjee, "Mechanical and Dielectric Properties of Pineapple Fibres", Journal of materials science letters, cilt 3, no. 8, pp. 667-670, 1984.
- [49] L. Mwaikambo, "Review of the History, Properties and Application of Plant Fibres", African Journal of Science and Technology, cilt 7, no. 2, pp. 121, 2006.
- [50] S. Kalia, B. Kaith ve I. Kaur, Cellulose Fibers: Bio-and Nano-Polymer Composites: Green Chemistry and Technology. London: Springer Science & Business Media, 2011.
- [51] M.-L. E. Florian, D. P. Kronkright ve R. E. Norton, The Conservation of Artifacts Made from Plant Materials: Getty Publications, 1991.
- [52] Y. Yusof, S. A. Yahya ve A. Adam, "A New Approach for Palf Productions and Spinning System: The Role of Surface Treatments", Journal of Advanced Agricultural Technologies, cilt 1, no. 2, pp. 161-164, 2014.
- [53] "The Pineapple" [Çevrimiçi]. Available: https://www.daf.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/66247/Ch1-The-Pineapple.pdf [24 Ekim 2015]
- [54] N. Reddy ve Y. Yang, Innovative Biofibers from Renewable Resources: Springer, 2014.
- [55] L. M. de Carvalho, F. M. Fernandes ve S. Zabel, "The Collection of Pineapple Fibers-Ananas Comosus (Bromeliaceae)-at the Harvard University Herbaria", Harvard Papers in Botany, cilt 14, no. 2, pp. 105-109, 2009.
- [56] R. Heinicke ve W. Gortner, "Stem Bromelain—a New Protease Preparation from Pineapple Plants", Economic Botany, cilt 11, no. 3, pp. 225-34, 1957.
- [57] S. S. Munawar, K. Umemura, F. Tanaka ve S. Kawai, "Effects of Alkali, Mild Steam, and Chitosan Treatments on the Properties of Pineapple, Ramie, and Sansevieria Fiber Bundles", Journal of wood science, cilt 54, no. 1, pp. 28-35, 2008.
- [58] D. Cathcart, "The Importance of Maintaining Bromeliad Imports", Florida entomologist, pp. 16-21, 1995.
- [59] M. A. Gardetti ve S. S. Muthu, "Handbook of Sustainable Luxury Textiles and Fashion", cilt 1, ed: Springer, 2015.
- [60] "Does a Pineapple Grow from a Pineapple Tree?" [Çevrimiçi] Available: <http://www.todayprimetimes.com/2015/01/does-pineapple-grow-from-pineapple-tree.html> [: 12 Kasım 2015]
- [61] "Benefits of Pineapple", [Çevrimiçi]. Available: <http://www.donkoy.com/benefits-of-pineapple/> [: 12 Kasım 2015]
- [62] S. Ghosh, M. Sinha, S. Dey ve S. Bhaduri, "Processing of Pineapple Leaf Fibre in Cotton Machinery", Text Trends, cilt 14, 1982.
- [63] I. Doraiswamy ve P. Chellamani, "Pineapple Leaf Fabrics", Textile Progress, cilt 24, pp. 1-37, 1993.
- [64] K. Satyanarayana, K. Sukumaran, P. Mukherjee, C. Pavithran ve S. Pillai, "Natural Fibre-Polymer Composites", Cement and Concrete Composites, cilt 12, no. 2, pp. 117-136, 1990.
- [65] M. S. Smole, S. Hribernik, K. S. Kleinschek ve T. Kreže, "Plant Fibres for Textile and Technical Applications," Advances in Agrophysical Research, cilt 10, pp. 369-398, 2013.
- [66] N. Lopattananon, K. Panawarangkul, K. Sahakaro ve B. Ellis, "Performance of Pineapple Leaf Fiber–Natural Rubber Composites: The Effect of Fiber Surface Treatments," Journal of Applied

- Polymer Science, cilt 102, no. 2, pp. 1974-1984, 2006.
- [67] N. Chand, R. Tiwary ve P. Rohatgi, "Bibliography Resource Structure Properties of Natural Cellulosic Fibres-an Annotated Bibliography," *Journal of Materials Science*, cilt 23, no. 2, pp. 381-387, 1988.
- [68] "From Pineapple to Puma", [Çevrimiçi]. Available: <http://www.crane.tv/pinatex> [: 12 Kasım 2015]
- [69] W. Liu, M. Misra, P. Askeland, L. T. Drzal ve A. K. Mohanty, "'Green' composites from Soy Based Plastic and Pineapple Leaf Fiber: Fabrication and Properties Evaluation", *Polymer*, cilt 46, no. 8, pp. 2710-2721, 2005.
- [70] M. S. Huda, L. T. Drzal, A. K. Mohanty ve M. Misra, "Effect of Chemical Modifications of the Pineapple Leaf Fiber Surfaces on the Interfacial and Mechanical Properties of Laminated Biocomposites", *Composite Interfaces*, cilt 15, no. 2-3, pp. 169-191, 2008.
- [71] B. M. Cherian, A. L. Leão, S. F. de Souza, L. M. M. Costa, G. M. de Olyveira, M. Kottaisamy, E. R. Nagarajan ve S. Thomas, "Cellulose Nanocomposites with Nanofibres Isolated from Pineapple Leaf Fibers for Medical Applications", *Carbohydrate Polymers*, cilt 86, no. 4, pp. 1790-1798, 2011.
- [72] S. Hariharan ve P. Nambisan, "Optimization of Lignin Peroxidase, Manganese Peroxidase, and Lac Production from *Ganoderma Lucidum* under Solid State Fermentation of Pineapple Leaf", *BioResources*, cilt 8, no. 1, pp. 250-271, 2012.
- [73] P. Das, D. Nag, S. Debnath ve L. Nayak, "Machinery for Extraction and Traditional Spinning of Plant Fibres", *Indian Journal of Traditional Knowledge*, cilt 9, no. 2, pp. 386-393, 2010.
- [74] M. Mert, "Lif Bitkileri". Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 2009.
- [75] R. Sinclair, "Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology". Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014.
- [76] N. Kengkhetkit ve T. Amornsakchai, "Utilisation of Pineapple Leaf Waste for Plastic Reinforcement: 1. A Novel Extraction Method for Short Pineapple Leaf Fiber", *Industrial Crops and Products*, cilt 40, pp. 55-61, 2012.
- [77] P. Sureshkumar, P. Thanikaivelan, K. Phebe, K. Krishnaraj, R. Jagadeeswaran ve B. Chandrasekaran, "Investigations on Structural, Mechanical, and Thermal Properties of Pineapple Leaf Fiber-Based Fabrics and Cow Softy Leathers: An Approach Toward Making Amalgamated Leather Products", *Journal of Natural Fibers*, cilt 9, no. 1, pp. 37-50, 2012.
- [78] R. Kannojiya, K. Gaurav, R. Ranjan, N. Tiyyer ve K. Pandey, "Extraction of Pineapple Fibres for Making Commercial Products," *Journal of Environmental Research and Development*, cilt 7, no. 4, pp. 1385-1390, 2013.
- [79] I. Doraiswamy ve P. Chellamani, "Pineapple-Leaf Fibres", Manchester: The Textile Institute, 1993.
- [80] N. Debasis ve D. Sanjoy, "A Pineapple Leaf Fibre Decorticator Assembly", *India Patents*, cilt 2334.
- [81] "Pineapple Fiber Extraction", [Çevrimiçi]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pineapple-fiber-extraction.jpg> [: 11 Kasım 2015]
- [82] "Mutagacha" [Çevrimiçi]. Available: http://maebird.blogspot.com.tr/2009_11_01_archive.html [: 10 Kasım 2015]
- [83] "Decorticator" [Çevrimiçi]. Available: <http://www.premagnetos.com/services> [: 10 Kasım 2015]
- [84] "Decorticating Pina" [Çevrimiçi]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=UFGMa-33cMg> [: 10 Kasım 2015]
- [85] A. Hulle, P. Kadole ve P. Katkar, "Agave Americana Leaf Fibers", *Fibers*, cilt 3, no. 1, pp. 64-75, 2015.
- [86] "Piña: Weaving Aklan's Queen of Fibers", [Çevrimiçi]. Available: <http://langyaw.com/2012/02/23/pina-weaving-aklans-queen-of-fibers/> [: 10 Kasım 2015]
- [87] M.-f. Li, W.-W. Lian, Y.-g. Deng ve T. Huang, "Discussion on Technological Parameters of Pineapple Leaf Fiber Degumming", *Shanghai Textile Science & Technology*, cilt 4, pp. 008, 2009.
- [88] M. Bora, C. Talukdar ve M. Talukdar, "Tensile Properties of Plant Fibres Readily Available in North-Eastern Region of India", *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, cilt 24, pp. 172-176, 1999.
- [89] E.-P. Liu, A.-P. Guo, Y.-l. Guo, H. Kong, Y.-S. Wang, X.-Y. Zhang ve L.K. He, "Study on Enzymatic Degumming of Pineapple Leaf Fiber", *Journal of Textile Research*, cilt 27, no. 12, pp. 41, 2006.
- [90] A. Briggs-Goode ve K. Townsend, "Textile Design: Principles, Advances and Applications". Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [91] "Piña", [Çevrimiçi]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pi%C3%B1a> [: 09 Kasım 2015]
- [92] "Is for Piña Cloth, One of the Most Beautiful Fabrics of Manila" [Çevrimiçi]. Available: <http://morrighansmuse.com/2014/04/18/p-is-for-pina-cloth-one-of-the-most-beautiful-fabrics-of-manila/> [: 09 Kasım 2015]

- [93] M. Lewin, "Handbook of Fiber Chemistry". New York: CRC Press, 2010.
- [94] P. Mukherjee ve K. Satyanarayana, "Structure and Properties of Some Vegetable Fibres," *Journal of Materials Science*, cilt 21, no. 1, pp. 51-56, 1986.
- [95] S. Kalia ve L. Avérous, "Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications", cilt 70: John Wiley & Sons, 2011.
- [96] W. Sricharussin, P. Ree-iam, W. Phanomchoeng ve S. Poolperm, "Effect of Enzymatic Treatment on the Dyeing of Pineapple Leaf Fibres with Natural Dyes", *Science Asia*, cilt 35, no. 1, pp. 31-36, 2009.
- [97] P. Ghosh ve R. Gangopadhyay, "Photofunctionalization of Cellulose and Lignocellulose Fibres Using Photoactive Organic Acids", *European Polymer Journal*, cilt 36, no. 3, pp. 625-634, 2000.
- [98] S. Konak, "Bamya Bitkisinden Suda Çürütme Yöntem ile Lif Elde Edilmesi ve Elde Edilen Lifin Çeşitli Fiziksel Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Ölçümü", Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2014.
- [99] Y. Bulut ve Ü. H. Erdoğan, "Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı", *Tekstil ve Mühendis*, cilt 18, no. 83, pp. 26-35, 2011.
- [100] R. Kozłowski, "Handbook of Natural Fibres: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation". Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012.
- [101] M. Ahmed, S. Chattopadhyay, A. Chaphekar, R. Gaikwad ve S. Dey, "Characteristics of Degummed Ramie Fibre and Its Cotton Blended Yarns", *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, cilt 29, no. 3, pp. 362-365, 2004.
- [102] S. Fakirov ve D. Bhattacharyya, "Handbook of Engineering Biopolymers: Homopolymers, Blends, and Composites", Hanser Gardner USA, 2007.
- [103] S. Kalia, B. Kaith ve I. Kaur, "Pretreatments of Natural Fibers and Their Application as Reinforcing Material in Polymer Composites—a Review", *Polymer Engineering & Science*, cilt 49, no. 7, pp. 1253-1272, 2009.
- [104] S. Mishra, A. K. Mohanty, L. T. Drzal, M. Misra ve G. Hinrichsen, "A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and Their Biocomposites", *Macromolecular Materials and Engineering*, cilt 289, no. 11, pp. 955-974, 2004.
- [105] R. Samal ve B. Bhuyan, "Chemical Modification of Lignocellulosic Fibers I. Functionality Changes and Graftcopolymerization of Acrylonitrile onto Pineapple Leaf Fibers; Their Characterization and Behavior", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 52, no. 12, pp. 1675-1685, 1994.
- [106] A. Kaymakçı, N. Ayrılmış ve T. Akbulut, "Dış Cephe Kaplamalarına Ekolojik Bir Yaklaşım: Ahşap Polimer Kompozitler", in 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu İstanbul, 2014, pp. 3-4.
- [107] C. Py, J. J. Lacoëuilhe ve C. Teisson, "The Pineapple Cultivation and Use's: G.-P. Maisonneuve et Larose, 1987.
- [108] M. K. Sinha, "A Review of Processing Technology for the Utilisation of Agro-Waste Fibres", *Agricultural Wastes*, cilt 4, no. 6, pp. 461-475, 1982.
- [109] R. S. Blackburn, "Biodegradable and Sustainable Fibres". Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005.
- [110] R. Samal ve M. C. Ray, "Effect of Chemical Modifications on FTIR Spectra. II. Physicochemical Behavior of Pineapple Leaf Fiber (PALF)", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 64, no. 11, pp. 2119-2125, 1997.
- [111] J. George, S. Bhagawan, N. Prabhakaran ve S. Thomas, "Short Pineapple-Leaf-Fiber-Reinforced Low-Density Polyethylene Composites", *Journal of Applied Polymer Science*, cilt 57, no. 7, pp. 843-854, 1995.
- [112] K. J. Nielson, "Interior Textiles: Fabrics, Application, and Historic Style": John Wiley & Sons, 2007.
- [113] V. Steele, "Encyclopedia of Clothing and Fashion", cilt 1, Detroit: Charles Scribners Sons, 2005.
- [114] V. Steele, "Encyclopedia of Clothing and Fashion" cilt 2, Detroit: Charles Scribners Sons, 2005.
- [115] A. Azoff. "Do You Like Piña Coladas? How About Pineapple Silk?" [Çevrimiçi] Available: <http://www.heartsleevesblog.com/pineapple-silk-fashion/> [: 09 Kasım 2015]
- [116] "Treasure in Threads: Piña Fiber Processing" [Çevrimiçi]. Available: <http://e-extension.gov.ph/elearning/course/view.php?id=76> [: 08 Kasım 2015]
- [117] "Barong Tagalog" [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Barong_Tagalog [08 Kasım 2015]
- [118] M. A. Hermans, R. D. Sauer, S. U. Hossain ve J. D. Litvay, "Tissue Products Made from Low-Coarseness Fibers", USH1672 H, 1997.
- [119] "Pineapple Fiber Fabric" [Çevrimiçi]. Available: http://www.dbathis.com/p44/PINEAPPLE+FIBER+FABRIC/product_info.html [: 08 Kasım 2015]
- [120] N. Talmon, "Emmy Rossum Wears an Adorable Yellow Dress Made Partly of Pineapple" [Çevrimiçi]. Available: http://www.starpulse.com/news/Noelle_Talmon/

