



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Oleofilik Buoyans Özellikli Kapok Lifleri ve Yenilikçi Yaklaşımlar

Kemal Bilal TURKOGLU ^a, Ece KALAYCI ^a, Ozan AVINC ^{a,*}, Arzu YAVAS ^a

^a Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oavinc@pau.edu.tr

ÖZET

Kapok lifi, “ceiba pentandra” olarak da bilinen kapok ağacının meyvesi içerisinde bulunan bir tür tohum lifidir. İçi boş tüp yapısı, hidrofobik/oleofilik karakteri, düşük yoğunluğu ve su üzerinde batmadan yüzebilme kabiliyeti ile bilinen selülozik liflerden farklı bir profil sergileyen kapok lifleri ayrıca kolay ulaşılabilir, yenilenebilir, biyobozunur ve tekrar tekrar kullanılabilir olması ile son yıllarda ilgi gören bir araştırma materyali haline gelmiştir. Kapok lifleri üzerine yapılan araştırmalar, su kaynaklarımıza bulaşan çeşitli yağ türevli atıkların uzaklaştırılmasından, ses ve ısı yalıtımı malzemelerine, biyoyakıttan elektrokimyasal depolama malzemelerine kadar geniş bir alanda kullanım potansiyeline sahip olduğunu hatta bu kullanım yelpazesinin daha da genişleyebileceğini kanıtlar niteliktedir. Sürdürülebilirlik hedefleri altında yenilenebilir alternatif yeşil kaynakların daha fazla dikkat çekmeye başladığı şu günlerde, kapok lifleri oldukça önemli bir ham madde kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Bu derleme çalışmasında; kapok liflerinin yapısı, özellikleri, uygulama alanları gibi başlıklar detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kapok lifi, Su itici, Yağ emici, Ceiba pentandra, Su üzerinde yüzebilen lif, İçi boşluklu lif

Oleophilic Buoyant Kapok Fibers and New Approaches

ABSTRACT

Kapok fiber which is found in kapok fruit is a kind of seed fiber. Kapok tree is also known as “ceiba pentandra”. Kapok fiber exhibits different profile with its hollow fiber structure, hydrophobic-oleophilic character, low density and buoyancy properties from other cellulosic fibers. It has become an interesting research material thanks to its divergent properties and also its easily accessible, biodegradable, recyclable and reusable nature. Investigations on kapok fibers have demonstrated that a wide range of potential uses of biofuels, electrochemical storage materials, sound and heat insulation materials, removal of various oil-derived wastes from water sources, and even the use of this stated range can be extended. Renewable alternative green sources recently are drawing more attention under sustainability goals. In this respect, kapok fibers shine out as very important source of raw material for many different applications. In this review, fiber structure, fiber properties, application areas of kapok fibers were examined comprehensively

Keywords: Kapok fiber, Hydrophobic, Oleophilic, Ceiba pentandra, Buoyant fiber, Hollow fiber

I. GİRİŞ

Kapok lifleri, kapok ağacının kapsül şeklindeki meyvesinin içinde bulunan bir tür tohum lifidir [1,2]. Botanik olarak malvaceae ailesine ait *Ceiba pentandra* olarak bilinen kapok ağacı, bir diğer adıyla “Java kapoğu”, genellikle Asya, Afrika ve Güney Amerika’da yetiştirilmektedir [3-8]. 10. yüzyıldan itibaren bir tarım ürünü olarak üretimi yapılan kapok elyafının ihracatçıları arasında Endonezya, Tayland ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkeler yer alırken; Japonya, Çin ve Hong Kong kapok elyafını ithal eden ülkelerin başında gelmektedir [9-11].

Birçok sentetik lifte dahi bulunmayan sıra dışı özelliklere sahip kapok lifleri günümüzde tekstil lifi olarak pek bilinen bir lif türü değildir. Tohum lifi denildiğinde ilk akla gelen doğal lif pamuk olduğundan ve her ikisi de bir tohum lifi olduğundan, kapok lifleri gerek lif yapısı gerekse lif özellikleri bakımından çoğunlukla pamuk lifleri ile kıyaslanırlar [1,12]. Fakat kapok lifleri pamuk liflerinin aksine, ince ve kolay kırılan bir yapısı ile dokumaya ve eğilmeye pek uygun değildir [12,13]. Çoğunlukla, çeşitli lifler ile karışım halinde kullanılarak tekstil yüzeyi haline getirilirler [7,14-18]. İçi boş lif yapısı, sudan hafif özgül ağırlığı, suyu sevmeyen fakat bir o kadar yağ emici karakteri ile öne çıkan kapok lifleri bilinen doğal lif türlerinden oldukça farklı bir profil sergilemektedir [5,19,20]. Kapok lifleri pamuk lifleri gibi tek hücreli liflerdir [6,10,17,21-24].

Kapok lifleri hafif ve antialerjik yapısı ile yorgan, yastık, oyuncak gibi malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanılmaya oldukça uygun bir tekstil malzemesidir [8,13,17,25]. Ayrıca, suda batmayan özelliği sayesinde can yeleği gibi su üzerinde yüzebilmesi istenen ürünlerin üretiminde uzun yıllar kullanılmıştır [15,17,26]. Sentetik tekstil malzemelerinin yaygınlaşması ile birlikte, kapok liflerinin kullanım alanlarında daha çok sentetik lifler tercih edilir hale gelmiştir [15, 25, 26]. Sentetik liflerin daha ucuz maliyette olması, doğal ürünlerin aksine sentetik ürünlerin bakım kolaylığı, deterjanlara ve yıkamaya dayanıklılığı; dolgu elyafı olarak sentetik liflerin tercih edilmesinde etkin rol oynamıştır [27]. Ancak, son yıllarda sürdürülebilirlik kavramının endüstriyel hayata girmesi ve bu bilincin tüketiciye aktarılması ile birlikte, tüm endüstri alanlarında olduğu gibi tekstil endüstrisinde de sürdürülebilir bir geleceğe katkı sağlama arayışı başlamıştır. Sürdürülebilir bir tekstil üretimi için dikkat edilmesi gereken birçok parametre bulunsun da, hammadde olarak petrol türevli sentetik malzemeler yerine çevre-dostu, yenilenebilir ve biyobozunur doğal maddelerin kullanımı sürdürülebilirliği destekleyen yöntemler arasında gelmektedir. Bu noktada, kapok lifleri özellikle teknik tekstiller gibi fonksiyonel özelliklerde tekstil malzemelerinin üretiminde oldukça önemli bir hammadde kaynağı olma potansiyeline sahiptir. Liflerin suda batmayan, ses ve ısı yalıtımı sağlayan yapısı [6,19,28-31] ve hidrofobik özelliğinin aksine yüksek oranda yağ çekme özelliğine sahip olması kapok liflerini birçok sentetik lif türünden üstün kılmaktadır [3,13,32,33]. Bu nedenle, bu derleme çalışmasında kapok liflerinin yapısı ve karakteristik özellikleri ile birlikte bu liflerin tekstil endüstrisindeki yeri ve tekstil endüstrisi için önemine yer verilmiştir.

II. KAPOK AĞACI

Botanik ismi *Ceiba pentandra* olan kapok ağaçları; Malvaceae ailesine (önceden Bombacaceae ailesine) ait olan, genellikle görkemli olarak adlandırılan tropik ağaçlardır (Şekil 1) [34]. Kapok ağaçları tropik ormandaki en yüksek ağaçlardan olup boyları 70 metreyi bulmaktadır [35-37]. Kapok ağaçlarının düz, silindirik, pürüzsüz ve gri renkli gövdelerinin çapları 3 metreye ulaşabilmektedir. Genç gövde ve dallar, kalın ve konik biçimli dikenlerle donatılmıştır ve genellikle fotosentetik pigmentler yüzünden yeşildir.

Çiçekleri ise genellikle beyaz, pembemsi beyaz veya kırmızı renklindedir ve deriyi andıran dokuları vardır [36].

Kapok meyveleri, 20 cm kadar uzun olabilen büyük elipsoit biçimli kapsüllerdir ve açıldıklarında içlerinde birçok ufak kahverengi-siyah tohumun gömülü olduğu çok sayıda yumuşak kapok liflerini ortaya çıkaran 5 ağaçsı çenek içerir (Şekil 1) [36]. Kapok lifleri tohumlara bağlı değildir ve liflerin yüzeyi su iticiliğine yardımcı olan mumsu bir maddeyle kaplıdır [17]. Kapok lifleri arasındaki tohumlar, pamuk bitkisinde olduğu gibi yağ üretiminde kullanılabilmektedirler [30, 36].

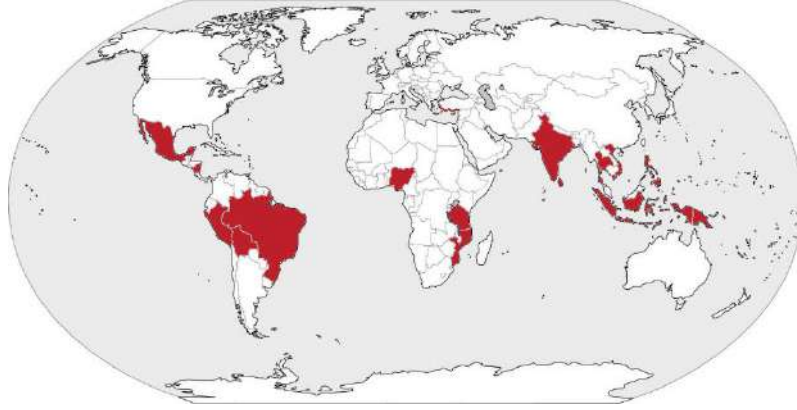


Şekil 1. Kapok ağacı, kapok meyvesi ve kapok lifleri

Kapok ağaçları subtropikal ve tropikal iklim şartlarının var olduğu bölgelerde yetişmektedir [36,38,39]. Amerika’da Meksika, Peru, Bolivya ve Brezilya; Asya’da ise Hindistan, Tayland, Endonezya, Filipinler, Vietnam ve Sri Lanka gibi iklimin uygun olduğu ülkelerde yaygın olarak bulunmaktadır (Şekil 2) [2,6,13,35,36,38]. Kapok lifleri Asya’da çoğunlukla lif elde etmek için yetiştirilir [13, 36,38].

Kapok ağaçlarının çiçeklenmesi yetiştirildiği bölgenin iklim şartları ile doğrudan ilişkilidir. Yağışın ve nemin fazla olduğu ortamlarda seyrek çiçeklenen (5 yılda bir) kapok ağaçlarının orman kenarlarında veya kuru bölgelerde daha sık çiçeklendiği gözlemlenmektedir [6,7]. Ülkemizde de güney-batı Ege ve Akdeniz bölgeleri kapok ağacı bitkisinin yetiştirilebilmesi için uygun iklim koşullarını sağlamaktadır (Şekil 2).

Kapok ağaçları çok ışık alan yerlerde hızlı büyür ve dolayısıyla yakınlarda bir tohum kaynağı varsa, başka bitkilerden temizlenmiş alanları kolonize ederek “öncü” gibi davranır. Birçok ağaç kuru koşullara adapte olmuştur ve gövdelerindeki kortikal hücrelerde su depolayabilir. Kapok liflerinin hasatı kapsüllerin teker teker toplanması şeklinde gerçekleştirilir. Ağacın çiçeklenmesi 1 ay kadar bir süre aldığından liflerin olgunlaşması da aynı anda olmamaktadır [6,7]. Bu nedenle, kapok liflerinin hasadı da eylül ayından kasım ayına kadar geçen sürede zamana yayılmış olarak gerçekleştirilir. Lif kalitesi için elyafın yeterli olgunluğa erişmeden hasat edilmemesi büyük bir önem taşıdığından, kapok elyafının hasadı da pamuk elyafında olduğu gibi 2-3 seferde yapılmaktadır [6,7]. Kapok lifleri öncelikle elle ya da makinalarla çekirdeklerden ayrılmaktadır [2,40]. Kapok liflerinin tohum çekirdeklerinden ayrılmasında kullanılan makinalar pamuk elyafında kullanılabenzer nitelikte olan çırcır makineleridir [7]. Çırcır işlemi sonrası kapok elyafı pamuk elyafında olduğu gibi balyalanarak depolanmaktadır [6,41]. Balyalama işleminin ortalama bir basınçta (5 kg/cm²) gerçekleştirilmesi liflerin elastikiyetleri başta olmak üzere çeşitli lif özelliklerinin bozulmadan korunabilmesi için büyük önem taşımaktadır [6,7].



Şekil 2. Kapok ağacının yetiştirildiği ülkeler [35,36]

III. KAPOK LİFLERİNİN TARİHİ

Kapok ağacı Orta Amerika'nın antik Mayaları için büyük bir öneme sahiptir [7,36]. Mayalar kapok ağacının dünyanın merkezinde bulunduğu ve yeryüzünü yukarıdaki ruhlar dünyasına bağladığına inanmıştır [7,36]. Kapok ağacının yayılan dallarından aşağıya sarkan uzun ve kalın asmaları, yükselen ruhlar için cennete doğru bir bağlantı olarak kabul etmişlerdir. Bugün bile, ormanlık alanlardaki birçok ağaç kesilirken; kapok ağaçlarının bir zamanlar burada bulunan büyük ormanların bir kalıntısı olarak korunduğunu görmek olağandır [7,38].

Kapok ağaçlarının uzun bir ticari tarihi vardır. 1940'larda, tohumları çevreleyen yumuşak kapok lifleri; cankurtaran giysileri, koltuk minderleri, oyuncaklar, yatak ve yastıkları doldurmak için ticari gaye ile hasat edilmiştir [3,6,30,36,42]. O dönemde yün ya da odun talaşı gibi maddelerin dolgu maddesi olarak yaygın kullanıldığı düşünüldüğünde, kapok lifleri ile doldurulmuş malzemelerin özellikle oyuncaklar için çok daha hijyenik olduğu kaydedilmiştir [8]. Pamuktan hafif olması, suda batmaması ve su emmeye karşı dirençli olması sebebiyle cankurtaran giysileri için mükemmel bir dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır [4,8]. 1900'lü yılların ortalarına kadar neredeyse içi doldurulmuş her cankurtaran giysisi

ve otomobil koltuğu kapok lifleri ile doldurulmuştur. Kapok ağacı, Güneydoğu Afrika'daki büyük ekim alanlarında hem kapok lifi hem de odun hamuru için yetiştirilmiş fakat sentetik malzemelerin daha tercih edilir hale gelmesiyle kapok liflerine talep azalmıştır [36]. İkinci Dünya savaşı öncesinde yıllık üretimi 40 milyon kilogramı aşan kapok üretiminin azalmasının bir diğer sebebi ise sentetik liflerin yaygınlaşmasının yanı sıra savaş nedeniyle kapok ekili alanların tahrip edilmesidir [40]. Kapok meyvesinin kabukları potasyum ve kül bakımından zengin olduğundan gübre olarak kullanılabilmesinin yanı sıra kurutulmuş meyve kabukları da yakacak olarak kullanılabilmektedir [36,43].

Kapok tohumları yağ ve protein açısından zengindir [7]. Yenilebilir olan yağ ayrıca sabun yapımında kullanılabilirken, yağ çıkarma amacıyla uygulanan presleme sonrasında arta kalan tohum küspesi, besi hayvanı yemi olarak kullanılabilir [7,36]. Kapok ağacı yaprakları, kabukları ve kökleri geleneksel tıbbi tedaviler için de büyük bir öneme sahiptir. Güneydoğu Asya'da kapok ağacının yaprakları ateş, öksürük, ses kısıklığı ve zührevi hastalıklarda tedavi amaçlı kullanılırken; kapok ağacının kabukları idrar söktürücü ve kanamayı durdurucu ilaç olarak kullanılmıştır [36,44]. Ağacın kökleri Hindistan ve çevresinde kaynatılarak kronik dizanteri tedavi edilmiştir.

IV. KAPOK LİFLERİNİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

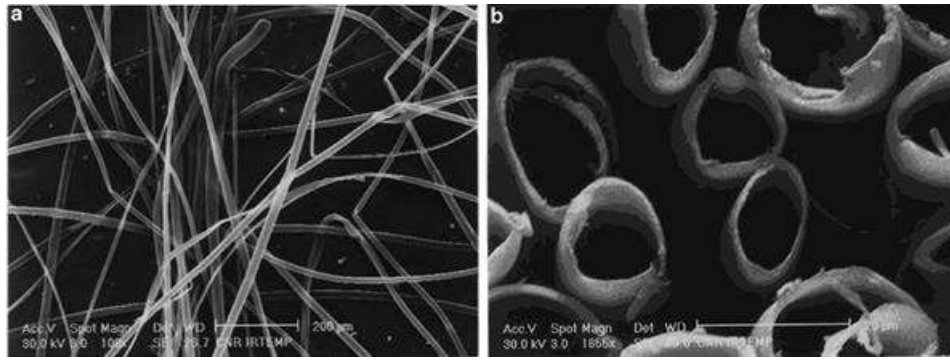
Kapok lifleri, yumuşak ve ipeksi bir dokunuşa sahip selülozik bir lif türüdür. Ancak içi boş tüp şeklindeki lif yapısı ile diğer selülozik liflerden ayrılmaktadır [45]. Liflerin bünyesinde büyük oranda lignin ile vaks bulunması nedeniyle, kapok lifleri küf ve zararlı böcekleri kendisinden uzak tutar. Sarımtırak veya açık kahverengi renkte olan kapok lifleri ipeksi parlıtya sahiptir [7,19,30,46]. Aynı zamanda kokusuz ve yumuşak olan kapok lifleri, toksik ya da alerjik değildir ve çürümeye karşı dayanıklıdır. Kapok lifleri hem görüntü olarak hem de genel karakteristik özellikler açısından ipek otu lifleri ile benzer karakterlere sahiptirler [12]. İpek otu lifleri de kapok lifleri gibi içi boş lif yapısına, düşük lif yoğunluğuna sahip, hidrofobik ve oleofilik lif özellikleri sergileyen bir tohum lifi türüdür [12].

A. KAPOK LİFLERİNİN YAPISI

Kapok lifleri, içi boş ince tüp şeklinde doğal mikro borucuklardan (yaklaşık 8-10 µm çap ve yaklaşık 0,8-1,0 µm duvar kalınlığı) oluşur [20,47]. Lifin bir noktaya doğru incelen bir ucu kapalıdır ve diğer uç da bombeli bir şekle sahiptir [20,48]. Şekil 3'de kapok lifinin boyuna ve enine kesitte çekilmiş SEM görüntüleri verilmektedir. Kapok lifinin boyuna görüntüsünde düz ve silindirik bir yüzey görülürken, enine kesit görüntüsünde geniş bir iç boşluk gözlemlenmektedir [20,49]. Kapok liflerinin yüzeyindeki mumsu yapı uzaklaştırıldığında, liflerin kendine has içi boş yapısı lifin özgül yüzey alanını artırarak life üstün bir nem aktarma özelliği kazandırmaktadır. Genelde sentetik liflere üretimi sırasında kazandırılan içi boş yapı, kapok liflerinin karakteristik bir özelliği olduğundan, bu lifleri hem doğal yapısı hem de sentetik liflere alternatif oluşturduğundan çevre-dostu bir lif türü olarak nitelendirmek mümkündür [50].

Kapok lifinin duvarı, pamuk liflerinin duvarından hem enine hem de boyuna kesitte farklıdır. Kapok lifinin enine ve boyuna kesitinde kütikül tabakası (S), ilk duvar (W1), ikincil duvar (W2), üçüncül duvar (W3) ve iç yüzey (IS) olmak üzere beş katman gözlemlenmektedir [20]. İlk duvar (W1), birbirine geçmeli fibril (lifçik) benzeri bir ağ yapısıyla karakterize edilirken, ikincil (W2) ve üçüncül (W3) duvarlardaki fibriller, lif eksenine açılı veya paralel konumda dizilmiştir [20,30,51,52]. İlk duvarın (W1) kalınlığı yaklaşık 200 nm civarında iken, ikincil (W2) ve üçüncül (W3) duvarların aynı kalınlıkta

yaklaşık 500 nm civarında olduğu kaydedilmiştir. Kütikül (S), kapok liflerinin koruyucu katmanıdır ve en yüksek sıkıştırma (paketleme) yoğunluğuna sahiptir. Ayrıca ilk (W1) ve üçüncül (W3) duvarların fibrilleri daha sıkı bir şekilde dizilmiştir ve buna uygun olarak da yapıları ikincil duvarın (W2) yapısından daha kompakttır. İç yüzeyin (IS) yapısı ise nispeten gevşektir ve fibriller iç yüzeyden (IS) kolaylıkla ayrılarak lifin iç boşluk alanında (lumen) saçılabilir. Birbirine komşu katmanlar arasında düşük sıkıştırma yoğunluğu olan geçiş katmanları bulunur ve bu geçiş katmanlarında, fibriller arasındaki etkileşimler ana katmanlarda görülen etkileşimlerden daha güçsüzdür [20]. Farklı duvarlar için ise en küçük yapısal birimlerde, fibril boyutlarında, protofibril ile fibril arasında değişen farklılıklar görülmektedir. Farklı duvarlarda en küçük fibril boyutu 3,2-5,0 nm arasında değişiklik göstermektedir [30, 51, 52]. Kapok lifinde yüksek bir syringyl/gayasil oranı (4-6) bulunmaktadır ve bu miktar normal bitki hücre duvarlarıyla karşılaştırıldığında (yaklaşık % 2-4) yüksek asetil grubu düzeyi (% 13) içerdiği söylenebilir [47]. Kapok liflerinin dairesel içi boş yapısı lifler kuruduktan sonra da değişmez. Diğer selülozik liflerde olduğu gibi dairesel enine kesitte içe çökme ya da kıvrılma meydana gelmez [53].



Şekil 3. Kapok lifinin boyuna (100x büyütme oranında)-(a) ve enine kesitte (1855x büyütme oranında)-(b) çekilmiş SEM görüntüleri [49]

Kapok liflerinin temel bileşenleri; selüloz, lignin ve ksilan olarak kabul edilmektedir [30,31,51,54,55]. Kapok liflerinin kimyasal bileşimleri üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde, literatürde farklı oranlarda bileşenlere rastlamak mümkündür. Bu değerler Tablo 1’de bir arada gösterilmektedir. Doğal selülozik liflerin yapısal ve performans özellikleri bitkinin yetiştirildiği iklim şartları, toprak türü, liflerin olgunluğu gibi parametreler ile doğrudan ilişkili olduğundan, kapok liflerinin yapısında farklı oranlarda bileşenlerin gözlemlendiği düşünülmektedir. Kapok liflerinin polimerizasyon derecesi yaklaşık 3300 olarak belirtilmiştir [11].

Tablo 1. Kapok liflerinin kimyasal içeriği

Selüloz (%)	Lignin (%)	Ksilan (%)	Hemiselüloz (%)	Pentoz (%)	Kül (%)	Pektin (%)	Vaks (%)	Kaynak
35	21,5	22	-	-	-	-	-	[3,17,30]
35-50	15-22	-	22-45	-	-	-	2-3	[12]
43	13-15	-	32	-	1	-	-	[36,44]
43,2	15,1	-	32,4	-	0,76	6,61	-	[11]
63,6	13	-	-	23	1,3	-	-	[41]
64	13	-	-	23	-	-	-	[4,17]
64	13	-	23	-	-	23	-	[11]
64	13	-	23	-	-	-	-	[56]
65-70	5-15	-	-	2-10	-	-	-	[57]

Tablo 2’ de kapok liflerinin kimyasal yapısının diğer selülozik liflerle karşılaştırılması verilmiştir. Kapok liflerinin içerdiği selüloz miktarı en yaygın kullanılan doğal lif türü olan pamuk lifleriyle kıyaslandığında, kapok liflerinin selüloz oranının pamuk liflerinden oldukça düşük olduğu gözlemlenmektedir. Buna bağlı olarak, kapok liflerinin mukavemet değeri de pamuk liflerine göre bir miktar daha düşüktür. Kapok liflerinin içerdiği hemiselüloz miktarının ise pamuk liflerinininkinden çok daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Selüloz, hemiselüloz ve lignin lignoselülozik yapıların üç temel bileşenini oluşturmaktadır. Bu yapılar arasında ısıya duyarlılığı en yüksek olan hemiselülozdur ve selüloza göre daha heterojen bir yapıya sahiptir. Lifin nem absorpsiyonu, ısıl bozunması ve biyolojik olarak parçalanması üzerinde etkili olan hemiselüloz, odunsu bitki hücreesindeki selüloz olmayan başlıca polisakarittir [58]. Ayrıca, hücre çeperinde mikrofibriller arasında hemiselülozun varlığı liflerin daha esnek bir yapı kazanmasını sağlamaktadır [59]. Lignoselülozik bir lif türü olarak da kabul edilen kapok liflerinin içerdiği lignin miktarı; kenevir, jüt gibi lignoselülozik lif türlerinin içerdikleri lignin miktarlarından çok daha yüksektir. Yapısında lignin içeren lif türleri daha serttir ve yapıdaki lignin hemiselülozun lifler arası yüzeylerde yapışma etkinliğini azaltabilmektedir [59]. Kapok lifleri her ne kadar yüksek oranda lignin içerse de lifler diğer lignoselülozik liflerin aksine yumuşak tutumludur [6,7].

Tablo 2. Kapok liflerinin kimyasal bileşiminin diğer selülozik liflerle karşılaştırılması [30,45,60-65]

Lif Türü	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Pektin (%)	Vaks (%)
Kapok	35,65	22-45	15-22	23	2-3
Pamuk	92,89	2,67	0,54	0,58	0,85
Keten	71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,5-1,7
Kenevir	68-74,4	18-22,4	3,7-10	0,9	0,8
Ananas	70-82	16-22,2	5-13	1-3	2,5-3,3
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	-

B. KAPOK LİFLERİNİN ÖZELLİKLERİ

B.1. KAPOK LİFLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Kapok lifi kahverengimsi sarı ya da beyazımsı bir renge sahiptir, nadiren saf beyaz renkte olanları da bulunmaktadır [7]. Kapok liflerinin yaklaşık lif uzunluğu 18 mm ve lif inceliği 30-36 μm verilse de literatürde çeşitli değerlere rastlamak mümkündür [6,7,41]. Bu değerler derlendiğinde, kapok liflerinin uzunluğu 8-35 mm arasında (8-12 mm [12]; 10-35 mm [2]) ve lif çapı 20–43 μm arasında değişmektedir [66]. Hücre duvarı incedir ve 1-3 μm ’ dir [9,14,17,19,31,40,67]. Kokusuz ve yumuşak olan kapok lifleri, toksik ya da alerjik değildir ve çürümeye karşı dayanıklıdır. Bunun nedeni lifin ince mumsu tabakayla kaplı olmasıdır. Pamuk liflerinin sekizde biri ağırlığında olan kapok lifleri, yapısında %70-80 oranında hava içermektedir [19,28-31]. Kapok liflerinin %74 lümen oranı göz önüne alındığında lif yoğunluğu 0.384 g/cm³ iken, kapok hücre duvarının tek başına yoğunluğu 1.474 g/cm³ tür [67].

Literatür incelendiğinde, kapok lifinin özgül ağırlığı ile ilgili farklı değerlerin verildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda kapok liflerinin hacimsel yoğunluğu 0,3 g/cm³, kristalizasyon derecesi ise %33-35,90 olarak belirtilmektedir. [12,17,31,48]. Bir başka çalışmada kapok liflerinin özgül ağırlığı 30 °C’de 0,0388 g/cm³ olarak belirtilmiş [6], diğer bir çalışmada ise kapok liflerinin özgül ağırlığının 0,30-0,388 g/cm³ arasında olduğu kaydedilmiştir [7]. Liflerin özgül ağırlıklarındaki

farklılıklarda liflerin kapok ağacının yetiştirildiği bölgenin etkisi olduğunu öne süren bir çalışmada ise, Hindistan'da yetiştirilen kapok liflerinin yoğunluğu yaklaşık 0.0554 g/cm^3 , Japonya'da yetiştirilen kapok liflerinin yoğunluğu ise yaklaşık 0.0388 g/cm^3 olarak ölçüldüğü gözlemlenmiştir [9].

Kapok lifleri hidrofobik kimliklerinin aksine liflerin geniş lümenlerinden dolayı yüksek oleofilik karakter sergilemektedirler [3,13,29,30,32]. İnce ve yumuşak yapıda olan kapok lifleri pamuk liflerine göre daha kırılğan yapıdadır [13, 26].

Kapok liflerinin nem geri kazanımı her ne kadar bazı kaynaklarda sıfır olarak kaydedilse de, bazı çalışmalarda kapok liflerinin standart şartlar altında (%65 nem ve 21°C) nem geri kazanımının %10-11 olarak ölçüldüğü belirtilmektedir [11,12].

Kapok liflerinin özgül ısısı ise yani 1 gram kapok lifinin sıcaklığının 1°C yükseltilebilmesi için verilmesi gereken ısı miktarı $0,324 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ olarak kaydedilmiştir. Bu değerin pamuk lifleri için $0,292 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ (merserize pamuk $0,295 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$) iken, sisal lifleri için $0,317$; abaka lifleri için $0,322$; kenevir lifleri için $0,323$; keten lifleri için $0,322$ ve jüt lifleri için $0,324 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ olduğu gözlemlenmektedir [11,57].

B.2. KAPOK LİFLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Kapok lifleri, diğer doğal lif türlerinde de olduğu gibi, liflerin yapısal ve performans özellikleri bitkinin yetiştirildiği iklim şartları, toprak türü, liflerin olgunluğu gibi parametreler ile doğrudan ilişkilidir. Kapok liflerinin çok yaygın üretilen bir lif türü olmamasından dolayı, genellikle üretimi yerel ve geleneksel şartlarda gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda bu lifler çoğunlukla dolgu maddesi olarak kullanıldığı için, liflerin toplanması sırasında liflerin olgunluğu çok da dikkate alınan bir parametre olarak görülmemektedir. Bu nedenle kapok liflerinin mekanik özellikleri ile ilgili literatürde farklı değerlere rastlamak mümkündür. Liflerin ortalama kopma mukavemetleri $1,44\text{-}1,71 \text{ cN}$ [20] ($93,3 \text{ MPa}$ [12,68,69]) aralığında değişirken, kopma anındaki uzama değerleri % 1,2 ile %4,23 (% 1,83-4,23 [20]; %1,2 [68,69]; 1,5-3 [12]) aralığında değişim göstermektedir [20]. Başlangıç modülü $4\text{-}11 \text{ GPa}$ [12,68,69] aralığında olan kapok liflerinin spesifik kopma mukavemeti 300 MPa [68,69], spesifik başlangıç modülü ise $12,9 \text{ GPa}$ [68,69] olarak belirtilmektedir. Kapok liflerinin doğrusal yoğunluğunun ise $0,4\text{-}3,2 \text{ dtex}$ aralığında olduğu kaydedilmiştir [12].

Farklı bölgelerden (Endonezya ve Tayland) ve farklı üreticilerden temin edilmiş kapok liflerinin çeşitli özelliklerini inceleyen bir çalışmada, incelenen tüm kapok lif türlerinin kopma mukavemetlerinin 2 cN 'ın altında olduğu ve kopma anındaki uzama değerlerinin ise %4,5'ten küçük olduğu belirtilmiştir. İki farklı üreticiden temin edilen Tayland kapoğunun lif çapı 22 ve $22,11 \mu\text{m}$ iken; Endonezya kapoğunun iki örneğinden birinin lif çapı $19,34 \mu\text{m}$ diğeri $21,9 \mu\text{m}$ olarak kaydedilmiştir. Lif uzunlukları Tayland kapoğu örnekleri için $16,8 \text{ mm}$ ve $19,8 \text{ mm}$ olarak ölçülürken; Endonezya kapoğu örnekleri $19,5 \text{ mm}$ ve $22,2 \text{ mm}$ olarak ölçülmüştür. Liflerin ortalama kopma mukavemetleri $1,44\text{-}1,71 \text{ cN}$ aralığında değişirken, kopma anındaki uzama değerleri % 1,83 ile %4,23 aralığında değişim göstermektedir [20]. Kapok liflerinin kopma mukavemetinin lif uzunluğu ve doğrusal yoğunluğu ile belirgin bir ilişki içinde olduğu kaydedilmiştir [66]. Kapok liflerinin lif uzunluğu ve lif çapı gibi özelliklerinin liflerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini inceleyen bir başka çalışmada; lif uzunluğu ile kopma uzaması arasında açık bir ilişkinin olmadığı, lif çapı arttıkça kopma uzamasının arttığı gözlemlenmiştir. Lifin doğrusal yoğunluğu ve kopma uzaması arasında parabolik eğri şeklinde bir ilişki olduğu belirtilen çalışmada, başta yoğunluk arttıkça kopma uzamasının arttığı daha sonra yoğunluk arttıkça kopma uzaması değerinin düşmeye başladığı belirtilmiştir [66].

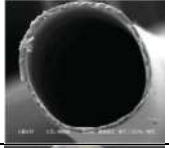


Tablo 3’ de kapok liflerinin özellikleri bakımından diğer selülozik liflerle karşılaştırılması verilmiştir. Kapok liflerinin kopma mukavemeti başta pamuk lifleri olmak üzere birçok doğal lif türünden daha düşük değerdedir [66]. Kopma anındaki uzama miktarları karşılaştırıldığında ise, kapok liflerinin kopma mukavemeti her ne kadar pamuk liflerine göre bir miktar düşük olsa da keten kenevir, jüt gibi lif türlerinden bir miktar daha yüksektir [20,66].

Tablo 3. Kapok liflerinin diğer tekstil lifleri ile karşılaştırılması [66,69]

Lif Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Başlangıç Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Nem (%)
Kapok	0,389	189-189	4-11	1,83-4,23	0-11
Pamuk	1,8-1,6	287-700	5,5-12,6	3-10	8-25
Keten	1,4-1,5	345-1500	27,6-80	1-2-3,2	7-12
Kenevir	1,48	310-800	30-70	1,3-3,3	8-12
Ananas	1,07-1,52	170-1627	6,21-82,5	0-1,6	11,8
Rami	1,5	220-938	44-128	2,0-3,8	8,5-17
Sisal	1,33-1,5	80-700	9-38	2-14	11
Jüt	1,3-1,46	200-800	10-55	1,5-3	12

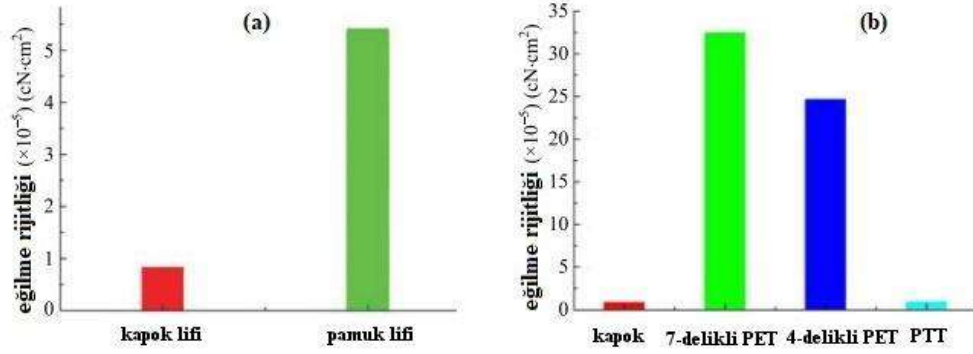
Kapok liflerinin eğilme rijitliği üzerine yapılan bir araştırmada, kapok liflerinin eğilme rijitliği kapasitesi içi boşluklu yapıda polyester lifleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4) [4]. Kawabata Değerlendirme Sistemi (KES)-FB2 (pure bending tester [70]) test cihazı ile gerçekleştirilen testler sonucunda: tek bir kapok lifinin ortalama eğilme rijitliği $0.823 \times 10^{-5} \text{ cN.cm}^2$ iken, tek bir kapok lifinin bağıl rijitliği $21.06 \times 10^{-4} \text{ cN.cm}^2.\text{tex}^{-2}$ ‘e ulaştığı kaydedilmiştir.

Tablo 2. Kapok, delikli poliester ve PTT liflerinin enine kesit görüntüleri ve bazı özellikleri [4]

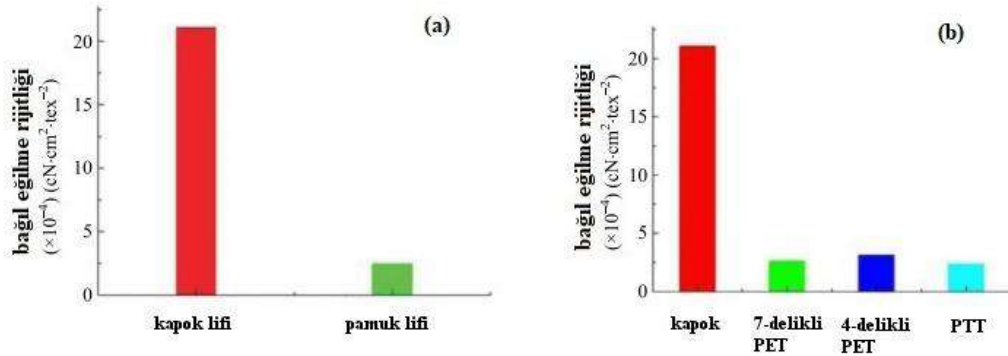
Numune	Lineer yoğunluk (dtex)	Boşluk oranı (%)	Enine kesit şekli	Enine kesit görüntüsü
Kapok lifi	0,625	80,9	Yuvarlak ya da elips içi boş	
Poliester lifi (7 delik)	11,11	44,32	Yuvarlak içi boş	
Poliester lifi (4 delik)	8,89	37,78	Yuvarlak içi boş	
PTT* lifi	1,67	0	Yuvarlak	

*Poli(trimetilen Tereftalat)

Kapok lifi pamuk ve diğer içi boş sentetik lifler ile kıyaslandığında, tek bir kapok lifinin eğilme rijitliği daha düşükken, bağıl eğilme rijitliğinin diğer liflere nazaran daha yüksek olduğu kaydedilmiştir (Şekil 4-5). Ayrıca tek bir kapok lifinin eğilme rijitliği ile lifin doğrusal yoğunluğu arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmiştir [4]. Diğer bir deyişle, tek bir kapok lifinin lif yoğunluğu arttıkça doğrusal bir ilişki oluşturacak şekilde eğilme rijitliği de artmaktadır (lif yapısındaki boşluk oranı ile de az miktarda bir korelasyon bulunmaktadır) [4]. Kapok lifleri 296 °C bozunma (decomposing) sıcaklığı ile yüksek ısı dayanımına sahiptir. Lifler 354 °C’de ayrışmayı durdurup karbonizasyon başlamaktadır [71].



Şekil 4. Kapok liflerinin eğilme rijitliğinin pamuk, polyester ve PTT lifleri ile karşılaştırılması [4]

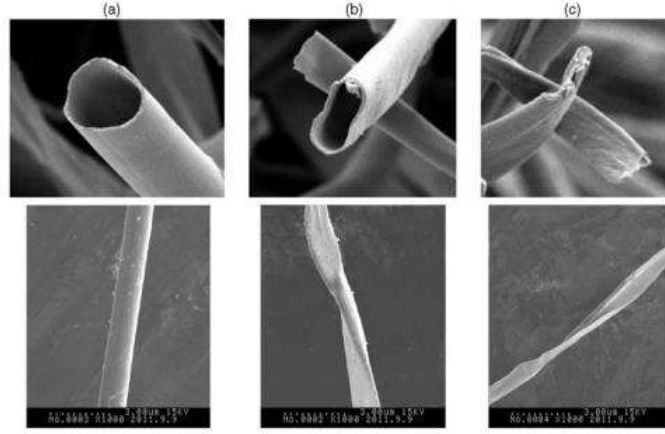


Şekil 5. Kapok liflerinin bağıl eğilme rijitliğinin pamuk, polyester ve PTT lifleri ile karşılaştırılması [4]

B.3. KAPOK LİFLERİNİN SIKIŞTIRILABİLİRLİK ÖZELLİĞİ

Kapok liflerinin sıkıştırılabilirlik özelliklerini inceleyen bir çalışmada, hafifçe kardelenmiş (düzgünleştirilmiş) kapok liflerine Kawabata Değerlendirme Sistemi (KES) sıkıştırma testi uygulanmış ve test neticesinde kapok liflerinin enine ve boyuna kesit yapısındaki değişim taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy-SEM) ile görüntülenmiştir. Kuru ya da yaş olmak üzere farklı nem seviyelerinde ve 0-100 kPa arasında değişen kuvvetler altında yapılan testler sonucunda SEM görüntüleri incelendiğinde; kapok liflerinin başlangıçta (basınç uygulanmadan önce) yuvarlak ve enine kesitte ve içi boş olduğu ancak 100 kPa basınç uygulandığında kapok liflerinin kısmen ya da tamamen ezilerek lif yapısının ince şerit hale geldiği gözlemlenmiştir [19] (Şekil 6). Yaş halde basınç uygulanan kapok lif demetlerinin %80'ininden fazlasının ezildiği kaydedilmiştir. Kawabata değerlendirme sistemi'ne (KES) göre sıkıştırma testi verileri değerlendirilerek kapok liflerinin sıkıştırma sonrası geri dönme (sıkıştırma rezilyansı ya da yaylanma özelliği), hacimlilik gibi parametreleri hesaplandığında;

kuru halde sıkıştırılmış kapok liflerinin sıkıştırma sonrası geri dönme (sıkıştırma rezilyansı ya da yaylanma özelliği) özelliğinin yaş halde basınç uygulanmış kapok liflerinininkinden daha iyi olduğu, bununla birlikte hem kuru hem yaş halde basınç uygulanmış kapok liflerinin hacimlilik seviyesinde azalma olduğu belirtilmiştir [19]. Basma kuvveti sonrası geri dönme özelliğinin iyi olduğu kaydedilmiştir [25].



Şekil 6. Yaş halde sıkıştırılan kapok liflerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri (a,b,c sırasıyla artan basınç değerlerinde) [19]

B.4. KAPOK LİFLERİNİN EĞRİLME ÖZELLİĞİ

Kapok lifleri, havayla dolu geniş iç boşlukları, pürüzsüz yüzeyleri, düşük selüloz oranları ve düşük mukavemet değerleri nedeniyle eğrilip iplik haline getirebilir tekstil malzemesi olarak görülmemiştir [22,36,55,69]. Kapok liflerinin %100 olarak eğrilmesi votka oluşturma aşamasının ötesinde mümkün olmasa da, teknolojinin gelişmesi sonucunda, haşılama veya harmanlayarak kapok liflerinin eğrilebilirliğinin ve dokunabilirliğinin geliştirilmesi mümkün hale gelmiştir [72].

Kapok liflerinin çeşitli lifler ile harmanlanarak eğrilmesi üzerine yapılan araştırmalar, kapok lif miktarının %50'den az olmamak şartı ile pamuk lifleriyle harmanlanarak eğirmeye uygun hale getirildiğini göstermektedir. 80:20 pamuk/kapok, 70:30 pamuk/kapok, 60:40 pamuk/kapok ve 50:50 pamuk/kapok gibi çeşitli oranlarda karıştırılarak gerçekleştirilen eğirme işlemlerinde harmandaki kapok miktarının artmasıyla iplik sürekliliği ve direnci azalırken, iplik uzayabilirliğinin arttığı belirtilmiştir. Ayrıca harmandaki kapok miktarı arttıkça ipliklerin toplam imalat maliyetinde anlamlı düzeyde azalmanın gözlemlendiği kaydedilmiştir [69,72].

Pamuk/kapok karışım lifli dokuma kumaşların performans özelliklerini inceleyen bir araştırmada, pamuk/kapok lifli karışım dokuma kumaşların giysi tekstilleri için gerekli temel kumaş özelliklerini karşıladığı sonucuna ulaşılmıştır. Kapok/pamuk lifli kumaşların hava geçirgenliği, aşınma dayanımı, ısı tutma kabiliyeti, buruşmazlık açısı, dökümlülük ve mukavemet gibi özelliklerinin %100 pamuklu kumaşlar ile karşılaştıran çalışmada: pamuk/kapok karışım kumaşların hava geçirgenliğinin ve ısı tutma kabiliyetinin (özellikle düz dokuma kumaşlar için) %100 pamuk lifli kumaşlarınkinden daha iyi olduğu; ancak kapok/pamuk karışım lifli dokuma kumaşların aşınma dayanımının ve buruşmazlık açısının %100 pamuk lifli kumaşlardan daha düşük olduğu kaydedilmiştir [22,73]. Kapok/pamuk lifli karışım kumaşların hava geçirgenliği ve ısı tutma kabiliyetleri dikkate alındığında, yaza uygun kumaş üretmek için saten örgü yapısında, kışa uygun kumaş üretmek için ise bezayağı örgü yapısında dokuma kumaşlar tercih edilmesinin daha uygun olduğu belirtilmiştir [22,73].

Viskon/poliester, viskon/poliester/kapok ve viskon/poliester/kapok/gümüş karışım lifli kumaşlar üzerine yapılan bir çalışmada: kapok lifleri ilave edilen karışım lifli kumaşların ısı tutma kapasitesinin, buruşmazlık açısının ve anti-ultraviyole ışımalarının geliştirildiği gözlemlenirken; hava geçirgenliği, dökümlülük, aşınma dayanımı ve ıslanabilirliği gibi özelliklerinde azalma kaydedilmiştir [22,74].

Kapok karışımli ipliklerden üretilen kumaşların konfor özelliklerini inceleyen bir çalışmada; kapok lifleri PET (polietilen teraftalat), Tencel (rejenere selüloz lifi) ve pamuk gibi yaygın kullanılan lif türleri ile farklı oranlarda (%0, %20 ve %30 kapok içerecek şekilde) karışım halinde, 20 Ne iplik numarasında open-end üretilmiş iplikler kullanılmıştır. Süprem örgü yapısında oluşturulan kumaş yapının hava geçirgenliği, sürtünme katsayısı, su buharı geçirgenliği, ısı iletkenliği/yalıtkanlığı ve nem yönetim özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, kumaşların tutum özellikleri de sübjektif olarak değerlendirilmiştir [41]. Sübjektif testler sonucunda, iplik yapısı içerisindeki kapok miktarı arttıkça örme kumaş yapıların yumuşak tutumunun arttığı, %70 Tencel-%30 kapok lifli örme kumaşın en yumuşak kumaş olarak belirlendiği belirtilmektedir. Karışım lifler içerisindeki kapok miktarlarına göre sürtünme katsayıları incelendiğinde; kapok ilavesi arttıkça pamuk/kapok karışım lifli kumaşların sürtünme katsayısı azalırken, PET/kapok ve Tencel/kapok karışım lifli kumaşların kapok miktarı arttıkça sürtünme katsayısının arttığı kaydedilmiştir. Sürtünme katsayısı kumaş yüzeyinin pürüzlülük artışı ile doğrudan ilişkili olduğundan; kapok ilavesi pamuk/kapok lifli kumaşların daha yumuşak bir yüzeye sahip olmasını sağlarken, PET/kapok ve Tencel/kapok karışım lifli kumaşların daha pürüzlü bir kumaş yüzeyine sahip olmasına neden olmuştur [41]. Lif karışımları içerisindeki kapok lif miktarı arttıkça kumaşların hava geçirgenliği azalırken; karışım içerisinde kapok liflerinin varlığının kumaşların ısı iletkenlik değerlerinde önemli bir değişime neden olmadığı, nem yönetimi ile ilgili elde edilen verilerin ise tutarlı olmadığı belirtilmiştir [41].

B.5. KAPOK LİFLERİNİN BUOYANS (SUDA BATMAMA) ÖZELLİĞİ

Kapok lifleri düşük lif yoğunlukları sayesinde mükemmel düzeyde suya batmadan su üzerinde yüzebilmeye potansiyeline sahiptirler. Yapılan araştırmalar bu liflerin kendi ağırlıklarının 30-36 katı kadar ağırlığı su üzerinde batmadan taşıyabildiğini göstermektedir [68].

Kapok liflerinin suda batmama özelliği üzerine yapılan daha önceki çalışmalarda, 5 cm yüksekliğinde kapok lif dolgu miktarının optimal yoğunluğunun $0,015 \text{ g/cm}^3$ olduğu belirtilmiştir. Yaygın kullanılan uluslararası standartlara göre, suda batmayan bir malzeme üretiminde bu 5 cm yükseklik 0,5 kPa hidrolik basınca karşılık gelmektedir. Bu yoğunluktaki kapok lif kümesi dış hidrolik basıncına karşı mükemmel bir dayanım sergilerken, 5 kPa'a kadar kapasitesini koruyabildiği belirtilmiştir [22]. Kapok lifleri bazı suda batmayan sentetik malzemeler ile kıyaslandığında, optimal yoğunlukta kapok lif öbeğinin sentetik ürünlerden 20 kat daha hafif olduğu gözlemlenmiştir. Diğer bir deyişle: kapok lif öbeği için optimal yoğunluk $0,015 \text{ g/cm}^3$ iken, bu yoğunluk can yeleği köpüğü için $0,3 \text{ g/cm}^3$, polivinilklorür (PVC), poliüretan (PU), polisitren (PS) ya da polietilen (PE) köpük için $0,37-0,42 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Elde edilen verilere göre kapok liflerinin suda batmayan malzemeler için ideal bir madde olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır [22,75]. Ancak kapok lifi dolgulu ürün kullanıldıkça ya da uzun süreli saklama koşulları altında, kapok liflerinin ürün içerisinde olası kümelenmesi (lif göçü sebebiyle) sonucu ürünün suda batmama performansında azalmanın gözlemlenebileceği belirtilmektedir [22]. Kapok lifleri düşük erime noktalı lifler ile birlikte ağ yapısı oluşturacak şekilde birlikte kullanıldığında (güçlendirildiklerinde), elde edilen yapı su üzerinde daha iyi bir yüzebilmeye performansı sergilemiştir. Ayrıca sıkıştırılma direncinin kapok/poliester (3-boyutlu kıvrımlı içi boş yapılı poliester lifi) karışımli malzemeden bile daha yüksek olduğu ve yüzme faktörünün de daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [22]. Kapok liflerinin çeşitli lifler ile birlikte kullanıldıkları ürünlerde homojen olmayan lif karışımının

iyileştirilmesinin elle doldurma işlemi yerine, mekanik karışım ve hava-kardeleme (air carding) işlemlerinin kombine kullanımı ile gerçekleştirilebileceği belirtilmektedir [22].

B.6. KAPOK LİFLERİNİN HİDROFOBİK-OLEOFİLİK KARAKTERİ

Kapok lifleri daha önce de bahsedildiği gibi hidrofobik ve oleofilik özelliklerine katkıda bulunan pektin ve mumlu maddeler içermektedir [22]. Hidrofobik ve oleofilik özellik, kapok lifin yüzeyini kaplayan ince ve hidrofobik bitkisel mum tabakasının yanı sıra lifin mikro ve nano ikili yapısına da bağlıdır [22,75]. Kapok lifiyle kaplanmış lam üzerinde yağ ve su damlacıkları damlatıldığında, damlaların farklı yayılma yarıçapı ve temas açısı gösterdikleri gözlemlenmiştir. Yağ damlası lam üzerinde hızla yayılırken, su damlasının yayılmadan damlatıldığı halini koruduğu belirtilmiştir. Yağ damlası için büyük bir yayılma yarıçapı ve küçük bir temas açısı gözlemlenirken, su damlası için nispeten büyük bir temas açısının ($>90^\circ$) ölçüldüğü kaydedilmiştir. Bu durumda, yağ kapok lifleri için “ıslatan” bir sıvı; su ise kapok lif için “ıslatmayan” bir sıvı olarak kabul edilebilmektedir [3,20,30,33]. Kapok liflerine uygulanan çeşitli yüzey modifikasyonları ve kimyasal işlemler sonucunda, liflerin daha hidrofobik ve daha oleofilik hale getirebildiği gözlemlenmiştir [76]. Örneğin, Wang ve ekibi tarafından 2017’de yapılan bir araştırmada, kapok lifli yüzey üzerinde tek adımlı hidrotermal yöntemle ZnO nanoneedle kaplanması ve ardından dodekan tiyol (DDT) ile modifikasyonu sonrasında kapok liflerinin su ile temas açısı 157° ’e ulaşırken yağ damlaları için 0° temas açısına sahip olduğu kaydedilmiştir [76]. Asidik, alkali, tuzlu ve sıcak su gibi zorlu şartlar altında dahi hidrofobik karakterini koruyabilen süperhidrofobik/süperoleofilik yapının, aynı zamanda performans özelliklerinde ciddi bir kayıp yaşamadan tekrar tekrar kullanılabilirdiği, hızlı ve yüksek yağ çekme performansına sahip olduğu belirtilmiştir [76].

Kapok liflerinin üstün hidrofobik/oleofilik özellikleri ve su yüzeyinde istikrarlı bir şekilde yüzebilme kabiliyeti sayesinde, okyanus, deniz, göl ya da akarsu gibi su yüzeyindeki yağ/petrol kirliliklerinin temizleme işlemlerinde ve atık suların temizlenmesi işlemlerinde önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir [4,13,30].

B.7. KAPOK LİFLERİNİN ISI VE SES YALITIM ÖZELLİĞİ

Geleneksel akustik malzemeler çoğunlukla lifler, köpükler, oluklu paneller, membranlar ve bunların kompozit yapılarından oluşmaktadır. Birçok doğal lif türünden farklı olarak geniş lümen ve ince hücre duvarına sahip kapok lifleri, yapısında %70-80 oranında hava içerdiğinden oldukça iyi ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır [2,6,12,19,28-31]. Bu özel yapısı sayesinde ses dalgaları ile lifler arasındaki sürtünmeyi artırarak üstün bir ses emme performansı göstermektedir [2,19,22,77]. Yapılan araştırmalara göre: kapok liflerinin ses emme kabiliyeti lif kümesinin yoğunluğuna, inceliğine ve liflerin lif öbeği içerisindeki dizilişine önemli ölçüde bağlı iken; liflerin uzunluğu kapok liflerinin ses emme kabiliyeti üzerinde oldukça düşük bir etkiye sahiptir. Kapok liflerinin ses emme performansı ticari cam lifleri ve yağı uzaklaştırılmış pamuk lifleri ile karşılaştırıldığında: aynı kalınlıktaki fakat daha az yoğunluktaki kapok lif kümesinin diğerlerine benzer ses emme katsayısına sahip olduğu kaydedilmiştir [22,28]. Hafifliği ve ses yalıtım kabiliyeti sayesinde uçaklarda kullanılan malzemelerde en çok tercih edilen lifler arasındadır [2].

Kapok/polipropilen dokusuz yüzey kompozit yapının ses emme performansı üzerine yapılan bir araştırmada, farklı oranlarda kapok ve polipropilen lif karışımlarından (30:70, 40:60, 50:50) elde edilen dokusuz yüzey kompozit yapıların incelik, yoğunluk, gözeneklilik ve 250-2,000 Hz frekans aralığında ses emme kabiliyeti gibi özellikleri incelenmiştir. Ses emme katsayıları ve gürültü azaltma katsayıları

kapok lifli kompozit yapıların tüm 250-2,000 Hz frekans aralığında çok iyi ses emme davranışına sahip olduklarını göstermektedir [22,78].

B.8. KAPOK LİFLERİNİN MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİĞİ

Kapok lifleri içerdikleri yüksek oranda lignin yapısı sayesinde, sıradan selülozik bakterilerin saldırısına karşı dayanıklıdır [20,79]. Antibakteriyel özellik gösteren kapok liflerinin [12,80] çeşitli bakterilere, güve ve maytlara karşı dayanımının araştırıldığı bir çalışmada, kapok liflerinin maytları %80 oranında uzaklaştırdığı, güvelere karşı da ortalama bir dayanımda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Antibakteriyel test sonucuna göre kapok elyafının *Escherichia coli*. bakterisine karşı hem bakterisidal (bakterinin ölmesini sağlayan) hem de bakteristatik (bakterinin üremesini engelleyen) etkinliğe sahip olduğu ancak bu etkilerin *Staphylococcus Aureus*. bakterisine karşı aynı etkinlikte olmadığı belirtilmiştir [20,81]. Kapok lifleri antibakteriyel etkinliğinin yanı sıra antimikrobiyel aktiviteye ve biyo-uyumluluğa sahiptir [82].

V. KAPOK LİFLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

A. TEKSTİL YAPILI ÜRÜNLER

Kapok liflerinin kırılğan yapısı nedeniyle iplik, kumaş gibi tekstil yüzeyi haline getirilmeleri oldukça güç olduğundan, çoğunlukla yatak, yorgan, yastık, oyuncak gibi ev tekstilleri için dolgu maddesi olarak kullanılmaktadırlar (Şekil 7) [6,8,13,25,36,39]. Suyu dayanıklı, antialerjik, bakteri ve mantarlara karşı dayanıklı yapısı ile kapok lifleri günümüzde çoğunlukla doğal organik ürünler kataloğunda karşımıza çıkmaktadır [83]. Bununla birlikte son yıllarda kapok liflerinin otomobil koltuklarında poliüretan köpük yerine kullanılabilirliği araştırılan çalışmalara rastlanmaktadır. Kapok liflerinin sadece çevresel fayda değil aynı zamanda nem yönetimi ile konfor açısından da avantaj sağlaması liflere alternatif bir kullanım alanı oluşturmaktadır [42,84].

Kapok liflerinin farklı lif türleri ile karışım halinde iplik, dokuma ya da örme gibi tekstil yüzeylerinin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Kapok lifli karışım ipliklerden elde edilen kumaşların giysi üretiminde kullanılabilme potansiyeli mevcuttur. Aynı zamanda kapok lifli dokusuz yüzey yapıların da filtre, yalıtım malzemesi ve benzeri amaçlar doğrultusunda üretilebildiği gözlemlenmiştir [85].

Sulu çözeltilerden yağın ayrılması ve yağ maddesinin geri kazanımı üzerine yapılan bir çalışmada, havalı serme (air-laying-bonding) yöntemi ile üretilen kapok lifli dokusuz yüzey filtrelerin kullanıldığı kaydedilmiştir [86]. Yüksek oranda yağ absorblayabilme potansiyeline sahip bu filtrelerin ayrıştırma işlemini nitelikli şekilde gerçekleştirerek hem yağın hem de suyun tekrar kullanılabilmesini sağladığı bunun yanı sıra geliştirilen sistem içerisinde filtrenin de tekrar tekrar kullanılabilirdiği belirtilmiştir [86].



Şekil 7. Kapok lifinden yapılmış ev eşyaları [87]

B. SUDA BATMAZ ÜRÜNLER

Mükemmel hidrofobik ve oleofilik özellikleri ve oldukça düşük lif yoğunluğu sayesinde kapok lifleri uzun yıllar suda batmama özelliğine gereksinim duyulan ürünlerin üretiminde kullanılmıştır [4,39]. Fakat sentetik ürünlerin yaygınlaşması ile birlikte, can simidi, balık ağıları, olta ipi ve halatlar gibi kapok liflerinin en yaygın kullanıldığı alanlarda sentetik malzemeler tercih edilmeye başlanmıştır [29,36,39]. Her ne kadar günümüzde bu alanlarda yaygın bir kullanıma sahip olmasa da su üzerinde batmaması istenen teknik tekstil ürünlerinde kullanılabilecek alternatif doğal bir hammadde olarak geniş bir potansiyele sahiptir [4,39].

C.YAĞ EMİCİ ÜRÜNLER

Kapok liflerinin hidrofobik ve oleofilik karakteri sulu çözeltilerden yağ maddelerinin ayrılmasında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Özellikle, petrol ve benzeri sızıntılarının deniz suyundan ayrıştırılması işlemleri için üretilen kapok lifli filtreler, hem oldukça dayanıklı hem de ayrıştırma işleminde oldukça etkin şekilde kullanılabilmektedir [12,13,22,33,76,88-90]. Özellikle dünyada her yıl yaklaşık 10 milyon ton petrol ve ürünlerinin kullanıldığı düşünülürse, bu ürünlerin kullanımı ya da taşınması sırasında deniz, göl, okyanus gibi su kaynaklarına bulaşma ihtimalinin ne kadar yüksek olduğu ortadadır. Su kaynaklarına bulaşan petrol ve türevi maddelerin temizlenebilmesi çok ciddi maliyetlere sebep olmaktadır. Kapok lifleri ile üretilen filtreler ise çoğunlukla sentetik malzemelerden üretilen filtrelerle nazaran daha verimli ve daha ekonomik bir alternatif oluşturabilmektedir.

Su ve yağ karışımlarından yağlı maddelerin ayrılmasında %100'e varan oranda işlem verimliliğinde ayrıştırma sağlanabilmektedir. Ayrıca kapok lifleri bu ayrıştırma işleminde birden fazla kez kullanılabilmekte ve ayrıştırılan yağın tekrar kullanılabilmesini sağlamaktadır [13]. Su yüzeyindeki yağlı yapıların temizlenmesinde en yaygın kullanılan ürünlerde hammadde olarak polipropilen kullanılmaktadır [22]. Polipropilen ve kapok liflerinin yağ çekme kapasitelerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, kapok liflerinin neredeyse su yüzeyinde tüm yağı çektiği sadece su üzerinde gözle görülemeyecek kadar hafif bir yağ izinin kaldığı kaydedilmiştir [3]. Dizel, hidrolik yağı (AWS46) ve makine yağı (HD40) kullanılarak gerçekleştirilen değerlendirmede, kapok liflerinin yağ çekme kapasitesinin -her üç madde için de- polipropilen liflerinin yağ çekme kapasitesinden çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kapok liflerinin dördüncü kez kullanımından sonra, başlangıçtaki yağ çekme kapasitesinin sadece %30'unu kaybettiği belirtilmiştir [3]. Bir başka çalışmada ise kapok liflerinin 15.

kez kullanımı sonrasında bile yağ çekme kapasitesinin %70'ini koruyabildiği (0,04 g/cm³ sıkıştırma (paketleme) yoğunluğunda dizel için) kaydedilmiştir [13]. Yapılan araştırmalara göre kapok liflerinin dizel, benzin, makine yağı, hidrolik yağı gibi maddelerin su yüzeyinden ayrıştırılmasında oldukça başarılı bir kullanıma sahip olduğu söylenebilmektedir [13,88].

D. FİLTRE YAPILAR

Çeşitli kaplama ve/veya modifikasyon işlemlerine tabii tutulan kapok lifleri ile oluşturulan kompozit yapıların sulu çözeltilerden metal iyonlarını (Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, vb.) [17,86,91,92] ve/veya boyarmaddeleri ayırmak amacı ile filtre olarak kullanılabildiği kaydedilmiştir [17,86,93,94]. Bu çalışmalar özetlenecek olursa: Poliakrilonitril (PAN) kaplama işlemi uygulanmış kapok lifli yapıların metil oranj boyarmaddesinin ve Cu iyonlarının sulu çözeltiden ayrıştırılmasında etkili olduğu [86]; Dietilentriamin pentaasetikasit (DTPA) ile modifikasyon işlemi uygulanmış kapok liflerinin Pb, Cd, Cu ağır metal iyonlarının adsorbe edilmesinde kullanılabildiği [91]; Bis(2-etileksil)fosforikasit emdirilmiş kapok liflerinin Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn iyonlarının sulu çözeltiden uzaklaştırılmasında etkin olduğu [92]; Sodyum Klorit (NaClO₂) ile işlem görmüş kapok liflerinin sulu çözeltiden metilen mavisi katyonik boyarmaddesinin adsorbsiyonunda kullanabilirliği [94] belirtilmiştir.

E. TERMAL VE AKUSTİK YALITIM ÜRÜNLERİ

Birçok doğal lif türünden farklı olarak geniş lümene ve ince hücre duvarına sahip kapok lifleri, bu özel yapısı sayesinde ses dalgaları ile lifler arasındaki sürtünmeyi artırarak üstün bir ses emme performansı göstermektedir. Kapok liflerinin üstün ses emme kabiliyetine çevre-dostu, biyobozunur ve yenilenebilir olma gibi ekolojik özellikler eklendiğinde; gürültü kirliliğinin engellenmesi ve akustik yalıtım sağlayan ürünlerin üretiminde kullanımın yaygınlaşması kaçınılmaz hale gelmektedir [3,7,17,19,28]. Ayrıca kapok lifleri düşük ısı iletkenlikleri sayesinde termal yalıtım sağlayan ürünlerin yapımında da kullanılmaktadır [3,7,19,22,36].

F. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİTLER

Kompozit malzemeler günümüzde hayatın birçok alanında karşımıza çıkmaktadır. Uçaklardan binalara çok çeşitli alanlarda kullanılabilen bu yapıların mukavemet, esneklik gibi özelliklerinin geliştirilebilmesi için yapı içerisine doğal ya da sentetik lifler ilave edilebilmektedir. Sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynakların kullanımının tercih sebebi haline gelmesi ile birlikte, doğal lif türlerinin kompozit yapılar içerisinde kullanılabirliği birçok araştırmacının dikkatini çeken bir konu haline gelmiştir. Selülozca zengin doğal lifler bol miktarda hidroksil grubu içerdiğinden, yüksek polariteye sahiptir. Bu nedenle, doğal lifler reçine matrisleriyle etkileşerek hidrojen bağları oluşturabilmekte, doğal lifler termoset ve termoplastik polimer matrislerin güçlendirilmesinde kullanılabilmektedirler [17,49,89,95]. Kapok lifleri de kompozit yapılar içerisinde kullanılan doğal lif türleri arasındadır. Kapok liflerinin kompozit yapılardaki kullanımı üzerine yapılan araştırmalar, bu liflerin kompozit yapıların güçlendirilmesinde uygun bir kullanıma sahip olduğunu göstermektedir [12,17,96]. Kapok lifleri kompozit yapı içerisinde tek lif olarak kullanılabildikleri gibi, güçlendirici element olarak sisal, cam lifleri vb. çeşitli lifler ile birlikte de kullanılabilmektedir [17]. Özellikle daha hafif otomobillerin üretilebilmesi üzerine yapılan araştırmalar, son yıllarda kapok lifleri jüt, sisal gibi doğal lifler ile birlikte otomobillerin içyapı kompozitlerinde tercih edilen bir malzeme türü haline geldiğini gösterir niteliktedir [84].

Pamuk-kapok lifli dokuma kumaş yapı ve polyester reçine ile oluşturulan kompozit yapının özellikleri ve maliyeti incelendiğinde, performans özellikleri bakımından cam lifli kompozit yapılara eş değer özelliklerde olduğu maliyetinin ise nispeten daha ucuz olduğu belirtilmiştir [49]. Ancak bu hidroksil gruplarının reçine matrisleriyle reaksiyona girmesi, liflerin yüzeyi pektin ve mum tabakası ile kaplı olduğundan engellenmektedir ve liflerin yüzeyi ile resin matrisleri arasında mekanik olarak kesişen adezyon ortaya çıkmaktadır. Reaktif hidroksil gruplarını açığa çıkarmak ve pürüzlü bir yüzey oluşturmak için, doğal lifler genellikle fiziksel ve/veya kimyasal muameleye tabi tutulur ya da modifikasyona uğratılır [22,97,98].

Kapok liflerinin de kompozit yapılarda kullanılabilmesi için öncelikle yüzeyindeki hidroksil gruplarını ortaya çıkartacak işlemlere tabii tutulması gerekmektedir [49]. Kapok liflerinin TPCS (termoplastik manyok nişastası) içerisine takviye edilmesi ile elde edile yapının sadece kapok lifli TPCS kompozitin su absorpsiyonu azaltmadığı aynı zamanda maksimum yük altında gerilimini ve başlangıç modülünü geliştirdiği belirtilmiştir [22,99].

Yağ ve suyun filtrelenmesi/ayrılması işlemlerinde kullanılabilecek kompozit malzemeler üzerinde yapılan bir araştırmada; elektro-lif çekimi teknolojisi kullanılarak kapok lifli dokusuz yüzey üzerine polivinilidin florid (PVDF) kaplanılarak elde edilen kompozit yapının çeşitli özellikleri incelenmiştir. Polivinilidin florid (PVDF) polimeri üstün mekanik özelliklere sahip, kimyasal dayanımı yüksek, iyi piroelektrik ve piezoelektrik özellikler sergileyen bir malzeme türüdür. PVDF liflerinin bu benzersiz özellikleri, kapok liflerinin karakterinden gelen hafif, suda batmayan ve suya dayanıklı yapısı ile birleştiğinde yağ/su ayırma performansı oldukça yüksek ve çok çeşitli ortam şartlarına dayanıklı kompozit malzemeler üretilebilmektedir [85].

G. KAĞIT HAMURU VE KAĞIT YAPIMI

Kapok lifleri içerdikleri selüloz miktarından dolayı kağıt endüstrisi için de alternatif bir hammadde kaynağı olarak kabul edilebilmektedir. Kapok liflerinden kağıt üretimi üzerine yapılan bir çalışmada, kapok hamurunun ticari ağaç hamuruyla karıştırılmasıyla üretilen kağıtların performans özellikleri incelenmiştir. Ticari kağıt hamuruna kapok hamuru ilavesi yapılarak üretilen kağıtların gerilim ve patlama dayanımını artarken yırtılma direncinin ve esneme/uzama özelliğinin azaldığı kaydedilmiştir. Ancak kağıdın suya olan direncinin arttığı gözlemlenmiştir [14]. Elde edilen verilere göre, kapok hamurunun kaliteli kağıt yapımına uygun bir kaynak olduğu, özellikle sağlamlık ve suya direncin önemli olduğu ambalaj kağıdı üretimi açısından potansiyel bir kaynak oluşturabileceği sonucuna ulaşılmıştır [14,22].

H. KAPOK TÜREVİ BİYİYAKITLAR

Son dönemde, olası yenilenebilir özelliklerinden dolayı biyo-dizel ve biyo-etanol gibi biyoyakıtlar dikkat çekmektedir. Ancak, birinci kuşak biyo-etanol türevleri gıdalardan elde edildiği için, gıda güvenliği açısından gıda-yakıt çelişkisi yaratmıştır [22]. Bu yüzden, lignoselülozik biyokütleler/biyoatıklar gibi zirai kaynaklardan rafine edilen biyoyakıtlar büyük önem taşımaktadırlar [34]. Bu tür kaynaklardan elde edilen biyo-etanol ikinci kuşak biyo-etanol olarak kabul edilmektedir. Yüksek glikoz içeriğine bağlı olarak, kapok liflerinin de ikinci kuşak biyo-etanol üretiminde potansiyel bir kaynak oluşturduğu kaydedilmiştir [17,100-104].

I. KAPOK TÜREVİ AKTİF KARBON LİFLERİ

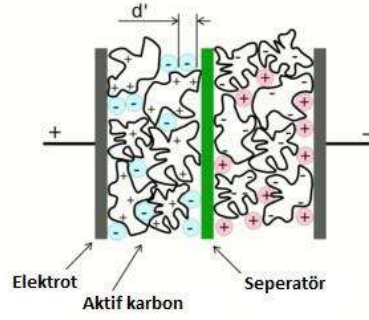
Aktif karbon lifleri, adsorban (emici madde), katalizör ya da benzeri çeşitli amaçlarla çok yönlü kullanılabilme potansiyeline sahip olduğundan her geçen gün daha da popüleritesi artan bir malzeme haline gelmiştir. Bugüne dek birçok doğal lif türü aktif karbon liflerinin üretiminde kullanılmıştır. Kapok lifleri de, aktivasyon işlemi ile ya da aktivasyon işlemi olmadan karbon lifi üretiminde kullanılan doğal lif türlerinden biridir [105]. Yapılan araştırmalar aktivasyon işlemi eşliğinde elde edilen aktif karbon liflerinin daha yüksek yüzey alanına ve daha geniş iç boşluk hacmine sahip olduğunu göstermektedir [22,106,107]. Kapok türevi aktif karbon lifleri sulu çözeltilerden metilen mavisi ve fenolün ayrılması gibi işlemlerde kullanılabilir [22,108]

J. ELEKTROKİMYASAL DEPOLAMA MALZEMELERİ

Kapasitör, elektrostatik formda depolanan enerjiyi, elektrik enerjisi olarak açığa çıkaran bir enerji depolama teknolojisidir [109]. Süper kapasitörler ise geliştirilmiş kapasitörlerdir (Şekil 8). Süperkapasitörlerin hem elektrokimyasal çift tabaka hem de redoks aktif yük depolama kabiliyetlerinden dolayı spesifik enerji ve güç yoğunluğu açısından kapasitörlerden güçlü bataryalardan daha zayıftır [110]. Süperkapasitörlerin elektrokimyasal performansını belirleyen en önemli faktörlerin başında elektrot malzemeleri geldiğinden, süperkapasitörlerin uygulamaları çoğunlukla yüksek performanslı elektrot malzemelerinin olmaması nedeniyle engellenmektedir [95,111,112]. Kendine özgü içi boşluklu yapı sadece daha erişilebilir faradik reaktif alanlar sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda gerçek kapasitif Yüksek performanslı elektrot malzemelerin geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar, karbon malzemeler, metal oksitler ve iletken polimerlerden oluşan hibrit elektroaktif bileşenlerin sinerjik etkisinin ve içi boş mikro/nano yapıli materyallerin yapısal özelliklerini kullanılmasının bir çözüm olabileceğinin gösterir niteliktedir [95,113,114]. Kendine özgü içi boşluklu yapı sadece daha erişilebilir faradik reaktif alanlar sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda gerçek kapasitif süreçte hem iyon hem yük için taşıma uzunluğunu kısaltmaktadır. Ayrıca 3D-mikro içi boşluklu malzemeler tekrarlanan şarj ve deşarj reaksiyonları sırasında aktif malzemelerin olası agregasyon oluşumunu (kümelenmesini) önleyebilen güçlü kimyasal ve mekanik dayanım sergilemektedir [95]. Kapok lifleri de içi boşluklu yapısı ile yüksek performanslı elektrot malzeme üretiminde kullanılabilme potansiyeline sahiptir [95].

Yüksek performanslı süperkapasitörlerin geliştirilmesi üzerine yapılan bir araştırmada: Üç boyutlu karbonlu kapok lifleri/kobalt-nikel ikili oksit hibrit kompozit yapının kapok liflerinin metal oksitler ile birlikte kullanımı ve karbonlaştırma işlemleri sırasında korunan içi boşluklu mikrotüp yapısı sayesinde elde edilen malzemenin yüksek performanslı süper kapasitörlerin geliştirilmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir [95].

Metal oksit/karbon kompozitler yüksek performanslı elektrot malzemelerin tasarlanmasında büyük bir potansiyele sahip olduğu düşünüldüğünden, yüksek performanslı elektrot malzemelerin tasarlanması için literatürde metal oksitler ile birlikte çeşitli karbon kaynakların kullanımı araştırılmaktadır. Kapok lifleri de bu biyokarbon kaynakları arasında yer almaktadır. Ayrıca, yapılan araştırmalar karbon liflerinin yüksek performanslı elektrot malzemesi olarak kullanımının sadece süper kapasitörler için değil aynı zamanda lityum iyon bataryalar için de kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir [115].



Şekil 8. Süperkapasitör şematik görünümü [116]

K. DİĞER UYGULAMALAR

Kapok liflerinin yapısında barındırdığı yüksek lignin varlığından dolayı, sıradan selüloitik bakterilerin kapok liflerine saldırması güçtür. Kapok lifleri, ağaç liflerine olan kimyasal benzerliği nedeniyle, ağaç liflerinin bazı özelliklerinin araştırılmasında referans olarak kullanılabilir [59]. Özellikle odun yapılarının mikroskop altında gözlemlenebilmesi için yapılması gereken hazırlıklar fazla zaman alan işlemler olduğundan ve kapok liflerinin incelenmesi ağaç liflerine çok daha zahmetsiz olduğundan, ahşap bozucu bakterilerin saflaştırılmasında ya da zenginleştirilmesinde kapok lifleri kullanılabilir [22,79].

VI. KAPOK LİFLERİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

A. KAPOK LİFLERİNİN AVANTAJLARI

- İçi boş yapısı sayesinde hafiftir ve yoğunluğu pamuğunkinden 8 kat daha düşüktür [19,28,29].
- Mumsu yüzeyi hidrofobik karakter katmakta, lif içerisinde hapsolmuş hava ve düşük lif yoğunluğu sayesinde suda batmama özelliğine sahiptir [13,19].
- Mumsu lif yüzeyinin olması sayesinde doğal olarak leke tutmama özelliği vardır [31].
- Kapok liflerinin esnek yapısı ve kullanım sonrası şeklini koruyabilmesi nedeniyle, kapok lifleri ile doldurulmuş yastık, yorgan gibi ürünlerin konfor düzeyleri oldukça yüksektir.
- Havayı hapseden içi boşluklu lif yapısı sayesinde oldukça iyi termal ve ses yalıtkan malzemedir [3,28,30,31].
- Kapok lifleri ince bir mum tabakayla kaplı olmaları sayesinde, böcek ve küçük organizmaların büyümesini engeller. Ağaçları kimyasal ya da pestisitlerle spreylemek gerekmez ve nihai ürün uzun süreli saklamaya uygundur [83].
- Doğal ürün olması nedeniyle çevre dostu bir malzeme türüdür.

B. KAPOK LİFLERİNİN DEZAVANTAJLARI

- Lifler kırılğandır ve kolay kopar [13]. Özellikle lif yüzeyindeki mumsu tabaka lifleri kayganlaştırdığı için; liflerin eğrilmesi, dokuma veya örme gibi tekstil yüzeyleri elde edilmesi oldukça güçtür [55].

- Lifler çok incedir ve dakikalar içinde havada uçuşur hale gelir; bu özellikleri nefes ile ciğerlere kaçma ve ciğerleri tahriş edebilme ihtimalini ortaya çıkardığından dolayı işlenmeleri sırasında oldukça dikkatli ve hassas çalışılması gerekmektedir.
- Liflerde hapsolmuş hava bulunması tutuşma özelliğini artırır ve yüzeyde bulunan mum da çok daha yanıcı olmalarına neden olmaktadır.

VII. SONUÇ

Kapok lifleri içi boş tüp yapısı, hidrofobik/oleofilik karakteri, düşük yoğunluğu ve su üzerinde batmadan yüzebilme kabiliyeti ile bugün farklı disiplinlerde birçok araştırmada karşımıza çıkan bir malzeme türü haline gelmiştir. Özellikle sürdürülebilirliği olan ve sürdürülebilir üretimi destekleyen ham madde kaynaklarının büyük önem kazandığı göz önüne alındığında, kapok lifleri başta tekstil endüstrisi olmak üzere birçok endüstri alanında alternatif bir hammadde kaynağı oluşturmaktadır. Lif yapısı ve özellikleri bakımından sentetik içi boş yapıllı lifler yerine kullanılabilme potansiyeline sahip nadir doğal lif türlerinden biridir. Buna liflerin düşük özgül ağırlığı ve buoyant karakteri eklendiğinde su kaynaklarımıza bulaşan çeşitli yağ türevli atıkların uzaklaştırılmasından, ses ve ısı yalıtımı malzemelerine, biyoyakıttan, elektrokimyasal depolama malzemelerine kadar çok çeşitli alanlarda tercih edilen doğal bir lif türü haline gelmiştir. Kapok liflerini konu alan araştırmalar bu liflerin kullanım yelpazesinin daha da genişleyebileceğini kanıtlar niteliktedir.

Türkiye tekstil endüstrisinin araştırma ve geliştirme çalışmalarına büyük yatırımların yapıldığı şu günlerde, kapok lifleri gibi hem kolay ulaşılabilir hem de geniş kullanım potansiyeline sahip doğal lif türleri üzerine yapılan araştırmalar büyük önem taşımaktadır. Bu liflerin endüstriyel olarak kullanımın yaygınlaştırılması, özellikle teknik tekstiller gibi sıra dışı lif özelliklerine ihtiyaç duyulabilen ürünlerin üretimi için oldukça mühimdir. Kapok liflerinin kırılğan yapısı nedeniyle eğrilme özelliğinin zayıf olması bu liflerin ticari kullanımını dolgu lifi olarak sınırlamaktadır. Bu noktada kapok liflerinin eğrilme özelliğini iyileştirmeyi hedefleyen araştırmalar, liflerin endüstriyel kullanımın genişlemesi adına oldukça mühimdir. Yüksek oranda kapok lifi içeren (hatta %100 kapok lifli) iplik eldesinin mümkün hale gelmesi dokuma veya örme yapıllı ürünlerin eldesini de etkileyeceğinden; bu liflerin performans özelliklerinin sadece dokusuz yüzey ve lif takviyeli yapılarda değil, iplik, dokuma ya da örme olarak çeşitli tekstil yapılarında günlük tekstil ürünlerinden teknik tekstillere geniş bir yelpazede kullanılabilmesinin mümkün hale getirecektir.

Bu derleme çalışmasında da kapok liflerinin öne çıkan lif yapısı ve lif özellikleri hakkında detaylı bilgi verilmiş, liflerin kullanımını ve uygulama alanları üzerine yapılan çalışmalar derlenerek literatüre kapok lifleri ile ilgili bir katkı sağlamak aynı zamanda liflerin öne çıkan yapısı ve özelliklerine dikkat çekmek amaçlanmıştır. Doğal, sürdürülebilir ve tekrar kullanılabilir bu liflerin ülkemiz tekstil endüstrisinde çeşitli teknik ve fonksiyonel tekstiller de kullanımının sağlanacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu derleme çalışmasında kullanılan kapok ağacı görüntüleri için Sena Bal ve Hasan Kaya Hasusta'ya teşekkür ediyoruz.

VIII. KAYNAKLAR

- [1] A. K. Mohanty, M. Misra and L. T. Drzal, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2005.
- [2] İ. Başer, *Elyaf Bilgisi*, İstanbul, Türkiye, Marmara Üniveristesi Döner Sermaye İşletmesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaa Birimi, 2002.
- [3] T. T. Lim and X. Huang "Evaluation of Kapok (Ceiba Pentandra (L.) Gaertn.) as a Natural Hollow Hydrophobic–Oleophilic Fibrous Sorbent for Oil Spill Cleanup," *Chemosphere*, vol. 66, no. 5, pp. 955-963, 2007.
- [4] G. Xu, J. Luo, Y. Lou and F. Wang "Analysis of the Bending Property of Kapok Fiber," *The Journal of The Textile Institute*, vol. 102, no. 2, pp. 120-125, 2011.
- [5] Y. Zheng, J. Wang, Y. Zhu and A. Wang "Research and Application of Kapok Fiber as an Absorbing Material: A Mini Review," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 27, no.1, pp. 21-32, 2015.
- [6] G. Yazıcıoğlu, *Pamuk ve Diğer Bitkisel Lifler*, İzmir, Türkiye, Tekstil Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 1999.
- [7] B.H. Gürcüm, *Tekstil Malzeme Bilgisi*, İzmir, Türkiye, Güncel Yayıncılık, 2010.
- [8] S. O'Connor and M.M. Brooks, *X-Radiography of Textiles, Dress and Related Objects*, Burlington, USA: Elsevier, 2007.
- [9] L.Y. Mwaikambo "Review of the History, Properties and Application of Plant Fibres," *African Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 120-133, 2006.
- [10] L.Y. Mwaikambo and M. P. Ansell "Chemical Modification of Hemp, Sisal, Jute, and Kapok Fibers by Alkalization," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 84, no. 12, pp. 2222-2234, 2002.
- [11] M. Lewin, *Handbook of Fiber Chemistry*, New York, USA: CRC Press, 2010.
- [12] R. Sinclair, *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2014.
- [13] M. Abdullah, A.U. Rahmah and Z. Man "Physicochemical and Sorption Characteristics of Malaysian Ceiba Pentandra (L.) Gaertn. As a Natural Oil Sorbent," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 177, no. 1, pp. 683-691, 2010.
- [14] S. Chaiarekij, A. Apirakchaiskul, K. Suvarnakich and S. Kiatkamjornwong "Kapok I: Characteristics of Kapok Fiber as a Potential Pulp Source for Papermaking," *BioResources*, vol. 7, no. 1, pp. 0475-0488, 2011.

- [15] M.M. Houcks, *Identification of Textile Fibers*, Oxford, UK: Woodhead Publishing Limited, 2009.
- [16] J. Liu and F. Wang "Influence of Mercerization on Microstructure and Properties of Kapok Blended Yarns with Different Blending Ratios," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 6, no. 3, pp. 63-68, 2011.
- [17] *Kapok Fibers*, (Ağustos 2016), [Online].Erişim: https://en.wikipedia.org/wiki/Ceiba_pentandra
- [18] H.-K. Rouette, *Encyclopedia of Textile Finishing*, Aachen, Germany: Springer, 2000.
- [19] J. Yan, C. Fang, F.-M. Wang ve B. Xu "Compressibility of the Kapok Fibrous Assembly," *Textile Research Journal*, vol. 83, no. 10, pp. 1020-1029, 2013.
- [20] Y. Zheng and A. Wang, "Kapok Fiber: Structure and Properties," *Biomass and Bioenergy*, Springer, 2014.
- [21] M.P. Ansell and L.Y. Mwaikambo, "The Effect of Chemical Treatment on the Properties of Hemp, Sisal, Jute and Kapok for Composite Reinforcement", 2nd International Wood and Natural Fibre Composites Symposium, Germany.
- [22] Y. Zheng and A. Wang, "Kapok Fiber: Applications," *Biomass and Bioenergy: Applications*, Cham, Switzerland: Springer, 2014.
- [23] F. Kaya ve Y. Yazıcıoğlu, *Lif Teknolojisi* Ankara, Türkiye, Seçkin Ofset, 1992.
- [24] R.W. Sarsby, "Limited-Life Geosynthetics," *Geosynthetics in Civil Engineering*, Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2007.
- [25] A. Briggs-Goode and K. Townsend, *Textile Design: Principles, Advances and Applications*, Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [26] V. H. Elsasser, *Textiles: Concepts and Principles*, New York, Fairchild Publications, Inc., 2005.
- [27] J. T. Williams, *Textiles for Cold Weather Apparel*, Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2009.
- [28] H.-f. Xiang, D. Wang, H.-c. Liua, N. Zhao ve J. Xu "Investigation on Sound Absorption Properties of Kapok Fibers," *Chinese Journal of Polymer Science*, vol. 31, no. 3, pp. 521-529, 2013.
- [29] E. Kalayci, F.F. Yildirim, O.O. Avinc and A. Yavas, "Textile Fibers Used in Products Floating on the Water", *Textile Science and Economy VII*, Zrenjanin, Serbia, 2015, ss. 85-90.
- [30] K. Hori, M.E. Flavier, S. Kuga, T.B.T. Lam and K. Iiyama "Excellent Oil Absorbent Kapok [Ceiba Pentandra (L.) Gaertn.] Fiber: Fiber Structure, Chemical Characteristics, and Application," *Journal of Wood Science*, vol. 46, no. 5, pp. 401, 2000.

- [31] M.S. Smole, S. Hribernik, K.S. Kleinschek and T. Kreže, "Plant Fibres for Textile and Technical Applications," *Advances in Agrophysical Research*, Intechopen, 2013.
- [32] R. Rengasamy, D. Das and C.P. Karan "Study of Oil Sorption Behavior of Filled and Structured Fiber Assemblies Made from Polypropylene, Kapok and Milkweed Fibers," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 186, no. 1, pp. 526-532, 2011.
- [33] J. Wang, Y. Zheng and A. Wang "Superhydrophobic Kapok Fiber Oil-Absorbent: Preparation and High Oil Absorbency," *Chemical Engineering Journal*, vol. 213, no.1, pp. 1-7, 2012.
- [34] A. Silitonga, H. Ong, T. Mahlia, H. Masjuki and W. Chong "Characterization and Production of Ceiba Pentandra Biodiesel and Its Blends," *Fuel*, vol. 108, no.1, ss. 855-858, 2013.
- [35] S. Rehm and G. Espig, *Cultivated Plants of the Tropics and Sub-Tropics*, Stuttgart, Germany, Verlag Eugen Ulmer, 1976.
- [36] M. Mert, *Lif Bitkileri*, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2009.
- [37] *Kapok Meyvesi Ve Lifleri*, (Ekim 2017), [Online]. Erişim: <https://www.shutterstock.com/search/kapok>
- [38] *Facts About the Kapok Tree*, (April 2017), [Online]. Erişim: http://www.ceiba.dk/?page_id=175&lang=en
- [39] B.J. Collier, Q. C. Tortora, *Understanding Textiles*, New Jersey, USA: Prentice Hall, 2001.
- [40] J. R. Robertson, C. Roux and K. Wiggins, *Forensic Examination of Fibres*, Philadelphia, USA: Taylor & Francis, 2002.
- [41] M. Üzümcü, T. Üte, P. Çelik, N. Oğlakcioğlu and H. Kadoğlu "Properties of Knitted Fabrics Produced by Kapok Blended Yarns," *World Journal of Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 451-454, 2012.
- [42] Y. El Mogahzy, *Engineering Textiles: Integrating the Design and Manufacture of Textile Products*, Cambridge, UK, Woodhead Publishing, 2008.
- [43] T. Kouch, T. Preston and H. Hieak "Effect of Supplementation with Kapok (Ceiba Pentandra) Tree Foliage and Ivermectin Injection on Growth Rate and Parasite Eggs in Faeces of Grazing Goats in Farmer Households," *Parasite*, vol. 5, no.1, pp. 0.39, 2005.
- [44] M. Sahid and A. Zeven, "Ceiba Pentandra (L.) Gaertn," *Plant Resources of South-East Asia*, Bogor, Indonesia: Backhuys Publishers, 2003.
- [45] R. Kozłowski, *Handbook of Natural Fibres: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation*, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2012.
- [46] R.R. Mather, and R. H. Wardman, *The Chemistry of Textile Fibres*, Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry, 2011.

- [47] B.-Y. Chung, J.-Y. Cho, M.-H. Lee, S.-G. Wi, J.-H. Kim, J.-S. Kim, P.-H. Kang and Y.-C. Nho "Adsorption of Heavy Metal Ions onto Chemically Oxidized Ceiba Pentandra (L.) Gaertn.(Kapok) Fibers," *Journal of Applied Biological Chemistry*, vol. 51, no. 1, pp. 28-35, 2008.
- [48] H. Xiao, W. Yu and M. Shi "Structures and Performances of the Kapok Fiber," *Journal of Textile Research*, vol. 26, no. 4, pp. 4, 2005.
- [49] L.Y. Mwaikambo and E.T. Bisanda "The Performance of Cotton–Kapok Fabric–Polyester Composites," *Polymer Testing*, vol. 18, no. 3, pp. 181-198, 1999.
- [50] F. Jie, S. Jingxia and W. Fumei "Kapok Fiber: A Green Natural Thermal Fiber," *China Textile Leader*, vol. 10, no.1, pp. 97-100, 2006.
- [51] S. Meiwu, X. Hong and Y. Weidong "The Fine Structure of the Kapok Fiber," *Textile Research Journal*, vol. 80, no. 2, pp.159-165, 2009.
- [52] D. Fengel and M. Wenzkowski "Studies on Kapok-1. Electron Microscopic Observations," *Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, vol. 40, no. 3, pp. 137-142, 1986.
- [53] X. Zhang, *Fundamentals of Fiber Science*, Pennsylvania, USA: DEStech Publications, 2014.
- [54] D. Fengel and M. Przyklenk "Studies on Kapok. 2. Chemical Investigation," *Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, vol. 40, no. 6, pp. 325-330, 1986.
- [55] J. Gao, T. Zhao and J.-B. Chen "Composition, Structure and Property Analysis of Calotropis Gigantea, Kapok and Cotton Fibers," *Journal of Donghua University (Natural Science)*, vol. 38, no. 2, pp. 151-155, 2012.
- [56] M. Saçak, *Lif Kimyası*, Ankara, Türkiye, A.O.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları 1994.
- [57] R. Kozłowski and M. Władyka–Przybylak, "Natural Polymers, Wood and Lignocellulosic Materials," *Fire Retardant Materials*, Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2001.
- [58] S. Konak, "Bamya Bitkisinden Suda Çürütme Yöntem İle Lif Elde Edilmesi Ve Elde Edilen Lifin Çeşitli Fiziksel Kimyasal Ve Mekanik Özelliklerinin Ölçümü," Yüksek Lisans Tezi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye, 2014.
- [59] Y. Bozkurt ve N. Erdin "Odunsu Lifler Ve Tanımı," *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, c. 39, s. 4, ss. 1-16, 1989.
- [60] K. Joseph, R.D. Tolêdo Filho, B. James, S. Thomas and L. Carvalho "A Review on Sisal Fiber Reinforced Polymer Composites," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 3, no. 3, pp. 367-379, 1999.

- [61] E. Kalaycı, O. O. Avinç, A. Bozkurt ve A. Yavaş "Tarımsal Atıklardan Elde Edilen Sürdürülebilir Tekstil Lifleri: Ananas Yaprağı Lifleri," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 20, s. 2, ss. 203-221, 2016.
- [62] T. Rowe, *Interior Textiles: Design and Developments*, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2009.
- [63] M. Ahmed, S. Chattopadhyay, A. Chaphekar, R. Gaikwad and S. Dey "Characteristics of Degummed Ramie Fibre and Its Cotton Blended Yarns," *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, vol. 29, no. 3, pp. 362-365, 2004.
- [64] Y. Kobayashi, R. Matuo and M. Nishiyama, "Method for Adsorption of Oils", USA, 1977.
- [65] S. Kalia and L. Avérous, *Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications*, Massachusetts, USA: John Wiley & Sons, 2011
- [66] G.-b. Xu, W. Liu, Y. Lou and F. M. Wang "Analysis of the Tensile Property of Kapok Fiber," *Journal of Donghua University (Natural Science)*, vol. 5, no.1, pp. 8, 2009.
- [67] L. Mwaikambo and M. Ansell "The Determination of Porosity and Cellulose Content of Plant Fibers by Density Methods," *Journal of Materials Science Letters*, vol. 20, no. 23, pp. 2095-2096, 2001.
- [68] L. Mwaikambo "Review of the History, Properties and Application of Plant Fibres," *African Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 121, 2006.
- [69] S.J. Eichhorn, J.W.S Hearle, M. Jaffe and T. Kikutani, *Handbook of Textile Fibre Structure*, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2009.
- [70] J. Hu, *Structure and Mechanics of Woven Fabrics*, Cambridge, UK: Elsevier, 2004.
- [71] Y. Yan, "Developments in Fibers for Technical Nonwovens," *Advances in Technical Nonwovens*, Cambridge, UK: Woodhead Publishing 2016.
- [72] B. M. D. Dauda and E. G. Kolawole "Processibility of Nigerian Kapok Fibre," *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, vol. 28, no. 2, pp. 147-149, 2003.
- [73] L. Han, L. Shen, H. Zhao and J. Xing "Wearability Comparison of Kapok/Cotton Blended Fabric and Pure Cotton Fabric," *Journal of Textile Research*, vol. 31, no. 42-44, pp. 48, 2010.
- [74] J. Hong, M. Liu, J. Mo, P. Wu and D. Chen "Wearability Test and Analysis of Kapok-Containing Fabrics," *Journal of Textile Research*, vol. 33, no. 8, pp. 46-49, 2012.
- [75] X. Zhang, W. Fu, C. Duan, H. Xiao, M. Shi, N. Zhao and J. Xu "Superhydrophobicity Determines the Buoyancy Performance of Kapok Fiber Aggregates," *Applied Surface Science*, vol. 266, no.1, pp. 225-229, 2013.

- [76] J. Wang, A. Wang and W. Wang "Robustly Superhydrophobic/Superoleophilic Kapok Fiber with ZnO Nanoneedles Coating: Highly Efficient Separation of Oil Layer in Water and Capture of Oil Droplets in Oil-in-Water Emulsions," *Industrial Crops and Products*, vol. 108, no.1, pp. 303-311, 2017.
- [77] X. Liu, X. Yan, L. Li and H. Zhang "Sound-Absorption Properties of Kapok Fiber Nonwoven Fabrics at Low Frequency," *Journal of Natural Fibers*, vol. 12, no. 4, pp. 311-322, 2015.
- [78] A. Veerakumar and N. Selvakumar "A Preliminary Investigation on Kapok/Polypropylene Nonwoven Composite for Sound Absorption," *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, vol. 37, no. 4, pp. 385-388, 2012.
- [79] T. Nilsson and C. Björdal "The Use of Kapok Fibres for Enrichment Cultures of Lignocellulose-Degrading Bacteria," *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 61, no. 1, pp. 11-16, 2008.
- [80] H. Ling "Properties of Kapok Fiber and Its Application Suggestion in Spinning and Weaving," *Cotton Textile Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 026, 2010.
- [81] W. Liu, G. Xu and F. Wang, "The Microbiological Properties of Kapok Battings", International Forum on Biomedical Textile Materials, Shanghai, China, 2007, ss. 231-234.
- [82] U. Wollina, M.B. Abdel-Naser and S. Verma, "Skin Physiology and Textiles –Consideration of Basic Interactions," *Biofunctional Textiles and the Skin*, Basel, Switzerland, Karger, 2006.
- [83] S. Frumkin and M. Weiss, "Fabrics and New Product Development," *New Product Development in Textiles*, Cambridge, UK, Woodhead Publishing Limited, 2012.
- [84] W. Fung and M. Hardcastle, *Textiles in Automotive Engineering*, Cambridge, UK, Woodhead Publishing, 2001.
- [85] D. Das and B. Pourdeyhimi, *Composite Nonwoven Materials: Structure, Properties and Applications*, Cambridge, UK: Elsevier, 2014.
- [86] A. R. Agcaoili, M. U. Herrera, C. M. Futralan and M. D. L. Balela "Fabrication of Polyacrylonitrile-Coated Kapok Hollow Microtubes for Adsorption of Methyl Orange and Cu(II) Ions in Aqueous Solution," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 78, no.1, pp. 359-369, 2017.
- [87] *Kapok Minder*, (Ekim 2017), [Online]. Erişim: <https://futon.dk/meditations-inderpude-uden-betraek-238/kapok-meditations-inderpude-zafu-basic-10-p15514>
- [88] X. Huang and T.-T. Lim "Performance and Mechanism of a Hydrophobic–Oleophilic Kapok Filter for Oil/Water Separation," *Desalination*, vol. 190, no. 1, pp. 295-307, 2006.
- [89] A.U. Rahmah and M. Abdullah "Evaluation of Malaysian Ceiba Pentandra (L.) Gaertn. For Oily Water Filtration Using Factorial Design," *Desalination*, vol. 266, no. 1, pp. 51-55, 2011.
- [90] K.R. Hakeem, M. Jawaaid and U. Rashid, *Biomass and Bioenergy: Applications*, Springer, 2014.

- [91] C. Duan, N. Zhao, X. Yu, X. Zhang and J. Xu "Chemically Modified Kapok Fiber for Fast Adsorption of Pb²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺ from Aqueous Solution," *Cellulose*, vol. 20, no. 2, pp. 849-860, 2013.
- [92] H.T. Huynh and M. Tanaka "Removal of Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn from an Aqueous Nitrate Medium with Bis (2-Ethylhexyl) Phosphoric Acid Impregnated Kapok Fiber," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 42, no. 17, pp. 4050-4054, 2003.
- [93] M.A. Mohamed, W.N. W. Salleh, J. Jaafar, A.F. Ismail, M. Abd Mutalib, A.B. Mohamad, M.F. M. Zain, N.A. Awang and Z.A. Mohd Hir "Physicochemical Characterization of Cellulose Nanocrystal and Nanoporous Self-Assembled Cnc Membrane Derived from Ceiba Pentandra," *Carbohydrate Polymers*, vol. 157, no. 1, pp. 1892-1902, 2017.
- [94] Y. Liu, J. Wang, Y. Zheng and A. Wang "Adsorption of Methylene Blue by Kapok Fiber Treated by Sodium Chlorite Optimized with Response Surface Methodology," *Chemical Engineering Journal*, vol. 184, no.1, pp. 248-255, 2012.
- [95] W. Xu, B. Mu and A. Wang "Three-Dimensional Hollow Microtubular Carbonized Kapok Fiber/Cobalt-Nickel Binary Oxide Composites for High-Performance Electrode Materials of Supercapacitors," *Electrochimica Acta*, vol. 224, no. 1, pp. 113-124, 2017.
- [96] E. Cao, W. Duan, F. Wang, A. Wang and Y. Zheng "Natural Cellulose Fiber Derived Hollow-Tubular-Oriented Polydopamine: In-Situ Formation of Ag Nanoparticles for Reduction of 4-Nitrophenol," *Carbohydrate Polymers*, vol. 158, no. 1, pp. 44-50, 2017.
- [97] H. Fan, X. Yu, Y. Long, X. Zhang, H. Xiang, C. Duan, N. Zhao, X. Zhang and J. Xu "Preparation of Kapok–Polyacrylonitrile Core–Shell Composite Microtube and Its Application as Gold Nanoparticles Carrier," *Applied Surface Science*, vol. 258, no. 7, pp. 2876-2882, 2012.
- [98] H. Natsuki, S. Nishihama and K. Yoshizuka "Adsorption of Europium (Iii) by Solvent Impregnated Kapok Fibers Containing 2-Ethylhexyl Phosphonic Acid Mono-2-Ethylhexyl Ester," *Solvent Extraction Research and Development, Japan*, vol. 18, no. 1, pp. 187-192, 2011.
- [99] J. Prachayawarakorn, S. Chaiwatyothin, S. Mueangta and A. Hanchana "Effect of Jute and Kapok Fibers on Properties of Thermoplastic Cassava Starch Composites," *Materials & Design*, vol. 47, no. 1, pp. 309-315, 2013.
- [100] Y.Y. Tye, K.T. Lee, W.N. Wan Abdullah and C.P. Leh "Potential of Ceiba Pentandra (L.) Gaertn. (Kapok Fiber) as a Resource for Second Generation Bioethanol: Effect of Various Simple Pretreatment Methods on Sugar Production," *Bioresource Technology*, vol. 116, no. 1, pp. 536-539, 2012.
- [101] S. Vedharaj, R. Vallinayagam, W. Yang, S. Chou, K. Chua and P. Lee "Experimental Investigation of Kapok (Ceiba Pentandra) Oil Biodiesel as an Alternate Fuel for Diesel Engine," *Energy Conversion and Management*, vol. 75, no. 1, pp. 773-779, 2013.
- [102] Y.Y. Tye, K.T. Lee, W.N.W. Abdullah and C.P. Leh "Effects of Process Parameters of Various Pretreatments on Enzymatic Hydrolysability of Ceiba Pentandra (L.) Gaertn. (Kapok) Fiber: A Response Surface Methodology Study," *Biomass and Bioenergy*, vol. 75, no. 1, pp. 301-313, 2015.

- [103] A. Bokhari, L.F. Chuah, S. Yusup, J. Ahmad, M.R. Shamsuddin and M.K. Teng "Microwave-Assisted Methyl Esters Synthesis of Kapok (Ceiba Pentandra) Seed Oil: Parametric and Optimization Study," *Biofuel Research Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 281-287, 2015.
- [104] Y.Y. Tye, K.T. Lee, W.N.W. Abdullah and C.P. Leh "Potential of Ceiba Pentandra (L.) Gaertn.(Kapok) Fiber as a Resource for Second Generation Bioethanol: Parametric Optimization and Comparative Study of Various Pretreatments Prior Enzymatic Saccharification for Sugar Production," *Bioresource Technology*, vol. 140, no. 1, pp. 10-14, 2013.
- [105] J. T. Chung, K. J. Hwang, W. G. Shim, C. Kim, J. Y. Park, D. Y. Choi and J. W. Lee "Synthesis and Characterization of Activated Hollow Carbon Fibers from Ceiba Pentandra (L.) Gaertn. (Kapok)," *Materials Letters*, vol. 93, no. 1, pp. 401-403, 2013.
- [106] H. Zhu, H. Wang, Y. Li, W. Bao, Z. Fang, C. Preston, O. Vaaland, Z. Ren and L. Hu "Lightweight, Conductive Hollow Fibers from Nature as Sustainable Electrode Materials for Microbial Energy Harvesting," *Nano Energy*, vol. 10, no. 1, pp. 268-276, 2014.
- [107] W.Y.H.B.R. Da and Z. Meihua "Study on Preparation of Activated Carbon Fiber Based on Kapok," *New Chemical Materials*, vol. 5, no. 1, pp. 011, 2008.
- [108] R.D.Z. Meihua "Adsorptive Properties of Kapok-Based Activated Carbon Fiber " *Chinese Journal of Environmental Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 017, 2009.
- [109] B. Kocaman "Akıllı Şebekeler Ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 1-5, 2013.
- [110] B. B. Çarbaş "İletken Polimerler Ve Enerji Uygulamaları," *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 46-60, 2016.
- [111] P. Simon, Y. Gogotsi and B. Dunn "Where Do Batteries End and Supercapacitors Begin?," *Science*, vol. 343, no. 6176, pp. 1210-1211, 2014.
- [112] W. Chaikittisilp, K. Ariga and Y. Yamauchi "A New Family of Carbon Materials: Synthesis of Mof-Derived Nanoporous Carbons and Their Promising Applications," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 1, no. 1, pp. 14-19, 2013.
- [113] L.L. Zhang and X. Zhao "Carbon-Based Materials as Supercapacitor Electrodes," *Chemical Society Reviews*, vol. 38, no. 9, pp. 2520-2531, 2009.
- [114] J. Wang, H. Tang, H. Ren, R. Yu, J. Qi, D. Mao, H. Zhao and D. Wang "Ph-Regulated Synthesis of Multi-Shelled Manganese Oxide Hollow Microspheres as Supercapacitor Electrodes Using Carbonaceous Microspheres as Templates," *Advanced Science*, vol. 1, no. 1, pp. 2014.
- [115] S. Zhao, W. Liu, S. Liu, Y. Zhang, H. Wang and S. Chen "The Hierarchical Cobalt Oxide-Porous Carbons Composites and Their High Performance as an Anode for Lithium Ion Batteries Enhanced by the Excellent Synergistic Effect," *Electrochimica Acta*, vol. 231, no. 1, pp. 511-520, 2017.

[116] H. Wang, (Eylül 2018), *Carbon Nanomaterials for Supercapacitors*, [Online]. Erişim: <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/wang-hu2/>