



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

**İSTİLACI TÜR SU SÜMBÜLÜ (EICHHORNIA CRASSIPES (MART.) SOLMS)'NÜN
TEKSTİL SEKTÖRÜ VE KULLANIM ALANLARI AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**EVALUATION OF INVASIVE SPECIES WATER HYACINTH (EICHHORNIA
CRASSIPES (MART.) SOLMS) IN TERMS OF TEXTILE SECTOR AND USAGE
AREAS**

Başak BİLGİLİ KALYONCU¹
Hasan KALYONCU²
Alperen ERTAŞ^{3*}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Tekstil Giyim Ayakkabı ve Deri Bölümü, Tekstil Teknolojisi Programı, İzmir, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Hidrobiyoloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

³Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Zooloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Eylül 2024 (30 September 2024)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Başak BİLGİLİ KALYONCU, Hasan KALYONCU, Alperen ERTAŞ (2024): İSTİLACI TÜR SU SÜMBÜLÜ (EICHHORNIA CRASSIPES (MART.) SOLMS)'NÜN TEKSTİL SEKTÖRÜ VE KULLANIM ALANLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ, Tekstil ve Mühendis, 31: 135, 182-199.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/teksmuh.1493025>

Derleme Makalesi / Review Article

İSTİLACI TÜR SU SÜMBÜLÜ (*EICHHORNIA CRASSIPES* (MART.) SOLMS)'NÜN TEKSTİL SEKTÖRÜ VE KULLANIM ALANLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Başak BİLGİLİ KALYONCU¹
Hasan KALYONCU²
Alperen ERTAŞ^{3*}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Tekstil Giyim Ayakkabı ve Deri Bölümü, Tekstil Teknolojisi Programı, İzmir, Türkiye

²Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Hidrobiyoloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

³Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Zooloji Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 30.05.2024

Kabul Tarihi / Accepted: 06.09.2024

ÖZ: Su Sümbülü (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) bitkisi, Güney Amerika kökenli olup diğer coğrafyalarda istilacı olarak değerlendirilen bir bitki türüdür. Türkiye’de Asi Nehri’nde yayılış gösteren bu tür, özellikle Asi Nehri’nde sorunlara neden olmaktadır. Su Sümbülü atık suların temizlenmesinde ve süs bitkisi olarak kullanılırken, özellikle Tayland ve Endonezya gibi Asya ülkelerinde, hayvan yemi ve insanlar için besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında yine Güney Doğu Asya ülkelerinde doğal lif kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu ülkelerde, lif elde edilmesi ve tekstil sektöründe kullanımı açısından birçok çalışma mevcut olup, hasadından lif eldesine ve kullanım alanlarına kadar birçok çalışma yapılmıştır. Güneydoğu Asya ülkelerinde Su Sümbülü bitkisi, fiber levha, iplik, ip, halat, sepet imalatı, su arıtımı, paspas, vazo, şapka, mobilya, kağıt, karton, ev tekstili ve ayakkabı tabanı gibi birçok farklı eşyanın yapımında veya döşeme dolgusu olarak kullanılmaktadır. Su Sümbülü sapları, alternatif tekstil malzemesi olarak geçerli bir doğal kaynaktır. Son yapılan çalışmalarda, giyim ve ev tekstili kumaşlarının üretiminde hammadde olarak Su Sümbülü lifleri kullanımı ele alınmaktadır. Türkiye’de, Su Sümbülünden lif üretimine yönelik herhangi bir çalışma söz konusu olmayıp, bu bitki ile mücadele açısından yöntemler aranmaktadır. Bu bitkiden lif üretimi yapıldığı takdirde, ülkemiz açısından yeni bir doğal ve biyobozunur lif kaynağı elde edilmesi durumu oluşacaktır. Bu çalışmada, Su Sümbülü ile mücadeleden ziyade, ekonomiye kazandırılması konusunda yapılacak çalışmalara öncü olabilecek bir yol üretme amacı ortaya konulmuştur. Aynı zamanda doğal bir lif kaynağı olarak Su Sümbülünün, tekstil ve moda sektörüne kazandırılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su Sümbülü, doğal lif, tekstil, biyobozunur lif

EVALUATION OF INVASIVE SPECIES WATER HYACINTH (*EICHHORNIA CRASSIPES* (MART.) SOLMS) IN TERMS OF TEXTILE SECTOR AND USAGE AREAS

ABSTRACT: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) is a plant species that originates from South America and is considered invasive in other geographies. This species, which is distributed in the Asi River in Turkey, causes problems especially in the Asi River. While water hyacinth is used to clean wastewater and as an ornamental plant, it is also used as animal feed and a food source for humans, especially in Asian countries such as Thailand and Indonesia. In addition, it is used as a natural fiber source in South East Asian countries. In these countries, there are many studies on obtaining fiber and its use in the textile industry, and many studies have been carried out from harvesting to obtaining fiber and its usage areas. In Southeast Asian countries, the water hyacinth plant is used in the manufacture of fibreboard, thread, rope, basket manufacturing, water purification, vases, hats, furniture, paper, cardboard, home textiles and shoe soles, as well as in the production of many different items or floor filling. Water hyacinth stems are a valid natural resource as an alternative textile material. Recent studies focus on the use of water hyacinth fibers as raw materials in the production of clothing and home textile fabrics. In Turkey, there are no studies on fiber production from water hyacinth, and methods are being sought to combat this plant. If fiber is produced from this plant, a new natural and biodegradable fiber source will be obtained for our country. In this study, the aim is to produce a way that can lead to studies on bringing water hyacinth into the economy rather than combating it. At the same time, water hyacinth, as a natural fiber source, needs to be introduced to the textile and fashion industry.

Keywords: Water hyacinth, natural fiber, textile, biodegradable fiber

*Sorumlu Yazarlar/Corresponding Authors: alperenertas@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.7216/teksmuh.1493025>

www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Küresel ısınma ve iklim değişikliği etkileriyle, küresel düzeyde biyoçeşitlilikte değişimler meydana gelmektedir. Sıcaklık ve iklimde meydana gelen değişimler, ekolojik şartlarda değişimlere neden olmakta ve türleri uygun ortamlara göçe zorlamaktadır. Göç esnasında, değişimlere yüksek toleranslı organizmalar daha iyi adaptasyon gösterirken göç ettikleri alanlarda istilacı olabilmektedir. İstilacı türler, var oldukları ekosistemlerde dengenin bozulmasına ve hatta sistemin çökmesine sebep olabilmektedir. Doğal süreçler içerisinde istilacı türler, bölgenin yerel türü haline gelebilmekte ve yeni ekolojik dengelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu istilacı türlerden biri de Su Sümbülü (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)'dür. Su Sümbülü dünyadaki en istilacı 10 bitki türünden biri olarak lanse edilmiştir (Implementing Regulation No 2016/1141 Commission 13 July 2016 JOUE No L 189, 14 July).

Su Sümbülü, Pontederiaceae familyasına ait bir bitki olup, coğrafi olarak Brezilya, Orta ve Güney Amerika ülkelerinin yerel bitkisi durumundayken dünyanın birçok ülkesinde özellikle Mısır, Avustralya, Endonezya, Hindistan, Japonya, Çin ve Burma'da yayılış göstermiş [1], tropik ve subtropikal bölgelerde yetişen istilacı tür olarak bilinmektedir [1, 2]. *E. crassipes*, Brezilya'nın Amazon bölgesinden antropojenik olarak Venezuela, Orta Güney Amerika'nın bazı kısımları ve Karayip adaları gibi diğer bölgelere taşınmıştır. Bitkinin Güney Amerika dışında ilk gerçek kaydı, 1884 yılında New Orleans'ta düzenlenen bir ticaret fuarından alınmıştır. Daha sonra Su Sümbülü ABD'nin her yerine yayılmıştır. On dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru bitki, Mısır, Hindistan, Avustralya ve Java'da kayıtlara geçmiştir. Su Sümbülünün Afrika kıtasına ilk girişi 1879-1892 yılları arasında Mısır'da olsa da, Afrika'daki sulak alanlarındaki istilası ancak 1980'lerde fark edilmiştir. Bitkinin yayılışını kontrol etmek adına bölgesel düzeyde yasaklar konya da Afrika'da birçok sulak alanda yayılış göstermeye devam etmiştir. Avrupa'ya 1930'larda Portekiz'den getirildiği ve o dönemden bu tarafa sulama kanalları aracılığıyla ülkenin orta batısına yayıldığı düşünülmektedir. İlk kez 1989 yılında, İspanya'da kayıtlara geçmiştir. Rusya'nın başkenti Moskova'da kayıtlara geçmiş olmasına rağmen, gelişim gösterememiştir. Dağılımı şu anda esas olarak pantropikaldır, ancak aynı zamanda Akdeniz Havzası'nın yanı sıra, dünyanın sıcak ılıman bölgelerinde de görülmektedir [3]. Ülkemizde ise, Asi Nehri'nde kayıtlara geçmiş ve son yıllarda oldukça geniş yayılım göstermiştir (Şekil 1).

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile istilacı türler, ülkemizde hem karasal ekosistemlerde hem de sulcul sistemlerde artış göstermektedir. Yabancı türlerin bu istilaları, yerli ekosistemlerde büyük sorunlara sebep olmaktadır. Bu nedenle ülkemizde, 11. Kalkınma Planında istilacı türlerle mücadele eylem planlarının geliştirilmesi yer almış ve bu konuda tüm ekosistemlerde çalışmalara öncelik verilmiştir. *E. crassipes* bir tatlı su ekosistemine girdikten sonra, sulcul sistemlerin bakım işlemlerinde, olta balıkçılığı sırasında olta takımlarıyla, teknelerin halatları, motor veya teknelerin diğer kısımlarıyla ve drenaj

sistemleri ile insanlar tarafından farklı sulak alanlara farkında olmadan taşınabilmektedir. Mekanik su yolu bakımı sırasında yapılan uygulamalar, bitkilerin kesilmesiyle parçaları yayma eğilimindedir [3]. Su Sümbülü çok agresif bir istilacı olup, su yüzeyinde kalın tabakalar oluşturarak sulcul sistemlerin tüm yüzeyini kaplamakta, suda çözülmüş oksijenin tükenmesine ve balık ölümlerine neden olabilmektedir [5]. Çok hızlı gelişim ve yayılma yeteneğine sahip olan Su Sümbülü, su kanallarının tıkanmasına sebep olmakta ve dünyanın en zararlı su bitkisi olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda görsel olarak kirliliğe neden olurken, koku oluşumuna da sebep olabilmektedir. Bu sebeplerle, üremesi kontrol altında tutulması gereken bir istilacı tür olduğu ifade edilmektedir. Avustralya'da 1994 yılında, Moree civarında baraj, nehir, göl ve su kanallarında oldukça fazla zararlara neden olmuş ve yayılışının kontrol edilebilmesi adına yapılan harcamalardan dolayı, büyük ekonomik kayıplara sebep olmuştur [6]. Su Sümbülünün sulcul sistemlerde varlığı, insanlar ve suda yaşayan canlılar için sorunlar yaratmaktadır. Bitki tamamen su yüzeylerini kapladığı için, güneş ışınlarının tabana ulaşmasına engel olduğundan, diğer bitkisel ve hayvansal organizmalar için sorunlar oluşturmaktadır [7].



Şekil 1. A. Su Sümbülü (*E. crassipes*)'nün Asi Nehri'nde gelişimi [4].

Bir hektar Su Sümbülü, toplam ıslak ağırlığı üç yüz tonun üzerinde olan, iki milyondan fazla ayrı bitki içerebildiğinden ve oluşan bu biyokütle, Su Sümbülünün kullanımı konusunda araştırmaları teşvik etmiştir [8, 9, 10]. Su Sümbülünün olumlu özellikleri; bol miktarda bulunması, ekime, yabancı ot temizliğine, gübrelemeye ihtiyaç duymadan kolayca büyümesi, herhangi bir tarım arazisine ihtiyaç duymaması ve yetiştiricilikte hiçbir maliyeti olmaması nedeniyle caziptir. Aynı zamanda, hasat edilmesi çevresel kirliliğin önlenmesi anlamını da taşımaktadır. Bu bitkinin yaprakları, protein bakımından patates ve yonca kadar zengin olmasının yanında, yüksek potasyum konsantrasyonuna sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı, sadece hayvanlar için besin kaynağı durumunda olmayıp aynı zamanda insanlar açısından da besin kaynağı durumundadır. Yaprakların, çiçeklerin ve yaprak saplarının Java, Filipinler ve Formosa'da sebze olarak kullanıldığı, Tayland'da çorbalara sap ve yapraklarının eklendiği belirtilmektedir [5]. Besin değeri yüksek, nitrojen, potasyum ve fosfat içermektedir [1]. Su Sümbülü, makro besinler açısından

zengin ılık sularda en iyi şekilde yetişen bir heliofit bitki olup, büyümesi için optimum pH değeri nötrdür. Ancak, 4 ila 10 arasındaki pH değerlerinde de gelişim gösterebildiğinden, farklı türden atıksuların arıtılmasında kullanılabilir [5, 11, 61]. Su Sümbülü, bol miktarda bulunan ve çevre dostu doğal lif kaynaklarından biri durumundadır [1].

Bunların yanında Su Sümbülü, istila ettiği sucul sistemlerde ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Stolonları ile vejetatif olarak aşırı şekilde çoğalan bu bitki, Türkiye'ye süs bitkisi olarak sokulmuş fakat doğal koşullarda gelişim göstermediği ifade edilmiştir [2]. Ancak, ilk olarak Hatay ilinde Asi Nehri'nde 2010 yılında kayıtlara girmiş ve nehirde büyük sorunlar oluşmasına sebebiyet vermiştir. Asi Nehri'nde yayılımını sürdüren bitki, daha sonraki dönemlerde diğer sucul sistemlere de yayılabilme potansiyeline sahiptir. Bu sebeple, kontrol altına alınması zorunludur. Bitkinin yayılımı kontrol edilemezse, tüm sucul sistemler etkilenecek ve ekosistemlerde bozulmalar ortaya çıkacaktır. Sucul ekosistemlerde sivrisineklerin üremesine uygun ortam oluşmasına, salyangoz ateşi ve yeni hastalıkların ortaya çıkmasına imkan sağlamaktadır. Fiziksel bir dengesizlik yaratır ve insan yapımı rezervuarların tüm mekanik, fiziksel özelliklerini değişime uğratabilecek potansiyele sahiptir [12].

Gelişmekte olan ülkelerin sera gazı azaltımı ve karbon nötr hedefiyle, biyo-tabanlı bir ekonomiye ve sürdürülebilir kalkınmaya doğru kayma girişimleri, doğal lif pazarı için yüksek bir perspektif sunmaktadır. Bitkilerden elde edilen doğal lifler, bitki türlerine göre farklılık göstermekte, bitkiye göre kök, gövde, yaprak ve dal kısımlarından elde edilebilmektedir. Genel olarak, mısır kabuğu lifi, muz sapı lifi, sisal lifi gibi kuru bölgelerde yetişen bitkilerden elde edilen doğal lifler, *E. crassipes* ve deniz yosunu gibi ıslak veya sulak alanlarda yetişen bitkilerden farklı özelliklere sahiptir. Doğal liflerin özelliklerinin belirlenmesinde habitat, kimyasal içerik ve çevresel değişimler rol oynamaktadır. Doğal liflerin potansiyeli bol, çevre dostu ve en iyi özellikleriyle ucuz olup, kompozit malzemelerde sentetik veya inorganik lif ikame ürünlerine dönüştürülmek üzere geliştirilmeleri oldukça muhtemeldir [1]. Çevre koşullarının olumsuz etkisini azaltmak için araştırmacılar, artık sentetik liflere kıyasla takviye malzemesi olarak, doğal liflere odaklanmaktadır. Doğal lifler bol miktarda bulunurken, özellikle su bitkilerinden elde edilen lifler açısından, bitkilerin kolay büyümeleri avantaj sağlamaktadır. En hızlı büyüyen karakteristik su bitkilerinden biri de, Su Sümbülüdür. Bu bitki, birkaç gün içinde su yüzeyinin tamamını kolaylıkla kaplayabilmektedir. Su kaynakları ve yerel halk açısından olumsuz durum yarattıkları için, Su Sümbülü istenmeyen bitki durumundadır. Hızlı büyüme özellikleri ve kalın keçeleri nedeniyle, büyük miktarda hızlı büyüyen bu bitkinin doğal lifleri, henüz ticari ürünlerde kullanılmamaktadır [12].

Türkiye'de, günümüzde çok yaygın olmasa da yayılım gösterdiği Asi Nehri'nde çevre sorunlarına neden olurken, aynı zamanda lif elde edilmesi açısından bir kaynak oluşturmaktadır. Eğer lif üretimi yapılırsa hem ekonomik kazanç sağlanmış hem de çevre kirliliği önlenmiş olacaktır. Bu nedenlerle bu konu, her yönüyle

araştırılmalıdır. Tüm bu ifade edilenlerin yanında Su Sümbülü (*E. crassipes*), Türkiye ve bölge açısından tehdit oluşturmaktadır. Başta Akdeniz ve GAP bölgesindeki su kaynakları olmak üzere, ülkemizin sucul habitatları için potansiyel tehdit durumundadır. Su Sümbülünün toleranslı bir tür olması, yüksek çoğalma hızına sahip olması ve mücadelesi açısından zorlukların olması yönleriyle, yayılımı oldukça yüksektir. Su Sümbülünün hızlı bir yayılım gösterebileceği, antropojenik etkilerle taşınabileceği göz önüne alınırsa, yayılım göstereceği alanlarda hem ekonomik açıdan hem de biyolojik çeşitlilik ve ekosistemler açısından ciddi tehdit unsuru durumundadır [13]. Bu nedenlerden dolayı bu makalede, Su Sümbülü bitkisinin tekstil endüstrisi ve diğer kullanım alanları irdelenmiş, ekonomiye kazandırılması ile ilgili çalışmalar derlenmiş ve gelecek çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır.

1.1. Su Sümbülü (*E. crassipes*) Bitkisinin Biyoloji ve Morfolojisi

E. crassipes, sürüngen gövdeli, yapraklarının kenarları düz, yaprak sapları silindirik ya da şişkin, leylak renkli büyük çiçekleri bulunan başakları (Şekil 2) ile göze çarpan bir bitkidir [2]. *E. crassipes*, genellikle su yüzeyinde yüzer durumda olan ve bazen toprakta kök salan, sucul bir bitki türüdür. Yüksekliği yaklaşık 0,4-0,8 metre civarındadır. Yapraklar tek ve oval olup, pürüzsüz ve yeşil yapraklara sahiptir. Sürgünler ve tohumlar olmak üzere, iki şekilde çoğalabilir [1, 12]. Bitkinin yaprakları ve çiçekleri, su yüzeyinden yukarıda bulunur ve bitki yüzer durumdadır (Şekil 2). Su Sümbülü 10-20 cm genişliğinde kalın ovat yapraklarıyla su yüzeyinin üzerinde bir metreye kadar yükselirken, yaprak ağırlığını haftada yaklaşık olarak %46 düzeyinde arttırabilir. Yaprak sapları uzun, süngerimsi ve boğumlu, kökleri siyah-mor renkte olup, gösterişli çiçekleri ortada sarı desenli, soluk mavi veya mordur [14]. Vejetasyon bölgesinde metrekaresine 400-3400 arasında tohum düşmektedir. Her bir kapsül içerisinde yaklaşık olarak 40-300 arasında bulunan tohumların dormansi gösterdikleri ve oldukça uzun sürelerde, yaklaşık 20 yıl kadar canlı kalabildikleri ifade edilmektedir [12, 14].

Su Sümbülü bitkisinin büyüme aralığında, sıcaklığın etkisi de çok önemli bir rol oynamaktadır. Su Sümbülü bitkisinin minimum büyüme sıcaklığı 12°C'iken, optimum büyüme sıcaklığının 25–30°C olduğu belirtilmiştir. Su Sümbülünün maksimum büyüme sıcaklığı ise 33–35 °C aralığındadır [12]. Su sıcaklıkları 10°C'nin altına düştüğünde büyüme durur ve 34°C'nin üzerinde yavaşlar [15]. Bu stres zamanlarında gövdede depolanan karbonhidratlar, enerji rezervi olarak kullanılır [16]. Sıcaklık değerlerinin 5°C'nin altına düştüğü uzun süreli soğuk şartları bitkilerin ölümüne neden olurken, Su Sümbülünün yüksek enlemlerdeki dağılımını sınırlandırır [15, 16]. Yüksek sıcaklık değerlerinde sümbül yaprakları ve sapları, buharlaşma ve yüksek güneş ışığı nedeniyle su moleküllerini kaybeder. Bitki büyümesi sıcaklık artışıyla durur ve kurak alanların çoğunda bu durumla karşılaşmaktadır [12].

Su Sümbülü, en uygun gelişme şartlarında günlük 7,4-22 gr/m² organik madde üretebilir. Bitkinin miktarının iki katına çıkma süresi 5-15 gün olduğu belirtilmektedir [2]. Büyüme oranları besin elverişliliğine bağlı olarak değişir [2, 15]. Su Sümbülünün

yaklaşık %95'i sudur [15] ve biyokütle yaşa, boyuta, besin maddelerine ve bitki yoğunluğuna bağlı olarak değişim gösterir. Saha çalışmalarında kuru ağırlık tahminleri 0,63 ila 3,46 kg/m² arasında değişim göstermiş ve ortalama 2,116 kg/m², yani 6,3 ila 35 ton/ha, ortalama 21 ton/ha düzeyindedir [15]. Florida'da ötrofik bir gölde yapılan çalışmada 23 ila 25 ton/ha olduğu ifade edilmiştir [8]. Gelişimi için en uygun koşullar, 11-18 günlük bir zaman aralığına gereksinim duymaktadır. Hızlı büyüme nedeniyle bu bitkiler, büyük bir selülozik malzeme kaynağı olarak oldukça önemlidir [1].

1.2. Su Sümbülü Lifinin Elde Edilmesi

Su Sümbülü su içeriğinin, çok yüksek (%90 ve üzeri) bir orana sahip olduğu belirtilmektedir [15, 18, 19, 20]. Bu yüksek değer, esas olarak Su Sümbülünün hücre duvarlarındaki gözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Diğer bazı bitkilerle karşılaştırıldığında, Su Sümbülünün sucül bir bitki olması

nedeniyle, su içeriği sisal (*Agave sisalana*) (%10) ve Hindistan cevizi lifinden (%8,79) çok daha yüksektir [20]. *E. crassipes*'in çok fazla selüloz lifi içerdiği, elastik olduğu [1, 21, 22, 23, 24] ve lifin, bitkinin saplarından elde edildiği belirtilmektedir [1]. Yapraklardan ve köklerden ayrılmış Su Sümbülü sapları, Şekil 3'de gösterilmiştir.

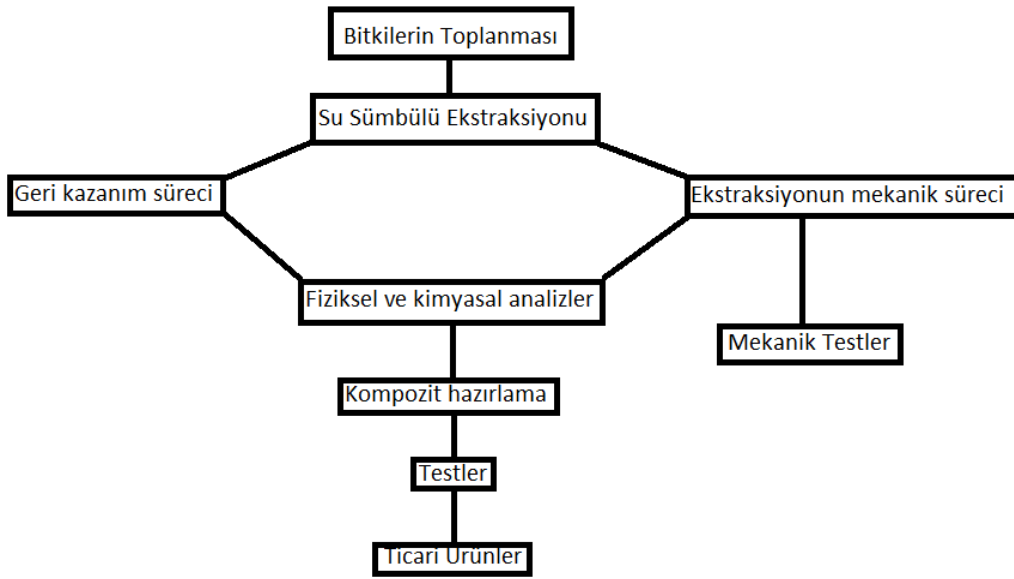
Uzun kesitli lifler çokgen şekilli grupta, lif demetleri ve kesitleri halindedir. Bitkinin sapları, lif elde etmek için uzunlamasına dilimlenmekte ve daha sonra, birkaç gün kurutulmaya bırakılmaktadır [6, 18, 19, 25]. Su Sümbülünden lif ekstraksiyonu için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında; mekanik, sıcak ve kaynar su ile, çürütme işlemiyle, manuel, normal su ile ve kimyasal işlemlerle ekstraksiyon dahil olmak üzere, çeşitli yöntemler yer almaktadır. Toplanan lifler suyla yıkanır ve lif demetleri yapılır [25]. Su Sümbülü lif kompozit metodolojisi, Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 2. A. Su Sümbülü (*E. crassipes*) genel görünüşü [1, 17].



Şekil 3. Su Sümbülü bitkisinin gövdesi (sapları), yapraklardan ayrılmış ve kurutulmuş saplar [1].



Şekil 4. Su Sümbülü lif kompozit metodolojisi [6].

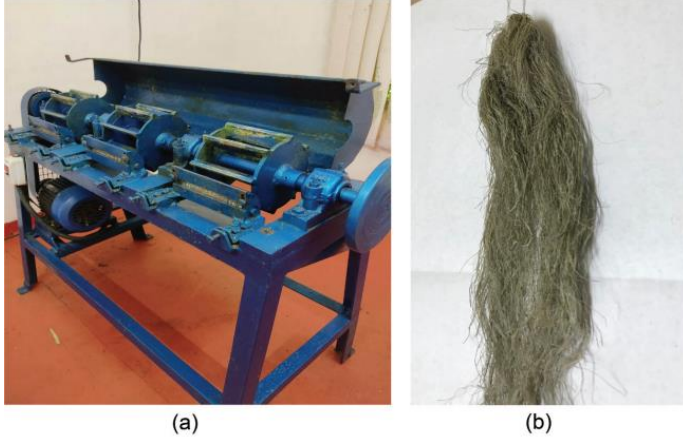
Lif çıkarma işlemlerine kısaca değinecek olursak; yapraklardan ayrılmış ve temizlenmiş saplar veya gövde parçalarından lif elde edilmesinde kullanılan geleneksel çürütme yöntemi ile, bitkilerden liflerin çoğunluğunun çıkarıldığı belirtilmektedir. Çürütme işlemi için, bitkinin sapsarı suda iki, üç hafta veya bir ay kalması yeterli görülmektedir. İşlem esnasında bağıl nemin %60'larda tutulması gerektiği belirtilirken, pH 6.2 seviyelerinde, çözünmüş oksijen düzeyinin 6,6 mg/L, iletkenliğin 0,23 mS/cm, toplam çözünmüş katı madde seviyesinin 0,5 ppt düzeyinde ve tuzluluk değerinin 0,04 ppt seviyesinde su kullanılması önerilmektedir. Manuel olarak lif çıkarma işleminde, saplar güneş altında düzgünce kurutulduktan sonra bitki sapsarı, kesici çelik taraklardan geçirilir ve lifler, sapsarıdan elle çıkartılır [25]. Daha önceki araştırmalarda, Su Sümbülü bitkisi ve diğer doğal liflere yönelik çalışmalarda, sadece çürütme işlemi ve manuel yöntemler kullanılmıştır. Bunun yanında bazı araştırmacılar, günümüzde bitki ekstraksiyonu için çürütme işlemi kullanmış, ardından tek tip lif ekstraksiyonu için kurutma ve taramayı tercih etmişlerdir [1].

Yukarıda verilen lif çıkarma metotları haricinde kullanılan yöntemlerden bir diğeri de kaynar su kullanılarak lif elde etme yöntemidir. Su, yirmi dakika kaynatıldıktan sonra bitki sapsarı suya yerleştirilir ve iki saat suda bekletilir. Daha sonra, fırında 48 saat kurumaya bırakılır. Fırınlama işleminden sonra sapsarı, 90-100 °C sıcaklıktaki su ile muamele edilerek lif çıkarma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde, her bir kg Su Sümbülü sapsarı için 10 lt su kullanıldığı belirtilmektedir [25]. Gao vd., (2013), yaptıkları çalışmada, kaynar suyla lif ayırma işlemi, LDRD 0.4–2.5 model elektrikli kazan ile kaynatma yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Kaynatma yöntemiyle sapsarı lif üretim sürecinin, yedi adımdan oluştuğunu belirten araştırmacılar, bu işlemlerin sırasıyla; sapsarı ayırma, sıkma, kaynatma, yıkama, kırma, kurutma ve lifleri

ayırma olarak ifade etmişlerdir. Hızlı ve kolay bir elyaf üretim prosesi olduğu ifade edilen yöntemde, 18 Bar buhar basıncı, 209°C sıcaklık ve 5 dakika boyunca 150 gr materyalin işleme tabi tutulup kurutulduktan sonra, liflerin elde edildiği belirtilmektedir. Bu yöntemin, lignini bitki yüzeyinden ayırmak için doğru işlem olduğu, ancak işlem sonunda sert ve opak liflerin üretildiği ifade edilmektedir [26]

Mekanik lif çıkarma yönteminde ise, yapraklardan temizlenen bitki sapsarı lif çıkarma makinesinden geçirilerek lifler elde edilmektedir. Ajithram vd. (2022) yaptıkları çalışmada, yeni bir mekanik çıkarma yöntemi uyguladıklarını, yeniliğin ise yeni makineden kaynaklandığını belirtmişlerdir [12]. Bu mekanik lif çıkarma yöntemi ile lif miktarının arttığı ve atık miktarının %80 düzeyinde azaltıldığı ifade edilmektedir. Bu makine kullanıldığında, lifin orijinal uzunlukta bitki sapsarıdan çıkarılabildiği ve %80 düzeyinde verim alındığı belirtilmiştir. Chonsakorn vd. (2019) ise, mekanik çıkarma işlemi için yarı otomatik bir mekanik çıkarma makinesi kullanmış ve lif çıkarma işleminin beş adımlı bir süreçten geçtiğini belirtmiştir. Bu işlemlerin; sapsarı makineye yerleştirme, lif toplama, lif sıkma, lif temizleme ve lif kurutma olduğu ifade edilmiştir [22]. Thangiah vd. (2022)'de yeni ve farklı bir ekstraksiyon makinesi kullanarak orijinal lif uzunluğu elde ettiklerini ifade etmiştir [25]. Mekanik lif çıkarma işleminde, bitki sapsarı makine içerisine düzgün şekilde yerleştirildikten sonra makinenin çalıştırıldığı, dakikada 720 devirde dönmesi sağlandığı ve liflerin çıkartıldığı belirtilmektedir. Sonrasında lifler, 35°C sıcaklığı aşmamak şartıyla, iki veya üç hafta doğrudan güneşte tamamen kurutulmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere yapılan çalışmalarda, mekanik lif çıkarma işleminde farklı makineler geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Kullanılan makinelerden elde edilen sonuçların, diğer yöntemlerden daha iyi olduğu

belirtilmektedir. Sneha vd. (2023) tarafından kullanılan mekanik lif çıkarma makinesine bir örnek ve çıkarılan lif, Şekil 5'te gösterilmiştir.

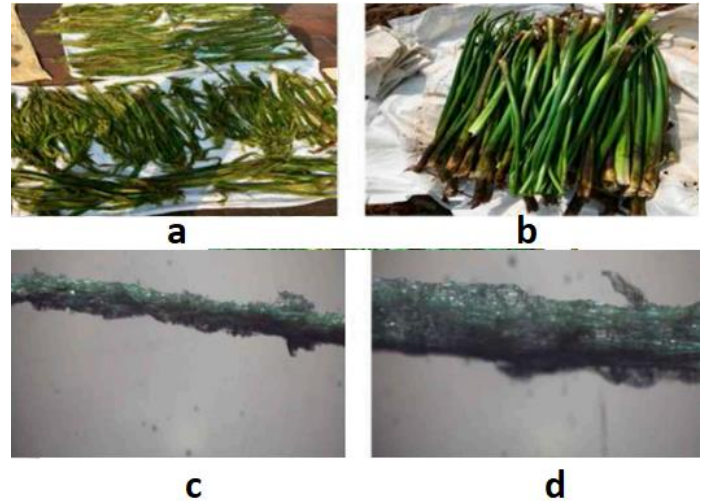


Şekil 5. (a) Su sümbülü lifi çıkarma makinesi, (b) Su sümbülü lifi [27]

Thangiah vd. (2022), kimyasal yöntemlerle lif elde edilmesinde; sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullandığı çalışmada, lif ve NaOH çözeltisi karışım oranının 50:1 oranında ve kaynar su ile muamele edilmesiyle lif elde edildiğini ifade etmektedir [25]. Sari vd. (2023)'ne göre ise; lif ekstraksiyonu için bitki sapları, %15-%25'lik NaOH çözeltisinin kaynar suya dökülmesiyle ekstrakte edilmektedir. Daha sonra saplar, 5 dakika süreyle çözelti içerisine konulmaktadır [1]. Başka bir yöntemde, 3 saat civarında NaOH ve sabundan oluşan çözeltiyle muamele edilerek lif çıkarma işleminin yapıldığı belirtilmiştir [20]. NaOH çözeltisini kullanarak lif ekstraksiyonu yapılan birçok çalışma mevcuttur [20, 21, 28, 29, 30]. Su Sümbülü sap örnekleri, ekstrakte edilmiş lif örnekleri ve optik mikroskop görüntüleri Şekil 6'de gösterilmiştir.

Chonsakorn vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada ise liflerin elde edilmesinde mekanik, kimyasal, mekanik ve kimyasal, kaynatma, doğal alkali ve çürütme metotları kullanılmıştır. Lifleri

elde etmek için, sapın dış kabuğunun sürekli olarak kazındığı belirtilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi, lif çıkarma işleminde kaynatma yöntemi en yüksek çekme mukavemetini (115,26 gf/den) verirken, bunu kimyasal ekstraksiyon yöntemi (112,76 gf/den) takip etmiştir. Bu sonuçları, mekanik ekstraksiyon için 109,14 gf/den ve mekanik ve kimyasal ekstraksiyon için 58,62 gf/den izlemektedir. Mekanik ekstraksiyon uzaması ortalama %7,72 olarak gerçekleşirken, bunu mekanik ve kimyasal ekstraksiyon yöntemi izlemiştir. Mekanik lif çıkarma yöntemi en yüksek uzamayı sağlarken, kimyasal çıkarma yöntemi eşit bir doku üretmekte ve en yüksek lif bölünmesi sayısına sahip olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle, bu iki yöntemin diğer yaklaşımlardan üstün olduğu ve gelecekte bitkilerden elde edilen doğal liflerin kalitesini iyileştirmek için benimsenebileceği ifade edilmektedir (22). Farklı ekstraksiyon yöntemlerine göre gerilme mukavemeti karşılaştırması Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 6. (a) Ekstrakte edilmiş lif, (b) sap, (c ve d) lifin optik mikroskop görüntüsü [12].

Tablo 1. Su Sümbülü lifinin farklı ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak gerilme mukavemetinin karşılaştırılması [22].

Ekstraksiyon yöntemleri	Çekme dayanımı (gram-kuvvet/denye)	Standart Sapma	Varyasyon katsayısı	Uzama (%)	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
Mekanik ekstraksiyon	108,62	70,99	121,11	7,72	5,98	77,48
Kimyasal ekstraksiyon	112,76	72,51	64,30	3,07	1,28	41,88
Mekanik ve kimyasal ekstraksiyon	109,14	66,19	60,65	6,33	6,39	100,96
Doğal alkali ekstraksiyonu	110,14	72,12	58,63	5,89	5,30	89,28
Islatma ekstraksiyonu	109,54	68,20	59,32	6,65	6,10	94,49
Sıcak su ekstraksiyon	115,26	58,51	50,76	2,51	0,96	38,38

Bu sonuçların yanında Thangiah vd. (2022)'nin yaptığı çalışmada da, mekanik yöntemin en iyi sonucu verdiği belirtilmektedir [25]. Lif çıkarma işleminde kullanılan makinenin tek düze lifler ürettiği ve diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu belirtilmiştir. Bunun

yanında, kimyasal yöntemlerin de mekanik yöntemlere yakın değerlere ulaştığı, fakat kimyasal yöntemin çevre ve insanlar açısından tehdit oluşturabileceği vurgulanmaktadır. Manuel lif eldesi ve kaynar su ile muamele yöntemi ile karşılaştırıldığında,

geleneksel manuel lif sonuçları, mekanik lif çıkarma yöntemine göre son derece zayıf olduğu tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık nedeniyle, elyaf yüzeyi sıcak su kaynatma çıkarma yönteminden rastgele etkilenirken, manuel lif eldesi oldukça basittir, ancak mekanik bir yöntemden daha az verimlidir ve az sayıda lifi dönüştürmek uzun zaman almaktadır.

Tüm lif çıkarma işlemleri birbiriyle karşılaştırıldığında, mekanik hareketi içeren çıkarma işlemi daha idealdir ve tekdüze olan yüksek lif verimleriyle sonuçlandığı vurgulanmaktadır. Su Sümbülü bitkisinin mekanik ekstraksiyon ile saplarından elde edilen lif ve lif kesitleri Şekil 7'de gösterilmiştir [22].

E. crassipes lifi, pamuk ve diğer doğal selüloz liflerinden daha fazla su emiciliğe sahiptir [31]. Su Sümbülünün su emme oranının, NaOH çözeltisi ile muamele için %1803,77 ile en yüksek değere sahip olduğu ifade edilmektedir. Sabun çözeltisiyle işlendikten sonra Su Sümbülünün, %1622,73 oranında su emme özelliğine sahip olduğu, suya batırılmış Su Sümbülünde ise en düşük su emme değeri %672,92 olduğu belirtilmektedir. Böylece NaOH çözeltisi ile muamele, suya göre 2,68 kat, sabun çözeltisine göre ise 1,11 kat daha fazla su absorbe etme kabiliyetine sahip

olduğu belirtilmektedir [20]. Punitha vd., (2015) yaptıkları çalışmada, kimyasal işlenmiş Su Sümbülü liflerini su emiciliği yönünden değerlendirmiştir. Örnekleri bir dakika suda beklettikten sonra, tartım yoluyla lifin emiciliği hesaplanmıştır. Tablo 2'de gösterildiği üzere Su Sümbülü lifi su, NaOH, sabun ve suda sabun + NaOH ile ve kaynar suda muamele edilmiştir. Bu işlemler arasında, suda NaOH ile muamele edilen lif (b) diğer tüm işlemlerden daha iyi emicilik sağladığı tespit edilmiştir. Lifin emiciliğinin, normal suda sabunla muamele edilen örnekler (c) ile yalnızca kaynamış suda muamele edilen lif (e) arasında eşit derecede olduğu ifade edilmektedir. Su emilimi açısından değerlendirildiğinde, kaynamış suyla birlikte NaOH (f) ve ayrıca Sabun + NaOH (h) ile muamele edilen liflerde olduğu gibi muameleden sonra azaldığı belirtilmektedir. Su Sümbülü lifinin, fibriller halinde düzenlendiği ve içi boş alana sahip olduğu belirtilmektedir. Lifin sıvı içeriğini tutma kapasitesine, ayrıca lifin iyi bir emiciliğe sahip olduğu ifade edilmektedir. Aşağıdaki tabloda, Su Sümbülü lifinin emiciliğinin b örneğinde mükemmel, c ve e örneğinde ise iyi olduğunu göstermekteyken, f ve h örnekleri, lifin emiciliğinin işlemten sonra azaldığını göstermektedir [7].



Şekil 7. Su Sümbülü lifi ekstraksiyonu; (a) gövdeden çıkarılan lif; (b) lif demetleri (mekanik ekstraksiyon); (c) bir lif demetinin x1000'deki kesiti ve (d) tek bir lifin x1500 büyütmedeki kesiti [22].

Tablo 2. Çeşitli ekstraksiyon metotları ile elde edilen Su Sümbülü lifleri ve emiciliği [7].

Kimyasal İşlenmiş Numuneler	İşlenmemiş Lif	İşlenmiş Su Sümbülü Lifi							
		Su				Kaynar su			
		Su	NaOH	Sabun	Sabun ve NaOH	Su	NaOH	Sabun	Sabun ve NaOH
Adlandırma	(0)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Su emilimi %	512	535,6	1103,2	829	537,45	838,4	334,7	623,9	424,9
Örnekler									

Bitkiler yetiştikleri coğrafik bölgelere, ekolojik şartlara göre farklı yapısal içerik ve morfolojik değişimler gösterebilmektedir. Bu sebeplerle, Su Sümbülünden liflerin çıkarılmasına yönelik kullanılan lif çıkarma metotları, Türkiye’de değerlendirilmeli ve yapılan uygulama sonuçları diğer çalışmalarla karşılaştırılarak en iyi lif ekstraksiyon metodu belirlenmeli ve geliştirilmelidir. Mekanik lif çıkarma çalışmalarında kullanılan makinelerin geliştirilmesi ve daha fazla verimli hale getirilmesi sağlanabilir.

1.3. Su Sümbülü (*E. crassipes*) Lifinin Özellikleri

Su Sümbülün gövde lifleri, halat yapımında kullanılmaktadır. Su Sümbülü lifinin selüloz içeriğinin miktarı, lifin mekanik mukavemetini, özellikle de çekme mukavemetini ve modülünü artırır. Ancak hemiselüloz miktarı, lifin çekme ve eğilme mukavemetini azaltır. Su Sümbülü, diğer doğal bitkisel liflerle karşılaştırıldığında, minimum miktarda (%0,35) vaks içerir. Bu Vaks içeriği, epoksi matris malzemesinin ve sümbül lif takviyesinin, bağlanma özelliğini artırır. Su Sümbülü lifinin, oda sıcaklığındaki yoğunluğunun 1,33 g/cc olması, Su Sümbülü bitkisinin hafif malzemeler ve ticari yonga levha uygulamaları için uygun olduğu, açıkça belirtilmektedir. Sümbül lifinin çapı, 0,3965 mm'dir. Su Sümbülü tek lifinin ortalama gerilme mukavemeti %28,94, maksimum sapma ile 26,43 N olduğu ifade edilmektedir [12].

1.4. Su Sümbülü Lifinin Fiziksel Özellikleri

Bhuvaneshwari ve Sangeetha (2016)'nin yaptığı çalışmada, Su Sümbülünün lif uzunluğunun 15–20 cm arasında değişim gösterdiği ve çapının 320 µm civarında olduğu ifade edilmektedir. Lifin çekme mukavemetinin ise, 45,5 gf–384 gf arasında değiştiği, ortalama çekme mukavemeti ise 212 gf olduğunu (Tablo 3) belirtilmiştir. Araştırmacıların bulgularına göre, ortalama uzaması %2,5 ve standart sapması %1,1 civarındadır. Nem geri kazanımı %17,64 ve nem içeriği %15 düzeyindedir. *E. crassipes* lifi, lifin en az hacimli olduğunu gösteren 7 tex inceliğine sahiptir. Jakubowska vd. (2012)'ne göre, mekanik ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen ham Su Sümbülünün fiziksel özellikleri, 30-50 cm uzunluğunda ve 50 µm çapında olduğu belirlenmiştir (30). Her iki araştırma arasında, ihmal edilemeyecek düzeyde

farklılıklar mevcut olduğu görülmektedir. Su Sümbülü lifinin mukavemeti ve uzaması, Hindistan cevizi lifi ile yakındır. Ekstraksiyonla elde edilen liflerin, 15 - %17,64 nem içeriğine, 7 tex (en küçük lif) inceliğine sahip olduğu belirtilmektedir. Su sümbülü liflerinin yoğunluğu, ortama olarak 0,25 g/cm³'tür. Bu değer, şeker kamışı lifi (0,36 g/cm³) ve Hindistan cevizi (1,36 g/cm³) lifinden daha düşüktür. Ayrıca, bu lifin çekme mukavemeti %2,5 ± %1,1 uzama ile 45,5 gf - 384 gf aralığında bulunmuştur [31].

Tablo 3. Su Sümbülü lifinin mekanik özellikleri [1, 31].

Mekanik Profiller	Su Sümbülü lifi değerleri
Tek lif uzunluğu	15-20 cm
Tek lif çapı	320 µm
Gerilme direnci	212 gf
Lif uzaması	%2,5
Nem geri kazanımı	%17,65
Nem içeriği	%15
Lif inceliği	7 tex
Yoğunluk [1]	0,25 g/cm ³

Su sümbülü lifleri üzerinde yapılan sertlik ve mukavemet testleri diğer doğal liflerin çekme özellikleriyle (Tablo 4) tutarlılık göstermiştir. Ayrıca lif çapının azalmasıyla birlikte mukavemette belirgin bir artış olduğu ve kurutulmuş liflerin çok daha sert ve güçlü olduğu ifade edilmektedir [30].

Su sümbülü lifleri üzerine yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlardaki farklılıklar lif boyutlarındaki ölçüm hatalarına, bitki büyümesi, hasat veya soyma işlemi sırasında meydana gelen lif hatalarından kaynaklanabilmektedir. Aynı zamanda tel ruloları üzerine iletilen sapların gerilme modülü ve gerilme mukavemetindeki değişikliklerden de etkilenebilmekte olduğundan [30] Türkiye’de yapılacak çalışmalarda tüm bu değerlerin tekrardan test edilmesi gerekmektedir.

Tablo 4. Çeşitli doğal liflerin özellikleri [30].

	Lif Young modülü (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Kopma gerilimi (MPa)	Yoğunluk (g/cm ³)
Su Sümbülü	10,60	540	1,3	1,23-1,45
Abaka	12	400	3–10	1,5
Keten	27,6	345–1035	2,7–3,2	1,5
Jüt	26,5	393–773	1,5–1,8	1,3
Kenaf	53	930	1,6	—
Kenevir	70	690	1,6	1,48
Sisal	9,4–22	511–635	2–2,5	1,5
Rami	24,5	560	2,5	1,5

1.5. Su Sümbülü Lifinin Kimyasal Bileşimi

Bhuvaneshwari ve Sangeetha (2016)'ne göre Su Sümbülü lifi %63,75±0,24 selüloz, %12,33±0,08 hemiselüloz, %20,67±0,13, lignin, %2,62±0,05 kül ve %0,65±0,02 ekstraktif maddeler içermektedir [31]. Chonsakorn vd., (2019)'ne göre Su Sümbülü lifinin %52,63'ü lignoselüloz, %2,25'i lignin, %19,54'ü hemiselüloz ve %50,38'i selülozdan oluşmaktadır [22]. Ancak Gunnarsson ve Petersen (2007) yaptıkları çalışmada, kimyasal analizlerde %29,0 lignoselüloz, %33,4 hemiselüloz, %9,27 lignin ve %19,5 selüloz bulunduğu ifade edilmektedir [33]. Analiz sonuçlarından elde edilen değerler farklılık göstermektedir. Diğer bazı doğal bitki liflerinin kimyasal bileşimleriyle karşılaştırıldığında, jüt lifinin %12-13 lignin, %13,6-20,4 hemiselüloz ve %61-71,5 selüloz içeren bir selüloz lifi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca sisal lifi %8,0-11,0 lignin, %10,0-14,2 hemiselüloz ve %67-78 selülozdan oluşmaktadır [22]. Wembe vd. (2023)'nin yaptığı çalışmaya göre ise, Su Sümbülü lifinin selüloz içeriğinin %68,4 olduğu ve bunun muz veya sisal liflerinden daha yüksek olduğu görülmektedir [30]. Ayrıca, bu içeriğe göre liflerin tekstil, kağıt ve kompozitlerde mükemmel kullanımlara sahip olabileceği vurgulanmaktadır. Ancak, sıradan liflerle karşılaştırıldığında, Tablo 5'de gösterildiği gibi, %11,3'lük hemiselüloz konsantrasyonu daha düşüktür. Bunun nedeni, yapısında serbest hidroksil grupları bulunduğu için suyun emilmesini engelleyen, zayıf hidrofilik karakteridir. Lignin yüzdesi (%7,2), muz ve sisal lifleriyle benzerliğe sahiptir (Tablo 5). Yapılan araştırmalara göre, düşük lignin ve yüksek hemiselüloz içeriği, çürütme süresiyle birlikte artmaktadır. Çürütme işleminden sonra geride kalan önemli miktarda pektin (%4,8) ve hemiselüloz nedeniyle, Su Sümbülü liflerinin sertliği ve mukavemeti önemli ölçüde azalır. Bambu ile karşılaştırıldığında, Su Sümbülü lifleri daha düşük Vaks içeriğine (%0,6) sahiptir [30]. Ajithram vd. (2022)'nin yaptığı çalışmanın sonuçlarına göre, diğer doğal bitkisel liflerle karşılaştırıldığında, su sümbülü minimum miktarda Vaks içeriğine (%0,24) sahiptir.

Görüldüğü üzere yapılan çalışmalarda, kimyasal özellikler yönünden farklılıklar bulunmaktadır. Bu sebeple, Türkiye'de yapılacak olan çalışmalarda, kimyasal özellikler tekrar incelenmeli ve analizler yapılmalıdır. Farklılıkların, uygulanan yöntemler ve analizlerden de kaynaklanabileceği göz önünde tutulmalıdır. Yapılan çalışmalarda, farklılıklar olsa da Su Sümbülü lif özellikleri, elde edilen liflerin birçok alanda kullanılabilmesine imkan verebilecek düzeyde olduğu görülmektedir.

1.6. Su Sümbülü Lifinden Üretilen İplik ve Kumaşın Özellikleri

Yapılan çalışmalarda liflerin polyester stapellerle işlenmesiyle, başlangıçta %20-35 Su Sümbülü bileşenine sahip, karışımli iplikler üretilmiştir. Giysilere uygun; 15 Ne iplik numarası için 80/20 ve 65/35 polyester/Su Sümbülü lif karışımları geliştirilmiştir. Perde, döşeme, masa örtüsü, peçete, yatak örtüsü, yastık kılıfı gibi ev tekstilleri üretiminde, ideal olan 10-12 Ne iplik

numarasını elde etmek için, aynı polyester/Su Sümbülü lif karışımları kullanılmaktadır [1, 5]. Yapılan bir çalışmada da lif ıslak olduğunda, esneklik özelliğinin zayıf olduğu, iyi kalitede lif elde edebilmek için, pamuk lifi ile 50:50 oranında elle taranarak karıştırılması, ardından lifler hizalanana kadar bir makine kullanılarak, bir çıkırık ile iplik haline getirilmesi ve sonuç olarak, büyük iplik elde edilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Su Sümbülü, viskoz çözü ve Su Sümbülü ipliği atkısı için, küçük bir tekstil makinesinde pamuklu bir sargı ve güve otu lifi atkısı kullanılarak iplikte dokuma tezgahına konulabileceği belirtilmektedir [6]. Sirisoda (2024) tarafından yapılan çalışmada ise, çeşitli oranlarda Su Sümbülü ve pamuk karışımları sürdürülebilirlik, esneklik, yumuşaklık ve dayanıklılık açısından karşılaştırılmıştır [34]. Sürdürülebilirlik açısından tamamen Su Sümbülü lifinin kullanımı mükemmel sonuç verirken, oran %50'ye doğru düştüğünde azalma göstermektedir. Fakat 50:50 karışım oranında dahi dengeli bir sürdürülebilirlik ortaya koymaktadır. Bunların yanında esneklik ve yumuşaklık, 50:50 karışım oranında en iyi sonucu verdiği belirtilmektedir. Dayanıklılık açısından Su Sümbülü lif oranının %100 ve %80 olduğu durumlarda yüksek düzeyde belirlenmişken, 50:50 oranında iyi düzeye düştüğü (Tablo 6) ifade edilmektedir. Burada kullanılan sürdürülebilirlik derecesi, kumaş bileşiminin çevresel etkisini yansıtmaktadır. Mükemmel düzey, en çevre dostu kategoriye ifade ederken dengeli ifadesi, çevresel etki ile malzeme özellikleri arasında bir denge olduğunu belirtmektedir.

Chonsakorn vd., (2024)'nin yaptığı çalışmada, Su Sümbülü lifleri, polyester ve pamuğun 20:25:55 oranında kullanıldığı açık uçlu eğirme ve karıştırılmasıyla, lifler lamelli liflere dönüştürülmüştür. Daha sonra, katlanmış lifler (Şekil 8a), lifleri taramak için bir tarama makinesine sokulmuştur. Fitiller daha sonra Şekil 8b'de gösterildiği gibi, bir elyaf eğirme makinesine gitmekte ve bobinlere sarılmaktadır. Kahverengi iplikler, (Şekil 8d) Su Sümbülü ipliklerinin ayrıntılarıyla benzersiz bir fiziksel kimliğe sahip görüntü sergilemektedir [24].

Chonsakorn vd. (2024)'ün çalışmasının sonuçlarına göre (Tablo 7), iplik numara testi, düz dokuma ve dimi deseninin sırasıyla 16,3 Tex ve 15,9 Tex'te benzer sayıda çözgü ipliğine sahip olduğunu göstermektedir. İki kumaş arasındaki Su Sümbülü kompozitinden yapılmış atkı ipliği numaralar da sırasıyla, 28,8 Tex ve 29,1 Tex'te nispeten yakındır. Sonuçlar ayrıca, atkı ipliğinin çözgü ipliğinden nispeten daha büyük olduğunu, örme kumaşın ise her iki dokuma kumaş desenine benzer şekilde 30,1 Tex'lik bir iplik boyutuna sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Her iki iplik türünün de Kaewthep'in (1998) iplik boyutları sınıflandırmasına göre orta büyüklük sınıfına dahil olması oldukça dikkat çekicidir. Su Sümbülü kumaşlarının inç başına iplik sayısı, hem düz dokuma hem de dimi desenlerinin daha fazla çözgü ipliği içerdiğini göstermektedir. Çözgü ipliklerinde ise test sonuçları, dimi deseninin düz dokuma deseninden daha fazla atkı ipliğine sahip olduğunu göstermektedir. Örme kumaşın test sonuçları, inç başına 45 sıra ve inç başına 37 şerit göstermektedir. İnç başına daha az sayıda çözgü ve atkı ipliğinin, kumaşın daha pürüzlü dokusuyla ilişkilendirildiğini ortaya koymuştur. Çoğu kumaşta, çözgü ipliği

sayısı genellikle atkı ipliği sayısından daha fazladır, bir çözgü ipliği ise, atkı ipliğinden nispeten daha küçüktür. İnç başına çözgü ve atkı ipliği sayısı ne kadar düşükse, iplikler o kadar büyük olma eğilimindedir ve bu da kumaşın dokusunun rafine edilmemiş, iç

içe geçmiş iplikler sebebiyle, fiziksel olarak daha pürüzlü olmasına neden olmaktadır [24].

Tablo 5. Su Sümbülü liflerinin kimyasal bileşimi ve doğal liflerle karşılaştırılması (%) [12, 30].

Lif	Hemiselüloz	Selüloz	Lignin	Vaks içeriği
Su Sümbülü [30]	11,3	68,4	7,2	0,6
Su Sümbülü [23]	12,8	65,4	7,2	0,24
Su Sümbülü [33]	12,33±0,08	63,75±0,24	20,67±0,1	
Keten [30]	18,6-20,6	71	2,2	0,5
Jüt [30]	16	67	9	0,5
Jüt [29]	13,6-20,4	61-71,5	12-13	
Kenevir [30]	17,9-22,4	70-74	3-5,7	0,7
Sisal [30]	10-14	66-78	10-14	0,2
Sisal [29]	10,0-14,2	67-78	8,0-11,0	
Bambu [30]	20,5	34,5	26	0,4
<i>Furcraea foetida</i> [23]	11,46	68,35	12,32	0,24
<i>Sansevieria ehrenbergii</i> [23]	11,25	80	7,8	0,45
<i>Cordia dichotoma</i> [23]	23,6	59,7	14,7	
<i>Acacia arabica</i> [23]	9,36	68,10	16,86	0,49
<i>Perotis indica</i> [23]	15,7	68,4	8,35	0,32

Tablo 6. Çeşitli Su Sümbülü ve Pamuk Kompozisyonlarına Sahip Kumaş Özelliklerinin Gelişmiş Karşılaştırılması [34].

Kompozisyon	Su Sümbülü Lifi (SSL)	Pamuk (%)	Sürdürülebilirlik Derecesi (%)	Esneklik	Yumuşaklık	Dayanıklılık
%100 SSL	100	0	Mükemmel	Düşük	Düşük	Yüksek
%80 SSL	80	20	Çok iyi	Orta	Orta	Yüksek
%70 SSL	70	30	İyi	Yüksek	Yüksek	Orta
%60 SSL	60	40	Orta	Çok yüksek	Yüksek	Orta
%50 SSL	50	50	Dengeli	En iyi	En iyi	İyi



(a)



(b)



(c)



(d)

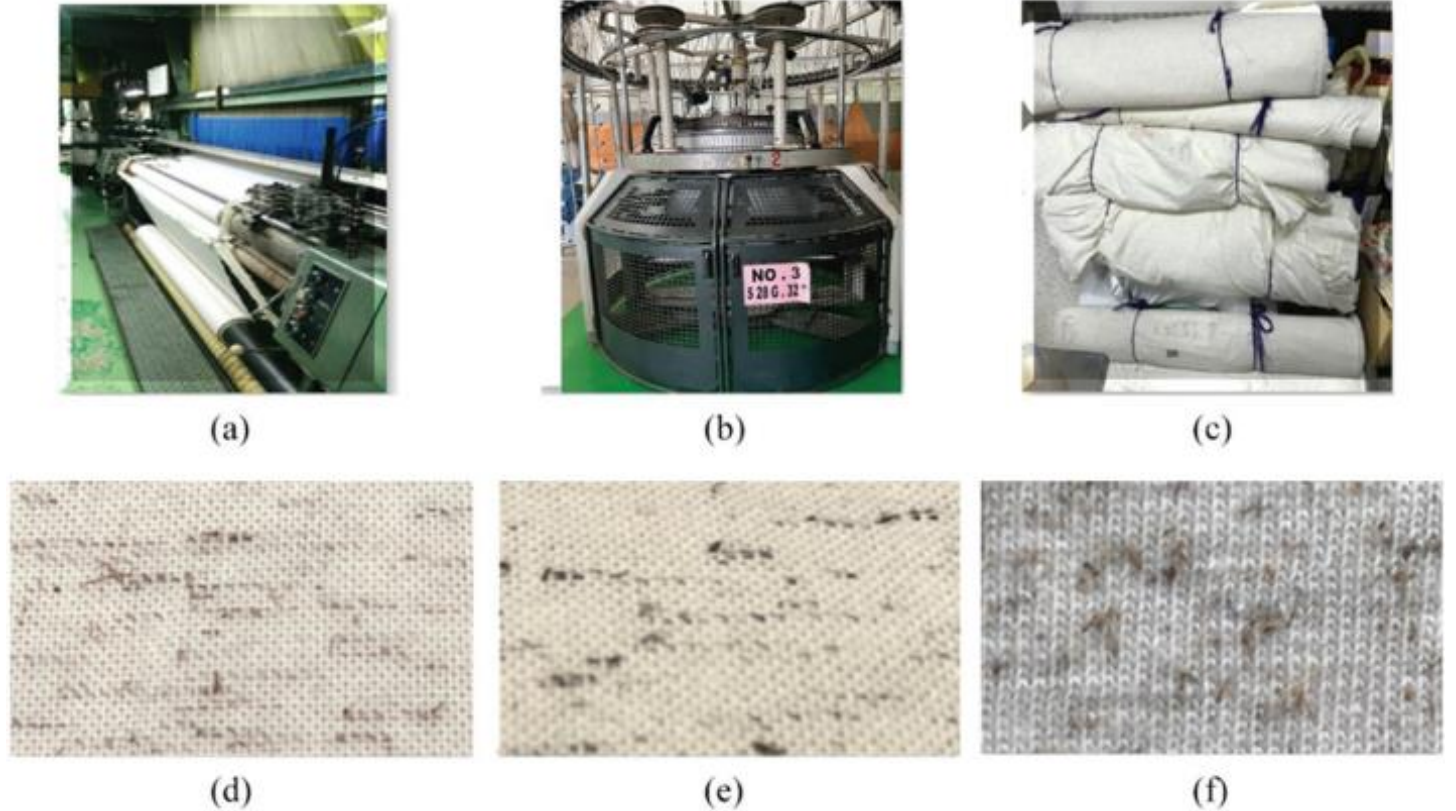
Şekil 8. Su Sümbülü iplik eğirme (a) lif düzenlemesi; (b) lif eğirme makinesi; (c) Su Sümbülü iplikleri ve lifleri; ve (d) Su Sümbülü ipliği [24].

Tablo 7. Su Sümbülü ipliğinin ve kumaşının fiziksel özellikleri [24].

İplik ve Kumaş Özellikleri	İplik numarası (Tex)	İnç başına düşen iplik sayısı (tpi)	Çekme mukavemeti (N/tex)	Yırtılma mukavemeti (gf)
Bezavağı kumaş				
Çözümlü iplikleri	16,3(16,3 'S)	110	370,0	3,310
Atkı iplikleri	28,8 (20,5 'S)	55	280,0	1,989
Dimi kumaş				
Çözümlü iplikleri	15,9 (37,1 'S)	106	410,0	1,949
Atkı iplikleri	29,1 (20,3 'S)	68	330,0	2,019
Örme kumaş				
Çubuk sayısı	30,1	37	-	-
Sıra sayısı	30,1	45	-	-

Chonsakorn vd. (2024)'nin çalışmasında, örme ve dokuma yapıları olmak üzere, iki tür kumaş oluşturulması amaçlanmıştır. Rapier tezgahı, %100 pamuk çözgü iplikleri ve Su Sümbülü kompozit atkı ipliklerinden dimi ve düz dokuma desenleri üretmek için bir araya getirilmektedir. Tek jarse kumaşın örme yapısı için araştırmada, Şekil 9'de gösterildiği gibi üretim için yuvarlak örgü makinesi kullanılmıştır. Şekil 9'de dokuma ve örme yapıların düz

dokuma kumaş ve dimi kumaş için desenlerin nasıl oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Hem örme hem de dokuma yapıdaki Su Sümbülü kumaşları, benzersiz bir görünümü, rahat ve yumuşak bir yüzeye bütünleştirmektedir. Oluşan kumaşlar sürdürülebilir tasarım ilkelerinin, çevre üzerinde minimum veya sıfır etkiyle tasarım yaklaşımına uyumludur [24].



Şekil 9. Tekstil Üretimindeki Makineler (a) dokuma makineleri (b) örme makineleri; (c) Su Sümbülü kumaş örnekleri; (d) Düz dokuma kumaş; (e) Dimi kumaş; ve (f) örme kumaş [24].

Düz dokuma desen yapısına sahip dokuma kumaş için (Şekil 9d) yapılan araştırma, çift ipliklerin çözgü ipliklerinin mukavemetini artırabileceğini ve çoğu dokuma kumaşın aksine, benzersiz bir desene sahip, her türlü giysiye uygun yumuşak ve esnek bir kumaş yaratabileceğini ortaya koymuştur. Twill deseninin yapısı (Şekil 9e), kumaşı diğer dokuma kumaşlardan ayıran benzersiz fiziksel özellikler ortaya koymaktadır. Kumaş modern görünümlü, yumuşak dokulu, oldukça esnektir ve mükemmel hava geçirgenlik kalitesine sahiptir. Kumaşın yapısı, çoğu dokuma kumaştan farklı fiziksel özelliklere sahip olacak şekilde üretilmiştir ve modern görünümlü detaylar, yumuşak ve oldukça esnek bir doku, mükemmel hava geçirgenlik kalitesi, düzgün, tutarlı yoğunluk ve dayanıklılık, onu pantolonlar için uygun bir malzeme haline getirdiği ifade edilmektedir. Su Sümbülü kumaşının (Şekil 9f), pürüzsüz bir dokuya ve tutarlı bir yoğunluğa sahip olduğu belirtilmektedir. Su Sümbülü kumaşlarının çekme kuvveti direnci açısından test sonuçları, hem düz dokuma hem de dimi desenlerinin, atkı ipliklerinden çekme kuvvetine daha dayanıklı olan çözgü iplikleri içerdiğini göstermektedir. Su Sümbülü kumaşları, çekme kuvvetine karşı daha yüksek bir dirence sahiptir ve bu da onları daha dayanıklı hale getirmektedir. Su Sümbülü kumaşlarının yırtılma direncinin test sonuçları, düz dokuma desenindeki çözgü ipliklerinin, atkı ipliklerinden daha fazla dayanıklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Dimi desenindeki atkı iplikleri, çözgü ipliklerinden daha fazla yırtılma direncine sahip olduğu ifade edilmektedir. Dimi desenine sahip çoğu kumaş, düz dokuma desenine sahip olanlardan yırtılmaya karşı daha dirençlidir. Su Sümbülü kumaşları, genel olarak yüksek yırtılma direncine sahiptir ve bu da onları fiziksel olarak daha dayanıklı hale getirmektedir [24]. Su Sümbülü kumaşlarının bazı fiziksel özellikleri (patlama mukavemeti direnci, ağırlık, kalınlık ve hava geçirgenliği), Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8'de, iplik sıklıklarını belirlemek için yapılan test, örme kumaşın metrekare başına 220 gr/m² ile en yüksek yoğunluğa sahip olduğunu göstermektedir. Bir sonraki en ağır kumaş, Z yönünde 2/1 dimi olan metrekare başına 157 gr/m² ağırlığında dimi kumaştır; düz dokuma desenli dokuma kumaşın ise, metrekare başına 143 gr/m² ile en hafif yoğunluğa sahip olduğu ifade edilmektedir. Bu sonuçlara göre, Su Sümbülü kumaşları orta ağırlıktaki kumaş kategorisine girerken, Kaewthep'in (1998), kumaş yoğunluğu sınıflandırmasıyla örtüştüğü ifade edilmektedir. Su Sümbülü kumaşlarının kalınlığına ilişkin test sonuçları, örme kumaşın en kalın (0,797 mm), düz dokuma deseninin ise dimi deseninden daha kalın olduğunu (sırasıyla 0,445 mm ve 0,427 mm) ortaya koymaktadır. Bu nedenle, örme kumaş çok kalın

olarak sınıflandırılabilirken, her iki örme kumaş deseni de orta-kalın kumaş kategorisindedir ve Kaewthep (1998)'in sınıflandırmasıyla örtüşmektedir. Su Sümbülü örme kumaşı, 689 kPa patlama mukavemeti ile yüksek patlama direncine sahip bir kumaş olarak sınıflandırılabilir. Düz dokuma deseni, dimi kumaşla karşılaştırıldığında daha yüksek bir hava geçirgenlik oranına sahiptir (sırasıyla saniyede 664,0 metrekare (1/m²/s) ve saniyede 531,9 metrekare (1/m²/s), örme deseni ise saniyede 259,7 metrekare (1/m²/s) ile en düşük hava geçirgenlik oranını göstermektedir. Bu sonuç, iyi hava geçirgenliğine sahip kumaş olarak sınıflandırılmasını sağlamaktadır [24].

Su Sümbülü ipliği, belirgin fiziksel özelliklere sahip ve kahverengidir. Su Sümbülü kumaşı için dokuma ve örme, iki tür yapı söz konusudur. Kumaşın düz dokuma deseni, atkı ipliklerinin yapısını güçlendirmek için kat ipliklerinin eklendiği, düz dokuma yöntemi ile oluşturulmaktadır. Dimi deseninin yapısı, yumuşak ve oldukça esnek bir doku, mükemmel hava geçirgenlik kalitesi, düzgün, tutarlı yoğunluk ve dayanıklılık gibi modern görünümlü detaylara ve benzersiz fiziksel özelliklere sahip bir kumaş oluşturmakta ve kumaşı, pantolonlar için ideal bir malzeme haline getirmektedir. İki yapı da kendine özgü fiziksel özelliklere sahiptir. Dolayısıyla kumaşları, daha iyi hava geçirebilen yumuşak ve oldukça esnek bir doku ve modern görünümlü detaylar diğer dokuma kumaşlardan ayırmaktadır. Örme kumaşın fiziksel özellikleri, yumuşak dokusu ve tutarlı iplik yoğunluğu ile öne çıkmaktadır. İplik arası boşluğun azalması ve daha yüksek iplik tüylülüğü, pamuk oranındaki artışla birlikte, hava ve su geçirgenlik değerlerinde bir azalmaya yol açtığı belirtilmektedir. İplik fiziksel özellik testi, çözgü ve atkı ipliklerinin benzer boyutlara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan test sonuçları ayrıca, kumaş ne kadar ağır ve kalın olursa, patlama direncinin o kadar iyi olacağını ve Su Sümbülü kumaşlarının, yüksek patlama mukavemetine sahip kumaş türü olarak kabul edildiğini göstermektedir. Düz dokuma desenine sahip dokunmuş bir kumaşın, en yüksek hava geçirgenliğine sahip kumaş türü olduğu ifade edilmektedir [24]. Sirisoda (2024) tarafından yapılan çalışmada, Su Sümbülü kumaşı ile pamuklu kumaş, keten kumaş ve kenevir kumaş kökeni, özellikleri, yaygın kullanımları, çekme mukavemeti ve uzama gibi yönlerini kapsayan bir karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 9'da, dört kumaş türü arasındaki farklılıkları ve benzerlikleri vurgulayan karşılaştırma verilmiştir. Karşılaştırılan yönleri açısından Su Sümbülü kumaşının, belirli özelliklerde diğer yaygın kumaşlardan farklılıklarını veya benzerliklerini anlamak mümkündür [34].

Tablo 8. Su Sümbülü kumaşlarının fiziksel özellikleri [24].

Kumaş Türü	Yoğunluk (g/m ²)	Kalınlık (mm)	Patlama Mukavemeti (kPa)	Hava Geçirgenliği (1/m ² /s)
Düz dokuma kumaş	143	0,445	-	664,0
Dimi kumaş	157 (2/1) Z yönü	0,427	-	531,9
Örme kumaş	220	0,797	689	259,7

Tablo 9. Su Sümbülü ve Diğer Kumaşların Karşılaştırılması [34].

Bitki Özellik	Su Sümbülü Kumaş	Pamuklu Kumaş	Keten Kumaş	Kenevir Kumaş
Köken	Su Sümbülü	Pamuk tohumları	Keten sapı	Kenevir sapı
Özellikler	Suya dayanıklı, UV koruması, hafif, İyi havalandırma, biyolojik olarak parçalanabilir	Suya dayanıklı, UV koruması, hafif, iyi havalandırma, iyodegradasyon	Suya dayanıklı, UV koruması, hafif, iyi havalandırma, biyolojik olarak parçalanabilir	Suya dayanıklı, UV koruması, hafif, iyi havalandırma, biyolojik olarak parçalanabilir
Yaygın Kullanımlar	Giyim, ev dekoru, mobilya, çantalar	Giyim, ev dekoru, mobilya, çantalar	Giyim, ev dekoru, mobilya, çantalar	Giyim, ev dekoru, mobilya, çantalar
Maksimum Çekme Gücü	200 N/mm ²	150 N/mm ²	100 N/mm ²	75 N/mm ²
Maksimum Uzama	% 10	% 5	% 2	% 1

Yapılan karşılaştırma sonuçları Su Sümbülü kumaşının diğer kumaşlarla birçok yönden benzerlik göstermesi, diğer kumaşların kullanıldığı alanlarda kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Tüm bu karşılaştırmalar ve kullanım özelliklerinin yanında, Su Sümbülünden antimikrobiyal tekstiller geliştirmek için uygun, uzun lifler elde edilebilmektedir. Bu lifler, spor giyim, sağlık tekstili ve teknik tekstil ürünleri üretmek için kullanılabilir [34].

1.7. Su Sümbülü Lifinin Kullanım Alanları

Su Sümbülü, birçok ülkede istilacı tür, yabani ot olarak görülmesine ve birçok problemten sorumlu olmasına rağmen, birçok kişi, grup ve kurum, bu sorunu tersine çevirerek bitki için yararlı uygulamalar bulmayı başarmıştır. Su Sümbülünün yaprak sapları, başta Tayland, Filipinler ve Endonezya olmak üzere, Güneydoğu Asya ülkelerinde sepet, paspas, vazo, şapka, ip, ayakkabı tabanı gibi birçok farklı ürünün yapımında veya döşeme dolgusu olarak, Bangladeş, Tayland ve Uganda'da halat ve mobilya üretiminde kullanılmaktadır. Filipin Bilim ve Teknoloji Bakanlığı'na bağlı Filipin Tekstil Araştırma Enstitüsü'ne göre, Su Sümbülü sapları, alternatif tekstil malzemesi için doğal kaynaktır. Su Sümbülü liflerinin, giyim ve ev tekstili imalatında, hammadde olarak kullanılabilir özelliklere sahip olduğu, birçok çalışmada ortaya konmuştur [1, 12, 22, 24, 30, 31, 34]. Su Sümbülü üzerinde yapılan araştırmalar, kurutulmuş sapından elde edilen lifin, iyi miktarda selüloz, hemiselüloz ve lignin içerdiği ve mevcut diğer doğal liflerin seviyesini karşıladığını göstermektedir. Su Sümbülü sapları, olası lif kaynakları durumundadır ve mevcut tekstil lifleri için uygun bir alternatif oluşturmaktadır [31, 35]. Çekme testleriyle oluşturulan gerilim-gerinim eğrileri, Su Sümbülü liflerinin naylon gibi yapay polimerlerle benzer mekanik davranışa sahip olduğunu göstermektedir. Hem kurutulmuş hem de ıslak lifler, diğer biyolojik materyallere benzer şekilde, mekanik davranışta önemli değişkenlik göstermektedir [36]. Araştırmacılar, giyim ve ev tekstili üretiminde, hammadde olarak Su Sümbülü liflerinin kullanımı üzerine çalışmalarını sürdürmektedir. Liflerin, polyester liflerle işlenmesi ile başlangıçta yüzde 20-35 oranında Su Sümbülü bileşenine sahip, karışımı iplikler üretmişlerdir. Daha iyi işleme için, yünün

kıvrılma özelliğini elde etmek amacıyla, saplara bir dizi kimyasal ve mekanik işlem uygulanmaktadır. Bu işlemler, lifleri yumuşatarak onları daha ince hale getirmenin yanında, giysi ve diğer ev tekstillerinde örme ve dokumaya daha uygun hale getirmektedir [1, 5].

Su Sümbülü lifi, iyi bir emiciliğe, orta kuvvette bir yapıya ve uzama kabiliyetine sahiptir. Lifin akustik malzemeler için uygun, iyi bir termal dirence sahip olduğu belirtilirken, nemi tutabilen çok sayıda içi boş gözeneklere sahip olduğu ve dolayısıyla peçete ve mendil gibi emiciliği yüksek malzemeler için uygun olduğu ifade edilmektedir [7, 31, 35]. Punitha vd., (2015)'na göre, elde edilen Su Sümbülü lifinin sert olmasından dolayı, yumuşaklığının yanı sıra emiciliğini artırmak için, kimyasallarla işlemde geçirilerek kullanılmalıdır. Ön işleme tabi tutulmuş Su Sümbülü lifinin, ağırlığına göre yaklaşık 5 ila 11 kat daha fazla emicilik gösterdiği ve çeşitli son kullanımlara sahip emici bir malzeme olarak kullanılabileceği sonucuna varıldığı ifade edilmektedir [7].

Su Sümbülü lif ürünleri, üç ila beş yıla kadar dayanıklılık özelliği göstermekte ve bu lifler kullanılarak sepetler, mobilyalar ve kadın cüzdanları gibi çeşitli ürünler üretilmektedir. Su Sümbülü liflerinin özellikleri, bunların hayal edilebilecek herhangi bir biçimde dokunmasına olanak tanıyabilecek durumdadır. Doğal Su Sümbülü lifi, altın kahverengi bir renge sahiptir ancak üretilen ürünleri daha da canlı hale getirmek için, çeşitli doğal ve kimyasal boyalar eklenebilir. Su sümbülü lifleri, dekoratif ürünlerin yapımına oldukça uygundur [12]. Polimer kompozit malzemelerin Su Sümbülü lifleri ile güçlendirilmesi, kompozitin, çekme, darbe ve bükülme mukavemetini arttırdığı belirtilmektedir. Su Sümbülü dolgu kompozitlerin aynı zamanda, yüksek su ve bozunma direncine sahip olduğu da ifade edilmektedir. Su Sümbülünden elde edilen ürünler; alçı paneller, araba gösterge panelleri, iç mekanlar, karbon lif üretimi ve benzeri kompozitleri güçlendirmekte kullanılmaktadır [1].

Su Sümbülü liflerinin diğer liflerden daha küçük çaplı olması, paketleme, giyim ve tekstil alanlarında kullanılan kompozitlerin hacminin azaltılmasına, önemli ölçüde katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Ayrıca Su Sümbülü liflerinin yoğunluğunun (0,23

ila 0,45 g/cm³) diğer bitkisel liflerden düşük olması sebebiyle, giyim ve tekstil alanlarında kullanılan kompozitlerin kütlesini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bunların kağıt endüstrisi için hammadde veya biyokaynaklı ürünler için, takviye malzemesi olarak ilgi çekici bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir. Bu kaynak hammaddenin çekici kağıdı, kartlar, ambalajlar, yeşil kompozit malzemeler ve baskı kağıtları gibi ürünler oluşturmak için kullanılabilir ve ayrıca iyi bir opaklığa sahiptir. Su Sümbülü sapı hamurunun özellikleri, onu kompozitler ve kağıt yapımı için mükemmel bir seçenek haline getirir [30]. Bangladeş, Hindistan ve Endonezya'da Su Sümbülünden el yapımı kağıt ve kartonlar üretilmektedir [1]. Su Sümbülü, biyoyakıt [30, 37, 38] ve etanol [39] üretiminde ayrıca hayvan yemi, kompost veya vermikompost olarak, bitkiler için gübre üretiminde [40, 44] kullanılmaktadır. Su Sümbülü, hızlı büyüme oranı ve yüksek miktarda ağır metal ve besin emiliminden dolayı, atık suyun dekontaminasyonu için bazıları tarafından nispeten ucuz ve çevre dostu bir araç olarak kabul edilmektedir [6, 41, 42].

Su sümbülü lifi, mükemmel bir dolgu polimer kompozit malzemesi durumundadır. Selüloz içeriği, NaClO-NaOH-NaClO çözeltilisine batırıldıktan sonra %90,24 oranında artırılabilirdiği ve lifin 498,3°C sıcaklığa dayanabildiği ifade edilmektedir. Üstün fiziksel, mekanik, termal ve yapısal özellikleri nedeniyle, Su Sümbülü artık, soğutma pedleri, süper kapasitörler ve benzeri alanlarda daha geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Su sümbüllerinin karışık polimer kompozitlerini, çeşitli diğer liflerle birleştirerek istenen kompozit nitelikleri tasarlanabilir ve bitki liflerinin rolü geliştirilebilir düzeydedir [1]. Ayrıca, inşaat sektöründe beton güçlendirme için Su Sümbülü lifi takviyeli polimer kompozitler üzerine yapılan araştırmada, bu tür çevre dostu malzemelerin hem çevresel hem de ekonomik avantajlar sunarak, geleneksel kompozitlere uygulanabilir bir alternatif olarak hizmet edebileceğini ortaya konulmuştur. Bu bulgular, sürdürülebilirlik ve yenilikçi malzeme kullanımı temalarıyla yakından ilişkilidir [34].

Su Sümbülü kökleri, Cu, Cd, Ni, Ag, Cr, Zn, Mg, Mn gibi çeşitli ağır metalleri [35, 43] ve fosforu sudan uzaklaştırır [43]. Bitki, sucul sistemlerde nitrojen ve fosforu bünyesinde barındırmanın yanında, minerallerle birlikte su kirliliğine neden olan birçok maddeyi bünyesine katarak, suyun temizlenmesini de sağlamaktadır [5, 6]. Ayrıca, aerobik mikroorganizmaların büyümesi için uygun bir ortam oluşturduğu belirtilmektedir. Endüstriyel atık sularla alıcı ortamlara ulaşan boyaları, emiciliği sayesinde sudan uzaklaştırır [35, 39]. Küçük ölçekli endüstrilerde, kömür briketleme işlemlerinde kullanıldığı da belirtilmektedir [6, 52]. Doğal olarak nem tutma kapasitesinden dolayı, toprağın daha yüksek nem tutmasını sağlamakta [44] ve balık yemi üretiminde de kullanılmaktadır [6].

Tüm bu kullanım çeşitliliği yanında, sağlık alanında da pek çok avantaja sahiptir. Yaşlanma karşıtı ve DNA hasarı üzerinde etkili olduğu [45] ve Hindistan'da cilt bakımı ve guatr tedavisinde kullanıldığı [46, 47] belirtilmektedir. Su Sümbülü toz özütünün, bitkisel takviyelerde aktif farmasötik bileşen olarak kullanılmak

üzere iyi bir potansiyele, yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu ve toksik olmadığını kanıtlayan çalışmalar bulunmaktadır [48, 49]. Su Sümbülünden elde edilen birkaç kimyasalın, kanser ile mücadelede potansiyele sahip olmasının yanında antifungal, antibakteriyel ve antiinflamatuvar aktivitelere sahip olduğu bildirilmiştir. Genellikle kolera, boğaz ağrısı ve yılan ısırıklarını tedavi etmek için kullanılmasının yanı sıra yaraların iyileştirilmesinde de kullanılmaktadır [50, 51].

1.8. Su Sümbülü Bitkisinin Dezavantajları

Su Sümbülü, geliştiği sucul sistemlerde ki biyoçeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. İstılacı bir tür olması nedeniyle, ülkemizde yayılış gösteren yerel bitkilerin ve bazı balık türlerinin gelişimini baskılayabilmektedir. Bu durum, dünya genelinde yayılış gösterdiği alanlarda görülmektedir. Bunun yanında, su yüzeyini tamamen kapladığı durumlarda, fitoplankton gelişimini dahi engelleyebilmektedir [2, 52, 53, 54, 55, 56]. Sucul ekosistemlerde, oksijen değerlerinde değişimlere neden olurken, ışığın bentik bölgeye ulaşmasını engellemektedir. Su yüzeyinde yer alan bitki katmanı, ışık geçirgenliğini büyük ölçüde engellediğinden [2, 53] bentikte yaşayan bentik omurgasızları olumsuz etkilemektedir [2, 53, 54, 56]. Bu durumda, mikroorganizmaların gelişimi engellenir ve bazı durumlarda balık ölümlerine neden olabilmektedir [52]. Su bitkileri su yüzeyini kapattığı durumlarda, yüzeyin altında su sıcaklığında, karbondioksit düzeyinde artış meydana gelir, pH ve çözünmüş oksijen değerlerinde azalma meydana gelir [2, 55]. Su kimyasında da değişikliklere neden olarak, ötrofikasyon sürecini hızlandırmaktadır [57, 58]. Bitkinin hızlı büyümesi ve yeni alanlara yayılması, su akışları, rüzgarlar veya balık ağları ve tekneler gibi diğer kasıtsız tekniklerle kolayca geniş alanları istila edebilme yeteneğine sahiptir. Bitki akarsulara, kanallara, göletlere, göllere, barajlara ve diğer tatlı su kütlelerine yayılabilmektedir [59]. Suyun kanallara, göletlere gitmesini engellemesinden dolayı sulama sistemleri, turizm, balıkçılık gibi alanları olumsuz etkilemektedir [12]. Su Sümbülü toplulukları, aşırı gelişim gösterdiğinde plastik gibi katı maddeleri ve çöpleri de içine alan büyük kütleler oluşturur. Bu yığınlar, su akışını ve bitkilerin gelişimini etkilemekte, kanallarda tıkanmalara neden olmaktadır [52, 60]. Ayrıca, tarlalara ve hidroelektrik türbinlerine akan su engellenir ve bu da önemli ekonomik ve çevresel etkilere neden olur [59]. Bunların yanında, buharlaşmanın da artışına sebep olmaktadır [15].

Su Sümbülünün aşırı gelişimi, insan sağlığını da etkilemektedir. Sivrisineklere üreme alanı oluşturarak sıtma artışına, salyangozların aşırı üremesiyle şistosomiyazis ve lenfatik filaryazis gibi önemli kamu sağlık sorunlarına neden olmaktadır [59]. Su Sümbülünün kullanım alanlarını kısıtlayan ana neden, ortalama %95 su içeriğine sahip olmasıdır [35]. Su Sümbülünden bir ton kuru malzeme elde edebilmek için, 9,5 ton malzeme toplanması gerekmekte olduğundan ve kullanım alanları için maliyetleri artırdığından, ticari açıdan uygun değildir [10]. Su Sümbülü hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır, fakat yüksek su, potasyum ve klor içeriği nedeniyle at ve sığırlar için yem

açısından kalitesizdir [61]. Ancak domuzlar için yeşil halde alternatif yem olarak kullanılabilir [10, 61, 63].

Su sümbülü bitkisini kimyasal, biyolojik ve mekanik yollarla yok etmek veya kontrol altına alabilmek için, küresel düzeyde çok fazla para harcadığı fakat başarı sağlanamadığı ifade edilmektedir [23, 65]. Bitkinin kontrol altına alınabilmesi için, ekonomik kullanışlı malzeme haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Tekstil endüstrisi açısından, jüt bitkisinin kullanıldığı alanlarında kullanılabilir durumda olduğu söylenebilir. Türkiye açısından jüt ithalatının azaltılması için, jüt kullanım alanlarında kullanılabilirliği değerlendirilmelidir. Su sümbülü ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, su sümbülünün tekstil sektöründe kullanımı açısından yırtılma, çekme kuvveti, patlama mukavemeti dirençleri ve ağırlık, kalınlık, hava geçirgenliği gibi çeşitli özelliklerinin yeterince incelenmediği görülmektedir. Bitki liflerinin ve üretilen kumaşların üzerinde yapılacak çalışmalar sonucunda, bu liflerin kullanılabilir olması durumu, istilacı bir tür ile hem mücadelede hem de ekonomiye kazandırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, diğer kullanım alanları da değerlendirmeye tabi tutulmalıdır. Türkiye’de Su Sümbülü ile ilgili tekstil endüstrisinde kullanımı açısından herhangi bir değerlendirme çalışması henüz yapılmamıştır.

2. SONUÇ

Türkiye’de güncel durumda, Asi Nehri’nde yayılış gösteren agresif istilacı bir tür olan Su Sümbülü, sucul ekosistemler için bir tehdit durumundadır. Su Sümbülü, özellikle Asi Nehri’nde çok hızlı gelişmekte ve birçok soruna neden olmaktadır. Asi Nehri’nde oluşturduğu sorunlara çözüm üretmek için yollar aranmaktadır. Fakat dünya genelinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, henüz bu sorunlara çözüm üretilmediği de görülmektedir. Ancak Endonezya ve Hindistan gibi ülkelerinde, Su Sümbülünün hızlı gelişimi avantaja çevrilmiş, çeşitli kullanım alanları tespit edilmiş ve biyobozunur lif üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de Su Sümbülü çevresel bir sorun olarak görünmesine rağmen aynı zamanda alternatif bir biyobozunur lif elde edilecek kaynak durumundadır.

Günümüz şartlarında, Türkiye tekstil endüstrisinde doğal lifler yetersiz durumdadır ve yeni doğal lif kaynakları bulunması gerekmektedir. Çünkü tekstil ürünleri, Türkiye’nin önemli ihracat kalemleri arasında yer almasından dolayı, Su Sümbülünden lif elde edilerek tekstil ürünlerinin geliştirilmesi hem sanayi hem de tüketici açısından bir alternatif oluşturacaktır. Türkiye, ihracata yönelik olarak tekstil endüstrisindeki makineleri ve halk bilgeliğini kullanarak, el yapımı tekstil el sanatları ürünleri üretmektedir. Su Sümbülü lifleri, el yapımı tekstil ürünleri açısından oldukça elverişlidir. Bunların yanı sıra Türkiye, modern modayı takip ederek endüstri imalatını her yönüyle geliştirmiştir. Üretim teknolojilerindeki yeni gelişmeler, tekstil ve moda endüstrisindeki yeni girişimciler arasında Su Sümbülü ipliklerinin ve kumaşlarının kullanımını daha da genişletebileceğinden, elde edilecek nihai ürün, toplum için pek çok fayda sağlayabilir. Araştırmacılar her zaman yeni lif kaynakları ve sürdürülebilir

üretim geliştirilmiş yöntemlerini aramaktadırlar. Amaç, giysilerde, iç dekorasyonda ve döşeme ürünlerinde kullanılmak üzere tekstil endüstrisinde tamamen doğal ve tercihen organik lifli bir malzeme sağlamaktır. “Su sümbülü kumaşı” henüz piyasada mevcut olmamakla birlikte, sürdürülebilir giyim teknolojisindeki bu yenilikçi adım, mevcut alandaki bilimsel ve teknolojik boşluğu dolduracağı kanısındayız.

Bu çalışma, sürdürülebilir kalkınmaya destek sağlayacak, aynı zamanda biyobozunur malzeme kullanarak çevre kirliliğinin önlenmesine de imkan yaratacak fikir ve öneriler sunmaktadır. Bunun yanında, iplik üretimiyle birlikte Asi Nehri’ni istila eden Su Sümbülü temizlenirken ekonomiye katkı sağlayacaktır. Bu araştırmada incelenen Su Sümbülü, çevre kirliliğinin önlenmesi ve sıfır atık kapsamında Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın ilgi alanına girmektedir. İstilacı tür olması açısından Tarım ve Orman Bakanlığının ve tekstil sektörüne katkıları açısından Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nın ilgi alanına da girmektedir. Su Sümbülünün kullanım alanlarının çok çeşitli olması sebebiyle, değerlendirilmesi ekonomiye büyük katkı sağlayacaktır.

Su Sümbülünden elde edilen lifler, özellikle doğal ve sürdürülebilir tekstil ürünleri için tercih edilebilir durumdadır. Yapılan araştırmalar sonucunda, yukarıda da belirtildiği gibi, kumaş üretimi söz konusudur. Bu kumaşlarının, giysi üretiminde kullanılabileceği belirtilmektedir. Bu durum tekstil endüstrisinde, alternatif kumaş kaynağı olarak büyük önem taşımaktadır. Üretilen kumaşlar giysi üretiminde kullanılabileceği gibi, masa örtüleri, minderler, sepetler ve perde gibi ev tekstili ürünlerinde kullanılarak, doğal ve rustik bir görünüm sağlayacaktır. Hafif ve hızlı kuruyan plaj havluları veya bornozlar üretmek için bir seçenek olabilecektir. Plaj elbiseleri, pareolar ve şortlar için doğal bir malzeme olarak kullanılabilecek, yapısından dolayı da hafif ve rahat bir his sağlayacaktır. Özellikle yaz aylarında, hafif ve nefes alabilen Su Sümbülü lifi ile örülmüş şapkalar, bilezik, kolye, küpe gibi aksesuarların üretimi de seçenekler arasındadır. Biyobozunur özelliğinden dolayı, gelecek nesillere daha temiz bir çevre bırakmak için önemlidir. Tekstil endüstrisinde bu tür malzemelerin kullanımı, çevresel etkileri azaltmada büyük bir adım olacaktır.

Fakat Su Sümbülü tohumlarının, 30 yıl süreyle canlılığını koruması, hızlı ve aşırı çoğalması Türkiye’nin sucul ekosistemleri için büyük tehdit durumundadır. Su Sümbülü ile mücadele yöntemleri oldukça büyük ekonomik zararlara neden olurken, mücadele konusunda da net bir başarı söz konusu değildir. Bunun yanında, ekonomik kullanımından elde edilecek kar oranları, bu bitkinin bilerek diğer sucul sistemlere kasıtlı olarak aktarılmasına sebep olabilecektir. Ticari açıdan uygun yöntemler elde edilerek kullanılması durumunda, kontrol programlarının çok sıkı tutulması zorunludur. Agresif bir istilacı tür olması sebebiyle Su Sümbülü bitkisinin, her ne şekilde olursa olsun taşınmasına müsaade edilmemesi gerekmekte ve yasalarla düzenlenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Sari, H. N., Rangappa, M. S. S., Siengchin, S. (2023). A Review on Cellulose Fibers from *Eichhornia Crassipes*: Synthesis, Modification, Properties and Their Composites, *Journal of Natural Fibers*, 20:1, 2162179, DOI: 10.1080/15440478.2022.2162179
2. DSİ, 2009. Su Yabancıotları. Yayılış Alanları, Yaşamları, Çevresel İlişkileri, Sorunları ve Savaşım Yöntemleri. DSİ İdari ve Mali İşler Dairesi Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü Ankara – 2009.
3. America, S., (2008). European and Mediterranean Plant Protection Organization. Data sheets on quarantine pests. *Eichhornia crassipes*. Blackwell Publishing Ltd
4. <https://www.aydinlik.com.tr/haber/asi-nehrini-su-sumbuleri-kapladi-260014>
5. <https://www.technicaltextile.net/articles/water-hyacinth-a-promising-textile-fibre-source-7619>
6. Gülgün, B., Keskin, N., Aktaş, E., Köse, H. (2010). Su Sümbülü Bitkisi (*Eichhornia crassipes*) ve Atıksu Arıtımında Kullanımı. ZİRAAT MÜHENDİSLİĞİ 1 Ocak-Temmuz 2010 1 Sayı: 354.
7. Punitha, S., Sangeetha, K., Bhuvaneshwari, M., (2015). Processing of Water Hyacinth Fiber to Improve its Absorbency. *International Journal of Advanced Research* (2015), Volume 3, Issue 8, 290-294
8. Center, T.D., Spencer, N.R., (1981). The phenology and growth of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) in a eutrophic Northcentral Florida lake. *Aquatic Botany* 10, 1–32.
9. Julien, M.H., Harley, K.L.S., Wright, A.D., Cilliers, C.J., Hill, M.P., Center, T.D., (1996). International co-operation and linkages in the management of water hyacinth with emphasis on biological control. In: *Proceedings of the IX International Symposium on Biological Control of Weeds*, 21–26 January 1996, Stellenbosch, South Africa. (Ed. Moran VC & Hoffman JH), pp. 273–282. University of Cape Town, Cape Town (ZA).
10. Julien, M.H., Griffiths, M.W., Wright, A.D., (1999). Biological control of water hyacinth. The weevils *Neochetina bruchi* and *N. eichhorniae*: biologies, host ranges, and rearing, releasing and monitoring techniques for biological control of *Eichhornia crassipes*. Monograph No. 60. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra (AU) 87p.
11. Methy, M., Alpert, P., Roy, J., (1990). Effects of light quality and quantity on growth of the clonal plant *Eichhornia crassipes*. *Oecologia* 84, 265– 271
12. Ajithram, A., Thangiah, W.J.J., Irulappasamy, S., Chrish, B. N., (2022). Study on characterization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) novel natural fiber as reinforcement with epoxy polymer matrix material for lightweight applications. *Journal of Industrial Textiles* 51(5S)2022, Vol. 51(5S) 8157S–8174S.
13. Üremiş, İ., (2015). Su İçi İstilacı Bitkiler. İstilacı Bitkiler Çalıştayı/Invasive Plants Workshop 22 Mayıs/May 2015.
14. Hilooğlu, M., Sözen, E., (2018). Riskleri ve Ekonomik Kullanımları Açısından Türkiye'ye Geçiş Yapan Sulak Alan Bitkisi *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences JONAS*, 2018, 1 (2): 128-137
15. Gopal, B. (1987). *Water Hyacinth*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1987, 477.
16. Owens, C. S., Madsen, J.D., (1995). Low temperature limits of waterhyacinth. *Journal of Aquatic Plant Management* 33, 63–68.
17. <https://indiabiodiversity.org/species/show/243914>
18. Akendo, C.O., Gumbe, L.O., Gitau, A.N., (2008). Dewatering and drying characteristics of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) petiole. Part II. Drying characteristics. *Agric Eng Int CIGR J* 2008;10:1–11.
19. Saputra, A.H., Putri, R.A., (2017). The determination of optimum condition in water hyacinth drying process by mixed adsorption drying method and modified fly ash as an adsorbent. *AIP Conf Proc* 2017;1840:100005.
20. Boi Huyen, N. T., Hoc Thang, N., (2022). Treatment of water hyacinth fibers to improve mechanical and microstructural properties of green composite materials. *Sigma J Eng Nat Sci*, Vol. 40, No. 2, pp. 292–299, June, 2022.
21. Sangeetha, K., Punitha, S., Bhuvaneshwari, M., (2015). Processing of water hyacinth fibre to improve its absorbency. *Int J Adv Res* 2015;3:290–294
22. Chonsakorn, S., Srivorradatpaisan, S., Mongkholrattanasit, R., (2019). Effects of different extraction methods on some properties of water hyacinth fiber, *Journal of Natural Fibers*, 16:7, 1015-1025, DOI: 10.1080/15440478.2018.1448316.
23. Ajithram, A., Jappes, J.T.W., Brintha, N. C., (2021). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) natural composite extraction methods and properties – A review. *Materialstoday Proceedings*, Volume 45, Part 2, 2021, Pages 1626-1632.
24. Chonsakorna, S., Mongkholrattanasit, R., Rungruangkitkraic, N., Ruangnarong, C., Panyathikuna, N., Srivorradatphisana, S. (2024). Physical Properties of Water Hyacinth, Polyester, and Cotton Blended Spun Yarn: A Blend Ratio Study. *Journal Of Natural Fibers*, Vol. 21, NO. 1, 2311299, <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2311299>
25. Thangiah, W.J.J., Ajithram, A., Basha, A. M., Nagarajan, R., Daphne, R. (2022). Serious Environmental Threat Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Plant Natural Fibers: Different Extraction Methods and Morphological Properties for Polymer Composite Applications. *Research Square*.
26. Gao, Y., Wang, X., Wang, J., Li, X., Cheng, J., Yang, H., Chen, H. (2013). Effect of residence time on chemical and structural properties of hydrochar obtained by hydrothermal carbonization of water hyacinth. *Energy*, 58, 376-384.
27. Sneha G, Sabu T, Namitha N. N, Seiko J. (2023). Extraction and Characterization of Fibers from Water Hyacinth Stem Using a Custom-Made Decorticator. *Journal of Natural Fibers*, VOL. 20, NO. 2, 2212927 <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2212927>.
28. Siroky, J., Blackburn, R.S., Bechtold, T., Taylor, J., White, P., (2011). Alkali treatment of cellulose II fibres and effect on dye sorption. *Carbohydr Polym* 2011;84:299–307.
29. Punyamurthy, R., Dhanalakshmi, S., Venkateshappa, S.C., Bennehalli, B., (2012). Effect of alkali treatment on water absorption of single cellulosic Abaca fibre. *Bioresources* 2012;7:3515–3524.
30. Wembe, B. D., Wiryikfu, N.C., Ntamack, E.G., Kenmeugne, B., Tchotang, T., Rolland, D., Stanislas, T.T. (2023). Extraction and Physicochemical and Thermomechanical Characterizations of Water Hyacinth Fibers *Eichhornia crassipes*. *Hindawi*,

- International Journal of Polymer Science, Volume 2023, Article ID 6652978, 9 pages <https://doi.org/10.1155/2023/6652978>.
31. Bhuvaneshwari, M., Sangeetha, K., (2016). Investigation of Physical, Chemical and Structural Characterization of *Eichhornia crassipes* Fiber. International Conference on Information Engineering, Management and Security 2016: 92-96.
 32. Jakubowska, A. K., Bogacz, E., Zimniewska M., (2012). Review of natural fibers. Part I—Vegetable fibers. Journal of Natural Fibers 9:150–67.
 33. Gunnarsson, C.C., Petersen, C.M., (2007) Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: a literature review. Waste Management 27, 117–129.
 34. Sirisoda, T. (2024). Culture and Heritage Thailand's Traditional Art Of Water Hyacinth Weaving: Reviving A Craft For Modern Sustainability. ArtsEduca 38, | 10.58262/ArtsEduca.3807 | pp. 95-111.
 35. Rezania, S., Ponraj, M., Talaiekhazani, A., Mohamad, S. E., Din, F.M., Taib, S.M., Sabbagh, F., Sairan, F. M. (2015). Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. J Environ Manage., 2015, 163(1): 125-133. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.08.018. 38.
 36. Purnomosidi, Afzal, W., Hallett, P.D., Indriani, E., (2020). Mechanical Properties of *Eichhornia crassipes* Fiber as Lost Circulation Material for Oil and Gas Drilling Application. Advances in Engineering Research, volume 203. Proceedings of the 2nd Borobudur International Symposium on Science and Technology (BIS-STE 2020)
 37. Harley, K.L.S., (1990) The role of biological control in the management of water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. Biocontrol News and Information 11, 11–22.
 38. Sankar Ganesh, P., Ramasamy, E.V., Gajalakshmi, S., Abbasi, S.A., (2005). Extraction of volatile fatty acids (VFAs) from water hyacinth using inexpensive contraptions, and the use of the VFAs as feed supplement in conventional biogas digesters with concomitant final disposal of water hyacinth as vermicompost. Biochemical Engineering Journal 27, 17–23.
 39. Ting W.H.T., Tan I.A.W., Salleh S.F., Wahab, N.A. (2018). Application of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for phytoremediation of ammoniacal nitrogen: A review. J Water Process Engineering., 2018, 22, 239-249.
 40. Gajalakshmi, S., Ramasamy, E.V., Abbasi, S.A., (2002) High-rate composting– vermicomposting of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*, Mart. Solms). Bioresource Technology 83, 235–239.
 41. Muramoto, S., Oki, Y., (1983) Removal of some heavy metals from polluted water by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 30, 170–177.
 42. Mangrich, A.S., Cardoso, E.M.C., Doumer, M.E., Romão, L.P.C., Vidal, M., Rigol, A. and Novotny, E.H. (2015). Improving the Water Holding Capacity of Soils of Northeast Brazil by Biochar Augmentation. American Chemical Society Downloaded by Antonio Mangrich. In Water Challenges and Solutions on a Global Scale; Loganathan, et al.; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC., 2015, 339-354.
 43. Ingole, N.W., Bhole, A.G. (2002). Utilization of water hyacinth relevant in water treatment and resource recovery with special reference to India. J Water Supply Res T., 2002, 51(5): 283–295.
 44. Zhu, Y.L., Zayed, A.M., Qian, J.H., Souza, M., Terry, N., (1999). Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: II. Water hyacinth. Journal of Environmental Quality 28, 339–344
 45. Lalitha, P., Jayanthi, P. (2014). Antiaging activity of the skin cream containing ethyl acetate extract of *Eichhornia crassipes* (Mart.) solms. Int J Pharm Tech Res., 2014, 6(1): 29-34.
 46. Sharma, A.K., Sharma, V., Sharma, V., Sharma J.K., Singh, R. (2020). Multifaceted potential of *Eichhornia crassipes* (Water hyacinth) laden with numerous value aided and therapeutic properties. Plant Archives., 2020, 20(2):2059-2065.
 47. Ogunlesi, M., Okiei, W., Azeez, L., Obakachi, V., Osunsanmi, M., Nkenchor, G. (2010). Vitamin C contents of tropical vegetables and foods determined by voltammetric and titrimetric methods and their relevance to the medicinal uses of plants. Int J Electrochem Sci., 5: 105-115.
 48. Bodo, R., Azzouz, A. and Hausler, R. Antioxidative activity of water hyacinth components. Plant Sci: anInt J Exp Plant Biol., 2004, 166(4): 893-899. doi: 10.1016/j.plantsci.2003.12.001.
 49. Widiputri, D. I., Juventinus, Q., Yusri, S., Pandiangan, Isnanda, F., Jimmy, P. (2021). Manufacturing Process Development of Health Supplement Containing Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Extract. Advances in Biological Sciences Research, volume 16 6th International Conference of Food, Agriculture, and Natural Resource (IC-FANRES 2021).
 50. Aboul-Enein, A.M., Shanab, S.M.M., Shalaby, E.A., Zahran, M.M., Lightfoot, D.A. and El-Shemy, H.A. Cytotoxic and antioxidant properties of active principals isolated from water hyacinth against four cancer cells lines. BMC Complement. Altern Med., 2014, 14(397): 1-11.
 51. Jasmine, S., Sankarapandian, V., Natesan, V., Krishnamoorthy, R., and Thangavelu, A. Applications of Microbes in Human Health. In: Inamuddin, Ahamed M.I., Prasad R. (eds) Application of Microbes in Environmental and Microbial Biotechnology. Microb. Biotechnol., 2022, https://doi.org/10.1007/978-981-16-2225-0_11.
 52. Tanushree, B.C., Sethi, S. (2018). Water hyacinth: A wonder weed. Int J Home Sci., 2018, 4(1): 291-294.
 53. Hansen, K.L., Ruby, E.G., Thompson, R.L., (1971). Trophic relationships in the water hyacinth community. Quarterly Journal of the Florida Academy of Science 34 (2), 107–113.
 54. McVea, C., Boyd, C.E., (1975). Effects of water hyacinth cover on water chemistry, phytoplankton, and fish in ponds. Journal of Environmental Quality 4 (3), 375–378.
 55. Ultsch, G.R., (1973). The effects of waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*) on the microenvironment of aquatic communities. Archiv fuer Hydrobiologie 72, 460–473.
 56. O'Hara, J., (1967). Invertebrates found in water hyacinth mats. Quarterly Journal of the Florida Academy of Science 30 (1), 73–80.
 57. Williams, A.E. (2006). Water Hyacinth. Wiley Online Library. Van Nostrand's Scientific Encyclopedia, 2006.
 58. Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bini, L.M., Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M., Araújo-Jesum T. (2015). Undesirable side-effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. Freshw Biol., 2007, 52: 1120–1133. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01738.x>.
 59. Mujere, N. (2015). Water Hyacinth: Characteristics, Problems, Control Options, and Beneficial Uses. Impact of Water Pollution

- on Human Health and Environmental Sustainability. IGI Global publisher of timely knowledge, 2015.
60. Van Emmerik, T., Schwarz, A. (2019). Plastic debris in rivers. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water published by Wiley Periodicals, Inc. 2019, 7(1). 1-24.
 61. Edwards, D., Musil, C.J., (1975). *Eichhornia crassipes* in South Africa-a general review. Journal of the Limnological Society of Southern Africa 1, 23–27.
 62. Febrero, I., Romero, O., Ruiz, L., Gonzáles, R., (2005). Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) an Alternative for the Feeding of Pigs. Revista electrónica de veterinaria, vol.VI N°5.
 63. Center, T. D., Van, T. K., Dray Jr., F. A., Franks, S J., Rebelo, M T., Pratt, P. D. and Rayamajhi, M. B. (2005). Herbivory alters competitive interactions between two invasive aquatic plants. Biological Control, 33: 173–185.
 64. Sneha G, Sabu T, Namitha N. N, Seiko J. (2023). Extraction and Characterization of Fibers from Water Hyacinth Stem Using a Custom-Made Decorticator. Journal of Natural Fibers, VOL. 20, NO. 2, 2212927 <https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2212927>.
 65. Mochochoko, T., Oluwafemi, O. S., Jumbam, D. N. and Songca, S. P (2013). Green synthesis of silver nanoparticles using cellulose extracted from an aquatic weed; water hyacinth Carbohydr. Polym. 98(1), 290-4.