

ATIK RÜZGAR TÜRBİNİ KANATLARININ GEMİ VE DENİZ YAPILARINDA YENİDEN KULLANIMI

Sabri Alkan

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
salkan@bandirma.edu.tr

ÖZET

Rüzgar enerjisi sektörünün hızla büyümesi, atık rüzgar türbini kanatlarının hacminin artmasına yol açarak önemli çevresel ve ekonomik zorluklar yaratmaktadır. Bu konuyu ele almak için, çeşitli endüstrilerde yeniden kullanımları da dahil olmak üzere, atık kanatların yönetimine yönelik sürdürülebilir alternatifler keşfetmeye yönelik artan bir ilgi söz konusudur. Bu derleme atık rüzgar türbini kanatlarının gemi yapımı, açık deniz platformları, liman altyapısı, deniz güvenliği, yenilenebilir enerji sistemleri, deniz çevre çözümleri, araştırma ve geliştirme alanlarındaki potansiyel uygulamalarını vurgulamaktadır. Çalışma, temel araştırma makaleleri ve literatür kaynaklarını inceleyerek, atık kanatların yeniden kullanımına yönelik teknolojik gelişmeleri ve çevresel hususları değerlendirmektedir. Çalışmada aynı zamanda İzmir ili için uygulama önerileri sunulmaktadır. Sonuç olarak, atık rüzgar türbini kanatlarının gemi ve deniz yapılarında yeniden kullanılması, daha çevre dostu gemiler ve deniz yapıları inşa etmek için sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir çözüm sunarken, hizmet dışı bırakılan türbinlerden kaynaklanan atık yönetimine de olumlu katkı sağlayabilir. Bu derlemenin bulguları, sürdürülebilir uygulamaların anlaşılmasına katkıda bulunmakla birlikte denizcilik endüstrisinde atık rüzgar türbini kanatlarının yeniden kullanımına ilişkin daha fazla araştırma ve uygulamaya potansiyel olarak rehberlik edebilir.

1. GİRİŞ

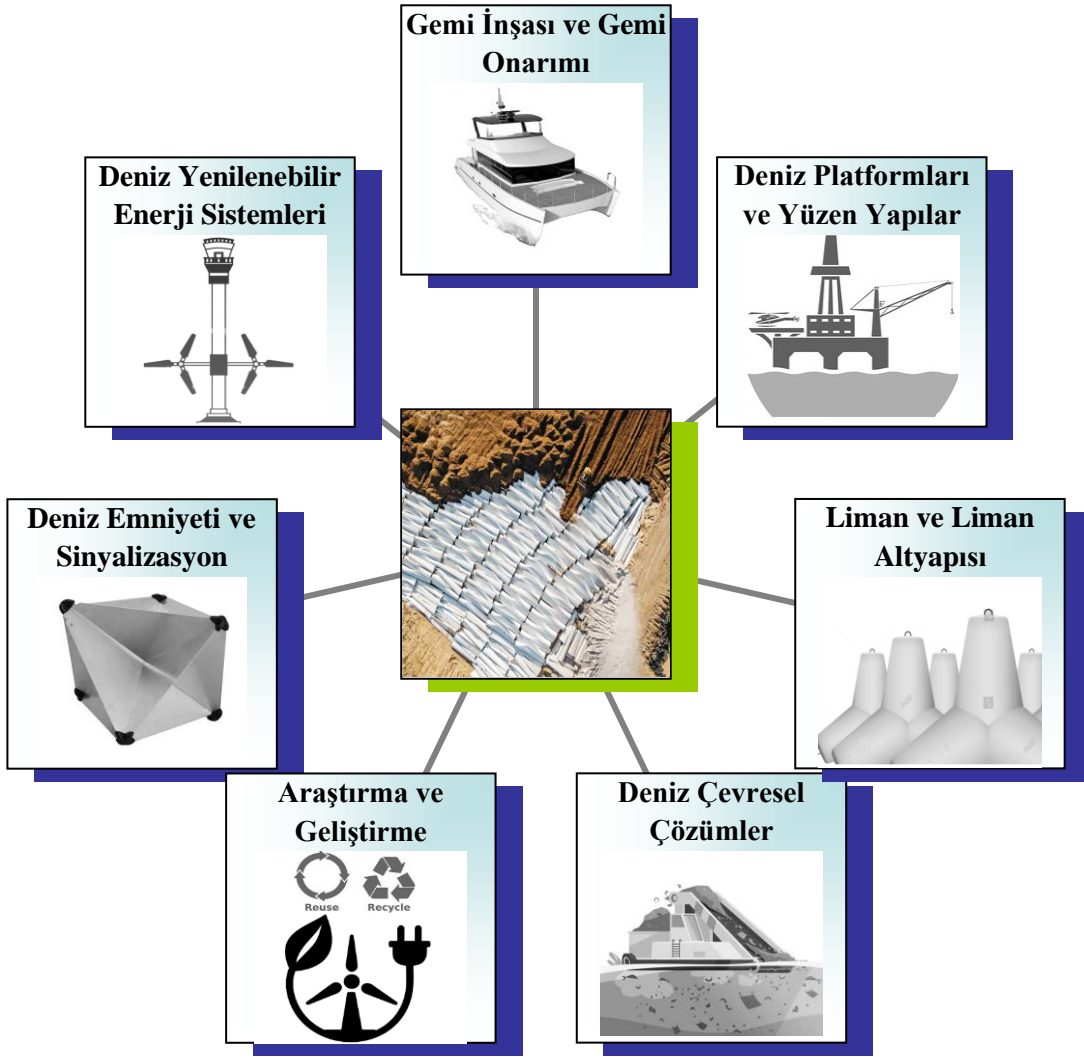
Dünya genelinde hızla büyüyen rüzgar enerjisi sektöründe, ömrünü tamamlayan veya kapasitesi düşük kalan rüzgar türbinlerinin işletmeden çıkarılmasında son yıllarda önemli bir artış yaşanmaktadır [1]. Devreden çıkarılan türbinlerin fiberglas, karbon ve polimer malzemelerden üretilmiş kanatları önemli bir atık potansiyeline sahiptir. Yapılan çalışmalara göre 2050 yılına kadar dünya çapında 43 milyon ton kanat atığı oluşacağı ve bu atıkların %40'unun Çin'e, %25'inin Avrupa'ya, %16'sının ABD'ye ve %19'unun da dünyanın geri kalan ülkelerine ait olacağı tahmin edilmektedir [2]. Bu nedenle rüzgar enerjisi sektöründe atık rüzgar türbini kanatlarının yönetimi konusunda gittikçe artan bir zorluk söz konusudur [2, 3]. Jensen ve Skelton (2018), büyüyen atık kanat sorununa uygun çözümlerin bulunmasının önemini vurgulamakta ve yeniden kullanımın potansiyel faydalarını öne çıkarmaktadır [4]. Beauson ve diğ. (2022), rüzgar türbini kanatlarının bertarafının çevresel etkisini tartışmakta ve sürdürülebilir yönetim uygulamalarının gerekliliğine vurgu yapmaktadır [5]. Ayrıca, Beauson ve arkadaşları rüzgar türbini kanatlarının yeniden kullanımının potansiyel faydalarını nicelendirmek için yaşam döngüsü değerlendirmelerinin yapılmasını da önermektedir [5, 6]. Yeniden kullanılan kanatların yaşam döngüsüyle ilişkili enerji tüketimi, sera gazı emisyonları ve atık oluşumunu anlamak, sürdürülebilirlik ve çevresel etki açısından oldukça önemlidir. Yang ve diğ. (2012), rüzgar türbini kanatlarının geri dönüşümünde kapalı devre yaklaşımını incelemekte ve bunların farklı endüstrilerdeki potansiyel uygulamalarını araştırmaktadır [7]. Ayrıca, Joustra ve diğ. (2021), rüzgar türbini kanatlarının geri dönüşüm potansiyelini tartışmakta ve atıkları azaltmak için kanatların yeniden kullanılması gibi çevre dostu çözümlerin bulunmasının önemini vurgulamaktadır [8].

Atık kanatların bertarafı, biyolojik olarak parçalanamaz özelliklerinden ve sınırlı bertaraf seçeneklerinden dolayı önemli çevresel endişeleri beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda atık kanatların yönetimi için önlemeden başlayarak, sırasıyla azaltma, tekrar kullanım, yeniden farklı bir alanda kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve son olarak bertaraf seçenekleri söz konusudur [9]. Bu seçeneklerden atık kanatların farklı bir alanda yeniden kullanımına yönelik uygulamalara son yıllarda çeşitli endüstrilerde artan bir ilgi söz konusudur [10]. Atık rüzgar türbini kanatları, kirişler, kolonlar ve duvarlar gibi altyapı bileşenlerinin dayanıklılığını artıran takviye elemanları olarak yeniden kullanılabilir [11]. Ayrıca, atık kanatlar otoyollar, demiryolları ve endüstriyel alanlar boyunca gürültü kirliliğini azaltan ses bariyerleri olarak da kullanılabilir [1]. Mimari tasarımda, bu kanatların benzersiz şekli, geniş yüzey alanı ve hafifliği, cephe, kanopi ve çatılarda yenilikçi uygulamalara olanak tanımaktadır [12]. Bu kapsamda göz önünde bulundurulması gereken önemli bir alternatif de atık rüzgar türbini kanatlarının gemi ve deniz yapılarında yeniden kullanımınıdır. Atık kanatlar gemilerde tekne, güverte, bölme duvarları ve üstyapılar için tekrar kullanıma uygun hale getirilerek yüksek mukavemet-ağırlık oranı ve dayanıklılık özelliklerinden yararlanılabilir [13]. Ayrıca, gemilerde üst bina yapımında, bu kanatların güverte malzemesi ve destek yapıları olarak kullanılması, yapısal özelliklerinden ve çevresel koşullara dayanıklılığından dolayı geleneksel malzemelere alternatif sağlayabilir. Atık kanat bileşenleri ayrıca deniz yenilenebilir enerji sistemlerinde, deniz platformları ve yüzen yapılarda, liman ve liman altyapısında, deniz emniyeti ve sinyalizasyonda, deniz çevresel çözümlerde, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde de kullanılabilir. Bununla birlikte atık rüzgar türbini kanatlarının yeniden kullanıma uygunluğunu değerlendirmek için kapsamlı bir denetim ve seçim süreci kritik öneme sahiptir. Yeniden kullanıma sunulacak kanatların yapısal bütünlüğü ve güvenliği için kapsamlı değerlendirme, test ve güvenlik standartlarına uyumun sağlanması son derece önemlidir [14]. Kanatların yapısal değerlendirmesi, mekanik testler ve sonlu eleman analizi de dahil olmak üzere, yük taşıma kapasitelerinin gemi ve deniz yapılarıyla uyumluluklarını belirlemek için önemli bir rol oynamaktadır [8, 13, 15–17]. Joustra ve diğ. (2021) tarafından yapılan araştırma, rüzgar türbini kanatlarının yeniden kullanılmasını sağlamak için malzeme karakterizasyonunun ve yapısal değerlendirmenin önemini vurgulamaktadır [14].

Bu derleme, atık rüzgar türbini kanatlarının denizcilik endüstrisinde yeniden kullanımına kapsamlı bir giriş sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmada temel literatür incelenerek atık rüzgar türbini kanatlarının yeniden kullanımı ile ilgili teknolojik ilerlemeler ve çevresel faktörler değerlendirilmiştir. Bu derlemenin bulguları, sürdürülebilir uygulamaların anlaşılmasına katkı sağlayacak ve atık rüzgar türbini kanatlarının yeniden kullanımı alanında ileriye yönelik araştırmalara rehberlik edecektir.

2. ATIK RÜZGAR TÜRBİNİ KANATLARININ DENİZCİLİK ENDÜSTRİSİNDEKİ POTANSİYEL KULLANIM ALANLARI

Rüzgar türbini kanatlarında kullanılan kompozit malzeme, cam veya karbon elyafı gibi, sağlam, dayanıklı ve hafif malzemeler olduğu için denizcilik uygulamaları için idealdir. Bu malzemeler korozyona dayanıklıdır ve zorlu deniz ortamlarına dayanabilir. Bu nedenle çelik gibi geleneksel malzemelere karşı maliyet etkin bir alternatif sunabilir. Rüzgar türbini kanatlarının deniz yapıları için yeniden kullanılması, atığı azaltmaya ve sürdürülebilirliği teşvik etmeye yardımcı olabilir. Atık kanatları yeniden kullanarak, rüzgar enerjisi endüstrisinin çevresel etkileri azaltılabilir ve ayrıca denizcilik endüstrisi için de yeni çözümler sunulabilir. Atık rüzgar türbini kanatlarının gemi ve deniz yapıları için yeniden kullanılması, sürdürülebilirliği teşvik ederken her iki endüstriye de fayda sağlayan umut verici bir çözümdür. Şekil 1 bu karşılıklı sinerjizmi ve atık rüzgar türbini kanatlarının denizcilik endüstrisindeki potansiyel kullanım alanlarını göstermektedir.

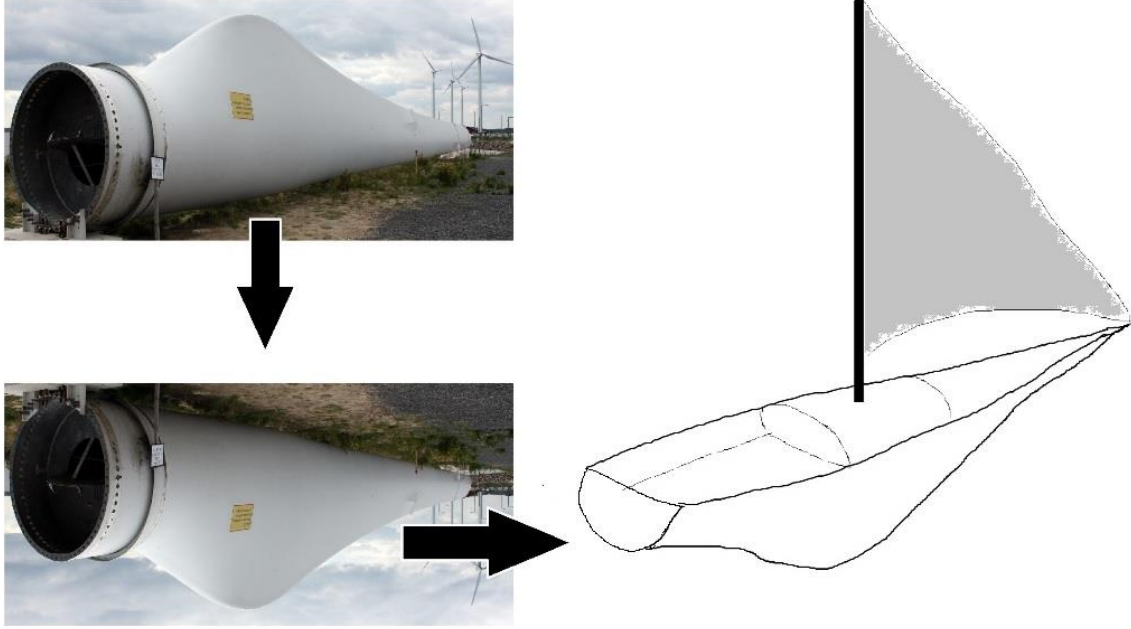


Şekil 1. Atık rüzgar türbini kanatlarının denizcilik endüstrisindeki potansiyel kullanım alanları

Atık rüzgar türbini kanatları, yat inşası ve onarımında kullanılan yapısal bileşenler için geri dönüştürülebilir. Bu kanatlar, yüksek dayanıklılık ve düşük ağırlık özellikleri sayesinde gemi performansını artırarak yakıt verimliliğini ve çevresel etkiyi olumlu yönde etkileyebilir. Bununla birlikte uygun ebattaki kanatların üzerinde yapılacak bazı modifikasyonlarla bir tekne yapısı elde edilebilir ve böylelikle atık kanatların değerli ürünlere dönüşmesi sağlanabilir. Şekil 2’de buna yönelik bir uygulama örneği gösterilmektedir.

Ayrıca atık kanatlar, deniz platformları, yüzen yapılar ve açık deniz kurulumları gibi alanlarda yeniden kullanılarak yenilenebilir enerji sistemlerinin ve su ürünleri yetiştirme tesislerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Atık kanatlar aynı zamanda liman altyapısı için iskele kaplamaları, dalga kıranlar ve rıhtım duvarları gibi yapısal elemanlarda da yeniden kullanılabilir. Bu şekilde denizcilik endüstrisi daha çevre dostu çözümler elde edebilir. Kanatlar ayrıca deniz emniyeti için işaret direkleri, deniz fenerleri veya radar reflektörleri olarak da kullanılabilir. Büyük yüzey alanları ve görünürlükleri, seyir güvenliğini artırabilir ve radar sistemlerinin etkinliğini iyileştirebilir. Atık rüzgar türbini kanatlarının bir başka yeniden kullanım alanı deniz yenilenebilir enerji projeleri olabilir. Yüzen rüzgar türbinleri veya dalga enerjisi dönüştürücülerinin bileşenleri olarak geri kazanılarak sürdürülebilir ve düşük karbonlu enerji üretimine katkıda bulunabilir. Ayrıca atık rüzgar türbini kanatları, deniz çevresel çözümlerde de rol oynayabilir. Atık toplama gemileri veya deniz atık yönetim sistemlerinin

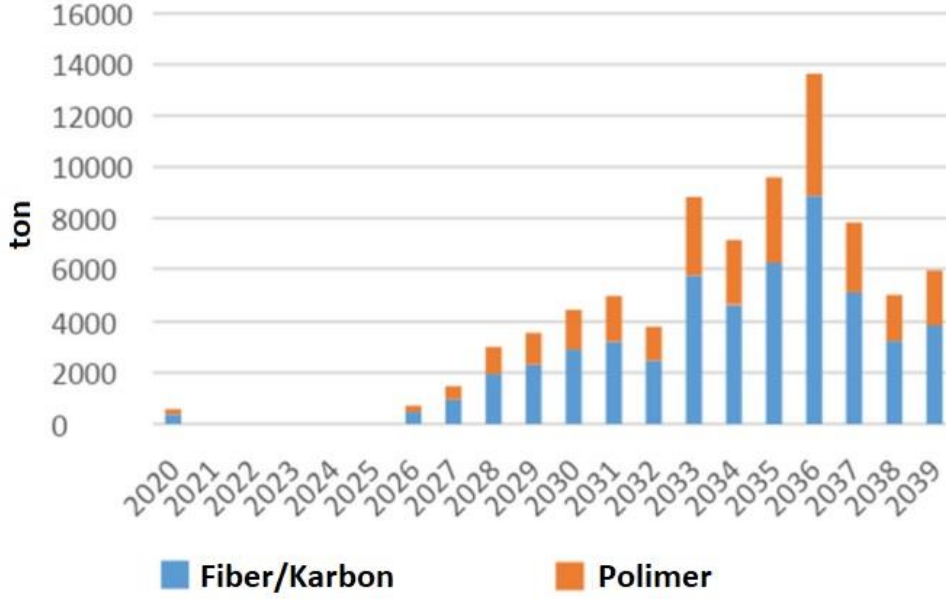
parçaları olarak kullanılarak denizlerin temizliğine katkı sağlayabilirler. Sonuç olarak, atık rüzgâr türbini kanatları denizcilik endüstrisinde çeşitli alanlarda kullanılabilir ve araştırma geliştirme çalışmalarında değerli kaynaklar olarak hizmet edebilir. Bu sayede deniz teknolojisi mühendisliği ve malzemeleri ilerletilerek daha sürdürülebilir bir denizcilik sektörüne katkı sağlanabilir.



Şekil 2. Atık rüzgâr türbini kanatlarının denizcilik sektöründe yeniden kullanımına bir örnek

3. TÜRKİYE’DEKİ ATIK KANAT POTANSİYELİ ve İZMİR İÇİN ÖNERİLER

Türkiye’de 1998 yılında kurulan ilk rüzgâr enerji santralinden bu yana rüzgâr enerji sektörü hızlı bir şekilde gelişmiş ve 2020 yılı ortası itibariyle işletmede olan santrallerin kurulu güç kapasitesi 8 GW seviyesini aşmıştır [18]. Bu kapasitenin önümüzdeki yıllarda karasal ve denizüstü rüzgâr enerjisi yatırımlarıyla birlikte daha da artacağı açıktır. Öztürk ve Karipoğlu (2023) tarafından hazırlanan ve Şekil 3’te verilen grafiğe göre 2020-2039 yılları arasında Türkiye’nin atık rüzgâr türbini kanat miktarı 80,500 ton olarak tahmin edilmektedir [19]. Ayrıca aynı çalışmada atık kanatların %74’ünün Ege ve Marmara Bölgelerinde ortaya çıkacağı öngörülmüştür. Bu kapsamda 2020 yılı ortası itibariyle 1619 MW kurulu rüzgâr gücü kapasitesi birinci sırada yer alan İzmir’in de atık kanat potansiyeline ciddi bir katkıda bulunacağı açıktır [18]. Bununla birlikte İzmir, bu olumsuz durumu fırsata çevirebilecek önemli bir kabiliyete sahiptir. İzmir, stratejik konumu, yetenekli işgücü ve güçlü üretim altyapısı ile fiberglas/kompozit tekne üretiminde ülkemizde öncü bir rol oynamaktadır [20, 21]. Bölgenin tekne üretimi konusundaki uzmanlığı ve güçlü denizcilik endüstrisi, atık rüzgâr türbini kanatlarının üretim süreçlerine entegrasyonunun keşfedilmesi için sağlam bir temel oluşturmaktadır [22].



Şekil 3. Türkiye’de yıllara göre oluşacak tahmini atık kanat miktarı [19]

Rüzgar türbini kanatları genellikle fiberglas, reçine ve diğer kompozit malzemelerden oluşur ve bu da bu malzemelerin tekne üretiminde yeniden kullanımına imkan sunar. Yüksek mukavemet ve çevresel koşullara dayanıklılık sunan rüzgar türbini kanatlarının gereksinimleriyle tekne imalatının gereksinimleri birbiriyle uyumludur. Atık kanatların yeniden kullanılmasıyla, İzmir'deki tekne üretim endüstrisi üretim maliyetlerini azaltabilir. Bu entegrasyon, mevcut atık kaynaklarının kullanılmasına ve yeni malzemelere olan bağımlılığın azaltılmasına, aynı zamanda fiberglas tekne üretiminin çevresel etkisinin en aza indirilmesine olanak tanır. Atık rüzgar türbini kanatlarının tekne üretiminde değerlendirilmesi, denizcilik endüstrisinde sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliğini artırma potansiyeline sahiptir. Atık kanatların tekne üretiminde kullanılması, sürdürülebilir ve çevre dostu ürünlere yönelik tüketici talepleriyle uyumlu olup, İzmir'deki tekne üreticilerine rekabet avantajı sağlayabilir. Ayrıca bu kanatların tekne üretim süreçlerine entegrasyonu, İzmir'in yenilik ve sürdürülebilirlik konusundaki taahhüdünü gösterirken endüstrideki lider konumunu daha da güçlendirebilir [20–22]. Bununla birlikte, atık rüzgar türbini kanatlarının tekne üretiminde yeniden kullanımının değerlendirilmesi sırasında bazı zorluklar ve dikkate alınması gereken hususlar bulunmaktadır. Atık kanatların tekne imalatı için yapısal bütünlüklerinin ve uygunluğunun sağlanması için kapsamlı denetime tabi tutulması ve seçim süreçleri önemlidir. Tekne tasarımlarıyla, imalat teknikleriyle ve düzenleyici standartlarla uyumluluk dikkatle değerlendirilmelidir. Atık kanatların kaynak temini, taşınması ve depolanmasıyla ilgili lojistik zorluklar ortaya çıkabilir ve bu da rüzgar enerjisi sektörü, tekne üreticileri, araştırma kurumları ve düzenleyici kurumlar arasında işbirliğini gerektirebilir.

4. SONUÇ

Sonuç olarak, atık rüzgar türbini kanatlarının yeniden kullanımı, Türk denizcilik endüstrisi ve İzmir için umut verici fırsatlar sunmaktadır. İzmir'in fiberglas tekne üretimi ve rüzgar enerjisindeki önemli varlığıyla, atık kanatların entegrasyonu olumlu bir çevresel etki yaratabilir ve İzmir'i sürdürülebilir tekne üretiminde öncü bir merkez olarak konumlandırabilir. Atık kanatların yeniden kullanılmasıyla, endüstri yüksek mukavemet-ağırlık oranı, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik özelliklerinden faydalanarak gemi performansını artırma, yapısal bütünlüğü iyileştirme ve çevresel etkiyi azaltma avantajına sahip olabilir. Bununla birlikte, başarılı uygulamalar için dikkatli değerlendirme, güvenlik standartlarına uyum ve endüstri paydaşları arasında iş birliği gerekmektedir. Sürekli araştırma, teknolojik ilerlemeler ve bilgi paylaşımı,

atık rüzgar türbini kanatlarının tam potansiyelini açığa çıkaracak, hem denizcilik hem de rüzgar enerjisi sektörlerinin daha sürdürülebilir ve çevreci olmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **WindEurope.**, 2020. Accelerating Wind Turbine Blade Circularity, Themat. reports, (May), pp. 11–13.
- [2] **Liu, P., and Barlow, C. Y.**, 2017. Wind Turbine Blade Waste in 2050, Waste Manag., 62, pp. 229–240.
- [3] **International Energy Agency.**, 2022. World Energy Outlook.
- [4] **Jensen, J. P., Skelton, K.**, 2018. Wind Turbine Blade Recycling: Experiences, Challenges and Possibilities in a Circular Economy, Renew. Sustain. Energy Rev., 97(August), pp. 165–176.
- [5] **Beauson, J., Laurent, A., Rudolph, D. P., and Pagh Jensen, J.**, 2022. The Complex End-of-Life of Wind Turbine Blades: A Review of the European Context, Renew. Sustain. Energy Rev., 155(February 2021), p. 111847.
- [6] **Matveev, A., and Shcheklein, S.**, 2015. Life Cycle Analysis of Low-Speed Multi-Blade Wind Turbine, Int. J. Renew. Energy Res., 5(4), pp. 991–997.
- [7] **Yang, Y., Boom, R., Irion, B., van Heerden, D. J., Kuiper, P., and de Wit, H.**, 2012. Recycling of Composite Materials, Chem. Eng. Process. Process Intensif., 51, pp. 53–68.
- [8] **Joustra, J., Flipsen, B., and Balkenende, R.**, 2021. Structural Reuse of High End Composite Products: A Design Case Study on Wind Turbine Blades, Resour. Conserv. Recycl., 167(May 2020), p. 105393.
- [9] **Ierides, M., Fernandez, V., Verbenkov, M., Bax, L., and Devic A.-C.**, 2018. Polymer Composites Circularity, Vol. 2018, SusChem Materials Working Group.
- [10] **Jani, H. K., Singh Kachhwaha, S., Nagababu, G., and Das, A.**, 2022. A Brief Review on Recycling and Reuse of Wind Turbine Blade Materials, Mater. Today Proc., 62(P13), pp. 7124–7130.
- [11] **Qureshi, J.**, 2022. A Review of Recycling Methods for Fibre Reinforced Polymer Composites, Sustain., 14(24).
- [12] **Bank, L. C., Arias, F. R., Yazdanbakhsh, A., Gentry, T. R., Al-Haddad, T., Chen, J. F., and Morrow, R.**, 2018. Concepts for Reusing Composite Materials from Decommissioned Wind Turbine Blades in Affordable Housing, Recycling, 3(1).
- [13] **Rubino, F., Nisticò, A., Tucci, F., and Carlone, P.**, 2020. Marine Application of Fiber Reinforced Composites: A Review, J. Mar. Sci. Eng., 8(1).
- [14] **Joustra, J., Flipsen, B., and Balkenende, R.**, 2021. Structural Reuse of Wind Turbine Blades through Segmentation, Compos. Part C Open Access, 5(March), p. 100137.
- [15] **Sørensen, B. F., Holmes, J. W., Brøndsted, P., & Branner, K.**, 2010. Blade Materials, Testing Methods and Structural Design, Wind Power Generation and Wind Turbine Design, pp. 417–466.
- [16] **Lee, H., Jung, K., and Park, H.**, 2021. Study on Structural Design and Analysis of Composite Boat Hull Manufactured by Resin Infusion Simulation, Materials (Basel), 14(20), pp. 1–15.
- [17] **Nijssen, R. P. L., and TU Delft, F. of A. E. D. and P. of C. S. G.**, 2006. Fatigue Life Prediction and Strength Degradation of Wind Turbine Reactor Blade Composites.
- [18] TÜREB, 2020. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu (Temmuz).
- [19] **Ozturk S., Karipoglu F.**, 2023. Investigation of the best possible methods for wind turbine blade waste management by using GIS and FAHP: Turkey case. Environ Sci Pollut Res 30:15020–15033.
- [20] **İzmir Kalkınma Ajansı.**, 2023. İzmir Rüzgar Türbini Kanadı Geri Dönüşüm Yol Haritası.
- [21] **İzmir Kalkınma Ajansı.**, 2021. İzmir İli Elektrikli Tekne ve Yat Üretimine Yönelik Tersane Yatırımı Ön Fizibilite Raporu.
- [22] **İzmir Kalkınma Ajansı.**, 2022. İzmir’de Yeşil Dönüşüm ve Mavi Fırsatlar Perspektifi.