



T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



İZMİR
KALKINMA
AJANSI

İzmir İli Rüzgâr Türbini Kanadı Geri Dönüşüm Tesisi Ön Fizibilite Raporu





T.C. SANAYİ VE
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



İZMİR
KALKINMA
AJANSI

İzmir İli Rüzgâr Türbini Kanadı Geri Dönüşüm Tesisi Ön Fizibilite Raporu



2021
HAZİRAN

RAPORUN KAPSAMI

Bu ön fizibilite raporu, İzmir'in yeşil ve mavi büyüme hedeflerine katkı sağlamak ve bu kapsamda rüzgâr türbini geri dönüşümü sektörünün gelişimine öncülük yapmak amacıyla İzmir ilinde Rüzgâr Türbini Kanadı Geri Dönüşüm Tesisi kurulmasının uygunluğunu tespit etmek, yatırımcılarda yatırım fikri oluşturmak ve detaylı fizibilite çalışmalarına altlık oluşturmak üzere Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı koordinasyonunda faaliyet gösteren İzmir Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanmıştır.

HAKLAR BEYANI

Bu rapor, yalnızca ilgililere genel rehberlik etmesi amacıyla hazırlanmıştır. Raporda yer alan bilgi ve analizler raporun hazırlandığı zaman diliminde doğru ve güvenilir olduğuna inanılan kaynaklar ve bilgiler kullanılarak, yatırımcıları yönlendirme ve bilgilendirme amaçlı olarak yazılmıştır. Rapordaki bilgilerin değerlendirilmesi ve kullanılması sorumluluğu, doğrudan veya dolaylı olarak, bu rapora dayanarak yatırım kararı veren ya da finansman sağlayan şahıs ve kurumlara aittir. Bu rapordaki bilgilere dayanarak bir eylemde bulunan, eylemde bulunmayan veya karar alan kimselere karşı Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile İzmir Kalkınma Ajansı sorumlu tutulamaz.

Bu raporun tüm hakları İzmir Kalkınma Ajansı'na aittir. Raporda yer alan görseller ile bilgiler telif hakkına tabi olabileceğinden, her ne koşulda olursa olsun, bu rapor hizmet gördüğü çerçevenin dışında kullanılamaz. Bu nedenle; İzmir Kalkınma Ajansı'nın yazılı onayı olmadan raporun içeriği kısmen veya tamamen kopyalanamaz, elektronik, mekanik veya benzeri bir araçla herhangi bir şekilde basılamaz, çoğaltılamaz, fotokopi veya teksir edilemez, dağıtılamaz, kaynak gösterilmeden iktibas edilemez.

İÇİNDEKİLER

1. YATIRIMIN KÜNYESİ	4
2. EKONOMİK ANALİZ.....	6
2.1. Sektörün Tanımı	6
2.2. Sektöre Yönelik Sağlanan Destekler	9
2.2.1. Yatırım Teşvik Sistemi.....	10
2.2.2. Diğer Destekler.....	15
2.3. Sektörün Profili.....	15
2.3.1. Dünyada Rüzgâr Enerjisi Sektörü	17
2.3.2. Türkiye’de ve İzmir’de Rüzgâr Enerjisi Sektörü.....	24
2.4. Dış Ticaret ve Yurt İçi Talep.....	31
2.5. Üretim, Kapasite ve Talep Tahmini	33
2.6. Girdi Piyasası	35
2.7. Pazar ve Satış Analizi	38
3. TEKNİK ANALİZ.....	48
3.1. Kuruluş Yeri Seçimi.....	48
3.2. Üretim Teknolojisi	50
3.3. İnsan Kaynakları	53
4. FİNANSAL ANALİZ	56
4.1. Sabit Yatırım Tutarı	56
4.2. Yatırımın Geri Dönüş Süresi	58
5. ÇEVRESEL VE SOSYAL ETKİ ANALİZİ	58
5.1. Çevresel Etkiler	58
5.2. Sosyal Etkiler	62
KAYNAKÇA	67

TABLolar

Tablo 1: Türkiye’de Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisi Sayıları ve Kapasiteleri	8
Tablo 2: Teşvik Sistemi Uygulamaları Destek Unsurları.....	10
Tablo 3: Bölgesel Teşvik Uygulamalarında Sağlanan Destek Unsurları - 1. Bölge	11
Tablo 4: Öncelikli Yatırımlar İçin Sağlanan Destek Unsurları	12
Tablo 5: Stratejik Yatırımlar İçin Sağlanan Destek Unsurları.....	13
Tablo 6: Tesis Yıllık Gider Maliyet Kalemleri	37
Tablo 7: Rüzgâr Türbin Kanatlarının Geri Dönüşümü Konusunda Tespit Edilen Fırsatlar ve Sorunlar/Engeller Matrisi	40
Tablo 8: ATY Hazırlama Tesislerinde Hazırlanacak Yakıtın Özellikleri	47
Tablo 9: Malzeme Fiziksel Özellikleri ve Sistem Temel İşletme Parametreleri.....	51
Tablo 10: Tahrik/Güç Ünitesi Teknik Bilgileri	52
Tablo 11: Sistemin Genel Boyutları ve Besleme Ünitesi Teknik Bilgileri	52
Tablo 12: Kesme ve Eleme Üniteleri Teknik Bilgileri	52
Tablo 13: 15 Yaş ve Üzeri Nüfusun İzmir İlinde Eğitim Durumuna Göre Dağılımı (%).....	53
Tablo 14: Türkiye ve İzmir’deki Çalışma Çağındaki Nüfus ve Dağılımları	54
Tablo 15: Türkiye Geneli ve İzmir İli Genç Nüfus ve Dağılımı	54
Tablo 16: İzmir İlindeki Açık İş Sayısı ve İşe Yerleştirilme Oranı.....	55
Tablo 17: Üretimde Önde Gelen Ülkelerde ABD Doları/ay Bazında Asgari Ücretler.....	55
Tablo 18: Tesis Sabit Yatırım Maliyet Kalemleri	57
Tablo 19: Tesis Maliyet ve Gelir Kalemleri	58
Tablo 20: Geri Kazanım İşlemleri	59

ŞEKİLLER

Şekil 1: Türkiye’de Kompozit Sektöründe Yer Alan Firmaların Bölgesel Dağılımı, 2020.....	7
Şekil 2: Türkiye Çimento Fabrikaları Bölgesel Dağılımı, 2021.....	9
Şekil 3: ABD’de depolama sahasında gömülmeyi bekleyen rüzgâr türbin kanatları.....	16
Şekil 4: 2020 Yılı Ülke Bazında Kurulu Rüzgâr Türbini Sayıları	17
Şekil 5: 2020 Yılı Rüzgâr Enerjisi Kapasitesine (MW) Göre Dünyanın İlk 10 Ülkesi	18
Şekil 6: Avrupa’daki Kapasiteye Göre Karasal Rüzgâr Türbini Yaşları	19
Şekil 7: Dünyada Rüzgâr Enerjisi Sektöründen Kaynaklanacağı Tahmin Edilen Kompozit Atık Hacmi.....	19
Şekil 8: Rüzgâr Enerjisi ve Diğer Sektörlerden Kaynaklanan Kompozit Atık Miktarı (kt/yıl)	20
Şekil 9: Aalborg, Danimarka’da Türbin Kanadından İnşa Edilmiş Bisiklet Korunağı	20
Şekil 10: Geri Dönüştürülmek Üzere Hazırlanan Türbin Kanatları	21
Şekil 11: Rüzgâr Türbini Geri Dönüşümünden Elde Edilen Ürünler	22

Şekil 12: Geocycle Firması Tanıtım Görseli	22
Şekil 13: CTP Atıkları.....	23
Şekil 14: Danimarka'da Cam Elyafından Üretilmiş Gürültü Bariyeri	23
Şekil 15: Piroliz İşleminden Sonra Rüzgâr Kanadı (a) ve Ortaya Çıkan Elyaf Malzemesi (b)	24
Şekil 16: Türkiye'de Yıllar İçinde Devreye Alınan Rüzgâr Santralleri	25
Şekil 17: Türkiye'de Yıllık Rüzgâr Enerjisi Üretim Miktarı (GWh) ve Ülke İçindeki Payı (%)	25
Şekil 18: İllere Göre Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücü (MW)	26
Şekil 19: Rüzgâr Türbini Kanat Atıklarının Yönetimi: Mevcut Durum ve Yatırıma Konu Yakıt Üretim Tesisleri Genel Süreç Akım Şeması	30
Şekil 20: Kompozit Sektörü İhracat-İthalat Kalemleri (Milyon Avro), 2017	32
Şekil 21: Çimento İç Satış, İhracat ve Toplam Üretim Miktarları (Bin Ton), 2016-2020	33
Şekil 22: Çimento İç Satış Dağılımı, 2020 (Ton).....	33
Şekil 23: 2023-2036 Yılları Arasında Türkiye'de Ömrünü Tamamlaması Beklenen Türbin Kanat Sayıları	34
Şekil 24: Dünya, Avrupa ve Türkiye'de Kompozit Malzemenin Sektörler Arasında Dağılımı (%).....	35
Şekil 25: 2022 -2036 Yılları Arasında Tesiste İşlem Görecek Atıkların Çeşit ve Miktar Dağılımı	36
Şekil 26: 2023 -2036 Yılları Arasında Ömrünü Tamamlayacak Türbin Kanatlarının Boyutları	37
Şekil 27: 2014-2018 Yılları Türkiye'deki Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisleri Sayıları.....	43
Şekil 28: 2014-2018 Yılları Türkiye'deki Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesislerinde İşlem Gören Atık Miktarları (Bin Ton)	43
Şekil 29: 2014-2018 Yılları Türkiye'deki İşlem Türüne Göre Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisleri Sayısı	44
Şekil 30: 2014-2018 Yılları Türkiye'deki İşlem Türüne Göre Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesislerinde İşlem Gören Atık Miktarı (Bin Ton)	44
Şekil 31: 2016-2020 Yılları Arasında Türkçimento'ya Kayıtlı ve Kayıtlı Olmayan Türkiye'deki Tüm Çimento Fabrikalarının Kapasite Miktarları (Bin Ton).....	45
Şekil 32: 2016-2020 Yılları Arasında Türkçimento'ya Kayıtlı Çimento Fabrikalarının Kapasite Kullanım Oranları	46
Şekil 33: 2007-2018 Yılları Türkiye'de Çimento Sektöründe ATY Kullanım Miktarı (Bin Ton).....	46
Şekil 34: 2007-2018 Yılları Türkiye'de Çimento Sektöründe ATY İkame Oranı	47
Şekil 35: 2022-2036 Yılları Ömrünü Tamamlayacak Türbin Kanatlarının İllere Dağılımı	49
Şekil 36: Ömrünü Tamamlayacak Türbin Kanatlarının Harita Üzerinde Dağılımı.....	49
Şekil 37: Kırma/Parçalama Sistemi Genel Proses Akışı.....	51

İZMİR İLİ RÜZGÂR TÜRBİNİ KANADI GERİ DÖNÜŞÜM TESİSİ ÖN FİZİBİLİTE RAPORU

1. YATIRIMIN KÜNYESİ

Yatırım Konusu	Rüzgâr Türbini Kanadı Geri Dönüşüm (Yakıt Üretim) Tesisi	
Üretilcek Ürün/Hizmet	İşlenmiş ve boyutu küçültülmüş rüzgâr türbin kanadı ve kompozit atıkları	
Yatırım Yeri (İl - İlçe)	İzmir	
Tesisin Teknik Kapasitesi	10.000 ton/yıl atık işleme kapasitesi	
Sabit Yatırım Tutarı	1.161.000 ABD Doları	
Yatırım Süresi	1 Yıl	
Sektörün Kapasite Kullanım Oranı	%85	
İstihdam Kapasitesi	4 Kişi	
Yatırımın Geri Dönüş Süresi	4.6 Yıl	
İlgili NACE Kodu (Rev. 3)	38.32.02	
İlgili GTİP Numarası	3915	
Yatırımın Hedef Ülkesi	Yurt İçi	
Yatırımın Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına Etkisi	Doğrudan Etki	Dolaylı Etki
	Amaç 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji Amaç 12: Sorumlu Üretim Ve Tüketim	Amaç 13: İklim Eylemi
Diğer İlgili Hususlar	Atıkların Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) olarak çimento tesislerinde ek yakıt şeklinde kullanımı için kırma sistemlerinin İzmir bölgesinde mevcut bir tesise entegre olarak kurulması uygun olacaktır.	

Subject of the Project	<i>Wind Turbine Blade Recycling (Fuel Production) Plant</i>	
Information about the Product/Service	<i>Processed and downsized wind turbine blade and composite wastes</i>	
Investment Location (Province-District)	<i>İzmir</i>	
Technical Capacity of the Facility	<i>10,000 tons/year waste processing capacity</i>	
Fixed Investment Cost	<i>1,161,000 US Dollar</i>	
Investment Period	<i>1 yıl</i>	
Economic Capacity Utilization Rate of the Sector	<i>85%</i>	
Employment Capacity	<i>4</i>	
Payback Period of Investment	<i>4,6 years</i>	
NACE Code of the Product/Service (Rev.3)	<i>38.32.02</i>	
Harmonized Code (HS) of the Product/Service	<i>3915</i>	
Target Country of Investment	<i>Domestic Use</i>	
Impact of the Investment on Sustainable Development Goals	Direct Effect	Indirect Effect
	<i>Goal 7: Affordable and Clean Energy Goal 12: Responsible Consumption and Production</i>	<i>Goal 13: Climate Action</i>
Other Related Issues	<i>It would be appropriate to establish crushing systems integrated with an existing facility in İzmir region in order to use of wastes as Refuse Derived Fuel (RDF) for alternative fuel in cement plants.</i>	

2. EKONOMİK ANALİZ

2.1. Sektörün Tanımı

İzmir ili rüzgâr türbini geri dönüşümü sektörünün gelişimine katkı sağlamak amacı ile hazırlanan bu ön fizibilite raporunda; bir geri dönüşüm tesisi kurularak, özellikle kompozit malzemelerden oluşan rüzgâr türbini kanat atıklarının parçalanıp, çimento ve/veya yakma tesislerinde kullanımı mümkün yakıt haline getirilmesi ele alınmıştır. Bu çerçevede, kurulması önerilen tesis yatırımına yönelik ekonomik ve teknik kriterler ile mevzuat açılarından ön değerlendirme yapılmıştır. Ön fizibilitesi hazırlanan yatırımın ilgili olduğu sektörler; (i) bu atıkları üreten rüzgâr sanayii ve kompozit üreten ve kompozit malzeme kullanan sektörler, (ii) atığın geri dönüştürülmesi için yatırım yapabilecek geri dönüşüm sektörü (ör: ATY tesisleri) ve (iii) bu atıklardan üretilmiş ürünleri (ör: ATY) değerlendirme potansiyeli bulunan yakma ve çimento tesisleridir. O nedenle raporun bu bölümünde ilgili sektörlerin mevcut durumları ile ilgili kısa bilgilere yer verilmiştir.

Rüzgâr enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağı olup kullanımı her geçen gün artmaktadır. İlk rüzgâr türbinlerinin kurulumu daha eskilere dayansa da 1990'ların sonu itibarıyla rüzgâr enerjisi sektörü dünyada diğer pek çok enerji kaynağına oranla oldukça hızlı bir büyüme göstermiştir. Özellikle türbin çeşitlerinin ve türbin yüksekliklerinin gelişmesiyle birlikte rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi maliyetleri her geçen gün düşmeye devam etmektedir. Kurulmaya başlandığı ilk günlerdeki 50-100 kW'lık kapasiteli santraller yerine günümüzde kurulan rüzgâr türbinlerinin güç kapasiteleri 10 MW'ı, kanat uzunlukları ise 100 m'yi aşmıştır.

Tüm dünyada ve ülkemizde rüzgâr enerjisinin çevre üzerine olumsuz etkisinin yok denecek kadar az olduğu düşünülmektedir. Fakat rüzgâr türbinlerinin üretim süreçlerinden kaynaklı atıklar ile ömürlerini tamamlayan türbinlerin kanatları başta olmak üzere yönetilmesi gereken atık problemleri bulunmaktadır. Dünyada bu atıkların yönetimi için sürdürülebilir, ticari ölçekte başarı örneği olabilecek çalışmalar oldukça yeni ve çok sınırlı sayıdadır. Mevcut durumda dünyada olduğu gibi ülkemizde de türbin kanadı atıkları çok büyük oranda atık depo sahalarına gönderilmekte ve ekonomik değere dönüştürülememektedir. Özellikle son 10 yılda tüm dünyada rüzgâr sanayii kaynaklı atıkların geri dönüşüm olanaklarına yönelik araştırmalara hız verilmiştir.

Rüzgâr türbini kanatları kompozit malzemelerden üretildiği için çalışma açısından öne çıkan bir diğer sektör kompozit sektördür. Kompozit malzemeler, yüksek mukavemetleri, düşük ağırlıkları, tasarım esneklikleri, elektrik yalıtımı, paslanmazlık ve aşınmazlık gibi önemli özellikleri sayesinde pek çok sektörde kullanım alanına sahiptir. Kompozit ürünler, reçineler, termoset/termoplastik malzemeler, cam elyaf ve karbon elyaf gibi farklı hammadde gruplarının bir araya getirilmesi ile oluşan yapılardır. Malzeme özellikleri sayesinde kompozit ürünlerin kullanımı ve üretimi dünyada olduğu gibi Türkiye'de de hızla artmaktadır (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2020).

Türkiye'de kompozit malzeme kullanımı ilk defa kaportası fiberglastan (cam elyaf) üretilmiş yerli otomobil ile 1960'lı yıllarda başlamıştır. Günümüzde ise insansız hava araçlarının parçaları dahil olmak üzere pek çok alanda kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2020). Son yıllarda kompozit sektörü ülkemizde hızlı büyüme trendine devam ederek yaklaşık 8.200 çalışan, 1,5 milyar Avro ciro ve yıllık 280.000 tonluk üretim hacmi ile katma değeri yüksek ürünler üreten bir sektör haline gelmiştir (Kimya Sanayii Çalışma Grubu, 2018). Bu sektörde halen orta/büyük ölçekli 180 şirkete ek olarak kısmen kompozit üretimi gerçekleştiren 700-800 şirket bulunmaktadır.

Türkiye'de kompozit sektöründe yer alan kuruluşların bölgesel dağılımı Şekil 1'de sunulmaktadır. Kompozit sektöründe faaliyet gösteren kuruluşların önemli bir kısmının Marmara Bölgesi'nde yer aldığı görülmekle birlikte savunma sanayi kuruluşlarının başı çektiği kompozit üreticileri Ankara ilinde yoğunlaşmıştır. İzmir ilinde ise rüzgâr türbini komponent üreticilerine ek olarak Ar-Ge firmaları,

endüstriyel iplik, teknik tekstil ve elyaf imalatçıları yer almaktadır. Ülkemizde kompozit malzeme üreticilerinin çoğunluğu otomotiv, denizcilik, rüzgâr enerjisi ve inşaat sektörlerinde faaliyet gösterirken; savunma, havacılık ve uzay sektörlerine yönelik üretim daha azdır (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2020).

Şekil 1: Türkiye’de Kompozit Sektöründe Yer Alan Firmaların Bölgesel Dağılımı, 2020



Kaynak: Composites Turkey Dergisi, Sayı:27, Eylül 2020

Yaklaşık 20 yıllık kullanım ömrüne sahip rüzgâr türbin kanatlarının zorlu iklim koşullarında sağlam kalabilmeleri için hafif ve dayanıklı malzemelerden üretilmeleri yıllar içinde bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle türbin kanatları cam elyaf ve termoset reçineler başta olmak üzere farklı hammaddelerin birleştirilmesiyle kompozit olarak üretilmektedir. Kimyasal özellikleri nedeniyle kompozit kanatların geri dönüşümü teknik olarak oldukça zordur ve geri dönüşüm süreçleri ticari olarak maliyet-etkin olmaktan uzaktır. Cam elyaf takviyeli plastikler (CTP) olarak anılan bu malzemeler genellikle ısıyla sertleşen plastiklerden (polyester veya epoksi reçine) ve cam elyaflardan oluşan yapılardır. Bu kompozit malzemeler üretim esnasında sertleştikten sonra tekrar termal olarak ayrıştırılmaları veya eritilmeleri mümkün olamamaktadır. Dolayısıyla, dünyada son yıllarda kompozit kanatların ve bu kanatların üretimi esnasında ortaya çıkan benzer yapıdaki kompozit atıkların geri dönüşümü konusunda Ar-Ge faaliyetleri yürütülmektedir. Özellikle termal/kimyasal geri dönüşüm teknolojileri geliştirme çalışmaları devam etmektedir ancak bu teknolojiler henüz yaygın ve ticari boyuta ulaşmamıştır.

Rüzgâr türbin kanadı atıkları için çözümün bir parçası olabilecek önemli sektörlerden bir tanesi atıkların geri dönüşümüdür. Atık geri dönüşümü sektörü, ekonomik büyüme, teknolojik gelişme, sanayileşme, kentleşme ve refah seviyesinin yükselmesi gibi nedenlerle atık miktarlarındaki artışa paralel olarak önemli bir sektör haline gelmiştir. Türkiye’de geri dönüşüm sektörü yıllar içerisinde 5 milyar Avro’luk bir pazar büyüklüğüne ulaşmıştır. TÜİK tarafından yayınlanan verilere göre (Tablo 1), Türkiye’de 2018 yılında 166 atık bertaraf tesisi ve 2.057 atık geri kazanım tesisi olmak üzere toplam 2.223 atık yönetim tesisi faaliyet göstermiştir. Tesis sayısında 2016 yılına kıyasla yaklaşık %30’luk artış olmuştur. 757 bin ton/yıl toplam kapasiteye sahip 7 yakma tesisinde 65 bin tonu tehlikeli ve 429 bin tonu tehlikesiz olmak üzere toplam 494 bin ton atık bertaraf edilmiştir. Atık geri kazanım lisanslı 40 beraber yakma (ko-insinerasyon) tesisinde 1 milyon ton atık yakılarak enerji geri

kazanımı gerçekleştirilmiş; lisanslı diğer 2009 atık geri kazanım tesisinde ise toplam 47 milyon ton metal, plastik, kâğıt, mineral vb. atık geri kazanılmıştır. En çok geri dönüştürülen atıkların başında kâğıt, plastik ve cam atıklar gelmektedir. İzmir ilinde ise atıkların kaynak tiplerine göre ayrıştırıldığı ve geri dönüştürüldüğü etkili bir atık yönetim sistemi bulunmamaktadır. Bu nedenle atık geri dönüşümü oranının %10 civarında düşük oranda seyrettiği söylenebilmektedir (İZKA, 2020). Öte yandan, İzmir'in Bölgesel Girdi-Çıktı Tablosunun Güncellenmesi çalışmasına göre, yeniden değerlendirme sektörü bölgede ileri ve geri bağlantısı yüksek kilit sektörler arasındadır.

Tablo 1: Türkiye’de Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisi Sayıları ve Kapasiteleri

		2016		2018	
		Tesis Sayısı	İşlem Gören Atık Miktarı (Ton)	Tesis Sayısı	İşlem Gören Atık Miktarı (Ton)
Atık Bertaraf Tesisleri		140	44.125.262	166	56.372.769
	Düzenli Depolama Tesisleri	134	43.815.135	159	55.878.883
	Yakma Tesisleri	6	310.127	7	493.885
Atık Geri Kazanım Tesisleri		1.558	36.648.986	2.057	48.079.834
	Kompost Tesisleri	7	140.467	8	138.054
	Beraber Yakma (Ko-İnsinerasyon) Tesisleri	35	738.908	40	1.069.360
	Diğer Geri Kazanım Tesisleri ⁽¹⁾	1.516	35.769.611	2.009	46.872.420

(1) Metal, plastik, kâğıt, mineral vb. atıkların geri kazanımını yapan tesisleri içermektedir.

Atık geri dönüşümü sektörünün ürettiği katma değerli ürünlere verilebilecek güzel bir örnek ATY’dır. Son yıllarda ülkemizde de yaygınlaşmaya başlayan bu yakıt endüstriyel/evsel atıkların yüksek ısı değere sahip olan kısımlarının ayrıştırılıp düşük nem seviyesinde harmanlanması ile elde edilmektedir. ATY’nin içeriğindeki ısı enerjisi ve mineral miktarı, yakıtın termal süreçlerde optimum kullanımına imkan verecek şekilde hazırlanmaktadır. ATY üretiminde atık solvent, tekstil atıkları, endüstriyel atıklar, endüstriyel çamurlar, atık plastikler, organik/anorganik atıklar, tüketime uygun olmayan atıklar, atık yağlar, kompozit atıklar ve ambalaj atıkları gibi malzemeler kullanılmaktadır. ATY üretim süreci temel olarak 3 aşamadan oluşur:

- 1- ATY olabilecek atıkların diğer atıklardan ayrıştırılması
- 2- Atıkların nemi yüksek olduğu durumlarda kurutulması ve yakıt içeriğine zarar vermeyecek oranlarda içeriğinin hazırlanması
- 3- Yakıt hammaddesinin istenilen ölçüde boyutlandırılması ve balyalanması

Atığın kaynağı ve içeriğine göre değişmekle birlikte endüstriyel atıklardan üretilmesi durumunda ATY’lerin ısı kapasiteleri 3.500-4.000 kcal/kg seviyelerinde olmaktadır. ATY genellikle enerji

kullanımı yoğun olan endüstrilerde kömür alternatifi olarak tercih edilmekle beraber, en yaygın kullanımı çimento tesislerinde ek yakıt olarak değerlendirilmesidir.

Dünyada çimento üretim ve satışına 1878 yılında başlanmış, Türkiye çimento sektörü ile 1912 yılında özel sektör girişimi ile tanışmıştır. Çimento, dünyada en çok tüketilen yapı malzemesi betonun temel bir bağlayıcısıdır. Türkiye çimento sektörü üretiminde Avrupa'da 1. dünyada 6. sırada yer almaktadır ve 55 entegre çimento fabrikasıyla 2019 yılı verilerine göre dünyadaki 2. en büyük çimento ve klinker ihracatçısıdır. TÜİK verilerine göre, 2019 yılında toplam 23 milyon ton ve 877 milyon ABD Doları değerinde çimento ve klinker ihracatı gerçekleştirilmiştir. 2020 yılında ise toplam ihracat %27 oranında artarak 1 milyar 116 milyon ABD Dolarına ulaşmıştır. Türkiye'deki çimento üretim tesislerinin bölgesel dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği (Türkçimento) verilerine göre, 2020 yılında İzmir ve çevresini de kapsayan Ege Bölgesi'nde iç satış ve dış satış sırasıyla 4.930.105 ton ve 1.058.399 ton değerlerine ulaşmıştır. Bu değerlerle Ege Bölgesi ülkemiz çimento sektöründe toplam iç satışın %9'unu dış satışın ise %6,5'ini oluşturmaktadır. İzmir'de faaliyet gösteren Türkçimento'ya kayıtlı 2 çimento fabrikası bulunmaktadır.

Şekil 2: Türkiye Çimento Fabrikaları Bölgesel Dağılımı, 2021



Bu harita TÜRKÇİMENTO tarafından hazırlanmıştır
 This map designed by Turkish Cement Manufacturers' Association (TÜRKÇİMENTO)
 Güncellenme Tarihi/ Updated on 9.3.2021

Kaynak: Türkçimento, 2021 https://www.turkcimento.org.tr/tr/uye_fabrikalar

2.2. Sektöre Yönelik Sağlanan Destekler

Bu ön fizibilite çalışmasının hazırlandığı dönemde mevcut olan ve sektöre yönelik sağlanan yatırım teşvikleri ve diğer desteklerle ilgili bilgiler aşağıda yer almaktadır. Bu çalışmanın yayımlanmasından sonra kurumlar tarafından ilan edilebilecek yeni yatırım teşvik ve destek programlarının, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü'ne ait Yatırıma Destek Portalı (www.yatirimadestek.gov.tr) üzerinden güncel olarak takip edilmesi mümkündür. Ayrıca portalın Teşvik Robotu bölümünde, güncel yatırım tutarları girilerek detaylı teşvik miktarı hesaplamaları

yapılabilmesi mümkündür. Bu sebeple yatırımcıların yatırım karar süreçlerinde portaldaki güncel bilgileri dikkate almaları tavsiye edilmektedir.

2.2.1. Yatırım Teşvik Sistemi

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı teşvik sistemi 15.06.2012 tarih ve 2012/3305 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe girmiş olup, 4 farklı uygulamadan oluşmaktadır.

1 Ocak 2021 tarihinden itibaren geçerli olmak üzere belirlenen teşvik uygulamaları açısından illerin gelişmişlik düzeyine göre, İzmir 1. Bölge'de yer almaktadır. Genel Teşvik Sistemi'nde asgari sabit yatırım tutarı, İzmir'in dahil olduğu 1. bölgede 1 milyon TL'dir. Bölgesel Teşvik Uygulamaları için asgari sabit yatırım tutarı 1. bölgede 1 milyon TL'den başlamak üzere desteklenen her bir sektör ve her bir il için ayrı ayrı belirlenmiştir. Stratejik Yatırımlar için asgari sabit yatırım tutarı 50 milyon TL'dir.

İzmir'in yer aldığı 1. Bölge için teşvik sistemi uygulamalarına sağlanan destek unsurları aşağıdaki tabloda verilmektedir:

Tablo 2: Teşvik Sistemi Uygulamaları Destek Unsurları

Destek Unsurları	Genel Teşvik Uygulamaları	Bölgesel Teşvik Uygulamaları	Öncelikli Yatırımların Teşviki	Stratejik Yatırımların Teşviki
KDV İstisnası	X	X	X	X
Gümrük Vergisi Muafiyeti	X	X	X	X
Vergi İndirimi		X	X	X
Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği		X	X	X
Faiz veya Kar Payı Desteği			X	X
Yatırım Yeri Tahsisi		X	X	X
KDV İadesi				X

Kaynak: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.sanayi.gov.tr/destek-ve-tesvikler/yatirim-tesvik-sistemleri>

Destek Unsurları

Katma Değer Vergisi İstisnası: Teşvik belgesi kapsamında yurt içinden ve yurt dışından temin edilecek yatırım malı makine ve teçhizat ile belge kapsamındaki yazılım ve gayri maddi hak satış ve kiralamaları için katma değer vergisinin ödenmemesi şeklinde uygulanır.

Gümrük Vergisi Muafiyeti: Teşvik belgesi kapsamında yurt dışından temin edilecek yatırım malı makine ve teçhizat için gümrük vergisinin ödenmemesi şeklinde uygulanır.

Vergi İndirimi: Gelir veya kurumlar vergisinin, yatırım için öngörülen katkı tutarına ulaşıncaya kadar, indirimli olarak uygulanmasıdır.

Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği: Teşvik belgesi kapsamı yatırımla sağlanan ilave istihdam için ödenmesi gereken sigorta primi işveren hissesinin asgari ücrete tekabül eden kısmının Bakanlıkça karşılanmasıdır.

Faiz veya Kâr Payı Desteği: Faiz veya Kar Payı Desteği, teşvik belgesi kapsamında kullanılan en az bir yıl vadeli yatırım kredileri için sağlanan bir finansman desteği olup, teşvik belgesinde kayıtlı sabit yatırım tutarının %70'ine kadar kullanılan krediye ilişkin ödenecek faizin veya kâr payının belli bir kısmının bakanlık tarafından karşılanmasıdır.

Yatırım Yeri Tahsis: Teşvik Belgesi düzenlenmiş yatırımlar için Maliye Bakanlığı'nca belirlenen usul ve esaslar çerçevesinde yatırım yeri tahsis edilmesidir.

Katma Değer Vergisi İadesi: Sabit yatırım tutarı 500 milyon Türk Lirası'nın üzerindeki Stratejik Yatırımlar kapsamında gerçekleştirilen bina-inşaat harcamaları için tahsil edilen KDV'nin iade edilmesidir.

Teşvik Sistemi Uygulamaları

Genel Teşvik Uygulamaları

Teşvik edilmeyecek veya teşviki için aranan şartları sağlayamayan yatırım konuları hariç olmak üzere, asgari sabit yatırım tutarı ve kapasiteler üzerindeki yatırımlar bölge ayrımı yapılmaksızın Genel Teşvik Uygulamaları kapsamında desteklenmektedir.

Bölgesel Teşvik Uygulamaları

Bölgesel Teşvik Uygulamalarında her ilde desteklenecek sektörler, illerin potansiyelleri ve ekonomik ölçek büyüklükleri dikkate alınarak tespit edilmiş olup, bölgelerin gelişmişlik seviyelerine göre yardım yoğunlukları farklılaştırılmıştır. Tablo 3'te 1. Bölge'ye uygulanan bölgesel teşvik uygulamalarında sağlanan destek unsurları verilmektedir.

Tablo 3: Bölgesel Teşvik Uygulamalarında Sağlanan Destek Unsurları - 1. Bölge

Destek Unsurları			1. Bölge
KDV İstisnası			VAR
Gümrük Vergisi Muafiyeti			VAR
Vergi İndirimi*	Yatırıma Katkı Oranı* (%)	OSB ve EB Dışı	15
Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği**	Destek Süresi	OSB ve EB Dışı	2 yıl
Yatırım Yeri Tahsis			VAR
Faiz veya Kar Payı Desteği	İç Kredi	YOK	
	Döviz/Dövizle Endeksli Kredi		

Sigorta Primi (İşçi Hissesi) Desteği	YOK
Gelir Vergisi Stopajı Desteği	YOK

EB: İmalat sanayiine yönelik olarak Endüstri Bölgesinde gerçekleştirilen yatırımlar

*İmalat sanayiine yönelik (US-97 Kodu:15-37) düzenlenen yatırım teşvik belgeleri kapsamında, 1.1.2017 ile 31.12.2022 tarihleri arasında gerçekleştirilecek yatırım harcamaları için yatırıma katkı oranı her bir bölgede geçerli olan yatırıma katkı oranına 15 puan ilave edilmek suretiyle, vergi indirimi

** Teşvik belgesi düzenlenmesine ilişkin müracaat aşamasında talep edilmesi halinde, vergi indiriminden yararlanılmamak kaydıyla, desteğin sabit yatırım tutarına oranı yatırıma katkı oranının yarısı kadar artırılarak uygulanır.

Kaynak: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.sanayi.gov.tr/destek-ve-tesvikler/yatirim-tesvik-sistemleri>

Öncelikli Yatırımların Teşviki

Ülkemizin ihtiyaçları doğrultusunda, tespit edilen alanlarda yapılacak olan yatırımlar, öncelikli yatırımlar olarak belirlenmiş ve bu yatırımlara 1. 2. 3. ve 4. Bölgelerde gerçekleştirilmiş olsalar dahi 5. Bölgede uygulanan destekler sağlanmıştır. Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında çevre lisansına tabi yatırımlar desteklenecek yatırım konuları arasındadır (detayları ilerleyen bölümlerde sunulmaktadır). Öncelikli yatırımlar için sağlanan destek unsurları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Öncelikli Yatırımlar İçin Sağlanan Destek Unsurları

Destek Unsurları		Destek Oran ve Süreleri*
KDV İstisnası		VAR
Gümrük Vergisi Muafiyeti		VAR
Vergi İndirimi	Yatırıma Katkı Oranı (%)	40**
	Vergi İndirimi (%)	80**
Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği		7 yıl
Yatırım Yeri Tahsis		VAR
Faiz veya Kar Payı Desteği***	İç Kredi	5 puan
	Döviz/Döviz Endeksli Kredi	2 puan

* 1-5. Bölgelerde yapılacak yatırımlar için 5. Bölge desteği, 6. Bölgede yapılacak yatırımlar için 6. Bölge desteği

**İmalat sanayiine yönelik (US-97 Kodu:15-37) düzenlenen yatırım teşvik belgeleri kapsamında, 1.1.2017 ile 31.12.2022 tarihleri arasında gerçekleştirilecek yatırım harcamaları için yatırıma katkı oranı mevcut orana 15 puan ilave edilmek suretiyle, vergi indirimi oranı %100 oranında ve yatırıma katkı tutarının yatırım döneminde kullanılabilecek oranı %100 olarak uygulanır.

***TCMB Kaynaklı Yatırım Taahhütlü Avans Kredisi kullanılması halinde 5 puan faiz desteği uygulanır.

Kaynak: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.sanayi.gov.tr/destek-ve-tesvikler/yatirim-tesvik-sistemleri>

Stratejik Yatırımların Teşviki

İthalat bağımlılığı yüksek olan ara mal veya ürünlerin üretimine yönelik yatırımlar Tablo 5'te gösterildiği şekilde stratejik yatırımların teşviki uygulamaları kapsamında desteklenmektedir.

Tablo 5: Stratejik Yatırımlar İçin Sağlanan Destek Unsurları

Destek Unsurları		Tüm Bölgeler
KDV İstisnası		Var
Gümrük Vergisi Muafiyeti		Var
Vergi İndirimi	Yatırıma Katkı Oranı* (%)	50
Sigorta Primi İşveren Hissesi Desteği	Destek Süresi	7 yıl
Yatırım Yeri Tahsisi		Var
Faiz veya Kar Payı Desteği**	İç Kredi	5 Puan (TOSHP kapsamında yüksek teknoloji üründe 10, diğerlerinde 8 puan)
	Döviz/Döviz Endeksli Kredi	2 puan
Sigorta Primi (İç Hissesi) Desteği	10 yıl (Sadece 6. Bölgede Gerçekleştirilecek Yatırımlar) Diğer bölgelerde, TOSHP kapsamında yüksek teknoloji üründe 7 yıl, diğerlerinde 5 yıl	
Gelir Vergisi Stopajı Desteği***	10 yıl (Sadece 6.Bölgede Gerçekleştirilecek Yatırımlar ve TOSHP kapsamında desteklenen stratejik yatırımlar)	
KDV İadesi	Var (Sadece 500 milyon TL ve üzeri yatırımlar için)	

* İmalat sanayiine yönelik (US-97 Kodu:15-37) düzenlenen yatırım teşvik belgeleri kapsamında, 1.1.2017 ile 31.12.2022 tarihleri arasında gerçekleştirilecek yatırım harcamaları için yatırıma katkı oranı mevcut orana 15 puan ilave edilmek suretiyle, vergi indirimi oranı %100 oranında ve yatırıma katkı tutarının yatırım döneminde kullanılabilir oranı %100 olarak uygulanır.

**TCMB Kaynaklı Yatırım Taahhütlü Avans Kredisi kullanılması halinde 5 puan faiz desteği uygulanır.

***TOSHP Kapsamında stratejik olarak desteklenen yatırımlarda ürün yüksek teknoloji ise azami 500, diğerlerinde ise azami 300 çalışan için uygulanabilir.

Kaynak: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.sanayi.gov.tr/destek-ve-tesvikler/yatirim-tesvik-sistemleri>

Alt bölge desteklerinden yararlanma

01.01.2021 tarihinden itibaren geçerli olmak üzere alt bölge desteklerinden faydalanan ilçelere ilişkin 21.08.2020 tarihli ve 31220 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Kararda Değişiklik Yapılmasına Dair Karar (Karar Sayısı: 2846) EK-7’ye göre İzmir’in Bayındır, Beydağ ve Kiraz ilçeleri alt bölge desteklerinden yararlanabilmektedir.

İzmir İlinde Atık Geri Kazanım veya Bertaraf Tesisleri (US-97 kodu: 0000.0.00.02) Yatırım Teşvik Analizi

İlin Olduğu Bölge	1. Bölge
Genel Teşvik mi?	Yararlanabilir
Bölgesel Teşvik mi?	Evet
Öncelikli Yatırım mı?	Evet
Bölgesel Teşvik Asgari Yatırım Şartları	-
Yatırımla İlgili Özel Şartlar	2017-2022 yıllarında yapılacak yatırım harcamaları için vergi indirimi Yatırıma Katkı Oranına 15 puan ilave edilmekte, vergi indirimi oranı %100 olmakta ve bina-inşaat harcamalarına KDV İadesi uygulanmaktadır. Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında Çevre Lisansına tabi yatırımlar öncelikli yatırım kapsamında değerlendirilerek 5. bölge teşviklerinden yararlanmaktadır.
Yararlanılacak Teşvik Bölgesi	5. Bölge
KDV İstisnası	Var
Gümrük Vergisi Muafiyeti	Var
Yatırım Yeri Tahsisi	Var
SGK İşveren Hissesi Desteği	7 yıl %35 Yatırıma Katkı Oranı
Vergi İndirimi Desteği	Vergi İndirim Oranı %80, Yatırıma Katkı Oranı %40
Faiz Desteği	TL 5 puan, Döviz 2 puan İndirimli, 1 Milyon 400 Bin TL'yi geçemez.
SGK İşçi Hissesi Desteği	Uygulanmamaktadır
Gelir Vergisi Stopajı Desteği	Uygulanmamaktadır
Başvuruda İstenen Belge Örnekleri	Başvuru Dilekçesi Yetkilendirme Taahhütnamesi Yetkilendirme Formu İmza Sirküleri SGK Borcu Yoktur Yazısı ÇED Yazısı Çevre İzin ve Lisans Belgesi

Kaynak: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, <https://www.yatirimadestek.gov.tr/tesvik-robotu>

2.2.2. Diğer Destekler

İzmir Kalkınma Ajansı (İZKA) Destekleri

İZKA, kaynakların uygun/etkin kullanımını ve sürdürülebilir kalkınmayı hızlandırmayı hedeflemektedir. Bu çerçevede sürdürülebilir üretim ve hizmet sunumunu yaygınlaştırmak için politika geliştirme/uygulama konusunda faaliyetler yürütmektedir (İZKA, 2021). Bu perspektifle, İzmir'in sürdürülebilir kalkınmasının araçları olarak "Yeşil ve Mavi Dönüşüm Stratejisi" hazırlık çalışmaları yürütülmektedir. Ajans, "İzmir için yeşil ve mavi büyüme yaklaşımları temelinde bilgi üretmek, öncü, özgün ve örnek (3Ö) projeler geliştirmek" misyonunu edinmiştir ve faaliyetlerinin arasında "sürdürülebilir üretim" çerçevesinde üç tane Sonuç Odaklı Program (SOP) yer almaktadır:

- 1- Yenilik ve Girişimcilik Sonuç Odaklı Programı (YGSOP),
- 2- Temiz Enerji ve Temiz Teknolojiler Sonuç Odaklı Programı (TETSOP) ve
- 3- Deniz Ekonomisi Sonuç Odaklı Programı (DESOP).

Temiz enerji kullanımı ve ilgili teknolojilerin üretimi, enerji/kaynak verimliliği, su yönetimi, katı/tehlikeli atık geri kazanımı ve bertarafı, sürdürülebilir tarım ve biyo-çeşitliliğin korunması, temiz üretim teknolojilerinin ve uygulamalarının geliştirilmesinin hedeflendiği TETSOP kapsamında 2021 ile 2023 yılları arasında mali desteklerin sağlanması planlanmıştır (İZKA, 2021).

Genel olarak, ajanslar tarafından sağlanan destek türleri, mali destek programı, güdümlü proje desteği ve fizibilite desteğidir. Desteklerin kuralları programa ilişkin hazırlanan başvuru rehberlerinde sunulmaktadır. Uygun destek programlarının Ajans web sitesi ve sosyal medya hesaplarından takip edilmesi önerilmektedir (<http://izka.org.tr/destekler/>).

Ar-Ge, Ür-Ge ve İnovasyon Destek Programı

KOSGEB tarafından yürütülen, KOBİ'ler, 6102 sayılı kanuna tabi kooperatifler ve girişimcilerin faydalanabildiği programın amacı yeni bir ürün, yeni bir süreç ve/veya yeni bir hizmet üretmek veya iyileştirmek için bilim ve teknolojiye dayalı yeni fikirler geliştiren projelerin desteklenmesidir. Değişen pazar taleplerine ve teknolojik gelişmelere uyum sağlanması amacıyla yeni ürünlerin üretilmesi de amaçlanmaktadır. Proje süresi en az 8, en fazla 24 aydır. Proje kapsamında sağlanan desteklerden Nitelikli personel giderleri desteği %100 oranında, diğer unsurlar ise %75 oranında hibe şeklinde desteklenmektedir. Alınacak makine, teçhizat ve yazılımın yerli malı olması durumunda destek oranı %90'a çıkmaktadır.

Makine-teçhizat, donanım, hammadde, yazılım ve hizmet alımları desteğinin üst limiti 150.000 TL hibe ve 300.000 TL geri ödemeli olmak üzere toplam 450.000 TL'dir. 2021-01 proje teklif çağrısı ile küçük işletmeler için hibe tutarı 400.000 TL, geri ödeme tutarı 400.000 TL ve orta büyüklükteki işletmeler için hibe tutarı 2.000.000 TL, geri ödeme tutarı 3.000.000 TL'ye kadar çıkmaktadır. Ayrıca, nitelikli personel giderleri desteği, sınai mülkiyet hakları giderleri desteği, test-analiz ve belgelendirme desteği, proje danışmanlık desteği, eğitim desteği, proje tanıtım desteği, yurtiçi/yurtdışı ziyaret desteği ve işletme kuruluş giderleri desteği alanlarında destekler verilmektedir. (<https://www.yatirimadestek.gov.tr/>)

2.3. Sektörün Profili

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi dünyada olduğu kadar Türkiye'de de hızla büyüyen bir sektördür. Türkiye nispeten genç rüzgâr türbinlerine sahiptir ve en yaşlı türbinleri kullanım ömrünü önümüzdeki 5 yılın sonunda doldurmaya başlayacaktır. Rüzgâr türbinleri genel olarak 20-25 yıllık kullanım ömrü ile tasarlanmakta ve kullanım ömrünü dolduran rüzgâr türbinlerinin kanatları Şekil 3'te gösterilen örnekteki gibi genellikle atık olarak düzenli depolama sahalarında depolanmaktadır.

Şekil 3: ABD’de depolama sahasında gömülmeyi bekleyen rüzgâr türbin kanatları

Kaynak: Bloomberg Green 2020, <https://www.bloomberg.com/news/features/2020-02-05/wind-turbine-blades-can-t-be-recycled-so-they-re-piling-up-in-landfills>

Mayıs 2021 itibariyle Türkiye’de yaklaşık 9,3 GW kapasitesinde 239 rüzgâr enerji santrali ile kurulu 3.591 türbin bulunmaktadır (TÜREB, 2021). Bu da ülkemizde, her türbinde 3 adet kanat olduğu için toplam yaklaşık 10.773 kanat mevcut olduğunu göstermektedir. Ömrünü tamamlayan kanat atıklarına ek olarak kanatların üretimi sürecinde fabrikalarda ortaya çıkan üretim atıkları/fireleri ve santral sahalarında doğa olayları vb. sebeplerle hasara uğrayarak işlevini kaybettiği için atık olarak bertaraf edilen kanatlar bulunmaktadır. Bu atıkların düzenli depolama sahalarında depolanarak bertaraf edilmeleri yerine, geri dönüşüm alternatifleri rüzgâr enerjisi sektöründe araştırma konusudur. Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği (WindEurope), Avrupa Kimya Endüstrisi Konseyi (Cefic) ve Avrupa Kompozit Endüstrisi Birliği’nin (EuCIA) yayınladığı “Rüzgâr Türbini Kanadı Döngüselliği” raporuna göre, rüzgâr türbini kanatlarını geri dönüştürmek için farklı gelişmişlik düzeylerinde (Teknolojik Olgunluk Seviyesi - TRL 4 ile 9 arasında) çeşitli alternatif teknolojiler vardır fakat henüz hepsi ticari ölçekte mevcut değildir ve maliyet-etkin bir çözüm sunmaktan uzaktır. Bu alternatif teknolojiler, mekanik öğütme, termal (piroliz, akışkan yatak), termo-kimyasal (solvoliz) veya elektro-mekanik (yüksek voltajlı darbe parçalanması) işlemler veya bu işlemlerin kombinasyonlarıdır. Bahsi geçen yöntemlerin elyaf kalitesine (uzunluk, mukavemet, sertlik özellikleri) çeşitli olumsuz etkileri olabildiği için, geri dönüştürülmüş elyafların kullanım alanları konusunda da daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca, aynı rapora göre, günümüzde kompozit atıkların geri dönüşümü için en yaygın teknoloji çimento endüstrisinde yakıt kaynağı olarak kullanımıdır. Artan atık miktarıyla başa çıkabilmek için yakıt olarak kullanım olanaklarının yaygınlaştırılması gerektiği ifade edilmektedir (WindEurope; Cefic; EuCIA, 2020).

Rüzgâr türbini kanatlarının yönetimi için en iyi strateji, malzemenin kullanım ömrü boyunca maksimum değerinin elde edilmesini sağlamak için, tasarım, test, bakım, iyileştirme ve uygun geri dönüşüm teknolojisini birleştiren entegre bir stratejidir. Kompozit malzemelerin parçalarına ayrılması, toplanması, taşınması ve işlenmesi sonrası değer zincirine yeniden entegrasyonu için belirli lojistik ve teknolojik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, tasarım sırasında malzeme seçiminin ve kullanım ömrü sonunda farklı atık yönetimi yöntemleri ile ilişkili çevresel etkilerin daha iyi anlaşılmasını gerektirir. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi bugün rüzgâr türbinlerinin de yapısını oluşturan kompozit atıkların geri dönüşümü için ticari ölçekte temel çözüm yalnızca çimento üretiminde veya atıktan enerji üretimi gerçekleştiren tesislerde yakıt kaynağı olarak kullanılmasıdır. Çimento tesisleri büyük hacimlerde atıkları işleyebilmektedir. Bu proseste mineral bileşenler çimentoda yeniden kullanılır.

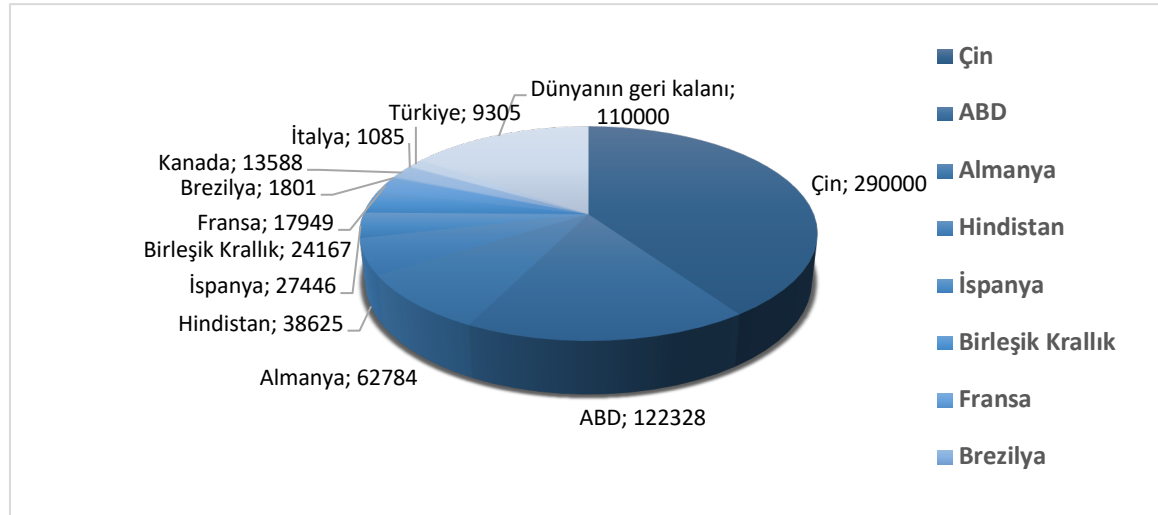
Bugüne kadar ülkemizde rüzgâr türbin kanadı atıkları büyük hacimlerde ortaya çıkmamış olduğu için, kanat atıklarının geri dönüşümü konusunda bir ihtiyaç oluşmamıştır. Bu nedenle halihazırda ülkemizde kanat atıklarının geri dönüşümü konusunda herhangi bir geri dönüşüm tesisi bulunmamaktadır ancak yakında bu atıkların artacak olması sebebiyle ülkemizin bu soruna hazırlıklı olması ve çözüm üretmesi gerekmektedir. Yapılan tüm değerlendirmeler ışığında kısa vadede hayata geçirilebilecek en uygun çözüm, diğer ülkelerde de yaygınlaşmaya başlayan kırma, ayrıştırma, yakıt üretimi ve çimento vb. tesislerde enerji kaynağı olarak kullanım süreçlerinden oluşan geri dönüşüm uygulamasıdır.

2.3.1. Dünyada Rüzgâr Enerjisi Sektörü

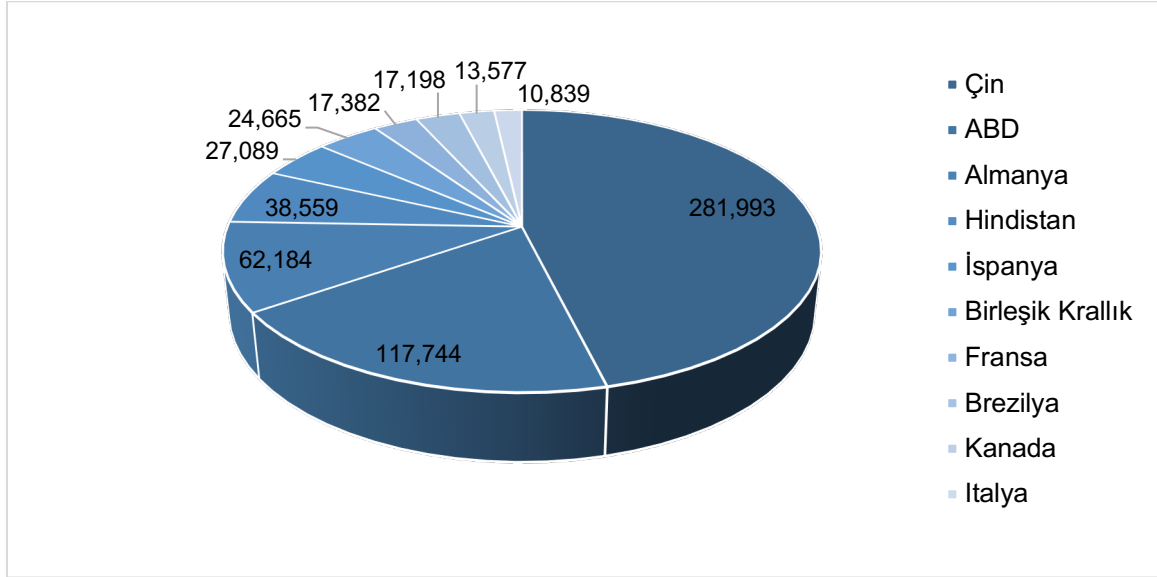
Küresel rüzgâr enerjisi piyasası, teknolojik yenilikler ve ölçek ekonomisi sayesinde son 10 yılda kapasitesinin neredeyse dört katına çıkmıştır. Bu süreçte rüzgâr enerjisi dünya çapında maliyet açısından en rekabetçi enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir.

Dünya Rüzgâr Enerjisi Birliği tarafından Mart 2021'de yayınlanan verilere göre, 2020 yılında rüzgâr enerjisi piyasasına toplam 93 GW kapasitede yeni rüzgâr türbinleri eklenerek büyük bir büyüme gerçekleşmiştir. Dünyanın toplam rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yarısından fazlasını oluşturan, en büyük iki rüzgâr enerjisi pazarına sahip ülkeler olarak Çin ve ABD, dünyada yeni kurulan rüzgâr türbinlerinin %75'ini inşa ederek 2020'de rekor bir büyümeye imza atmışlardır (Global Wind Energy Council (GWEC) , 2021). Çin, ABD ve Rusya dahil olmak üzere bazı ülkeler yeni kurulum rekorları kırarken, çoğu Avrupa pazarında sadece mütevazı bir büyüme görülmüştür. Ülkeler bazında kurulu rüzgâr türbin sayıları ve en yüksek kapasiteye sahip ülkeler sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmektedir. Dünya çapındaki tüm rüzgâr tesislerinin toplam kapasitesi şu anda 744 GW'a ulaşmıştır ve bu, dünyanın elektrik talebinin yaklaşık %7'sine karşılık gelmektedir (World Wind Energy Association (WWEA) , 2021).

Şekil 4: 2020 Yılı Ülke Bazında Kurulu Rüzgâr Türbini Sayıları



Kaynak: WWEA, 2021

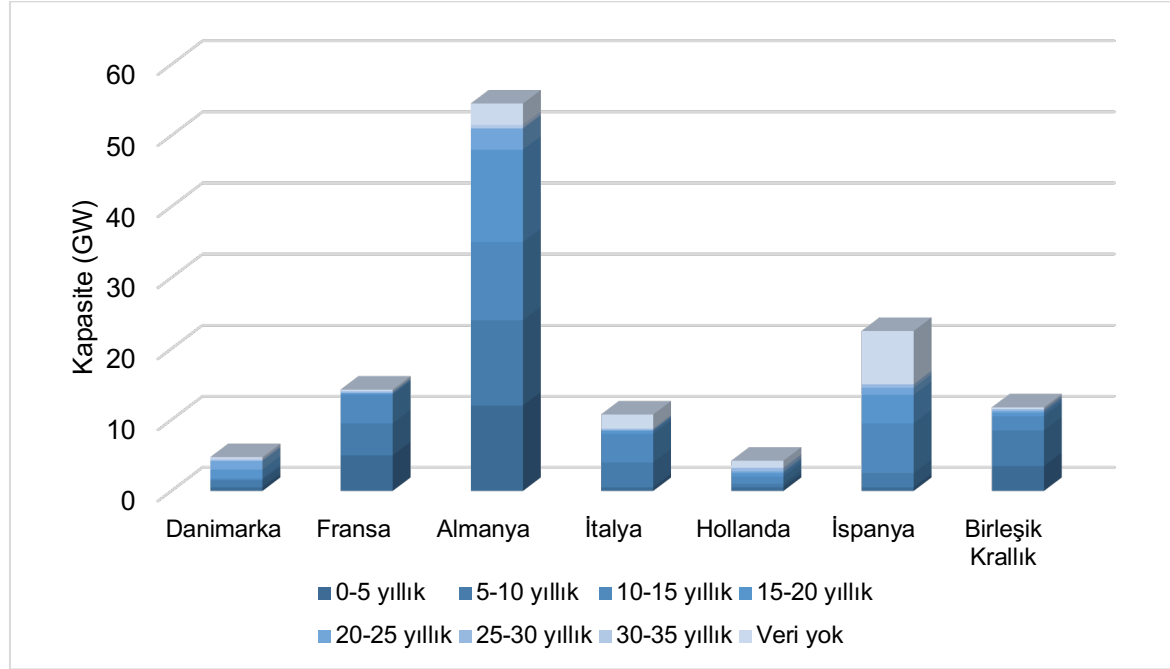
Şekil 5: 2020 Yılı Rüzgâr Enerjisi Kapasitesine (MW) Göre Dünyanın İlk 10 Ülkesi

Kaynak: IRENA, 2021

WindEurope tarafından 2020 yılında yayınlanan “Rüzgâr Türbini Kanadı Döngüsellliği” raporuna göre Danimarka, Almanya, İspanya ve Hollanda Avrupa’nın en olgun rüzgâr enerjisi pazarlarıdır. 15 yaşın üzerindeki türbinlere bakıldığında, bu ülkeler sırasıyla 2,74 GW (~%57), 17 GW (~%33), 5 GW’tan fazla (~%33) ve 0,6 GW (~%21) kapasite değerlerine sahiptir. WindEurope, Avrupa’da yaklaşık 2 GW Kurulu güce sahip, kullanım ömrünü doldurmuş rüzgâr türbinlerinin yeni türbinler ile değiştirileceğini ve diğer bir 2 GW’lık türbin grubunun ise 2023 yılına kadar tamamen hizmet dışı bırakılacağını tahmin etmektedir. Bir diğer deyişle, yaklaşık 4.700 türbinin (veya 40.000 ila 60.000 tona eşdeğer 14.000 kanat) hizmet dışı bırakılabileceği ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerektiği görülmektedir (WindEurope; Cefic; EuCIA, 2020).

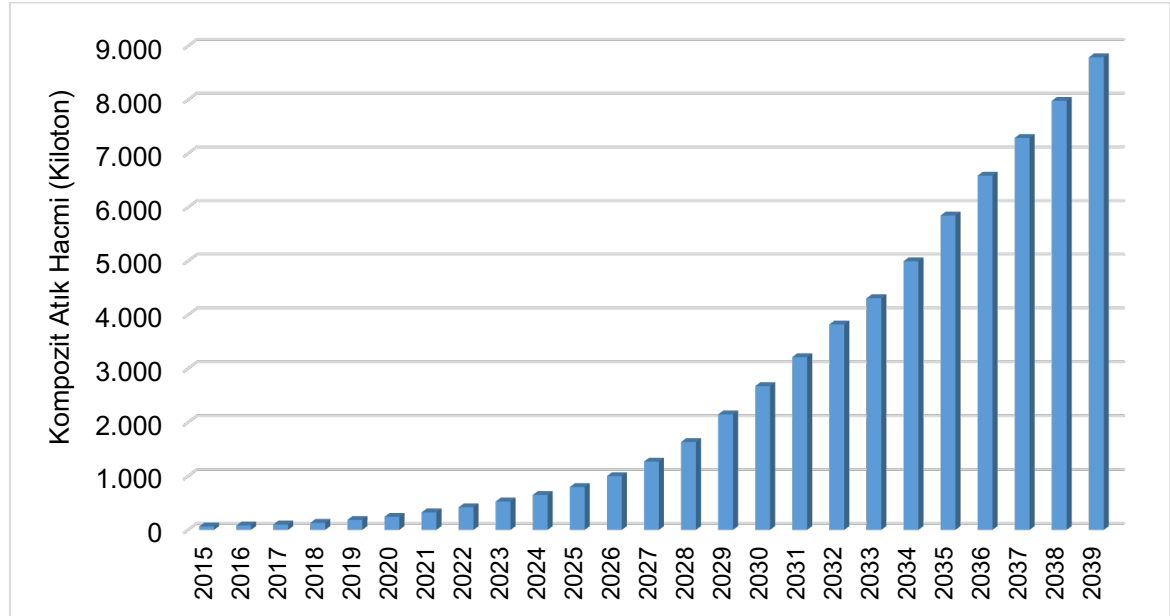
Karasal Rüzgâr Türbinlerinin Hizmetten Çıkarılması Endüstrisi Kılavuzuna göre, toplamda 34.000 türbin 15 yaşında veya daha eskidir. Danimarka, Almanya ve İspanya, planlanan hizmet ömürlerinin sonuna gelmiş olan, şebekeye bağlı önemli bir rüzgâr tesisi kapasitesine sahiptir. Örneğin, 2016’da Almanya’da yaklaşık 3.400, Danimarka’da 1.250 rüzgâr türbini 20 yıllık çalışma ömrünü aşmıştır. İspanya’da 2016 yılında 500’den fazla türbin 20 yıllık ömrünü tamamlamıştır ve bu sayı 2020’de 4.200’ün üstüne çıkmıştır (WindEurope, 2020).

Avrupa’da bazı ülkelerdeki karasal rüzgâr türbini yaşları kapasitelerine göre Şekil 6’da verilmiştir ve aynı grafikte kurulu rüzgâr kapasitesinin yaş dağılımı da görülmektedir. 2020 yılında Almanya’daki mevcut kurulu kapasitenin %41, İspanya’da %44 ve Danimarka’da %57’sinin 15 yaşın üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Birleşik Krallık ise 15 yıldan daha eski olan mevcut kurulu kapasitenin %10’una denk gelen, nispeten daha genç bir filoya sahiptir (WindEurope, 2020).

Şekil 6: Avrupa'daki Kapasiteye Göre Karasal Rüzgâr Türbini Yaşları

Kaynak: WindEurope, 2020

Avrupa'da olduğu gibi dünyanın diğer pek çok ülkesinde de önümüzdeki yıllarda kompozit yapıda türbin kanatları atık olarak ortaya çıkacaktır (Şekil 7). Dünyada yaklaşık 20 yıllık ekonomik ömrünü dolduracak türbin kanatlarının özellikle 2020 yılından itibaren önemli bir problem olarak ortaya çıktığı/çıkacağı görülmektedir. Bu nedenle türbin kanat atıklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılmasına yönelik çalışmaların tüm dünyada hızlanacağı bir döneme girilmektedir.

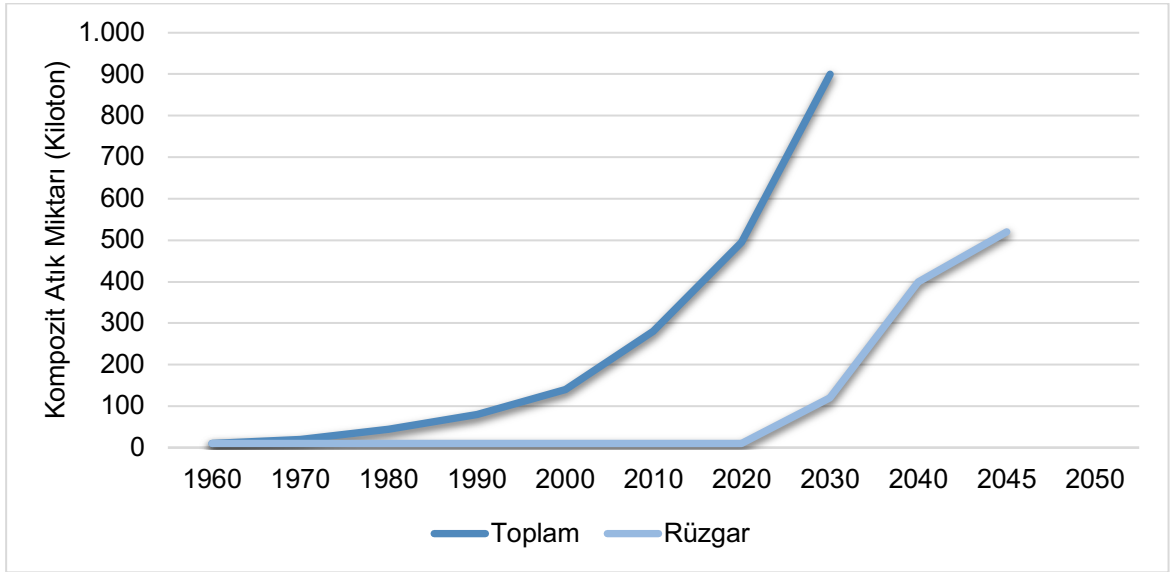
Şekil 7: Dünyada Rüzgâr Enerjisi Sektöründen Kaynaklanacağı Tahmin Edilen Kompozit Atık Hacmi

Kaynak: FutureBridge, 2020

Rüzgâr enerjisi sektörünün diğer kompozit atık üreten sektörlere kıyasla kompozit atık üretimindeki değişimi Şekil 8'de sunulmaktadır. Rüzgâr kanadında kullanılan kompozit malzeme miktarı MW başına 12-15 ton arasındadır. Şu anda 185 bin ton olan toplam rüzgâr kanadı atık miktarının 2039'da

8,8 milyon tona ulaşması beklenmektedir ve bu durum geri dönüşüm ihtiyacını daha da artırmaktadır (FutureBridge, 2020).

Şekil 8: Rüzgâr Enerjisi ve Diğer Sektörlerden Kaynaklanan Kompozit Atık Miktarı (kt/yıl)



Kaynak: WindEurope, 2020

Dünyada, rüzgâr türbin kanatlarının kullanım ömürleri tamamlandıktan sonra ileri dönüşüm (upcycling) olarak da adlandırılan uygulamalara yönelik kullanımları aşağıdaki biçimlerde olabilmektedir:

- Türbin kanatlarının oyun alanları veya sokak mobilyası olarak kullanımı
- Türbin kanatlarının bazı spesifik yapısal ürünlerinin, inşaat amaçlı kullanımı (bisiklet korunağı (Şekil 9), köprü, yürüme yolları, mimari uygulamalar vb.) (WindEurope; Cefic; EuCIA, 2020).

Her ne kadar yukarıda sıralanan yeniden kullanım örnekleri, yenilikçi yaklaşımlar olarak öne çıksa da gelecekte beklenen rüzgâr türbini kanat atığı hacmindeki hızlı artış düşünüldüğünde yaygın etki yaratabilecek çözüm olmaları beklenmemektedir. Yalnızca farkındalık yaratmak için gösterim amaçlı az sayıdaki kanat atıkları için gerçekleştirilebileceği mümkün görünmektedir.

Şekil 9: Aalborg, Danimarka’da Türbin Kanadından İnşa Edilmiş Bisiklet Korunağı



Kaynak: Eilers, 2020

Dünyadaki geri dönüşüm uygulamaları örneklerine bakıldığında ise ABD, Almanya ve Danimarka’nın bu alanda önde gelen ülkeler olduğu görülmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD)

Amerika Birleşik Devletleri'nde Veolia adlı firma, General Electric (GE) Yenilenebilir Enerji firmasının sahip olduğu kullanım ömrünü doldurmuş rüzgâr türbini kanatlarını çimento üretiminde hammadde ve yakıt olarak değerlendirmektedir. Bu geri dönüşüm sayesinde rüzgâr enerjisinin çevresel faydaları artmakta ve CO₂ emisyonunun %27, su kullanımının %13 azaltılması sağlanmaktadır. Bu uygulama ile geri dönüştürülen 7 ton ağırlığındaki tek bir rüzgâr türbini kanadı sayesinde, çimento fırınlarında yaklaşık 5 ton kömür, 2,7 ton silika, 1,9 ton kireç taşı ve yaklaşık 1 ton ek mineral bazlı hammadde tasarrufu sağlanmaktadır. Ağırlıklı olarak cam elyaftan oluşan kanatlar rüzgâr türbinlerinden çıkarıldıktan sonra, parçalama tesisinde parçalanmakta ve istenmeyen bazı maddelerden ayrıştırılmaktadır. Elde edilen kırılmış ve ayrıştırılmış malzeme daha sonra çimento üretimi amacıyla gerekli olan kömür, kum ve kil yerine fırınlarda kullanılmaktadır. Böylece kanadın %90'ından fazlası yeniden kullanılabilir. Bunun %65'i çimento fabrikalarında hammadde olarak ve %28'i ise çimento fırınında yakıt olarak (ATY) kullanılmaktadır (McEntee & Cappadona, 2020). Şekil 10'da GE Yenilenebilir Enerji firmasının Veolia için geri dönüştürülmek üzere hazırladığı türbin kanatları görülebilmektedir.

Şekil 10: Geri Dönüştürülmek Üzere Hazırlanan Türbin Kanatları



Kaynak: Karidis, 2021

2021 yılında, ABD'deki iki büyük kuruluş, PacificCorp ve MidAmerican Enerji, atık olarak ortaya çıkan türbin kanatlarını atık depolama sahalarında depolamak yerine geri dönüştürmek amacıyla Carbon Rivers isimli bir firma ile ortaklık planlarını duyurmuştur. Carbon Rivers tarafından kullanılan teknoloji, ABD Enerji Bakanlığı tarafından hibe finansmanı yoluyla desteklenmekte ve ömrünü tamamlamış türbin kanatlarından cam elyafın geri kazanılması hedeflenmektedir (Gignac, 2021).

Global Fiberglass Solutions (GFS), rüzgâr enerjisi, havacılık, denizcilik ve imalat sektörleri dahil olmak üzere farklı endüstrilere endüstriyel cam elyaf atık geri dönüşüm hizmetleri sunmaktadır. GFS, Şekil 11'de gösterildiği üzere kompozit cam elyaf atıklarından elyaf, pelet, inşaat malzemesi ve panel gibi çeşitli ürünler üretmektedir. Kompozit cam elyaf atıklarının bu şekilde yeniden değerlendirilmesi sonucunda ilgili atıkların depolama sahalarında toprağa gömülmesi engellenmektedir. Döngüsel ve sıfır atık çözümü olarak da ifade edilen bu uygulama ile türbin kanatlarının karbon ayak izi azaltılmaktadır.

Şekil 11: Rüzgâr Türbini Geri Dönüşümünden Elde Edilen Ürünler

Kaynak: GFS, <https://www.globalfiberglassinc.com/>

Almanya

Almanya'da 2009 yılında toplam organik içeriği %5'ten daha yüksek olan atıkların doğrudan depolanması yasağı yürürlüğe girmiştir. Bu yasak kapsamında, cam elyafların tutunması için kullanılan reçine sebebiyle organik içerikli olan türbin kanatları da depolanamamaktadır. Bu düzenleyici kısıtlamaya istinaden, büyük miktardaki CTP atıklarının geri dönüşümü için çimento da işlenmesi çözümü geliştirilmiştir.

Almanya'da 2014 yılında kurulan Neowa GmbH şirketi, sökülen rüzgâr türbinlerinden elde edilen CTP atıklar ve kağıt endüstrisinden kaynaklanan atıklar dahil olmak üzere farklı malzemeleri geri kazanan bir tesise sahiptir. Yılda yaklaşık 65.000 tonluk toplam üretim kapasitesi ile farklı sektörlerle hizmet vermektedir. Firma, 2017 yılında rüzgâr türbinlerinin devre dışı bırakılmasından kaynaklanan cam elyaf kompozit kanat atıklarının çimento endüstrisinde malzeme ve termal geri dönüşümü çalışmalarıyla Avrupa "GreenTec Ödülü"nü kazanmıştır(Neowa GmbH, 2021).

Şekil 12'de tanıtım görseli bulunan atık yönetim firması Geocycle, HolcimAG ve Zajons firmaları aracılığıyla 10 yıldır rüzgâr türbini kanatlarından çimento üretilmesini sağlamaktadır. Bu geri dönüşüm uygulamasında, türbin kanatları bulunduğu sahada kesilerek daha küçük parçalara dönüştürülmekte ve bu sayede nakliye maliyetleri azaltılmaktadır. Daha sonra bu küçük parçalar çimento tesislerinde enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar yerine kullanılmaktadır.

Şekil 12: Geocycle Firması Tanıtım Görseli

Kaynak: Geocycle ve Holcim Ltd <https://www.energy-xprt.com/services/processing-of-rotor-blades-178781>

Neocomp firması ise, CTP atıkları ve benzer özelliklere sahip kullanım dışı türbin kanatlarını işleyerek yüksek kaliteli yakıtlar ve lifler üretmektedir. Firma, geri dönüşümün yanı sıra nakliye hizmeti de vermektedir. Almanya'nın Bremen şehrindeki işleme tesisi yıllık 80.000 ton üretim kapasitesine sahiptir. Neocomp, kimyasal veya ısı işlemleri ile geri dönüşümü oldukça güç olan bu malzemelerin sürdürülebilir ve çevre dostu bir şekilde işlenmesini sağlayabilmek için mekanik bir işlem uygulamaktadır. Bu proses, Bremen tesislerinde rüzgâr türbin kanatları gibi mukavemeti yüksek malzemelere özel olarak tasarlanmış bir teknoloji yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Tesiste geri dönüştürülmeyi bekleyen CTP atıklarına bazı örnekler Şekil 13'te görülmektedir.

Şekil 13: CTP Atıkları



Kaynak: Neocomp GmbH <https://www.neocomp.eu/de/Leistungen>

Danimarka

Dünyanın en büyük rüzgâr enerjisi ekipmanı tedarikçilerinden biri olan Danimarkalı Vestas firması, 2040 yılına kadar "sıfır atık" rüzgâr türbinleri üreteceğini duyurmuştur. Firma, kanatları tutan ve onları rüzgâr türbininin naseline bağlayan göbek bileşeninin ve kanatların toplamda %44 oranında geri dönüştürülebildiğini ifade etmektedir. Ancak geri dönüştürülemeyen malzemenin çoğunluğu kanatlardır ve tüm rüzgâr türbin bileşenlerinin geri dönüştürülebilirliğini sağlamayı amaçlanmaktadır. Vestas türbin göbek ve kanat bileşenlerinin geri dönüştürülebilirlik oranını 2025 yılına kadar %44'ten %50'ye, 2030 yılına kadar ise %55'e çıkarmayı hedeflediğini belirtmiştir (Vestas, 2020).

Danimarka'daki Miljoskarm firması ise rüzgâr türbin kanatlarından elde ettiği cam elyafları yeni ürünlerde kullanarak bu malzemeye yeni bir değer katmaktadır. Geri dönüştürülmüş cam elyafları gürültü bariyeri ve ısı yalıtım malzemelerinin üretiminde kullanan firma, aynı zamanda karbondioksit emisyonunun azalmasını da sağlamaktadır (Miljoskarm, 2021). Firmanın geri dönüştürülmüş cam elyafı kullanarak ürettiği bir gürültü bariyeri Şekil 14'te görülmektedir.

Şekil 14: Danimarka'da Cam Elyafından Üretilmiş Gürültü Bariyeri



Kaynak: Miljoskarm <https://miljoskarm.dk/en/>

Öte yandan yine Danimarka'lı bir şirket olan Refiber ApS, ReFiber olarak adlandırılan bir proses geliştirmiştir. Bu proste, kullanım dışı türbin kanatlarından elde edilen plastik parçalar, döner bir fırında (piroliz odası) oksijensiz ve yüksek basınçlı ortamda gazlaştırılmaktadır. Bu proses sonucu elde edilen geri kazanılmış lifler ayrılarak temizlenmektedir. Ortaya çıkan lifler %50 oranda daha düşük mukavemete sahiptir fakat liflerin sertliği ısı işleminden etkilenmemektedir. Ortaya çıkan ürünün, izolasyon malzemesi veya elyaf takviyesi olarak kullanılabileceği ifade edilmektedir (WindEurope; Cefic; EuCIA, 2020). Rüzgâr türbini kanadının bahsedilen işleminden sonraki hali ve ortaya çıkan elyaf malzemesi Şekil 15'te görülmektedir.

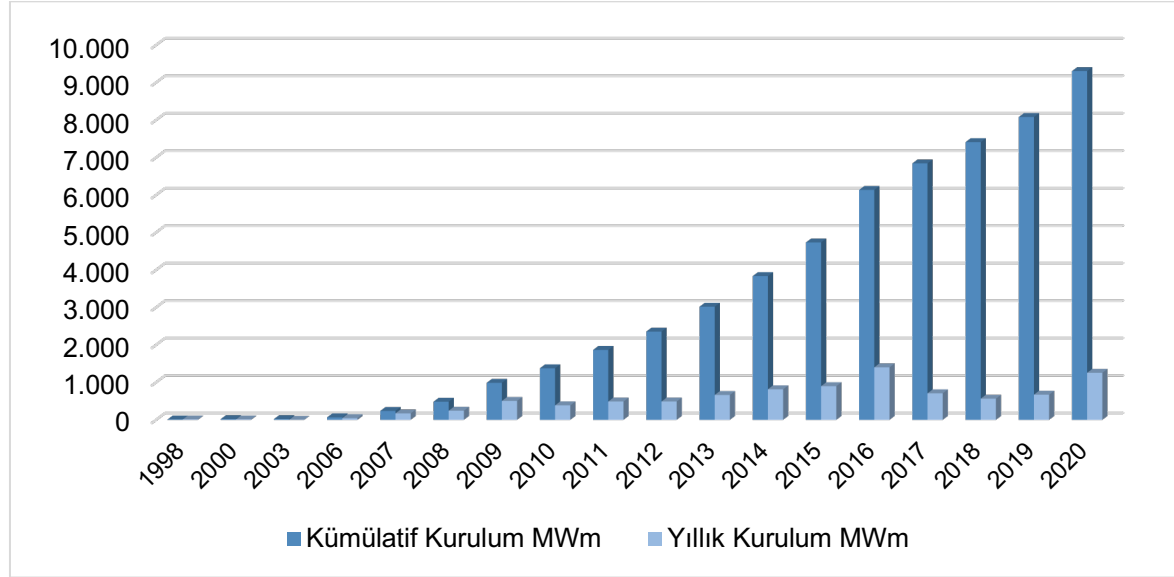
Şekil 15: Piroliz İşleminde Sonra Rüzgâr Kanadı (a) ve Ortaya Çıkan Elyaf Malzemesi (b)



Kaynak: ReFiber ApS <http://www.refiber.com/technology.html>

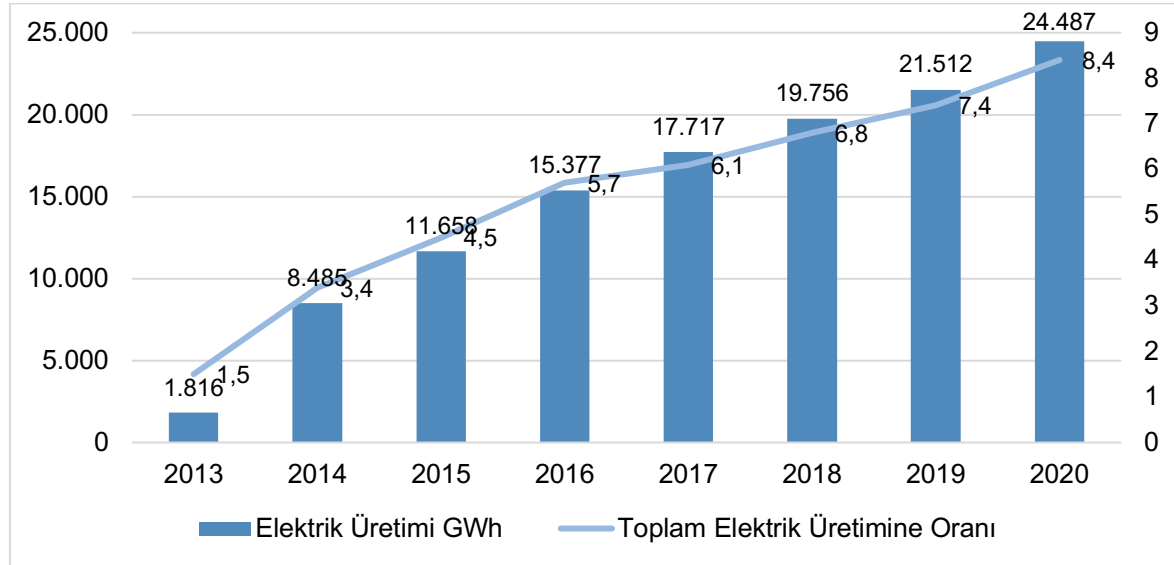
2.3.2. Türkiye’de ve İzmir’de Rüzgâr Enerjisi Sektörü

Türkiye’de özellikle son yıllarda gerçekleştirilen yatırımlar sayesinde rüzgâr enerjisinin toplam kurulu gücü 9.305 MW’a ulaşmış ve toplam ulusal elektrik üretimindeki payı %8’i geçmiştir. 2020 yılında rüzgâr enerji santrallerine 1,6 Milyar Avro yatırım yapılan ülkemiz bu alanda Avrupa’da İngiltere (13,5 Milyar Avro), Hollanda (7,9 Milyar Avro), Almanya (2,2 Milyar Avro) ve Fransa’nın (1,8 Milyar Avro) ardından 5. sırada yer almıştır. Bununla birlikte sektör hızlı bir büyüme trendi göstermeye devam etmektedir. İnşa halindeki santral sayısı 41, önümüzdeki dönemlerde faaliyete geçmesi beklenen bu santrallerin kurulu gücü ise 1.872 MW seviyesindedir. Türkiye’de yıllar içerisinde kurulan rüzgâr enerjisi santrallerinin kümülatif ve yıllık kurulum güçleri Şekil 16’da görülmektedir.

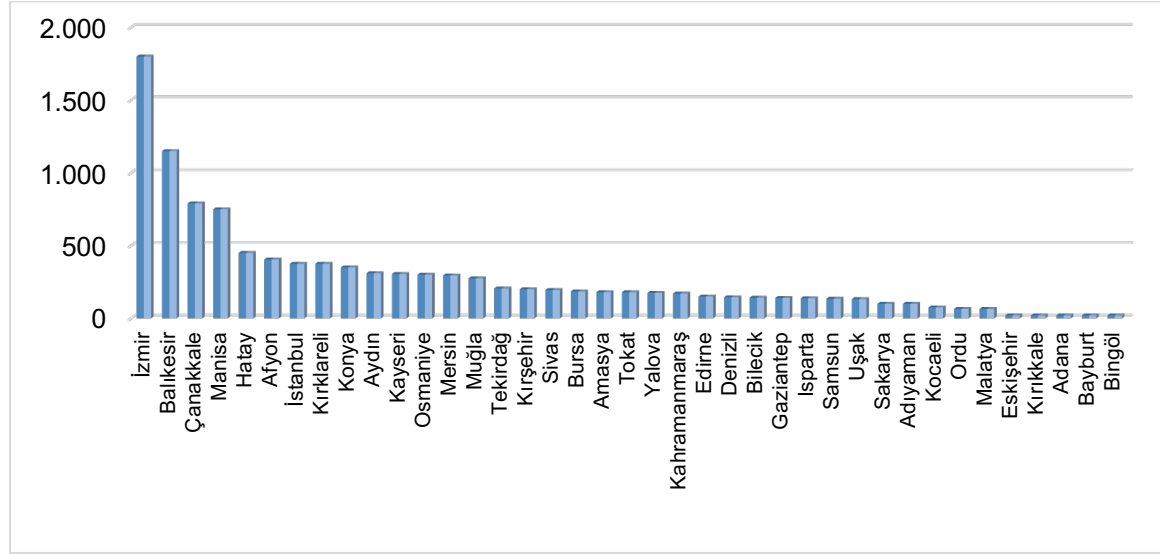
Şekil 16: Türkiye’de Yıllar İçinde Devreye Alınan Rüzgâr Santralleri

Kaynak: TÜREB Rüzgâr Enerji Santrali (RES) Veritabanı, Mayıs 2021

Ülkemizde halen işletmede olan 239 adet santralde toplam 3.591 adet rüzgâr türbini bulunmaktadır (TÜREB, 2021). Bu rüzgâr türbinlerinin yıllık elektrik üretim miktarı 2019 yılı ile birlikte 20 bin GWh seviyelerini aşmış ve 2020 itibarıyla 25 bin GWh mertebelerine yaklaşmıştır (Şekil 17).

Şekil 17: Türkiye’de Yıllık Rüzgâr Enerjisi Üretim Miktarı (GWh) ve Ülke İçindeki Payı (%)

Ülkemizde mevcut kurulu güç ve yıllık elektrik üretim kapasitesi açısından Ege ve Marmara Bölgeleri öne çıkmaktadır. Şekil 18’de görülebileceği üzere, mevcut kurulu güç açısından öne çıkan ilk dört il sırasıyla İzmir (1.798 MW), Balıkesir (1.220 MW), Çanakkale (751 MW) ve Manisa’dır (717 MW). Bu dört ildeki rüzgâr türbin santrallerinin toplam kurulu gücü ülkemizin %47,9’unu oluşturmaktadır.

Şekil 18: İllere Göre Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücü (MW)

Mevcutta çeşitli doğa olayları veya üretim hataları vb. sebeplerle sökülen ve sahalarda bekleyen türbin kanat atıklarının olduğu bilinmekle beraber, ilk nesil rüzgâr türbinleri kullanım ömürlerinin sonuna gelmeye başlamaktadır. İlk nesil rüzgâr türbinleri arasında İzmir-Alaçatı yakınındaki Germiyan'da 1997 yılında kurulan, 3 adet rüzgâr türbinine sahip 1,5 MW kurulu güce sahip Alize Germiyan santrali ve 2000 yılında kurulan 10,2 MW kurulu güce sahip Bozcaada santrali yer almaktadır. Ülkemiz için ilk olarak nitelendirilebilecek bu santrallerin kurulumunu takiben 2000'li yılların ikinci yarısı itibarıyla rüzgâr türbinleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Görece genç sayılabilecek rüzgâr türbinlerine sahip ülkemizde henüz kullanım dışı türbin kanatları yoktur ancak önümüzdeki yıllarda ömrünü tamamlamış kanatların miktarında önemli bir artış beklenmektedir.

Atıkların düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesi, atık yönetimi hiyerarşisinde en son seçenektir. Ancak Türkiye'de bu atıkların bir geri dönüşüm alternatifi bulunmadığı için hem kanat üretimi atıkları hem de kullanım dışı kanatlar düzenli depolama sahalarında depolanmaktadır. Türkiye'de türbin kanatları ve benzeri kompozit atıkların depolama sahalarında bertaraf edilmesinin önünde herhangi bir yasal engel bulunmaması ve depolama maliyetlerinin caydırıcı olmaması gibi nedenler de bu yaklaşımın benimsenmesini mümkün/uygun kılmaktadır. Oysa bazı Avrupa Birliği ülkeleri (ör: Almanya) türbin kanatlarının düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesini yasaklayarak dolaylı olarak geri dönüşüm süreçlerini teşvik etmektedir.

Rüzgâr türbini kanatlarının geri dönüşümüne etkin bir çözüm bulmak için rüzgâr enerjisi değer zinciri ile ilgili diğer sektörler arasında bir sinerji geliştirilmelidir. Ülkemizde rüzgâr sanayii ve geri dönüşüm için sinerji yaratılabilecek diğer sektörlerden önemli aktörler faaliyet alanlarına göre aşağıdaki kategorilerde listelenmiştir:

- Kanat Üretim Tesisleri
- Türbin Komponent/Hammadde Üreticileri
- Türbin Üreticileri
- Enerji Yatırımcıları
- Diğer Sektör Üreticileri
- Atık Yönetim Firmaları
- Çimento Tesisleri
- Kırıcı Ekipman Firmaları
- Ar-Ge Kuruluşları

Bu raporun hazırlığı aşamasında yukarıda belirtilen paydaş gruplarından 25 kurum/kuruluş ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmeler çerçevesinde ilgili paydaş gruplarının uzmanlık alanlarını, ihtiyaçlarını, işbirliği potansiyellerini ortaya koymak ve sektörel bilgi/veri edinmek amacıyla değerlendirmeler yapılmıştır. Görüşmelerden elde edilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Kanat Üretim Tesisleri

- Kanat üretim tesislerinin satıştan sonra kanatların atık olarak çıkmasıyla ilgili sorumlulukları bulunmamaktadır ancak üretim esnasında oluşan atıklar (kontamine olmuş cam elyaf atıkları vb.) ve üretim firesi olarak nitelenen standart dışı kanatlar bulunmaktadır. Kompozit üretim aşamasına gelene kadar hammadde olarak kaybedilen atıklar toplamın yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Bu atıkların miktarı yılda 1.500 tona ulaşabilmektedir.
- Kalorifik değeri düşük cam ve karbon elyaf atıklarının toplam atık miktarına oranının %25'ten az olduğu görülmektedir. Atıkların %80'ine yakınının ise kalorifik değeri yüksek reçineler ile kontamine olmuş malzemeler olduğu belirtilmektedir. Üretim firesi olarak da ifade edilen standart dışı kanatlar ise toplam atık içerisinde %1-2 seviyelerindedir.
- Kanat üretim tesisleri sorumluluklarında olan atıkları (üretim atıkları ve üretim firesi) Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca belirlenmiş ilgili atık kodu üzerinden atık yönetim şirketleri aracılığıyla bertaraf ettirmektedir. Atıklar genellikle düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir. Kanat üretim tesisleri, bu atıkların bertarafı için gerekli maliyetleri üstlenmektedir.
- Ülkemizde kanat üretim tesisleri reçine ile kontamine olmuş cam elyafı ayrıştırmak ve katma değerli ürün elde edebilmek için Ar-Ge çalışmaları yapsa da ticari boyutta hayata geçirilebilen bir uygulama bulunmamaktadır.

Türbin Komponent/Hammadde Üreticileri

- Türbin komponent üreticilerinden de yapısal elemanlar vb. reçine ile kontamine olmuş kompozit cam elyaf atıkları çıkmaktadır. Üretilen ürün gruplarına bağlı olarak değişmekle birlikte kimi zaman bu atıkların toplam hammaddeye oranla %20 seviyelerinde ortaya çıktığı hesaplanmıştır.
- Bu atıklar anlaşmalı atık yönetim firmaları aracılığı ile bertaraf edilmektedir. Daha sonra nihai olarak düzenli depolama sahalarına veya çimento fabrika fırınlarına gönderilmektedir.

Türbin Üreticileri

- Yıldırım vb. sebeplerle hasar görmüş bir kanat tespit edildiğinde kanatlar yere indirilip, anlaşmalı firma ile bu kanatların kesim işlemi gerçekleştirilmekte ve bertaraf tesislerine gönderilmektedir. Bu kesim işlemi dilimleme veya kaba parçalama olarak tanımlanmaktadır.
- Nihai olarak çimento tesislerinde yakıldığı belirtilmekle beraber atık olarak sahalarda bekleyen kanatlar olduğu bilinmektedir. Türbin üreticisi ile enerji yatırımcısının arasındaki antlaşmaya bağlı olarak iki taraftan biri üretim kaynaklı oluşan kanat atıklarının bertarafı için maliyet üstlenmektedir. Bu maliyet kanat başına yaklaşık bertaraf ve nakliye dahil 15 bin TL'yi bulabilmektedir.
- Türbin atıklarının geri dönüşümü için çeşitli Ar-Ge faaliyetleri yürütülmekte olup, bu atıkları küçük boyutlara indirgeyebilen yeterince güçlü kırıcı ekipmanların bulunmaması ve geri dönüşüm tesisi yatırımlarının yüksek maliyetli olması sebebiyle, Türkiye'de ticari boyutta hayata geçirilebilen bir uygulama bulunmamaktadır.

Enerji Yatırımcıları

- Rüzgâr türbinleri üreticilerden satın alındıktan sonra, çıkan kanat atıklarının sorumluluğu genelde enerji yatırımcılarına ait olmaktadır.
- Yatırımcılar genellikle türbin atıkları için üreticilerle veya atık yönetim firmalarıyla anlaşma sağlamak ve bertarafı için gerekli maliyeti üstlenmektedir.
- Ülkemizde mevcut durumda rüzgâr santrallerinde yılda yaklaşık 10-12 adet kanat doğa olayları veya diğer teknik sorunlar sebebiyle hasar görerek atık haline gelmektedir.

Diğer Sektör Üreticileri

- Diğer sektör üreticileri kategorisinde, kompozit hammadde üreticileri, boru üreticileri, su kaydıracağı üreticileri vb. farklı sektörlerden kuruluşlar yer almaktadır.
- Bu sektörlerde de üretim atıkları ve firelerden kaynaklanan reçineli elyaf atıklarının geri dönüşümü yapılamamaktadır.
- Yalnızca su kaydıracağı üretimi süreçlerinden yıllık yaklaşık 7.000 ton CTP atığı oluşmaktadır. Genel olarak ise Türkiye'de yılda yaklaşık 12.500 ton CTP atığının oluştuğu düşünülmektedir. Kalorifik değerlerinin yüksek olduğu bilinmekle birlikte, parçalanmasının zorluğu sebebiyle, CTP kompozit atıkları genellikle düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir.

Atık Yönetimi Firmaları

- Atık yönetimi firmaları kompozit atıklarının kırılmalarının ve parçalanmalarının zorluğu sebebiyle geri dönüşüm uygulaması gerçekleştirememektedir.
- Daha önce yapılan denemelerde tesislerin kırıcılarının bu atıkları kırmakta zorlandığı ve türbin atıklarının kırıcılarda hasara neden olduğu görülmüştür.
- Bu atığı üretenler atık yönetimi için maliyet üstlenmektedir. Atık yönetim tesisleri de düzenli depolama ve çimento tesislerinde bertaraf etme yöntemlerine başvurmaktadır.

Çimento Tesisleri

- Atık yönetim firmaları, çalıştıkları üreticilerden aldıkları türbin üretim atıklarını çimento tesislerine ve düzenli depolama sahalarına gönderebilmektedir.
- Atıklar silis oranı yüksek olduğu durumlarda çimento tesislerinde alternatif hammadde olarak değerlendirilebilmekte, ancak genellikle kalorifik değeri türbin atıkları gibi yüksek olan (>2500 kcal) atıklar ek yakıt olarak kullanılmaktadır.
- Çimento tesisleri, ısı kapasitesi yüksek (en az 2.500 kcal/kg), nemi %5'ten az ve klor miktarı düşük (%1'den az) atıkları ek yakıt olarak değerlendirebilmektedir. Türbin atıklarının kalorifik değerinin 6.000 kcal/kg civarında, neminin yaklaşık %1-1,5, klor içeriğinin ise <%0,5 olduğu belirtilmektedir. Türbin atıklarının içeriğindeki reçine sebebiyle kalorifik değerinin yüksek olduğu bilinmektedir.
- Çimento tesisleri türbin atıkları ile denemeler yapmaktadır, ancak atıklar kırma zorluğu sebebiyle sürdürülebilir olarak değerlendirilememektedir. Proses kapasite kaybına ve kırıcı bıçaklarının yenilenme ihtiyacı gibi önemli işletme maliyetlerine neden olmaktadır. Zaman

zaman bu işlemlerde kırıcı kapasitesi yarıya düşmekte ve kırma maliyeti 2 katından daha fazlasına çıkmaktadır.

Kırıcı Ekipman Firmaları

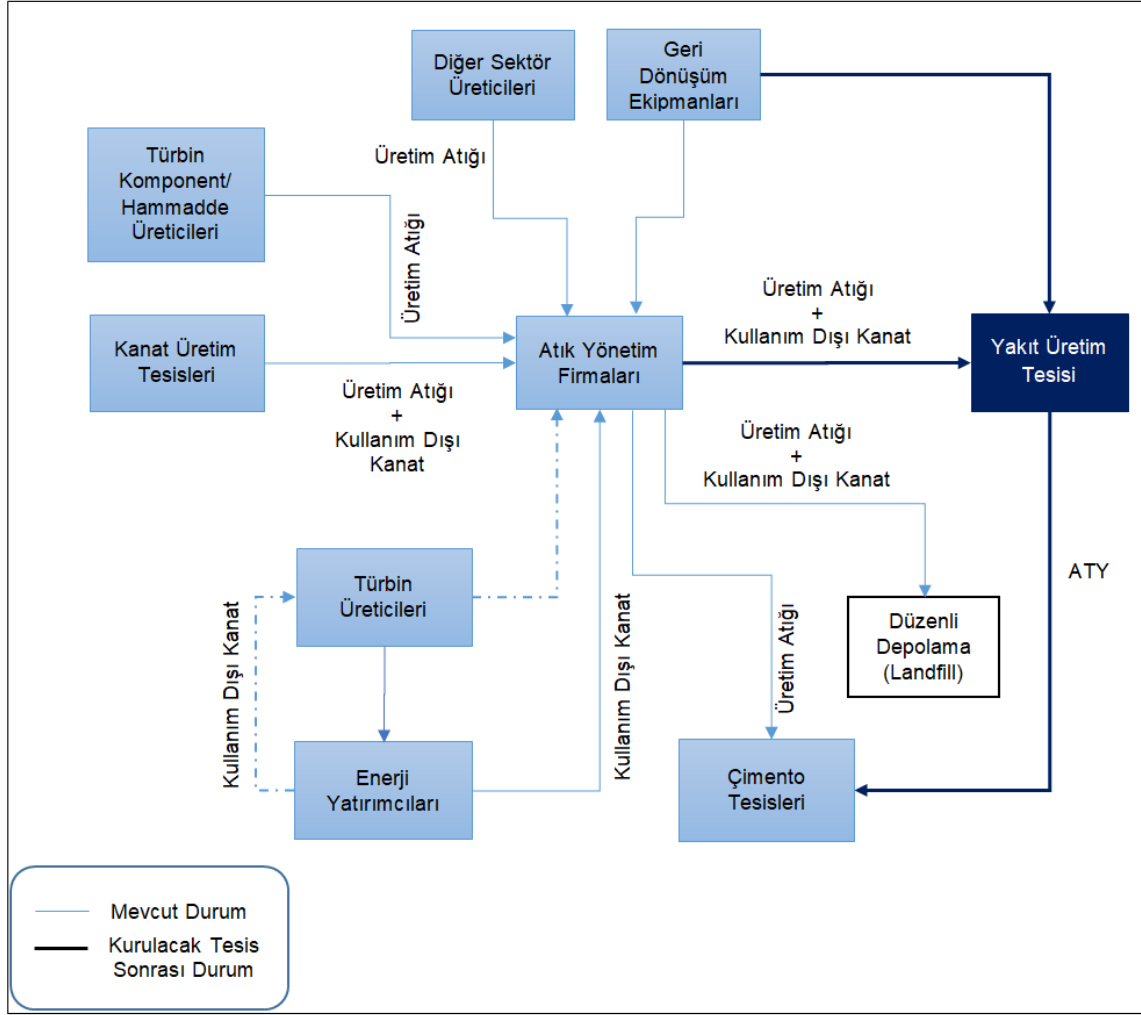
- Kırıcı firmaları, türbin kanatları gibi esnekliği ve mukavemeti yüksek malzemelerin kırılmasının zor olduğunu belirtmektedir.
- Öte yandan, kanatları çimento tesislerinde istenen boyutlara (<50 mm) getirebilen kırıcı ekipmanları piyasada bulunmaktadır. Kırıcının bıçaklarının değişim süreleri bulunmakta ve bu işletim maliyetlerine eklenmektedir.

Ar-Ge Kuruluşları

- Kompozit malzemenin geri dönüşümünde teknik sıkıntılar ve ciddi bir maliyet bulunmaktadır.
- Türbin kanatlarının çimento sektöründe değerlendirilmeleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kompozit malzemelerin çeşitli kullanımlarına yönelik Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır fakat ticari kullanım için kırıcıların iyi teknolojiye sahip olması gerekmektedir. Bu durum ekonomik olarak uygulanabilirliğin önündeki önemli sorunlardan bir tanesidir.

Rüzgâr türbin sektörünün atıklarının yönetimi konusunda paydaş görüşmeleri ve araştırmalardan elde edilen bilgiler ışığında oluşturulan atık yönetim süreci Şekil 19'da sunulmaktadır.

Şekil 19: Rüzgâr Türbini Kanat Atıklarının Yönetimi: Mevcut Durum ve Yatırıma Konu Yakıt Üretim Tesisleri Genel Süreç Akım Şeması



Türkiye'de sektördeki mevcut durum ve geri dönüşüm süreçlerinin değerlendirilmesi aşağıda özetlenmektedir:

- Rüzgâr kanatları ve kompozit atıkları genellikle düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir.
- Tüm paydaş kategorileri bu atıkların bertarafı ile ilgili sıkıntı yaşamakta olup, olası geri dönüşüm alternatiflerine açıktır.
- Rüzgâr türbini kanatlarının ve kompozit atıkların geri dönüşümü amacıyla çeşitli Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Ancak bu çözümlerin hiç biri endüstriyel ölçekte mevcut değildir.
- Türbin kanatlarının yapısını oluşturan kompozit malzemelerin atıklarının temel geri dönüşüm alternatifi olarak çimento endüstrisi öne çıkmaktadır. Ayrıca, ülkemizde kompozit atık miktarı artmaya devam etmektedir. Kısa vadede en uygun kullanım alanının çimento ve atık yakma tesisleri olduğu düşünülmektedir.
- Türbin kanatlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önüne alındığında, bu atıkların geri dönüşümünde, en büyük ortak problem uygun kırıcıların olmaması ve bu konuda yatırımların bulunmamasıdır.

- Kompozit geri dönüşümü sektörler arası bir sorundur. Uygun maliyetli çözümler ve sektörler arası işbirliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

2.4. Dış Ticaret ve Yurt İçi Talep

Türkiye’de yaygın bir atık ithalatı süreci yürüdüğü görülmektedir. Atık ithalatına ilişkin 2020/3 Sayılı Çevrenin Korunması Yönünden Kontrol Altında Tutulan Atıkların İthalat Denetimi Tebliği (Ürün Güvenliği ve Denetimi) 27.12.2019 tarih ve 30991 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Tebliğ hükümleri ile 2872 sayılı Çevre Kanunu ve ilgili yönetmelikler doğrultusunda 2019/18 sayılı Atık İthalatı Uygulama Genelgesi hazırlanmış ve 01.01.2020 tarihinde uygulamaya konmuştur. Atıkların ithalatı, Çevrenin Korunması Yönünden Kontrol Altında Tutulan Atıkların İthalat Denetimi Tebliği EK-1 Listesi’nde yer alan atıkların geri kazanımını yapmak üzere Çevre ve Şehircilik Bakanlığı veya ilgili Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden Geçici Faaliyet Belgesi veya Çevre İzin ve Lisans Belgesi almış olan sanayiciler tarafından yapılabilmektedir. İthalat işlemleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nca belirlenecek usul ve esaslar çerçevesinde yapılabilmektedir. İlgili Tebliğin EK-2/A ve EK-2/B listelerinde yer alan atıkların, serbest bölgeler dâhil, Türkiye gümrük bölgesine girişi ve ithalatı yasaklanmıştır. 2021 yılı başında plastik atıkların ithalatına da kısıtlamalar getirilmiştir. Rüzgâr türbini kanat atıklarının dahil olduğu 17 02 03 atık kodu, 2021 yılı düzenlemesiyle Çevrenin Korunması Yönünden Kontrol Altında Tutulan Atıkların İthalat Denetimi Tebliği EK-2/A’ya göre ithali yasak atıklardandır. Ön fizibilite konusu tesis için yurtdışından bu atıkların ithalatı gerçekleştirilemeyecektir.

Rüzgâr türbin kanatları kompozit malzemelerden üretildiği için diğer sektörlerden atık olarak çıkan kompozit malzemeler de ön fizibiliteye konu tesiste değerlendirilebilecektir. Kompozit sektöründeki büyümenin, kompozit atıkların artmasına sebep olacağı ve bu tesise olan ihtiyacı artıracığı değerlendirilmektedir.

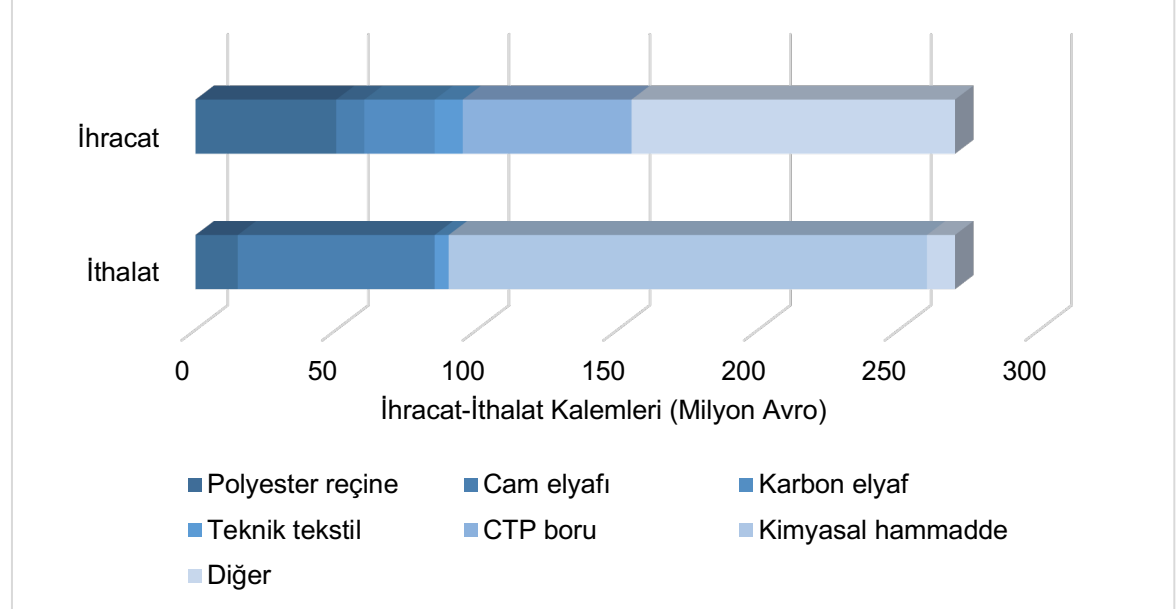
Kompozit sektörünün Türkiye’deki büyüme durumu incelendiğinde, Avrupa ve Dünya büyüme hızının üzerinde olduğu görülmektedir. Yüksek teknolojlili ürünlerin üretiminin hızlanmasının, rüzgâr enerjisi, havacılık ve elektrik-elektronik eşya sektörlerinde kullanılan kompozit malzeme miktarını artırması beklenmektedir. Ayrıca, yüksek büyüme potansiyeli oluşturan diğer kompozit uygulamalar arasında karbon fiber uygulamaları, boru uygulamaları, otomotiv ve ulaşım, güneş panelleri, inşaat takviyeleri, polipropilen random co-polimer (PPRC) ısıtma boruları (kombi), mühendislik plastikleri ve denizcilik uygulamaları bulunmaktadır. Türkiye ve çevre ülkelerdeki talep doğrultusunda CTP boru üretimi, Türkiye kompozit sektörünü ivmelendirmeye devam edecektir. Kompozit ürünlerinin kullanıldığı pultrüzyon, sac kalıplama bileşimi (SMC) ve termoplastik enjeksiyon proseslerinin önümüzdeki dönemde pazar paylarını artırması beklenmektedir. İnfüzyon ve reçine transfer kalıplama (RTM), özellikle rüzgâr enerjisi, denizcilik, otomotiv ve ulaşım ile su kaydırağı endüstrilerinde büyümesini sürdürecektir (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2019). Geçtiğimiz yıllarda kompozit sektörü Türkiye’de %8-%12 arası bir büyüme göstermiştir. Kişi başına düşen kompozit tüketim miktarlarına bakıldığında, dünyada 4-10 kg arasında olan bu miktar, Türkiye’de 3,5 kg civarındadır. Ek olarak, kompozit malzemelerin ortalama fiyatlarına bakıldığında dünyada 6,9 Avro/kg iken, Türkiye’de 5,3 Avro/kg düzeyindedir. Bu durum Türkiye’yi avantajlı konuma getirmektedir (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2018).

Kompozit sektörü doğrudan ürettiği hammaddeleri, sanayi ara mallarını ve son ürünleri ihraç etmekte, öte yandan bu ürünleri ihraç edilen her otomobil, otobüs, tekne, küvet vb. ürünlerin içerisinde de dolaylı olarak ihraç etmektedir. Genel olarak ihracat yapılan bölgeler Avrupa, Rusya, Türkiye Cumhuriyetler, Orta Doğu ve Kuzey Afrika’dır. Ayrıca, sektördeki bazı firmalar ABD, Çin ve Uzak Doğu’ya ihracat yapmakla birlikte yatırım da yapmaktadır.

Cam elyaf ve karbon elyaf kompozit sanayiinde en yaygın kullanılan malzemelerdir ve sırasıyla %87 ve %11 oranlarında ülkemizde üretilmektedir. İhraç edilen cam ve karbon elyaf, doymamış polyester

reçinesi, vinil ester reçine ve teknik tekstillerin yanı sıra, ihtiyaç duyulan epoksi ve termoplastik reçineler gibi bazı kimyasal hammaddeler ithal edilmektedir. Bu malzemelerin gerçekleştirilen ihracat ve ithalat değerleri Şekil 20'de gösterilmiştir ve toplam ithalat ve ihracat arasında bir denge mevcuttur. 2017 yılında kompozit sektörü yaklaşık olarak 270 milyon Avro değerinde ihracat ve ithalat gerçekleştirmiştir. Kompozit ürünlerin kullanımının Türkiye'de yaygınlaşmasıyla, sektör büyüyerek ihracat potansiyeli de artacaktır (Kompozit Sanayicileri Derneği, 2019).

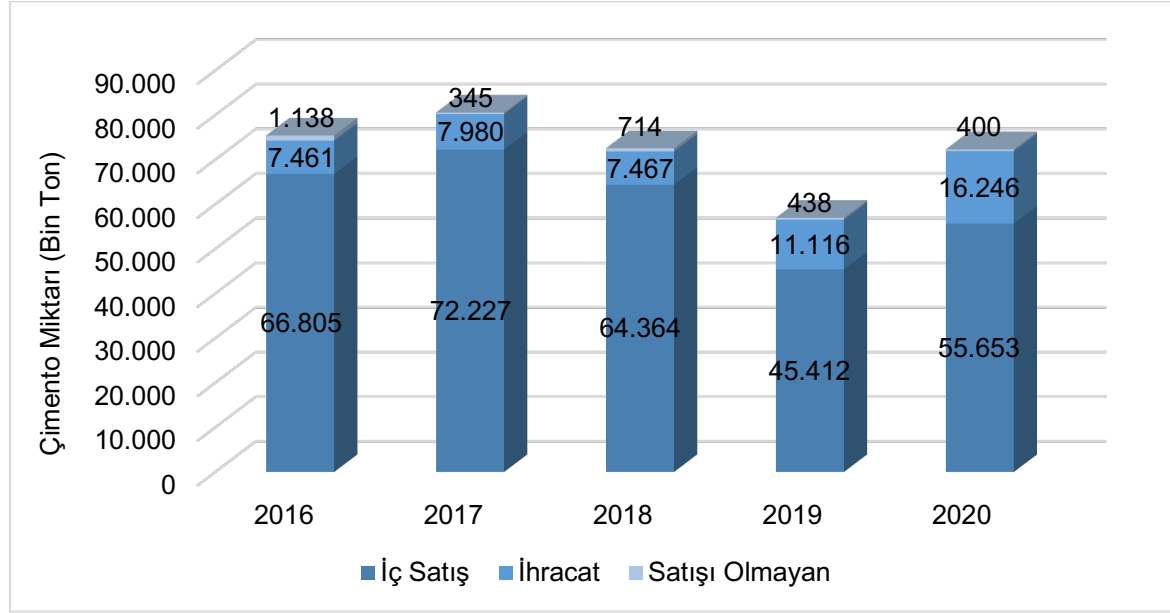
Şekil 20: Kompozit Sektörü İhracat-İthalat Kalemleri (Milyon Avro), 2017



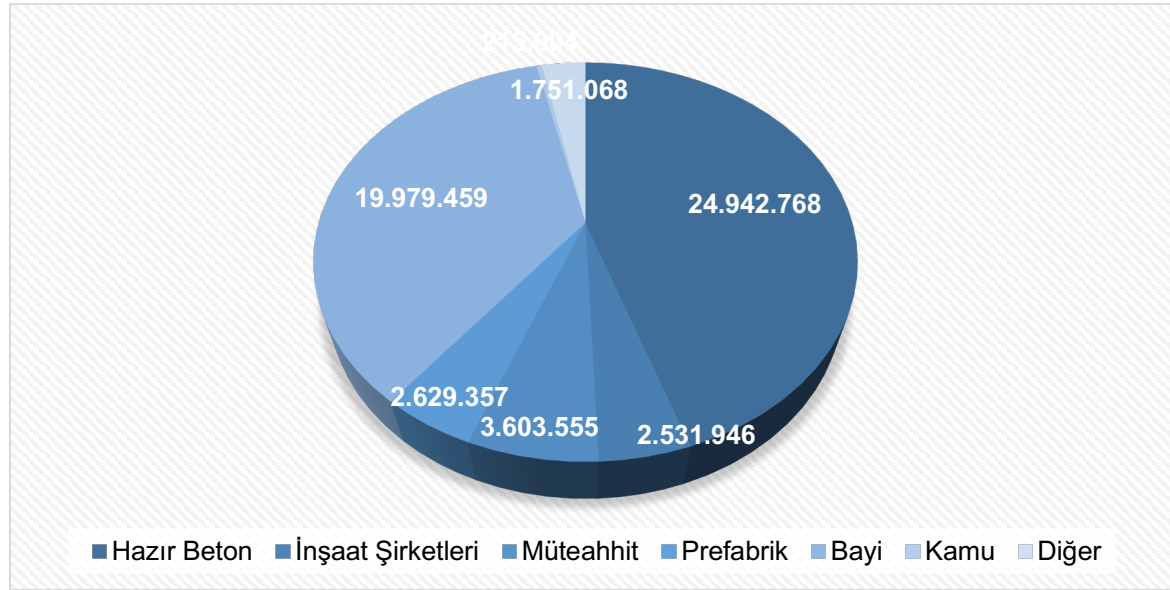
Kaynak: Composites Turkey Dergisi, Sayı:19, 2018

Bu çalışmaya konu geri dönüşüm tesisinde işlem görecektir atıkların çimento sektöründe ve atık yakma tesislerinde ek yakıt olarak kullanılması planlanmaktadır. Bu nedenle Türkiye'de çimento tesislerinin ticari durumları da incelenmiştir.

Türkiye'de çimento üretim miktarında 2017-2019 yılları arasında azalma gözlenmiş ancak 2020 yılında üretim miktarı tekrar yükselişe geçmiştir. Aynı zamanda 2020 yılında ihracatta da artış gerçekleşmiştir. Çimento için iç satış, ihracat ve toplam üretim miktarları Şekil 21'de görülebilmektedir. Şekil 22'de, üretilen çimentonun iç satışta dağılımı hazır beton, inşaat şirketleri, müteahhit, prefabrik, bayi ve kamu kullanımı olarak ayrı kategorilerde gösterilmektedir. Bu dağılımda en büyük segment %36 ile hazır betona aittir.

Şekil 21: Çimento İç Satış, İhracat ve Toplam Üretim Miktarları (Bin Ton), 2016-2020

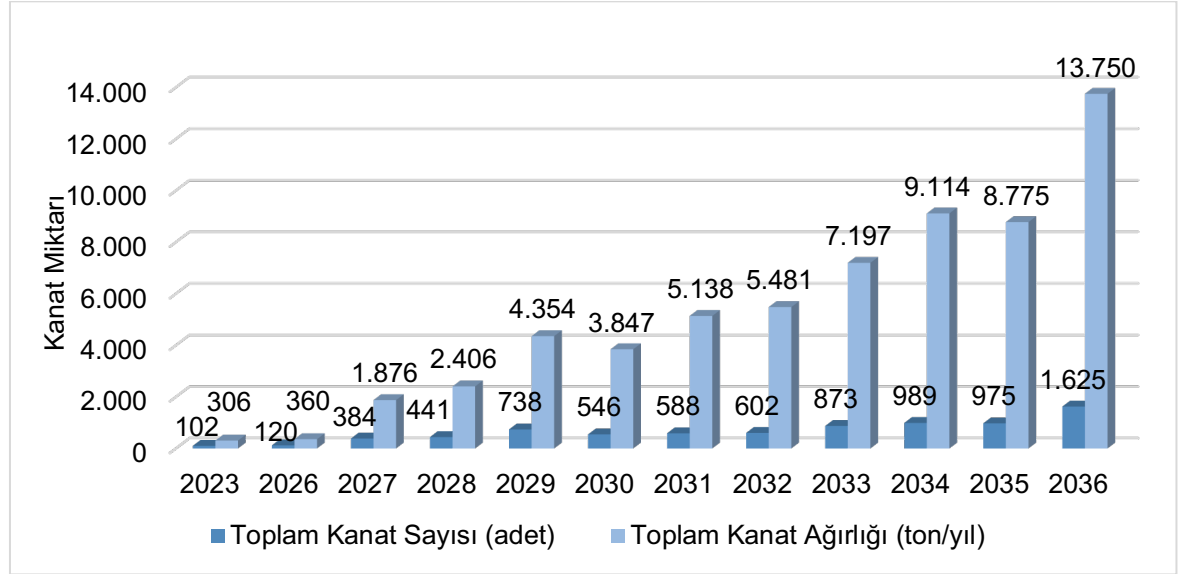
Kaynak: Türkçimento, Kapasite İstatistikleri, 2020

Şekil 22: Çimento İç Satış Dağılımı, 2020 (Ton)

Kaynak: Türkçimento, Kapasite İstatistikleri, 2020

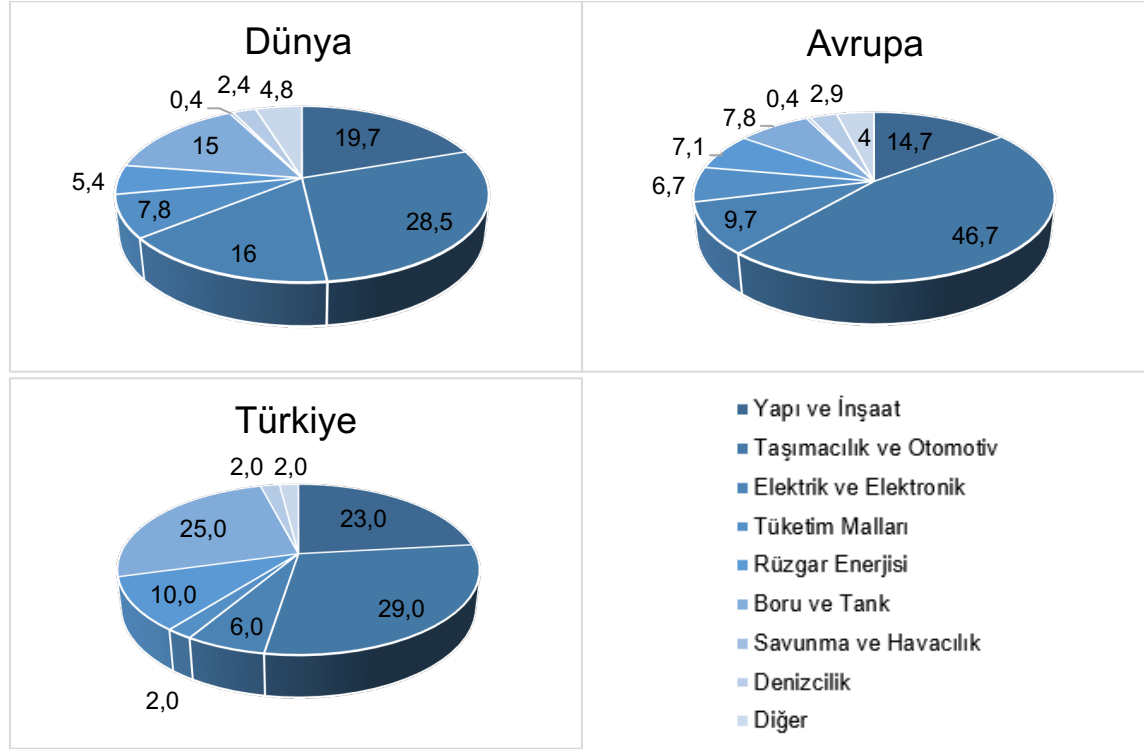
2.5. Üretim, Kapasite ve Talep Tahmini

Ülkemizde ilk rüzgâr türbini 1998 yılında İzmir, Alaçatı'ya 7 km uzaklıkta yer alan Germiyan köyünde devreye girmiştir. Bu tarihten itibaren 2000'li yılların başına kadar yaklaşık 7-8 yıllık süre içerisinde oldukça sınırlı sayıda yatırım gerçekleşmiş ve toplam kurulu güç 2006 yılına kadar 20 MW seviyelerinde kalmıştır. 2006 yılı itibariyle ülkemizde yenilenebilir enerji teşvik sisteminin devreye girmesiyle birlikte rüzgâr türbin yatırımları artmıştır. Ülkemizin rüzgâr türbini santralleri son 15 yılda artmaya başlamıştır ve önümüzdeki 5 yılın tamamlanmasını takiben pek çok santral 20 yaşını doldurmaya başlayacaktır. 10 yıl içinde ömrünü tamamlamış türbin kanadı miktarının yıllık 5 bin ton, takip eden 5 sene içinde (2036 yılında) ise yıllık 13.750 ton mertebelerine ulaşması beklenmektedir. 2023 ve 2036 yılları arasında ömrünü tamamlaması beklenen türbin kanat sayıları ve ağırlıkları Şekil 23'te gösterilmektedir.

Şekil 23: 2023-2036 Yılları Arasında Türkiye’de Ömrünü Tamamlaması Beklenen Türbin Kanat Sayıları

Yatırıma konu tesiste türbin atıkları dışında diğer kompozit malzeme kullanan sektörlerde üretilen atıklar da değerlendirilebilecektir. Şekil 24’te görüldüğü üzere, kompozit malzemelerden üretilen ürünler havacılık ve uzay sanayi, enerji, otomotiv, inşaat ve daha birçok sektörde kullanılmaktadır. Türkiye’de en çok kompozit malzeme kullanan sektör %36’lık oranla boru ve altyapı sektörüdür. Bunu %24 ile taşımacılık-otomotiv ve %21 ile yapı-inşaat sektörü takip etmektedir. Sektörlerin dünyada, Avrupa’da ve Türkiye’de kompozit malzeme kullanım dağılımları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. 2019 yılında 11,1 milyon ton hacme ve 84 milyar Avro değere sahip olan dünya kompozit pazarının 2023 senesinde 13,1 milyon ton hacme ve 96 milyar Avro değere ulaşması beklenmektedir. Ayrıca, 2010-2017 yılları arasında işlenmiş kompozit ürün pazarı hacmen %4, değer olarak ise %5 oranında büyüme göstermiştir.

Özellikle yakın coğrafyalardaki ülkelerden gelen talepler üzerine ülkemizde %36'lara varan CTP boru üretimi kompozit sektörüne yön vermektedir. Bu borulara talep, nüfus artışı ve kentleşme sebebiyle artan altyapı (kanalizasyon, su temini, atıksu artıma ve sulama sistemleri vb.) ihtiyacına orantılı olarak artacaktır. Benzer şekilde Türkiye'nin yapı-inşaat sektörü yakın coğrafyalarda aktif olarak faaliyet gösterdiği için, bu sektördeki kompozit malzeme talebinin de artış göstermesi beklenmektedir. Ülkemizde uygulanan politikalarla kompozit malzeme üretimi girişimlerinin artırılması hedeflenmekte, rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynak alanları (YEKA) ihaleleri, savunma sanayinde yerleştirme ve milli teknoloji hamleleri gibi faaliyetler sonucunda bu malzemelerin ülkemizde kullanımının artması beklenmektedir (Kimya Sanayii Çalışma Grubu, 2018).

Şekil 24: Dünya, Avrupa ve Türkiye’de Kompozit Malzemenin Sektörler Arasında Dağılımı (%)

Kaynak: 11. Kalkınma Planı, Kimya Sanayii Çalışma Grubu Raporu, 2018

Türkiye’de kompozit malzemelerin %23 payla en çok kullanıldığı 2. sektör inşaat ve yapı malzemeleri sektörüdür. İnşaat sektöründe yer alan kompozit malzeme üreticilerinin ürünlerinin çevresel performanslarıyla ilgili çalışmalar yaptırdığı ve ilgili belgeleri aldıkları görülmektedir. Yapı malzemeleri, kimya, tekstil ve mobilya gibi 18 farklı sektörden birçok firma 117 kompozit ürün için Çevresel Ürün Beyanı (EPD) belgesini almıştır. Bu bilgiler ışığında, kompozit malzemelerin sürdürülebilirliği farkındalığının her geçen gün arttığı anlaşılabilmektedir (EPD Turkey, 2018).

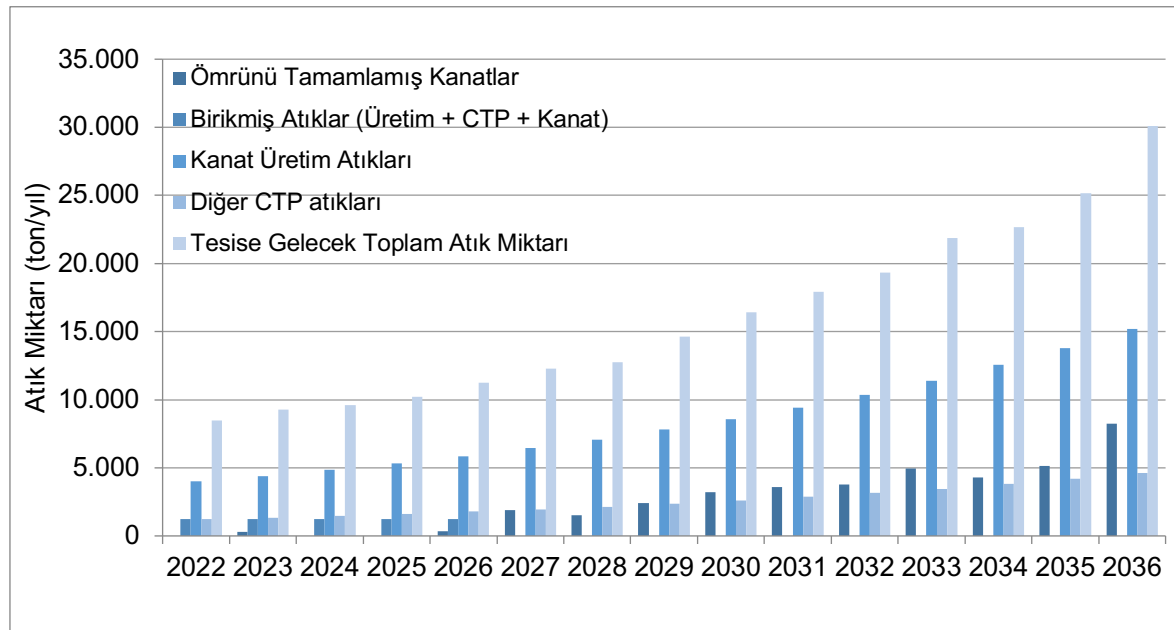
Atıklar, 26.03.2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik’e göre bertaraf edilmektedir. Bu mevzuatta atıkların düzenli depolama yöntemi ile bertarafı sürecinde teknik ve idari hususlar ile uyulması gereken kurallar belirlenmiştir. Atıkların düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesi atık yönetimi hiyerarşisinde en son seçenektir. Buna karşın Türkiye’de mevcutta bu atıkların ticari bir geri dönüşüm alternatifi bulunmamakta ve bu nedenle özellikle rüzgâr türbin kanat atıkları ülkemizde düzenli depolama sahalarında depolanmaktadır. Mevcut ulusal düzenlemelerde buna engel teşkil eden bir durum bulunmamaktadır. Atık üreticileri olası geri dönüşüm alternatiflerine açık olsa da, düzenli depolama ile bertarafın maliyetinin geri dönüşüm alternatiflerinden daha düşük olması tarafları bu yöntemle itmektedir. Bu atıkların düzenli depolama sahalarına gömülmesi yerine, geri dönüşüm alternatifleri her sektörde olduğu gibi rüzgâr sektöründe de araştırma konusudur. Olumsuz çevresel etkileri en aza indirmek için, atık olarak ortaya çıkan ve ömrünü dolduran rüzgâr türbinlerinin çöp sahalarında depolanması yerine, özellikle ABD ve Avrupa ülkelerinde uygulamaları görüldüğü üzere Türkiye’de de alternatif çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

2.6. Girdi Piyasası

Bu bölümde tesiste işlem görecekt atıklar ele alınmış ve aşağıda listelenen bilgiler ve varsayımlar çerçevesinde söz konusu atıkların çeşidi, miktarı ve yıllara göre dağılımı Şekil 25’te sunulmuştur:

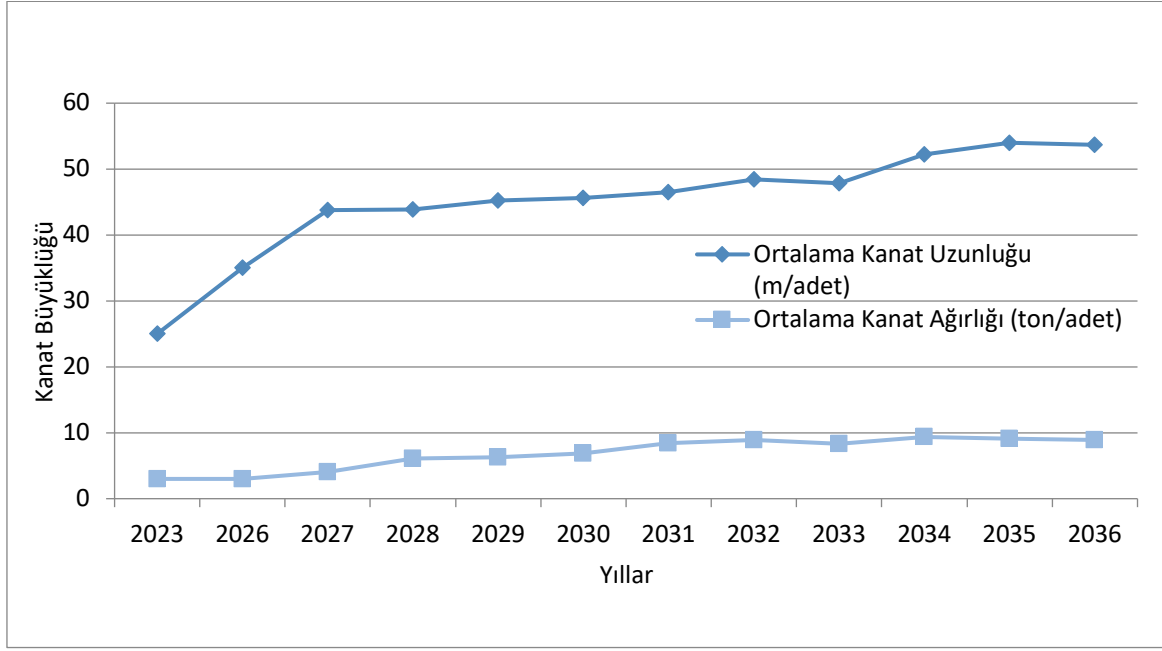
- İzmir’de 2021 yılı itibarıyla çıkan ve depo sahalarına gönderilen üretim atıkları yaklaşık 4.000 ton/yıl seviyesindedir.
- Bu çalışma kapsamında Türkiye rüzgâr enerjisi sektöründe son 10 yılda devreye alınan kanatların envanteri çıkartılmış ve ağırlıkları hesaplanmıştır. Söz konusu hesaplamalara göre 2011-2021 yılları arasında toplam devreye alınmış kanat ağırlığı, yıllık ortalama %10 seviyesinde artış göstermektedir. Bu artışın Türkiye kanat üretim kapasitesine ve aynı zamanda kanat üretim atıklarının yıllık artışına aynı şekilde yansıtacağı, önümüzdeki 15 yıl içerisinde kanat üretim atıklarının da her yıl %10 oranında artacağı beklenmektedir.
- İzmir ve çevre illerde ömrünü tamamlamış kanatlar bu tesiste işlem görebilecektir. Bu nedenle İzmir, Çanakkale, Manisa, Balıkesir, Bursa, Afyon, Denizli, Muğla, Aydın illerinden çıkacak olan ömrünü tamamlamış kanatlar hesaplanarak tesis kapasitesi ile ilgili çalışmalara girdi teşkil etmiştir.
- Kanat ve kanat komponentlerinin üretiminin mevcut durumda kümelendiği İzmir ve çevresinin ilerleyen yıllarda da üretimde önde gelen bölge olacağı düşünülmektedir.
- İzmir ve çevre illerde üretilen CTP atıklarının Türkiye’deki toplam CTP atıklarının yaklaşık %15’ini kapsadığı varsayımıyla bu miktarda atığın tesise getirileceği beklenmektedir.
- Türkiye’de ağırlıklı olarak kanat üretiminden kaynaklanan CTP içerikli birikmiş toplam 12.500 ton atığın %50’sinin İzmir ve çevre illerde depolanmakta olduğu ve ilk 5 yıl içinde aşamalı olarak bu atıkların bulundukları depo alanlarından alınarak tesiste işlem görmek üzere temin edilebileceği öngörülmektedir.

Şekil 25: 2022 -2036 Yılları Arasında Tesiste İşlem Görecek Atıkların Çeşit ve Miktar Dağılımı



Önümüzdeki 15 yılda kullanım ömrünü dolduracak türbin kanatlarının markalarına bakıldığında sırasıyla Nordex, Enercon, Vestas, GE ve Siemens’in öne çıktığı görülmektedir. Halen ülkemizde mevcut kurulu güç ve yıllık üretim açısından da öne çıkan bu markalar rüzgâr türbini kanatlarının geri dönüşümü için atılacak adımlarda kritik öneme sahip olacaktır.

Rüzgâr türbinleri ülkemizde ilk kurulduğu 1998 yılından bugüne yapısal olarak büyük bir değişim yaşamıştır. İlk kurulduğu yıllarda 20-25 m uzunluğunda ve 4 ton mertebelerindeki türbin kanatları günümüzde yerini genellikle 70 m uzunlukta ve ağırlıkları 20 tona yaklaşan çok daha büyük yapılara bırakmıştır. Önümüzdeki 15 yılda ortaya çıkması beklenen türbin kanatlarının da bu trendi takip etmesi ve 2036 yıllarında yönetilmesi gereken kanatların ortalama 55m uzunluğunda ve 10 ton ağırlığında daha büyük yapılarda olması beklenmektedir (Şekil 26).

Şekil 26: 2023 -2036 Yılları Arasında Ömrünü Tamamlayacak Türbin Kanatlarının Boyutları

Tesisin işleyeceği atık dışında, personel, enerji ihtiyacı gibi girdi kalemleri de incelenmiştir. Yıllık giderlere ilişkin geliştirilen varsayımlar aşağıda listelenmiştir:

- Tesisin 2 vardiya çalışması ve tatil, yıllık bakım vb. de düşünülerek toplam yıllık 4.000 saat faaliyet göstermesi beklenmektedir.
- Hali hazırda kurulu veya zaten kurulması planlanan bir endüstriyel/evsel katı atık geri dönüşüm ve/veya ATY hazırlama tesisi içerisinde hayata geçirileceği için vardiyalı çalışacak 2 adet kepçe operatörü ve 2 bakım elemanı yeterli bulunmuştur. Her bir iş grubu için sırasıyla 600 ve 420 ABD Doları brüt aylık ücret öngörüsü ile yıllık işçi maliyeti hesaplanmıştır.
- Elektrik giderleri için Gediz Elektrik sanayi tarifi dikkate alınmış ve 0,083 ABD Doları/kWh değeri hesaplamalarda kullanılmıştır.
- Tesise atık yüklemesinin iş makinesi ile gerçekleştirileceği planlaması çerçevesinde motorin maliyetinin 0,84 ABD Doları/L seviyesinde seyredeceği düşünülmüştür.
- Tesis ekipmanları amortisman bedeli hesaplanırken arazi maliyeti dışındaki tüm maliyetlerin 10 yıllık ekonomik ömür çerçevesinde, ekonomik ömür sonrası yenilenme gereksinimi dikkate alınmıştır.

Tablo 6'da tesisin yıllık gider maliyet kalemleri açıklamalarıyla birlikte verilmektedir.

Tablo 6: Tesis Yıllık Gider Maliyet Kalemleri

Gider Kalemi	Açıklama	Yıllık Brüt Maliyet (ABD Doları)
İşçilik		
4 işçi	2 Kepçe operatörü ve 2 bakım elemanı 8'er saatlik 2 vardiya ile çalışacaktır	24.480
Elektrik		

Kırıcı motor gücü	132 kW gücünde 2 adet motor yılda 4.000 saat çalışacaktır	87.437
Hidrolik sistem	7.5 kW gücünde hidrolik sistem yılda 4.000 saat çalışacaktır.	2.484
Diğer ekipmanların elektrik tüketimi	Konveyörler, yardımcı ekipmanlar, klima sistemi, soğutma sistemi vb. diğer tüm ekipmanların toplam gücü 50 kW olacaktır.	16.560
Bakım ve Yedek Parça		
Kırıcı ekipmanın bıçak ve yardımcı malzeme değişimi	Kırıcı ekipmanın bıçak ve yardımcı malzeme değişimi 2.000 saatte bir gerçekleştirileceği için yılda 2 set yedek parça gereksinimi bulunmaktadır.	72.766
Yakıt		
İş makinesi yakıt gideri	Saatte 10 L tüketim varsayımı ile pasif süre dahil yıllık toplam 4.000 saat operasyon	33.600
Amortisman		
Tesis ekipmanları amortisman bedeli	Tesis ekipmanlarının 10 yıllık ekonomik ömrü olacağı varsayımı ile toplam yatırım bedelinin %10'u yıllık maliyet kabul edilmiştir	72.900
Toplam		310.226

2.7. Pazar ve Satış Analizi

Yatırımı planlanan yakıt üretim tesisinde işlenerek boyutları küçültülen atıklar ATY olarak hazırlanarak çimento endüstrisinde ve atık yakma tesislerinde ek yakıt olarak kullanılabilir. Türkiye’de rüzgâr türbin atıkları önümüzdeki zamanlarda büyük hacimlerde çıkmaya başlayacaktır ve Türkiye’nin türbin geri dönüşümü konusunda araştırma altyapısı henüz gelişme aşamasındadır. Bu nedenle, kısa vadede olabilecek en uygun çözüm, diğer ülkelerde de ticari şekilde uygulanabilir ana teknoloji olarak kabul edilen, bu atıkların çimento sektöründe ve atık yakma tesislerinde değerlendirilmesidir. Çimento sektörü dışında, rüzgâr türbin atıklarının kırıldıktan sonra betonda ve asfaltta kullanılabildiği, dolgu malzemesi olarak değerlendirilebildiği bilinmektedir. Ancak bu denemeler genellikle Ar-Ge aşamalarında kalmış, ticari olarak sürdürülebilir bir yöntem olarak henüz gelişmemiştir. Mevcut atıklarla başa çıkılabilmesi için geri dönüşüm Ar-Ge altyapısı gelişene kadar çimento sektöründe ek yakıt olarak kullanımı gibi mevcut yollar daha kapsamlı şekilde ele alınmalıdır. Eski türbin kanatlarının geri dönüştürülmesinin rüzgâr sanayii için yakın gelecekte öncelikli konulardan birisi olacağı görülmektedir.

Kompozit geri dönüşümü sektörler arası bir sorundur. Uygun maliyetli çözümler ve güçlü değer zincirleri geliştirmek için tüm kompozit kullanan sektörlerin aktif katılımı gerekmektedir. Çimento tesislerinde rüzgâr türbin atıklarının değerlendirilebilmesi için ihtiyaç duyulan yakıt üretim tesisinin, diğer kompozit kullanan sektörlerin ihtiyaçlarına da karşılık vereceği öngörülmektedir. Diğer kompozit atık üreten sektörler; yapı ve inşaat, elektrik ve elektronik, ulaşım, denizcilik, havacılık,

tank, boru ve su kaydırağı sektörleridir. Bu doğrultuda, ömrünü tamamlamış kanatlar, kanat üretim atıkları, diğer CTP atıkları ve birikmiş atıkları kullanacak olan tesisin kapasitesi ilk 5 yıl için 10.000 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Tesiste üretilecek yakıt ise yılda 9000 ton olarak hesaplanmıştır. Söz konusu yakıtın çimento fabrikalarına satış fiyatının, sektörün kullandığı diğer yakıtların fiyatları değerlendirildiğinde 36 ABD Doları/ton olacağı öngörülmektedir.

Rüzgâr türbini sektörü değer zinciri paydaşları ve diğer sektör üreticileri için rüzgâr türbin kanatlarının geri dönüşümü konusunda tespit edilen fırsatlar ve sorunlar/engeller Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7: Rüzgâr Türbin Kanatlarının Geri Dönüşümü Konusunda Tespit Edilen Fırsatlar ve Sorunlar/Engeller Matrisi

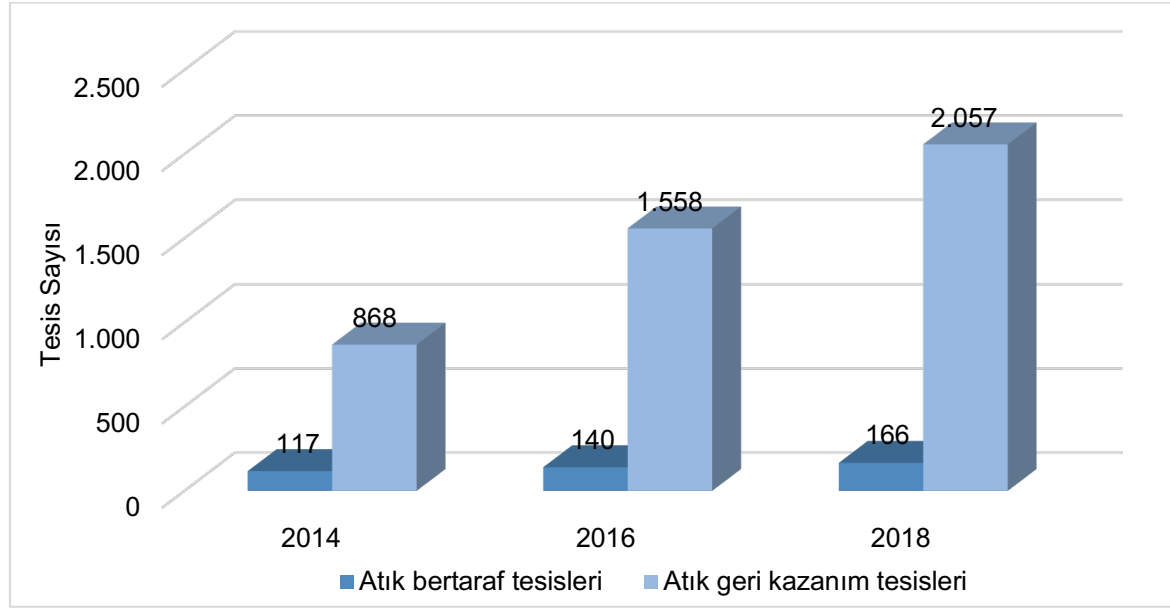
	<u>Kanat Üretim Tesisleri</u>	<u>Türbin Komponent/ Hammadde Üreticileri</u>	<u>Türbin Üreticileri</u>	<u>Enerji Yatırımcıları</u>	<u>Diğer Sektör Üreticileri</u>	<u>Atık Yönetim Firmaları</u>	<u>Çimento Tesisleri</u>	<u>Kırıcı Firmaları</u>
<u>Fırsatlar</u>	Bu atıkların yönetimi küresel bir sorun olduğu için ortak hareket edilebileceği düşünülmektedir. Ar-Ge faaliyeti yürüten kanat üretim tesisleri atıkların cam takviyeli beton veya cam takviyeli asfalta dönüştürülmesi amacıyla dolgu malzemesi olarak kullanılması için işbirlikleri geliştirilebileceğini belirtmektedir. Üretim sonucu oluşan toplam atık içinde bütün kanat oranı %1-2 olsa da, üretim atıklarının %80'i	Söz konusu atıkların geri dönüşümü için çözüm bulunursa komponent/ hammadde üreticileri de bu süreçten faydalanabilecektir.	Türbin üreticileri, türbinin belirli parçalarının otobüs durak çatısı, otopark çatıları, çocuk parkı, küçük sürdürülebilir evler, ofis binaları, bank vb. sosyal sorumluluk kapsamında kullanılacak şekilde bir çalışma yapılmasına sıcak bakmaktadır. Türbin atıklarının küçük parçalar haline getirilebilmesi durumunda, ana malzemesi elyaf olduğu için otomotiv vb. birçok sektörde	Rüzgâr santrallerinde yılda ortalama 10-12 kanat çeşitli nedenlerle arızalanmakta, ancak yatırımcılar bu duruma çözüm bulamamaktadır. Geri dönüşüm alternatifleri enerji yatırımcılarının da ilgisini çekmektedir. Sosyal boyutlu projeler ile kanat parçalarının santral yerinde otopark vb. olarak kullanılması sağlanırsa, enerji yatırımcıları için de fırsat yaratılmış olacaktır.	Diğer sektörlerin üretimlerinde de kompozit malzeme fireleri çıkmaktadır. Rüzgâr sanayi için geri dönüşüm imkanı sağlayacak tesis kurulursa, diğer sektörlerin de bu tesisten faydalanabilmeleri söz konusu olacaktır. Kompozit atıkların istenen boyutlarda parçalanması sağlandığı takdirde, elyaf kökenli olduğu için yol yapımında dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.	Atık yönetim firmaları, kanat üretim tesisleri, türbin komponent üreticileri ve türbin üreticilerinin yanı sıra, diğer kompozit sektörlerinin atıkları için de ortak çözüm sunabilecektir. Hem fabrikalar hem santraller bulunduğu için, İzmir atık geri kazanım potansiyeli en yüksek olan bölgedir. Söz konusu tesisin kurulmasının bölgedeki atık yönetim firmalarına fırsat	Çimento tesisleri, yüksek kalorifik değeri sayesinde atığı ek yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmektedir.	Kırıcı ekipman firmaları spesifik kırma ekipmanlarını pazarlayabileceği yeni bir müşteri portföyü yaratabilecektir.

	kalorisi yüksek atıklar olduğu için üretim firesi olarak çıkan kanatlarla birlikte diğer üretim atıklarının da önemli yere sahip olduğu ifade edilmektedir.		kullanılabileceği belirtilmektedir.			yaratılabileceği öngörülmektedir.		
<u>Sorunlar/Engeller</u>	Kompozit atıkları için mevcutta Türkiye’de sürdürülebilir bir çözüm bulunmamaktadır. Atıkların bertarafı için yüksek ücretler ödemektedir. Kanat üretimi esnasında çıkan elyaflar değerlendirilme potansiyeline sahip iken, işbirlikleri yaratılamadığı için yakma veya depolama alanlarında	Cam elyaf epoksi reçine ile kontamine olduğu için mevcut teknolojilerle geri dönüştürülüp kullanılamamaktadır.	Üretim hatalı türbinler değerlendirilemediği için santral sahasında yerde durmaktadır. Türbin üretici firmalardan sürdürülebilir atık miktarı sağlama konusunda geri dönüşüm firmaları ve çimento tesisleri tarafından taahhüt beklenmektedir. Türkiye’de bu atıkları geri dönüşüme uygun boyutlara indirebilen	Türbin kanatlarının bütün haldeki atıklarının sorumluğu enerji yatırımcılarındadır. Yatırımcıların bu atıkların yönetimi konusunda bilgi sahibi olmadığı ifade edilmektedir.	İçinde cam elyaf ve reçine bulunan kompozit malzeme atıklarının yönetimi ve geri dönüşümü konusunda sektörler problem yaşamaktadır. Yapılan geri dönüşüm Ar-Ge faaliyetlerinden olumlu sonuç alınamamaktadır. Bu atıklar parçalanmak istendiğinde, kırıcı ekipmanları zorlanmakta, makine bıçakları körelmektedir.	Atık yönetiminin sürdürülebilir olması için atık yönetim firmaları düzenli atık oluşmasını ve atığı üreten tesislerden miktar garantisi ile yıllık taahhüt beklemektedir. Cam elyaf epoksi reçine ile kontamine olduğu için mevcut teknolojilerle ayırmanın mümkün olmadığı ve geri dönüştürülemediği ifade edilmektedir.	Çimento tesisleri mevcut kırıcılarıyla malzemeyi kıramamaktadır. Malzemenin kırılma zorluğu, kırıcı ekipmanlarının sarf maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Tesisler atığın düzenli olarak gelmesini beklemektedir. Düzenli miktar sağlamadığı	Müşteriler kırıcı ekipmanlar için garanti beklentisi içerisinde olmaktadır. Müşterilerin bakım ve sarf malzeme maliyetlerini göz önünde bulundurması gerektiği ifade edilmektedir.

	depolanma yoluyla bertaraf edilmektedir.		kırıcılara sahip firma bulunmamaktadır.		Dolayısıyla ekonomik olmadığı belirtilmektedir. Farklı kullanım alanları için sektörler arası bağlantıların kurulması gerekmektedir. İşbirliklerinin yaratılması konusunda sıkıntı yaşandığı ifade edilmektedir.	Kanadın kırılma, öğütülme, lojistik süreçlerinin yönetilmesinin operasyonel zorluğu olduğu belirtilmektedir. Geri dönüşüm için fabrika kurulumu yatırımının çok maliyetli olduğu öngörülmektedir. Geri dönüşüm tesisleri için yer bulma problemi bulunmaktadır.	takdirde çimento sektöründe bu atığın değerlendirilmemesinin sürdürülebilir olmayacağı belirtilmektedir.	
--	--	--	---	--	--	---	---	--

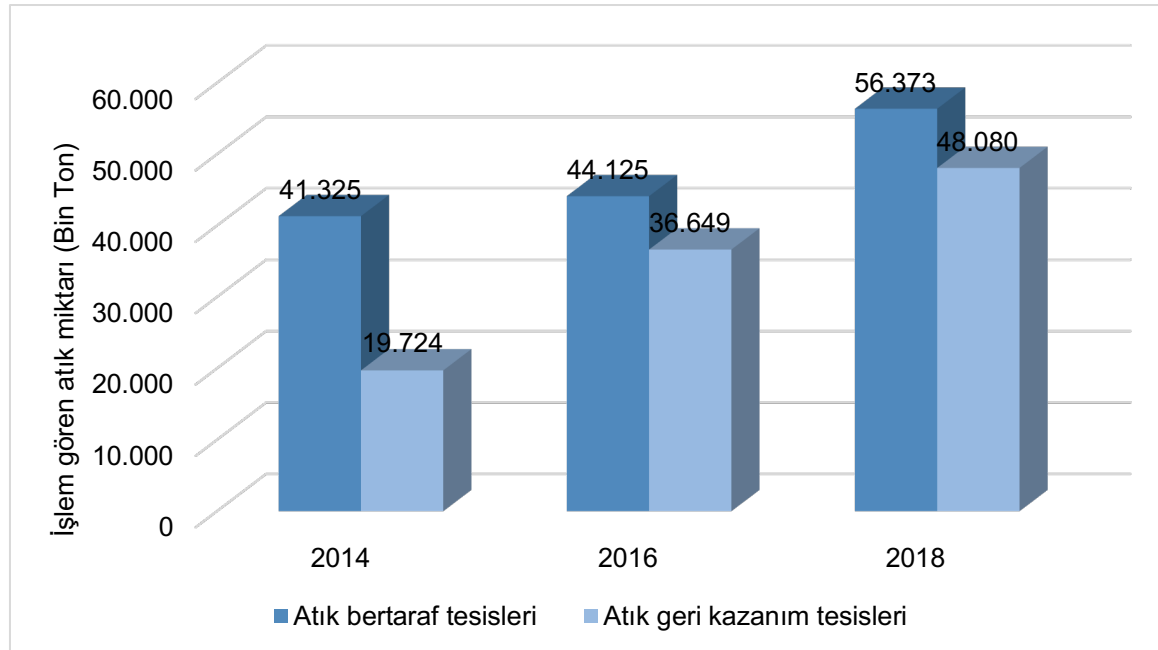
Türkiye'deki atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri incelendiğinde, bu tesislerin yıllar içerisinde arttığı görülmektedir. Geri kazanım tesislerinin sayısı bertaraf tesislerinin sayısından fazla seyrederken, geri kazanım tesislerinde işlem gören atık miktarı daha az olmuştur. Bu durum bertaraf tesislerinin atık kapasitesinin çok daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 27'de 2014 ve 2018 yılları arasında Türkiye'deki atık bertaraf ve geri kazanım tesislerinin sayıları, Şekil 28'de ise bu tesislerde işlem gören atık miktarları verilmiştir. Bertaraf tesisleri düzenli depolama ve yakma tesislerini; geri kazanım tesisleri ise kompost, beraber yakma ve metal, plastik, kağıt, mineral vb. atıkların geri kazanımı tesislerini kapsamaktadır.

Şekil 27: 2014-2018 Yılları Türkiye'deki Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisi Sayıları



Kaynak: TÜİK, İstatistiklerle Çevre, 2018

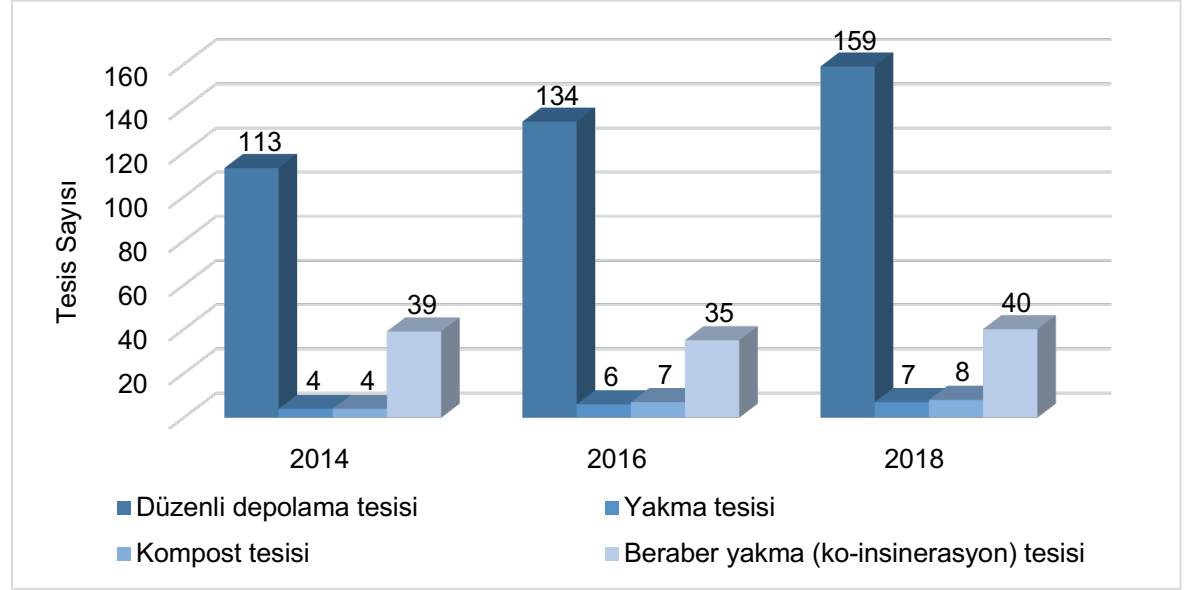
Şekil 28: 2014-2018 Yılları Türkiye'deki Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesislerinde İşlem Gören Atık Miktarları (Bin Ton)



Kaynak: TÜİK, İstatistiklerle Çevre, 2018

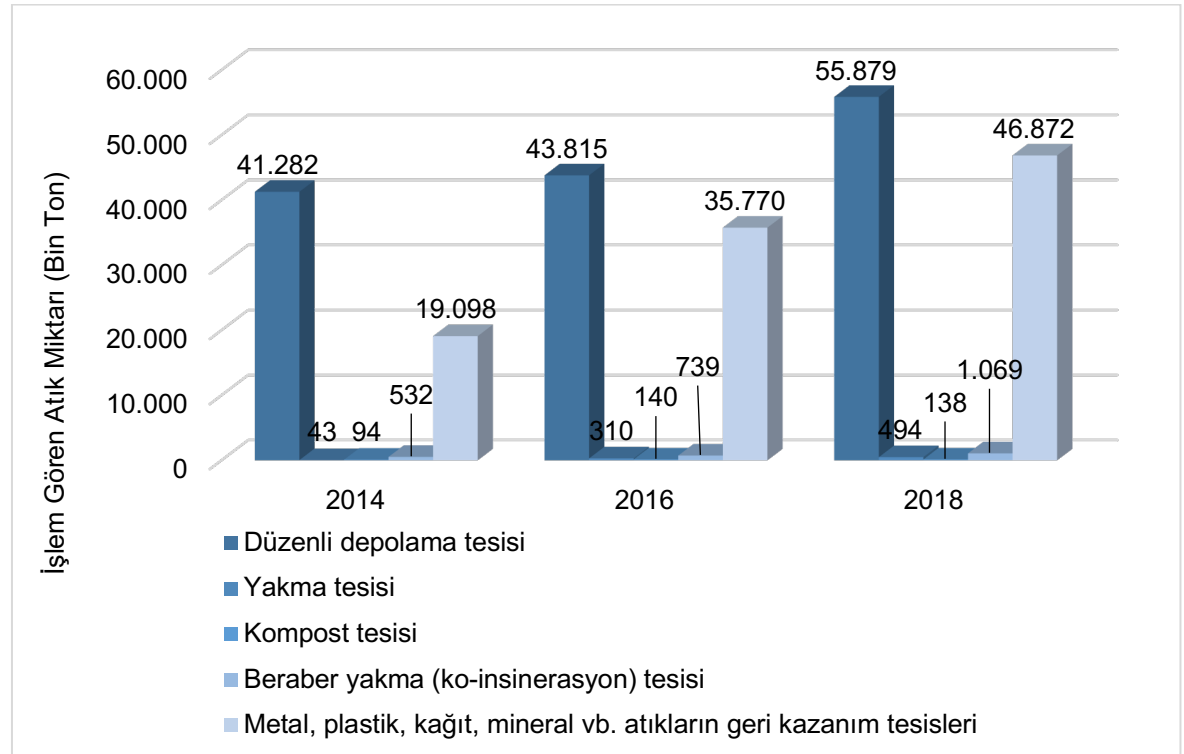
Şekil 29'da atık bertaraf ve geri kazanım tesisi sayıları tesislerin yaptığı işlem türüne göre verilmiştir. Bu işlem türleri düzenli depolama tesisi, yakma tesisi, kompost tesisi ve beraber yakma tesisi olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, Şekil 29'da gösterilen geri kazanım tesislerine ek olarak, 2014, 2016 ve 2018 yıllarında sırasıyla 825, 1.516 ve 2.009 tane metal, plastik, kağıt, mineral vb. atıkların geri kazanımını yapan tesis bulunmaktadır. Tesis sayıları fazla olmasına karşın yine kapasite ve işlem kompleksliği nedeniyle işlem gören atık miktarı düzenli depolama tesisindeki atık miktarına göre daha az olmuştur. Tesislerde 2014-2018 yılları arasında işlem gören atık miktarları işlem türüne göre Şekil 30'da gösterilmiştir.

Şekil 29: 2014-2018 Yılları Türkiye'deki İşlem Türüne Göre Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisi Sayısı



Kaynak: TÜİK, İstatistiklerle Çevre, 2018

Şekil 30: 2014-2018 Yılları Türkiye'deki İşlem Türüne Göre Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesislerinde İşlem Gören Atık Miktarı (Bin Ton)

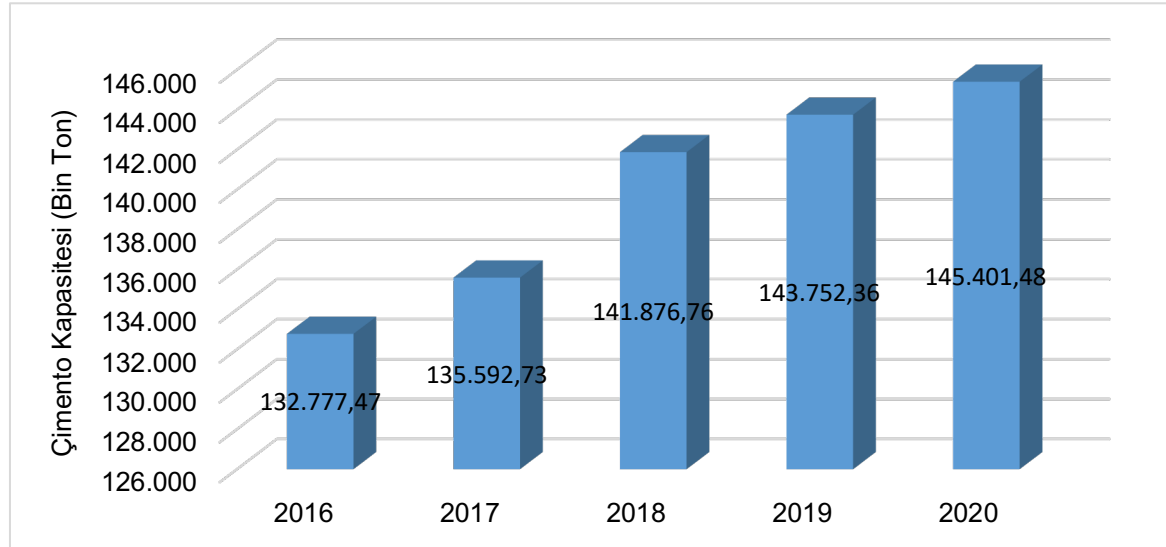


Kaynak: TÜİK, İstatistiklerle Çevre, 2018

Bu çalışmaya konu yakıt üretim tesisinden elde edilecek ATY'nin kullanılacağı çimento sektörünün Türkiye'deki durumu incelendiğinde, kapasite bakımından oldukça gelişmiş durumda olduğu görülmektedir. Çimento sektörü pek çok atık türünü alternatif hammadde ya da ek yakıt olarak kullanabilmektedir. Mevcut durumda çimento tesislerinde türbin kanadı atıklarının değerlendirilemiyor olmasındaki en büyük etken bu atıkları, çimento tesislerinin talep ettiği yaklaşık 50x50 mm boyutlarına indirgeyebilecek kırıcıların bulunduğu bir geri kazanım tesisinin olmamasıdır. Bu malzemeleri parçalayabilme yeteneğine sahip kırıcıların bulunduğu bir geri kazanım ve yakıt üretim tesisinin kurulması ve böylece küçültülen parçaların çimento endüstrisinde ek yakıt olarak kullanılması ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların çimento tesislerinde ek yakıt olarak kullanılması ile çimento üretiminin karbon ayak izi azaltılabilecektir.

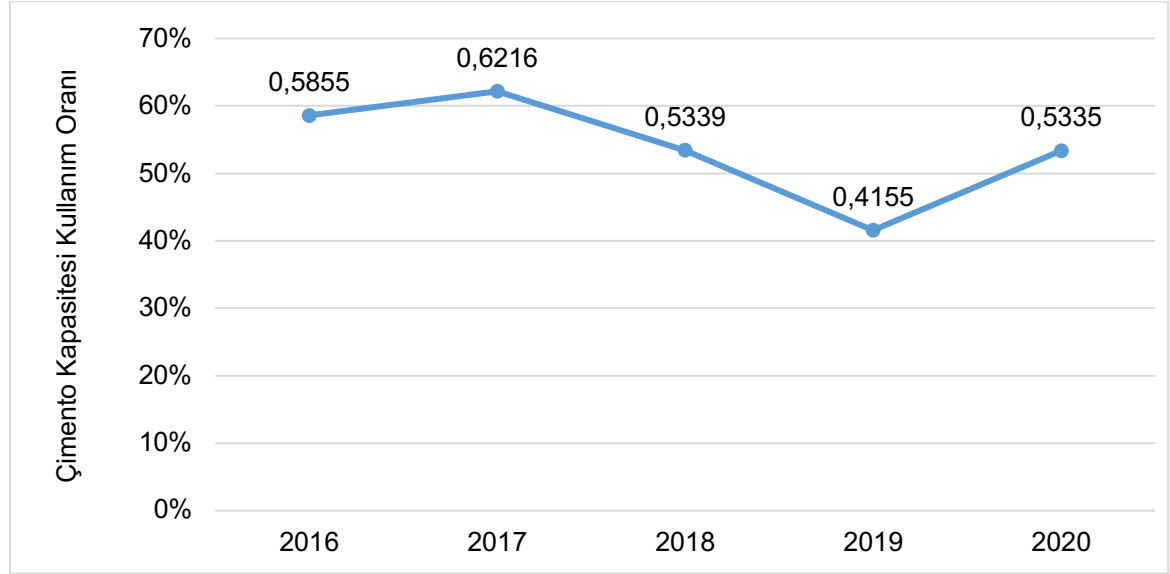
Ön fizibilite konusu ATY'yi kullanacak olan Türkiye'deki çimento tesisleri incelendiğinde, özellikle 2017-2018 yılları arasında olmak üzere üretim kapasitelerinde sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Ülkemizde çimento tesislerinin kapasitesi Şekil 31'de verilmiştir. Şekil 32'de, çimento fabrikalarında kapasite kullanım oranlarına bakıldığında 2017-2019 aralığında düşüş olmasına karşın 2020 senesiyle beraber kapasite kullanım oranında yeniden artış trendi gözlenmiştir.

Şekil 31: 2016-2020 Yılları Arasında Türkçimento'ya Kayıtlı ve Kayıtlı Olmayan Türkiye'deki Tüm Çimento Fabrikalarının Kapasite Miktarları (Bin Ton)



Kaynak: Türkçimento, Kapasite İstatistikleri, 2020

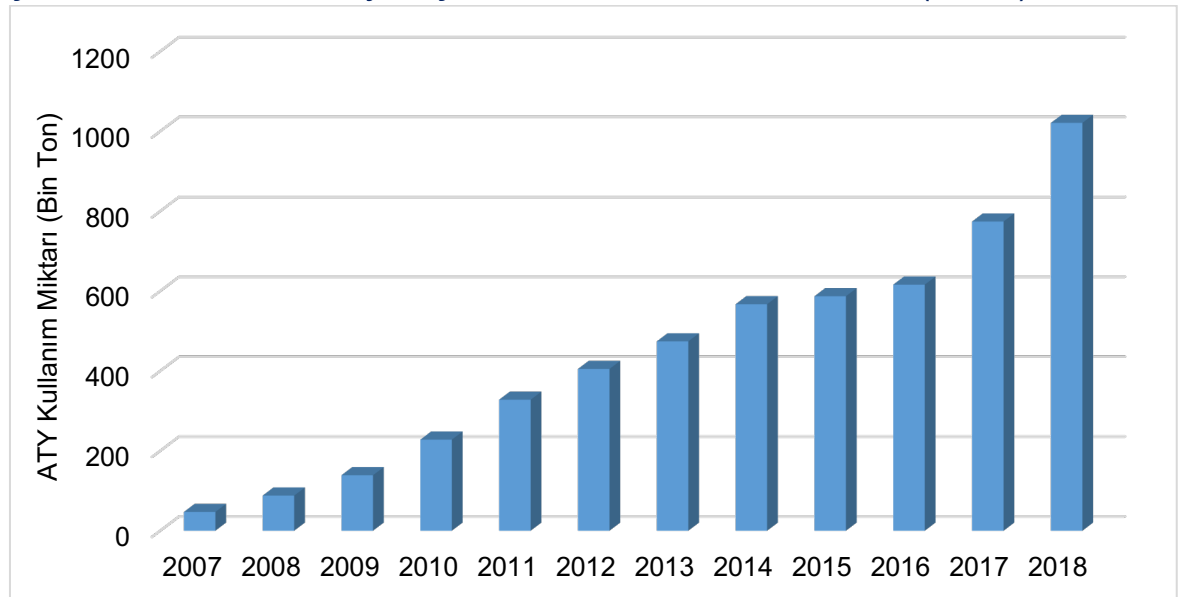
Şekil 32: 2016-2020 Yılları Arasında Türkçimento'ya Kayıtlı Çimento Fabrikalarının Kapasite Kullanım Oranları



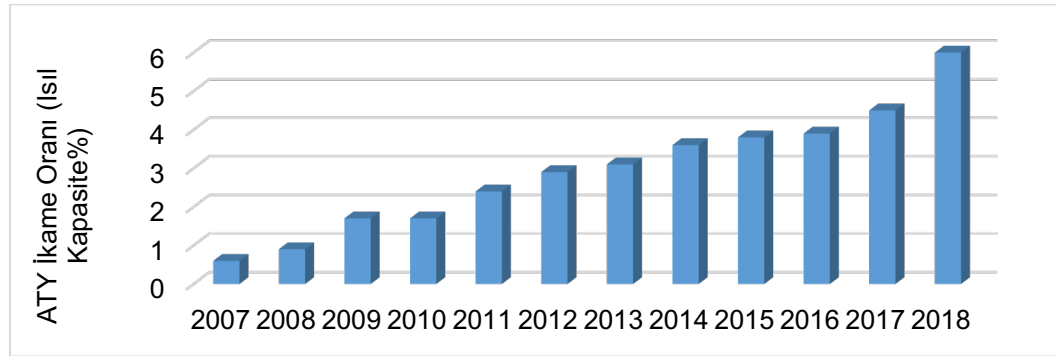
Kaynak: Türkçimento, Kapasite İstatistikleri, 2020

Çimento sektöründe toplam maliyetin %65'i enerji maliyetidir ve bu maliyeti düşürmek için alternatif enerji kaynaklarına yönelik bir eğilim söz konusudur. 2017 yılında çimento sektöründe yaklaşık 758.111 ton ATY kullanılmıştır. Bu sayede yaklaşık olarak 300.000 ton fosil yakıt tasarrufu yapılmış ve %4,7'lik ısı yer değiştirme sağlanmıştır (Oyak Çimento, 2019). Avrupa Birliği'nde ise yapılan ısı yer değiştirme %41'dir ve çimento üretiminde Avrupa'da birinci olan Türkiye'nin bu konuda gelişme potansiyeli yüksektir. Örneğin, Türkiye'de yaklaşık 32 milyon ton/yıl belediye atığı üretilmektedir ve bu atıkların 7 milyon ton ATY potansiyeli bulunmaktadır. Bu miktarda ek yakıtın çimento sektöründe kullanımı sayesinde 3 milyon tona yakın kömürün ithalatının ve 1,7 milyon ton sera gazı emisyonunun önüne geçilebilir. Aynı zamanda katı atık depolama alanlarına gidecek atık miktarı azalarak belediye depolama tesisi işletme maliyetleri azaltılabilir (Türk Çimento, 2021). 2007-2018 yılları arasındaki ATY kullanım miktarları ve yakıt ikame oranları Şekil 33 ve Şekil 34'te gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre çimento sektöründe ATY talebinde ve kullanımında sürekli bir artış gözlenmektedir.

Şekil 33: 2007-2018 Yılları Türkiye'de Çimento Sektöründe ATY Kullanım Miktarı (Bin Ton)



Kaynak: Türkçimento, Alternatif Yakıt ve Hammadde

Şekil 34: 2007-2018 Yılları Türkiye’de Çimento Sektöründe ATY İkame Oranı

Kaynak: Türkçimento, Alternatif Yakıt ve Hammadde

Çimento tesisleri özellikle silis içeriği yüksek atıkları alternatif hammadde olarak değerlendirebilmektedir. Ancak 17 02 03 atık kodlu (inşaat ve yıkım kaynaklı plastik atıklar) rüzgâr türbin atıkları alternatif hammadde olarak kullanılmasına onay verilmiş atık kodları arasında bulunmamaktadır. Dolayısıyla, bu atıkların mevzuat gereği alternatif hammadde olarak kullanılabilmesi için prosesin alternatif hammadde kullanımına uygun olduğunu gösterir kurumsal akademik rapor gerekmektedir. Bu akademik raporla birlikte, 20.06.2014 tarih ve 29036 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği” kapsamında atıkların alternatif hammadde olarak kullanılması talepleri için alternatif hammadde kullanımı başvuru formuyla alternatif hammadde kullanacak tesislerin Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na başvurması gerekmektedir.

Genellikle kalorifik değeri rüzgâr türbin atıkları gibi yüksek olan atıklar ek yakıt olarak kullanılmaktadır. Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği’nin EK-3 Tablo 4’ünde ATY hazırlama tesislerinde hazırlanacak yakıtın özellikleri Tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 8: ATY Hazırlama Tesislerinde Hazırlanacak Yakıtın Özellikleri

Parametre	Sınır Değer
Kalorifik değer, kcal/kg	>2500
Tane boyutu, mm	<50 ⁽¹⁾
Nem oranı, %	<35
Klor içeriği, %	<1 ⁽²⁾
Hg, µg/MJ	<330
Ağır metal toplamı, mg/MJ	<2500
PCB, ppm	<50
Solvent içeriği, %	<15

⁽¹⁾ Tane boyutu parametresi ATY kullanacak tesislerde kullanılan teknolojilerin Bakanlıkça uygun bulunması halinde artırılabilir.

⁽²⁾ Klor by-pass hattı bulunan tesisler için parametre üç katına kadar Bakanlıkça uygun bulunması halinde artırılabilir.

Kaynak: Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği

Rüzgâr türbini kanat atıklarının kalorifik değerinin 6.000 kcal civarında, yoğunluğun 500 kg/m³, neminin yaklaşık %1-1,5, klor içeriğinin <%0,5 olduğu belirtilmektedir. Buna göre bakıldığında türbin kanat atıkları çimento ek yakıt olarak kullanılabilir. Yatırıma konu yakıt üretim tesisinde atıklar yukarıdaki tablodaki kriterlere göre 50 mm'den daha küçük tane boyutuna getirilecektir.

Tebliğin EK 4'ünde ise ek yakıt kullanacak tesislerin kabul edebileceği atıkların listesi verilmektedir ve türbin kanat atıklarının dahil olduğu 17 02 03 atık kodu bu listede yer almaktadır. Dolayısıyla, bu atıkların çimento tesislerinde ek yakıt olarak kullanılmasının önünde yasal bir engel bulunmamaktadır.

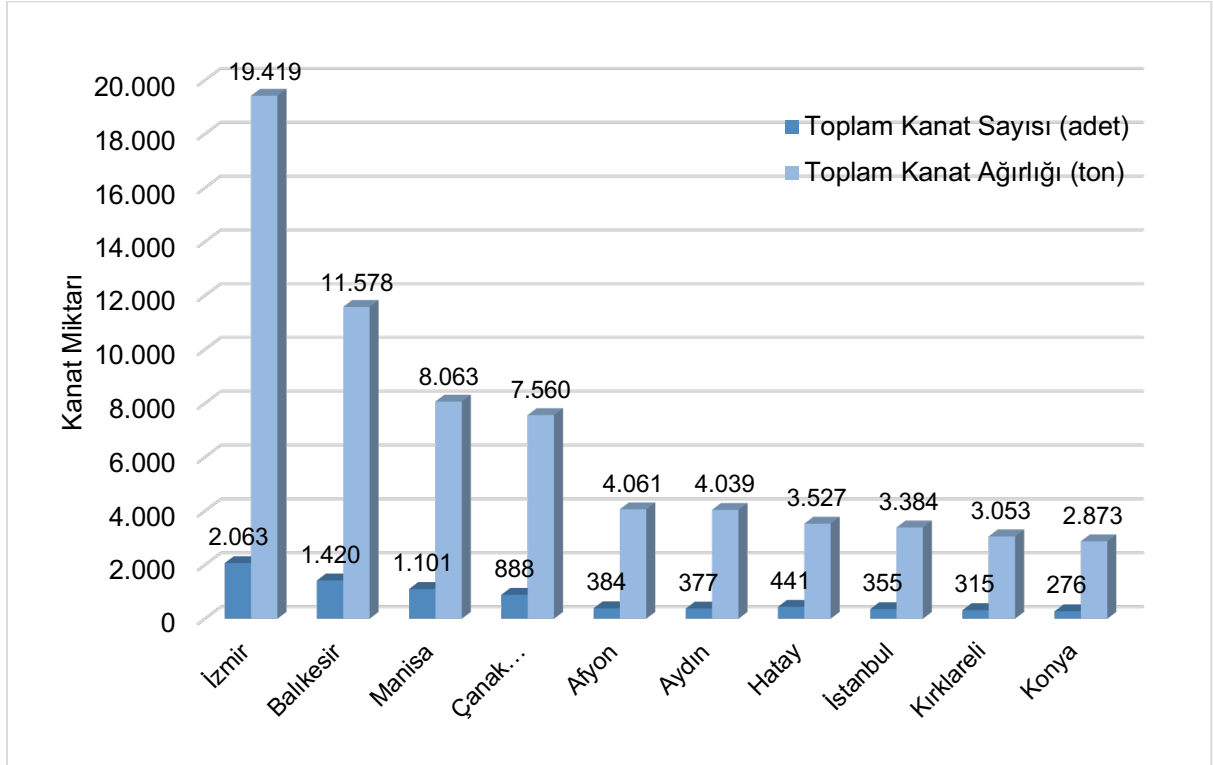
Yukarıda değinilen pazar ortamında, tesisin hem atıkların yönetimine yönelik bir bertaraf geliri hem de atıktan üretilen yakıtın çimento sektörüne satışından elde edilecek gelir olmak üzere 2 temel gelir kalemi olacağı düşünülmektedir:

- Atık Bertaraf Getirisi: İlk gelir kalemi geri dönüştürülecek atıkların yönetimi için atık üreticilerinden alınacak atık bertaraf bedelidir. Mevcut durumda atık düzenli depolama sahalarına gönderilen, üretim tesislerinin depo sahalarında bekletilen veya rüzgâr santrallerinin arazilerinde geçici olarak tutulan bu atıkların bulundukları şehirlere göre farklı bertaraf maliyetleri bulunmaktadır. Atıkların bulundukları bölgedeki atık düzenli depolama sahasına gönderileceği varsayımı ile atık üreticilerinin piyasa koşullarında yaklaşık 24 ABD Doları/ton maliyetle bertaraf bedeli ödedikleri belirlenmiştir. Bu çerçevede piyasa koşulları ile atık kabulü yapılacağı varsayıldığında kurulacak tesisin yıllık 10.000 ton atık bertarafı karşılığı yaklaşık 240.000 ABD Doları/yıl bertaraf kazancı elde etmesi beklenmektedir.
- Yakıt Satış Getirisi: İkinci gelir kalemi ise üretilen yakıtın çimento veya atık yakma tesisi gibi sektörlerde satışı karşılığı elde edilen yakıt satış bedelidir. Çimento tesisleri örnek olarak alındığında, mevcut durumda petrokok veya linyit gibi farklı enerji kaynaklarını kullanan sektörün ilgili kaynaklara ödediği bedeller baz alınmıştır. Örneğin mevcut durumda kalorifik değeri 7.000-8.000 kcal/kg olan petrokok kullanan pek çok çimento firması hali hazırda 84 ABD Doları/ton bedel ile bu enerji kaynağını kullanmaktadır. Öte yandan çimento gibi ATY kullanan atık yakma tesisleri ise 3.000-4.000 kcal/kg ısı değere sahip ATY için 18-30 ABD Doları/ton bedeller ödemektedir. Üretilen yakıtın kalorifik değerinin 6.000 kcal ve neminin de oldukça düşük olacağı varsayımı ile piyasada 36 ABD Doları/ton ile değer görebileceği öngörülmüştür. Bu çerçevede yıllık 9.000 ton yakıt üretimi yapacak tesisin 324.000 ABD Doları/yıl yakıt satış getirisi elde etmesi mümkün görünmektedir.

3. TEKNİK ANALİZ

3.1. Kuruluş Yeri Seçimi

Ülkemizde önümüzdeki 15 yıla kadar ömrünü doldurmuş türbin kanatlarının en fazla İzmir, Balıkesir, Manisa, Çanakkale, Afyon ve Aydın olmak üzere Ege ve Marmara Bölgeleri'nde oluşması beklenmektedir. 2022 ve 2036 yılları arasında ömrünü tamamlayacak türbin kanatlarının illere göre dağılımı Şekil 35'te, harita üzerinde gösterimi Şekil 36'da verilmiştir. Önümüzdeki 15 yılda Türkiye'de ortaya çıkması beklenen yaklaşık 8.000 türbin kanadının 2.063 adedi İzmir (%27,1), 1.420 adedi Balıkesir (%18,6), 1.101 adedi Manisa (%14,5), 888 adedi Çanakkale (%11,7), 384 adedi Afyon (%5,0) ve 377 adedi (%4,9) Aydın'da olacaktır.

Şekil 35: 2022-2036 Yılları Ömrünü Tamamlayacak Türbin Kanatlarının İllere Dağılımı**Şekil 36: Ömrünü Tamamlayacak Türbin Kanatlarının Harita Üzerinde Dağılımı**

Kaynak: TÜREB, Rüzgar Enerji Santrali (RES) Veritabanı, 2021

Yukarıdaki verilere göre, yatırıma konu tesisin rüzgâr türbinlerinin en yoğun bulunduğu, dolayısıyla en fazla atığın çıkacağı İzmir ilinde ve çevresinde kurulacağı öngörülmektedir.

Saha seçiminde hizmet verilen bölgeden gelen atık hacmi, atık teslim sıklığı, tesisin öngörülen fonksiyonu, hizmet verilecek bölgenin türü (turistik bölge, tarımsal bölge, sanayi bölgesi vs.) gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, atıkların yönetimini yapan Çevresel Etki ve Değerlendirme (ÇED) Yönetmeliği'ne tabi tesislerde ÇED'nin gerekliliği olarak tesisin yerleşim yerlerine uzaklığı da önemli olup, çevre sakinlerinin görüşü alınmaktadır. Açığa çıkan toz bulutunun rüzgârla yerleşim yerlerine taşınabildiği veya su kaynaklarını kirletebildiği için rüzgârın yönü ve su kaynaklarına yakınlık da analiz edilmektedir. Ancak, Bölüm 5.1.'de belirtildiği üzere, bu yatırıma

konu tesis, ÇED Yönetmeliği EK-1 ve EK-2'de Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi ve Seçme-Elleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi'nde yer almadığı için muaf olacaktır. Öte yandan, yapılan analizler sonucunda, yatırıma konu tesisin halihazırda mevcut bir geri dönüşüm tesisine entegre olarak çalışmasının daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi mevcut durumda görece genç rüzgâr santrallerine sahip olan ülkemizde ömrünü tamamlamış ve kullanım dışı kalmış türbin kanatları oldukça sınırlı sayıdadır. Yatırıma konu tesisin, kompozit atıklar dışındaki farklı atıkları da işleyebilecek özellikte başka bir tesis bünyesinde kurulması, gerektiğinde atıkların harmanlanarak piyasanın ihtiyaç duyacağı farklı özelliklerdeki yakıtların üretilmesine olanak tanıyacaktır. Bu çerçevede, planlanan yatırım, mevcut bir geri dönüşüm tesisi bünyesinde yer alacağından, tesis kurulumu için ayrıca bir yer aranması gerekmediği düşünülmektedir. İzmir'de halihazırda faaliyet gösteren 3 ATY tesisi ve Türkçimento'ya kayıtlı 2 çimento fabrikası bulunmaktadır.

Söz konusu tesis, rüzgâr türbin atıkları dışında kompozit atıklarını da değerlendirebilecektir. Diğer kompozit atık üreten sektörler; yapı ve inşaat, elektrik ve elektronik, ulaşım, denizcilik, havacılık, tank, boru ve su kaydıracağı sektörleridir. Ayrıştırılmış kimi atıklar yönetmelik çerçevesinde izin verildiği takdirde ithal edilebilmektedir. İzmir'in bir liman kenti olması sayesinde, ithal edilebilen atıklar da İzmir'de yer alacak bu tesiste lojistik problemler olmadan değerlendirilebilecektir.

Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Sektörü Yatırım Süreçleri Kılavuzu'nda belirtildiği üzere, Organize Sanayi Bölgeleri Uygulama Yönetmeliği'nin (Resmi Gazete 02.02.2019 tarih ve 30674 sayılı) 54. maddesinin 1. fıkrasının (a) bendine göre, ihtisas organize sanayi bölgesinin kendi üretim süreçleri sonucunda ortaya çıkan atıklardan enerji üreten tesisler hariç kuruluş protokolünde belirtilmeyen alanlarda faaliyet gösteren tesislerin kurulmasına izin verilmemektedir. Yine aynı yönetmeliğe göre, karma organize sanayi bölgelerinde katı atık ayrıştırma tesisleri ve her türlü atığın nihai veya ara depolanması veya araziye gömülmesine ilişkin tesisler ile toksik, tıbbi ve tehlikeli atıkların yakılmak ve kimyasal yolla arıtılmak suretiyle bertaraf edilmesine yönelik tesislerin kurulmasına izin verilmemektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi, 2020). Bu nedenle, İzmir'de yer alan organize sanayi bölgeleri yatırıma konu tesis için uygun değildir.

Yukarıda belirtildiği üzere, tesisin mevcut bir geri dönüşüm tesisi bünyesinde faaliyet gösterecek şekilde kurulması önerilmektedir. Mevcut ve/veya kurulacak ATY ve geri dönüşüm tesisleri yönetmelik gereğince organize sanayi bölgelerinde faaliyet gösterememektedir. Ön fizibilite konusu tesis için mevcut veya planlanan tesise ek olarak 3.000 m²'lik araziye ihtiyaç bulunmaktadır. Sanayi imarlı bu büyüklükteki bir arsanın bedeli ortalama 360.000 ABD Doları'dır.

3.2. Üretim Teknolojisi

Rüzgâr türbini kanatları işlevleri gereği şiddetli hava olaylarına (fırtına, yıldırım vb.) karşı dayanıklı yapıda üretilmektedirler. Yüksek kalitede cam elyaflar, reçineler ve diğer katkı malzemeleri türbin kanatları içerisinde kullanılan yapısal ürünlerdir ve bu malzemeler türbin kanatlarına yüksek mukavemet ve esneklik gibi özellikler sağlamaktadır. Tüm bu malzemelerin bir bileşimi olarak kompozit yapıda üretilen ve ileri üretim teknolojilerinin ürünü olan rüzgâr türbin kanatları kullanım ömürlerini tamamladıklarında, ilk olarak lojistiğini sağlayabilmek için daha küçük parçalara dönüştürmek üzere yerinde kesilmektedir. Rüzgâr türbini kanatlarının atık olarak oluştuğu noktadan itibaren farklı sektörlerde enerji veya alternatif hammadde olarak kullanılabilmesi için ilgili sektörlerin kullanabileceği boyutlara getirilmesi gerekmektedir.

Ömrünü tamamlamış rüzgâr türbini kanatlarının ve cam elyaf takviyeli diğer kompozit atıkların (ör: türbin kanadı üretim atıkları, borular, su kaydırakları) kırılarak başta çimento tesisleri ve diğer elektrik üretim amaçlı yakma tesislerinde kullanılmasını sağlayabilecek kırma/parçalama tesisi için önerilen

sistemin özellikleri aşağıdaki şekil ve tablolarda ortaya koyulmaktadır (Şekil 37, Tablo 9, Tablo 10, Tablo 11, Tablo 12).

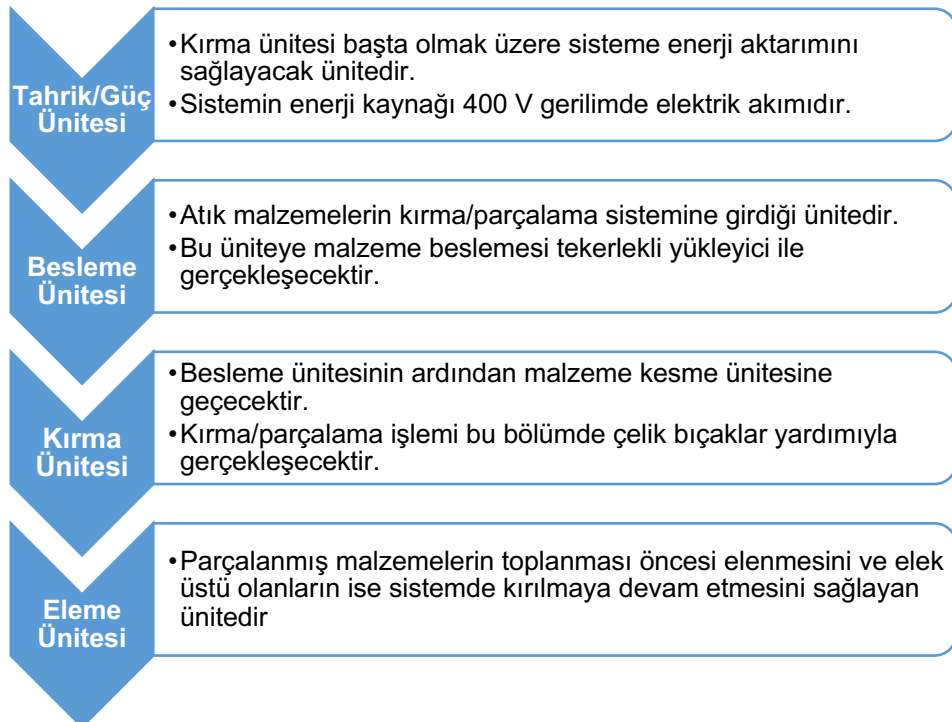
Kırma/parçalama sistemi için kritik öneme sahip malzeme fiziksel özellikleri ve temel işletme parametreleri aşağıda Tablo 9’da verilmektedir.

Tablo 9: Malzeme Fiziksel Özellikleri ve Sistem Temel İşletme Parametreleri

Parametre	Değer
Malzeme Besleme Şekli	Tekerlekli yükleyici
Giriş Malzeme Yoğunluğu (kg/m ³)	500
Nem	<%10
Giriş Malzeme Büyüklüğü (mm)	En fazla 1.500
Çıktı Kapasitesi (t/saat)	3
Çıkış Malzeme Büyüklüğü (mm)	%90’ı <50
Malzeme Besleme Şekli	Bant konveyör

Kırma/parçalama tesisi 4 ana üniteden oluşmaktadır:

Şekil 37: Kırma/Parçalama Sistemi Genel Proses Akışı



132 kW gücünde iki motorun güç besleyeceği sistemde 7,5 kW gücünde hidrolik itici sistem görev yapacaktır. Dişli kutusu ile rotora (otomatik makinelerin döner bölümü) güç aktarımı yapılacak olup rotor hızı 105 rpm olarak belirlenmiştir.

Tablo 10: Tahrik/Güç Ünitesi Teknik Bilgileri

Tahrik/Güç Ünitesi	Birim	Değer
Tahrik Türü	-	Dişli kutusu
Tahrik Gücü	kW	2 x 132
Rotor Hızı (Devir Sayısı)	rpm	105
Voltaj	V/Hz	400/50
Hidrolik İtici Sistem	kW	7,5

Önerilen sistemin toplam ağırlığı yaklaşık 27 ton seviyelerinde olup boyutları 7m x 2,9m x 4m büyüklüğünde olacaktır. 1,5m çapında parçaların beslenmesine imkan verecek şekilde 1,5m x 2,8m besleme açıklığına sahip olacak sistemin kesme haznesi 5 m³ büyüklüğünde tasarlanacaktır.

Tablo 11: Sistemin Genel Boyutları ve Besleme Ünitesi Teknik Bilgileri

Boyut/Ağırlık	Birim	Değer
Genel Ölçüler	mm	7.000 x 2.900 x 3.950
Toplam Ağırlık	kg	27.200
Besleme Ünite Genişliği	mm	4.675 x 1.600
Besleme Açıklığı	mm	2.825 x 1.525
Kesme Haznesi Hacmi	m ³	5

Tek rotordan oluşacak sistemin rotor uzunluğu yaklaşık 2,8 m uzunluğuna olup 38 adet bıçaktan oluşacaktır. Kesme işleminin gerçekleşeceği bu rotorun çapı ise 74 cm olarak planlanmıştır. Kırılmış/parçalanmış malzemenin istenen boyutlara geldiğinde sistemi terk etmesini sağlayacak elek ünitesi ise 50mm aralıklara sahip olacaktır.

Tablo 12: Kesme ve Eleme Üniteleri Teknik Bilgileri

Kesme Sistemi	Birim	Değer
Rotor Uzunluğu	mm	2.805
Rotor Bıçakları	adet	38
Bıçak Boyutu	mm	P43 (43 x 43 x 19,5)
Rotor Çapı	mm	740
Elek Aralığı	mm	50mm

Yerinde kesilerek en fazla 1,5m boyutlarına getirilen atık malzemelerin yukarıda bahsi geçen kırma/parçalama sistemi vasıtasıyla en fazla 50mmx50mm boyutlara getirilmesi sağlanacaktır. Yurtdışı üretimli bu ekipmanların Türkiye’de ithalatçı satış yetkilileri bulunmaktadır ve ortalama kırıcı ekipman fiyatı 350.000 ABD Doları’dır.

3.3. İnsan Kaynakları

Yatırıma Konu Tesis İstihdamı

Yatırıma konu tesis halihazırda mevcut bir geri dönüşüm tesisine entegre çalışacaktır. Bu tesis yatırımı yapılacak kırıcı ekipmanlarının kurulmasıyla başka bir tesisin bünyesinde faaliyet gösterecektir. Dolayısıyla, yalnızca bu yatırıma özel 2 vardiya sistemiyle 2 kepçe operatörü ve 2 bakım personelinin bulunmasının yeterli olacağı öngörülmüştür. Personelin toplam yıllık brüt maliyeti 24.480 ABD Doları’dır.

İl Nüfusunun Eğitim Kademelerine Göre Durumu

İzmir ilinde 2020 yılındaki ADNKS verilerine göre 15 yaş ve üzeri nüfusun %98,63’ü okuryazardır. Türkiye okuryazar oranına bakıldığında, İzmir bu ortalamanın üzerindedir. Tablo 13’te, İzmir ilindeki 15 yaş ve üzeri nüfus incelendiğinde okuma yazma bilmeyen ve yalnızca okuma yazma bilen nüfusun Türkiye ortalamasının altında olduğu görülmektedir. Ayrıca, İzmir ili kalan eğitim branşlarında Türkiye ortalamasının üzerindedir. İzmir ilindeki yüksekokul veya fakülte dağılımı Türkiye ortalamasının üzerinde seyretmektedir.

Tablo 13: 15 Yaş ve Üzeri Nüfusun İzmir İlinde Eğitim Durumuna Göre Dağılımı (%)

Eğitim Durumu	2016	2017	2018	2019	2020	Türkiye 2020
Okuma Yazma Bilmeyen	1,64	1,51	1,40	3,28	1,37	2,42
Yalnızca Okuma Yazma Bilen	9,10	8,74	8,52	8,48	3,19	9,31
İlkokul-İlköğretim-Ortaokul	49,71	49,17	48,04	47,18	45,32	43,8
Lise ve Dengi Meslek Okulu	21,23	21,47	22,18	22,49	25,88	18,45
Yüksekokul veya Fakülte	16,79	17,23	17,81	16,38	20,45	12,27
Yüksek Lisans	1,19	1,51	1,67	1,81	2,13	1,30
Doktora	0,34	0,37	0,38	0,38	0,37	0,25

Kaynak: TÜİK, Bölgesel İstatistikler, Eğitim İstatistikleri

Çalışma Çağındaki Nüfus İstatistikleri ve Bu İstatistiğin İl Nüfusuna Oranı

2020 yılı istatistiklerine göre (Tablo 14), İzmir'deki nüfusun %69,8'i 15-64 yaş arasını kapsayan çalışma çağındadır. 2019-2020 döneminde Türkiye'de çalışma çağındaki nüfus oranı artarken İzmir ilinde düşüş yaşanmıştır. İzmir'de %0,72 oranında düşüş yaşanırken Türkiye genelinde %0,35 artış gözlenmiştir.

Tablo 14: Türkiye ve İzmir'deki Çalışma Çağındaki Nüfus ve Dağılımları

Yıllar	Türkiye		İzmir	
	15-65 Yaş Nüfus	Toplam Nüfusa Oranı %	15-65 Yaş Nüfus	Toplam Nüfusa Oranı %
2016	54.237.586	68,0	2.990.943	70,8
2017	54.881.652	67,9	3.020.262	70,6
2018	55.633.349	67,8	3.036.141	70,3
2019	56.391.925	67,8	3.057.656	70,0
2020	56.592.570	67,7	3.035.501	69,8

Kaynak: TÜİK, Nüfus İstatistikleri

Genç Nüfus İstatistikleri ve Bu İstatistiğin Çalışma Çağındaki Nüfusa Oranı

Genç nüfus istatistikleri ve bu istatistiğin çalışma çağındaki nüfusa oranı incelendiğinde, İzmir ilindeki oranlar Türkiye geneline göre daha düşük seyrettiği görülmektedir (Tablo 15). 2020 yılı itibarıyla İzmir'de genç nüfus %0,48 oranında azalırken aynı zamanda çalışma çağındaki nüfusa ve toplam nüfusa oranı da azalmıştır.

Tablo 15: Türkiye Geneli ve İzmir İli Genç Nüfus ve Dağılımı

Yıllar	Türkiye			İzmir		
	15-25 Yaş Nüfus	Çalışma Çağındaki Nüfusa Oranı %	Toplam Nüfusa Oranı %	15-25 Yaş Nüfus	Çalışma Çağındaki Nüfusa Oranı %	Toplam Nüfusa Oranı %
2016	12.989.042	23,9	16,3	591.821	19,8	14,0
2017	12.983.097	23,7	16,1	589.597	19,5	13,8
2018	12.971.396	23,3	15,8	581.396	19,1	13,5
2019	12.955.672	23,0	15,6	575.185	18,8	13,2
2020	12.893.750	22,8	15,4	573.697	18,7	13,0

Kaynak: TÜİK, Nüfus İstatistikleri

İl ve ilçelerde Yatırım Konusunun Gerektirdiği Nitelikteki İstihdama Erişim Durumu

2019-2020 döneminde İzmir ilinde işsizlik oranı %1,1 artış göstererek %17,1 seviyesine ulaşmıştır. Türkiye genelinde ve İzmir ilinde 2020 yılında açık iş sayısı azalırken İzmir'de işe yerleştirme oranı ise %55 seviyesine düşmüştür (Tablo 16). Yatırım konusunun gerektirdiği 2 bakım personeli ve 2

kepçe operatörü istihdamına, İzmir'deki işe yerleştirme oranlarına bakılarak erişilebileceği öngörülmektedir. 2020 yılındaki işe yerleştirme oranlarındaki düşüşün pandemi sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

Tablo 16: İzmir ilindeki Açık İş Sayısı ve İşe Yerleştirilme Oranı

Yıllar	Açık İş Sayısı	İşe Yerleştirme			İzmir'de İşe Yerleştirilme Oranı (%)	Türkiye'de İşe Yerleştirilme Oranı (%)
		Erkek	Kadın	Toplam		
2016	165.571	51.230	22.129	73.359	44,3	37,5
2017	186.654	52.659	29.145	81.804	43,8	39,3
2018	168.718	44.037	30.060	74.097	43,9	52,1
2019	148.786	85.187	42.963	128.150	86,1	69,2
2020	76.180	22.237	19.686	41.923	55,0	61,9

Kaynak: Türkiye İş Kurumu (İŞKUR), 2021

Yatırıma Konu Ürün Üretimi Konusunda Önde Gelen 5 Ülke İle Ülkemiz Maaşlarının Karşılaştırılması

Rüzgâr türbinlerinin geri dönüşümü konusunda önde gelen ülkeler, ABD, Almanya, Hollanda, Danimarka, İspanya ve Fransa olarak sıralanabilir. Bahsedilen ülkelerde ve Türkiye'deki asgari ücretler Tablo 17'de karşılaştırılmıştır. Bu ülkeler arasında Danimarka da yer almaktadır fakat bu ülkede asgari ücret uygulaması olmadığı için karşılaştırmaya dahil edilmemiştir. Danimarka'nın ortalama maaşı 5.392 Avro/ay (6.243 ABD Doları/ay) ile Avrupa ortalamasının üstündedir.

Tablo 17: Üretimde Önde Gelen Ülkelerde ABD Doları/ay Bazında Asgari Ücretler

Yatırıma Konu Ürün Üretiminde Önde Gelen Ülkeler	2021 Yılı Asgari Ücret (Avro/ay)	2021 Yılı Asgari Ücret (ABD Doları/ay)
ABD	1.250	1.500
Almanya	1.614	1.937
Hollanda	1.685	2.022
İspanya	1.108	1.330
Fransa	1.555	1.866
Türkiye	392	470

(1 Avro = 1,22 ABD Doları)

Kaynak: Eurostat, 2021 Data Browser. Monthly minimum wages - annual data: <https://ec.europa.eu/eurostat>

4. FİNANSAL ANALİZ

Bu çalışma kapsamında önerilen geri dönüşüm tesisinin finansal analizine temel teşkil eden, ilk yatırım maliyeti, gelir/gider hesaplamaları ve diğer yatırım/işletme parametreleri açısından bazı varsayımlar yapılmıştır. Genel varsayımlar aşağıda listelenmekle birlikte “Bölüm 4.1. - Sabit Yatırım” ve “Bölüm 4.2. - Yatırımın Geri Dönüş Süresi” başlıkları altında ilgili bölümlere yönelik spesifik varsayımlara yer verilmiştir.

Tesisin genel işleyişi ve iş modeli açısından geliştirilen varsayımlar:

- Kanat ve kanat komponentlerinin üretiminin mevcut durumda kümелendiği İzmir ve çevresinin ilerleyen yıllarda da üretimde önde gelen bölge olacağı varsayılmıştır.
- Coğrafi koşullar, karayolu mesafesi ve rüzgâr potansiyeli düşünüldüğünde hayata geçirilecek geri dönüşüm tesisinin 10 yıllık ekonomik ömrü boyunca toplam 9 ilden atık temin etmesi beklenmektedir. Bu iller İzmir, Çanakkale, Manisa, Balıkesir, Bursa, Afyon, Denizli, Muğla ve Aydın’dır.
- Bu raporun “Bölüm 2.6. - Girdi Piyasası” başlıklı bölümünde detayları aktarıldığı gibi kurulumundan sonraki ilk 5 yıl içerisinde yıllık ortalama 10.000 ton atık tesise kabul edilebilecektir.
- Yukarıda bahsedilen 10.000 ton/yıllık atık içerisinde aşağıdaki bileşenler yer almaktadır:
 - Bugüne kadar bu illerde 12.500 ton birikmiş atık bulunmaktadır ve bu atıkların %50’si 5 yıl içinde tesise getirilebilecektir. (1.250 ton/yıl)
 - Son 10 yılda (2011-2021) yaşanan %10 yıllık kanat miktarı (ton/yıl) artışının önümüzdeki yıllarda da aynı şekilde devam edeceği ve ilk yıl 4.000 ton/yıl olacak üretim atıklarının yıllar içinde aynı şekilde artacağı düşünülmektedir.
 - Türkiye’de üretilen CTP atıklarının %20’si tesiste işlem görecektir.
- Yukarıdaki bilgiler ışığında kurulacak tesis kapasitesi ilk 5 yılı kapsayacak şekilde 10.000 ton/yıl olarak belirlenmiştir. “Bölüm 2.6. - Girdi Piyasası” başlıklı bölümde detayları sunulduğu üzere talepte beklenen hızlı artış ile birlikte ilerleyen yıllar için tesis kapasitesinin artırılması gerekebilecektir. Bu çalışmada yalnızca ilk 5 yılı kapsayan finansal değerlendirmelere yer verilmiştir.
- Önerilen geri dönüşüm sistemi hali hazırda kurulu veya zaten kurulması planlanan bir endüstriyel/evsel katı atık geri dönüşüm ve/veya ATY hazırlama tesisi içerisinde ayrı bir bileşen olarak kurulacaktır.

4.1. Sabit Yatırım Tutarı

Geri dönüşüm tesisinin sabit yatırım tutarı belirlenirken aşağıda sunulan varsayımlar geliştirilmiştir.

- Hali hazırda kurulu veya zaten kurulması planlanan bir endüstriyel/evsel katı atık geri dönüşüm ve/veya ATY hazırlama tesisi içerisinde hayata geçirileceği için, önerilen geri dönüşüm sisteminin mevcut tesisteki bazı yardımcı ekipmanlardan (ör: manyetik separatör, balistik separatör) faydalanması mümkün olacaktır.
- Mevcut veya planlanan tesise ek olarak 3.000 m²’lik arazi üzerinde 500 m²’lik alanda kısmi alt ve üst yapı işleri yeterli olacaktır. Geri kalan 2500 m²’lik alanın büyük bir bölümü ise atıkların geçici depolanması için kullanılacaktır. Kapsamlı bir bina/yapım ihtiyacı olmayacaktır.
- Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi malzeme mukavemetinin yüksek olması nedeniyle oldukça güçlü bir kırıcıya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu varsayımlar doğrultusunda, tesis sabit yatırım maliyet kalemleri Tablo 18’de verilmektedir.

Tablo 18: Tesis Sabit Yatırım Maliyet Kalemleri

Yatırım Kalemi	Maliyet (ABD Doları)
Arazi	
Sanayi imarlı 3.000 m ² arsa bedeli	360.000
İnşaat/Yapım İşleri	
Kısmi alt ve üst yapı işleri (500m ² alanda kazı, temel vb.)	120.000
Makine/Teçhizat	
Lindner marka tek silindirli kırıcı (Universo- 2800, 2x132kW)	351.600
Dolum ikaz sensörü	4.200
Frekans konvertörlü güç kontrol ünitesi	42.000
Besleme hunisi	16.800
Aşınma önleyici malzemeler	4.200
Rotor soğutma sistemi	21.600
Kontrol odası (15 m ² konteyner)	2.400
Basıncılı hava kompresörü	1.200
Toz emiş fanları	6.000
Çıkış konveyörü	20.400
Tekerlekli yükleyici	120.000
Kablolama	
Kontrol odası ve sistem elemanları arası kablolar	6.600
Montaj ve Devreye alma	
Mekanik ve elektrik montaj, devreye alma ve personel eğitimi dahil	8.400
Nakliye	
Vinç kirası dahil lojistik maliyetler	15.600
Diğer	
Öngörülemeyen maliyetler	60.000
Toplam	1.161.000

4.2. Yatırımın Geri Dönüş Süresi

Yatırımın geri dönüş süresi hesaplanırken sabit yatırıma ek olarak yıllık gider ve gelirler dikkate alınmıştır. Giderler “2.6 Girdi Piyasası” ve gelirler “2.7 Pazar ve Satış Analizi” bölümlerinde incelenmiştir.

Tablo 19: Tesis Maliyet ve Gelir Kalemleri

Gelir Kalemi	Miktar (ton)	Birim Fiyat (ABD Doları)	Yıllık Gelir (ABD Doları)
Atık Bertaraf Bedeli	10.000	24	240.000
Yakıt Satış Bedeli	9.000	36	324.000
Toplam			564.000
İlk Yatırım Maliyeti	1.161.000 ABD Doları		
Yıllık İşletme Maliyeti	310.226 ABD Doları		
Yıllık Net Gelir	253.774 ABD Doları		
Geri Ödeme Süresi	4,6 yıl		

Yukarıda Tablo 19’da verilen değerlendirmeler ışığında özet olarak ilk yatırım maliyeti 1.161.000 ABD Doları, yıllık işletme maliyeti ise 310.226 ABD Doları olarak hesaplanmıştır. Tesisin yıllık geliri ise 564.000 ABD Doları seviyelerinde olacaktır. Bu hesaplamalar doğrultusunda tesisin yıllık net getirisi 253.774 ABD Doları, geri ödeme süresi ise 4,6 yıl olarak bulunmuştur.

5. ÇEVRESEL VE SOSYAL ETKİ ANALİZİ

5.1. Çevresel Etkiler

Çevre Mevzuatı Açısından Değerlendirme

Çevresel Etki ve Değerlendirme (ÇED) Yönetmeliği EK-1 ve EK-2’de Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi ve Seçme-Elleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi yer almaktadır. Ancak, projeye konu 17 02 03 plastik atık koduna sahip atıkların fiziksel olarak kırılması işlemini gerçekleştirecek olan yakıt üretim tesisi, bahsedilen proje listeleri arasında yer almamaktadır. EK-2 listesinde tehlikeli, tehlikesiz ve/veya özel işleme tabi atıkların fiziksel yöntemlerle geri kazanıldığı tesisler yer almaktadır ancak yine de ömrünü tamamlamış lastiklerin, kabloların kırma ve parçalama işlemleri, tehlikesiz atık niteliğinde olan metal, kağıt, plastik atıkları toplama, ayırma, kesme, parçalama, öğütme ve granül elde etme işlemleri ile solar kurutma işlemleri bu listenin dışında bırakılmıştır.

ÇED Yönetmeliği kapsamı dışında yer alan projeler ile ilgili olarak ÇED muafiyetine ilişkin başvurular ilgili Valiliklere (Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü) yapılmaktadır. Öte yandan, tesisler, Çevre Mevzuatı kapsamında yer alan diğer yönetmeliklere tabidir.

Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında Çevre İznine veya Çevre İzin ve Lisansına tabi işletmeler, çevresel etkilerine göre yönetmeliğin EK-1 (Çevreye kirlетici etkisi yüksek düzeyde olan işletmeler) ve EK-2 (Çevreye kirlетici etkisi olan işletmeler) listelerinde sınıflandırılmıştır. EK-1 ve EK-2 listelerinde yer alan işletmeler, faaliyette bulunabilmeleri için, öncelikle Geçici Faaliyet Belgesi almak zorundadır. Geçici Faaliyet Belgesi alan işletmeler belge tarihinden itibaren 1 yıl içerisinde Çevre İzni veya Çevre İzin ve Lisans Belgesi almak zorundadır. EK-2’de “8.2 Ambalaj atıkları

dışındaki, tehlikesiz atık niteliğinde olan plastik türevli ve/veya tekstil türevli atıkların geri kazanıldığı tesisler” yer almaktadır ve projede söz konusu olan atık tehlikesiz atık sınıfına girmektedir.

Aynı yönetmeliğin EK-3B’sinde geçici faaliyet belgesi için istenilen başvuru belgeleri bulunmaktadır. Bu belgeler ortak belgeler ve özel belgeleri (geri kazanım ve ATY hazırlama için) kapsayacak şekilde aşağıda verilmektedir ve bu maddeler için özel koşullar ilgili yönetmelikte yer almaktadır.

1- ÇED “Olumlu” ya da “Gerekli Değildir.” kararı (ÇED’e tabi tesisler için) veya ÇED’e tabi olmayan tesisler için kapsam dışı olduğunu gösterir yazı

2- Sicil Gazetesi

3- Kapasite Raporu, kapasite raporu yerine geçebilecek yetkili makamlardan alınmış diğer belgeler veya kapasite raporundan muaf olduğuna dair yetkili makamlardan alınmış belge

4- İş Akım Şeması ve Proses Özeti (Hammadde kabulünden başlayarak her bir üniteye uygulanacak işlemlerin ayrıntılı açıklaması, gerekli şema, vaziyet planı, formül ve şekiller, atık kodları, emisyon kaynakları)

5- İl Müdürlüğü Uygunluk Yazısı

6- Sanayi Sicil Belgesi

7- Tehlikeli Madde ve Tehlikeli Atık Mali Sorumluluk Sigortası Poliçesi

Çevre izin veya çevre izin ve lisans sürecinin tamamlanması aşamasında ise teknik uygunluk raporu istenmektedir.

Atık Yönetimi Yönetmeliği’nde de “Serbest bölgelerde kurulu bulunanlar da dahil olmak üzere, EK-2/A’da ve EK-2/B’de belirtilen faaliyetleri yapan gerçek ve/veya tüzel kişiler Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği doğrultusunda Bakanlık/İl Müdürlüğü’nden geçici faaliyet belgesi/çevre izin ve lisansı belgesi almakla, tehlikesiz atık toplama-ayırma tesisi için ise İl Müdürlüğü’nden izin almakla yükümlüdürler” ifadesi yer almaktadır. EK-2/B’de yer alan geri kazanım işlemleri aşağıdaki tabloda belirtilmektedir. Buna göre, bu çalışmaya konu tesis, R12 kodunda yer alan işlemleri gerçekleştirecektir.

Tablo 20: Geri Kazanım İşlemleri

R1	Enerji üretimi amacıyla başlıca yakıt olarak veya başka şekillerde kullanma
R2	Solvent (çözücü) ıslahı/yeniden üretimi
R3	Solvent olarak kullanılmayan organik maddelerin ıslahı/geri dönüşümü (kompost ve diğer biyolojik dönüşüm prosesleri dahil)
R4	Metallerin ve metal bileşiklerinin ıslahı/geri dönüşümü
R5	Diğer inorganik malzemelerin ıslahı/geri dönüşümü
R6	Asitlerin veya bazların yeniden üretimi
R7	Kirliliğin azaltılması için kullanılan parçaların (bileşenlerin) geri kazanımı

R8	Katalizör parçalarının (bileşenlerinin) geri kazanımı
R9	Yağların yeniden rafine edilmesi veya diğer yeniden kullanımları
R10	Ekolojik iyileştirme veya tarımcılık yararına sonuç verecek arazi ıslahı
R11	R1 ila R10 arasındaki işlemlerden elde edilecek atıkların kullanımı
R12	Atıkların R1 ila R11 arasındaki işlemlerden herhangi birine tabi tutulmak üzere değişimi ⁽¹⁾
R13	R1 ila R12 arasında belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutuluncaya kadar atıkların ara depolanması (atığın üretildiği alan içinde geçici depolama, toplama hariç)

(1) R12: Uygun bir R kodu yoksa R1'den R11'e kadar numaralandırılmış işlemler öncesinde yapılacak söküm, tasnif etme, kırma, sıkıştırma, peletleme, kurutma, parçalama, şartlandırma, yeniden ambalajlama, ayırma, harmanlama ya da karıştırma gibi ön işlem faaliyetlerini kapsayan işlemleri içerebilir.

Kaynak: Atık Yönetimi Yönetmeliği (Resmi Gazete Tarihi: 02.04.2015 Sayısı: 29314)

Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği'nde (Resmi Gazete Tarihi: 20.06.2014, Sayı: 29036), atıkların alternatif hammadde olarak kullanılması, atıktan türetilmiş yakıt hazırlanması ve bu hazırlama tesislerinde bulunması gereken şartlar ile atıktan türetilmiş yakıt kullanımı ve beraber yakma tesislerinde ek yakıt olarak kullanılacak atıklara ilişkin esaslar belirlenmiştir. Ayrıca, Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik'e göre çimento tesisleri gibi atıkları ek yakıt olarak kullanacak olan beraber yakma tesislerinin atığın çimento fırınına doğrudan beslenmesi öncesi bir ön parçalama ve karıştırma işlemiyle daha homojen bir yapıya kavuşturması gerekmektedir. ATY bu işlemlerden elde edilen alternatif yakıt türüdür. Atıkların çimento fabrikalarında değerlendirilmesi ile atıkların depolama sahalarında birikmesi yerine daha faydalı şekilde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. ATY sayesinde birincil yakıt olarak doğal kaynaklar ve madenler kullanılmamış olmaktadır ve fosil yakıt yerine ikame edilmesiyle sera gazı emisyonlarında azalma gerçekleşmektedir. Çimento fabrikaları için ek yakıtın homojen ve sürekli olarak sağlanması gerektiğinden ATY tesisleri önemli bir rol oynamaktadır.

Atıkların ATY tesislerine hazırlanarak çimento endüstrisinde geri kazanılmasına yönelik yatırımı planlanan tesis "38.32-Tasnif edilmiş materyallerin geri kazanımı" faaliyet alanında yer almaktadır. Bu sınıf kapsamında NACE kodu "38.32.02 - Tasnif edilmiş metal dışı atıklar, hurdalar ve diğer parçaların genellikle mekanik veya kimyasal değişim işlemleri ile geri kazanılması" olarak belirlenmiştir.

Yaklaşık 20 senelik kullanım ömrünü dolduran veya doğa olayları sebebiyle hasara uğrayarak işlevini kaybeden rüzgâr türbini kanatları atık depolama sahalarında depolanmaktadır. Yatırım sonucunda kurulacak tesiste, rüzgâr türbinlerinin ve kompozit malzemelerin kullanım ömrü dolduğunda atık depolama sahalarında depolamak yerine fiziksel geri dönüşüm işlemlerine tabi tutularak geri kazanılması planlanmaktadır. Atık plastikler 3915 GTİP başlığı altında yer almaktadır. Ancak, rüzgâr kanat atıklarının dahil olduğu 17 02 03 atık kodu tehlikesiz atık olan plastik atıkları içermektedir ve 2021 yılı düzenlemesiyle Çevrenin Korunması Yönünden Kontrol Altında Tutulan Atıkların İthalat Denetimi Tebliği EK-2/A'ya göre ithali yasak atıklardandır.

Çevre Üzerindeki Etkilerin Değerlendirilmesi

Rüzgâr türbin sektöründe geri dönüşüm gerçekleştirilebilmesinin çevre üzerindeki parasallaştırılamayan etkilerine bu bölümde yer verilmektedir.

Rüzgâr enerjisi sektörü büyüdükçe kullanım ömrünü dolduran rüzgâr türbini kanadı sayısı artmakta ve atık depolama sahası kapasitesi ve çevresel etki sorunları ortaya çıkmaktadır. Rüzgâr kanadındaki inorganik bir bileşen olan cam elyafı, biyobozunur olmadığı için doğada kolaylıkla yok olmamaktadır. Bu nedenle, çöp sahasında depolanan inorganik bileşenli türbin kanadı atıkları kapasite sorunlarına neden olmaktadır. Reçine ise, bir organik madde olarak atık sahalarında mikroorganizmalar tarafından parçalanır ve gaz ve sızıntı suyu emisyonlarına yol açabilmektedir (Fox, 2016) (El-Fadel, Findikakis, & Leckie, 1997). Bu nedenlerle, ömrünü dolduran rüzgâr türbinlerini çöp sahasında depolamak yerine alternatif çözümler uygulanmalıdır.

Rüzgâr türbini geri dönüşümü ile malzeme döngüsünün kapatılması; doğal kaynakların kullanımı, emisyonlar ve enerji kullanımı üzerinde olumlu bir etki göstermektedir. Malzeme döngüsünün kapatılması, sıfırdan üretilen malzeme ile üretilen rüzgâr türbini kanatlarının geri dönüşümle başka bir ürünün hammaddesine dönüştürülmesi olarak açıklanabilir. İşlenmiş ve geri dönüştürülecek malzemeler için enerji gereksinimleri genel olarak işlenmemiş malzemelere göre daha düşüktür. Fakat bununla birlikte, kanat gibi bazı malzemelerin veya yapıların geri dönüşümden sonra kalite kaybı olabilmektedir (Jensen, 2019). Rüzgâr enerjisi kullanımının çevreye olan etkisinin yaklaşık %70'i türbinlerin üretiminde kullanılan malzemelerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hizmet ömrü sonunda optimum geri dönüşümün sağlanması ekonomik ve çevresel açıdan önem taşımaktadır.

Bir çalışmaya göre, 60 MW'lık bir rüzgâr santrali malzemelerinin enerji kaynağı olarak geri dönüştürülmesi sayesinde, Danimarka'da bir yılda yaklaşık 14.400 kişinin enerji tüketimine eşdeğer olan yaklaşık 81 TJ seviyesinde enerji üretmek mümkündür (kişi başı 1.568 kWh-1). Ayrıca, yaklaşık olarak 7.351 ton CO₂ emisyonunun engellenebileceğini göstermektedir ki bu da yaklaşık 52,5 milyon km otomobil sürüşüne eşittir (ortalama 0,17 kg CO₂/km) (Jensen, 2019).

Hizmet ömrü sonunda rüzgâr türbinlerinin geri dönüşümü, önemli çevresel faydaların yanı sıra doğal kaynak kullanımını azaltarak kaynakların gelecekte kullanımını güvence altına almaktadır. Çelik, bakır, nadir toprak mınatısları ve cam elyafı gibi kritik malzemelerin geri dönüşümü, yeniden kullanılması ve yeniden işlenmesi, toplam küresel kaynak tüketimini azaltacaktır ve arz kıtlığı gibi beklenmedik piyasa değişikliklerini giderecektir (Ortegon, Nies, & Sutherland, 2013). Devam eden Ar-Ge faaliyetleri göstermektedir ki türbin kanatlarından geri kazanılan cam elyaf ve reçine materyalinin, elektronik ve otomotiv endüstrisinde kullanılan sac ve kütle kaplama bileşenleri (SMC ve BMC) olarak değerlendirilmesi mümkündür (Dr Witten, Mathes, & Kühnel, 2018). Bahsi geçen bu kompozit malzemelerin mobilya endüstrisinde, atık cam elyafın ise yalıtım malzemesi olarak değerlendirilme potansiyeli mevcuttur (European Environmental Bureau - EEB, 2017). Ayrıca, türbin kanadından elde edilen geri dönüşüm ürünlerinin çimentoda hammadde kaynağı olarak kullanılabildiği bilinmektedir (WindEurope; Cefic; EuCIA, 2020).

Türbin kanatlarından geri dönüştürülen malzemenin çimento hammaddesi olarak kullanılması sonucunda kireçtaşı agregası yerine kompozit agrega kullanılması ile, üretilen bir ton kompozit agrega başına 0,13 ton kalker agregasından tasarruf sağlanır. Böylece üretilen kompozit agrega tonu başına CO₂ emisyonlarında 1,81 kg ile 3,07 kg arasında azalma elde edilir (Fox, 2016).

Çimento tesislerinin çevresel etkilerine bakıldığında, çimentonun üretim sürecinde, sera gazı emisyonlarıyla beraber döner fırınlarında toz ve gaz emisyonları oluşmaktadır. Tesisler, ilgili yönetmelikler kapsamında belirlenen periyotlarda toz ve gaz emisyonları ölçerek, yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında kalarak yasal mevzuata uyum sağlamakla yükümlüdür. Halihazırda, hava kirliliği kontrolü kapsamında; çimento tesisleri çevre mevzuatından kaynaklanan yasal yükümlülüklerin sağlandığına dair akredite kuruluşlara periyodik teyit ölçümleri yaptırmakta ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na raporlamaktadır. Genel olarak atıkların yakıt olarak kullanılmasıyla, birincil yakıt olarak doğal kaynaklar ve madenler kullanılmamış olmakta; fosil yakıt yerine ikame edilmesiyle sera gazı emisyonlarında azalma gerçekleşmektedir.

Düzenli depolama sahaları çok çeşitli çevre ve insan sağlığı sorunlarına neden olabilmektedir, bu nedenle yalnızca atık malzemeler yeniden kullanılamıyorsa, geri dönüştürülemediyse veya geri kazanılamıyorsa başvurulmalıdır. Düzenli depolama sahalarında depolanan toksik ve/veya çürüyen organik maddelerin kombinasyonu, toprak kalitesine zarar verebilmekte, toprak verimliliğini ve aktivitesini bozabilmekte ve bitki yaşamını etkileyebilmektedir. Düzenli depolama sahalarında biriktirilen atık malzemelerin çoğunun ayrışması çok uzun yıllar aldığından, etkili uzun vadeli stratejilere ve tesislere ihtiyaç vardır. Bu genellikle yüksek maliyetli bir yatırım gerektirir. Ek olarak, geri dönüştürülebilir atıklar depolandığı için, bu malzemeler kullanılamamakta ve geri dönüştürülüp katma değer yaratılabilecek iken ülke ekonomisine kazandırılmamaktadır (SL Recycling, 2020). Sonuç olarak, kullanım ömrünü dolduran rüzgâr türbini kanatlarının depolama sahasında depolanması yerine geri dönüştürülmesi, yukarıda bahsedilen olumsuzlukların önlenmesini sağlamaktadır.

Düzenli depolama alanlarına ilişkin düzenlemeler daha katı hale geldikçe, Almanya gibi bazı gelişmiş ülkeler katı atıklara bir depolama yasağı getirmiş ve rüzgâr türbini kanatları için alternatif bir atık yönetimi yöntemi bulunmasına neden olmuştur. Almanya'da yürürlükte bulunan benzer düzenlemelerin ABD'de ve tüm dünyada kabul görmesi beklenmektedir. Avrupa mevzuatı, sürdürülebilirlik, atık oluşumunu önleme ve yaşam döngüsü kavramını uygulayarak doğal kaynakların verimli kullanımının artırılması üzerine odaklanmıştır. Ayrıca, mevcut mevzuat, bir geri dönüşüm ekonomisi sağlamak için yeniden kullanımı ve geri dönüşümü teşvik etmektedir (Cherrington, ve diğerleri, 2012). Rüzgâr türbini malzeme döngüsü tamamlanarak, bu mevzuata uyulması da sağlanacaktır. Bunların yanında, sürdürülebilir bir üretici olmak, yalnızca üretim sürecini ve ürünü değil, aynı zamanda ürünün yaşam döngüsü boyunca faaliyetlerini de dikkate almaya kadar uzanmaktadır (World Wind Energy Association, 2015). Çeşitli araştırmalar, çevre dostu ürünler ve operasyonlar hedefleyen şirketlerin rekabet avantajı sağlayacağını ve daha düşük atık maliyetleriyle karşılaşacağını göstermektedir (IEA , 2015) (U.S. Department of Energy, 2015).

5.2. Sosyal Etkiler

Toksik maddeler ve çürüyen organik maddelerin karışımı, bir depolama sahasını çevreleyen alanların toprak kalitesini , dolayısı ile çevre sakinlerinin tükettiği su ve besin kalitesini etkileyerek çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Ayrıca, yerel bitki örtüsü büyümeyi durdurup kalıcı olarak değiştiği için biyolojik çeşitlilik azalabilmekte ve bu bölge tarım arazisi statüsünü kaybedebilmektedir. Bu durum, çevre sakinlerinin besin tüketim çeşitliliğini ve tarımdan elde ettiği geliri azaltma riski taşımaktadır. Türbin kanadındaki cam elyaf inert atık sınıfına girmesine rağmen uzun vadede toprak kalitesini etkileyebilmektedir. Bunlara ek olarak, düzenli depolama alanları arazi değeri, arazi bozulması ve arazi kullanılabilirliği üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Çeşitli araştırmalar, atık depolama alanlarının mesafeye bağlı olarak konut değerleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceği sonucuna varmıştır (Ready, 2010).

İzmir Bölge Planı'na göre, İzmir'de katı atık hizmeti verilen nüfus oranı, Türkiye ortalamasının üzerindedir ve bertaraf edilen atık miktarı yılda ortalama %10 oranında artış göstermektedir. Bu çerçevede, katı atık bertarafı konusunda kapasite yetersizlikleri söz konusudur. Ayrıca, İzmir'de 1.648 hektar tarım arazisi tarım dışında kullanılmaktadır ve birçok ilçede temel sektör durumunda olan tarımın zayıflamasında bu sorun önemli rol oynamaktadır. Bu plandaki hedeflerden biri de katı atık geri kazanım kapasitelerinin artırılması, hizmet ve altyapı geliştirilmesidir (İZKA, 2014). Kurulan tesis türbin kanatlarının sahalarda depolanmasının önüne geçerek kullanılan depolama alanlarının tekrar kazanılmasını sağlayacaktır.

Kadın, genç, yaşlı ve çocuklar toplumda sosyal ve ekonomik açıdan dezavantajlı olup, hizmet ve altyapı değişikliklerinden en çok etkilenecek gruplardır. On Birinci Kalkınma Planı'na (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019) göre, "Yaşanabilir Şehirler ve Sürdürülebilir Çevre" ilkesiyle çevrenin korunması, şehirler ve kırsal alanlarda yaşam kalitesinin iyileştirilmesi ile

özellikle kırılgan gruplara fayda sağlanacaktır. “Yaşanabilir Şehirler ve Sürdürülebilir Çevre” ilkesi kapsamında, sürdürülebilir çevre için kentsel altyapı düzenlemeleri yapılarak bölge sakinlerinin refahının artırılması hedeflenmektedir. Sürdürülebilir çevre için kentsel altyapı düzenlemelerinde, katı atık yönetimi yöntemleri etkinleştirilerek atık azaltma, kaynakta ayrıştırma, toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf sahaları teknik ve ekonomik yönden geliştirilecek ve geri dönüştürülen malzemelerin üretimde kullanılması özendirilecektir. Kurulacak tesis bu hedefe ulaşılmasına katkıda bulunarak bölgenin ekonomik, çevresel ve sosyal yapısını iyileştirecek ve dezavantajlı gruplara daha iyi sosyal ve ekonomik yaşantı sağlayacaktır.

İstihdam, ekonomik ve sosyal yaşamın en önemli belirleyicilerinden biri olarak sosyal etki değerlendirilmesinde önemli bir yere sahiptir. İzmir Bölge Planı'na göre İzmir'in istihdam oranı Türkiye geneliyle aynı olmasına rağmen işsizlik oranı ülke genelinin üzerinde seyretmektedir. Bu durumun nedeni İzmir'deki işgücüne katılımının Türkiye'ye göre daha yüksek olmasıdır. İstihdamda önemli düzeyde artış olmasına karşın bu artış işgücüne katılım oranındaki artışı yeterince güçlü şekilde karşılayamamıştır (İZKA, 2014). Bu nedenle bölgede istihdam ihtiyacı doğmaktadır. Depolama sahalarının tarıma geri kazanımıyla doğacak yeni istihdamın dışında, kurulacak yeni tesis sayesinde bu ihtiyacın karşılanmasına küçük bir miktarda da olsa katkıda bulunulacaktır.

Ek-1: Fizibilite Çalışması için Gerekli Olabilecek Analizler

Yatırımcı tarafından hazırlanacak detaylı fizibilitede, aşağıda yer alan analizlerin asgari düzeyde yapılması ve makine-teçhizat listesinin hazırlanması önerilmektedir.

- **Ekonomik Kapasite Kullanım Oranı (KKO)**

Sektörün mevcut durumu ile önümüzdeki dönem için sektörde beklenen gelişmeler, firmanın rekabet gücü, sektördeki deneyimi, faaliyete geçtikten sonra hedeflediği üretim-satış rakamları dikkate alınarak hesaplanan ekonomik kapasite kullanım oranları tahmini tesis işletmeye geçtikten sonraki beş yıl için yapılabilir.

Ekonomik KKO= Öngörülen Yıllık Üretim Miktarı /Teknik Kapasite

- **Üretim Akım Şeması**

Fizibilite konusu ürünün bir birim üretilmesi için gereken hammadde, yardımcı madde miktarları ile üretimle ilgili diğer prosesleri içeren akım şeması hazırlanacaktır.

- **İş Akış Şeması**

Fizibilite kapsamında kurulacak tesisin birimlerinde gerçekleştirilecek faaliyetleri tanımlayan iş akış şeması hazırlanabilir.

- **Toplam Yatırım Tutarı**

Yatırım tutarını oluşturan harcama kalemleri yıllara sari olarak tablo formatında hazırlanabilir.

- **Tesis İşletme Gelir-Gider Hesabı**

Tesis işletmeye geçtikten sonra tam kapasitede oluşturması öngörülen yıllık gelir gider hesabına yönelik tablolar hazırlanabilir.

- **İşletme Sermayesi**

İşletmelerin günlük işletme faaliyetlerini yürütebilmeleri bakımından gerekli olan nakit ve benzeri varlıklar ile bir yıl içinde nakde dönüşebilecek varlıklara dair tahmini tutarlar tablo formunda gösterilebilir.

- **Finansman Kaynakları**

Yatırım için gerekli olan finansal kaynaklar; kısa vadeli yabancı kaynaklar, uzun vadeli yabancı kaynaklar ve öz kaynakların toplamından oluşmaktadır. Söz konusu finansal kaynaklara ilişkin koşullar ve maliyetler belirtilebilir.

- **Yatırımın Kârlılığı**

Yatırımı değerlendirmede en önemli yöntemlerden olan yatırımın kârlılığının ölçümü aşağıdaki formül ile gerçekleştirilebilir.

Yatırımın Kârlılığı= Net Kâr / Toplam Yatırım Tutarı

- Nakit Akım Tablosu

Yıllar itibariyle yatırımda oluşması öngörülen nakit akışını gözlemlemek amacıyla tablo hazırlanabilir.

- Geri Ödeme Dönemi Yöntemi

Geri Ödeme Dönemi Yöntemi kullanılarak hangi dönem yatırımın amorti edildiği hesaplanabilir.

- Net Bugünkü Değer Analizi

Projenin uygulanabilir olması için, yıllar itibariyle nakit akışlarının belirli bir indirgeme oranı ile bugünkü değerinin bulunarak, bulunan tutardan yatırım giderinin çıkarılmasıyla oluşan rakamın sıfıra eşit veya büyük olması gerekmektedir. Analiz yapılırken kullanılacak formül aşağıda yer almaktadır.

$$NBD = \sum (NA_t / (1-k)^t) \quad t=0$$

NA_t : t. Dönemdeki Nakit Akışı

k: Faiz Oranı

n: Yatırımın Kapsadığı Dönem Sayısı

- Cari Oran

Cari Oran, yatırımın kısa vadeli borç ödeyebilme gücünü ölçer. Cari oranın 1,5-2 civarında olması yeterli kabul edilmektedir. Formülü aşağıda yer almaktadır.

$$\text{Cari Oran} = \text{Dönen Varlıklar} / \text{Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar}$$

Likidite Oranı, yatırımın bir yıl içinde stoklarını satamaması durumunda bir yıl içinde nakde dönüşebilecek diğer varlıklarıyla kısa vadeli borçlarını karşılayabilme gücünü gösterir. Likidite Oranının 1 olması yeterli kabul edilmektedir. Formülü aşağıda yer almaktadır.

$$\text{Likidite Oranı} = (\text{Dönen Varlıklar} - \text{Stoklar}) / \text{Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar}$$

Söz konusu iki oran, yukarıdaki formüller kullanılmak suretiyle bu bölümde hesaplanabilir.

- Başabaş Noktası

Başabaş noktası, bir firmanın hiçbir kar elde etmeden, zararlarını karşılayabildiği noktayı/seviyeyi belirtir. Diğer bir açıdan ise bir firmanın, giderlerini karşılayabildiği nokta da denilebilir. Başabaş noktası birim fiyat, birim değişken gider ve sabit giderler ile hesaplanır. Ayrıca sadece sabit giderler ve katkı payı ile de hesaplanabilir.

$$\text{Başabaş Noktası} = \text{Sabit Giderler} / (\text{Birim Fiyat} - \text{Birim Değişken Gider})$$

Ek-2: Yerli/İthal Makine-Teçhizat Listesi

İthal Makine / Teçhizat Adı	Miktarı	Birimi (Adet, kg, m ³ vb.)	F.O.B. Birim Fiyatı (dolar)	Birim Maliyeti (KDV Hariç, TL)	Toplam Maliyet (KDV Hariç, TL)	İlgili Olduğu Faaliyet Adı

Yerli Makine / Teçhizat Adı	Miktarı	Birimi (Adet, kg, m ³ vb.)	Birim Maliyeti (KDV Hariç, TL)	Toplam Maliyeti (KDV Hariç, TL)	İlgili Olduğu Faaliyet Adı

KAYNAKÇA

Cherrington, R., Goodship, V., Meredith, J., Wood, B., Coles, S., Vuillaume, A., . . . Kirwan, K. (2012). Producer Responsibility: Defining the Incentive for Recycling Composite Wind Turbine Blades in Europe. *Energy Policy*, 47(13-2).

Dr Witten, E., Mathes, V. S., & Kühnel, M. (2018). *Composites Market Report 2018:Market Developments, Trends, Outlooks and Challenges*. Frankfurt: AVK & Carbon Composites. https://eucia.eu/userfiles/files/20181115_avk_ccev_market_report_2018_final.pdf adresinden alındı

Eilers, H. (2020). *Wind turbine wing gets new life at the Port of Aalborg*. . Energy Supply DK. : <https://www.energy-supply.dk/article/view/699757/> adresinden alındı

El-Fadel, M., Findikakis, A. N., & Leckie, J. O. (1997). Environmental impacts of solid waste landfilling. *Journal of Environmental Management*, 50.1, 1- 25.

EPD Turkey. (2018). *EPD Çevresel Ürün Beyanları*.

European Environmental Bureau - EEB. (2017). *Circular Economy Opportunities in The Furniture Sector*. Brussels.

Fox, T. R. (2016). *Recycling wind turbine blade composite material as aggregate in concrete*. Iowa: Iowa State University.

FutureBridge. (2020, Eylül 25). *The Future of Wind Blade Recycling: Driving Circularity to Composites Industry*. <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-energy/the-future-of-wind-blade-recycling-driving-circularity-to-composites-industry/> adresinden alındı

GFS. (tarih yok). *Fiberglass Recycling: Global Fiberglass Solutions*. <https://www.globalfiberglassinc.com/> adresinden alındı

Gignac, J. (2021). *Wind Turbine Blades Don't Have To End Up In Landfills*. (U. o. Scientists, Dü.) <https://blog.ucsusa.org/james-gignac/wind-turbine-blades-recycling> adresinden alındı

Global Wind Energy Council (GWEC) . (2021). *Global Wind Report 2021*. <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> adresinden alındı

IEA . (2015). *Technology Roadmap Wind Energy*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264238831-en> adresinden alındı

IRENA. (2021). *Renewable Capacity Statistics*. Abu Dhabi : International Renewable Energy Agency.

İZKA. (2014). *İzmir Bölge Planı 2014-2023*.

İZKA. (2020). *İzmir'de Kaynak Kullanımı ve Atık Üretiminde Öne Çıkan Sektörler Analizi*. İzmir: İzmir Kalkınma Ajansı.

İZKA. (2021). *2021 Yılı Çalışma Programı*. Temiz Enerji ve Temiz Teknolojiler Sonuç Odaklı Programı. İzmir Kalkınma Ajansı. <https://izka.org.tr/yesil-buyume/> adresinden alındı

Jensen, J. P. (2019). Evaluating the environmental impacts of recycling wind turbines. *Wind Energy*, 22(2), 316–326.

Karidis, A. (2021). *Veolia and GE Renewable Energy Recycle Wind Turbine Blades for Cement Industry Applications* . <https://www.waste360.com/energy/veolia-and-ge-renewable-energy-recycle-wind-turbine-blades-cement-industry-applications> adresinden alındı

Kılıç, N. (2017). *Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atığı*.

Kimya Sanayii Çalışma Grubu. (2018). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*. Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı.

Kompozit Sanayicileri Derneği. (2018). Türkiye Kompozit İhracatı. *Composites Turkey*(19), 30. www.kompozit.org.tr adresinden alındı

Kompozit Sanayicileri Derneği. (2019, Mart). Turkish Composites Industry. *Composites Turkey* (21), 32. www.kompozit.org.tr adresinden alındı

Kompozit Sanayicileri Derneği. (2019, Aralık). Türkiye CTP Boru, Tank Ve Altyapı Sektörü. *Composites Turkey* (24), 30.

Kompozit Sanayicileri Derneği. (2020). *2020 Faaliyet Raporu*. Türkiye'de Kompozit Sektörü.

Kompozit Sanayicileri Derneği. (2020, Eylül). Savunma, Havacılık Ve Uzay Endüstrilerinde İleri Kompozitler: "Türkiye Analizi". *Composites Turkey*(27), 31. www.kompozit.org.tr adresinden alındı

McEntee, A., & Cappadona, B. (2020, Aralık 10). *United States: Veolia makes cement and gives a second life to GE Renewable Energy's wind turbine blades*. Veolia: <https://www.veolia.com/en/news/united-states-veolia-makes-cement-and-gives-second-life-ge-renewable-energys-wind-turbine> adresinden alındı

Miljoskarm. (2021). *Unique Recycling of Fiberglass*. <https://miljoskarm.dk/en/> adresinden alındı

Ortegon, K., Nies, L. F., & Sutherland, J. W. (2013). Preparing for end of service life of wind turbines. *Journal of Cleaner Production*, 39, 191-199.

Oyak Çimento. (2019). *Atığa Değer Katılmalı*. <http://www.oyakcimento.com/> adresinden alındı

Ready, R. C. (2010). Do Landfills Always Depress Nearby Property Values? . *Journal of Real Estate Research*, 32:3, 321-340.

SL Recycling. (2020, Kasım 30). *What are the Negative Effects of Landfill?* . <https://www.slrecyclingltd.co.uk/what-are-the-negative-effects-of-landfill/#:~:text=Releases%20Methane%20Gas,and%20contributes%20to%20climate%20change> adresinden alındı

Şenel, M. C., & Koç, E. (2015). Dünyada ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 56(663), 46-56.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). *On Birinci Kalkınma Planı 2019-2023*.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi. (2020). *Atık Bertaraf Ve Geri Kazanım Sektörü Yatırım Süreçleri Kılavuzu*. Ankara.

TÜREB. (2021, Mayıs). *Rüzgar Enerji Santrali (RES) Veritabanı*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiNmFmYWY0MTYtNjUyNS00NzQ1LWIwMTMtOTI5ZTNkM2FI>

YWlxliwidCI6ImU5YzY0NjU4LWFkMWQtNDUwOS1hODk0LTE2NWZhYjU2NjEyMyIsImMiOjI9
adresinden alındı

U.S. Department of Energy. (2015). *Enabling Wind Power Nationwide*.

U.S. Department of Energy. (2015). *Wind Vision: A New Era for Wind Power in the United States*. Technical report, Washington, DC.

Vestas. (2020). *Zero-waste turbines by 2040*.
https://www.vestas.com/en/media/blog/sustainability/20200511_zero-waste-turbines#! adresinden
alındı

WindEurope. (2020, Kasım 20). *Decommissioning of Onshore Wind Turbines*.
<https://windeurope.org/intelligence-platform/product/decommissioning-of-onshore-wind-turbines/>
adresinden alındı

WindEurope; Cefic; EuCIA. (2020). *Accelerating Wind Turbine Blade Circularity*. Thematic Reports.
<https://windeurope.org/data-and-analysis/product/accelerating-wind-turbine-blade-circularity/>
adresinden alındı

World Wind Energy Association (WWEA) . (2021). *Worldwide Wind Capacity Reaches 744 Gigawatts – An Unprecedented 93 Gigawatts added in 2020*. <https://wwindea.org/worldwide-wind-capacity-reaches-744-gigawatts/> adresinden alındı

World Wind Energy Association. (2015, Şubat 5). *New Record In Worldwide Wind Installations*.
<https://wwindea.org/new-record-in-worldwide-wind-installations/> adresinden alındı



Megapol Çarşı Kule, Halkapınar Mahallesi, 1203/11. Sk.
No: 5-7, Kat: 19 35170 KONAK / İZMİR / TÜRKİYE
Tel.: 0 (232) 489 81 81 - Faks: 0 (232) 489 85 05

E-Posta: info@izka.org.tr | www.izka.org.tr

Kalkınma Ajansı Yayınları Bedelsizdir, Satılmaz.