

Applicability Of Incineration Technology In Waste Management: Istanbul Case Study

Mehmet Taştan ^{a,1}, Mehmet N. Uğural ^b

^a Istanbul Kültür University, Institute of Graduate Education, Istanbul, Turkey
ORCID ID: 0000-0001-5367-5368

^b Istanbul Kültür University, Faculty of Engineering, Istanbul, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-8037-7603

Abstract

The purpose of this study is to make a technological and financial forecast for the future construction of similar facilities based on feasibility data from the Istanbul Domestic Waste Incineration and Energy Production Facility, which was constructed to minimize environmental damage and give domestic solid wastes economic value, as opposed to storing and disposing of them. The study examined the initial investment and operating costs of the facility, the repayment time and profitability calculations, the financial and economic profitability of the project, and the cost and internal profitability rates for other waste disposal facilities to be established, in addition to comparisons with conventional waste management systems (storage or composting) and incineration techniques. By separating themselves as much as possible from conventional waste management systems, systems employing technological methods will be more realistic and cost-effective, both financially and in terms of the environment. To meet rising energy demands and lessen reliance on foreign sources, investments in sustainable renewable energy systems other than fossil fuels must be increased now. It is crucial to accelerate and support investments in environmentally friendly energy technologies through their development. This is the first study conducted in Turkey on obtaining energy by burning domestic solid waste as opposed to storing it.

Keywords: “Waste management, investment management, project management.”

1. Giriş

Sanayileşme neticesinde elde edilen ilerlemeye bağlı olarak yaşam kalitesi yükselirken, önüne geçilemeyen nüfus artışı da doğal kaynakların tükenmesine ve çevrenin daha büyük bir hızla kirlenmesine neden olmaktadır. Bu süreçte artan şehirleşme, tüketim alışkanlıklarını da değiştirerek üretilen katı atıkların kişi başına düşen miktarının da artmasına neden olmuştur. Katı atık miktarında yaşanan bu artış, evsel ve endüstriyel atıkların bertarafını önemli bir çevresel sorun haline getirmiştir. Bu bağlamda hem katı atıkları ortadan kaldırmak hem bu atıkların yer işgal etmelerini önlemek ve beraberinde enerji elde etmek amacıyla yeni teknolojileri kullanan önemli projelerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Ülkelerin, tabii kaynaklarından sürekli olarak faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri ve ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemleri geliştirmeleri gerekmektedir. Biyokütleden enerji üretimi, her iki sorunun çözümüne katkıda bulunabilecek olması nedeni ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ayrı bir yere sahiptir. Yaşanan bu gelişmeler atık yönetimi ile birlikte tükenmekte olan enerji kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir büyüme için, yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemi gün geçtikçe artırmaktadır. Yeni teknolojiler arama sürecindeki müteşebbisler için ekolojik dengeyi koruyarak katı atıkları hem bertaraf etmek hem de yeni enerji kaynakları oluşturarak çağdaş dünya ile yarışabilecek yatırımlar yapmak artık kaçınılmazdır. Tüm dünyada sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı kapsamında; atıkların çevre ve insan sağlığı açısından bir tehdit olmaktan çıkıp, ekonomi için bir girdiye dönüştürülmesini amaçlayan atık yönetim stratejileri üzerinde çalışılmaktadır. Çevre, geri kazanılabilir atıkların ekonomiye tekrar kazandırılması ile hava, su, toprak ve görüntü kirlilikleri açısından da korunmuş olacaktır [1,2].

Katı atıkların zararlı etkilerini en aza indirmek ve katı atık bertarafı için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir [3,4]. Bu yöntemler içerisinde yer alan entegre katı atık yönetimi; kaynakta atık azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım uygulamaları ile başlayıp oluşan atığın toplanması ve nihai olarak bertaraf edilmesi ile son bulan bir işlemdir [5,6]. Depolama alanları için arazi bulma imkânlarının sınırlı olduğu ülkelerde tercih edilmekte olan bu yöntemin temel faydası, atıkların kütleli ve hacimsel olarak azaltılmasıdır. Artan katı atık miktarı için düzenli depolama sahaları günden güne dolmakta, yeni saha arama çalışmaları ve yeni yer işgalleriyle sonuçlanmaktadır. Düzenli atık depolama tesisleri yerine yapılacak olan katı atık bertaraf

¹ Corresponding Author

E-mail Address: mehmet.tastan@ibb.gov.tr, +90 5326028400

tesisi ile hem kullanılabilir katı atıklar ayrıştırılacak hem de kalan yüksek kalorifik değerli yakıtın (RDF, Refuse Derived Fuel) termal bertarafı ile de enerji üretimi gerçekleştirilecektir [7,8].

Kentsel atık miktarının artması Türkiye’de de en önemli çevresel ve ekonomik sorunlardan biridir [9,10]. Ülkemizdeki evsel atıkların toplanması ve bertarafı belediyelerin sorumluluğundadır [11]. TÜİK 2020 verilerine göre; belediyelerce toplanan kişi başı günlük ortalama atık miktarı 1,13 kg’dır ve günlük toplamda 32,3 milyon ton atık ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de 2752 adet atık bertaraf ve geri kazanım tesisi bulunmaktadır. Bunların 174 tanesi düzenli depolama tesisi, 10 tanesi yakma tesisi ve 2568 tanesi diğer kazanım tesislerinden oluşmaktadır [12].

Avrupa Birliğine uyum süreci çerçevesinde katı atıkların depolanarak bertaraf edilmesi yerine, çevreye verilecek olan zararların minimize edilmesi ve atık bertarafına ekonomik bir anlam kazandırılması maksadıyla yeni yöntemlerin uygulamaya konması gerekmektedir. Bu kapsamda yakma, proliz ve gazifikasyon tekniklerini içeren termal bertaraf yöntemleri, gelişmiş ülkelerde uzunca bir süredir katı atıkların bertarafı amacıyla uygulanmaktadır. Bu yöntemde atıkların hacimce azalması ve atıklardan enerji üretimi beraber gerçekleştiği için popüler bir yöntemdir ve gelişmiş ülkelerde evsel katı atık bertaraf yöntemi olarak 50 yılı aşkın bir süredir yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde 400’e yakın katı atık yakma tesisinde her yıl 59 milyon ton evsel katı atık termal yollarla bertaraf edilmektedir. ABD de ise evsel atıkların yakılarak bertaraf edildiği 87 adet atık yakma tesisi bulunmaktadır [13].

Bu çalışma ile; Türkiye’de bir ilk olan ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan “Evsel Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi” incelenmiş, projenin mali ve ekonomik analizinden hareketle depolama ve yakma yöntemlerinin sayısal olarak karşılaştırması yapılarak ileriye dönük benzer tesislerin yapılmasına yönelik teknolojik ve finansal bir öngöründe bulunulmaya çalışılmıştır.

2. Literatür Taraması

Tüm dünyada nüfus ve kentleşmenin artması ve gelişen teknoloji ile beraber üretilen atık miktarı da artmaktadır. Katı atıkların bertarafı, büyük oranda düzenli depolama yöntemiyle sağlanmaktadır [14].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) katı atık bertaraf yöntemlerinin toplamayı optimize etmesi, gereksinime yanıt vermesi, çevreyi yaşanılabilir kılarak geri kazanımın sağlanmasının amaçlanması gerektiğini ifade etmektedir [15,16]. Bu çerçevede Atık ve Atık Yönetimine ilişkin kavramlar açıklanmıştır.

2.1. Atık Yönetiminde Genel Yaklaşım

Resmi anlamda atık ilk olarak 2872 numaralı Çevre Kanunu’ndaki ifadesiyle "Herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeler" olarak tanımlanmıştır [17]. Daha sonra bu tanım 2015 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca yayınlanan Atık Yönetimi Yönetmeliğince “Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal olarak” detaylandırılmıştır [18].

Atıklar; belediye atıkları, ambalaj atıkları, tıbbi atıklar, tehlikeli atıklar, hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları, atık pil ve akümülatörler, atık motor yağları, atık sanayi yağları, bitkisel atık yağlar, ömrünü tamamlamış lastikler, atık elektrikli ve elektronik eşyalar ve ömrünü tamamlamış araçlar olarak sınıflandırılmaktadır [19].

Katı atıkların son 20–30 yılda içeriğinin farklılaşmasıyla, sınıflandırılması da değişmiştir. Örneğin; evsel katı atık içeriğindeki kömür külü yerine, plastik atık çoğalmıştır. Katı atıkların içeriği, toplumun ekonomik ve kültürel düzeyine ve mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; yaz aylarında katı atıklar içerisindeki meyve ve sebze atıkları daha çok yer almaktadır [20].

Evsel katı atıkların %65’ini organik atıklar, kalan kısmını ise kâğıt, karton, tekstil, plastik, deri, metal, ağaç, cam ve kül gibi maddeler oluşturmaktadır [21]. Bu çalışmada evsel katı atıklar üzerine odaklanılmıştır.

2.2. Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi

Sürdürülebilir atık yönetimi; atık önleme, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanıma odaklanmayı, atık hiyerarşisini yukarı taşımayı gerektirmektedir. Bu kapsamda; sürdürülebilir bir katı atık yönetimi için atıkların kaynağında en aza indirilmesi, sınıflara ayrılması, toplanması, taşınması, geçici depolanması, geri kazanılması, bertaraf edilmesi, yeniden kullanılması, arıtılması, enerjiye dönüştürülmesi ve nihai depolanması konularında politika ve strateji belirlenmesi ve mevzuat oluşturulması gereklidir.

Bu kapsamda; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca AB müktesebatına uyum çalışmaları çerçevesinde “sürdürülebilir atık yönetim stratejileri” doğrultusunda “Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023” hazırlanmıştır [19].

Eylem planında yer alan yeniden kullanım ve geri dönüşüm, herhangi bir faaliyet sonucunda atıktan yeni ürün elde edilmesinde kullanılan veya üretim sonucu başka maddelere dönüşebilen maddeler için “artık” tanımlaması yapılabilirken; katı atıklardan, geri kazanıldıktan sonra günümüz teknolojisinin tekrar geri kazanmaya müsaade etmediği kalan kısımlar “atık” kapsamına girmektedir [22].

2.3. Katı Atık Yönetiminin Hiyerarşisi ve Termal Bertaraf Yöntemleri

Katı atık yönetimi sistemi, aşağıdaki uygulama metotlarının hepsini veya bir kısmını içermektedir [23].

- Katı atıkların kaynağında en aza indirilmesi,
- Geri kazanım ve yeniden kullanma, kompostlaştırma,
- Enerji kazanımı için yakma ve benzeri termal yöntemler.

Atıkların uygun teknoloji ile bertaraf edilmesi için ilgili yönetmelikler doğrultusunda toplanması ve taşınması gerekir. Merkezi bir katı atık bertaraf tesisinin maliyet unsurları bölge, il ve ilçe düzeyindeki atıkların toplanma, taşıma, bertaraf ve uzaklaştırma durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir [24]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2014 yılı Atık Bertaraf Sistemlerinin karşılaştırması aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo1. Atık Bertaraf Sistemlerinin Karşılaştırılması [25]

	Düzenli Depolama*	Termal Santraller	Biyolojik Sistemler
Maliyet	Düşük	Yüksek	Orta
Hacimsel Azalma	Düşük	Yüksek	Yüksek
Çevresel Riskler	Yüksek	Orta	Düşük
İşletme Hassasiyeti	Kolay	Zor	Zor

*Düzenli depolama tesisleri, toplanan katı atıkların günümüz teknik standartlara göre bertaraf edildiği sahalara verilen isimdir [26]. (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

Atıklara uygulanan termal bertaraf yöntemleri atıkların yüksek sıcaklıkta enerji ve diğer yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Burada temel amaç, atığın hacminin ve miktarının azaltılmasıdır. Bu yöntem sayesinde, katı atıkların depolanması için ihtiyaç duyulan alan azaltılırken atık içerisinde bulunan ve işlem sonucu ortaya çıkan ısı kullanılarak enerji geri kazanımı sağlanmaktadır. Katı atıkların bertarafı amacıyla kullanılmakta olan termal yöntemleri üç ana başlık altında gruplandırmak mümkündür [27].

2.3.1. Doğrudan Yakma

Dünya genelinde, atıktan enerji üretiminin yaklaşık %90'ı yakma işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Ancak yüksek yatırım maliyeti, büyük karbon ayak izi ve CO₂ salınımı, yakma işleminin ayrıca yönetilmesi gereken kül artıkları ve baca gazı arıtımının yüksek işletme maliyeti sebebiyle yakma işlemi tartışılmaktadır [28].

2.3.2. Proliz

Proliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı veya sıvı ürünlere dönüşmesi işlemidir. Organik maddeler tamamen oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (300 – 700 °C) bozunarak sıvı ve gaz hale dönüşür ve elde edilen bu ürünlerden elektrik üretilir. Proliz, hava yokluğunda gerçekleşir ve gazlaştırmadaki gibi hava ile kontrollü bir yanma içermez. Böylece; H₂, CH₄, CO, CO₂ ve diğer yakıt gazları dışında bir emisyon üretilmez [29].

2.3.3. Gazlaştırma (Gazifikasyon)

Gazlaştırma, karbon içeren katı veya sıvı bir malzemenin bir gazlaştırma ajanı ile yanabilir gaz ürünlere termo-kimyasal dönüşümüdür. Gazlaştırma prosesinde, önce biyokütle kurutulurken yani yakıtın nemi buhara dönüştürülerek uzaklaştırılır. Birçok biyokütle kaynağı gazlaştırmaya uygun olmasına rağmen, gazlaştırmaya uygun olması için ideal olarak hammaddenin nem içeriği %5- 35 aralığında olmalıdır. Kuru biyokütle daha sonra 700 °C'nin üzerinde ısıtılarak gazlaştırılır. Yüksek sıcaklık, biyokütlenin kimyasal yapısını değiştirir ve gazlaştırma ajanı, hammaddenin farklı heterojen reaksiyonlarla hızlı bir şekilde gaza dönüşmesini sağlar. Karbonca zengin sentetik gaz içerir; CO₂, CO, H₂, CH₄, H₂O, iz miktarda ağır hidrokarbonlar, gazlaştırma ajanındaki inert gazlar, küçük karbon granülleri, kül ve katran gibi çeşitli kirlilikler içerir [30].

2.3.4. Termal Bertaraf Yöntemlerinin Kullanım Durumu

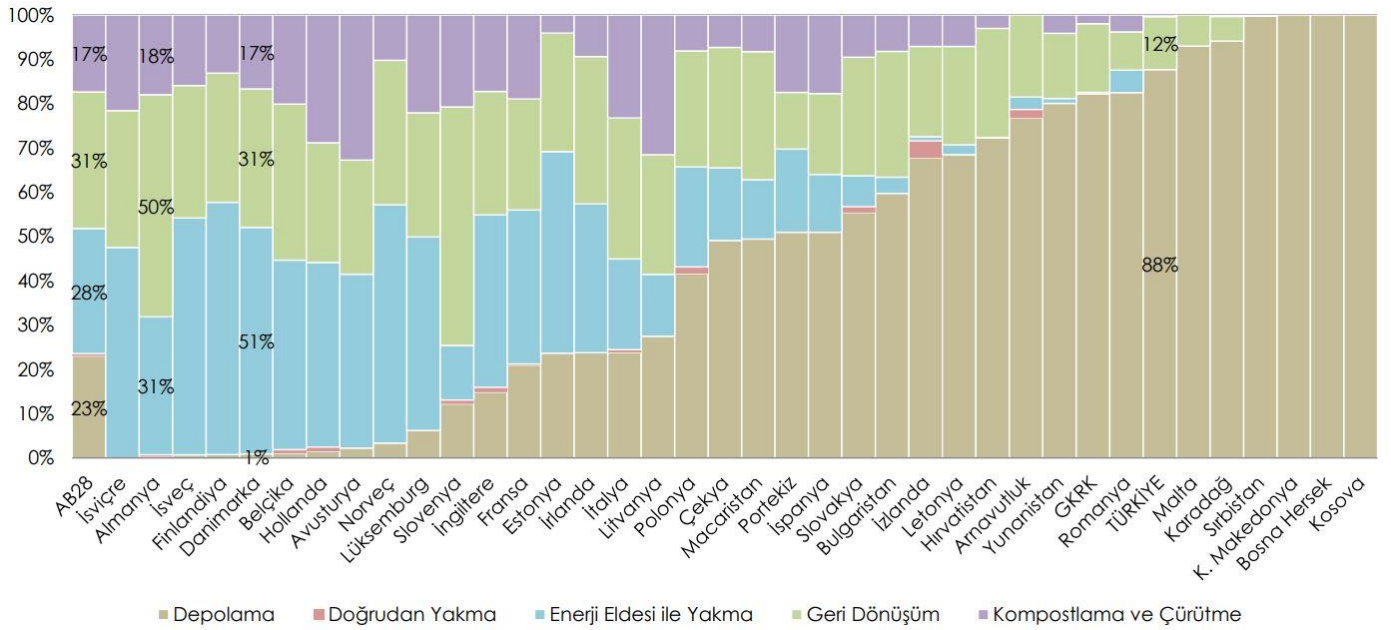
Dünyada yılda yaklaşık 270 milyon ton atık bertaraf kapasitesine sahip yaklaşık 2240 tesis faaliyet göstermektedir. 2023 yılına kadar yıllık yaklaşık 150 milyon ton kapasiteli yaklaşık 500 yeni tesisin daha kurulacağı tahmin edilmektedir [31]. Yaşanabilir alanların sınırlı olması sebebiyle Dünya’da katı atık bertarafında termal yöntemleri en çok kullanan ülke Japonya’dır. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde ise durum biraz daha farklıdır. Katı atık bertarafında mevcut durumda en çok düzenli depolama yöntemi tercih edilse de Atık Yakma Direktifinde (Waste Incineration Directive, 2000/76/EC) belirlenen şartların sağlanması amacıyla depolama dışındaki bertaraf yöntemlerinin kullanımı da her geçen gün artmaktadır [32].

Avrupa’da ortaya çıkan evsel atık; yakma, düzenli depolama, geri kazanım ve kompost gibi yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Avrupa ülkelerinde bertaraf yöntemlerinden geri kazanım-kompost ön plandadır. Türkiye’de 2014 yılında oluşan belediye atığı miktarı 27,1 milyon tondur. Belediye atıklarının, %6’sı geri kazanım ve %64’ü düzenli depolama yöntemleri ile yönetilmekte iken %30’u ise düzensiz döküm yapılarak gelişi güzel alanlara bırakılmaktadır [19].

Türkiye’de geri kazanım-kompost oranı yaklaşık %10 olup, diğer evsel atıkların ise düzenli depolama metodu ile bertaraf edildiği görülmektedir [33].

Aşağıdaki Tablo 2’de 2018 yılı itibariyle Avrupa birliği ülkeleri ve Türkiye’de evsel atıkların hangi yöntemle yönetildiği gösterilmiştir.

Tablo 2. 2018 yılı Avrupa Birliği Ülkeleri ve Türkiye’de Evsel Atıkların Yönetimi[34]



Günümüzde Avrupa Birliği üyesi ülkelerde 400’e yakın katı atık yakma tesisinde her yıl 59 milyon ton evsel katı atık termal yollarla bertaraf edilmektedir. Bu tesislerde yılda 7 milyon evin ihtiyacı olan 23 milyon GW-saat elektrik enerjisi üretilmektedir. Bunun yanında, üretilen 58 milyon GW-saatlik ısı enerjisi ile 13 milyon konutun ısı ihtiyacı karşılanmaktadır. ABD’de ise evsel atıkların yakılarak bertaraf edildiği 87 adet atık yakma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde yılda 30 milyon tona yakın atık bertaraf edilirken 15 milyon GW-saat enerji üretimi gerçekleştirilmektedir [35].

3. Atık Yönetiminde Yakma Teknolojisinin Uygulama Örneği

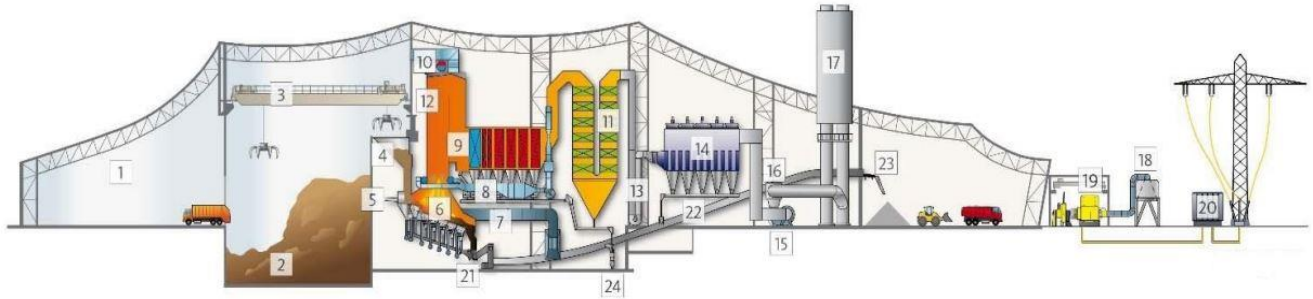
Bu çalışmada kullanılacak veriler termal bertaraf yöntemlerinden biri olan atık yakma ve elektrik üretim projesinden elde edilmiştir. Yakma tesisinde kullanılacak atığın miktarı ve karakteristik özellikleri başta olmak üzere, söz konusu tesisin yapılabilişliğini teknik, mali ve ekonomik açıdan değerlendiren bir çalışmanın sonuçları bu bölümde değerlendirilecektir.

3.1. Hedef, Kapsam ve Projenin Tanıtılması

26 Mart 2010 tarihinde yayımlanan “Atıkların Düzenli Depolanması Yönetmeliği’ne göre düzenli depolama tesislerinde depolanacak biyobozunur atıkların miktarının zaman içerisinde giderek azaltılması hedef olarak belirlenmiştir. Belirtilen hedefin gerçekleştirilebilmesi için İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin büyük miktarda biyobozunur atığı düzenli depolama dışında

bertaraf edecek uygulamalara girmesi gerekmektedir. 2005 yılında İstanbul'da düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilen katı atık miktarı İstanbul Büyükşehir Belediyesi verilerine göre 4.604.000 ton dolayında olmuştur. Düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilmeyen fakat sokak toplayıcıları tarafından toplanan, kompost yapılan, geri dönüştürülen atıklarla birlikte toplam katı atık oluşumunun 5 milyon ton dolaylarında olduğu tahmin edilmektedir. Biyobozunur atıkların düzenli depolama tesisleri dışında bir yöntemle bertaraf edilmesi söz konusu olduğunda ilk akla gelen yöntem kompost üretimidir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi 2001 yılından bu yana kompost üretimi yapmaktadır. Ancak, kompostun İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin ihtiyaçları dışında kullanılmasında ve pazarlanmasında karşılaşılan zorluklar kompost üretiminin sınırlı düzeyde kalmasına yol açmıştır. 2010 yılında 158.198 ton atık işlenerek 19.240 ton kompost üretilmiştir. Bu nedenlerle, bir atık yakma tesisi kurulması düşüncesi biyobozunur atıkların düzenli depolama sahaları dışında bertaraf edilmesi yöntemi seçilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi katı atıkların bertaraf edilmesi ile ilgili olarak AB direktifleri ve mevzuatta belirtilmiş olan ilke ve hedefler çerçevesinde bir "Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi" yapılmasına karar vermiştir. Bu tesiste İstanbul'da toplanan katı atıkların bir kısmı yakılacak ve elde edilen enerji yardımıyla elektrik enerjisi üretilecektir. Üretilen elektrik enerjisi mevcut mevzuat ile belirlenmiş kurallar çerçevesinde serbest piyasada satılarak gelir elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tesiste İstanbul Avrupa yakasında oluşan 12.000 ton/günlük atığın 3000 ton/günlük (saatlik kapasite 125 ton, yıllık kapasite 1.000.000 ton) kısmının yakılarak 78,8 MW enerji üretimi sağlanması hedeflenmiştir. Üretilen enerji 300.000 – 500.000 hanenin enerji ihtiyacına denk gelmektedir. Tesis elektrik üretmek için kesintisiz olarak günde 24 saat çalışacaktır. Tesisin arıza ve yıllık bakımı elektrik üretimine engel teşkil etmeyecek şekilde devam edecektir. Elektrik enerjisi üretmek için çalışma süresi yılda 8000 saat olacak ve bu süre içerisinde yılda 630 milyon KWh elektrik enerjisi üretilecektir. Tesisin kendi ihtiyaçları için yılda 64 milyon KWh elektrik enerjisi kullanacağı hesaplanmaktadır. Dolayısıyla satışa sunulacak elektrik enerjisi miktarı yılda 566 milyon KWh olacaktır. Tesiste yakılacak katı atıklar Silivri, Halkalı, Yenibosna ve Baruthane Aktarma İstasyonlarından sıkıştırılmış semi-treylerle getirilecek ve ön işleme tabi tutulmadan ızgaralı sistemler vasıtasıyla yakılarak elektrik enerjisi elde edilecektir. Proje Sahası'nda atık depolama işlemi yapılmayacaktır. Tesis içerisinde yer alan ileri teknolojik ekipmanlar için yaklaşık 25 yıl garanti süresi öngörülmektedir. Tesis 3 adet birbirinden bağımsız üniteden oluşmaktadır. Her bir ünite ortak bir atık depolama bunkerinden beslenecektir. Her bir ünitenin birbirinden bağımsız atık yakma fırını, buhar kazanı ve baca gazı arıtma sistemi bulunacaktır [36].



Atık Kabul ve Depolama	Yakma ve Kazan	Baca Gazı Arıtma	Enerji Geri Kazanımı	Artık Madde Taşıma ve İşleme
1 Atık boşaltma holü	4 Besleme hunisi	12 SNCR	18 Hava soğutmalı kondenser	21 Cüruf tahliye sistemi
2 Atık bunkerı	5 Besleme pistonu	13 Xerosorp® Reaktörü	19 Türbin	22 Cüruf taşıma
3 Atık vinci	6 HZI ızgara	14 Bez filtre torbası	20 Trafo	23 Cüruf deşarjı
	7 Primer hava sistemi	15 Cebri çekiş fanı		24 Uçucu kül deşarjı
	8 Sekonder hava sistemi	16 Susturucu		
	9 Beş geçişli kazan	17 Baca		
	10 Kazan domu			
	11 Ekonomizer			

Şekil 1. İ.B.B Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisinin Proses Kısımları [37]

Tesise getirilecek olan evsel nitelikli atıklar bir depolama haznesine alınacaktır. Atıklar bir vinç yardımıyla yanma odasına alınarak ızgaralı sistemler vasıtasıyla yakılacaktır. Yanma sonucu oluşan sıcak gazlar atık ısı kazanına gönderilerek buhar üretilmektedir. 70 bar basınç ve 4000 C sıcaklığa ulaşan buhar ise türbine gönderilerek türbin döndürülecek ve böylece jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi tamamlanmış olacaktır. Yanma sonucu oluşacak baca gazı her ünite için ayrı olarak kurulacak olan baca gazı arıtma sisteminde arıtıldıktan sonra atmosfere salınacaktır. Izgaralı yakma sisteminde katı atıkların herhangi bir ön işleme tabi tutulmasına gerek bulunmamaktadır. Bu sistem kalorifik değer ve atık kompozisyonundaki değişimlere karşı dirençlidir ve yakma sürecinde %85'e varan termal verim değerleri elde edilebilmektedir. Depo gazı, sızıntı suyu ve koku gibi problemler minimize edilmektedir. Atık miktarında ağırlıkça %75, hacimce %90 azalma sağlanmakta ve depolama işlemine gerek duyulmayacaktır [36].

3.2. Proje Yer Seçim Süreci

Projenin yeri ile ilgili alternatifler değerlendirilirken çevresel unsur ve hassasiyetler göz önüne alınmış ve sadece ekonomik ve teknik değil, çevresel açıdan da en sürdürülebilir ve tüm taraflarca kabul edilebilir yerin seçilmesi için çaba harcanmıştır. Bu çerçevede tesis için olası yer alternatifleri değerlendirilirken mevzuat hükümleri, belediyenin tercihleri, arazinin mülkiyet durumu, kaynaktan tesise taşıma uzaklığı, üretim atıklarının depolanacağı alana uzaklık, ana ulaşım şebekesine yakınlık, elektrik müşterilerine bağlantı imkânları, ısı enerjisi veya buhar kullanan müşterilere yakınlık ve mevcut altyapı gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Evsel atık yakma tesisi seçme sürecini daha objektif bir hale getirmek, yer seçimi için belirleyici sebeplerin anlaşılabilir olmasını sağlamak ve seçilen sahanın neden seçildiğini kontrol edebilmek amacıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın hazırladığı yer seçimi modeli kullanılmıştır. Modelin ana hedefleri; yakma tesisi sahası için yer seçim sürecini bütünüyle planlamak, karar verme sürecini desteklemek, yer seçimi sürecinde rol oynayan kıstasları netleştirmek ve karar vermeyi daha şeffaf bir hale getirmektir. Tesis için alternatif olarak belirlenen seçeneklerinin çevresel, planlama, siyasal-siyasal kriterler ile finansal ve ekonomik kriterler bakımından incelenerek puanlama yapılmış, puanlama neticesinde Hasdal, Kompost ve Odayeri seçeneklerinin ön plana çıktığı görülmüştür.

Avrupa Yakası'nda kurulabilecek atık yakma tesisi için belirlenen seçenekler incelenerek Hasdal, Kompost ve Odayeri bölgeleri için kül ve atık taşıma maliyetleri mukayese edilmiştir. Hasdal, atık taşıma bakımından en uygun nokta olup kül taşıma maliyetinin mevcut olduğu; Odayeri'nin atık taşıma maliyeti açısından Hasdal'a nazaran daha maliyetli olup kül taşıma maliyeti içermediği; fakat bu bölgede arazi tahsis konusunda sıkıntıların yaşanmasının muhtemel olduğu tespit edilmiştir. Kompost tesisi atık taşıma ve kül taşıma maliyetleri açısından Odayeri ve Hasdal'a göre yüksek maliyet içermektedir. Fakat sosyal direnç bakımından daha az sorunlu olması ve ayrıca katı atık bertarafı ile değerlendirilmeye tahsisli arazinin olması bu alanın avantajları olarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme modeline göre Kompost tesisleri ve Odayerinde kurulacak tesis Hasdal'a göre daha avantajlı görünmektedir. Hasdal ve Odayeri'nde yaşanacak arazi tahsis gücünü sebebiyle Kompost (Biyometanizasyon) tesisi yanında tahsis edilen araziye atık yakma tesisi kurulması bu seçeneği ön plana çıkarmıştır.

İBB Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi proje sahası seçiminde; yerleşim yerlerine yakınlık, yüzeysel su kaynağı, fay hattı, okul, yaban hayatı geliştirme sahası, elektrik iletim hatlarına yakınlık, yol ve sanayi tesisleri gibi faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Yer seçimi için yapılan puanlama ve değerlendirme sonucunda İstanbul'un yaklaşık 20 km kuzey tarafında bulunan Eyüp İlçesi Kısırmandıra mevkiinde bulunan Kompost (Biyometanizasyon) tesisleri yer olarak seçilmiştir. Tesisin 14,8 hektarlık bir alan üzerine kurulması kararlaştırılmış ve Orman Genel Müdürlüğü'nden gerekli izinler alınarak 49 yıllığına İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne tahsis edilmiştir [37].



Şekil 2. İBB Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisinin Uydu Görüntüsü Üzerindeki Konumu [38]

3.3. Proje Kapasitesi

Tesisin işletme ömrü 25 yıl olarak öngörülmüştür. Tesis 3000 ton/gün evsel atık yakma ve yaklaşık 78,8 MW elektrik enerjisi üretme kapasitesine sahiptir. İstanbul Avrupa yakasında oluşan 12.000 ton/günlük atığın 3000 ton/günlük (saatlik kapasite 125

ton, yıllık kapasite 1.000.000 ton) kısmının bu tesiste yakılması öngörülmektedir. Tesis 3 adet birbirinden bağımsız üniteden oluşmaktadır. Her bir ünite ortak bir atık depolama bunkerinden beslenecektir. Her bir ünitenin birbirinden bağımsız atık yakma fırını, buhar kazanı, baca gazı arıtma sistemi bulunmaktadır. Tesise getirilecek olan evsel nitelikli atıklar bir depolama haznesine alınacaktır. Atıklar bir vinç yardımıyla yanma odasına alınarak ızgaralı sistemler vasıtasıyla yakılacaktır. Yanma sonucu oluşan sıcak gazlar atık ısı kazanına gönderilerek buhar üretilenektir. 70 bar basınç ve 4000 C sıcaklığa ulaşan buhar ise türbine gönderilerek türbin döndürülecek ve böylece jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi tamamlanmış olacaktır. Yanma sonucu oluşacak baca gazı her ünite için ayrı olarak kurulacak olan baca gazı arıtma sisteminde arıtıldıktan sonra atmosfere salınmaktadır (İ.B.B Fizibilite Raporu, 2019).

Sistemde kullanılan ızgaralı yakma, katı atıkların herhangi bir ön işleme tabi tutulmasına gerek duyulmadan yakılması esasına dayanmaktadır. Bu sistem kalorifik değer ve atık kompozisyonundaki değişimlere karşı dirençlidir ve yakma sürecinde %85'e varan termal verim değerleri elde edilebilmektedir. Depo gazı, sızıntı suyu ve koku gibi problemler minimize edilmektedir. Atık miktarında ağırlıkça %75, hacimce %90 azalma sağlanmaktadır ve depolama işlemine gerek yoktur. Tesis tüm işletme dönemi boyunca yaklaşık 26,6 milyon ton evsel atığın yakılması suretiyle bertarafı sağlanmış olacaktır [36].

4. Bulgular

Bu bölümde, projenin yatırım maliyeti ve işletme dönemi gelir-gider unsurları ortaya konulmak suretiyle ana yatırım bileşenlerinin detayları incelenmiştir.

4.1. Toplam Yatırım Maliyeti ve Yıllara Dağılımı

Yatırım projesinin toplam maliyeti yaklaşık 409,4 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Yatırım projesi; arazi bedeli, sabit sermaye yatırımları ve işletme sermayesi olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır.

4.1.1. Arazi Bedeli

Tesisin kurulacağı arazi için herhangi bir bedel öngörülmemiştir. Tesis yeri Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bedelsiz olarak tahsis edilmiştir.

4.1.2. Sabit Sermaye Yatırımları

Yatırım projesi maliyeti içerisinde en büyük kısım yaklaşık 407,5 milyon Euro ile sabit sermaye yatırımlarına aittir. Bu miktar toplam proje bedelinin %99,5'ini oluşturmaktadır. Sabit sermaye yatırımları tutarı olan 407,5 milyon Euro'nun bileşenlerine göre dağılımı aşağıdaki Tablo:3'te verilmiştir. Sabit sermaye yatırımları içerisinde en büyük pay yaklaşık %68,2 ile mekanik ve elektrik donanım yatırımlarına aittir. Kurulacak olan tesisin ve üretim sürecinin özelliğinden dolayı projede çok sayıda ve yüksek değerli makine ve ekipman bulunmaktadır. Bu nedenle sabit sermaye yatırımı içerisinde makine ve donanımın büyük bir payı bulunmaktadır. Sabit sermaye yatırımları içerisinde ikinci büyük pay ise %18,0 ile inşaat yatırımlarına aittir. Sabit sermaye yatırımlarının içerisinde en düşük pay, işletmeye alma giderlerine aittir. Toplam bedeli 3,08 milyon Euro olan bu gider grubunun sabit sermaye yatırımları içerisindeki payı yaklaşık %0,76'dır. Tesisin her ünitesi montajı tamamlandıktan sonra deneme işletmesine alınacaktır. Deneme işletmesi süreci 2021 yılı son çeyreğinde başlamıştır. Sabit sermaye yatırımlarının son bileşeni beklenmeyen giderlerdir. Bu bileşen sabit sermaye yatırımlarının %9'unu oluşturmakta olup işletme sermayesi kısmında açıklanmıştır [36].

4.1.3. İşletme Sermayesi

İşletme sermayesi, tesisin İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilecek olan 2022 yılında yapılacak yıllık nakit işletme gideri üzerinden hesaplanmıştır. Tesisin 36 günlük nakit işletme giderlerini karşılayacak düzeyde bir işletme sermayesinin üretim faaliyetinin sorunsuz olarak devam ettirilmesi için yeterli olacağı öngörülmüştür. 2022 yılında yapılması planlanan nakit işletme gideri harcaması 19,2 milyon Euro'dur. Dolayısıyla 36 günlük işletme gideri 1,9 milyon Euro olmaktadır. Tesisin Beklenmeyen Giderleri ise; Sabit sermaye yatırım maliyetinin %10'u kadar olacağı varsayılmış ve 37,04 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Böylece, beklenmeyen giderlerin toplam sabit sermaye yatırım bedeli içerisindeki payı %9 olmaktadır [36]. Projenin yatırım maliyetinin ana yatırım bileşenleri itibarıyla ve her bileşenin maliyetinin iç ve dış para arasındaki dağılımını Tablo 3'te gösterilmektedir[36].

Tablo 3. Sabit Sermaye Yatırımının Bileşenlerine Göre Dağılımı (2016 Sabit Fiyatlarıyla)

Evsel Katı Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi Yatırımları	İç Para (Euro)	Dış Para (Euro)	Toplam (Euro)	Dağılım Yüzdesi	
				Sabit Sermaye Yatırımı (%)	Toplam Proje Bedeli (%)
Arazi bedeli (Kamulaştırma Giderleri)	0	0	0		0,00
Sabit Sermaye Yatırımları					
Etüt-Proje ve Müşavirlik					
Uygulama Projeleri Hazırlanması	3 001 163	5 573 588	8 574 750	2,10	
İnşaat ve Mekanik Kontrol Hizmetleri	3 193 329		3 193 329	0,78	
Etüt-Proje ve Müşavirlik Hizmetleri Toplamı	6 194 492	5 573 588	11 768 079	2,89	
Fiziki Yatırımlar					
İnşaat	73 453 757		73 453 757	18,02	
Mekanik ve Elektrik Donanım	83 346 570	194 705 133	278 051 703	68,23	
Genel Giderler	4 115 880		4 115 880	1,01	
İşletmeye Alma Giderleri	3 086 910		3 086 910	0,76	
Fiziki Yatırımlar Toplamı	164 003 117	194 705 133	358 708 250	88,02	
Toplam Sabit Sermaye Yatırım Maliyeti	170 197 608	200 278 721	370 476 329	90,91	
Beklenmeyen Giderler (%10)	17 020 000	20 028 000	37 048 000	9,09	
Toplam Sabit Sermaye Yatırım Maliyeti (Beklenmeyen Giderler Dahil)	187 217 608	220 306 721	407 524 329	100,00	99,54
İşletme Sermayesi	1 900 000		1 900 000		0,46
Yatırım Projesi Toplam Maliyeti	189 117 608	220 306 721	409 424 329		100,00

4.2. İşletme Dönemi Gelir ve Giderleri

Tesisin işletme dönemi boyunca elde edilen enerjiden sağlanacak gelirleri ile bu aşamada kullanılan araç, gereç, yakıt ve bakım-onarım vb. gibi sabit ve değişken işletme maliyetleri ortaya konmuştur. Böylece yatırım maliyetinin iç ve dış para bakımından dağılım bileşenleri incelenmiştir.

4.2.1. İşletme Gelirleri

Evsel katı atık yakma ve enerji üretim tesisinde elde edilen ürün elektrik enerjisidir. Tesisin yıllık elektrik enerjisi üretimi 720 milyon kWh'tır. Tesisin kendi ihtiyaçları için yılda 72 milyon kWh elektrik enerjisi kullanacağı hesaplanmıştır. Yıllık satışa sunulacak elektrik enerjisi miktarı yılda 648 milyon kWh olacaktır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, yürürlükteki mevzuatta bulunan ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen elektrik enerjisi üretimini özendirmeyi amaçlayan teşvik önlemleri kapsamında, serbest piyasada oluşan elektrik enerjisi fiyatlarına maddi destek uygulamaktadır. Bu desteğin 2030 yılına kadar devam edeceği ve 2031 yılından itibaren elektrik enerjisinin serbest piyasa fiyatları üzerinden satılacağı öngörülmüştür. Bu çerçevede, elektrik enerjisi satış fiyatı 2020 – 2030 dönemi için 0,118 Euro/kWh ve 2031 – 2046 dönemi için 0.044 Euro/kWh olarak kabul edilmiş ve elektrik enerjisi satış geliri bu fiyatlar üzerinden hesaplanmıştır. Dolayısıyla elektrik enerjisi yıllık satış geliri 2021 – 2030 dönemi için yılda 73,2 milyon Euro ve 2031 – 2046 dönemi için yılda 28,5 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. İşletme dönemi sonuna kadar yaklaşık 1.188 milyar Euro gelir elde edilmiş olacaktır. Üretilen elektrik enerjisinden elde edilecek gelir Tablo:4'te belirli yıllar itibarıyla verilmiştir [36].

Tablo 4. Tesiste Üretilen Elektrikten Sağlanacak Gelirin Yıllara Dağılımı

	Birim	2021 *10 ³	2025*10 ³	2030 *10 ³	2031 *10 ³	2035 *10 ³	2040 *10 ³	2046 *10 ³
Elektrik Üretimi	KWh	720000	720000	720000	720000	720000	720000	720000
Tesis Bünyesindeki Elektrik Tüketimi	KWh	72000	72000	72000	72000	72000	72000	72000
Satışa Sunulacak Net Elektrik Miktarı	KWh	648000	648000	648000	648000	648000	648000	648000
Elektrik Enerjisi Satış Fiyatı	Euro/KWh	0.113/1 000	0.113/ 1000	0.113/ 1000	0.044/ 1000	0.044/ 1000	0.044/ 1000	0.044/ 1000
Elektrik Enerjisi Satış Geliri	Euro	73 224	73 224	73 224	28 512	28 512	28 512	28 512

4.2.2. İşletme Giderleri

Tesisin işletme dönemi (2021-2046) boyunca sabit ve değişken olmak üzere iki ana maliyet başlığı altında incelenerek Tablo:5'te verilmiştir.

- **Sabit işletme giderleri:** Atık yakma tesisinin işletme dönemi boyunca personel, bakım-onarım ve amortisman giderleri gibi maliyet unsurlarından oluşmaktadır.
- **Değişken işletme maliyetleri:** Atık yakma tesisinin işletme dönemi boyunca elektrik tüketim, kimyasal madde tüketim, diğer yardımcı üretim girdileri (yakıt, yağ, su), cüruf ve baca gazı kalıntılarının bertaraf edilmesi ve proses suyu arıtımı ve genel gider maliyet unsurlarından oluşmaktadır.

4.3. Proje Finansman Yapısı, Koşulları ve Kaynakları

Yapılması öngörülen yatırım miktarı 409,4 milyon Euro'dur. İstanbul Büyükşehir Belediyesi yönetimi yatırımın büyük bir kısmını uzun vadeli kredi ile finanse etmiştir. Evsel katı atık yakma ve enerji üretim tesisinin yatırım bedelinin %80'i uluslararası finansman kuruluşlarından sağlanan dış kaynaklı ve uzun vadeli yatırım kredileri ile finanse edilmiştir. Yatırımın kalan %20'si ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin kendi öz kaynaklarından sağlanmıştır. Projenin finansman kaynakları ve koşulları incelendiğinde temin edilen ve kullanılan dış kaynaklı kredinin miktarı 489 milyon Euro olarak belirlenmiştir. Kredinin geri ödeme süresinin 15 yıl olması öngörülmüş ve bu sürenin ilk beş yılı geri ödemesiz dönem olarak kabul edilmiştir. Kredinin yıllık faizinin altı ayda bir ödeme bazında yıllık %5 olacağı kararlaştırılmıştır. Ayrıca taahhüt ücreti olarak kredinin kullanılmamış miktarı üzerinden yılda %0,25 ve hazine garanti ücreti olarak da bir defa için kredi miktarı üzerinden %0,1 oranında ödeme yapılacağı kabul edilmiştir [36].

Tablo 5. Yatırımın Finansman Yapısı (2016 Yılı Fiyatlarıyla, Birim: Euro)

Evsel Katı Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi Yatırımları	Fiziki Yatırımlar	Müşavirlik ve Kontrollük Hizmetleri	Toplam Yatırım Tutarı
Arazi Bedeli (Kamulaştırma Giderleri)			
Sabit Sermaye Yatırımları			
Müşavirlik ve Kontrollük Hizmetleri			
Uygulama Projeleri Hazırlanması		8 574 750	
İnşaat ve Mekanik Kontrollüğü Hizmetleri		3 193 329	
Müşavirlik ve Kontrollük Hizmetleri Toplamı		11 768 079	11 768 079
Fiziki Yatırımlar			
İnşaat İşleri Yatırımı	73 453 757		73 453 757
Mekanik ve Elektrik Donanım Yatırımı	278 051 703		278 051 703
Genel Giderler	4 115 880		4 115 880
İşletmeye Alma Giderleri	3 086 910		3 086 910
Fiziki Yatırımlar Toplamı	358 708 250		351 505 460
Toplam Sabit Sermaye Yatırım Maliyeti	358 708 250	11 768 079	366 360 449
Beklenmeyen Giderler (%10)	35 871 192	1 176 808	37 048 000
Toplam Sabit Sermaye Yatırım Maliyeti (Beklenmeyen Giderler Dahil)	394 579 442	12 944 887	407 524 329
İşletme Sermayesi	1 900 000		1 900 000
Yatırım Projesi Toplam Maliyeti (Euro)	396 479 442	12 944 887	409 424 329

Projenin finansman maliyeti ve finansman planına göre fiziki yatırımları finanse etmek için yatırım kredisinin 340 milyon Euro'luk kısmı dış kredi ve 69,50 milyon Euro'luk kısmı belediye öz kaynakları ile finanse edilmiştir [36].

Tablo 6. Yatırımın Kredi ve Özkaynaklar Yönüyle Dağılımı

Projenin Finansman Yapısı	Yatırım Kredisini	Belediye Katkısı	Toplam
Fiziki Yatırımlar ve İşletme Sermayesi	338 000 000	58 479 442	396 479 442
Müşavirlik ve Kontrollük Hizmetleri	2 000 000	10 944 887	12 944 887
Proje Toplamı (Euro)	340 000 000	69 424 329	409 424 329

4.4. Finansal Analiz

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin "Evsel Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi" yatırımının mali analizi yapılmakta ve proje karlılığı değerlendirilmektedir. Bu analizde kullanılan varsayımlar şunlardır;

- Proje analizi 29 yıl üzerinden yapılmıştır. Takvim yılı bazında bu süre 2018 – 2046 dönemini kapsamaktadır. Bu sürenin ilk 3 yıllık kısmı ilk yatırım dönemi ve 1 yılı tesisi kuran yüklenici tarafından işletilir. Evsel Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi 2021 yılı sonunda işletmeye alınmıştır. Dolayısıyla belediyenin tesisi işletme dönemi 25 yıl olmaktadır.
- Proje analizi 2017 yılı sabit fiyatları ve Euro cinsinden hesaplanmıştır.
- Hesaplamalara katma değer vergisi dahil edilmemiştir.
- NBD ve iç karlılık oranı hesaplamalarında %10 iskonto oranı kullanılmıştır.
- Hesaplamalarda, makina, ekipman gibi varlıklarla sabit tesisler için esas alınan ekonomik ömür süreleri şöyledir. İnşaat için 40 yıl; yakma sistemleri, kazan, türbin vb. hareketsiz makine ve ekipmanları için 25 yıl; motor, pompa, enstrümantasyon ve diğer hareketli makine, araç ve gereçler için 15 yıl; taşıt araçları ve iş makineleri için 10 yıl öngörülmüştür [36].

4.4.1. Proje Gelir ve Gider Dengesi, Üretim Maliyeti ve İşletme Karı

Bu bölümde projenin gelir ve gider dengesi ve dolayısıyla projenin karı değerlendirilecektir. Aşağıda Tablo 7'de proje ömrü boyunca (2018 – 2046 dönemindeki) faaliyet sonuçlarına ilişkin çeşitli değişkenlerin değerleri dönem toplamı olarak verilmektedir. Bu değerler hem mutlak değer olarak hem de 2017 yılı itibarıyla net bugünkü değer olarak ifade edilmiştir. Tesiste yakma yoluyla bertaraf edilecek olan katı atık miktarı, satılacak olan elektrik enerjisi miktarı, elde edilecek elektrik satış geliri, yatırım harcamaları, yenileme yatırımları işletme giderleri, faiz giderleri ve hurda değer değişkenleri yer almaktadır.

Tablo 7. Yatırımın Projesinin Gelir, Gider, Üretim Maliyeti ve İşletme Karı Dağılımı

Açıklama	Birim	Net Bugünkü Değer (2017)	2018-2046 Dönemi Toplamı (Mutlak Değer)
Kullanılan Katı Atık Miktarı	Ton/yıl	6 917 168	26 130 000
Satılacak Elektrik Enerjisi Miktarı	KWh/yıl	4 460 024 542	16 848 000 000
Elektrik Enerjisi Tarifesi (2021-2030 arası)	Euro/kWh		0,113
Elektrik Enerjisi Tarifesi (2031-2046 arası)	Euro/kWh		0,044
Elektrik Enerjisi Geliri	Euro	402 654 216	1 188 432 000
Yatırım Harcamaları	Euro	327 951 570	409 424 329
Yenileme Yatırımları	Euro	3 879 149	21 509 246
İşletme Giderleri (sabit ve değişken)	Euro	145 256 982	568 432 537
Faiz Giderleri	Euro	84 624 396	162 599 947
Hurda Değeri	Euro	-2 142 192	-33 981 791
Toplam Giderler	Euro	559 569 904	1 127 984 268
Elektrik Enerjisi Birim Üretim Maliyeti	Euro/kWh	0,125	0,067
Katı Atıkların Yakılarak Bertarafı ve Enerji Üretim Maliyeti	Euro/ton	80,90	43,17
Bertaraf Edilen Birim Katı Atık Başına Elektrik Enerjisi Satış Geliri	Euro/ton	58,21	45,48
Toplam Proje Karı	Euro	-156 915 688	60 447 732
Kullanılan Katı Atık Miktarı Başına Proje Karı	Euro/ton	-22,68	2,31

Evsel katı atık yakma ve enerji üretim tesisinin ekonomik ömrü olan 26 yıl boyunca toplam olarak 26,1 milyon ton katı atık yakılması planlanmaktadır. Bu atıklardan elde edilecek buhar enerjisi elektrik enerjisine çevrilecek ve tesisin kendi ihtiyaçları için tüketilecek elektrik enerjisinden arta kalan kısım satılarak gelir elde edilecektir. Tesisin ekonomik ömrü boyunca satılacak toplam elektrik enerjisi miktarının yaklaşık 16,8 milyar kWh olacağı hesaplanmıştır. Elektrik satışından elde edilecek gelir toplamının 1,2 milyar Euro olacağı tahmin edilmektedir. Elektrik enerjisinin satış fiyatının 2020 – 2030 dönemi için kWh başına 0.113 Euro ve 2031 – 2046 dönemi için kWh başına 0,044 Euro olacağı kabul edilmiştir. Elektrik enerjisi satış fiyatının 2020 – 2030 dönemi için daha yüksek olmasının nedeni bu dönemde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilecek olan elektrik enerjisi için Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından destek primi ödenecek olmasıdır.

Katı atıkların yakılması, elektrik enerjisi üretilmesi ve baca gazı arıtımı ile genel yönetim giderleri için tesisin ekonomik ömrü boyunca yapılacak toplam harcama miktarı 1.127,98 milyon Euro olarak tahmin edilmiştir. Bu harcama miktarına sabit ve değişken işletme giderleri ile faiz ödemeleri dâhildir. Ayrıca 409,4 milyon Euro tutarındaki ilk yatırım harcaması ile tesisin işletme döneminde yapılacak olan toplam 21,5 milyon Euro değerindeki yenileme yatırımları da hesaplamalara dâhil edilmiştir. Tesisin ekonomik ömrü sonunda elde edilecek hurda değer de giderleri azaltıcı bir unsur olarak dikkate alınmıştır. Bu durumda, zaman faktörü dikkate alınmaksızın gelir ve gider akımlarının mutlak değerleri üzerinden yapılacak bir değerlendirmede tesisin ekonomik ömrü boyunca toplam olarak 60,4 milyon Euro'luk bir proje karı oluşacağı sonucuna varılmaktadır. Ancak, bu rakamlar tesisin ekonomik ömrü boyunca gerçekleşecek yıllık gelir ve gider akımlarının ve yıllık elektrik enerjisi üretimi ve katı atık yakma miktarlarının mutlak değer olarak toplamını gösteren rakamlardır. Dolayısıyla bu rakamlar üzerinden yapılacak değerlendirmelerde paranın zaman değeri dikkate alınmamış olacaktır. Bu nedenle bütün gelir ve gider akımlarının net bugünkü değerleri de hesaplanarak yukarıdaki Tablo 9'da gösterilmiştir. Tablodaki verilerden de anlaşılacağı üzere, mutlak değerler üzerinden yapılan hesaplamalarda işletme faaliyeti sonucunda toplam olarak 60,4 milyon Euro düzeyinde bir kar değeri görünmesine karşılık 2017 yılına indirgenmiş gelir ve gider akımları üzerinden yapılan değerlendirmede 156,9 milyon Euro tutarında bir zarar olacağı sonucuna varılmaktadır.

Net bugünkü değer verilerinden yararlanarak yapılan hesaplamalarda elektrik enerjisi üretim maliyeti 0,125 Euro/KWh olarak hesaplanmıştır. Bu maliyet rakamı; 0,113 Euro /KWh olan 2021 – 2030 dönemi elektrik satış fiyatından %9,9 oranında ve 0,044 Euro/KWh olan 2031 – 2046 dönemi satış fiyatından %64,9 oranında daha yüksektir. Diğer yandan, toplam giderleri, yakılarak bertaraf edilen katı atık miktarı açısından da değerlendirmek mümkündür. Bu durumda, katı atıkların yakılarak bertaraf edilmesi ve daha sonra da elektrik enerjisi üretilmesi için her bir ton katı atık için yatırım ve işletme gideri olarak net bugünkü değer bazında 80,9 Euro harcama yapılmış olacaktır. Ancak yapılan bu harcama ile elektrik enerjisi üretilip satılarak gelir elde edilmektedir ve 1 ton katı atık yakılması sonucunda yine net bugünkü değer bazında 58,2 Euro değerinde elektrik enerjisi geliri elde edileceği hesaplanmıştır. Dolayısıyla, 1 ton atığın yakılarak bertaraf edilmesi ve elde edilen enerjinin elektrik enerjisine çevrilerek gelir elde edilmesi faaliyetinin getireceği net zarar 1 ton katı atık başına 22,68 Euro olmaktadır. Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin işletme dönemi üretim faaliyeti sonucunda oluşan gelir ve gider akımları aşağıdaki Tablo:8'de belirli yıllar itibarıyla gösterilmiştir. Tesis 2021 yılında işletmeye alınmıştır. Tesisin tek geliri elektrik enerjisi satışından elde edilecektir. Tesisin 2021 yılından itibaren tam kapasite ile çalışması söz konusu olduğundan bu yıldan itibaren yıllık gelir 73,2 milyon Euro olacaktır. Tesisin giderleri işletme, amortisman ve finansman giderlerinden oluşmaktadır. Finansman giderleri yatırım kredisi geri ödemelerinin tamamlanacağı 2033 yılına kadar azalarak devam edecektir. Tesis giderleri 2023 yılında 53,2 milyon Euro düzeyine ulaşmaktadır. Daha sonraki yıllarda giderler azalarak yaklaşık 38,2 milyon Euro düzeyine kadar gerilemektedir. Tesisin normal işletme dengesi 2021 – 2030 döneminde kar ile sonuçlanmaktadır. Ancak 2031 yılında elektrik enerjisi satış fiyatının 0,044 Euro /KWh düzeyine inmesinden sonra işletme her yıl zarar etmektedir. Bu zarar yıllık bazda 9,6 milyon Euro düzeyinde olmaktadır. Aşağıda Tablo 8'de açıklandığı üzere tesis 2021 – 2030 döneminde kar elde etmekle birlikte bu kar yatırım kredisinin anapara geri ödemelerinin tamamını gerçekleştirecek düzeye ulaşamamaktadır. Bu nedenle İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin kendi öz kaynaklarından finansman desteği sağlanmasına ihtiyaç duyulacaktır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden, yatırım kredisinin anapara geri ödemelerinin gerçekleştirilebilmesi için temin edilmesi gereken mali desteğin miktarı yatırımın fon akımı ile sağlanacaktır [36].

Tablo 8. Yatırım Projesinin Gelir, Gider ve Karlılıklarının Yıllara Göre Dağılımı

	2021	2023	2030	2031	2046	Toplam
Gelirler						
Elektrik Enerjisi Satış Gelirleri	73 224 000	73 224 000	28 512 000	28 512 000	28 512 000	1 188 432 000
Toplam Gelirler	73 224 000	73 224 000	28 512 000	28 512 000	28 512 000	1 188 432 000
Giderler						
İşletme Giderleri	15 594 092	20 456 207	22 352 100	22 298 761	22 585 612	568 432 537
Amortisman Giderleri	15 778 576	15 778 576	15 778 576	15 778 576	15 778 576	410 242 975
Finansman Giderleri	17 000 000	17 000 000	4 675 000			162 599 947
Toplam Giderler	48 372 668	53 234 783	38 130 676	42 752 337	38 364 188	1 141 275 459
Proje Karı (Euro)	24 851 332	19 989 217	-9 618 676	-14 240 337	-9 852 188	47 156 541

4.4.2. Yatırımın Fon Akımı

Yıllık nakit dengesi, projenin ekonomik ömrü boyunca 2031 yılı dışında bütün yıllarda nakit fazlası ile sonuçlanmaktadır. Kümülatif nakit dengesi 2031 yılı da dahil olmak üzere hep nakit fazlasını göstermektedir. Dolayısıyla işletmenin bir nakit sıkıntısı ile karşılaşması söz konusu olmayacaktır. Fon akımı 2017 yılı sabit fiyatlarıyla hazırlanmıştır. Ancak bu olumlu nakit dengesi İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bu proje için yatırım harcamalarına yapacağı %17 oranındaki öz kaynak katkısı ve yine yatırım dönemindeki kredi masrafları ve faiz ödemeleri için sağlayacağı 22,3 milyon Euro dışında projenin işletme dönemi sırasında da maddi kaynak sağlanmasını gerektirmektedir. Bu maddi katkı, anapara geri ödemesinin gerçekleştirilebilmesi için sağlanacak 98 milyon Euro katkıdan oluşmaktadır. Ayrıca yatırım dönemi finansman katkısı 91,8 milyon Euro olmaktadır.

Dolayısıyla Büyükşehir Belediyesi'nin toplam finansman katkısı 189,8 milyon Euro olmaktadır. Aşağıdaki Tablo:9'da bu katkının değeri belli yıllar itibarıyla ve toplam olarak gösterilmiştir [36].

Tablo 9. Yatırım Projesinin Fon Akışı

	2018-2020	2024	2030	2035	2046	Toplam
Yatırım Giderleri	409 424 329					409 424 329
Yenileme Yatırımları			252 784	21 003 679		21 509 146
İşletme Giderleri		21 445 982	22 281 401	22 370 308	22 585 612	568 432 537
Yatırım Kredisi Faiz Ödemeleri	21 802 977	16 575 000	6 375 000			162 052 977
Hazine Garantisi ve Taahhüt Ücreti	546 970					546 970
Yatırım Kredisi Anapara Ödemesi		34 000 000	34 000 000			340 000 000
Toplam Nakit Çıkışı	431 774 276	72 020 982	62 909 185	43 373 987	22 585 612	1 501 966 058
Elektrik Enerjisi Satış Geliri Tahsilatı		71 027 280	71 027 280	27 656 640	27 656 640	1 188 432 000
İBB'nin Kredi Anaparasının Geri Ödemesine katkısı		1 000 000				98 000 000
İBB'nin Yatırım Dönemi Finansman Katkısı	91 774 276					91 774 276
Yatırım Kredisi Kullanımı	340 000 000					340 000 000
Toplam Nakit Girişi	431 774 276	72 027 280	71 027 280	27 656 640	27 656 640	1 718 206 276
Yıllık Nakit Dengesi		6 298	8 118 095	-15 717 347	5 071 028	216 240 217
Kümülatif Nakit Dengesi		106 812 221	132 273 625	129 224 445	180 587 257	

4.4.3. Projenin Net Bugünkü Değeri (NPV) ve İç Karlılık Oranı (IRR)

Yatırımın karlılığı hem mali açıdan ve hem de ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde iskonto oranı %10 olarak kabul edilmiştir. Bu iskonto oranında yapılan mali değerlendirmede projenin net bugünkü değerinin negatif olarak 159 milyon Euro olduğu hesaplanmıştır. Bunun üzerine projenin mali net bugünkü değeri değişik iskonto oranlarında hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların sonuçları aşağıdaki Tablo10'da sunulmuştur.

Tablo 10. Projenin Değişik Iskonto Oranlarında Net Bugünkü Değerleri ve İç Karlılık Oranı

İskonto Oranı (%)	-5,00	0,71	0,72	1,00	10,00	İç Karlılık Oranı (IRR)
Net Bugünkü Değer (NPV)						
Toplam Maliyetler	2 201 488 623	1 081 399 728	1 080 337 263	1 051 343 592	561 712 096	
Toplam Gelirler	2 557 804 592	1 081 674 369	1 080 266 493	1 041 848 756	402 654 216	
Net Bugünkü Değer	356 315 969	274 641	-70 771	-9 494 836	-159 057 880	
İç Karlılık Oranı (IRR)						0,7179

Tablo 10'da görüleceği üzere, projenin mali net bugünkü değeri %-5 iskonto oranında pozitif değer almakta ve 356 milyon Euro olmaktadır. Bu çerçevede projenin iç karlılık oranı da %-0,72 olarak hesaplanmıştır. Bu verilerden de anlaşılacağı üzere proje mali açıdan karlı değildir. Yatırımın iç karlılık oranının bu denli düşük çıkmasının nedeni, %10 iskonto oranında evsel katı atık yakma ve enerji üretim tesisi yatırımının kredi geri ödemelerini gerçekleştirebilecek kadar fon yaratamamış olmasıdır. Bu durum aşağıdaki Tablo 11'de bütün gelir ve gider akımları için ayrı olarak verilmiş olan net bugünkü değer rakamlarından da anlaşılmaktadır. Proje gelirlerinin %10 iskonto oranında toplam net bugünkü değeri 402,7 milyon Euro olmasına karşılık işletme giderleri, kredi faizleri, yatırım harcamaları ve yenileme yatırımları harcamalarının %10 iskonto oranındaki toplam net bugünkü değeri 561,7 milyon Euro'dur. Dolayısıyla, net gelir akımlarının net bugünkü değeri negatif olarak 159,1 milyon Euro olmaktadır [36].

Tablo 11. İç Karlılık Oranı Hesabına Esas Olan Gelir ve Gider Akımları (2017 Yılı Fiyatlarıyla)

Proje Yılları	0	4	14	20	30	
Takvim Yılları	Net Bugünkü Değer 2017	2020	2030	2036	2046	TOPLAM
GELİRLER						
Elektrik Enerjisi Satış Geliri	402 654 216		73 224 000	28 512 000	28 512 000	1 045 872 000
Toplam Gelirler	402 654 216		28 512 000	28 512 000	28 512 000	1 045 872 000
MALİYETLER						
Etüt-Proje, Müşavirlik	10 279 326	638 665				11 768 079
Fiziki Yatırımlar	286 560 488	148 733 545				
Beklenmeyen Giderler	29 684 257	14 937 588				
İşletme Sermayesi	1 427 498	1 900 000				1 900 000
Toplam Yatırım Maliyeti	327 951 570	166 209 798				409 424 329
İŞLETME GİDERLERİ						
Sabit İşletme Giderleri	64 007 252		10 892 463	10 981 908	11 145 972	267 804 864
Değişken İşletme Giderleri	81 249 730		11 388 938	11 406 827	11 439 640	300 627 672
Kredi Faizleri ve Kredi Giderleri	84 624 396	15 072 847	6 375 000			162 599 947
Yenileme Yatırımları	3 879 149		252 784			21 509 246
Toplam İşletme Gideri	233 760 527	15 072 847	28 909 185	22 388 735	22 585 612	639 818 834
TOPLAM MALİYET	561 712 096	181 282 645	28 909 185	22 388 735	22 585 612	1 049 243 163
NET GELİRLER	-159 057 880	-181 282 645	44 314 815	6 123 265	5 926 388	-3 371 163

4.5. Ekonomik Analiz

Bu analiz bölümünde, finansal analizde piyasa fiyatlarıyla değerlendirilmiş olan proje gelir ve gider akımları, ekonomik fiyatlarla hesaplanarak değerlendirilmektedir. Böylece proje fayda ve maliyetlerinin gerçek kıtlık fiyatları (kaynakların az olmasından doğan temel ekonomik sorunların çözümüne yönelik alternatif maliyet unsurları) bazında karşılaştırılması mümkün olmaktadır. Ayrıca projenin, projeden etkilenecek topluluk üzerindeki etkisinin incelenmesi de ekonomik değerlendirmenin bir parçasıdır. Projenin uygulanması ile ortaya çıkacak tüm mali, sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerin daha geniş bir çerçevede ele alınmasıyla, projenin kendisinden etkilenecek tüm alanlar üzerindeki önemli dış etkilerinin mümkün olduğunca düşünülüp, değerlendirilmesi çalışılmış olacaktır. Projenin dış etkileri mümkün olduğunca parasal olarak değerlendirilmeye çalışılmış ve rakamsal değerlendirmelerin yapılamadığı durumlarda projenin niteliksel dış etkileri tartışılmıştır. Türkiye’de resmi bir sosyal iskonto oranı bulunmadığından, finansal analiz için kullanılan %10 oranının aynısı ekonomik iskonto oranı olarak da kullanılmıştır [36].

4.5.1. Projenin Çevresel Etkileri

Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin ekonomik analiz değerlendirmelerinde dikkate alınması gereken bir çevresel maliyeti bulunmamaktadır. Buna karşılık katı atıkların yakılması yoluyla ağırlık açısından %75 ve hacim açısından %90 oranında azalma sağlanması, yine yakma işlemi dolayısıyla katı atıkların stabilize edilmesi, patojen mikroorganizmaların giderilmesi ve düzenli depolamaya oranla 1/3 oranında daha az sera gazı etkisi yaratılması gibi avantajları bulunmaktadır.

4.5.2. Projenin Sosyal Etkileri

Proje hem inşaat aşamasında hem de işletme aşamasında istihdam yaratmıştır. İnşaat sırasında 200 kişiye istihdam sağlanmıştır. İşletme sırasında ise 87 kişi istihdam edilmektedir. Tesisin çevresel ve sosyal olumlu etkileri projenin dolaylı dış faydası olarak tanımlanmaktadır. Bu dış faydanın kişi başına parasal değerinin yılda 4,0 Euro olduğu varsayılmıştır. Bu kişi başına fayda değeri İstanbul’un nüfusu ile çarpılarak projenin dolaylı dış faydasının ekonomik değeri hesaplanmış ve ekonomik analizde dikkate alınmıştır.

4.5.3. Projenin Ekonomik Faydaları

Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisi, düzenli depolama sahasına gönderilecek katı atık miktarını azaltmak amacıyla inşa edilmiş ve işletilmektedir. Bu amaçla yapılacak yatırım tutarı yaklaşık olarak 409,4 milyon Euro'dur. Bu tesiste yılda 1.005.000 ton ve tesisin ekonomik ömrü boyunca da yaklaşık olarak 26,6 milyon atık yakılmış olacaktır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, evsel atık yakma ve enerji üretim tesisi kurmak suretiyle düzenli depolama sahası yatırımı yapmaktan ve dolayısıyla buna ilişkin yatırım ve işletme giderlerinden de kurtulmuş olmaktadır. Bu nedenle, 26,6 milyon ton katı atığı düzenli depolama sahasında bertaraf etmek için yapılması gerekli yatırım ve işletme harcamalarının ekonomik analizde dikkate alınması gerekmektedir. Ekonomik analiz yapılırken söz konusu işletme ve yatırım harcamaları projenin dış faydası olarak dikkate alınmıştır.

Proje ömrü boyunca yakılacak atık miktarı, ara örtü tabakaları ile birlikte değerlendirildiğinde 30,6 milyon m³ düzeyinde bir depolama hacmine karşılık gelmektedir. Bu kadar hacmi depolamak için yaklaşık 70 hektar alana sahip bir araziye ihtiyaç olacaktır. Odayeri Düzenli Depolama Sahası'nda bir ton katı atığın bertaraf edilebilmesi için oluşan işletme gideri ortalama döviz kuru üzerinden 3,64 Euro'ya karşılık gelmektedir. Bu işletme gideri, evsel atık yakma tesisinde yakılacak atık miktarı göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 97 milyon Euro'dur ve ekonomik analizde projenin dış faydası olarak dikkate alınmıştır. Düzenli depolama sahası inşaat yatırımları hesaplanırken depolama sahasının taban alanının her bir hektarı için 325.000 Euro tutarında yatırım harcaması gerekeceği varsayılmıştır. Bu durumda düzenli depolama sahası toplam inşaat yatırımı 22,8 milyon Euro olmaktadır. Ayrıca 4,5 milyon Euro tutarında sızıntı suyu arıtma sistemi ekipmanları, meşale, kantar ve jeneratör gibi makine ve ekipman yatırımı olmuş ve toplam 27,3 milyon Euro yatırım maliyeti oluşmuştur. Bu yatırım maliyetlerine arazi maliyetleri dahil edilmemiştir [36].

4.5.4. Projenin Ekonomik Maliyetleri

Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin muhtemel dış maliyeti baca gazının dışarıya olduğu gibi salınması durumunda ortaya çıkacaktır. Ancak, tesis bünyesinde kurulan baca gazı arıtma tesisi ile bu risk ortadan kaldırılmıştır. Dolayısıyla evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin ekonomik analizde dikkate alınması gereken herhangi bir dış maliyeti bulunmamaktadır.

4.5.5. Ekonomik Net Bugünkü Değeri ve Ekonomik İç Karlılık Oranı

Projenin toplam ekonomik faydalarının bugünkü değerinin 913,7 milyon Euro olduğu görülmektedir. Bu toplam fayda değerinin 367,1 milyon Euro tutarındaki kısmı elektrik satışından elde edilecek gelirlerin ekonomik fiyatlarla hesaplanmış bedeline aittir. Toplam ekonomik faydanın kalan 546,6 milyon Euro tutarındaki kısmı projenin dış faydalarının bedeline aittir. Projenin dış faydaları iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grup, evsel atık yakma tesisinde yakılması planlanan atıkların bugüne kadar olduğu gibi yine bir düzenli depolama sahasında bertaraf edilmesi durumunda yapılması gereken yatırım ve işletme giderlerine aittir. Zira evsel atık yakma tesisinin alternatifi, bu tesiste 2046 yılına kadar yakılacak toplam 26,6 milyon ton atığın bir düzenli depolama sahasında bertaraf edilmesidir. Bunu yapabilmek için ek bir düzenli depolama alanı belirleyip gerekli yatırım ve işletme harcamalarını yapmak gerekecektir. Evsel Atık Yakma tesisinin kurulması ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi söz konusu düzenli depolama sahası yatırım ve işletme giderlerinden tasarruf etmiş olmaktadır. Birinci gruba giren bu tasarrufların ekonomik fayda hesaplamalarına katkısı 37,99 milyon Euro'dur. Bu bedel, düzenli depolama sahası için yapılacak yatırım harcamaları ile işletme giderlerinden oluşmaktadır. Dış faydaların ikinci grubu dolaylı dış faydalardan oluşmaktadır. Bu gruptaki faydalar, yukarıda "Projenin Sosyal Etkileri" bölümünde anlatılan faydaların parasal değerini ifade etmektedir. Söz konusu sosyal faydalar, projenin yarattığı doğrudan ve dolaylı istihdam ve ek talep nedeniyle ekonomide ortaya çıkacak ek geliri yansıtmaktadır. Bu sosyal faydaların parasal değeri, ekonomide yaratılan yıllık ek gelir değerinin kişi başına 4 Euro olacağı varsayımıyla hesaplanmıştır. Böylece, projenin dolaylı dış faydasının toplam bugünkü değeri 508,6 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, projenin toplam dış faydası 546,6 milyon Euro ve toplam faydası da 913,7 milyon Euro olmaktadır. Projenin toplam fayda değerine karşılık projenin toplam ekonomik maliyetinin bugünkü değeri 545,6 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Bu değer, projenin yatırım ve işletme giderlerinin ekonomik fiyatlarla ve %10 ıskonto oranı bazında hesaplanmış bugünkü değeridir. Projenin mali analizi kısmında 561,7 milyon Euro olarak hesaplanan proje maliyetinin bugünkü değeri ekonomik fiyatlara dönüştürüldüğünde 545,6 milyon Euro olmaktadır. Bu koşullar altında projenin ekonomik fayda maliyet oranı ise 1,67 olarak hesaplanmıştır [36].

Dış fayda akımları ile proje gelir ve gider akımlarının %10 sosyal ıskonto oranı ile değerlendirilerek hesaplanmış olan bugünkü değerlerinin farkı ise, projenin ekonomik net bugünkü değerini göstermektedir. Yukarıda verilen değerlerin ışığında projenin net bugünkü değeri yaklaşık 367,9 milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Bu durumda projenin ekonomik iç karlılık oranı da %22,52 olarak bulunmuştur. Proje ekonomik açıdan değerlendirilirken yatırım harcamaları ile işletme gelir ve giderleri, finansal maliyetlere özgü olan sapmalardan ve gerçek maliyetleri maskeleyen vergiler ve sübvansiyonlardan arındırılarak ekonomik fiyatlarla hesaplanmıştır. Buna ek olarak ekonomik değerlendirmede projenin yarattığı dış fayda ve maliyetler de dikkate alınmıştır. Bu çerçevede projenin çevreye zarar verecek herhangi bir etkisi olmayacak şekilde planlandığı dikkate alınarak dış maliyetlerin olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna karşılık, projenin çeşitli dış faydalarının olduğu belirlenmiştir. Bunlardan birisi, projede çalışan personele ödenen ücretlerle, tesisin işletmesi sırasında dışarıdan temin edilen çeşitli girdi ve malzemelerle hizmetler için yapılan ödemelerin yaratacağı ek gelir ve bu gelirin harcanmasının piyasada yaratacağı çarpan etkileridir. Diğer dış fayda ise atık yakma tesisinin hizmete girmesiyle bu katı atıkların düzenli depolama sahasında bertaraf edilmesi için yapılması gereken yatırım ve işletme giderlerinden sağlanan tasarruftur. Bütün bu faydalar hesaplanarak, proje için

yapılan ekonomik değerlendirmede dikkate alınmış ve projenin ekonomik net bugünkü değeri ile ekonomik iç karlılık oranı hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamaların sonucu Tablo 12’de görüleceği üzere projenin ekonomik net bugünkü değeri yaklaşık olarak 368 milyon Euro ve ekonomik iç karlılık oranı da %22,52 olmakta olup, proje ekonomik açıdan karlıdır [36].

Tablo 12. Yatırımın Fayda/Maliyet Oranı (F/M)

	Toplam Mutlak Değer	Net Bugünkü Değer (2017)	2018-2020	2030	2036	2046
DIŞ FAYDALAR						
Düzenli Depolama Sahası İşletme Giderinden Tasarruf	96 942 300	26 552 720	1 829 100	3 658 200	3 658 200	3 658 200
DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASI YATIRIM HARCAMALARINDAN YAPILAN TASARRUFLAR						
Altyapı Yatırımları	16 000 000	5 780 742	2 000 000			
Üstyapı Yatırımları	6 800 000	1 935 933				850 000
Sızıntı Suyu Makinaları, Kantar, Jeneratör vb. Makinalar	4 500 000	3 719 008	4 500 000			
Projenin Dolaylı Dış Faydaları	1 984 795 516	508 561 753	31 388 722	71 472 530	77 234 598	87 888 714
PROJE GELİR VE GİDER AKIMLARI (İktisadi Fiyatlarla)						
Yıllık Elektrik Satış Gelirleri	1 083 612 298	367 140 114		66 765 643	25 997 242	25 997 242
Yıllık Kredi Faizleri ve Kredi Giderleri	162 599 947	84 624 396	22 349 947	6 375 000		
Yıllık İşletme Bakım Giderleri	534 326 585	136 541 563		20 944 517	21 045 411	21 230 475
Yıllık Yatırım Giderleri	402 765 267	322 647 116	402 765 267			
Yenileme Yatırımları	21 144 962	3 813 629		252 784		
Hurda Değeri	-31 942 883	-2 013 660				-31 942 883
Net Nakit Akışı	2 103 756 236	2 103 756 236	-385 397 392	114 324 072	85 844 628	129 106 564
Ekonomik Net Bugünkü Değer (ENBD)		367 949 214				
Ekonomik İç Karlılık Oranı (EİKO) %		22,52				
Faydalar	3 192 650 113	913 690 271				
Maliyetler	926 293 930	545 613 043				
F/M Oranı		1,67				

4.6. Duyarlılık Analizi

Proje duyarlılık analizi; proje değişkenlerinin aldığı değerlerdeki muhtemel değişikliklerin, projenin mali ve ekonomik net bugünkü değeri ile iç karlılık oranı üzerindeki etkileri incelenerek yapılmıştır. Bu incelemede kullanılan proje değişkenleri “yeni yatırımlar”, “işletme giderleri”, “işletme gelirleri” ve “dış faydalar” olarak belirlenmiştir. Duyarlılık analizinin yapılabilmesi için yukarıda belirtilen proje değişkenlerinin değerleri %1, %5 ve %10 oranında artırılmış ve azaltılmış ve bu değişikliklere bağlı olarak mali ve ekonomik iç karlılık oranları ile net bugünkü değerlerde ortaya çıkan değişiklikler hesaplanmıştır. Bu değerlendirme sonucunda mali net bugünkü değer yeni yatırımlarla işletme gelirlerine ve mali iç karlılık oranının ise bu iki değişkene ek olarak işletme giderlerindeki değişikliklere de duyarlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu değişkenlerin dönüşüm değerleri yani mali iç karlılık ve net bugünkü değer katsayılarını karlı hale dönüştürmek için almaları gereken değerler de hesaplanarak proje değişkenlerinde bu oranda bir değişiklik yapmanın mümkün olamayacağı anlaşılmıştır. Projenin mali açıdan karlı duruma geçebilmesi için yatırım harcamasının 611,3 milyon Euro düzeyinden 256 milyon Euro düzeyine inmesi gerekmektedir ki bu tutardaki bir yatırım ile bu tesisin gerçekleştirilemeyeceği açıktır. Ekonomik net bugünkü değer ve ekonomik iç karlılık oranı için de duyarlılık analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda ekonomik net bugünkü değer bütün proje değişkenlerine duyarlı olduğu, ekonomik iç karlılık oranının ise yeni yatırımlar ile işletme gelirlerine duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bu iki proje göstergesi için dönüşüm değerleri de hesaplanmış ve bunun sonucunda projenin ekonomik açıdan karsız duruma geçebilmesi için yatırımların da %29 oranında artması gerekmekte olup bu durum olası değildir [36].

4.7. Risk Analizi

Proje değişkenlerinde aynı anda değişik yönlerde ve aynı anda çeşitli değişikliklerin olması durumunda net bugünkü değer ve iç karlılık oranı değerlerinin aldığı yeni değerler belirlenerek bu değerler için bir olasılık dağılımı çıkarılmaktadır. "Monte Carlo" yöntemi kullanılarak ve 5000 iterasyon yapılarak hazırlanan olasılık dağılımları sonucunda bu dağılımların ortalama değerlerinin fizibilite çalışması sonucu belirlenen değerlerden anlamlı bir şekilde sapmadığı yani bulunan proje karlılık göstergelerinin güvenilir olduğu belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Satın alma gücünün artışı ve teknolojik gelişmeler paralelinde atık miktarında oluşan fazlalığın sağlıklı ve çevreci bir yaklaşım gözetilerek bertaraf edilmesi ve ekonomik fayda odaklı politika ve stratejiler geliştirilmesi kaçınılmaz bir hal almıştır. Ortaya konulacak politika ve eylem planlarında; kurumsal yapısı güçlü atık yönetim sistemlerinin desteklenmesi ve ekonomik ve mali açıdan sürdürülebilir işletme stratejileri ortaya konulması durumunda yaşanabilir bir çevre imkânı sağlanabilecektir. Yapılan çalışma ile; ülkemiz için yeni bir teknoloji sayılabilecek bir uygulamanın özellikle büyükşehirlerdeki depolanabilir atık fazlalığının yakma bertaraf yöntemi ile yakılarak enerji girdisi elde edilmesi ve depolama alanlarından tasarruf edilerek ülke ekonomisine katkı sunması suretiyle diğer büyükşehir belediyelerine yol göstermesi amaçlanmıştır. Bertaraf yöntemlerinden biri olan yakma teknolojisi alternatif ve güvenilir bir çözümdür. Tesisin yatırım ve işletme maliyetlerinin ortaya konması suretiyle finansal, ekonomik, duyarlılık ve risk analizleri yapılarak ileride yapılacak olan benzer yatırımlar için teknolojik ve finansal öngöründe bulunulmaya çalışılmıştır. AB müktesebatı çerçevesinde hazırlanan uyum çalışmaları doğrultusunda uygulanan, çevre mevzuatının geliştirilmesi ve sürdürülebilir kılınması için çeşitli yaklaşım ve modeller üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Sürdürülebilir bir atık yönetimi için mali açıdan işletilebilmesi ve uygun bertaraf teknolojisinin seçilmesi gerekir. Ortaya çıkan atıkların uygun teknoloji ile bertaraf edilmesi ve çevreye olan risklerini en aza indirmek için etkin ve sürdürülebilir projelerle finansal ve ekonomik faydaları olan çözümlerin ortaya konması gerekmektedir.

Bu çalışmada, başta İstanbul olmak üzere diğer büyükşehirlerin atık rezervlerinin doğrudan yakılması sonucu elektrik üretme potansiyeline sahip olması, ekonomik ve çevresel açıdan önemlidir. Atığın enerjiye dönüştürülmesi ülke ekonomisine katma değer katan bir yatırım olması sebebiyle, yenilikçi ve öncü bir rol oynamaktadır. Tesis, 26 yıllık işletme döneminin ilk 9 yılında elektrik satışlarıyla kar elde ederken geri kalan yıllarda zarar etmektedir. Bunun sebebi Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından verilen destek priminin ortadan kaldırılmasıdır. 2031 yılından itibaren Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından destek priminin ödenmeye devam etmesi halinde her yıl yaklaşık 35 milyon Euro, 16 yılda yaklaşık 555 milyon Euro fazladan kar elde ederek, işletme dönemi boyunca 1,2 milyar Euro katma değer sağlanabilmektedir. Projenin fayda maliyet oranının 1,67 olması uygun bir yatırım olduğunu göstermektedir.

Evsel atık yakma ve enerji üretim tesisinin, ekonomik analiz değerlendirmelerinde dikkate alınması gereken bir çevresel maliyeti bulunmamaktadır. Buna karşılık katı atıkların yakılması yoluyla ağırlık açısından %75 ve hacim açısından %90 oranında azalma sağlanması, yine yakma işlemi dolayısıyla katı atıkların stabilize edilmesi, patojen mikroorganizmaların giderilmesi ve düzenli depolamaya oranla 1/3 oranında daha az sera gazı etkisi yaratılması gibi önemli avantajları olduğu görülmüştür. Bu yönüyle projenin çevreye zarar verecek herhangi bir etkisinin olmadığını, dış maliyetlerinin olmadığını ve çeşitli dış faydalarının olduğunu belirtmek yerinde olacaktır. Odayeri bölgesindeki katı atık yakma tesisi Silivri'deki düzenli depolama tesisine göre yıllık yaklaşık 6 milyon km yol tasarrufu avantajı sağlamakta ve yine yıllık 1,4 milyon ton CO2 emisyonu ile yaklaşık 700 bin aracın emisyonunu karşılayabilmektedir. Tesis evsel katı atıklardan enerji geri kazanımının ekonomik yönüyle olumlu olduğunu göstermektedir ve bu sebeple diğer büyükşehirlerde kurulacak tesisler için örnek olabilecek bir çalışma örneğidir.

Referanslar

- [1] K. Kumaş ve A. Ö. Akyüz , "Methane, Diesel Fuel, Electrical Energy, CO2 Emissions and Economical Equavialent from Animal Manure of Tokat, Turkey", International Scientific and Vocational Studies Journal, c. 5, sayı. 2, ss. 144-153, Ara. 2021, doi:10.47897/bilmes.969372
- [2] Savini F. The circular economy of waste: recovery, incineration and urban reuse, Journal of Environmental Planning and Management, 64:12, pp 2114-2132, 2021
- [3] Arıkan, E.; Kalender, Z.T.; Vayvay, Ö. "Solid Waste Disposal Methodology Selection Using Multi-Criteria Decision Making Methods and an Application in Turkey," Journal of Cleaner Production Volume 142, Part 1, pp 403-412 2017
- [4] Akmal, T.; Jamil, F. Testing the Role of Waste Management and Environmental Quality on Health Indicators Using Structural Equation Modeling in Pakistan. Int. J. Environ. Res. Public Health, 18, 4193. 2021
- [5] Marshall, R.E., Farahbakhsh, K., Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. Waste Manag 33, pp. 988–1003 2013.
- [6] Bayram, S.E. "Katı Atıkların Geriye Kazanımı ve Tarımsal Kullanım Olanakları", Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, Cilt.10, Sayı.2, pp:62-65. 2017
- [7] Palabıyık H, Altunbaş D, Kent sel Katı Atıklar ve Yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler (C. Marin, U. Yıldırım ed.), Beta Yayınları, pp.103-124. İstanbul. 2004.

- [8] Yang, Y., Liew, R.K., Tamothran, A.M. Gasification of Refuse-Derived Fuel from Municipal Solid Waste for Energy Production: A Review. *Environ Chem Lett* 19, pp. 2127–2140. 2021
- [9] Topal, H. "Plasma Gasification Technology for Solid Waste Disposal" *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol.30, No.4, pp.733-741, Ankara 2015
- [10] Koçak, E.; İkizoğlu, B. Types of Waste in the Context of Waste Management and General Overview of Waste Disposal in Turkey. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 4 (4), pp. 520-527. 2020.
- [11] Dede, Ş.; Ulutaş, A.; Yiğit, S: K. "Research of Leachate Treatability with Biological, Physical, Chemical and Membrane Bioreactor Processes," *Sigma Journal of Engineering and Natural Science*, SCI 34 (2), pp.199-209, İstanbul 2016
- [12] TÜİK Atık İstatistikleri [Basın bülteni]. Erişim adresi <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>. 2020.
- [13] U.S EPA. Advancing Sustainable Material Management 2015 Fact Sheet. Available at <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/advancing-sustainable-materials-management> Erişim tarihi 22.05.2021
- [14] Aydemir-Karadağ, A. "Katı Atık Depolama Tesisi Yer Seçimi için Birleştirilmiş Hedef Programlama ve AHP Yaklaşımı," *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:1 2019
- [15] Saltabaş, F.; Sosyal, Y.; Yıldız, Ş. Balahorli, V. "Municipal Solid Waste Thermal Disposal Methods and its Applicability in İstanbul", *Journal of Engineering and Natural Sciences-SIGMA*, 3, pp.109-116, İstanbul 2011.
- [16] Onwosi, C.; Igbokwe, V.; Odimba, J.; Eke, I.; Nwankwoala, M.; Iroh, I.; Ezeogu, L. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *J. Environ. Manag.*, 190, pp.140–157. 2017
- [17] Çevre Kanunu Resmî Gazete,,1 Temmuz 1983 Tarihli 18132 Sayılı 2872 Numaralı <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18132.pdf> (Erişim Tarihi: 27.05.2021)
- [18] Atık Yönetimi Yönetmeliği Resmî Gazete, 2 Nisan 2015, Sayı: 29314 Yönetmelik, Atık Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm> (Erişim Tarihi: 27.05.2020)
- [19] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023
- [20] Tedesco, D.E.A.; Scarioni, S.; Tava, A.; Panseri, S.; Zuorro, A Fruit and Vegetable Wholesale Market Waste: Safety and Nutritional Characterization for Their Potential Re-Use in Livestock Nutrition. *Sustainability*, 13, 9478. 2021.
- [21] Türkiye. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı web sayfası <https://tucev.csb.gov.tr/biliyor-musunuz-i-104667>. Erişim tarihi: 15.04.2022,
- [22] Tolay, M., Baileys, R., Waterschoot, A., , "Drying and Gasification Technologies for Industrial Wastewater Sludge", 12th Industrial Pollution Control Symposium, EKK 2010, June 16-18 2010, ITU, İstanbul-Turkey. 2010
- [23] Seadon, J. K., "Integrated Waste Management Looking Beyond the Solid Waste Horizon". *Waste Management - Pergamon Press*-. 26 (12): pp. 1327-1336. 2006
- [24] Mazlum, N.; Mazlum, S. "Kentsel Organik Katı Atıkların Kompostlaştırılması" *Katı Atık ve Çevre, Katı Atık Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Katı Atık ve Çevre*, 55, pp. 23-30. 2004.
- [25] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2014) Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi ve İşletme Klavuzu
- [26] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Çevre Durum Raporu (Çevre Durum Raporu 2016 yılı Özeti-İller).
- [27] Nanda, S.; Berruti, F. A Technical review of bioenergy and resource recovery from municipal solid waste. *J. Hazard. Mater.*, 403, 123970. 2021
- [28] Iwaszko, J.; Lubas, M.; Sitarz, M.; Zajemska, M.; Nowak, A Production of vitrified material from hazardous asbestos-cement waste and CRT glass cullet. *J. Clean. Prod.*, 317, 128345. 2021.
- [29] Mountouris, A, Voutsas, E, "Solid waste plasma gasification: Equilibrium model development and exergy analysis", *Energy Conversion and Management*, 47, pp.1723-1737, 2006
- [30] Sipra, A.T.; Gao, N.; Sarwar, H. Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts. *Fuel Process. Technol.*, 175, pp.131–147. 2018
- [31] Y. Mustafa, "Balıkesir İli Evsel Katı Atıklarının Bertarafında Uygun Termal Yöntemin Seçilmesi" Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2019.
- [32] Lu, J.-W.; Xie, Y.; Xu, B.; Huang, Y.; Hai, J.; Zhang, J. From NIMBY to BIMBY: An evaluation of aesthetic appearance and social sustainability of MSW incineration plants in China. *Waste Manag.* 95, pp. 325–333 2019
- [33] European Commission Integrated Pollution Prevention and Control "Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration" Brussel, 2006
- [34] Eurostat (2018) Eurostat 2018 Waste Treatments: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASMUN/default/table?lang=en. 26.11.2021
- [35] Vyas, S., Prajapati, P., Shah, A.V., Varjani, S., Municipal Solid Waste Management: Dynamics, Risk Assessment, Ecological Influence, Advancements, Constraints and Perspectives. *Science of the Total Environment*. 814, 152802. 2022
- [36] İ.B.B Fizibilite Raporu İBB Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi Projesi Fizibilite Raporu", Şubat 2019.
- [37] ÇED Raporu İstanbul Büyükşehir Belediyesi Atık Yakma ve Enerji Üretim Tesisi Projesi" Nihai Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu, Ankara, 2012.
- [38] İ.B.B Proje sunumu İBB Yapı İşleri Müdürlüğü'nün 03.03.2021 tarihli Proje Sunumu