KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT ÜRETİM TESİSLERİNDE İŞLETME SORUNLARI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

VEYSEL OZAN ANGIN

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT ÜRETİM TESİSLERİNDE İŞLETME SORUNLARI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

VEYSEL OZAN ANGIN

Doç. Dr. İsmail ÖZBAY
Danışman, **Kocaeli Üniversitesi** .....

Prof. Dr. Aykan KARADEMİR
Jüri Üyesi, **Kocaeli Üniversitesi** .....

Dr. Öğr. Üyesi Aliye Suna ERSES YAY
Jüri Üyesi, **Sakarya Üniversitesi** .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 15.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İnsanoğlunun refah düzeyini arttırmak için geliştirilen teknolojik unsurlar, üretimde kullanılacak enerji ihtiyacının sürekli artmasına neden olmaktadır. Fosil yakıtlar günümüzde hala enerji üretiminde tercih edilen en önemli yakıt türü olmasına karşın enerji ihtiyacının karşılanmasında dışa bağımlılığın azaltılması ve sürdürülebilir politikaların geliştirilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaların yanı sıra fosil yakıtların sektörde kullanımını azaltmaya yönelik alternatif yakıtlara yönelik planlamaların yapılması da zorunlu hale gelmektedir. Fosil yakıt tüketimini azaltmaya yönelik atıktan yakıt elde edilmesine dair çalışmalar, özellikle gelişmiş ülkelerdeki tüketim toplumlarının neden olduğu yüksek seviyedeki katı atıkların meydana getirdiği çevresel sorunların azaltılmasına farklı bir bakış açısı sağlamaktadır. Üretilecek atıktan türetilmiş yakıtlar, yüksek enerji gereksinimi duyan çimento fabrikaları gibi tesislerin fosil yakıt tüketim oranlarını azaltırken, depolanarak bertaraf edilmek zorunda kalınacak atıkların da yakıt olarak değerlendirilmesi sonucu depolama tesislerinin verimli bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayacaktır. Gerçekleştirilen bu çalışmada tehlikesiz atıklardan yakıt üretimi gerçekleştiren tesislerde gerçekleşen işletme sorunları pilot bazlı bir tesis bazında değerlendirilmiştir.

Tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. İsmail ÖZBAY ve Doç. Dr. Erhan GENGEÇ'e teşekkürü borç bilirim. Bu süreçte maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme gönülden teşekkür ederim.

Ocak – 2020 Veysel Ozan ANGIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
GİRİŞ 1
1. SIFIR ATIK KONSEPTİ VE ENTEGRE ATIK YÖNETİMİNDE ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKITLARIN ÖNEMİ 4
1.1. Entegre Atık Yönetiminde ATY Tesislerinin Önemi 5
1.2. Yakma Teknolojisi 8
1.3. Piroliz 10
1.4. Gazlaştırma 14
1.5. Plazma 17
2. ATIKTAN YAKIT ÜRETİMİ 20
2.1. ATY'nin Tanımı 20
2.1.1. Atıktan türetilmiş yakıt (ATY) 21
2.1.2. Katılardan (tehlikesiz atıklardan) geri kazanılmış yakıt (KGY) 22
2.2. ATY Üretiminde Kullanılan Atık Türleri 24
2.3. ATY'nin Sınıflandırılması 25
3. ATIKTAN YAKIT ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ 30
3.1. ATY Üretimindeki Temel İşlemler 31
3.1.1. Manuel ayırma 32
3.1.2. Poşet parçalayıcı döner elek 33
3.1.3. Boyut küçültme 33
3.1.4. Ayırma Sistemleri 34
3.2. ATY Kullanım Alanları 39
3.2.1. Çimento endüstrisinde kullanımı 40
3.2.2. Elektrik Santrallerinde Kullanımı 43
3.2.3. KTY Mono Elektrik Santrallerinde Kullanımı 44
3.3. ATY Üretiminin Avantaj ve Dezavantajları 44
4. MATERYAL VE METOD 45
4.1. İncelenen KTY Tesisinin Tanıtımı 45
4.2. Kocaeli'de Atık Yönetiminde ATY Tesislerine Olan İhtiyacın Belirlenmesi 46
4.3. İncelenen ATY Tesisinde Kullanılan Ekipmanlar ve Genel Özellikleri 46
4.4. ATY İşletmelerinde Karşılaşılan Sorunların Ekonomik Açıdan İncelenmesi 50
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 51
5.1. Kocaeli'de Atık Yönetiminde ATY Tesisi İhtiyacı 51
5.2. İncelenen ATY Tesisi Mevcut Durum Analizi 55

5.3. ATY Tesislerinde Karşılaşılan Sorunlar 56
5.3.1. ATY tesisi işletme maliyetleri 56
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 59
KAYNAKLAR 61
EKLER 63
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 67
ÖZGEÇMİŞ 68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Entegre Katı Atık Yönetimi Hiyerarşisi 6
Şekil 2.1. KTY Kompozisyonu ve Kullanımı 23
Şekil 3.1. Atık Karakterizasyonuna Göre ATY Üretim Teknikleri..... 31
Şekil 3.2. Kullanım Alternatiflerinden Elde Edilen ATY/KTY için Şematik Diyagram..... 39
Şekil 4.1. Tesis Genel Akım Planı..... 45
Şekil 4.2. Lindner Micromat 2000 Kırıcı 47
Şekil 4.3. Disan Hidrolik Pres 49
Şekil 4.4. Solmec Ekskavatör..... 49
Şekil 4.5. Komatsu Forklift 50
Şekil 5.1. Kocaeli ili yıllara göre artan nüfus miktarları 51
Şekil 5.2. Kocaeli ili yıllara göre artan atık miktarları 52
Şekil 5.3. Kocaeli ili 2040 yılı projeksiyonu..... 52
Şekil 5.4. Kocaeli İlinde Katı Atık Kompozisyonu..... 53
Şekil 5.5. 2017-2018 yılı toplam atık miktarı..... 55
Şekil 5.6. 2018 yılı aylara göre atık giriş ve çıkış miktarları 56
Şekil 5.7. ATY Tesisi Kırıcı Bakım Sarf Malzeme Maliyetleri..... 57
Şekil 5.8. Bakım çalışmalarında kırıcı ünitesi sarf malzeme maliyet yüzdeleri..... 58

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Standart Yakma Prosesleri 8
Tablo 1.2. Plazma Gazlaştırma ve Yakma Teknolojilerinin Karşılaştırılması 18
Tablo 2.1. KTY ve Evsel Katı Atık Özelliklerinin Kıyaslaması 23
Tablo 2.2. ATY için Sınıflandırma Sistemi 26
Tablo 2.3. ATY Hazırlama Tesislerinde Üretilecek Yakıtın Özellikleri 27
Tablo 2.4. Atıktan Türetilmiş Yakıt Sınıfları 28
Tablo 2.5. ATY'lerin Çimento Fırınlarında Kullanılabilmesi için Verilen Kriterler 29
Tablo 3.1. Manuel Ayırma Oranları ve Verimleri 32
Tablo 3.2. ATY'nin Geri Kazanılmasında Kullanılan Hava Sınıflandırıcılarının Tipik Çalışma ve Performans Özellikleri 35
Tablo 3.3. Referans Tesisler ve Elde Edilen Ürün Enerji İçerikleri 37
Tablo 3.4. ATY Tesisi Ekipman Fiyatları 38
Tablo 3.5. Hat Ekipmanı Maliyet Verileri 38
Tablo 3.6. Örnek Çimento Fabrikası Yakıt Tüketimi 41
Tablo 3.7. Kömür ve ATY Karşılaştırması 42
Tablo 3.8. Kömür ve ATY Karşılaştırması 42
Tablo 3.9. Kömür Yakıtlı Enerji Santral için Kalite Parametreleri 43
Tablo 4.1. Kırıcı Ünitesinde Kullanılan Sarf Malzemeler 47
Tablo 4.2. Kırıcı Ünitesinde Kullanılan Sarf Malzeme Birim Fiyatları 48
Tablo 4.3. Disan Hidrolik Pres Genel Özellikleri 48
Tablo 5.1. Kocaeli ilinde atık işleme ve miktarı 53
Tablo 5.2. Aylık İşletme Maliyetleri 57

ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT ÜRETİM TESİSLERİNDE İŞLETME SORUNLARI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

ÖZET

Nüfusun hızla artması, beraberinde insanoğlunun ihtiyaçlarını arttırmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanması için teknolojik anlamda yaşanan gelişmeler insanlığın enerji gereksinimini gün geçtikçe zorunlu kılmaktadır. Bu enerjiyi elde etmek için kullanılan ve doğal yoldan elde edilen yakıtların tükenebilir oluşu ortaya çıkan maliyetleri arttırmaktadır. Enerjinin verimli kullanılmasını öngören politikalar, daha çevreci ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik gelişmeler ve planlamalar sürdürülebilir enerji yönetimine destek sağlamaktadır. Atıklardan yakıt üretimi gelişmekte ya da gelişmiş toplumlarda nüfus atışına bağlı olarak oluşan katı atık sorununa farklı bir bakış açısıyla çözüm getirmektedir. Çimento fabrikaları gibi geleneksel yakıtları kullanan tesislerin bu yakıtlara olan bağımlılığını azaltacağı gibi depolama tesislerinin atık depolama sorunlarına da bir çözüm olacaktır. Yapılan bu çalışmada, tehlikesiz atıklardan yakıt nitelikli ürün üreten bir tesisinde meydana gelen işletme sorunları ve çözüm yaklaşımları incelenmiştir. Bakım ve onarım maliyeti yaklaşık 200.000 TL/yıl olan bu tesisin atık işleme kapasitesi yıllık 5.000 ton olarak belirlenmiştir. Ortaya çıkan bakım onarım maliyetlerinin %70'i rotor üstü bıçak ve rotor üstü bıçak takozlarının aşınması, kırılmasından kaynaklı değişiminden meydana geldiği görülmektedir. Uygun fiziksel yapıya sahip olmayan atıklar bıçak ve takozların kırılmasına neden olmakla birlikte bu maliyeti arttırdığı görülmektedir. Mevcut sistemin üretim verimliliğini iyileştirmek için kaynağında ayırma ve belirlenmiş prosedürlere göre uygun atık seçiminin önemli olduğu görülmektedir. Uygulanacak bu iyileştirme yöntemleri ile enerji ve çevrenin korunmasına ayrıca bakım onarım maliyetlerinin de düşürülmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Atıktan Türetilmiş Yakıt, Atık Yönetimi, Bakım ve Onarım Maliyeti, Enerji.

PROCESS PROBLEMS IN SOLID RECOVERED FUEL PRODUCTION PLANTS AND SOLUTION APPROACHES

ABSTRACT

Demand for energy has been increasing day by day parellel to the technological developments aimed to meet requirements of the increasing population. As fossil fuels used in energy production are being depleted, concerned costs are increasing continiously. In order to ensure sustainable energy management, it is obligatory to make plans for renewable energy sources as well as policies that will ensure efficient use of energy. Plans for obtaining fuel-based products from waste, which will provide an alternative solution to the solid waste problem in developed societies, reduce the fossil fuel requirement of high energy consuming facilities such as cement plants, while also helping to reduce the volume of waste that will go to storage facilities. In this study, operating problems and solution approaches are investigated for a solid recovered fuel plant The cost of maintenance and repair is estimated to be approximately 200,000 TL / year for this plant with an annual processing capacity of 5.000 tons. 70% of the cost of maintenance and repair is due to the change of the rotor blades and the rotor blade tracking wedge. This cost is coming from the wastes having physical structure which is not suitable (causing breaking of blades and wedges) for the present process. In order to increase the production efficiency, separation at source and selection of suitable wastes are important. By this way, protection of environment and energy and also reduction of maintenance and repair costs can be achieved.

Keywords: Solid Recovered Fuel, Waste Management, Cost of Mainteance and Repair, Energy.

GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik büyümelerini sürdürülebilir hale getirebilmesi inovatif ürün geliştirebilme yeteneklerine ve ürettikleri ürünlerin pazarlarını arttırabilmesine bağlı olmaktadır. Bu durumda özellikle gelişmiş ülkelerde tüketim toplumlarının oluşmasına neden olmaktadır. Tüketim toplumlarında sürekli teknolojik gelişmeye bağlı olarak yeni ürünü alma isteği ekonomik değeri olan ve miktar açısından sürekli artış eğiliminde olan atık sorununu yerel ve ulusal yönetimler için önemli bir konu haline getirmektedir. Ülkemizde oluşan belediye atıkların bertaraf yöntemleri incelendiğinde hala %90'ının belediye çöplüklerinde ya da düzenli depolama sahalarında bertaraf edildiği görülmektedir (TUİK,2016). Özellikle biyobozunur içeriği yüksek olan belediye atıklarının depolanan miktarlarının azaltılabilmesi için Nisan 1999 tarihli AB Düzenleme Direktifi (99/31 / EC)'nde depolamadan önce belediye katı atıklarından (MSW) biyobozunur organik madde içeriğinin kademeli olarak azaltılmasını öngörmektedir (Lonardo ve diğ., 2012). Ülkemizde de benzer kısıtlama, 2010 tarihli "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik"de, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça 2025 yılına kadar %65 azaltılması gerekliliğiyle yürürlüğe konmaktadır (RG, 2010). Atık azaltımı ve ayrı toplama ile geri dönüşüm uygulamaları belediyelerin katı atık yönetimi stratejisinin ana bileşenleri olmasına karşın ilgili kısıtlayıcı hedeflerin sağlanabilmesi için yeterli olamamaktadır. Avrupa'da ilgili hedeflerin sağlanabilmesi için kentsel katı atıkların depolama öncesi işleme tabi tutulduğu mekanik-biyolojik arıtma tesisi (MBT) sayısında kayda değer artış görülmektedir (Tintner ve diğ.,2010). MBT'lerde ayrıştırma işlemi sonucu yüksek enerji içeriğine sahip yakıt nitelikli ürünler (kağıt, karton vb.) ortaya çıkmaktadır. Geri dönüşüm için kalitesi düşük olan ancak kalorifik değeri yüksek olan bu atıkların bertaraf edilmesi gereken bir malzeme olarak görülmediği, yakıt nitelikli bir ürüne dönüştürülebileceği atıktan türetilmiş yakıt (ATY) tesislerinin entegre atık yönetiminin bir parçası haline getirilmesi zorunlu hale gelmektedir.

Ülkemizde yakıt tüketimi en fazla konutların aydınlatılmasında ve ısınma amaçlı olarak gerçekleşmektedir. En fazla tüketim yaklaşık 18.6 milyar kWh elektrik ile gerçekleştirilirken, bu elektriğinde fosil yakıtlardan elde edildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Doğrudan yakıt olarak ise 1.5 milyar m3 doğalgaz, 30.6 milyon ton katı yakıt, 1.2 milyon ton sıvı yakıt tüketimi gerçekleşmektedir (TUİK,1998). İstatistiki verilerden de görülebileceği gibi yakıt tüketiminde dışa bağımlılığımız oldukça yüksek olup atıktan yakıt nitelikli ürün elde edilmesi enerjideki dışa bağımlılığımızı azaltmasının yanında sürdürülebilir çevre politikalarına da katkı sağlayacaktır.

Günümüzde fosil kullanımının neden olduğu küresel ısınmanın etkisini azaltmak için üç temel strateji üzerinde durulmaktadır. Bunlardan karbon yakalama ve depolama teknolojileri atığın önlenmesinden çok atık oluştuktan sonra kirlilik düzeyini azaltmaya yönelik çalışmaları içermektedir. Ayrıca oluşacak karbonun yakalanmasına yönelik yatırım belirsizlikleri de bu yöntemlerin ticari olarak tercih edilmesinde engel oluşturmaktadır. Bir diğer yöntem olan elektrik üretim verimliliğine yönelik çalışmalarda sistemin kalitesini arttırmak için kullanılması gerekli gelişmiş malzemelerin performansı tam olarak test edilemediğinden ekonomik açıdan cazip olamamaktadır. Son strateji olarak ikincil yakıt olarak biyokütle kullanımı daha basit teknolojilerle hedeflerin sağlanabilmesine katkı sağlayabilmektedir.

Kentsel katı atıklardan türetilen ATY, yaklaşık %70 biyokütle fraksiyonu ile çok düşük maliyetle üretilebilir ve konvensiyonel fosil yakıtın bir tamamlayıcısı olarak önemli bir kullanılabilmektedir (Garg ve diğ.,2009). ATY tesislerinden elde edilen biokütle, yüksek enerji ihtiyacı olan çimento fabrikalarında ve enerji üretim tesislerinde karbon ayak izini azaltmaya yönelik ikincil yakıt olarak kullanılabilme potansiyeline sahip bir hammadde olarak değerlendirilebilmektedir.

Enerji potansiyeli yüksek olan atık fraksiyonlarının kurutma, ezme ve sıkıştırma gibi ön işlemlerle pelet haline getirilmesi ile elde edilen ATY piroliz, gazlaştırma ve yanma prosesleri için de önemli bir hammaddedir. ATY kısaca katı atıkların içerisinde geri dönüştürülebilen fraksiyonlar ayrıştırıldıktan sonra geriye kalan, yüksek kalorifik değere sahip yanabilen atık fraksiyonlar olarak da ifade edilebilir.

ATY tesislerinde elde edilen bu ürünün en önemli avantajları nispeten sabit yoğunluk ve boyuta sahip olması, düzgün bileşimi, yüksek ısıl değeri ve kolay taşıma imkanı olarak ifade edilebilir (Duo ve diğ., 2007).

Atıktan türetilmiş yakıtlarla ilgili gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde daha çok farklı atıklardan yakıt üretimi, uygulama politikaları, entegre atık yönetimindeki yeri, kullanımları sonucu oluşan emisyonlar gibi konularda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. (Garg ve diğ.,2009; Garg ve diğ.,2007; Conesa ve diğ. 2011, Ripa ve diğ.,2017; Moya ve diğ.,2017). Bu tür tesislerin işletilmesi sırasında karşılaşılan sorunlar ve üretim maliyetleri üzerine etkisine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Gerçekleştirilen çalışmada, tehlikesiz atıklardan ATY üretiminin gerçekleştirildiği tesislerin genel özellikleri incelenerek, 5.000 ton/yıl işleme kapasitesi ile çalışan ATY tesisinde karşılaşılan işletme sorunları ve çözüm yaklaşımları incelenmiştir.

1. SIFIR ATIK KONSEPTİ VE ENTEGRE ATIK YÖNETİMİNDE ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKITLARIN ÖNEMİ

Sıfır atık oluşan atık miktarlarının azaltılmasını, buna bağlı olarak israfın önlenmesini, etkin toplama sistemlerinin kurulmasını, kaynakların verimli kullanılmasını, oluşan atıkların tekrar değerlendirilmek üzere geri dönüştürülmesini kapsayan atık oluşumunu önleme yaklaşımıdır. Sıfır atık yaklaşımının sağlanabilmesi için entegre atık yönetim planlamasında nihai bertaraf seçeneğinin kaldırılarak döngünün kurulması gerekmektedir.

Atıkların değerlendirilmeden bertarafı gerek enerji gerekse ham madde tüketimi açısından ciddi kayıpların oluşmasına neden olmaktadır. Geri dönüşüm ve geri kazanım süreci bu kayıpların en aza indirgenmesine olanak sağlamaktadır. Dünya nüfusundaki sürekli artış ve teknolojik gelişmeler bağlı olarak artan yaşam standartları doğal kaynakların aşırı tüketimine neden olmakla birlikte çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Doğal kaynaklar üzerindeki baskı gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama konusunda toplumları küresel anlamda ortak bir politika uygulamaya sevk etmektedir. Doğal kaynakların optimum düzeyde ve verimli kullanımının önemini kaynakların kısıtlılığı nedeniyle her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle günümüzde sıfır atık uygulama çalışmaları hem kentsel hem de kurumsal anlamda dünya üzerinde yayılmaktadır.

Sıfır atık yaklaşımının hayata geçirilmesi ile israfın önüne geçilerek maliyetler düşürülmekte, sistemin verimliliği arttırılarak çevresel riskler azaltılmakta, yaşam standardı ya da üretim kalitesi düşürülmeden çevresine duyarlı tüketici ve üreticilerin oluşmasına destek sağlamakta, ulusal ve uluslararası mecralarda saygınlığın arttırılması elde edilmektedir (URL-5).

Günümüzde çok fazla tükettiğimiz metaller, yakıtlar ve mineraller gibi ham maddeler ile toprak, hava, su, gıda, biyokütle ve ekosistemleri de içeren doğal kaynaklar, yaşam kalitesinin arttırılması ve ekonomik kalkınmasının sağlanmasında temel ihtiyaçlardır. Doğal kaynakların ve ham maddelerin kesintisiz akışını sağlayacak

sürdürülebilir politikalar ile iyi işleyen bir ekonomik kalkınma sağlanabilir. 1900 yılına göre, dünya nüfusu 5 katına, kişi başına ham madde kullanımı 2 katına, enerji tüketimi ise 3 katına çıktığı günümüzde kaynakların verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanımı kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmektedir. (ÇŞB E.K.2017)

Sanayi devrimiyle başlayan ve sürekli artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik bilimsel çalışmalardaki gelişmelerle ivme kazanan teknoloji alanındaki yenilikler tüketim alışkanlıklarının ve yaşam standartlarının değişmesine ve geçmişe kıyasla yönetilmesi gereken daha fazla miktarda atığın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durum doğal kaynak sıkıntısı yanında tüm canlı türlerini kötü anlamda etkisi altına alacak boyutlara varan toprak, hava ve su kirliliği gibi sorunların da artmasına neden olmuştur.

Kalkınmanın sürdürülebilir hale getirilebilmesi için atıkların kontrol altına alınması, gelecek nesillere gelişmişlik düzeyi yüksek bir toplumun yanında temiz ve yaşanabilir bir dünya bırakmak için bütünleşik bir yaklaşımla atıklar değerlendirilerek sıfır atık prensibine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Sıfır atık yaklaşımında atıkların yakma ya da düzenli depolama ile bertarafının önüne geçilerek, atık azaltımı ve geri dönüşüm potansiyelleri üzerine durulmaktadır. Dolayısıyla fosil yakıt tüketiminin azaltılması gerek bu yakıtların doğadan çıkarılması sırasında oluşan çevresel sorunların azalmasına destek vererek gerekse tükenebilir nitelikteki miktarlarında tasarruf sağlayarak sıfır atık yaklaşımına örnek bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil yakıt tüketimlerinin azaltılmasındaki en iyi politikalardan biri de alternatif yakıt türlerinin ortaya çıkarılması ile mümkün olabilmektedir. Enerji içeriği yüksek atıklardan türetilmiş yakıt nitelikli ürünler bu konuda en önemli çalışma konularından birisi olup, ATY tesislerin verimliliği hem atık hem de enerji yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1. Entegre Atık Yönetiminde ATY Tesislerinin Önemi

Gelişmekte olan ülkelerde, özellikle belediyelerde artan kentsel katı atık miktarları günümüzde ciddi bir problem olmakta ve uygun bir yönetim planlaması ile bu sorunlarla mücadele zorunlu bir hale gelmektedir. Entegre atık yönetimi, bir sistem ya da proses içerisinde oluşan atıkların tamamını bütünsel olarak değerlendiren ve bu

bütünün elemanlarının her birini verimlilik ve etkinlik açısından irdeleyen bir uygulama sistemidir. Entegre atık yönetimi planlaması ile mevcut sistem içerisinde oluşan atıkların çevreye ve ekonomiye olan etkilerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Atık yönetim sistemi en son teknik ve bilgiler kullanarak atıkların nihai bertarafının çevreye bıraktığı zararı en aza indirgemektedir. Ancak entegre atık yönetim çalışmaları kapsamında ekonomik unsurlar da göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle ideal atık yönetim planlaması, kullanılacak yöntemlerin ekonomik ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesinden geçmektedir.

Sürdürülebilir atık yönetiminin sağlanabilmesi için oluşturulacak entegre yönetim sisteminin her bir elemanının çevresel ve ekonomik yükleri incelenerek bu mekanizmanın sürekli olarak işletilmesi gerekmektedir. Genel olarak entegre kentsel katı atık yönetim stratejileri Şekil 1.1'de görülebileceği gibi dört aşamalı katı atık yönetimi hiyerarşisine dayanmaktadır. Bu hiyerarşinin temel bileşenleri kaynakta azaltma ve yeniden kullanım, geri dönüşüm/kompostlama, enerji geri kazanımlı yakma ve depolama şeklinde ifade edilebilir (Tchobanoglous et al., 1993).



Şekil 1.1. Entegre Katı Atık Yönetimi Hiyerarşisi (Jidapa Nithikul, 2007)

Çevreye verdiği yük açısından en ekonomik atık yönetim sistemi toplum yaşantısına engel olmadan en az atığın üretildiği sistemdir. Atık miktarını minimize etmek için ise tüketimin azaltılması ve gereksiz kullanımın önüne geçilmesi, materyal olarak geri kazanımının sağlanması ve veya atıklardan enerji üretim teknolojilerinin gerekli olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Nihai bertaraf ise hiçbir şekil

değerlendirmenin mümkün olmadığı durumlarda tercih edilecek bir alternatif olmalıdır.

Bu kapsamda entegre atık yönetimi, tüm katı atıkları kapsadığından belirlenmiş katı atık türlerine endekslenmiş ve atığın yalnızca kaynağına yönelik bir atık yönetimi muhtemelen etkin olamayacaktır. Atık yönetiminde kullanılan seçeneklerin etkinliği kaynağında ayrıştırma verimliliğine bağlı olup, her bir atık mevcut özelliklerine göre geri dönüşüm, biyolojik olarak geri kazanım (kompostlama), atıktan enerji üretimi gibi proseslerle değerlendirilmelidir.

Katı atıklardan enerji üretimi konusu incelendiğinde karşımıza çıkan yöntemler; düzenli depolama, yakma, piroliz, gazlaştırma ve anaerobik çürütme ile biyogaz oluşumudur.

Düzenli depolama yönteminde kentsel katı atıklar çevre ve mühendislik açısından uygun şartlar sağlanmış alanlarda biriktirilirek nihai bertarafı sağlanmaktadır. Depolama işlemi esnasında atıkların biyo-bozunması sonucu yüksek enerji değerine sahip metan ve karbon dioksitten meydana gelen depo gazı oluşmaktadır. Bu gazın sahip olduğu enerji genellikle direkt ısıtma sistemlerinde, içten yanmalı motor veya gaz türbinli kojenerasyon ünitelerinde kullanılmaktadır.

Yakma yönteminde ise atıklar ya doğrudan herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan yakma fırınlarında yakılarak ya da ön işleme tesislerinde işlenerek elde edilen kalorifik değeri yüksek yakıtların akışkan yataklı yakma sistemlerinde yakılması sonucu bertaraf edilebilmektedirler. Yakma işlemi ile elde edilen enerji, ısı ve elektrik üretiminde kullanmaktadır. Diğer bir termal dönüşüm yöntemi olan gazlaştırmada ise atıklardan sentez gazı olarak adlandırılan bir yakıt elde edilmektedir. Sentez gazı enerji üretiminde de kullanılmaktadır. Piroliz organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak küçük moleküllü bileşiklere dönüşmesidir.

Anaerobik çürütme ise bir biyolojik dönüşüm yöntemidir. Bu yöntemde reaktörler içerisinde organik içeriği yüksek kentsel atıkların oksijensiz ortamda biyo-bozunması sonucu biogaz üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu reaktörlerde ortam koşulları kontrol edilebildiği için ortaya çıkan biyogazın içerisinde bulunan metan miktarı depo gazına göre daha fazla olmaktadır. Meydana gelen biyogaz depo gazı gibi direk ısıtma

sistemleri, içten yanmalı motorların çalıştığı elektrik üretim sistemlerinde veya kojenarasyon ünitelerinde kullanılmaktadır.

Atık yönetiminde termal yöntemlerin kullanılabilmesi için atığın belirli bir enerji içeriğine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle ATY tesisleri termal yöntemlerin uygulanılanacağı atık yönetim sistemleri için de önemli bir ön işlem üniteleridir. Aşağıda atıktan türetilmiş yakıt niteliğindeki ürünlerin değerlendirilebileceği termal yöntemler kısaca açıklanmaktadır.

1.2. Yakma Teknolojisi

Atık hacimlerinin azaltılması, patojen ve mikroorganizma giderimi ile stabilizasyon işleminin sağlanması ve ortaya çıkan yüksek ısıdan enerji elde edilmesi atıkların yakılarak bertaraf edilmesinde temel amaçlar olarak sıralanabilir. Bu yöntem özellikle ısıl değeri yüksek geri kazanıma-dönüşüme elverişli olmayan atık türleri için kullanılmaktadır. Yakma teknolojilerinin en büyük üstünlüğü atık miktarında ağırlık olarak %75, hacim olarak ise %90 düşüş sağlayabilmesidir. Tercih edilmesinde olumsuz görülen özelliği ise yakma sonucu oluşacak ve önlem alınmadığı takdirde hava kirliliğine neden olacak baca gazı emisyonlarının arıtma sistemlerinin maliyetinin oldukça yüksek olmasıdır. Yakma teknolojileri özetle atıkların uygun proseste yakılma işlemine tabi tutularak boyutlarının düşürülmesi ve açığa çıkacak kalorifik değerinden faydalanılması prosedürüdür.

Fırın tiplerine göre yanma prosesi üçe ayrılırlar (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Standart Yakma Prosesleri (R&R, 2010)

Fırın tipi	**Uygulama alanı**
Izgara fırını - Silindirik ızgara - Doğru yatay ızgara - Ters akışlı yatay ızgara	9-15 MJ/kg kalorifik değere sahip karışık karışık katı atık ve evsel katı atıkların yakılmasında tercih edilmektedir.
Akışkan yataklı fırınlar	5.5-35 MJ/kg gibi geniş aralıkta kalorifik değere sahip homojen atıkların yakılmasında tercih edilmektedir. Akışkanlaştırılmış yatakta yakılacak atıkların öncelikle sınıflandırılıp homojenize edilmeleri gerekmektedir.
Döner fırınlar	7-35 MJ/kg aralığında kalorifik değere sahip çamurlu, sıvı veya katı karışık atık ve tehlikeli atıkların yakılmasında tercih edilmektedir.

Izgara fırınları, yakma prosesi için gerekli olan havanın girişi, yakılacak atığın yanma özellikleri ve kalorifik değerine göre hesaplanarak ayarlanmaktadır. Atık beslemesi ve oluşan cürufun prosesten uzaklaştırması, ızgara sisteminin hesaplanması gereken etkenlerindedir. Bu da yakma havasının homojen olarak tüm atık parçalarına ulaşmasını sağlar. Baca gazındaki fazla hava oranının yüksek olması yakmanın yeterli olduğu anlamına gelmektedir. Baca gazlarının fırın çıkışındaki sıcaklığı 850 °C fırında kalma süresi en az 2 saniyedir. Atıkların ızgarada ilerlemesi için, ızgaranın mekanik hareketi ile atıklar karıştırılır ve ilerlemesi sağlanır. Bu mekanik hareket havalandırmanın iyileştirilmesinde destek rolü oynar. Yakma fırınlarındaki yüksek ısı sebebiyle, atıklar fırına girer girmez hemen kurutulur ve sonrasında kurumuş atıklar kendiliğinden yanar. Yakma prosesi takribi 1000 °C'de gerçekleşir, herhangi bir enerji ilâvesi gerektirmez. Yakma ısısı prosesin devamında buhar kazanı vasıtasıyla depolanıp değerlendirilir. Evsel atık için en sık görülen fırın tipi ızgara fırınlarıdır. Izgara fırınların kullanım alanları oldukça geniştir. Bu fırınların kapasitesi 1ton/saatten daha az, 50 ton/saatten daha fazla tesislerde kullanılabilecek kadar geniş bir yelpazeye sahiptir.

Sabit akışkan yataklı fırınların ortasında reaktör bulunur. Bu reaktör genellikle huni veya silindirik şekilde düzenlenmiştir. Atıklar parçalayıcı ekipman ile 100 mm dane çapına kadar parçalanır. Bu boyuta indirilmesinin sebebi akışkan yatağında yakılabilmesidir. Akışkan yatak ince taneli inert malzemelerden oluşmaktadır. Diğer atıklarla beraber sistemin altından verilen yakma havasıyla birlikte uçurularak homojenize edilmektedir. Bu sayede de hareket halinde tutulmaktadır. Nemli atıklarda bulunan su, oluşturulan akışkan yatakta bulunan malzemelerin yardımıyla ısıtılıp buharlaştırılmaktadır. Atıklar herhangi bir enerji ihtiyacına gerek duymadan yanma noktasına kadar ısıtılmaktadır.

Döner fırınların bilhassa uygulama noktası tehlikeli atıklardır. Evsel atıklar için kullanıldığında ise ön işlemlere gerek duyulmamaktadır. Yakma prosesi, alevle ya da yanan atıklarla başlatılır. Proses kontrolü, dolma derecesi ve dönme hızı üzerine yapılır. Dolma derecesi atık karışımına göre değişiklik gösterip yaklaşık %5'tir. İlâve edilen hava, ızgara ya da akışkan yataklı fırınlardakinin aksine atıkla birlikte doğru akımla fırından geçer.

Ön ayrıştırma işlemlerine göre ise yakma sistemleri ikiye ayrılmaktadırlar;

- İşleme tabi tutulmadan katı atık yakma
- İşleme tabi tutulan katı atık yakma

Kentsel katı atıklardan enerji üretiminin dünyada en yaygın olan teknolojisi atıkların herhangi bir ön işlem uygulanmadan yakılmasıdır. Bu proseste işleme tabi tutulmamış katı atıklar doğrudan fırınlarda yakılmaktadır. Meydana gelecek başlıca ürün buhardır. Bu buhar doğrudan kullanılabilmekte ya da elektrik enerjisine dönüştürülebildiği gibi sıcak su ve soğutma suyu olarak da kullanılmaktadır. Bu yöntem yıllardır birçok endüstriyel sistemde kullanılmaktadır. İlk verimli kullanım örnekleri kamu sektöründeki kömür yakma tesisleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

ATY (atıktan türetilmiş yakıt) evsel ya da endüstriyel katı atıklar, geri kazanılabilen malzemeler (plastik, cam, metal vb.) ayrıştırıldıktan sonra geriye kalan yanabilir malzemeden elde edilen alternatif bir tür katı yakıttır. Yakıt olarak kıyaslandığında işlenmiş katı atık işlenmemiş katı atığa oranla daha avantajlıdır. Başlıca avantajları fiziksel ve kimyasal bileşimin homojen olması, daha sabit ve yüksek kalorifik değer, nakilinin daha kolay olması, yanma esnasında hava ihtiyacının daha az olması ve baca gazı emisyonlarının daha düşük olmasıdır.

Yüksek kalite standartlarına göre hazırlanan ATY birçok yakma sisteminde kullanılan yakıt türüne destek yakıt olarak kullanılabilmektedir. ATY'nin yüksek kalite özelliklerinde üretilebilmesi için katı atığın birden fazla işlemden geçirilerek işlenmesi gerekmektedir. Bir ATY üretim prosesi sistemdeki yabancı bileşenleri ayırmak ve daha önce belirlenen standartlarda ATY üretmek için düzenlenmiş birkaç prosesten oluşmaktadır. ATY üretim prosesi genellikle sırasıyla elleçleme, parçalama, boyut küçültme, sınıflandırma, ayırma, kurutma ve harmanlama aşamalarından oluşmakta ve ekipmanların tipi, sayısı ve işlevleri oluşan ürünün kalitesini etkilemektedir.

1.3. Piroliz

Organik maddelerin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda bozunması işlemine piroliz adı verilmektedir. Piroliz işlemi sonucun da H_2, CH_4, CO, CO_2 ve diğer gazları içeren gaz (sentez gazı), katran ve çeşitli yağları içeren sıvı ve/veya kömür

granülü, karbon ve diğer inert materyalleri içeren katı fazlardan oluşan proses ürünleri elde edilmektedir. Bir yakıt türü olan biyokütleyi diğer yakıt türlerine dönüştürmede kullanılan en eski yöntemlerden biri olan piroliz sonucu elde edilen piroliz yağı genellikle ham petrolün yarısına eş bir enerji içeriğine sahiptir. Bu nedenle proses sonucu elde edilen bu yağ, ısı ve enerji üretiminde petrolün yerine tercih edilebilmektedir. Petrol gibi, pirolitik yağda taşınması kolay bir ürün olup, arıtılarak pek çok farklı ürüne dönüştürülebilmektedir. Piroliz ile elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerin kalitesi piroliz hızı ayarlanarak gerçekleştirilebilmektedir. Tahtayı kömür granülüne dönüştüme de geleneksel olarak kullanılan yavaş pirolizde uçucu bileşenin taşıdığı enerji boşa harcamış olmaktadır. Elden edilen piroliz gazının kalorifik değeri kullanılan hammaddeye bağlı olarak 10-20 MJ/m^3 arasında değiştiği görülmektedir. Eğer piroliz prosesinde organik hammadde olarak plastik içerik kullanılırsa elde edilen gaz 18-20 MJ/m^3 arasında kalorifik değere sahip olabilmektedir Piroliz prosesinin sıcaklıkları, düşük sıcaklıklı piroliz için 450-600 ^oC ve yüksek sıcaklıklı piroliz için 850-1000 ^oC arasındadır.

Piroliz işlemi sonucu elde edilen ürünler, yüksek yakıt özellikleri nedeniyle kolaylıkla elektrik, ısı ve diğer yan ürünlere dönüştürülebilmektedir. Tanımlanan tekniklere bağlı olarak biyo-yağ, hafif fuel-oil ve ağır fuel-oil olarak kullanılabilir. Piroliz gazı, elektrik üretimi için jeneratörlere bağlı olan gaz türbinlerinde veya gaz motorlarında yakılarak kullanılabilmektedir. Piroliz gazı ile elde edilen elektrik enerjisi dağıtımındaki kolaylık, yüksek satış bedelleri ve global düzeyde oluşturulan prosedürlere entegre edilmesi açısından ilgi duyulan bir enerjidir. Kojenerasyon üniteleri ile verim oranı tatmin edici düzeylere ulaşırken, işletme maliyetleri göz önünde bulundurarak daha hızlı geri dönüş alınan yatırımlar gerçekleştirilebilmektedir. Ancak uygulanan sistemin ihtiyacı karşılamak için mevcut türbin ve motorların istenilen düzeye gelmesi için hala geliştirilmesi gerekmektedir.

Piroliz sonrasında ortaya çıkan ürünler hidrojene de dönüştürülebilmektedir. Meydana gelen bu ürün hidrojen verimini arttırmak içinde kullanılabilmektedir.

Biyokütle + Isı › H_2 + CO + CH_4 + diğer ürünler (Hızlı Piroliz)

Hızlı piroliz bir termal bozunma prosesidir. Yüksek ısıtma hızı, yüksek sıcaklıklar ve kısa gaz işlem süresine gereksinimi bulunmaktadır. Bahsi geçen bu üç parametre

sentez gazı ve katı atık kompozisyonun şekillenmesinde ana unsurlardandır. Günümüzde bu parametrelerin önemi bilinerek, kullanılacak ısıtma hızının, reaktör tipinin ve biyokütle çeşidinin seçimi araştırılmaları üzerine yoğunlaşılmıştır. Piroliz işleminde kullanılan reaktörler döner fırın, yüzey temaslı ve ısıtılmış tüp gibi farklı çeşitlilikteki reaktörlerdir. Reaktörlerin yapılandırılması ve işletme değişkenleri, başlangıç anında kuru haldeki biyokütleden %85'lere varan verimlerde gaz üretilebilmesi için en uygun hale getirilebilmektedir. Piroliz teknolojisinin diğer termal ve biyolojik proseslere göre sahip olduğu avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Elektrik üretilebilecek, motor ya da türbinlerde kullanılabilecek yüksek kalorifik değerde gaz üretmektedir.
- Karbon kredileri ticareti için biyokütle miktarları uygun oranlardadır.
- Ortaya çıkan gaz, motor ya da gaz türbinlerinde yakılmadan önce arıtıldığından dolayı çevre üzerindeki baca gazı emisyon değerleri çok daha düşüktür.
- Yakma ve gazlaştırma ile kıyaslandığında kirlilik kontrolü daha kolay ve maliyeti daha düşüktür. Prosesten ortaya çıkacak gazların hacmi de yakmaya oranla daha azdır.
- Sentez gazı; diğer gazlara göre (biyogaz, depo gazı), türbin ve motor çeşitlerinde daha verimli enerji üretilebilmesi için kullanılabilmektedir.
- Piroliz prosesinden ortaya çıkan yan ürünleri ve sistemde oluşan atıklar kara yollarında veya farklı sektörlerde stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilmektedir.
- Piroliz tesislerin inşası modüler olduğundan diğer tesis kurulumlarına kıyasla daha kolaydır.

ATY'nin pirolizi ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Lin ve diğ. (1999), 300 ton/gün atık işleme kapasitesine sahip ön ayrıştırma tesisinde üretilen ATY'nin 773 K sıcaklıkta piroliz edilmesiyle yaklaşık %28 yağ, %30 oranında yoğuşmayan hidrokarbon gazı ve %42 oranında katı artık üretildiğini göstermişlerdir. Termal gravimetrik analiz yöntemleri yardımıyla piroliz oranını kantitatifi olarak belirlerken, piroliz reaksiyon hızlarının belirlenmesinde ATY'yi oluşturan ana materyallerin (kağıt, düşük yoğunluklu polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen polistren ve polivinil klorür) fraksiyonlarından ağırlıklandırılmış toplama yöntemini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucu ATY'nin kendisi ile ATY'deki plastik

atıkların ağırlıklandırılmış toplama yöntemi arasındaki piroiz kinetiklerinin de benzer sonuçlar gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Dolayısıyla ATY'yi oluşturucak komponentler arasında önceden yapılacak deneysel çalışmalar ile piroliz sonucu ürün kalitesini geliştirmeye yönelik menü oluşturma teknikleri de geliştirilebilmektedir.

Miskolczi ve diğ. (2010), biyokütlenin iki aşamalı pirolizini araştırmak için Malezya Nükleer Ajansından elde edilen bir ATY numunesi kullanmışlardır. Yakıt olarak önemli potansiyel değerinden dolayı farklı katalizörlü ATY'lerin iki aşamada gerçekleştirilen termo-katalitik pirolizinin sonuçları, test edilen katalizörlerin ürün miktarını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Yapılan çalışmalar, Ni-Mo ve Co-Mo katalizörlerinin, pirolitik yağ üretme işleminde iyi aktivite gösterdiği ve pirolitik yağlarda kükürt, azot ve klor seviyesinin katalizörler kullanılarak önemli ölçüde azaltılabildiğini ortaya koymaktadır.

Cozzani (2000), akışkan yataklı piroliz reotöründe düşük ısıtma hızlarında (60 ^{o}C/dk) yanıcı olmayan materyallerin mekanik olarak ayrılması ile üretilen ATY'nin pirolizinden elde edilen karbonların oksijen ve karbondioksitindeki reaktiviteyi incelemiştir. ATY karbonunun, belediye katı atıklarından ve odundan elde edilen karbonunkine oldukça benzer bir reaktivite gösterdiği, ancak oksijende yaklaşık 5 derecelik büyüklükteki grafitinkinden daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Piroliz işleminin son sıcaklığının 500 °C'den 800 °C'ye yükseltilmesi, H/C oranının düşmesine ve karbonun oksijende önemli ölçüde daha düşük bir reaktiviteye neden olduğunu göstermiştir.

Steplen ve diğ. (2019), ATY'lerin düşük sıcaklıkta pirolizi sonucu elde edilen alternatif yakıtların termogravimetrik ve kalorifik karakteristiğini incelemiştir. ATY'nin yüksek heterojenliği ve çeşitli bileşenlerinin diğer bileşenlerin ayrışmasını etkileyebilmesi nedeniyle prosesin enerji dengesinin kurulmasında zorluklara neden olmaktadır. Çalışmada gerçekleştirilen TGA analizleri, ATY'deki ana organik madde ayrışmasının plastiklerin ayrışmasındaki tipik aralık olan 400 ile 600 °C arasındaki sıcaklık aralığında gerçekleştiğini göstermektedir. Sonuçların böyle olmasının temel nedeni ise belediye katı atıklarından elde edilen ATY'nin temel bileşeninin de plastik olmasıdır.

Yapılan çalışmalar ATY'nin piroliz için önemli bir kaynak olabileceğini göstermektedir.

1.4. Gazlaştırma

Gazlaştırma 18. yy'ın sonlarından günümüze kadar gelen bir teknoloji olup, özellikle gelişmekte olan ülkeler için biyokütlenin kullanılabilirliği açısından gelecekte de yakıt üretiminde alternatif bir teknoloji olarak önemli rol alacağı düşünülmektedr. Enerji kaynağı olarak kullanılan biyokütlenin birçok dezavantajı bulunmaktadır. Düşük enerji yoğunluğuna sahip ham biyokütle kaynakları direk olarak yakıldığı takdirde, çok düşük verim gösterirken, iç ve dış mekanlarda yüksek seviyede hava kirliliği oluşmasına neden olmaktadır. Gazlaştırma termokimyasal dönüşüm ile biyokütleden gaz yakıt elde edilmesini amaçlayan bir prosestir. Teknolojik gelişmelerle uygun şartlar sağlanmış biyokütle enerjisi, üretim ve kullanım sırasında yakıttın yoğunluğunu arttırdığı gibi emisyonların azalmasını sağlamaktadır.

Gazlaştırma terimi yakıtın stokiometrik hava miktarından daha az havayla yakıldığı kısmi bir yanma prosesini tarif eder ve kentsel katı atıkların hacminin azaltılmasında ve enerji geri kazanımında verimli bir teknolojidir. Gazlaştırmanın elektrik üretim veriminin daha iyi olması yanmaya göre en büyük avantajıdır. Temel enerji üretimi ise yanmadan daha düşüktür. Gazlaştırma prosesinde atığın kısmi yanması sonucu CO, H_2 ve başta CH_4 olmak üzere bazı doymuş hidrokarbonlardan oluşan yanabilir bir gaz yakıt elde edilir ve sentez gazı olarak adlandırılır. Elde edilen gaz daha sonra gaz türbini, içten yanmalı motor ve boilerde yakılarak enerji elde edilebilmektedir.

Gazlaştırma yöntemi yakma yöntemi ile mukayese edildiğinde atık bertarafı için çevreye uyumlu ve yenilikçi bir uygulamadır. Bunun sebebi sentez gazı temizlendiği için NOx ve SOx gibi kirletici bileşiklerin salınım miktarları daha düşüktür ve yakmaya oranla kullanılan kısıtlı oksijen miktarı daha azdır. Bu sebeple daha düşük hacimde baca gazı emisyonunu açığa çıkarmaktadır. Ayrıca, sentez gazının elektrik verimin daha fazla olmasının sebebi daha yüksek sıcaklıklarda yakılmasıdır. Sentez gazı, kojenerasyon tesislerinde buhar türbinleri ile elde edilen verimlerden daha yüksek bir verimde gaz türbinleri ya da motorlarında yanabilmektedir.

Sentez gazı anaerobik çürütme ile üretilen biyogazla karşılaştırıldığında daha yüksek kalorifik değere sahiptir ve gaz motorları ve türbinlerinde daha iyi yanar. Gazlaştırma sonucu ortaya çıkan yan ürünler çoğunlukla inert/tehlikesiz olup, stabilizasyon veya yol iyileştirme malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir. Prosese aktarılan malzemenin %80'i gaza dönüştürülür. Geleneksel kömür yakma ve gazlaştırma karşılaştırıldığında elektrik üretiminde Megavat başına %50 daha az CO_2, %10 daha az NOx ve %90 daha az SOx emisyon avantajı sağlamaktadır (Dr. Merve Tezçakar).

Gazlaştırma üniteleri sabit yataklı veya akışkan yataklı reaktörler şeklinde olabilmektedir. Sabit yataklı gazlaştırıcılar oldukça kolay tasarlanabilmekte ve çalıştırılabilmektedirler. Bu yüzden küçük ve orta ölçekli güç ve termal enerji kullanımları için uygun olmaktadırlar. Fakat çalışma sıcaklıklarını her bölgede aynı tutmak ve reaksiyon bölgesindeki gaz fazını yeterli oranda karıştırmak zor olmakta ve sonuç olarak ortaya çıkan gaz ürün miktarını önceden tahmin edilememektedir. Bu yüzden büyük ölçekli güç kullanımına yönelik tercih edilmemektedirler.

Akışkan yataklı biyokütle gazlaştırma teknolojilerinde aşağıdaki işlemler gerçekleşmektedir;

- Katı atık ön hazırlama aşamasından sonra hazırlanan atık kompozisyonu akışkan yataklı gazlaştırıcıya alt kısımdan verilmektedir.
- Akışkan yatağa giren katı atık taneciği ilk önce suyunu kaybedip kuruması amaçlanır. Bu işlemin sıcaklığı 250°C- 400°C arasında farlılık göstermektedir.
- Katı atık parçacıkları, gazlaştırıcı süresince yukarıya doğru hareket eder. Bu esnada 400°C–600°C arasında sıcaklığa ulaştıktan sonra piroliz olmaya başlar. Piroliz işleminin devamında katı parçacıklar kok, katran, CH4 ve H2'ye parçalanmaktadır.
- Taşıyıcı akışkan yataklı gazlaştırıcının altından başlangıçta ısıtılmış oksijen girer. Sistemdeki hava hem yukarıya doğru taşıyıcı görevi hem de gazlaşma görevi görmektedir.
- Katı atık parçacıkları 900 °C sıcaklığa ulaştığında, giren havanın oksijeni ve H2O kok ile reaksiyona girer ve ortaya çıkan gaz, genel olarak CO, H2, CO2, CH4 içeren, 900°C sıcaklıkta bulunan sentez gazıdır.
- Katı atık parçacıkları boyut olarak daha da küçülmüş ve sadece külü kalmıştır. Yukarıya doğru ilerlerken kömür gazı 800 °C'ye soğumaktadır.

- Sentez gazı, gaz temizleme bölgesine gazlaştırıcıdan çıkıp 400 °C – 600 °C'ye ulaştığında çekilir. Burada kül ve toz toplayıcı özel siklonlar bulunur.

Gazlaştırma prosesinin yan ürünleri katran, kömür ve küldür. Üretilen gazın içten yanmalı motorlarda yanabilmesi için katran ve partiküllerin temizlenmesi gerekmektedir. Üretilen gazın yanabilen içeriği başlıca karbon monoksit, hidrojen, hammaddeye bağlı hidrokarbon gazlar ve azotun değişik oranlarda karışımıdır. Gazlaştırma reaksiyonu ile üretilen gaz bileşimindeki diğer gazlara nazaran azot içerikli gazın ısıl değeri 4-6MJ/m^3 olup daha düşüktür. (E.İ.G.M, 2018).

Gazlaştırma ile elde edilen gazın enerji içeriği içten yanmalı motorlarda, kazanlarda ve fırınlarda kullanıma uygundur. Azot içeren bu gaz orta ve uzun taşımacılık için tavsiye edilmemektedir. Tam kapasiteli yanmanın sağlanabilmesi için havanın yerine oksidant olarak saf oksijen veya buhar kullanıldığında yüksek enerji yoğunluğuna sahip gaz elde edilebilmektedir. Isıl değeri düşük olmasına rağmen gaz motorları ve türbinlerinde, elektrik üretiminde veya içten yanmalı motorlarda katı biyokütle gazlaştırılarak enerji kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir. Bu metotla kullanıma uygun ve modernize edilen gaz yakıtlar daha az zararlı emisyon salınımı ile geleneksel yakıtlar gibi kullanılabilmektedir. Dolayısıyla gazlaştırma katı biyokütle enerjisini değerlendirmenin önemli bir seçeneğidir.

Morris ve Waldhesim (1998), gelişmiş gazlaştırma teknolojisi kullanılarak KTY'lerden enerji geri kazanımını incelemişlerdir. Isı geri kazanımlı modern atık yakma ile karşılaştırıldığında, gazlaştırma işleminin elektrik üretiminde %50'ye varan bir artış sağlayacağını ortaya koymuşlardır. Galvogno ve diğ. (2006) ATY'nin buhar ile gazifikasyonunu gerçekleştirmiştir. Deneysel veriler, gaz veriminin gaz kompozisyonuna bağlı olarak sıcaklıkla arttığını ve hidrojen içeriğinin de diğer gaz bileşenlerine kıyasla arttığını göstermektedir. 950 °C veya daha yüksek işlem sıcaklıklarında elde edilen sentetik gaz, amonyak sentezi veya yakıt hücresi uygulamalarında hidrojen üretmek için uygun gibi gözükmektedir.

Matterazi ve diğ. (2016), ATY gazifikasyonunun performans analizini gerçekleştirdiği çalışmada, tek başına akışkan yatak gazlaştırıcılarının kullanıldığı proseslerde ana teknik sorunun, ATY'nin bünyesindeki atık malzemelerin bileşimi ve fiziksel özelliklerinden kaynaklandığını belirtmektedirler. ATY'deki yüksek

miktarda kül ve uçucu madde, termal verimde bir düşüş sağlayabilir, yüksek kül klinkeri oluşturabilir ve katran ile CO_2 emisyonunu arttırabilir. Böylece endüstriyel ölçekte temiz sentetik gaz üretimi için çalışabilirliği etkileyebilirken, birincil gazlaştırma ve seçici katran ile kül dönüşümünü ayıran iki aşamalı bir gazlaştırma işlemi, doğal olarak daha bağışlayıcı ve kararlı olacağını ortaya koymuşlardır.

Win ve diğ. (2019), atık kağıt ve plastik içeren ATY ile odun biokütlesinin akışkan yataklı gazifikasyon prosesinde elde edilen gaz karakterizasyonunu incelemiştir. ATY ve odun peletlerinden elde edilen gazların alt ısıl değerlerinin sırasıyla 3,4 ve 5,9 MJ/Nm^3 olduğunu gözlemlemişlerdir. Borbogna ve diğ. (2019), ATY'den gazifikasyonla metanol üretimini incelemiştir. Atıkların sentez gazında yüksek sıcaklıkta dönüşümü Atık-Metanol işleminin ana adımıdır. Ancak, üretilen syngas, metanol sentezi gerekliliklerine doğrudan uymadığından, syngas saflaştırma ve iyileştirme aşamaları gerekli olmaktadır.

ATY, plastiklerin yanı sıra yüksek miktarda biyolojik olarak çözünebilir madde içerebilmekte ve gazlaştırmada birincil fosil yakıtların doğrudan yerine kullanılarak geri dönüştürülemeyen atık fraksiyonlarının bertaraf edilmesine olanak sağlamaktadır. Gazlaştırma ajanları ile ATY arasında meydana gelen ve sentez gazı üreten fizikokimyasal süreçler, karmaşık ve değişen besleme kompozisyonu, proses tasarımı ve çalışma koşullarından etkilendiğinden bu parametrelerin optimizasyonu ile birlikte, gazlaştırma işlemi, farklı dönüşüm mekanizmalarının bir dizisi olarak gerçekleştirilebileceğinden ilgili konulara yönelik çalışmalar sürekli gelişmektedir.

1.5. Plazma

Gazlaştırma ve piroliz sonucunda ortaya çıkan ara ürünler çevreyi etkileyecek büyük sorunlar içermemektedir. Fakat atıkların içerisinde ağır metal bulunması durumunda risk devam etmektedir. Plazma teknolojileri ise işletme sıcaklıklarının oldukça yüksek olması nedeni ile reaksiyon sonucunda gazlaşma ürünleri ve katı seramik-cam yapıda kül oluşturmaktadır. Oluşan bu iki ürün de zararlı bileşenler bakımından an az riske sahiptir.

Eritmede veya cam oluşturucuların eklenmesiyle atığın içerdiği katı maddeyi camsı yapı içinde tutabilmesi için plazma reaktörleri kullanılmaktadır. Camsı yapıya sahip

ürün tekrar kullanım imkânının yanında güvenle geri kazanılabilir hurda metaller gibi yüksek değerli ürünleri de elde etme imkânı sunmaktadır. Bu imkanların yanı sıra, plazmalar tehlikeli organik bileşenleri termal yolla zararsız gazlara dönüştürebilmekte ve alternatif olarak gazlaştırma ve piroliz kullanılarak organik atıklar fosil yakıt yerine kullanılabilecek sentez gazına dönüştürülebilmektedir. Maliyeti yüksek bir enerji kaynağı olan elektriği kullanması plazma ile tehlikeli atıkların bertarafı işleminin en büyük dezavantajıdır. Bununla birlikte uzun dönemli bir yatırım olarak düşünüldüğünde hem sürdürülebilir bir atık yönetimi sağlayacağı hem de ekonomik açıdan uygun hale gelebileceği görülmektedir. Ortaya çıkacak olan sentez gazının kalorifik değeri ve içeriği dikkate alındığında elektrik enerjisi tüketimi kabul edilebilir düzeylerde kalmaktadır.

Plazma teknolojileri ile evsel katı atıkların bertarafında geleneksel yakma teknolojilerine göre üstünlükleri Tablo 1.2'de verilmektedir. Tabloda maddeler halinde verilen ve çarpıcı üstünlükleri bulunan plazma teknolojisi özellikle tehlikeli atıkların bertarafı konusunda kabul gören bir teknolojidir.

Tablo 1.2. Plazma Gazlaştırma ve Yakma Teknolojilerinin Karşılaştırılması (Osst ve diğ.,2006)

Plazma Gazlaştırma	**Yakma**
Sentez gazı üretimi sırasında zararlı emisyonlar oluşmaz	Gaz emisyonları yüksek düzeyde sera gazzı diğer hava kirletici maddeler dioksin ve furan gruplarını içerir.
Hidrokarbon ve duman emisyonu oluşmaz.	Yüksek oranlarda hidrokarbon ve duman emisyonu açığa çıkabilir.
Ticari değeri olan cürufları tesirsiz kılmak için katılar 1/150 oranında az hacim kaplar	Katıların %30 'u katı bir atık oluşturur. Bu atıklar potansiyel zararlı katı atık olan kül olarak kalır.
HOksijeni alınmış bir değiştirici kanalda işlem gerçekleşir.	Fazla hava yakma fırınına eklenir.
Plazma jeneratörü termal işlem için gerekli tüm enerjiyi sağlamaktadır.	İşlemi sürdürmek için ek yakıt gerekir.
Atıklar zengin enerjili gaz yakıt oalrak ayrıştırılır.	Tüm enerji ısıya dönüştürülür.

Plazma ile yapılan çalışmalarda incelendiğinde, Achinas ve Kapetanios (2013), sentez gazı üretmek için ATY kullanan bir plazma gazlaştırma işleminin verimlilik değerlendirmesinde, plazma gazlaştırma prosesinin olağanüstü çevre ve enerji performansı ile gelişmiş bir atık yönetimi ve ısıl işlem teknolojisi olduğunu ifade

etmiştir. Bu işlem, kömür, biyokütle veya diğer organik atıklar gibi malzemeleri, oksijen ve/veya buhar miktarı ile çok yüksek sıcaklıklar kullanarak karbon monoksit ve hidrojene dönüştürmektedir. Yapılan çalışma sonucunda, ATY kullanımı için plazma gazlaştırma işleminin termodinamik modellemesi pozitif enerji değerleri ile sonuçlandığı belirlenmiştir. Bu enerji sonuçları, sürecin çevresel özellikleri ile birlikte, plazma gazlaştırma işleminin atık işleme ve elektrik üretimi için çok faydalı bir teknoloji olduğunu göstermektedir.

Günümüzde, birçok ülke aşırı miktarda atık sorunuyla karşı karşıyadır. Gelişmekte olan ülkeler şu anda çöp depolama alanlarını kullanmakta ve bu depolama alanlarının neden olduğu büyük çevre sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır. Plazma işlemi, günümüzde etkin olmasada katı atıkların arıtılması için gelecek vaat eden bir yöntemdir. Bu süreç, ATY'nin arıtılması ve enerji geri kazanımı için etkili ve çevre dostu bir seçenek olup, önerilen sürecin etkili bir şekilde uygulanması, plazma gazlaştırma sürecinin sadece enerjiden bağımsız olmadığını, aynı zamanda net bir elektrik üretimini sağlayabileceğini göstermektedir.

2. ATIKTAN YAKIT ÜRETİMİ

2.1. ATY'nin Tanımı

ATY terimi genellikle kentsel atıkların, ticari atıkların ve endüstri proseslerinden çıkan atıklardan ayrıştırılmış yüksek kalorifik değere sahip kısmı için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra ATY'ler için ikincil yakıt ya da ikame yakıt ifadeleri de kullanılmaktadır. Avrupa Birliğinde kentsel katı atığın bünyesinde farklı fraksiyonlardan elde edilen yakıtlar için geri kazanılmış yakıt (Recovered Fuel-REF), ambalajlardan türetilmiş yakıt (Packaging Derived Fuel-PDF), kağıt-karton fraksiyonu (Paper and Plastic Fraction-PPF), proseslerden tasarlanmış yakıt (Process Engineering Fuel-PEF) gibi terimlerinde kullanıldığı görülmektedir (Pesonen ve diğ., 2016; Hernandez ve diğ., 2007; Win ve diğ., 2019; Owoso ve diğ.,2018).

ASTM standardı (2006) tarafından tanımlanan başka bir tanıma göre ATY, kentsel katı atıklardan metal, cam ve diğer inorganik malzemelerin çıkarıldığı ve ağırlıkça %95'inin partikül büyüklüğü 2 inçlik bir kare elek içinden geçebilen parçalayıcıdan geçirilmiş bir yakıt olarak tanımlanmaktadır.

Ülkeler bazında incelendiğinde İtalya'da 1998 yılına kadar yanabilir nitelikte atıktan elde edilmiş ürünler için atıktan türetilmiş yakıt olarak ifade edilen "Refused Derived Fuels" (RDF) terimi kullanılırken, daha sonra İtalyanca atık kaynaklı yakıtlar olarak ifade edilen "Combustibili derivato di rifiuti" (CDR) terimi kullanılmıştır (EC,2003). Hollanda'da, geleneksel biokütle yakıtlar ile diğer yüksek ısıl değere sahip atıklar arasında ayırım yapmak için ATY terimi kullanılmaktadır. Birleşik Krallıkta ise, atıktan enerji üretim tesislerinde kullanım olanağı olan kentsel katı atıkların işlenmiş kağıt/mukavva/plastik kısımlarını veya endüstriyel atıkları ifade etmek amacıyla ATY veya 'lif yakıt' terimi kullanılmaktadır. Avusturya ve Almanya'da ise çöpten gelen yakıt anlamı taşıyan "Brennstoff aus Müll" (BRAM) ifadesi bu tür atıkların tanımlanmasında kullanılırken yaygın şekilde "Ersatzbrennstoff" ikame yakıt terimi de kullanılmaktadır. İsveç'te ise çimento endüstrisi şartnamelerine göre hazırlanan atıktan türetilmiş yakıtları ifade etmek için 'Specialbränsle A' ve

‘Lattbränsle’ terimleri kullanılmaktadır. İspanya'da COMBSU terimi SLF (Secondary Liquid Fuel Blending) ikincil sıvı yakıt karışımını temsil ederken, TDF (Tired-Derived Fuel) ise araba lastiklerinden türetilen yakıtları kastetmektedir.

Ülkemizde ise 20.06.2014 tarihli ve 29036 Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği”nin Ek-III’ünde verilen özelliklere uygun maddesel geri dönüşümü ekonomik olamayan ambalaj atıkları, belediye atıkları ve sanayiden kaynaklanan atıklardan üretilen yakma veya beraber yakma tesislerinde kullanılabilen atıktan türetilmiş yakıt olarak tanımlanmaktadır. Evsel ya da endüstriyel katı atıkların cam, metal, plastik, kağıt, karton gibi geri kazanımı mümkün olan malzemelerin ayrıştırıldıktan sonra geriye kalan kalorifik değeri yüksek atıklardan elde edilen alternatif katı yakıt türüdür.

Ham kentsel katı atıklar yüksek nem içeriğine, düşük kalorifik değere, geniş partikül büyüklüğü dağılımına ve yüksek kül içeriğine sahiptir. Bu nedenle doğrudan yakıt olarak kullanımları zor olmaktadır. Bunların materyal geri kazanım tesislerinde geri dönüştürülemeyen yanabilir fraksiyonlarından ATY üretilmesi birçok avantaj sağlamaktadır. Başlıca avantajları, oldukça sabit kalan daha yüksek kalorifik değer, daha fazla fiziksel ve kimyasal bileşim homojenliği, depolama kolaylığı, işleme ve taşıma, düşük kirletici emisyonlar ve yanma sırasında aşırı hava gereksiniminin azaltılmasıdır. (Caputo and Pelagagge, 2002).

Atıktan yakıt nitelikli ürün elde edilmesine yönelik yapılan çalışmalarda elde edilen ürünün kalitesi ve sınıflandırılmasında atıktan türetilmiş yakıt (ATY) ve katılardan geri kazanılmış yakıt (KGY) terimlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

2.1.1. Atıktan türetilmiş yakıt (ATY)

ATY (RDF-Refused derived fuels), atıktan türetilmiş yüksek kalorifik değere sahip yakıt anlamına gelir. Bu yakıt, katı atık olarak adlandırılan yanıcı ve kalorifik değere sahip bileşenlerden oluşmaktadır. Genellikle endüstriyel veya ticari alanlardan temin edilen atıklar parçalanmakta, kurutulmakta ve balyalanarak farklı sektörlerde elektrik üretmek için yakılmaktadır. Atıktan türetilmiş yakıt, geri dönüşümü olmayan atıkların çöp sahalarında birikmesini engellerken, alternatif bir yöntem olarak kullanılmasını sağlayan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.

Belirlenmiş atıklar ve kalorifik değere sahip geri kazanılabilir yan ürünler, mevzuatlar içinde uygunsa, geleneksel fosil yakıtların yerine, çimento fırınlarında alternatif yakıt olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca bu yakıtlar istenilmesi durumunda sadece ön işlemden geçirilerek de kullanılabilmektedir.

ATY içerisinde farklı türde yanıcı bileşenler işlenebilmektedir. Bu bileşenler, geri dönüştürülemeyen plastikler, kartonlar, etiketler ve genellikle oluklu malzemelerdir. Bunların yanı sıra endüstride oluşan tehlikeli atıklar da bu yöntemde değerlendirilip oluşacak zararlı etkilerin önüne geçilmesi sağlanabilmektedir. Bu yöntemle üretilen atıktan türetilmiş yakıt tehlikeli atıklar için çevresel sorunların önüne geçilmesine de katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra mevcut durumda kullanılan kömür gibi fosil yakıtların kullanım miktarlarında düşüş sağlayıp, enerji santralleri, çimento fabrikaları gibi tesislerin emisyon değerlerini de olumlu yönde değiştirebilmektedir.

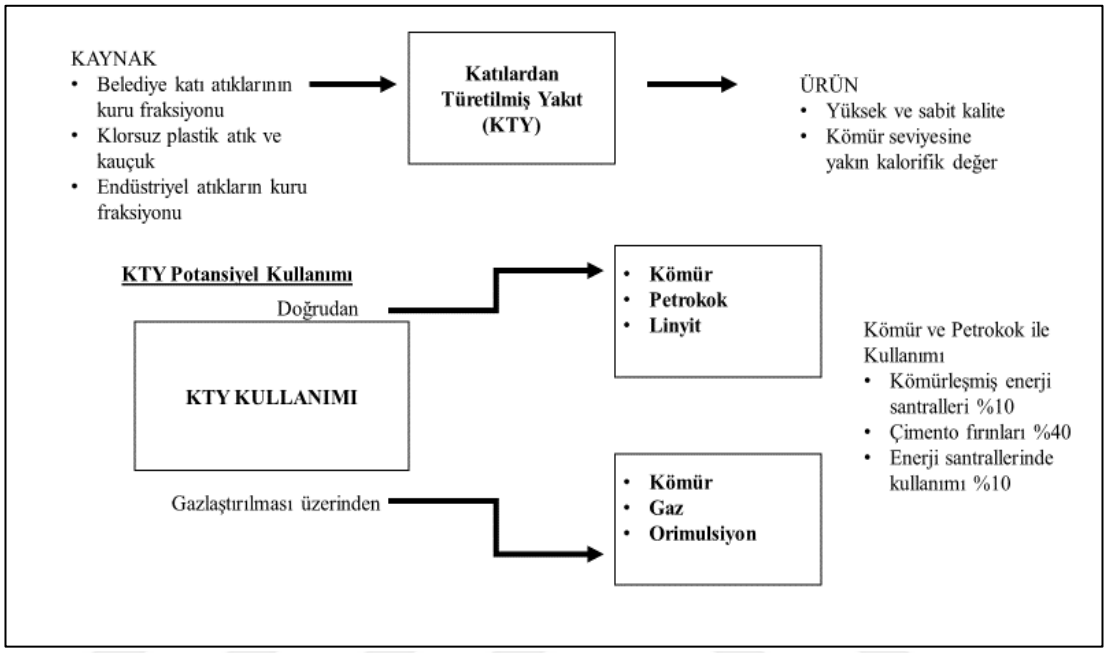
2.1.2. Katılardan (tehlikesiz atıklardan) geri kazanılmış yakıt (KGY)

KTY (SRF-Solid Recovered Fuels), yönetmeliklerde tehlikelisiz atık olarak nitelendirilen atıklardan hazırlanan, türlerine göre sınıflandırılan ve şartname gerekliliklerini karşılayan katı yakıtlardır. KTY proseslerinde tehlikesiz atıklar üreticiler ve tüketiciler arasında uygun görülen kaliteye kadar işlenerek homojenleştirilmekte ve kalorifik değeri yükseltilmektedir. KTY'nin kullanımı diğer kaynakların korunmasını sağlayarak, “Enerji güvenliği” AB stratejisine katkıda bulunurken CO2 emisyonlarından da kaçınılarak Kyoto hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Şekil 2.1 de görüldüğü gibi KTY kompozisyonu için belediye atıkları, klorsuz plastik ve kauçuk atıkları, endüstriyel atıkların nem oranı düşük türleri kaynak oluşturmaktadır. Meydana gelen ürün yüksek ve sabit kalorifik değere sahiptir. Kullanım alanları ise doğrudan fosil yakıtlar yerine ya da gazlaştıma prosesinden sonra kullanılmasıdır.

Tehlikesiz atıklardan üretilen KTY ve evsel katı atıkların genel özellikleri Tablo 2.1’da verilmektedir. Bu veriler bölgelerin tüketimlerine göre değişim göstermekle birlikte yiyecek atık oranı %20’nin altında olan bölgelerdeki kentsel katı atıklar ile üretilen KTY’lerin kalorifik değerleri arasında büyük farklılıklar olmadığı

görülmektedir. Bu durum bu atıkların atıktan türetilmiş yakıta dönüştürülmesini daha ekonomik hale getirebilmektedir. Kentsel atıkların içerisindeki yanmayan inorganik ve biyobozunur nitelikteki atıkların giderimi kentsel katı atıkların yakıt niteliği özelliği kazanmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 2.1. KTY Kompozisyonu ve Kullanımı (The current and future role of SRF (Solid Recovered Fuel) in the European Waste Management Industry,2006)

Tablo 2.1. KTY ve Evsel Katı Atık Özelliklerinin Kıyaslaması (Genç, 2013)

Parametre	**Evsel Katı Atık**	**KTY**	
		25-100mm	> 100 mm
Yoğunluk (kg/m3)	289,9	334,8	179,1
Kâğıt (%)	28,62	8,08	5,7
Plastik (%)	26,33	29,15	57,81
Bahçe Atığı (%)	4,05	4,6	4,21
Tekstil (%)	9,03	7,43	18,23
Yiyecek Atığı (%)	14,04	0	0
Deri/Kauçuk (%)	0,58	1,13	1,48
Metal (%)	6,99	1,09	0,03
Cam (%)	7,26	0	0
Seramik ve porselen	0,47	0	0

Tablo 2.1.(Devam) KTY ve Evsel Katı Atık Özelliklerinin Kıyaslaması (Genç, 2013)

Parametre	**Evsel Katı Atık**	**KTY**	
		25-100mm	> 100 mm
< 5 mm (%)	1,59	16,15	8,89
> 5 mm (%)	1,04	32,36	3,65
Isıl değer			
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	2277,8	2554,5	3715,9
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	1816,3	2095,7	3296
Elemental Analiz			
C (%)	20,11	24,45	29,24
H (%)	2,92	3,21	3,3
N (%)	0,55	1,09	1,04
Cl (%)	0,18	0,16	0,23
S (%)	0,8	0,1	0,05
O (%)	12,58	11,69	15,9
Kısmi Analiz			
Nem (%)	50,65	47,55	40,28
Kül (%)	12,21	11,75	9,96
Yanıcı içerik (%)	37,15	40,7	49,76

2.2. ATY Üretiminde Kullanılan Atık Türleri

20 Haziran 2014 yılında Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği'ne göre ATY hazırlama tesislerinde EK-I'de belirlenen özellikleri taşıyan ve EK IV'de belirtilen atık kodlarına sahip atıklar kullanılabilmektedir (URL-4). Tebliğe göre radyoaktif, gaz, parlayıcı madde, bulaşıcı hastalık riski olan ve başka mevzuatlarca düzenlenmiş geri kazanımına izin verilmeyen atıkların ATY üretim tesislerinde işlenmesine izin verilmemektedir. ATY Üretiminde kullanılabilecek atık türleri aşağıda şekilde özetlenebilir:

- Evsel Katı Atıklar
- Endüstriyel Atıklar

- Plastik ve Kağıt/Karton Atıkları (Ticari Ve Endüstriyel Faaliyetlerden Kaynaklanan)
- Üretim Atıkları
- Ambalaj Atıkları
- Atık Lastikler
- Biokütle Atıkları
- Kontamine Olmamış Ahşap Atıkları
- Bitkisel Atıklar (Sap, Saman, Kabuk vb)
- Kurutulmuş Evsel Atıksu Arıtma Çamurları
- Kağıt ve Kağıt Üretimi Atık Çamurları
- Tekstil Atıkları
- Hayvansal Atıklar
- Araç Parçalanmasıyla Oluşan Atık
- Yüksek Kalorifik Değere Sahip Tehlikeli Atıklar
- Emprenye Edilmiş Ağaç Talaşları
- Endüstriyel Çamurlar
- Atık Solventler
- Atık Yağlar
- Halı Atıkları ve Kırpıntılar
- Çocuk Bezi Üretim Atıkları
- Tekstil Atıkları

2.3. ATY'nin Sınıflandırılması

Sınıflandırmanın amacı, adından da anlaşılacağı gibi elde edilen ürünü kalitesine göre derecelendirmektedir. Dolayısıyla üretilen ATY'nin sahip olduğu bir takım ekonomik, teknik ve çevresel parametreler üzerinden sınıflandırılması yapılmaktadır. Sınıflandırma yöntemi halihazırda bir ATY'nin tüm bilgisini sağladığından hem üretici hem de kullanıcı, uğraştıkları ATY tipi hakkında bilgi sağlamış olmaktadır. Sınıflandırmayı "Yüksek Kaliteli ATY" ve "Düşük Kaliteli ATY" arasındaki farklılık olarak görmemek gerekir. Böyle bir ayrıştırmanın sınıflandırmanın hedefi olduğunu düşünmek hatalı bir yaklaşım olur. Üretilen ATY'ler, özelliklerine göre bir sınıfa atanarak mevcut tüm ATY'lere genel bir bakış sağlamak için sınıflandırma yapılmaktadır. Ayrıca sınıflandırma dolaylı da olsa çevrenin korunmasına yüksek bir

katkı sağlamaktadır. Her bir ATY artık sınıflandırılabildiğinden, kullanılacak ATY'nin gerçekten kötü çevresel özelliklere sahip olup olmadığı ve özel ham gaz temizleme teknolojisine ihtiyaç duyulup duyulmadığı bir bakışta netleşebilecektir. Sınıflandırma sayesinde kullanılacak ATY'nin türü ve uygulanacak teknolojiler hakkında karar vermek daha sistematik bir hale gelecektir.

AB'de, 2006'dan bu yana yürürlükte olan ve UNI CEN / TS 15357–15747 normlarında olmak üzere 30 farklı teknik belgede kentsel katı atıklarından elde edilen yakıtların sınıflandırmasıyla ilgili çalışmalar detaylı olarak anlatılmaktadır. Bu 30 farklı belge atıktan türetilmiş yakıtlarının tüm tanımlarını, özelliklerini, ilgili parametreleri ve analitik yöntemleriyle birlikte örnekleme yöntemlerini ortaya koymaktadır (Rada ve Ragazzi, 2014). ATY hazırlanması ve hazırlama tesislerinde bulunması gereken asgari şartlara ilişkin teknik, idari ve uyulması gereken kurallar ülkemizde ise 2014 tarihli Resmi Gazete ile yürürlüğe giren "Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği" ile ortaya konulmuştur (URL-4).

CEN15359 dokümanında verilen metodolojiye göre ATY'nin özellikleri ve sınıflandırılması her parametre için beş sınıftan oluşmaktadır. Parametreler teknik (Kül içeriği, Klor içeriği ve yığın yoğunluğu), ekonomik (net kalorifik değer, nem içeriği ve biokütle içeriği), ve çevresel (Kadmiyum, Civa ve toplam ağır metal içeriği) olmak üzere 3 kategoriye ayrılmıştır. Sınıflandırma sınır değerleri her bir parametre için Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. ATY için Sınıflandırma Sistemi (CEN/TS 15359)

Özellikler	**Birim**	**Sınıf 1**	**Sınıf 2**	**Sınıf 3**	**Sınıf 4**	**Sınıf 5**
Toplam ağır metaller (ag)	mg/MJ	≤15	≤30	≤50	≤100	≤190
Civa (Hg) (kb)	mg/MJ	≤0,02	≤0,03	≤0,06	-	-
Kadmiyum (Cd) (ag)	mg/MJ	≤0,1	≤0,3	≤1,0	≤5.0	≤7,5
Klor içeriği (kb)	%wt/wt	≤0,2	≤0,6	≤0,8	-	-
Net kalorifik değer (ag)	MJ/kg	≥25	≥20	≥15	≥10	≥6,5
Kül içeriği (kb)	%wt/wt	≤10	≤20	≤30	≤40	<50
Yığın yoğunluğu (ag)	kg/m3	>650	≥450	≥350	≥250	≥100
Nem içeriği	%wt/wt	≤10	≤15	≤20	≤30	<40
Biyokütle içeriği (ag)	%	≥90	≥80	≥60	≥50	<50

ag: alındığı gibi
kb: kuru bazda

Ülkemizde kullanılan değerler ise Tebliğ'de sınıflandırma yerine ilgili parametreler için sınır değerler üzerinden verilmiştir (Tablo 2.3). Ülkemizde üretilen ATY'nin ekonomik açıdan değerli olabilmesi için bu sınır değerlere göre, tane boyu 50 mm'den düşük olması, nem oranının da %35'in altında olması ve kalorifik değeri 2500 kcal/kg'dan daha yüksek olması sağlanmalıdır. Yakıldıktan sonra meydana gelebilecek çevre açısından olumsuz etkilerin önüne geçebilmek için de civa 330 µg/MJ'den, solvent içeriğinin de %15'ten, klor içeriği %1'den, ağır metal toplamı 2500 mg/MJ'den ve PCB 50 ppm'den düşük olması gerekmektedir (RG, 2014).

Tablo 2.3. ATY Hazırlama Tesislerinde Üretilecek Yakıtın Özellikleri (RG,2014)

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

Sınıflandırmada birçok parametre olmasına karşın, üretilen ATY'nin pazarlanmasında 3 temel parametrenin önem kazandığı görülmektedir. Net kalorifik değer üretilen ürünün yakıt değerini ifade ettiğinden dolayı ATY'nin pazarlanabilmesinde en önemli ekonomik parametredir. Teknik parametreler içerisinde ise ATY içerisinde klor korozyona katkıda bulunduğu için istenmeyen bir durumdur. Yüksek klor içeriği ATY'nin pazar değerini düşürmektedir. ATY'nin çevresel kalitesinin göstergesinde tüm ağır metaller arasında Hg önemli bir öneme sahiptir. Çünkü yüksek uçuculuğu nedeniyle Hg, yayılması en muhtemel olan ağır metaldir. Yaşam Döngüsü Analizi çalışmaları Hg'yi ATY'nin önemli bir faktörü olarak tanımlamaktadır. Bu üç sınıflandırma özelliği seti, bir ATY'nin genel kalitesine anında ve oldukça güvenilir bir izlenim vermektedir. Bu üç özelliğe dayanarak, alıcı türü ve kalitesi hızlıca değerlendirebilmekte ve özelliklerin her biri, ATY'nin farklı bir yönü hakkında bilgi vermektedir. (NCV: yakıt olarak temel özellik, Cl: potansiyel korozyon etkileri, Hg: çevresel kalite) (EN 15359- Avrupa Standartlar Komitesi).

ATY'lerin sınıflandırılmasında önemli bir standart da ASTM E856-83 (2006)'da verilmektedir. Bu standarda göre ATY'ler aşağıdaki Tablo 2.4'te gösterildiği gibi 7 farklı sınıfa ayrılmaktadır.

Tablo 2.4. Atıktan Türetilmiş Yakıt Sınıfları (Agralaw ve Yadav,2012)

ATY-1	Atık formunda kullanılan atıklar
ATY-2	Demirli metal ayrımı yapılarak ya da yapılmadan işlenen kaba partikül büyüklüğüne sahip atıklar (Ağırlıkça %95'i 6 nolu elek aralığından geçen, kaba ATY)
ATY-3	Metal, cam ve diğer inorganik maddelerden ayrıştırılmış ufalanmış atıklar (Ağırlıkça %95'i 2 nolu elek aralığından geçen atıklar)
ATY-4	Toz formuna dönüştürülmüş yanabilir atıklar (Ağırlıkça %95'i 10 nolu elek aralığından geçen atıklar, toz ATY)
ATY-5	Pelet, yumru veya briket formuna yoğunlaştırılmış yanabilir atıklar (Yoğunlaştırılmış ATY)
ATY-6	Sıvı yakıt haline dönüştürülmüş yanabilir atıklar (ATY bulamacı)
ATY-7	Gaz yakıt haline dönüştürülmüş yanabilir atıklar (ATY sentez gazı)

Atıktan türetilmiş yakıtların kullanılmasında çimento endüstrisinin diğer endüstrilere göre daha fazla tecrübesi bulunmaktadır. Tehlikeli ve tehlikesiz atıklar işlenerek, alternatif yakıt olarak kullanılırlar. Katı atıklardan geri kazanılmış atıklar dahil olmak üzere, atıktan türetilmiş yakıtların, bu tip kuru proseslerde kullanılması yaygınlaşmaktadır.

Çimento prosesinde önemli bir değişken olan klor ATY içerisinde bulunmaktadır. Proseste bulunan ön ısıtıcı birimini yoğuşmuş uçucu klorürlerle tıkayarak kuru proseste küçümsenmeyecek sorunlara neden olabilir. ATY ile birlikte prosese giren ağır metallerden, Cıva (Hg) ve Talyum (Tl) gibi uçucu metaller, Kadmiyum (Cd) gibi yarı uçucu metaller ile birlikte kontrol altında tutulmalıdır. Ayrıca ATY'nin net kalorifik değeri (NCV) de tasarruf sağlanacak fosil yakıtlar açısından çimento prosesi için önemlidir. Dolayısıyla çimento fabrikaları ATY'leri kullanmak için bir takım ilave koşullar talep edebilmektedir. Özel atıklar için Avrupa Atık Isıl İşlem Şirketleri Birliği ve İşveç'teki farklı türdeki ATY'lerin çimento fırınlarında kullanılabilmesi için verilen kriterler Tablo 2.5'te verilmektedir.

Tablo 2.5. ATY'lerin Çimento Fırınlarında Kullanılabilmesi için Verilen Kriterler (Modified From Gendebien at al. 2003)

		Değer		
Paremetre	Birim	EURITS	Specialbränsle A	Lattbränsle
Kalorifik Değer	MJ/kg	15	23.9-31.4	25.1-31.4
Cl	%	0.5	<1	<1
S		0.4	N/A	<0.5
Br		0.01	N/A	N/A
N		0.7	N/A	N/A
F		0.1	N/A	N/A
Be	mg/kg	1	N/A	N/A
Hg/Ti		2	N/A	<5
As,Se(Te),Sb		10	N/A	N/A
Cd		10	<10	<5
Mo		20	N/A	N/A
Co,Cu,Mn,Sn		200	N/A	N/A
V		200	N/A	N/A
Cr		200	<300	N/A
Pb		200	<350	<100
Ni		200	N/A	<10
Zn		500	<2000	N/A
Kül Miktarı	%	5	5.0-10.0	0.6-0.8

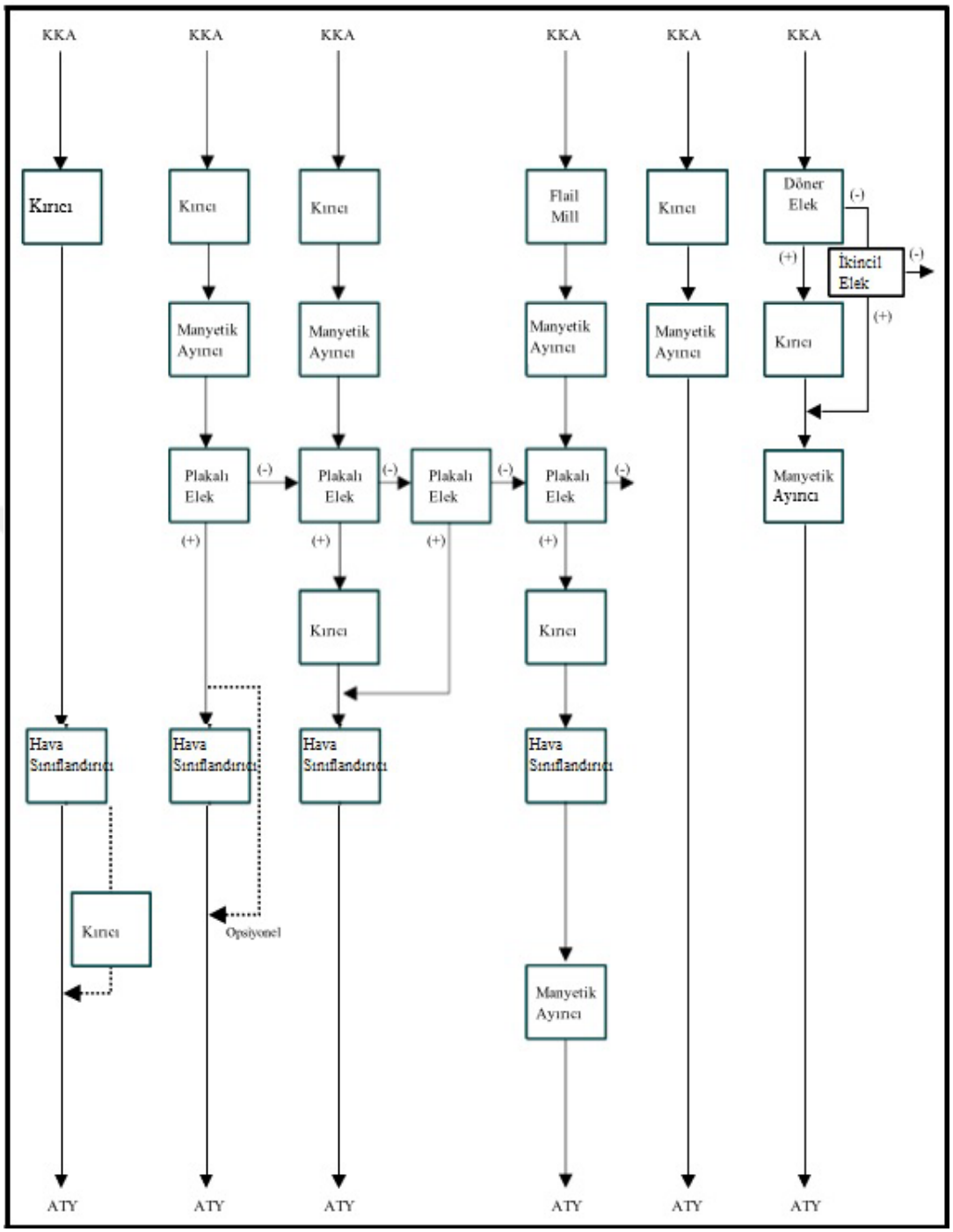
N/A: Ölçülemeyen değer

3. ATIKTAN YAKIT ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

ATY üretim sürecinin ön uç ve arka uç olarak adlandırılan iki alt sistemi vardır. Ön uç veya ön işleme alt sistemi, Kentsel katı atığı almak ve arka uç sistem için besleme stoğu üretmek üzere yanıcı ve yanıcı olmayan kısımlara ayırma işlemini ifade etmektedir. Arka uç sistemi ise termal veya biyolojik sistem olabilen dönüşüm sürecini ifade etmektedir (UNEP, 2005). ATY üretim hattı, istenmeyen bileşenleri ayırmak ve yanıcı maddeyi gerekli ATY karakteristiklerini elde etmek için şartlandırmak amacıyla seri halinde birkaç birim işlemden oluşmaktadır. Bu ünite işlemleri, gelen kentsel katı atık kompozisyonuna ve gerekli ATY kalitesine bağlı olarak farklı sıralarda düzenlenebilmektedir. (Caputo ve Pelagagge, 2002). Şekil 3.1'de atık karakterizasyonuna göre ATY üretim teknikleri gösterilmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki eski ve mevcut tesislerden ATY üretim yapılandırmalarının bazı örnekleri Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekilde gösterilen işlem yapılandırmaları, tarihsel gelişimlerinin yaklaşık sıralarına göre soldan sağa düzenlenmiştir. İşleme tasarımlarının olgunlaşması, tekil veya kombinasyon halinde, ekipmanın yetersiz performansı, yetersiz enerji verimi ve kabul edilemez derecede yüksek ATY külü içeriğini içeren birçok durumun bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Tipik olarak, karışık KKA (kentsel katı atık)'tan yanıcı bir fraksiyonu geri kazandıran sistemler boyut azaltma, tarama ve manyetik ayırma kullanır. Bazı tasarımlar ve tesisler, sistem tasarımının temel temeli olarak taramayı ve ardından boyut küçültmeyi kullanmıştır, diğerleri ise bu iki işlemin sırasını tersine çevirmiştir. Belirli bir uygulama için optimum tarama ve boyut azaltma sırasının belirlenmesi ve seçimine bir dizi dikkat edilmelidir. Diğer malzemelerin (örneğin, alüminyum, vb.) geri kazanımı için ihtiyaç gerektirdiği için ve katı yakıt ürününün istenen spesifikasyonunu elde etmek için manuel sıralama, manyetik ayırma, hava sınıflandırması ve peletleme (yani yoğunlaştırma) dahil olmak üzere diğer birim işlemleri de sistem tasarımına dahil edilebilir.



Şekil 3.1. Atık Karakterizasyonuna Göre ATY Üretim Teknikleri (Diaz ve diğ., 1996)

3.1. ATY Üretimindeki Temel İşlemler

Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği'nin eklerinde ATY üretim tesislerinde belirlenen özelliklere göre ürün elde edilebilmesi için kullanılması gereken ya da gerekebilecek ekipmanlar verilmiştir. Belediye atıklarının tehlikeli olmayan kategoride olan türleri işleneceği ATY tesislerine geldiklerinde

poşetler içerisinde toplanıldığından poşet açıcı sistemler, atıkların bir prosesten diğer prosese aktarılması için konveyör bant sistemleri, atıkların boyutunu istenilen ebatlara düşürmek için kaba kırıcı, içinde bulunabilecek geri dönüştürülebilir demir içerikli malzemelerin ayrılabilmesi için manyetik , farklı plastik cam vs. gibi geri dönüşümü sağlanabilen malzemelerin ayrılabilmesi için balistik, hava akımlı veya eddy akımlı vb. ayırıcı ekipmanlar, ATY standartlarında ürün boyutuna getirilmesi içinde ince kırıcı ve atık %65'den fazla nem ihtiva ediyorsa kurutucu bir ekipman kullanma zorunluluğu bulunmaktadır. Atığın özelliği kullanılacak ekipmanın seçilmesinde önem arz etmektedir. Yine aynı şekilde ekipman kapasitesi teknik özellikleri gibi unsurlar atığın içeriğine göre belirlenmektedir. Bu sebepten ötürü seçilecek ekipmanın maliyetlerinde de değişkenlik görülmektedir. Tüm bu parametrelerin yanı sıra üretilmek istenen ATY miktarı ve kapasitesi de ekipmanların seçilmesinde önemli rol oynamaktadır.

3.1.1. Manuel ayırma

Karışık kentsel katı atıklarda, çeşitli aletler, mobilyalar gibi hacimli maddeler ve belirtilen kirletici maddeler (örneğin tehlikeli atıklar) mekanik işlemden önce işçiler tarafından elle çıkarılmaktadır. Manuel ayırma ayrıca kağıt, cam / plastik kaplar ve alüminyum kutular için geri dönüşüm işlemi için imkan sağlamaktadır. Bu şekilde manuel ayırma neticesinde geri kazanılan geri dönüştürülebilir malzemeler için aralıklar Tablo 3.1'de sunulmaktadır.

Tablo 3.1. Manuel Ayırma Oranları ve Verimleri (UNEP.,2005)

Materyal	Sınıflandırma Oranı (kg/s/ayırıcı)	Geri Kazanım Verimi (%)
Gazete	700-4,500	60-95
Oluklu mukavva	700-4,500	60-95
Cam Konteyneri (karışık renkte)	400-800	70-95
Cam Konteyneri (renge göre)	200-400	80-95
Plastik Konteyneri (PET,HDPE)	140-280	80-95
Alüminyum Kutular	45-55	80-95

El ile ayırma işleminde kullanılan ekipman genellikle bir sıralama bantı veya tablası içermektedir. Ayırma işlemini yapan personel geri dönüştürülmüş malzemeleri almak için bantın veya masanın bir veya iki tarafına yerleştirilmektedir. Manuel ayırmanın tasarımı zaman ve hareketin iyi bir şekilde anlaşılmasını, atıkların oluşumunu ve ayırma yapan personelin rahat / güvenli çalışmasını gerektirir.

3.1.2. Poşet parçalayıcı döner elek

Poşet parçalayıcı döner elekler tambur üzerine yerleştirilmiş bıçaklardan meydana gelir. Tamburun ağzında bulunan bıçaklar dönerken aynı zamanda poşetlerin parçalanmasını sağlar.

3.1.3. Boyut küçültme

Katı atık yönetiminde boyut küçültme terimi parçalama ve öğütmeye benzemektedir. Ancak parçalama, genellikle karışık atıkların boyutunun küçültülmesi anlamına gelmektedir. Öğütme terimi bazen cam için kullanılmaktadır. Boyut küçültme, karışık atıkların mekanik işlenmesinde, belirli bir boyut eşitliği sağladığı için temel bir ünite işlemidir. Karışık atıkların yaklaşık 10 cm büyüklüğünde parçalanması birçok atık işleme tesisinde yaygındır. İkincil veya üçüncül parçalama 10 cm'den küçük boyutta ATY üretimi için gereklidir.

3.1.3.1. Kaba kırıcı

ATY üretim prosesinin ilk adımı birinci kırıcı olarak adlandırılan kaba kırıcıdan başlamaktadır. Ön ayıklama işleminden sonra arta kalan büyük atıkların boyutlarını ikinci kırıcıya uygun hale getirmek amacıyla 100 mm ile 200 mm boyutuna getirmek amaçlanır. Bu kırıcı ikinci kırıcıya göre daha az bıçak sayısına ve daha düşük dönme hızına sahiptir. Mevcut sisteminde herhangi bir sıkışmaya karşı sensörleri bulunmaktadır. Bu sensörler insan müdahalesine gerek kalmadan sistemin sürekliliğini sağlar. Kırıcıdan çıkan parçalanmış atıklar prosesin diğer aşamalarına konveyörler ile aktarılır.

3.1.3.2. Son parçalayıcı

Son parçalayıcı ATY prosesinin mekanik parçalamadaki son adımıdır. İkinci kırıcı olarak adlandırılan bu ekipman ürünleri 50 mm'nin altındaki boyutlara getirir. İkinci kırıcı birinci kırıcıya göre daha fazla bıçak sayısına ve daha yüksek dönüş hızına sahiptir. Aşağıdaki gibi birçok parçalayıcı türü vardır.

- Çekiçli Kırıcı

Yatay ve dikey rotorlarda olmak üzere İki çeşit çekiçli kırıcı vardır. Yatay çekiçli kırıcı, karışık atıklar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Başlıca parçaları rotor, çekiç, ızgaralar, şasi ve volandır. Boyut olarak küçültülecek nesneler makinenin açıklığına doğru beslenir. Boyutları ızgaralardan geçebilecek kadar küçük olana kadar çekiçlerle kırılmaktadır.

- Makaslı Kırıcı

Bu tip boyut küçültme makinesi, yüksek tork ve düşük devir değerlerine sahiptir. Karşıt yönlerde dönen iki yatay kesme milinden oluşur. Yüksek tork ve kesme hareketi nedeniyle, bu makine genellikle lastik, alüminyum ve plastik gibi parçalanması zor malzemeler için kullanılır. Enerji tüketimi, boyut küçültme ekipmanlarının tasarımında önemli bir parametredir. Diaz ve Savage (2006) tarafından yapılan deneyler ve saha testi, boyut küçültme için spesifik enerji gereksiniminin ürün boyutunun küçültülmesiyle arttığını ortaya koymaktadır.

3.1.4. Ayırma Sistemleri

3.1.4.1. Elekler

Eleklerin amacı boyut ayrımıdır. Besleme stoğunu, büyük boy (elekte tutulur) ve küçük boyutta (elekten geçirilir) kesir olarak adlandırılan en az iki parçaya böler. Aşağıdaki gibi birçok elek türü vardır;

- Döner Elek

Döner elek aşağı doğru döner ve silindirik elek eğimlidir. Elek yüzeyi tel örgü veya delikli plakadır. Trommelizasyon öncesi denilen boyut küçültme işleminden önce

veya trommelizasyon sonrası denilen parçalama işleminden sonra bu elekler karışık kentsel katı atıklar için kullanılabilir. Döner eleğin, karışık kentsel katı atıkları işlemede oldukça etkili ve verimli olduğu kanıtlanmıştır ve bu nedenle yaygın olarak kullanılan elek türüdür. (UNEP, 2005).

- Plakalı Elek

Plakalı eleğin yaygın uygulanması, inorganik fraksiyonun ATY'den, kağıttan veya odun atıklarından ayrılması içindir. Bir plakalı elek, plakalarla donatılmış yatay düzlemde eşit aralıklı millerden oluşur. Plakalar arasındaki açıklıklar küçük boyuttaki atıkların aşağı düşmesini sağlar. Tüm miller aynı yönde döner ve atıkları bir uçtan diğerine taşır.

3.1.4.2. Havalı sınıflandırma

Hava sınıflandırması, atığın aerodinamik karakteristiklerindeki farklılıklar ile ayırma işlemidir. Belirli bir malzemenin aerodinamik özelliği, büyüklük, geometri ve yoğunluğun bir fonksiyonudur. Proses hareketli hava akımı, parçalanmış atıklar ve yerçekimi kuvveti arasındaki etkileşimi içerir. Hava akımında asılı olan fraksiyon, ışık fraksiyonuna ve çökeltme materyallerindeki ağır fraksiyona işaret eder.

Kıyılmış karışık kentsel katı atıkların hava sınıflandırmasında, kağıt ve plastik malzemeler hafif kısımların metaller ve camlar ise ağır kısmın ana bileşenleridir. Hava akış düzenlerine göre birçok tipte hava sınıflandırıcı vardır. Karışık kentsel katı atıklardan gelen ATY üretiminde hava sınıflandırıcısının tipik çalışma ve performans özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. ATY'nin Geri Kazanılmasında Kullanılan Hava Sınıflandırıcılarının Tipik Çalışma ve Performans Özellikleri (UNEP., 2005)

Parametreler	Tipik Aralık (%)
Kağıt ve plastiklarin ağır fraksiyonu (%)	05-30
Hafif fraksiyonların kompozisyonu (%)	
Demir metalleri	0,1-1
Demir dışı metaller	0,2-1
Demir tozları	15-30
Kağıt ve plastik	55-80
Kül	10-35

3.1.4.3. Manyetik ayırıcılar

Manyetik seperatörler demir ve çelik malzemelerin ayrılması için kullanılır. Bu sayede demir malzeme atıktan ayrılarak kırıcılara zarar vermesi engellenir. Aynı zamanda ürünün kalitesi de arttırılmış olunur.

Demir içeren metalleri karışık katı atıklardan ayırmak için manyetik ayırma kullanılır. Manyetik kafa kasnağı, tambur ve manyetik kayış olmak üzere üç manyetik ayırıcı konfigürasyonu vardır; verim açısından, karışık kentsel katı atıklardaki toplam manyetik metalin birim ağırlığı başına düşen manyetik metal geri kazanımı, mıknatısların tek aşaması için yaklaşık %80'dir. Çok aşamalı manyetik ayırma kullanılarak daha yüksek geri kazanım elde edilebilir. Hava sınıflandırıcıdan sonra manyetik ayırıcı kullanıldığında geri kazanım yüzdesi %85-90'a kadar çıkacaktır. Bunun nedeni, manyetik ayırma işlemine müdahale eden kağıt ve plastik gibi hafif kirletici maddelerin uzaklaştırılmasıdır.

3.1.4.4. Balistik seperatör

Balistik ayırıcılar 2 boyutlu olarak tabir edilen kağıt, karton, mukavva gibi malzemeler ile 3 boyutlu olarak tabir edilen pet şişe, teneke kutu gibi belli ölçüden küçük malzemeleri birbirinden ayıran mekanizmalardır.

Balistik ayırıcılarda hareketli palet eksantrik bir uzuv ile dönme hareketi yapmaktadır. Bu dönme hareketi ile üzerine gelen çöpü hem yoğunluk hem atalet hem de çöpün geometrisine bağlı olarak 3 türlü ayırma işlemi gerçekleştirmektedir. Yoğunluğu fazla ve bütün parçalar kısaca 3 boyutlu malzemeler paletin vurma hareketi ile aşağı tarafa, yoğunluğu az ve düz parçalar kısaca 2 boyutlu malzemeler yukarı tarafa, boyutu genelde belirli bir ölçüden küçük parçalar ise paletteki deliklerden alt tarafa olmak üzere üç şekilde ayırma işlemi gerçekleştirir.

3.1.4.5. Kurutma ve yoğunlaştırma

Kurutma ve yoğunlaştırma, ATY üretimi ve çöplükten önce atıkların hacimli olarak azaltılması gibi özel amaçlarla kullanılır. Kurutmanın amacı ATY kalitesini arttırmaktır. Yoğunlaştırma, briketleme, peletleme veya küp oluşumu yoluyla yoğunlaştırılmış ATY üretimi için kullanılır.

Daha önce belirtildiği gibi, ATY üretim hatları farklı dizilerdeki birkaç birim işlemin birleşimidir. Tablo 3.3'te bazı referans ATY tesisleri örnekleri bulunmaktadır. Consorzio Alessandrino tesisinde en düşük sıcaklık değeri 18,3 MJ/kg olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç ile verimliliği en yüksek tesis olmaktadır.

Tablo 3.3. Referans Tesisler ve Elde Edilen Ürün Enerji İçerikleri (Caputo and Pellagagge., 2001)

Tesis	İşlem Sırası	Alt Isıl Değer (MJ/kg)
AREA	K-DE-MA-Ö-MA-HS-DE-E	12,2
CIRSU	ÖDE-EA-MA-K-DE-MA-Ö-DE	16,8
Consorzio Alessandrino	K-DE-MA-DE-MA-DE	18,3
Consorzio Smaltimento Rifuti Bassa Friulana	Ö-ÖDE-HS-Ö-KU-P	16,8
Macomer	Ö-MA-DDE-BS	8,8
RECLAS	DE-MA-HS-DE-MA-HS	16,8
SAO	Ö-MA-ÖDE-MA	12,6
SIEM	Ö-DE-Ö-HS-P	13,2

NOT:
HS: Havalı sınıflandırıcı
BS: Balistik sınıflanırıcı
KU: Kurutucu
E: Eksruder
EA: Elle ayırma
Ö: Öğütücü
MA: Manyetik ayırıcı
P: Peletleyici
ÖDE: Ön döner elek
K: Kırıcı
DE: Döner elek

Benzer bir planlama ülkemizde oluşan kentsel atıklar için düşünülürse kaynağında ayrıştırmanın verimli hale getirilmesi son derece önemlidir. Kaynağında ayrıştırılan atıklar kompostlama yada geri dönüşüm için kurulmuş toplama- ayrıştırma tesislerinde işlenirken bu tesislerden çıkan kalorifik değeri yüksek atıkların ATY tesislerine yönlendirilmesi sistem verimliliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Bakım onarım maliyetlerinin düşürülmesi ve üretim verimliliğinde artış sağlanabilmesi için minimum kaba kırıcı, manyetik ayırıcı ve son parçalayıcı ünitelerinden oluşan bir ATY tesisi gereksinimi karşılanmalıdır.

ATY tesislerinde kullanılan ekipmanların yaklaşık fiyatları Tablo 3.4'te gösterilmektedir. Kurulum maliyetleri kullanılmasına karar verilen ekipmanlara bağlı olarak 1750000 – 3000000 Euro aralığında değişim göstermektedir.

Tablo 3.4. ATY Tesisi Ekipman Fiyatları (Özel,2011)

Kullanılan Ekipmanlar	Yaklaşık Fiyatları (Euro)
Poşet parçalayıcı döner elek	250000-450000
Kaba kırıcı	240000-395000
Manyetik seperatör	15000-45000
Balistik seperatör	195000-300000
Son parçalayıcı	225000-475000
Kurutucu	500000-1000000
Konveyörler	750-2000/m
Vibration cute	75000-120000
Hava sınıflandırıcı	60000-110000
Toplam	1750000-3000000

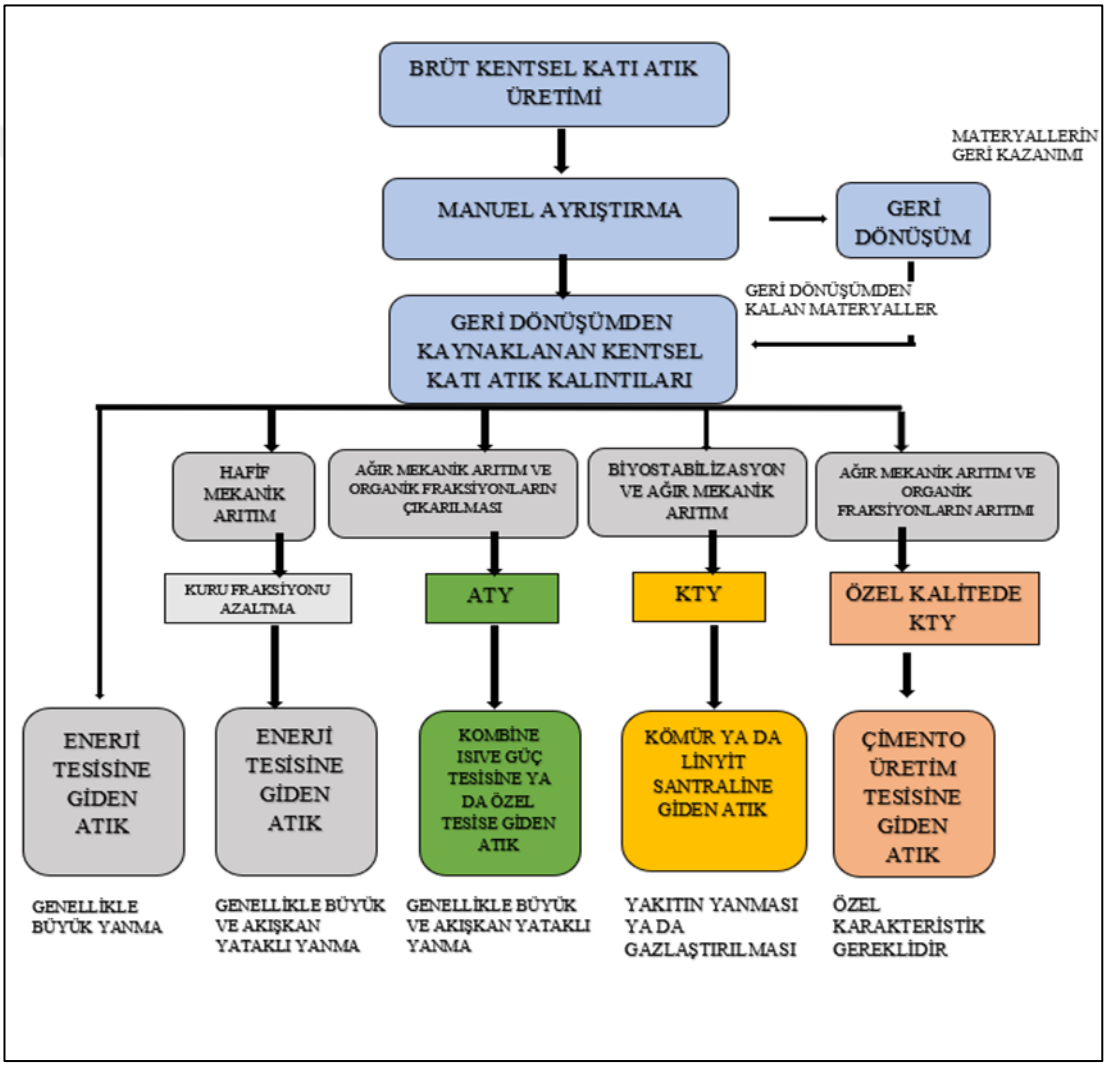
ATY üretiminin maliyeti hat yapılanmasına bağlıdır. Caputo ve Pelagagge (2001), saatlik amortisman maliyetine ek olarak Tablo 3.5'te gösterilen enerji harcamalarına dayanarak farklı birim operasyonların ATY üretim maliyetini hesaplamıştır. Hesaplamalarda amortisman maliyeti 10 yıl ömür, haftada 6 gün, iki 7 saatlik vardiya / gün olarak, elektrik maliyeti 0,0723 Euro / kWh (3,62 Baht / kWh) ve elle ayıklama için vardiya başına iki operatör kullanıldığı kabul edilmiştir. Üretim maliyetleri arasında en yüksek maliyetin çekiçli kırıcıya, işletme maliyetinde ele ayırma ünitesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 3.5. Hat Ekipmanı Maliyet Verileri (Caputo ve Pelagagge, 2001)

Ekipman	**(a) Kapasite (t/h)**	**(b) Amortisman (Euro/h)**	**(c)İşletme Maliyeti (Euro/h)**	**Üretim Maliyeti [(b)+(c)]/(a) (Euro/t)**
Yoğunlaştırıcı	6	4,73	3,62	1,39
Havalı Sınıflandırıcı	5	0,95	0,87	0,36
Kurutucu	6	7,09	10,12	2,87
Bantlı Konveyör		0,35	0,43	
Çekiçli Kırıcı	6	3,55	21,69	4,21
Peletleyici	4	4,73	3,62	2,09
Eddy akımı	15	1,14	0,48	0,11
Manyetik Ayırıcı	15	0,34	0,16	0,03
Elle Ayırma			23,65	
Kırıcı	15	2,96	3,62	0,44
Döner Elek	15	2,36	1,45	0,25

3.2. ATY Kullanım Alanları

KTY, genel ATY'den daha homojen ve daha az kirlenmiş olup, genellikle daha yüksek kalorifik değer sunarken, MBT (mekanik biyolojik arıtma) prosedüründe biyolojik kurutmaya da sahiptir. Bu yakıtın kullanım olanakları mevcut atıktan enerji tesislerinde, çimento fırınlarında, özel tesislerde veya mevcut kömür veya linyit santrallerinde yakıt ikamesi olarak kullanılmasındadır. Şekil 3.2'de kullanım alternatiflerini göstermektedir.



Şekil 3.2. Kullanım Alternatiflerinden Elde Edilen ATY/KTY için Şematik Diyagram

Şu anda, Almanya'da ATY kullanıcılarının çimento, enerji üretimi ya birlikte yanma ya da mono yanma gibi enerjisi yoğun endüstriler olduğunu hedeflemiştir. (Rotter et al., 2004).

3.2.1. Çimento endüstrisinde kullanımı

Çoğu çimento fabrikası, atık ve bileşenlerin kalite ve çevresel kaygılara yol açabilecek heterojen niteliklerinden dolayı doğrudan karışık kentsel katı atıkları yakmaz. Bu nedenle, kentsel katı atıklar Avusturya, Belçika, Danimarka, İtalya ve Hollanda'daki çimento fırınlarında ATY'ye ayrıldıktan ve işlendikten sonra kullanılır (Gendebien vd., 2003). Çimento fırınlarında yanma, yaklaşık 1.450ºC sıcaklıktaki çok yüksek alev sıcaklıklarında ve nispeten uzun kalma sürelerinde gerçekleşir. Bu koşullar ATY'nin yanması için elverişlidir. Teknik ve çevresel hususlara dayanarak, ATY'nin bir çimento fırınında yakılması analizi, ATY taşıma sistemi dışında özel bir ateşleme teknolojisinin kurulmasının gerekmediğini göstermektedir. Bununla birlikte, asit gazları, dioksinler, furanlar vs. gibi hava kirletici emisyon seviyelerinde artış olmaması için ATY'nin ateşlenmesi adına toplam yakıt tüketiminde (yüzde 30'dan fazla değil) bir üst sınır vardır. (Lockwood and Ou, 1993).

KTY'nin çimento sanayi fırınlarında kullanılması alev özelliklerinde (ateşleme, alev stabilitesi ve alev şekli) değişiklik oluşturmuştur. Farklı yakıtlardaki farklı uçucu madde oranları nedeniyle, özellikle büyük miktarlarda KTY kullanılması durumunda, ısı transfer koşullarında yerel değişiklikler olması beklenmektedir. Sonuç olarak, ürün kalitesi üzerinde etkisi olabilecek sıcaklık profili değişmiştir. Bu nedenle, KTY'nin çimento fırınlarında güvenli kullanımı, yalnızca kirleticiler için değil, aynı zamanda yakıtın reaksiyon teknik özellikleri için de uygun kriterlerin belirlenmesini gerektirir.

Türkiye'de ki mevcut çimento sanayisi 60 milyon ton çimentoyu yaklaşık olarak 1 yılda üretebilmektedir. 60 milyon tonun 18 milyon tonunu ihraç edilmektedir. 2010 yılı itibariyle Türkiye'de toplam 65 çimento fabrikasının olduğunu bilinmektedir. Bu kadar sayıda çimento fabrikasının olduğu göz önünde bulundurulduğunda alternatif yakıtların çimento sanayinde kullanımının da dikkate değer önemde olduğu anlaşılmaktadır.

Atıkların değerlendirilmesi ve çevreye olan zararlarının en az indirgenmesi için alternatif yakıt üretimi emniyetli bir yöntemdir. Çimento fırınındaki yüksek ısı, işlem süresinin uzunluğu ve oksitleyici ortam nedeniyle atıkların içindeki organik etkenler tamamen giderilir. Ömrünü tamamlamış araç lastikleri, atık kâğıtlar, atık yağlar,

ahşap atıkları, arıtma çamurları, plastikler, yüksek kalorifik değere sahip atıktan türetilmiş yakıtlar ve etkinliği kaybolmuş solventler çimento sanayinin alternatif yakıt olarak değerlendirdiği başlıca atıklardır.

Çimento sanayinin, çeşitli katı atıkları alternatif yakıt olarak kullanması fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltacaktır. Atıkların değerlendirilmesi ve çevrenin korunmasına olan etkisiyle de ulusal atık sorununa katkıda bulunabilmektedir.

Tablo 3.6'da görüldüğü gibi çimento fabrikalarında kullanılan yakıtların ortalama toplam maliyeti 30.000.000 TL'dir. Fosil yakıtların maliyeti ve tükenebilir oluşu çimento üretim sektörünü alternatif yakıt kullanmaya itmektedir. Bu atıkların alternatif yakıt olarak değerlendirilmesi bunların bertarafının neden olacağı çevresel sorunları azaltmak açısından da önemlidir.

Tablo 3.6. Örnek Çimento Fabrikası Yakıt Tüketimi (AMOR, 2016)

Madde	**Tüketimi**	**Maliyeti**
Elektrik	42,527,724 kWh/yıl	4.606,480 TL/yıl
Doğal gaz	33.233 ton/yıl	25.365,961 TL/yıl veya
Biyomedikal Atık	50 ton/yıl	-
Sıvı atık	300 m3/yıl	-
Karbon toz	2.700 ton /yıl	-

Fosil yakıtlara oranla ATY kullanımın parametrik değerleri aşağıdaki Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de verilmiştir. Kömüre oranla ATY içeriğinde sülfür ve nem parametreleri daha az olmakla birlikte karbon ve oksijen içeriğinin ise daha fazla olduğu görülmektedir. Bu parametrelerin yüksek olması da kalorifik değerin yükselmesine sebebiyet vermektedir. Ahşap ile kıyaslandığında ise ton başına maliyet ATY'de sekiz kat daha az olmaktadır. ATY'nin ahşaba göre kül içeriği daha az olup proses sonrasında külün bertaraf maliyetini de düşürmektedir.

Tablo 3.7. Kömür ve ATY Karşılaştırması (T.Ganesh&P.Vignesh,2013)

Yakıt/Faktörü	**Kömür**	**ATY**
Kalorifik Değeri (kcal/Kg).	4000	3500-3700
Eşdeğer bir ton, kalorifik değer	1	1.14
Başına Maliyet Ton, Rs.	6000	2000
Sülfür içeriği (ağırlık %)	0.4	0.2-0.5
Nem içeriği (ağırlık %)	39	10
Kül içeriği (ağırlık %)	4.2	<15
Nox içeriği (ağırlık %)	1.2	1-1.5
Karbon (ağırlık %)	31.4	3540
Oksijen (ağırlık %)	7.4	2530
Hidrojen (ağırlık %)	4.3	5-8

Tablo 3.8. Kömür ve ATY Karşılaştırması (T.Ganesh&P.Vignesh,2013)

Yakıt/Faktörü	**Ahşap**	**ATY**
Kalorifik Değeri (kcal/Kg).	4000	3500-3700
Eşdeğer bir ton, kalorifik değer	1	1
Başına Maliyet Ton, Rs.	16500	2000
Sülfür içeriği (ağırlık %)	0,01	0.2-0.5
Nem içeriği (ağırlık %)	10-20	10
Kül içeriği (ağırlık %)	24.5-26	<15
Nox içeriği (ağırlık %)	0,75	1-1.5
Karbon (ağırlık %)	3.2	3540
Oksijen (ağırlık %)	-	2530
Hidrojen (ağırlık %)	-	5-8

3.2.2. Elektrik Santrallerinde Kullanımı

Kömürle çalışan enerji ve bölgesel ısıtma tesislerinde atık kaynaklı yakıtlarla kömürün birlikte yakılması Danimarka, Finlandiya, Almanya, Hollanda ve İsveç'te nispeten yaygın olduğu görülmektedir. (Gendebien et al., 2003). Buna karşın, ATY yanmasının en büyük dezavantajı, HCl gibi asidik gazın neden olduğu kazandaki ısı eşanjörünün yüzeyindeki korozyon olmaktadır. Ayrıca, HCl varlığı dioksin oluşumunu da teşvik edebilmektedir (Liu et al., 2001). Santralde kullanılan ATY kalitesi, santrallerin türüne bağlıdır. Örneğin, sert kömürle çalışan enerji santrali, akışkan yataklı yakma fırınından veya linyit yakıtlı santrallerden daha yüksek ATY kalitesine ihtiyaç duyar. (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. Kömür Yakıtlı Enerji Santral için Kalite Parametreleri (Ibbetson&Wengenroth, 2007)

Kalite Paremetreleri	Sert Kömür Santrali	Linyit Santrali
Kalorifik Değer (MJ/kg)	Min. 20	Min. 11
Partikül Büyüklüğü (mm)	<20	<25 yumuşak pellet
Kül Miktarı (%)	Düşük	Yüksek olabilir
Klor (%)	Genel olarak S içeriğine bağlı < % 1	Genel olarak S içeriğine bağlı < % 1

Tasarlanmış kazan sistemleri mevcut kömür yanması için bilinen, yakıtın tutuşma, alev görüntüsü, cüruf, kirlenme, kül içindeki karbon içeriği, yanma ve emisyonlar (NO, SO, CO, toz vb.) ile ilgili davranışları belirler. Kömür yakıtlı enerji santrallerinde KTY'nin birlikte yakılması için, operatörün özel hususları dikkate alması gerekir.

Yanma özelliklerinde daima bir değişiklik getiren, genellikle heterojen KTY bileşimi, kömür yakmak için tasarlanmış kazanın taleplerine cevap vermelidir. Uçucu bileşenlerin içeriği ve özellikleri ve örneğin yakıtın kül bileşimi, yanma özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Deneyimler, fosil yakıtların ve KTY'nin bir yakıt harmanının yanma karakteristiğinin karışımdaki kütle fraksiyonları tarafından değerlendirilemediğini göstermiştir. Uçucu bileşenlerin salınımı farklı zamanlarda meydana gelir ve etkileşime neden olur. Diğer bir problem, farklı kül bileşimlerinin yakıtlardaki etkileşimine dayanmaktadır. Farklı erime noktalarından (örneğin NaCl,

KCl) dolayı, önce gaz halindeki bileşenler salınacak ve yakma fırınındaki kazan duvarlarında önemli miktarda tortu oluşmasına yol açacaktır.

3.2.3. KTY Mono Elektrik Santrallerinde Kullanımı

Özellikle bu yakıtlar için inşa edilen santrallerde KTY kullanımı, teknolojik işlem ve kullanılan parça/ekipman bakımından, çoğunlukla stok ateşlemeli fırınlardan geleneksel atık yakma fırınlarından sapmalara yol açmayacaktır. Geleneksel bir çöp yakma fırına kıyasla, KTY enerji santralleri yalnızca kullanılan yakıt cinsinden farklılık gösterir. Bazı durumlarda akışkan yataklı yakma tesisleri de kullanılır.

3.3. ATY Üretiminin Avantaj ve Dezavantajları

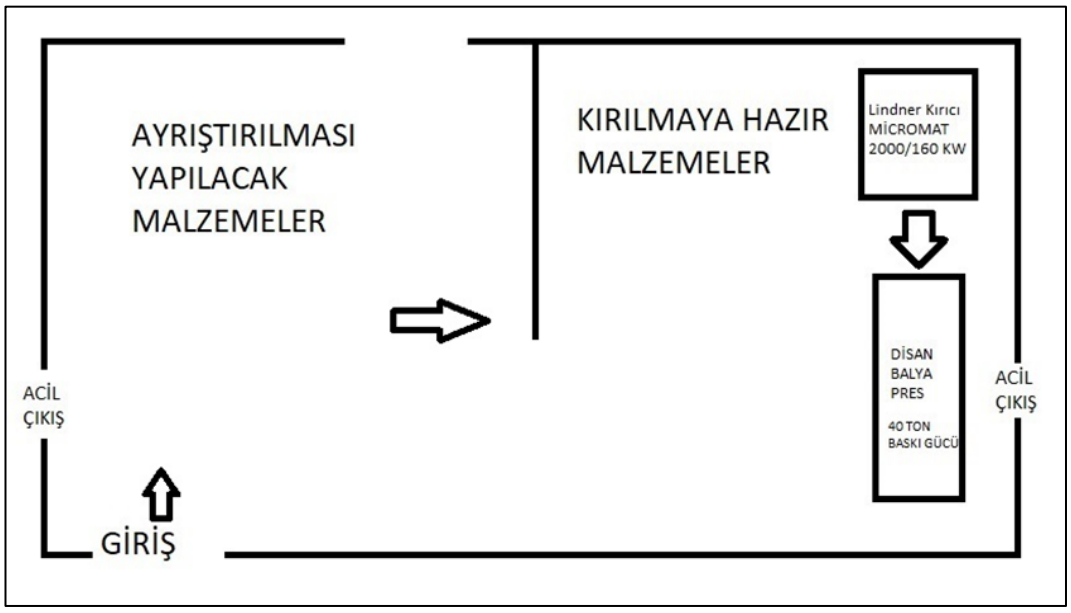
ATY üretiminin atık yönetiminde sağlayacağı faydalar;
- ATY'nin kullanılması ile birlikte bu yakıtın ısıl değerine karşılık gelen, fosil yakıtlardan tasarruf sağlanarak doğal kaynakların korunmasının sağlanması,
- Düşük seviyelerde ağır metal içermesi nedeniyle daha düşük ağır metal kirliliği,
- Daha homojen bir yakıt olup; eşit ve yüksek sıcaklıkta kolay yanması,
- Büyük miktarda atığın, düzenli veya düzensiz depolanması yerine bertaraf edilerek enerji kazanımına katkı sağlaması,
- Mevcut kazanlarda diğer yakıtlar olan kömür, odun ile birlikte yanabilir olması,
- Yoğunlaştırılmış ise uzun süre depolama alanında saklanabilme olanağı,
- Kömürün kalorifik değerinin yarısında işlenebilmesi,
- CO2 gibi sera etkisi yapan salınımında direkt veya dolaylı olarak azalma sağlaması, şeklinde sıralanabilmektedir.

ATY üretiminin uygulamasındaki önemli olumsuzluklar ise;
- Güvenlik ve hava kirliliği kontrolü gerektirmesi,
- ATY üretimi için yeterli alan ihtiyacının sağlanması,
- Üretimi için yüksek oranda elektrik tüketimi ve bakımı,
- ATY diğer yakıtlara göre yanma fırınlarına daha çok zarar verebilmesi,
- ATY tesislerinde üretiminden kaynaklı olarak çok fazla VOC ve koku oluşumu meydana gelmesidir.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. İncelenen KTY Tesisinin Tanıtımı

Bu çalışmada Kocaeli ilinde yıllık 5000 ton kapasiteli tehlikesiz atıklardan, atıktan türetilmiş yakıt üretimi yapan bir tesis incelenmiştir. Tesisin genel akım planı Şekil 4.1'de verilmektedir. Tesis 550 m^2 kapalı alanda atıkların işlenmesini gerçekleştirirken, 1450 m^2 kapalı alanda ise depolama işlerini sürdürmektedir. Bu tesis toplamda 2000 $m^{2'}$ de hizmet vermektedir. Tesisin ana ekipmanları içerisinde, tesise gelen atık türleri tek tip hacimli atık içermeyen atık türleri olduğundan son parçalayıcı ve balyalama makinesidir. Tesise gelen katı atıklar ATY üretimine başlanmadan önce niteliklerine göre sınıflandırılırlar. Sınıflandırma işlemi bittikten sonra karıştırma ve harmanlama aşamasına geçilir. Bu aşamanın amacı istenilen kalorifik değere uygun ATY üretilmek istenmesidir. İstenilen kalorifik değerdeki bu karışım tane boyutunu 50 mm'nin altına düşürmek için son kırıcıda kırılır ve parçalanır. Kırılan, parçalanan atıklar paketlenmek üzere balya makinesine aktarılır. Balya haline gelmiş ATY sevkiyatı gerçekleştirilene kadar depolama sahasında depolanır.



Şekil 4.1. Tesis Genel Akım Planı

4.2. Kocaeli'de Atık Yönetiminde ATY Tesislerine Olan İhtiyacın Belirlenmesi

Kocaeli bölgesinde ihtiyaç duyulan ATY kapasitesinin belirlenebilmesi için ATY'de değerlendirilebilecek malzemelerin düzenli depolama tesisine giden miktarları üzerinden bir değerlendirme gerçekleştirilecektir. Düzenli depolama tesisinde bertaraf edilen toplam atık miktarları ve bu atıklar içerisindeki atık kompozisyonu belirlendikten sonra aty kullanımına uygun atık yüzdesini işleyebilecek şekilde 5000 ton/yıl kapasiteli kaç tane ATY tesisine ihtiyaç olduğu ortaya konacaktır.

Bu çalışma ile 26.10.2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmi Gazetede yayınlarak yürürlüğe giren "Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik", 27.12.2017 tarihli 30283 sayılı Resmi Gazetede yayınlarak yürürlüğe giren "Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" ve 12.07.2019 tarihli ve 30829 sayılı Resmi Gazetede yayınlarak yürürlüğe giren "Sıfır Atık Yönetmeliği" kapsamında belirlenen amaç ve atık azaltım hedeflerinin sağlanabilmesi için gerekli ATY tesisi ihtiyacı ortaya konmaya çalışılacaktır (URL-3).

4.3. İncelenen ATY Tesisinde Kullanılan Ekipmanlar ve Genel Özellikleri

İncelenen tesiste tehlikesiz sınıfta olan atıklar işlenmektedir. Bu nedenle ATY üretiminde kullanılabilecek atık türleri tehlikeli olmayan endüstriyel atıklar, evsel katı atıklar, yüksek kalorifik değere sahip tehlikesiz atıklar, ambalaj atıkları, plastik ve kağıt karton atıkları, üretim atıkları, biokütle atıkları, atık lastikler, bitkisel atıklar, kontamine olmamış ahşap atıklar, kağıt ve kağıt üretimi atık çamurları, tekstil atıkları, atık yağlar, ağaç talaşları gibi atık türleridir.

Kullanılan ekipmanlada oluşan problemler ve sıkıntılar tesisin işletilmesindeki temel sorunları meydana getirmektedir. İncelenen ATY tesisinde Lindner Micromat 2000 /160 Kw Kırıcı (Şekil 4.2) atık karışımının boyutunu küçültmek için kullanılmaktadır.

Kırıcının temel sarf malzemeleri ve bu sarf malzemelerin özellikleri Tablo 4.1'de verilmektedir. Tablodan da görülebilceği bu temel sarf malzemeler 590 adet 10 kalemden oluşmaktadır. Tablo 4.2'de 53.600 TL stok malzeme maaliyeti bulunan kırıcının birim fiyatları verilmiştir.



Şekil 4.2. Lindner Micromat 2000 Kırıcı

Tablo 4.1. Kırıcı Ünitesinde Kullanılan Sarf Malzemeler

Sarf Malzeme	**Malzemenin Özelliği**	**Kırıcıdaki miktarı (adet)**
Bıçak Takozu	Sementesyon çeliği, dövme , ısıl işlem	114
Takoz Civatası	M24*80, 10.9 kalite ovalama, ısıl işlem	114
Rotor Üstü Bıçak	Soğuk iş takımı çeliği, ısıl işlem ve taşlama	114
Bıçak Tutucu	Sementesyon çeliği, dövme , ısıl işlem	114
Bıçak Merkezleme Civatası	M12*25,10.9 kalite	114
Karşı Bıçak Baskısı	Sementasyon çeliği, özel çekim dikdörtgen prizma, ısıl işlem	4
Karşı Bıçak	Ön ve arka sabit bıçakları, soğuk iş takım çeliği, ısıl işlem ve taşlama	8
Elek Yatağı	Sıcak lama	4
Elek	Hardox 450, 10 mm, 50 mm delik çapı	4

Tablo 4.2. Kırıcı Ünitesinde Kullanılan Sarf Malzeme Birim Fiyatları

Sarf Malzeme	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Stok Maliyeti (TL)
Rotor üstü bıçak takozu	220	25080
Takoz civatası (M24*80)	6.5	741
Rotor üstü bıçak (43*43)	29	3306
Rotor üstü bıçak tutucu/halkası	24	2736
Baskı cıvatası (M20*170)	13,5	216
Bıçak Merkezleme Civatası (M10*30)	2.5	285
Karşı Bıçak Baskı Plakası	510	2040
Karşı Bıçak	525	4200
Elek Yatağı	2500	10000
Elek	1250	5000
TOPLAM		53604

Tesiste kırıcıdan geçtikten sonra isteneilen boyuta gelen ATY ürünleri hidrolik pres (Şekil 4.3) yardımıyla balya haline getirilmektedir. Tesiste kullanılan hidrolik presin genel özellikleri Tablo 4.3'te verilmektedir. Hidrolik presin üretilen ATY'leri bir arada tutması için 6 adet balya teli haznesi bulunmaktadır. Bu balya telleri araçlara yüklenmesi ve depolanması açısından uygun balya boyutlarına gelen ürünleri etraflarını sararar bir bütün haline getirmektedir.

Tablo 4.3. Disan Hidrolik Pres Genel Özellikleri

Parametre	Birim	Değer
Baskı gücü	ton	40
Motor	kW	11
Besleme ağzı	mm	670*1100
Balya ölçüsü	mm	750*750
Kapasite	30 kg/m^3 (karton)	1
	50 kg/m^3(karışık)	1-1.5
	100 kg/m^3(gazete-dergi)	1.5-2.5
Balya ağırlığı	kg	250-350
Telleme adeti	adet	3
Konveyör genişliği	mm	1000
Tel kalınlığı	mm	3
Boşta çevrim süresi	sn	22



Şekil 4.3. Disan Hidrolik Pres

Tesise gelen atıklar Solmec marka ekskavatör makinesiyele (Şekil 4.4) kırıcıya beslenmeketdir. İş makinesinin ataşmanının polimli oluşu alacağı atık maddeleri kavramasını kolaylaştırır. Bu sayede çalışma hızı ve verimi artar.



Şekil 4.4. Solmec Ekskavatör

Boyutları küçültülmüş ve harmanlanmış atıklar kırıcıdan çıktıktan sonra balyalama makinesine gider. Burada ATY paketlenerek istiflenir. Bu sayede hem yerden hemde araç başına yüklenecek malzeme miktarında artış olacağından nakliye

maliyetlerinden kazanç sağlanır. Paketlenmiş ATY'ler üstünde kapma aparatı olan forklift (Şekil 4.5) ile taşınır ve istiflenir.



Şekil 4.5. Komatsu Forklift

4.4. ATY İşletmelerinde Karşılaşılan Sorunların Ekonomik Açıdan İncelenmesi

Atıkların miktar ve hacim açısından azaltılmasında önemli bir yeri olan yakma teknolojilerinin verimliliğinde ATY tesisleri büyük bir öneme sahiptir. Gelişmekte olan ülkelerde bu tesislerin sayısının artması atık yönetiminde özellikle sorumlu belediyelerin ihtiyacına büyük destek sağlamaktadır. Bu tesislerinin sayısının artması yakma teknolojilerine yönelik sistemlerin gelişimine ve üretilecek ATY'lerin ekonomisine bağlı olmaktadır. Kurulumu tamamlanmış bir ATY tesisinin ekonomisini belirleyen iki temel parametre işletme ve bakm onarım maliyetlerinden oluşmaktadır.

Yapılan bu çalışmada sistemin ekonomisi;

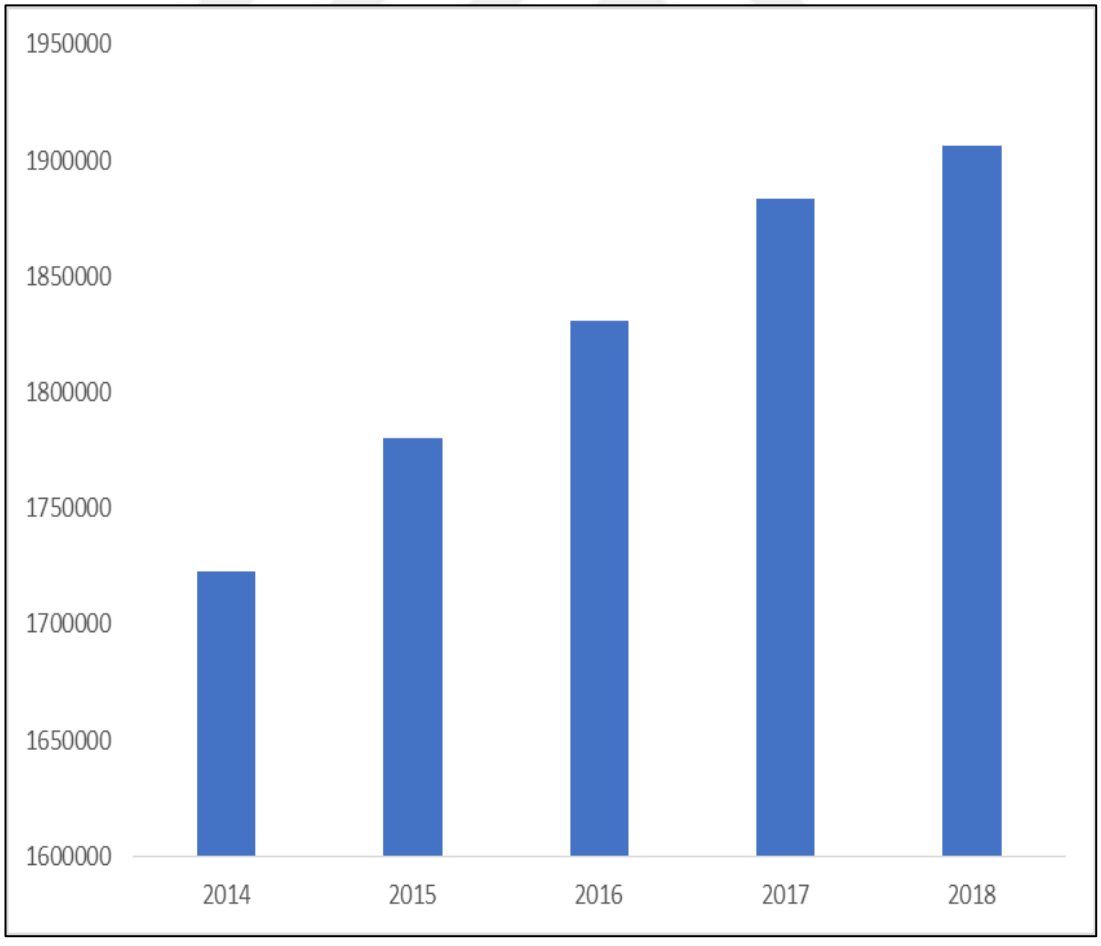
Aylık işletme maliyetleri, Bakım-Onarım kalemleri maliyetleri üzerinden detaylı şekilde incelenmektedir.

Ekonomik parametreler üzerinden sistem veriminin geliştirilmesine yönelik öneriler Bulgular ve Tartışma bölümünde detaylı şekilde sunulmaktadır.

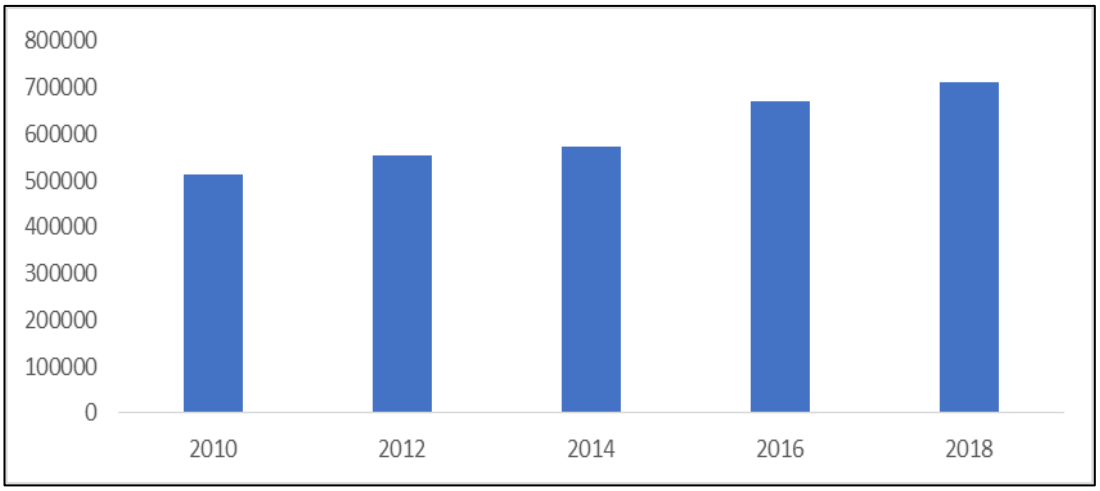
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Kocaeli'de Atık Yönetiminde ATY Tesisi İhtiyacı

Kocaeli ilinde iki adet düzenli depolama tesisi bulunmaktadır. Solaklar mevkiinde faaliyet gösteren düzenli depolama tesisi 3.000.000 m³ kapasiteye sahip 7 lottan oluşmaktadır. Dilovası düzenli depolama tesisi ise 500.000 m³ kapasitede tek lottan hizmet vermektedir. Kocaeli ili nüfusu 2014 yılında 1.720.000 kişi olarak hesaplanmıştır. 2018 yılına gelindiğinde ise 1.900.000 kişiyi geçmektedir. Yıllar arasındaki nüfus artışı Kocaeli ilinde oluşan atık miktarlarını da doğru orantılı olarak arttırmaktadır. 2018 yılına gelindiğinde yıllık atık miktarı 700.000 tonu geçmektedir. Nüfus ve atık miktarlarındaki artışlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

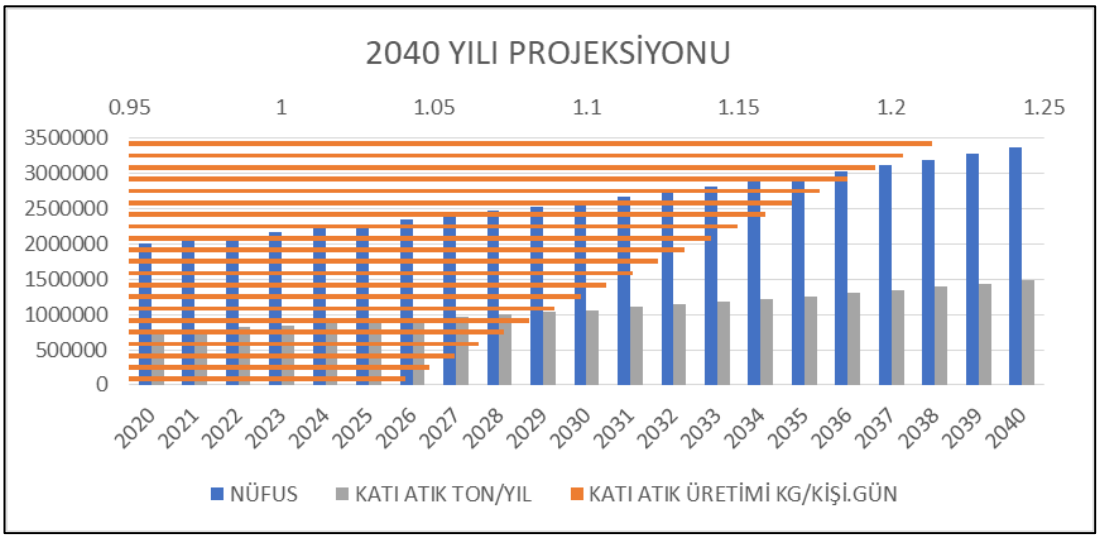


Şekil 5.1. Kocaeli ili yıllara göre artan nüfus miktarları

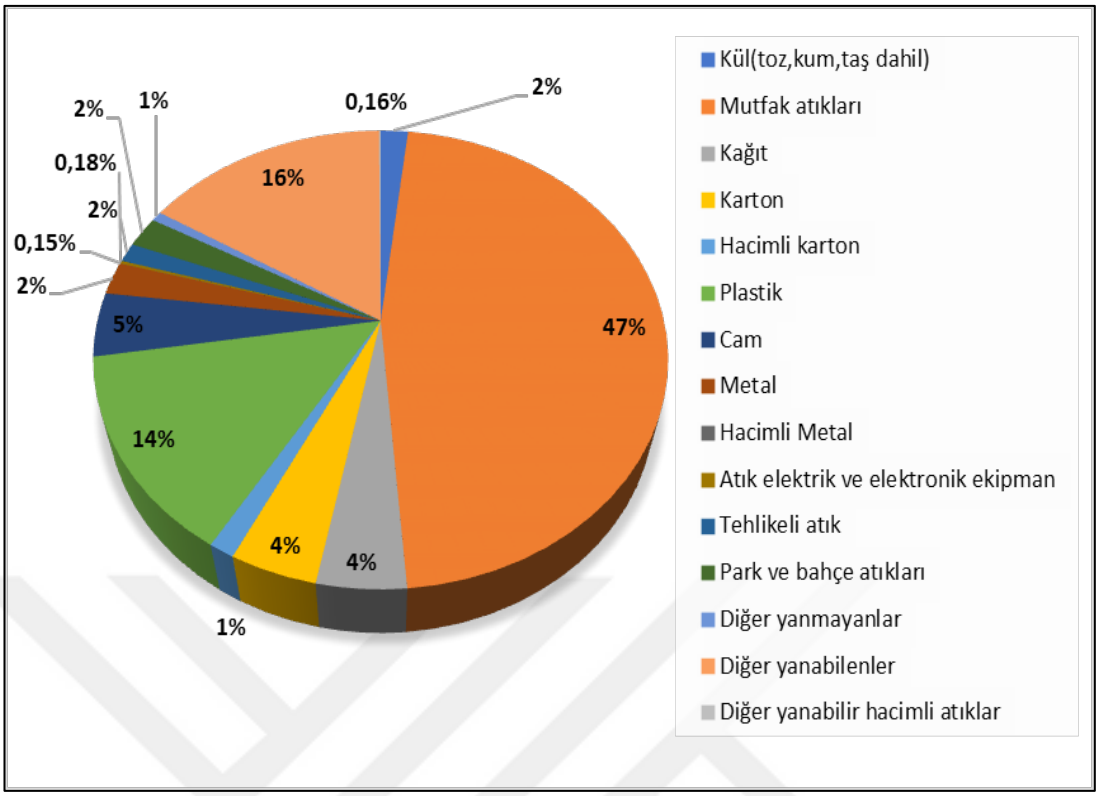


Şekil 5.2. Kocaeli ili yıllara göre artan atık miktarları

İller Bankası tahmin yöntemlerine göre hesaplanan 2040 yılı projeksiyonunda ise 2020 yılında yaklaşık 2 milyon kişi olacak Kocaeli ili nüfusu, 2040 yılında 3 milyon kişiyi aşmaktadır. Nüfustaki bu artış kişi başına günlük üretilen atık miktarını dolayısıyla yıllık olarak üretilen atık miktarlarını da arttırmaktadır. 2020 yılında yaklaşık 750.000 ton atık üretildiği hesaplandığında 2040 yılında bu miktar 1.500.000 tona yaklaşmaktadır. Bu projeksiyon göz önüne alındığında ve ATY üretimine uygun % 40'lık dilim hesaplandığında 300.000 ton atık alternatif yakıt olarak değerlendirilebilecektir. 2020 yılında incelenen tesis kapasitesinde 60 adet ATY tesisi, 2040 yılında ise bu üretime uygun 600.000 ton olarak hesaplanan atıklardan 120 adet ATY tesisi faaliyete geçirilirse depolama sahalarında birikecek atıklara çözüm olacak aynı zamanda da ekonomiye katkı sağlayacaktır.



Şekil 5.3. Kocaeli ili 2040 yılı projeksiyonu



Şekil 5.4. Kocaeli İlinde Katı Atık Kompozisyonu

Kocaeli ilinde katı atık kompozisyonuna bakıldığında %40 oranında (Şekil 5.4) ATY üretime uygun atık türleri bulunmaktadır. Bu % 40'lık dilimi kağıt, karton kaynaklı atıklar, plastikler, yanabilen atıklar (tekstil ürünleri vb. gibi) atık türleri oluşturmaktadır.

Tablo 5.1. Kocaeli ilinde atık işleme ve miktarı

ATIK İŞLEME YÖNTEMİ	ATIK İŞLEME YÖNTEMİ ADI	MİKTAR (kg)
R1	Enerji üretimi amacıyla başlıca yakıt olarak veya başka şekillerde kullanma	8051020
R2	Solvent (çözücü) ıslahı/yeniden üretimi	4414520
R3	Solvent olarak kullanılmayan organik maddelerin ıslahı/ geri dönüşümü (kompost ve diğer biyolojik dönüşüm süreçleri dahil	18196
R4	Metallerin ve metal bileşiklerinin ıslahı ve geri dönüşümü	31181705

Tablo 5.1. (Devam) Kocaeli ilinde atık işleme ve miktarı.

ATIK İŞLEME YÖNTEMİ	ATIK İŞLEME YÖNTEMİ ADI	MİKTAR (kg)
R5	Diğer anorganik maddelerin ıslahı/geri dönüşümü	1024044
R6	Asitlerin veya bazların yeniden üretimi	7734120
R8	Katalizör parçalarının geri kazanımı	893
R9	Kullanılmış yağların yeniden rafine edilmesi veya diğer tekrar kullanımları	3872666
R12	Atıkların R1 ile R11 arasındaki işlemlerden herhangi birine tabi tutulmak üzere değişimi	65779803
R13	R1 ile R12 arasında belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutuluncaya kadar atıkların stoklanması (atığın üretildiği alan içinde geçici depolama, toplama hariç)	17987030
R_AHM	Alternatif hammadde işleme	312550
R_ATM	Atık minimizasyonu	24000
D5	Özel mühendislik gerektiren toprağın altında veya üstünde düzenli depolama (çevreden ve her biri ayrı olarak izole edilmiş ve örtülmüş hücresel depolama ve benzeri)	5164964
D9	D1 ile D12 arasında verilen işlemlerden herhangi biri ile bertaraf edilen nihai bileşiklere veya karışımlara uygulanan ve bu ekin başka bir yerinde ifade edilmeyen fiziksel- kimyasal işlemler (örn: buharlaştırma, kurutma, kalsinasyon ve benzeri)	2288298
D10	Yakma (karada)	7725838
D15	D1 ile D14 arasında belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutuluncaya kadar atığın üretildiği alan içinde geçici depolama (ara depolama tesisleri ve toplama işlemi hariç)	25040

R1 olarak adlandırılan atık işleme yöntemi yıllık 8.000 ton atığın ATY olarak değerlendirilebildiğini göstermektedir. R12 kodu ile ise 65.000 ton atık R1 yöntemine tabi tutulmak üzere hazırlanmaktadır. R1 VE R12 atık işleme yöntemlerini bir arada kullanıldığı düşünüldüğünde yıllık 75.000 ton atık ATY olarak değerlendirilebilir düzeyde olduğu görülmektedir (Tablo 5.1).

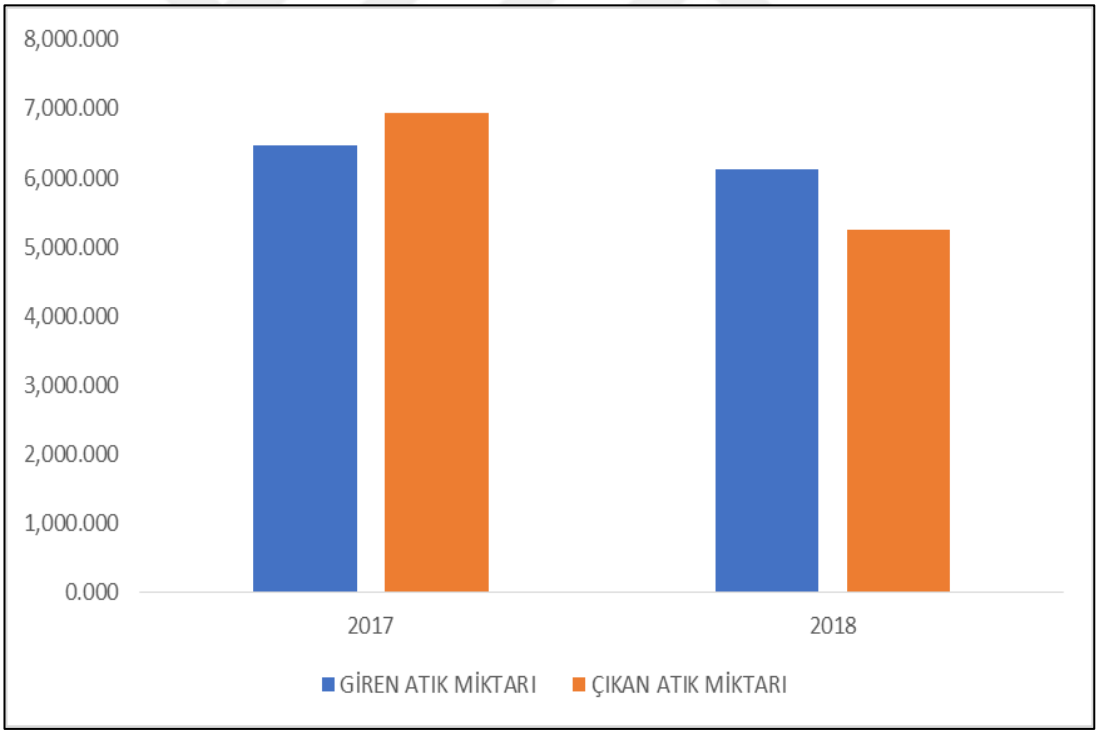
5.2. İncelenen ATY Tesisi Mevcut Durum Analizi

Tesisise kabul edilen atık türleri iki ana başlık olarak ambalaj atıklar ve tehlikesiz atıklar olarak sıralanabilir. Gelen ambalaj atıklarından (kağıt-karton, plastik, naylon, ahşap ambalaj vb.) geri dönüşüme yada geri kazanıma uygun olan malzemler ayrıştırılır, kalan atıklar ise ATY kompozisyonuna dahil edilir.

Tehlikesiz atık kategorisinde gelen atıklar ise geri dönüşüme uygun olmayan plastik ve karton türevleri, kompozit malzemler ahşap kırıntıları ve tekstil atıklarıdır.

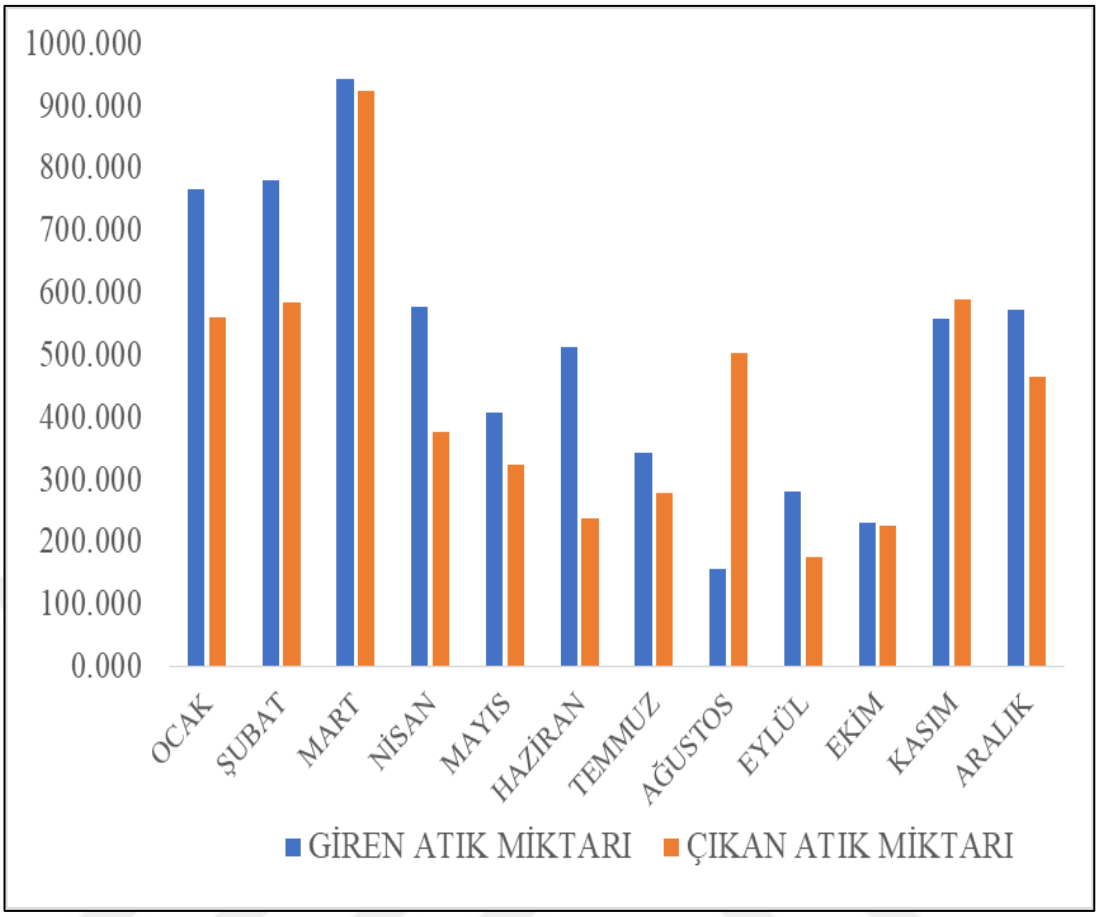
Yıllık ve aylık miktarda alınan atık miktarları grafiklerde verilmiştir.

Mevcut durumda ATY menüsü kırıcıya atılmadan önce malzemenin harmanlanmasıyla sağlanır. Harmanlama işlemi atıkların sahip oldukları kalorifik değerin homojen bir şekilde dağılmasını sağlar.



Şekil 5.5. 2017-2018 yılı toplam atık miktarı

Tesis gelen atıklar geri kazanıma veya geri dönüşüme uygun olabilecek atık türlerinden oluştuklarından dolayı ATY prosesine girmeden ayrıştırmadan geçirilirler. Ayrıştırmadan geçen malzemeler plastik, karton ve naylon türevlerinden olup geri dönüşüm – geri kazanım için ilgili tesislere gönderilmektedirler.



Şekil 5.6. 2018 yılı aylara göre atık giriş ve çıkış miktarları

5.3. ATY Tesislerinde Karşılaşılan Sorunlar

ATY üretim maliyetleri tesislerinin verimliliği açısından en önemli unsurdur. Mevcut tesiste meydana gelen maliyetlerin en önemli kalemi bakım-onarım maliyetidir. Ekipmanda oluşacak zararlar yenilenme ihtiyacının getirdiğinden hammadde fiyatlarının yüksek oluşuda bu malzemelerin üretilmesinde oluşan maliyetleri arttırmaktadır. ATY'yi oluşturacak atıkların iyi seçilmesi ve alımı esnasında prosedürlere uyulması bu maliyetlerin önüne geçebilecektir.

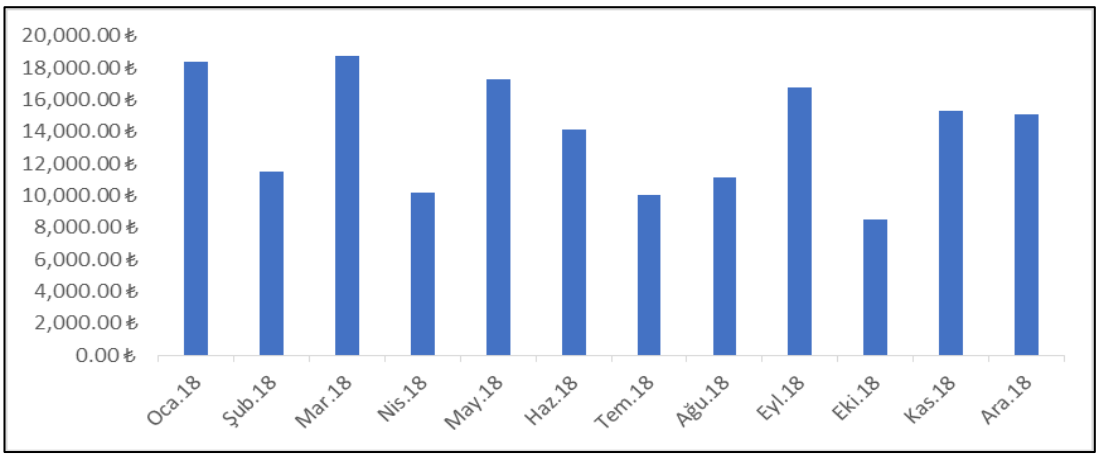
5.3.1. ATY tesisi işletme maliyetleri

İncelenen tesiste personel maaşları ve nakliye gideri en yüksek kalemleri oluşturmaktadır. İş makinelerinin bakım onarımı ve iş makineleri için kullanılan yakıtlar ikinci sırada gelmektedir. Sabit giderlerde tabloya eklendiğinde toplamda aylık 120.747,96 TL gider meydana gelmektedir. İşletme maliyetleri ayrıntılı olarak aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.2. Aylık İşletme Maliyetleri

AYLIK İŞLETME MALİYETİ	TL
Personel maaşı	51.768,81
Mali Danışmanlık	1.887,76
Çevre Danışmanlığı	500,00
OSGB Danışmanlığı	879,63
Yemek Gideri	2.169,10
Kargo Giderleri	555,52
Nakliye	36.350,00
Yakıt	13.810,42
Elektrik	1.574,89
Telefon	75,45
Su	1.364,30
İş Makinesi Servis Bakım Onarım Giderleri	2.370,84
İş Makinesi Lastik Kullanım/Değişim Giderleri	3.180,51
Bilgi İşlem Bakım Onarım	37,44
Personel İş Kıyafetleri Giderleri	760,00
Personel Muayene Giderleri	255,99
Sigorta Kasko	1.047,48
Lisanslama Giderleri	74,00
Noter / Tercümanlık / Damga Vergisi / Dava Giderleri	330,38
Çevre Düzenleme Giderleri	176,57
Banka Masrafları	798,87
Kantar Giderleri	780,00
TOPLAM GİDER	**120.747,96**

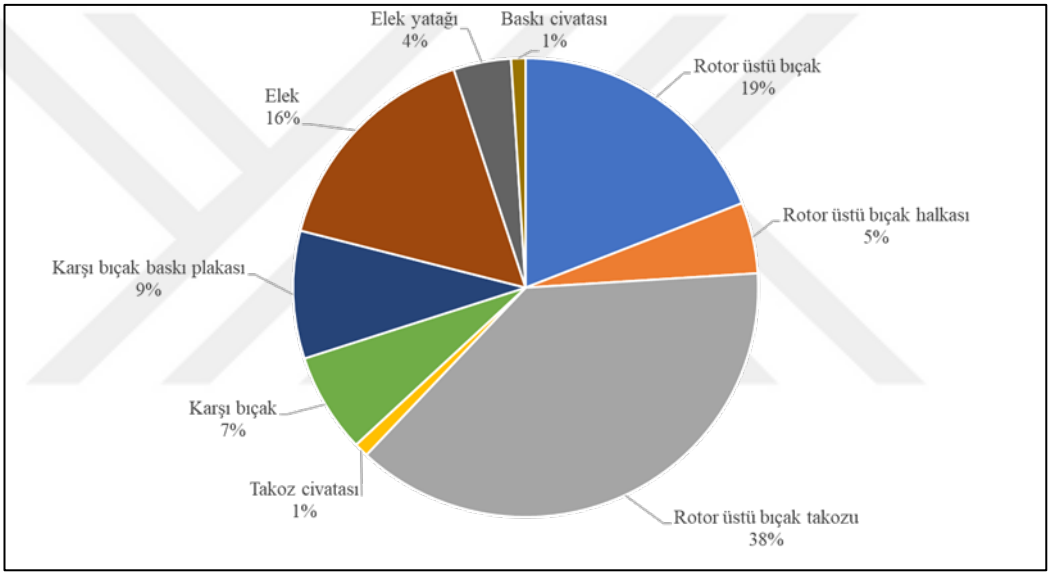
Tablo 5.2'de görüldüğü gibi işletme maliyetlerinin en önemli gider kalemleri personel maaşları ve nakliye bedelidir. Tesiste toplamda 2 adet iş makinesi operatörü, 2 adet forklift operatörü ve 8 adet saha personeli mevcut durumda iki vardiya olarak çalışmaktadır.



Şekil 5.7. ATY Tesisi Kırıcı Bakım Sarf Malzeme Maliyetleri

Tesiste bulunan kırıcıda meydana gelen arızaları gidermek için 1 yılda 175.543 TL harcandığı belirlenmiştir. Aylık olarak harcanan sarf malzeme maliyet harcamaları Şekil 5.7'de verilmektedir.

Yıl içerisinde yapılan bu bakım onarım çalışmalarında %38 ile rotor üstü bıçak takozları en yüksek maliyet kalemini oluşturmuştur (Şekil 5.8). Rotor üstü bıçaklar ise %19 oranla ikinci sırada gelmektedir. Bakım onarım çalışmalarından da görüldüğü gibi kırıcı için uygun olmayan malzemelerin kırıcıya beslenmesinden dolayı mukavemeti en yüksek olan bu ekipmanlar bile parçalanıp bakıma gereksinim duymuşlardır.



Şekil 5.8. Bakım çalışmalarında kırıcı ünitesi sarf malzeme maliyet yüzdeleri

Mevcut kırıcı bakım onarım maliyetlerinin yanı sıra kullanılan pres makinesinde ise 15 ton balya teline ihtiyaç duyulmaktadır. 15 ton balya teli yaklaşık olarak yıllık 5.000 ton ürün paketlemek için kullanılmaktadır. Kullanılan 15 ton balya telinin yıllık maliyeti değişkenlik gösterebileceği gibi yaklaşık olarak 45.000 TL olarak hesaplanmaktadır. Pres makinesinde oluşan arızalar ise tel bağlama sorunları buna bağlı olarak tel burma kancalarının gevşemesi, üretilen ATY'nin pres haznesine sıkışması gibi büyük bir bakım onarıma gerek duyulmadan makine operatörü tarafından giderilebilen küçük çaplı mekanik arızalardır. Bu arızaların giderilmesi herhangi bir ekonomik maliyet getirmemektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her geçen gün artan insan popülasyonu ve bu popülasyonun meydana getirdiği hızlı tüketim alışkanlığı ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi ve bertaraf edilmesini önemli kılmaktadır. ATY üretim teknolojileriyle hızla artan nüfusun aynı orantıda oluşturduğu enerji ihtiyacına cevap verebilmesi adına destek olması amaçlanmaktadır. Bu sayede depolama alanlarına gidecek atıklarında önüne geçilerek depolama alanlardaki vahşi uygulamalara da engel olunacaktır. ATY'ler için en önemli bir pazar olan çimento fabrikalarında kullanılacak ürünler fosil yakıtların ortaya çıkaracağı kirleticileri de azaltacaktır. ATY tesislerinin işletme sorunları ve çözüm yaklaşımları çalışmasının belirtileri incelendiğinde aşağıda bulunan temel sonuçlar elde edilmiştir;

- İncelenen tesis ve yapılan bu çalışmada tesis içerisinde bulunan kırıcı ve balyalama makinesi işletme sorunlarının ana unsurları oluşturmaktadır. Bu maliyetler analiz edildiğinde kırıcıda bulunan rotor üstü bıçak takozları ve rotor üstü bıçaklar en önemli harcama kalemleri olarak değerlendirilmiştir.
- Mevcut durumda bakım onarım masrafları yılda iki adet makine alımına eşdeğer gözükmektedir.
- Tesis içerisinde bakım onarım maliyetleri işleme maliyetlerinin önüne geçmektedir.
- İncelenen tesiste istenilen üretim kapasitenin net olarak belirlenmesi ya da mevcut kapasiteye uygun makine ekipman seçimiyle meydana gelen bakım onarım maliyetlerinin önüne geçilebileceği bu sayede tasarruf sağlanılabileceği düşünülmektedir.
- Mevcut kırıcı ikinci kırıcı özelliğine sahip olup prosese ek olarak daha geniş bıçak ve takoz yapısına sahip birinci kırıcı eklenmesi halinde ikinci kırıcının bakım onarım maliyetleri de düşecektir.
- Tesiste hali hazırda bulunan son kırıcıya ek olarak alınacak birinci kırıcı niteliğindeki ekipman son kırıcının üzerinde bulunan baskıyı azaltılabileceği gibi birinci kırıcının son kırıcıya zarar verebilecek malzemeleri önceden işlemesi

sağlanarak son kırıcıda büyük oranlarda ortaya çıkan bakım onarım maliyetlerinin de önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Prosese eklenecek bu kırıcının yaklaşık ikame maliyeti 300.000 Euro olup, kazanca bağlı olarak bu maliyeti tesisin 3 yıl içerisinde amorti edebileceği tahmin edilmektedir.

- Bu sayede mevcut sistem üzerindeki yük azaltılacak oluşan sorunlarda da doğru orantılı olarak düşüşler gözlenecektir. Tesise gelen atıkların ayrıştırılmasından önce toplama noktalarında yapılacak kaynağında ayrıştırma yabancı maddelerin tesise gelmeden fark edilmesini bu sayede de makine ya da ekipmanlara zarar vermeden sistemden uzaklaştırılmasını sağlayacaktır. Uygulanabilecek bu yöntemle bakım onarım maliyetlerinin de düşürüleceği ön görülmektedir.
- Türkiye' de bulunan mevcut atık kompozisyonu, miktarları ve maliyetler göz önünde bulundurulduğunda proses seçimlerinde kaba kırıcı, manyetik ayırıcı ve son parçalayıcı kullanılarak bakım onarım maliyetlerinde düşüş, aynı zamanda üretim miktarı ve verimliliğinde artış göstereceği düşünülmektedir.
- 2020 ve 2040 yılı projeksiyonu göz önüne alındığında ve ATY üretimine uygun %40'lık dilim hesaplandığında 300.000 ton atık alternatif yakıt olarak değerlendirilebilecektir. 2020 yılında bu atıkların 5000 ton/yıl atık işleme kapasitesine sahip 60 adet ATY tesisi ile işlenebilmesi mümkünken, 2040 yılı atık oluşum gelecek projeksiyonuna göre 120 adet ATY tesisi aktif hale getirilirse depolama sahalarında birikecek atıklara çözüm sağlanabilecek ve ekonomiye katkı sağlanabilecektir.
- Tesiste çalışan personellerin düzenli olarak mesleki eğitime tabi tutulmaları hem bakım onarım personellerinin hem de ayrıştırma işi yapan personellerin konu hakkında bilgi sahibi olmalarını sağlayacak dolayısıyla ekipmanı koruma kollama düşüncesi pekiştirmiş olacaktır. Bakım onarım personellerine de düzenli olarak teknik eğitimler verilmesi makine ve ekipmanların ömrünü uzatabileceği gibi tesisin verimine de katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Diaz L.F., Savage G.M., Pretreatment Options for Waste-to-Energy Facilities, *U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information*, CONF-9504119, 1-981, 1996.

Dou B., Park S., Lim S., Yu T.U., Hwang J., Pyrolysis Characteristics of Refuse Derived Fuel in a Pilot-Scale Unit, *Energy & Fuels*, 2007, **21**, 3730–3734.

Ganesh T., Vignesh P., Refuse Derived Fuel To Electricity, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2013, **2**, 1-4.

Garg A., Smith R., Hill D., Longhurst P.J., Pollard S.J.T., Simms N.J., An integrated appraisal of energy recovery options in the United Kingdom using solid recovered fuel derived from municipal solid waste, *Waste Management*, 2009, **29**(8), 2289–2297.

Garg A., Smith R., Hill D., Simms N., Polard S., Wastes as Co-Fuels: The Policy Framework for Solid Recovered Fuel (SRF) in Europe, with UK Implications, *Environ. Sci. Technol.*, 2007, **41**(14), 4868-4874.

Genç G., Atıktan Türetilmiş Yakıta Uygunalabilecek Ön İşlemlerin Piroliz ve Yanma Karakteristliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, 343214.

Gendebien A., Leavens A., Blackmore K., Godley A., Lewin K., Whiting K.J., Davis R., Refuse Derived Fuels, Current Practice And Perspectives, *European Commission, Directorate General Environment*, CO5087-42003, 1-229, 2003.

Kapetanios E., Achinas S., Efficiency Evaluation of RDF Plasma Gasification Process-Spyridon, *Energy and Environment Research*, 2013, **3**(1), 150-157

Lonardo M.C.D., Lombardi F., Gavasci R., Characterization of MBT plants input and outputs: a review, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 2012, **11**, 353–363.

Moya D., Aldás C., López G., Kaparaju P., Municipal Solid Waste As A Valuable Renewable Energy Resource: A Worldwide Opportunity Of Energy Recovery by Using Waste-To- Energy Technologies, *Energy Procedia*, 2017, **134**, 286-295.

Nithikul J., Potential of Refuse Derived Fuel Production From Bangkok Municipal Solid Waste, Master Thesis, Asian Institute of Technology, School of Environment, Thailand.

Njoku P. O., Odiyo J. O., Durowoju O. S., Edokpayi J. N., A Review of Landfill Gas Generation and Utilisation in Africa, *Open Environmental Sciences*, 2018, **10**, 1-15.

Oost V., Hrabovsky M., Pyrolysis of waste using a hybrid argon–water stabilized torch, *Vacuum*, 2006, **80**(11-12), 1132-1137.

Özel A., Çimento Üretiminde ATY Kullanımı ve Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011, 11646.

Rada E.C., Ragazzi M., Selective Collection as A Pretreatment for Indirect Solid Recovered Fuel Generation, *Waste Management*, 2004, **34**, 291–297.

Ripa M., Fiorentino G., Giani H., Clausen A., Ulgiati S., Refuse Recovered Biomass Fuel From Municipal Solid Waste,. A Life Cycle Assessment, *Applied Energy*, 2017, **186**(2), 211-225.

Tezçakar M., Atık Yönetiminde İleri Termal Teknolojiler, *Atık Yönetimi Sempozyumu*, Antalya, 15-18 Nisan 2013.

Tintner, J., Smidt E., Böhm, K., Binner, E., Investigations of Biological Processes in Austrian MBT Plants, *Waste Management*, 2010, **30**, 1903–1907.

URL-1: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyo_gazlastirme.aspx, (Ziyaret tarihi: 20.09.2019)

URL-2: https://www.zkg.de/en/ artikel/zkg_Solid_Recovered_Fuels _Specifications _and_classes_2067874.html , (Ziyaret tarihi: 15.10.2019).

URL-3: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100326-13.htm, (Ziyaret tarihi: 20.06.2019)Z.

URL-4: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/06/20140620-8.htm, (Ziyaret tarihi: 02.07.2019)

URL-5: https:// webdosya.csb.gov.tr /db/ sifiratik/icerikler/ k-tapc-k-2017-1-20180129130757.pdf, (Ziyaret tarihi: 09.07.2020).

URL-6: https://slideplayer.com/slide/1637866/(Ziyaret tarihi: 15.07.2019)

URL-7: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019#, (Ziyaret tarihi: 15.08.2019) .

URL-8: http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=127, (Ziyaret tarihi: 27.08.2019).

Yang B., Zhang L., Jahng D., Importance of Initial Moisture Content and Bulking Agent for Biodrying Sewage Sludge, *Drying Technology*, 2014, **32**(2), 135-144..

EKLER

Ek-A

Tablo A.1. Yıl boyunca harcama kalemleri(Ocak-Mart)

PARÇA ADI	Oca.18			Şub.18			Mar.18		
	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT	TOPLAM	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT	TOPLAM	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT	TOPLAM
Rotor üstü 43	110	29,00 ₺	**3.190,00 ₺**	70	29,00 ₺	**2.030,00 ₺**	**50**	29,00 ₺	1.450,00 ₺
Rotor Üstü Bıçak Tutucu/Halkası	60	24,00 ₺	**1.440,00 ₺**	20	24,00 ₺	**480,00 ₺**	**15**	24,00 ₺	360,00 ₺
Rotor Üstü Bıçak Takozu	45	220,00 ₺	**9.900,00 ₺**	40	220,00 ₺	**8.800,00 ₺**	**55**	220,00 ₺	12.100,00 ₺
Takoz civatası Civata M24*80	25	6,50 ₺	**162,50 ₺**	20	6,50 ₺	**130,00 ₺**	**20**	6,50 ₺	130,00 ₺
Bıçak merkezleme civatası M10*30	35	2,50 ₺	**87,50 ₺**	25	2,50 ₺	**62,50 ₺**	**20**	2,50 ₺	50,00 ₺
Karşı Bıçak	2	525,00 ₺	**1.050,00 ₺**	0	525,00 ₺	- ₺	**2**	525,00 ₺	1.050,00 ₺
Karşı Bıçak Baskı Plakası	0	510,00 ₺	- ₺	0	510,00 ₺	- ₺	**2**	510,00 ₺	1.020,00 ₺
Elek	2	1.250,00 ₺	**2.500,00 ₺**	0	1.250,00 ₺	- ₺	**2**	1.250,00 ₺	2.500,00 ₺
Elek Yatağı	0	2.500,00 ₺	- ₺	0	2.500,00 ₺	- ₺	**0**	2.500,00 ₺	- ₺
Baskı civatası M20*170	4	13,50 ₺	**54,00 ₺**	8	13,50 ₺	**108,00 ₺**	**4**	13,50 ₺	54,00 ₺
TOPLAM 10	**283**	**5.080,50 TL**	**18.384,00 ₺**	**183,00 TL**	**5.080,50 TL**	**11.610,50 ₺**	**170,00 TL**	**5.080,50 TL**	**18.714,00 ₺**

Tablo A.2. Yıl boyunca harcama kalemleri(Nisan-Haziran)

PARÇA ADI	Nis.18			May.18			Haz.18		
	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT	TOPLAM	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT	TOPLAM	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT (TL)	TOPLAM
Rotor üstü 43*43 bıçak	**65**	**29,00 ₺**	**1.885,00 ₺**	**70**	**29,00 ₺**	**2.030,00 ₺**	**80**	**29,00 ₺**	**2.320,00 ₺**
Rotor Üstü Bıçak Tutucu/Halkası	**20**	**24,00 ₺**	**480,00 ₺**	**25**	**24,00 ₺**	**600,00 ₺**	**30**	**24,00 ₺**	**720,00 ₺**
Rotor Üstü Bıçak Takozu	**35**	**220,00 ₺**	**7.700,00 ₺**	**45**	**220,00 ₺**	**9.900,00 ₺**	**50**	**220,00 ₺**	**11.000,00 ₺**
Takoz civatası Civata M24*80	**10**	**6,50 ₺**	**65,00 ₺**	**15**	**6,50 ₺**	**97,50 ₺**	**10**	**6,50 ₺**	**65,00 ₺**
Bıçak merkezleme civatası M10*30	**15**	**2,50 ₺**	**37,50 ₺**	**15**	**2,50 ₺**	**37,50 ₺**	**20**	**2,50 ₺**	**50,00 ₺**
Karşı Bıçak	**0**	**525,00 ₺**	**-**	**2**	**525,00 ₺**	**1.050,00 ₺**	**0**	**525,00 ₺**	**0,00 ₺**
Karşı Bıçak Baskı Plakası	**0**	**510,00 ₺**	**-**	**2**	**510,00 ₺**	**1.020,00 ₺**	**0**	**510,00 ₺**	**0,00 ₺**
Elek	**0**	**1.250,00 ₺**	**-**	**2**	**1.250,00 ₺**	**2.500,00 ₺**	**0**	**1.250,00 ₺**	**0,00 ₺**
Elek Yatağı	**0**	**2.500,00 ₺**	**-**	**0**	**2.500,00 ₺**	**- ₺**	**0**	**2.500,00 ₺**	**0,00 ₺**
Baskı civatası M20*170	**0**	**13,50 ₺**	**-**	**4**	**13,50 ₺**	**54,00 ₺**	**0**	**13,50 ₺**	**0,00 ₺**
TOPLAM 10 KALEM	**145,00 TL**	**5.080,50 TL**	**10.167,50 ₺**	**180,00 TL**	**5.080,50 TL**	**17.289,00 ₺**	**190,00 TL**	**5.080,50 TL**	**14.155,00 ₺**

Tablo A.3. Yıl boyunca harcama kalemleri(Temmuz-Eylül)

PARÇA ADI	Tem.18			Ağu.18			Eyl.18		
	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT (TL)	TOPLAM	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT (TL)	TOPLAM	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT (TL)	TOPLAM
Rotor üstü 43*43 bıçak	85	29,00 ₺	2.465,00 ₺	85	29,00 ₺	2.465,00 ₺	80	29,0	2.320,00 ₺
Rotor Üstü Bıçak Tutucu/ Halkası	35	24,00 ₺	840,00 ₺	30	24,00 ₺	720,00 ₺	20	24,0	480,00 ₺
Rotor Üstü Bıçak Takozu	30	220,00 ₺	6.600,00 ₺	25	220,00 ₺	5.500,00 ₺	30	220,0	6.600,00 ₺
Takoz civatası Civata M24*80	15	6,50 ₺	97,50 ₺	20	6,50 ₺	130,00 ₺	15	6,5	97,50 ₺
Bıçak merkezleme civatası M10*30	15	2,50 ₺	37,50 ₺	20	2,50 ₺	50,00 ₺	20	2,5	50,00 ₺
Karşı Bıçak	0	525,00 ₺	0,00 ₺	1	525,00 ₺	525,00 ₺	0	525,0	0,00 ₺
Karşı Bıçak Baskı Plakası	0	510,00 ₺	0,00 ₺	1	510,00 ₺	510,00 ₺	4	510,0	2.040,00 ₺
Elek	0	1.250,00 ₺	0,00 ₺	1	1.250,00 ₺	1.250,00 ₺	0	1.250,0	0,00 ₺
Elek Yatağı	0	2.500,00 ₺	0,00 ₺	0	2.500,00 ₺	0,00 ₺	2	2.500,0	5.000,00 ₺
Baskı civatası M20*170	0	13,50 ₺	0,00 ₺	0	13,50 ₺	0,00 ₺	12	13,5	162,00 ₺
TOPLAM 10 KALEM	**180,00 TL**	**5.080,50 TL**	**10.040,00 ₺**	**183,00 TL**	**5.080,50 TL**	**11.150,00 ₺**	**183,00 TL**	**5.080,50 TL**	**16.749,50 ₺**

Tablo A.3. Yıl boyunca harcama kalemleri(Ekim-Aralık)

PARÇA ADI	Eki.18			Kas.18			Ara.18		
	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT (TL)	TOPLAM	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT (TL)	TOPLAM	KULLANILAN ADET	BİRİM FİYAT (TL)	TOPLAM
Rotor üsti	90	29,00 ₺	2.610,00 TL	75	29,00 ₺	2.175,00 ₺	85	29,00 ₺	2.465,00 ₺
Rotor Üstü Bıçak Tutucu/Halkası	10	24,00 ₺	240,00 ₺	25	24,00 ₺	600,00 ₺	40	24,00 ₺	960,00 ₺
Rotor Üstü Bıçak Takozu	25	220,00 ₺	5.500,00 ₺	35	220,00 ₺	7.700,00 ₺	45	220,00 ₺	9.900,00 ₺
Takoz civatası Civata M24*80	15	6,50 ₺	97,50 ₺	15	6,50 ₺	97,50 ₺	20	6,50 ₺	130,00 ₺
Bıçak merkezleme civatası M10*30	15	2,50 ₺	37,50 ₺	20	2,50 ₺	50,00 ₺	15	2,50 ₺	37,50 ₺
Karşı Bıçak	0	525,00 ₺	0,00 ₺	2	525,00 ₺	1.050,00 ₺	3	525,00 ₺	1.575,00 ₺
Karşı Bıçak Baskı Plakası	0	510,00 ₺	0,00 ₺	2	510,00 ₺	1.020,00 ₺		510,00 ₺	0,00 ₺
Elek	0	1.250,00 ₺	0,00 ₺	2	1.250,00 ₺	2.500,00 ₺		1.250,00 ₺	0,00 ₺
Elek Yatağı	0	2.500,00 ₺	0,00 ₺		2.500,00 ₺	0,00 ₺		2.500,00 ₺	0,00 ₺
Baskı civatası M20*170	0	13,50 ₺	0,00 ₺	8	13,50 ₺	108,00 ₺	4	13,50 ₺	54,00 ₺
TOPLAM 10	155,00 TL	**5.080,50 TL**	**8.485,00 ₺**	**184,00 TL**	**5.080,50 TL**	**15.300,50 ₺**	**212,00 TL**	**5.080,50 TL**	**15.121,50 ₺**

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Angın V. O., Atıktan Türetilmiş Yakıt Üretim Tesislerinde İşletme Sorunları ve Çözüm Yaklaşımları, *Uluslarası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi,* İstanbul, 10-11 Kasım 2018

ÖZGEÇMİŞ

Veysel Ozan Angın 1990 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Programında yüksek lisansa başladı.