



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL KATI ATIKLARIN İNCE TANECİK BOYUTUNA
PARÇALANMASININ GAZ OLUŞUMUNA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

AZEM SARI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ETHEM TOKLU**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL KATI ATIKLARIN TERMAL İŞLENMESİNİN ENERJİ
OPTİMİZASYONU**

Azem SARI tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ethem TOKLU

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ethem TOKLU

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Kemal ERMİŞ

Sakarya Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 26/11/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

26 Kasım 2019

Azem SARI

TEŞEKKÜR

Lisansüstü öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Ethem TOKLU' ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

26 Kasım 2019

Azem SARI



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	IX
SİMGELER	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. KENTSEL KATI ATIKLAR.....	1
1.2. KATI ATIK SINIFLANDIRILMASI.....	9
1.2.1. İnsan ve çevre sağlığına etkilerine göre;.....	9
1.2.2. Kaynaklarına göre;.....	10
1.3. KENTSEL ATIK YÖNETİMİ	11
1.3.1. Atık Yönetimi Planlanması	12
1.3.2. Katı Atık Bertaraf Aşamaları.....	12
1.3.3. Katı Atık Uzaklaştırma Yöntemleri.....	12
1.4. KENTSEL ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜ.....	14
1.4.1. Geri Dönüşümün Önemi	15
1.4.2. Geri Dönüşüm Uygulamasının Aşamaları	15
1.4.3. Geri Dönüşüm Sisteminin Basamakları.....	15
1.4.4. Geri Dönüşümde Yasal Mevzuat.....	16
1.4.5. Geri Dönüşebilen Maddeler	16
1.5. ATIK PARÇALAMA MAKİNESİ TÜRLERİ	20
1.5.1. Darbeli Parçalayıcı	24
1.5.2. Düşük Hızlı Yüksek Torklu (Kesici Parçalayıcılar)	26
1.5.3. Tip 1 Kesme Makinesi	27
1.5.4. Tip 2 Parçalama Makinesi	30
1.5.5. Tip 3 Parçalama Makinesi	34

1.5.6. Motorlu Manyok Parçalama Makinesi.....	35
1.5.7. Atık Parçalama Makinesi.....	36
1.6. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	38
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
2.1. KATI ATIK ÖĞÜTÜCÜNÜN TASARIMINDA KULLANILAN HESAPLAMALAR	44
2.1.1. Katı Atık Parçalamak İçin Gerekli Kuvvet.....	44
2.1.2. Elektromotor Kuvveti.....	44
2.1.3. Makaralar	45
2.1.4. V-Kayışı Uzunluğu.....	45
2.1.5. Mil Tasarımı.....	45
2.1.6. Şasi Tasarımı.....	46
2.1.7. Şasiler İçin Cıvata Seçimi.....	47
2.2. TASARIM ANALİZLERİ	48
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
3.1. SONLU ELEMANLAR MODELİ.....	52
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
5. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Entegre katı atık yönetimi akış şeması [22].....	2
Şekil 1.2. Kentsel katı atıklardan enerji elde etme teknolojileri.....	6
Şekil 1.3. Kentsel katı atık önleme yöntemleri.....	8
Şekil 1.4. Katı atık yönetimi hiyerarşisi.	11
Şekil 1.5. Melez kavağın TGA sisteminde gerçekleştirilen karbonizasyon deney sonuçları.	24
Şekil 1.6. Melez kavağın boru fırında gerçekleştirilen karbonizasyon deney sonuçları.	25
Şekil 1.7. 1600 darbeli kırıcı [3].	245
Şekil 1.8. Bir darbeli parçalayıcının dahili düzeni [3].	28
Şekil 1.9. LSHT parçalayıcının kesici mili [SSI 3600 H] [3].	269
Şekil 1.10. Tip 1 kesme makinesi [4].	30
Şekil 1.11. Şaftın yapısı [4].	32
Şekil 1.12. Tip 1 kesme makinesi [4].	33
Şekil 1.13. Kesme bölümünün iç kısmı [4].	34
Şekil 1.14. Tip 2 Parçalama Makinesine beslenen tipik bir kentsel atığın akışı [4].	35
Şekil 1.15. Tip III kesme makinesi [4].	36
Şekil 1.16. Cassava Parçalama Makinesi İzometrik Çizim [2].....	36
Şekil 1.17. Parçacık boyutunun değişiminin katı, sıvı ve gaz ürün verimine etkisi.	39
Şekil 1.18. Parçacık boyutunun değişimi ile elde edilen katı ürünlerin infrared spektrumları.....	40
Şekil 1.19. Parçacık boyutunun değişiminin gaz ürün bileşimine etkisi.	41
Şekil 2.1. Kentsel atığın parçalanma sürecinin kısa diyagramı [1]	47
Şekil 2.2. Dört yıpranmış çekicinin fotoğrafı [1].....	49
Şekil 2.3. Çarpma sürecinin kısa diyagramı: (a) çarpma öncesinde, (b) çarpma sonrasında.....	49
Şekil 2.4.Çarpma kuvveti Ft'nin diyagramı [1].....	51
Şekil 3.1. Parçalayıcı sistemin sonlu elemanlar modeli: (a) belirli bir açıdaki görünüş, (b) kesit görünüşü, (c) döner sistem [1].	53
Şekil 4.1. Katı, sıvı ve gaz ürün kütlece oranları.....	53
Şekil 4.2. Farklı sıcaklık ve partikül boyutlarında elde edilen gaz ürün miktarları.....	54
Şekil 4.3. Parçacık büyüklüğü ve reaktör sıcaklığının bir fonksiyonu olarak katı ve sıvı ağırlığının yüzdesi.	55

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Katı, sıvı ve gaz ürünlerinin verimlerinin parçacık boyutu ile değişimi ...	38
Çizelge 1.2. Parçacık boyutunun değişiminin gaz ürün bileşimine etkisi	40
Çizelge 1.3. Melez kavağın boru fırında gerçekleştirilen karbonizasyon sonuçları.	40
Çizelge 1.4. Melez kavağın TGA karbonizasyon sonuçları	40



KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
Ar	Argon
Btu	British Thermal Unit
C	Karbon
°C	Santigrad derece
C ₂ H ₄	Etilen
C ₂ H ₆	Etan
cal	Kalori
CaO	Kalsiyum oksit
CFD	Computational Fluid Dynamics
CH ₄	Metan
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
GWh	Gigawatt-saat
H ₂	Hidrojen
H ₂ O	Su
H ₂ S	Hidrojen sülfür
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HCl	Hidroklorik Asit
He	Helyum
HHV	Üst ısı değeri
K	Kelvin
K	Potasyum
kg	Kilogram
kJ	Kilojoule
KKA	Kentsel Katı Atık
LHV	Alt ısı değeri
Li	Lityum
mm	Milimetre
MSW	Municipal Solid Waste
N ₂	Azot
Na	Sodyum
PAH	Poliaromatik Hidrokarbon
ppm	Parts per million
RDF	Refuse Derived Fuel
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

SİMGELER

c_p	Özgül ısı
E	Yayım gücü
h	Entalpi
J	Işınsallık
m_i	Kütlesel debi
r_a	Kentsel katı atığın reaksiyon oranı
u_i	Hız
W	Watt
ρ	Yoğunluk
τ	Kesme kuvveti
U	Bireysel stokiyometrik oran
ϕ	Birleşik momentum akısı
ε	Yayınım

ÖZET

KENTSEL KATI ATIKLARIN İNCE TANECİK BOYUTUNA PARÇALANMASININ GAZ OLUŞUMUNA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Azem SARI

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ethem TOKLU

Kasım 2019, 60 sayfa

Kentsel Katı Atık parçalanması ve boyut küçültmesi sıklıkla entegre katı atık yönetimi altında malzeme geri kazanımı sektöründe yani geri dönüşümde kullanılmaktadır. Tarihsel olarak boyut küçültmenin faydaları üç başlıkta incelenmektedir. Bunlardan ilki, atık yığınının ham Kentsel katı atığı kâğıt, plastik ve cam ambalajların malzeme geri kazanımının ve ayrılmasının daha verimli olabilmesi için parçalara ayrılarak temel bileşenlerine ayrılmasıdır. İkincisi ise Kentsel Katı Atık parçalanmanın ortalama tane boyutunu takip eden herhangi ekipman ya da personelin işlemesi için daha kolay bir boyuta indirgemesidir. Son olarak ve malzeme geri kazanım tesisleri için en önemlisi parçalama işleminin farklı Kentsel katı atık malzeme bileşenleri için farklı boyut dağılımları üreterek hava sınıflandırıcılar, elekler ve optik ayırıcılar gibi otomatik malzeme ayırma işlemlerini mümkün kılmasıdır. 1985 senesi öncesinde boyut küçültme cihazı tasarımında kullanılan başlıca prensip sadece darbe gücünün uygulanmasına odaklanmıştı. Böylesi bir düşüncenin sonuçları sermaye ve işletme maliyetlerinde artışa neden olan daha büyük ve daha ağır makineler olmuştur. Kentsel katı atığın kompozisyonu o kadar çeşitlidir ki Kentsel katı atık için tasarlanan makinelerin hem yumuşak hem de sünek malzemeler ve bunların yanı sıra metal ve yoğun plastikler gibi sert ve dayanıklı malzemelerin işlenmesi için yeterli olacak kadar güçlü olması gerekmektedir.

Anahtar sözcükler: Kentsel katı atık, Makine tasarımı, Parçalama.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MUNICIPAL SOLID WASTE FRAGMENTATION TO GASEOUS FORMATION

Azem SARI

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ethem TOKLU

November 2019, 60 pages

Municipal Solid Waste disintegration and size reduction are often used in the material recovery sector under integrated solid waste management, ie in recycling. Historically, the benefits of size reduction are examined under three headings. The first of these is the separation of the waste pile into the main components of raw municipal solid waste paper, plastic and glass packages to make material recovery and separation more efficient. The second is the reduction of the Municipal Solid Waste fragmentation to an easier size for any equipment or personnel that follows the average grain size. Finally, and most importantly for material recovery facilities, the disintegration process enables automatic material separation processes such as air classifiers, sieves and optical separators by producing different size distributions for different municipal solid waste components. Prior to 1985, the main principle used in the design of a dimension reduction device was focused solely on the application of impact force. The results of such an idea were larger and heavier machines, which led to an increase in capital and operating costs. The composition of municipal solid waste is so diverse that machines designed for municipal solid waste must be strong enough to handle both soft and ductile materials, as well as hard and durable materials such as metals and dense plastics.

Keywords: Municipal solid waste (MSW), Machine design, Fragmentation.

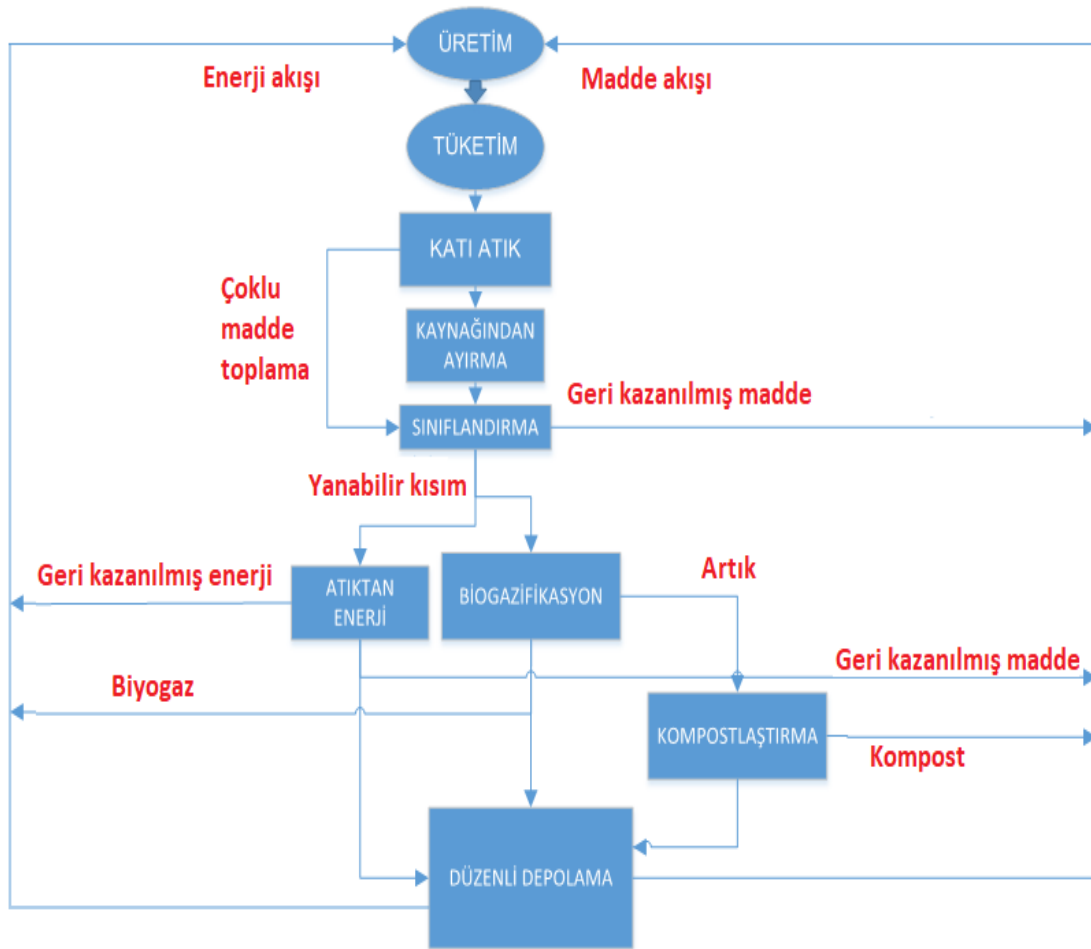
1. GİRİŞ

1.1. KENTSEL KATI ATIKLAR

Katı atık, en yalın anlatımıyla evsel, ticari ve endüstriyel işlevler sonucu oluşan ve tüketicisi tarafından artık işe yaramadığı gerekçesiyle atılan ancak çevre ve insan sağlığı yanında diğer toplumsal faydalar nedeniyle düzenli biçimde uzaklaştırılması gereken maddeler olarak tanımlanabilir. Atık yönetimi literatüründe katı atık kavramı sıvı, gaz veya radyoaktif atıklar dışında kalan atıklar için kullanılsa da, söz konusu katı atıkların yeniden üretim ve işleme sürecine sokulması nedeniyle artık daha fazla atık anlamı taşımayan katı ya da yarı katı maddeler için de kullanılmaktadır. KKA (Kentsel Katı Atık) tanımı ile literatürde birçok farklı şekillerde karşılaşılmaktadır. Bu tanımlamaların tamamı KKA'ların kullanılmayan birer kalıntı olduğunu gösteren ifadelerden ibarettir. Ancak KKA'lar uygun şartlarda değerlendirildikleri zaman birer kayıp olmaktan çıkar ve insanlığa büyük fayda sağlayacak kaynak haline gelir. İnsanoğlu geçmişten günümüze kadar olduğu gibi gelecekte de var olduğu sürece tüketim yapacak ve bunun sonucunda da sınırsız bir atık birikimine yol açacaktır. İnsanoğlu eğer bu atık birikimi ile ne yapacağını bilemez ve sadece bir yerlere yığıp zamanla doğaya karışmasını beklerse, KKA'lar küresel anlamda çözülemeyen bir sorun haline gelir. Ancak KKA'lar birer yenilenebilir enerji kaynağı gibi görülür ve ona göre muamele edilirse; gerekli termal işlemlerle enerji olarak geri dönüşümleri yapılabilirse, bu sefer insanlık için küresel bir kaynak haline gelirler. KKA'lar bir tanımlamada, değeri olmayan kalıntı veya işe yaramaz kalıntılar olarak tanımlanmaktadır [20]. Benzer şekilde yapılan bir başka tanımlamada ise KKA'lardan meskenler, ticari işletmeler (lokanta, kafe, alışveriş merkezi, bağımsız dükkânlar) ve kamu kuruluşları (karakol, hastane, okul vb.) tarafından ortaya çıkarılan maddeler olarak bahsedilmektedir. Daha sık rastlanan bir tanımlamada ise katı atıklar; üreticisi tarafından istenmeyen insan ve çevre sağlığı açısından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddelerdir, şeklinde tanımlanmıştır [22]. Atıklar, fiziksel hallerine göre (katı, sıvı ve gaz), malzeme yapılarına göre (cam, plastik, kâğıt vb.), fiziksel özelliklerine göre (yanabilir, biyolojik olarak bozundurulabilir, geri dönüştürülebilir), kullanım alanına göre (ticari, tarımsal,

endüstriyel) veya güvenlik seviyesine göre (tehlikeli ve tehlikesiz) birçok farklı şekilde sınıflandırılabilirler [23]. Bu sınıflandırmalar uygulamaya yönelik yapılması durumunda, KKA'lar için en uygun dönüşüm prosesleri belirlenerek, geri dönüşüm verimliliği artırılabilir.

Çevresel olumsuz etkilerin minimize edildiği, en az miktarda düzenli depolama sahası ihtiyacı olan, minimum düzeyde enerji kullanımı olan ve de maliyeti en uygun olan çözümün sunulması, entegre katı atık planı yapılırken başlıca dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Entegre katı atık yönetiminin temel amacı, en uygun maliyetle atığın çevreye zararlı etkilerini en aza indirmektir. Sistem bir bütün olarak; atık malzeme, atık kaynağı, toplama metodunu, işleme ve arıtma yöntemlerini tek bir çatı altında düşünerek değerlendirmelidir. Özellikle kullanılan ve atık haline gelen malzemenin tekrar kullanılabilir ve gelire dönüştürülebilir olması istenir. Yeni gelişmeler ve daha az maliyet arayışları içinde olmalıdır. Entegre katı atık yönetimi akış diyagramı (üretimden bertarafa kadar) Şekil 1.1'de gösterilmiştir [24].



Şekil 1.1. Entegre katı atık yönetimi akış şeması [22].

Kullanma süresi dolan ve ortak yaşam alanlarından uzaklaştırılması gereken her türlü madde atık olarak tanımlanmaktadır [3], [5], [22]–[25]. Katı atıklar için birden fazla sınıflandırma yöntemi vardır. Katı atıklar oluştukları yere göre evsel, endüstriyel ve ticari atıklar olarak sınıflandırılabilirken, kaynaklarına göre ise şu şekilde bir sınıflandırma yapmak mümkündür:

- Evsel atıklar
- Hurda katı atıklar
- Park, bahçe atıkları
- Sanayi atıkları
- Mezbaha atıkları
- Tehlikeli atıklar
- Zehirli atıklar
- İnşaat atıkları

Katı atıkların bir başka sınıflandırma yöntemi ise; organik veya inorganik olma durumlarına göre sınıflandırmadır. Atıkların organik veya inorganik olmaları bertaraf yöntemi seçilirken dikkate alınması gereken önemli kriterlerden biridir. Katı atık bileşenlerini ise aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [1], [2]:

- Mutfak atıkları
- Park ve bahçe atıkları
- Kâğıt, karton
- Plastik
- Tekstil
- Tahta
- Metal
- Cam
- Kül (toz, kum, taş dahil)

Katı atıklar yapı itibarıyla heterojen yapıdadırlar ve içerikleri sürekli olarak değişmektedir. Üretilen katı atık miktarı ve içeriği, nüfus, sosyal statü, hayat

standartları, gelir seviyesi, beslenme alışkanlıkları gibi çeşitli faktörlere göre değişiklik göstermektedir. Atık bileşimi bertaraf yönteminin seçilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Katı atıkları içeriğine göre aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

- Yanabilenler: Mutfak atıkları, bahçe atıkları, kâğıt, karton, plastik, kauçuk, tekstil

- Kompost olabilenler: Mutfak atıkları, bahçe atıkları, kâğıt

- Yanmayan ve kompost olmayanlar: Cam, metal, toprak, kül, cüruf, seramik

- Global gelişmenin devamlılığı için gerekli yöntemlerin ve uygulamaların belirlendiği 1992'deki Birleşmiş Milletler Çevre ve Gelişim Konferansı'nda çevreye duyarlı atık yönetiminde daha ileriye ulaşmak için katı atık bertaraf yöntemlerinin mutlak artırımına vurgu yapılırken, atık oluşumunun en aza indirilmesi ve buna karşın tekrar kullanım ve geri dönüşümün en üst seviyeye çıkarılmasının gerekliliğinin altı çizilmiştir. Katı atık yönetiminde o dönemde çalışmalarının çoğunluğunu durgun (günü kurtarmaya dayalı çözümler) atık yönetimi modelleri oluşturmakta ve atıkların depolanmasına yönelik uygulamalar gerçekleştirmekteydi. Sonrasında ise geleceğe yönelik etkili bir çözüm olmayan depolama yönteminden uzaklaşarak kaynaktan azaltma ve geri dönüşüme yönelik uygulamalar öne çıkmaya başlamıştır. Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkeler, ulusal geri kazanım ve geri dönüşüm stratejilerini değiştirmiş ve AB Düzenli Depolama Direktifi'ne göre, depolama sahasına gönderilecek, biyolojik olarak bozunabilen atıklarını en aza indirmeye çalışmaktadırlar [26]. Tüm bunlara bağlı olarak KKA oluşumundan çeşitli bertaraf yöntemlerine kadar olan adımların hepsini kapsayan entegre bir katı atık yönetimini ve bu adımların birbirleri ile olan ilişkisi beş ana unsurda ele alınmıştır [27];

- Önleme,

- Toplama, taşıma ve aktarma

- Geri kazanım/geri dönüşüm

- Arıtım

- Bertaraf

Katı atıklar eskiden sadece vahşi depolama ile bertaraf edilirken, çevre sorunlarının artması sonucunda daha etkin bertaraf yöntemleri araştırılmaya başlanmış ve atıkların enerji değerinin fark edilmesiyle ekonomik olarak bir girdiye dönüştürülme fikri giderek yaygınlaşmıştır. Bunun sonucu olarak da katı atık yönetimi her geçen gün daha fazla

önemsenen bir konu haline gelmiştir. Türkiye'de katı atık yönetimi yeni yeni uygulanmaya başlamışken dünyada bu konuda uzmanlaşmış denilebilecek birçok ülke bulunmaktadır. Dünyada katı atık yönetimi için harcanan miktar 410 milyar \$ civarındadır.

Hollanda'da toplanan atıkların %2'lik bir kısmı toprakaltında depolanmakta, %33'ü yakma tesislerine gönderilmekte ve geri kalan %65'lik kısım ise geri dönüşümde girdi olarak kullanılmaktadır.

Polonya'da atıkların %90'ı düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmektedir.

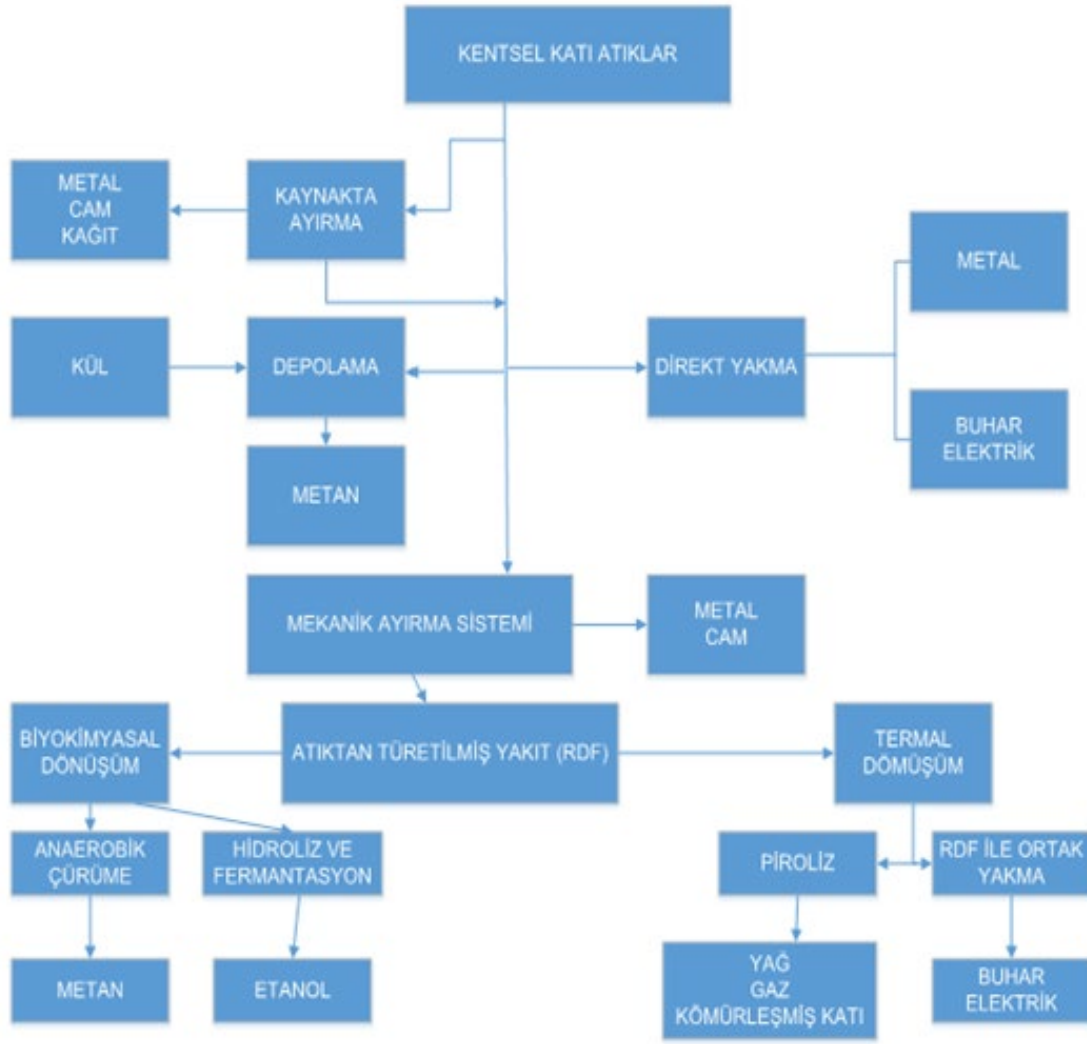
İngiltere, katı atık yönetimine yakın zamanda yer vermeye başlayan ülkelerden biridir. Toplanan atıkların %18'i geri dönüşümde kullanılmakta, %8'i yakma tesislerinde, geri kalan %74'ü ise düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmektedir.

Asya'da ise katı atıklar yaygın olarak çevreye en zararlı olan vahşi depolama ve sağlıksız toprakaltı depolama sistemleri ile yönetilmektedir.

Japonya' da çöplerin %74'ü yakma tesislerinde bertaraf edilmekteyken, Güney Kore' de çöplerin %49'u geri dönüşüm ile tekrar değerlendirilmektedir.

Katı atık yönetimi çerçevesinde tesislerde kullanılan teknolojiler şunlardır;

- Geri dönüşüm
- Düzenli depolama
- Termal dönüşüm teknolojileri (yakma, piroliz ve gazifikasyon)
- Biyolojik dönüşüm teknolojileri (aerobik ve anaerobik çürütme) [22].



Şekil 1.2. Kentsel katı atıklardan enerji elde etme teknolojileri.

Şekil 1.2’de kentsel katı atıklardan enerji elde etme teknolojileri görülmektedir. Yeryüzünde hızlı bir artışa sahip olan katı atık birikiminin doğaya verdiği zararı en aza indirmek çalışmalarında, öncelikle bu birikimin önlenmesi büyük önem taşımaktadır. EPA (Environment Protection Authority) tarafından 1980’lerde düzenlenen kongrelerde, üretim ve atıkların sadece çıkışta arıtımı sonucu tüketilen doğal kaynakların, gelecek nesillerin ihtiyacını karşılayamayacağı görüşülmüş ve zararlı maddelerin kullanılmasını, ya da doğal kaynakların tüketilmesini en aza indirmeyi ve atık üretiminin kaynağında azaltılmasını ele alan yeni bir kavram geliştirilmiştir. Bu kavram, atık azaltımı, kaynakta azaltma, yeşil mühendislik, sürdürülebilir mühendislik gibi adlarla anılmış, fakat en çok kullanılanı EPA tarafından bulunan kirlilik önleme “pollution prevention” terimi olmuştur [37]. Kirlilik önleme, atık yönetimine yeni anlayışlar getirmektedir. Atığın oluşmasını bekleyip, zararsız hale getirmeye çalışmak

yerine, kirlilik önleme anlayışı; bir ürünün oluşmasını sağlayan ham maddelerinden, kullanıldıktan sonra bertarafına ya da geri dönüşümüne kadar ömrünün belirlenmesini ve böylece çevreye en az zararlı hale getirmeyi benimsemektedir. Bu da, daha az toksik ya da çevreye daha az zarar verici madde kullanılması, daha etkin üretim süreçleri ya da daha az enerji ile çalışan süreçler bulunması, kullanıldıktan sonra geri dönüşümü daha kolay olan ürünler tasarlanması ve yakma tesislerine ya da depolama tesislerine gidecek atık miktarını azaltıcı yeni ambalajlar tasarlanması anlamına gelmektedir [21]. Kirlilik önlemenin hem ekonomik hem de çevresel avantajları vardır [38]. Bir katı atık yönetim sisteminin toplam maliyeti, malzemelerin toplanması, işlenmesi ve bertarafından oluşur. Kaynakta azaltma, katı atık yönetim sisteminin maliyetlerini çeşitli şekillerde azaltabilir; öncelikle, atık miktarını azaltarak, yatırım maliyetleri ve toplama maliyetleri gibi hususlarda etkin bir tasarruf sağlar. Yeni teknolojiler, özellikle kâğıtsız haberleşmeyi teşvik etmekte ve elektronik posta ve elektronik gazeteler yoluyla daha az atık üreterek iletişim sağlanabilmektedir. Bunun yansısı endüstri, ürünlerinin ambalajlanmasında artık daha az ambalaj malzemesi kullanma veya geri dönüştürülmüş malzemeden üretilen ambalajları piyasaya verme eğilimindedir. Bu anlamda yapılan ArGe çalışmalarının temelinde daha az ambalaj malzemesi kullanarak, daha etkin sonuçların alınması yatmaktadır. Bir endüstriden çıkan atıkların diğer bir endüstride kullanılması da önemli bir kaynakta azaltma yöntemidir [27].

Atıkların azaltılmasının en önemli çevresel yararı, kaynakların daha az kullanılması, daha az enerji harcanması ve daha az kirlilik yaratılmasıdır. Çünkü NO_x, CO₂ ve CH₄ gibi sera etkisine neden olan gazlar, özellikle hammaddelerin sağlanması için kullanılan enerji türlerinden kaynaklanır. Bu nedenle kentsel katı atıklar ile ilgili faaliyetlerin küresel ısınmadaki payları büyüktür. İçecek kapları için uygulanan depozito ve kota sistemleri gibi uygulamalar, bu malzemelerin geri dönüşüm oranlarında %80'in üzerinde bir artışa neden olabilir. Ancak, atık yönetimiyle ilgili kararların bazı çevresel etkileri her zaman çok net değildir. Örneğin; tek kullanımlık olanlar yerine yıkanabilir tabak, bardak, mutfak gereçleri ve havlu gibi ürünlerin kullanımı su tüketimini artırabilir. Bu da, arıtılan atık sudaki organik madde ve askıda katı madde miktarını artırır. Yine aynı şekilde, eski bir malzemenin onarımı ve yeniden kullanımı, etkinliğinin azalmasına veya daha fazla enerji harcanmasına neden olabilir. Toplam atık üretiminin büyük bir kısmını oluşturan kentsel atıklarla ilgili olarak Şekil 1.3'te [38], ortalama bir evde üretilen atığın %30 oranında nasıl indirgenebileceği görülmektedir.

Bileşen	Olağan (%)	Atık kaynağı	Kaynakta azaltma işlemleri	İndirgeme (%)
Organikler				
Gıda atıkları	9	Yiyecek hazırlama ve dökme	Kompostlama	50
Kâğıt	34	Gazete Tek taraflı kâğıt kullanımı Haberleşme Alışveriş torbaları	Elektronik kopyalar Çift taraflı kullanım Dijital yazışma teknolojileri Yeniden kullanılabilir torbalar	20
Karton	6	Ambalajlama	Aşırı ambalajlanmış ürün temininden kaçınma	10
Plastikler	7	Aşırı ambalajlama	Para ödemekten kaçınma; üretici sorumluluğu	25
Tekstiller	2	İstenmeyen giysiler	İhtiyaç sahibine verme	-
Kauçuk	0,5			-
Deri	0,5			-
Bahçe atıkları	18,5	Çim ve bahçe işleri	Yerinde kompostlama	90
Odun	2			-
İnorganikler				
Cam	8	Şişeler	Yeniden kullanma	10
Teneke kutular	6	Gıda kutuları	Ödemeden kaçınma	10
Alüminyum	0,5	İçecek kutuları	Ödemeden kaçınma	-
Diğer metal	3			-
Toz, kül vb.	3			-
Toplam	100			31,7

Şekil 1.3. Kentsel katı atık önleme yöntemleri.

Şekil 1.3 Kentsel katı atık önleme yöntemleri gösterilmektedir. Katı atıkların oluşumundan, toplanıp işlem göreceği yere veya son depolama yerine taşınmasına kadar geçen süre içinde, uygun yerlerde ve şartlarda geçici olarak depolanıp bekletilmesi gerekir. Burada bahsedilen depolanmanın düzenli depolama ile karıştırılmamalıdır. Etkin bir katı atık yönetimi çalışması için geçici depolamada geri kazanmaya dikkat edilmelidir. Mesela kâğıt ve kartonların mutfak çöprü ile karıştırılmadan, paketlenmiş olarak ayrıca biriktirilmesi gerekir. Plastik ve cam malzemelerde ayrı torbalarda toplanmalıdır. Böylece geri kazanım çalışmalarından maksimum verim alınacak ve geri kazanılacak atığın kalitesi yükselecektir. Geçici depolama için göz önüne alınacak esasları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Toplama işleminin ekonomik ve kolay olması sağlanmalıdır.
- Kötü kokulara engel olunmalıdır. Çöp kabı ve torbaların ağzı kapatılmalıdır.
- Katı atıklar fare, sinek vb. için bir beslenme ve üreme ortamı olmamalıdır. Bu amaçla gerekli önlem alınmalıdır.

- Etrafa dökülüp saçılmamalı, hoş olmayacak görüntülere engel olunmalıdır.
- Çöp kabı sayısı ve hacmi yeterli olmalıdır. Genel olarak evsel atıklar, bina içinde ve etrafında belirli noktalarda bulunan büyük konteynirlara yerleştirilmelidirler.

Evsel nitelikte olmayan katı atıkların toplanmasında ve üretilen tesis içinde biriktirilmesinde, çevre ve insan sağlığına zarar vermemek, çevrenin görüntüsünü bozmamak, çevreye koku ve toz yaymamak kaydıyla istenilen hacim ve şekilde kap veya tank kullanılabileceği Katı Atıkların Kontrolü yönetmeliğinde belirtilmiştir [39]. Belediyelerin en sık kullandığı yöntemlerden biri olan sistemsiz toplamada, atık için kullanılan kaplar, herhangi bir standarda tabi değildir. Bu durumda konut sakinleri, çöplerini kendi temin ettikleri poşet, teneke vb. kaplara doldurup belirli bir yere veya yol kenarına bırakırlar. Bu sistemler, belediyeler için düşük maliyet ve organizasyon kolaylığından dolayı avantajlı görülebilir. Özellikle yerleşimin yoğun olduğu ve sokakların dar olduğu bölgelerde bu toplama yöntemi kolaylık sağlar. Ancak, atıkların açıkta kalması, poşetlerin yırtılması, bazı atıkların doğrudan açık olarak sokağa atılmasından dolayı, ciddi hijyen problemleri meydana gelebilir [40]. Kentsel katı atık yönetim sistemlerinde rota oluşturma işleminde dikkat edilmesi gereken esaslar şunlardır [27]:

- Toplama noktası ve sıklığı ile ilgili yasal durum incelenmelidir.
- Personel sayısı ve araç tipi gibi mevcut sistem şartları saptanmalıdır. - Rotanın başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmelidir.
- Engebeli arazilerde rotanın başlangıç noktası tepede olmalıdır.
- En son boşaltılacak konteyner, bertaraf tesisine en yakın olan olmalıdır.
- Trafığın yoğun olduğu bölgelerdeki katı atıklar günün erken saatlerinde veya gece saatlerinde toplanmalıdır.
- Katı atık üretiminin az olduğu dağınık alma noktalarında toplama bir seferde veya aynı günde yapılmalıdır.

1.2. KATI ATIK SINIFLANDIRILMASI

1.2.1. İnsan ve çevre sağlığına etkilerine göre;

- **Zararlı ve Tehlikeli Atıklar:** Atıkların çevre ve insan sağlığına yönelik

potansiyel ve/veya olası olumsuz etkilerini önlemek amacıyla uzaklaştırma sürecinde özel işlemler gerektiren biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikte yanıcı-yakıcı, zehirleyici, yok edici veya diğer bir madde ile etkileşimi sonucu zararlı ve tehlikeli olabilen asit, kurşun, civa, arsenik bileşikleri, kendiliğinden tepkimeye yatkın reaktif atıklar, tarım ilaçları, kadmiyum bileşikleri ve radyoaktif maddelerdir.

- **Zararsız Atıklar:** Zararlı ve tehlikeli atık kapsamına girmeyen organik ve inorganik maddelerdir. Mutfak ve yemek atık ve artıkları, karton, kağıt, kül, metal, cam, plastik, inşaat ve hafriyat atıkları ile diğer sentetik maddeler bu gruptan sayılabilir.

1.2.2. Kaynaklarına Göre;

- **Evsel Atıklar:** Evsel faaliyetlerden oluşan atık ve artıklardır. Genellikle çöp olarak bilinen ve çoğunlukla zararsız atık grubuna ait atıklar olmakla birlikte evsel atıklar pil, boya vb. zararlı ve tehlikeli atıkları da içerebilmektedir.
- **Endüstriyel Atıklar:** Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıklardır. Endüstriyel işlemler sırasında ve/veya endüstriyel işlemler sonucunda oluşan atıkları kapsamaktadır. Endüstriyel katı atık yönetimi konusunda doğal kaynakların ve çevrenin korunması anlamında geri kazanım ve arıtma tesisi uygulamaları önem taşımaktadır.
- **Ticari ve Kurumsal Atıklar:** Ticari işletmelerden ve kurumlardan 5 ortaya çıkan atıklardır. Genel olarak evsel atıklar kadar organik madde içermeyen atıklardır. Lokanta, büfe, mağaza, okul, askeri yerleşim, liman, ofis, stadyum vb. ortak kullanım alanlarından toplanan atıklar bu kapsamda değerlendirilmektedir.
- **Belediysel İşlevler ile İlgili Atıklar:** Sokak süprüntüleri, park bahçe, toptancı halleri, plaj ve mesire yerlerinden toplanan atıklar, araba hurdaları, hayvan ölüleri, su arıtma tesislerinden ortaya çıkan çamurlar bu özelliktedir.
- **Özel Atıklar:** Uzaklaştırılması özel önem taşıyan atıklardır. Radyoaktif atıklar, tehlikeli ve zararlı endüstriyel atıklar, evsel atıklar içerisindeki boya, inceltici, temizlik maddeleri, piller vb., lastik tekerlekler, atık su çamurları, inşaat ve yıkıntı atıkları ile hastane atıkları bu gruptandır.
- **Tarımsal Atıklar:** Bitkisel ve hayvansal ürün elde edilmesi ve işlenmesi

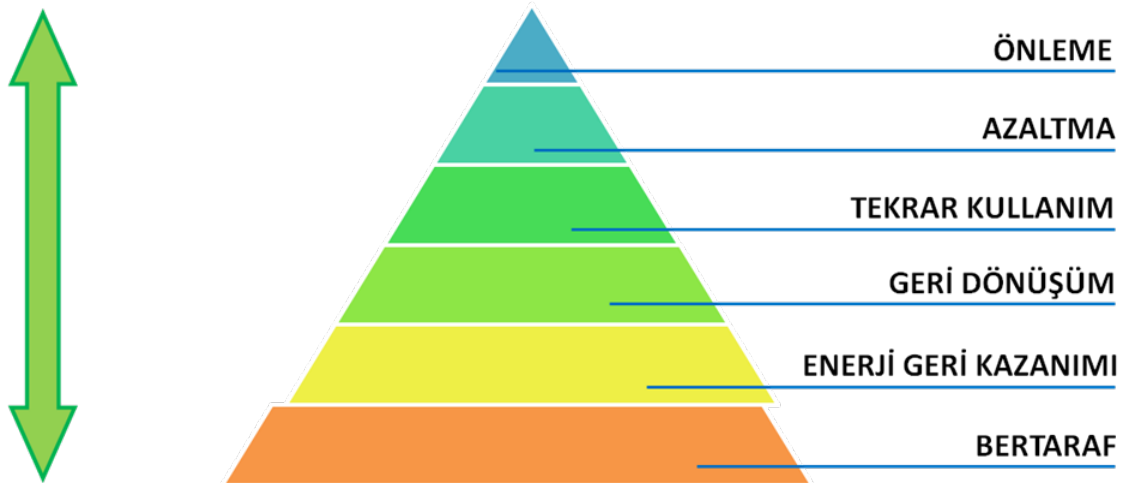
sonucunda ortaya çıkan atık ve artıklardır. Üretilen katı atıkların miktarı ve içerik özellikleri topluluk ya da toplumların sosyoekonomik özellikleri, beslenme alışkanlıkları, gelenekler, coğrafya, meslekler ve iklim gibi değişik şartlardan etkilenmektedir.

1.3. KENTSEL ATIK YÖNETİMİ

Atık yönetimi; atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri içeren bir yönetim biçimidir. Entegre atık yönetimi ise; atık yönetiminin entegre olarak tüm atıklara beraber uygulanmasıdır.

Katı atık yönetimi şunları içerir:

- Önleme ve kaynağında azaltma,
- Toplam, nakliye ve özelliğine göre ayrıştırma,
- Yeniden kullanım, geri kazanım ve kompostlama,
- Enerji amaçlı kullanım,
- Düzenli depolama şeklinde bertaraf,
- Bertaraf işlemleri sonrası kontrol.



Şekil 1.4. Katı atık yönetimi hiyerarşisi görülmektedir.

Katı atık hizmetlerinin görülmesini hedefleyen yönetsel yapılanmalarda temel amaç:

toplum tarafından üretilen atıkların en uygun ekonomik şartlarda çevresel, teknik ve sosyal anlamda etkin ve verimli biçimde toplanması ve uzaklaştırılmasıdır. Bu işlemlerin başarısı, büyük oranda halkın katılımına ve desteğine bağlıdır. Bu nedenle katı atık yönetiminde karar vericilerin, teknokratların, bürokratların ve benzeri ilgili tarafların ötesinde halkın da bilgilendirilmesi, entelektüel bir faaliyetten öte bir gerekliliktir.

1.3.1. Atık Yönetimi Planlanması

Uygulanabilir ve verimli bir atık yönetimi için aşağıdaki adımların uygulanması gerekir.

- Yetkili / sorumlu belirlemek
- Atığın tanımlanması
- Kaynağında ayrı toplama
- Personel eğitimi
- Geçici atık depolama sahası kurulması
- Ön işlem
- Atıkların bertaraf / geri kazanıma gönderilmesi
- Kayıtların tutulması

1.3.2. Katı Atık Bertaraf Aşamaları

Katı atık yönetimi, atığın üretiminden son posanın yok edilmesine kadar altı fonksiyonel aşamada gruplandırılır.

- Atık üretimi
- Depolanması ve işlenmesi
- Toplanması
- Aktarım ve taşınması
- İşlenmesi ve geri kazanılması
- Posanın yok edilm

1.3.3. Katı Atık Uzaklaştırma Yöntemleri

- İlk çağlarda yiyecek artıkları, ağaç-taş yontuklarından günümüzde uzayda başıboş dolaşan atıklar ve uydu parçalarına kadar her türlü insan faaliyeti sonucunda oluşan katı atıkların uzaklaştırılmasında binlerce yıldır uygulanan

başlıca yöntemler kısaca; düzensiz depolama, düzenli-sıhhi depolama, kompostlama, geri kazanım ve yakmadır.

- **Düzensiz Depolama:** Katı atıkların, yerleşim alanı dışında açık alan ve/veya deniz ve ırmaklara hiçbir önlem alınmadan gelişigüzel biçimde atılarak insan çevresinden uzaklaştırılmasıdır. Düzensiz depolama, katı atıkların çevresel ve ekonomik uygun koşullarda kabul edilebilir uzaklaştırılması yönteminden çok, toplumların katı atıkları algılamasında ilk evreyi oluşturan gözden uzak olsun anlayışıyla davrandıkları eski ve orta çağlarda kullanılmış, günümüzde ise kalkınmamış ve/veya kalkınmakta olan ülkelerde uygulanan, ancak insan ve çevre sağlığı ile diğer ekonomik sosyal olumsuzlukları nedeniyle terk edilmesi gereken uygulama olarak değerlendirilmelidir.
- **Düzenli-Sıhhi Depolama:** Katı atıkların depolama yöntemiyle uzaklaştırılması, atıkların çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin anlaşılması ve bu alanda teknik uygulamaların gelişmesi sonucunda depolama merdiveni biçiminde adlandırılan düzensiz depolama -kontrollü depolama-mühendisli depolama-düzenli sıhhi depolama gelişme çizgisini takip etmiştir. Uygun arazi olduğunda ekonomik ve maliyeti görece düşük olan düzenli depolama yönteminde alanın kapasitesi arttırılabilir, kullanım ömrü dolan alanlardan ise rekreasyon amacıyla yararlanılabilir. Atıkların uzaklaştırılmasında hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın belli atık çeşitleri için depolama yöntemine ihtiyaç duyulacaktır.
- **Kompostlaştırma,:** Kompostlaştırma, organik esaslı katı atıkların oksijenli ortamda ayrıştırılmasıyla yüksek verimli toprak düzenleyicisinin ortaya çıkarılması işlemidir. Kompostlama, atıklar içerisindeki organik maddelerin ayıklanması, ebat küçültme, nemlendirme, havalı şartlarda kararlı hale getirme ve kullanıma hazırlama işlemlerinden oluşur. Dünya tarihi kadar eski geçmişe sahip ve görece az teknoloji gerektiren kompostlaştırma yöntemi özellikle park, bahçe ve mutfak atıklarının uzaklaştırılmasını tarımsal olarak verimli kılmaktadır.
- **Tekrar kullanım;** atıkların temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekliyle defalarca kullanılmasıdır. Atığın kendi ilk şekliyle amacı ya da değişik amaçlar doğrultusunda yeniden kullanımı yöntemi, geri kazanım yöntemine yeğlenmektedir. Çünkü atığın tekrar kullanımı için toplama ve temizleme dışında hiçbir özel işleme gerek bulunmamaktadır.

- **Geri dönüşüm;** atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikinci hammadde olarak üretim sürecine sokulmasıdır.
- **Geri kazanım;** tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan, atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenleri fiziksel, kimyasal ya da biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Diğer bir deyişle geri kazanım süreci; geri kazanılabilir maddelerin katı atık yönetimi içinde toplama, taşıma, aktarma, ayırma ve pazarlama fonksiyonlarının da yer aldığı, artık kullanım dışı kalmış geri kazanılabilir maddelerin yeni bir ürün olarak geri kazanılmasıdır. Kısaca, kullanım dışı kalmış atığın yeni bir ürün olarak geri kazanılmasıdır.
- **Yakma:** Toplumların, uzun yıllardır, düzensiz depolama alanlarında atıkları hacimce azaltma amacıyla kontrolsüz yakmaları dışında modern anlamda katı atık uzaklaştırma yöntemi olarak yakma: Katı atıkların özel olarak projelendirilmiş tesislerde hacim olarak azaltma ve/veya enerji elde etmek amacıyla yakılarak uzaklaştırma ve enerji kazanım yöntemidir. Başlıca amacı depolama ile uzaklaştırılacak atık miktarının azaltılması olan yakma yöntemi ile katı atıklar hacimce %80-90, ağırlık bakımından %75- 80 oranında azaltılabilir.

1.4. KENTSEL ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Cam, metal, plastik, kağıt/karton gibi değerlendirilebilir gıda ambalaj atıkları çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir hammaddeye veya ürüne dönüştürülür. Bu atıkların, birtakım işlemlerden geçirildikten sonra ikinci bir ham madde olarak üretim sürecine sokulmasına geri dönüşüm denir. Bu süreç, her bir atık türü için malzemenin cins ve niteliğine göre farklılık gösterir. Geri dönüşüm, atıkların özelliklerinden yararlanarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Geri kazanım, değerlendirilebilir atıkların kaynağında ayrı toplanması, sınıflandırılması, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle, başka ürünlere veya enerjiye dönüştürülmesi işlemlerinin bütünü olarak adlandırılır. Geri dönüştürülebilir atıklardan yeni ürün ve malzemeler üretmek için en temel konu, bu atıkların oluştukları kaynakta temiz ve türlerine göre ayrılmış olarak biriktirilmesidir. Değerlendirilebilir atıklar diğer atıklar ile karıştırılırsa kirleneceği için elde edilecek yeni ürünün kalitesi düşük olur. Bu nedenle geri dönüştürülebilir atıklar, diğer atıklardan, yani çöplerden ayrı ve temiz olarak

toplanmalıdır.

Atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü dolana kadar defalarca kullanılmasına tekrar kullanım denir.

1.4.1. Geri Dönüşümün Önemi

- Doğal kaynaklarımızın korunmasını sağlar
- Enerji tasarrufu sağlar.
- Atık miktarını azaltarak çöp işlemlerinde kolaylık sağlar.
- Geri dönüşüm, geleceğe ve ekonomiye yatırım yapmamıza yardımcı olur

1.4.2. Geri Dönüşüm Uygulamasının Aşamaları

- Değerlendirilebilir atıklar (cam, metal, plastik ve kağıt/karton) diğer atıklar ile karıştırılmadan temiz bir şekilde ayrı olarak biriktirilir.
- Ayrı olarak biriktirilen bu atıklar, çöple karışmadan temiz bir şekilde belediyeler tarafından uygun araçlar kullanılarak ayrı toplanır.
- Kaynağında ayrı toplanan bu atıklar, ayırma tesislerinde cinslerine göre sınıflandırılır. Bu üç işlem geri kazanım olarak tanımlanır.
- Geri kazanılan atıklar tekrar işlenmek ve değerlendirilmek üzere geri dönüşüm işletmelerine sevk edilir. Geri dönüşüm işlemi her malzeme türü için farklı işlemlerden oluşur. Çöpün içindeki geri dönüştürülebilir malzemelerin önemli bir miktarını yiyecek ve içecek ambalajlarında kullanılan metal plastik ve cam atıklar ile kağıt ve karton oluşturmaktadır. Tüm bu malzemelerin tekrar üretim sürecine geçmesi için aşağıdaki beş temel basamak gerçekleştirilir.

1.4.3. Geri Dönüşüm Sisteminin Basamakları

- **Kaynakta Ayırma;** Değerlendirilebilir nitelikli atıkları, çöple karışmadan oluştukları kaynakta ayırarak biriktirme.
- **Değerlendirilebilir Atıkları Ayrı Toplama;** Bu işlem değerlendirilebilir atıkların, çöple karışmadan, temiz bir şekilde ayrı toplanması işlemidir
- **Sınıflama;** Bu işlem kaynağında ayrı toplanan malzemelerin cam, metal plastik ve kağıt bazında sınıflara ayrılmasıdır.

- **Değerlendirme;** Temiz, ayrılmış kullanılmış malzemelerin ekonomiye geri dönüşüm işlemidir. Bu işlemde malzeme kimyasal ve fiziksel olarak değişime uğrayarak yeni bir malzeme olarak ekonomiye geri döner.
- **Yeni Ürünü Ekonomiye Kazandırma;** Geri dönüştürülen ürünün yeniden kullanıma sunulmasıdır. Bu sistemde değerlendirme basamağı her malzeme için farklılık göstermektedir.

1.4.4. Geri Dönüşümde Yasal Mevzuat

Ülkemizde geri dönüşüm; Çevre Kanunu ve bu kanuna istinaden çıkarılan yönetmeliklerle düzenlenmektedir. Bu yönetmelikler aşağıda sıralanmıştır:

- Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği (APAK)
- Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği
- Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkında Yönetmelik
- Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
- Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği
- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği
- Atık Yönetimi Genel Esaslarına ilişkin Yönetmelik
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

1.4.5. Geri Dönüşebilen Maddeler

Demir, çelik, bakır, alüminyum, kurşun, piller, kâğıt, plastik, kauçuk, cam, motor yağları, atık yağlar, akümülatörler, araç lastikleri, beton, röntgen filmleri, elektronik atıklar, organik atıklar geri dönüşüm yapabilen maddelerdir.

- **Alüminyum:** Alüminyum üretiminde en önemli hammadde, kullanılmış alüminyumdur. Kullanılmış alüminyum, tekrar tekrar alüminyum üretiminde kullanılabilir. Alüminyum malzemeler %100 geri kazanılabilir. Atık alüminyum, küçük parçacıklar halinde doğranır. Daha sonra bu parçalar büyük ocaklarda eritilerek dökme alüminyum üretilir. Bu sayede atık alüminyum, saf alüminyum ile neredeyse aynı hale gelir ve üretimde kullanılabilir. Alüminyumun geri kazanımıyla enerji tüketiminde, hava kirliliğinde, su kirliliğinde, baca gazı kirlitici emisyonunda azalma olur ve boksit madeni korunmuş olur.
- **Beton:** Beton parçalar, yıkım alanlarından toplanarak kırma makinelerinin bulunduğu yerlere getirilir. Kırma işleminden sonra ufak parçalar, yeni işlerde

çakıl olarak kullanılır. Parçalanmış beton, eğer içeriğinde katkı maddeleri yoksa yeni beton için kuru harç olarak da kullanılabilir. Atık beton vb. öğütülüp, parçalanarak geri dönüştürüldüğü tesisten görüntü Her türlü imalat, bakım/onarım, altyapı ve inşaat projeleri çalışmalarında ve faaliyet süresince hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atıkları çıkmaktadır.

- **Kâğıt:** Kâğıt, insanlığın önemli ihtiyaç maddelerinden biri olup kâğıt sanayinin gelişmesi bir ülkenin sanayi ve kültürel gelişmişlik düzeylerinin belirleyici etmenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Herhangi bir kullanım alanında fonksiyonunu tamamlayan ve atılan her türlü kâğıt, karton ve mukavvalara atık kâğıt denilmektedir. Bu kapsamda, her ne kadar son kullanım yerine gönderilmemiş olsa da kâğıt fabrikalarından çıkan kopuk kâğıtlar, dönüşüm sırasında çıkan kırpıntı kâğıtlar ve gazete basan matbaalardan çıkan hatalı gazete baskıları ve baskı fazlası gazete kâğıtları da atık kâğıt kabul edilmektedir. Buna karşılık, tek kullanımlık olarak ve kullanıldıktan sonra atılan her türlü emici kağıtlar ve temizlik kağıtları hijyen ve sağlık nedenleri ile geri dönüştürülemediğinden ticari anlamda atık olarak bir ekonomik değere sahip değildir. Atık kâğıtlar geri dönüştürülebilen ve birçok kâğıt türünün imalinde kullanılacak tarzda ekonomik değere sahip, kendi çapında alım-satım pazarı olan bir hammaddedir. Kâğıt öncelikle kâğıt çamurunun hazırlanması için su içerisinde liflerine ayrılır. Gerekirse içinde lif olmayan yabancı maddeler için temizleme işlemine tutulur. Mürekkep ayırıcı olarak sodyum hidroksit veya sodyum karbonat kullanılır. Daha sonra hazır olan kâğıt lifleri, geri dönüşmüş kâğıt üretiminde kullanılır. Atık kâğıt sürekli olarak geri kazanılamaz. Eğer belirli miktardaki kâğıt sürekli olarak geri kazanılırsa son kullanılma limitlerine çok kısa bir süre içinde ulaşılır. Her geri kazanımda, liflerin boyu kısalır ve liflerin yapışması için yardımcı maddeler ilave edilmeden yeni kâğıt üretilemez.
- **Plastik:** Plastik, karbonun (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik ya da inorganik elementler ile oluşturduğu monomer adı verilen, basit yapıdaki molekülü gruplardaki bağın koparılarak polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen malzemelere verilen isimdir. Tanımdan anlaşılacağı üzere plastikler doğada hazır bulunmaz; doğadaki elementlere insan tarafından müdahale edilmesi ile elde edilir. Elde edilmesi belli bir sıcaklık ve basınç altında, katalizör kullanılarak monomerlerin reaksiyona sokulması ile olur. Plastik ilk üretildiğinde, toz, reçine veya granül

halde olabilir. Genelde plastikler, petrol rafinerilerinde kullanılan ham petrolün işlenmesi sonucu arta kalan malzemelerden elde edilir. Yapılan araştırmalara göre dünyadaki petrolün sadece %4 lük bir kısmı plastik üretimi için kullanılmaktadır. Plastik yaklaşık 1000 yılda yok olur. Geri kazanıldığında, çöp depolama alanının ömrü uzar. Yenilenmeyen hammadde kaynakları ve doğa korunur. 1 ton plastik geri kazanıldığında, 14 bin KW/sa enerji tasarrufu yapılmış olur. Plastik atıklar, öncelikle cinslerine göre ayrıştırılarak geri dönüşüm işlemine tabi tutulur. Cinslerine göre ayrılan geri dönüşebilir plastik atıklar, kırma makinelerinde kırılıp küçük parçalara ayrılır. İşletmeler bu parçaları direkt olarak belli oranlarda, orijinal hammadde ile karıştırarak üretim işleminde kullanabildiği gibi; tekrar eritip katkı maddeleri katarak ikinci sınıf hammadde olarak da kullanılabilir

- **Cam:** Cam, aşırı soğutulmuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle, diğer bazı metal oksitlerin çözülmesinden oluşan bir sıvı olup ana maddesi (SiO_2) silisyumdur. Cam üretiminde kullanılan hammadde, silisli kumdur. Cam, silisli kumun çeşitli katkı maddeleriyle birlikte yüksek sıcaklıkta eritilerek şekillendirilmesi sonucu meydana gelen malzemedir. Kalitesinde herhangi bir değişiklik olmaksızın %100 geri dönüştürülebilir ve sonsuz defa ikincil hammadde olarak tekrar üretime dâhil edilebilir. Cam ambalaj atıklarının küçük bir bölümü, cadde ve sokaklarda yerleştirilmiş kumbaralar ile kaynağından ve dolun tesisleriyle toptancılardan satın almak şeklinde toplanır. Kalan büyük bölüm ise atık depolama alanlarında ambalaj atıklarını ayırma faaliyetlerinde bulunan çöplük işletmecileri ve diğer hurdacı tedarikçilerden temin edilir. Böylece kumbaralar ve toplayıcılar olmak üzere iki ana kanalla geri dönüşüm tesislerine ulaşan cam ambalaj atıkları ikincil hammadde olarak kullanılır. Cam ambalajı atığı olarak elde edilen cam kırığı yeni ambalaj üretiminin yanı sıra, cam mozaik ve cam kürecik imalatında girdi olarak kullanılır. Ayrıca çok fazla miktarlarda olmamakla birlikte cam ambalaj atığı uygun şekilde işlenerek sanayi yüzey temizleyicisi, cam kumu, filtre ajanı, cam tozu, katkı ve dolgu malzemesi şeklinde birçok alanda kullanılır. Ambalaj atıkları cam mozaik, bina dış cephelerinde yalıtım, iç mekânlarda ise dekorasyon amaçlı olarak kullanılır. Cam kürecik ise katma değeri yüksek ve oldukça teknolojik bir üründür. Trafik yol işaretleri ile yol çizgi, şerit kaplamalarda kullanılan boya içerisine eklenerek işaretlerin ışığı geri yansıtması ve gece ışıldaması sağlanmış olur. Camın geri

kazanımıyla; enerji de, hava kirliliğinde, maden atığının azalmasında, su tüketiminde, doğal kaynaklarda (soda, kireç gibi) önemli tasarruflar sağlanır.

- **Aküler ve Piller:** Evlerde, işyerlerinde, ulaşımda ve sanayide kullanılan birçok alet ve ekipmanda pil kullanılmaktadır. Tüketimlerindeki hızlı artışlarla gündemdeki önemini daha da artırmıştır. Yüz yıl kadar önce keşfedilen ve günlük hayatta gittikçe daha sık kullanmaya başladığımız pil ve akümülatörler kolay taşınmaları ve pratiklikleri nedeniyle daha fazla miktarlarda tüketilmekte ve üretilmektedir. Atık piller; kağıt, metal ve cam gibi atıklara göre daha az hacme sahip olmalarına rağmen onlardan binlerce kat fazla doğal yaşama ve insanlığa zararlı ağır metaller içerir. Pil atıkları, içerdikleri zararlı maddeler sebebiyle tehlikeli özellikler taşımakta ve bilhassa su ve toprak kirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.
- **Lastikler:** Lastikler, araç altından söküldükten sonra "kullanılmış lastik" ya da "ömrünü tamamlamış lastik" olur. Çevrede zor ayrışır olmaları, atık lastiklerin önemli bir çevre problemi olmalarının asıl nedeni değildir. Ne kadar zor ayrışsalar da atıklar tabiatta sonunda ortadan kaldırılabilmektedir. Buna yakma ile destek de olunabilmektedir; ancak, üretilen atık lastiklerin çok önemli miktarlarda olması bu atıkların giderilmesindeki en önemli yönü ortaya koymaktadır. Atık lastiklerin; yeniden kaplama, geri kazanma, enerji elde edilmesi, atık deposunda depolama ve ihracat yöntemleri ile bertaraf edilmektedir. Hurda lastiklerin yığıldığı yerlerde önemli çevre zararları şunlardır
 - Yanıcılığı: (petrol türevi olup yanması durumunda söndürülememesi) Petrol türevi olan lastiği söndürmek bir petrol kuyusunu söndürmeye benzer dolayısıyla yangın başlamadan önlem almak şarttır. İçi boşluklu olduğundan söndürülmesi zordur. Atmosfere tonlarca zararlı bileşikler yayarlar (Karbon siyahı, uçucu organikler, yarı-uçucu organikler, çok halkalı hidrokarbonlar, yağlar, kükürt oksitleri, azot oksitleri, nitrosaminler, karbon oksitleri, uçucu partiküller ve As, Cd, Cr, Pb, Zn, Fe vb. gibi metaller). Yangın sonrasında önemli bir toprak ve yeraltı suyu kirlenmesi olur.
 - Hacmi; büyük ebatlarda olup çok yer kaplaması, Belli bir toplama alanı olmaması; çöplük, yol kenarı, benzin istasyonları, her türlü boş araziye bırakılması sebeplerden ötürü dikkate alınması gereken tehlikeli

atıklardır. Yeşillik alan ve toprağın üzerine bırakılan lastikler toprak kirliliğine sebep olur.

- **Yağ:** Atık yağları iki grupta toplayabiliriz.
 - Atık madeni yağlar (motor/endüstriyel yağlar, özel müstahzarlar ve kontamine olmuş yağlar)
 - Atık bitkisel yağlar: Yönetmeliğe göre; atık yağ, kullanılmış taşıt yağları ve endüstriyel yağlar (hidrolik sistem, türbin ve kompresör, kızak, dişli, sirkülasyon, metal kesme, çekme ve işleme, tekstil, ısıl işlem, ısı transfer, izolasyon ve koruyucu, pas ve korozyon, trafo, kalıp, pnömatik sistem koruyucu, gıda ve ilaç endüstrisi, genel amaçlı, kağıt makinesi, yatak ve diğer endüstriyel yağ ve gresleri) şeklinde tanımlanmaktadır.
- **Elektronik Atık:** Kullanım ömrünü tamamlamış olan, içerisinde bir veya daha fazla elektrik iletim elemanı bulunduran ürünlere verilen addır. E-Atık için kabul edilmiş kesin bir kapsam olmamakla beraber bozuk, kırık, tamir edilemez olarak görülen veri işleme, telekomünikasyon, iş eğlence veya ev için kullanılan araç gereçler genel olarak bu gruba dâhil edilmektedir. Her türlü elektrikli cihaz içeriğinde, çok çeşitli geri kazanılabilecek maddeler vardır.
- **Röntgen Suları:** Resmi ve özel hastanelerde kullanılan röntgen makinelerinden çıkan röntgen suları, matbaalardan, fotoğrafçılardan kaynaklı atık fotoğrafik banyo suları (röntgen suları), röntgen ve matbaa filmlerinden, gümüş geri kazanımı mümkündür. Bu işyerlerinden yıllardır büyük miktarlarda kanalizasyon sularına karıştırılan ve atık olarak değerlendirilen bu sular, son yıllarda Tarım ve Orman Bakanlığı'ndan lisans almış firmalar tarafından toplanmaktadır.

1.5. ATIK PARÇALAMA MAKİNESİ TÜRLERİ

Partikül boyutu, piroliz ürün dağılımını etkileyen en önemli parametrelerden birisi olarak bilinmektedir. Çünkü partikül boyutu piroliz reaktörü içerisindeki yakıtın yanma hızını etkilemektedir. Partikül boyutunun büyümesi, ısıtma hızını azaltarak char ürün veriminin artmasına neden olmaktadır. Küçük partikül boyutlarında çalışıldığı zaman ise, uçucuların reaktörde alıkonma süreleri artmakta buna bağlı olarak da hidrokarbonların parçalanması ile oluşan hidrojen miktarı artmaktadır. O halde, küçük parçacık boyutundaki biyokütle örneklerinin pirolizinde sıvı ürün oluşumunun, büyük

parçacık boyutundaki biyokütle örneklerinin pirolizinde ise katı ürün oluşumunun maksimum olduğunu söylemek mümkündür.

Parçacık boyutunun pirolize etkisi değerlendirildiğinde; pirolizde ısı ve kütle aktarımı gerçekleştiğinden, parçacık büyüklüğü oluşturacağı ısı/kütle transferi direnci sebebiyle ürün bileşimini/verimini etkileyebilir. Serbest düşmeli ve sürüklemeli akışlı reaktörlerde parçacık büyüklüğü kalma süresine, akışkan yataklı reaktörlerde ise minimum akışkanlaşma hızına etki eder.

Yapılan çalışmalar, partikül boyutunun kendi başına değil, parçacığın ısınma hızı ile birlikte bir etki yapabileceğini göstermektedir. Tek başına partikül boyutunun değişimi ürün verimlerini çok fazla etkilememektedir. Piroliz işlemi sırasında, büyük partikül boyutundaki biyokütle örnekleri daha yavaş ısınacaktır ve bu nedenle ortalama partikül sıcaklıkları daha düşük olacak, daha az miktarda uçucular oluşacaktır. Bu durum, sıvı ürün veriminin daha az olmasına neden olabilmektedir.

Piroliz işleminde, parçacık boyutunun artması ile uçucuların gaz atmosferine geçişi hızlanmakta ve bu durumda kütle aktarım sınırlaması söz konusu olmaktadır. Uçucular yüzeyle daha uzun süre etkileşmekte ve ikincil tepkimelerin (yeniden polimerleşme ve sıcak katı yüzeyinde çeşitli parçalanma tepkimeleri) oluşumuna neden olabilmektedir. Polimerleşme, piroliz verimini düşürürken, yüzeyde parçalanma tepkimeleri sıvı verimini azaltıp, gaz verimini artırma yönünde etki etmektedir. Parçalama makinesi parçalamak, bölmek amacıyla kullanılır. Çok az istisna ile birlikte, düşük-hızlı parçalama makineleri atık malzemelerin boyutunu küçültmek için kullanılır. Bu malzemeler, örneğin, kentsel katı atık, atılmış araba lastikleri, eski elektronik aletler genellikle beyaz eşyalar, endüstriyel ve yapısal döküntüler ve hurda elektrik telleri ve kabloları.

Hızlı piroliz prosesinin temel amacı biyokütleden en fazla sıvı üretilmesidir. Bu verimi sağlamak için hızlı ısıtma, reaktörde oluşan gazın kısa alıkonma zamanı ve yoğunlaşabilen gazın hızlıca soğutulması gerekmektedir. Kömürleşmenin engellenmesi için hızlı ısıtma yapılması gerekmekte olup, bundan dolayı biyokütlenin tanecik boyutunun mümkün olduğu kadar küçük olması gerekmektedir. Ayrıca, gaz oluşumu sağlandıktan sonra soğutmaya kadar geçen süre, daha başka yan reaksiyonları engellemek için oldukça kısa olmalıdır.

Karbonizasyonu gerçekleştirilen biyokütle numunelerinin tanecik boyutunun artmasıyla

genel olarak katı ürün veriminin de arttığı Tablo 5.1’de görülmektedir. Söz konusu artış, düşük ısıtma hızında gerçekleştirilen karbonizasyon deneyleri için daha belirgin ve fazladır. Karbonizasyon gibi ısıl bozunma süreçlerini etkileyen en önemli parametrelerden biri karbonize edilecek numunenin tanecik boyutudur. Isıl bozunma, taneciğin yüzeyinden merkezine ilerlediği için, büyük çaplı taneciklerin tamamen bozunması zordur ve fazla zaman gerektirir. Bu çalışmada da tanecik boyutunun küçülmesi ile katı ürün veriminde meydana gelen azalmanın nedeni, küçük taneciklerin ısınmasının daha üniform olması sonucu ısı ve kütle transfer direnci ve etkilerinin azalmasıdır. Böylece, aynı koşullarda gerçekleştirilen karbonizasyon işlemlerinde küçük taneciklerin ısı etkisiyle kütle kaybı daha fazla olmuş ve katı ürün verimi azalmıştır. Buna karşılık, iri taneciklerdeki ısı transfer direnci nedeniyle tanecik içinde oluşan sıcaklık profili uçucu madde verimini düşürürken katı ürün verimini artırmaktadır [23,25]. Ayrıca, iri taneciklerin karbonizasyonu sırasında oluşan uçucu bileşenlerin açığa çıkmak için geçeceği yol uzamakta ve tanecik temas süresi uzamaktadır. Bunun sonucunda katı ürün verimini arttıran ikincil tepkimeler oluşmaktadır. Bu sonuçlar Çizelge 1.1’de görülmektedir.

Çizelge 1.1. Melez kavağın TGA sisteminde gerçekleştirilen karbonizasyon sonuçları.

Sıcaklık	Isıtma hızı	Tanecik boyutu	Azot debisi	Katı ürün verimi
723	5	0,250-0,355	0	23,25
			40	19,52
		1- 1,4	0	25,74
			40	21,67
	20	0,250-0,355	0	20,49
			40	18,9
		1- 1,4	0	21,24
			40	19,95

Farklı karbonizasyon koşullarının melez kavak numunesinin katı ürün verimine etkilerini incelemek amacıyla boru fırında gerçekleştirilen karbonizasyon deney sonuçları Çizelge 1.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 1.2. Melez kavağın boru fırında gerçekleştirilen karbonizasyon deney sonuçları.

Sıcaklık	Isıtma hızı	Tanecik boyutu	Azot debisi	Katı ürün verimi
723	5	0,250-0,355	0	26,98
			300	25,94
		1- 1,4	0	27,63
			300	26,67
	20	0,250-0,355	0	25,40
			300	24
		1- 1,4	0	26,80
			300	24,82

Çizelge 1.1'deki sonuçlar incelendiğinde ve Çizelge 1.2'deki sonuçlar ile karşılaştırıldığında; boru fırında gerçekleştirilen karbonizasyon deneylerinde de katı ürün veriminin karbonizasyon ısıtma hızının artmasıyla azaldığı, tanecik boyutunun artmasıyla ise arttığı görülmektedir. Ayrıca, karbonizasyon sırasında ortamda sürükleyici inert gazın olması katı ürün veriminin azalmasına neden olmuştur. Boru fırında gerçekleştirilen karbonizasyon sonucu elde edilen katı ürün verimi (Çizelge 1.2), TGA sisteminde aynı koşullarda gerçekleştirilen karbonizasyon sonucu elde edilen katı ürün veriminden (Çizelge 1.1) daha yüksektir. Bunun nedeni, boru fırında karbonize edilen numune miktarının çok daha fazla olması (3 g) ve buna bağlı olarak ısı ve kütle transfer direncinin TGA sistemine kıyasla daha yüksek olmasıdır.

Kentsel atık yönetiminde kullanılan iki önemli parçalayıcı kategorisi mevcuttur; yüksek hızlı, düşük torklu (HSLT) darbeli kırıcılar ve düşük hızlı, yüksek torklu (LSHT) kesici parçalayıcılar. HSLT öğütücüler ile LSHT kesicilerin boyut küçültme prensiplerinde az miktarda benzerlik bulunmaktadır. Bu farklılık doğası gereği kabul edilebilir. Kentsel atık beslemesinin yanı sıra ürün dağılımı ve süreç kapasitesi bakımından bazı avantaj ve dezavantajlara neden olmaktadır. HSLT makineleri, kentsel atık işleme alanındaki olgunlaşmışlıkları nedeniyle boyut ve kapasite olarak daha geniş bir yelpazede mevcuttur. Fıçı öğütücü tipi darbeli kırıcılar saatte 300 ton gibi bir kapasiteye ulaşabilirken bu sayı büyük ölçüde istenen parçacık boyutunun yanı sıra ham kentsel atık malzeme kompozisyonuna bağlıdır. Bu gibi daha büyük makinelerde öğütücülerin sürekli işletim için daha gerçekçi değeri saatte 150 tona çıkacaktır. Boyut küçültme için

kullanılan ilk parçalayıcılar özellikle kentsel atık gibi çeşitli bir kompozisyon ve malzeme özelliklerine sahip bir karmayı işlemek için tasarlanmamıştır. Öğütücüler ve kesici parçalayıcılar, çıktıyı optimize etmek ve kesici yüzeylerin yıpranma ve aşınmasını minimize etmek için beslenen malzemenin özelliklerine göre tasarlanmalıdır. Kentsel atık işleme için kullanılan ilk öğütücüler darbeli kırıcılar ailesindendi ve bunlar popüler olarak kullanıldıkları kaya ve kömür gibi tanelerin veya gevrek malzemelerin parçalanması işlevinden uyarlanmıştır. Darbeli kırıcılar ilk olarak daha yüksek katılığa sahip çelik gibi malzemelerin yanı sıra cam ve granit gibi gevrek malzemelerin işlenmesi için tasarlanmıştır.

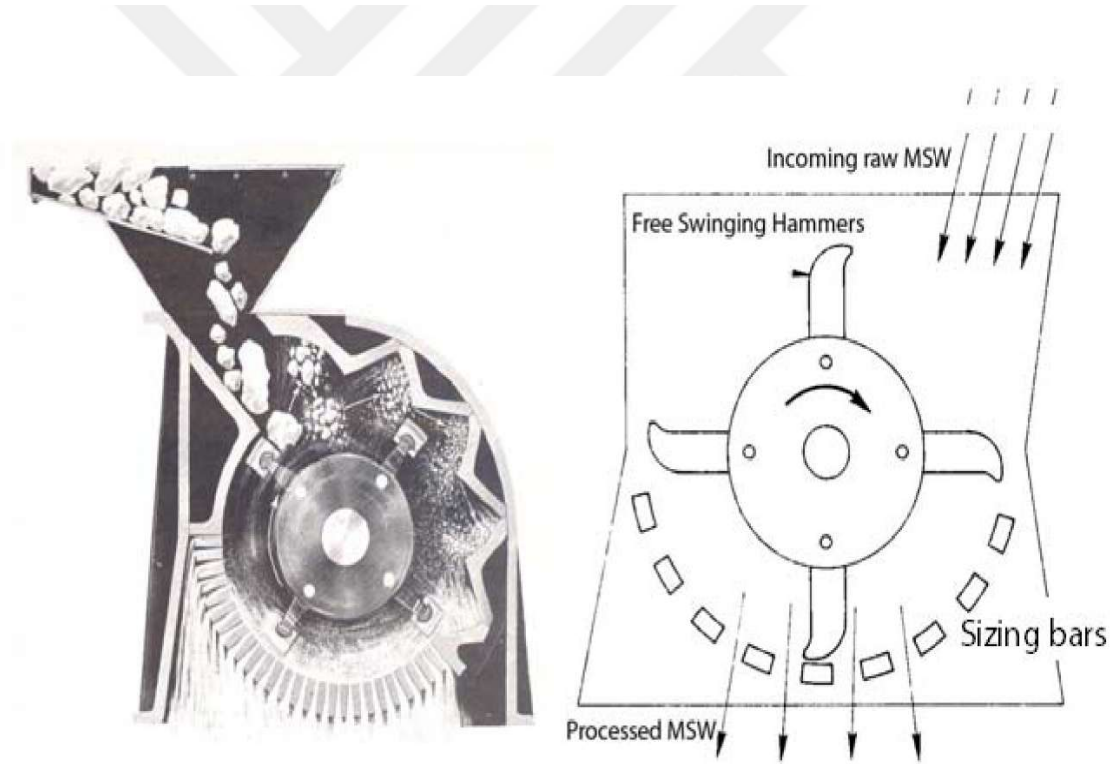
1.5.1. Darbeli Parçalayıcı



Şekil 1.5. 1600 darbeli kırıcı [3].

Şekil 1.5 1600 darbeli kırıcı makinası görülmektedir. Üstten bestlemeli yatay darbeli kırıcılar gibi düşük torklu parçalayıcılar, gelen malzemeyi parçalamak için üzerlerine tokmak sabitlenmiş ya da bağlanmış yüksek hızlı döner miller (700-1200rpm) kullanmaktadır. Bu makineler ve LSHT cihazlar arasındaki başlıca fark, darbeli kırıcıların atıkların daha küçük parçalara ayrılması için sadece darbe ve aşındırıcı kuvvetlere güveniyor olmasıdır. Şekil 1.7 döner mil ve çekicinin aksenal kesitini göstermektedir; bu çizim bu makinelerde atıkların boyutunun küçültülmesi için

kullanılan darbe kuvvetlerini vurgulamaktadır. Darbeli kırıcıların çekiçler ve kesici ya da boyutlayıcı barlar arasında kritik toleranslara sahip olmadığını fark etmek önemlidir; bunun nedeni boyut küçültme işleminin başta kentsel atığı parçalayan çekicinin bir sonucu olmasıdır. Darbe kuvvetine dayanıyor olmaları nedeniyle darbeli kırıcılar genellikle gevrek malzemelerin işlenmesinde daha verimlidir ve mil üzerine sarılarak aşırı yüklemeye ve Şekil 1.7’de gösterildiği gibi operasyonun durmasına neden olabilecek kumaş ve lifli malzemeler ile sorunlar yaşanabilir, bu sorunlar sistemin düşük torkundan kaynaklanmaktadır. Çekiçlerin darbe kuvveti sünek malzemeler tarafından azaltılırken enerji absorbe edilir ve darbe kuvvetinin yoğunluğunu azaltan yumuşatıcı mekanizmalar tarafından harcanır. Darbeli parçalayıcılar gevrek malzemeler ile homojenliği daha az ürünler vererek sünek malzemelerden daha kaliteli sonuçlar vermektedir. Bu durum özellikle gereksiz boyut küçültme ile sonuçlanan cam, yanıcı olmayan maddeler için geçerlidir [3].



Şekil 1.6. Bir darbeli parçalayıcının dahili düzeni [3].

Şekil 1.7 Bir darbeli parçalayıcının dahili düzeni görülmektedir. Genellikle kağıt ve petrol bazlı plastikler gibi yüksek ısıl değerlere sahip malzemeler daha sünektir ve ortalama boyut küçültmeden daha azını verebilir yani yanma bakımından bu işlemde en az faydayı sağlayan malzemelerin boyut küçültmesine daha fazla para ve enerji

harcanır.

1.5.2. Düşük Hızlı Yüksek Torklu (Kesici Parçalayıcılar)



Şekil 1.8. LSHT parçalayıcının kesici mili.

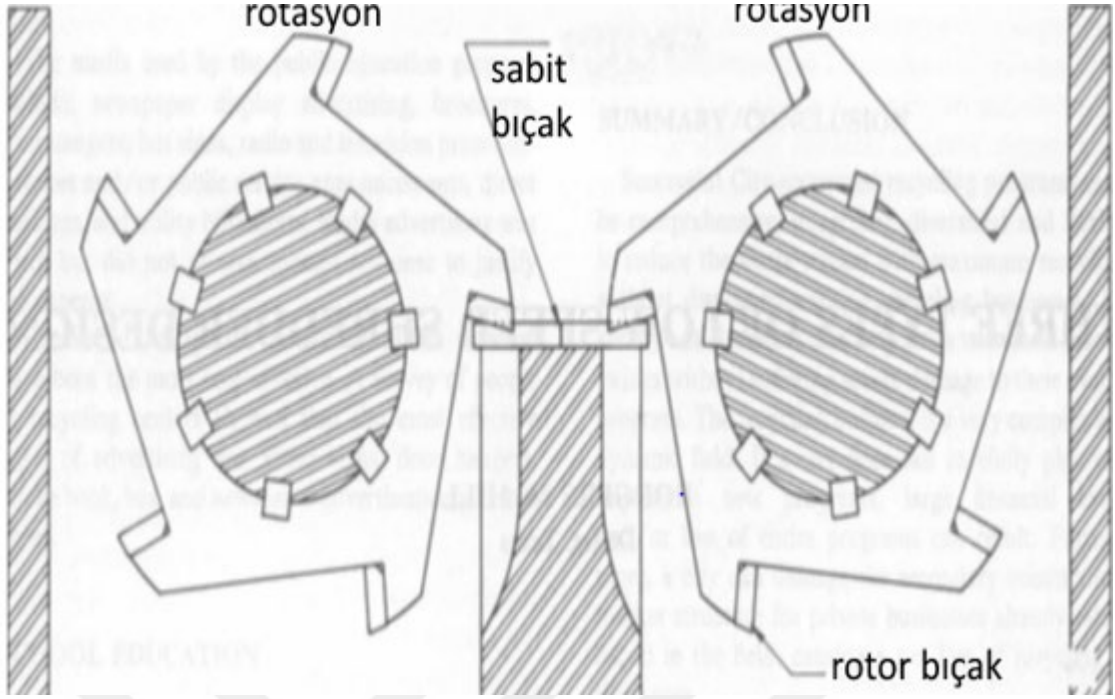
Şekil 1.9 LSHT parçalayıcının kesici mili görülmektedir. Döner kesici parçalayıcılar gibi düşük hızlı, yüksek torklu parçalayıcılar darbeli kırıcılardan farklı bir prensibe göre işlemektedir. Döner kesici cihazlar, darbe kuvveti çok az ya da hiç söz konusu olmamak üzere kırarak kesme ve parçalama kuvvetleri üzerine tasarlanmıştır. Döner kesiciler, artan mil sayısının daha küçük ortalama partikül boyutu vermesini sağlayacak şekilde tekli, çiftli ve dördümlü mil konfigürasyonlarına sahiptir. Kentsel atık işlemede kullanılan kesici parçalayıcılar gereksiz bir şekilde fazla boyut küçültmeden ve enerji tüketiminden kaçınılması için genellikle ikili mil tasarımı ile sınırlandırılır. Tersine dönen miller birbirine geçen kesici bıçaklar ile donatılmıştır ve aralarında sıkışmış olan herhangi malzemeler üzerinde daha büyük kesme kuvvetleri oluşturur. Bu kesici bıçaklar ya da kancalar Şekil 1.9'da ikili mil konfigürasyonunda gösterilmiştir. Kancalar gelen MSW'yi tutacak ve bunu kesici kuvvetlere ulaşmak için yanlarındaki miller arasına çekecek şekilde tasarlanmalıdır. LSHT parçalayıcıların tanımı genellikle 10 ve 50 rpm arasında bir hız gerektirmektedir. Düşük mil hızı, HSLT'den daha düşük kapasitede mevcut olmasıyla bazı engelleyici etkilere sahip olabilirler. Parçalayıcının kapasitesi rotor hızına ve kesici bıçaklar arasındaki hacme bağlıdır. Her ne kadar ticari olarak mevcut olan kesici parçalayıcılar saatte 150 ton civarında bir kapasiteye sahip olsa da

bu eksikliklerini karşılayan birçok olumlu özellik sunmaktadır [3].

Döner kesicinin başlıca özelliği beslenen malzemenin parçalanmasını hızla durdurabilmesi ve besleme alanındaki parçalanamaz bir objeyi tahliye etmek için rotorları tersine döndürebilmesidir. LSHT makinelerinin birçoğu milleri hareket ettirmek için hidrolik transmisyon kullanmaktadır. Hidrolik hatların iki faydası bulunmaktadır; sert ya da parçalanamaz malzemelerle karşılaştığı zaman nemlendirici bir mekanizma olarak işler ve bir tork sinyali olarak hizmet eder. Hidrolik hatlardaki basınç sıçramalarını saptamak için basit ve torktaki büyük artışları belirten bir kontrol sistemi kullanılabilir; bu sinyal parçalanamaz öğelerin tanımlanması ve bunların otomatik olarak çıkarılması veya operatörün bilgilendirilmesi için kullanılabilir. HSLT parçalayıcıların sert objeleri yönetebilmek için yüksek enerji kaybına ve işlenemez bir öge ile karşılaştığında potansiyel hasara neden olan depolanmış rotasyonel enerjiye güvenmeleri nedeniyle bu özelliğin HSLT parçalayıcılarda bir eşi yoktur. Hidrolik hatlar ile birlikte düşük hız milin birkaç saniye içerisinde ileri hareketten tersine harekete geçmesini mümkün kılar ki bu beslemenin durdurulması ve beslemenin başlatılmasının sık bir durum olduğu hallerde yararlıdır [3].

1.5.3. Tip 1 Kesme Makinesi

Şekil 1.10 özel-kullanım uygulaması için son 10 yılda yapılmış kesme makinelerinin ilk örneklerinden birisidir. Bu uygulama ise şudur: demir dışı, yalıtılmış hurda tel ve kablonun mekanik bir iyileştirme sistemine beslenmesi için kesme öncesi yapılan işlem. Bu örnekte, hammadde kompozisyon olarak oldukça homojendir (katı atıklara göre) fakat şekil açısından değişkenlik gösterir. Bu malzeme tipik bir hurda işleme operasyonunda, 900 kg ağırlığında bobin, demet veya gevşek tellerden oluşan bir yığın şeklinde olabilir. Bu ağırlıktaki bir malzemenin, birincil proses operasyonuna (sıkı tolerans radyal bıçak öğütücü) beslenebilecek 15-60 cm uzunluğunda, görece daha gevşek ve serbest-akış parçacıklarına dönüştürülmesi gerekmektedir [4].



Şekil 1.10. Tip 1 kesme makinesi.

Şekil 1.8 Tip 1 kesme makinesi görülmektedir. Bu tür kesme makinelerinin dizaynında dikkat edilmesi gereken üç faktör vardır:

- Değişimli proses metotlarının sınırlamaları: küçük, elle-beslenen kırkmalar oldukça emek isteyen işlerdi (aynı zamanda güvenli değildi) diğer bir tarafta ise hidrolik giyotin makaslar telleri yoğun bloklar olarak sıkıştırma eğiliminde idi. Bu metotların hiçbirisi yoğun, hacimli parçaların ön-kesme işlemini ekonomik olarak gerçekleştiriyordu (proses etkisi).
- Akış-aşağı öğütücülerin, yükleri ani olarak yükseltme veya onlara şok etkisi uygulama hassaslığı: yukarıda bahsedilen metotlardan herhangi birisi akış-aşağı sistemi fazla besleyebilirdi ve hidrolik makaslardan gelen sıkıştırılmış malzeme öğütücüde daha hızlı bir aşınmaya neden olurdu (tekrar bir proses etkisi).
- Beslenecek malzemenin yapısı: Yoğun ve hacimli kütlelerin parçalanması gerekiyordu fakat tellerin ise kesilmesi gerekliydi, büyük kütleler gibi uzayıp parçalanmalarına gerek yoktur [4].

Şekil 1.10'da görülen bileşke dizayn, birbirine geçmeyen iki adet ters-dönüşlü şafttan oluşmaktadır. Bu şaftlar, değiştirilebilir ve ayarlanabilir bıçaklar ile hazırlanmış hareketsiz bir örs koluna karşı kesme işlemini yaparlar. Aynı zamanda, bu bıçaklar tel ve kablonun yoğun kütlelerini çekip ayırmak için yeterli bir tasarıma sahiptir. İki çark

üzerindeki bıçaklar hareketsiz bıçakların arasından geçerken, ham malzemenin karmaşık kütlelerini kısa uzunluktaki parçalara ayırırlar.



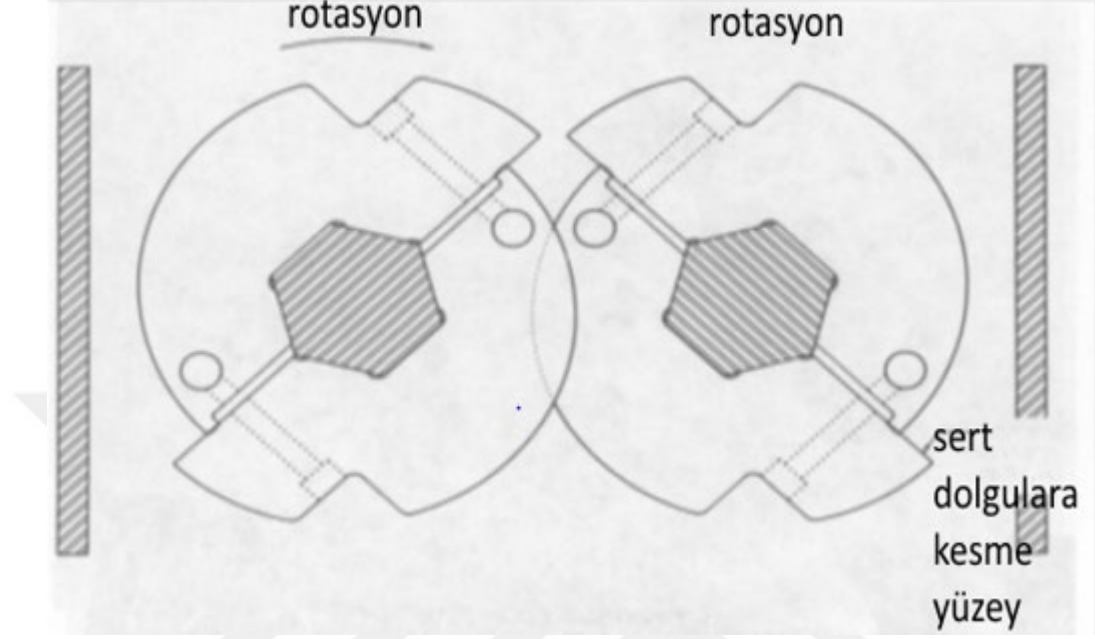
Şekil 1.9. Şaftın yapısı.

Şekil 1.9’de şaftın yapısı görülmektedir: merkezde, hareketsiz bıçakları destekleyen hareketsiz örsün bir kısmı görülebilir. İki şaft birbirlerinden bağımsız olarak çalışmaktadır ve eğer bir engel veya malzemenin kalın bir kütlesi ile karşılaşırlarsa gene birbirlerinden bağımsız olarak ters yöne dönebilirler.

Bu tür bir kesme makinesinin eşsiz özelliği, onu bu amaç için ideal bir makine haline getirir. Benzer bir özellik, şaft bıçaklarının merkez örs üzerindeki hareketsiz bıçaklara karşı kesme işlemi, bazı malzemeler için bu makineyi kullanışsız hale getirir, örneğin, kentsel katı atıklar, araba lastikleri, “beyaz eşyalar” ve diğer büyük hacimli atıklar. Bu malzemeler için, merkez örs, malzemenin örs üzerindeki köprülemesinden dolayı kapasitede ciddi bir azalmaya neden olacaktır [4].

1.5.4. Tip 2 Parçalama Makinesi

Şekil 1.10’de gösterilen ikinci temel parçalama makinesi, kesme makinelerini tartışırken en çok düşünülenlerden birisidir.



Şekil 1.11. Tip 1 kesme makinesi.

Tipik uygulamalar şu malzemeleri parçalamayı içerir:

- Kentsel katı atık
- Tek amacın atık gömmek için boyut azalması olduğu araba lastikleri
- Boyutça büyük, hacimli atıklar, örneğin mobilya, döşekler, yuvarlanmış halılar vb
- Yıkım ve yapı enkazları
- Boyut azalmasının hurdaya ayrılmadan önce veya hurda satıcısına satılmadan önce gerekli olduğu, üretim prosesinden gelen hurda parçaları
- Belge yok edilmesi

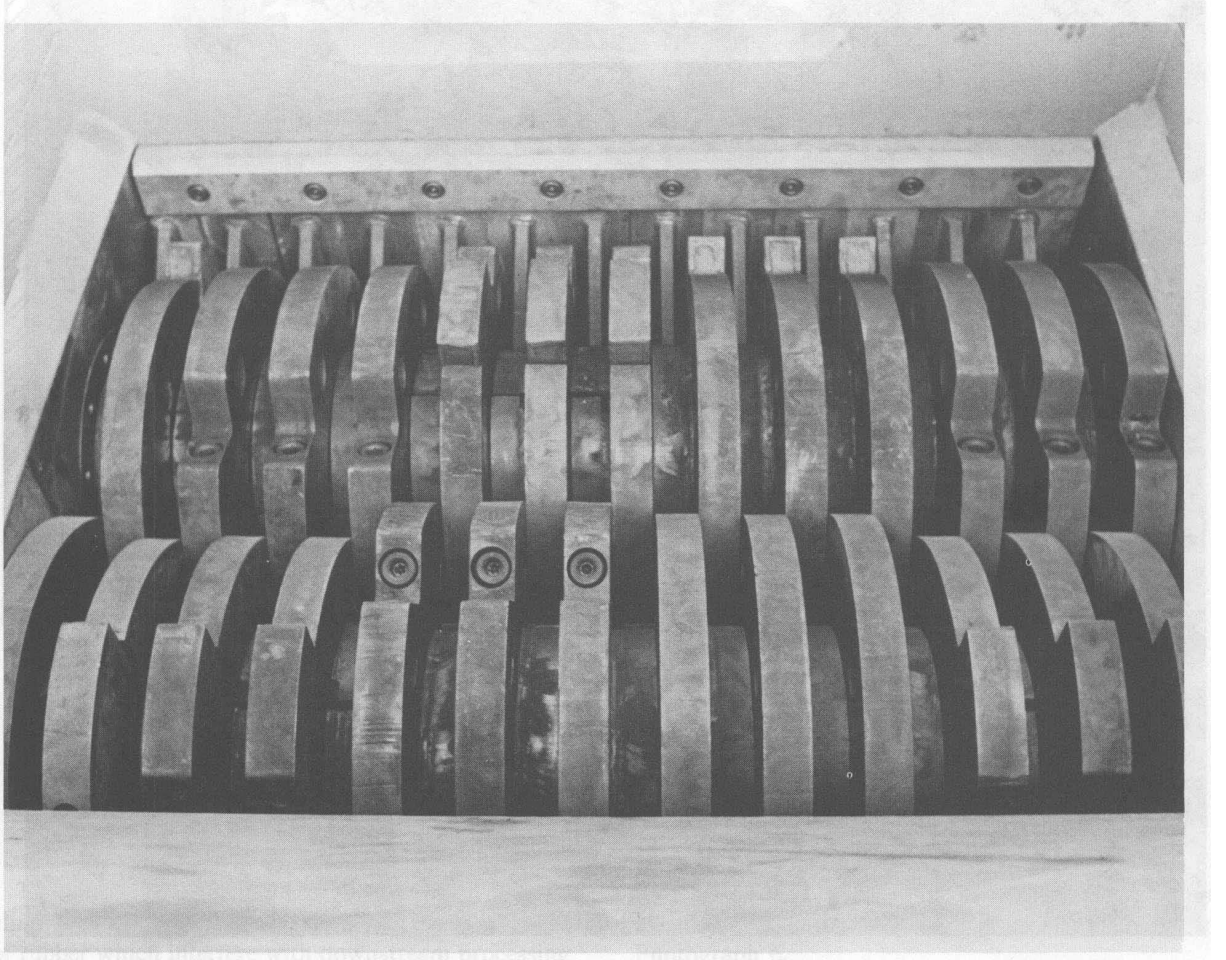
Bu tür bir kesme makinesi, basit bir boyut küçültülmesi veya ileriki bir proses öncesi kesme için genel-amaç dizaynı olarak düşünülebilir. Uygulamaların çeşitliliğinden dolayı, bu dizayn için temel ihtiyaç esnekliktir. Sınırlamalar, özel uygulamalar veya özel bir besleme akışının yapısı tarafından uygulanmaz; onun yerine, besleme malzemelerin aralığı kullanılmak zorunda olan performansın aralığını belirler. Temel

dizayn, büyük boyutlu, hacimli malzemeleri yerleştirmek için daha geniş kapma açısına sahip kesiciler ile malzemeyi parçalayan ve ayıran bir birim içindir.

Neredeyse her durumda, bu tür bir kesme makinesi birbirine geçen iki adet ters-dönüşlü şafttan oluşmaktadır. Malzeme sıkıştırma noktasına girer ve kırılır veya yırtılarak ayrılır fakat kesilmez. Merkez örs yoktur ve tipik olarak, iki şaft farklı hızlarda ve tork değerlerinde çalışırlar. Tipik bir RPM (revolution per minute) ve tork diferansiyeli şekil-7 de gösterilmektedir. Bu diferansiyel rpm (dakikadaki devir sayısı) bitişik şaftlar üzerindeki kesiciler arasında görece farklı uç hızlarını verir. Saha deneyimleri ile desteklenen ve inanılan bir durum şudur ki bu özellik, bu tür bir kesme makinesine beslenen çok fazla malzemenin parçalanması için daha iyi bir kesme görevi sağlar.

Temel dizaynın esnekliği ve geniş ölçekteki uygulamaları göz önünde bulundurularak, şu durum anlaşılabilir ki bu tür bir kesme makinesi çok çeşitli kesme hazne büyüklüğünde, kesici şekillerinde, farklı sayı ve kesici genişliğinde, ayrı kesme şaftları üzerindeki rpm aralıklarında ve ilişkili beygircüde üretilir. Fakat farklı üreticilerin modellerinin ortak noktası iki şaftın diferansiyel rpm'leridir.

Bu tür kesme makineleri şu anda birçok şirket tarafından üretilmekte veya şanzıman vasıtasıyla dizel motor veya elektrik motorundan gelen itki ile ya da hidrolik itki ile çalışırlar. Hidrolik olarak güçlendirilmiş üniteler hidrolik pompalara güç sağlamak için elektrik motorunu veya içten yanmalı motoru kullanırlar. Beygircü aralıkları 5.6 kW ile 300 kW bu tür bir dizaynın çok sayıda uygulamaya sahip olmasını açıklar [4].



Şekil 1.11. Kesme bölümünün iç kısmı.

Şekil 1.12 Kesme bölümünün iç kısmı görülmektedir. Kesme makinesinin boyutuna, kesme bölümlerinin genişliğine veya ilişkili beygircüne bakmaksızın, bütün üniteler benzer olarak kesme bölümünün sarmal yapısını kullanır. 8 nolu şekil 400 hp gücündeki bir makinenin içerisinde bulunan 165 cm x 193 cm boyutlarındaki kesme bölümünün iç kısmını gösterir. Şuna dikkat edilmelidir ki gösterilen bölümler iki yarım kısma ayrılır ve altıgen veya tuşlu bir şaft çevresinde civataların. Fakat, eğer bölümler şaftların üzerine tek bir uç kısımdan istiflenmiş olsaydı benzer bir düzenleme uygulanırdı.

Bu tür bir makine, çok yönlülüğünden dolayı ve çok sayıda malzemeyi başarılı bir şekilde işleyebileceği için, gelecekte en yaygın özelleşmiş dizayn olacaktır. Düşük bakım maliyeti (işlenmiş her bir ton için), düşük güç tüketimi ve kentsel katı atıkların işlenmesi sırasında ortaya çıkan tehlikeli patlayıcıların azalması gibi özellikleri ile, MSW ve yıkım atıklarının azaltılması için, geleneksel yüksek hızlı çekiçli öğütücülere göre oldukça ilgi çekicidir.

Özel bir kazanda yakma amacıyla çöpten çıkarılan yakıtların üretimi için yapılan parçalama işlemi sırasında, düşük-hızlı makinenin başka bir avantajı da boşaltma malzemesinin büyük ortalama büyüklüğüdür. Büyük ortalama büyüklükler RDF yatağında boşluklar yaratır, bu durum daha iyi bir sıcaklık kontrolü ile birlikte daha fazla tam yanma sağlar.

Şekil 1.12 tip II Parçalama Makinesine beslenen tipik bir kentsel atığın akışını gösterir. Bu özel makine, 10 cm kesici izdüşümüne sahip 10 cm genişliğindeki kesme bölümleri ile donatılmıştır. Parçalanmış malzemenin ortaya çıkan büyüklük dağılımı Şekil 1.15'te gösterilmektedir. Burada önemli olan şey, ortalama olarak atığın sadece %8.3'ü ayırma eleğinden (6.35 mm) geçmiştir. Minimum değer %5.1, maksimum değer ise %10.3'tür. Özel bir kazan içerisinde yakılma durumunda atığın ortalama büyüklüğü 50.8 mm idi, ve bu durum yanma sıcaklığını iyi bir şekilde kontrol ederek oldukça homojen bir yanma hava akışı elde ederek sonuçlanacaktır [4].



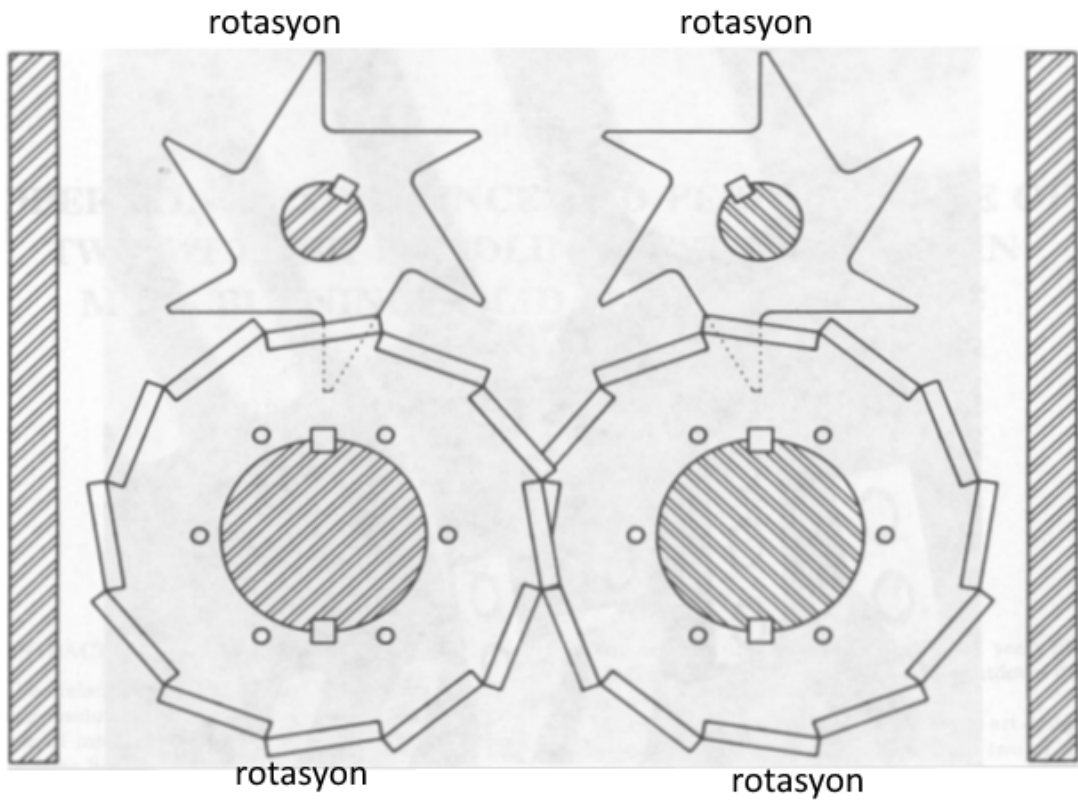
Şekil 1.12. Tip 2 Parçalama Makinesine beslenen tipik bir kentsel atığın akışı.

Bu büyüklük dağılımı, katı atığın birincil azaltması için kesme tipi makinelerin, yüksek-hızlı çarpmalı değirmen ile karşılaştırıldığında, daha fazla avantaja sahip olduğunu belirtir. Yani diğer bir deyişle, iri taneli cam ve seramik parçacıklarının ortalama

büyüküğüdür. Eğer RDF'de düşük kül içeriğine sahip olmak istenirse, o zaman iri taneli camları birbirinden ayırmak kolay değildir, cam parçacıkları organik malzemeler içerisine parçalama makinesindeki yüksek hızlı etkiler ile yerleştirilmezler. Bu nedenle, yanmadan önce cam ve seramik parçaların RDF'den ayrılması oldukça etkili bir sonuç verir [4].

1.5.5. Tip 3 Parçalama Makinesi

Tip 1 makinesinde olduğu gibi, bu üçüncü çeşit makine de özel bir atık akışı ve üretilen ürün için özel bir nihai kullanım için dizayn edilmektedir. Dizayn hem akış-aşağı proses gereksinimlerini hem de besleme malzemesinin özel yapısını dikkate almalıdır.



Şekil 1.13. Tip III kesme makinesi.

Özel olarak:

- Makine çıktısı şekil olarak homojen, boyut olarak kolaylıkla yakılabilir ve birbirinden bağımsız uzun lastik şeritler halinde olmalıdır.
- Ham madde hacimce büyük, esnek, elastiktir ve kesiciler arasındaki arayüzeye kolayca dâhil olmaz.

Sonuç olarak Şekil1.13 tip 3 parçalama makinesi içerisinde ilk iki çeşitten özellikler

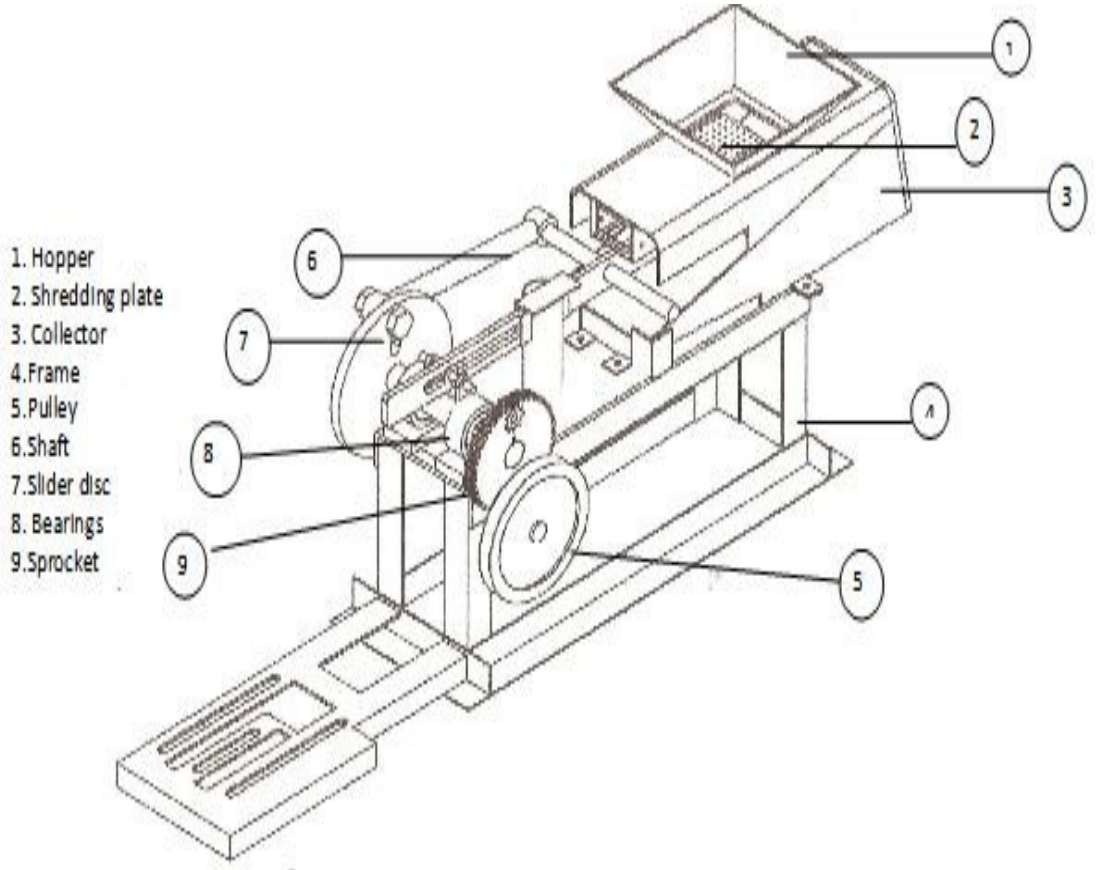
barındırır ve özel besleme malzemesinin gereksinimlerini karşılamak için çok benzersiz özellikler ekler. Şekil 1.16 bu dizaynın kesme bölümü boyunca tipik bir kesitini gösterir.

İlk olarak, besleme malzemesinin elastikliğinden dolayı, üretilen parçacığın boyutunu daha iyi kontrol etmek için, bu üçüncü çeşit makine 1 nolu makineden değiştirilebilir kesici kenarlarının fikrini ödünç alır. Daha sonra, 2 nolu makineden ise, birbiri içine geçen şaftların fikrini ödünç alır ve hacimli besleme malzemesinin kesici arayüzüne girişini kolaylaştırmak ve malzeme köprüleşmesinin ihtimalini azaltmak için merkez örsü ortadan kaldırır.

Bu iki özellik tek başlarına, ne yazık ki, akış-aşağı proses operasyonlarına dahil olan uzun lastik şeritlerin üretilme ihtimalini ortadan kaldırmayacaktır. Ayrıca, lastikler net verimlilik miktarını azaltarak dönen kesiciler üzerinde bağımsız olarak bulunacaklardır. Bu malzemeye özgü problemi çözmek için, dizayna, her bir lastik iskeletini belirli bir zaman içerisinde kesme bölgesine ittiren yıldız şeklindeki besleme silindirleri dahil edilir. Bu besleme silindirleri lastik iskeletine bağlanır ve lastik iskeletini, kesicilerin çevresel hızından daha düşük bir besleme hızı ile kesicilere besler. Lastikler kesme bölgesine beslendiğinde, kesiciler lastiklere gerçek bir kesme kuvveti ile bağlanır. Lastiklerin birbirine geçmiş kesiciler boyunca uzaması mümkün değildir. Bu durum lastikleri daha homojen parçalara böler ve uzun lastik şeritlerinin oluşmasını ortadan kaldırır [4].

1.5.6. Motorlu Manyok Parçalama Makinesi

Makine haznesinin içine soyulmuş manyok kökleri konur. Doğrudan haznenin altındaki parçalama plaka karşılıklı yatay bir mile bağlanarak harekete uğrar. parçalama plakası toplayıcı düzeneği içinde eklenmiştir. Parçalama plakası toplayıcı düzeneği içinde eklenmiştir. yatay mil primer hızı azaltma ve düzenlenmesi için bir makara ile bir kayış tahrik mekanizması vasıtasıyla bir elektrik motoruna bağlı bir sürgü ve krank mekanizması yoluyla hareket elde etmektedir. Sağlam çerçeve makinesi ve elektrik motoru monte edilmesi için sağlanmıştır. Makinesinin kapasitesi 320 kg / saattir [2].



Şekil 1.13. Cassava parçalama makinesi izometrik çizim.

1.5.7. Atık Parçalama Makinesi

Şekil 1.14 Cassava parçalama makinesi görülmektedir. Atık parçalama makinesi pulluk bağlantısı gibi bir bağlantıdır. Parçalama makinesi bağlantısında, giren güç ve esnemez destek KAMCO Tera-trac 4W traktörü ile güç çıkış ünitesi gücü şaftı ve üç noktalı bağlantı yardımıyla sağlanır. Traktörün gücü şaftı temel bir güç girişi olarak görev görür ve üç noktalı bağlantı ise makineye esnemez destek sağlar. Çeşitli bıçaklar, örneğin testere bıçakları, dönmeli bıçaklar ve üçgen şeklindeki bıçaklar, çentme ve tozlama operasyonları için kullanılır. Bıçaklar şaft üzerine monte edilir. Güç başka bir şafta kasnak ve kayış yardımıyla iletilir.

Parçalama makinesi parçalamak, bölmek amacıyla kullanılır, diğer bir deyişle amaç makro tarımsal atıklarını, daha sonra organik gübre olarak kullanılacak küçük veya mikro, kolayca ayrıştırılabilir bir şekle çevirmektir. Atık olarak düşünülen herhangi bir organik madde aslında bir atık değildir. Parçalama makinesi kullanılarak, tarım atıkları, bahçe atıkları (kuru, yaş) organik gübreye dönüştürülebilir [5].

Bu makine sert ve yumuşak tarım atıklarını parçalayabilir:

- Hindistancevizi kabuğu
- Hindistancevizi yaprağı
- Ağaç dalları
- Hasat edilmiş muz ağaçları
- Ağaçlar
- Yapraklar

Yüksek kaliteli atık parçalama makinesi çevre kirliliğini ortadan kaldırmak için dizayn edilir. Katı atık parçalama makinesi bütün atık ürünlerini parçalamak için harika bir araçtır.

Aşağıda verilenler makinemizin belirgin özellikleridir:

- Parçalanacak organik madde, direkt/organik gübre ve parazit komposto üretimi için çiftçiye kolaylık sağlasın diye küçük parçalar halinde olacaktır.
- Parçalama makinesi gücü-kumandalı bir traktör ile çalıştırılabilir. Traktörden gelen güç—35 HP üzerinde bir güç—parçalama makinesi takımına iletilir. Bu takım bir adet sabit bıçak ve beş adet yuvarlak bıçaktan oluşur.
- Makinenin kuvvetli yapısı, onun uzun bir ömüre ve dayanıklılığa sahip olduğunu gösterir.

Avantajları:

- Atık parçalama makinesi tarladan gelen tarımsal-atıkların miktarını azaltır ve tarlayı düzenli ve temiz tutar.
- Oldukça zor ayrışan ve küçük parçalara zor dönüştürülen katı atıkları kolayca dönüştürür.
- Tarımsal atıklar sağlık tehlikesi gibi birçok çevre problemine neden olurlar. Sülfür dioksit, silikon dioksit gibi zararlı maddeler üretirler ve solunabilir partiküller anızları yakarak havaya verilir. Bu durum parçalama makinesi kullanılarak önlenabilir.
- Anızların yakılması sonucu oluşun duman ve kirli hava görüşü azaltır ve bu durum havayolu güvenliği ve yol trafiği için ciddi etkilere sebep olur. Bu durum parçalama makinesi kullanılarak önlenabilir.

- Atıkların ürünleri parazit kompostoları için iyidir ve aynı zamanda toprağı işlemek için iyi bir biyo-gübredir.
- Biyo-atık ürünleri sığırlar ve diğler hayvanlar için iyi bir besin kaynağı olabilir.

Uygulama:

- Bu makine sadece büyük ölçekte değil aynı zamanda küçük ölçekteki tarımsal alanlara da uygulanabilir.
- Hindistancevizi kabuğı ve yaprağı kolayca küçük parçalara dönüştürülebilir ve hindistancevizi işlemesi için iyi bir gübre olabilir.
- Bu makine orman endüstrisinde çok sayıdaki ağaç dallarını ve yapraklarını faydalı gübre ve parazit-kompostosuna dönüştürmek için kullanılabilir [5].

1.6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

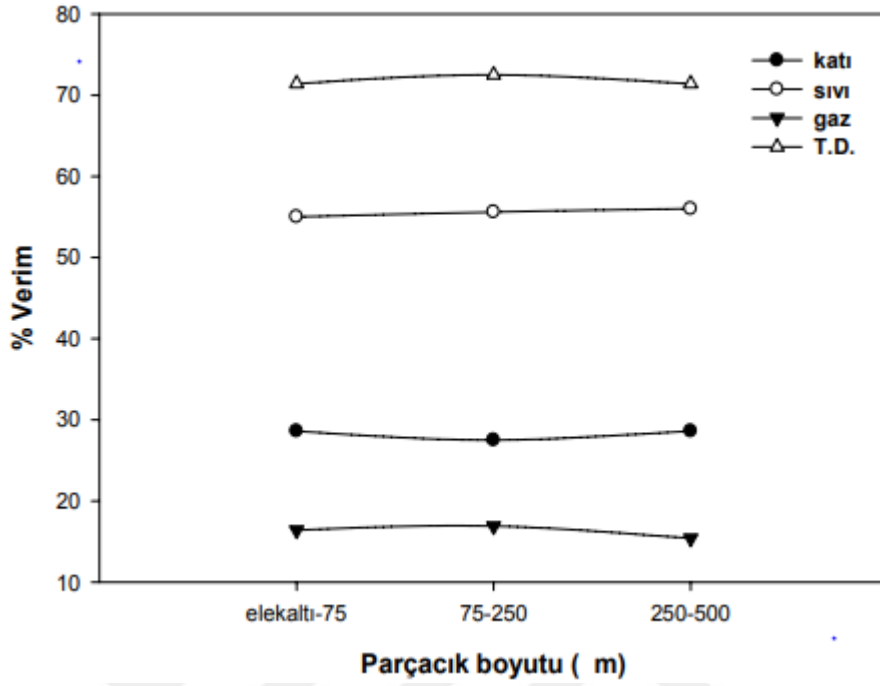
Çay fabrikası atığının pirolizi üzerine parçacık boyutunun etkisini belirlemek için, sabit sıcaklık (550 °C/dk), ısıtma hızı (50 °C/dk) ve piroliz süresinde (60 dk) üç farklı parçacık boyutunda (elekaltı-75, 75-250 ve 250-500 µm) deneyler yapılmıştır. Bu pirolizler sonucunda elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerin % verimlerinin parçacık boyutuyla değişimi Çizelge 1.1’de, parçacık boyutunun ürün verimine etkisi ise Şekil 1.14’te verilmiştir.

Çizelge 1.1. Katı, sıvı ve gaz ürünlerinin % verimlerinin parçacık boyutu ile değişimi.

Parçacık boyutu	% Katı	% Sıvı	% Gaz	% T.D
Elekaltı	28,6	55	16,4	71,4
75-250	27,5	55,6	16,9	72,5
250-500	28,6	56,0	15,4	71,4

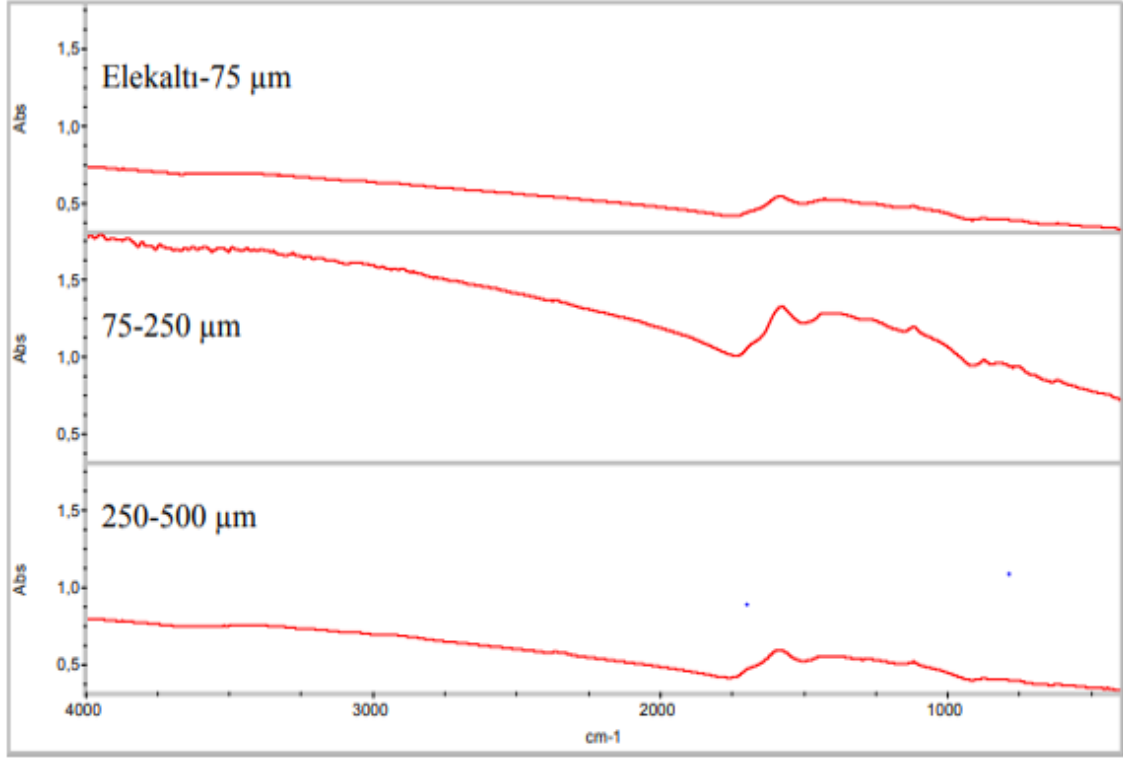
Çizelge 1.1’den de görüldüğü gibi parçacık boyutunun değişiminin ürün verimine önemli bir etkisi olmamıştır. Parçacık boyutunun elekaltı-75 µm’den 250-500 µm’ye artmasıyla katı ürün verimi %28,6’da sabit kalmış, sıvı ürün verimi ise %55,0’dan %56,0’ya artmıştır. Sıvı ürün verimindeki artışa bağlı olarak gaz ürün verimi de

%16,4'ten %15,4'e azalmıştır. Maksimum toplam dönüşüm ise 75-250 µm parçacık boyutunda %72,5 olarak elde edilmiştir.



Şekil 1.14. Parçacık boyutunun değişiminin katı, sıvı ve gaz ürün verimine etkisi.

Parçacık boyutunun değişiminin katı ürün yapısı üzerine etkisi Şekil 1.15'de verilmiştir. 550 °C'de gerçekleştirilen piroliz sonucunda elde edilen infrared spektrumları sonuçlarına göre, ısıtma hızının katı ürünlerin yapısı üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. Ancak bazı küçük değişimlerden söz etmek mümkündür. Örneğin 1576 cm⁻¹'de gözlenen C=O bandları ve 1133-1295 cm⁻¹ arasında gözlenen OH bandları 75-250 µm parçacık boyutunda elde edilen spektrumda daha belirgindir. Elekaltı-75 µm ve 250-500 µm parçacık boyutundan elde edilen katı ürünlerin yapısı birbirine çok benzemektedir.



Şekil 1.16. Parçacık boyutunun değişimi ile elde edilen katı ürünlerin infrared spektrumları.

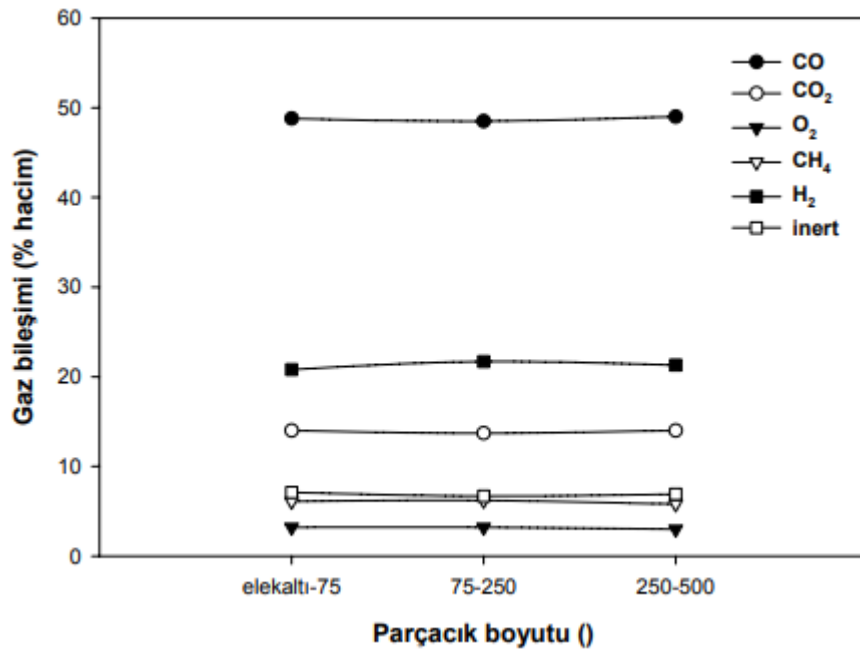
Şekil 1.16 Parçacık boyutunun değişimi ile elde edilen katı ürünlerin infrared spektrumları gösterilmektedir. Çay fabrikası atığının 550 °C sabit sıcaklık, 60 dk sabit piroliz süresi ve 50 °C/dk sabit ısıtma hızında 75-250 µm ve 250-500 µm parçacık boyutunda gerçekleştirilen piroliz deneylerinden elde edilen sıvı ürünlerin GC/MS analizleri yapılmıştır. 75-250 µm parçacık boyutunda gerçekleştirilen piroliz ile elde edilen sıvı ürünün GC/MS kromatogramı Şekil 4.17’de, GC/MS analizi ile tanımlanan ürünler ise Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Sabit sıcaklık (550 °C), ısıtma hızı (50 °C/dk) ve piroliz süresinde (60 dk); çeşitli parçacık boyutlarında yapılan pirolizler ile elde edilen gaz ürünlerin orsat analizi sonuçları Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Parçacık boyutunun değişiminin gaz ürün bileşimine etkisi.

Parçacık boyutu	% CO	% CO ₂	% O ₂	% CH ₄
Elekalıtı	48,8	14	3,2	6,1
75-250	48,5	13,7	3,2	6,2
250-500	49	14	3	5,8

Şekil 1.2, gaz ürün içindeki bileşenlerin, hacimsel yüzdelerinin parçacık boyutuyla değişimini göstermektedir. Şekil 4.21’de görüldüğü gibi parçacık boyutunun değişimiyle gaz ürün içindeki bileşenlerin yüzdelerinde hemen hemen hiçbir değişim olmamıştır. Parçacık boyutunun değişimiyle en büyük değişim H₂ gazının hacimsel yüzdesinde olmuştur. Maksimum H₂ ise 75-250 µm parçacık boyutunda %21.7 olarak elde edilmiştir ve bu parçacık boyutu, diğer üç parametrenin sabit kalması şartıyla H₂ gazı için optimum koşul olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.17. Parçacık boyutunun değişiminin gaz ürün bileşimine etkisi.

Şekil 1.17 Parçacık boyutunun değişiminin gaz ürün bileşimine etkisi gösteren grafik görülmektedir. Yapılan bir çalışmada bir pistonlu hareket manyok parçalayıcı, tasarlanmış ve değerlendirilmiştir. Manyok Afrika'nın en önemli ürünlerden biridir.

Manyok bitkisinin toplam üretimin üçte ikisinden fazlası insan ve hayvan tarafından çeşitli şekillerde tüketilmektedir. Parçalama bir boyut küçültme işlemidir. Köklerin boyutunu küçültme, bir gıda ürününe katılmadan, işlenecek fermantasyon gerektirir ve kurutma işlem süresini azaltmak ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi için etkili bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Iggy, Nisha aur Abacha olarak Nijerya Doğu parçaları içinde bilinen manyok parçalayan yerel bir incelik vardır. Yaklaşık 24 saat boyunca buhar ve fermantasyon sonrası, soyulmuş ve rendelenmiş manyok köklerinin yapılıdır. Ürün daha sonra yıkanır ve bir ana yemek bir çerez olarak yenir ya da yapılan veya depolama için kurutulur. Manyok parçalama hala elle yapılıdır. Soyulmuş ve metalik parçalama plakaları parçalama işlemi gerçekleştirmek, ya da mutfak bıçakları kullanımı ile üzerinde buğulanmış manyok elle kuvvetlice hareket ettirilir. Manyok ile kırma mekanizasyonu üretilen parçalara kalite özellikleri değişiklikler getirmektedir. Bu değişikliklerin doğası makinesi, işlem ve hammadde değişkenlerin etkileşime bağlıdır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, tasarımı ve küçük ölçekli manyok döküntüleri üretimi için uygun ve test sırasında performansı için makine değerlendirecek bir ileri-geri hareket manyok parçalayıcı imal etmektir [5].

Makina içini bir huni ile manyok kökleri süzülüp konur. Doğrudan haznenin altındaki parçalayıcı plaka karşılıklı hareket eden yatay miline bağlanmış. Parçalama plakası toplayıcı montaj içinde muhafaza edilir. Birincil hız azaltma ve düzenlenmesi için bir makara ile bir kayış yatay mili ile bir elektrik motoruna bağlı bir sürgü ve krank mekanizması yoluyla hareket türemiştir. Makine ve elektrik motorunu monte etmek için sağlam çerçeve sağlandı. Makinesinin kapasitesi 320 kg/saat'tir. Deneysel değerlendirme sonuçları makinenin parçalama diyafram boyutunu önemli ölçüde makinenin parçalama verimliliğini etkilediğini gösterdi. Makinenin parçalama etkinliği diyafram parçalama artması ile azaldı, ancak hızı parçalama ile arttı. Parçalamada diyafram 3mm ve parçalama hızı 975 rpm iken %92 Maksimum parçalama etkinliği elde edilmiştir. Makinenin hacmi kapasitesi 975 rpm'de 319.89 kg/saatlik bir maksimum değeri ve dakikada 325 devir ile 301.54 kg/saatlik bir minimum değer ile parçalama hızı artmıştır [5].

Başka bir çalışmada mekanik analiz yöntemi kullanılarak normal çalışma şartları altında parçalayıcı pimin karmaşık kuvvet koşulları üzerinde kısaca durulmuştur. Pimin gerilme özellikleri ve yorulma ömrü sonlu elemanlar analizi yöntemi ile analiz edilmiştir. Parçalayıcı pimin maksimum gerilme dağılımı kuralı bulunmuş ve kullanılmayan araba

parçalarının kırılma mekanizması ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte, simülasyon sonuçlarının güvenilirliği deneylerle doğrulanmıştır. Pimin ana mil etrafında saat yönünün tersine dönmesi halinde, milin 0° 'sinde pim üzerindeki maksimum gerilmenin diğer konumlardan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Buna ek olarak, eksen yönü boyunca maksimum gerilme, pim ucundan itibaren ve bu bölümün 0° 'sinde pim uzunluğunun $2/9$ 'luk bir mesafesinde ve kesitte meydana gelmektedir ve pim ana milin 270° 'sindeyken oryantasyon meydana gelir. Dört çalışma şekli karşılaştırıldığında, pimin yanlarının değiştirilmesi ve eksnlere 180° ile döndürülmesi halinde parçalayıcı pimin ömrünün iki Katına çıkarılabileceği bulunmuştur [1].

Parçalayıcı bileşenlerinin yapısı ve malzemelerinin etkisi üzerine odaklanılmış ve parçalayıcı malzemeleri ve bunların morfolojisinin parçalama özellikleri üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Sac benzeri plaka metalin parçalanması genellikle dört aşamaya ayrılmaktadır ve parçalama düzeyinin çekiçlerin momentumuna bağlı olduğu kanıtlanmıştır. Örs ve darbeyi meydana getiren elemanlar arasındaki açıklığın daha dar olması herhangi bir zamanda daha yüksek kalite ile sonuçlanmamıştır. Parçalayıcı çekicinin performansının çekicin kesici ucunun profilinin iyileştirilmesiyle iyileştirilebileceğini belgelemek için hem deneysel çalışmaları hem de simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar parçalayıcı bileşenleri üzerine birçok çalışma bulunuyorsa da parçalayıcı piminin özelliklerini iyileştirmenin yolları hakkında az sayıda yayın bulunmaktadır. Parçalayıcı hakkında daha ayrıntılı bir çalışma için parçalayıcı piminin özelliklerinin incelenmesine daha büyük önem verilmelidir [1].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. KATI ATIK ÖĞÜTÜCÜNÜN TASARIMINDA KULLANILAN HESAPLAMALAR

2.1.1. Katı Atık Parçalamak İçin Gerekli Kuvvet

$$F = Mg \text{ (Newton)} \quad (2.1)$$

F = Manyok kökünü doğramak için gerekli kuvvet iken

M = Yaylı kantardan elde edilen ağırlık

g = yerçekimi ivmesi

2.1.2. Elektromotor Kuvveti

Doğrama kuvveti = manyokun doğramaya karşı direncine bağlı olarak yaylı kantardan elde edilen ağırlık x Yerçekimi ivmesi

$$F=M \times g \quad (2.2)$$

Kuvvet x Mesafe Parçalama Yapılan İş = parçalama plakası üzerinde manyok kökü parçalayıcı uzunluğu ile hareket

$$W=F \times d \quad (2.3)$$

Güç=yapılan iş /zaman

$$P=W/t \quad (2.4)$$

F = Doğrama kuvveti

M = manyok kökünün doğramaya karşı direncine bağlı olarak yaylı kantardan elde edilen ağırlık [2].

g = yerçekimi ivmesi

W = manyok kökünü doğramak için yapılan iş

P = manyok kökünü doğramak için gerekli güç

t = manyok kökünü doğramak için gerekli zaman

2.1.3. Makaralar

Tahrik makarası ya da milli makara için çap ifadesi şu şekilde verilmiştir;

$$D_s = \frac{D_m D_m}{w_s} \quad (2.5)$$

D_s = Milli makara çapı (mm)

D_m = Elektromotor makara çapı (mm)

w_m = Elektromotor hızı (rpm)

w_s = Mil hızı (rpm)

Dolayısıyla tahrikli milin hızı:

$$D_s = \frac{D_m w_m}{w_s} \quad (2.6)$$

2.1.4. V-Kayışı Uzunluğu

V-kayışı için verilen formül şu şekildedir;

C = makaralar arasındaki mil mesafesi

$$L = \frac{\pi}{2}(D_s + D_m) + 2C + \frac{(D_s - D_m)^2}{4C} \quad (2.7)$$

2.1.5. Mil Tasarımı

Makinede kullanılan millerin çapını tahmin etmek için Maksimum Kayma Gerilmesi Teorisi kullanılmıştır. [2]

$$d = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi s} \cdot \sqrt{(k_b \cdot M_b)^2 + (k_t \cdot M_t)^2}} \quad (2.8)$$

Mb = Mil üzerindeki maksimum eğilme momenti iken

Mt = mil üzerindeki maksimum burulma momenti

s = çelik için izin verilebilen kayma gerilmesi

Kt , Kb= burulma ve eğilme momentleri için yorulma ve darbe faktörü

Makinenin tasarımında beş mil kullanılmıştır. Bu miller;

- i. Tahrikli makarayı cer dişlisine bağlayan mil
- ii. Cer dişlisini sürgülü makara ve manivela mekanizmasına bağlayan mil
- iii. Sürgülü makara ve manivela mekanizmasının ana mili
- iv. Sürgülü makara ve manivela mekanizmasının dik mili
- v. Doğrama plakası mili

2.1.6. Şasi Tasarımı

Şasiler dikey kesite sahip yumuşak çelik barlar kullanılarak imal edilmiştir. Bu şasiler beş mil, elektrikli motor, makaralar, cer dişlisi, besleme gözü ve içindeki manyok kökleri, sürgülü makara-manivela mekanizması ve toplayıcı kurulumunun ağırlıklarını taşıyacaktır.

Şasinin kalınlığını belirlemek için kullanılan formül şu şekildedir;

Ortalama

$$Sr = \frac{Se}{Fs} - \frac{Se}{Syp} \times Sm \quad (2.9)$$

Sr= Birleştirilmiş alternatif gerilme

Sr = Maksimum gerilme-Minimum gerilme

Minimum gerilme, besleme gözü, miller, elektrikli motor, makaralar ve cer dişlileri gibi şasi üzerindeki makine bileşenlerinin ağırlığından kaynaklanmaktadır. Maksimum gerilme, yukarıdaki ağırlıklara ek olarak besleme gözünü doldurmakta kullanılan manyok kökleri ve elektrikli motorun makine elemanlarına uyguladığı güçten kaynaklanmaktadır [2].

Se = Yumuşak çeliğin maksimum dayanım gerilimi

Syp = Yumuşak çeliğin sünme dayanımı

2.1.7. Şasiler İçin Cıvata Seçimi

Cıvatalar makine üzerindeki kayma gerilmesi düşünülerek şu formülle verilmiştir;

S_e = Yumuşak çeliğin izin verilebilir dayanım gerilimi

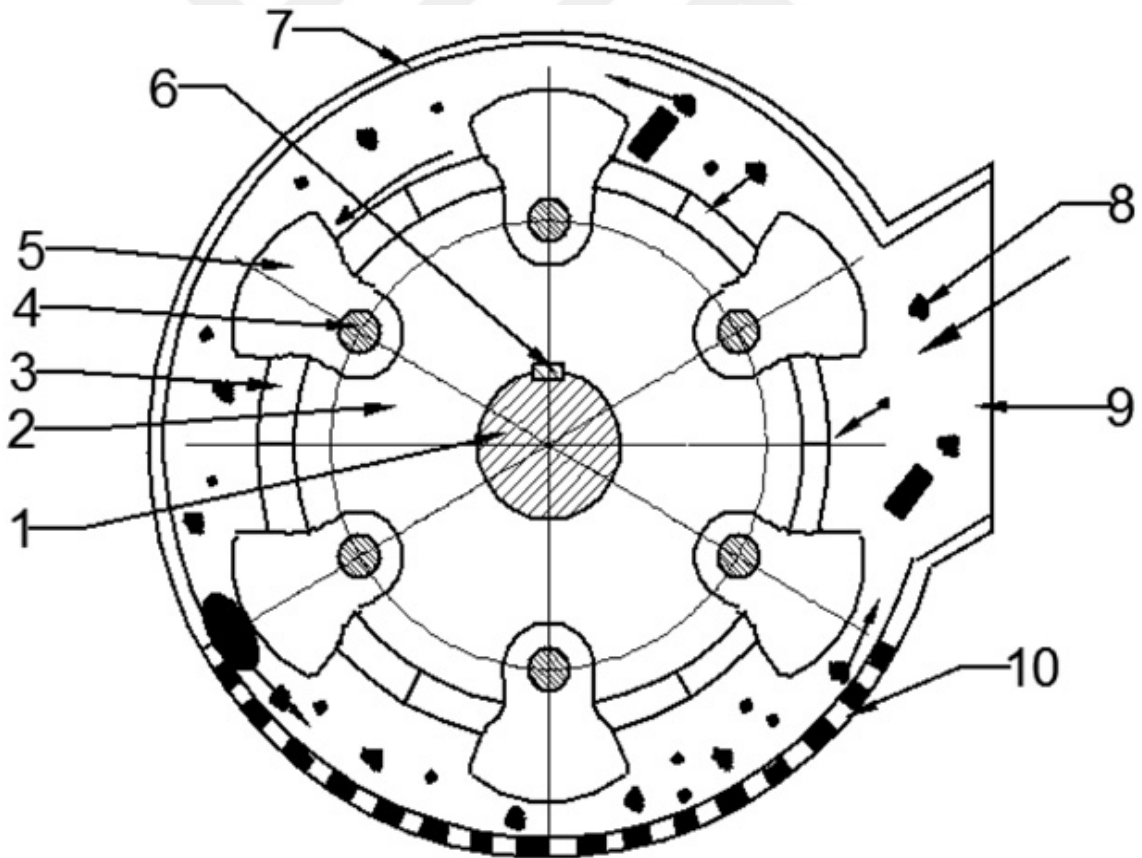
F_{max} = F_{min} + besleme gözünü dolduran manyok ağırlığı

F_{min} = yük içermeyen makinenin toplam ağırlığından kaynaklanan güç

Makineyi şasiye sabitlemek için 4mm'lik cıvatalar kullanılması tercih edilmiştir.

Tasarım tamamlandıktan sonra manyok doğrama makinesinin montajı tasarım değerlerine özen gösterilerek gerçekleştirilmiştir.

Kentsel atığın parçalanması sürecinde çekiç ve parçalanmış malzeme arasında darbeler sıklıkla meydana gelir. Parçalanmış malzemenin hızının yönü ve büyüklüğü ve çarpışma pozisyonu bilinmemektedir ki bu da gerilme durumlarının hassas bir şekilde hesaplanmasını imkânsız hale getirmektedir [1].



Şekil 2.1. Kentsel atığın parçalanma sürecinin kısa diyagramı.

- 1: ana mil,
- 2: kontrplak,
- 3: arka plaka,
- 4: pim,
- 5: çekiç,
- 6: anahtar,
- 7: boşluk,
- 8: parçalanmış malzeme,
- 9: giriş
- 10: Elek

Bununla birlikte Şekil 2.1' de gösterilen yıpranmış çekiçlerden darbelerin en sık gerçekleştiği konumlar elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarının daha hassas olabilmesi için çekiç ve parçalanmış malzeme arasındaki darbenin tahmin edilmesi gerekmektedir.

2.2. TASARIM ANALİZLERİ

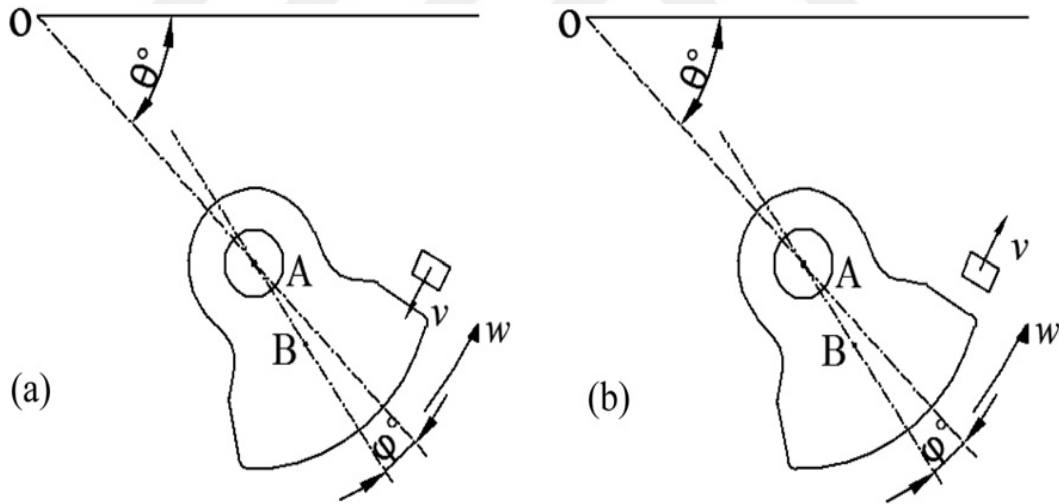
Parçalama boşluğuna doldurulan parçalanmış malzemeler döner sistem tarafından tekrar tekrar dövülür ve sıkıştırılır. Parçalanmış malzemenin izleyeceği yolu tahmin etmek imkânsızdır. Dolayısıyla parçalanmış malzemeler döner sisteme her yönden darbe uygulayabilir. Şekil 1.13'te çekicinin bir yanının büyük ölçüde hasarlı iken diğer yanının kısmen yıpranmamış olduğu görülmektedir. Görünen o ki hasarlı yüz çekicinin ana mil etrafındaki hareketi boyunca önde bulunan yüz iken diğer yüz ise arka yüzüdür. Bununla birlikte ön yüzün ucu neredeyse düzdür ve bu da buradaki kuvvetin diğerleri arasında en büyük ve en sık meydana gelen olduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, etkinin bu noktada en sık ve en güçlü olduğu varsayılabilir [1].

Parçalanmış malzeme ile çekiç arasındaki etki darbenin doğrudan olması halinde en yüksektir. Çalışmada yer alan tüm darbeler bu en yüksek etki ile değiştirilmiştir. Çekiç ve parçalanmış malzemenin hız yönlerinin zıt olduğunu ve bunların değerlerinin çarpma öncesinde Şekil 1.14'te olduğu gibi eşit olduğunu varsayalım. Çarpma sonrasında Şekil 14'te gösterildiği gibi aynı hızı kazanırlar. Bu iki şekilde O ana milin merkezidir. Çekiç bu nokta etrafında döner. A ise pimin merkezidir. B, çekicinin ağırlık merkezidir. w pimin

ana mil etrafındaki dönme hızıdır. θ pim ana mile göre dönüş açısıdır. p , çekicinin pim etrafındaki dönüş açısıdır. Darbe konumunda çekicinin teğetsel hızı v 'dir. Parçalanmış malzemenin hızı da v 'dir. Çarpışma sırasında çekiç üzerinde oluşan darbe Şekil 1.15'te gösterilmiştir. Sadece köşede oluşmaktadır ve çekiç yüzeyine dikeydir. Bu şekilde r , darbe noktası ve ana milin merkezi, O , arasındaki mesafedir [1].



Şekil 2.2. Dört yıpranmış çekicinin fotoğrafı.



Şekil 2.3. Çarpma sürecinin kısa diyagramı: (a) çarpma öncesinde, (b) çarpma sonrasında.

Şekil 2.2 Dört yıpranmış çekicinin fotoğrafı ve Şekil 2.3 Çarpma sürecinin kısa diyagramı: (a) çarpma öncesinde, (b) çarpma sonrasındaki fotoğrafı görülmektedir. Parçalanmış malzemenin boyutu, hızı ve malzeme özellikleri, ana milin dönme hızı ve çekicinin pim etrafındaki dönme hızı gibi çarpma kuvvetlerini etkileyen faktörler oldukça büyüktür. Çarpma kuvvetleri farklı durumlarda çeşitlilik göstermektedir. Her bir

durumu araştırmak imkânsızdır ancak tüm çarpma kuvvetlerinin yerini alacak ana bir kuvvet seçilebilir. Parçalama süreci sırasında her an birçok çarpma meydana gelmektedir. Pratikte ana milin dönme hızı yüksektir ve darbeler sıklıkla meydana gelir. Bu nedenle çarpma kuvvetleri sabit bir F_t kuvveti olarak değerlendirilebilir. Momentumun korunumu yasasına göre aşağıdaki formül elde edilebilir [1].

$$F_t A_t = A_m A_v \quad (2.10)$$

n: parçalayıcıda bulunan çekiç sayısı iken

A_t : çarpa zamanı

A_m ve A_v , A_t : zamanında parçalanan malzeme için momentum varyasyonudur.

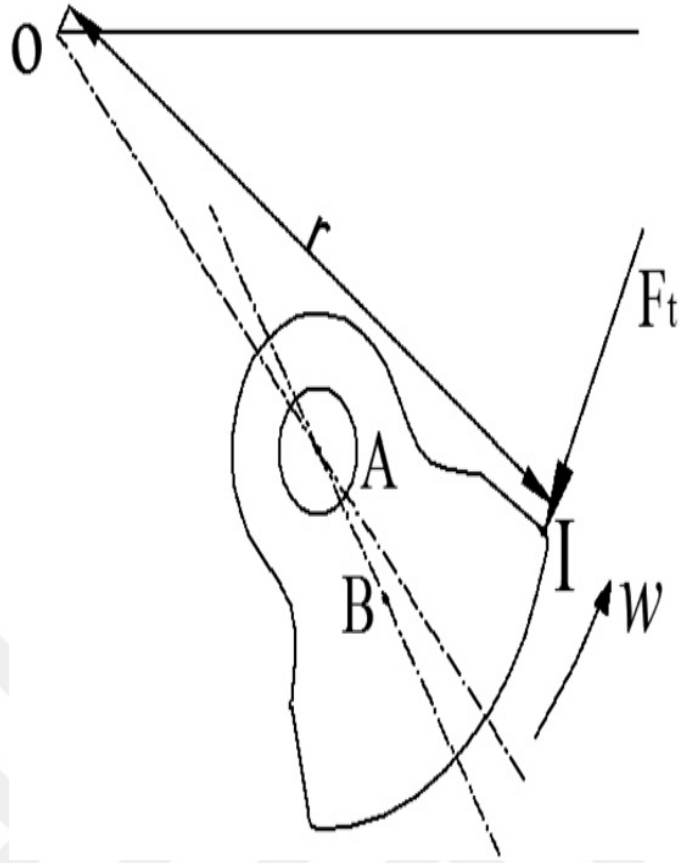
Çekicinin pim etrafındaki rotasyonu, ana mil etrafındaki rotasyona göre oldukça yavaş olduğu için çekicinin pim etrafındaki hızı ihmal edilebilir. A_v aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$A_v = 2wr \quad (2.11)$$

w pimin ana mil etrafındaki dönüş hızıdır.

Boşluktaki her parçalanan malzemenin zaman içindeki bir noktada çarpışmalarda rol oynadığını varsayarsak maksimum F_t elde edilebilir. A_m aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir

Q, birim zamanda parçalanan malzeme çıktısı iken n parçalama verimi, yani birim zamandaki parçalanan malzeme girdi ve çıktısı arasındaki orandır. F_t formüle göre hesaplanabilir [1].



Şekil 2.4. Çarpma kuvveti F_t 'nin diyagramı.

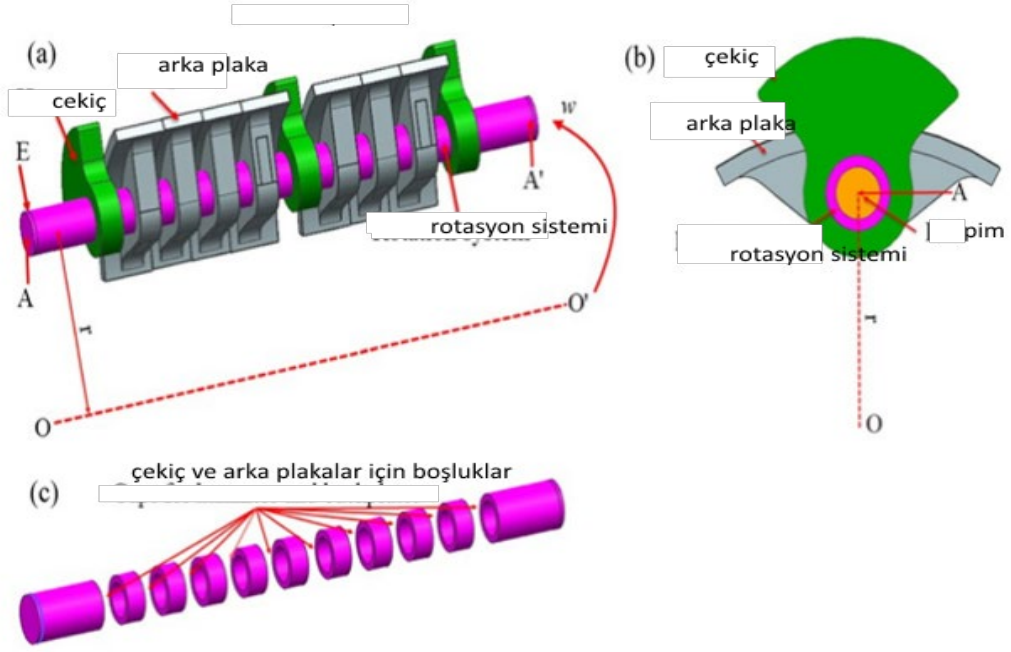
Şekil 2.4 Çarpma kuvveti F_t 'nin diyagramı görülmektedir. Pim çekiçler, arka plakalar ve kontrplakların bağlayıcı bileşenidir. Parçalama sürecinde bunun üzerindeki kuvvetler, kendi ağırlığı, merkezci kuvvet ve çekiçler, arka plakalar ve kontrplaklardan kaynaklanan kuvvetler de dâhil olmak üzere çeşitlilik göstermektedir. Eksenel ya da çevresel yönlerde temas noktaları ve pim ve diğer parçalar arasındaki temas kuvvetleri zaman içerisinde çeşitlilik göstermektedir. Pim ana mil ile birlikte dönerken merkezci kuvvetin yönü dönüş açısı ile birlikte değişmektedir [1].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. SONLU ELEMANLAR MODELİ

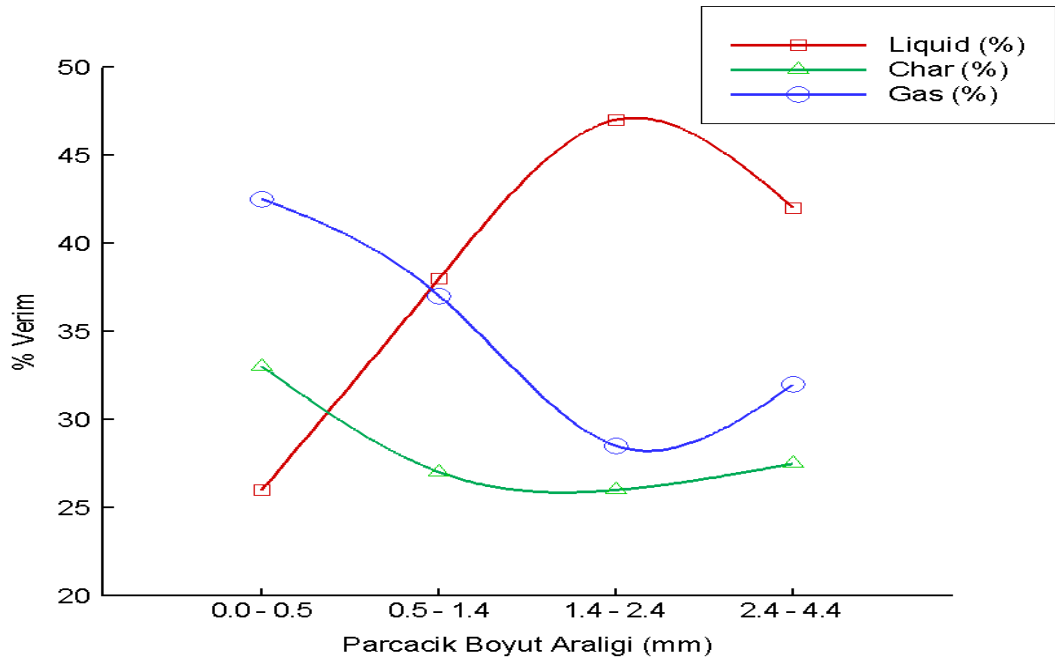
Parçalayıcının yapısına ve pim üzerindeki kuvvetlere bağlı olarak Şekil 1.16'da gösterildiği gibi parçalama sürecini simüle etmek amacıyla parçalama sisteminin sonlu elemanlar geometrik modeli geliştirilmiştir. Darbeli parçalayıcı içerisinde bulunan pim, uygulama sırasında en kolay hasar gören pim olması nedeniyle simülasyon sürecinde çalışmanın hedefi olarak seçilmiştir. OO' ve AA' ana mil ve pimin merkez akslarıdır. r ise OO' ve AA' arasındaki uzaklıktır. w , pimin ana mil etrafındaki dönüş hızıdır. Bu simülasyon sisteminin nasıl görüldüğünü açıklamak için E bölümü seçilmiştir.

Ana mil ve kontrplakların darbeli parçalayıcıda bir anahtar ile bağlanmış olması nedeniyle bunlar Şekil 1.16'da gösterildiği gibi sonlu elemanlar modelinde döner sistem adı verilen bir bütün olarak ele alınabilir. Sonlu elemanlar modelini sadeleştirmek amacıyla döner sistem Şekil 1.16'da gösterildiği üzere birçok boş borudan oluşmuştur. Çekiç ve pim arasındaki boşluk bu modelde göz önünde bulundurulmuştur. Parçalama sürecinde sadeleştirilmiş döner sistem bir güç kaynağı işlevi görebilir ve pimden gelen yükleri taşıyabilir. Dolayısıyla, yapısı karmaşık olan ve hesaplamalar için büyük miktarda zaman alacak olan döner sistemin yerine boş borular kullanılması makuldür. Borular arasındaki boşluklar çekiçlerin ya da arka plakaların montajı için tasarlanmıştır. Boruların pimi sabitlemek için kullanılan baş ve uçlarının dış kısımları mühürlenmiştir. Şekil 1.16'da gösterildiği üzere pim döner sistemin içerisine yerleştirilmiştir. Pimin iki yanı döner sisteme yapııştırılmıştır [1].

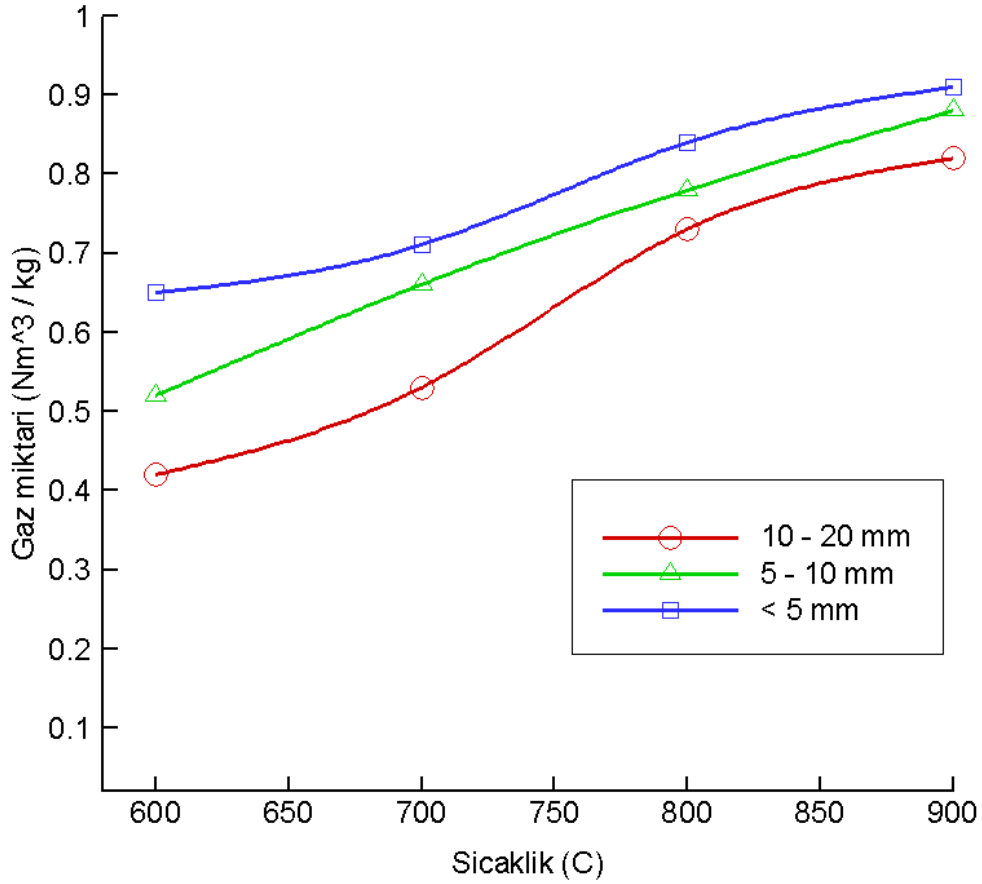


Şekil 3.1. Parçalayıcı sistemin sonlu elemanlar modeli: (a) belirli bir açıdaki görünüş, (b) kesit görünüşü, (c) döner sistem.

Şekil 3.1 Parçalayıcı sistemin sonlu elemanlar modeli: (a) belirli bir açıdaki görünüş, (b) kesit görünüşü, (c) döner sistemi görülmektedir. Partikül boyutu küçüldükçe gaz ürün miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan piroliz deneyleri sonucunda elde edilen ürün miktarları Şekil 3.2' de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Katı, sıvı ve gaz ürün kütlece oranları.

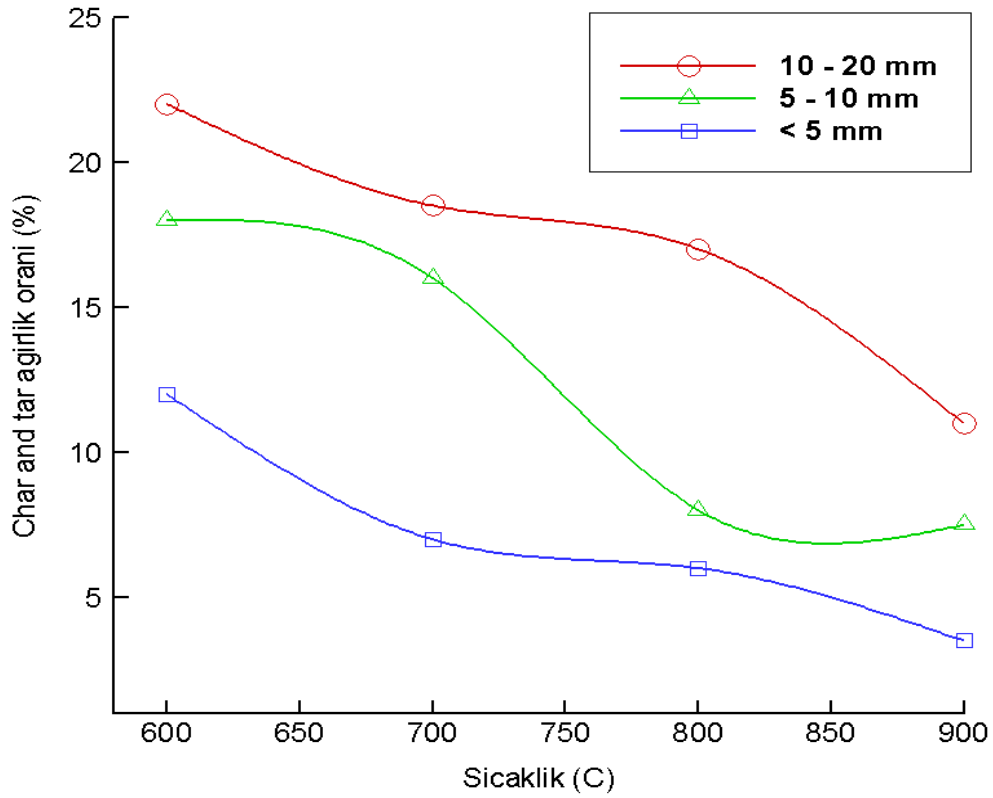


Şekil 3.3. Farklı sıcaklık ve partikül boyutlarında elde edilen gaz ürün miktarları

Şekil 3.3' den anlaşılacağı üzere sıcaklığın 600 ila 900 °C arasında değiştirilmesiyle, gaz verimi önemli ölçüde artarken, katı ve sıvı verimi tüm parçacık boyutları için keskin bir şekilde azalmıştır. Gaz veriminin artışı, esasen char ve katran buharının sıcaklık arttıkça ayrışmasına bağlanabilir, çünkü daha fazla katı ve sıvı buharı, sırasıyla Boudouard reaksiyonları ve termal çatlama reaksiyonu yoluyla gaza dönüştürülebilir. Piroliz ürünü verimleri ve bileşimi, parçacıkların ısıtma hızına bağlıdır. Daha yüksek ısıtma hızlarında, daha az miktarda kömür ve yoğuşmanın yanı sıra daha fazla gaz üretilmiştir. Küçük parçacıklar daha büyük bir yüzey alanına ve daha hızlı ısıtma oranlarına katkıda bulunmuştur.

Aynı yatak sıcaklığında, daha küçük parçacık boyutu, muhtemelen iki nedenden ötürü daha yüksek kuru gaz verimine neden olmuştur. Birincisi, piroliz işlemi esas olarak MSW yüzeyinde meydana geldiğinden, parçacık boyutunun ısı transferi üzerindeki etkisidir. Daha büyük parçacıklar daha yüksek ısı transfer direncine sahiptir ve

dolayısıyla parçacık içindeki gerçek sıcaklık daha düşüktür ve bu da bir uçuculaşma sürecinin oluşumuna yol açar. Daha sonra, tamamlanmayan piroliz, büyük miktarda artık charla sonuçlanır. Diğer olası sebep, daha küçük partikülün piroliz işleminin esas olarak reaksiyon kinetiği ile kontrol edilmesi olabilir; partikül ebadı arttıkça, işlem esas olarak gaz difüzyonu ile kontrol edilmiştir, çünkü partikül içindeki ortaya çıkan gaz ürünün difüzyon edilmesi daha zorlaşmıştır.



Şekil 3.4. Parçacık büyüklüğü ve reaktör sıcaklığının bir fonksiyonu olarak katı ve sıvı ağırlığının yüzdesi.

Şekil 3.4 Partikül büyüklüğü ve sıcaklığın, en küçük partiküllerde, sıcaklık 600'den 900 °C' ye yükseltildiğinde, katı ve sıvı %11,4'ten %3,5'e düştüğü ve kuru gaz veriminin 0.96'dan 1.39 Nm³/kg'a yükseldiği için entegre etkileri vardır. Ürün verimindeki ve sıcaklıktaki kompozisyondaki farklılıklar, ilk önce ilk pirolizde daha fazla gaz üretilmesinden (daha yüksek sıcaklıklarda daha hızlı), ikincisi, katının gazlaştırılmasının endotermik reaksiyonlarından ve üçüncü olarak da sıvı ürünün buharla kırılması ve yeniden biçimlendirilmesinden kaynaklanır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Partikül boyutu, piroliz ürün dağılımını etkileyen en önemli parametrelerden birisi olarak bilinmektedir. Çünkü partikül boyutu piroliz reaktörü içerisindeki yakıtın yanma hızını etkilemektedir. Partikül boyutunun büyümesi, ısıtma hızını azaltarak char ürün veriminin artmasına neden olmaktadır. Küçük partikül boyutlarında çalışıldığı zaman ise, uçucuların reaktörde alıkonma süreleri artmakta buna bağlı olarak da hidrokarbonların parçalanması ile oluşan hidrojen miktarı artmaktadır. O halde, küçük parçacık boyutundaki biyokütle örneklerinin pirolizinde sıvı ürün oluşumunun, büyük parçacık boyutundaki biyokütle örneklerinin pirolizinde ise katı ürün oluşumunun maksimum olduğunu söylemek mümkündür.

Parçacık boyutunun pirolize etkisi değerlendirildiğinde; pirolizde ısı ve kütle aktarımı gerçekleştiğinden, parçacık büyüklüğü oluşturacağı ısı/kütle transferi direnci sebebiyle ürün bileşimini/verimini etkileyebilir. Serbest düşmeli ve sürüklemeli akışlı reaktörlerde parçacık büyüklüğü kalma süresine, akışkan yataklı reaktörlerde ise minimum akışkanlaşma hızına etki eder.

Yapılan çalışmalar, partikül boyutunun kendi başına değil, parçacığın ısınma hızı ile birlikte bir etki yapabileceğini göstermektedir. Tek başına partikül boyutunun değişimi ürün verimlerini çok fazla etkilememektedir. Piroliz işlemi sırasında, büyük partikül boyutundaki biyokütle örnekleri daha yavaş ısınacaktır ve bu nedenle ortalama partikül sıcaklıkları daha düşük olacak, daha az miktarda uçucular oluşacaktır. Bu durum, sıvı ürün veriminin daha az olmasına neden olabilmektedir [10], [24]-[28].

Piroliz işleminde, parçacık boyutunun artması ile uçucuların gaz atmosferine geçişi hızlanmakta ve bu durumda kütle aktarım sınırlaması söz konusu olmaktadır. Uçucular yüzeyle daha uzun süre etkileşmekte ve ikincil tepkimelerin (yeniden polimerleşme ve sıcak katı yüzeyinde çeşitli parçalanma tepkimeleri) oluşumuna neden olabilmektedir. Polimerleşme, piroliz verimini düşürürken, yüzeyde parçalanma tepkimeleri sıvı verimini azaltıp, gaz verimini artırma yönünde etki etmektedir [57], [66].

Günümüz kentlerinin en büyük sorunlarından biri olan katı atıkların her geçen gün önemli miktarda artış göstermesi, kentsel alanlarda ciddi çevre problemlerine yol

açarken katı atık sorununun çözümü noktasında katı atık sorununun giderilmesinde, atıkların toplanması, taşınması, depolanması ve bertaraf edilmesi işlemlerinin yerel yönetimlerce etkin bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Dünya nüfusunun hızla artması ve bu artışa paralel olarak tüketimin artması kullanılabilir kaynakların hızla azalmasına sebep olmaktadır. Hayatın sürdürülebilirliği açısından kaynakların sınırlı miktarlarda bulunması insan geleceğini tehdit etmektedir. Yerel olarak bulunabilen malzeme ve teknolojiler kullanılarak bir parçalama makinesi geliştirilmiştir. Parçalama makinesinin temel konsepti farklı dizayn varyasyonlarına bağlı olabilir. Bu varyasyon farklılıkları parçalama makinelerin temel avantajlarını atık işlemeye özgü problemlere adapte eder ve kullanıcılara ekipman konusunda daha geniş seçme şansı sağlar. Bu durum makine performans gereksinimlerinin tanımına ve sistem tasarımcıları ve kullanıcıları tarafından yapılan önerilmiş makine özelliklerinin değerlendirmesine ihtiyaç duyacaktır. Makine seçimi yapılırken besleme malzemesinin davranışını ve istenilen performansı tanımlayan bütün faktörler dikkate alınmalıdır.



5. KAYNAKLAR

- [1] H. B. Akkuş, “Bazı katıların pirolizi ve ortak pirolizinden elde edilen katı ürünlerin karakterizasyonu,” Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2009.
- [2] G. Kanmaz, “Biyokütlenin katalitik pirolizi,” Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2011.
- [3] E. Dahlquist, *Technologies for Converting Biomass to Useful Energy*, Stockholm, Sweden: Taylor & Francis Group, 2013.
- [4] Ş. Taşar, F. Kaya ve A. Özer, “Yerfıstığı kabuğunun farklı izotermal şartlarda pirolizi ve kinetik parametrelerin belirlenmesi üzerine bir çalışma,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimi Dergisi*, c. 21, sayı 7, ss. 306–313, 2015.
- [5] M. He, B. Xiao, S. Liu, Z. Hu, X. Guo, S. Luo, ve F. Yang, “Syngas production from pyrolysis of municipal solid waste (MSW) with dolomite as downstream catalysts,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, c. 87, sayı 2, ss. 181–187, 2010.
- [6] K. Papadikis, S. Gu, ve A. V. Bridgwater, “CFD modelling of the fast pyrolysis of biomass in fluidised bed reactors. Part B. Heat, momentum and mass transport in bubbling fluidised beds,” *Chemical Engineering Science*, c. 64, sayı 5, ss. 1036–1045, 2009.
- [7] W. A. Worrell ve P. A. Vesilind, *Solid Waste Engineering*, 2. baskı, Stamford, USA: Cengage Learning, 2011.
- [8] P. J. Reddy, *Municipal Solid Waste Management*, Hyderabad, India: Taylor & Francis Group, 2001.
- [9] G. C. Young, *Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes Economic, Technical and Renewable Comparisons*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [10] A. Pariatamby ve M. Tanaka, *Municipal Solid Waste Management in Asia and The Pacific Islands*, Berlin, Germany: Springer, 2014.
- [11] S. Öztürk Tophanecioğlu, “Tarımsal atıklardan hızlı piroliz yöntemiyle sentetik sıvı yakıt eldesinde piroliz parametrelerinin etkisi,” Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2009

- [12] A. T. Sipra, N. Gao, and H. Sarwar, "Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts," *Fuel Processing Technology*, c. 175, ss. 131–147, 2018.
- [13] C. Higman ve M. van der Burgt, *Gasification*, Burlington, MA: Gulf Professional Publishing, 2003.
- [14] A. Demirbaş, "Gaseous products from biomass by pyrolysis and gasification: Effects of catalyst on hydrogen yield," *Energy Conversion and Management*, c. 43, sayı 7, ss. 897–909, 2002.
- [15] A. V. Bridgwater, "Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading," *Biomass and Bioenergy*, c. 38, ss. 68–94, 2012.
- [16] C. Ludwig, S. Hellweg, ve S. Stucki, *Municipal Solid Waste Management Strategies and Technologies for Sustainable Solutions*, Berlin, Germany: Springer, 2003.
- [17] G. C. Young, *Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes Economic, Technical and Renewable Comparisons*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [18] G. Özbay, "Odun ve odun esaslı kompozit malzeme talaşlarının termal ve katalitik piroliz yöntemi ile sıvılaştırılması," Doktora tezi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2012.
- [19] R. Chandrappa ve D. B. Das, "Waste quantities and characteristics," in *Solid Waste Management Principles and Practice*, Berlin, Germany: Springer, 2012, ss. 47–63.
- [20] P. Acar Bozkurt, "Atık lastik-kömür karışımlarının piroliz ve kritik üstü ekstraksiyonla değerli ürünlere dönüştürülmesi," Doktora tezi, Kimya Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [21] S. Öztürk Tophanecioğlu, "Tarımsal atıklardan hızlı piroliz yöntemiyle sentetik sıvı yakıt eldesinde piroliz parametrelerinin etkisi," Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2009.
- [22] N. Akpınar, "Kentsel katı atıklardan enerji üretimi," Yüksek lisans tezi, Enerji Bilimi ve Teknolojileri Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [23] S. Barışçı, "Tekstil atıklarından piroliz yöntemi ile enerji elde edilmesi," Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 2011.
- [24] G. Liu, Y. Liao, S. Guo, X. Ma, C. Zeng, ve J. Wu, "Thermal behavior and kinetics of municipal solid waste during pyrolysis and combustion process," *Applied Thermal Engineering*, c. 98, ss. 400–408, 2016.

- [25] H. B. Goyal, D. Seal, ve R. C. Saxena, “Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 12, sayı 2, ss. 504–517, 2008.
- [26] M. A. Işıkdag, “Değişik biyokütle kaynaklarından piroliz yöntemi ile sentetik yakıt elde edilmesi ve elde edilen ürünlerin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2007.
- [27] P. Baggio, M. Baratieri, A. Gasparella, ve G. A. Longo, “Energy and environmental analysis of an innovative system based on municipal solid waste (MSW) pyrolysis and combined cycle,” *Applied Thermal Engineering*, c 28, sayı 2–3, ss. 136–144, 2008.
- [28] S. Kardaş, “Katı, sıvı ve gaz atıklardan enerji üretim yöntemleri,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2009.
- [29] G. Özbay, “Odun ve odun esaslı kompozit malzeme talaşlarının termal ve katalitik piroliz yöntemi ile sıvılaştırılması,” Doktora tezi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2012.
- [30] F. Saltabaş, Y. Soysal ve V. Ş. Yıldız, “Evsel katı atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul’a uygulanabilirliği,” *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [31] E. Erdin, Katı atık yakma teknolojisi, *Ders Notları*, İzmir, 2005.
- [32] E. Arıkan, “Çok kriterli karar verme teknikleri ile katı atık bertaraf etme teknolojisi seçimi ve bir uygulama,” Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Milli Savunma Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [33] S. Eren, “Evsel atıklardan elde edilen elektrik enerjisinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmini,” Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2010.
- [34] E. Aynur, “İstanbul’da oluşan kentsel katı atıklar için yakma ve gazlaştırma sistemlerinin karşılaştırmalı analizi,” Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [35] Ö. Toraman ve H. Topal, “Katı atık ve arıtma çamurlarının değerlendirilmesinde alternatif termal teknolojiler ve uygulamaları,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 18, sayı 1, ss. 19–33, 2003.
- [36] M. Zarghami, “Experimental investigation of the effects of fuel aging on combustion performance and emissions of biomass fast pyrolysis liquid-ethanol blends in a swirl burner,” M.S. thesis, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, Toronto, Canada, 2012.
- [37] C. Ryu and D. Shin, “Combined heat and power from municipal solid waste: Current status and issues in South Korea,” *Energies*, c. 6, sayı 1, ss. 45–57, 2012

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Azem SARI
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.04.1978 Trabzon
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : info@asteknikmuhendislik.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Mühendisliği	Niğde Üniversitesi	2001
Lise	Sayısal	Düzce Lisesi	1996