

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR ATIK KAĞIT GERİ KAZANIM TESİSİNDE
SERA GAZI EMİSYON AZALTIM ALTERNATİFLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve Kübra TÜTER

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Mühendisliği ve Yönetimi Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR KAĞIT GERİ KAZANIM TESİSİNDE
SERA GAZI EMİSYON AZALTIM ALTERNATİFLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Merve Kübra TÜTER
(501151725)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Mühendisliği ve Yönetimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadir ALP

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501151725 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Merve Kübra TÜTER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BİR KAĞIT GERİ KAZANIM TESİSİNDE SERA GAZI EMİSYON AZALTIM ALTERNATİFLERİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Kadir ALP**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İsmail TORÖZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sadullah Levent KUZU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 02 Mayıs 2019

Savunma Tarihi : 13 Haziran 2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Kadir ALP'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen eşim Mehmet TÜTER'e, verilerini bizimle paylaşan kağıt tesisi yetkililerine, yüksek lisansım boyunca gösterdiği anlayıştan dolayı müdürüm H. Uğur AYKAÇ'a ve aileme de teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2019

Merve Kübra TÜTER
Çevre Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	1
2. ATIK KAĞIT GERİ DÖNÜŞÜM SÜRECİ	3
2.1 Atık Kağıdın Ayrıştırılması	4
2.1.1 Liflerin açılması	4
2.1.2 Temizleme	4
2.1.3 Mürekkep giderme	4
2.1.4 Yıkama birimi	5
2.1.5 Yüzdürme ünitesi	5
2.1.6 Mürekkebi giderilmiş hamurun beyazlatılması	5
2.2 Kağıt Sınıfları	6
2.3 Dünyada Kağıt Üretimi	6
2.4 Çevresel Etkileri	8
2.5 Dünya’da Kağıt Geri Dönüşüm Oranı	10
2.6 Türkiye’de Mevcut Durum	11
3. KAĞIT SEKTÖRÜNDE SERA GAZI EMİSYON AZALTIMI.....	15
3.1 Sera Gazı ve İklim Değişikliği	15
3.2 Türkiye’deki Sera Gazı Emisyonları	15
3.3 Biyokütleden Enerji Üretimi	17
3.3.1 Piroliz prosesi	18
3.3.1.1 Plastik pirolizi	19
3.3.2 Gazlaştırma prosesi	20
3.3.2.1 Kurutma	21
3.3.2.2 Piroliz	22
3.3.2.3 Oksidasyon	22
3.3.2.4 Redüksiyon	22
3.3.2.5 Sentez gazı üretimi	23
4. SEÇİLEN TESİSE AİT ATIK KAĞIT GERİ DÖNÜŞÜM SÜRECİ.....	25
4.1 Seçilen Atık Kağıt Geri Dönüşüm Tesisine Ait Proses	25
4.2 Tesisin Üretim Kapasitesi	32
4.3 Enerji Kullanım Kapasitesi	33
4.4 Su Tüketimi	33
4.5 Atıksu	33

4.5.1 Flotasyon	34
4.5.2 Şartlandırma	34
4.5.3 Havasız (Anaerobik) arıtma	34
4.5.4 Havalı (Aerobik) arıtma	35
4.6 Arıtma Çamuru.....	35
4.7 Evsel Atık.....	35
4.8 Endüstriyel Atıklar	35
4.9 Sera Gazı Emisyonu	35
4.10 Koku.....	36
5. KAĞIT TESİSİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN LİTERATÜR VERİSİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI	37
5.1 Su Tüketimi	37
5.2 Atıksu	37
5.3 Arıtma Çamuru.....	38
5.4 Endüstriyel Atıklar	38
6. SERA GAZI EMİSYON AZALTIM ÖNERİLERİ	41
6.1 Sera Gazı Emisyonu Hesaplama Metodolojisi.....	41
6.1.1 Faaliyet verisi hesabı.....	41
6.1.2 Hesaplama faktörleri	42
6.2 Referans Senaryo.....	42
6.2.1 Tesis sınırları	42
6.2.2 Kapsamı.....	42
6.2.3 Emisyon kaynakları.....	42
6.2.4 Fosil yakıt tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarının hesabı.....	43
6.2.4.1 Faaliyet verisi hesabı.....	43
6.2.4.2 Hesaplama faktörleri	44
6.2.4.3 Sera gazı hesabı	44
6.3. Senaryo 1: Rejekt Atıkların Gazlaştırılması ile Syngas Üretimi.....	47
6.3.1 Rejekt atık miktarı	47
6.3.2 Rejekt atıkların kompozisyonu.....	47
6.3.3 Isıl kapasite hesabı	49
6.3.4 Gazlaştırma prosesi tasarımı	49
6.3.4.1 Ön işlem	49
6.3.4.1.1 Parçalama ve peletleme	50
6.3.4.1.2 Kurutma.....	50
6.3.4.2 Gazlaştırma reaktörü	51
6.3.4.3 Gaz soğutma ve temizleme	53
6.3.4.4 Üretilen syngas miktarı	53
6.3.4.5 Kül.....	54
6.3.4.6 Katran	54
6.3.5 Azaltılan sera gazı miktarı.....	54
6.4 Senaryo 2: Rejekt Atıkların Pirolizi İle Dizel Yakıt Üretimi.....	56
6.4.1 Rejekt atıkların pirolizi.....	56
6.4.1.1 Ön işlem	56
6.4.1.2 Piroliz prosesi tasarımı	56
6.4.2 Piroliz prosesi ürünlerinin değerlendirilmesi	58
6.4.2.1 Dizel yakıtının dizel motorlarda kullanımı ile elektrik üretimi.....	58
6.4.3 Azaltılan sera gazı miktarı.....	59
6.5 Senaryo 3: Kurutma Bacasından Çıkan Su Buharının Soğutulmuş Yoğunlaştırılması Ve Kullanılması.....	60

6.6	Senaryoların Karşılaştırılması.....	60
7.	MEVCUT EN İYİ TEKNOLOJİ KAPSAMINDA SEKTÖRDE UYGULANABİLECEK İYİLEŞTİRMELER	63
7.1	Genel MET Önerileri	63
7.2	Geri Kazanılmış/Dönüştürülmüş Kağıtlardan Kağıt Üretimi	64
7.2.1	Malzeme yönetimi.....	64
8.	SONUÇLAR	67
8.1.	Gelecekte Yapılması Önerilen Çalışmalar	68
KAYNAKLAR.....		71
ÖZGEÇMİŞ		75





KISALTMALAR

BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
EF	: Emisyon faktörü
kcal	: Kilo kalori
kJ	: Kilo joule
KO	: Karbon oksidasyonu
Mt	: Metrik ton
MW(th)	: Termal megawatt
NKD	: Net kalorifik değer
CO_{2e}	: Karbondioksit eşdeğeri



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Kağıt sınıfları.....	6
Çizelge 2.2: Kağıt ve karton yıllık üretimi (mt ve dünya üretim geneli yüzdesi olarak) (Url-17).....	7
Çizelge 2.3: Geri dönüştürülmüş kağıdın çevresel etkilerinin karşılaştırılması (Url-17).....	8
Çizelge 2.4: 2013 yılı geri dönüşüm oranlar (Url-17).....	10
Çizelge 2.5: Türkiye’de kağıt karton üretimi (İSO, 2018).....	11
Çizelge 3.1: Piroliz türleri (Akgül, 2017).....	18
Çizelge 3.2: Piroliz ürünleri.....	19
Çizelge 3.3: Plastik türlerine göre elde edilen ürün verimleri (Chen, 2014).....	20
Çizelge 3.4: Gazlaştırmanın avantaj ve dezavantajları.....	21
Çizelge 3.5: Kurutma işleminin avantaj ve dezavantajları.....	22
Çizelge 4.1: Kağıt türlerine göre yıllık üretim miktarları.....	33
Çizelge 4.2: Isıl güç tablosu.....	33
Çizelge 5.1: Üretim tipine bağlı su kullanımı (European Comission,2015).....	37
Çizelge 5.2: Tesisin atıksu karakteristiğinin literatür verisi ile karşılaştırılması (European Comission, 2015).....	38
Çizelge 6.1: Yakıtlardan kaynaklı CO ₂ emisyonları.....	44
Çizelge 6.2: Yakıtlardan kaynaklı CH ₄ emisyonları.....	45
Çizelge 6.3: Yakıtlardan kaynaklı N ₂ O emisyonları.....	45
Çizelge 6.4: Yakıtlardan kaynaklı toplam sera gazı emisyonu.....	45
Çizelge 6.5: Rejekt atık analiz sonuçları.....	48
Çizelge 6.6: Atıkların elemental yüzdeleri.....	48
Çizelge 6.7: Atığın mol yüzdesi.....	52



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Atık kağıttan kağıt üretim aşaması akış diyagramı.....	3
Şekil 2.2: 2005-2015 Yılları arası küresel kağıt ürünleri tüketimi (Url-17).....	7
Şekil 2.3: Kağıt üretiminin çevresel etkileri (European Comission, 2015).....	9
Şekil 2.4: Elyaf türüne göre küresel kağıt üretimi (2014 Yılı) (Url-17).....	10
Şekil 2.5: Türkiye’de kağıt sektöründe geri kazanılan kağıt miktarları (Url-16).....	12
Şekil 3.1: Türkiye’de toplam seragazı salımlarının sektörlere göre Kırılımı 1990-2016 (Url-11).....	16
Şekil 3.2: Biyokütle enerji üretim mekanizmaları (Okutan, 2018).....	17
Şekil 3.3: Reaktör içerisindeki gazlaştırma aşamaları (Demirtaş & Danışmaz, 2016).....	21
Şekil 4.1: Kağıt balyalama.....	25
Şekil 4.2: Gri karton ünitesi iş akım şeması.....	26
Şekil 4.3: Fluting ve test-liner kâğıdı ünitesi iş akım şeması.....	27
Şekil 4.4: Pulper.....	28
Şekil 4.5: Çakıl tutucu.....	29
Şekil 4.6: Çakıl tutucu çıkışı.....	30
Şekil 4.7: Hamurun elektteki görüntüsü.....	31
Şekil 4.8: Kurutma grubu.....	32
Şekil 4.9: Bobin kesme.....	32
Şekil 6.1: Tesisten kaynaklı sera gazı emisyonları dağılımı.....	46
Şekil 6.2: Gazlaştırma prosesi tasarımı.....	49
Şekil 6.3: Gazlaştırma tasarım ayrıntıları.....	50
Şekil 6.4: Senaryo 1’den kaynaklı sera gazı emisyonları dağılımı.....	55
Şekil 6.5: Piroliz prosesi akım şeması.....	56
Şekil 6.6: Piroliz tasarım ayrıntıları.....	57
Şekil 6.7: Senaryo 2’den kaynaklı sera gazı emisyonları dağılımı.....	60
Şekil 6.8: Senaryoların karşılaştırılması.....	61
Şekil 6.9: Tasarruf edilen emisyon miktarı.....	61



BİR KAĞIT GERİ KAZANIM TESİSİNDE SERA GAZI EMİSYON AZALTIM ALTERNATİFLERİ

ÖZET

Sera gazları, yeryüzü sıcaklığı üzerinde doğrudan etkisi olan ve küresel ısınmaya yol açan atmosferik bileşenlerdir. Fosil yakıtların kullanılması ile atmosferdeki sera gazı miktarı her geçen gün artış göstermektedir. Günümüzde fosil yakıtların artan enerji ihtiyacını karşılamada yetersiz olması ve bu yakıtların tüketiminin iklim değişikliğine sebep olmasından dolayı alternatif enerji kaynakları için yeni teknolojiler geliştirilmektedir.

Kağıt sektörü, global sera gazı emisyonlarının %1'ine denk gelen, en düşük sera gazı emisyonuna sebep olan sektördür. Ancak son yıllarda kağıt ürünlerine ait talebin artışı, sektörde üretim miktarlarının da artmasına sebep olmuştur. Bu durum; daha fazla üretimi teşvik ederken aynı zamanda çevresel tahribata yol açmaktadır. Yalnızca orman tahribatı değil aynı zamanda su kaynaklarında olduğu kadar endüstriyel kimyasalları yapmak için kullanılan hammaddelerin ve gerekli katkı maddelerinin de daha fazla kaynak imhasına ilişkin tehlikeleri arttırmaktadır. Doğal kaynak kullanımına önemli katkısı olan geri dönüştürülmüş kağıtların üretimde daha fazla kullanılması; hem enerji tasarrufu hem de ekonomiye katma değer sağlamaktadır.

Günümüzde faydalanılabilir enerji kaynaklarının kısıtlı olması, teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan enerji talebi ihtiyacını karşılamada yetersiz olması ve fosil yakıtların tüketiminden kaynaklı iklim değişikliği gibi çevresel sorunlardan dolayı alternatif enerji kaynakları için yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Yenilebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyokütle; çevreye katkısı, maliyetinin düşük oluşu, erişim kolaylığı vs. avantajlarından dolayı önemli bir kaynaktır.

Bu tezde; çevreye oldukça önemli katkısı olan bir atık kağıt geri dönüşüm tesisinin tükettiği fosil yakıtlardan kaynaklı sera gazı emisyonlarının miktarının belirlenmesi, tesisin mevcut üretim hattında iyileştirme olanaklarının araştırılarak, sera gazı emisyon azaltımına yönelik alternatiflerinin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Bu tezde; kağıt sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları özelinde geri dönüşüm kağıtlarının kullanıldığı bir prosesten oluşan atıkların enerjisinden yararlanılması durumunda ne mertebede azaltılabileceğine yönelik teorik bir değerlendirme yapılmıştır. Tesisin üretiminden kaynaklanan reject atıkların kalorifik değeri yüksek olduğu görülmüş olup bu çalışmada bu atıklardan piroliz ve gazlaştırma yöntemleri ile enerji elde edilmesi amaçlanmıştır. Reject atıklardan elde edilen bu enerjinin tesiste tüketilen yakıt miktarının azalmasına sebep olarak tesisin hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda referans senaryoya kıyasla gazlaştırma yönteminin uygulanması %23 oranında emisyon azaltımına sebep olurken, piroliz yönteminin uygulanması ise %19 oranında azaltıma sebep olmaktadır.



ALTERNATIVES FOR REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSION IN A PAPER RECYCLING PLANT

SUMMARY

Greenhouse gases are atmospheric components that have a direct impact on the earth's temperature and cause global warming. The amount of greenhouse gas in the atmosphere increases with the use of fossil fuels. Nowadays, new technologies are being developed for alternative energy sources because of the inadequacy of fossil fuels to meet the increasing energy needs and the consumption of these fuels cause climate change.

The paper sector, which accounts for 1% of global greenhouse gas environments, is the sector with the lowest greenhouse gas emissions emitters. However, the increase in demand for end-product diversity has led to an increase in production volumes in the sector. This situation; while encouraging further production, it also leads to environmental destruction. Not only forest destruction but also water resources as well as the raw materials used to make industrial chemicals and the necessary additives increase the hazards associated with further resource destruction. Greater use of recycled paper in production, which makes a significant contribution to the use of natural resources; It provides both energy saving and added value to the economy.

Today, new technologies are being developed for alternative energy sources due to the limited availability of available energy sources, insufficient capacity to meet the increasing energy demand due to technological developments, and environmental problems such as climate change due to the consumption of fossil fuels. Among the renewable energy sources, biomass; is an important resource because of its advantages like contribution to the environment, low cost, ease of access etc.

In this thesis; In order to determine the amount of greenhouse gas emissions from fossil fuels consumed by the waste paper recycling plant in Istanbul which has a significant contribution to the environment, and to investigate the improvement possibilities in the existing production line of the facility, the alternatives for greenhouse gas emission reduction have been evaluated.

In addition, the current situation of the plant has been determined by comparing the best technology indicators applied all over the world for improvement areas.

In this thesis; A theoretical assessment was made on the extent to which greenhouse gas emissions from the paper industry can be reduced, in particular if the energy of wastes from a recycling process is utilized.

Greenhouse gas reduction potentials were evaluated in different scenarios. These scenarios are below;

Scenario 1: Syngas production by gasification of reject wastes

Scenario 2: Diesel production by pyrolysis of reject wastes

Scenario 3: It was determined as cooling and condensing and using the water vapor coming out of the drying chimney.

Reference scenario is current situation of selected paper recycling plant. In reference scenario it is calculated the total green house gases emissions from fossil fuels consumptions, disposal and transportation of rejects. The total greenhouse gases emissions are calculated as 99.219 tons CO_{2e} /per year.

Wastes occur during the production phase of the facility are called “reject”. Rejected wastes mainly consist of plastic, textile materials, glass, stone, gravel, sand and metals. These wastes are stored separately and sent to the energy facility for disposal. In this thesis; instead of reject incineration, it is aimed to gain energy from rejects which have about 6000 kcal dry calorific value.

The amount of rejects in the facility (15-20%) was found to be well above the rate seen in the best practices (4-10%). Thanks to research done in this case the plant is not in the special paper is understood to have taken place in Turkey a problem of recycling facilities. The low quality of domestic paper compared to imported paper, and the high amount of these reagents contained in the waste paper lead to both loss of labor for sorting and serious economic costs.

It is seen that reject wastes arising from the production of the plant have high calorific value and in this study it is aimed to obtain energy from these wastes by pyrolysis and gasification methods. Reject was calculated as the energy obtained from the wastes decreased the amount of fuel consumed in the plant.

In Scenario 1 based on the gasification process, natural gas consumption decreases up to 5,322 tons/year with the steam obtained from syngas and the natural gas activity data decreases from 15,583.87 tons/year to 10,261 tons/year. In addition, when lignite savings of 6,470 tons/year were accepted by using tar as an alternative in the fluidized bed boiler, the annual lignite consumption value decreased from 21.496,90 tons/year to 15,027 tons/year, and as stated in the reference scenario, 243 tons of transported waste from the plant to energy facilities It has been calculated that greenhouse gas emissions are reduced as CO₂/year emissions are made within the site of the direct disposal plant.

In Scenario 2 based on pyrolysis process, it is calculated that natural gas consumption decreased by 5.960 tons/year with the electricity production obtained by diesel engine. In this case, the natural gas activity data decreased from 15.583,87 tons/year to 9.623 tons/year, the total greenhouse gas emissions of the plant decreased to 80.203 tons CO₂/year and a total saving of 19.017 tons/year was achieved.

Total greenhouse gas emissions from Scenario 1 are calculated as 76.242 tons CO₂/year and it is possible to save 22.977 tons/year CO₂ compared to the reference scenario. It is calculated that the total amount of greenhouse gas emissions arising from Scenario 2 is 80.202 tons CO₂/year and a total saving of 19.017 tons/year CO₂ is saved compared to the reference scenario.

As a result of the evaluations, the gasification method reduces the emissions by 23% compared to the reference scenario, while the pyrolysis method reduces the emissions by 19%.

When focusing on Scenario 3; the temperature and humidity rate of the gas released to the atmosphere in the drying chimneys were investigated. The flue gas outlet temperatures are 50 °C, which is well below the recoverable amount. Therefore, no alternative alternative to focused energy efficiency could be found.

However, the design of the facility needs to be redesigned considering the seasonal variation of the objective analysis. The composition of the syngas obtained by the gasification process should be tested in the laboratory and feasibility studies are recommended in this direction. Conducting studies on costs will allow for more realistic choices.





1. GİRİŞ

Herhangi bir kullanım sonrasında oluşan, atılan her türlü kağıt, karton ve mukavvalara atık kağıt denilmektedir. Bu kapsamda ofislerden çıkan kağıtlar, kağıt tesislerinden çıkan kopuk kağıtlar, dönüşüm sırasında çıkan kırıntı kağıtlar, günü geçmiş gazete, dergi vs aslında birer atık kağıt olarak kabul edilmektedir.

Atık kağıt; ekonomik değere sahip bir hammadde olmasının yanında geri dönüşümün sağladığı faydalar nedeniyle de çevrecidir. İkincil hammaddeden (atık kağıt) üretilen kağıt, ilk hammaddeden (selüloz) üretilen kağıda oranla %73 daha az hava kirliliğine sebep olmaktadır. 1 ton kullanılmış kağıt çöpe atılmayıp geri kazanıldığı ve kağıt üretiminde tekrar kullanıldığı zaman, 17 adet yetiştirilmiş çam ağacının kesilmesi, 36 ton sera gazı CO₂'nin atmosfer salınması, 4100kWh elektrik enerjisinin israf edilmesi, 267 kg kirlenici gazın atmosfere salınması, 1750 lt fuel oilin israf edilmesi önlenmektedir (Vakfi, 2018).

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tezde; çevreye oldukça önemli katkısı olan atık kağıt geri dönüşüm tesisinin tükettiği fosil yakıtlardan kaynaklı sera gazı emisyonlarının miktarının belirlenmesi, tesisin mevcut üretim hattında iyileştirme olanaklarının araştırılarak, sera gazı emisyon azaltımına yönelik alternatiflerinin araştırılması amaçlanmıştır.



2.1 Atık Kağıdın Ayrıştırılması

Belediye veya özel işletmeler tarafından toplanan gazete, dergi, karton koli, ambalaj kağıtları vs kullanılmış kağıtlar kağıt sınıfına göre temel gruplara ayrıştırılmaktadır. Bu ayrıştırma işlemi elle yapılabildiği gibi teknolojik yöntemlerle de yapılabilmektedir. Eleme işleminde; kağıt hamuru içerisindeki liftopağı, lif demeti, kazan taşı, balyalardan gelen pislikler, toz, kum, balyateli, borularından gelen pas, lastik, plastik, gibilif dışı kirlilikler uzaklaştırılmaktadır. Böylece kağıt içinde leke ve benek oluşumu engellenmektedir (Yakut, 2012; Dumlu, 2014).

2.1.1 Liflerin açılması

Liflerin açılması işlemi pulper yardımıyla gerçekleşmektedir. Pulper; tank içerisindeki lifleri ve suyu etkili bir şekilde karıştırır, atık kağıt içerisinde oluşmuş hidrojen bağlarının koparılır, atık kağıdı hamur haline getirmektedir. Mürekkep giderimi için kimyasal eklenmesi de pulper içerisinde yapılmaktadır.

Pulperde liflerin açmanın amacı; kuru elyaf kütlelerini ıslatılarak, parçalayarak onları pompalarla basılabilecek hale getirmektir. Elyafın açılmasının zorlaştığı durumlarda pulperdeki hamur sıcaklığı 75 °C'nin üzerine kadar çıkmaktadır (Dumlu, 2014).

Pulper; kesikli yada sürekli sistem olarak ikiye ayrılır. Sürekli sistemlerde verim kesikli sistemlere oranla %25 daha fazladır. Bu nedenle yüksek kapasiteli tesislerde sürekli sistemler tercih edilmektedir (Dalkılıç, 2012).

Üretilen kağıdın türüne göre; pulper içerisindeki yoğunluk, sıcaklık, karıştırma süresi ve katılacak kimyasalların miktar ve türleri değişiklik göstermektedir (Dalkılıç, 2012).

2.1.2 Temizleme

Temizleme işlemi; kağıt hamuru içindeki kaba malzemelerin, basınçlı eleklerden geçirilerek hamurdan uzaklaştırılması işlemidir. Bu kaba malzemeler; lif topağı, kazan taşı, balya teli, toz, kum, su borularından gelen lastik, plastik gibi kirletici maddeler olmaktadır (Dumlu, 2014).

2.1.3 Mürekkep giderme

Mürekkep giderme işlemi; istenen beyazlıkta kağıt üretilmesi için, hamurun içindeki mürekkep parçacıklarının uzaklaştırılmasıdır.

Modern tesislerde mürekkep giderme işlemi iki süreçle yapılmaktadır. Bunlar;

- Yıkama işlemi,
- Yüzdürme (flotasyon) işlemidir.

Mürekkep giderme işlemi için genelde Kuzey Amerika’da yıkama süreci, Avrupa’da ise flotasyon (yüzdürme) süreci kullanılmaktadır (Dalkılıç, 2012).

2.1.4 Yıkama birimi

Yıkama birimi; atık kağıdın içerisinde bulunan ve kirlilik meydana getiren parçacıkların boyutuna bağlı olarak hamurun su ile yıkanması sonucu uzaklaştırıldığı bir sistemdir (Dalkılıç, 2012).

Dalkılıç (2012)’ye göre; “Yıkama ekipmanları çıkış hamuru yoğunluğuna göre düşük yoğunluklu, orta yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu olmak üzere üç türdür. Düşük yoğunluklu yıkayıcılarda yoğunluk en fazla %8’e kadar çıkar, orta yoğunluklu yıkayıcılarda %8-15 arası ve yüksek yoğunluklu yıkayıcılarda yoğunluk %15’in üzerinde olmaktadır”.

2.1.5 Yüzdürme ünitesi

Yüzdürme işlemi; hidrofobik özellik gösteren mürekkeplerin, yüzey aktif kimyasalların kullanılması ile kağıt hamurundan uzaklaştırılmasıdır. Yüzeye doğru yükselirken köpük tabakası oluşturan mürekkep hava kabarcıklarının, yüzeyde savak yada vakum yardımıyla ortamdaki uzaklaştırılması işlemidir. Yüzey aktif madde olarak yağ aside tuzları, sabun vs. kullanılmaktadır (Dalkılıç, 2012).

2.1.6 Mürekkebi giderilmiş hamurun beyazlatılması

Kağıt hamurunun kimyasal bir işlem uygulanarak beyazlatılması işlemidir. Bu sayede kağıt hamurunun değeri artmakta, yazı ve baskı işlemleri için daha uygun hale gelmekte aynı zamanda lif demetlerin uzaklaştırılması ile kağıt hamuru daha saf bir hale gelmektedir (Dalkılıç, 2012).

Ağartma işleminde kullanılan kimyasallar; klor, hipoklorit ve klor dioksit, oksijen, ozon, hidrojenperoksit olarak yer almaktadır. Ancak yapılan bazı araştırmalarda klor içerikli kimyasalların kullanımı sonucunda TOCL (Organik Klorür) ve AOX (Adsorbe Edilebilir Organik Halejenür) gibi zehirli atıklara sebep olduğu görülmüştür. Ağartmada kullanılan klor miktarının azaltılması ile bu kirleticilerin de azaldığı belirtilmiştir (Dumlu, 2014).

2.2 Kağıt Sınıfları

Farklı kullanım ihtiyaçlarını karşılamak üzere binlerce çeşit kağıt üretilmektedir. Kültürel ve endüstriyel kağıt olmak üzere temel olarak iki gruba ayrılmaktadır (Yakut, 2012).

Çizelge 2.1: Kağıt sınıfları.

Kültürel Kağıt	Endüstriyel Kağıt
Yazı Tabı Kağıdı	Sargılık Kağıt
Gazete Kağıdı	Temizlik Kağıt
	Kraft Torba Kağıdı
	Oluklu Mukavva Kağıdı
	Kartonlar
	Sigara ve İnce Özel Kağıtlar

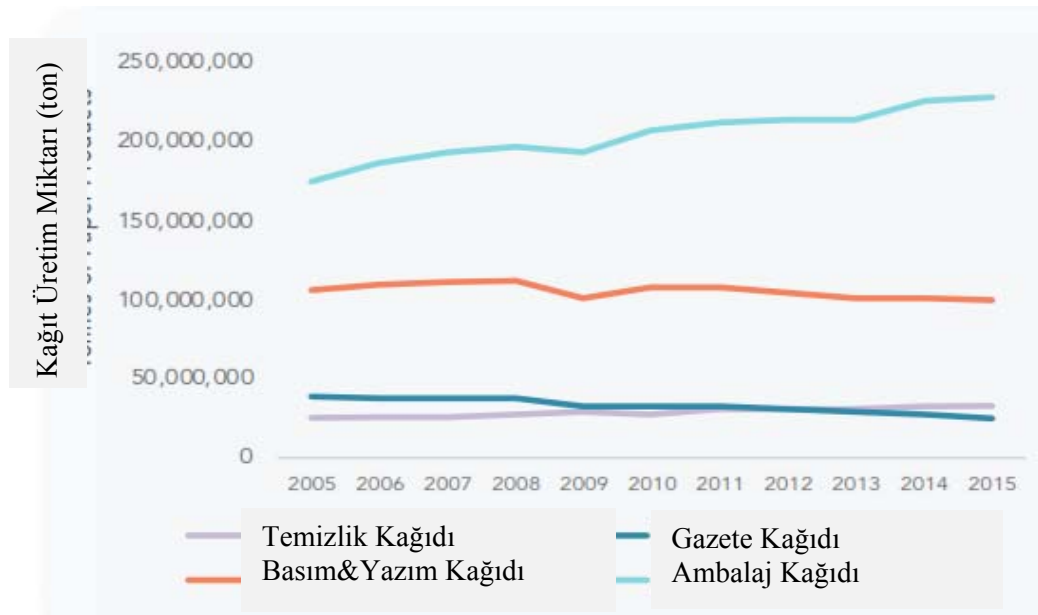
2.3 Dünyada Kağıt Üretimi

1970 yılında, ABD, Kanada, Batı Avrupa ve Japonya'daki kağıt üreticileri, dünya kağıdının %85'inden fazlasını üretmekte iken günümüzde küresel kağıt üretimi coğrafi olarak değişiklik göstermektedir. Kuzey Amerika ve Avrupa'da düşüşler yaşanırken, dünyadaki birçok ülkede yeni kağıt endüstrileri kurulmaktadır. Asya, dünya genelinde kağıt hamuru ve kâğıt üretiminde 1970'teki %15 seviyelerinden günümüzde yaklaşık %50 seviyelerine çıkmıştır. Geçtiğimiz yirmi yıllık kapasite ile, dünyanın kağıdının %25'inden fazlasını sağlayan lider kağıt üreticisi olarak sırayı devralmıştır. Uzun zamandır kağıt üretiminde dünya lideri olan ABD 2009 yılında ikinci sırayı aldı. Artık yalnızca Asya, özellikle Çin ve Hindistan artık dünyadaki kağıt hamuru ve kağıdın yaklaşık% 50'sini sağlıyor ve geçmişte kağıda erişimi az olan büyük nüfuslara yeni kağıt pazarları açmaktadır (Url-17). Dünya genelinde kağıt üretici ülkelerin 1970'ten 2015'e kadar yıllık üretim tonajları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2: Kağıt ve karton yıllık üretimi (mt ve dünya üretim geneli yüzdesi olarak) (Url-17).

Bölge	1970	1980	1990	2000	2010	2015
Dünya	128.029	174.186	238.238	323.139	399.795	406.295
Afrika	908	1.572	2.766	2.916	3.824	3.563
	%1	%1	%1	%1	%1	%1
Kuzey Amerika	57.370	72.545	88.431	107.406	88.519	82.984
	%45	%42	%37	%33	%22	%20
Latin Amerika	3.759	7.149	10.805	14.194	20.721	21.157
	%3	%4	%4,5	%4	%5	%5
Asya	19.035	32.074	54.708	94.984	174.622	190.618
	%15	%18	%23	%29	%44	%47
Avrupa	38.741	50.057	68.057	99.921	108.037	104.076
	%30	%29	%28,5	%31	%27	%26
Okyanusya	1.514	2.061	2.813	3.718	4.072	3.898
	%1	%1	%1	%1	%1	%1

Şekil 2.2'ye baktığımızda gazete basımına olan küresel talebin son on yılda düşüş yaşandığı, ancak temizlik kağıdı ve paketleme ürünlerine olan talebin artış trendinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2: 2005-2015 Yılları arası küresel kağıt ürünleri tüketimi (Url-17).

2.4 Çevresel Etkileri

Global kağıt üretimi 1985'ten günümüze iki katına çıkarken, 2015 yılında ise 406 milyon tonun üzerine çıkmıştır. 2030'da dünya talebini yılda % 1.1 oranında artırarak 482 milyon mt'ye çıkarılması öngörülmektedir (Url-17). Bu durum daha fazla üretimi teşvik ederken aynı zamanda çevresel tahribata yol açmaktadır. Yalnızca orman tahribatı değil aynı zamanda su kaynaklarında olduğu kadar, endüstriyel kimyasalları yapmak için kullanılan hammaddelerin ve gerekli katkı maddelerinin de daha fazla kaynak imhasına ilişkin tehlikeleri arttırmaktadır. Kağıt üretiminden kaynaklı çevresel etkiler Şekil 2.3'te verilmiştir.

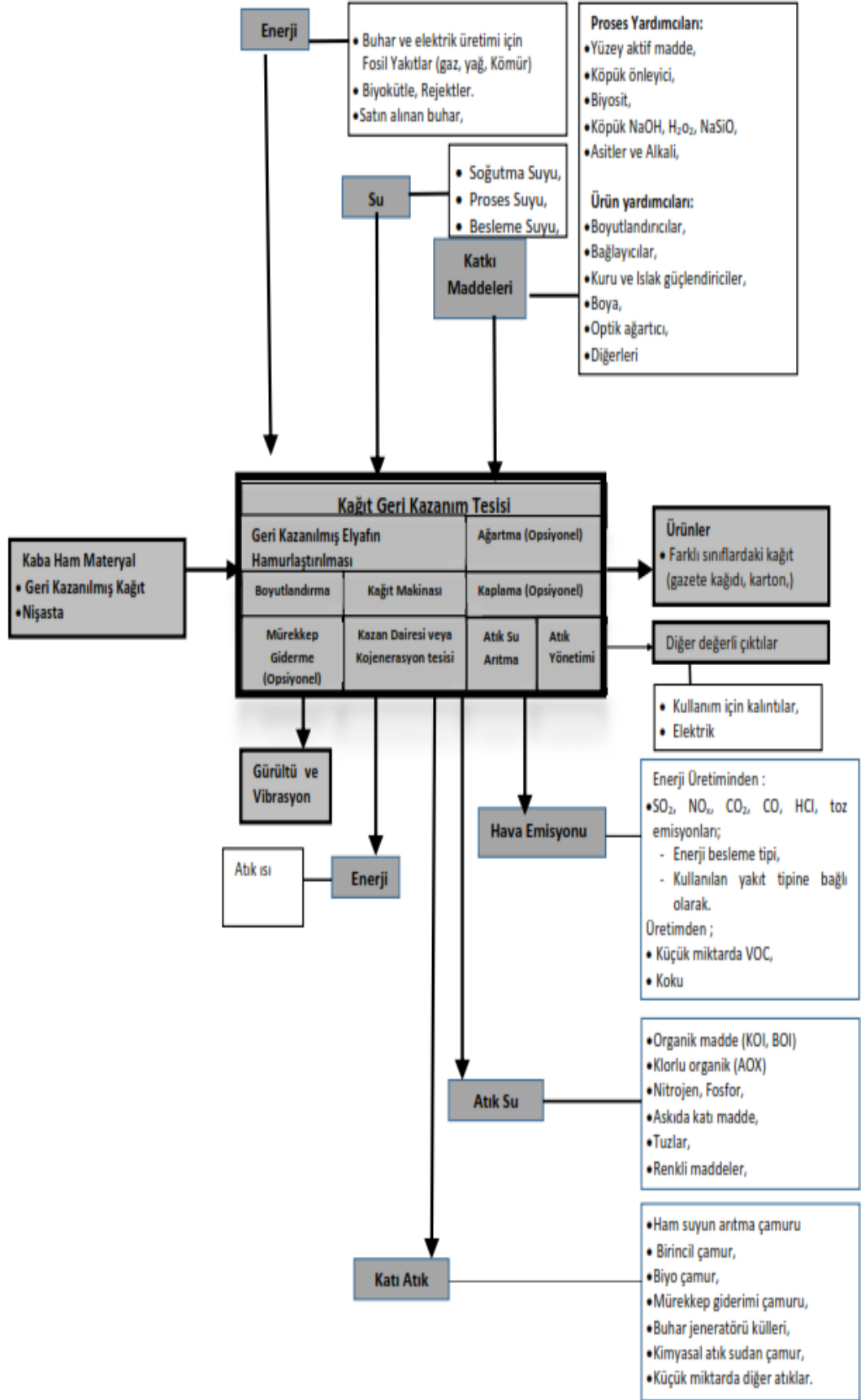
Hammadde olarak ham kağıt yerine 1 mt geri dönüştürülmüş kağıdın kullanılması ile 4.4 mt ağacın kesilmesi önlemiş olmaktadır (Bkz.Çizelge 2.3).

Yapılan bazı araştırmalarda geri dönüştürülmüş kağıdın ham selülozdan elde edilen kağıda oranla daha az enerji tüketimine sebep olduğu görülmektedir. 1 ton %100 geri kazanılmış kağıdın üretimde kullanılması; ham elyafa göre %38'den daha az CO₂ emisyonuna sebep olmaktadır (Url-12).

Geri dönüştürülmüş kağıt kullanımı daha az enerji, su tüketimi ve CO₂ emisyonuna sebep olmaktadır. Kağıdın 4-5 kez geri kazanılabilmesi depolama sahasına gönderilen atık miktarını da azaltmaktadır.

Çizelge 2.3:Geri dönüştürülmüş kağıdın çevresel etkilerinin karşılaştırılması (Url-17).

Etki Parametresi	1 metrik ton %100 geri dönüştürülmüş kağıt kullanımı halinde (ağaç selülözü kağıdı yerine) Tasarruf miktarı	1 metrik ton %100 geri dönüştürülmüş gazete kağıdı kullanımı halinde (ağaç selülözü kağıdı yerine) Tasarruf miktarı
Taze kereste ve eşdeğerinde ağaçlar	4,4 metrik ton kereste, 26 ağaç eşdeğeri	2.3 metrik ton kereste 14 ağaca eşdeğer
Toplam Enerji	%39	%23
Sera Gazı Emisyonu	%58	%64
Su Tüketimi	%9	%25
Okyanus Asidifikasyonu	%56	%74
Tehlikeli Hava Kirleticileri (HAP)	%13	%46
Civa Emisyonu	%20	%38
Dioksin Emisyonu	%26	%93



Şekil 2.3: Kağıt üretiminin çevresel etkileri (European Comission,2015).

2.5 Dünya’da Kağıt Geri Dönüşüm Oranı

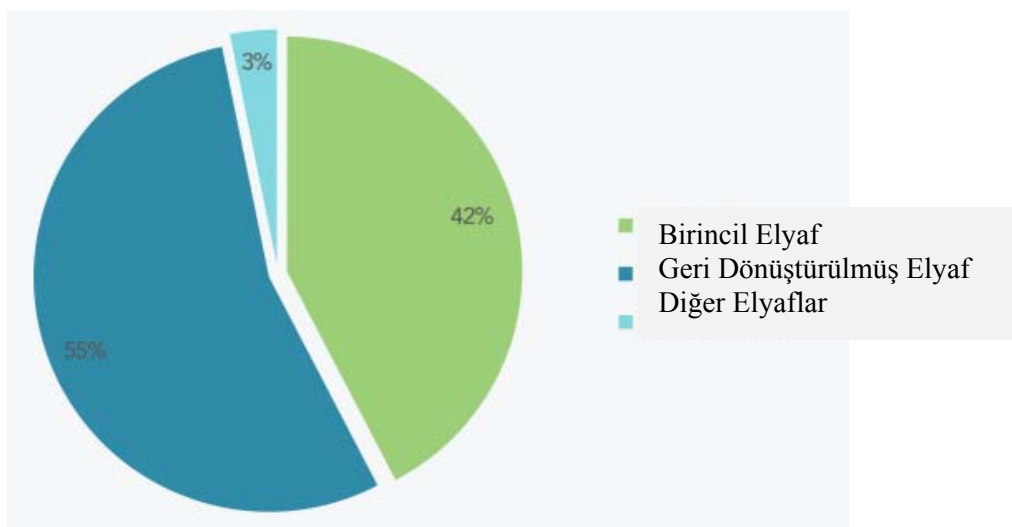
Geri dönüşüm, kâğıt endüstrisinin birinci elyaf üretim alanını hızla azaltmanın anahtarıdır, böylece hem çevre kalitesini korurken hem de dünya nüfusunun daha fazla faydalanabilmesini sağlamaktadır.

Çizelge 2.4: 2013 yılı geri dönüşüm oranlar (Url-17).

Ülkeler	Kağıt Geri Dönüşüm Oranı
Dünya Geneli	% 57,9
Avusturalya	% 85
Japonya	% 80,4
Avrupa	% 72
Kanada	% 70
ABD	% 64
Güney Afrika	% 61
Brezilya	%48
Çin	% 44,7

Global kağıt üretim sisteminde geri dönüştürülmüş elyaf kullanımının en üst düzeye çıkarılması, geri dönüşüm tesislerinin yaptıkları belirli ürünler için yeterli miktarda büyük miktarda geri kazanılmış elyaf alabilmelerini sağlamak anlamına gelir. Bu, birçok ülkenin artan talebi karşılamak için geri dönüş toplama süreçlerini arttırması ve bazı durumlarda başlatması gerektiği anlamına gelmektedir.

Şekil 2.4’te 2014 yılında kağıt üretimi için ikincil elyaf kullanım payının orjinal elyaf kullanımına oranla daha yüksek olduğunu, tesislerin geri kazanılmış olan ürünlere talebini göstermektedir.



Şekil 2.4: Elyaf türüne göre küresel kağıt üretimi (2014 Yılı) (Url-17).

Günümüzde dönüştürülmüş elyaf toplama dünyanın birçok bölgesinde yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Çizelge 2.4'te 2012 yılında küresel olarak üretilen kağıt ve kartonun yaklaşık %58'sinin geri kazanıldığını ve geri dönüştürüldüğünü açıklanmaktadır. Network (2018) raporuna göre RISI araştırma şirketi istatistiklerine göre “2028'de toparlanmanın % 64'e yükseleceğini öngörülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde kontaminasyonu daha etkin bir şekilde kontrol ederek ve daha güçlü geri dönüşüm sistemleri uygulayarak, kullanılabilir geri dönüştürülmüş elyaf miktarı, teknik potansiyelin üst sınırına ulaşmadan önce neredeyse iki katına çıkarılabilir”.

Ancak yine aynı kaynakta atıfta bulunulan bir diğer araştırmada; “2015 yılında, Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi, gelişmiş ülkelerde kağıt ve kartonların geri kazanılmasının mümkün olan en yüksek seviyeye yaklaştığını bildirmektedir.” ABD'de %70'e, Avrupa'da %70'e ve Japonya'da yaklaşık %80'e yaklaştığını ve oranların oldukça başarılı olduğunu, geri dönüştürülmüş ürünün kontaminasyonu yada kırsal alanlarda kolay toplanamayacak kadar dağınık olması durumlarının göz önünde alınarak toplama programlarının %100'e ulaşamadığını belirtmektedir.” (Url-17).

2.6 Türkiye’de Mevcut Durum

Türkiye’de kağıt ve karton sektörü 2017 yılında 5.17 milyon ton üretim kapasitesi ile dünya kağıt üretim kapasitesinin %2,1'ine denk gelmiştir. Çizelge 2.5'e baktığımızda üretim kapasitesi 2010 yılındaki seviyeye göre %71,7 artarak 2017 yılında 4,36 milyon ton seviyesine yükselmiştir. 2010 yılından 2017 yılına doğru geldikçe en fazla üretim artış miktarı oluklu mukavva sektöründe gerçekleşmiş olup, oran olarak en yüksek üretim artışı temizlik kağıtlarında görülmektedir (İSO, 2018).

Çizelge 2.5: Türkiye’de kağıt karton üretimi (İSO, 2018).

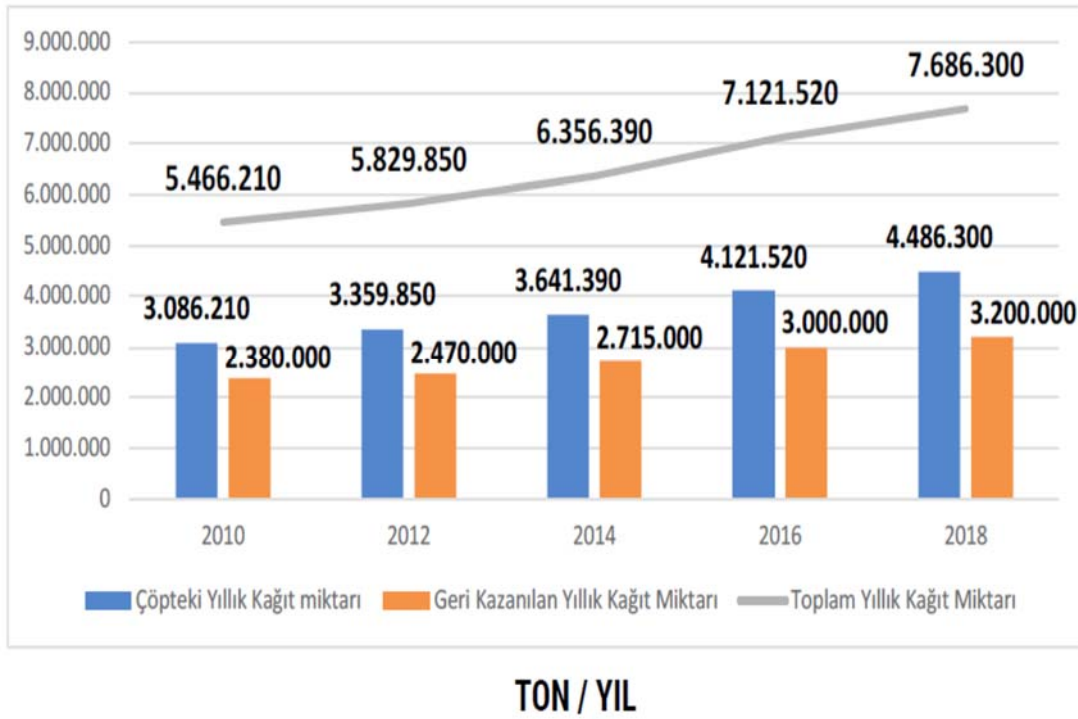
Kağıt Ürünleri	2010 (ton)	2011 (ton)	2012 (ton)	2013 (ton)	2014 (ton)	2015 (ton)	2016 (ton)	2017 (ton)
Yazı Tabı Kağıdı	316,391	301,300	277,552	257,000	262,650	232,500	237,100	247,000
Gazete Kağıdı	-	-	2,202	836	0	0	0	0
Sargılık Kağıt	39,000	31,000	29,000	29,000	30,000	80,000	75,000	77,500
Temizlik Kağıtları	371,231	461,936	525,043	568,861	584,827	660,487	811,572	869,197
Kraft Torba Kağıdı	73,600	70,278	75,888	54,081	66,303	*	*	*
Oluklu Mukavva Kağıdı	1.229,596	1.393,832	1.482,512	1.609,215	1.842,447	2.190,028	2.280,352	2.514,534
Kartonlar	503,078	563,980	534,235	568,407	459,550	577,291	614,989	643,342
Sigara İnce Kağıtlar	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Toplam	2.537,896	2.827,326	2.931,432	3.092,400	3.250,777	3.745,306	4.024,013	4.356,823

Bölüm 2.5'te belirtildiği gibi dünya genelinde bazı ülkelerde geri kazanım %60-80 arasıdayken genel ortalama %57,9 civarındadır. Türkiye'de ise geri kazanım oranı 2014 yılı verilerine göre %46 civarındadır (Maden S., 2017). Çizelge 2.5'e göre bu oran 2017 yılı için yaklaşık olarak 1.435 milyon ton atık kağıda karşılık gelmektedir. 2020 yılı ve sonrası için bu oranın %60'a ulaşılması hedeflenmektedir. Ancak Türkiye'deki mevcut geri kazanım hedefi global ölçek ile karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır.

Şekil 2.3'e bakıldığında dünya kağıt üretiminde atık kağıt kullanımının %55, birincil elyafın ise %42'lerde olduğu görülmektedir.

Ülkemizde ise hammaddelerin %69'unu odun (hemen hemen tamamı iğne yapraklı ağaç türleri), %10'unu yıllık bitkiler ve %21'ini atık kağıtlar oluşturmaktadır (Dumlu, 2014). Buna göre 4,36 milyon ton kağıt üretimi için 0,916 milyon ton atık kağıt kullanımı söz konusu demektir. Bu rakamlarda kısmen uyumsuzluk bulunmaktadır.

Şekil 2.5'de Türkiye'de kağıt sektöründe kapasite artışı ile birlikte geri kazanılan kağıt miktarlarının değişimi görülmektedir (Url-16).



Şekil 2.5: Türkiye'de kağıt sektöründe geri kazanılan kağıt miktarları (Url-16).

Atık Kağıt ve Geri Dönüşümcüler Derneği(AGED) tarafından yayınlanan 2016 yılına (Url-16) ait raporda Türkiye’de topma kağıt tüketimi 2016 yılında 7.121.520 ton olarak verilmektedir. Şekil 2.5’de ülkemizde 2016 yılında çöpe atılan kağıtların %72.8’inin geri kazanıldığını, toplam tüketilen kağıt miktarının ise ancak %42.1 kadarının geri kazanıldığı anlaşılmaktadır. Geri kazanılan kağıt miktarı ise 3 milyon ton olarak verilmektedir. Bu miktar kağıt sektörünün geri dönüşümlü kağıt talebini tam olarak karşılamamaktadır.

Diğer taraftan ülkede 2011-2018 yılları arasında gerçekleştirilen hurda kağıt ithalat ve ihracat rakamları Çizelge 2.6’da verilmiştir(TUİK,2019).

Çizelge 2.6: Geri kazanılmış kağıt ithalat ihracat verileri (TUİK, 2019).

Yıllar	İhracat (ton)	İthalat (ton)
2011	101.113	62.386
2012	40.267	51.264
2013	39.517	79.584
2014	43.254	174.090
2015	59.225	298.107
2016	45.611	421.156
2017	39.904	713.574
2018	103.167	702.725

Çizelge 2.6’ya baktığımızda; ülkemizde son yıllarda ithalat oranında ciddi artışlar görüldüğü halde ihracat oranlarında ise belirgin bir artış görülememektedir. Maden ve arkadaşlarına göre; bu durumun temel sebebi; ülkemizde artan kağıt geri dönüşüm tesislerine karşılık geri kazanım oranının aynı oranda artış göstermemesidir.

Mevcut geri kazanım oranını diğer ülkelerde olduğu gibi %70 seviyelerine çıkartılması ile hurda kağıt ihtiyacını yurtiçinden temin edilmesi sağlanarak böylece hurda kağıt ithalatını azaltılması mümkün görülmektedir (Maden S., 2017).



3. KAĞIT SEKTÖRÜNDE SERA GAZI EMİSYON AZALTIMI

3.1 Sera Gazı ve İklim Değişikliği

Doğa üzerinde etki eden bir takım insan faaliyetleri (ormansızlaşma, fosil yakıt tüketimi vs.) sonucunda, sanayi devrimiyle birlikte atmosferde metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), diazotmonoksit (N₂O), su buharı gibi önemli sera gazlarının miktarında artış görülmektedir. (Kanat, 2018). Sera etkisi yaparak atmosferin gereğinden fazla ısınmasına sebep olan bu gazlar küresel ısınmaya sebep olmaktadır.

Atmosferde karbondioksit yoğunluğunun 350 ppm'in üzerine çıkması iklim değişikliği açısından güvenilir sınırın aşılması anlamına gelmektedir. Havai'de yer alan Mauna Loa istasyonu tarafından yapılan ölçümlerde 2019 yılı Mayıs ayı içerisinde CO₂ yoğunluğunun 415,64 ppm seviyelerine ulaştığı görülmüştür (Url-4).

3.2 Türkiye'deki Sera Gazı Emisyonları

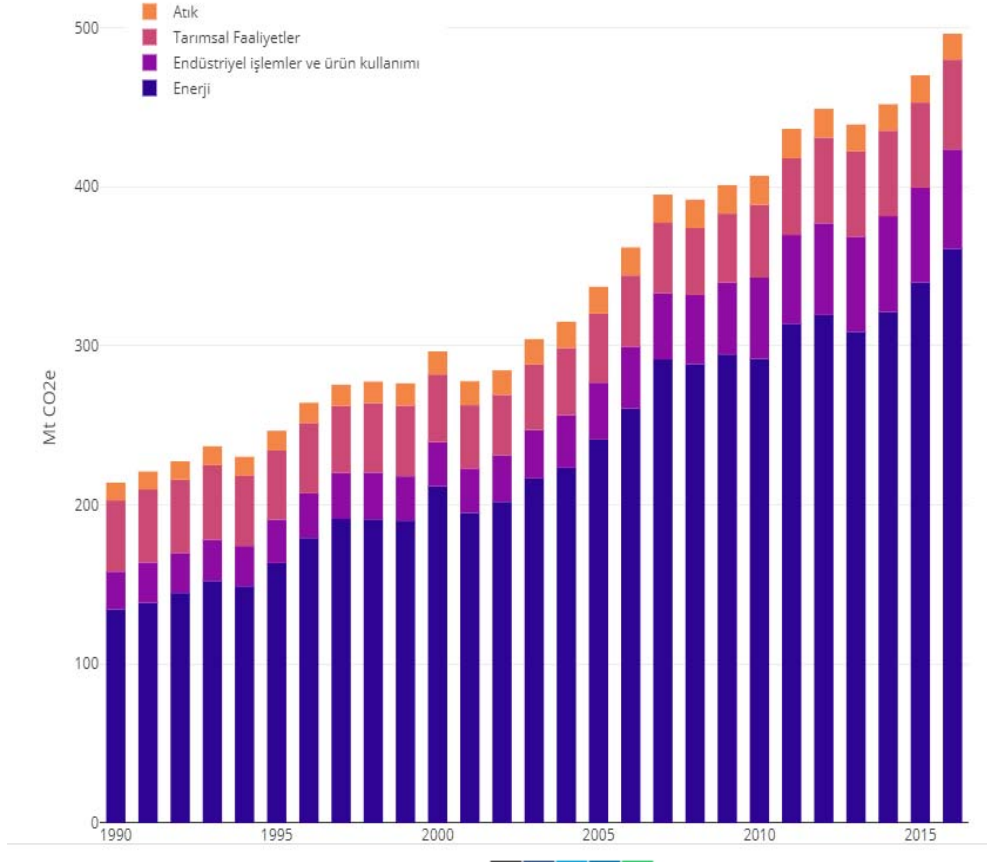
Türkiye'nin 2009 yılında Kyoto Protokolü Ek-1 tarafı olması ile iklim değişikliği ile mücadele kapsamında politika geliştirmek ve uygulamak için ulusal sera gazı emisyonlarını her yıl BMİDÇŞ'e bildirme yükümlülüğü bulunmaktadır (Url-9).

TUIK tarafından 2018 yılında paylaşılan verilere göre Türkiye'nin 2016 yılı toplam sera gazı emisyon miktarı 1990 yılına göre %135,4'lük bir artış göstererek 496,1 Mt CO₂ eşdeğeri olmuştur. 2015 yılında 6,04 ton CO₂ olan kişi başı düşen sera gazı emisyonu miktarı 2016 yılında 6,3 ton'a yükselmiştir.

Türkiye'nin 2016 yılında toplam CO₂ emisyonlarının %86,1'i enerjiden, %13,6'sı endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından, %0,3'ü ise tarımsal faaliyetler ve atıktan kaynaklanmakta iken CH₄ emisyonlarının ise %55,5'i tarımsal faaliyetlerden, %25,8'i atıktan, %18,6'sı enerjiden, %0,03'ü ise endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından kaynaklanmıştır (Url-10). Şekil 3.1'de sektörel dağılım verilmiştir.

Türkiye'de kurulu kağıt üretim tesislerinin toplam sera gazı üretimlerine ilişkin 2019 yılında yayınlanan ve 2016 yılına ait ulusal envanter verilerini kapsayan National Inventory Report'ta herhangi bir veri verilmemiştir(TUIK,2018). 2012 yılına ait endüstriyel kaynaklara ait emisyon envanterinin oluşturulduğu bir çalışmada kağıt ve

karton üretim tesislerinde enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ gazı miktarı için 2.150.000 ton/yıl olarak bir değer verilmektedir (Akyüz,2012). Prosesten kaynaklanan CO₂ emisyonu değerlendirilmemiştir.



Şekil 3.1: Türkiye'de toplam sera gazı salımlarının sektörlere göre Kırılımı 1990-2016 (Url-11).

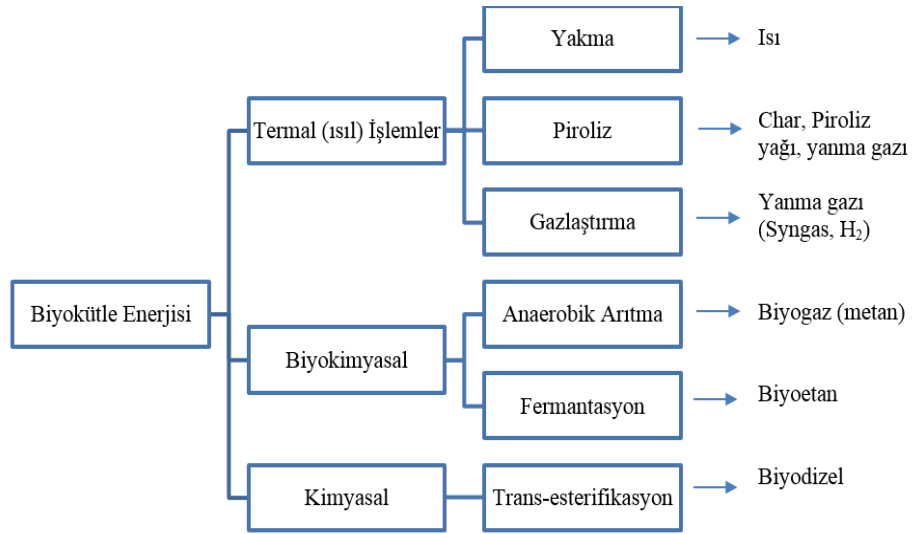
Avrupa Birliği tarafından yayınlanan Industrial Emissions Directive (IED,2010 /75/EU)'e göre Mevcut En iyi Teknikler (MET) referans dokümanlarında (BREF, 2015) kağıt sektöründe verimliliğin artırılması, enerji tüketiminin azaltılması, atık oluşumunun azaltılması ve çevresel etkilerinin(su, atıksu, katı ve tehlikeli atık, hava kirleticiler ve gürültü) minimize edilebilmesi için çok sayıda alternatif tekniklerin kullanımı önerilmektedir. MET kapsamında en çok üzerinde durulan bir konu olarak enerji verimliliğinin artırılması ve buna bağlı olarak fosil yakıt tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için çeşitli önerilerde bulunmaktadır. Bunların başında kojenerasyon, biyokütle atıklarının (hammadde rejectleri, atıksudaki organik kirleticilerin biyolojik arıtmaları, atık ısı) enerjisinden yararlanılması öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımın bir gereği olmak üzere kağıt ve karton üretim sektöründe atıklardan enerji üretimi özellikle ele alınmıştır.

3.3 Biyokütleden Enerji Üretimi

Günümüzde faydalanılabilir enerji kaynaklarının kısıtlı olması, teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan enerji talebi ihtiyacını karşılamada yetersiz olması ve fosil yakıtların tüketiminden kaynaklı iklim değişikliği gibi çevresel sorunlardan dolayı alternatif enerji kaynakları için yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Yenilebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyokütle; çevreye katkısı, maliyetinin düşük oluşu, erişim kolaylığı vs. avantajlarından dolayı önemli bir kaynaktır.

Enerjinin biyokütle veya organik katı atıktan geri kazanılması biyokimyasal ve/veya termokimyasal işlemler gerektirmektedir. Biyokütle; biyokimyasal işlemler sırasında canlı organizmaları etkisiyle biyoyakıtlara dönüştürülürken, termokimyasal işlemlerde ise ısı ve basınç etkisiyle biyoyakıtlara, gazlara ve kimyasallara dönüştürülmektedir (Url-18).

Biyokütleden enerji üretim prosesleri; termokimyasal, biyokimyasal ve kimyasal platform olarak üç kategoriye ayrılmakta olup Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: Biyokütle enerji üretim mekanizmaları (Okutan, 2018).

Gazlaştırma; Karbon içeren malzemelerin ana bileşenleri CO, H₂ ve CH₄ olacak şekilde oksijen eksikliğinde sentetik gaza (Syngas) dönüştürülmesi prosesidir.

Piroliz; Karbonlu malzemelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak katı,sıvı ve gaz ürünlere ayrılması işlemidir.

Yakma ise karbonlu malzemelerin oksijen oksidasyonu ile CO₂, H₂O ve ısı gibi nihai ürünlere dönüşmesidir.

3.3.1 Piroliz prosesi

Organik maddelerin; oksijensiz ortamda ısıtılınca ortaya çıkan termal parçalanma olayına piroliz adı verilmektedir. Piroliz; kısmi gazlaştırma olarak da tanımlanmaktadır. Bu proses 400-900 °C arasında gerçekleşmektedir. 500-600 °C'ye kadar olan ısıtmalarda; gaz bileşenleri, uçucu maddeler, kömür ve kül açığa çıkarken, daha yüksek sıcaklıklarda ise CO, CO₂, H₂, CH₄ su buharı gibi gaz bileşenleri ve odun gazı açığa çıkmaktadır. Uçucu gazların ayrılması ile kömür ve katran oluşur.

Piroliz; maruz kalma sıcaklığı ve reaktör çalışma zaman aralığına göre yavaş, hızlı, ılımlı, orta, hızlı ve flash olmak üzere beş temel gruba ayrılmaktadır. Çizelge 3.1'de verildiği gibi yavaş pirolizde; 400 °C'de uzun bekleme süresinde çoğunlukla kömür üretilirken, orta pirolizde 400-600 °C sıcaklık aralığında ham atık yapısında bağlı olarak eşit miktarda kömür, yağ ve gaz dağılımı sağlanmaktadır. Hızlı pirolizde; düşük bekleme süresi (<1 sn), yüksek ısıtma oranı ile hızlı bir şekilde buhar, aerosol, kömür ve gaz oluşumu gerçekleşmektedir. Flash pirolizde ise 1000°C'nin üzerinde sıcaklıklarda ve milisaniye gibi sürelerde gerçekleşirken kömür oluşumu engellenmektedir (Akgül, 2017).

Çizelge 3.1: Piroliz türleri (Akgül, 2017).

Piroliz türü	Zaman	Isıtma Hızı	Sıcaklık (°C)	Sıvı Ürün %	Katı Ürün %	Gaz Ürün %
Yavaş piroliz	Saat-gün	Çok düşük	200-600	30	35	35
“Torrefaction” ılımlı piroliz	20-60 dk.	Düşük	230-300	50	25	25
Orta piroliz	5-30 dk.	Orta	500	40	30	30
Hızlı piroliz	<2s	Yüksek	500-950	75	12	13
Flash piroliz	ms	Çok yüksek	1050-1300	85	5	10

Pirolizde kullanılan en yaygın reaktör tipleri şöyle sıralanmaktadır (Chen,2014);

1. Sabit yataklı reaktör,
2. Döner fırınlı reaktör,
3. Akışkan yataklı reaktör
4. Borulu reaktör

Pirolizi etkileyen faktörler; hammaddenin yapısı, reaksiyon sıcaklığı, bekleme süresi, ısıtma hızı, gaz ortamın özelliği, reaktör geometrisi vs. olarak gösterilmektedir.

Çizelge 3.2’de piroliz ürünleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.2: Piroliz ürünleri.

Element	Yakma Ürünleri	Piroliz Ürünleri
C	CO ₂ , CO	Kok, C _n H _m (Aromatikler, alifatikler, katranlar), HCN, COS, Cl, N-, S-Organikleri
H	H ₂ O	H ₂ , C _n H _m , HCN, H ₂ S, H ₂ O, Organik asitler
O	H ₂ O, CO ₂ , CO	CO, CO ₂ , COS, H ₂ O, organik asitler, O-organikleri
N	NO, NO ₂	NH ₃ , HCN, Aminler, N-organikleri
S	SO ₂	H ₂ S, COS, S-organikleri
Cl	HCl (Cl organik kalıntıları)	HCl (Cl organik kalıntıları)
F	HF	HF
Metaller (Fe veya Fe olmayan)	Metal aşağı yukarı tam olarak oksitleniyor	Metaller parlak yüzeyleriyle çoğunlukla değişmiyor
Hg	Hg (buhar)	Hg (buhar)
Cam, taş, porselen vb.	Çoğunlukla değişmiyor (büyük olasıkla toplaşık yada eriyik)	Çoğunlukla değişmiyor

Piroliz esnasında üretilen sıvı; ticari taşımacılık faaliyetlerinde kullanılan yakıtta eş değer kalitede yakın yakıtta dönüşmesinden dolayı tercih edilen bir yöntemdir. Ticari taşıma yakıtı olarak kullanılması için, yoğunluk, viskozite, aşındırıcılık ve uçuculuk gibi özelliklerde bazı artışlara dikkat edilmelidir (Dash, 2012).

3.3.1.1 Plastik pirolizi

Geleneksel bir piroliz reaktörü sıcaklık aralığı 500-550 °C civarında olurken, plastik atıkların pirolizi daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duymaktadır.

Plastikler; yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC) ve polietilen tereftalat (PET) olmak üzere altı ana bileşene ayrılmaktadır (Chen,2014).

Uğuz ve ark. göre; polietilen tipi plastiklerin polipropilen ile birlikte termal pirolizi, çapraz zincirli hidrokarbon yapıları nedeniyle gerçekleştirilmeleri güçtür. Bu nedenle, termal piroliz problemlerinin üstesinden gelmek için katalitik piroliz geliştirilmektedir.

Çizelge 3.3’te, PE ve PP plastiklerin pirolizinden elde edilen ürün verimini göstermektedir. Tek PE ve PP pirolizinin %5 ila %95 arasında değişen sıvı ürün verimi ile sonuçlandığı görülmektedir. Vakumlu reaktörde veya orta sıcaklıkta (yaklaşık 500 °C) çalışan akışkan yataklı reaktörde, uçucular ikincil çatlama gerçekleşmeden hemen önce ekstrakte edilebilir ve daha yüksek bir sıvı ürün verimi elde edilirken, 800 °C’den

yüksek sıcaklıklarda yada hızlı piroliz reaktöründe uçucuların ikinci çatlamaya maruz kalması ile ise yüksek gaz verimi elde edilmektedir.

Çizelge 3.3: Plastik türlerine göre elde edilen ürün verimleri (Chen, 2014).

Plastik türü	Reaktör tipi	Sıcaklık °C	Gaz %	Yağ %	Katran %
PE	Akışkan yataklı	760	55,8	42,4	1,8
PE	Akışkan yataklı	530	7,6	92,3	0,1
LDPE	Akışkan yataklı	700	71,4	28,6	0,0
LDPE	Akışkan yataklı	600	24,2	75,8	0,0
LDPE	Akışkan yataklı	500	10,8	89,2	0,0
LDPE	Sabit yataklı	700	15,1	84,3	0,0
HDPE	Sabit yataklı	700	18,0	79,7	0,0
LDPE	Sabit yataklı	500	37,0	67,0	0,0
LDPE	Ultra hızlı piroliz	825	92,9	5	2
HDPE	Sabit yataklı	450	13	84	3
HDPE	Sabit yataklı	430	9,6	69,3	21,1
HDPE	Vakum	500	0,9	97,7	0,8
LDPE	Vakum	500	2,7	96	1,0
LLDPE	Akışkan yataklı	730	58,4	31,2	2,1
LLDPE	Akışkan yataklı	515	0,0	89,8	5,9
PP	Sabit yataklı	380	24,7	64,9	10,4
PP	Sabit yataklı	700	15,3	84,4	0,2
PP	Akışkan yataklı	740	49,6	48,8	1,6
PP	Vakum	500	3,5	95	<0,1
PP	Sabit yataklı	500	55	45	0,0

3.3.2 Gazlaştırma prosesi

Karbon içeren malzemelerin ana bileşenleri CO, H₂ ve CH₄ olacak şekilde sentetik gaza dönüştürülmesi işlemine gazlaştırma denmektedir. Kömür ve doğalgazın gazlaştırılmasında yaygın olarak kullanılan gazlaştırma son dönemlerde popüleritesi artan termokimyasal bir süreçtir.

Yakma gibi diğer geleneksel yöntemlere kıyaslandığında gazlaştırmada kullanılan kg biyokütleden elde edilen elektriğin daha yüksek olduğu araştırılmıştır (Url-18).

Gazlaştırmada hammadde olarak kullanılan her türlü atık, biyokütle, düşük kalorili kömür, yüksek içerikli fuel-oilin sentez gazı (syngas) haline dönüşümü söz konusudur. Üretilen bu sentez gazı; kimyasal hammadde olarak kullanılabilirdiği gibi aynı zamanda ısı, elektrik üretimi için kullanılan yakıt olarak da kullanılabilir.

Gazlaştırmanın avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir (Url-8; Okutan,2018).

Çizelge 3.4: Gazlaştırmanın avantaj ve dezavantajları.

Avantajlar	Dezavantajlar
Üretilen syngas çok amaçlı olarak kullanılabilir.	Koku (H ₂ S, katran vs.)
NO _x oluşumu yok veya düşük	Gürültü
Yanmada oluşan SO ₂ yerine H ₂ S oluşur. H ₂ S giderimi daha kolaydır.	Yanma ve patlama riski
Dioksin ve furan oluşumu daha düşük	CO zehirlenmesi
Yüksek verim, min CO ₂ salımı	Pis su çıkışı

Gazlaştırma dört ayrı aşamadan meydana gelmekte olup Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

- ✓ Kurutma
- ✓ Piroliz
- ✓ Oksidasyon
- ✓ Redüksiyon (karbonlaştırma)
- ✓ Sentez gazı üretimi



Şekil 3.3: Reaktör içerisindeki gazlaştırma aşamaları (Demirtaş & Danışmaz, 2016).

3.3.2.1 Kurutma

Kurutma bölgesinde; gazlaştırma reaktörüne yüklenen hammadde alt bölgelerden gelen yüksek ısı ile ısınır ve içeriğindeki nem uzaklaştırılır. Bu bölgede sıcaklık 100-200 °C arasındadır. Kullanılacak hammaddenin nem miktarının %30'dan düşük olması gerekmektedir (Demirtaş & Danışmaz, 2016).

Yüksek neme sahip atıklarda piroliz/gazlaştırma öncesinde nem miktarını düşürüp, kalorifik değeri arttırmak için mekanik ve termik yöntemler kullanılmaktadır. Bu sayede atığın kalorifik değeri artırılması ile sistemin verimi yükseltilmektedir (Waste, n.d.).

Kurutma işleminin sağladığı avantajlar ve dezavantajlar Çizelge 3.5'te belirtilmektedir;

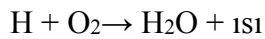
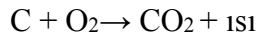
Çizelge 3.5: Kurutma işleminin avantaj ve dezavantajları.

Avantajlar	Dezavantajlar
Ürünün ısı değerini artırır.	Yatırım maliyeti
Ürünün oksijen içeriğini azaltır.	İşletim maliyeti
Üründeki klorin içeriği azalır.	Enerji kaybı
Ürüne kuru ve hidrofobik yapı kazanır.	Depolama
Verimli gazifikasyon sağlar.	

3.3.2.2 Piroliz

Organik maddeler oksijensiz ortamda ısıtılırsa ortaya çıkan termal parçalanma sürecine piroliz adı verilir. Oksijensiz ortamda karmaşık organik moleküller 400-600 °C sıcaklıklara ısıtılmasıyla gaz bileşenleri, uçucu yoğunlaşabilen maddeler, mangal kömürü ve kül açığa çıkmaktadır. Bölüm 3.3.1'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

3.3.2.3 Oksidasyon



Biyokütlenin içindeki karbon ve hidrojen moleküllerinin 750-1000 °C okside olması sonucu CO₂ ve H₂O'ya dönüşmesidir. Bu bölgede yanma sonucu, yanmayan inorganik minerallerin bulunduğu kül de oluşmaktadır.

3.3.2.4 Redüksiyon

Yanmayan kömürün aşağıya doğru hareket etmesi ve tamamen gazlaştırılması ile bu bölgede sentez gazı elde edilir. Organik maddeye, 500 °C'ye kadar uygulanan sıcaklıkta katran elde edilir, 1000 °C'ye kadar uygulanan sıcaklıkta ise karbon su ile tepkimeye girerek doğrudan CO, ve H₂'e dönüşür (Demirtaş & Danışmaz, 2016).

Ham maddedeki değişken oksijen oranına bağlı olarak gazlaştırma işlemi için ilave oksijen girdisi gerekmez.

3.3.2.5 Sentez gazı üretimi

Gazlaştırma sonrası elde edilen sentez gazın içten yanmalı motorlarda yanabilmesi için katran ve partiküllerin temizlenmesi gerekir. Üretilen gazın yanabilen içeriği başlıca karbon monoksit, hidrojen ve hidrokarbon gazlar (hammaddeye bağlı) ve azotun değişik oranlarda karışımıdır.

Sentez gazı bileşimi aşağıda belirtilmektedir;

- ✓ Hidrojen: %47-52
- ✓ Karbon monoksit: %16-30
- ✓ Metan: %17-25

Üretilen gazın kompozisyonu ve özellikleri şunlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir;

- biyokütle hammaddesi,
- gazlaştırıcının tipi ve
- uygulama koşulları.

Bu koşullar oksidan kullanımı, sıcaklık ve gazlaştırıcıda beklenen süre olarak farklılık gösterebilir. Hava ile yapılan gazifikasyon, genellikle 4-7 MJ/m³ ısı değerine sahip sentez gazı sağlarken, oksidan olarak saf oksijen veya buhar kullanımı ile daha yüksek ısı değerinde (10-18 MJ/m³) gaz üretimi sağlamaktadır (Demirtaş & Danışmaz, 2016).

Gazlaştırmada kullanılan teknolojiler şöyle sıralanmaktadır;

- 1) Sürüklemeli yataklı gazlaştırma
- 2) Akışkan yatak gazlaştırma
- 3) Sabit yataklı gazlaştırma
- 4) Eriyik tipi gazlaştırma
- 5) Plazma gazlaştırma



4. SEÇİLEN TESİSE AİT ATIK KAĞIT GERİ DÖNÜŞÜM SÜRECİ

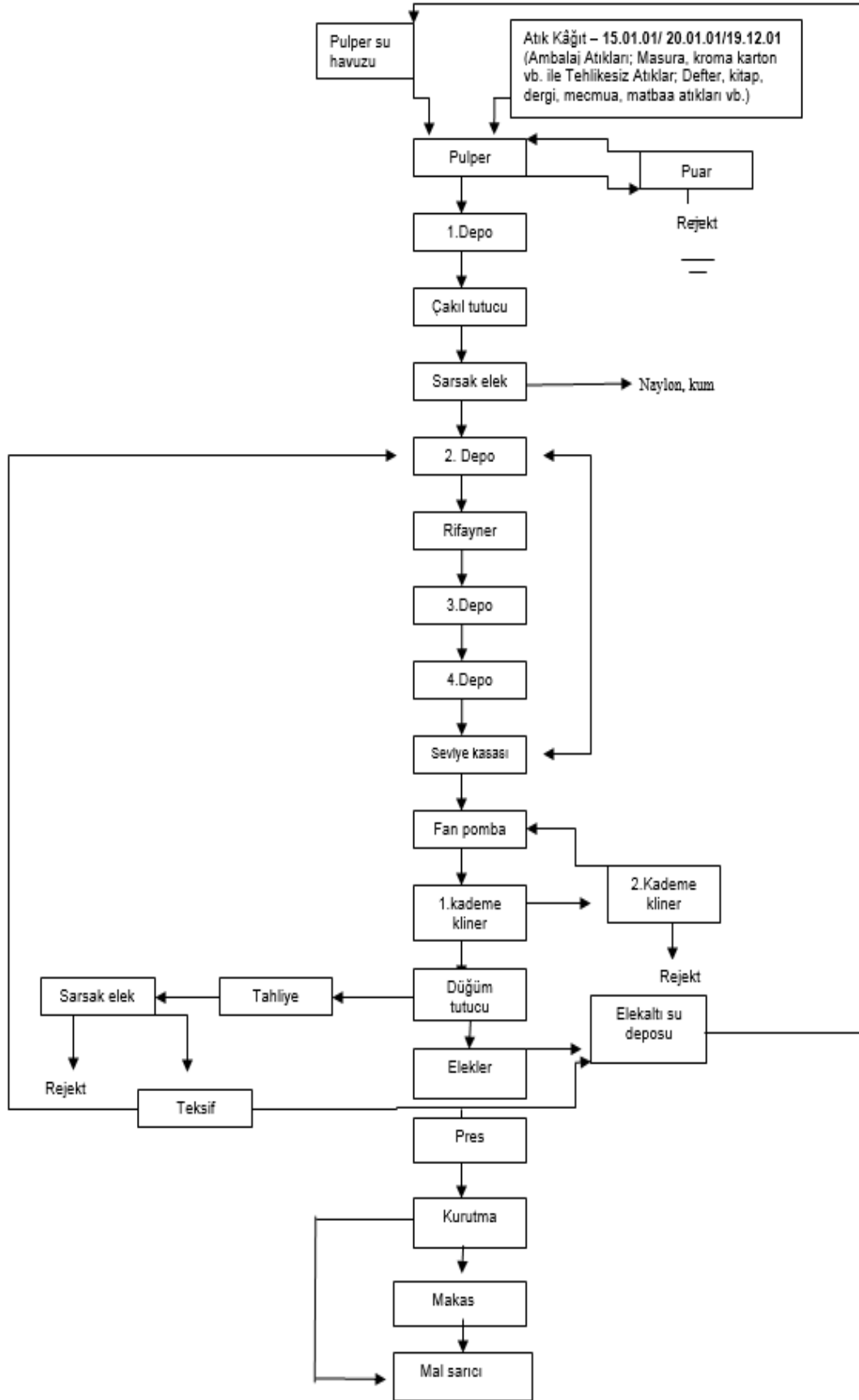
4.1 Seçilen Atık Kağıt Geri Dönüşüm Tesisine Ait Proses

Tesisin ana hammaddesi kullanılmış kağıttır. Belediye veya özel işletmeler tarafından toplanan gazete, dergi, karton koli, ambalaj kağıtları vs kullanılmış kağıtlar tesise getirilir, kağıt sınıfına göre ayıklama yapılır ve metal tellerle balyalama işlemi yapılmaktadır. Balyalama atık kağıdın istiflenmesi sayesinde alanda yer kazandırmaktadır. Şekil 4.1’de balyalama işlemi gösterilmektedir.

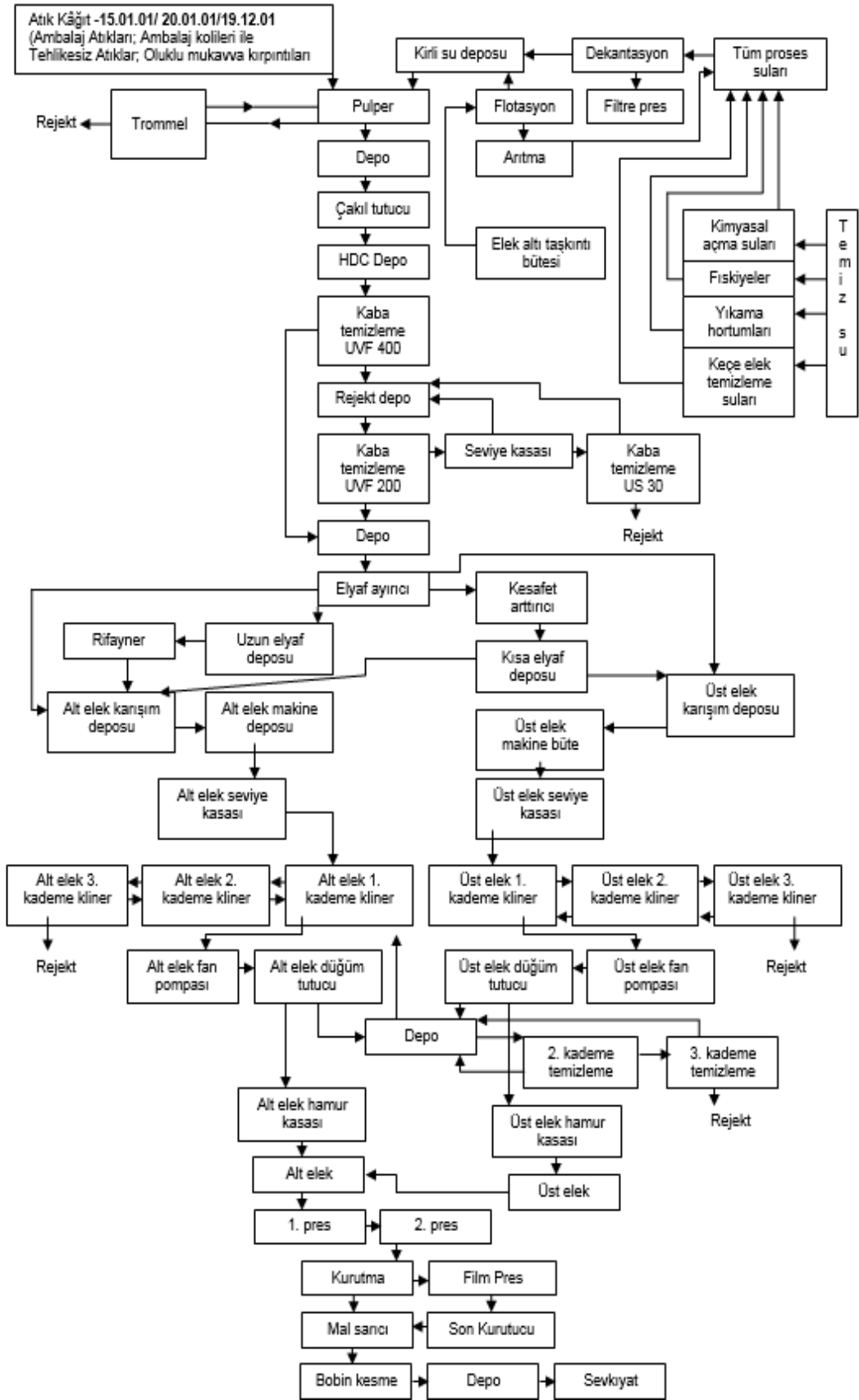


Şekil 4.1: Kağıt balyalama.

Türlerine göre balyalanan kağıtlar; gri karton ve fluting, test liner kağıt olmak üzere 2 farklı tip üretim prosesinde kullanılmaktadır. Her iki üretim prosesi de benzer mantıkta olup kullanılan hammaddeye ve ekipmanların özelliklerine göre ince ve kalın gramaj kâğıt üretimi şeklinde dizayn edilmektedir. Gri karton üretimine ait iş akış şeması Şekil 4.2’de, testliner ve fluting karton üretimine ait iş akış şeması ise Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.2: Gri karton ünitesi iş akım şeması.



Şekil 4.3: Fluting ve test-liner kâğıdı ünitesi iş akım şeması.

Gri Karton üretiminde hammadde olarak makine daha çok masura, kroma karton vb. gri sınıftaki ambalaj kâğıtlarına göre ve yine defter, kitap, dergi, mecmua, matbaa atıkları vb. tehlikesiz atık olarak kabul edilen kâğıt sınıflarına göre dizayn edilirken, fluting ve test-liner üretiminde hammadde olarak makine daha çok ambalaj kolisi olarak oluklu sınıftaki ambalaj kâğıtlarına göre ve yine oluklu mukavva kırpıntısı sınıftaki tehlikesiz atık olarak kabul edilen kâğıt sınıflarına göre dizayn edilmektedir.

Pulper önce devir daim suyu ile doldurup, üzerine hurda kâğıt alınmaktadır. Burada su ve atık kâğıt karıştırılarak, pulperde bulunan kanatlı bıçaklar sayesinde hamur mekanik olarak elde edilmektedir. Pulperde oluşan hamur, pompa yardımı ile yatık büteye (pulper besleme deposu) gönderilmektedir. Pulper içinde kalan naylon, plastik, iplik vb. katı atıklar, trommel eleğine gönderilerek devir daim suyu ile yıkanmaktadır. Sulu hamur, pulpere alınmakta; plastik ağırlıklı katı atıklar ise stok sahasında, beyaz özel tip konteynırlarda biriktirilmektedir. Şekil 4.4'te pulperin içinde kalan plastik atıkları göstermektedir.



Şekil 4.4:Pulper.

Yatık bütede bulunan hamur, pompa yardımı ile HDC'ye (yüksek yoğunluklu kum tutucu) gönderilmektedir. Şekil 4.5'te çakıl tutucunun dıştan görünüşü, Şekil 4.6'da ise çıkış görüntüsü verilmiştir. Çakıl, kum ve demir gibi atıklar merkezkaç prensibi ile aşağıya, hamur ise üstten HDC büteye gitmektedir. Hamur, bu büteden sonra kaba temizleme (UVF 400) makinesine gönderilmektedir. Kaba temizleme makinesinde

delik çapı 1,8 mm olan eleklerden geçen temiz hamur, ikiz büteye (UVF 400 kabul büte), eleklerden geçemeyen naylon-hamur karışımı ise rejekt büteye gitmektedir.



Şekil 4.5: Çakıl tutucu.

Rejekt büteden bir pompa vasıtası ile hamur atık karışımı kaba temizlik makinesi ikinci kademeye (UVF 200) gönderilmektedir. 1,8 mm olan eleklerden geçen temiz hamur, ikiz büteye (UVF 400 kabul büte), eleklerden geçemeyen naylon-hamur karışımı ise rejekt seviye kasasının üzerinden kaba temizleme üçüncü kademe olan US 30 makinesine gitmektedir. Buradan çıkan temiz hamur, rejekt depoya, kalan atık ise sahadaki konteynıra gitmektedir. İkiz büteye gönderilen hamur, pompa yardımıyla elyaf ayırıcıya iletilmektedir. Elyaf ayırıcı, içerisinde rotor ve rotorun etrafındaki 0,20 mm yarıklı olan metal elekten meydana gelmektedir. Elekten geçen kısa elyaf deposuna, geçemeyen hamur ise uzun elyaf deposuna gitmektedir.

Uzun elyaf bütesinden alınan hamur, pompa yardımıyla rifaynere (öğütücü) gönderilmektedir. Rifayner, istenilen şekilde liflendirme yapabilmek için bıçak aralıklarını ayarlamaktadır. Liflendirilen hamur stok depoya boşaltılmakta, stok depodan pompa ile basılan hamur, kesafet regülâtöründen geçerek makine bütesine boşaltılmaktadır. Kesafet regülâtörü, hamuru sabit bir yoğunlukta tutmak içindir. Yoğunluk yüksek ise hamura su verilerek yoğunluğu düşürülmektedir.

Hamur, alt elek makine bütesinden alt elek seviye kasasına gönderilmektedir. Seviye kasasından alt 1. kademe kliner pompası emişine gelen hamur, devir daim suyu ile

%1,3 'e seyreltilmekte ve alt elek kum tutuculara gönderilmektedir. Kum tutucular, çakıl tutucular gibi merkezkaç prensibi ile çalışmaktadır. Burada ağır maddeler ve üzerindeki hamurlar kum havuzuna, hamur ise alt elek fan pompasına gitmektedir. Alt elek 3 kademeli kum tutuculardan çıkan rejektler bir sonraki kademeye, temizlenen hamur ise bir önceki kademeye gönderilmektedir.



Şekil 4.6: Çakıl tutucu çıkışı.

Alt elek Selektafayere gönderilen hamur 0,20 mm yarıklı elekten geçirilerek düğüm olması önlenmekte ve alt hamur kasasına gönderilmektedir. Geçemeyen hamur ve naylon karışımı ise rejekt depoya verilmektedir. Rejekt depodan alınan hamur pompa vasıtası ile 2. kademe temizleme ünitesine gönderilmekte, 2. kademe temizleme ünitesinden ayrılan rejekt ise 3. kademe temizleme ünitesine gönderilmektedir. Bu ünitenden ayrılan naylonlar ise stok sahasına gönderilmektedir. Hamur kasasına gelen hamur alt elek üzerine yayılmaktadır. Elek üzerine yayılan hamurun içindeki su kendi halinde süzülme ve vakum pompaları vasıtası ile alınmakta ve elek çıkışında bir safiha meydana gelmektedir. Hamur kısa elyaf deposundan pompa ile üst elek karışım bütesine gönderilmektedir. Üst elek karışım depodan pompa ile basılan hamur, kesafet regülatöründen geçerek üst elek makine bütesine boşaltılmakta kesafet regülatörü,yoğunluk yüksek ise hamura su verilerek yoğunluğu düşürmektedir. Kesafet regülatörü; hamuru sabit bir yoğunlukta tutmak içindir.

Hamur, üst elek makine bütesinden üst elek seviye kasasına gönderilmektedir. Seviye kasasından üst 1.kademe kliner pompası emişine gelen hamur, devir daim suyu ile

%1,3 'e seyreltilmekte ve üst elek kum tutuculara gönderilmektedir. Burada ağır maddeler ve üzerindeki hamurlar kum havuzuna, hamur ise üst elek fan pompasına gitmektedir. Üst elek 3 kademeli kum tutuculardan çıkan rejehtler bir sonraki kademeye, temizlenen hamur ise bir önceki kademeye gönderilmektedir.

Üst elek Selektifayere gönderilen hamur 1,8 mm delikli elekten geçirilerek düğüm olması önlenmekte ve üst hamur kasasına gönderilmektedir. Geçemeyen hamur ve naylon karışımı ise rejeht depoya verilmektedir. Hamur kasasına gelen hamur üst elek üzerine yayılmaktadır. Elek üzerine yayılan hamurun içindeki su kendi halinde süzülme ve vakum pompaları vasıtası ile alınıp elek çıkışında bir safiha meydana gelmektedir. Bu safiha alt elektteki safiha ile birleşerek preslere verilmektedir. Şekil 4.7'de hamurun elektteki görüntüsü verilmiştir.

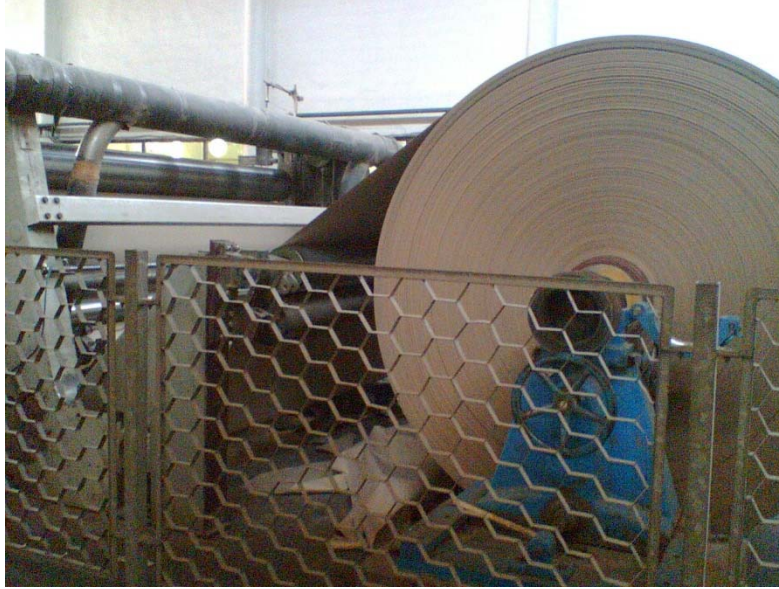


Şekil 4.7: Hamurun elektteki görüntüsü.

Preslerde vakum pompaları ve keçeler yardımı ile suyu alınan safiha, silindirlerden oluşan kurutmaya gönderilmektedir. Ön kurutmada silindirlerin içerisine buhar verilerek etrafında dönen kâğıt belirli oranda kurutulup ardından size prese gelen kâğıdın nişasta ile mukavemeti arttırılmakta ve son kurutma grubuna girerek rutubet değerine kadar kurutulduktan sonra mal sarıcıya sarılmaktadır (Bkz. Şekil 4.8). Oluşan kâğıt, bobin kesme makinesinde piyasanın talebi doğrultusunda kesilip (Bkz. Şekil 4.9) ambalajlanarak sevk edilmektedir.



Şekil 4.8: Kurutma grubu.



Şekil 4.9: Bobin kesme.

4.2 Tesisin Üretim Kapasitesi

Tesise günlük atık kağıt girişi yaklaşık 600 ton olarak hesaplanmıştır. Tesise gelen hurda kağıdın içerisinde; iplik makaraları, zımba teli, balyaları tutmak için kullanılan demir teller, plastik vs. atık (rejekt) malzemeler de yer almaktadır. Gelen atığın yaklaşık %20'si rejekt olarak değerlendirilmektedir. Bu durumda;

Kağıt üretim kapasitesi; 150.000ton/yıl
=500 ton/gün
=21 ton/saat olarak hesaplanmıştır.

Tesisin kağıt türüne göre tahmini yıllık kağıt üretim kapasitesi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.1: Kağıt türlerine göre yıllık üretim miktarları.

Kağıt Türü	Yıllık Üretim Kapasitesi(ton)
Gri Karton	40.000
Fluting Karton	78.000
Testliner Kağıt	32.000

4.3 Enerji Kullanım Kapasitesi

Tesiste 4 adet doğalgaz yakıtlı yakma tesisi (Kojen-1, Kojen-2, Kazan ve mutfak ocakları), 1 adet biyogaz yakma tesisi ve 1 adet akışkan yataklı kömür kazanı bulunmaktadır.

Tesise ait ısı güç kapasite tablosu aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.2: Isıl güç tablosu.

Ünite	Yanma Tekniği	Isıl Güç (MW)
Kojenerasyon 1 ve 2	İçten yanmalı	7,2
Doğalgaz Kazanı	İçten yanmalı	7,8
Kömür Kazanı	Akışkan yataklı	12,6
Toplam		34,9

4.4 Su Tüketimi

Kağıt üretim tesislerinde önemli hammaddelerin arasında su gelmektedir. Kağıt sektörü; dünya genelinde birim üretim başına tüketilen su miktarı bakımından metal ve kimya sektöründen sonra üçüncü sırada yer almaktadır (Dumlu, 2014). Tesis proses, soğutma suyu ve arıtma tesisinde ihtiyaç duyduğu suyun bir kısmını yeraltı suyundan, bir kısmını tankerlerle gelen taşıma suyundan sağlamaktadır. Tesisin su tüketimi günlük 9 m³/ton olarak hesaplanmıştır.

4.5 Atıksu

Tesiste biyolojik arıtma tesisi mevcuttur. Deşarj limitlerine indirilen atıksu, üretime devir daim yapılarak, kağıt ıslatma aşamasında yeniden kullanılmaktadır. Arıtma tesisi anaerobik ve ardından aerobik arıtma temeline dayanarak aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

-Şartlandırma,

-Anaerobik Arıtma (IC Reaktör)

-Aerobik Arıtma Havalandırma, Son çöktürme

Tesisin atıksu deşarj miktarı $6\text{m}^3/\text{ton}$ ($3000\text{m}^3/\text{gün}$) olarak hesaplanmıştır.

4.5.1 Flotasyon

Kağıt üretim makinalarında bütenin elek altına kaçan kısımları bir miktar elyaf içermektedir. Bu elyaflar atıksu sisteminde çözünmüş hava flotasyonu ile yüzdürülerek geri kazanılmakta ve üretime iade edilmektedir. Flotasyonda yumaklaşmayı kolaylaştırmak için koagülen kimyasallar eklenmektedir.

4.5.2 Şartlandırma

Atık suyun pH'ı anaerobik reaktöre beslenebilmesi öncesi bu bölümde ayarlanmaktadır.

4.5.3 Havasız (Anaerobik) arıtma

İncelenen tesiste anaerobik arıtma dünyada kağıt sektörü başta olmak üzere pek çok sektörde tercih edilen IC Reaktör ile gerçekleştirilmektedir. Biyolojik anaerobik arıtma teknolojileri yüksek dayanımlı endüstriyel atıksuların arıtımı için yıllardır kullanılmaktadır. 1970'lerde geliştirilen Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yataklı (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor, UASB) reaktörü ile organik kirlilik oranı yaklaşık $10\text{-}15\text{ kg KOI}/\text{m}^3\cdot\text{gün}$ iken, yeni nesil IC reaktörlerde bu oran $35\text{ kg KOI}/\text{m}^3\cdot\text{gün}$ 'e kadar çıkmaktadır. (Mutombo, 2004) IC Reaktör; yüksek dayanımlı atıksuların arıtımı için kullanılan üçüncü jenerasyon anaerobik teknolojisidir.

IC reaktörünün daha yüksek organik kirlilik gidermedeki başarısının oranının sebebi; anaerobik arıtmayı sağlayan organizmaların içinde yer aldığı granüler biyokütle ile atık su arasında daha iyi bir temas sağlayan ve daha yüksek biyokütle aktivitesi ile sonuçlanan iç sirkülasyonundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca IC reaktörü gaz, sıvı ve biyokütleyi ayıran 2 set 3 fazlı ayırma modülüne sahiptir. Bu özellik reaktörde biyokütle tutulmasını iyileştirir ve sonuç olarak daha yüksek biyokütle aktivitesine izin verir ve deşarj edilecek atık su kalitesini iyileştirir. Geleneksel anaerobik arıtma proseslerinin yerini alan IC reaktörler kağıt sektöründe oldukça yaygın kullanılmaktadır. Anaerobik parçalama prosesi sonrasında üretilen biyogazın ekonomik değeri mevcuttur.

4.5.4 Havalı (Aerobik) arıtma

Yüksek organik yüke sahip endüstriyel atıksularda anaerobik arıtma çıkış akımı genellikle deşarj kriterlerini karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ikinci bir biyolojik arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. İncelenen tesiste havalı arıtma uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi olarak seçilmiş olup 2 adet havalandırma tankı ve bir son çöktürme tankından ibarettir.

4.6 Arıtma Çamuru

Havalı arıtma tesisinden çıkan çamur miktarı günlük 6 ton olarak paylaşılmıştır. Bu atık; TUBİTAK tarafından yapılan analizler sonucu tehlikesiz atık olarak kabul edilmiştir.

4.7 Evsel Atık

Ofisten çıkan kağıt atıkları da üretime katılmaktadır. Ancak yemekhaneden çıkan evsel atıklar, belediyeye teslim edilmektedir. Tesiste yaklaşık 200 kişi çalışmaktadır. Günlük oluşan evsel katı atık miktarı 0,7 kg olarak kabul edildiğinde;

$$\begin{aligned} \text{Evsel katı atık miktarı} &= 200 \text{ kişi} \times 1.1 \text{ kg/kişi.gün} \\ &= 220 \text{ kg/gün olarak hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

4.8 Endüstriyel Atıklar

Tesiste üretim aşamasında oluşan, kağıt ve karton dışında yer alan, diğer istenmeyen maddelere “rejekt” adı verilmektedir. Rejekt atıklar üretimde; pulper ve eleklerden oluşmaktadır. Bu atıklar ayrı depolanarak enerji tesisine gönderilerek bertarafı sağlanmaktadır. Rejekt atıklar esas olarak plastik, tekstil orijinli maddeler, cam, taş, çakıl, kum ve metallerden oluşmaktadır. Genel olarak atık kağıt hurdalarında rejekt oranları %15-20 arasında değişmektedir. 500 ton/gün kağıt üretimi için; %15-20 rejekt oranıyla 588-625 ton hurda kağıt girişine karşılık 88-125ton/gün rejekt atığı oluşumu söz konusudur.

4.9 Sera Gazı Emisyonu

Tesiste Sera Gazı Takibi Hakkında Yönetmelik kapsamında sera gazı emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve doğrulanması yapılmaktadır. Proses bazlı kullanılan fosil yakıtlar bu Yönetmelik kapsamında yer alırken, forklift, şirket araçları gibi hareketli kaynaklar, arıtma tesisi, bertaraf, elektrik tüketimi vs. kapsam dışında kalmaktadır.

Bu tez çalışmasında 2017 yılına yönelik raporlanan ve doğrulanan emisyon raporu üzerine yoğunlaşmıştır. Emisyon kaynakları ve salım miktarları Bölüm 6'da verilmiştir.

4.10 Koku

Tesiste koku emisyonuna sebep olan başlıca kaynaklar; hurda kağıt, devirdaim suyu ve arıtma tesisi olarak sıralanabilir. Tesiste koku emisyonlarını belirlenmesine yönelik ölçüm verileri bulunmamaktadır. Ancak koku rahatsızlığı mevcut olduğu için önlem olarak tesisin çevresine koku nozzları yerleştirilmiştir.



5. KAĞIT TESİSİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN LİTERATÜR VERİSİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

5.1 Su Tüketimi

Tesisin su tüketim oranı 9 m³/ton kağıt olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1’de üretim tiplerine denk gelen su kullanımı ile tesisin su tüketimini karşılaştırdığımızda; su tüketiminin makul olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1: Üretim tipine bağlı su kullanımı (European Comission,2015).

Üretim tipi	Spesifik su kullanımı (m ³ /t) ¹
Kaplamalı ve kaplamasız katlanır karton	5-30
Oluklu orta ve ambalaj kağıdı	1.5-35
Gazete kağıdı	9-20
Tuvalet kağıdı	9.5-50
Yazı ve Matbaa kağıdı	9.5-55

5.2 Atıksu

Tesisin atıksu deşarj miktarı 6m³/ton (3.000m³/gün) olarak hesaplanmıştır.

Tesis; atıksuya ait bazı parametreleri (KOI, AKM, pH vs.) kendisi düzenli ölçmektedir. Mevcut durumu, literatür verisi ile karşılaştırdığımızda KOI ve AKM değerlerinin yüksek olduğu Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2: Tesisin atıksu karakteristiğinin literatür verisi ile karşılaştırılması (European Comission,2015).

Parametre	Mürekkep giderimi olmayan tesis(literatür verisi)		Tesisin mevcut durumu	
	mg/l (min-max)	Kg/t (min-max)	mg/l (min-max)	Kg/t (min-max)
BOI (arıtma öncesi)	1800	12.3	-	
BOI (arıtma sonrası)	10 (3-28)	0.06 (0.01-0.13)	-	
KOI (arıtma öncesi)	3200	22	4.700	28.2
KOI (arıtma sonrası)	150 (60-270)	0.77 (0.29-1.12)	250 (135-650)	1.5
Kjehldal Azotu	5.6 (3-13)	0.03 (0.01-0.04)	-	
Toplam Fosfor	1.5 (0.5-1.8)	0.01	-	
AKM	25 (17-40)	0.13 (0.06-0.21)	105(50-259)	0.63
Deşarj miktarı		5.7 (3.1-11) m ³ /t	6 m ³ /t	

5.3 Arıtma Çamuru

Arıtma tesisinden çıkan çamur miktarı yaklaşık günlük 6 ton oluştuğubilgisi tesis yetkililerinden alınmıştır. Bu atık; TUBİTAK tarafından yapılan analizler sonucu tehlikesiz atık olarak kabul edildiği için depolama alanlarına gönderilerek bertarafı sağlanmaktadır. Literatürde ton atık kağıt başına oluşan çamur miktarı yaklaşık 10 kg olarak verilmiştir (European Comission, 2015). Bu duruma göre tesisin üretim kapasite 500 ton/gün olduğuna göre çamur miktarı 5 ton/gün olması gerekirdi. Literatür değerleri ile karşılaştırıldığında oluşan çamur miktarı verisinin tahmini olarak verilmesinden dolayı sağlıklı bir değerlendirme yapılamamıştır.

5.4 Endüstriyel Atıklar

Tesiste; 500 ton/gün kağıt üretimi için; %15-20 rejekt oranıyla 588-625 ton hurda kağıt girişine karşılık 88-125 ton/gün rejekt atığı oluşumu söz konusudur. Yapılan literatür araştırmasına göre; üretime giren hammaddenin kalitesine ve kaynağına bağlı olarak %4'den %10'a kadar rejekt atık oluşumu söz konusudur (Comission,2015). Bu oran (%4-10), tesisin mevcut durumu (%15-20) ile karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır. Bunun sebebi araştırıldığında; Türkiye'de kağıt toplama sisteminin yetersiz olması, kağıt atıkların diğer ambalaj atıklarla beraber toplanması, farklı

kalitedeki kağıt atıkların ayrı toplanamamasından dolayı tesisin rejekt miktarının, Avrupa'daki en iyi uygulamalar ile kıyaslandığında yüksek çıktığı görülmüştür.





6. SERA GAZI EMİSYON AZALTIM ÖNERİLERİ

Tesiste mevcut faaliyet düzeni esas alınarak önce sera gazı emisyon miktarları hesaplanmıştır. Bu amaçla enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtların yakılmasından atıksu arıtma sisteminden elde edilen biyogazın yakılmasından ve atıkların(reject) bertaraf tesisine taşınması ve bu bertaraf tesisinde yakılmasından kaynaklanan sera gazları emisyonları hesaplanmıştır.

Tesiste enerji geri kazanımı için MET tarafından önerilen atıkların değerlendirilmesi kapsamında değişik senaryolarla alternatif enerji geri kazanma tekniklerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Mevcut sera gazı miktarları ile alternatif senaryolarla elde edilen sera gazı miktarları mukayese edilerek sera gazı azaltım potansiyelleri irdelenmiştir.

6.1 Sera Gazı Emisyonu Hesaplama Metodolojisi

Sera gazı emisyonları hesaplanırken faaliyet verisi ve hesaplama faktörleri dikkate alınır.

6.1.1 Faaliyet verisi hesabı

Faaliyet verisi, emisyon hesaplamaları için ihtiyaç duyulan yakıt tüketim miktarını temsil etmektedir. Faaliyet verisi; ölçüm temelli ve hesaplama temelli olmak üzere iki yöntem ile belirlenmektedir. Katı ve sıvı yakıtlar ton cinsinden, gazlar ise metreküp (m³) cinsinden ifade edilmektedir. Yakıt miktarı belirlenirken; stok değişimi ve sürekli ölçüm yöntemi kullanılmaktadır.

Stok değişimi yöntemi; Raporlama dönemi boyunca prosesten geçirilen yakıt miktarının hesaplanmasıdır. Denklem 6.1 de görüldüğü gibi raporlama döneminde satın alınan yakıt eksi tesisten ihraç edilen yakıt miktarı artı raporlama dönemi başında stoktaki yakıt miktarı eksi raporlama dönemi sonunda stoktaki yakıt miktarı şeklinde hesaplanır;

$$\text{Yakıt miktarı} = \text{Satın alınan} - \text{İhraç Edilen} + \text{İlk Stok} - \text{Son Stok} \quad (6.1)$$

Sürekli ölçüm yöntemi ise; bir ölçüm ekipmanı ile yakıt miktarının takip edilmesidir. Gazların ölçümü sınırlara kıyasla daha zordur, çünkü ölçümü yapılan hacimler sıcaklık ve basınçtan büyük ölçüde etkilenmektedir.

Bu yöntem ile faaliyet verisi belirlenirken aşağıdaki Denklem 6.2 kullanılır;

$$\text{Faaliyet verisi} = \text{Tüketilen Hacim} \times \text{Yakıt Yoğunluğu} \quad (6.2)$$

6.1.2 Hesaplama faktörleri

Sera gazı emisyonları hesaplanırken hesaplama faktörlerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Hesaplama faktörleri; bir yakıtın emisyon faktörü (EF), net kalorifik değeri (NKD), karbon içeriği, yükseltgenme faktörü vs. olarak adlandırılmaktadır. Yakıt veya malzeme içindeki suyun buharlaşma ısısı hariç tutularak, bir yakıt veya malzemenin standart koşullar altında oksijen ile tam yandığında açığa çıkan net ısı enerjisini ifade ederken, emisyon faktörü ise; tam yanmanın ve diğer tüm kimyasal reaksiyonların tamamlandığının varsayıldığı bir kaynak akışındaki faaliyet verisine ait sera gazının ortalama emisyon oranını ifade etmektedir (ÇŞB,2014). Oksidasyon faktörü (OF) ise; yanma sonucunda oksitlenerek CO₂'ye dönüşmüş karbonun yakıtta bulunan toplam karbon miktarına oranıdır.

Bir yakıtın sebep olduğu sera gazı miktarı hesaplanırken aşağıdaki denklem kullanılır;

$$\text{Sera gazı miktarı} = \text{Faaliyet verisi} \times \text{EF} \times \text{NKD} \times \text{OF} \quad (6.3)$$

6.2 Referans Senaryo

Referans senaryo; tesisin mevcut faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonu miktarının hesaplanmasıdır.

6.2.1 Tesis sınırları

Sera gazı hesabına tesisin tek lokasyonda yer alan fabrikası dahil edilmiştir.

6.2.2 Kapsamı

Tesisin 2017 yılında fosil kaynak tüketiminin sebep olduğu sabit kaynaklı ünitelerden kaynaklanan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır.

6.2.3 Emisyon kaynakları

Emisyon kaynağı; sera gazı emisyonlarının çıktığı bir üniteyi veya tesisin bir prosesini temsil etmektedir. Tesiste kullanılan fosil yakıtlar; doğalgaz, kömür, motorin ve biyogaz olarak tanımlanmıştır.

Doğalgaz; kojenerasyon tesisi, buhar kazanı ve mutfakta, kömür; buhar kazanında, motorin; jeneratör ve yangın pompasında kullanılmaktadır. Anaerobik arıtma tesisinden elde edilen biyogaz ise tesiste buhar üretiminde kullanılmaktadır.

6.2.4 Fosil yakıt tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarının hesabı

6.2.4.1 Faaliyet verisi hesabı

Tesise ait faaliyet verisi hesaplanırken; 2017 yılı Ocak-Aralık ayları aralığında tüketilen yada satın alınan doğalgaz, kömür, motorin verileri ağırlık cinsine çevrilir. Sıvı yakıtların kütesini hesaplarken yoğunluk değerinin satın alınan hacim değeri ile çarpılması gerekmektedir. Şöyle ki doğalgaz faaliyet verisi belirlenirken denklem 6.2 kullanılır;

2017 yılında tesiste tüketilen doğalgaz miktarı doğalgaz faturalarından alınmıştır.

$$\begin{aligned}\text{Tüketilen doğalgaz miktarı} &= 21.704.500 \text{ Sm}^3/\text{yıl} \times 0,718\text{kg}/\text{Sm}^3 \\ &= 15.583.83 \text{ kg}/\text{yıl} \\ &= 15.584 \text{ ton}/\text{yıl} \text{ olarak hesaplanmıştır.}\end{aligned}$$

Tüketilen kömür miktarını belirlerken 2017 yılında stoktan tüketilen ve yıl boyunca satın alınan kömür miktarı ile hesaplama yapılmıştır.

Yıl başı stok miktarı:0 kg

Yıl sonu stok miktarı:148.200 kg

Satın alınan miktar: 22.345.893 kg/yıl (kuru hali)

Denklem 6.1 kullanıldığında;

$$\begin{aligned}\text{Tüketilen kömür miktarı} &= 22.345.893 + 0 - 849.000 \\ &= 21.496.90 \text{ kg}/\text{yıl} \text{ olarak hesaplanmıştır.}\end{aligned}$$

Motorin faaliyet verisi hesaplanırken, yıl boyunca jeneratör ve yangın pompası için satın alınan motorin miktarları dikkate alınmıştır.

Motorin tüketim hacmi: 2,224 lt/yıl

Motorin yoğunluğu: 845 kg/m³

Denklem 6.2 kullanıldığında;

$$\begin{aligned}\text{Tüketilen motorin miktarı} &= 2,224 \frac{\text{lt}}{\text{yıl}} \times 845 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{m}^3}{1000\text{lt}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000\text{kg}} \\ &= 1,88 \text{ ton}/\text{yıl} \text{ olarak hesaplanmıştır.}\end{aligned}$$

Tüketilen biyogaz miktarı sayaçlardan sürekli ölçüm yöntemi ile belirlenmektedir.

Biyogaz tüketim hacmi: 318.191 m³/yıl

Biyogaz yoğunluğu: 1,15 kg/m³

Denklem 6.2 kullanıldığında;

$$\begin{aligned} \text{Tüketilen biyogaz miktarı} &= 318.191 \text{ m}^3/\text{yıl} \times 1,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \\ &= 365,92 \text{ ton/yıl olarak hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

6.2.4.2 Hesaplama faktörleri

Hesaplamalarda kullanılan EF ve NKD değerleri (TUİK,2017)'den alınmıştır.

6.2.4.3 Sera gazı hesabı

Bir yakıtın sebep olduğu sera gazı miktarı hesaplanırken Denklem 6.4 kullanılmıştır.

Doğalgaz tüketiminden kaynaklı CO₂ sera gazı emisyonu hesaplarken;

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ gazı miktarı} &= 15.583,87 \text{ ton} \times 58,66 \text{ ton/TJ} \times 54,04 \text{ Tj/kt} \times 1 \text{ kt}/1000 \text{ ton} \\ &= 49.400,656 \text{ ton CO}_2 \text{ olarak hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

$$\text{CH}_4 \text{ gazı miktarı} = 15.583,87 \text{ ton} \times 0,004 \text{ ton CO}_2/\text{TJ} \times 54,04 \text{ Tj/kt} \times 1 \text{ kt}/1000 \text{ ton} \times 28$$

Tüm yakıtlardan kaynaklı CO₂, CH₄ ve CO₂ emisyonlarının hesabı Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te verilmiştir. Tesisin faaliyetlerinden kaynaklı toplam sera gazı emisyonu 69.936 ton CO₂ olarak hesaplanmış olup Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Aşağıdaki tablolarda kullanılan yakıt türlerine ait EF ve NKD değerleri verilmiştir. CO₂ eşdeğeri, EF ve NKD değerleri (ÇŞB,2014)'den alınmıştır. Hesaplamalarda karbon oksidasyonu (OF) değeri 1 alınmıştır.

Çizelge 6.1: Yakıtlardan kaynaklı CO₂ emisyonları.

	Faaliyet Verisi (ton)	CO ₂ Emisyonları		Emisyon Miktarı (ton)
		EF (ton/Tj)	NKD (Tj/kt)	
Doğalgaz	15.583,87	58,66	54,04	49.400,656
Kömür	21.496,90	107,63	7,18	16.612,447
Motorin	1,88	72,28	43,75	5.945
Biyogaz	365,92	54,63	50,40	1.007,506

Çizelge 6.2: Yakıtlardan kaynaklı CH₄ emisyonları.

	CH ₄ Emisyonları			Emisyon Miktarı (ton)
	Faaliyet Verisi (ton)	EF (ton/Tj)	CO ₂ eşdeğeri	
Doğalgaz	15.583,87	0,004	28,00	94.321
Kömür	21.496,90	0,001	28,00	4.322
Motorin	1,88	0,009	28,00	0,021
Biyogaz	365.92	0,001	28,00	0,516

Çizelge 6.3: Yakıtlardan kaynaklı N₂O emisyonları.

	N ₂ O Emisyonları			Emisyon Miktarı (ton)
	Faaliyet Verisi (ton)	EF (ton/Tj)	CO ₂ eşdeğeri	
Doğalgaz	15.583,87	0,001	265,00	223.170
Kömür	21.496,90	0,06	265,00	2.495,031
Motorin	1,88	4,00	265,00	87.185
Biyogaz	365.92	0,001	265,00	4.887,2

Çizelge 6.4: Yakıtlardan kaynaklı toplam sera gazı emisyonu

Sera Gazı Türü	Emisyon Miktarı (ton)
CO ₂ Emisyonu	67.026
CH ₄ Emisyonu	99,108
N ₂ O Emisyonu	2.810
TOPLAM CO _{2e} miktarı	69.936

Rejekt atık bertarafından kaynaklanacak emisyonlar

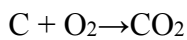
Tesiste günlük 100 ton rejekt oluşmaktadır. Tesisin bir yılda 330 gün çalıştığı düşünüldüğünde; yılda 33,000 ton atık çıkışı vardır.

Çizelge 6.5'deki yaş baz ve kuru baz değerleri dikkate alınarak ortalama bir değer hesaplanmıştır. Bertaraftan kaynaklı sera gazı emisyonları şöyle hesaplanmıştır;

Sulu rejekt için; 100 ton/gün x 0,236 ton C/ton sulu rejekt= 23,6 ton C/gün

Kuru rejekt için; 40 ton/gün x 0,636 ton C/ton kuru rejekt = 25,44 ton C/gün

Ortalama 24 ton C/gün olarak alınıp basit bir stokiyometrik oranla CO₂ miktarı;



24 ton x 44/12= 88 ton CO₂/gün (29,040 ton/yıl) olarak hesaplanmıştır.

Atık nakliyesinden kaynaklı emisyonlar:

Tesis ile bertaraf firması arasındaki mesafe (gidiş geliş 250 km/kamyon) olduğu ve bu mesafenin yıllık (33.000 ton rejekt)/(30 ton/kamyon)=1.100 kamyon ile taşıma yapılacağı hesaplandığında; yıllık katedilen mesafe;

$$1.100 \text{ kamyon} \times 250 \text{ km/kamyon} = 275.000 \text{ km olarak hesaplanmaktadır.}$$

Bir kamyonun 100 km yol için yaklaşık 33 lt yakıt tükettiği kabul edilerek yakıt tüketimi;

$$275.000 \text{ km} \times (0,33) = 90.750 \text{ lt/yıl (77ton/yıl) hesaplanır.}$$

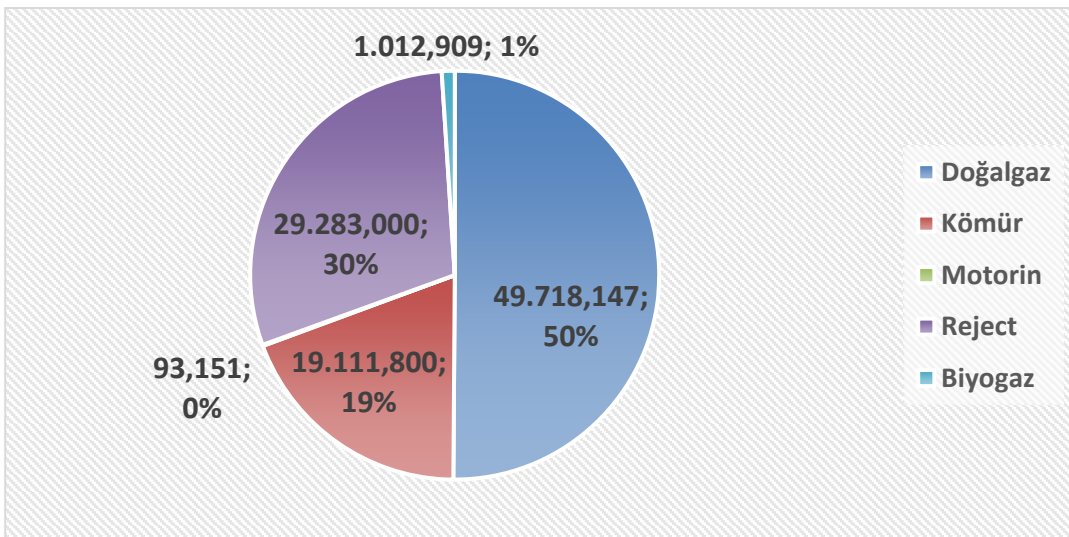
Motorin yoğunluğu: 0.845 kg/lt olarak kabul edilmiştir.

Nakliye araçlarının motorin kullandığı göz önüne alındığında, nakliyeden kaynaklı sera gazı emisyonları, Denklem 6.3 kullanılarak;

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ gazı miktarı} &= 77 \text{ ton/yıl} \times 43,75 \text{ Tj/kt} \times 72,28 \text{ ton/Tj} \\ &= 243 \text{ ton CO}_2 \text{ olarak hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

EF: 72,28 ton/Tj, NKD: 43,75 Tj/kt olarak alınmıştır.

Bu durumda tesisten kaynaklı tüm sera gazı kaynaklarını beraber değerlendirdiğimizde Şekil 6.1'deki gibi bir grafik çıkmaktadır. Sonuç olarak tesisten kaynaklı tüm sera gazı emisyonları toplamda 99.219 ton CO₂ /yıl emisyon olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 6.1: Tesisten kaynaklı sera gazı emisyonları dağılımı.

6.2.5. Biyokütleden Enerji Üretimi Senaryoları

Tesiste en önemli atık grubunu oluşturan rejekt biyokütlelerinin enerjisinden yararlanılmasına yönelik iki farklı senaryo ile kağıt üretimi kurutma makinaları baca gazlarındaki atık ısının geri kazanılmasına yönelik olmak üzere üç farklı senaryo ile sera gazı azaltım potansiyeleri değerlendirilmiştir. Senaryolar;

Senaryo 1: Rejekt atıkların gazlaştırılması ile syngas üretimi

Senaryo 2: Rejekt atıkların pirolizi ile dizel üretimi

Senaryo 3: Kurutma bacasından çıkan su buharının soğutulmuş olarak yoğunlaştırılması ve kullanılması olarak belirlenmiştir.

6.3. Senaryo 1: Rejekt Atıkların Gazlaştırılması ile Syngas Üretimi

Kağıt üretimi esnasında pulper ve eleklerde oluşan atıklar; yüksek kalorifik değere sahiptir. Bu atıklar tesisin dışında başka bir enerji tesisine gönderilerek orada yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu senaryoda amaç; başka tesise gönderilen kalorifik değeri yüksek bu rejekt atıklar için gazlaştırma tesisinin kurulması, kurulacak gazlaştırma tesisi ile syngas üretimi sağlanması ve üretilen bu syngasdan buhar elde edilmesidir. Elde edilecek buhar ile tesisin fosil kaynaklardan elde ettiği enerji ihtiyacını azaltmak ve tesisin faaliyetlerinden kaynaklı sera gazı emisyonu miktarının düşürülmesi sağlanacaktır.

6.3.1 Rejekt atık miktarı

Tesiste 500 ton/gün kağıt üretimi için; %15-20 rejekt oranıyla 588-625 ton hurda kağıt girişi vardır. Bu durumda, günlük 88-125 ton rejekt atığı oluşumu söz konusudur. Ortalama 100 ton/gün (4,167 kg/saat) rejekt atık çıktığı kabul edilmiştir. Çıkan bu atık %60 oranında nem içerdiğinden hesaplamalarda kuru (%0 nem) içeriğine göre belirlenen rejekt miktarı dikkate alınmıştır.

Ortalama kalorifik değeri orjinal halde 2.200 kcal/kg ve kuru durumda ise 6.000 kcal/kg mertebelerindedir.

6.3.2 Rejekt atıkların kompozisyonu

Rejekt atıkların gönderildiği enerji tesisinin 2015 yılında yaptığı analiz sonuçları Çizelge 6.5'te belirtilmiştir.

Çizelge 6.5:Rejekt atık analiz sonuçları.

Numune	Nem (%)	Kül (%Ağ.) Orjinal	Kuru Bazda Kalorifik Değer (kcal/kg)	Orjinal Kalorifik Değer (kcal/kg)
US-30 İnce Naylon Rejekt	37,5	4,96	7.200	4.500
Sevkiyat Halindeki Karışık Naylon Rejekt	57	3,88	6.120	2.210
Kaba Naylon Rejekt	68	2,58	5.490	1.925

Çizelge 6.5'te görülen analiz değerleri elemental analiz içeriğine sahip olmadığı için, rejeptlerin kompozisyonunun belirlenmesinde bir takım kabuller yapılmıştır.

Tesiste oluşan rejekt atıklarının %80'i karışık plastik, % 20'si de tekstil atıklarından oluştuğu kabul edilmiştir.Literatür verisinden bu atıkların C, H, O, N, S ve kül içerikleri alınmıştır. Çizelge 6.6'da gösterilen plastik atıklar ve tekstil atıklarına ait veriler; (Tchobanoglous,2002) kaynağından alınmıştır. Rejekt atığın kompozisyonu ise bu veriler doğrultusunda %80 plastik %20 içeriği baz alınarak kuru baz, %60 nem ve kuru içeriğine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çizelge 6.6: Atıkların elemental yüzdeleri.

Atık	C	H	O	N	S	Kül
Plastik atıklar (kuru)	60	7,2	22,8	-	-	10
Tekstil atıkları (kuru)	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Rejekt kompozisyonu (kuru)	59	7,08	23,48	0,92	0,03	8,5
Rejekt kompozisyonu (%60 nem)	23,6	2,83	9,8	0,37	0,012	3,4
Rejekt kompozisyonu (kuru)	63,6	7,5	24,9	0,98	0,033	3

Santrifüjleme işlemi ile nem miktarı %60 oranlarından %30 oranına, ardından gelen kurutma sonrasında bu oranın %0'a düştüğü kabul edilmiştir. Yukarıdaki verilerin değerlendirilmesinden atığın orijinal halde durumu 2,200 kcal/kg; kuru durumda ise 6,000 kcal/kg ısıl değere sahip atığın temsil edilebilir olduğuna karar verilmiştir.

6.3.3 Isıl kapasite hesabı

Rejekt atığının ısıl değeri orijinal halde 2.200 kcal/kg ve kuru halde ise 6.000 kcal/kg olarak kabul edilmiştir. Kuru durum için atık miktarı 40 ton/gün (1.666,7 kg/saat) olarak alındığında atığın ısıl enerjisi şu şekilde bulunmuştur.

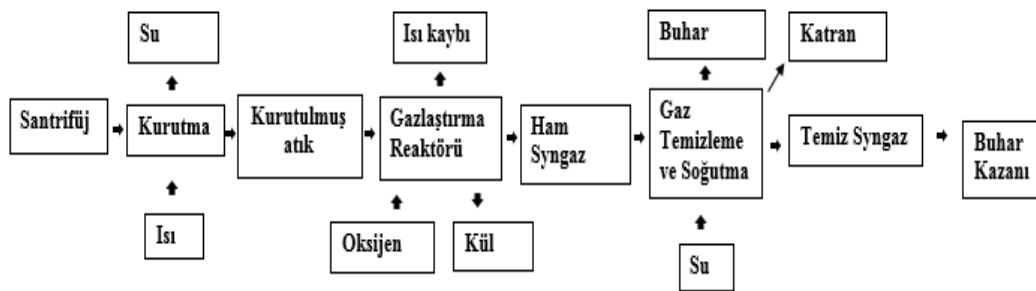
$$\begin{aligned} \text{Isıl kapasite} &= 1.666,7 \frac{\text{kg}}{\text{sa}} * 6.000 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} * \frac{1\text{sa}}{3600\text{sn}} * 4,184 \left(\frac{\text{kW. sa}}{\text{kcal. sa}} \right) \\ &* 1\text{MW}/1000\text{kW} \\ &= 11,6 \text{ MW olarak hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

6.3.4 Gazlaştırma prosesi tasarımı

Syngas üretimi aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

- Ön İşlem
- Gazlaştırma
- Gaz Soğutma ve Temizleme

Sentez gazı üretimi benzer bir tesisin tasarım kriterleri göz önüne alınarak uyarlanmıştır (Url-3). Gazlaştırma prosesi akım şeması Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2: Gazlaştırma prosesi tasarımı.

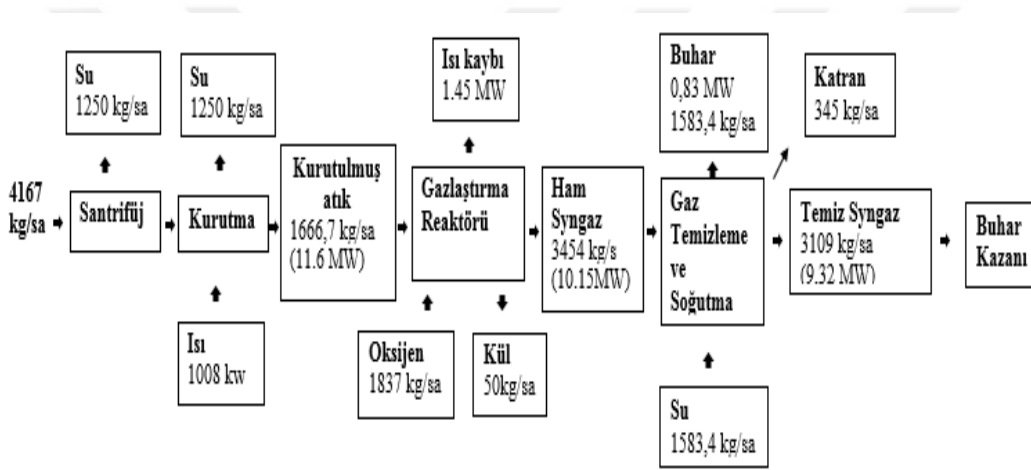
6.3.4.1 Ön işlem

Ön işlem; reaktöre beslenen malzemelerin nem içeriğini azaltmak ve boyut küçültme işlemlerini içerir.

Kurutma bölgesinde; gazlaştırma reaktörüne yüklenen hammadde alt bölgelerden gelen yüksek ısı ile ısınır ve içeriğindeki nem uzaklaştırılır. Bu bölgede işletim sıcaklığı 200-350°C arasındadır. Kurutma işlemi sonrasında elde edilen ürün; hammadde ile kömür arasında yer alan ara ürün gibidir.

İncelenen tesisten çıkan atığın nem miktarı %60 seviyelerinde olduğundan dolayı ilk önce santrifüjleme ile 30 ton suyun uzaklaştırıldığı kabul edilmiştir. Nem miktarının böylece;

$30 \text{ ton nem} \times 100/70 \text{ ton} = \%42,8$ 'e düşürüldüğü kabul edilmiştir. Sistemden uzaklaştırılan su miktarı Şekil 6.3'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.3: Gazlaştırma tasarım ayrıntıları.

6.3.4.1.1 Parçalama ve peletleme

Reaktöre beslemeden önce kurutulan atığın boyutunun azaltılması için parçalama ve peletleme işlemlerine tabi tutulur. Burada amaç; reaksiyon öncesi atığın parça boyutlarını küçülterek, piroliz ve gazlaştırma sonrası elde edilecek gazın kalitesini arttırmaktır (Chen,2014).

1 ton plastik malzemenin parçalanması için toplam 200 kw/s elektrik enerjisine ihtiyaç vardır.

6.3.4.1.2 Kurutma

Santrifüj sonrasında %30 nem kaybedildiği, kurutmadan çıkan atığın ise neminin tamamen ortadan kaldırıldığı kabul edildiğinde kurutma sisteminden 30 ton/gün (1,250 kg/saat) su çıkışı olacağı hesaplanmıştır. Bu durumda;

Kurutma için gereken enerji ihtiyacı:

Atık sıcaklığı 20 °C olduğu kabul edelim. 100 °C'ye çıkartma için gereken enerji;

$$\begin{aligned} \text{Isıtma enerjisi} &= 30 \text{ ton/gün su} \times 1000 \text{ kg/ton} \times (100-20)^\circ\text{C} \times 0,5 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C} \\ &= 1.200.000 \text{ kcal hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Buharlaştırma enerjisi} &= 30 \text{ ton/gün su} \times 1000 \text{ kg/ton} \times 540 \text{ kcal/kg su} \\ &= 16.000.000 \text{ kcal hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

100 °C'den 110 °C'ye çıkartmak için gereken enerji şöyle hesaplanmıştır;

$$\begin{aligned} \text{Isıtma enerjisi} &= 30 \text{ ton/gün su} \times 1000 \text{ kg/ton} \times (110-100)^\circ\text{C} \times 0,478 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C} \\ &= 143.400 \text{ kcal.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam gereken enerji} &= 1.200.000 + 16.200.000 + 143.400 \\ &= 17.543.400 \text{ kcal/gün} \\ &= 730.975 \text{ kcal/sa} \\ &= 850 \text{ kW olarak hesaplanmıştır.} \end{aligned}$$

1 kg suyun buharlaşması için gereken enerji şöyle hesaplanmıştır;

$$730.975 \text{ kcal/sa} / 1,250 \text{ kg/s} = 585 \text{ kcal/kg su.}$$

Plastik atığın ısıtılması için gereken enerji ihtiyacı:

1 kg plastik atık kurutulmasında gereken enerji 81,77 kcal olarak kabul edilmiştir. Bu durumda plastik atığın 110 °C'ye çıkartılması için gereken enerji şöyle hesaplanmıştır;

$$\begin{aligned} 81,77 \text{ kcal/kg} \times 1666,7 \text{ kg atık/sa} &= 136.289 \text{ kcal/sa} \\ &= 158 \text{ kW.} \end{aligned}$$

$$850 \text{ kw} + 158 \text{ kw} = 1.008 \text{ kW olarak bulunmuştur.}$$

6.3.4.2 Gazlaştırma reaktörü

Rejekt atıkları, yüksek derecelerde gazlaştırma işlemi ile katran, biyokömür ve gaza dönüşmektedir. Seçilen gazlaştırma prosesinde hava yerine saf oksijen kullanılarak syngas ısıl değerinin yüksek olması sağlanması çalışılmıştır. Gazlaştırmada proses sıcaklığı 1077 °C civarındadır.

Oksijen ihtiyacı

%100 kuru atık plastik miktarı 40 ton/gün (1.666,7 kg/saat)'e denk gelmektedir.

1 kg atık için gereken O₂ miktarı hesaplarken; Çizelge 6.6'daki atık karakterizasyonundan yararlanılmıştır. Yapılan hesaplama Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7: Atığın mol yüzdesi.

	%	Ağırlık(gr)	Mol Ağırlığı	Mol
C	63,6	636	12	52,5
H	7,5	75	2	18,75
O	24,9	249	32	-7,78
N	0,98	9,8	32	0,31
S	0,033	0,33	28	0,012
Kül	3	30	-	-
TOPLAM	100	1000		63,79

100 gr. yakıtın %100 yanması için gerekli O₂ ihtiyacı;

63,79 mol x 32 gr/mol O₂ = 2.041 gr O₂ olarak hesaplanmaktadır. Prosesimizde %50-55 oranında yanma gerçekleştiği kabul edildiğinde gerekli O₂ ihtiyacı;

1.666,7 kg/saat x 1.102 kg O₂ /kg atık = 1.837 kg O₂/saat olarak hesaplanmıştır.

Kül miktarı

Reaktörde oluşacak kül miktarı % 3 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda;

1.666,7 kg/saat x % 3 = 50 kg/saat olarak hesaplanmıştır.

Isı kayıpları

Gazifikasyon ünitesinden kaynaklı ısı kayıpları %12,37 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda;

11,6 MW x %12,37 = 1,45 MW olarak hesaplanmıştır.

Ham syngas miktarı

Ham syngas miktarı; reaktördeki kütle dengesinden hesaplandığında üretilen syngas miktarı;

Reaktöre giren atık + Oksijen – Reaktörden çıkan kül

1.666,7 kg atık/saat + 1,837 kg/saat – 50 kg/saat = 3.454 kg/saat olarak hesaplanmıştır.

Syngas yoğunluğu: 0,58 kg/m³ olarak alınmıştır. Bu durumda;

$$3.454 \text{ kg/saat} / 0,58 \text{ kg/m}^3 = 5.955 \text{ m}^3/\text{saat syngas oluşmaktadır.}$$

Syngas temizleme işleminde elde edilen buhar çıkış oranı % 8.14 olarak kabul edildiğinde; ısı güç hesabı şöyle olmaktadır;

$$10,15 \text{ MW} \times 0,081 = 0,83 \text{ MW.}$$

Üretilen net syngas miktarı:

Syngas üretim verimi %90 olduğu kabul edildiğinde bu durumda üretilen temiz gaz miktarı;

$$3.454 \text{ kg/saat} \times 0,90 = 3.109 \text{ kg/saatolarak hesaplanmıştır.}$$

Katran çıkışı kütle dengesi ile belirlendiğinde;

$$3.454 \text{ kg/saat} - 3.109 \text{ kg/saat} = 345,4 \text{ kg/saat olarak hesaplanmıştır.}$$

3.109 kg/saat temiz gaz (0,58 syngas yoğunluğu dikkate alınarak) 5.360,3 m³/saat'e denk gelmektedir.

6.3.4.3 Gaz soğutma ve temizleme

Gaz soğutma işlemi ile üretilen syngas içindeki su buharı ve katranın yoğunlaştırılarak gazdan arındırılması sağlanır. Gaz temizleme işlemi ise plastik atıkların pirolizi sonucu syngas içinde bulunan HCl'nin gaz içinden temizlenmesi sağlanır.

6.3.4.4 Üretilen syngas miktarı

Üretilen syngasın ısı değeri 9,32 MW olarak belirtilmişti. Buna göre 1 m³ syngasın ısı değeri ise;

$$9,32 \text{ MW} \times 1000 \text{ kW/MW} = 9.320 \text{ kW} = 9.320 \text{ kJ/s}$$

$$(9.320 \text{ kJ/s} \times 3600 \text{ s/saat} \times 1) / (4.184 \text{ kcal.s/kJ} \times 5.360,3 \text{ m}^3/\text{saat}) = 1.496$$

kcal/m³ olarak hesaplanır.

Üretilen syngasın doğal eşdeğeri (bu hesaplamada doğal gaz ısı değeri için 8.250 kcal/m³ alınmıştır.)

5.360,3 m³ syngas/saat x 1.496 kcal/m³ syngas / 8.250 kcal/m³ = 972 m³ doğal gaz/saat olarak hesaplanmıştır.

Üretilen syngas miktarına eşdeğer doğal gazın tesiste mevcut 7,84 MW ısı gücünde ve saatte 817,5 m³ doğal gaz yakan buhar kazanında (Çizelge 4.2) yakılması

durumunda doğal gaz tasarrufunun ekonomik olarak karşılığı hesaplanabilir. Bu amaçla İGDAŞ'ın 01/05/2019 tarihli aylık tarifesinde serbest tüketiciler için uygulanan tarifede 1 m³ doğal gazın fiyatı 1,15 TL olarak alındığında yıllık tasarruf;

$$(972 \text{ m}^3 \text{ doğal gaz/saat}) \times (1,15 \text{ TL/m}^3 \text{ doğal gaz}) \times (7.500 \text{ saat/yıl}) \\ = 8.383.500 \text{ TL/yıl olarak hesaplanır.}$$

Doğal gaz tasarrufu tek başına yeterli bir değerlendirme olarak kabul edilemez çünkü gazlaştırma tesisinin ilk tesis ve işletme maliyetleri de dikkate alınarak yapılacak ayrıntılı bir ekonomik analiz ile maliyetlerin çıkarılmasından sonra kalan kısım tasarruf edilen değer olarak daha gerçekçi olacaktır.

6.3.4.5 Kül

Gazlaştırma sonrasında günlük 1,2 ton civarında kül oluşmaktadır. Kül atığının bileşenlerinin analizi mevcut değildir. Bertarafı için özelliklerinin analizi gerekmektedir.

6.3.4.6 Katran

Gazlaştırma tesisinde syngas saflaştırma işleminden saatte 345 kg ve günde 8.280 kg katran elde edilmektedir. Katran 6 nolu fuel oil eşdeğeri olarak kabul edilebilir. Isıl değeri 10.000 kcal/kg mertebelerindedir. Bu miktar katran tesiste mevcut kömür yakıtlı akışkan yataklı yakma tesisinde yakılabilir. Akışkan yataklı kömür yakma tesisinde 4.000 kcal/kg ısıl değere sahip linyit kömüründen saatte 2.700 kg yakılmaktadır. Katranın linyit eşdeğeri;

$345 \text{ kg katran/saat} \times 10.000 \text{ kcal/kg katran} / 4000 \text{ kcal/kg linyit} = 862,5 \text{ kg linyit/saat}$ olarak hesaplanır. Bu durumda tasarruf edilen kömür miktarı;

$862,5 \text{ kg linyit/saat} \times 7.500 \text{ sa/yıl} \times 1 \text{ ton}/1000 \text{ kg} = 6.470 \text{ ton linyit/yıl}$ olarak hesaplanır.

Tasarruf edilen CO₂ miktarı ise şöyle hesaplanmaktadır;

$862,5 \text{ kg linyit/saat} \times 107,63 \text{ ton/TJ} \times 7,18 \text{ TJ/kt} \times 1/1000 = 666,5 \text{ ton CO}_2/\text{saat}$ (5.000 ton CO₂/yıl).

6.3.5 Azaltılan sera gazı miktarı

Gazlaştırma sonrasında üretilen syngas miktarı 972 m³ kadar doğalgaza yada 16,870 ton CO₂/yıl'a eşdeğerdir.

$$972 \text{ m}^3/\text{sa} \times 7500 \text{ sa/yıl} \times 0,73 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ ton}/1000\text{kg} \times 58,66\text{ton}/\text{Tj} \times 54,04\text{TJ}/\text{kt} \\ \times 1\text{kt}/1000 \text{ ton} = 16.870 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$$

Aynı zamanda katranın yakıt olarak kullanılması ile linyitten kaynaklı sera gazı emisyonları;

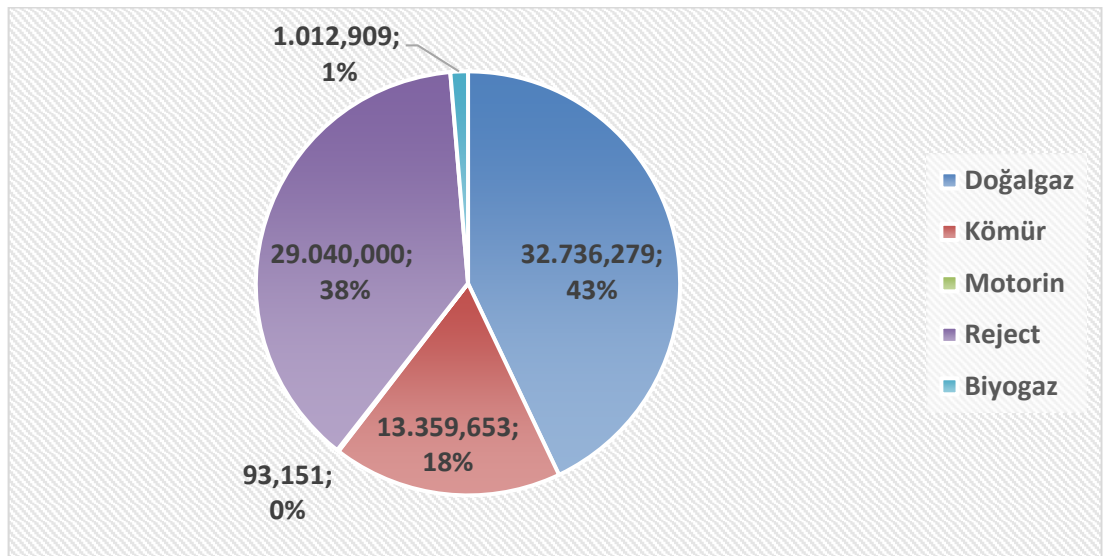
$$862,5 \text{ kg linyit/saat} \times 107,63 \text{ ton}/\text{TJ} \times 7,18 \text{ TJ}/\text{kt} \times 1/1000 = 666,5 \text{ ton CO}_2/\text{saat} \\ (5.000 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}) \text{ kadar tasarruf sağlanacaktır.}$$

Referans senaryoda belirtildiği gibi tesisten çıkan rejekt atıkları, enerji tesislerine gönderilerek geri kazanılmakta idi. Kurulacak gazlaştırma tesisi ile bu atıkların ulaşımından kaynaklı oluşan emisyonları çıkarttığımızda; 243 ton CO₂/yıl azalmış olacaktır.

Syngasdan elde edilen buhar ile birlikte 5.322 ton/yıl kadar doğalgaz tüketimi azalması söz konusu olduğunda doğalgaz faaliyet verisinin 15.583,87 ton/yıl seviyesinden 10.261 ton/yıl seviyelerine düştüğü hesaplanmıştır.

Akışkan yataklı kazanda alternatif olarak katranın kullanılması ile 6.470 ton/yıl linyit tasarrufu kabul edildiğinde yıllık linyit tüketim değerinin 21.496,90 ton/yıl seviyelerinden 15.027 ton/yıl seviyelerine düştüğü hesaplanmıştır.

Bu durumda Senaryo 1'den kaynaklı toplam sera gazı emisyonu miktarı 76.242 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmış olup toplamda 22.977 ton/yıl CO₂ kadar tasarruf sağlanması mümkündür. Şekil 6.4'te kaynak akışlarından kaynaklı emisyon dağılımı verilmiştir.



Şekil 6.4: Senaryo 1'den kaynaklı sera gazı emisyonları dağılımı.

6.4 Senaryo 2: Rejekt Atıkların Pirolizi İle Dizel Yakıt Üretimi

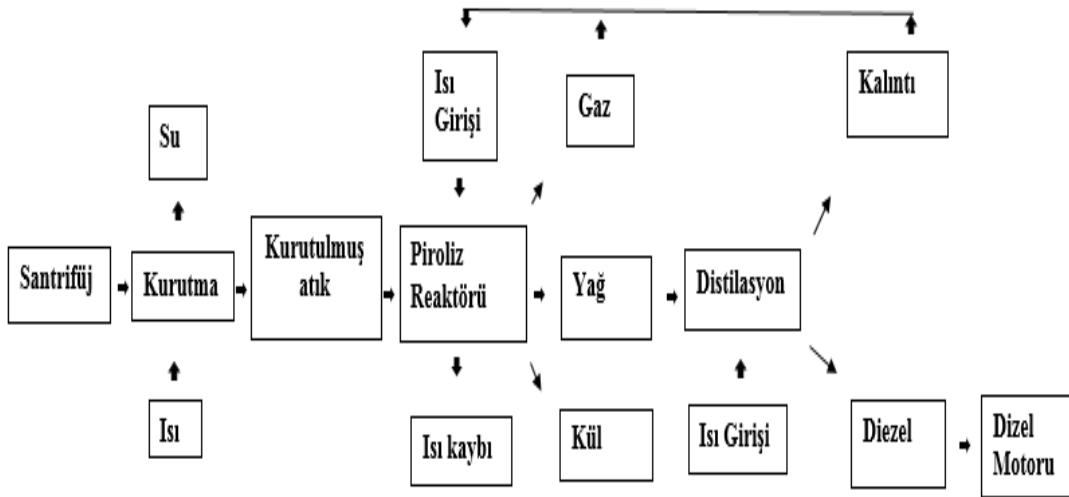
Bu senaryoda amaç; kalorifik değeri yüksek bu rejekt atıkların kurulacak piroliz tesisi ile dizel yakıt(motorin eşdeğeri) üretimi sağlamak, üretilen bu yakıttan elektrik elde ederek tesisin elektrik enerjisi satın alma ihtiyacını azaltmaktır.

6.4.1 Rejekt atıkların pirolizi

Plastik pirolizi; plastik atıkların yüksek sıcaklıklarda havasız ortamda ısıtılması sonucu oluşan gaz halindeki ürünlerin soğutulmuş pirolitik yağ veya likit yağa dönüştürüldüğü termokimyasal bir süreçtir. Bölüm 3.3.1.1’de ayrıntılı olarak bilgi verilmiştir.

Tesiste oluşan rejekt atıkları için tasarlanan bu proses; ön işlem ve piroliz süreçlerinden oluşmaktadır.

Piroliz prosesi akım şeması Şekil 6.5’te verilmiştir.



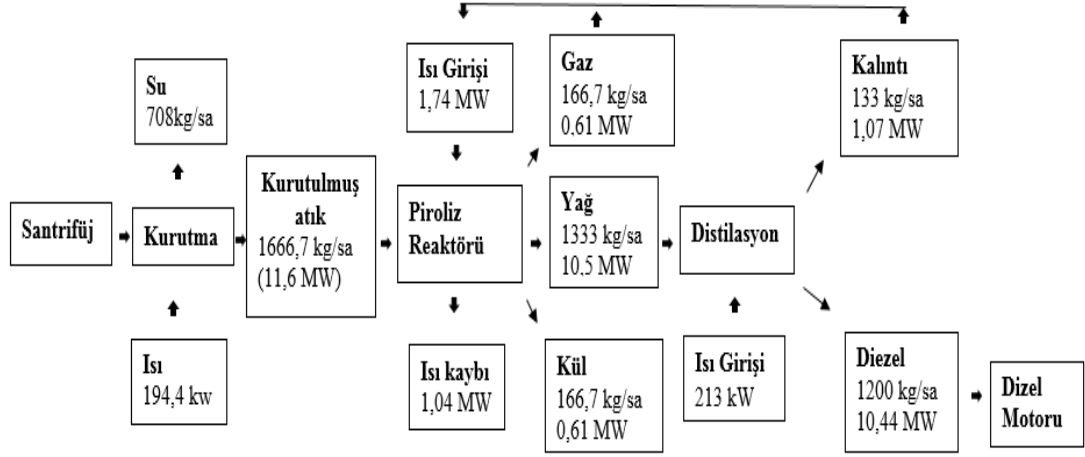
Şekil 6.5:Piroliz prosesi akım şeması.

6.4.1.1 Ön işlem

Ön işlem; Rejekt atıklara Bölüm 6.2.4.1’de uygulanan santrifüjleme ve kurutma aşamalarının aynısını içermektedir.

6.4.1.2 Piroliz prosesi tasarımı

Piroliz üretimi benzer bir tesisin tasarım kriterleri göz önüne alınarak uyarlanmıştır (Url-3). Tasarım ayrıntıları Şekil 6.6’da gösterilmiştir.



Şekil 6.6: Piroliz tasarım ayrıntıları.

Isı enerjisi gereksinimi

%100 kuru atık plastik miktarı 40 ton/gün (1.666,7 kg/saat), ısıl değeri ise 11,6 MW olarak hesaplanmıştır. Piroliz ünitesinden ısı kayıpları toplam gücün %9'u olarak kabul edildiğinde bu durumda ısı kayıpları miktarı;

$$11,6 \text{ MW} \times \%9 = 1,04 \text{ MW} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Diğer taraftan piroliz reaksiyonları için reaktörün ısıtılması gerekmektedir. Reaktörün ısıtılması için gereken enerji miktarı ise toplam ısıl gücün %15'si mertebelerindedir (Url-3). Bu orandan hareketle piroliz için gereken ısı miktarı;

$$11,6 \text{ MW} \times \%15 = 1,74 \text{ MW} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Üretilen gaz miktarı

Reaktörde oluşacak gaz miktarı toplam rejeğin %10'u olarak kabul edilmiştir. Bu durumda piroliz gazı miktarı;

$$1.666,7 \text{ kg/saat} \times 0,10 = 167 \text{ kg/saat} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Üretilen gazın ısıl değerinin; piroliz reaktörüne giren ısıl gücün %5'ine denk geldiği kabul edilmiştir. Piroliz tankının ısıl dengesinden;

$11,6 \text{ MW} + 1,74 \text{ MW} - 1,046 \text{ MW} = 12,29 \text{ MW}$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda gaza ait ısıl enerji; $12,29 \text{ MW} \times 0,05 = 0,61 \text{ MW}$ olarak hesaplanmıştır.

Ham yağ miktarı

Reaktörde oluşan piroliz yağ miktarı %80 olarak kabul edildiğinde;

$$1.666,7 \text{ kg atık/sa} \times 0,80 = 1.333 \text{ kg/saat yağ olduğu hesaplanmıştır.}$$

Üretilen yağın ısıl değerinin; piroliz reaktörüne giren ısıl gücün %90'ına denk geldiği kabul edildiğinde;

Yağa ait ısıl enerji; $11,6 \text{ MW} \times 0,90 = 10,44 \text{ MW}$ olarak hesaplanmıştır.

Kül miktarı

Reaktörde oluşacak kül miktarı %10 olarak kabul edildiğinde;

$1.666,7 \text{ kg/saat} \times 0,10 = 166,7 \text{ kg/saat}$ olarak hesaplanmıştır.

Üretilen külün ısıl değerinin; piroliz reaktörüne giren ısıl gücün %5'ine denk geldiği kabul edilmiştir. Bu durumda küle ait ısıl enerji;

$12,29 \text{ MW} \times 0,05 = 0,61 \text{ MW}$ olarak hesaplanmıştır.

Distilasyon için gereken enerji

Ham yağın distilasyonu için baz alınan örnek proseste belirtilen gerekli ısı enerjisi miktarı %16 olarak kabul edildiğinde, bu sistemde gerekli enerji miktarı;

$1.333 \text{ kg/saat} \times 0,16 = 213 \text{ kW}$ 'a karşılık gelmektedir.

Distilasyon işleminde geride kalan kalıntıların, sisteme giren ham yağın %10'unu oluşturacağı kabul edildiğinde yaklaşık 133 kg/saat kalıntı oluşturacağı bulunur.

Bu durumda elde edilen dizel yakıt miktarı;

$1.333 \text{ kg/saat} - 133 \text{ kg/saat} = 1.200 \text{ kg/saat}$ olarak hesaplanır.

Dizel yakıtın ısıl değeri ham yağa ait ısıl değer toplamını veren 10.44 MW değerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Dizel yakıtın ısıl değeri;

$((10,44 \text{ MW}) \times (239 \text{ kcal/s/MW}) \times (3.600 \text{ s/saat})) / (1.200 \text{ kg dizel yağı/saat})$
 $= 7.485 \text{ kcal/kg dizel yağı}$ olarak hesaplanır.

Aynı miktarda dizel yakıtın denk geldiği doğalgaz miktarı ise şöyle hesaplanır;

$(1.200 \text{ kg dizel/saat} \times 7.485 \text{ kcal/kg dizel}) / 8.250 \text{ kcal/m}^3 \text{ doğal gaz}$
 $= 1.088,7 \text{ m}^3 \text{ doğal gaz/saat.}$

6.4.2 Piroliz prosesi ürünlerinin değerlendirilmesi

6.4.2.1 Dizel yakıtının dizel motorlarda kullanımı ile elektrik üretimi

Tesiste dizel yakıtla çalışan ve elektrik üretimi yapacak içten yanmalı bir dizel motor alımı düşünülmüştür. Tesiste 2 adet doğal gaz yakıtlı kojen tesisi mevcuttur. Bu Kojen

ünitelerinde doğal gaz yerine dizel yakıtla çalışma yapacak şekilde değişiklik yapılabilirse doğal gaza bağımlılık ortadan kaldırılabilecektir. Söz konusu kojenerasyon tesisinin ısı gücü $2 \times 7,2 \text{ MW}$ 'dır. Doğal gazlı kojenerasyon tesisinin elektrik enerjisi üretim verimi % 42 olarak kabul edilmiştir (Liu,2018). Bu durumda kojenerasyon tesisinin ısı gücü ;

$$7,2 \text{ MW} / 0,42 = 16,90 \text{ MW} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Piroliz prosesi sonucu elde edilen motorinin ısı gücü ise 10,44 MW elde edilmiştir. Bu durumda sadece bir adet kojenerasyon tesisinde doğal gaz yerine motorin kullanımına yönelik teknolojik değişiklik yapılarak motorin ile çalıştırılması sağlanabilir.

Tesiste kullanılan elektrik enerjisinin tamamının tesis sınırları içerisinde bulunan 2 adet kojenerasyon tesisinden sağlandığı için, hesaplamalara doğalgaz eşdeğeri dikkate alınarak devam edilmiştir.

$$1.088,7 \text{ m}^3/\text{sa} \times 7.500 \text{ sa/yıl} \times 0,73 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ ton}/1000\text{kg} = 5.960,6 \text{ ton doğalgaz/yıl}$$

Tasarruf edilen sera gazı miktarı şöyle hesaplanır;

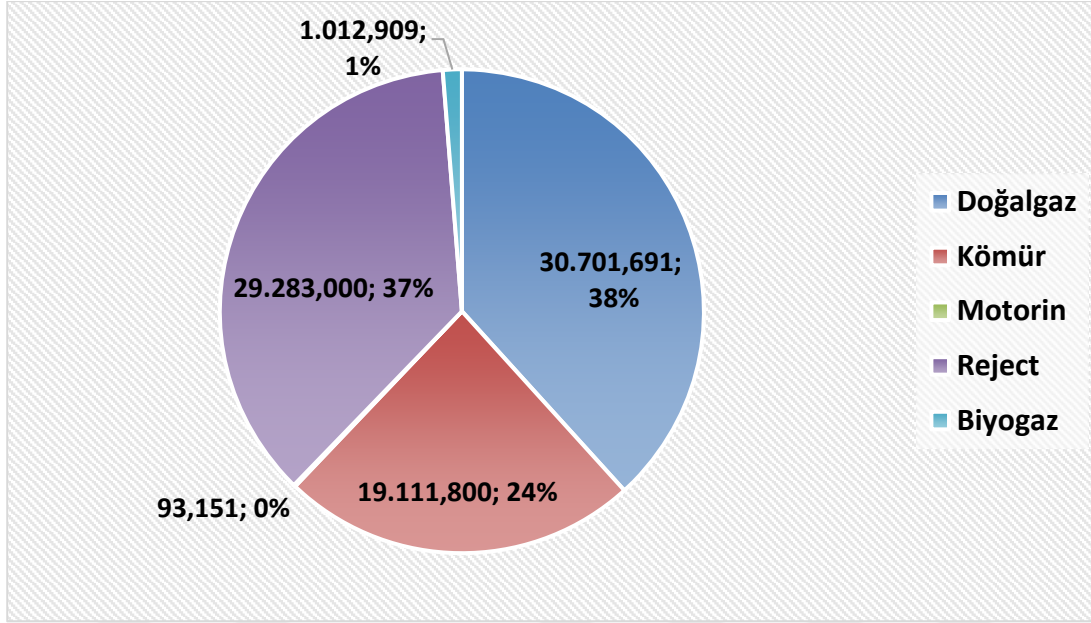
$$5.960,6 \text{ ton doğalgaz/yıl} \times 58,66 \text{ ton/TJ} \times 54,04 \text{ TJ/kt} \times 1\text{kt}/1000 \text{ ton} = 18.895 \text{ ton CO}_2/\text{yıl.}$$

6.4.3 Azaltılan sera gazı miktarı

Piroliz sonrasında üretilen motorin miktarı (1.200 kg dizel yakıt/saat) $1.088,7 \text{ m}^3$ kadar doğalgaza yada $4.384,3 \text{ kwh}$ elektriğe eşdeğerdır. Motorinin doğalgaz eşdeğeri $5.960,6 \text{ ton doğalgaz/yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Dizel motor ile elde edilen elektrik üretimi ile birlikte $5.960,6 \text{ ton/yıl}$ kadar doğalgaz tüketimi azalması söz konusu olduğunda doğalgaz faaliyet verisinin $15,583.87 \text{ ton/yıl}$ seviyesinden yaklaşık $9.623,3 \text{ ton/yıl}$ seviyelerine düştüğü hesaplanmıştır.

Bu durumda Senaryo 2'den kaynaklı toplam sera gazı emisyonu miktarı $80.203 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$ olarak hesaplanmış olup toplamda $19.016 \text{ ton/yıl CO}_2$ kadar tasarruf sağlanması mümkündür. Şekil 6.7'de kaynak akışlarından kaynaklı emisyon dağılımı verilmiştir.



Şekil 6.7: Senaryo 2’den kaynaklı sera gazı emisyonları dağılımı.

6.5 Senaryo 3: Kurutma Bacasından Çıkan Su Buharının Soğutularak Yoğunlaştırılması Ve Kullanılması

Kurutma bacalarında atmosfere salınan gazın sıcaklık ve nem değerleri araştırılmıştır. Baca gazı çıkış sıcakları 50 °C civarında yer almakta olup, bu sıcaklık geri kazanılabilir miktarın oldukça altında yer almaktadır. Bu sebepten dolayı enerji verimliliğine yönelik başka alternatif bir yol bulunamamıştır.

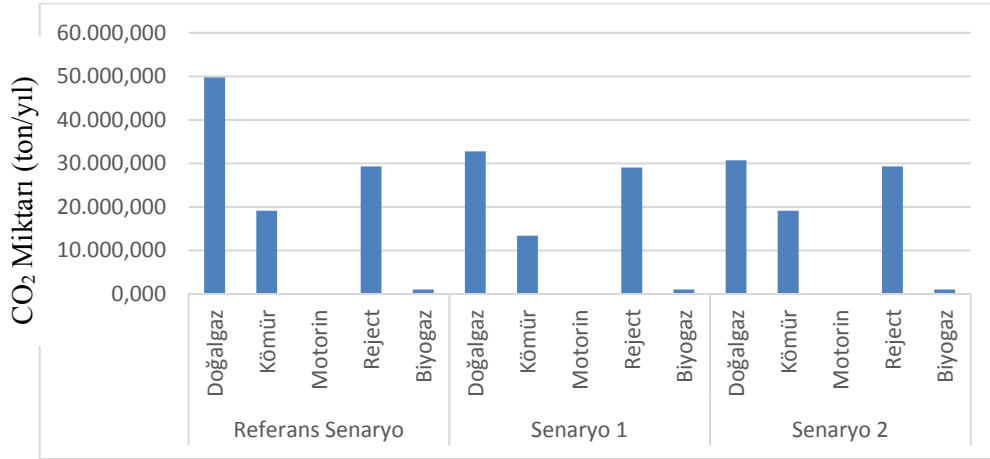
6.6 Senaryoların Karşılaştırılması

Tesisin faaliyetleri sonucunda meydana gelen sera gazı emisyonları referans senaryo ile belirlenmiştir. Referans senaryoda tesisten kaynaklı tüm sera gazı emisyonları toplamda 99.219,01 ton CO₂ /yıl emisyon oluştuğu hesaplanmıştır.

Gazlaştırma işlemine dayalı Senaryo 1’de syngasdan elde edilen buhar ile birlikte 5.322 ton/yıl kadar doğalgaz tüketimi azalması söz konusu olduğundan doğalgaz faaliyet verisinin 15.583,87 ton/yıl seviyesinden 10.261 ton/yıl seviyelerine düşmektedir. Ayrıca akışkan yataklı kazanda alternatif olarak katranın kullanılması ile 6.470 ton/yıl linyit tasarrufu kabul edildiğinde yıllık linyit tüketim değerinin 21.496,90 ton/yıl seviyelerinden 15.027 ton/yıl seviyelerine düştüğü, referans senaryoda belirtildiği gibi tesisten çıkan rejekt atıkları enerji tesislerine nakliyesinden kaynaklı oluşan 243 ton CO₂/yıl emisyonunun, rejekt bertarafın tesisinin saha içerisinde yapılmasından dolayı, sera gazı emisyonlarının düştüğü hesaplanmıştır.

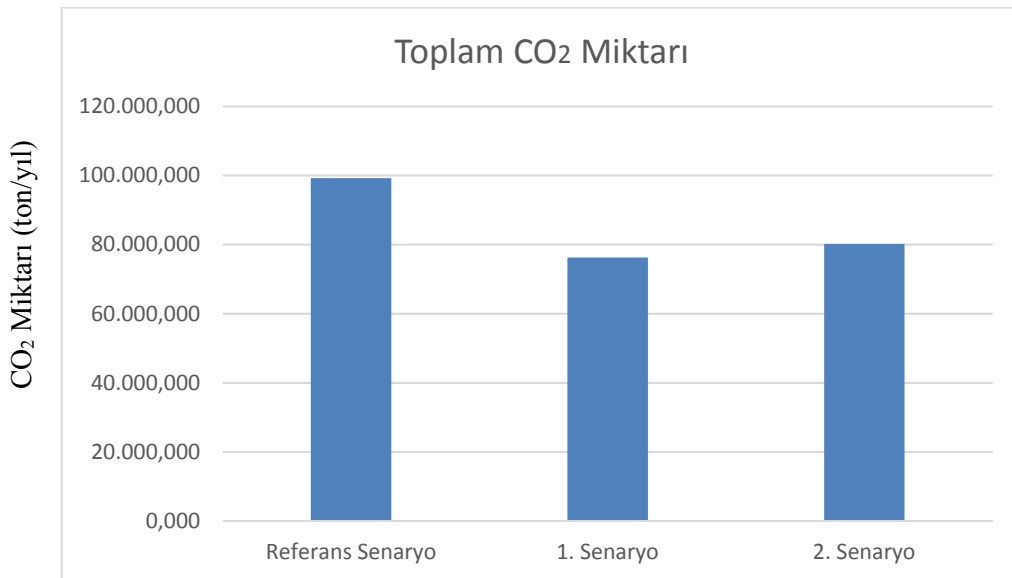
Piroliz işlemine dayalı Senaryo 2’de dizel motor ile elde edilen elektrik üretimi ile birlikte 5.960 ton/yıl kadar doğalgaz tüketimi azaldığı hesaplanmıştır. Bu durumda doğalgaz faaliyet verisinin 15.583,87 ton/yıl seviyesinden yaklaşık 9,623 ton/yıl seviyelerine düşmektedir.

Yapılan senaryo çalışmaları sonucunu Şekil 6.8’de özetleyebiliriz. Senaryo 3 uygulamada başarılı olmadığı için değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 6.8: Senaryoların karşılaştırılması.

Senaryo 1’den kaynaklı toplam sera gazı emisyonu miktarı 76.242 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmış olup referans senaryoya kıyasla toplamda 22.977 ton/yıl CO₂ kadar tasarruf sağlanması mümkündür. Senaryo 2’den kaynaklanan toplam sera gazı emisyonu miktarı 80.202 ton CO₂/yıl seviyelerinde olduğu ve referans senaryoya kıyasla toplamda 19.017 ton/yıl CO₂ kadar tasarruf sağlandığı hesaplanmıştır.



Şekil 6.9: Tasarruf edilen emisyon miktarı.

Şekil 6.9'a baktığımızda referans senaryoya kıyasla Senaryo 1'in uygulanması %23 oranında emisyon azaltımına sebep olurken, Senaryo 2'nin uygulanması ise %19 oranında azaltıma sebep olmaktadır. Bu durumda en düşük sera gazı emisyonu Senaryo 1'den kaynaklanmakta olduğu görülmüştür.



7. MEVCUT EN İYİ TEKNOLOJİ KAPSAMINDA SEKTÖRDE UYGULANABİLECEK İYİLEŞTİRMELER

Kağıt ve karton üretimi sektöründe Mevcut En iyi Teknoloji (MET) kapsamında gerçekleştirilebilecek uygulamalar ayrıntılı biçimde tanımlanmıştır(BREF,2015). Bu uygulamalar daha çok sürdürülebilir kalkınma kavramı ile uyumludurlar. Özellikle doğal maddelerin tüketiminin azaltılmasını, enerji verimliliğinin artırılmasını, atık ısılarından yararlanılmasını, su kullanımını ve atıksu oluşumunun azaltılmasını, fosil yakıt yakılması ve hava kirleticilerin oluşumunun azaltılmasını, atık oluşumunu minimize etmeyi, esas almaktadır.

MET uygulamaları kağıt ve karton üretiminde kullanılan kraft kağıdı, sülfite kağıdı, mekanik ve yarı mekanik kağıt üretimi, geri kazanılmış kağıttan mürekkep giderimsiz ve giderimli kağıt üretimi ile atıkların geri kazanılmasında yakma üniteleri ve kireç işlemleri yanında odun dışı malzemelerden kağıt üretimi, ısı enerjisi için yakma tesisleri, içten yanmalı motorlar gibi yardımcı prosesleri de kapsamaktadır. Burada geri dönüşümden gelen atık kağıtlarla kağıt üretim prosesine ait MET uygulamaları ağırlıklı olarak ele alınmıştır.

7.1 Genel MET Önerileri

Genel MET kapsamında kağıt sektöründe uygulanabilecek öneriler aşağıda kısa başlıklar halinde verilmiştir.

Çevre Yönetim Sisteminin kurulması,

Malzeme yönetimi ve iyi işletmeciliğin gerçekleştirilmesi,

Su ve atıksu yönetimi,

Enerji tüketimi ve verimliliği,

Koku emisyonu kontrolünü,

Hava ve su ortamına verilen kirletici emisyonların izlenmesini,

Atıkların yönetilmesini,

Suya olan emisyonlar,
Gürültü emisyonları,
Tesisin kapatılmasının yönetilmesi.

7.2 Geri Kazanılmış/Dönüştürülmüş Kağıtlardan Kağıt Üretimi

MET 49, MET 51, MET 52C ve MET 53 geri kazanılmış kağıtlardan kağıt üretimi proseslerine uygulanmaktadır.

7.2.1 Malzeme yönetimi

Atık kağıt depolanan sahaların betonlanması, bu alanlardan akışa geçen kirlenmiş yağış sularının toplanarak atıksu arıtma sistemine gönderilmesi(bu öneri sınırlı ölçüde uygulanabilmektedir), temiz yağış sularının (çatılardan) ayrık deşarjı veya biriktirilmesi, atık kağıt depolama alanının etrafının çitlerle kapatılarak rüzgar ile kağıtların uçuşmasının engellenmesi(genellikle uygulanabilir), atık kağıt depolama alanının tozlarının, kağıt kırıntıları ve elyaflar vb. temizlenmesi (genellikle uygulanabilir), atık kağıt balyalarının bir çatı altında toplanarak hava koşullarından etkilenmenin önlenmesi (sınırlı uygulama) olarak verilmektedir.

7.2.2 Atıksular ve suya olan emisyonlar

Su sistemlerinin ayrılması, yıkmaların ters akımda yapılması ve su geri devrinin sağlanması, biyolojik arıtma sonrası arıtılmış suların kısmen geri devrettirilmesi (genellikle uygulanabilir), elek altı sularının filtre edilmesi şeklinde verilmektedir. Alıcı ortama doğrudan deşarj edilmesi durumunda mürekkep giderimli atık kağıttan kağıt üretim proseslerinde yıllık ortalama bazında KOİ yükü 0,9-3,0 kg/ton, TAM 0,08-0,3 kg/ton, TN 0,01-0,1 kg/ton, TP 0,002-0,01 kg/ton ve AOX 0,05 kg/ton limitleri sağlanmalıdır. BOİs konsantrasyonu 24 saatlik kompozit için <25 mg/l mertebelerinde olmalıdır.

7.2.3 Enerji tüketimi ve verimliliği

Ayrık elyaflar geri kazanılması için yüksek verimlilikte hamurlaştırma, etkili bir ince ve kaba elyaf ayırımının sağlanabilmesi için eleklerin rotorların dizaynının optimize edilebilmesi ve böylece daha küçük ekipman kullanarak daha az enerji tüketiminin sağlanması, yeniden haümurlaştırma öncesi istenmeyen maddelerin mümkün olduğunca ayrılması ile stok hazırlamada enerji tasarrufu sağlamak (genellikle uygulanabilir).

Yukarıda verilen MET'ler sadece atık kağıttan kağıt üretiminin yapıldığı tesislere özeldir. Diğer kağıt üretim prosesleri için MET'ler çok daha ayrıntılı şekilde tanımlanmışlardır.

Atık kağıttan kağıt üretimi işlemlerinde özellikle pulptan kağıt üretimi safhasına ait Bref dokümanında verilen MET'lerin büyük ölçüde incelenen tesiste mevcut ve uygulanmakta olduğu belirtilmelidir.





8. SONUÇLAR

Bu tezde; kağıt sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları özelde geri dönüşüm kağıtlarının kullanıldığı bir procesten oluşan atıkların enerjisinden yararlanılması durumunda ne mertebede azaltılabileceğine yönelik teorik bir değerlendirme yapılmıştır. Çevreye oldukça önemli katkısı olan atık kağıt geri dönüşüm tesisinin tükettiği fosil yakıtlardan kaynaklı sera gazı emisyonlarının miktarının belirlenmiş, tesisin mevcut üretim hattında iyileştirme olanaklarının araştırılarak, sera gazı emisyon azaltımına yönelik alternatiflerinin araştırılması yapılmıştır. Tesisin mevcut durumunun, tüm dünyada uygulanan en iyi teknoloji indikatörleri ile karşılaştırıldığında su kullanımı, atıksu karakteristiği vs. konularda iyileştirmeye yönelik alanları tespit edilmiştir.

Tesiste oluşan rejekt miktarı (%15-20), mevcut en iyi uygulamalarda görülen (%4 - 10) oranının oldukça üzerinde kaldığı görülmüştür. Yapılan araştırmalar sayesinde bu durumun tesis özelinde olmadığı, Türkiye’de yer alan kağıt geri dönüşüm tesislerinin bir problemi olduğu anlaşılmaktadır. Yerli kağıdın ithal kağıda oranla kalitesinin düşük olması, atık kağıt içerisinde yer alan bu rejektlerin fazla olması hem ayıklama için iş gücü kaybı hem de ekonomik anlamda ciddi maliyetlere sebep olmaktadır (Url-13).

Tesiste doğrudan ve dolaylı olarak fosil yakıt tüketimi gerçekleştirilen kaynaklar üzerinden sera gazı emisyon hesabı yapılmıştır. Referans senaryonun belirlenmesi ile tespit edilen senaryolar ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Tesiste enerji verimliliğine yönelik yapılan çalışmaların haricinde yeni çevreci teknolojilerin ilave edilmesi ile doğal kaynak tüketiminin azaltılması hedeflenmiştir.

Tesisten kaynaklı tüm sera gazı emisyonları toplamda 99.219 ton CO₂ /yıl emisyon oluştuğu hesaplanmıştır.

Gazlaştırma işlemine dayalı Senaryo 1’de syngasdan elde edilen buhar ile birlikte 5.322 ton/yıl kadar doğalgaz tüketimi azalması söz konusu olduğunda doğalgaz faaliyet verisinin 15.583,87 ton/yıl seviyesinden 10.261 ton/yıl seviyelerine düştüğü, akışkan yataklı kazanda alternatif olarak katranın kullanılması ile 6.470 ton/yıl linyit

tasarrufu kabul edildiğinde yıllık linyit tüketim değerinin 21.496,90 ton/yıl seviyelerinden 15.027 ton/yıl seviyelerine düştüğü, referans senaryoda belirtildiği gibi tesisten çıkan rejekt atıkları enerji tesislerine nakliyesinden kaynaklı oluşan 243 ton CO₂/yıl emisyonun, rejekt bertarafın tesisin saha içerisinde yapılmasından dolayı, düştüğü hesaplanmıştır. Senaryo 1'den kaynaklı toplam sera gazı emisyonu miktarı 76.242 ton CO₂/yıl olarak hesaplanmış olup toplamda 22.977 ton/yıl CO₂ kadar tasarruf sağlanması mümkündür.

Piroliz işlemine dayalı Senaryo 2'de dizel motor ile elde edilen elektrik üretimi ile birlikte 5.960 ton/yıl kadar doğalgaz tüketimi azaldığı hesaplanmıştır. Bu durumda doğalgaz faaliyet verisinin 15.583,87 ton/yıl seviyesinden yaklaşık 9,623 ton/yıl seviyelerine düştüğü, tesisin hesaplanan toplam sera gazı emisyonu miktarı 80.203 ton CO₂/yıl'a düştüğü ve toplamda 19.017 ton/yıl CO₂ kadar tasarruf sağlandığı hesaplanmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda referans senaryoya kıyasla Senaryo 1'in uygulanması %23 oranında emisyon azaltımına sebep olurken, Senaryo 2'nin uygulanması ise %19 oranında azaltıma sebep olmaktadır. Bu durumda en düşük sera gazı emisyonu Senaryo 1'den kaynaklanmakta olduğu görülmüştür. Senaryo 3 uygulamada başarılı olmadığı için değerlendirmeye alınmamıştır.

Ancak tesisin rejekt analizinin mevsimsel değişimi göz önünde bulundurularak tasarımının yeniden yapılması gerekmektedir. Gazlaştırma prosesi ile elde edilen syngasın kompozisyonu laboratuvar ortamında test edilip, fizibilite çalışmalarının bu doğrultuda yapılması önerilmektedir. Maliyetlerle ilgili çalışmaların yapılması daha gerçekçi seçimlerin yapılmasına imkan verecektir.

Tesiste Mevcut En iyi Teknoloji yaklaşımında belirtilen düzenlemelerin ayrıntılı değerlendirilmesi verimlilik yanında enerji etkinliğinde artıracaktır.

8.1.Gelecekte Yapılması Önerilen Çalışmalar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların maliyetleri de içerecek şekilde yeniden ele alınması ve net fayda maliyet analizinin yapılarak karar vericilere sunulması önemli bir geliştirme faaliyeti olacaktır.

Bu tesis için sadece atıklardan enerji geri kazanımı kısmı değil elektrik enerjisi tüketimi, atık ısı geri kazanımı, su kullanımı ve atıksu oluşumu, atıksu arıtımında

enerji dengesi, personel ulaşımı, hammadde ve ürün taşınımı yağmur suyu yönetimi gibi konuların da ele alınması sağlanarak entegre bir sera gazı envanteri oluşturulması ve bununla Yařam Döngüsü Analizi yapılması önerilir.

İncelenen bu tesisten elde edilen bilgilerin Türkiye'nin bütün atık kağıttan kağıt üretimi yapan sektörlerine uygun ölçekler kullanılarak yaygınlaştırılması ile sektörün kazanımlarının ve sera gazı emisyonlarındaki azaltımların ortaya konulması ve ülke ekonomisine olacak katkılarının irdelenmesi yararlı olacaktır.





KAYNAKLAR

- Akgül, G.** (2017). Biyokömür Üretimi ve Uygulama Alanları. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Bilim Teknik Dergisi*, 2147-9364, (s.485-496).
- Möbius, C. H.** (2006). Water Use and Wastewater Treatment in Papermills. Augsburg, Germany.
- Dalkılıç, Y.** (2012). *Atık kağıt teknolojilerinde karşılaşılan sorunlar.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dash, A.**(2012). *Thermal pyrolysis of medical waste (plastic syringe) for production of useful liquid fuels (Yüksek lisans tezi).* National Institute of Technology Rourkela, Department of Chemical Engineering, India.
- Demirtaş, C., Danişmaz, M.** (2016). Gazifikasyon Yöntemiyle Sentez Gazı Üretimi ve Gaz Yakma Sistemlerinde Kullanımı. *International Journal of Nuclear and Radiation Science and Technology. Vol.1-No.2, 14-19.*
- Dumlu, L.** (2014). *Kağıt endüstrisi atıksularına uygun arıtma teknolojilerinin belirlenmesi ve Türkiye'deki mevcut durumun analizi.* (Uzmanlık Tezi). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetim Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Energy Recovery from Municipal Solid Waste.** (n.d.). Pyrolysis and Gasification Technologies.
- European Commission.** (2015). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper, and Board.*(ISBN 978-92-79-48167-3).(s.549-823) European Commission.
- Haig S., Morrish L., Morton R.,** (2015). *Plastics to Oil Products Final Report.* (s.59-65). Zero Waste Scotland.
- Haifeng, L., Junsheng, M., Laihui, T., Guixiang, M., Zunqing, Z., Mingfa, Y.** (2018). Investigation on the Potential of High Efficiency for Internal Combustion Engines. *MDPI Journal. Energy 2018, 11-513.*
- İstanbul Sanayi Odası,** (2018). *Küresel Rekabette İstanbul Sanayi Odası Meslek Komiteleri Sektör Stratejileri Projesi* (Sayfa XI-XV) İstanbul.
- Kanat, Z., Keskin, A.** (2017). Dünyada iklim değişikliği üzerine yapılan çalışmalar ve türkiye'de mevcut durum. *Atatürk Ün. Ziraat Fak. Dergisi. 49(1):67-68, 2018. 1300 – 9036*
- Kağıtta çevreci üretimin sırrı, geri dönüşüm.** (2018, Ekim). *Kontrol Dünyası Dergisi.* (s. 34-39)
- Maden, S., Arslankaya, E.** (2017). Regional Waste Paper Recycling Inventory Study in Turkey and Distribution of Resyeling Qualist Classes. *Uluslararası Doğa ve Mühendislik Dergisi, EISSN: 2146-0086, 11(3) (34-38).*

- Mutombo, D. T.** (2004, May). Internal circulation reactor: pushing the limits of anaerobic industrial effluents treatment technologies. *In Proceedings of the 2004 Water Institute of Southern Africa (WISA) Biennial Conference* (pp. 608-616).
- Okutan, H. C., Atık ve Biyokütleden Enerji Üretimi**(2018). Termal (Isısal) Yöntemler Ders Sunumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliği.** (2014). T.C. Resmi Gazete, 29068, 22 Temmuz 2014.
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2018). Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2016. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu
- Türkiye İstatistik Kurumu,** (2017). National Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2015. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu
- Yakut, A.** (2012). Geri dönüştürülebilir kullanılmış kağıttan yeni kağıt üretiminin irdelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 127, 68-74
- Url-1** <<https://www.a-ged.org.tr/63/atik-kagit-nedir>>, erişim tarihi 02.03.2019
- Url-2** <<https://www.tuik.gov.tr>>, erişim tarihi 02.03.2019
- Url-3** <www.zerowastescotland.org.uk>, erişim tarihi 02.05.2019
- Url-4**<<https://yesilekonomi.com/karbondiyoksit-yogunlugu-yeni-bir-esigi-daha-asti/>>, erişim tarihi 15.05.2019
- Url-5** <<http://cngeurope.com/fuel-calorific-values/>>, erişim tarihi 15.05.2019
- Url-6** <<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>>, erişim tarihi 15.05.2019
- Url-7** <<https://gazelektrik.com/enerji-piyasalari/elektrik-fiyatlari#serbest-tuketici>>, erişim tarihi 15.05.2019
- Url-8** <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyo_gazlastirme.aspx>, erişim tarihi 15.05.2019
- Url-9** <<https://iklim.csb.gov.tr/bmidcs-ve-turkiye-i-4376>>, erişim tarihi 02.04.2019
- Url-10** <<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27675>>, erişim tarihi 01.05.2019
- Url-11** <<https://www.iklimhaber.org/turkiyenin-toplam-sera-gazi-emisyonu-ve-kisi-basina-dusen-emisyonlar-2016da-da-artis-kaydetti/>>, erişim tarihi 01.05.2019
- Url-12**<<https://recycled-papers.co.uk/green-matters/why-use-recycled-papers/co2-and-greenhouse-gases>>, erişim tarihi 01.06.2019
- Url-13** <<https://serhanmaden.com.tr/kagit-geri-donusumu.html>>, erişim tarihi 01.06.2019
- Url-14** <<http://www.focuspress.com.au/how-a-small-effort-in-switching-from-virgin-pulp-to-100-recycled-paper-has-a-big-impact/>>, erişim tarihi 01.06.2019
- Url-15** <<https://revivepaper.com/Paper-and-Sustainability-Facts.html>>, erişim tarihi 20.06.2019
- Url-16** <https://a-ged.org.tr/gbs_2016.pdf>, erişim tarihi 20.06.2019

Url-17 <<https://environmentalpaper.org/stateoftheindustry2018/>>, erişim tarihi 10.10.2018

Url-18 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119303090>>, erişim tarihi 02.04.2019





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Merve Kübra TÜTER
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.04.1990, Kadıköy
E-posta :mkbahceci@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :Uludağ Üniversitesi, 2012, Çevre Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016- Türk Loydu Uygunluk Değerlendirme Hizmetleri A.Ş’de kalite yönetim sistemleri denetçisi ve sera gazı doğrulayıcısı olarak görev yapmakta.
- 2012-2016 yılları arasında özel bir firmada ÇED uzmanı ve çevre görevlisi olarak görev alındı.