

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİVİNİL KLORÜR (PVC) GERİ DÖNÜŞÜM TESİSİNİN  
YANGIN GÜVENLİĞİ VE FINE KINNEY ANALİZ METODU İLE  
YANGIN RİSKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali ZEYNELGİL**

**Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı**

**HAZİRAN 2024**



T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİVİNİL KLORÜR (PVC) GERİ DÖNÜŞÜM TESİSİNİN  
YANGIN GÜVENLİĞİ VE FINE KINNEY ANALİZ METODU İLE  
YANGIN RİSKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali ZEYNELGİL**

**Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı**

**Prof.Dr. Mustafa Şahin DÜNDAR**

**HAZİRAN 2024**



Ali ZEYNELGİL tarafından hazırlanan “Polivinil Klorür (PVC) Geri Dönüşüm Tesisinin Yangın Güvenliği ve Fine Kinney Analiz Metodu İle Yangın Riskinin Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 26.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yangın ve Yangın Güvenliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

**Jüri Başkanı :**           **Prof.Dr. M.Şahin DÜNDAR (Danışman)** .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :**           **Prof.Dr. Hüseyin ALTUNDAĞ** .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :**           **Prof.Dr Cenk ÇELİK** .....  
Kocaeli Üniversitesi



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “POLİVİNİL KLORÜR (PVC) GERİ DÖNÜŞÜM TESİSİNİN YANGIN GÜVENLİĞİ VE FİNE KİNNEY ANALİZ METODU İLE YANGIN RİSKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(04/07/2024).

Ali ZEYNELGİL





*Sevgili eşim Selva Zeynep ZEYNELGİL, oğullarım Halil Efe ZEYNELGİL ve  
Etem Yağız ZEYNELGİL'e...*



## **TEŐEKKÖR**

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlamasından yazılmasına kadar tüm aşamalarda yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden ve beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Mustafa Şahin DÜNDAR'a, araştırma çalışmalarında her türlü desteği sağlayan Arş. Gör. Dr. Celal CANER'e, bu süreç boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Selva Zeynep ZEYNELGİL ve çocuklarım Halil Efe ZEYNELGİL, Etem Yağız ZEYNELGİL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali ZEYNELGİL



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....	ix
TEŞEKKÜR .....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xv
KISALTMALAR .....	xiii
SİMGELER .....	xv
TABLO LİSTESİ .....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ .....	xix
ÖZET .....	xxiii
SUMMARY .....	xxiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. YANMA VE YANGIN İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. Yanma Nedir? .....	3
2.1.1. Yanma cinsleri .....	4
2.1.2. Yanıcı maddeler .....	7
2.2. Yangın Nedir? .....	10
2.2.1. Yangın etkileri.....	10
2.2.1.1. Sıcaklık etkisi .....	10
2.2.1.2. Duman etkisi .....	11
2.2.1.3. Zehirli gaz etkisi .....	11
2.2.2. Yangının yayılma çeşitleri .....	11
2.2.2.1. Konveksiyon (Taşınım).....	11
2.2.2.2. Kondüksiyon (İletim).....	12
2.2.2.3. Radyasyon (Işınım) .....	13
2.2.3. Yangın sınıfları.....	14
2.2.3.1. A sınıfı yangınlar .....	14
2.2.3.2. B sınıfı yangınlar .....	15
2.2.3.3. C sınıfı yangınlar.....	15
2.2.3.4. D sınıfı yangınlar.....	16
2.2.3.5. F sınıfı yangınlar .....	17
<b>3. POLİVİNİL KLORÜR (PVC) İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>19</b>
3.1. Polivinil Klorür (PVC) .....	19
3.2. Polivinil Klorür (PVC) Yapısı.....	20
3.3. Polivinil Klorür (PVC) Monomeri .....	23
3.4. Polivinil klorür (PVC) Üretim Yöntemi ve Teknolojisi.....	25
3.4.1. Süspansiyon polimerizasyonu .....	25
3.4.2. Emülsiyon polimerizasyonu .....	26
3.4.3. Kütle polimerizasyonu .....	26
3.4.4. Çözelti polimerizasyonu.....	27
3.4.5. Mikro süspansiyon polimerizasyonu.....	27
3.5. Polivinil klorür (PVC)'ün Isıl Bozunması .....	27
3.5.1. PVC'nin ısıl bozunması (oksijensiz ortam) .....	27

3.5.2. PVC'nin Isıl ve oksidatif bozunması .....	29
3.6. Polivinil klorür (PVC)'ün Özelliklerini Etkileyen Faktörler.....	30
3.6.1. PVC'nin fiziksel özelliklerine etki eden etmenler .....	30
3.6.2. PVC'nin mekanik özellikleri.....	30
3.6.3. PVC'nin kristal yapısı .....	31
3.7. PVC'nin İşleme Yöntemi .....	32
3.8. PVC'nin Kullanım Alanları.....	32
3.9. PVC'nin Geri Dönüşümü .....	33
3.9.1. PVC atıklarının yönetimi .....	37
3.9.2. PVC atıklarının depolanması .....	37
3.9.3. PVC ürünlerinin alternatifleri.....	38
3.9.4. PVC geri dönüşüm tesislerinin yangın güvenliği.....	39
<b>4. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>43</b>
4.1. Risk Değerlendirme Yöntemi.....	43
4.1.1. Risk değerlendirme karar matrisi (L matris metodu) .....	45
4.1.2. Tehlike ve çalışabilirlik metodu (HAZOP).....	45
4.1.3. Denetim listesi metodu.....	45
4.1.4. Fine-Kinney risk analiz metodu .....	46
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>51</b>
5.1. PVC Geri Dönüşüm Tesislerindeki Yangın Risk Değerlendirilmesi .....	51
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>63</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>73</b>

## **KISALTMALAR**

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>AFFF</b>	: Aqueous film-forming concentrate
<b>DBP</b>	: Di-buflflatat
<b>DOP</b>	: Di-oktilflatat
<b>DÖF</b>	: Düzenleyici önleyici faaliyetler
<b>E</b>	: Etki
<b>F</b>	: Frekans
<b>İ</b>	: İhmal
<b>LEL</b>	: Lower Explosive Limit
<b>LPG</b>	: Likit Petrol Gazı
<b>NFPA</b>	: National Fire Protection Association
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PVC</b>	: Polivinil klorür
<b>R</b>	: Risk değeri
<b>UEL</b>	: Upper Explosive Limit
<b>UNEP</b>	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
<b>UVCE</b>	: Unconfined Vapor Cloud Explosion
<b>VCM</b>	: Vinil Klorür Monomeri





## **SİMGELER**

<b>%</b>	: Yüzde [Birim]
<b>C</b>	: Karbon
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>CuO</b>	: Bakır Oksit
<b>Fe</b>	: Demir
<b>FeO</b>	: Demir oksit
<b>FeSO<sub>4</sub></b>	: Demir sülfat
<b>H</b>	: Hidrojen
<b>HCl</b>	: Hidroklorik asit
<b>H<sub>2</sub>O</b>	: Su
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	: Hidrojen peroksit
<b>O<sub>2</sub></b>	: Oksijen



## TABLOLİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Yanıcı malzeme örnekleri. ....	7
<b>Tablo 2.2.</b> Yanıcı gazların dip ve yukarı infilak sınırı. ....	8
<b>Tablo 2.3.</b> Yanıcı malzemelerin alevlenme sıcaklığı. ....	9
<b>Tablo 3.1.</b> PVC özellikleri. ....	22
<b>Tablo 3.2.</b> VCM'nin özellikleri. ....	23
<b>Tablo 3.3.</b> PVC homopolimerinin genel özellikleri. ....	31
<b>Tablo 3.4.</b> PVC işleme yöntemleri. ....	32
<b>Tablo 3.5.</b> PVC kullanım payı. ....	33
<b>Tablo 4.1.</b> Etki değeri tablosu. ....	49
<b>Tablo 4.2.</b> Frekans değeri tablosu. ....	50
<b>Tablo 4.3.</b> İhtimal değeri tablosu. ....	50
<b>Tablo 4.4.</b> Risk düzeyine göre karar ve eylemler. ....	52
<b>Tablo 5.1.</b> PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu. ....	54



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Yangın üçgeni.....	3
Şekil 2.2. Demirin paslanması.....	5
Şekil 2.3. Odun parçasının yanması.....	5
Şekil 2.4. Patlama şeklinde yanma.....	6
Şekil 2.5. Detonasyon.....	6
Şekil 2.6. Taşınım ile ısı nakli.....	12
Şekil 2.7. İletim ile ısı nakli.....	12
Şekil 2.8. Işınım ile ısı nakli.....	13
Şekil 2.9. A sınıfı yangın.....	14
Şekil 2.10. B sınıfı yangın.....	15
Şekil 2.11. C sınıfı yangın.....	16
Şekil 2.12. D sınıfı yangın.....	17
Şekil 2.13. F sınıfı yangın.....	17
Şekil 3.1. Vinil klorür ve polivinil klorür yapısı.....	21
Şekil 3.2. Etilen VCM üretimi.....	24
Şekil 3.3. Dikloreten oluşumu.....	24
Şekil 3.4. Asetilen esaslı VCM üretimi.....	24
Şekil 3.5. PVC molekül yapısı.....	25
Şekil 3.6. PVC'nin ısıl bozunma aşamaları.....	28
Şekil 3.7. PVC'nin ısıl ve oksidatif bozunma aşamaları.....	29
Şekil 3.8. Plastik malzemenin yaşam döngüsü.....	34
Şekil 3.9. Geri dönüşüm yöntemlerinin şematik görünümü.....	35
Şekil 4.1. Beş safhada risk analiz döngüsü.....	44
Şekil 5.1. Mevcut risk değerinin yaklaşık yüzde oranı.....	60
Şekil 5.2. DÖF sonrası risk değerinin yaklaşık yüzde oranı.....	61



# **POLİVİNİL KLORÜR (PVC) GERİ DÖNÜŞÜM TESİSİNİN YANGIN GÜVENLİĞİ VE FİNE KİNNEY ANALİZ METODU İLE YANGIN RİSKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

## **ÖZET**

Yeni teknoloji ve artan ihtiyaçlar, insan yaşamını kolaylaştırmak amacıyla yeni bileşikler ve maddelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu maddeler arasında, polivinil klorür (PVC), esneklik, dayanıklılık, düşük maliyet, hafiflik, taşıma ve yerleştirme kolaylığı gibi özelliklerinden dolayı dünya genelinde yapı malzemelerinde en yaygın olarak kullanılan malzeme haline gelmiştir. PVC'nin temel monomerinde bulunan klor atomları, karbon atomlarına kovalent bağlarla bağlıdır ve bu monomerlerden oluşan zincirler arasındaki güçlü etkileşimler sonucunda sert bir polimerik malzeme oluşur.

PVC, düşük yoğunluk, yüksek dayanıklılık, ekonomik üretim süreçleri gibi avantajlarıyla birlikte günümüzde hızla evrilen ve son derece çok yönlü bir malzeme olarak tanınmaktadır. Ambalaj, tarım, elektronik, inşaat, taşımacılık, sağlık, spor ve eğlence gibi farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılan polimerler, her yıl yeni bileşimler ve özelliklerle zenginleştirilerek modern toplumun temel bir bileşeni haline gelmektedir. Ancak, bu malzemelerin biyolojik olarak ayrışmaması ve doğada uzun süre varlığını sürdürebilmesi, küresel çapta ciddi bir plastik atık problemine neden olmaktadır. Bu nedenle, PVC'nin geri dönüşüm süreci ve geri dönüşümü son derece önemlidir.

Geri dönüşüm tesislerinin sayısının artması ve depoladığı malzeme çeşitliliği, günümüzde yangın güvenliği açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Tesislerin açık veya kapalı alanlarda bulunması, yangın güvenliği açısından farklı stratejilere ihtiyaç duyar. Özellikle açık alandaki tesislerin, çevredeki yangın risklerini kontrol altında tutmak ve düzenlemek için çeşitli değişkenlerle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu husus, geri dönüşüm tesislerinde yangın güvenliğinin sağlanması açısından son derece kritiktir.

Ulusal düzenlemelere göre, binaların yangından korunması için Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği gereği işyerlerinde yangın riskinin azaltılması veya kabul edilebilir seviyeye indirilmesi amacıyla risk analizi yapılması zorunludur.

Araştırmada PVC geri dönüşüm tesisinde olası yangın senaryolarına odaklanmıştır. Bu bağlamda, öngörülen tehlikeler detaylı bir şekilde incelenmiş ve yangın risklerinin azaltılması için Fine-Kinney analiz yöntemi kullanılmıştır. Risk analizi yöntemi seçerken en uygun olanın tercih edilmesi büyük önem taşır. Bu yöntemlerde, benzer önceki olayların sıklığı göz ardı edilmemelidir. Risk skoru hesaplamasında, olasılık ve etkinin yanı sıra frekans değerinin de dikkate alınması, analize önemli bir katkı sağlar. Ancak, geçmiş verilere dayalı olarak belirlenen sıklık değeri, analize subjektiflik katabilir. Bu nedenle, Fine-Kinney risk analizi metodu tercih edilmiştir.

Bu çalışma çerçevesinde, Ankara'da bulunan özel bir PVC geri dönüşüm tesisinde yangına sebep olabilecek potansiyel tehlikeler belirlenmiştir. Fine-Kinney yöntemi kullanılarak tanımlanan bu tehlikelerin değerlendirilmesi yapılmış ve bu tehlikelerin neden olabileceği risk değerleri hesaplanmıştır. Ardından, hesaplanan risk değerleri Fine-Kinney yöntemine göre kategorize edilmiştir. Bu kategorilere göre, riskler önceliklendirilmiş ve kabul edilebilir seviyeye indirilmesi için düzeltici ve önleyici faaliyetler belirlenerek uygulanmıştır.

PVC geri dönüşüm tesislerinde muhtemel yangın riskleri araştırılmış, olası tehlikeler tespit edilmiş, risk seviyeleri belirlenmiş ve olumsuz senaryoların önlenmesi için çözümler üzerinde çalışılmıştır. Araştırma, geri dönüşüm tesislerinde yangın güvenliğinin sağlanması ve yangının maddi ve manevi zararlarının azaltılması amacıyla risk analizinin nasıl yapılacağını gösterilmiştir.



# **FIRE SAFETY OF POLYVINYL CHLORIDE (PVC) RECYCLING FACILITY AND ASSESSMENT OF FIRE RISK USING FINE KINNEY ANALYSIS METHOD**

## **SUMMARY**

New technology and increasing needs have led to the development of new compounds and substances to facilitate human life. Among these materials, polyvinyl chloride (PVC) has become the most widely used material in building materials worldwide due to its properties such as flexibility, durability, low cost, lightness, ease of transportation and placement. Chlorine atoms in the basic monomer of PVC are connected to carbon atoms by covalent bonds, and a hard polymeric material is formed as a result of strong interactions between the chains consisting of these monomers.

PVC is today recognized as a rapidly evolving and extremely versatile material, with its advantages such as low density, high durability and economical production processes. Polymers, which are widely used in different sectors such as packaging, agriculture, electronics, construction, transportation, healthcare, sports and entertainment, are enriched with new compositions and properties every year and become a fundamental component of modern society. However, the fact that these materials cannot biodegrade and persist in nature for a long time causes a serious global plastic waste problem. Therefore, the recycling process and recycling of PVC is extremely important.

Since PVC recycling processes, especially mechanical recycling, do not significantly reduce the chain length of PVC molecules, it is thought that recycled PVC can produce products with similar strength and properties to original PVC. PVC polymer can be recycled at least eight times, depending on the application and the condition of the final product, making a significant contribution to reducing polymer waste accumulation and preserving natural resources. Production and processing of PVC polymer is more energy efficient than other types of polymers, making PVC a valuable polymer when properly recycled. Even though some types of PVC recycling are not currently feasible or economically viable, governments, manufacturers and consumers are seeking ways to ensure a sustainable future for the PVC industry. Effective recycling processes for PVC polymer are extremely important. Therefore, instead of burning waste PVC products, this study aims to obtain different secondary products by physically breaking them into pieces without breaking the polymer chains, formulating them and subjecting them to the extrusion process. Thanks to this method, waste PVC products are recycled and water, soil and air pollution is prevented. The fact that PVC has higher energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions compared to other plastics will contribute to the reduction of global warming.

According to statistics, on average, a fire incident occurs in a recycling facility every two years. Therefore, fire protection is vital to the operation of the facility. The fire protection plan includes training personnel thoroughly and acting professionally in the event of a fire alarm. False alarms can reduce staff confidence in the fire alarm

system and lead to incorrect reactions in the event of an actual fire. Therefore, false alarms are a risk that must be specifically addressed in fire protection design.

The increasing number of recycling facilities and the variety of materials they store pose a significant risk in terms of fire safety today. Whether facilities are located in open or closed areas requires different strategies in terms of fire safety. Especially outdoor facilities need to be associated with various variables to control and regulate fire risks in the environment. This issue is extremely critical to ensure fire safety in recycling facilities.

The research focused on possible fire scenarios in the PVC recycling facility. In this context, anticipated hazards were examined in detail and the Fine-Kinney analysis method was used to reduce fire risks. When choosing a risk analysis method, it is of great importance to choose the most appropriate one. In these methods, the frequency of similar previous events should not be ignored. In calculating the risk score, taking into account the frequency value as well as the probability and impact makes a significant contribution to the analysis. However, the frequency value determined based on historical data may add subjectivity to the analysis. Therefore, the Fine-Kinney risk analysis method was preferred.

The Fine-Kinney method is a technique used to prioritize risks and direct resources effectively. This method grades risks by calculating their severity and helps decide when precautions should be taken. The Fine-Kinney method contributes to obtaining more realistic results because it allows the use of workplace statistics. This method determines the degree of risk using the Likelihood, Impact and Frequency scales. This method is a technique used to prioritize risks and prioritize resources. A rating is made by calculating the weighted ratios of the risks and it is decided when precautions should be taken. The Fine-Kinney method gives more realistic results because it allows the use of workplace statistics.

In our study, we determined the fire risks of the facility with a systematic approach and conducted a comprehensive examination, taking into account the effects of possible fire on the people in the building. Our goal is to reduce the risk values we detect. We have determined the necessary measures to reduce the fire risk of the facility and laid out the steps that need to be implemented. We also evaluated the possibility of a possible fire spreading outside the facility and emphasized that neighboring businesses should be informed about fire risks when necessary. The fire safety risk assessment report should be reviewed regularly as it adapts to constantly changing processes. It is important to update the report when situations arise that may affect identified risks or create new fire risks.

The main fire risks in the PVC recycling facility are the waste collection areas and storage areas in the facility. When the risk assessment here is made, high risk values include death, total disability and severe environmental impact. In very high risk assessment, multiple deaths and significant environmental disaster impact patterns occur. What needs to be done here is that regulatory and preventive measures should be taken without wasting time.

The machinery and equipment within the facility pose a high risk in fire safety. Machinery and equipment should be checked regularly and used by authorized personnel. Meanwhile, when the risk assessment was made, it was evaluated as very high risk, high risk and significant risk. What needs to be done here is to pause the work and take precautions. As a result of the definitive measures taken, a short-term action plan should be developed and monitored carefully.

Electrical hazard within the facility constitutes the majority of fire risk assessment. In the risk assessment, it was evaluated as very high risk and high risk as significant risk. In risk assessment, multiple deaths and significant environmental disaster impact patterns occur. With regulatory and preventive measures, risk assessment is reduced to significant risk, definite risk and acceptable risk.

Risk analysis studies do not completely eliminate the identified risks. Instead, corrective and preventive actions determined to reduce risks or reduce them to acceptable levels must be completed by the deadline. Risk factors will be checked regularly and the risks triggered by possible changes will be intervened in time to reduce the risk of accidents. In particular, developing a safety culture and increasing employees' awareness of occupational health and safety contribute significantly to the prevention of accidents. The effectiveness of on-the-job and periodic training should be ensured and planned to ensure behavioral change. Research shows that the cause of many fires is people's unconsciousness.

There is always a fire risk for all structures. The basic principle is to minimize the consequences of possible fires during the design, use and maintenance of structures. In this regard, all kinds of precautions must be taken by always taking fire safety measures into consideration, starting from the construction phase of the facility. The primary goal in terms of fire safety is to prevent fire from occurring. When this is not possible, it is to prevent the fire from spreading by controlling it at the point of origin. Uncontrolled fires can turn into disasters. Success in the fire safety process is achieved by minimizing the risk of fire.

Within the framework of these studies, potential hazards that could cause fire in the existing PVC recycling facility were identified. These hazards, which were identified using the Fine-Kinney method, were evaluated and the risk values that these hazards may cause were calculated. Then, the calculated risk values were categorized according to the Fine-Kinney method. According to these categories, risks were prioritized and corrective and preventive actions were determined and implemented to reduce them to an acceptable level.

Possible fire risks in PVC recycling facilities were investigated, possible hazards were identified, risk levels were determined and solutions were worked out to prevent negative scenarios. The research showed how to perform risk analysis in order to ensure fire safety in recycling facilities and reduce the material and moral damages of fire.

As a result of this study, we concluded that structural measures should be taken to reduce the fire risks of the facility, fire extinguishing equipment should be checked regularly and personnel should receive fire training. We also determined that fire suppression and evacuation plans should be reviewed and updated regularly. Taking these measures will increase the safety of the facility by minimizing the effects of a possible fire.

It is important to take a systematic approach to identify and reduce fire risks of facilities. With this study, we determined the precautions that the facility should take in terms of fire safety and revealed the steps that should be taken. Facility owners and managers must maintain a constant awareness and preparedness for such risks. Any investment made in fire safety is extremely important for the safety of both employees and the facility.



## 1. GİRİŞ

İlk çağdan bu yana insanlık her zaman madde ve bunun şekilli hallerine gerek duymuştur. Bunun sebebi ise zamanla değişen ihtiyaçlardır. Bu ihtiyaçlar her devir ile birlikte gereksinimleri artarak devam eden maddeler haline gelmiştir. Tunç, demir gibi metaller bulunarak çağ bile atlanmış ve bir devir kapatıp yeni bir devir açan bu metaller insanlık adına büyük buluşlar olmuştur. Tunç ve demir gibi metaller insanlığa büyük faydalar sağlamıştır. Gelişen teknoloji ve ihtiyaçların sebebi ile insan hayatını kolaylaştıracak yeni bileşikler ve maddeler oluşturulmaya başlanmıştır. Bu maddelerden polivinil klorür (PVC) esneklik, dayanıklılık, düşük maliyet, hafiflik, yerleşim yeri ve nakliye göz önüne alındığında dünyada yapı malzemelerinde en çok kullanılan malzeme haline gelmiştir. PVC'nin temelindeki klor atomları, karbon atomlarına kovalent bağlarla bağlanır. Bu monomerler, zincirler arasında yoğun çift kutuplu etkileşimlerle bir araya gelerek sağlam bir polimerik malzeme oluşturur. PVC'nin dayanıklılığını ve kullanım ömrünü artırmak amacı ile ağır metal içerikli stabilizatörler kullanılır.

Paleolitik dönemdeki en büyük atılım insanlığın ateşi kullanması ile başlamıştır. Tabii ateşin kontrol altında olması ve kontrol dışına çıkması ile de hem fayda sağlamış hem de büyük zararlara neden olmuştur. Ateş kontrol altında tutularak insanlığın ihtiyaçlarını çeşitli alanlarda karşılamıştır. Ateş kontrol dışına çıktığında ise büyük felaketslere ve yok oluşlara neden olmuştur. Bazı maddelerin yanması sonucu ortamda çeşitli zararlı gazlar ve maddeler oluşur. PVC maddelerinin yanması sonucunda birleşenlerinde bulunan maddeler çevreye ve insan sağlığına çeşitli zararlar vermektedir.

PVC, düşük yoğunluğu, yüksek dayanıklılığı, maliyet etkinliği ve optimize edilmiş üretim süreçleri gibi avantajlarının yanı sıra günümüzde hızla gelişen ve çok yönlü bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Ambalaj, tarım, elektronik, inşaat, ulaşım, sağlık, spor ve eğlence gibi çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılan polimerler, her yıl yeni formüller ve özelliklerle zenginleştirilerek modern toplumun vazgeçilmez bir unsuru haline gelmektedir. Ancak, bu malzemelerin biyolojik olarak

parçalanamaması ve doğada uzun süre kalabilmesi, küresel çapta ciddi bir plastik atık sorununu beraberinde getirmektedir. Küresel araştırmalar, yılda 8 ila 9 milyar ton plastik atık üretildiği tahmin edilmektedir. Bu nedenden dolayı PVC maddesinin geri dönüşüm süreci ve geri dönüşümü önem arz etmektedir.

Mekanik geri dönüşüm, PVC'nin moleküler yapısını önemli ölçüde değiştirmeyen bir geri dönüşüm sürecidir. Bu nedenle, geri dönüştürülen PVC'nin, orijinal PVC ile benzer mukavemet ve özelliklere sahip ürünler elde edilebileceği genel kabul görmektedir. PVC polimeri, uygulama ve nihai ürünün durumuna göre en az sekiz kez geri dönüştürülebilir, bu da polimer atık birikiminin azaltılması ve doğal kaynakların korunması açısından önemli bir katkı sağlar.

Günümüz şartlarında geri dönüşüm tesislerin artması ve depoladığı malzeme çeşitliliğinden dolayı yangın güvenliği açısından büyük risk teşkil etmektedir. Tesislerin açık veya kapalı alanlarda bulunması, yangın güvenliği açısından farklı stratejilere ihtiyaç duyar. Özellikle açık alandaki tesisler, çevredeki yangın risklerini kontrol altında tutmak ve düzenlemek için çeşitli değişkenlerle ilişkilendirilmelidir. Bu durum, geri dönüşüm tesislerinde yangın güvenliğinin sağlanması açısından son derece önemlidir.

Bu tez araştırmasında Fine Kinney risk analizi yöntemi ile özel PVC geri dönüşüm tesisindeki tehlikeli durumlar ve tehlike içeren hareketleri tespit edilerek yangın risklerinin önlemlerle ilgili düzenlemeler içermektedir. Geri dönüşüm tesisinde yangın çıkmasını önlemek, yangının diğer alanlara sirayetini önlemek, çıkan yangını en hızlı şekilde kontrol altına almak ve hızlı bir şekilde alanın tahliyesini sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

## 2. YANMA VE YANGIN İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

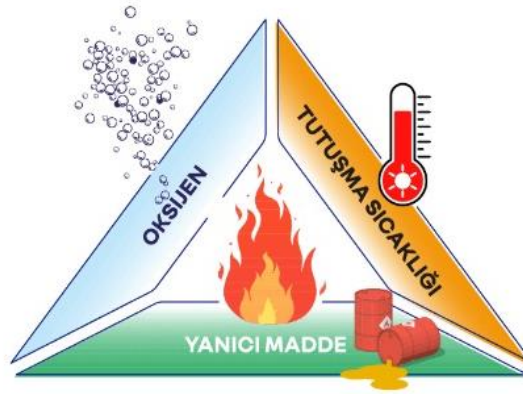
### 2.1. Yanma Nedir?

Yanma, bir maddenin oksijenle reaksiyona girerek ısınması ve ışık ve ısı yayması sürecidir. Bu süreç genellikle ateşin belirgin göstergeleriyle birlikte gerçekleşir ve yangına yol açabilir. Yanma, birçok çeşitli maddenin yanması sonucu oluşan bir fenomendir ve doğal bir olaydır, ancak kontrolsüz ve istenmeyen yangınlar ciddi zararlara ve tehlikelere yol açabilir. Temel olarak, yanma süreci yakıt, oksijen ve ısı (ateş) arasındaki kimyasal reaksiyonlarla gerçekleşir.

**Yakıt:** Yanma sürecinin başlaması için bir yakıt kaynağı gereklidir. Bu, katı, sıvı veya gaz halinde olabilir ve genellikle organik veya inorganik maddelerdir.

**Oksijen:** Oksijen, yanma sürecinde yakıtla reaksiyona girerek enerji açığa çıkarır. Hava genellikle bu oksijenin kaynağıdır ve yanma sürecinde önemli bir rol oynar.

**Isı (Ateş):** Yanmanın başlaması için bir başlangıç ısı kaynağı gereklidir. Bu, kıvılcıklar, ateşler veya diğer ısıtıcı kaynaklar olabilir [1]. Şekil 2.1'de yangın üçgeni gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Yangın üçgeni [2].

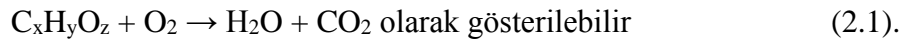
Yanma sürecinde, yakıt molekülleri oksijen molekülleriyle reaksiyona girer. Bu reaksiyon sırasında, yakıt moleküllerinin karbon (C) ve hidrojen (H) atomları oksijen ( $O_2$ ) molekülleriyle birleşerek karbondioksit ( $CO_2$ ) ve su ( $H_2O$ ) gibi yeni bileşikler

oluşturur. Bu süreçte, eski moleküllerin parçalanması ve yeni moleküllerin oluşturulması sırasında enerji açığa çıkar.

Yanma sürecinde ortaya çıkan enerjinin bir kısmı ısı şeklinde yayılır. Bu ısı, yanma sırasında ortaya çıkan alevlerin ve yanma sürecinin etkisiyle çevreye yayılır. Ayrıca, bir kısmı da ışık şeklinde yayılır. Işık, yanma sürecindeki enerjinin görsel bir göstergesi olarak ortaya çıkar ve alevlerin parlamasıyla görünür hale gelir.

Yanma süreci, aşağıdaki basit denklemle ifade edilebilir:

Yakıt + Oksijen → Karbondioksit + Su + Enerji (ısı ve ışık)



Bu denklemin gösterdiği gibi, yanma sürecinde eski moleküllerin parçalanması ve yeni moleküllerin oluşturulması gerçekleşir. Bu aşamada, enerji ortaya çıkar ve bu enerji ısı ve ışık olarak dağılır.

Yanma sürecinin önemli bir yönü, yanma sırasında ortaya çıkan enerjinin kontrolsüz bir şekilde yayılması durumunda tehlikeli yangınlar oluşabileceğidir. Bu nedenle, yangınların önlenmesi ve kontrol altına alınması için gerekli önlemlerin alınması önemlidir. Yangın güvenliği ekipmanları, eğitimler ve yangın risklerinin değerlendirilmesi gibi önlemler, yanma ve yangınların etkilerini azaltmaya yardımcı olabilir [3].

### 2.1.1. Yanma cinsleri

Yanma biçimine göre yangın cinsleri aşağıdaki gibidir.

- Yavaş,
- Kendi kendine,
- Hızlı,
- Parlama,
- Patlama,
- Detonasyon,

Yanıcı nitelik taşıyan bir maddenin yapısından dolayı, yanıcı gaz veya buharın oluşmadığı durumlarda, ısı ve oksijenin yetersiz olduğu durumlarda yavaş yanma meydana gelir. Örnek olarak, Bakır (Cu) ve demir (Fe) gibi metaller, havadaki ısı ve oksijenle etkileşerek oksitlenir ve yanarlar. Ancak, yanıcı olan madde gaz veya buhar



ortaya çıkaramadığından, bakır oksit ( $\text{CuO}$ ) ve demir oksit ( $\text{FeO}$ ) gibi bileşikler oluşur. Yavaş yanmaya örnek olarak, canlı organizmalardaki solunum süreci gösterilebilir [4]. Şekil 2.2'de yavaş yanmanın bir örneği gösterilmektedir.



**Şekil 2.2.** Demirin paslanması [5].

Yavaş yanmanın zamanla hızlı yanmaya dönüşmesi söz konusudur. Özellikle bitkisel yağlı maddeler, normal hava ve ısı ile oksijenle temas ettiklerinde kolaylıkla oksitlenir. Bu oksitlenme süreci sırasında artan ısı, zamanla alevlenmeye neden olacak kadar yükselir ve maddenin kendiliğinden yanmasına yol açar. Hayvan gübreleri, kömürün içten içe yanması buna bir örnektir. Bu tür yanma genellikle organik maddeler de gözlemlenir [4].

Hızlı yanma; alevli ve korlu yanma olmak üzere iki farklı şekilde meydana gelir.

Alev, ısı, ışık ve korlaşma gibi belirtiler gösteren yanma türüne alevli yanma adı verilir. Şekil 2.3'de hızlı yanmanın bir örneği gösterilmektedir.



**Şekil 2.3.** Odun parçasının yanması [6].

Katı madde yangınlarında, en son ortaya çıkan ve yüksek ısıya sahip ancak alevsiz olan yanma türüne korlaşma adı verilir. Model olarak gazı alınmış kok ve odun kömürleri yanışı.

Düşük sıcaklıkta buharlaşan maddelerde ortaya çıkan yanma biçimine parlama şeklinde yanma denir. Örnek olarak benzin buharının alev alması.

Patlama şeklinde yanma, ortamda bulunan yanıcı sıvıların buharı ve gazın, alt ve üst patlama sınırlarında bir ateşleme kaynağıyla temas etmesi sonucunda meydana gelen yanma türüdür. Örnek olarak LPG patlaması gibi [4]. Şekil 2.4.'de patlama şeklindeki yanma gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.** Patlama şeklinde yanma [7].

Önceden ses hızının üzerinde yanması ve çarpma dalgasıyla birlikte oluşan birkaç bin metre/saniye hızındaki alev reaksiyonuna, sıkıştırılmış karışımlarda detonasyon denir. Örnek olarak dinamitin patlaması gibi [4]. Şekil 2.5.'de Detonasyon örneği verilmiştir.



**Şekil 2.5.** Detonasyon [8].

### 2.1.2. Yanıcı maddeler

Yanıcamaddeler, oksijenle birleşerek ısıtıldığında yanma sıcaklığına eriştiğinde yanarlar ve yanma sırasında ısı yayarak etrafa enerji verirler. Doğada gaz, katı ve sıvı olmak üzere üç farklı fiziksel halde bulunabilirler [3].

Yanııcı katı maddeler moleküller arasına güçlü çekim kuvvetleriyle birbirlerine sıkıca tutunmuş, belirli bir hacim ve şekle sahip olan maddelerdir [3].

Yanııcı sıvı maddeler; sıvı maddelerin yanabilen bölümü, ısı etkisiyle buharlaşan sıvı buharlarıdır. Yanma süreci yüzeyde gerçekleşir; korlaşma ve dış tabaka altı yanma olmaz. Yüzeydeki yanma, ısıyı artırır ve Yanmanın sürdürülebilmesi için gereken ortamı oluşturur. Yanıcı sıvı maddelerin ateşle tutuşma noktası azaldıkça, yangın riski de artar [3].

Yanııcı gaz maddeler; diğer yanıcı maddelere kıyasla, moleküller arasındaki Çekim kuvveti oldukça düşüktür, bu yüzden çok daha kolay ve hızlı bir şekilde yanarlar. Tipik olarak hidrokarbon bileşiklerinden (kaynak petrol türevleri) ve kompozit bileşkelerinde oluşurlar. Depolandıkları kutu veya deponun dayanıklılığına ilişkili olarak sıkıştırılarak ve baskı altında sıvılaştırılarak saklanabilirler. Baskı ortadan kaybolduğunda gaz şekline dönüşür [3]. Tablo 2.1.'de yanıcı madde örnekleri gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** Yanıcı malzeme örnekleri [9].

Katı	Sıvı	Gaz
Kağıt	Alkol	Bütan
Kömür	Boya	Propan
Plastik	Mazot	Asetilen
Ahşap	Benzin	Hidrojen
Tekstil	Gaz Yağı	Doğal Gaz

Gazların kapalı ortamlardaki sızıntıları, kıvılcım ile temas ettiğinde patlama biçiminde yanarlar. Gazların dip infilak sınırı ve yukarı infilak sınırı mevcuttur.

Çünkü bu maddeler gaz halindedir, dolayısıyla hızlı yanma tepkimesi sergilerler [10]. Tablo 2.2.'de yanıcı gazların dip ve yukarı infilak limitleri gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** Yanıcı gazların dip ve yukarı infilak sınırı [10].

Yanıcı Gazın Adı	Dip İnfalak Sınırı % Hacim UEL	Yukarı İnfalak Sınırı % Hacim LEL
LPG	2,1	9,6
Doğalgaz	5	15
Havagazı	4	40
Hidrojen	4	75,6
Asetilen	1,5	82
Karbon Monoksit	12,5	74
Kükürt Karbonat	1	60

Yanma gerçekleşmesi için ortamda oksijenin bulunması şarttır. Normal atmosferdeki oksijen oranı genellikle %21'dir. Yanma oluşabilmesi için en az gereken oksijen oranı %13'tür, ancak algılanabilir bir alevin meydana gelmesi için bu oranın %15'e çıkması gerekir. Oksijen, yanma sürecinde hayati bir rol oynar ve yangının şiddeti, oksijen miktarındaki artış veya azalışla doğru orantılı olarak değişir. Hava genellikle oksijen kaynağı olarak kabul edilirken, bazı yanıcı maddelerin piroliz süreci sonucunda oksijen içerebildiği bilinir.

Yanma sürecinin sürdürülebilmesi ve yanıcı malzemenin kimyasal tepkimeye girebilmesi için, ortamda sürekli olarak kafi miktarda oksijen mevcut olmalıdır. Dolayısıyla, yanma gerçekleşen alanlarda havalandırma bulunması önemlidir.

Oksijen; tatsız, kokusuz ve renksiz bir gazdır. Havada herhangi bir şey yandığında, genellikle oksijenle birleşir. Yanma belirli bir alanda ilerledikçe, hava tabakasındaki oksijen seviyesi yavaş yavaş düşer. Bu durum, yangında bulunanlar ve yangına müdahale edenler için önemli bir risk oluşturur.

İnsanların bedensel faaliyetleri, seviyesi %12-15'in altına düştüğünde zorlaşır. Oksijen oranı %6'nın altına düştüğünde ise, 6-8 dakika içinde ölümlerle sonuçlanabilir.

Isı, yanıcı malzemeye kıvılcım, parlama ve alev ile aktarılır. Alevlenmenin devamı için ateş kökeninin gücü (yanıcı malzemenin ateş kaynağına olan mesafesi) ve sürekliliği kritiktir [9].

Alevlenme ısı; Isı, enerjinin sıcaklıkla ölçülebilirliği formu şeklinde kabul edilir. Yanıcı maddelerin incelenmesiyle, en belirgin nitelikleri tutuşma sıcaklıklarıdır. Yanıcı tim malzemeler, bir tutuşturma kaynağına (elektrik, kıvılcım, alev) maruz kaldıklarında belirli bir süre sonra tutuşurlar. Ayrıca, yanıcı bazı malzemeler tanımlı bir sıcaklığa eriştiğinde kendiliğinden tutuşabilirler. Tutuşma sıcaklığı, yanıcı malzemelerin hava içindeki en düşük sıcaklıkta, dış etken olmaksızın kendiliğinden alevlenmeye başlaması ve sürdürmesi şeklinde tanımlanır. Tablo 2.3' de, birkaç yanıcı malzemenin tutuşma bağlamında minimum ihtiyaç duyulan sıcaklıklar listelenmektedir.

Yanıcı maddeler, yangın halinde farklı yollarla etkiler. Yanıcı maddenin yangın yerindeki hareketleri belirleyen ana faktörler, maddenin durumu, şekli (kalınlığı, biçimi, dağılımı, yüzey özellikleri, yoğunluğu vb.) ve fiziksel-kimyasal özellikleridir (özgül ısı kapasitesi, yanma ve patlama noktaları, yanma sıcaklığı, ısıl iletkenliği vb.) [9]. Kimyasal reaksiyonun başlamasıyla birlikte, kendiliğinden gerçekleşen yanma olayı çeşitli şekillerde olabilir, alevsiz ya da alevli, fazla yavaş ya da fazla süratli olabilir [11]. Tablo 2.3.'de yanıcı maddelerin tutuşma sıcaklığı gösterilmiştir.

**Tablo 2.3.** Yanıcı malzemelerin alevlenme sıcaklığı [9].

Yanıcı malzeme	Alevlenme sıcaklığı °C
Hidrojen	585
Metan	537
Propan	466
Karbon monoksit	608
Benzin	260
Petrol	260
Selülöz	232

## **2.2. Yangın Nedir?**

Yangın, yanma olayının kontrolsüz bir şekilde yayılması sonucunda canlı ve cansız her şeye zarar veren bir durumdur. Yangın, insanlık tarihinden bugüne süregelen ve gelecekte de meydana gelebilecek doğal felaketlerdir. Yangın; yanıcı madde, oksijen ve yeterli tutuşması sıcaklığının kontrolümüz dışında bir araya gelmesi sonucunda oluşur. Yangınlar, insan hayatında hiç beklenmedik bir anda ve herhangi bir mekan da veya zamanda ortaya çıkabilen muhtemel afetlerdir. Yangınlar genellikle küçük dikkatsizliklerin sonucunda meydana gelir [4].

### **2.2.1. Yangının etkileri**

Yangınlarla ilgili istatistikler ve analizler oldukça önemlidir, çünkü bu tür bilgiler gelecekteki yangınları önlemek veya etkilerini azaltmak için alınacak önlemleri belirlemede yardımcı olabilir. Bahsettiğiniz bilgiler çoğunlukla doğru olsa da, her yangın durumu farklılık gösterebilir ve başka faktörler de rol oynayabilir.

Örneğin, yangınlar genellikle insan hatalarından kaynaklanabilir, ancak bazen elektrik kısa devreleri, doğal afetler veya başka faktörler de etkili olabilir. Ayrıca, yangınların çıktığı binaların genellikle eski olması, yapısal özellikler veya bakım eksikliği gibi faktörlere bağlı olabilir.

Yine de, bu tür istatistikler, yangınla ilgili riskleri değerlendirmek ve koruyucu önlemler almak için önemli bir başlangıç noktası olabilir. Özellikle binaların yangına karşı daha güvenli hale getirilmesi ve yangın söndürme ekipmanlarının yaygınlaştırılması gibi önlemler, yangınların olumsuz etkilerini azaltabilir. Yangınla ilgili yasaların güncellenmesi ve daha katı hale getirilmesi de, yangınların önlenmesi ve kontrol altına alınması konusunda önemli bir rol oynayabilir.

#### **2.2.1.1. Sıcaklık etkisi**

Konum sıcaklığı ve ışıma ısı akışı, güvenlik zamanı ve söndürme gruplarının etkin müdahalesi üzerinde etkilidir. Sıcak metal yüzeylere kısa süreyle temas, çıplak deride kalıcı yanıklara neden olabilir. Aynı formda, 2,5 kW/m<sup>2</sup> ölçüsündeki ışıma ısı akışı değeri, deride yanık oluşumunu önlemek için tasarımda aşılması gerekmeyen bir sınır olarak Kabul edilir [1]. Sıcak havanın solunması solunum yollarını tahriş eder ve kalıcı ödeme neden olabilir. Bu nedenle, tasarımlarda sıcaklık için genellikle 120 °C sınır değeri Kabul edilir. Ancak, havanın bağıl nemi ve solunma süresi gibi

faktörlere bağı olarak, daha düşük sıcaklıklar da, örneğin 60 °C gibi, tehlike oluşturabilir [1].

### **2.2.1.2. Duman etkisi**

Yangın sırasında ortamı dolduran yoğun duman, içerideki bina sakinlerinin normal ve olası kaçış yollarını bulmalarını zorlaştırır. Görüşü engelleyerek paniğe yol açabilir. İtfaiyecilerin yangının kaynağına müdahale etmelerini, kurtarılacak kişileri bulmalarını, yaşlı, sakat veya hasta bireyleri tahliye etmelerini zorlaştırır [1].

### **2.2.1.3. Zehirli gaz etkisi**

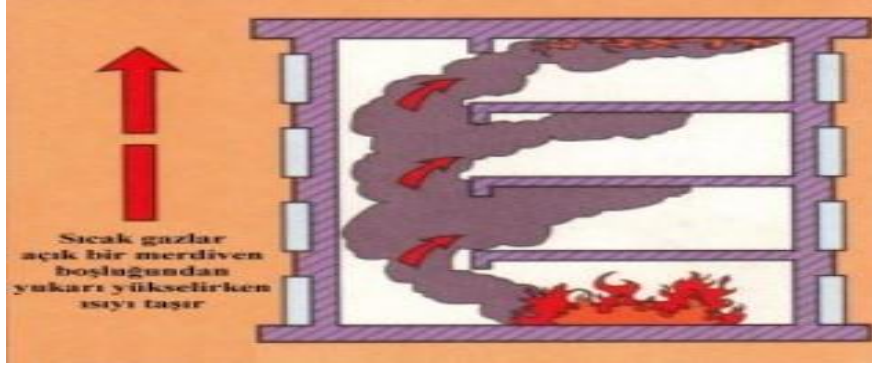
Yangın sırasında, farklı gazlar ortama yayılır ve canlıları farklı şekillerde etkiler. Azot veya klor içeren malzemelerin yanması sonucunda, çevreye asitsiyanidik ve asitklorhidrik benzer ölümcül etkilere sahip toksik gazlar salınabilir. Yanısıra, aseton, asetilen veya etil alkol benzeri maddelerin yanması sırasında, merkezi sinir sistemini zorlama altına alarak duyu kaybına yol açabilen veya sistemik zehirler olarak bilinen benzen, tolüen, naftalin, kurşun, cıva, berilyum, arsenik, sodyumflorür, karbondisülfid veya metanol gibi toksik maddelerin çevreye yayıldığı gözlemlenebilir. Boğucu gazlar, solunması gereken oksijeni yerinden eden veya absorbe eden hareketsiz gazlardır [1].

## **2.2.2. Yangının yayılma çeşitleri**

Yanma, ekzotermik bir tepkime olduğundan sürekli olarak ısı üretir. Bu süreçte, çevredeki maddeler zamanla yanma sıcaklığına ulaşır ve zincirleme olarak yanmaya başlar. Bu olaylarda ısı yayılması üç farklı şekilde gerçekleşir: taşınım, iletim ve ışınım.

### **2.2.2.1. Konveksiyon (Taşınım)**

Akışkan hareketi, enerjinin transferi işlemidir. Bir ortamda sıvı veya gaz bulunuyorsa, ısı enerjisi sıcaklık farkından dolayı akışkan hareketiyle bir bölgeden diğerine transfer edilir. Akışkanlar, katı cisimlerden (yüzeylerden) ayrıldıkları için, konveksiyon, bir yüzey ile akışkan arasındaki enerji transferinin belirgin ısı transfer yöntemidir. [12]. Şekil 2.6.'da taşınım yolu ile ısı nakli gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Taşınım ile ısı nakli [13].

Taşınım ile ısı iletimi, yangının ilerlemesinde mühim bir misyon üstlenir ve yayılan enerjinin tahmini %76-80'i bu adıma ayrılır. Sade bir bakış açısıyla, bir ısı kökeninin bir akışkana tatbik ettiği şartta (Şekil 2.6.), sıcak yüzeye kısa mesafede olan akışkan katmanı ısınır ve başka katmanlara kıyasla daha hafif hale gelir. Bu ısıtılan akışkan katmanı, belirli kısmını alır ve daha soğuk ve yoğun olan tabakaya yerini bırakır.

#### 2.2.2.2. Kondüksiyon (İletim)

Isı iletimi, bir ortam içindeki farklı bölgeler arasında veya çeşitli mekanlar arasında, molekül ve atomların konum değişikliğine gereksinim duymadan direk temas sonucunda gerçekleşen ısı transferi sürecidir. Bir bölgedeki moleküllerin standart hareket enerjisi, sıcaklık farkı nedeniyle komşu alandaki moleküllerin standart hareket enerjisinden yüksek olduğunda, bu fazla enerjili moleküller bu enerjiyi komşu moleküllere iletmektedir. Katı ortamlarda ise, enerji transferi, elektron yayılmasıyla birlikte, maddenin yapısal titreşimleriyle de komşu bölgelere iletilir [12]. Şekil 2.7.'de iletim yolu ile ısı nakli gösterilmiştir.



Şekil 2.7. İletim ile ısı nakli [13].



İletim yoluyla ısı transferi, maddenin mikroskobik düzeydeki yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Katı cisimler ve akışkanlar arasında iletimle ısı transferinin farklı şekillerde gerçekleşeceği öngörülmektedir, çünkü bunlar mikroskobik yapı açısından farklı özellikler gösterirler. Katı metalik cisimlerin elektriği iyi iletmediği gibi, aynı zamanda iyi bir ısı iletkeni olmalarının nedeni de budur. Bu durum, her ikisinde de enerji taşıyıcılarının serbest elektronlar olmasıyla ilgilidir.

### 2.2.2.3. Radyasyon (Işınım)

Yüksek yapıların yüzey yapıları çoğunlukla örtme yüzey yapılarıdır. Bu sistemlerde, aralıkların aşırı olması nedeniyle yangının genişlemesinde ışınımın tesiri değerlidir. Maddenin temel parçacıklarının ısıl hareketi, enerjiyi elektro magnetik ışınım şeklinde yaymalarına neden olur. Sıcaklık arttıkça, parçacıkların hareketi ve dolayısıyla ışınımın şiddeti de artar. Bu şekilde, maddenin sıcaklığına bağlı olarak yayılma ışınımı, radio dalgaları, ışık ve x-ışınları gibi aynı türde enerjiyi taşır, ancak dalga büyüklükleri farklıdır. Belirli maddeler bu ışınım enerjisini absorbe ederken, belirlileri yansıtır ve birkaçı ise daha bağımsız aşmalarına izin verir.

Bu enerji dalgaları, farklı bir düzene ulaştıklarında enerjilerini adı geçen platforma aktararak, bulunduğu düzenin ısıl aktivitesini artırır. Bu şekilde, ısı kuvveti, genişleyen yotemden, ışığı emen düzene aktarılır.

Bir sistemden diğerine, bu sistemler arasında doğrudan temas olmaksızın, ışınım yoluyla ısı transferi gerçekleşir. Toplu nesnelere devamlı şekilde ısıl ışınım dağıtmaktadır. Bu enerji yayılımının yoğunluğu, dış tabaka sıcaklığına ve dış tabaka özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla, şiddetli sıcaklıktaki bir düzen düşük sıcaklıktaki bir düzene doğru, bu iki düzen arasında gerçekleşen ısı akımı işlemine ışınım ile ısı nakli denir [12]. Şekil 2.8.'de ışınım yolu ile ısı nakli gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Işınım ile ısı nakli [13].

### 2.2.3. Yangın sınıfları

Yangınlar, yanıcı maddenin türüne göre sınıflandırılmıştır. Bu tür bir sınıflandırma, yangın söndürme cihazlarının içeriğini belirlemek için özellikle yangınla mücadelede kullanılır. TS EN 2 ve TS EN 2/A1 Türk Standartları Enstitüsüne göre, yangın A, B, C, D ve F şeklinde beş çeşitli sınıfa ayrılmıştır. E sınıfı Türk Standartları Enstitüsünde bulunmamaktadır.

#### 2.2.3.1. A sınıfı yangınlar

A yangın sınıfı, genellikle doğal yapılı katı maddelerin normal şartlarda kor halinde yanmasıyla meydana gelir. (Örneğin; kömür, ot, plastik, kağıt, odun, kumaş vb.) Bu yangınların temel özelliği, kor oluşturarak yanmalarıdır.

A sınıfı katı maddeler, tutuşma sıcaklığına ulaştıklarında piroliz oluşur ve yanıcı gazlarını salarlar, ardından bu gazlar yanar. Bu nedenle, katı maddelerin yanabilmesi için ısıya maruz kaldıkları ve yanıcı gazlarını saldıkları dış tabaka alanı hangi ölçüde büyükse, yanmaları aynı miktarda basit olacaktır. Örneğin, kütük şeklinde oduna kıyasla ince kesim tahta daha kolay yanabilirken, kıyımdan çıkarılan partikül şeklindeki odunlar ışıma eğilimindedir ve toz şeklindeki odunlar hava içinde uçtuğunda toz patlaması riski taşır. Katı maddelerin yanma davranışında, ısıya maruz kaldıklarında yanıcı gazlarını salabilen ve bunları havadaki oksijenle birleştirebilen dış yüzey ölçüsü kritik faktördür.

Korlaşma, yanıcı bir maddenin kapsadığı yanıcı gaz üretmeyen ve yanma unsurları yakınında oluşan bir durumdur; ısı öge kısmından emilir. Bu şekilde, ısıyı koruyan kor yakınındaki yanıcı maddeleri sıcaklığını artırarak onların tutuşabilir gazlarını çıkarmalarına neden olur. Bu tür yangınlarda, yangının boğulması yöntemi yetersiz kalır ve korun soğutulması gereklidir [15].Şekil 2.9.'da A sınıfı yangın görseli gösterilmiştir.



Şekil 2.9. A sınıfı yangın [16].

### 2.2.3.2. B sınıfı yangınlar

Bu tür yangınlar, sıvı veya sıvılaştırılabilen katı maddelerin yanması sonucu meydana gelir. (Örneğin; benzen, solvent, mazot, katran, benzin, alkol vb.). Bu yangınların temel özelliği, koksuz ve ateşli tutuşmadır.

B sınıfı akışkan maddeler, tutuşabilmesi için alevlenme sıcaklığına ulaştıklarında kafi tutuşabilir gaz üretebilmelidir. Akışkan bizzat yanmaz, ancak akışkanda buharlaşan gazlar yanar. Dolayısıyla, tutuşabilir akışkanların yanma hareketinde, uçuculukları dış tabakasında ekstra önemli bir etkidir. Bir tutuşabilir akışkan hangi miktarda gazlaşan ise, o miktarda ışımaya eğilimindedir. Örneğin, benzin ve tiner bu özelliği gösterir. Tüm tutuşabilir akışkanların buharları alevlenebilir gazlardır, bu nedenle kafi ölçüde biriktiğinde alevlenme hareketi bütünüyle gazların infilak tarzında yanmasına dönüşür.

Tutuşabilir sıvılar ayrı olarak "parlama noktası" bulunmaktadır ki bu, yukarıda bahsedilen ışımaya olayıyla farklılık arz eder. Parlama noktası, tutuşabilir akışkanın ateşe sahip olabilecek tarzda tutuşabilir buhar oluşturacağı en alt seviyedeki sıcaklık değeridir. Fakat, bu noktada ısı vasıtası uzaklaştırıldığında ateş hemen ortadan kaybolur. Ateşin sürdürülebilmesi için alevlenme sıcaklığının ve üst kısmındaki sıcaklıkların olması gerekir. İlgili olarak, etil alkolün alevlenme değeri 12,7°C, yanma ısısı ise 362,7°C' dir. B sınıfı tutuşabilir akışkanların yangınlarında, yalnızca ateş mevcut olduğundan, söndürme için boğma tekniği yeterlidir çünkü kor oluşmaz [15]. Şekil 2.10.'da B sınıfı yangın görseli gösterilmiştir.



Şekil 2.10. B sınıfı yangın [16].

### 2.2.3.3. C sınıfı yangınlar

Gaz maddelerinin yangınlarının esas özelliği İnfilaktır. (Misal; hidrojen, doğalgaz, bütan, asetilen, havagazı, propan, LPG, metan vb.)

C sınıfı gaz nesnelere, minimum seviyede alevlenme sıcaklığına ulaştıklarında derhal (1 mikro saniyede) yanmaya hazır hale gelirler. Katı veya sıvı maddelerde olduğu gibi bir gaz haline dönüşme aşamasına gereksinimleri bulunmamaktadır. Bu anlık alevlenme hadisesi anlık bir hakim genişlemesine, diğer bir ifadeyle infilaka yol açar. Tahmini 10 barlık atmosferik basınç meydana gelir.

Gazların tutuşabilmesi veya infilak olabilmesi için belirli bir hava birleşim miktarında var olmaları mecburidir; bu, dip ve yüksek infilak değerleri olarak bilinir. Birkaç malzemede bu limitler dip ve yüksek alevlenme ölçüleri şeklinde de adlandırılır. Bu yüzde, infilak hava ortamı veya infilak atmosferik çevre şeklinde tarif edilir.

Gazların tutuşabilme hareketi ısı kaynağına denetimli şekilde sağlanırken, azıcık yığılma sonucu infilak eylemi gösterebilir. Ancak dip ve yüksek infilak sınırları arasında yığılma, patlayıcı ortam infilakına, başka bir deyişle UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion) patlamasına yol açabilir [15]. Şekil 2.11.'de C sınıfı yangın görseli gösterilmiştir.



Şekil 2.11. C sınıfı yangın [16].

#### 2.2.3.4. D sınıfı yangınlar

Metal yangınları, alevlenebilen metallerin tutuşması sonucu ortaya çıkar. (Örneğin; plütonyum, alüminyum, sodyum, baryum, gibi).

Ana nitelikleri, korlu, yüksek derecede ve alevsiz yanma kapasiteleridir [15]. Şekil 2.12.'de D sınıfı yangın görseli gösterilmiştir.



**Şekil 2.12.** D sınıfı yangın [16].

#### **2.2.3.5. F sınıfı yangınlar**

Mutfakta bulunan bitkisel Yağ yangınları, genellikle mutfaklarda yiyecek pişirme veya kızartma amacıyla kullanılan yağların farklı nedenlerle aşırı ısıtılarak alevlenme noktasına gelmesi sonucunda meydana gelir. Bunun yanı sıra, davlumbazlarda biriken yağ buharları süreç ilerledikçe yoğunlaşır ve alevlenme noktasına vardığında yağ yangınlarına neden olabilir. Şekil 2.13.'de F sınıfı yangın görseli gösterilmiştir.



**Şekil 2.13.** F sınıfı yangın [16].



### **3. POLİVİNİL KLORÜR (PVC) İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER**

#### **3.1. Polivinil Klorür (PVC)**

Polivinil klorür (PVC), vinil klorür monomerinden (VCM) türetilen ve inşaat ve otomotiv endüstrilerinde geniş kullanım alanına sahip olan önemli ticari polimerlerden biridir [17]. PVC'nin kullanım alanları arasında kablo izolasyonu, pencere profilleri, seralar, medikal ekipmanlar, su boruları, çatı kaplamaları ve oyuncaklar bulunmaktadır. PVC'nin popülerliği, kolay işlenebilir olması, suya dayanıklı olması, yangına karşı direnci, geri dönüştürülebilir olması, hafif ve uzun ömürlü olması, esnekliği ve maliyet etkinliği gibi bir dizi avantajından kaynaklanmaktadır [18, 19].

VCM, ortam sıcaklığında ve atmosfer basıncı içinde renksiz bir gazdır [17]. Kanserojen tesiri sebebiyle tehlikeli malzeme kategorisinde yer alan VCM' nin, bedele bağlantısı önlenmeli ve havadaki konsantrasyonu saptanmış sınırların üzerine çıkarılmamalıdır, yasal düzenlemelerle belirlenen sınırların dışına alınmamalıdır [20].

PVC, toz, eritme karışımı ve hamur gibi çeşitli fiziksel formlarda üretilebilir ve istenilen ürün türüne, kullanım alanına ve normlara elverişli şekilde sunulabilir. PVC'nin biçim verilmesinde, en belirgin olarak kullanılan metotlar enjeksiyon ekstrüzyon, ısıyla biçimlendirme ve döner form verme olarak bilinmektedir [21].

PVC'nin işleme ve bozunma sıcaklıkları neredeyse aynı olduğundan, işleme anında bozulmaya başlar. PVC'nin bozunması sonucu meydana çıkan hidroklorik asit (HCl) gazı, birey sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. PVC'nin bozunmasını düşürmek için kullanılan katkı malzemeleri, imalat ve istifaede esnasında bazı aksi tesirlere sebep olabilir. PVC'nin cam dönüşüm ısısı yaklaşık olarak 80°C'dir ve bu değer plastikleştiricilerle düşürülerek, esnek uygulamalara uygun hale getirilebilir. Ancak, plastikleştirici olarak kullanılan ftalatlar, mutajenik ve genotoksik etkilere sahip olabilirler. Ftalat maruziyeti arttıkça, erkeklerde sperm kalitesinin düşmesi ve kadınlarda gebelik süresinin kısalması gibi etkiler görülebilir. DBP(di-butilftalat) ve

DOP(di oktilftalat) gibi ftalatlar, insan üremesi üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle çok yüksek önem taşıyan maddeler arasında yer almaktadır [22].

PVC ürünleri yakıldığında veya toprak altına konulduğunda, dioksin salınımı meydana gelir. İmalat ve ortadan kaldırma süreçlerinde ortaya çıkan dioksin, zararlı bir malzemedir. Ayrıca, PVC içeren sağlıkla ilgili atıkların (enjektörler, serum ambalajları vb.) yakılması durumunda, dioksin ve furan benzeri zehirli maddeler oluşabilir [23]. PVC malzemelerinin yakılması, vinilklorür, poliklorlu bifeniller (PCB'ler),benzene, klor benzeri kanserojenleri ve ksilen, benzen, naftalin ve toluen benzeri diğer aromatik hidrokarbonları ihtiva eden en düşük 75 yardımcı malzeme oluşturur [24].

PVC, amorf plastikler arasında önde gelen bir malzemedir ve beyaz veya açık sarı renkli bir toz polimerdir. Tipik olarak %53-55 klor içeriğine sahiptir ve 60°C civarında ısıtılabilir. Sıcaklaştığında klorlanmış hidrokarbonlar vasıtasıyla eriyebilir. Asitlere ve bazlara direnç gösterir ve alkol, benzin ve su gibi maddeler PVC üzerinde herhangi bir işe yaramaz. PVC, kuvvetli elektriksel dirence mevcuttur ve yanmaz bir polimerdir. Ancak, 140°C' de yavaşça, 170°C' de ise daha hızlı bir şekilde HCl ayrıldığı sırada ayrışır ve polimerde ikili bağlar oluşur. Bundan ötürü, polimer stabilizatörler eklenir [25].

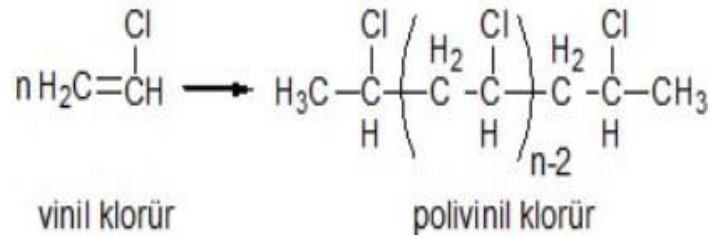
PVC, doğrudan sıcaklığa muhattap olduğunda hidroklorikasit (HCl) ortaya çıkarır ve PVC'nin tonlamasında sararmalar oluşur. PVC'nin bozunma sıcaklığına ilişkili olarak, sararma, kızarıklık, kahverengileşme ve siyahlaşma gibi renk değişimleri meydana gelir. Bu renk değişimlerinin yanı sıra, ürünün cisimsel ve kimyevi özelliklerinde de değişiklikler gözlemlenebilir. Üretim sürecinde ortaya çıkan kalıntı gazlar ve rutubet, vakum yardımıyla bölgeden ayrılarak imha edilir [25].

### **3.2. Polivinil Klorür (PVC) Yapısı**

İkinci en yaygın kullanılan termo plastik malzeme PVC'dir. PVC'nin popülerliği, kimyevi mukavemeti ve çeşitli destek maddeleri ile çeşitli cisimsel ve kimyevi özelliklere sahip karışımlar üretilmesinden kaynaklanır. PVC'nin esas bağlantısı üstündeki klor atomları, amorf ve kristalleşmeyen bir polimer malzeme oluşturan her iki karbon atomundan birine takılıdır. PVC polimer bağlantıları ortasındaki güçlü çekim gücü ana sebebi, klor atomlarının iki kutuplu momentleridir. Ancak, klor atomları devasa şeklinde olmaları ve negatif yüklü bulunmaları için üç boyutlu bir



önleme ve elektrostatik itme gücü oluştururlar, bu da polimer bağlantılarının eğilebilirliğini azaltır. Bu moleküler hareketsizlik, benzer polimerlerin işleme prosedürlerinde zorluklar yaratır, bu nedenle PVC'nin şekillendirilmesini kolaylaştıran katkı maddeleri ilave edilmeden nihai ürün haline getirilmesi zor olabilir. PVC, benzer polimer olarak göreceli şekilde yüksek bir mukavemete (51.75-62.1 MPa) sahiptir ve kırılğan bir malzemedir. Ortalama ısı direnci (57-82 °C), güçlü elektriksel özellikler ve solventlere karşı yüksek direnç gösterir. Yüksek klor içeriği, PVC'nin tutuşmaya ve kimyevi malzemelere karşı dayanıklılık göstermesini sağlar, zira halojen ihtiva eden plastikler genellikle yangına dayanıklıdır. Şekil 3.1.'de vinilklorür ve polivinilklorür yapısı gösterilmiştir.



**Şekil 3.1.** Vinil klorür ve Polivinil klorür yapısı [26].

Polivinil klorür, amorf plastikler arasında öncüdür ve ak veya açık sarı renkte bir toz polimerdir. Olağan PVC, %53-55 klor ihtiva eder veya klasik 80 derecede yumuşar. İleri düzeyde plastikleştirici katkı maddeleriyle karıştırılmış polivinilklorür, lastiğimsi bir kıvama sahiptir. Isıtıldığında, klorlanmış hidrokarbonlar tarafından çözünür. Polivinilklorür, içerdiği hidrojen nedeniyle tutuşmaya karşı dayanıklıdır ve belirgin ateşle temas ettiğinde yanmaz. Kablo yalıtımında kullanılmak üzere plastikleştiriciler eklenerek kauçuğa benzer bir şekilde kullanılır. Vinil monomerlerine trikresilfosfat, dioktilftalat, dibütilesebasat, polipropilenglikol gibi plastikleştirici katkı maddeleri eklenir ve kauçuk benzeri özellikler kazandırır [27].

**Tablo 3.1.** PVC özellikleri [25].

Petvinil PVC Türleri	K Sayısı (20oC Diklor etan)	PSAT kg/dm3	Kirlilik Madde gr/kg	Uçucu Madde gr/kg	Termik Stabil dk.	Tane Büyüklüğü		
						180 Elek Üstü Kalan	50 Elek Üstü Kalan	63 Elek Altı Geçen
<b>Emülsiyon</b>								
<b>E-36/71</b>	64-68	0.68	<60	<3	>25-30	-	-	-
<b>Emülsiyon</b>		0.73						
<b>E-36/74</b>	64-68	-	-	<3	>25-30	-	-	<400
<b>Pasta</b>								
<b>P-38/74</b>	66-70	-	-	<5	>10-15	-	-	-
<b>Pasta</b>								
<b>P-23/59</b>	51-55	0.58	<60	<10	>30-40	50	>600	-
<b>Süspansiyon</b>	50-54	0.68						
<b>S-27/63</b>	58-62	0.60	<60	<5	>30-40	<100	>600	<100
<b>Süspansiyon</b>		0.70						
<b>S-29/64</b>	57-61	0.55	<60	<10	>40-50	<150	>600	<100
<b>Süspansiyon</b>		0.65						
<b>S-39/71</b>	64-68	0.50	<60	<5	>40-50	<100	>600	<100
<b>Süspansiyon</b>		0.60						
<b>KA-13/46</b>	42-45	0.52	<60	<30	>30-40	-	-	-
<b>Kopolimer</b>		0.62						

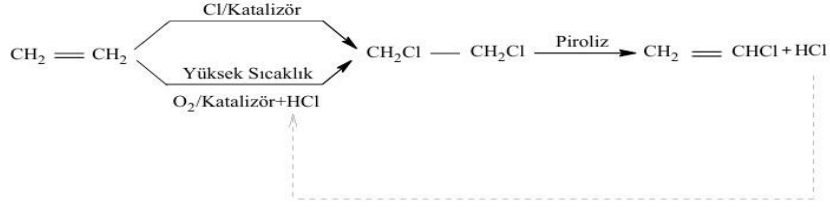
### 3.3. Polivinil Klorür (PVC) Monomeri

Vinil klorür monomeri (VCM), polivinil klorürün üretiminde kullanılan ana maddedir. Genellikle renksiz bir gaz olan VCM, basınç altında sıvı halde depolanır [27].

**Tablo 3.2.** VCM'nin özellikleri [25].

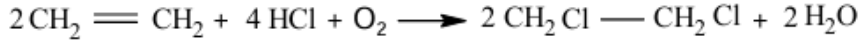
Nitelikler	Rakamsal Degerler
Kimyasal formülü	CH <sub>2</sub> =CHCl
Formül ağırlığı gr/mol	62.50
Özgül ağırlığı	0.908
Kaynama sıcaklığı (c)	-13.9
Çözünürlük (suda)	0.12
Erime sıcaklığı (c)	-159.7
Kritik sıcaklık (c)	152
Kritik basınç (atm)	55.2
Kritik hacim (cm <sup>3</sup> /gr mol)	173.7
Tutusma sıcaklığı (c)	-78
Viskozite (Cp) 0°C	0.24 sıvı
Viskozite (Cp) 120°C	0.02
Buharlaşma ısısı cal/90°C	85
Olusum entalpisi (cal/gr-mol)	9000
Dielektrik sabiti (103H <sub>2</sub> )17°C	6.26

VCM' nin üretimi, iki farklı tepkime olan etilen ve asetilen esaslı tepkimelerle gerçekleştirilebilir. En yaygın kullanılan denge süreci, etilenin dikloroetana dönüştürüldüğü bir işlemdir. Bu süreçte, etilenin dikloroetana dönüştürülmesi sırasında klorinasyon ve oksilasyon paralel olarak gerçekleşir ve ardından oluşan dikloroetan, piroliz işlemine tabi tutularak vinilklorüre dönüşür.



**Şekil 3.2.** Etilen VCM üretimi [20].

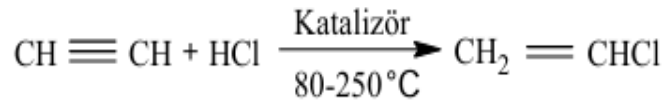
Etilen, buhar veya sıvı fazında doğrudan katalitik klorinasyonla dikloroetan oluşturur, ardından bu dikloroetan saflaştırılır ve piroliz işlemiyle vinil klorüre dönüşür. Bu süreçte, ilave ürün olarak HCl açığa çıkar, bir parçası oksiklorinasyon yoluyla dikloroetan üretiminde yararlanır.



**Şekil 3.3.** Dikloroetan oluşumu [20].

ABD'de uzun yıllardır uygulanan etilen dönüştürme işleminde denge evresi, petrol türlerinin etilenin ana hammadde olarak işlendiği önde gelen vinil klorür imalat tesislerinin oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Etilenin masrafı, asetilenin masrafından az olduğundan, bu süreçle kocaman ölçekli üretimler gerçekleştirilebilmiştir [20].

1960 öncesi dönemde, bilhassa Avrupa devletlerinde, asetilen dönüşüm süreci yüksek sanayileşme gerekliydi. Etilen sürecine göre daha az işletme oluşturmak ve işletme maliyetleri öngörülen asetilen süreci, küçük ölçekte verimliliği artırması bakımından avantajlar sunar. Ancak, asetilen evresi zorlu bir alternatiftir ve petrol benzeri asetilen, etilenden daha masraflıdır. Üstelik, asetilen kömürden elde edilebildiği için, bu evre, hammadde çok bulunduğu ve küçük ölçekte imalat gerektiği gidişatta bir alternatif halinde varlığını sürdürecektir[20].



**Şekil 3.4.** Asetilen esaslı VCM üretimi [20].

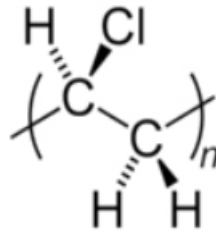
VCM, normal sıcaklıkta ve atmosfere ait basınç altında renksiz bir gazdır. VCM' nin infilak sınırı, havada hacimce % 4 ila 20 arasında değişir. Endüstriyel imalatda kullanılan VCM, yüksek basınç değerinde akışkan formunda depolanır [17].

Kloroetanınkine benzer anestetik özelliklere ve esansa sahiptir. 1970'lerin ilerleyen dönemlerinde, kanser yapıcı tesiri keşfedilen VCM, zararlı bir malzeme olarak tasdik edilmiştir. Bu nedenle, bedenle direkt etkileşimini ve işletme içindeki hava konsantrasyonunu belirli yasal sınırların ötesine geçmesini önlemek için çeşitli önlemler alınması gerekmektedir [20].

### 3.4. PVC Üretim Yönetimi ve Teknolojisi

Polivinilklorür imalatında, ticari olarak 5 polimerizasyon işlemi kullanım süreci devam etmektedir. Bu proseseler:

- 1- Süspansiyon Polimerizasyonu,
- 2- Emülsiyon Polimerizasyonu,
- 3- Kütle Polimerizasyonu,
- 4- Çözelti Polimerizasyonu,
- 5- Mikro süspansiyon Polimerizasyonu işlemleridir.



Şekil 3.5. PVC molekül yapısı [27].

#### 3.4.1. Süspansiyon polimerizasyonu

Polivinilklorür üretimi için en makul ve en genel yöntem süspansiyon polimerizasyonudur. Bu yöntemde, monomer suya harmanlanarak dağıtımı yapılır.. Jelatin, polivinil alkol veya etil selüloz gibi stabilizatörler eklenir. Polimerizasyonun başlatıcısı olarak, suda çözünmeyen ancak monomerde çözünen benzoilperoksit veya laurilperoksit kullanılır. Sürecin tamamlanması 12-24 saat arasında sürer ve genellikle 45-55°C sıcaklıkta gerçekleştirilir [28].

Polimerizasyon işlemi %90 dönüştürme işlemine kadar sürdürülür, ardından tepkimeye girmeyen VCM ayrılıp geri dönüştürülür. PVC partikülleri sudan süzülerek ayrıştırılır, kurutulur ve parçacık halinde piyasaya sürülür. Molekül ağırlığı, polimerizasyon ısı ile düzenlenir. Süspansiyon prosesiyle üretilen PVC'de

yıkamaya rağmen, bir kısım süspansiyon oluşturuucu kalıntı bulunduğundan, mamulün termal kararlılığı, kütle prosesiyle üretilen PVC'den daha düşüktür [25].

### **3.4.2. Emülsiyon polimerizasyonu**

Emülsiyon polimerizasyonunda, yapı monomer, su ihtiva eden emülsiyonlaştırıcılar ve suda ayrışabilen öncülerden oluşur. Parçalı süreçlerde polimerizasyon, reaksiyon sıcaklığındaki (genellikle 40-60 °C) VCM buhar basıncına (1 MPa'ya kadar) mukavemet gösterecek gibi dizayn edilmiş bir otoklavda uygulanmıştır. Emülsiyonlaştırıcılar, reaktör içeriğini monomer minik damlalar şeklinde dağıtmak için kullanılır (0,1 mikrona kadar). Başlatıcılar (genellikle, tek olarak veya bir redükleyici madde ile birlikte potasyum veya amonyum persülfat veya daha kompleks bir redoks metodu, örneğin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/FeSO<sub>4</sub>/askorbikasıit), akışkan evresinden bağımsız radikal imalatını oluşturur ve monomer evresiyle hudut oluşturan bölgede aktivasyon meydana gelir. Değişim genellikle %90'dır. Reaksiyon, fazla monomer dışarı çekilerek sonlandırılır, bu da diğer tekniklerde olduğu gibi uygulanır. VCM'nin polimerden ayrılma işlemleri, süspansiyon polimeri imalat safhasında gerçekleştirilenlere benzerdir, ancak uygulamada zorluk seviyesi artabilir [29].

Bu prosedürde, su otoklava alınır ve içerisine katalizörler, VCM ve reaktifler eklenerek karıştırılır. Katalitik etkiyi sağlamak için sülfatlar, sülfidler, persülfatlar ve oksijen molekülleri kullanılır. Genellikle karışım düzeni olarak stearik ve miristikasidinamonyum tuzları tercih edilir. Tepkime süresi 6-8 saat arasında sonuçlanır. Lateksin %33'ü PVC, %67'si ise su içerir. Karışım şeklindeki PVC, koagülasyon eğilimi gösterdiği için atomizer türü kurutucuda ısıtılmış hava ile kurutulur, ardından siklon içine alınır, eleme işleminden geçirilir ve ambalajlanır [25].

### **3.4.3. Kütle polimerizasyonu**

Kütle polimerizasyonu işlemi, süspansiyon işlemi imalatına yakın özelliklerde PVC üretebilir. Bu işlemlerle homopolimerlerin yanı sıra vinilasetat kopolimerleri ve vinilklorür graft kopolimerleri üretilir. Kütle polimerizasyonunda VCM monomeri direk bağımsız radikal tetikleyici ile polimerleştirilir. Ortam koşullarında su ve ayrıştırıcı bulunmadığı için kazanılan polimer, başka işlemlere göre daha durudur. Dolayısıyla, kütle işlemi mahsülü PVC'nin sıcaklığa muavemetliliği, elektrik direnc kuvveti ve porozitesi fazladır.

Bu işlem, genellikle süspansiyon polimerizasyonunda tüketilen bağımsız radikal başlatıcılarla çift aşamada uygulanır. İlk aşamada tanecik boyutu büyürken, ikinci aşamada molekül boyutu iyileştirilir. Yüksek seviyede polimer değişimlerinde fazla bölgesel ısınma sorunları işlemlerin dar boğazını oluşturur. Bu sorun, dikine reaktörler ve elverişli harmanlayıcı metodlar ile çözülmüştür.

Süspansiyon işlemlerinin tersine, kütle işlemleri performansı, polimerizasyon ısısına, zamanına ve monomer dönüşüm sürecine bağlıdır. Kütle işlemleri ile süspansiyon işlemleri özdeş parçacıklı fakat daha çok sıcaklık mukavemeti ve yüksek dayanımlı mallar üretilebilir.

Süspansiyon ve kütle işlemleri kıyaslandığında, kütle işlemlerinin su ayırma ve kurutma yöntemi ihtiva etmesine rağmen, değişmez maliyet harcamalarının %5 kadar daha yüksek olduğu göze çarpar. Bu yüksek harcama, gideri fazla olan farklı reaktörlerden kaynaklanmaktadır [25].

#### **3.4.4. Çözelti polimerizasyonu**

Monomerler, çözücülerde çözülerek polimerleştirilir. Eritilemeyen polimer kümeleşir ve çözücüden uzaklaştırılır. Bu işlem, eritme yeteneği ve tabaka oluşturma özelliğine sahip polimer ve kopolimerlerin imalatında faydalanılmaktadır [30].

#### **3.4.5. Mikro süspansiyon polimerizasyonu**

Mikro süspansiyon işlemi, emülsiyon prosesiyle yakın nitelikte PVC türlerinin imalatında faydalanılan, son dönemde geliştirilen süreçtir. Bu proses, "Seed" lateks yararlanılarak veya "Seed" lateks kullanılmadan üretilir. Emülsiyon işleminden ayırtedici özelliklerden biri, tetikleyicinin yağ evresinde ayrışmasıdır. Reaktör performansı, su/monomer oranlamasıyla ilişkilidir. Mikro süspansiyon pişleminde ikili yaygın parçacıkların oluşturulması ve daha büyük katı ihtiva eden latek süretimi, emülsiyon işleminden farklılık gösterir [25].

### **3.5. Polivinil Klorür (PVC)'nin Isıl Bozunması**

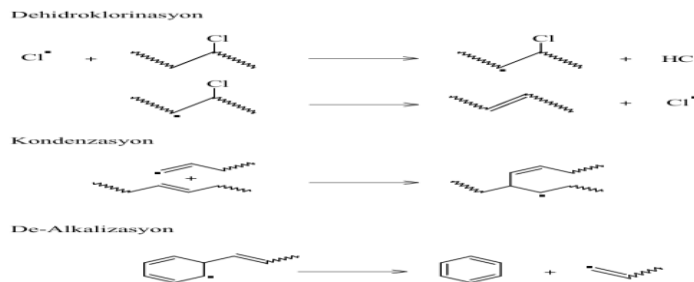
#### **3.5.1. PVC'nin ısıl bozunması ( Oksijensiz ortamda)**

PVC, birleşiminde %56,8 oranında klor ihtiva eden polimerdir ve bu nedenle ısıl bozunmaya oldukça duyarlıdır. Temel bağındaki klor atomları, sıcaklık ve ışığın etkisiyle hidrojen klorür ortaya çıkararak ikili bağ oluşmasına sebep olur. PVC'nin

ısıtarak bozunmasının belirgin belirtileri arasında HCl salınım' ı, renk değişimi (açık sarıdan önce kırmızımsı kahverengine, ilerleyen zamanda kısmen siyaha kadar değişen renklere) ve malzemenin kimyasal, fiziksel ve elektriksel niteliklerinin kaybı bulunmaktadır. PVC, ilişkisel olarak ısı olarak kararsız olduğundan ve işleme prosesleri için stabilizasyon gerektiğinden, PVC'nin ısıtarak bozunması işleyişiyle alakalı literatürde birçok teknolojik makale bulunmaktadır [31, 32].

Tüm inceleyenler, PVC'nin ısı bozunması sürecinde iki ana çözünme evresini içerdiğini tatik etmektedir. Başlangıç aşaması, dehidroklorinasyon ile HCl kopması ve polien yapının şekillenmesidir. Kaynaklar içinde organizasyonun ayrıntılarına ilişkin çeşitli düşünceler bulunsa da, genel olarak PVC'nin ısı ayrışması, fermuar açılması (unzipping) ismi verilen bir bağ işleyişiyle HCl şekillenmesi ile gerçekleştiği tastik edilmiştir. Dehidroklorinasyon sürecinde, yakın klorür ve hidrojen atomları polimer bağ devamınca giderek uzaklaşır ve sonunda bağın çözülerek bozulmasına neden olur. Zincirden ayrılan klorür ve hidrojen atomları, bozulmadan önce bağlı oldukları karbon atomları ortasında ikili zincir oluşturmaya adım atarlar; bu da bağın şimdilik dayanıklı olan ön tarafındaki ve karbon atomlarına göre 3, 4 pozisyonundaki klorür atomuyla fazla etkin bir alil klorür dizayn etmektedir. HCl kopmasının müstakil ikili zincirler yapılandığı ve dehidroklorinasyonun allilik klor atomlarının tetiklemeyle süratlendiği değerlendirilmektedir. Konjuge polien yapıların şekillenmesi, tahmini 25 veya daha dar ikili zincirler düzeyinde tamamlanır [33].

Bu aşamada, naftalin ,benzen ve ardışık polien kimyasal birleşiklerinin dealkilasyonu tamamlanır. Ardından, Cl eriyikten bağımsız kaldığında, polien kimyasal birleşikleri tekrar tertiplenir, siklizasyon ve kesişen zincir reaksiyonlarıyla alkil aromatik hidrokarbonlar ve kömür yığını yaratmaktadır. Bu poli aromatik yapıların çoğalması ve katran oluşumu, büyük oranda ara cins ve izomerleri kapsar [34].



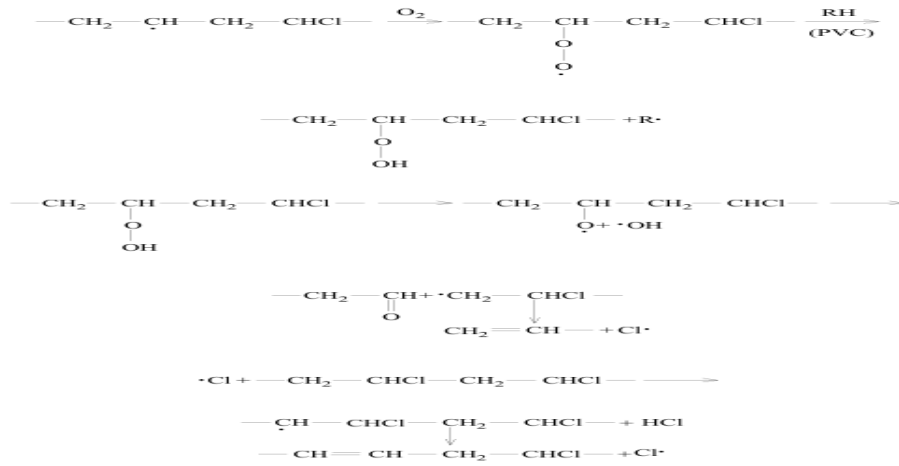
Şekil 3.6. PVC'nin ısı bozunma aşamaları [20].



### 3.5.2. PVC'nin ısı ve oksidatif bozunması

PVC'nin ısı ve oksidatif çözülmesi, ısı bozunmaya nazaran daha karmaşık bir yapı içermektedir. Bu bağlamda, ısı çözülme süreçleriyle senkron şekilde gerçekleşen malların (polien vb.) oksidasyonu da söz konusudur. Oksijenin PVC'nin çözülmesi üstündeki ana tesirleri bu biçimde ifade edilebilir:

PVC'nin, oksijen vasıtasıyla süratlendirilen, sıcaklık dehidroklorinasyonu; temel ağ da gerçekleşen parçalanmalar (oksijenin mevcut olmadığı alanda bu vaziyet algılanmaz); HCl kopması (oksijenin mevcut ısı uygulama geçirmiş PVC'den HCl uzaklaşması daha süratli olur) sonunda oluşan renk değişimidir.



Şekil 3.7. PVC'nin ısı ve oksidatif bozunma aşamaları [20].

PVC'nin ısı oksidatif çözülmesinin işleyişi, en yüksek kalitede detaylarıyla tam olarak belirlenmemiştir. Ancak, literatürdeki bazı faaliyetler PVC'nin termal oksidatif çözülmesi bağımsız radikal mekanizması arasından ilerlediği kabul onaylanmaktadır. Isıl oksidatif bozunmanın ilk adımının (HCl kopması ve polien oluşma biçimi), oksijensiz alandaki ısı bozunmayla eş olduğu değerlendirilmektedir. Polien yapıları, oksidatif dönüşüm tarafındadır. Bir sonraki evrede, polienin oksidatif dönüşümü gerçekleşir ve halkalı peroksitler ile peroksit reaktifleri meydana getirir. Polienlerin oksidatif dönüşümü ve peroksitlerin çözülmesi sonucunda ortaya çıkan radikaller, PVC sabitlerine hücum ederek ek dehidroklorinasyona neden olur.

Ön ısı prosedür görmüş PVC'den HCl oluşumu sürati, büyüyen değerde polien meblağı ve oksijenin eksik basıncı ile yükselir.  $200^\circ\text{C}$ 'nin üstünde, ısısal oksidatif HCl salınımı tek başına süratlenen (autoaccelerating) bir nitelik oluşturur. Polienlerin

oksidasyon sürecinde, peroksi radikalleri yapıya ikili zincir ekleyebilir veya allilik hidrojen atomunun ayrılmasının nedeni olabilir. Bu reaksiyonlar sonucunda 5 veya 6 üyeli halkalardan meydana gelen halkalı peroksitler oluşur.

PVC'nin uygulamalı istifade için ısıl ve oksidatif stabilizasyon hayati öneme sahiptir. Bu tür bozunma reaksiyonları, mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilir. Geleneksel antioksidanlar, belirli ikincil reaksiyonları in hibe ederek mekanik özelliklerdeki kaybı azaltırlar [35].

### **3.6. PVC'nin Özelliklerini Etkileyen Faktörler**

#### **3.6.1. PVC'nin fiziksel özelliklerine etki eden etmenler**

PVC, ısıl niteliği prespektifinden öbür amorf termoplastiklerle aynı nitelikler gösterir ve genellikle renksiz bir polimerdir. Fakat, katkı malzemeleri ihtiva eden PVC opak veya saydamlığı mümkündür. PVC, sıradan bir doğal izolatiftir. PVC'nin hacimsel ve tabaka mukavemetleri, polimerin türüne, katkı maddelerinin türüne ve değereğine uygun olarak dönüşür. Çoğunlukla katkı malzemeleri, PVC'nin hacimsel ve tabaka direncini etkiler.

PVC'nin bazı nitelikleri, camsı geçiş ısısından evvel ve ardından çeşitlilik gösterebilir. PVC'de meydana getirilen ürünlerin yoğunluğu, polimerin ve iç tarafındaki etki maddelerinin türüne ilişik olarak değişiklik gösterebilir. PVC polimeri, net bir erime sıcaklığı alternatifine camsı geçiş sıcaklığına sahiptir ve bu ısı genellikle 65 ila 85°C arasındaki değerlerdedir. Camsı geçiş ısı, polimerin türüne, kombinasyonuna ve analiz koşullarına bağlı olarak değişir. Plastikleştirici katkı maddelerinin polimere eklenmesi, camsı geçiş sıcaklığını düşürebilir [36].

#### **3.6.2. PVC'nin mekanik özellikleri**

PVC'den üretilmiş bir maddenin mekanik karakteristikleri, PVC'nin niteliklerine ilişkilidir. Bu yönden, PVC'den üretilen ürünlerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörler arasında PVC'nin moleküler yapısı ve molekül ağırlığı ile dağılımı yer alır. Üstelik, ürünlerin mekanik özellikleri, içinde bulunan katkı malzemelerinin türü ve nicelikleriyle de değişebilir.

### 3.6.3. PVC'nin kristal yapısı

Endüstriyel PVC genellikle amorf bir polimerdir ve genellikle %5 nispetinde minik ve simetrik olmayan kristaller ihtiva eder. Kristallerin boyutu ve kusursuzluğundaki yükseliş, PVC'nin erime noktasını ve camsı geçiş sıcaklığını yükseltir. Kristal yapının yükselmesiyle birlikte hassaslık yükselir. Plastikleştirici ihtiva eden PVC'nin genellikle daha fazla kristalliği ve baskı direnci vardır, plastikleştirici ihtiva etmeyen PVC'nin ise genellikle daha az kristalliği ve baskı direnci bulunur. Aşırı kristalli PVC'nin çözünürlüğü genellikle azalırken, kristal yapı kıt olan dayanıklı PVC'ye göre daha kıttır [36]. Tablo 3.3.'de PVC homopolimerlerinin genel nitelikleri verilmiştir.

**Tablo 3.3.** PVC homopolimerinin genel özellikleri [25].

Özellik (Proses etme)	ASTM	Rijit (sert)	Flexible
Molding Kalitesi		Zayıf-iyi	İyi
Sıkıştırma Oranı		2,0-3,0	2,0-3,0
Spesifik Yoğunluk	D792	1,35-1,45	1,16-1,35
Spesifik Hacim-Inch	D792	20,5-19,1	23,8-20,4
<i>Mekanik Özellikler</i>			
Tensil Dayanıklılığı (atm)	D638-651	5000	
Uzama (%)	D368	2,0-4,0	200-300
Darbe Dayanıklılığı (ft/pb/in)	D256	0,4-20	
Plastikleştiriciye Bağlı Özellik	D785	65-850	50-100A
<i>Termal Özellikler</i>			
Termal İletkenlik 25°C (10-4 cal/sn.cm <sup>2</sup> )	D177	3,0-7,0	3,0-4,0
Spesifik İsi (cal/gr) 25°C		0,2-0,28	0,3-0,5
Termal Genleşme (10-5 inc)	D696	5,0-18,5	7,0-25
Camsılığa Geçiş Sıcaklığı (°C)		65-85	40-60
Kristallerin Erime Noktası (°C)		120-210	105-120

### 3.7. PVC'nin İşleme Yöntemleri

PVC'nin işlenmesi için üç ana yöntem vardır: ekstrüzyon, kalenderleme (şerit ve levha haline dönüştürme) ve kalıplama. Bu yöntemler kullanılarak PVC'nin çeşitli bölgelerde birçok uygulaması oluşturulur. Bazı bu uygulamalara örnekler şunlardır. Tablo 3.4.'de PVC'nin işleme yöntemleri gösterilmiştir.

**Tablo 3.4.** PVC işleme yöntemleri [25].

İşleme Yöntemleri	Plastikleştirilmemiş Uygulama	Plastikleştirilmiş Uygulama
Ekstrüzyon	Sulama, basınçlı boru ve pis su boruları, sise profilleri, tüpler, filmler, kablolar, kayislar	Su ve hava hortumları
Kalenderleme	Yer döşeme karolari, paketleme tabakaları, film ve folyo, yüzme havuzu kaplamaları, sert tabakalar, dekoratif tabakalar.	Yer karolari, oyuncak yapimi
Kalıplama	Boru bağlantı parçaları, yatak yuvaları, elektrik ve ekipmanları	Ayakkabi, sandalet ve ayakkabi topukları

### 3.8. PVC Kullanım Alanları

PVC yaygın bir şekilde su temini ve zirai sulama için kullanılan basınçlı sert boruların imalatında kullanılır. Kanalizasyon, elektrik kablosu ve telefon hatları gibi basınçsız uygulamalarda ise basınçsız PVC borular tercih edilir. Klorlu PVC, evlerde sıcak su sistemlerinde, bina içi süslemelerde, pencere çerçevelerinde, oluklarda, yer karolarında, yer döşemelerinde, kabloların kaplamasında, gıda ambalajlarında, şeffaf şişe üretiminde ve tüketici ürünleri olarak ayakkabı, dış giyim, spor eşyaları ve oyuncaklarda kullanılır. Ayrıca, polivinil asetat, lateks veya emülsiyon olarak yapıştırıcı, boya, kumaş ve kağıt endüstrisinde de kullanılır [30].

PVC, dünyadaki en büyük dioksin kaynaklarından biridir ve dioksin kanserojen etkilere sahiptir. Bu kimyasal grup, çevreye bırakılan en zehirli kimyasallar arasında yer alır. UNEP' in Stockholm Konvansiyonu kapsamında, bu tür kimyasalların küresel olarak ortadan kaldırılması hedeflenmektedir [36]. Dioksinler, PVC plastiklerinin atık yakma tesislerinde, evlerdeki sobalarda yanması, açık alanda çöp

yakılması ve binalar ile araçlardaki yangınlar gibi durumlarda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, dioksinler PVC gibi klorlu ürünlerin imalatı sırasında da oluşabilir. PVC ürünlerinde, zararlı kimyasal katkı maddeleri bir araya getirilir [25].

PVC tüketim ürünleri, çevresel zararlılıklarının yanı sıra tüketiciler için potansiyel tehlikeler de içermektedir. Plastikleştiriciler, plastikten ayrılarak zamanla ortama salınabilir. Örneğin, PVC yer döşemelerindeki plastikleştiriciler zamanla havaya karışabilir. En yaygın kullanılan plastikleştiricilerden biri olan ftalat DEHP'nin kanserojen etkileri olduğuna dair şüpheler bulunmaktadır. Ftalat yumuşatıcılar, küresel çevre kirleticileridir ve bunların % 90'ı genellikle yumuşak PVC üretiminde kullanılmaktadır. Son zamanlarda birçok hükümet, bebek oyuncaklarında ve dişliklerde bulunan yumuşak PVC'nin içindeki ftalatların emildiğinde veya çiğnendiğinde bebekler için potansiyel bir risk oluşturduğu gerekçesiyle bu ürünleri yasaklamıştır [25]. Tablo 3.5.'de PVC'nin sektördeki kullanım payı gösterilmiştir.

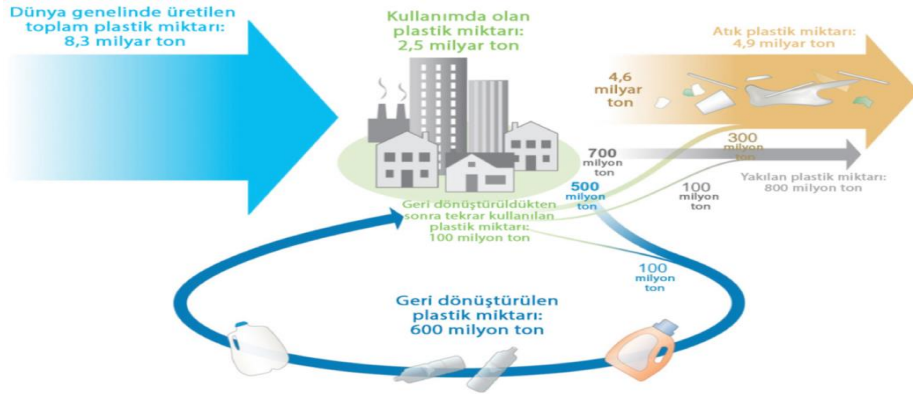
**Tablo 3.5.** PVC kullanım payı [25].

Kullanım Alanları	Kullanım %'si
İnsaat	59
Tüketim Malları	9
Ambalaj	7
Elektrikli Aletler	7
Ev Aletleri	5
Otomativ	5
Muhtelif	8

### 3.9. PVC'nin Geri Dönüşümü

Plastikler, düşük yoğunlukları, yüksek dayanıklılıkları, maliyet etkinlikleri ve optimize üretim süreçleri gibi avantajlarının yanı sıra günümüzde çok yönlü malzemeler arasında hızla gelişen bir konumdadır. Ambalajlama, tarım, elektronik, inşaat, ulaşım, sağlık, spor ve eğlence gibi çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılan

polimerler, her yıl yeni formüllerle ve özelliklerle genişleyerek modern toplumun önemli bir parçası haline gelmektedir. Ancak, bu malzemelerin biyolojik olarak parçalanamaması ve doğada uzun süre kalabilmesi, küresel olarak ciddi bir plastik atık sorununa yol açmaktadır. Küresel araştırmalara göre, plastik atıklarının yıllık miktarı 8 ila 9 milyar ton arasında olduğu tahmin edilmektedir [37]. Şekil 3.8.'de plastik malzemenin yaşam döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Plastik malzemenin yaşam döngüsü [38].

PVC polimerinin yaşam döngüsü, üretim aşamasından tüketimine, kullanımdan geri dönüşümüne kadar önemli bir süreçtir. PVC, işlenirken ısı ve basınçla şekillendirilebilen bir termoplastiktir ve polimerik bağlar kopmadığı sürece tekrar tekrar işlenebilir. PVC ürünleri %100 geri dönüştürülebilir ve geri dönüşüm kodu olarak #3 ile belirtilir. Son 40 yılda PVC, yapı malzemeleri arasında önemli bir yer edinmiş ve dünya genelinde yılda 30 milyon tonun üzerinde üretilmektedir. Ancak, bu ürünlerin ortalama ömrü 30 yılın üzerinde olup, bazıları 50 yıl veya daha fazla süreyle çevrede atık olarak kalabilmektedir. PVC ürünlerinin artan üretimi, gelecekte çevresel sorunlara neden olabilecek önemli bir atık akışına yol açabilir [39].

PVC'nin istenilen kaliteye ulaşması için ham PVC'ye çeşitli katkı maddeleri eklenerek formüle edilir. Özellikle yumuşak PVC ürünleri elde etmek için, nihai ürünün %60'ına kadarı PVC'ye plastikleştiriciler eklenir. Plastikleştiriciler, özellikle ftalat türevleri, PVC'ye kimyasal olarak bağlanmazlar; ancak sadece polimerle karıştırılarak işlenebilirliği artırır. Bu katkı maddeleri zamanla PVC'den havaya, suya veya diğer maddelere geçebilirler. PVC polimerine eklenen diğer katkı maddeleri olan kurşun, kadmiyum gibi metal stabilizatörlerin kullanımı ve atılması sonucunda ağır metallerin salındığı belgelenmiştir. Bu metal stabilizatörler çevreyi

ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek toksit maddelerdir. Ayrıca, PVC'nin kimyasal yapısının %57'sini klor içermesi nedeniyle, PVC atığı yanma sonucunda hidrojen ve klor olarak ayrışır ve hidroklorik asit oluşturur. Hidroklorik asit, suyla temas ettiğinde hızla hidroklorik asit gazına dönüşerek korozyon ve hava kirliliği problemlerine neden olabilir [40].

Çoğu zaman, yüksek klor içeriği ve PVC'nin formülasyonu sırasında oluşabilecek tehlikeler nedeniyle, genellikle PVC polimerlerinin bertaraf edilmesi için yaygın olan yöntemlerden biri olan yakma veya depolama uygun değildir [41]. PVC atıkların diğer geri dönüştürülebilir plastiklerden ayrıştırılması ve yeniden kazanım için formülize edilmesi, önemli bir gerekliliktir [42].

PVC tüketici sonrası polimer ürünler ve fabrika atıkları, mekanik ve kimyasal (termo-kimyasal teknikler dahil) olmak üzere iki ana yöntemle geri dönüştürülebilir. Mekanik geri dönüşüm, PVC atıklarını ayrıştırma, fiziksel olarak parçalama ve eritme gibi işlemleri içerir, böylece polimer zinciri bozulmadan yeniden ekstrüzyona tabi tutulabilir. Endüstriyel atıkların yeniden kullanımı için PVC endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan mekanik geri dönüşüm, PVC üretiminde uzun süredir kullanılmaktadır. Bu yöntem genellikle katı ayrışma gerektirir ve diğer polimer atıklarıyla karıştırılmamış PVC atıkları için tercih edilir [43]. Bu süreç temelde basit olmasına rağmen, geri dönüştürülen PVC ürünlerinin farklılıkları genellikle kalitede düşüşe neden olabilir. Bu durum, polimer zincirlerinin ortalama moleküler ağırlığının azalmasıyla sonuçlanabilir, bu da ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişikliklere yol açabilir [44]. Kimyasal geri dönüşüm yöntemi, atık PVC'yi kimyasal reaksiyonlar yoluyla monomere, oligomere veya atomlara ayırarak işler. Daha sonra, bu yapı taşları üretim süreçlerinde kullanılmak üzere yeniden dönüştürülebilir veya enerji geri kazanımı için yakıt olarak kullanılabilir. Şekil 3.9.'da geri dönüşüm yöntemleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Geri dönüşüm yöntemlerinin şematik görünümü [45].

Klor ve diğer kimyasal katkı maddeleri moleküler seviyede malzemeden uzaklaştırılarak, daha sağlıklı bir ürün elde edilebilir. Ancak, kimyasal geri dönüşüm için gerekli olan özel tesisler genellikle yüksek maliyetlidir ve çoğu durumda geri kazanılan ürün miktarı oldukça düşüktür [46]. Bu süreçteki zorluk, atık plastiği kırarken ve yeniden oluştururken düzgün metotları kullandıktan sonra atığı ufak parçalara ayırıp malzeme oluşturabilmektir. Fakat piroliz işlemi PVC polimeri geri dönüşüm yöntemi için pek tavsiye edilmez, çünkü PVC yüksek sıcaklıkta ısıtıldığında oldukça boğucu toksik olan HCl dumanları üretilir, buyüzden etkili kimyasal geri dönüşüm süreçleri PVC polimeri için oldukça önemlidir [47]. Piroliz yöntemi, kimyasal geri dönüşümde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, polimer malzemenin bozulma sıcaklığının üzerinde ısıtılarak moleküllerdeki kimyasal bağların kırılmasını içerir. PVC özellikle 250-300°C civarında bozunur ve bu süreçte HCl gazı açığa çıkar. Elde edilen HCl gazı, saflaştırıldıktan sonra tekrar kullanılabilir veya nötralize edilerek farklı ürünler oluşturmak için yeniden kullanılabilir [48].

PVC geri dönüşüm süreçlerinden özellikle mekanik geri dönüşüm, PVC moleküllerinin zincir uzunluğunu belirgin bir şekilde azaltmadığından, geri dönüştürülen PVC'nin, orijinal PVC ile benzer mukavemet ve özelliklere sahip ürünler elde edilebileceği düşünülmektedir. PVC polimeri, uygulamaya ve nihai ürünün durumuna bağlı olarak en az sekiz kez geri dönüştürülebilir, bu da polimer atık birikiminin azaltılması ve doğal kaynakların korunması açısından önemli bir katkı sağlar. PVC polimeri üretim ve işlenmesi diğer polimer türlerine göre daha fazla enerji tasarrufu sağlar, bu da PVC'nin uygun şekilde geri dönüştürüldüğünde değerli bir polimer haline gelmesini sağlar. Bazı PVC geri dönüşümü türleri şu anda uygulanabilir veya ekonomik olarak uygulanabilir olmasa bile, hükümetler, üreticiler ve tüketiciler PVC endüstrisi için sürdürülebilir bir gelecek sağlamanın yollarını aramaktadır.

Yukarıda belirtildiği gibi, PVC polimeri için etkili geri dönüşüm süreçleri son derece önemlidir. Bu nedenle, bu çalışma atık PVC ürünlerinin yakılması yerine, polimer zincirlerini kırmadan fiziksel olarak parçalara ayırarak formüle edilip ekstrüzyon işlemine tabi tutarak farklı ikincil ürünler elde etmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntem sayesinde atık PVC ürünlerin geri kazanımı sağlanırken, su, toprak ve hava kirliliğinin önüne geçilir. PVC'nin diğer plastiklere kıyasla daha yüksek enerji



tüketimi ve CO2 emisyonuna sahip olması, küresel ısınmanın azalmasına katkıda bulunacaktır [40].

### **3.9.1. PVC atık yönetimi**

Atık yakma, atık yönetimi için daimi bir çözüm değildir. Plastik yakıldığında, yakılması için kullanılan enerjiden daha küçüğü üretilir. Ayrıca, atık yakma sera gazı olan karbon içerikli karbondioksit (CO2) yayılmasına neden olur. Toksik maddeler, örneğin dioksin gibi, açığa çıkar ve katı atık çamuru, kül, süzme kalıntıları ve nötralizasyon tuzu yığıntıları şeklinde biriktirilir. PVC'nin yüksek klor içeriği, yakıldığında daha fazla dioksin oluşumuna yol açar. PVC, hastane ve evsel atık yakma işletmelerindeki klor girişi ile dioksin çıkışı arasındaki bağlantıda önemli bir rol oynar. PVC'nin yakılması sadece dioksin emisyonlarından kaynaklanmaz, aynı zamanda kanserojen vinil klorür, poliklorlu bifeniller (PCB'ler), klorbenzen ve diğer toksik bileşiklerin oluşumuna neden olur. PVC'ye eklenen ağır metaller ve diğer toksik içerikler de atık yakma sırasında açığa çıkar. Bu zararlı maddeler atmosfere yayılır veya atık depolama alanlarına gönderilen küllerde birikir. PVC'nin yakılması ayrıca depolama gerektirecek zararlı toksik miktarını artırır. PVC'nin yakılması sonucunda ortaya çıkan hidroklorik asit, depolama alanlarında zararlı çöp olarak bertaraf edilmesi gereken kirli tuzların oluşumuna yol açar. Bu nedenle, PVC'nin atık yakılması, atık yönetimi için kesin bir çözüm değildir [24].

### **3.9.2. PVC atıklarının depolanması**

PVC katkı malzemeleri, yerin altındaki sular için bir tehlike yaratır çünkü PVC, polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi petrokimyasal plastiklerin ana kısmıdır ve bu plastikler bertaraf edildikten sonra derhal parçalanmaz veya parçalanmış şekilde yer almaz. Kimi plastiklerde kullanılan çeşitli takviye maddeleri, depolama alanlarından sızarak toprağın ve yeraltı suyunun kirlenmesine neden olabilir. Bu durum özellikle PVC gibi birçok katkı maddesi içeren plastikler için geçerlidir ve çoğu katkı maddesi çevre için tehlikeli olabilir. Önemli miktarda PVC, katı evsel atıkların, inşaat atıklarının ve öteki kaynaklardan gelen atıkların etkisizleştirilmesi neticesinde atık depolama alanlarında bulunmaktadır. 1994 senesinde Avrupa devletlerinde neredeyse bir milyon ton PVC, evsel katı atık olarak atık toplama yerlerinde pasifize edilmiştir. Tarım, otomotiv endüstrisi, inşaat ve dağıtım gibi

işletmelerden oluşan PVC atıkları bu resme dahil değildir ve bu durum, atık yönetiminde önemli bir farklılık oluşturabilir.

Atık toplama sahalarındaki yangınlar, PVC atıklarıyla kısmi zehirli duruma gelir. Genellikle, toplama sahası yangınları, PVC'nin ısıl bozunma ve yanma imkanı ile beraber ağır metal katkı malzemeleri ve dioksinleri ihtiva eden kirleticileri duman veya akıntı suyu şeklinde ortaya çıkarır. Almanya'da yapılan bir inceleme, 63 atık depolama alanında 4 yıl boyunca 13 yangın meydana geldiğini göstermiştir. Bazı derin depolama alanı yangınlarının kontrol altına alınması aylar sürebilir.

Bazı durumlarda, bu yangınlar, atık hacmini düşürme amacıyla veya PVC kablolarındaki bakır gibi metal malzemeleri edinmek için bilinçli olarak başlatılmaktadır. Bu yangınların neden olduğu duman, yüksek oranda tamamlanmamış yanma ürünlerini içerir, bunlar dioksinler, aromatik hidrokarbonlar ve aldehitleri de içerir.

Endüstrilerden dioksin emisyonlarını engellemek için, kaynağında oluşumunu engellemek için endüstriyel proseslerin değiştirilmesi gerekmektedir. Klor ve klorlu organik kimyasalların kullanımı, endüstriyel uygulamaların herhangi bir aşamasında dioksin meydana gelmesine neden olabilir. Dolayısıyla, dioksin kökenleri ortadan kaldırılması, sanayideki tüm klor kullanımının durdurulmasını gerektirebilir. Bacalardan yayılan kirliliği kontrol etmek için kullanılan cihazlar ve bertaraf yöntemleri, kimyasalları sadece bir ortamdaki diğerine taşımak veya zaman içinde emisyonlarını ertelemekle kalmaktadır. Klor ihtiva eden atıkların yakılması da içindeki dioksin oluşumuna neden olabilir, dolayısıyla bu yöntem aşamalı olarak terkedilmelidir. Dioksin maruziyetinin insan popülasyonunda önemli ölçüde azaltılması için dioksinlerin acilen büyük miktarlarda ortadan kaldırılması gerekmektedir. Çünkü doğada uzun süre kalıcı olan büyük miktarda dioksin emisyonu mevcuttur, bu da küresel düzeyde ciddi bir sorundur [24].

### **3.9.3. PVC ürünlerinin alternatifleri**

PVC kullanım alanları için güvenli alternatifler mevcuttur. Geleneksel veya yerel, sürdürülebilir materyallerin kullanımı, örneğin kâğıt ve ahşap gibi, mümkündür. Ayrıca PVC, çevreye daha küçük hasar veren farklı plastik türevleri ile dönüştürülebilir. Ancak, çoğu plastik türü çevre için tehlike oluşturabilir ve küresel atık felaketine katkıda bulunabilir. Esas PVC uygulama alanları için varyasyon

genellikle marketlerde bulunabilir. Diğer kullanım alanları arasında duvar ve zemin kaplamaları, otomobiller, elektronik cihazlar, kablo ve tel kaplamaları, ambalajlar ve tıbbi cihazlar yer alır. PVC uygulama yerlerine bağlı olarak, uygun nitelikte varyasyonlar bulunabilir [24].

#### **3.9.4. PVC geri dönüşüm tesislerinin yangın güvenliği**

Geri dönüşüm tesisleri genellikle atıkların giriş bölümü, ayrıştırma, parçalama, ve kurutma gibi işlemlerin gerçekleştirildiği alanlar ile son ürünlerin depolandığı bölgelerden oluşur. Ek olarak, işlenmiş malzemelerden üretim yapılan tesisler de bulunabilir.

Tesislerin açık veya kapalı alanlarda olması, yangın güvenliği açısından farklı stratejilere ihtiyaç duyar. Özellikle tesisin açık alanları, çevredeki yangın risklerini kontrol altında tutmak ve düzenlemek için çeşitli değişkenlerle ilişkilendirilmelidir. Bu durum, geri dönüşüm tesislerinde yangın güvenliğinin sağlanması için hayati bir öneme sahiptir.

Organik malzemeleri geri dönüştüren tesisler, dinlenme aşamasında ve işlem sırasında atık malzemelerden yayılan gaz ve tozlar nedeniyle yangın ve patlama riski taşırlar. İlk bakışta yanmaz gibi görünen malzemelerde bile, kullanım sürecinde biriken yağ ve tozlar ile kâğıt, plastik gibi ambalaj malzemelerinin bir arada bulunması, ciddi bir yangın riski oluşturabilir [49].

İstatistiklere göre, bir geri dönüşüm tesisinde standart olarak iki yılda bir yangın olayı yaşanmaktadır. Bu nedenle, yangından korunma tesisin işletilmesinde hayati bir öneme sahiptir. Yangın güvenlik planı, çalışanların tümüyle eğitilmesini ve yangın alarmı durumunda profesyonelce hareket etmesini içerir. geçersiz uyarılar, çalışanın yangın uyarı metodlarına olan itimatını azaltabilir ve hakiki bir yangın anında yanlış reaksiyonlara sebep olabilir. Bu nedenle, yanlış uyarılar özellikle yangından korunma tasarımında ele alınması gereken bir risktir [50].

PVC ile çalışan işletmeler, bakım, temizlik ve bölüm içi denetim programlarına odaklanmalı ve bunları yüksek standartlarda sürdürmelidir. Acil uyarıların erken tespiti için emniyetli bir algılama sistemi ve gözetim sistemi bulunmalıdır. Ayrıca, tesis için acil durum planları düzenlenmeli ve işletme içinde yangın söndürme ekibi oluşturulmalıdır. Yönetim, müdahale konusunda öncelik vermelidir, risk analizi yapmalı ve çareler ile yangın güvenliği sistemlerini belirlemelidir. İşçiler, yangına

müdahale ve risk kontrol etme eğitimleri almalıdır. Bakım faaliyetleri ve temizlik uygulamaları sayesinde, beklenmeyen yakıtlar, engeller ve yangına neden olabilecek temeller ortadan kaldırılarak yangın riski azalır. Yere dökülen veya yayılan yanıcı akışkanlar veya tutuşabilir ürünler hemen arındırılmalı ve atıklar emniyetli bir yöntemle bertaraf edilmelidir. Duvarlar, tavanlar ve açık yapı malzemeleri üzerindeki yanıcı toz ve elyaf tiftikleri arındırılmalıdır. Atık ürünlerin ve çöplerin biriktiği alanlar yangına mukavemetli olmalıdır. Yanıcı akışkanlar ve tutuşabilir plastik malzemeler ihtiva eden bölgelerde ve bu tür yerlerde zarar oluşturabilecek ekipmanların kullanımını engellenmelidir [51].

Bir yangın veya infilak anında uyumu sağlamak amacı ile acil eylem tasarıları bulunmalı ve faaliyetlerde herhangi bir değişiklik meydana geldiğinde devamlı olarak güncellenmelidir. Yangın zararlarını küçültmek için, bütün yangın söndürme ekipmanları, yangından korunma teçhizatları, yanıcı sıvı depoları, depolama yerleri ve genel işletme riskleri periyodik olarak denetlenmeli ve kontrollerle kontrol edilmelidir. Tespit edilen herhangi bir aksaklık bir rapor haline getirilmeli ve hemen görevli sayesinde izlenmelidir. Acil durumlarda haber ulaşacak insanların telefon numaraları işletme içinde her zaman göz önünde olan yerlere konmalıdır. Tesisde bir yangının algılanması anında, tesis personeli yangını söndürebilecek yetkinlikte olsa bile hemen yangın ekiplerine haber verilmelidir [52].

Yangına müdahale edecek çalışanlar, tesis tarafından anında müdahalede aktif rol alabilecek nitelikli bireyler arasından seçilmelidir. Personelin teorik eğitimi, çeşitli yangın türleri, yangınların nedenleri, kullanılan söndürme malzemeleri ve yöntemleri (su, köpük, kuru toz, gaz vb.), sabit söndürme sistemleri (hortum boru sistemleri, yağmur ormanları, gaz sistemleri vb.), yangın yerindeki potansiyel tehlikeler (zehirli gazlar, çökme riski, elektrik, patlama tehlikesi vb.) üzerine odaklanmalıdır. Uygulamalı eğitimlerde, personel yangın söndürme cihazı kullanımı, hortum kullanımı ve yönetimi, su temini, köpük kullanımı, solunum cihazı kullanımı ve yangına müdahale tekniklerini öğrenmeli ve uygulamalı olarak çalıştırılmalıdır. Tatbikatlarda çalışanlar arasında görev dağılımı, müdahaleye hazırlık, malzeme kullanımı gibi konularda pratik çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

PVC yangın anında hızla yanar, erir ve yanıcı akışkanlar gibi davranarak yoğun duman ve zehirli gaz üretirken yüksek ısı meydana getirir. Söndürme için bol miktarda su ve yoğun püskürtme yeteneğine sahip yağmurlama başlıkları gerekebilir.

Depolanan plastiklerin söndürme metodu, kimyevi bileşimlerine, fiziksel özelliklerine ve istifleme düzenine bağlı olarak değerlendirilir. Depolama yüksekliği genellikle 6 metreyi aşmamalıdır ve plastiklerin stoklanması için bodrum katı olmayan tek katlı stoklama alanları oluşturulmalıdır. Belirli koşullar altında, yanabilen ve tutuşabilen plastik yangınlarını kontrol etmek için su kullanılabilir, ancak genellikle köpük daha etkilidir ve Sulu Film Yapıcı Köpük (AFFF) tercih edilir. Plastik yangınlarını söndürmek için köpüklü su püskürtmek için püskürtme başlıkları kullanmak uygundur. Yağmurlama sistemleri, kuru borulu, ıslak borulu veya ön tepkimeli/soğutmalı alan düzenleri şeklinde yapılabilir [53].

PVC katkı malzemeleri, yerin altındaki sular için bir tehlike yaratır çünkü PVC, polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi petrokimyasal plastiklerin ana kısmıdır ve bu plastikler bertaraf edildikten sonra derhal parçalanmaz veya parçalanmış şekilde yer almaz. Kimi plastiklerde kullanılan çeşitli takviye maddeleri, depolama alanlarından sızarak toprağın ve yeraltı suyunun kirlenmesine neden olabilir. Bu durum özellikle PVC gibi birçok katkı maddesi içeren plastikler için geçerlidir ve çoğu katkı maddesi çevre için tehlikeli olabilir. Önemli miktarda PVC, katı evsel atıkların, inşaat atıklarının ve öteki kaynaklardan gelen atıkların etkisizleştirilmesi neticesinde atık depolama alanlarında bulunmaktadır. 1994 senesinde Avrupa devletlerinde neredeyse bir milyon ton PVC, evsel katı atık olarak atık toplama yerlerinde pasifize edilmiştir. Tarım, otomotiv endüstrisi, inşaat ve dağıtım gibi işletmelerden oluşan PVC atıkları bu resme dahil değildir ve bu durum, atık yönetiminde önemli bir farklılık oluşturabilir.

Atık toplama sahalarındaki yangınlar, PVC atıklarıyla kısmi zehirli duruma gelir. Genellikle, toplama sahası yangınları, PVC'nin ısı bozunma ve yanma imkanı ile beraber ağır metal katkı malzemeleri ve dioksinleri ihtiva eden kirleticileri duman veya akıntı suyu şeklinde ortaya çıkarır. Almanya'da yapılan bir inceleme, 63 atık depolama alanında 4 yıl boyunca 13 yangın meydana geldiğini göstermiştir. Bazı derin depolama alanı yangınlarının kontrol altına alınması aylar sürebilir.

Bazı durumlarda, bu yangınlar, atık hacmini düşürme amacıyla veya PVC kablolarındaki bakır gibi metal malzemeleri edinmek için bilinçli olarak başlatılmaktadır. Bu yangınların neden olduğu duman, yüksek oranda tamamlanmamış yanma ürünlerini içerir, bunlar dioksinler, aromatik hidrokarbonlar ve aldehitleri de içerir.

Endüstrilerden dioksin emisyonlarını engellemek için, kaynağında oluşumunu engellemek için endüstriyel proseslerin değiştirilmesi gerekmektedir. Klor ve klorlu organik kimyasalların kullanımı, endüstriyel uygulamaların herhangi bir aşamasında dioksin meydana gelmesine neden olabilir. Dolayısıyla, dioksin kökenleri ortadan kaldırılması, sanayideki tüm klor kullanımının durdurulmasını gerektirebilir. Bacalardan yayılan kirliliği kontrol etmek için kullanılan cihazlar ve bertaraf yöntemleri, kimyasalları sadece bir ortamdaki diğerine taşımak veya zaman içinde emisyonlarını ertelemekle kalmaktadır. Klor ihtiva eden atıkların yakılması da içindeki dioksin oluşumuna neden olabilir, dolayısıyla bu yöntem aşamalı olarak terkedilmelidir.

Dioksin maruziyetinin insan popülasyonunda önemli ölçüde azaltılması için dioksinlerin acilen büyük miktarlarda ortadan kaldırılması gerekmektedir. Çünkü doğada uzun süre kalıcı olan büyük miktarda dioksin emisyonu mevcuttur, bu da küresel düzeyde ciddi bir sorundur [24].

#### **4. MATERYAL VE METOT**

Tez kapsamında Ankara ilinde faaliyet gösteren PVC geri dönüşüm tesisinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Tesis içerisinde detaylı incelemeler yapılmış, uluslararası düzeyde yararlanılan NFPA (National Fire Protection Association), 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında yürürlüğe giren, İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği ve uluslararası standartlar çerçevesinde değerlendirmeler yapılmıştır. Riskler Fine-kinney risk değerlendirme metoduyla hesaplanmıştır.

##### **4.1. Risk Değerlendirme Yöntemi**

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nda belirtilen risk analizi tanımı, çalışma yerlerinde var olan veya dışarıdan gelebilecek zararın tanımlanması, bu zararların risk oluşturan unsurlarının tespit edilmesi, tehditlerin neden olduğu risklerin değerlendirilerek kategorize edilmesi ve denetim tedbirlerinin saptanması için yerine getirilmesi gerekli süreçleri ifade etmektedir [54].

Tehlikelerin sistematik bir biçimde tespit edilip gözden geçirilmesiyle birlikte, bu tehlikelerin neden olduğu riskin boyutunu öngörmek ve halihazırda denetimlerin uygunluğunu analiz ederek riskin makul seviyede varlığını sürdürüp sürdürmediğini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliğine önceden müdahale eden bir yaklaşım getirmiştir. Bu çağdaş yaklaşımın nedeni, iş yerlerinde felaketleri ve meslek kayıplarını engellemektir. Önleyici yaklaşımın merkezinde, iş yerlerindeki iş sağlığı ve güvenliği risklerinin analiz edilmesi bulunmaktadır. Kanun, işverenleri iş sağlığı ve güvenliği açısından riskin incelenmesi yapma veya yaptırma konusunda yükümlülük altına almıştır.

Risk analiz çalışması 5 safhadan oluşur. Bu safhalar aşağıdaki düzen ile anlatılmaktadır.

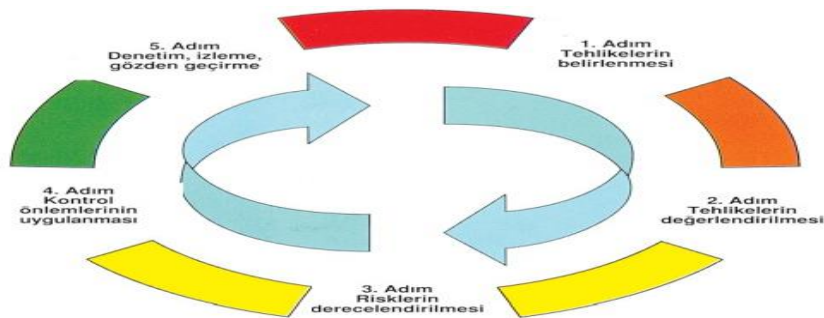
Tehlikelerin belirlenmesi; geçmiş kayıtlar, mevcut durum ve mevzuat incelenerek yapına değerlendirme sonucu iş yerindeki tehlikeler belirlenir [55].

Risklerin derecelendirilmesi; bu aşamada, bir risk analiz yöntemi bulunur. Tesbit edilmiş tehditler için alınması gereken tedbirler gözetlenerek riskler düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılır [56].

Tehlikenin analizi; risklerin tespiti, sınıflandırılması ve gerekli kontrol önlemlerinin belirlenmesi sağlanır ve bunlar için belirlenmiş prosedürler oluşturulur. Önceden tesbit edilmiş kriterlerle risk seviyeleri karşılaştırılarak kalan riskin kabul edilebilir olup olmadığı değerlendirilir. İhtiyaca göre ek risk kontrol önlemleri belirlenir ve bu önlemlerin risk seviyesini kabul edilebilir bir düzeye indirme etkinliği değerlendirilir [57].

Kontrol ve önlemlerin uygulanması; yüksek risk seviyesine sahip olan durumlarda, gerekirse iş durdurularak riskin kabul edilebilir seviyeye indirilmesi için acil önlemler alınmalıdır. Orta seviyedeki riskler öncelikle değerlendirilir ve ardından mümkün olan en kısa sürede önlemler alınır. Düşük risk seviyesine sahip tehlikeler, eğer basit yöntemler ve küçük maliyetlerle engellenebiliyorsa, gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Aksi takdirde, bu tehlikelerin kontrol altında tutulması için düzenli olarak risk analizi yapılacak bir kontrol sistemi oluşturulmalıdır [56].

İzleme, denetim, gözden geçirme; işletmelerin ufak bir kısa süre içinde benzer kalabilir. Ancak, işyeri organizasyonunda değişiklikler, yeni teknolojilerin kullanılması, yeni ekipmanların devreye alınması gibi faktörler iş yerinde değişikliklere neden olabilir. İş yerinde ciddi bir değişiklik meydana geldiğinde, risk analizi tekrarlanmalıdır. Her zaman, alınan tedbirlerin etkinliğini doğrulamak için risk analizi gözden geçirilmelidir. Tesisde emniyetli bir alanın sağlanması için alınan tedbirlerin uygulanabilirliği düzenli olarak takip edilmeli ve çalışanlar sürekli olarak denetime tabi tutulmalıdır [58]. Şekil 4.1.'de beş safhada gerçekleşen risk analiz döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Beş safhada risk analiz döngüsü [59].



#### **4.1.1. Risk değerlendirme karar matrisi (L matris metodu)**

Risk analizi yapacak olan uzmanlar için uygun bir metot olarak L tipi matris (5x5) öne çıkmaktadır, çünkü sebep sonuç ilişkilerini analiz için etkili bir araçtır. Bu metod, yetkilinin sahip olduğu çalışma deneyimlerle bir arada başarı oranını artırır. Aynı zamanda işletmelerde alınması gereken acil tedbirleri belirlemede tercih nedenidir.

L matris metodu yaygın kullanıldığından, belirlenen risklerin oluşma olasılığı ve olası neticeleri belirlenir. Neticenin saptanmasında risk puanının hesaplanması kıymetlidir. Risk puanı, belirlenen risklerin meydana gelme olasılığı ile oluşabilecek hasarın seviyesinin çarpımıyla hesaplanır. Bu, riskin net bir şekilde belirlenmesini sağlar [55].

#### **4.1.2. Tehlike ve çalışabilirlik metodu (HAZOP)**

Tehdit ve uygulanabilirlik değerlendirmesi olarak isimlendirilen bir süreçtir ve özellikle bir düzenin faaliyete dair taraflarının ve risklerinin saptanması amacıyla kullanılır. HAZOP nazari olarak kolay olabilir, fakat pratikte özenle araştırılmalı ve uygulanmalıdır. Bu tetkik metodu, zaman risklerini ortaya koymak için rehber kelimeleri ve zaman fonksiyonlarını kullanır. HAZOP metodu, bir ekip başının rehberliğinde, farklı branşlardan yetkili kişilerden oluşan bir ekip tarafından fikir üretimi yapılarak gerçekleştirilir [60].

HAZOP sistemi, başlangıçta kimyasal faaliyet aşamaları için geliştirilmiştir. Bugün, özellikle kimya işletmelerinde yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, diğer endüstrilerde de tatbik edilmektedir. Yeni açılan iş alanlarında, emniyeti en üst derecede tutmak veya hazır kuruluşlarda tehlikeleri belirlemek ve çalışma alanını emniyetli şekilde getirmek için çoğunlukla başvuru yapılan bir metoddur [61].

#### **4.1.3. Denetim listesi metodu**

Kontrol listesi tekniği, özelliysel teknikler içinde genellikle seçilen bir metoddur. Bu metodun uygulanmasında, çalışma alanına uyumlu sualler tertip edilir ve bu sualleri değerlendirerek denetim listeleri meydana getirilir. Sualler genellikle evet/hayır veya uygun/uygun değil tarzında değerlendirilir. Bu cevaplar, elde edilen bilgilere göre alınması gereken tedbirlerin oluşturulmasına olanak sağlar. Denetim listesi yönteminin kolay olması nedeniyle çoğu işletmede uygulanabilir. Özellikle ulaşım

işletmelerinde geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, denetim listesi meydana getirilirken göz ardı edilen bir risk, ciddi neticelere yol açabilir [62].

Denetim listesi metodunda hedeflenen, işra edilen faaliyetin mümkün olan riskli öğelerinin belirlenmesi ve bunların tetkiklerinin yapılmasını, ayrıca belirlenen potansiyel riskleri için hasar ihtimallerinin tespit edilmesidir [63].

#### **4.1.4. Fine-Kinney risk analiz metodu**

Literatürdeki araştırmalara göre, risk değerlendirmelerinde özellikle Fine-Kinney yöntemi başka inceleme usullerine göre seçim yapılmasının nedenleri, pratikte uygulanabilirliği ve üst düzey hassasiyet seviyesidir. Üstelik Fine-Kinney yöntemi, ihtimal, etki ve frekans gibi faktörlerin ayrı ayrı incelenmesine olanak tanıyarak, çağdaş yöntemlerin iyileştirilmesine destek olması nedeniyle tercih edilir bir yöntem olarak kabul edilmektedir [64].

Fine-Kinney metodu, risklerin önceliklendirilmesi ve kaynakların etkin bir şekilde yönlendirilmesi konularında kullanılan bir tekniktir. Bu metod, risklerin ağırlık oranlarını hesaplayarak derecelendirme yapar ve önlemlerin ne zaman alınması gerektiğine karar verilmesine yardımcı olur. İşyeri istatistiklerinin kullanımına olanak sağladığı için Fine-Kinney metodu daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine katkı sağlar. Bu metod, İhtimal (İ), Etki (E) ve Frekans (F) skalalarını kullanarak risk derecesini (R) belirler.

$(R) = (İ) İhmal \times (E) Etki \times (F) Frekans$  şeklinde hesaplanır.

Bu metod, risklerin önceliklendirilmesi ve kaynakların öncelikli olarak yönlendirilmesi içeriğinde uygulanan bir yöntemdir. Risklerin ağırlıklı oranları hesaplanarak sınıflandırma uygulanır ve tedbir alınmasının ne zaman gerektiğine hükme bağlanır. Fine-Kinney metodu, tesisin veri analizleri kullanımına olanak sağlaması nedeniyle daha objektif neticeler sunar [65].

Etki, bir tehlikenin insan veya ortam üstünde olası öngörülen zararını yansıtır. Etki değerlendirmesinde, zarar kısmında ölüm durumu varsa, puanlama buna uyumlu olarak 40 puan (tek vefat) veya 100 puan (birden fazla vefat) olarak yapılmalıdır. Üstelik, etki değerlendirmelerinde herhangi bir belirsizlik olduğunda, daha büyük bir puan verilmelidir. Gerçekleştirilen pratikte, sektörün yüksek risk içerdiği dikkate

alınarak etki dereceleri mümkün olduğunca büyük olarak değerlendirilmiştir [66]. Tablo 4.1.'de Fine-Kinney risk analiz yöntemi ile etki değeri gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** Etki değeri tablosu [67].

Değer	Açıklama	Kategori
1	Dikkate alınma	Hafif-zararsız veya önemsiz
3	Önemli	Minör-düşük iş kaybı, küçük hasar, ilk yardım
7	Ciddi	Major-önemli zarar, dış tedavi, işgünü kaybı
15	Çok Ciddi	Sakatlı, uzuv kaybı, çevresel etki
40	Çok Kötü	Ölüm, tam maluliyet, ağır çevresel etki
100	Felaket	Birden çok ölüm, önemli çevre felakati

Frekans, bir tehdiye süre içinde etkilenme sıklığını belirtir. Bu, işin yapılma sıklığı değil, iş sırasında tehlikeye maruz kalma sıklığıdır. Özellikle olağan dışı faaliyetler değerlendirilirken, o aktivite anında tehdiye maruz kalma sıklığı göz önünde bulundurulmalıdır [66]. Tablo 4.2.'de Frekans değeri çizelgesi verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Frekans değeri tablosu [68].

Değer	Açıklama	Kategori
0,5	Çok nadir	Yılda bir yada daha az
1	Oldukça nadir	Yılda bir yada birkaç kez
2	Nadir	Ayda bir yada birkaç kez
3	Arasıra	Haftada bir yada birkaç kez
6	Sıklıkla	Günde bir yada daha fazla
10	Sürekli	Sürekli yada saatte birden fazla

İhtimal, bir zararın gerçekleşme ihtimalini ifade eder. İlk risk değerlendirmesi sırasında herhangi bir kontrol önlemi göz önüne alınmaz, bu nedenle ihtimaller her an en zor senaryo olarak ele alınır. Yapılan iyileştirici işlemler frekans veya etkiyi etkilemez, tek değişken İhtimaldir [66]. Tablo 4.3.'de Olasılık değeri çizelgesi verilmiştir.

**Tablo 4.3.** İhtimal değeri tablosu [68].

Değer	Açıklama
0,2	Pratik olarak imkansız
0,5	Zayıf ihtimal
1	Oldukça düşük ihtimal
3	Nadir fakat olabilir
6	Kuvvetle muhtemel
10	Çok kuvvetli ihtimal

Fine-Kinney risk değerlendirme metodunda:

0-20 arasında oluşan riskler için herhangi bir kontrol önlemi gerekmebilir, lakin bazı zamanlar 0-20 arasında olan bir risk için uygulanan kontroller de mevcuttur. Bu durumda, referans alınabilecek kontroller bulunmaktadır.

20-70 arasında çıkan riskler, genellikle en yaygın olan aralıktır ve çoğu risk bu aralıkta ortaya çıkar. Bu aralıktaki riskler için, yasal bir gereklilik olmadığı sürece özel önlemler alınması gerekmez. Ancak genellikle "olası risk" kavramı, bir tür tedbir neticesi şeklinde oluşur. Ayrıcalıklar olabilir, ancak genellikle riskin 20-70 aralığında olması koşulunda, riskin bu derecede kalmasını sağlayan bir kontrol mekanizmasına dayanak olması beklenir. Bu dayanak, talimatlara, prosedürlere, ihtar levhalarına, eğitime veya kişisel donanım ekipman kullanımına dayanabilir [67].

70 ve üzerinde puan alan riskler için kesinlikle bir iyileştirici durum planı oluşturulmalıdır. 70 puan ve yukarı risklerle alakalı olarak, planlanan eylemler için

yetkililer, zamanlamalar, maliyetler vb. belirlenmelidir. Eğer bütün tedbirler alındıysa ve yeni tedbirler alınamıyorsa, bu durumda risk değerlendirme metoduna, bu tür durumlarda tehlikelerin bilinerek çalışılacağına dair bir ifade eklenmelidir [67].

400 ve üzerinde puan alan tehlikeler için aksiyonların terminleri yeniden gözden geçirilmeli ve acil tedbirler bulunmalıdır. Bu eylemler gerçekleştirilene kadar süreçte ne şekilde çalışılacağı net bir şekilde belirtilmelidir [67].

Düzeltilme eylemleri sonuçlandıktan sonra derecelendirme gözden geçirilmelidir. Düzeltmeler sonrasında değer hala 70 ve üzerinde olan riskler için tedbirler alınarak çalışmalara devam edilebilir. Bu evrede, iyileştirme veya tedbir çalışmalar sonrasında değeri 70 ve üstünde olan riskler için oluşturulan denetim metodu, tedbirlerin sürekliliği açısından büyük değer taşır. Bütün tedbirlere rağmen 400 ve üzeri puan alan risklerle ilgili çalışmalar kesinlikle tesisin en üst görevlisi ile paylaşılması gerekmektedir. Belirlenen tehlikeler ve olası riskler, Fine-Kinney metoduyla değerlendirilerek puanlandırılmış ve sonuçlar ile yapılması gereken düzeltici veya önleyici çalışmalar tablolarda sunulmuştur. Tablo 4.4.'de risk düzeyine göre verilecek karar ve eylemler gösterilmiştir.

**Tablo 4.4.** Risk düzeyine göre karar ve eylemler [67].

Sıra	Risk değeri	Karar	Eylem
1	$R < 20$	Kabul Edilebilir Risk	Acil tedbir gerekmebilir
2	$20 \leq R < 70$	Kesin Risk	Eylem planına alınmalı
3	$70 \leq R < 200$	Önemli Risk	Dikkatle izlenmeli ve yıllık eylem planına alınarak giderilmeli
4	$200 \leq R < 400$	Yüksek Risk	Kısa vadede eylem planına alınarak giderilmeli
5	$R \geq 400$	çok Yüksek Risk	çalışmaya ara verilerek derhal tedbir alınmalı



## **5. ARAŞTIRMA BULGULARI**

### **5.1. PVC Geri Dönüşüm Tesisindeki Yangın Risk Değerlendirmesi**

PVC geri dönüşüm tesisinin yangın güvenlik önlemleri, 6331 sayılı İş sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, İş sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği ve NFPA standartları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Genel olarak, tesisin yangın güvenliği risk değerlendirmesi tamamlanmıőtır ancak tesisin içeriği göz önüne alındığında daha detaylı bir çalışma yapılması gerekebilir.

Çalıőmamızda, sistematik bir yaklaőımla tesisin yangın risklerini belirledik ve olası yangının binada bulunan insanlar üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurarak kapsamlı bir inceleme yaptık. Hedefimiz, tespit ettiğimiz risk değerlerini azaltmaktır. Tesisin yangın riskini azaltmak için gerekli önlemleri belirledik ve uygulanması gereken adımları ortaya koyduk. Ayrıca, olası bir yangının tesis dışına yayılma olasılığını da değerlendirdik ve gerektiğinde komşu iőletmelere yangın riskleri konusunda bilgi verilmesi gerektiğini vurguladık.

Fine-Kinney metoduyla yapılan risk analizi sonucunda elde edilen risk değerleri ve ilgili düzeltici ve önleyici faaliyetlerin gerekliliği ile alınan aksiyonların etkileri Tablo 5.1'de sunulmuőtur. Tablo 5.1, literatür araőtırmalarından elde edilen verilere dayanılarak oluőturulmuőtur.

Yangın güvenliği risk değerlendirme raporu, sürekli değişen süreçlere uyum sağladığından, düzenli olarak gözden geçirilmelidir. Tespit edilen riskleri etkileyebilecek veya yeni yangın riskleri oluşturabilecek durumlar ortaya çıktığında, raporun güncellenmesi önemlidir.

**Tablo 5.1. PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu**

No	Alan	Tehlike	Risk	Mevcut Durum Değerleri					Düzenleyici Önleyici Faaliyetler	Döf Sonrası Değerler				
				(I) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu		(I) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu
1	Depolama alanı	Depolama alanlarının açıkta bulunması	Çevresel etmen ve sabotajdan dolayı yangın çıkması	1	1	100	100	Önemli risk	a) Depolama alanlarının güvenlik önlemleri alınmalıdır. b) Depolama alanlarının kamera ile izlenmelidir. c) Depolama alanlarının kapalı alanlara alınarak yangın güvenlik önlemleri alınmalıdır. d) Açık alanda bulunan depolama alanlarında malzemelerin ayrıştırılarak düzgün istiflenmelidir.	0,2	1	100	20	Kabul edilebilir risk
2	Depolama alanı	Malzemelerin ve içindeki maddelerin yapısı	Depolama alanındaki yanıcı maddeler sonucu yangın çıkması	6	1	100	600	Çok yüksek risk	a) Depolama alanında bulunan malzemelerin ayrıştırılması gerekir. b) Depolama alanlarına getirilen malzemenin içlerindeki yanıcı maddelerin boşaltılması gerekir. c) Depolama alanlarında malzemelerin farklı noktalarda istiflenmesi gerekmektedir. d) Yangının sirayeti engelleyecek bölmeler yapılmalıdır.	0,5	1	100	50	Kesin risk
3	Depolama alanı	Depolama alanlarını çevresinde sigara içilmesi, ateş yakılması	Malzemelerin tutuşması sonucu yangın	6	2	40	480	Çok yüksek risk	a) Personelin yangın güvenliği konusunda standartları bilmesi gerekir. b) Personel iş güvenliği talimatlarına uymalıdır.	0,5	2	40	40	Kesin risk
4	Atık toplama alanı	Atık toplama alanının tesisle iç içe olması	Atık malzemenin tutuşması sonucu hızla sirayet etmesi	3	2	40	240	Yüksek risk	a) Atık toplama sahasının tesisden uzak bir şekilde konumlandırılması gerekir. b) Atık toplama alanının izole bir şekilde yapılması gerekmektedir.	0,2	2	40	16	Kabul edilebilir risk



**Tablo 5.1. (Devamı) PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu**

No	Alan	Tehlike	Risk	Mevcut Durum Değerleri					Düzenleyici Önleyici Faaliyetler	Döf Sonrası Değerler				
				(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu		(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu
5	Atık toplama alanı	Atık toplama sahasının yangına müdahale edilmeyecek şekilde düzenlenmesi	Yangının hızlı şekilde sirayet etmesi	3	2	40	240	Yüksek risk	a) Atık depolama ve toplama planları oluşturulmalıdır. b) Atıklar yangına müdahale edilecek yeterli alanlar bırakılarak depolanmalıdır.	0,2	2	40	16	Kabul edilebilir risk
6	Makina ve teçhizatlar	Makine ve teçhizatların bakımlarının yapılmaması	Makine ve teçhizatların parçalarının yıpranması sonucu yangın	3	1	100	300	Yüksek risk	a) Makina ve teçhizatlarının periyodik bakımlarının zamanında yapılmalıdır. b) Makina ve teçhizatların kullanım ömürleri takip edilmelidir.	0,2	1	100	20	Kabul edilebilir risk
7	Makina ve teçhizatlar	Makine ve teçhizatların uzman personel tarafından kullanılmaması	Makin eve teçhizatın yanlış kullanılması sonucu yangın	3	2	100	600	Çok yüksek risk	a) Makin eve teçhizatlar uzman personel tarafından kullanılmalıdır. b) Çalıştırma ve kullanma talimatlarına harfiyen uyulmalıdır.	1	2	100	200	Yüksek risk
8	Makina ve teçhizatlar	Makine ve teçhizatların topraklama bağlantılarının olmaması	Statik elektrik sonucu yangın	6	3	40	720	Çok yüksek risk	a) Makin eve teçhizatlarının topraklama bağlantıları yapılmalıdır. b) Statik elektiriği engelleyici izolasyon yöntemleri kullanılmalıdır.	3	3	40	360	Yüksek risk
9	Makina ve teçhizatlar	Makina ve teçhizatların aşırı ısınması	Aşırı ısınma sonucu yangın	3	2	15	90	Önemli risk	a) Makine ve teçhizatların aşırı ısınmasını engelleyici soğutma ve yağlama sistemlerinin kurulması gerekir. b) Periyodik olarak bakımlarının yapılması gerekmektedir.	0,5	2	15	15	Kabul edilebilir risk

**Tablo 5.1. (Devamı) PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu**

No	Alan	Tehlike	Risk	Mevcut Durum Değerleri					Düzenleyici Önleyici Faaliyetler	Döf Sonrası Değerler				
				(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu		(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu
10	Çalışanlar	Çalışanların bilinçli olmaması	Yangına müdahalenin gecikmesi	1	1	100	100	Önemli risk	a) Tüm çalışanlara yangın eğitimi düzenli olarak verilmelidir. b) Tesis içinde yangın ekipleri tertip edilmelidir. c) Yangın ekiplerinde görev alan personele teorik eğitim ve tatbikatlar düzenlenmelidir.	0,5	1	100	50	Kesin risk
11	Elektrik panoları	Elektrik panolarında kaçak akım rölelerinin bulunmaması	Kaçak akım sonucu yangın	3	3	40	360	Yüksek risk	a) Elektrik panoları Elektrik İç Tesisat Yönetmeliğine uygun olarak düzenlenmeli ve tüm sigortalar korunaklı yerlerde olmalıdır. b) Panolara yetkili ve uzman kişiler tarafından müdahale edilmelidir.	0,5	3	40	60	Kesin risk
12	Elektrik panoları	Elektrik uyarı işaretlerinin bulunmaması	Yetkisiz ve bilinçsiz müdahale sonucu yangın	3	6	100	1800	Çok yüksek risk	a) Uygun işaretler ve uyarıcı levhalar konulmalıdır.	0,2	6	100	120	Önemli risk
13	Elektrik panoları	Pano önlerinde yalıtkan paspas bulunmaması	Statik elektrik sonucu yangın	6	3	40	720	Çok yüksek risk	a) Pano önlerine yalıtkan malzeme konularak izolasyon sağlanmalıdır.	1	3	40	120	Önemli risk
14	Elektrik panoları	Panoya erişimde engellerin olması	Hızlı müdahale edilmemesi sonucu yangın	6	1	100	600	Çok yüksek risk	a) Pano etrafında ve yakınında panoya ulaşımı engelleyecek malzemeler bulunmamalıdır.	0,5	1	100	50	Kesin risk

**Tablo 5.1. (Devamı) PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu**

No	Alan	Tehlike	Risk	Mevcut Durum Değerleri					Düzenleyici Önleyici Faaliyetler	Döf Sonrası Değerler				
				(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu		(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu
15	Elektrik panoları	Elektrik panolarının kilitlenmemesi	Yetkisi olmayan kişilerin müdahale etmesi sonucu yangın	3	3	40	360	Yüksek risk	a) Pano üzerine sorumlu kişilerin listesi asılmalıdır. b) Panoların emniyetleri alınmalı ve kilitli tutulmalıdır. c) Pano anahtarları listede sorumlu olan personel tarafından her an müdahale edilecek şekilde muhafaza edilmelidir.	0,5	3	40	60	Kesin risk
16	Elektrik panoları	Dış etkenlere karşı uygunsuzluk	Ortam ve çevre koşullarından dolayı yangın	3	3	40	360	Yüksek risk	a) Pano sıvı, toz ve dış etkenden izoleli olarak yapılmalıdır.	0,2	3	40	24	Kesin risk
17	Elektrik panoları	Faz sinyal lamba ve göstergelerin düzgün çalışmaması	Mevcut durumun ve aşırı yüklenmelerin takip edilmemesi sonucu yangın	1	6	15	90	Önemli risk	a) Çalışmayan lamba göstergeler değiştirilmelidir. b) Periyodik olarak bakımları yapılmalıdır.	0,2	6	15	18	Kabul edilebilir risk
18	Elektrik kabloları	Elektrik kablolarının uygunsuz kullanımı	Yanlış kullanım ve izolasyon yetersizliği sonucu yangın	3	6	100	1800	Çok yüksek risk	a) Elektrik kabloları akım şiddetine göre uygun olmalıdır. b) Kablolar kanal içerisinden uygun yerlerden geçirilmelidir. c) Kablolar yangına dayanıklı ex-proof şeklinde olmalıdır. d) Kablo izolasyonu ex-proof olacak şekilde düzenlenmelidir. e) Kablolarda uygunsuz şekilde ek yapılmamalıdır. f) Kablo uçları açıkta bırakılmadan uygun izolasyon malzemesi ile kapatılmalıdır.	0,2	6	100	120	Önemli risk

**Tablo 5.1. (Devamı) PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu**

No	Alan	Tehlike	Risk	Mevcut Durum Değerleri					Düzenleyici Önleyici Faaliyetler	Döf Sonrası Değerler				
				(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu		(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu
19	Klimalar	Klima periyodik bakımlarının yapılmaması	Düzensiz çalışma ve arıza sonucu yangın	1	6	100	600	Çok yüksek risk	a) Klima bakımları periyodik ve düzenli olarak yapılmalıdır. b) Klima gaz kaçağı kontrol edilmelidir. c) Klima filitreleri düzenli olarak temizlenmeli ve gerekli ise değiştirilmelidir.	0,2	6	100	120	Önemli risk
20	Jeneratör	Jeneratör elektrik bağlantılarının uygunsuz olması	Kaçak sonucu yangın	3	6	100	1800	Çok yüksek risk	a) Jeneratörün besleyeceği devreler önceden tespit edilip, kapasitesinin üstünde yük çekmesi önlenmelidir. b) Jeneratör için ayrı bir tesisat çekilmelidir.	0,5	6	100	300	Yüksek risk
21	Jeneratör	Düzenli bakımının yapılmaması	Arıza sonucu yangın	3	3	100	900	Çok yüksek risk	a) Periyodik bakımları mevzuatlar çerçevesinde düzenli bir şekilde yapılmalıdır. b) Bakım raporları dosyalanmalıdır. c) Bakım ve kullanma talimatı oluşturulmalı. d) Yetkili personel tarafından kullanılmalıdır.	1	3	100	300	Yüksek risk
22	Isıtıcı	Isıtıcının kontsüz kullanımı	Yangın	3	2	100	600	Yüksek risk	a) Isıtıcılar kontrollü bir şekilde kullanılmalıdır. b) Kullanılmadığında gerekli yer meniyet önlemleri alınmalıdır.	0,5	2	100	100	Önemli risk
23	Isıtma sistemleri	Isıtma sistemlerinin kontrollerinin yapılmaması	Aşırı ısınma sonucu yangın	3	3	40	360	Yüksek risk	a) Isıtma sistemlerinin periyodik bakımları düzenli olarak yapılmalıdır. b) Isıtma sistemlerinde kaçak kontrolleri yapılmalıdır. c) Isıtma sistemleri yetkili kişiler tarafından çalıştırılmalıdır.	0,5	3	40	60	Kesin risk

**Tablo 5.1. (Devamı) PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu**

No	Alan	Tehlike	Risk	Mevcut Durum Değerleri					Düzenleyici Önleyici Faaliyetler	Döf Sonrası Değerler				
				(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu		(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu
24	Yıldırım	Paratoner bakımlarının ve ölçümlerinin yapılmamış olması	Yıldırım düşmesi sonucu yangın	1	1	40	40	Kesin risk	a) Paratoner kurulmalı ve yılda 1 defa bakımları yapılmalıdır. b) Topraklama direnci ölçülmelidir. c) Paratonerin işletme etki çapı krokisi olmalıdır.	0,2	1	40	8	Kabul edilebilir risk
25	Sigara	Kapalı alan ve depolarda sigara içilmesi	Malzemenin tutuşması sonucu yangın	1	1	100	100	Önemli risk	a) Kapalı alanda ve depolarda sigara içilmemesi için çalışanlar uyarılmalıdır. b) Duman algılama dedektörleri açık olmalıdır.	0,2	1	100	20	Kabul edilebilir risk
26	Yangın söndürme cihazı	Söndürme cihazlarının bakımlarının yapılmaması	Söndürücülerin boş olması sonucu müdahale edilemeyerek yangının büyümesi	3	1	100	300	Yüksek risk	a) Yangın söndürme cihazlarının periyodik kontrolleri düzenli olarak yapılmalıdır. b) Boşalan söndürücüler yenisi ile değiştirilmelidir. c) Tüplerin başınları ve ağırlıkları düzenli olarak kontrol edilmelidir. d) Son kullanma tarihleri takip edilmeli ve belgelenmelidir.	0,5	1	100	50	Kesin risk
27	Yangın söndürme cihazı	Yangın söndürme cihazlarının yetersiz olması	Geç müdahale sonucu yangının büyümesi ve söndürülememesi	3	1	100	300	Yüksek risk	a) Her katta ve blokda yangın söndürücülere ulaşma mesafesi en az 25 metre olacak şekilde söndürücü bulundurulmalıdır. b) Yangın söndürme cihazlarının önlerine almayı engelleyecek malzeme konulmamalıdır. c) Yangın tüpleri yerden 90 cm olacak şekilde duvara monte edilmelidir.	0,5	1	100	50	Kesin risk

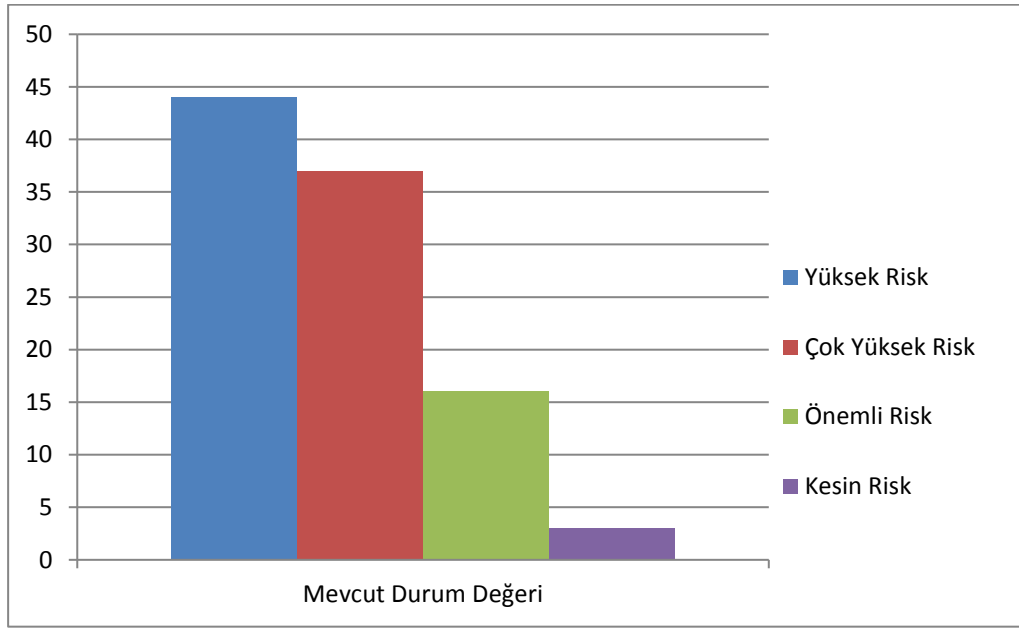
**Tablo 5.1. (Devamı) PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu**

No	Alan	Tehlike	Risk	Mevcut Durum Değerleri					Düzenleyici Önleyici Faaliyetler	Döf Sonrası Değerler				
				(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu		(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu
28	Yangın söndürme cihazı	Yangın söndürme cihazları doğru konumlandırılmaması	Geç müdahale sonucu yangının büyümesi ve söndürülememesi	3	1	100	300	Yüksek risk	a) Portatif yangın söndürme cihazları NFPA 10 standartlarına uygun olarak kurulmalı ve bakımları yapılmalıdır. b) Yangın söndürme cihazlarının yerleri güvenlik işaretleriyle belirlenmelidir.	0,5	1	100	50	Kesin risk
29	Yangın sistemleri	Çalışanların yeterli bilinçe sahip olmaması	Geç müdahale sonucu yangının büyümesi	3	1	100	300	Yüksek risk	a) Yangın sistemlerinin kullanımı hakkında yetkili firma tarafından yangın ekiplerine ve kullanıcı personele düzenli olarak eğitimleri verilmelidir.	1	1	100	100	Önemli risk
30	Yangın alarm sistemleri	Yangın alarm sisteminin olmaması yada arızalı olması	Geç haberdar olma sonucu yangının büyümesi	3	1	100	300	Yüksek risk	a) Yangın alarm sistemlerinin periyodik kontrolleri yapılmalıdır. b) Yangın alarm sistemleri faal durumda bulunmalıdır.	0,5	1	100	50	Kesin risk
31	Yangın dolabı	Yangın dolabının uygunsuz yerleşimi ve yetersiz olması	Geç müdahale sonucu yangının büyümesi ve söndürülememesi	3	1	100	300	Yüksek risk	a) Yangın dolapları mevzuatta belirtilen aralıklarda kurulmalıdır. b) Yangın dolapları TS EN 671-3 standartlarında belirtilen aralıklarda periyodik kontrolleri yapılmalıdır. c) Periyodik kontrol raporları tutularak muhafaza altına alınmalıdır. d) Hortumların basınç kontrolleri yapılmalıdır. e) Musluk ve vanalarda arıza bulunmamalıdır.	0,2	1	100	20	Kabul edilebilir risk

**Tablo 5.1. (Devamı) PVC geri dönüşüm tesisi yangın risk değerlendirme tablosu**

No	Alan	Tehlike	Risk	Mevcut Durum Değerleri					Düzenleyici Önleyici Faaliyetler	Döf Sonrası Değerler				
				(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu		(İ) İhtimal	(F) Frekans	(E) Etki	Risk Puanı	Risk Değ. Sonucu
32	Yangın algılama ve söndürme sistemleri	Yangın algılama ve söndürme sisteminin olmaması	Yangının geç algılanması ve söndürülememesi sonucu yangın	6	1	100	600	Çok yüksek risk	a) Yangın algılama ve söndürme sistemlerinin kurulması gerekmektedir. b) Yangın algılama ve söndürme sistemlerinin düzenli olarak kontrollerinin yapılması gerekir. c) Yetkili kişiler tarafından algılama ve söndürme sistemleri kullanımı ve müdahalesi yangın ekiplerine gösterilmelidir. d) Yangın algılama ve söndürme sistemi kontrolleri tutanak altına alınmalıdır. e) Arızalı dedektörler yenisi ile değiştirilmelidir.	0,5	1	100	100	Kesin risk

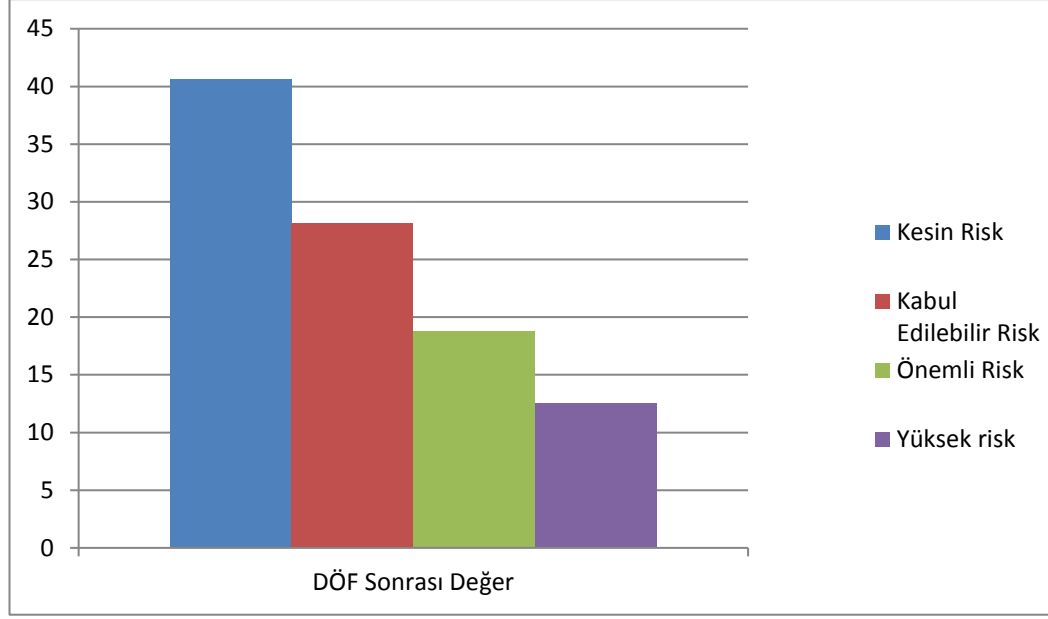
Fine-Kinney risk analizi yöntemi kullanılarak hazırlanan risk değerlendirme raporunda, tehlike kaynakları detaylı bir şekilde incelenmiş ve toplamda 32 risk tanımlanmış ve değerlendirilmiştir. Tespit edilen risklerin mevcut durumdaki yaklaşık yüzde dağılımları Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Mevcut durumda tespit edilen risk değerlerinin %44 oranına sahip kısmı yüksek risk, %37'si çok yüksek risk, %16'sı önemli risk ve %3'ü kesin risk değerlendirmesinde olduğu tespit edilmiştir. Kabul edilebilir risk gurubunda tespit yapılmamıştır.



**Şekil 5.1.** Mevcut risk değerinin yaklaşık yüzde oranı.

Güncellenen risk analizi çalışması, düzeltici ve önleyici faaliyetlerin ardından belirlenen risk değer kategorilerinin dağılımını Şekil 5.2'de sunmaktadır. Grafikten de görülebileceği gibi, düzeltici ve önleyici faaliyetlerin uygulanmasından sonra risk değerlerinin yüzdesel dağılımı şöyledir; %41 kesin risk, %28 kabul edilebilir risk, %19 önemli risk ve %12 yüksek risk kategorisindedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, çok yüksek risk kategorisi tamamen ortadan kaldırılmıştır. Kabul edilebilir risk değerleri ve kesin risk değerleri düzeltici ve önleyici faaliyetler sonrasında mevcut durumun üstüne çıkarak risk odağını ortadan kaldırmıştır. Düzeltici ve önleyici faaliyetlerden sonra çok yüksek risk değerleri ortadan kaldırılmıştır.





**Şekil 5.2.** DÖF sonrası risk değerinin yaklaşık yüzde oranı.

Risk analizi çalışmasıyla belirlenen risk değerleri; çok yüksek risk, yüksek risk, önemli risk, kesin risk ve kabul edilebilir risk şeklinde değerlendirilmektedir.

Çok yüksek risk değerlemesinde risk değeri  $R \geq 400$  şekline hesaplanan kategoridir. Çalışmaya ara verilerek derhal düzenleyici ve önleyici tedbirler alınmalıdır. Yapılan risk analiz çalışmasında 12 adet çok yüksek risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yüksek risk değerlemesinde risk değeri  $200 \leq R < 400$  şeklinde hesaplanan kategoridir. Kısa vadede eylem planına alınarak düzenleyici ve önleyici tedbirler ile risk değeri kesin risk değerine indirilmelidir. Düşük olasılıkla gerçekleşmesine rağmen, oluşması halinde toplu ölümlere yol açabilecek olan tehlikeli durumlar, yüksek bir şiddetle nitelendirilir ve bu durumlar yüksek risk taşır. Yapılan risk analiz çalışmasında 14 adet yüksek risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

Önemli risk değerlemesinde risk değeri  $70 \leq R < 200$  şeklinde hesaplanan kategoridir. Dikkatle izlenmeli ve yıllık eylem planına alınarak düzenleyici ve önleyici tedbirler ile risk değeri düşürülmelidir. Yapılan risk analiz çalışmasında 5 adet yüksek risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

Kesin risk değerlemesinde risk değeri  $20 \leq R < 70$  şeklinde hesaplanan kategoridir. Eylem planına alınarak risk takip edilmelidir. Ölümle sonuçlanma ihtimali bulunan riskler, bu kategoride belirgin değildir. Bu tür risklerin önlenmesi için ek önlemler alınmasına gerek olmayabilir. Mevcut kontrollerin sürdürülmesi ve düzenli denetimi

yeterli olabilir. Yapılan risk analiz çalışmasında 1 adet kesin risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

Kabul edilebilir risk değerlemesinde risk değeri  $R < 20$  şeklinde hesaplanan kategoridir. Acil tedbir gerekmemektedir. Yapılan risk analiz çalışmasında kabul edilebilir risk değerlendirilmesi yapılmamıştır.

Yangının ve dolayısıyla toplu ölümlerin gerçekleşme riski, yüksek etki ile ilişkilendirildiğinde, risk değerlendirmesi çalışmasında belirlenen risklerin büyük bir kısmı çok yüksek veya yüksek risk kategorilerinde belirlenmiştir.

PVC geri dönüşüm tesisinde önemli yangın risklerinin başında tesisde bulunan atık toplama alanları ve depolama alanları gelmektedir. Buradaki risk değerlemesi yapıldığında yüksek risk değeri ölüm, tam maluliyet ve ağır çevresel etki şekli oluşmaktadır. Çok yüksek risk değerlemesinde ise birden çok ölüm ve önemli çevre felaketi etki şekli oluşmaktadır. Burada yapılması gereken ise düzenleyici ve önleyici tedbirler zaman kaybetmeden gerçekleştirilmelidir.

Tesis içindeki makine ve teçhizatlar ise yangın güvenliğinde yüksek risk oluşturmaktadır. Makine ve teçhizatlar düzenli olarak kontrolleri yapılmalı yetkili personel tarafından kullanılmalıdır. Buradaki risk değerlemesi yapıldığında çok yüksek risk, yüksek risk ve önemli risk olarak değerlendirilmiştir. Burada yapılması gerekenler çalışmaya ara verilerek tedbirler alınmalıdır. Alınan kesin tedbirler sonucu kısa vadede eylem planı gerçekleştirilmeli ve dikkatle izlenmelidir.

Tesis içindeki elektrik tehlikesi yangın risk değerlemesinin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Yapılan risk değerlendirilmesinde çok yüksek risk, yüksek risk önemli risk olarak değerlendirilmiştir. Risk değerlemesinde ise birden çok ölüm ve önemli çevre felaketi etki şekli oluşmaktadır. Düzenleyici ve önleyici tedbirler ile risk değerlendirmesi önemli risk, kesin risk ve kabul edilebilir risk değerine indirgenmiştir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

PVC geri dönüşüm tesislerinde oluşabilecek yangın riskleri incelenmiş, olası tehlikeler belirlenmiş, risk seviyeleri hesaplanmış ve olumsuz senaryoların önlenmesi için çözümler üzerinde çalışılmıştır. Araştırma, geri dönüşüm tesislerinde yangın güvenliğinin sağlanması ve yangının maddi ve manevi zararlarının azaltılması amacıyla risk analizinin nasıl gerçekleştirileceğini göstermektedir.

Tesisin yangın risk analizi 32 değerlendirme sonucunda 12 çok yüksek risk, 14 yüksek risk, 5 önemli risk ve 1 kesin risk olarak değerlendirme yapılmıştır. Kabul edilebilir risk değerlendirme yapılmamıştır.

Yapılan çalışma sonucunda yangın riskinin önlenmesi için alınan tedbirlerin bazıları;

- Hassas alanlarda erken uyarı ve alarm sistemlerinin kurulması, aynı zamanda etkin yangın söndürme sistemlerinin kurulmasını gerektirir.
- Yangın söndürme sistemleri ve ekipmanlarının düzenli periyodik kontrolleri önemlidir ve ihmal edilmemelidir.
- Etkin yangın güvenliği sistemleri, erken uyarı ve alarm sistemleri ile otomatik yangın söndürme sistemlerini içermelidir. Yangın söndürücüler, doğru tipte ve yeterli miktarda bulundurulmalı ve herkes tarafından kolayca fark edilebilecek şekilde işaretlenmelidir. Ayrıca, düzenli periyodik bakım ve kontrolleri yapılmalıdır.
- Çalışanların kullandığı makine ve teçhizatlar yetkili kişiler tarafından kullanılmalı, periyodik kontrolleri aksatılmadan yapılmalıdır.
- Düzenli yangın tatbikatları düzenlenmesi, kullanıcıların yangın anında doğru davranışları öğrenmelerine ve binayı daha hızlı terk etmelerine yardımcı olacak şekilde bilinçlenmelerini sağlar.

- Özel yangın ekiplerinin eğitimleri düzenli olarak yapılmalıdır. Yapılan eğitimler sonucu özel yangın ekiplerinde yer alan çalışanların listesi her zaman güncel tutulmalıdır.
- Tesisde acil durum planları oluşturularak yangın güvenliği riskleri en aza indirilmelidir.
- Çalışma alanına girecek herkesin iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerine katılması ve yangın konusunda bilgilendirilmesi zorunludur.
- Ulusal standartlar dışında uluslararası standartlarda kullanılarak yangın güvenlik önlemleri bir bütün şeklinde değerlendirilmelidir.
- Acil kaçış yollarının etkili bir şekilde tasarlanması ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik standartlarına uygun olarak planlanması önemlidir. Pasif güvenlik önlemlerinin doğru bir şekilde uygulanması, aktif güvenlik önlemlerine olan gereksinimi azaltabilir.

Bu tez kapsamında, PVC geri dönüşüm tesisinde olası yangın senaryolarına odaklanmıştır. Bu bağlamda, öngörülen tehlikeler titizlikle değerlendirilmiş ve yangın risklerinin azaltılması için Fine Kinney analiz yöntemiyle çalışılmıştır. Risk analizi yöntemi seçerken en uygun olanın tercih edilmesi önemlidir, ancak ülkemizde genellikle daha basit yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde, benzer önceki olayların sıklığı göz ardı edilmektedir. Risk skoru hesaplamasında, İhtimal ve etkinin yanı sıra frekans değerinin de dikkate alınması, analize önemli bir katkı sağlar. Ancak, geçmiş verilere dayalı olarak belirlenen sıklık değeri, analize subjektiflik katabilir. Bu nedenle, Fine Kinney risk analizi metodu tercih edilmiştir.

Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde, Fine Kinney risk analiz yöntemiyle gerçekleştirilen çalışmaların farklı sektörlerde yapıldığı, ancak bizim çalışmamızla benzerlikler taşıdığı görülmüştür. Bu doğrultuda, Fine Kinney risk analiz yönteminin sektörel ayırım gözetmeksizin tüm sektörlerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Farklı iş alanlarında, Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemi, basit uygulanabilirliği ve etkili sonuçları sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bunlardan bazıları plastik sektöründe Fine Kinney Metodu ile risk değerlendirmesi [69] yapılması, Üst yapı inşaatlarında risk değerlendirilmesinin önemi ve fine kinney örneği [70] ve iş sağlığı

güvenliğinde Fine-Kinney yöntemi ile risk yönetimi: mermer işletmesi örneği [71] tarafından uygulanmıştır.

Risk analizi çalışmaları, tespit edilen riskleri tamamen ortadan kaldırmaz. Bunun yerine, risklerin azaltılması veya kabul edilebilir seviyelere indirilmesi için belirlenen düzeltici ve önleyici faaliyetlerin termin tarihine kadar tamamlanması gerekmektedir. Risk unsurları düzenli olarak kontrol edilecek ve olası değişikliklerin tetiklediği risklere zamanında müdahale edilerek kaza riski azaltılacaktır.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, yangın güvenliği alanında ilerleme sağlamıştır. Özellikle güvenlik kültürünün geliştirilmesi ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliği konusundaki farkındalığının artırılması, kazaların önlenmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. İş başı ve periyodik eğitimlerin etkinliği sağlanmalı ve davranış değişikliği sağlayacak şekilde planlanmalıdır. Yapılan araştırmalar, birçok yangının sebebinin kişilerin bilinçsizliği olduğunu göstermektedir.

Tüm yapılar için yangın riski her zaman mevcuttur. Temel ilke, yapıların tasarımı, kullanımı ve bakımı sırasında olası yangınların sonuçlarını en aza indirmektir. Bunun içinde tesis yapım aşamasından itibaren yangın güvenlik önlemlerini her zaman göz önünde bulundurularak her türlü önlemin alınması gerekmektedir. Yangın güvenliği açısından birincil hedef, yangının oluşmasını engellemektir. Bu mümkün olmadığında, yangını başlangıç noktasında kontrol altına alarak yayılmasını önlemektir. Kontrol edilemeyen yangınlar afete dönüşebilir. Yangın güvenliği sürecinde başarı, yangın riskini minimuma indirmekle sağlanır.

Bu çalışmanın sonucunda, tesisin yangın risklerini azaltmak için yapısal önlemler alınması, yangın söndürme ekipmanlarının düzenli olarak kontrol edilmesi ve personelin yangın eğitimi alması gerektiği sonucuna vardık. Ayrıca, yangın söndürme ve tahliye planlarının düzenli olarak gözden geçirilmesi ve güncellenmesi gerektiğini belirledik. Bu tedbirlerin alınması, olası bir yangının etkilerini minimize ederek tesisin güvenliğini artıracaktır.

Tesislerin yangın risklerini belirlemek ve azaltmak için sistematik bir yaklaşımın benimsenmesi önemlidir. Bu çalışmayla, tesisin yangın güvenliği açısından alınması gereken önlemleri belirledik ve uygulanması gereken adımları ortaya koyduk. Tesis sahipleri ve yöneticileri, bu tür risklerle ilgili sürekli bir farkındalık ve hazırlıklı

olmalıdır. Yangın güvenliği konusunda yapılan her türlü yatırım, hem çalışanların hem de tesisin güvenliği açısından son derece önemlidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Arpacioğlu Ü. (2004) *Yangın Olgusu ve Yüksek Yapılarda Yangın Güvenliği* [Yüksek Lisans Tezi]. Mimar Sinan Üniversitesi.
- [2] Enerjisa üretim. Orman yangınlarının nedenleri <https://www.enerjisauretim.com.tr/blog/orman-yanginlarinin-nedenleri-ve-onleme-yontemleri> adresinden 03 Ocak 2024 tarihinde alınmıştır.
- [3] Öztop F, Uçar S. Yangın, Yangının Etkileri ve Yangın Yeri İnceleme. Jandarma Kriminal Daire Başkanlığı. Ankara; 2009, 1-13.
- [4] Soyhan, H. S., Özkalay, C., Can K., Mammacıoğlu O. (2018). *Yangın ve Yaşam* (2.baskı). Cenevre Yayınları.
- [5] Özkimsan Endüstri Kimyasalları. (2018). Demirin paslanmasında kütle korunur mu? <https://www.ozkimsan.com/demirin-paslanmasinda-kutle-korunur-mu/> adresinden 03 Ocak 2024 tarihinde alınmıştır.
- [6] Kimyaca. (2020). Bir şey nasıl yanar? <https://kimyaca.com/bir-sey-nasil-yanar/> adresinden 03 Ocak 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [7] An explotion at LNG station. <https://9gag.com/gag/av5d75d> adresinden 04 Ocak 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [8] HSSE (Healty, safety, security and Environment) World <https://hsseworld.com/everything-you-need-to-know-about-the-explosion/> adresinden 04 Ocak 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [9] İplikçi E. (2006). *Binalarda Yangın Güvenlik Önlemlerinin Analizi ve Yangın Güvenlikli Bina Tasarımına İlişkin Performans Kriterlerinin Ortaya Konulması* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- [10] İBB İtfaiye Daire Başkanlığı. Yangın ve Kazalarla Mücadele Eğitim Kitabı. İstanbul; 2007, s:7-90.
- [11] Küçük S. (2001). *Yanma Sırasında Oluşan Yanma Ürünleri ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Olumsuz Etkileri* [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- [12] Kakaç S., (1982). *Isı Transferine Giriş 1: Isı İletimi*. ODTÜ Mühendislik Fak. Yayını No:52.
- [13] Isı transferi <https://fireeng.tripod.com/yangin.htm> adresinden 08 Şubat 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [14] Yavuz G. (1997). *Yangın Korunumu Kimyasına İlişkin Özet Bilgiler*. Yangın ve Güvenlik Dergisi, 31, İstanbul, s. 87 - 91.
- [15] Yangınsınıfları [https://www.abdurrahmanince.net/?islem=yangin\\_siniflari](https://www.abdurrahmanince.net/?islem=yangin_siniflari) adresinden 20 Şubat 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [16] Çeyrek mühendis. Yangın sınıfları nelerdir? <https://www.ceyrekmuhendis.com/yanigin-sondurucu-cesitleri/> adresinden 20 Şubat 2024 tarihinde kopyalanmıştır..

- [17] Hardie, D. W. F. (1964). *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. John Wiley, Vol.5, New York.
- [18] Devlet Planlama Teşkilatı, (2001). *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*, DPT: 2547 ÖİK:563, Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu.
- [19] Özsoy, A. (1985). *Plastik malzemelerin kaynağı, kaynak metotları ve kaynak makineleri* [Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi.
- [20] Aslankılıç, Z. (2008). *Alev geciktirici katkı maddelerinin PVC üzerindeki etkilerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- [21] Titow W. V. (1984) *PVC technology*. Elsevier, New York, 0-85334-249-0.
- [22] Tüzüm-Demir, A.P., Ulutan, S. (2013). Migration of phthalate and non-phthalate plasticizers out of plasticized PVC films into air. *Journal of applied polymer science* 128, 1948-1961.
- [23] Saygı Ş., Battal D., Özlen Şahin N. (2012). Çevre ve insan sağlığı yönünden ilaç atıklarının önemi. *Marmara Pharmaceutical Journal*, 16 (2): 82-90.
- [24] Yarman, Ş., M. (2005). PETKİM Petrokimya Holding A.Ş. *International POPs Elimination Project – IPEP*.
- [25] Aydın, H. (2004). PVC üretimi ve katkı maddeleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [26] Prof.Dr. Birsen Beşergil <https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/polivinil-klorurpvc-pvcnin-vinil.html> adrsinden 03 Mart 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [27] Plasttek <http://www.plasttek.com/polivinil-klorur> adresinden 01 nisan 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [28] Hazer, B. (1993). Polimer teknolojisi KATÜ Fen EdebiyatFakültesi.
- [29] HOECHST. (1979). US patent, 4 158 092.
- [30] Tolunay,Ö. (1994). Yedinci beş yıllık kalkınma planı özel ihtisas komisyon raporu,7,8,9. Ankara.
- [31] Braun, D. (1981). Developments in polymer degradation, *Applied science*, London, Vol.3, 101-133.
- [32] Starnes, W. H. Jr. (2002). Structural and mechanistic aspects of the thermal degradation of poly(vinyl chloride), *Progress in polymer science*, (27), 2133-2170.
- [33] Levchik, S. V., Weil, E. D. (2005). Overview of the recent literature on flame retardancy and smoke suppression in PVC, *Polymers for advanced technologies*, 16, 707-716.
- [34] Marongiu, T., Faravelli, T., Bozzano, G., Dente, M., Ranzi, E., (2003), Thermal degradation of poly(vinyl chloride), *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 70 (2), 519-553.
- [35] Jellinek, H. H. G. (1983). *Degradation and stabilization of polymers*, Elsevier, New York, 0-444-42216-1.
- [36] Saçak, M. (2005). Polimer Teknolojisi, gazi kitapevi, Ankara s.379.



- [37] <https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/waste-management-prevention/> adresinden 05 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [38] [https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/sites/default/files/plastik\\_kullanimi\\_0.jpg](https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/sites/default/files/plastik_kullanimi_0.jpg) adresinden 05 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [39] Ochman C. M., Browne M. A., Halpern B. S., Hentschel B. T., Hoh E., Karapanagioti H. K., Rios-Mendoza L. M., Takada H., Teh S. and Thompson R. C. (2013). 80 “Classify plastic waste as hazardous”, Macmillan Publishers Limited. 494, 169-171.
- [40] Sürmelioglu S. (2023). *Geri dönüşümlü PVC'den elde edilmiş kompozit malzemelerin mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- [41] Samperio J. A. S. (2016). “Alternative Catalytic Processes for the Valorization of Plastic Wastes to Fuels” (PhD Thesis).
- [42] Jamialahmadi, N. (2020). Recycling of mixed plastic wastes containing PVC. “*The 7th International Conference on Composites: Characterization, Fabrication and Application (CCFA-7)*” İran.
- [43] Hahladakis, J. N., Iacovidou, E. (2019) An overview of the challenges and trade-offs in closing the loop of post-consumer plastic waste (PCPW): Focus on recycling. *Journal of Hazardous Materials*.
- [44] Tangent sustainable lumer <https://tangentmaterials.com/tangents-recycled-plastic-lumber-equine-applications/> adresinden 05 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [45] Turkchem Kimya Sanayi Haber Portalı <https://www.turkchem.net/plastik-geri-donusumunde-zorluklar-firsatlar.html> adresinden 05 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [46] Wagner, M. (2021). Solutions to plastic pollution: A conceptual framework to tackle a wicked problem. *Springer*. S. 333-352.
- [47] Crippa, M., De Wilde, B., Koopmans, R., Leyssens, J., Muncke, J., Ritschkoff, A-C., Van Doorselaer, K., Velis, C., Wagner M. (2019). A circular economy for plastics – insights from research and innovation to inform policy and funding decisions.
- [48] Big Chemical Encyclopedia Pyrolysis of PVC - Big Chemical Encyclopedia (chempedia.info) adresinden 05 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [49] Efectis <https://efectis.com/tr/geri-donusum-tesislerinde-yangin-guvenligi/> adresinden 06 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [50] Aveka <https://aveka.com.tr/geri-donusum-tesisleri> adresinden 06 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [51] <https://www.imua.org/Files/reports/AnUnderwritingGuidetoPlasticManufacturing.html> adresinden 06 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [52] Fire Safety Planning Guide. (2006). Environment and Plastics Industry Council (EPIC), s. 5-11.
- [53] Kılıç, A. (2017). Plastiklerin yangın güvenliği. *TÜYAK Yangın Mühendisliği Dergisi*, sayı 3, s 38-43.

- [54] 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. 30.06.2012 tarih ve 28339 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmıştır.
- [55] Özkılıç, Ö. (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Türkiye Konfederasyonu, Yayın No:246, Ankara, 48s.
- [56] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2007). 5 Adımda Risk Değerlendirmesi, Genel Yayın No:140, Ankara.
- [57] Türk Standartları Enstitüsü (2004). İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirme Ve Derecelendirme Eğitim Notları, Ankara.
- [58] Health and Safety Executive <https://www.hse.gov.uk/simple-health-safety/risk/index.htm> adresinden 07 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [59] [https://eskisehir.meb.gov.tr/meb\\_iys\\_dosyalar/2018\\_05/03105607\\_5\\_adYmda\\_risk\\_deYerlendirme.pdf](https://eskisehir.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2018_05/03105607_5_adYmda_risk_deYerlendirme.pdf) adresinden 07 Mayıs 2024 tarihinde kopyalanmıştır.
- [60] Akman, A. (2015). Kimya sektöründe tehlike ve işletilebilirlik (Hazop) analizi. Çalışma Dünyası Dergisi, 3(2), 59-74.
- [61] Erdem, M. (2021). Kontrol Listesi (Check-List) ve Fine-Kinney Risk Değerlendirme Yöntemleri Kullanılarak Bir Eğitim Kurumu Risk Analizi Uygulaması ve Karşılaştırılması. Hasan Kalyoncu Üniversitesi.
- [62] Selek, H.S. (2016). İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Temel Konular. (1. Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- [63] Turan, A., Müezzinoğlu, A. (2015). Risk değerlendirme yöntemleri. Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi (MSG), 7(25).
- [64] Usanmaz, D., Köse, E. 2020. Kimyasal Araştırma Laboratuvarı Risk Değerlendirmesi İçin İki Farklı Metodun İstatistiksel Analizi. International Journal of Engineering Research & Development (IJERAD), 12(2), 337–348. <https://doi.org/10.29137/umagd.606402>.
- [65] Acuner, Ö. (2019). *İki Farklı İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Metodolojisinin Bir İşletmede Uygulamalı Karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Dumlupınar Üniversitesi.
- [66] Kılıç, H.H. (2018). *Geri Dönüşüm İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği* [Yüksek Lisans Tezi]. Cumhuriyet Üniversitesi.
- [67] Kinney, G.F., Wiruth, A.D. (1976). Practical Risk Analysis For Safety Management, NWC Technical Publication 5865, Naval Weapons Center, China Lake CA, USA, 25 S.
- [68] Fine, W.T. & Kinney (1971). Mathematical Evaluation For Controlling Hazards, Journal Of Safety Research, 3(4) W.D., 157-166.
- [69] Yağmurluklu, Y. (2019). *Plastik Sektöründe Fine Kinney Metodu İle Risk Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- [70] Hansu, M.A. (2022). *Üst Yapı İnşaatlarında Risk Değerlendirilmesinin Önemi ve Fine Kinney Örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Gelişim Üniversitesi.

- [71] Özçelik, A. (2013). *İş Sağlığı ve Güvenliğinde Fine-Kinney Yöntemiyle Risk Yönetimi: Mermer İşletmesi Örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ali ZEYNELGİL

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Anadolu Üniversitesi, İktisat Fakültesi, Kamu Yönetim

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2005 yılından bu yana Hava Kuvvetleri Komutanlığında Yangın Astsubayı olarak görev yapmaktadır.

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Dündar M.Ş., Zeynelgil A., Caner C. 2024. Fine Kinney Risk Analiz Metodu İle PVC Geri Dönüşüm Tesisi Yangın Riskinin Değerlendirilmesi. Mühendislikte Yakıtlar, Yangın ve Yanma Dergisi.