



İstanbul  
**GEDİK**  
Üniversitesi

T.C.

**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMERİK MALZEMELERİN GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ**  
**İLE AYRIŞTIRILMASI**

KÜRŞAT TANRIVER  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

DANIŞMAN  
Dr. Öğr. Ü. Savaş DİLİBAL

EŞ DANIŞMAN  
Dr. Öğr. Ü. Haydar ŞAHİN

İSTANBUL, 2018

## **BEYAN**

İstanbul Gedik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Yüksek Lisans bölümü tez yazım yönergesine uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

**Kürşat TANRIVER**

## TEZ ONAYI

Kurum : İstanbul Gedik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Programın seviyesi : Yüksek Lisans  
Anabilim Dalı : Mekatronik Mühendisliği  
Tez Sahibi : Kürşat TANRIVER  
Tez Başlığı : Polimerik Malzemelerin Geri Dönüşüm Sistemi İle Ayrıştırılması  
Sınav Yeri : B Blok Toplantı Salonu  
Sınav Tarihi : 25.06.2018

Tez tarafımızdan okunmuş, kapsam ve kalite yönünden Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Danışman (Unvan, Adı, Soyadı)

Dr. Öğr. Üyesi Savaş DİLİBAL  
(I. Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Haydar ŞAHİN  
(II. Danışman)

### Kurumu

İstanbul Gedik Üniversitesi

İstanbul Gedik Üniversitesi

### İmza

### Sınav Jüri Üyeleri (Unvan, Adı, Soyadı)

Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK

İstanbul Gedik Üniversitesi

Prof. Dr. Haluk KÜÇÜK

Marmara Üniversitesi

Doç. Dr. Aykut KENTLİ

Marmara Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erkan DURSUN

Marmara Üniversitesi

Yukarıdaki jüri kararı Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

- Sınav evrakları 3 iş günü içinde ıslak imzalı tek kopya halinde Enstitüye teslim edilmelidir.
- Bu form bilgisayar ortamında doldurulacaktır.

## **TEŞEKKÜR**

Projemi hazırlarken yol gösteren, ilgilenen ve proje danışmanlığımı yapan İstanbul Gedik Üniversitesi öğretim üyeleri Sayın Dr. Öğr. Ü. Savaş DİLİBAL ve Sayın Dr. Öğr. Ü. Haydar ŞAHİN hocalarıma, projemdeki çalışmam için Pendik Belediyesi Ambalaj Atıklarını Toplama ve Ayırma Tesisi hakkında tesisi gezdirerek bilgi sahibi olmama yardımcı olan Birim Sorumlusu Çevre Mühendisi Adnan SEYMEN, model ölçekli prototip tasarımı yapmama olanak sağlayan ürünlerini kullanma imkânı veren Ulus Endüstriyel Serkan ÖZER, PLC otomasyon konusunda destek veren Hat Makina Turan YILDIZ, Fahri ÖZAYDIN ve Barkın KILIÇ 'a teşekkür ederim.

**Ocak, 2018**

**Kürşat TANRIVER**

## İÇİNDEKİLER

|   |     |
|---|-----|
| TEŞEKKÜR .....  | i   |
| İÇİNDEKİLER .....   | ii  |
| SEMBOL VE KISALTMALAR.....  | iv  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | vii |
| TABLO LİSTESİ.....  | x   |
| ABSTRACT .....  | 1   |
| ÖZET.....   | 2   |
| BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ .....  | 3   |
| BÖLÜM 2. TÜRKİYE'DEKİ ATIKLARIN TOPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ ..... | 6   |
| BÖLÜM 3. ATIK TOPLAMA-AYRIŞTIRMA SİSTEMİNİN YAPISI VE BÖLÜMLERİ.....    | 16  |
| 3.1. Atık toplama ayrıştırma sisteminin yapısı.....                     | 16  |
| BÖLÜM 4. GERİ DÖNÜŞÜM.....  | 20  |
| 4.1. Enerji Geri Kazanım Sistemi.....                                   | 21  |
| 4.2. Malzeme Geri Dönüşüm Sistemi .....                                 | 21  |
| 4.2.1. Hammadde geri dönüşüm.....                                       | 22  |
| 4.2.2. Mekanik geri dönüşüm.....  | 22  |
| BÖLÜM 5. GERİ DÖNÜŞÜMDE ATIK TÜRLERİNİN SINIFLANDIRMA SİSTEMATİĞİ.....  | 26  |
| 5.1. Cam geri dönüşümü .....  | 27  |
| 5.2. Metal geri dönüşümü.....   | 28  |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 5.3.  | Kâğıt geri dönüşümü .....   | 28        |
| 5.4.  | Polimer geri dönüşümü .....   | 29        |
| <b>BÖLÜM 6. POLİMERİK MALZEME GERİ DÖNÜŞÜMÜNDEN ELDE EDİLEN TPU, TPE, ABS POLİMERLERİNİN FDM YÖNTEMİYLE KATMANLI İMALATTA KULLANILMASI.....</b> |   | <b>32</b> |
| 6.1.  | Katmanlı İmalatta Kullanılan Polimerler .....   | 33        |
| 6.2.  | Polimerlerin mekatronik işleme prosesleri.....  | 36        |
| 6.2.1.  | Granül imalatı.....   | 36        |
| 6.2.2.  | Ekstrüzyon.....   | 37        |
| 6.3.  | Katmanlı imalatta ürün tasarımı .....   | 40        |
| <b>BÖLÜM 7. ATIK TOPLAMA-AYRIŞTIRMA SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ .....</b>   |   | <b>42</b> |
| 7.1.  | Atık toplama ve ayrıştırma sisteminin sınıflandırılması .....   | 42        |
| 7.2.  | Geliştirilen dört ayıklayıcı sabit konteynerli atık toplama ve ayrıştırma sistemi (ATAS) mekatronik sistem tasarımı ..... | 46        |
| 7.2.1.  | ATAS fiziksel MST .....   | 47        |
| 7.2.1.1.  | ATAS mekanik tasarım.....   | 49        |
| 7.2.1.2.  | ATAS elektrik, elektronik tasarım .....   | 74        |
| 7.2.2.  | ATAS sistemin yazılımı.....   | 74        |
| 7.2.3.  | ATAS sistemin Kontrolü .....  | 75        |
| <b>BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>  |   | <b>76</b> |
| <b>KAYNAKÇA .....</b>   |   | <b>81</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  |   | <b>85</b> |

## SEMBOL VE KISALTMALAR

|       |   |
|-------|---|
| AB    | : Avrupa Birliği  |
| ABS   | : Acrylonitrile butadiene styrene                                   |
| ASTM  | : Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu                           |
| ATAS  | : Dört ayıklayıcı sabit konteynerli atık ayrıştırma toplama sistemi |
| A     | : Taşıyıcının eni   |
| [AO]  | : By kuvvetin merkeze olan uzaklığı                                 |
| AY    | : A noktasında bulunan çelik dübelin maruz kaldığı kuvvet           |
| B     | : Taşıyıcının boyu  |
| [BO]  | : By kuvvetin merkeze olan uzaklığı (mm),                           |
| BY    | : B noktasında bulunan çelik dübelin maruz kaldığı kuvvet (N),      |
| D     | : Dirsek dış çapı   |
| D     | : Dirsek iç çapı  |
| D     | : Gövde iç çapı   |
| E     | : Elastite modülü   |
| EuPC  | : Avrupa plastik dönüştürücüleri                                    |
| $f_s$ | : Stop dirsek malzeme ağırlığından kaynaklı yer çekimi kuvveti (N), |
| $m_s$ | : stop dirseklerin ağırlığı   |
| $f_ç$ | : Atığın A noktasına uyguladığı kuvvet                              |
| FDM   | : Ergiyik yığıma modelleme  |
| $f_g$ | : Gövde yer çekimi kuvveti  |
| $f_k$ | : Konteynere uygulanan yer çekimi kuvveti                           |
| $f_r$ | : A noktasına uygulanan gerçek kuvveti                              |
| $f_t$ | : Taşıyıcıya uygulanan toplam kuvvet                                |
| g     | : Yer çekimi ivmesi   |
| h     | : Atığın serbest düşme yüksekliği                                   |
| HDMI  | : Yüksek çözünürlüklü çoklu ortam arayüzü                           |
| $h_t$ | : Atığın serbest düşme toplam yüksekliği                            |
| ISO   | : Uluslararası Standartlar Organizasyonu                            |
| L     | : Uzunluk   |
| $L_d$ | : Çelik dübel boyu  |

|                |  |
|----------------|--|
| $l_0$          | : Malzemenin ilk boyu  |
| $m$            | : Konteynere ulaşan atık ağırlığı                                      |
| $m_a$          | : Atık ağırlığı  |
| $m_s$          | : Stop dirsek malzeme ağırlığı   |
| $m_g$          | : Gövde ağırlığı   |
| MST            | : Mekatronik sistemin tasarımı   |
| $m_t$          | : Ardarda atış tekrarındaki toplam atık ağırlığı                       |
| $n$            | : Atış ayısı   |
| $n_a$          | : Aynı akstaki çelik dübel sayısı,                                     |
| PlasticsEurope | : Plastik üreticileri briliği  |
| PLC            | : Programmable Logic Controller  |
| R              | : Çelik dübel çapı   |
| PRE            | : Avrupa plastik geri dönüştürücüleri                                  |
| REE            | : Nadir toprak elementleri   |
| s              | : Taşıyıcı sac kalınlığı   |
| $s_A$          | : Emiyet katsayısı   |
| $t_1$          | : Serbest düşme zamanı   |
| $t_2$          | : Toplam serbest düşme zamanı  |
| $t_3$          | : Atış miktarları arasındaki bekleme süresi                            |
| $t_4$          | : Atış sayısı ve sayılar arasındaki bekleme süresine bağlı oluşan süre |
| $t_{4max}$     | : Atış sayısı ve sayılar arasındaki bekleme süresine bağlı azami süre  |
| TPE            | : Termoplastik elastomerler  |
| TPU            | : Termoplastik poliüretan  |
| $t_r$          | : Mekanizmaların konumlaması için tanımlanan süre                      |
| $t_{top}$      | : Toplam süre  |
| $v_0$          | : Hacimsel oran  |
| $v_ç$          | : Atığın serbest düşme hızı  |
| $v_h$          | : Haftalık kullanılan atık miktarı                                     |
| $v_k$          | : Konteyner hacmi  |
| $v_s$          | : Atığın çapmadan sonraki hızı   |
| w              | : Genişlik   |



|               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| $\Delta l$    | : Uzama miktarı                    |
| $\Delta t$    | : Çapma anındaki zaman farkı       |
| $\varepsilon$ | : Birim uzama oranı                |
| $\sigma_A$    | : Akma mukavemeti                  |
| $\sigma_{em}$ | : A noktası için emniyet gerilmesi |
| $\sigma_r$    | : A noktasındaki toplam gerilme    |
| $\sigma_t$    | : Taşıyıcı sacı ezme gerilmesi     |
| $\tau_{em}$   | : Emniyet gerilmesi                |
| $\tau_{\phi}$ | : Çelik dübel kesme gerilmesi      |
| $\tau_t$      | : Taşıyıcı sacı kesme gerilmesi    |

## ŞEKİL LİSTESİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 1. Geri dönüşüm akış sistemi.....  | 4  |
| Şekil 2. Geliştirilen mekatronik sistem.....                                       | 5  |
| Şekil 3. Atık toplama işlemlerinin yöntemine göre gruplandırılması .....           | 7  |
| Şekil 4. Merkezde ayırma geri kazanım kutuları a) Eysel atık b) Ambalaj atığı..... | 8  |
| Şekil 5. Türkiye’deki lisanslı işletmelerin yıllara göre sayıları .....            | 8  |
| Şekil 6. Tek hatlı katı atık ayıklama tesisi akış şeması.....                      | 10 |
| Şekil 7. Ambalaj ayrıştırma tesisi .....   | 11 |
| Şekil 8. a) Sabit hurda vinci b) Poşet açıcı sistemi .....                         | 12 |
| Şekil 9. a) Konveyör b) Ön ayıklama sistemi .....                                  | 12 |
| Şekil 10. Mekanik (balistik ayırıcı) sistemi .....                                 | 13 |
| Şekil 11. a) Manyetik b) Optik ayırıcılar .....                                    | 13 |
| Şekil 12. a) Manuel ayıklama b) Balya pres sistemi .....                           | 14 |
| Şekil 13. Pendik Belediyesi ambalaj atık ayrıştırma tesisi dış görünümü .....      | 14 |
| Şekil 14. Pendik Belediyesi ambalaj atık ayrıştırma tesisi iç görünümü .....       | 15 |
| Şekil 15. Atık toplama-ayrıştırma sistemi örnek gösterim .....                     | 16 |
| Şekil 16. Atık ayrıştırma-toplama sisteminin bölümleri .....                       | 17 |
| Şekil 17. Geri dönüşüm-kazanım sisteminin sınıflandırılması .....                  | 20 |
| Şekil 18. Mekanik geri dönüşüm .....   | 24 |
| Şekil 19. Esnek köpük yeniden birleşmesi şeması .....                              | 24 |
| Şekil 20. Avrupa Birliği’nde oluşan atık çeşitliliği .....                         | 26 |
| Şekil 21. Mekanik geri dönüşümde sınıflandırma .....                               | 27 |
| Şekil 22. Tipik polimer üretim döngüsü .....                                       | 31 |
| Şekil 23. Polimerlerin FDM yöntemiyle katmanlı imalatta kullanılması .....         | 32 |
| Şekil 24. Polimerlerin sınıflandırılması .....                                     | 33 |
| Şekil 25. Katmanlı imalatta kullanılan başlıca polimer malzemeler .....            | 34 |
| Şekil 26. Polimerik malzemelerin granül yapısı .....                               | 36 |
| Şekil 27. Granül proses hattı .....  | 37 |
| Şekil 28. Ekstrüzyon makinesi .....  | 38 |
| Şekil 29. Ekstrüzyon makinesi .....  | 39 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 30. Flament sargı makara sistemi bölümleri .....   | 39 |
| Şekil 31. Flament sargı makara sistemi görüntüsü .....   | 40 |
| Şekil 32. a) Enjeksiyon kalıplama b) FDM tekniği ile katmanlı imalat usulleri ....                                     | 40 |
| Şekil 33. İstanbul Gedik Üniversitesi'nde geliştirilen katmanlı imalat FDM baskı sistemi .....                         | 41 |
| Şekil 34. Sistemin ayıklayıcı sayısına göre sınıflandırılması .....  | 42 |
| Şekil 35. Atık toplama ve ayrıştırma sistemi türleri a) Bir ayıklayıcı b) İki ayıklayıcı c) Üç ayıklayıcı.....         | 43 |
| Şekil 36. Dört ayıklayıcı atık ayrıştırma sistem kategorileri .....  | 44 |
| Şekil 37. Dört ayıklayıcı a) Dönebilen b) Raylı konteynerli atık toplama-ayrıştırma sistemi .....                      | 45 |
| Şekil 38. Geliştirilen sabit konteynerli dört ayıklayıcı atık ayrıştırma sistemi.....                                  | 46 |
| Şekil 39. Dört ayıklayıcı sabit konteynerli atık toplama ve ayrıştırma sistemi (ATAS) mekatronik sistem tasarımı ..... | 47 |
| Şekil 40. ATAS Fiziksel MST işleyişi.....  | 48 |
| Şekil 41. ATAS katı model tasarımı .....   | 49 |
| Şekil 42. ATAS bölümlerinin numarlandırılması .....  | 50 |
| Şekil 43. ATAS bölümlerinin numarlandırılması .....  | 51 |
| Şekil 44. ATAS bölümlerinin numarlandırılması .....  | 52 |
| Şekil 45. Sistemin dinamik analizi için şematik gösterimi .....  | 54 |
| Şekil 46. Stop dirsek kesit görünümü .....   | 56 |
| Şekil 47. Atık konteyneri taşıma kapasitesi .....  | 61 |
| Şekil 48. Stop dirsek tasarımı model ağ yapısı .....   | 62 |
| Şekil 49. Stop dirsek tasarımdan elde edilen Von Mises gerilme dağılımı .....  | 63 |
| Şekil 50. Stop dirsek tasarımdan elde edilen uzama miktarı dağılımı .....  | 63 |
| Şekil 51. Destek ilaveli stop dirsek tasarımdan elde edilen Von Mises gerilme dağılımı .....                           | 64 |
| Şekil 52. Destek ilaveli stop dirsek tasarımdan elde edilen uzama miktarı dağılımı .....                               | 64 |
| Şekil 53. Sistem taşıyıcısı kesit görünümü .....   | 66 |
| Şekil 54. Taşıyıcı ve çelik dübellere etkiyen kuvvetler .....  | 67 |
| Şekil 55. ATAS model ölçekli prototip tasarım.....   | 70 |
| Şekil 56. ATAS model ölçekli prototip tasarım.....   | 70 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 57. ATAS model ölçekli prototip tasarım.....   | 71 |
| Şekil 58. ATAS model ölçekli prototip tasarım a) Kapak b) Seperatör görüntüsü .                  | 73 |
| Şekil 59. ATAS model ölçekli prototip tasarım a) Yıkama ünitesi b) Otomasyon kontrol panosu..... | 73 |
| Şekil 60. ATAS sistem ladder diyagram görüntüsü.....   | 75 |

## **TABLO LİSTESİ**

|  |    |
|--|----|
| Tablo 1. Ambalaj atıkları geri kazanım listesi .....   | 6  |
| Tablo 2. Polimer geri dönüşüm ile ilgili terminoloji .....                                     | 21 |
| Tablo 3. TPE, TPU ve ABS polimerlerinin mekanik özellikleri .....                              | 35 |
| Tablo 4. ATAS malzeme özellikleri .....  | 53 |
| Tablo 5 Haftalık atık miktarı .....  | 58 |
| Tablo 6. Malzeme özellikleri .....   | 61 |
| Tablo 7. Stop dirsek ve destek ilaveli stop dirsek analiz sonuçlarının karşılaştırılması ..... | 65 |

## **ABSTRACT**

Depending on the increase in urbanization, the necessity for recycling of wastes has increased nowadays and there are various solutions according to the types of wastes which are presented accordingly. By observing these solutions, the recycling system from the waste collection and separation system of the long-term disappearing of polymer waste to the additive manufacturing design stage has been indicated.

Waste collection and separation systems which are the part of the recycling flow system, have been reviewed and systems that are supposed to be used effectively in the systematic way have been exemplified. Among four different separating systems which are with rotating, rail and fixed containers, fixed container waste separation systems (ATAS) were chosen and developed as a mechatronic system design.

The mechatronic system design is very prominent in order to create efficient and economical mechanisms in ATAS applications. For this reason, model scale prototype design of ATAS was made by explaining mechatronic system design (MST), physical MST, software and control sections. PLC control, actuators and sensors were used to automate model scale prototype design. In addition, physical MST, mechanical design, material selection, electrical electronic design sub-heading and cost analysis were made.

In order to emphasize the importance of the newly developed ATAS system and the proposals to popularize ATAS have been made with regard to the government, system users and operators. In this study, the necessity and importance of that the recycling and the numbers of the waste separation plants, which are complementary to ATAS systems under the recycling flow system are revealed.

## ÖZET

Kentleşme artışına bağlı olarak atıkların geri kazanımına ihtiyaç giderek artmakta ve buna bağlı olarak atık türlerine göre çeşitli proses çözümleri ortaya konulmaktadır. Bu proses çözümleri incelenerek doğada yok olma süresi uzun olan polimer atığın atık toplama ve ayrıştırma sisteminden katmanlı imalat tasarım aşamasına kadar olan geri dönüşüm sistematiği çıkarılmıştır.

Geri dönüşüm akış sistematiğinin bir parçası olan atık toplama ve ayrıştırma sistemleri incelenmiş ve bunlardan yola çıkılarak bu sistematik içerisinde etkin kullanılacağı öngörülen sistemler örneklendirilmiştir. Dönebilen, raylı ve sabit konteynerli dört ayıklayıcı olarak örneklendirilen sistemler arasından dört ayıklayıcı sabit konteynerli atık ayrıştırma sistemi (ATAS) geliştirilerek mekatronik sistem tasarımı ortaya çıkarılmıştır.

ATAS uygulamalarında verimli ve ekonomik mekanizmaları oluşturabilmek için mekatronik sistem tasarımı oldukça öne çıkmaktadır. Bu nedenle mekatronik sistem tasarımı (MST), fiziksel MST, yazılım ve kontrol bölümlerine ayrılarak ATAS'ın model ölçekli prototip tasarımı yapılmıştır. PLC kontrolcü, eyleyici ve sensörler kullanılarak model ölçekli prototip tasarımın otomasyonun yapılmıştır. Ayrıca fiziksel MST, mekanik tasarım, malzeme seçimi, elektrik elektronik tasarım alt başlıkları altında öneriler ve maliyet analizleri yapılmıştır.

Geliştirilen ATAS sisteminin önemi vurgulanarak yangınlaştırılması için gerek devlet, gerekse sistem kullanıcıları ve uygulayıcıları açısından önerilerde bulunulmuştur. Geri dönüşüm akış sistematiğinde ATAS sistemlerinin tamamlayıcısı olan ve buna paralel olarak geri dönüşüm ve atık ayırma tesislerinin gerekliliği ve sayılarının artmasının önemi burada yapılan çalışma ile ortaya çıkarılmıştır.

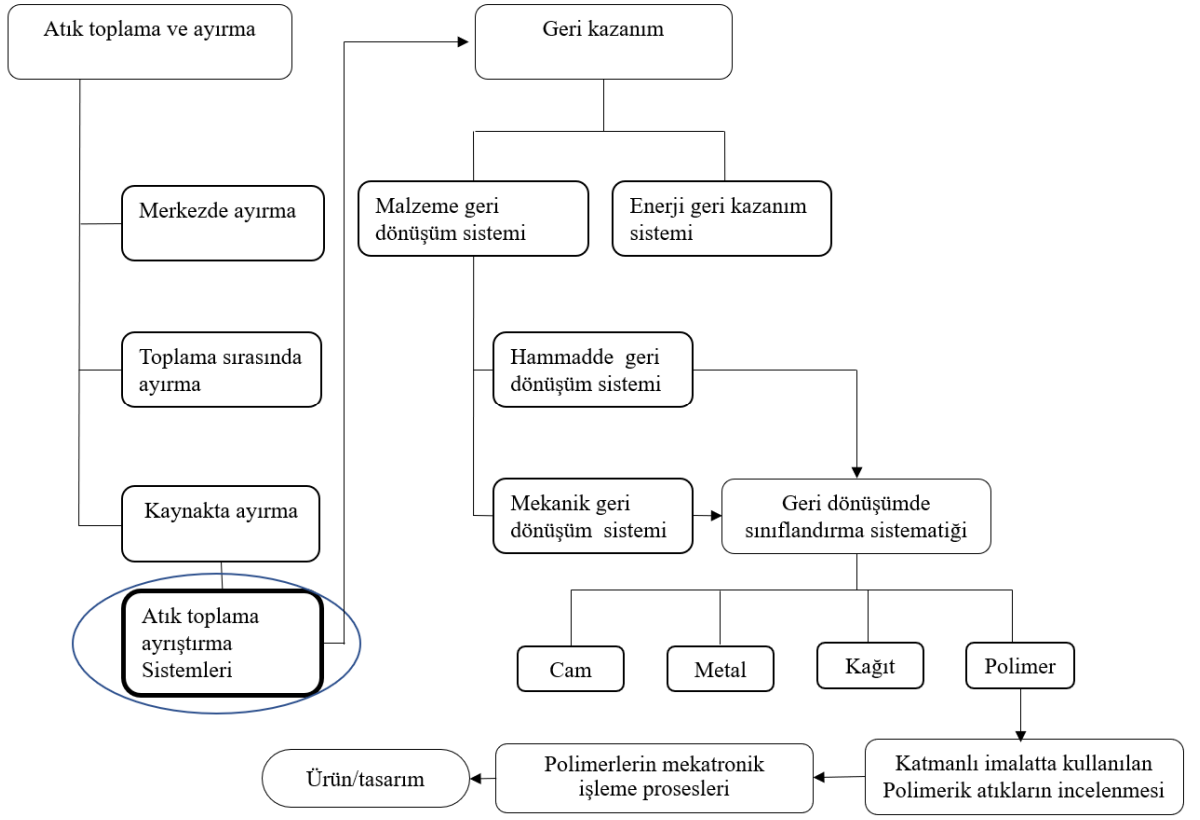
## **BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ**

Günümüzde geri dönüşüm sistemlerinin kullanımı artık bir gereklilik haline gelmiştir. Geri kazanımın her zamankinden daha zor ve çevresel olarak tehlikeli hale gelmesinin nedenleri olarak aşırı nüfus ve artan tüketim ile birlikte atıkların toplanma ve depolanma yöntemlerinin yetersiz olması görülebilir. Geleneksel teknikler hali hazırda bilinmektedir. Aşırı miktardaki atık, bazı gazların oluşumuyla sera etkisinin artmasına neden olmakta ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Küresel ısınmanın gün geçtikçe daha da belirginleşmesinden kaynaklı bu durumun çevresel olarak daha da kötü hale gelmemesi için atıkların ayrıştırılması gibi temel tedbirler zorunlu hale gelmektedir. Bu bağlamda yönetimler tarafından atık yönetimi konsepti geliştirilmiştir. Atık yönetimi, atıkların "çevre hasarını en aza indirecek şekilde toplanması, taşınması, işlenmesi, geri kazanılması, elden çıkarılması ve denetlenmesi faaliyetleri" olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu faaliyetler, yerleşim yeri, nüfus yapısı ve ülkelere göre değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Atıkların işlenerek geri kazanılması öncesinde farklı yöntemlerle toplanarak bir dizi işlem gerektiren çeşitli mekatronik sistemler vasıtasıyla türlerine ayrılmaktadır. Türlerine ayrılan bu atıklar ilgili fabrikalara gönderilerek oradaki işlemlerinin sonunda geri dönüşüm süreçleri tamamlanmaktadır.

Bu sistemleri daha kolaylaştırmak ve daha temiz geri dönüştürülebilir atık eldesi, atıkları en başta yani henüz kaynakta iken ayırmakla mümkün gözükmektedir. Bu nedenle bu çalışmada atıkların kaynakta ayrılabilmesinin mümkün olduğu mevcut atık toplama-ayrıştırma sistemler üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Özellikle doğada yok olma zamanlarının uzun olduğu göz önüne alınarak kaynakta ayrı olarak toplanan polimer atık örneği ele alınarak, bunların dört ayıklayıcı atık toplama-ayrıştırma sistemi ve çeşitli proseslerden geçirilerek katmanlı imalata uzanan geri dönüşüm işlemlerinin sistematığı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

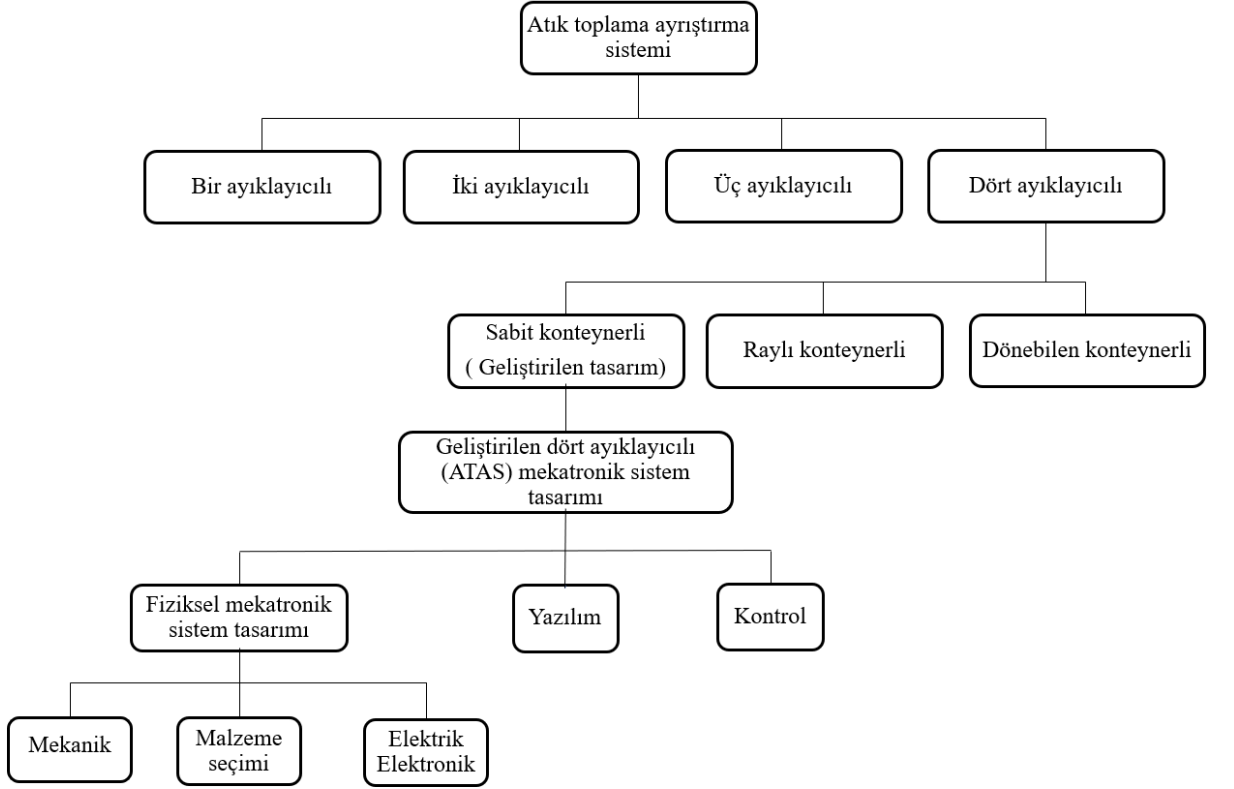
Bu adımlar çalışmanın ilerleyen bölümlerinde Şekil 1'deki akış sistematığı ve Şekil 2'deki geliştirilmiş mekatronik sistem üzerinden işlenecektir.





Şekil 1. Geri dönüşüm akış sistematiği

Atık ayrımı için kullanılan atık toplama ve ayırıştırma sistemlerin daha verimli ve daha az maliyette çalıştırılabileceği fikri ile mevcut sistemler incelenerek sistemin dört ayıklayıcı olarak çeşitli tasarımları yapılmıştır. Ortaya konulan dört ayıklayıcı atık ayırıştırma sistemi tasarımlarının avantajı ve dezavantajları irdelenerek genel olarak fayda sağlayabileceği ön görülen Şekil 2'deki gibi bir mekatronik sistem geliştirilmiştir. Ayrıca bu mekatronik sistemin model ölçekli prototip tasarımı yapılarak sistemin çalışabilirliğinin test edilme olanağı sağlanmıştır.



Şekil 2. Geliştirilen mekatronik sistem

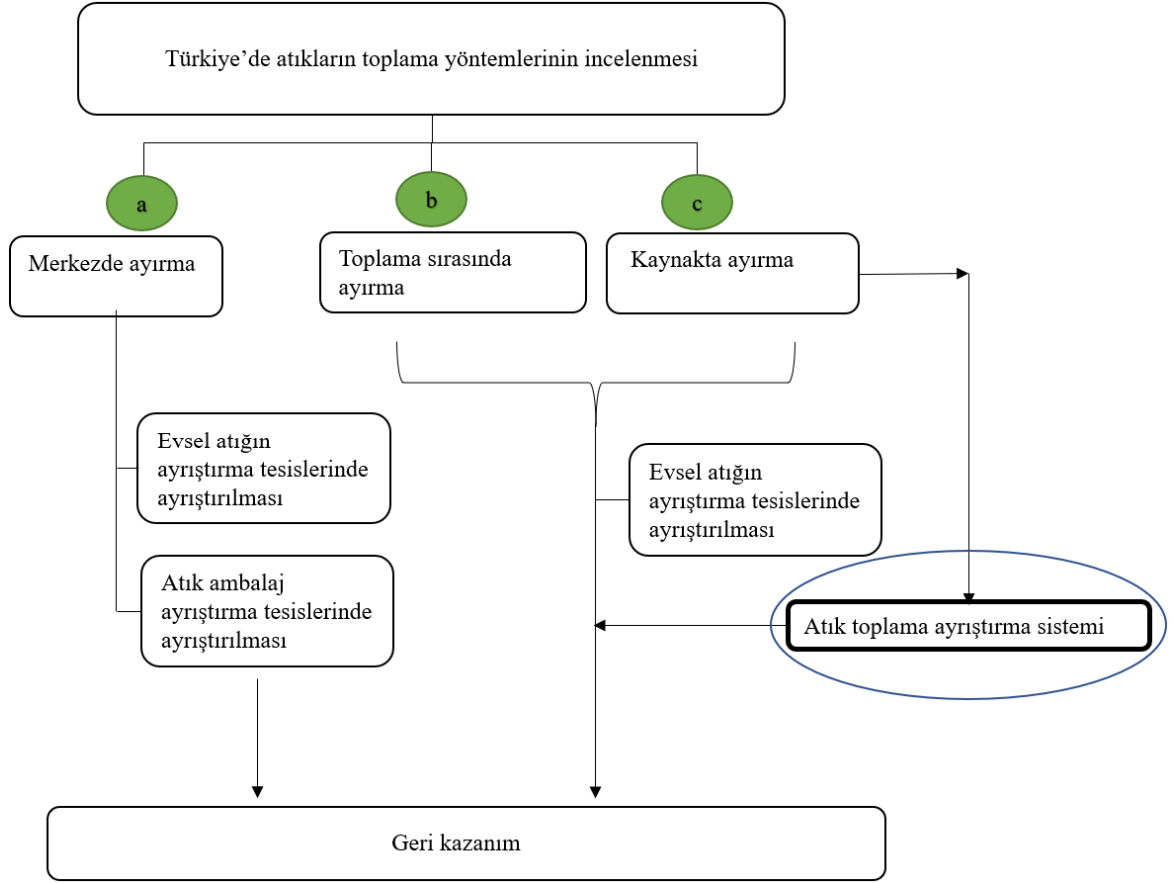
## BÖLÜM 2. TÜRKİYE'DEKİ ATIKLARIN TOPLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

AB'ye uyum sürecinde Türkiye, atıkların geri kazanımı konusunda çalışmalar başlatmış, özellikle ambalaj atıklarının yönetimi konusunda ilerleme kaydetmiş, hatırı sayılır bir seviyeye ulaşmıştır. Türkiye'de 2005 yılında geri kazanılan toplam ambalaj miktarı 723.748 ton iken, bu miktar 2013 senesinde 2.300.345 ton'a ulaşmıştır [2]. Tablo 1'de türlerine göre ambalaj ve ambalaj atıkları miktarları gösterilmiştir.

Tablo 1. Ambalaj atıkları geri kazanım listesi [2]

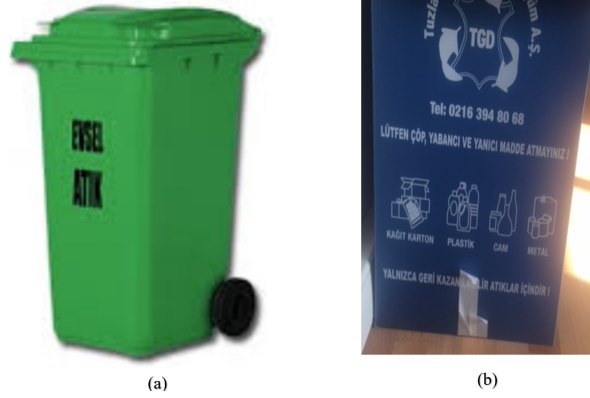
| Yıl  | Üretilen ambalaj miktarı (ton) | Piyasaya sürülen ambalaj miktarı (ton) | Geri kazanılan miktar (ton) | Gerçekleşen geri kazanım oranı (%) |
|------|--------------------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|
| 2005 | 2.550.876                      | 946.181                                | 723.748                     | 76%                                |
| 2006 | 2.030.867                      | 1.174.452                              | 1.341.435                   | 114%                               |
| 2007 | 2.922.661                      | 1.446.520                              | 2.136.860                   | 148%                               |
| 2008 | 2.862.874                      | 1.757.843                              | 2.318.444                   | 132%                               |
| 2009 | 2.903.262                      | 1.845.657                              | 2.520.715                   | 137%                               |
| 2010 | 4.456.291                      | 2.516.094                              | 1.937.912                   | 77%                                |
| 2011 | 4.428.405                      | 2.510.640                              | 2.224.976                   | 89%                                |
| 2012 | 4.451.658                      | 2.684.007                              | 1.833.612                   | 68%                                |
| 2013 | 5.907.834                      | 3.528.845                              | 2.300.345                   | 65%                                |

Geri kazanım amacıyla toplanan atıklar, istenilen amaca yönelik olarak değişik yöntemlerle toplanmaktadır. Ayrırma, toplama işlemleri yöntemine göre Şekil 3' teki gibi üç başlıkta gruplandırılabilir [3].



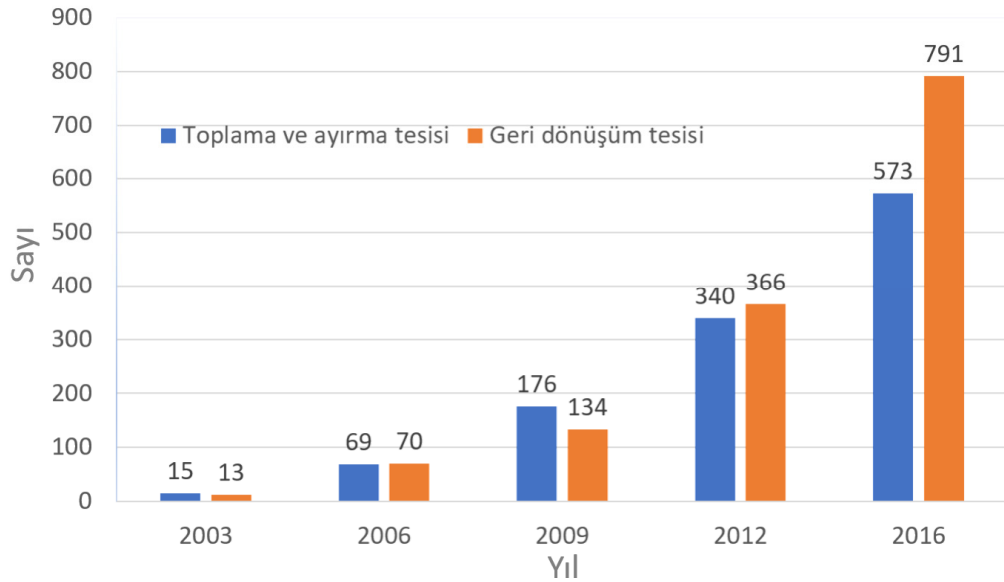
Şekil 3. Atık toplama işlemlerinin yöntemine göre gruplandırılması [3]

**a) Merkezde ayırma:** Bu ayırma yöntemi geri kazanıma amacıyla toplanan atıkların önceden belirlenmiş merkezlere getirilmesi ve ayrılması şeklindedir. Atıkların hepsinin bir arada olması, kontrolünün rahat ve güvenilir olması sebebiyle tercih edilen bir ayırma yöntemidir [3]. Bu ayıklama manuel olarak ve/veya ayıklama proseslerinin olduğu işletmelerde de yapılabilmektedir. Bu işletmelerdeki prosesler projelendirme şartlarına göre tam otomatik veya yarı otomatik olabilmektedir. Bu tesislerde geri kazanılabilecek malzemelerin depolama alanlarında veya atık değerlendirme tesislerinde, evsel atıktan ayıklanıp sınıflandırılmaları yapılmaktadır. Ayrıca Şekil 4’te gösterildiği gibi yetkililerce önceden belirlenmiş atık toplama alanlarında evsel atık ve ambalaj atıkları (cam, metal, kağıt, plastik) olarak toplanması da bu yöntemin içinde yer almaktadır.



Şekil 4. Merkezde ayırma geri kazanım kutuları a) Evsel atık b) Ambalaj atığı

Ülkemizde ilgili yönetmeliklerin yürürlüğe girmesiyle oluşan yasal zorunluluklar ve geri kazanabilir atıkların ekonomik değerlerinin bulunması sebebiyle toplama-ayırma tesisleri ve geri dönüşüm tesislerinin sayılarını artırmıştır. İlgili yönetmeliklere göre ambalaj atığı toplama-ayırma ve geri dönüşüm tesisleri çalışm yapabilmek için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan lisans almak mecburiyetindedirler. Lisans uygulamasına ilk defa 2003 yılında başlanılmıştır. Yıllar itibariyle lisanslı işletmelerin yıllara göre sayıları Şekil 5'te verilmiştir [2].



Şekil 5. Türkiye'deki lisanslı işletmelerin yıllara göre sayıları [2]

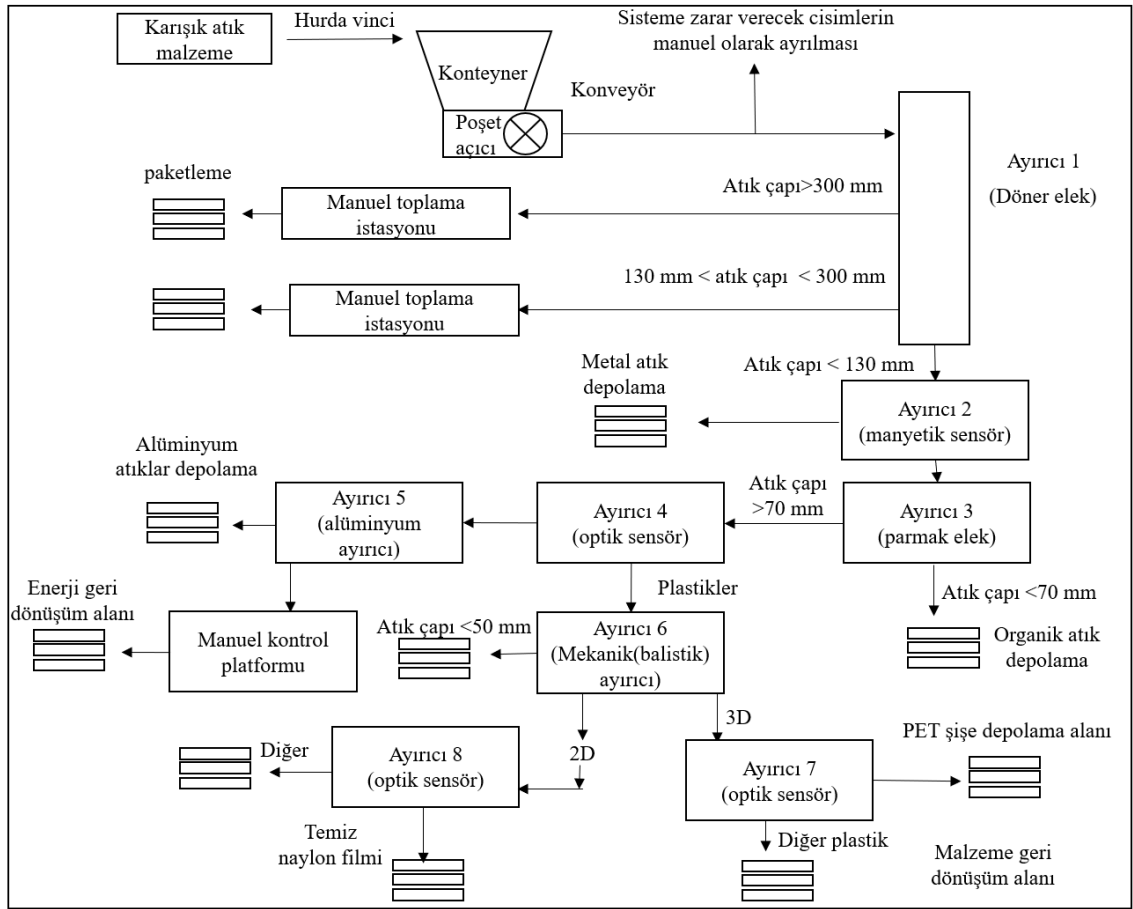
Karışık olarak toplanan katı atıkların ayırma işlemleri için tek hatlı olarak projelendirilmiş örnek bir tesisin proses akışı Şekil 6'da görülmektedir. Bu ayıklama işlemlerinde manyetik, kapasitif ve optik sensörler olmak üzere farklı türde sensörlerden yararlanılmaktadır. Bu prosesler sensör, eyleyiciler ve yazılım sistemlerin kombinasyonu ile gerçekleştirilmektedir.

Bu proseste stok alanına getirilen atıklar, ilk önce bir sabit hurda vinci vasıtasıyla, konteyner haznesine doldurulmakta, konteyner altında bulunan poşet açıcı vasıtasıyla poşetlenmiş atıklar açılmaktadır. Poşet açma işlemi, elektrik motoru vasıtasıyla dönen tamburun üzerindeki bıçakların poşetleri yırtmasıyla gerçekleştirilmektedir. Poşet açıcıdan dökülen atıklar konveyörlerle prosese iletilmekte ve bu aşamada sisteme zarar verebilecek cisimler manuel olarak ayrılmaktadır. Ardından Şekil 6 ayırıcı 1'e (döner elek) gelen atıklar, dönen bir tamburun üzerinde çeşitli ebatlarda bulunan delikler sayesinde ebatlarına ayrılmaktadırlar.

Burada atıklar 130 mm, 130 mm-300 mm ve daha büyük çaplar olmak üzere üç çeşide ayrılabilir. 130 mm çapın altındaki atıklar Şekil 5 ayırıcı 2 (metal sensör) vasıtasıyla içlerindeki metaller ayrıldıktan sonra organik ayırma işlemi için Şekil 6 ayırıcı 3'e (parmak elek) gönderilirler. Ayırıcı 3'te parmak biçimindeki demir boruların yaylar sayesinde oluşturulan titreşimiyle 70 mm çapın altındaki atıkların ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Buradan 70 mm -130 mm çap ölçülerindeki atıklar arasından Şekil 6 ayırıcı 4'te (optik sensörler) plastikler ayrılmakta ve Şekil 6 ayırıcı 6'ya (mekanik - balistik ayırıcılar) gönderilmektedirler.

Balistik ayırıcılarda malzemeler 3D (PET ve diğer sert plastikler), 2D (düz plastikler-naylon filmler) ve 50 mm çaptan daha küçük atıklar olarak ayrılmaktadırlar. Ayrılan malzemelerin her biri optik sensörlerin bulunduğu ayırıcılara girmektedir. 3D malzeme bölünmüş Şekil 6 ayırıcı 7'ye (optik sensörler) gitmekte ve ilk bölmede PET şişeleri, İkinci bölmede ise diğer sert plastikler birlikte ayrıştırılmaktadır. 2D malzemeler ise Şekil 6 ayırıcı 8'e (optik sensörler) girmekte, temiz naylon filmi ve diğer plastikler olarak ayırma işlemleri yapılmaktadır.

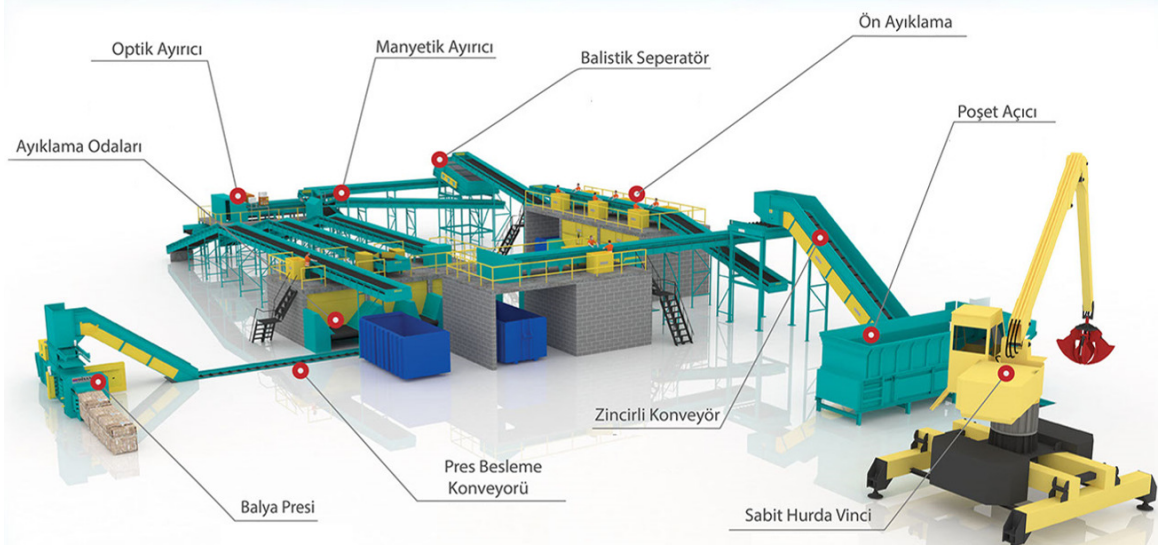
Tüm plastikleri ayıran Şekil 6 ayırıcı 4 grubundan sonra kalan malzeme, önce alüminyum atıkları ayırmak üzere Şekil 6 ayırıcı 5, ardından manuel kontrol platformuna ve daha enerji geri dönüşüm malzeme depolama alanına gitmektedir. 300 mm çapın üstündekiler manuel toplama istasyonuna gitmekte ve bunlar çoğunlukla naylon filmleri içermektedir. 130 mm – 300 mm arası çapta atıklar da manuel toplama istasyonundan sonra depolama alanına ve ayrılan malzeme otomatik balyalamaya gitmekte ve balyalanan atıklar ilgili işletmelere transfer için hazırlanmaktadır [4].



Şekil 6. Tek hatlı katı atık ayıklama tesisi akış şeması

Yetkililerce önceden belirlenmiş atık toplama alanlarında evsel atık ve ambalaj atıkları (cam, metal, kağıt, plastik) olmak üzere ayrı toplanan atıklar için evsel atıklar manuel veya Şekil 6'da gösterilen tesislerde ayırma işlemine tabi tutulmakta, ambalaj atıkları ise ambalaj ayırma tesislerine gönderilerek ayırma işlemine tabi tutulmaktadır. Ambalaj atığı ise evlerde

veya endüstride yerinde yapılan ayıklama ile evsel atıktan ayrılmış olduğu için karışık toplamadan çok daha ekonomik ve olay işlenebilmektedir. Bu nedenle tesisler daha az maliyetli olmakta ve daha az yer kaplamaktadırlar. Şekil 7’de ambalaj ayrıştırma tesisi gösterilmektedir [4].



Şekil 7. Ambalaj ayrıştırma tesisi [4]

Ambalaj atığının ayrıştırılmasında şartlara göre çeşitli projelendirmeler yapılmaktadır. Genel olarak besleme konveyörü, poşet açıcı, trammel elek, ayıklama konveyörü, ayıklama platformu, manyetik konveyör, balyalama presi gibi ekipmanlar kullanılmaktadır. Sistemler müşteri ihtiyaç ve taleplerine göre şekillendirilerek proje haline getirilmekte ve uygulamaya geçilmektedir. Bu tesislerde isteğe göre tam otomatik, yarı otomatik veya manuel olarak kurulumu yapılabilmektedir.

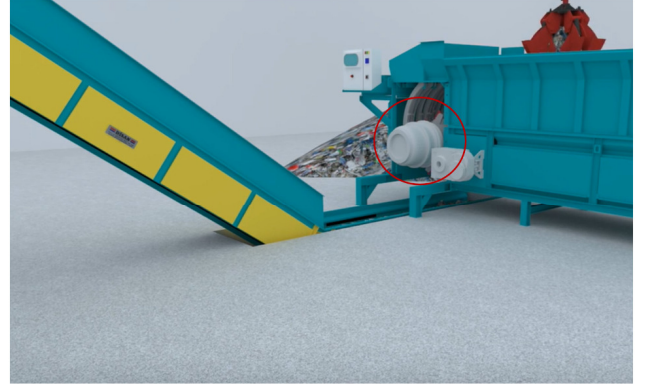
**Sabit hurda vinci;** genelde hurda toplama tesislerinde kullanılan hurda vinci kullanım kolaylığı, yapılan işe uygunluğu ve düşük operasyon maliyetleri sebebiyle bu sistemde de aynı amaç için kullanılmıştır. Şekil 8.a’da gösterilmiştir.

**Poşet açıcılar;** Atıkların proses akışı üzerinde bulunan bıçaklı merdanenin dönmesiyle birlikte bıçakların poşetleri yırtmasıyla birlikte atıkların serbest bırakılarak sistemin altında bulunan konveyöre iletilmesi sağlanmaktadır. Şekil 8.b’de poşet açıcı gösterilmiştir.





(a)

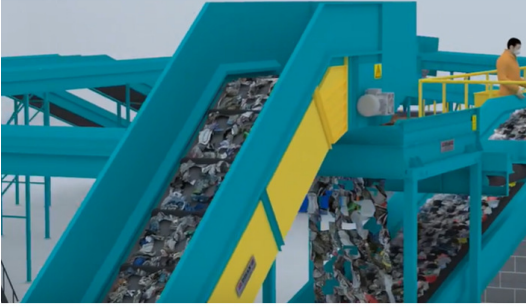


(b)

Şekil 8. a) Sabit hurda vinci b) Poşet açıcı sistemi [4]

**Konveyörler;** atık ayıklama tesislerinden, balya preslerinin beslenmesine kadar olan proseste atıkların düzgün ve sıralı bir biçimde taşınması işlemi için kullanılmaktadır. Çelik paletli, zincirli, rulolu gibi çeşitli türlerde üretilen konveyörler Şekil 9.a'da gösterilmiştir.

**Ön Ayıklama;** Sisteme zarar verecek büyük malzemeler, operatörler tarafından manuel olarak toplanmaktadır. 9.b'de ön ayıklama görüntüsü verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 9. a) Konveyör b) Ön ayıklama sistemi [4]

**Mekanik (balistik) manyetik ayırıcı;** atıkları iki boyutlu, üç boyutlu ve önceden projelendirilmiş bir boyut olmak üzere toplam üç kategoride ayırma işlemlerini yapan balistik ayırıcı, eksantrik krank mil üzerine delikli plarformun bağlanmasıyla oluşmaktadır.

Bu işlem önceden belirlenen değerlere göre hesaplanmış atıkların ağır, orta hafif ve hafif olarak ayrılması mantığıyla oluşmaktadır. Şekil 10’da mekanik ayırıcı gösterilmiştir.



Şekil 10. Mekanik (balistik ayırıcı) sistemi [4]

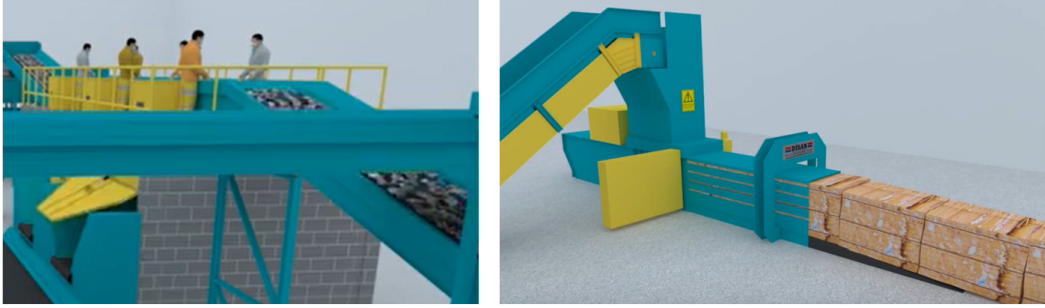
**Manyetik Ayırıcı;** Atık ambalajın içindeki çıkan metaller manyetik olarak ayrılmaktadır. Şekil 11.a’da manyetik ayırıcı gösterilmiştir.

**Optik ayırıcı;** Bandın üzerinde bulunan optik sensörler sayesinde tanımlanmış atıklar otomatik olarak ayrılır. Şekil 11.b’de optik ayırıcı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 11. a) Manyetik b) Optik ayırıcılar [4]

**Manuel ayıklama ve balya presi;** operatörler tarafından son kontrolde manuel olarak ayırım işlemine tabi tutulan atıklar, kolayca transfer edilebilmesi için presleme yapılmak üzere balyalama konveyörüne sürülmektedirler. Şekil 12.a’da ayıklama odaları Şekil 12.b’de ise balya presi gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 12. a) Manuel ayıklama b) Balya pres sistemi [4]

İstanbul ili, Pendik ilçesi, Ramazanoğlu Mahallesi'nde Türkiye'nin proses ve ileri teknoloji anlamında ilklerin arasına yerleşen yarı otomatik ayrıştırma tesisi açıldı. Pendik Belediyesi tarafından faaliyete geçirilip işletimi yapılan tesiste, ayda 2.000 ton atığı fabrikalara göndererek ekonomiye ve çevrenin korunmasına katkı sağlanması planlanmaktadır. İstanbul ili, Pendik ilçesi, Ramazanoğlu Mahallesi'nde bulunan tesis 3.000 metrekare alanda hizmet vermektedir. Saatte 8 ton ayrıştırma kapasiteli tesiste atıklar kâğıt-karton, plastik, cam ve metal ambalaj olmak üzere türlerine yarı otomatik proseslerde ayrıştırılarak işlenmek üzere fabrikalara gönderilmektedirler (Şekil 13, Şekil 14)



Şekil 13. Pendik Belediyesi ambalaj atık ayrıştırma tesisi dış görünümü [5]





Şekil 14. Pendik Belediyesi ambalaj atık ayrıştırma tesisi iç görünümü [5]

**b) Toplama sırasında ayırma:** Evsel atıktan ayrı bir şekilde toplanmış olan çeşitli atıklar, özel olarak dizayn edilmiş atık toplama araçlarının bölmelerine ayrı ayrı boşaltılmaları şeklindedir. Toplama sırasında işçiler tarafından ayrılması suretiyle toplama hızının düşmesi bu toplama yönteminin en büyük dezavantajlarındadır [3].

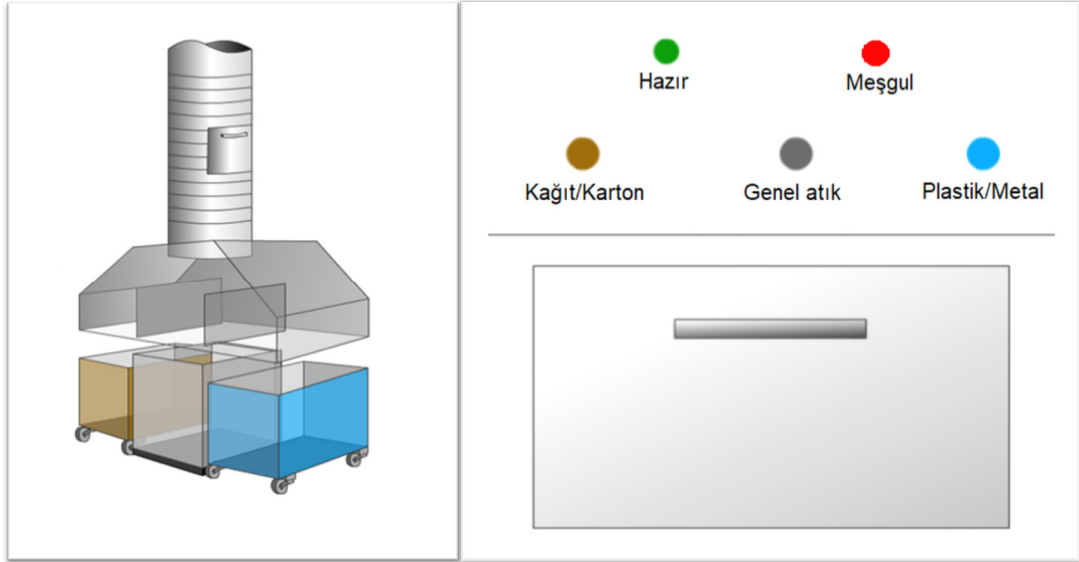
**c) Kaynakta ayırma:** Ambalaj atığı gibi geri dönüştürülebilir nitelikteki atıklar, yemek artıkları vb gibi evsel atıklar ile karışık olarak toplanmakta ve atık depolama sahalarına gönderilmektedirler. Bu şekilde atıkların birbirinden ayrılması zor ve maliyetli olduğu gibi temiz malzeme eldesi için çeşitli teknolojik proseslerden geçirilselerde çoğu zaman yüksek kalitede geri dönüştürülmüş malzeme elde edilememektedir[ 3].

Bu yüzden kaynak ayırma yöntemi; geri dönüşümün en önemli basamağı olan evlerimiz ve işyerlerimizde yani kaynakta ayırma işlemini kapsamaktadır.

Bu yöntemde; atıkların kullanıcılar tarafından Şekil 15’teki farklı atık türlerinin ayrı ayrı toplanılması ön görülmektedir. Böylelikle, atıkların ayrıştırılması için gerekli pahalı yöntemleri bertaraf edilmiş olunmaktadır.

### BÖLÜM 3. ATIK TOPLAMA-AYRIŞTIRMA SİSTEMİNİN YAPISI VE BÖLÜMLERİ

Kaynakta ayırma yönteminin, uygulanmasında pratiği sağlayan atık toplama ve ayrıştırma sistemleri bu yöntemin bir alt başlığı olarak kabul edilebilir. Bu sistemler halen binalarda bir, iki ve üç ayıklayıcı sistem olarak kullanılmaktadır. Şekil 15’te örnek görüntüsü verilen sistemin ileriki bölümlerde atık geri dönüşümü için daha verimli olabileceği düşünülen gelişmiş dört ayıklayıcı mekanik sistem tasarımı ortaya konulacaktır.

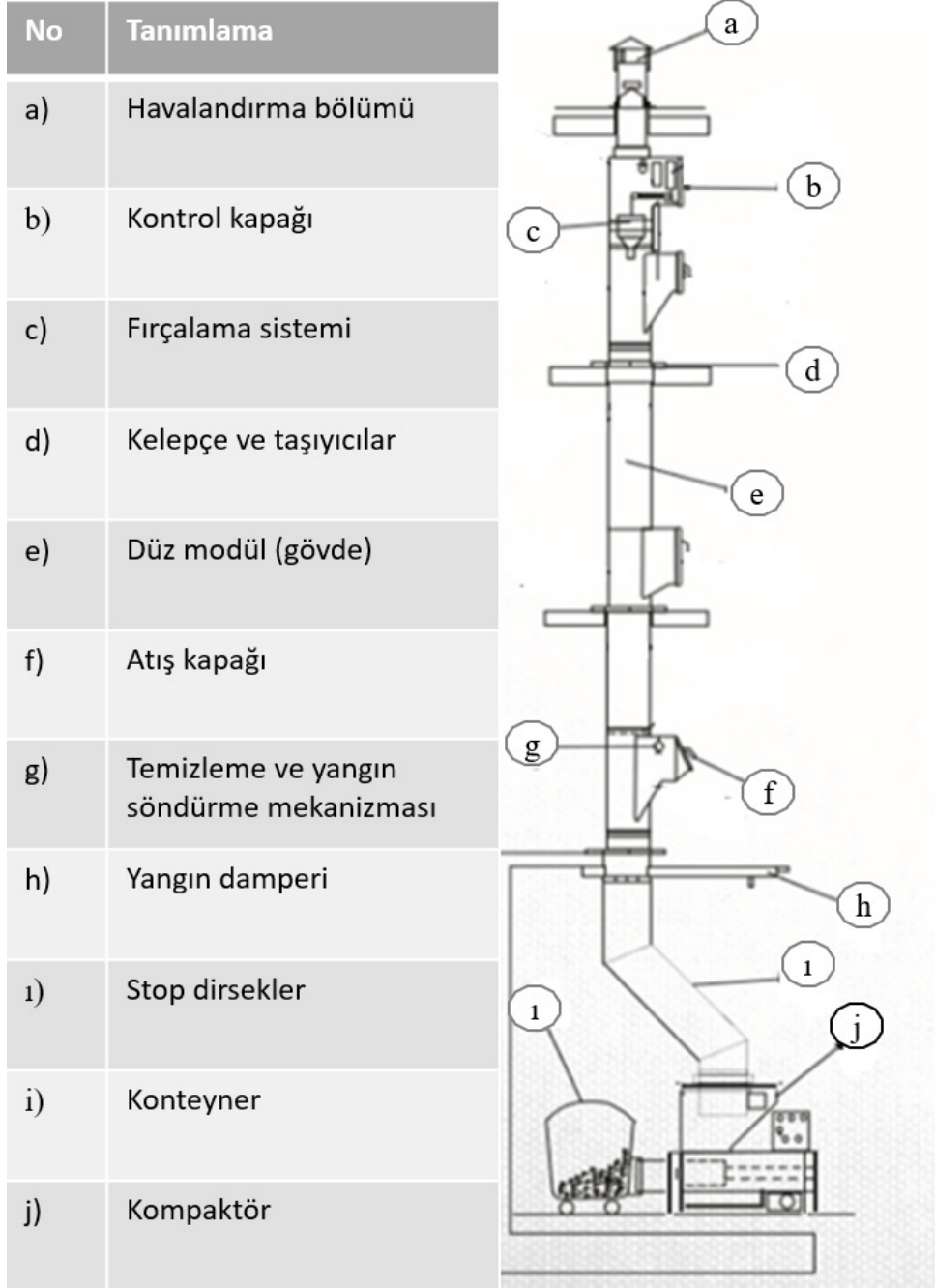


Şekil 15. Atık toplama-ayrıştırma sistemi örnek gösterim [6]

#### 3.1. Atık toplama ayrıştırma sisteminin yapısı

Bu sistem, genellikle dairesel kesitli yapılmakta ancak isteğe bağlı olarak kare kesitli de olabilmektedir. Bu sistem için kullanılacak malzeme seçimi yapılırken aşınma, korozyon, darbe, asit ve bazlara karşı dayanıklı olmasına dikkat edilmelidir. Literatürde çöp bacası olarak ta anılan bu sistemin projelendirme ve düzenlenmesi ile ilgili kurallar TS 2166 standardında yer almaktadır.

Atık ayrıştırma-toplama sistemi çeşitli bölümlerden oluşmaktadır. Bu bölümler Şekil 16'da numaralandırılmıştır.



Şekil 16. Atık ayrıştırma-toplama sisteminin bölümleri [7]

**a) Havalandırma bölümü:** Havalandırma bölümü havalandırma kanalı ve havalandırma fanından oluşmaktadır. Fan çalıştırılarak havalandırma kanalı vasıtasıyla kokuların dış ortama atılması sağlanmaktadır. Havalandırma bölümünün üzerinde yağmur suyu, istenmeyen cisim veya canlıların girmesini engellemek için elek tel ile çevrilmiş baca şapkası bulunmaktadır.

**b) Kontrol kapağı:** Dezenfekte ve temizleme, fırçalama bölümünün bakımını ve yıllık periyodik kontrolleri için konulmaktadır.

**c) Fırçalama sistemi:** Periyodik olarak temizliği yapılmamış sistem içerisinde biriken gres yağı, çamur ve kir, sistemin düzgün çalışmasını engellediğinden sistemin belirli periyotlarla gerekmektedir. Bu temizleme işlemi sabunlu suyla olduğu gibi fırçalama sistemi konularak ta yapılabilmektedir. Sistemin üzerine kurulan makara ve yardımıyla fırça yukarı ve aşağıya doğru hareket ettirilerek sistem temizlenebilmektedir. Makaranın ucuna ağırlık konularak takılmadan aşağıya inmesi sağlanmaktadır.

**d) Kelepçe ve taşıyıcılar:** Sistemin yükünü taşıtmak için kelepçeler ve taşıyıcılar kullanılmaktadır. Kelepçeler sistemin maruz kalacağı yanal yükün taşıtılmasında taşıyıcılar ise sistemin ağırlığından kaynaklanan statik yükün taşıtılmasında kullanılmaktadır.

**e) Düz modül (gövde):** Sistemin gövde kalınlığı statığe, gövde çapı ise kullanım yoğunluğu göre hesaplanabilmektedir. Kapakların monte edildiği modüle kapaklı modül de denilmekte ve genellikle gövde ile aynı malzemeden yapılmaktadır.

**f) Atış kapağı:** Sağa -sola veya yukarı-aşağıya doğru açılan kapaklar anahtarla manuel olarak kullandıldığı gibi eyleyici ve kontrol sistemleri vasıtasıyla otomasyonlu olarak ta tasarlanabilmektedir. Kapakların yangın esnasında ilgili standardın gerektiği ölçütler çerçevesinde bir-bir buçuk saat yangına dayanıklı olması ve sistem içinde oluşabilecek dumana karşı sızdırmaz olması istenmektedir. Bu standartlar; BS476 -BS5588 yangın ve duman sızdırmazlık testleri, TS EN 1634 ve UL etiketi yangın dayanım testleridir.

**g) Temizleme ve yangın söndürme mekanizması:** Kapakların üzerinde yangın anında kullanılmak üzere su hattı bağlantısı olan mekanizma bulunmaktadır. Aynı kapak

üzerinde temizleme ve yangın olmak üzere toplamda ikişer adet olarak bırakılabilmektedir. Bu mekanizma yangın sistemine entegreli olarak çalışmaktadır.

**h) Yangın damper:** Sistemin en altındaki atık toplama kısmında oluşabilecek yangının üst tarafa yayılmasını engellemek için mekanik olarak çalışan yangın damperi kullanılabilmektedir.

**ı) Stop dirsekler:** Kapaklardan atılan atıkların hızlarını yavaşlatmak için ortalama onbeş metrede bir stop dirsekler kullanılmaktadır. Aynı zamanda sistemin altına da konulan bu dirsekler kanal içerisinden gelen atıkları taşıma konteynırına yönlendirecektir. Stop dirsekler çarpmanın etkisiyle deforme olmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

**i) Konteyner:** Atılan atıkların toplanması ve kolay taşınması için sistemin en altına konulmaktadır. İstenilen ebatlarda kullanım koşullarına göre üretici kataloğundan seçim yapılarak hazır ürün olarak alınabilmektedir.

**j) Kompaktör:** Bazı durumlarda atılan atıkların daha az yer kaplaması için sıkıştırılması istenebilir. Kompaktör denilen presleme makinesi vasıtasıyla atıkların sıkıştırılarak konteynere taşınması sağlanmaktadır. Ayrıca ek olarak sistemin daha etkin çalışması için aşağıdaki iyileştirme uygulanabilmektedir.

Ayrıca yüksek yapılarda, atığın gövdeye çarpması sonucu oluşan sesler rahatsız edici olabilmekte ve bunun önüne geçmek için gövde gövde üzerine ses sönümleyici komponentler püskürtülerek, taşıyıcı kaplaması veya kauçuk kaplaması yapılarak ses izolasyonu sağlanmaktadır.

Sistemden içeriye zaman zaman yanmakta olan sigara izmaritlerin atıldığı bilinmektedir. Bu durum, gövde üzerine yapışmış olan atıklar için yangın riski oluşturmaktadır. Sistemin etrafı korunaklı değil veya etrafında yanıcı madde olma ihtimali var ise, gövde üzerine taşıyıcı uygulaması yapılarak ısı izolasyonu yapılmaktadır.

Taşıyıcı uygulaması, olası bir yangında ısı izolasyonu da sağlayacağından tercih sebebi olmaktadır.



## BÖLÜM 4. GERİ DÖNÜŞÜM

Genel anlamda geri dönüşüm; geri dönüşüm (recycle) ve geri kazanım (recovery) tabirleri ifade etmesi için kullanılsa da bunlar birbirinden ayrı fakat birbirlerini tamamlayan iki kavramdır. Geri dönüşüm, değerlendirilme imkanın bulunan atıkların farklı teknolojik proseslerden geçirilerek ikincil hammadde olarak üretim sürecine dahil edilerek yeniden kullanılmasıdır. Geri dönüşüm ve tekrar kullanımı da kapsayan geri kazanım, atık bileşenlerinin fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal metotlar kullanılarak farklı ürünlere veya enerjiye çevrilmesi olarak tanımlanmaktadır [3].

Geri kazanım Şekil 17’de bölümlerine ayrılmıştır.



Şekil 17. Geri dönüşüm-kazanım sisteminin sınıflandırılması [8]

Tablo 2’de gibi polimer atık için özetlenebilen geri kazanım sisteminin alt kategorileri bilimsel literatürde sıklıkla kullanılmaktadır [9].

Tablo 2. Polimer geri dönüşüm ile ilgili terminoloji [9]

| ISO 15270 standart tanımları | Eşdeğer ASTM D7209-06 tanımları | Eşdeğer diğer tanımlar                         |
|------------------------------|---------------------------------|--|
| Mekanik geri dönüşüm         | Birincil geri dönüşüm           | Yeniden kullanım, kapalı çevrimli geri dönüşüm |
| Mekanik geri dönüşüm         | İkincil geri dönüşüm            | Alt düzey geri dönüşüm                         |
| Kimyasal geri dönüşüm        | Üçüncül geri dönüşüm            | Hammadde geri dönüşüm                          |
| Enerji geri kazanım          | Kuaterner geri dönüşüm          | Değerlendirme                                  |

#### 4.1. Enerji Geri Kazanım Sistemi

Atıklardan kaynaklı ortaya çıkan sera gazı emisyonunun azaltılmasına daha fazla katkıda bulunabilmek adına, enerji kaynağı olarak yüksek potansiyele sahip atıkların yeniden kullanımına yönelik çözümler bulunmaktadır. İstenmeyen materyalleri atık olarak ele almak yerine, atık-enerji teknolojileri yoluyla kullanım potansiyelleri düşünülmektedir [10].

Kuaterner geri dönüşüm veya enerji geri kazanımı, plastik atıkların yakılması ve ısı ve /veya elektrik üretimi yoluyla geri kazanılmasını kapsamaktadır. Enerji geri kazanımı AB'deki tüketim sonrasındaki plastik atıklarının en yaygın geri kazanım yöntemidir. 2015 yılında plastik atıklar, % 39,5 oranında bu yöntem ile geri kazanılmaktadır. Plastik atıkların AB'de yakılması 2000/76/EC sayılı direktif ile düzenlenmektedir [9]. AB tarafından bir geri dönüşüm süreci olarak düşünülmesi de aşırı kirlilik oranı, ayırma zorlukları veya polimer özelliklerinin bozulmasından kaynaklı oluşan başarısız mekanik prosesler gözönüne alındığında bu durumlar için enerji geri kazanımı uygun seçenek olarak kullanılmaktadır. Aslında yüksek kalorifik değerli plastik katı atık, enerji üretimi için uygun bir kaynak olmaktadır. Plastikler, diğer atıklarla birlikte yakılabilmekte veya çimento fırınları gibi çeşitli endüstriyel sektörlerde çöp türevi yakıt olarak kullanılabilir. [9].

#### 4.2. Malzeme Geri Dönüşüm Sistemi

Atıktaki maddi değeri geri kazanma, yani yeniden elde edilebilir materyallerin geri kazanılması, iki önemli ölçüde farklı yollarla yaklaşılmaktadır.

Bunlardan birisi, atıkların farklı ürünlerin hammaddesi olarak kullanılması diğeri ise atıkların mekanik proseslerle geri kazanımının sağlanmasıdır.

#### **4.2.1. Hammadde geri dönüşüm**

Üçüncül veya kimyasal geri dönüşüm olarak tanımlanabilen hammadde geri dönüşümü genel olarak, mekanik geri dönüşümü uygun olmayan plastik atıklar için uygulanmaktadır. Çok katlı ve kompozit plastikler, düşük kaliteli, düzgün ayrılmamış plastik yığınları, gıda ve toprak ile kirlenmiş plastik atıklar için cazip kurtarma çözümleri olabilen bir dizi teknolojiyi kapsayan hammadde geri dönüşümü, bu plastikleri ve diğer bazı malzemeleri temel kimyasal maddelere dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Bu ürünlerden çeşitli alt sanayi prosesleri için hammadde olarak veya yakıt üretimi için de yararlanılmaktadır [11].

Artan plastik üretimi, kirlenen plastik atıklar doğası gereği yalnızca kısmen yeni ürünlere dönüştürülebilir olduğu için atık birikintisine neden olur. Bu atıkların en yaygın kullanılan yolu; onları enerji geri kazanımıyla yakılması veya arazi dolumu için kullanılmalarıdır. Hammadde geri dönüşümü ise plastiklerin geri dönüşümü için diğer yöntemler arasında en zorlarından biri olmasına rağmen bunun için çeşitli teknolojiler başarıyla sergilenmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir [12].

#### **4.2.2. Mekanik geri dönüşüm**

1970' lerde bilinirliği artan bu geri dönüşüm yöntemi, ikincil geri dönüşüm şeklinde tanımlanabilmektedir. Plastik örneği ele alındığında; plastik ürünlerin üretimde yeniden kullanımı için mekanik proseslerle geri kazanımı sağlanabilmektedir. Avrupa'da plastik atıklar %8 oranında mekanik geri dönüşüm ile yani fiziksel yollarla yeniden işlenerek geri kazanılmaktadır. Başarılı bir mekanik geri dönüşüm için önemli bir kriter, nispeten temiz ve homojen plastik atıklar vb. gibi bilinen özelliklere sahip atıkların bulunması gerekmektedir.

Polimerlerin özelliklerinden dolayı enerji veya ısı kaynağı mekanik gerilmelere neden olsa da mekanik geri dönüşüm, özellikle köpükler ve katı plastikleri geri kazanımı için

ekonomik ve uygulanabilir bir yol açmaktadır. Günlük hayatımızda bulunan bir dizi ürün örneğin bakkaliye torbaları, plastik borular, yağmur olukları, pencere ve kapı profilleri, panjurlar ve storlar gibi malzemeler mekanik geri dönüşüm süreçlerinden gelmektedir [13].

Plastik katı atıkların mekanik yollarla geri dönüşümü, dikkate alınması gereken bir dizi adımı içerir. Maliyet ve enerji açısından uzun bir süreç olan mekanik geri dönüşüm prosesleri, işlem zamanının olabildiğince azaltılmasına katkıda bulunmaktadır.

Şekil 18’de şematik olarak verilen mekanik geri dönüşümün ilk adımları genel olarak aşağıdaki gibidir [13].

**Kesme / parçalama:** Büyük plastik parçalar doğranmış küçük parçalara daha fazla işlenmesi için makas veya testere ile kesilmektedirler.

**Kirleticilerin ayrılması:** Kâğıt, toz ve diğer istenmeyen materyaller genellikle bir siklonda plastikten ayrılmaktadır.

**Yüzer:** Farklı plastikler kayan bir tankta yoğunluklarına göre ayrılmaktadırlar.

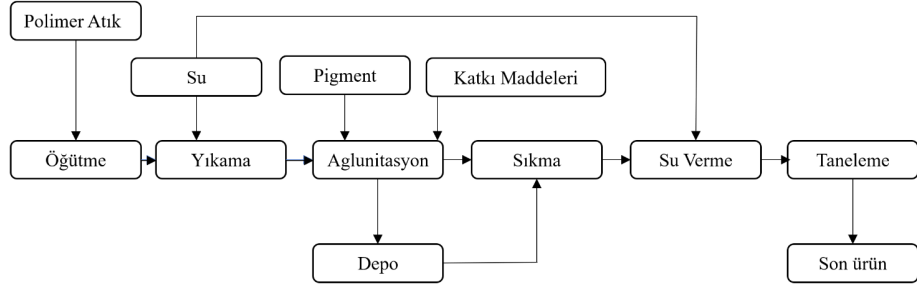
**Frezeleme (öğütme):** Ayrı olarak toplanan plastik atıklar öğütülmektedir. Bu adım genellikle dünyadaki birçok geri dönüşümcü için ilk adım olarak kabul edilmektedir.

**Yıkama ve kurutma:** Bu adım, ön yıkama aşamasında (yıkama hattının başlangıcı) ve daha sonrasında ise son ürün aşamasında uygulanmaktadır. Her iki yıkama aşaması da suyla yapılmaktadır. Bazı durumlarda kostik soda ve plastiklerdeki bulunan tutkalları çıkarmak için kimyasal yıkama şeklinde de olmaktadır.

**Aglütinasyon:** Ürün, pigment ve katkı maddeleri ilave edildikten satılmak veya daha ileri proseslere gönderilmek üzere toplanmakta ve depolanmaktadırlar.

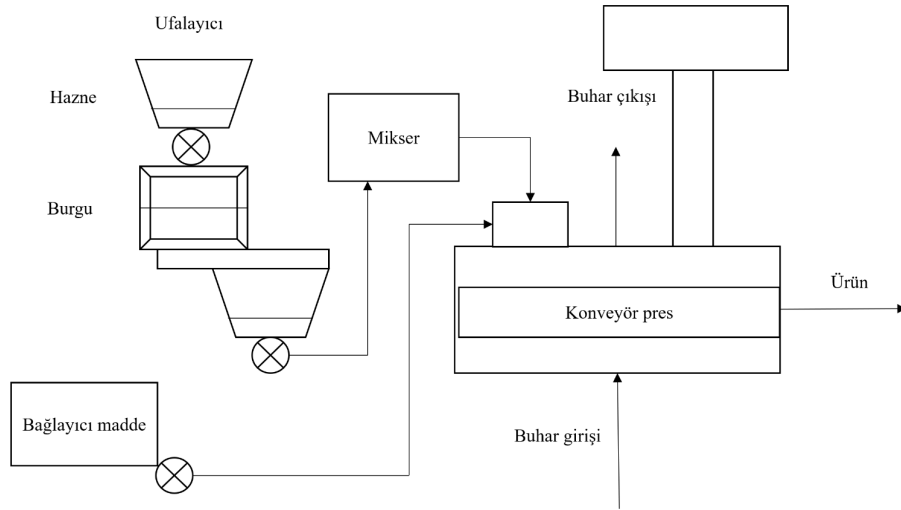
**Ekstrüzyon:** Plastikler, polimer elde ise için ekstrüzyon yöntemiyle şerit haline getirildikren sonra belirli ölçülerde parçacık haline getirilmektedirler.

**Söndürme:** Plastik parçacıklar su ile soğutma işlemine tabi tutulmakta ve daha sonra son ürün olarak satılmak üzerine granül haline getirilmektedirler.



Şekil 18. Mekanik geri dönüşüm [13]

Mekanik geri dönüşümde kullanılan bir diğer işlem ise geri dönüştürülmüş köpük pullarının kullanıldığı yeniden birleştirme işlemidir. Bazı polimer katık atıklar farklı işlemlerden geçebilmektedir. Köpük (poliüretan), iki silindriil öğütme, kriyojenik öğütücüler veya hassas bıçak kesiciler kullanılarak 0,2 mm'den küçük bir partikül boyutuna toz haline getirilmektedirler. Burada oluşan esnek köpük pulları, bir yapışkan karışım ile döner kanatlı tambura sahip bir karıştırıcıya üflenerek yeniden yapıştırma işlemine tabi tutulmaktadır [13]. Şekil 19 bu yeniden birleştirme işleminin şematik bir gösterimini vermektedir. Bu işlemin başlıca avantajlarından biri, daha yüksek yoğunluk ve daha düşük sertlik gibi yeni özelliklere sahip temiz bir ürün elde etme kabiliyetidir [13].



Şekil 19. Esnek köpük yeniden birleşmesi şeması [13]

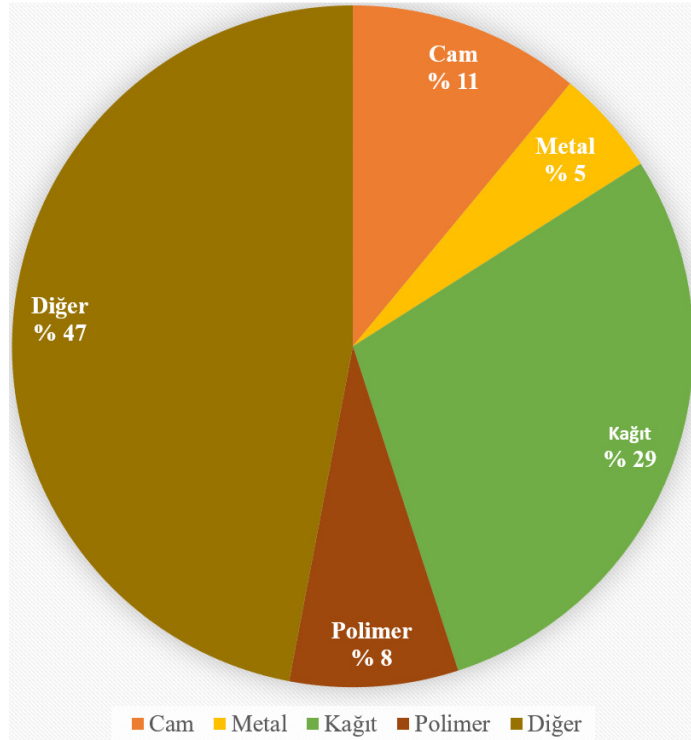
Mekanik ayırma sınıfının bir diğere metodu olan birincil geri dönüşüm, aynı malzemeden ürünler üretmek için tüketici kalıntılarının (hurda, endüstriyel veya tek polimer plastik kenarlar ve parçalar) ekstrüzyon döngüsüne yeniden dahil edilmesini içermektedir. Bu prosedür, üreticiler tarafından işlem hattında yaygın olarak uygulanmaktadır. Birincil plastik geri dönüşüm daha az enerji ve daha az kaynak kullanımı, tüketici öncesi ürünlerin temiz ve homojen olması nedeniyle geri dönüşüm yöntemleri arasında en iyisi olarak görülmektedir. Birincil geri dönüşüm genellikle kapalı çevrim geri dönüşüm olarak adlandırılmaktadır. Aynı zamanda bazı iyi tanımlanmış tüketim sonrası atıklar birincil geri dönüşümden geçebilmektedir. Örneğin, plastik şişelerde ikinci bir üretim oluşturulmaktadır. Toplama ve ayırma işleminden sonra şişeler kıyılmakta ve sıcak suda yıkanmakta, elde edilen pullar daha sonra şişe üreticilerine gönderilmekte daha sonra yeni şişeler üretmek için tekrar kullanılmaktadır.

Birincil geri dönüşüm, en iyi çevre dostu ve ekonomik tedavi yöntemi gibi gözükmektedir. Bununla birlikte, bu işlem, temiz, bozulmamış ve homojen plastik atıklar (örneğin, ön tüketici plastikleri, ambalajı ve şişeleri) gerektirir ve bu nedenle kullanımını sınırlar. Sonuç olarak, yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarının çoğu ikinci en iyi çevresel seçenek olan ikincil geri dönüşüm ile ilgilidir ve genel enerji kullanımını optimize etme ve emisyonun en aza indirilmesi açısından diğere yönetim prosedürlerine göre tercih edilmektedir. Şu anda, geri dönüştürülmüş plastik endüstrisi ekonomik kazançlılığın eksikliğinden dolayı ekonomik olarak uygulanabilir alternatif olarak enerji geri kazanımının gelişmesine neden olmaktadır. Plastik katı atıkların tamamen ayrıştırılmasının; ek geri dönüşüm maliyetinin başlıca sebebinin oluşturduğu ve önde gelen araştırmacıların karışık plastik atıkların mekanik geri dönüşümüne odaklandığı görülmektedir. Böyle bir strateji, karışık plastik atıkların çok çeşitli ve uyumsuz polimerlerin varlığı nedeniyle, teknolojik bir sorundur ve bunların uyumlaştırılması gerekmektedir [9].

## BÖLÜM 5. GERİ DÖNÜŞÜMDE ATIK TÜRLERİNİN SINIFLANDIRMA SİSTEMATİĞİ

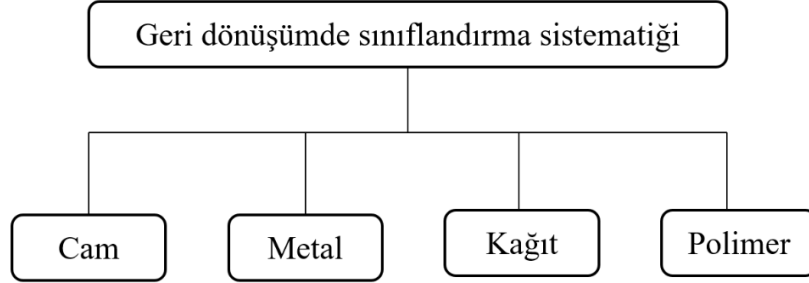
Tipik evsel atığın içeriği; toplumlara, tüketicilerin gelirlerine, yaşam tarzlarına, sanayileşme derecesine, kurumsallığa ve ticaret gibi farklı nedenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Yılın mevsimi ve ev içinde yaşayan kişi sayısına göre bile atık miktarı ve bileşimi değişiklik gösterebiliyor. Örneğin, yaz aylarında daha fazla gıda atığı ve daha az kâğıt oluşmaktadır. Bir hanedeki kişi sayısı ne kadar az olursa kişi başına oluşan atık miktarı o kadar az, ne kadar fazla olursa da oluşan atık miktarı o kadar fazla olmaktadır [14].

Modern toplumlardaki atıklar, genel olarak organik ve inorganikler maddelerden oluşmaktadır. İlk grup gıda tahta ve bahçe atıkları, kâğıt, plastik, tekstil, kauçuk, deri ve diğer malzemeleri içerir. İkinci grup ağırlıklı olarak cam ve metallere oluşur. Şekil 20’de Avrupa Birliği’nde oluşan atık çeşitliliği gösterilmektedir.



Şekil 20. Avrupa Birliği’nde oluşan atık çeşitliliği [14]

Bu çalışmada geri dönüşümü daha çok ekonomik sağlayan atıklar cam, metal, kâğıt, polimer olarak Şekil 21’de sınıflandırılmıştır.



Şekil 21. Mekanik geri dönüşümde sınıflandırma

### 5.1. Cam geri dönüşümü

Avrupa'da diğer plastik ve kâğıt atığa kıyasla en iyi değerlendirilen ve verimli geri dönüşümler arasında cam geri dönüşümü gelmektedir. Farklı karakteristik özellikleri olan cam, kullanıcıyı rahatsız edici tat ve koku vermemesi, kimyasal ürünlere karşı direnç göstermesi ve şeklinin bozulmaması nedeniyle kullanılması cazip gelmektedir. Piyasaya sürülen birçok ürünün ambalajlanmasında ve muhafazasında kullanılmaktadır.

Cam uzun yıllar boyunca meşrubat, muhafaza kaplarının yapımında, kimyasal ve kozmetik ürünlerinin saklanması için kullanılmaktadır. Türkiye’de cam geri kazanımı oldukça iyi düzeyde ve ülke ekonomisine önemli derecede katkı vermektedir. Tesislerde işlenerek oluşturulan geri dönüştürülmüş cam, yeni cam üretiminde kullanılmaktadır. Böylelikle hammadde olarak geri dönüştürülmüş cam kullanılarak hem ekonomik hemde ekolojik olarak fayda sağlanmaktadır. Geri dönüşüm oranı ortalama % 40 oranında ve yılda 650.000 ton miktarındadır.

Bununla birlikte elektronik cihazlardan geri dönüştürülen farklı özelliklerdeki camdan ötürürü toplanan camın özellikleri düşük olmakta ve bu yeni cam üretimine dahil edilebilecek etkili geri dönüştürülmüş camın toplam miktarını da düşürmektedir.



## 5.2. Metal geri dönüşümü

Geçmişten günümüze hızlı teknolojik ilerlemeden kaynaklı olarak yüksek teknolojlili ürünlerin tüketiminde büyük bir artış sağlanmıştır. Bu durum, satışa sunulan ekipmanların çeşitliliği ve nüfus artışının etkileri nedeniyle vazgeçilmez hale gelmektedir.

Arz sorununu çözmek için en uygun yöntem, ikincil kaynakların geri dönüşüm verimliliğini artırmaktır. Genellikle, kritik metallerin geri dönüşümü ile ilgili olarak iki önemli alan dikkate alınmaktadır. Bunlar; üretim sürecindeki üretim atıkları (yeni atıklar) ve ömrünü tamamlamış atıklar olarak tanımlanabilmektedir. Yeni atıkların geri dönüşümü atık elektrik elektronik cihazlar ile karşılaştırıldığında onlara göre daha kolaydır. Yeni atıklarda metal konsantrasyonunun fazla olması, atık kaynağının biliniyor olması ve sürekli yeni hurda oluşumunun devamlılığı, yeni atıkların avantajları arasında yer almaktadır [15]. Şu anda, yeni hurda kritik metallerin geri kazanılması için ana kaynak olarak öne çıkmaktadır.

Hassas teknolojilerin gelişmesi, kritik metallerin bu teknolojik ürünler içerisinde kullanılmasını gerektirmektedir. Elektrik elektronik cihazlarda 2014 yılında kritik metallerin (paladyum, platin, altın, gümüş, REE (Nadir toprak elementleri), kobalt, lityum ve indiyum), toplam maden üretimindeki oranı % 3,65- % 21,8 arasında değişim gösterdiği gözlemlenmektedir [15].

## 5.3. Kâğıt geri dönüşümü

Kâğıt geri dönüşümü, bugün atıklara uygulanan en köklü geri dönüşüm proseslerinden birisidir. Geri dönüşümlü kâğıt, kâğıt ve kâğıt hamuru üretiminin ayrılmaz bir parçasıdır ve Avrupa'da geri dönüşüm için önümüzdeki yıllarda %20 artış olabileceği öngörülmektedir [16].

Kâğıt endüstrisi için önemli bir hammadde olan geri dönüştürülmüş kâğıda ek olarak, çeşitli çalışmalarda kâğıt geri dönüşümünün bir yaşam döngüsü perspektifinde önemli çevresel faydalar sağlayabileceği de gösterilmiştir. Böylece, kâğıt geri dönüşümü hem bir

kaynaktan daha fazla verim sağlandığı, hem de çevresel açıdan faydalı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, kâğıtta potansiyel zararlı kimyasal maddelerin varlığı ile ilgili artan endişeler son yıllarda dile getirilmektedir. Bu endişeler, atık kağıttaki kimyasallar, kasıtlı olarak eklenen katkı maddeleri, mürekkepler, pigmentler, tutkallar gibi katkıları veya toplama sırasında diğer atık maddelerin etkisiyle oluşan kirlenmelerden kaynaklanmaktadır. Kimyasallar, üretim sürecinin kendisini ve nihai ürünün kalitesini veya işlevselliğini iyileştirmek için eklenmektedir.

Geri kazanılan kâğıt, dünyanın her yerinde yüksek geri kazanım ve geri dönüşüm oranına sahip en iyi yönetilen ikincil malzemelerden biridir. Geri kazanılan kâğıt hem teknik hem de çevre açısından sağlam bir hammaddedir. Önemli bir global ticaret ürünü olan geri dönüştürülmüş kâğıt, kâğıt ve karton endüstrisi için hacimce en önemli hammadde olarak kullanılmaktadır [17].

#### **5.4. Polimer geri dönüşümü**

Plastik üretimi küresel boyutta 50 yılı aşkın süredir sürekli büyüme göstermektedir. Örneğin 2015'te 2014 yılına göre % 3,5 oranındaki artışla 322 milyon tona yükselmiştir. Bu plastik tüketimi plastiği önemli bir atık kaynağı olarak öne çıkarmaktadır.

Avrupa'da, tüketim sonrası plastik atıklar öncelikle ambalaj, inşaat, otomotiv ve elektrik ve elektronik cihazlardan sağlanmaktadır ve bu atık miktarı 2014'te 25,8 milyon tona ulaşmıştır. Üretim ve elden çıkarma yoluyla çevreye büyük miktarda plastik atık bırakıldığı bunun sonucunda dünya çapında doğada ve özellikle denizlerde atık birikintisi oluşturmaktadır. Bu durum plastik atığı dünya çapında büyük bir çevre sorunu haline getirmektedir. 2010 yılında 192 kıyı ülkesinde 275 milyon metrik ton plastik atık üretildiğini ve kıyılarda 4,8 ile 12,7 milyon metrik ton atık birikintisi oluştuğu bilinmektedir. Plastiklerin depolama sahalarına boşaltılması, çevre dostu olmayan bir seçenek olduğu için engellenmesi gerekmektedir. Plastik atık yönetiminin küresel bir problem olmasına rağmen, ülkelere göre farklı stratejiler geliştirilmiştir. Avrupa geri dönüşüm politikasında, dünyanın en gelişmişlerinden biri olarak kabul edilmektedir [9]. Türkiye'de ise son yıllarda ortaya konulan yasal zorunluklara ve atık geri dönüşümündeki hatırı sayılır gelir eldesine bağlı

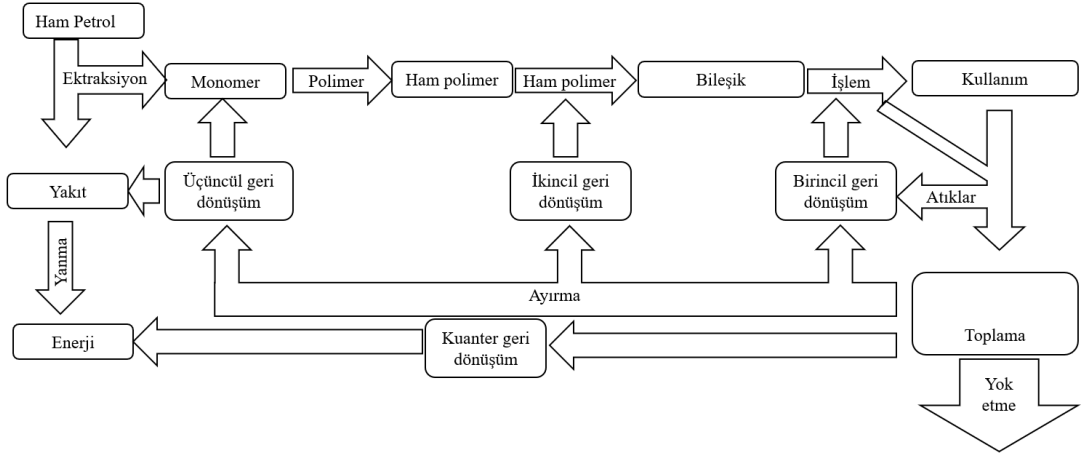
olarak atık toplama-ayırıştırma ve geri dönüşüm tesilerinin çoğalması, geri dönüşüm konusunda farkındalığın oluştuğunu göstermektedir.

Ayrıca genel olarak atık depolama sahalarının sayı ve kapasitelerinin hızla düşüyor olması, düzenli depolama mevzuatlarının giderek daha katı kurallarla oluşmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, 2014'te Avrupa'da plastik atıkların sadece % 29,7 oranında geri dönüşüm, % 39,5 oranında enerji geri kazanımı, % 30,8 oranında ise düzenli depolama sahalarında biriktirildiği görülmektedir. Plastik atık kaynaklarının düşük geri kazanım oranı, plastik atıkların sınıflandırmasının karmaşıklığı ve maliyetleri, farklı atık kaynaklarının plastiklerle karıştırılması, temiz ham maddenin daha düşük maliyetli olması, eskime ve kirlilik nedeniyle özellik kaybı, polimerlerin uyuşmazlığı bu düşük geri kazanım oranını nedenleri arasında gösterilmektedir [9].

Plastik atıkların sebep olduğu ciddi çevre kirliliği sorunları ve toplum bilincinin artması göz önüne alındığında, farklı ülkelerin ilgili makamları tarafından plastiklerin geri kazanılmasına ilişkin çok sayıda yasal yükümlülükler getirilmektedir. Avrupa Komisyonu, düzenli depolama alanlarındaki atıklarla ilgili hedefleri gözden geçirmek için bir yasama teklifini kabul etmiştir. Teklifin amacı, geri dönüştürülebilir atıkların (plastik, kağıt, metal, cam ve biyolojik atıklar da dahil olmak üzere) 2025 yılına aşamalı olarak arazi dolusunda kullanılmasını ortadan kaldırmaktır. Öneriyi takiben, Avrupa'daki üç ticaret dernek ve temsilcilikleri (Avrupa plastik dönüştürücüleri [EuPC], plastik üreticileri briliği [PlasticsEurope] ve Avrupa plastik geri dönüştürücüleri [PRE]), 2025 yılına kadar arazi dolusunda sıfır plastik hedefine ulaşmayı amaçlamışlardır [9].

Plastik malzemelerin geri dönüştürülebilir olması amacıyla polimer türüne, ambalaj tasarımına ve plastik kaynaklarına bağlı olarak çeşitli yöntem geliştirilmiştir. Geri dönüşüm metodu ne olursa olsun, plastik katı atıkların, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından belirlendiği gibi, geri kazanım aşamalarından önce toplama, ayırma, temizleme, ebat azaltma ve ayırma da dahil olmak üzere farklı temel adımlar atılması gerekir. Plastik katı atığa bu bahsedilen müdahalelerden sonra geri dönüşüm gerçekleşebilmektedir. Geri dönüşüm ve geri kazanım işlemleri için gerekli bir takım teknikler nedeniyle plastik geri dönüşüm terminolojisi karmaşık hale gelmektedir. Bu tekniklerin sınıflandırılmasının

uygulanmasına ilişkin ilk çalışma R. Clift tarafından yapılmıştır. Plastik atıkların geri kazanımı Şekil 22'deki gibi polimer üretim döngüsüne entegre edilebilmektedir [9].

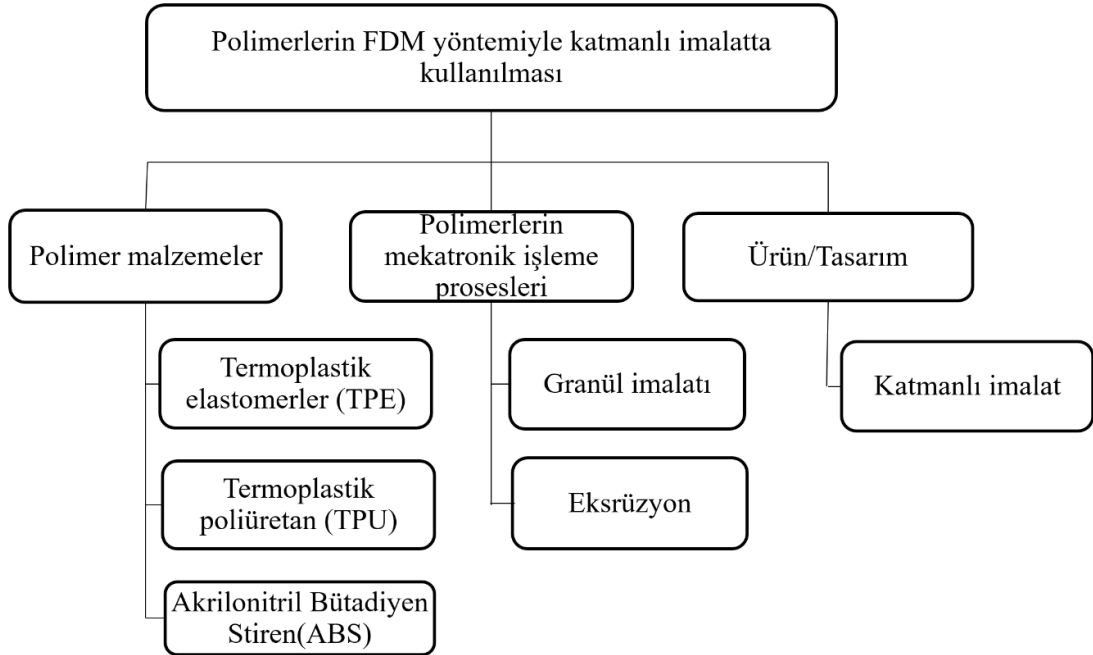


Şekil 22. Tipik polimer üretim döngüsü [9]

Polimerlerin doğada meydana getirdiği en büyük problemlerden biri diğer atık türleri gibi kısa sürede çürüyüp parçalanmamaları ve doğada uzun süre bozunmadan kalmalarıdır. Polimerler geri kazanım yerine toprağa gömülerek bertaraf etme yönüne gidildiğinde çevreye daha fazla zarar vererek suyun ve toprağın kirlenmesine sebebiyet verecektir. Bu nedenlerden dolayı polimerin geri kazanım aşamasından sonra etkin fayda sağlanabileceği proses ve yöntemler ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar arasında görülen yöntemlerden biri, polimerlerin teknoloji çağının evlerimize kadar getirmiş olduğu katmanlı imalatta kullanılmalarıdır. Geri dönüştürülmek için toplanan polimer-plastik atıklar, çeşitli proseslerden geçirilerek granül haline ve daha sonra ekstrüzyon makinelerinde katmanlı imalat için filament haline getirilmektedirler. Geliştirilecek olan bir atık atık ayrıştırma sisteminde ayrı olarak toplanacak polimerler dolaylı olarak katmanlı imalatta kullanılacak ve katmanlı imalat kullanıldıktan sonra işlevini tamamlayan polimerler geri dönüştürülüp tekrar kullanım alanı bulacaktır. Bu çalışmada ilerleyen bölümlerde oluşturulan bu döngü içinde bahsedilen proselerden ana hatlarıyla bahsedilecek ardından geliştirilen atık ayrıştırma sisteminin mekatronik sistem tasarımı yapılacaktır.

## BÖLÜM 6. POLİMERİK MALZEME GERİ DÖNÜŞÜMÜNDEN ELDE EDİLEN TPU, TPE, ABS POLİMERLERİNİN FDM YÖNTEMİYLE KATMANLI İMALATTA KULLANILMASI

Günümüzde hemen her sektörde kullanılan ergiyik yığıma modelleme (FDM-Fused Deposition Modelling) teknolojisi, bilgisayar ortamında oluşturulmuş katı modelin kalıp kullanmadan fiziksel olarak oluşturulmasını sağlamaktadır. FDM katmanlı imalat yönteminde genel olarak kullanılan polimer malzemelerin eritilip uygulama yapılan baskı sistemindeki hareketli bir kafaya iletilmesi, üst üste katmanlar halinde tasarlanan şekle göre yapıştırılarak yazdırılması olarak tanımlanabilmektedir. Her geçen gün yeni teknolojilerin geliştirilmesine paralel olarak hızlı büyüme gösteren katmanlı imalat teknolojileri endüstrisi, yılda toplam 27000 kurulu sisteme ve yıllık 1,159 milyon \$ pazar büyüklüğüne erişmiştir [18]. Polimerlerin FDM yöntemiyle katmanlı imalatta kullanılmasının incelenmesi amacıyla uygulanan prosesler Şekil 23'teki gibi bölümlerine ayrılmıştır.



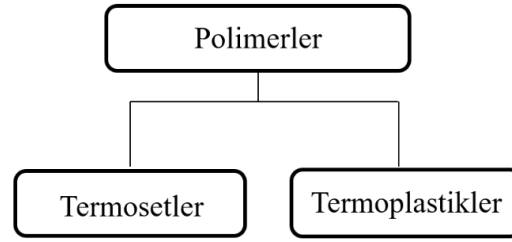
Şekil 23. Polimerlerin FDM yöntemiyle katmanlı imalatı kullanılması

## 6.1. Katmanlı İmalatta Kullanılan Polimerler

Polimer karbonunun oksijen, hidrojen, organik ve inorganik elementler ile çeşitli kombinasyonlar oluşturması ve monomer gruplarının uzun zincirler şeklinde birbirlerine bağlanması sonucunda ortaya çıkan yüksek molekül ağırlığına sahip yapılar polimer olarak ifade edilmektedir [19].

Plastik ise polimer malzemelere eklenen katkı maddeleri ile oluşan yeni maddeye denmektedir [19]. Plastik malzemeler yapılarını oluşturan monomerin ismi ile belirtilmektedirler. Polimer malzemeler direk olarak plastik malzeme üretiminde kullanılabilir ve bazı durumlar da plastik malzemedan istenen özelliklere bağlı olarak farklı katkı malzemeleri de yapıya ilave edilebilmektedir [19].

Polimerler, ısıya maruz bırakıldıklarına göstermiş oldukları davranışa göre Şekil 24'teki gibi termosetler ve termoplastikler olarak 2 ana gruba ayrılırlar.



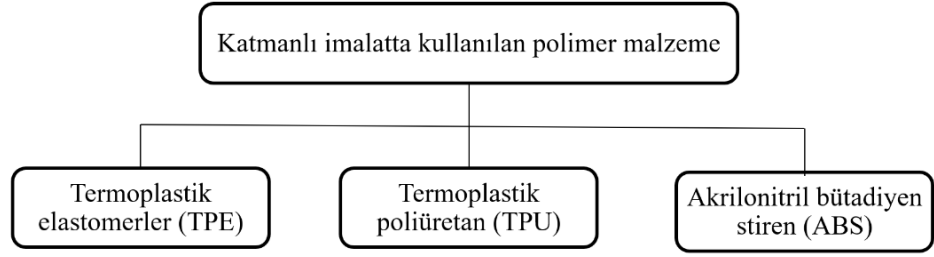
Şekil 24. Polimerlerin sınıflandırılması

**Termosetler:** Isıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma meydana gelmekte ve bir daha asla tekrar, tekrar ısıtılıp sertleştirilememektedirler. Genelde polikondenzasyon yöntemi ile üretilmektedirler. Isıtma esnasında kovalent çapraz bağlanma oluşmasından kaynaklı daha sert ve gevrek olan termosetlerde, eğme ve dönme hareketleri kısıtlanmaktadır [20]. Bu bakımdan hem geri dönüşüm hem de filament imalatı pek fazla tercih edilmemektedirler.

**Termoplastikler:** Genel de polimerizasyon adı verilen kimyasal işlemle elde edilmektedirler. Termoplastikler, termosetlerin aksine ısıtıldıkları zaman yumuşayıp akmakta ve soğutuldukları zaman ise sertleşip katılaşmaktadırlar. Bu termoplastikler için

devamlı tekrarlanabilen bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır [20]. Bu özellik termoplastikleri katmanlı imalat kullanımı için uygun bir malzeme olmasını sağlamaktadır.

Katmanlı imalatta başlıca kullanılan malzemeler arasında termoplastik elastomerler (TPE), termoplastik poliüretan (TPE), akrilonitril bütadiyen stiren (ABS) polimerleri gelmektedir (Şekil 25).



Şekil 25. Katmanlı imalatta kullanılan başlıca polimer malzemeler

**Termoplastik poliüretan (TPU):** Termoplastik poliüretanlar, sert segment ve yumuşak segment olarak adlandırılan ve termodinamik açıdan uyumsuz iki fazdan meydana gelmektedir. Kauçuğa alternatif olarak gösterilmekte olup tekrar tekrar işlenebilen çoklu blok kopolimer yapıdadır.

Yumuşak segmentlerin içine sert segmentlerin yayılması yapıya ısı tersinir çapraz bağlar kazandırmakta olup bu özellik enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi sıcaklığın kullanıldığı yöntemlerle üretilmesine uygunluk sağlamaktadır. Termoplastik poliüretan, yüksek aşınma ve sürtünme direnci, belli oranda yüksek sıcaklığa direnç, darbe emme ve yüksek uzama kapasiteleri gibi özelliklere sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle hortum, ayakkabı tabanı, spor malzemeleri ve kablolar başta olmak üzere çeşitli kullanım yerleri bulunmaktadır [21].

Termoplastik poliüretan malzemeler, 100-110 °C sıcaklık aralığında 1-2 saat süreyle hava dolaşımli fırınlar kullanılarak granüllerin nem miktarları ağırlıkça % 0,1 oranından düşük olacak şekilde kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Malzeme kurutma işlemi tamamlandıktan sonra kolay işlenebilir ve ekstrüzyon gibi birçok üretim yönteminde kullanılabilir olmaktadır [21].

**Termoplastik elastomerler (TPE):** Termoplastik poliüretan ile benzer özellikleri bulunan termoplastik elastomerler, geri dönüştürülebilirlik ve işleme avantajlarına sahip bir polimerdir. Termoplastik elastomerler enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi geleneksel termoplastik teknikleri ile işlenebilmektedirler. Kolay termoplastik işleme, kısa devir süreleri, düşük enerji tüketimi, küremeye ihtiyaç duymaması ve renklendirme kolaylığı, çeşitli plastikler ile uyumu ve % 100 oranında geri dönüştürülebilir olması Termoplastik elastomerlerin öne çıkan başlıca avantajları arasında gelmektedir [22].

**Acrylonitrile butadiene styrene (ABS):** Ekstrüzyon ile imalat yönteminde kullanılabilen mukavemeti yüksek bir termoplastiktir. ABS bir petrol türevi olup aseton maddesi ile kimyasal tepkimeye girdiğinde çözünmektedir. Bu malzemenin en büyük dezavantajı katı halde herhangi bir sorun teşkil etmese de yüksek sıcaklığa maruz kaldığında sağlığa zararlı olan hidrojen siyanür salınımı yapmasıdır. Hidrojen siyanür gazının az miktarı bile yaşam sağlığı için tehlikeli olabilmektedir. Bu nedenle katmanlı imalat kullanımında ortamın havalandırması gerekmektedir. Bu nedenlerle TPE, TPU polimerlere göre kullanımı gittikçe azalmaktadır.

Tablo 3'te TPE, TPU ve ABS polimerlerinin mekanik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 3. TPE, TPU ve ABS polimerlerinin mekanik özellikleri [23-25]

| Filament türü                       | Sertlik değeri (Shore A) | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Baskı sıcaklığı (°C) | Kopma mukavemeti (Mpa) | Çekme uzaması (%) |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Termoplastik elastomerler (TPE)     | 85                       | 1.2                           | 210-230              | 48                     | 600               |
| Termoplastik poliüretan (TPU)       | 94                       | 1.2                           | 210-230              | 47                     | 478               |
| Akrilonitril bütadiyen stiren (ABS) | 100                      | 1.1                           | 230-250              | 40                     | 30                |

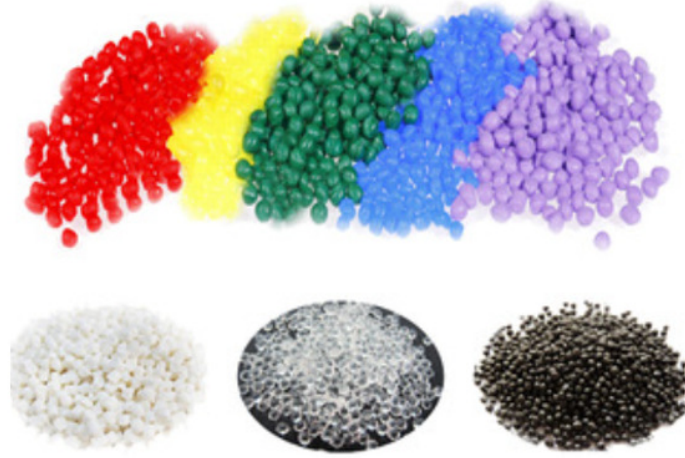


## 6.2. Polimerlerin mekatronik işleme prosesleri

Katmanlı imalatta kullanılan filament malzemesi ekstrüzyon makineleri ile üretilmektedir. Ekstrüzyon sistemleri bir huni içerisine konulan plastik granül parçacıklarının ısıtılarak vidalı mil yardımı ile huni ucundaki ısıtıcı nozül tarafına belirli bir çapta taşınması mantığıyla çalışmaktadır [26].

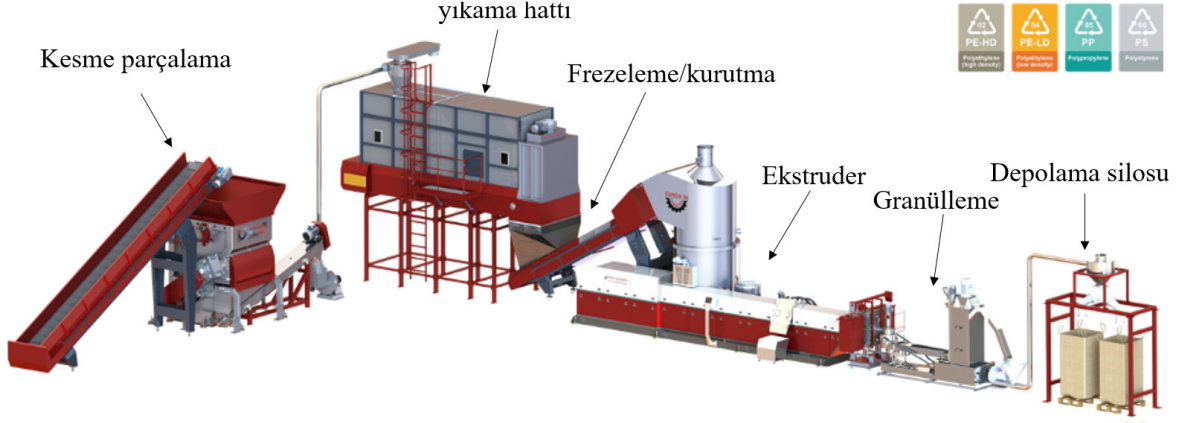
### 6.2.1. Granül imalatı

Yerel yönetimler veya işletmeler tarafından ayıklama bandında cinslerine göre ayırtılmaya tabi tutululan plastik atıklar geri dönüşüm için fabrikalara gönderilmektedirler. Burada yapılacak işleme uygun olan polimerler daha sonra ekstrüzyon ile imalat tekniğinde kullanılabilmesi için granül hale getirilmesi gerekmektedir (Şekil 26).



Şekil 26. Polimerik malzemelerin granül yapısı [27]

Temiz endüstriyel atıkların veya yıkama hatlarından gelen temizlenmiş atık plastiklerin granül haline getirilmesinde bazı proses hatları kullanılmaktadır. Buna örnek olarak Şekil 27'deki granül proses hattı gösterilebilir. Bu hatlarda malzemenin formuna, boyutlarına ve kapasiteye göre boyut küçültme işlemi gerçekleştirilmektedir. Giriş malzemesinin formuna göre besleme modelinin seçilmesi ve nem durumuna göre de kurutma hattı eklenebilmektedir [27].



Şekil 27. Granül proses hattı [27]

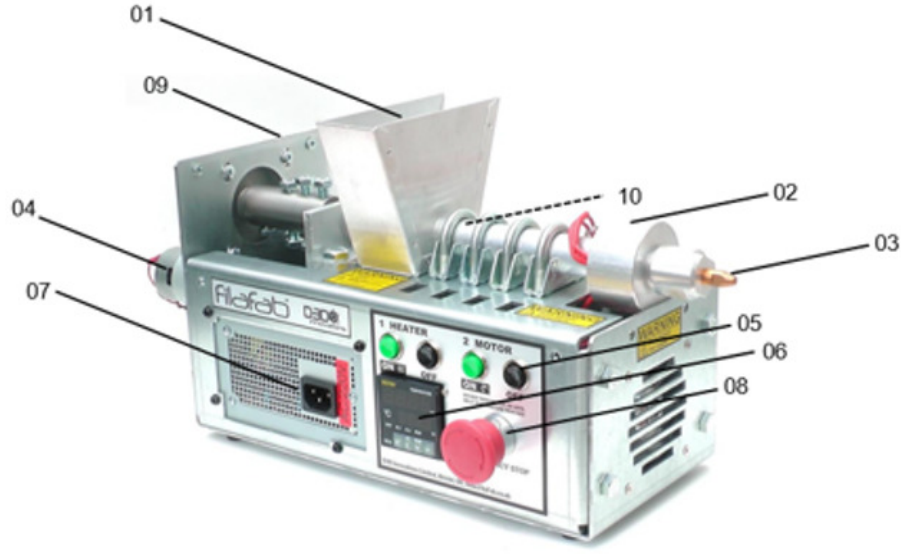
### 6.2.2. Ekstrüzyon

Üç katmanlı imalatta, genellikle 1,75 mm veya 2,85 mm çapında bir filament, ince bir nozulla beslenmeden önce hareketli bir platform üzerine monte edilmiş bir ekstrüzyon odasında ısıtılmakta, daha sonra erimiş filament 3D nesnelere oluşturmak için kullanılmaktadır.

Örnek olarak Şekil 28 ve Şekil 29'da gösterilen FilaFab marka PRO EX serisi ekstrüzyon makineleri anlatılmıştır. Bu ekstrüzyon makinesi üç katmanlı imalatta için filament üretmek üzere tasarlanmıştır. Polimer granülleri eritilerek önceden belirlenmiş bir çaplı meme vasıtasıyla, (genelde 1,75 mm veya 2,85 mm'ye) ekstrüzyon edilerek filament elde edilmektedir. Tipik olarak, plastik toprakların yanı sıra renk vericiler ve katkı maddeleri içerebilen bir ana parti üretilmekte ve daha sonra ekstrüzyon işlemi yapılmaktadır.

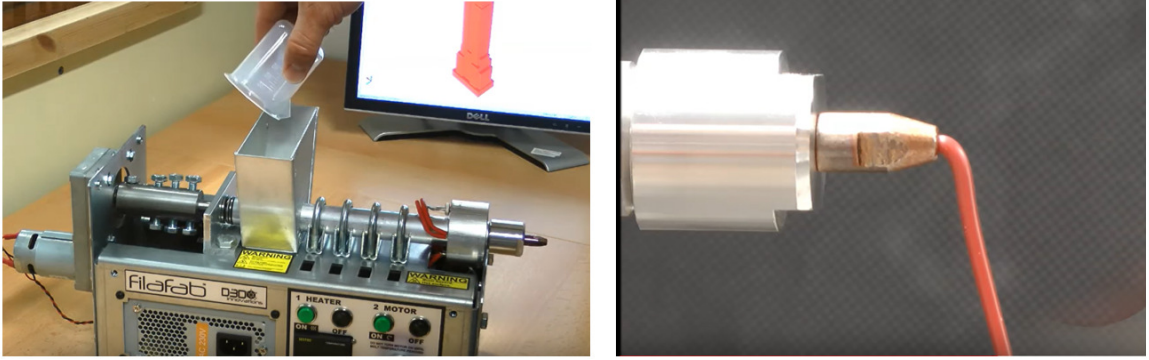
FilaFab PRO EX serisi ekstrüzyon makineleri sadece termoplastikleri eritmek için tasarlanmıştır. Termoset plastikler polimerler işlem gördükten sonra tekrar eski haline gelmeyeceğinden bu sistem için kullanılamazlar. Ayrıca Filament pazarında birçok çeşitte polimer mevcut ve bu nedenle kullanıcı en iyi sıcaklık ayarlarını ve malzemenin ekstrüzyon için uygunluğu belirlemek için üreticilere danışılmalıdır. Makine ile uyumlu olmayan

malzemeler tıkanmaya neden olabilmekte ve ekstrüzyon makinesine zarar verebilmektedir [33].



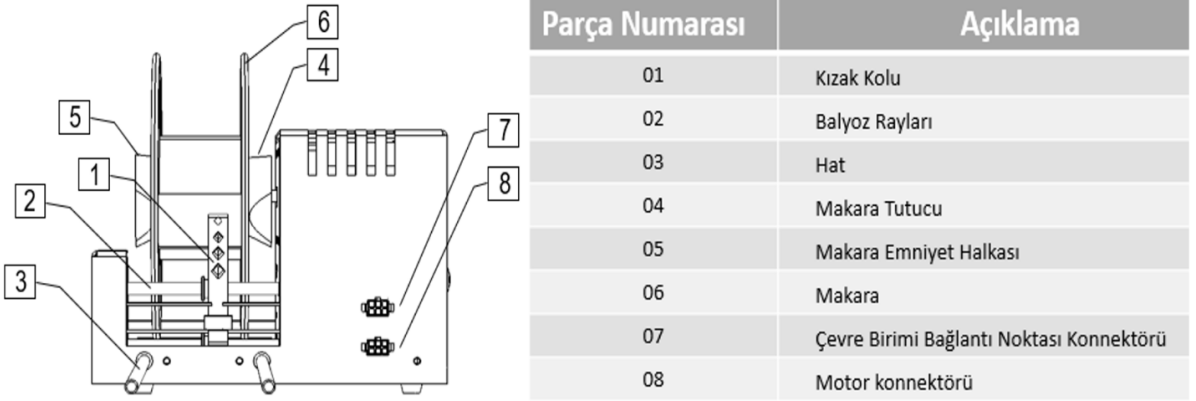
| Parça Numarası | Açıklama                    |
|----------------|-----------------------------|
| 01             | Giriş Haznesi               |
| 02             | Isıtıcı Bloğu               |
| 03             | Ayarlanabilir Nüzul Başlığı |
| 04             | Motor                       |
| 05             | Kontrol Butonları           |
| 06             | PID Sıcaklık Kontrolörü     |
| 07             | Enerji Beslemesi            |
| 08             | Acil Stop Butonu            |
| 09             | Hız Kontrol                 |
| 10             | Vidalı Burgu                |

Şekil 28. Ekstrüzyon makinesi [28]

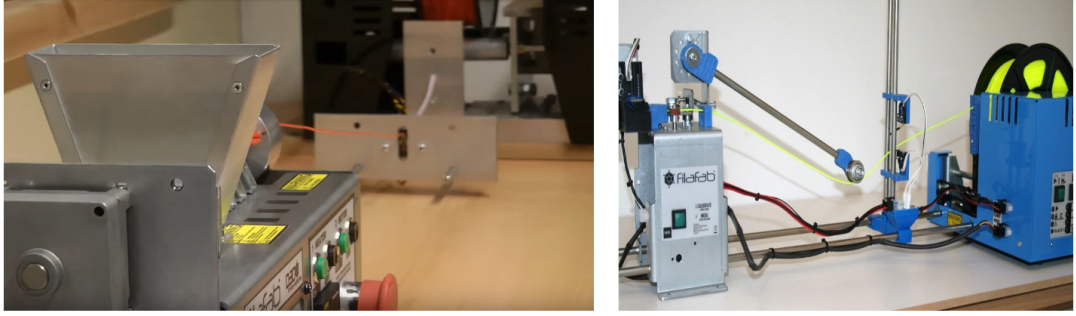


Şekil 29. Ekstrüzyon makinesi [28]

Ekstrüzyon imalatı yapılan ürünler Şekil 30 ve Şekil 31'deki gibi bir filament sargı cihazıyla makaralara sarılmaktadır.



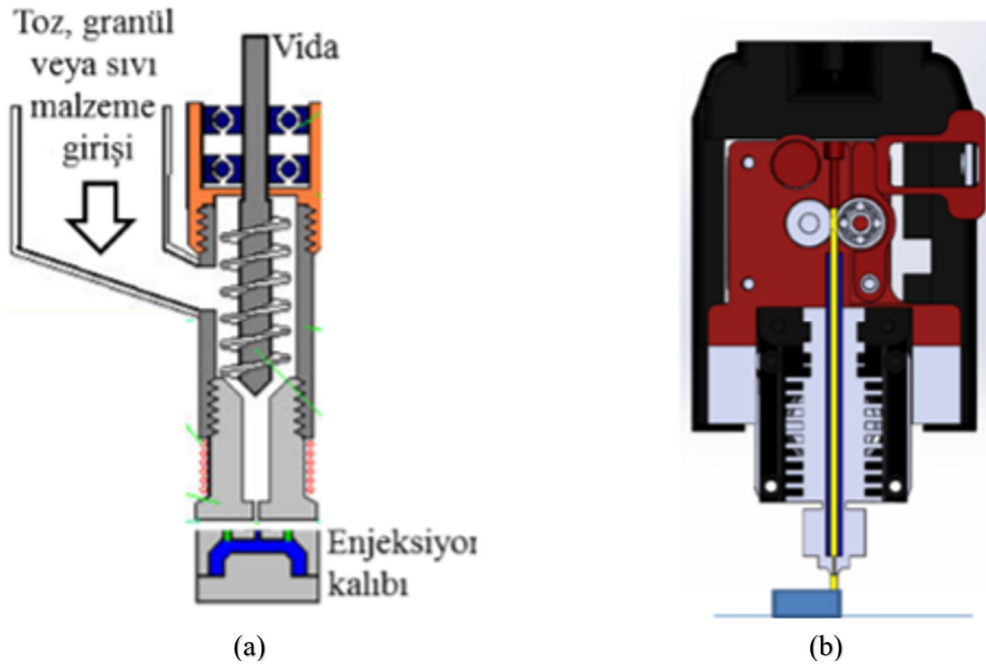
Şekil 30. Filament sargı makara sistemi bölümleri [28]



Şekil 31. Filament sargı makara sistemi görüntüsü [28]

### 6.3. Katmanlı imalatta ürün tasarımı

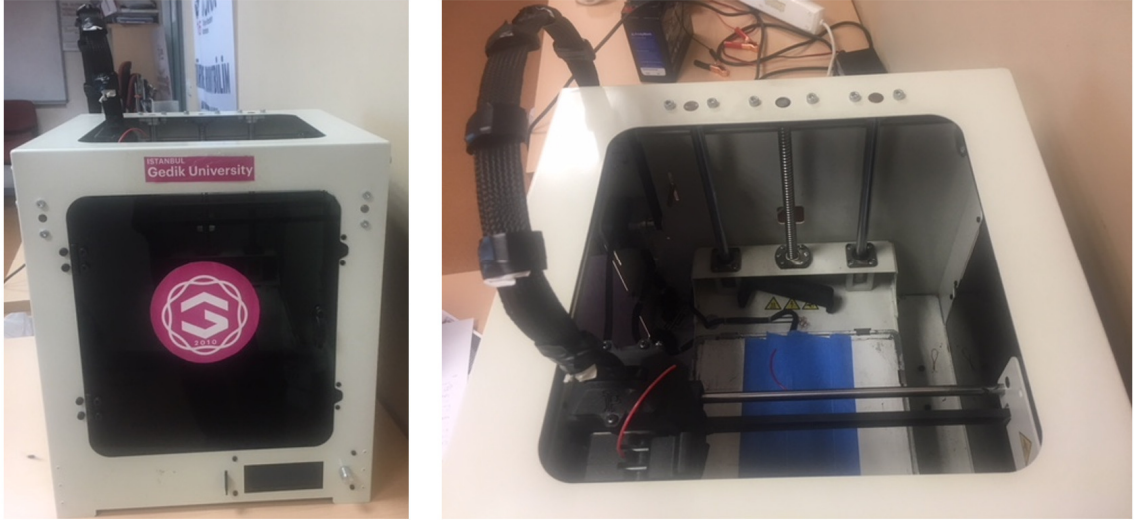
FDM tekniği kullanılarak yapılan ekstrüzyon ile plastik enjeksiyon imalat tekniği açısından farklılıklar göstermektedir. Plastik enjeksiyon sisteminde 3 boyutlu ürün elde edilmesi için, öncelikle ürüne ait kalıp imalatı gerekmektedir. Katmanlı imalat yöntemlerinden biri olan FDM tekniğinde ise ürün elde edilmesinde kalıba ihtiyaç olmamaktadır [30]. İmal usulleri Şekil 32 a. ve Şekil 32 b.'de gösterilmiştir.



Şekil 32. a) Enjeksiyon kalıplama b) FDM tekniği ile katmanlı imalat usulleri [25]

FDM, termoplastik polimer liflerin ekstrüzyon yöntemiyle eritilerek oluşturulan tabakanın üstüne yeni bir katman eklenmesiyle oluşturulan imalat tekniğidir. FDM'ye işlemlere üretilcek parçanın CAD datasının katı model formundan makinenin işlem gördüğü formata çevrilmesi, parçanın mukavemet ve esneklik gibi özelliklerini etkileyen malzemenin seçilmesi ile başlanmaktadır [18].

0,127-0,330 mm arasında uygun katman kalınlığı seçilerek katı model yazılımı kullanılarak tasarım katmanlara ayrılmaktadır. Sistem üzerindeki kafa x ve y eksenlerinde katmaları çizerek içini doldurmakta ve üretimin yapıldığı tabla da eş zamanlı olarak z yönünde hareket etmektedir. Yarı eriyik mertebesine ulaşıncaya kadar ısıtılmış termoplastik polimer model malzemesi ile beslenen sıcaklık kontrollü ekstrüzyon kafası, model ve destek malzemesini yönlendirerek hassas bir şekilde makine üretim tablasına ince katmanlar halinde sarmaktadır. Böylece katman katman serilen malzemenin üç boyulu esnek modeli ortaya çıkmaktadır [18]. Şekil 33'te İstanbul Gedik Üniversitesi'nde geliştirilen katmanlı imalat FDM baskı sistemi gösterilmektedir.



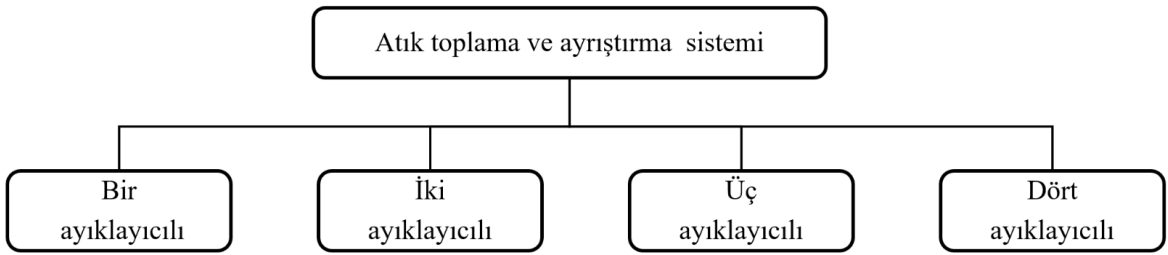
Şekil 33. İstanbul Gedik Üniversitesi'nde geliştirilen katmanlı imalat FDM baskı sistemi

## BÖLÜM 7. ATIK TOPLAMA-AYRIŞTIRMA SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Geri dönüştürülebilir nitelikteki atıkların diğer atıklar ile karışık olarak toplanarak atık toplama sahalarına gönderilmesi, birbirinden ayrılmasının güçleşmesine yol açmakta ve bu ayırma işlemi için çeşitli teknolojik prosesten geçirilmesi gerekmektedir. Bu durumun artan maliyetin yanında temiz olmayan atıktan kaynaklı çoğu zaman yüksek kalitede geri dönüştürülmüş malzeme elde edilememesine yol açmaktadır. Bu durum, atığın henüz kaynakta iken ayrılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Yalnız kültürel alışkanlıklar, kaynakta ayırma işlemlerinin meşakkatli olması ve merkezde ayırma yöntemindeki toplama prosesleriyle bağlantılı olarak kaynakta ayırma yöntemleri yaygın kullanılmamaktadır. Bu yöntemin kullanılması, yaygınlaştırılması ve kolaylaştırılmasının için ilk adım olan atık ayrıştırma sistemleri incelenmiş ve sabit konteynerli dört ayıklayıcı atık ayrıştırma toplama sistemi (ATAS) geliştirilmiştir.

### 7.1. Atık toplama ve ayrıştırma sisteminin sınıflandırılması

Yapılan literatür ve piyasa araştırmaları sonrasında, atık ayrıştırma sistemi olarak kullanılan atık bacalarının genel anlamda bir ayıklayıcı, iki ayıklayıcı ve üç ayıklayıcı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada üzerinde geliştirilmesi planan sistem ile birlikte Şekil 34’teki gibi dört başlıkta sınıflandırma yapılmıştır.

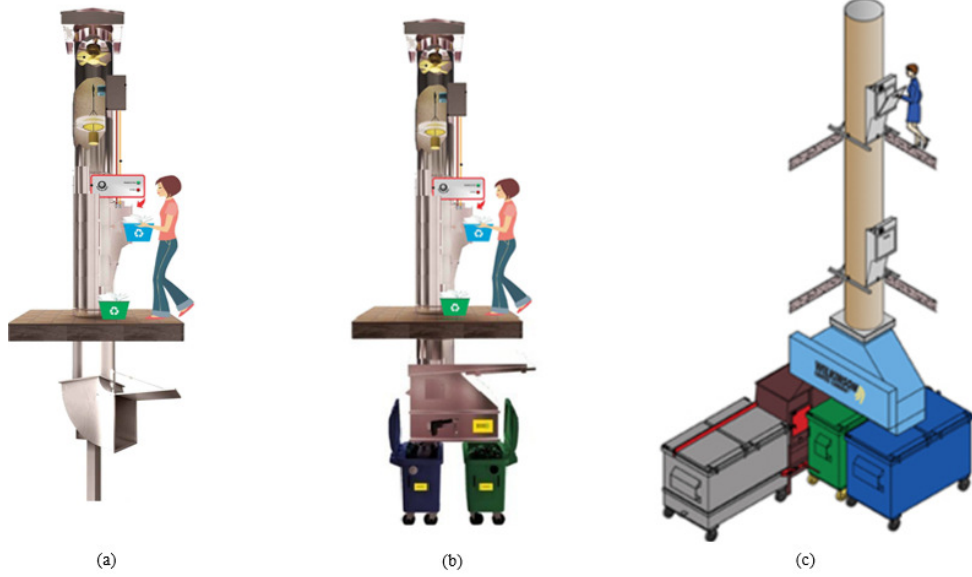


Şekil 34. Sistemin ayıklayıcı sayısına göre sınıflandırılması

Yapılarda bir ayıklayıcı ve iki ayıklayıcı sistemler daha fazla kullanılmaktadır. Mimari projelerde bu sistemler için gerekli alanın bırakılmaması, kullanım kültürü ve maliyetler,



bir ve iki ayıklayıcıli sisteminin üç ayıklayıcıli sistemlere oranla daha fazla kullanılmasının nedenleri olarak ulaşılmıştır (Şekil 35).



Şekil 35. Atık toplama ve ayrıştırma sistemi türleri a) Bir ayıklayıcıli b) İki ayıklayıcıli c) Üç ayıklayıcıli

**a) Bir ayıklayıcıli atık toplama sistemi:** Bir ayıklayıcıli atık toplama sistemi en basit olarak niteleyeceğimiz sistemdir. Atış kapağından atılan atıklar, bir konteynerde toplanır. Tek atık çeşidi için ideal bir sistemdir, fakat pratikte sistem içinden birden çok atık çeşidi atıldığından diğer sistemlere göre daha az verimli olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise karışmış olan farklı atık türlerinin, sonradan fazlaca iş yükü ile ayrıştırılma işlemi maliyetleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 35. a'da gösterilmiştir [29].

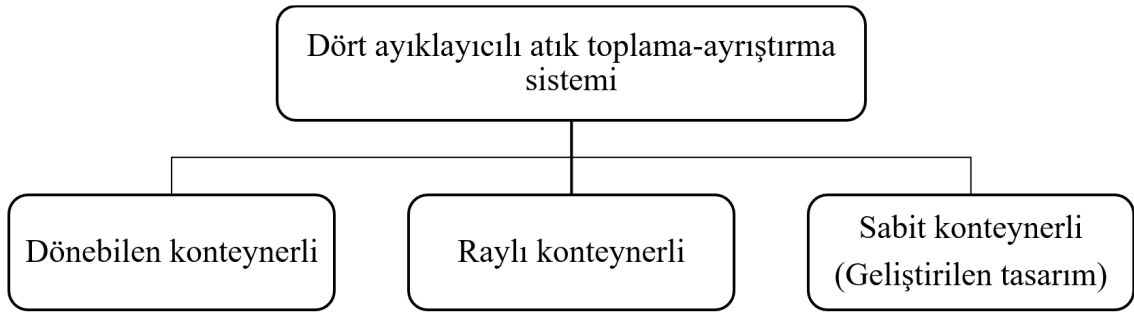
**b) İki ayıklayıcıli atık toplama- ayrıştırma sistemi:** İki ayıklayıcıli atık toplama-ayrıştırma sisteminde iki farklı türde atığın atılması öngörülmüştür. Bir ayıklayıcıli sisteme göre, farklı atıkları çeşitlerini ayırması nedeniyle daha elverişlidir Şekil 35.b'de gösterilmiştir [29].

**c) Üç ayıklayıcıli atık toplama- ayrıştırma sistemi:** Üç ayıklayıcıli atık ayrıştırma sisteminde, üç farklı atık türüne göre atılan atıklar ayrıştırılarak ilgili konteynerlerde toplanır. Eğer ki her bir atık türü için farklı sistem yapılıyorsa hem maliyet artmış olacak



hem de yeterli alan bulunması zorlaşacaktı. Bu nedenlerden dolayı üç ayıklayıcı atık ayrıştırma sistemi bir önceki sistemlere göre daha elverişlidir. Sektörün önde gelen firmalarından Hardall International Limited [6] ve Wilkinson Chutes'ın [30] yapmış olduğu üç ayıklayıcı atık ayrıştırma sistemi piyasada kullanılmaktadır. Atıklar bu sistemde; kâğıt/karton, genel çöp ve plastik /teneke kutular olmak üzere atıkları bu üç bölümde ayrıştırarak toplanabilmektedir. Şekil 35.c'de gösterilmiştir [30].

**d) Dört ayıklayıcı atık toplama-ayrıştırma sistemi:** Türkiye'de merkezden ayırma yönteminin öngördüğü ambalaj atık ayırma proseslerine paralel olarak, mevcut kullanılan üç ayıklayıcı sistemin geliştirilerek bir atık türü daha eklenmesi ve mevcut yapılmış sistemlerinden incelenerek geliştirilmesi amaçlanmıştır. Dört ayıklayıcı sistem için bazı tasarım fikirleri oluşmuştur. Bunları Şekil 36'daki gibi dönebilen konteynerli, raylı konteynerli ve geliştirilen tasarım olarak üç kategoride sınıflandırılabilir.



Şekil 36. Dört ayıklayıcı atık ayrıştırma sistem kategorileri

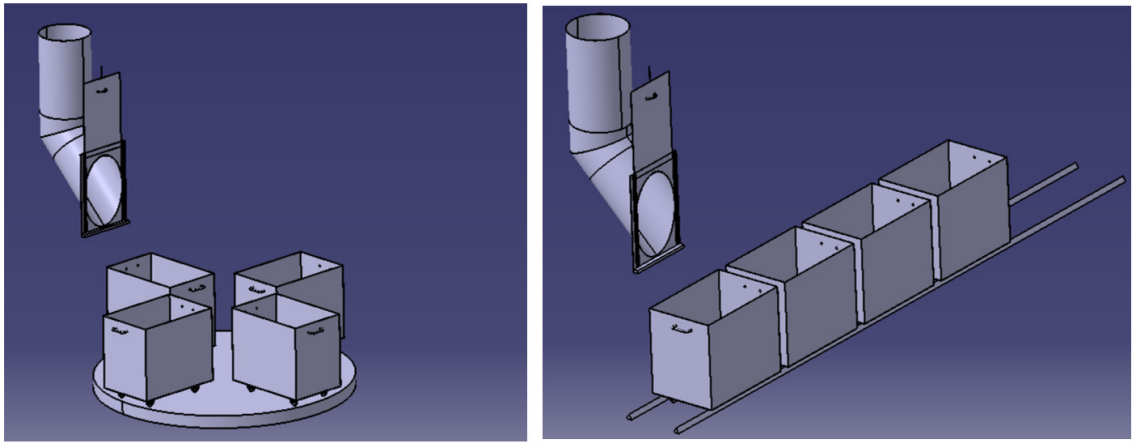
**Dönebilen konteynerli sistem:** Bu sistemde bir ayıklayıcı sistemin gövdesi aynen kullanılarak, atık odasında koyacağımız yuvarlak bir tamburun üzerine atık türlerine göre yerleştiren konteyner sisteminin entegre edilmesi mantığıyla oluşmuştur. Şekil 20.a'da gösterilen bu sistem, bir proje için müşteri isteği üzerine tasarlanmış olup fakat müşteri siparişten vazgeçtiği için imalat aşamasına geçilmemiştir.

Bu sistemin avantajı; atık türlerinin istenildiğinde dörtten fazla olarak artırımı tambur çapı büyütülerek yapılabilir. Ancak genellikle atık toplama alanlarının darlığı ve tambur içinde gerekli mekanizmanın arıza ve bakımının yapım zorluğunun olması da bu

sistemin en önemli dezavantajıdır. Daha sonraları yapılan araştırmalarda buna benzer bir sistemin Wilkinson firması tarafından yapılmakta olduğu görülmüştür.

**Raylı konteynerli dört ayıklayıcı sistem:** Yine bu sistemde bir ayıklayıcı sistemin gövdesi aynen kullanılarak, atık odasında koyacağımız rayların üzerlerine atık türlerine göre yerleştirilen konteyner sisteminin entegre edilmesi mantığıyla oluşmaktadır (Şekil 37.b).

Dönebilen konteynerli sistemde olduğu gibi burada da en büyük avantajlardan birisi şartların elverdiği sayıda atık türüne göre konteyner konularak atıkların toplanması gerçekleştirilebilmektedir. Üzerinde konteynerleri taşıyan rayların zamanla aşınması ve malzeme yorulması nedeniyle bakımı ve değişim masrafları artması bu sistemin dezavantajlarından bir tanesidir. Bu sistem, enine uzunluk olarak daha fazla yer gerektirdiğinden dönebilen konteynerli sisteme göre dezavantajlı bulunmaktadır.



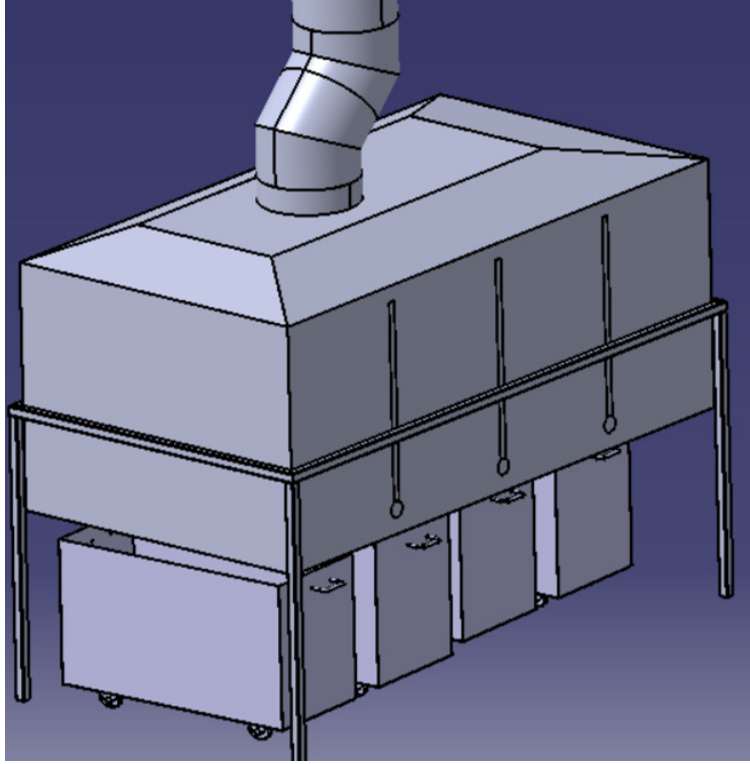
(a)

(b)

Şekil 37. Dört ayıklayıcı a) Dönebilen b) Raylı konteynerli atık toplama-ayırıştırma sistemi

**Geliştirilen dört ayıklayıcı sabit konteynerli tasarım ise;** yukarıda tanımladığımız sistemlerin dezavantajları gözününe alındığında yer, kullanım ve bakım kolaylığı açısından sabit konteynerli tip diyebileceğimiz Şekil 38'deki yapılan tasarım öne çıkmaktadır. Bu tasarım davlumbaz içindeki kanatların bulunduğu üç atık türünün ayrıştırıldığı benzer sistemlere bir atık türü daha eklenmesi ve farklı tasarımlar eklenmesiyle oluşmuştur. Aynı zamanda bu tasarımda diğer tasarımlarda olduğu gibi davlumbaz genişletilerek ve kanat

sayısı artırılarak, kullanıcının isteğine göre çeşitli atık tür ve sayılarına göre farklı tasarımların oluşturulabilme olanağı bulunmaktadır.

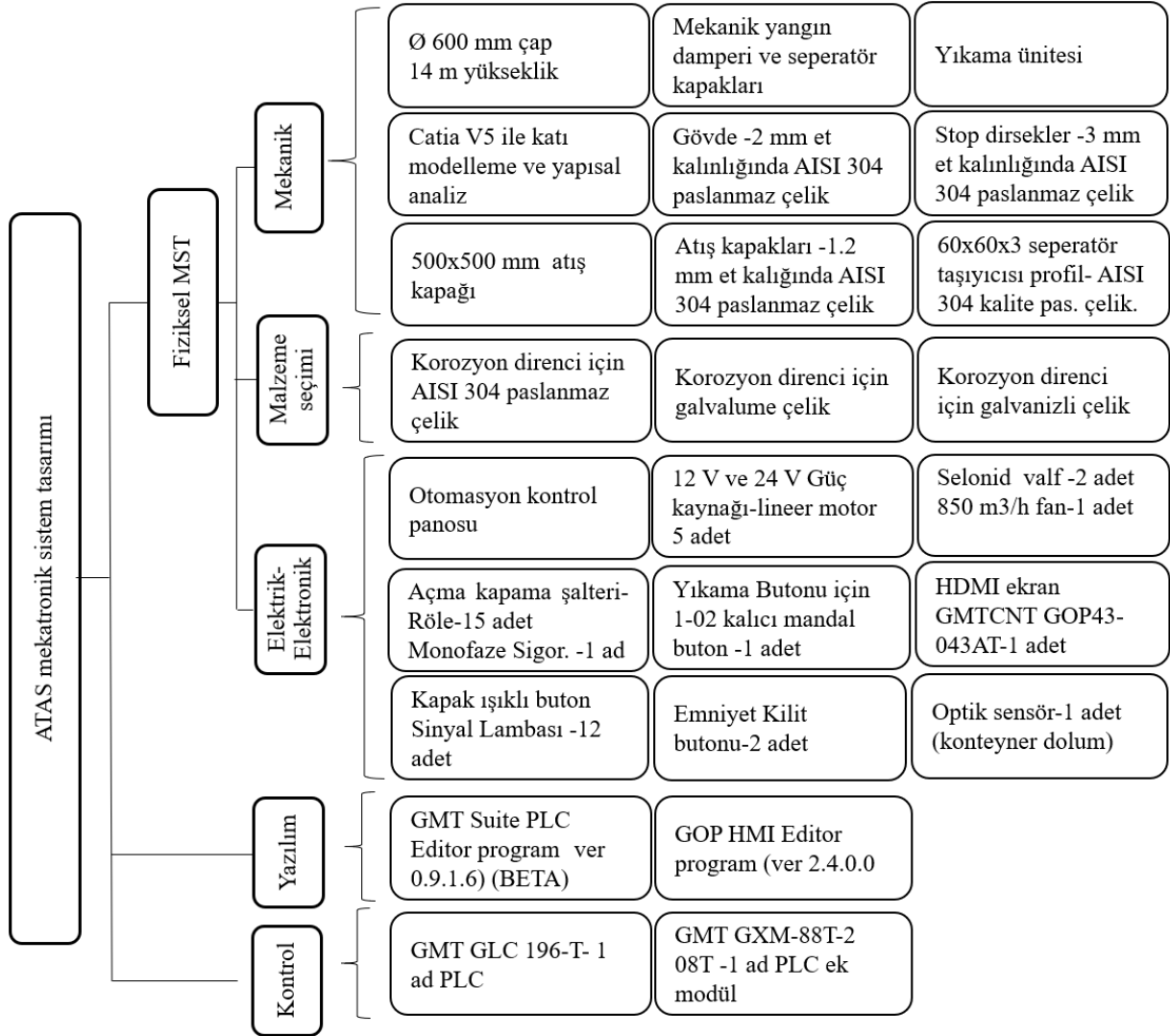


Şekil 38. Geliştirilen sabit konteynerli dört ayaklı atık ayırma sistemi

## 7.2. Geliştirilen dört ayaklı sabit konteynerli atık toplama ve ayırma sistemi (ATAS) mekatronik sistem tasarımı

Geri dönüştürülebilir atıklarının merkezde toplama yöntemine ve bu konuda çalışan insanlara, işletmelere kolaylık sağlayacağı ön görülerek geliştirilen ATAS'tan yüksek verim alınması ve uygulanmasında mekatronik sistemin tasarımı (MST) oldukça önemlidir. Tasarıma uygun seçilmeyen malzeme, ekipman, kontrolcüler sebebiyle istenilen sonucun tam olarak alınabilmesi için MST'yi oluşturan fiziksel mekatronik sistem, yazılım ve kontrol bölümlerinin doğru bir şekilde yapılandırılması gereklidir.

Şekil 39'da gösterdiği gibi fiziksel mekatronik sistem tasarımı (MST), yazılım ve kontrol olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir.

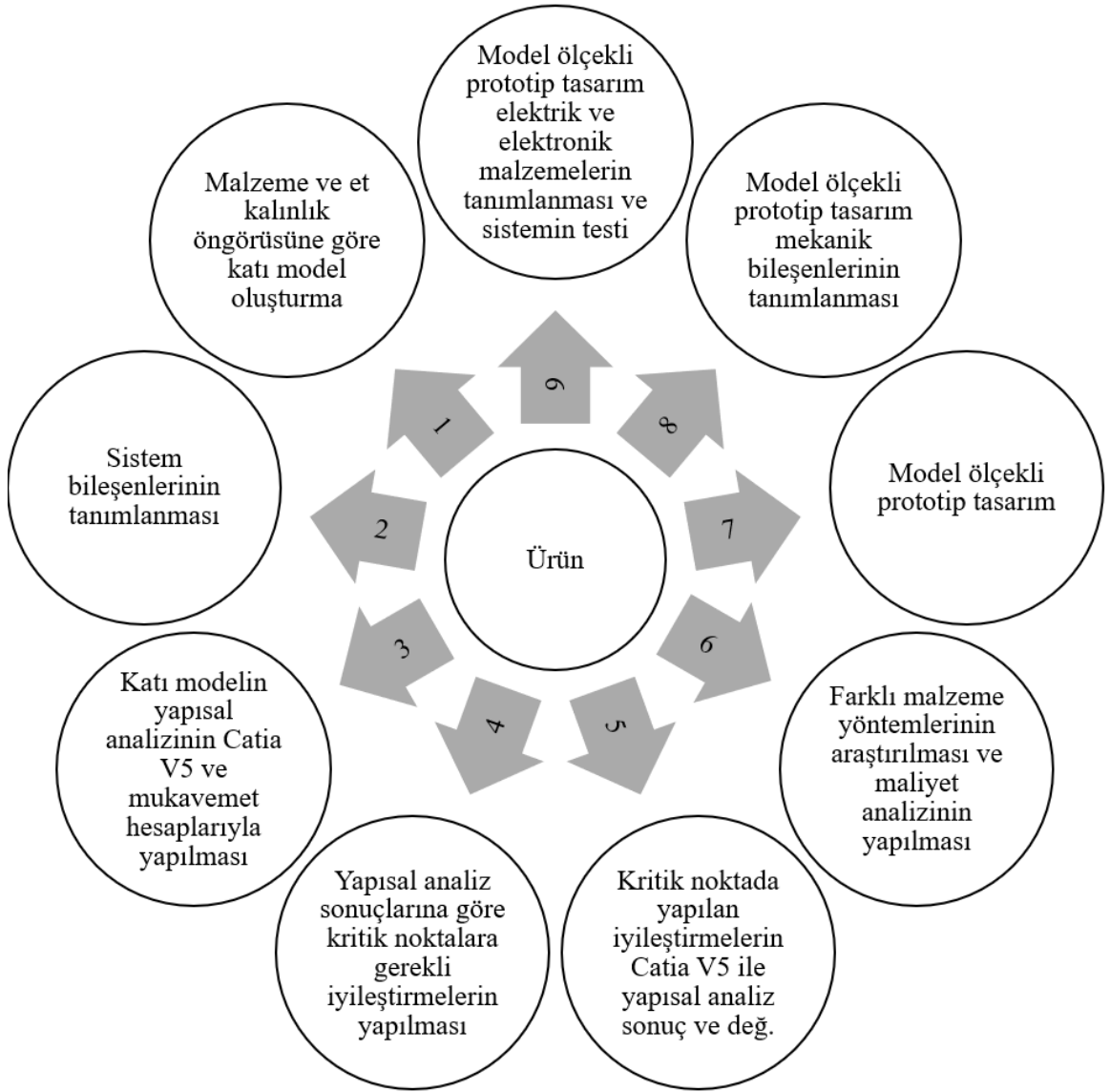


Şekil 39. Dört ayıklayıcı sabit konteynerli atık toplama ve ayrıştırma sistemi (ATAS) mekatronik sistem tasarımı

### 7.2.1. ATAS fiziksel MST

Fiziksel mekatronik sistem; mekanik tasarım, malzeme seçimi ve elektrik-elektronik ekipmanların tanımlanması şeklinde değerlendirilmektedir. Ayrıca geliştirilen dört ayıklayıcı sistem tasarımı; malzeme ve et kalınlıkları öngörülerek katı modelin oluşturulması, sistemin bileşenlerinin tanımlanması, katı modelin yapısal analizinin yapılması, yapısal analiz sonuçlarına göre kritik noklara gerekli iyileştirilmelerin yapılması, iyileştirmelerin üzerinden ikinci kez yapısal analiz yapılması ve iyileştirme sonuçlarının

değerlendirilmesi, farklı malzeme yöntemlerinin araştırılarak maliyet analizlerinin yapılması, sistemin model ölçekli prototipi tasarımının oluşturulması, model ölçekli prototip tasarımının mekanik bileşenlerinin tanımlanması, model ölçekli prototip tasarımının mekanik bileşenlerinin tanımlanması, model ölçekli prototip tasarımda kullanılan elektrik-elektronik ekipmanların tanımlanması ve sistemin testi olarak Şekil 40'daki proses üzerinden açıklanacaktır.



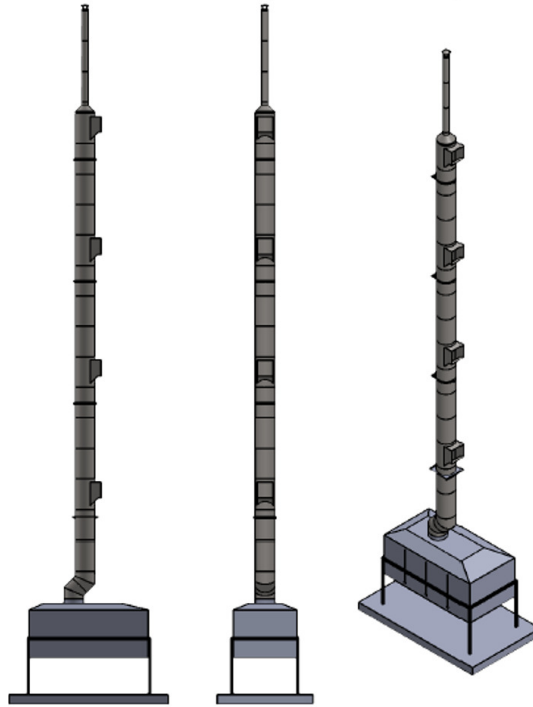
Şekil 40. ATAS Fiziksel MST işleyişi

### 7.2.1.1. ATAS mekanik tasarım

Mekanik tasarım, gerçek boyutlu tasarım ve model ölçekli prototip tasarım olarak iki bölüm halinde işlenecektir. Gerçek boyutlu tasarım; özellikle kullanılacak malzemenin birebir ölçekteki tanımlamaları ve yapısal analizlerin yapılmasından; model ölçekli prototip tasarım ise gerçek boyutta tanımlanan sistemden daha küçük boyutlardaki mekanik tasarıma elektrik elektronik donanımların eklenmesi ve programlanmasından oluşmaktadır.

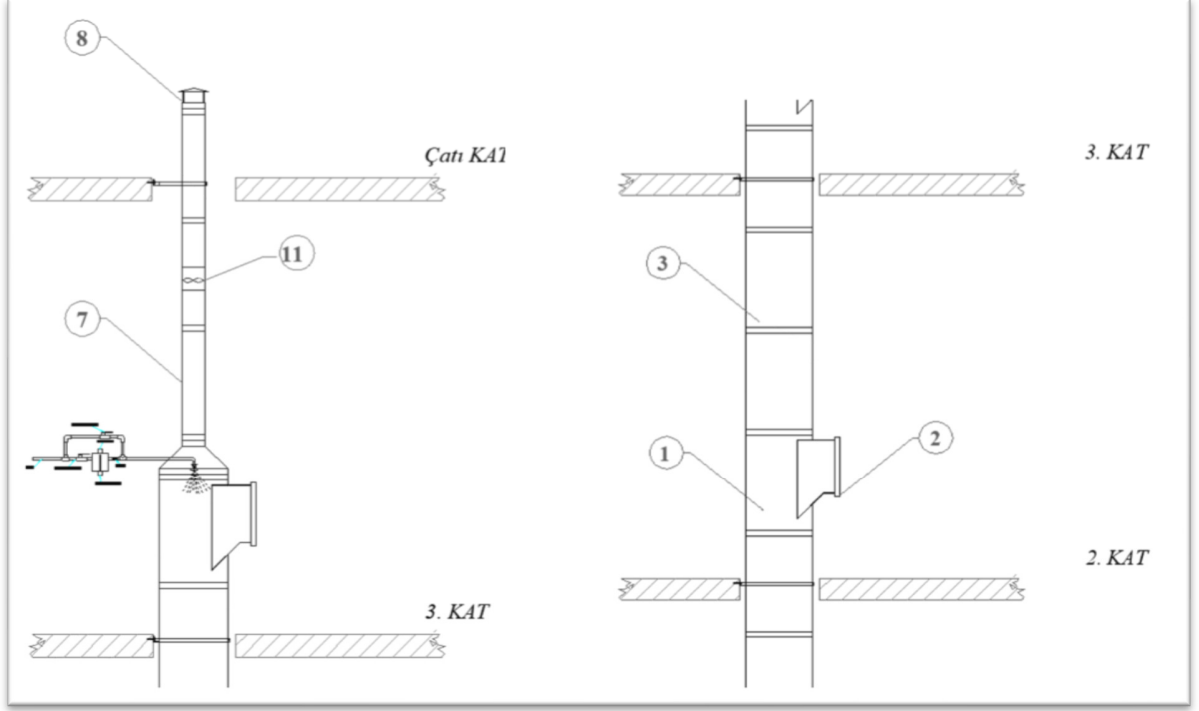
#### a) ATAS gerçek Boyutlu Tasarım

Gerçek boyutlu tasarımda sisteme etki eden kuvvetler ve korozyon direnci gibi parametreler dikkate alınarak malzeme ve et kalınlıkları öngörülmüştür. Dört kattan fazla olan sistemlerde atık hızını düşürmek için hız sınırlayıcısı konulacağı ve her dört katta bir sistem taşıyıcısı konulacağı varsayılarak dört katlı bir sistemin Şekil 41'deki gibi katı model tasarımı oluşturulmuştur.



Şekil 41. ATAS katı model tasarımı

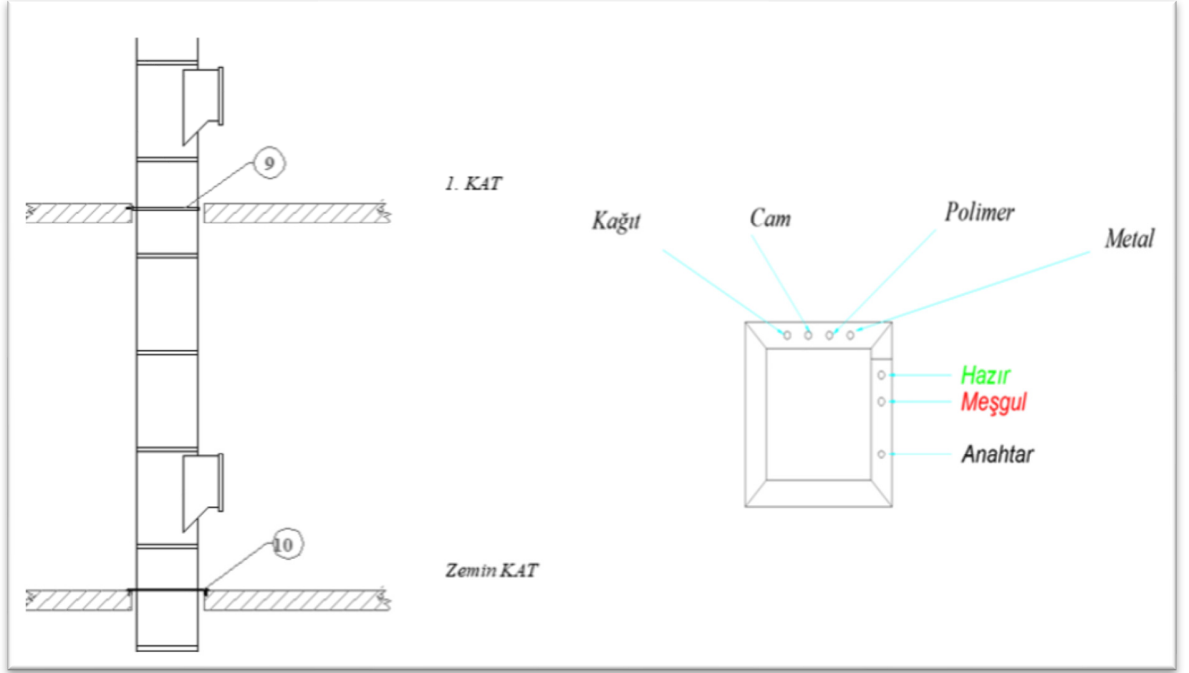
Sistemin bölümleri, Şekil 42, 43, 44'te numaralandırılmış olup, Tablo 4'te ise sistemin ön görülmüş malzeme özellikleri verilmiştir.



Şekil 42. ATAS bölümlerinin numaralandırılması

Kötü kokuların kullanıcıları rahatsız etmemesi için sistemin üzerinde havalandırma bölümü konulacaktır. Havalandırma bölümü; havalandırma bacası, havalandırma şapkası ve havalandırma fanından oluşacaktır. Sistemde atış kapağı açıldığında her defasında fan çalışarak sisteme taze hava verilecektir.

Sisteme binanın yangın kontağından sinyal geldiğinde, temiz şebeke suyu verilerek, yangına müdahale sağlanabilecektir. Diğer durumlarda ise otomasyon kontrol panosunda bulunan butonlar ile de periyodik olarak yapılması gereken yıkama gerçekleştirilecektir. Bu butonlar vasıtasıyla yıkama; vanaların birinin açılı, diğerinin kapalı olmasına göre sistem sabun sulu yıkama, temiz sulu durulama şeklinde olabilecektir.

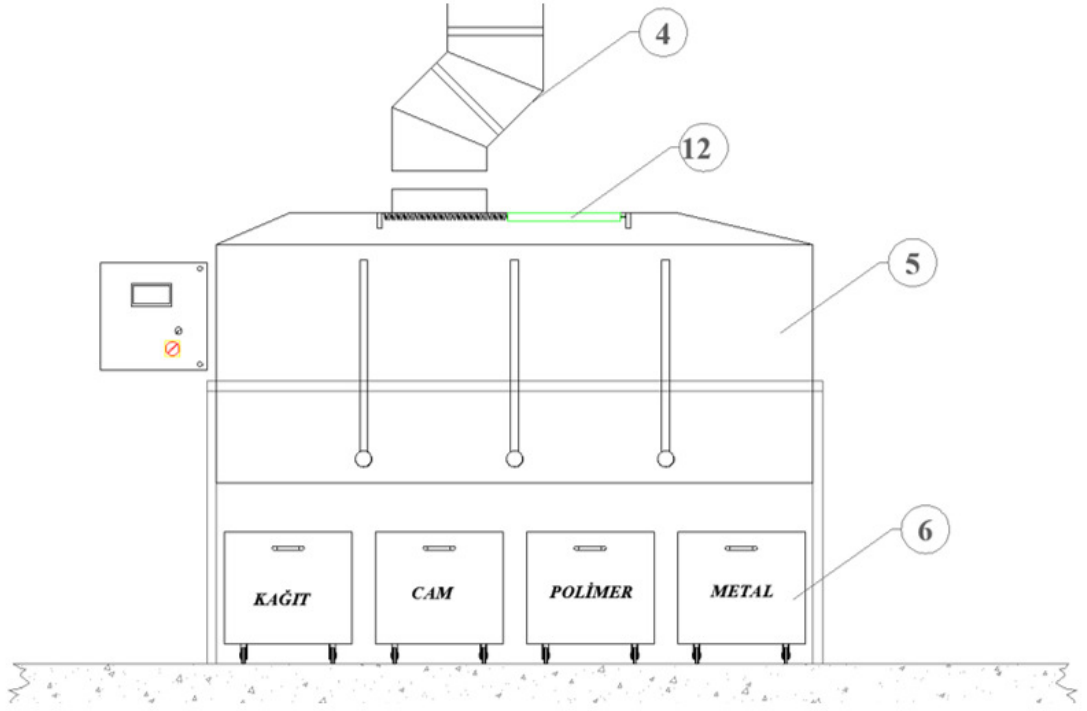


Şekil 43. ATAS bölümlerinin numarlandırılması

Atış kapaklarının üzerinde atık türlerinin yazılı olduğu buton anahtarlar bulunmaktadır. Kullanıcı hangi atık türünü atmak istiyorsa ilgili butona basarak sisteme komut verebilecektir. Bu komut önceden ayarlanan süre içerisinde, kapak miline bağlı motorlar sayesinde kapak açılmakta ve sistemin en altında bulunan kanatlar da atığı ilgili konteynere yönlendirmek için konumlanarak atığın ayrıştırılması sağlanmaktadır. Kullanıcı işlemini bitirip kapağı kapana kadar geçen süre zarfında diğer kattaki kapaklar kapalı konuma geçecektir. Kapak üzerindeki hazır ve meşgul lambaları kullanıcılara sistemin bir başka kullanıcı tarafından kullanıp kullanılmadığı hakkında bilgi vermektedir. Sistem kullanıma uygunsuzsa yeşil renkteki “hazır” değilse kırmızı renkteki “meşgul” ikaz lambası yanacaktır. Bu tasarımdaki kapakta ilave güvenlik olarak anahtar bulunmaktadır. İlgili kattaki kapağın herhangi bir nedenle çalışmaması isteniyorsa ilgili kişi tarafından anahtar çevrilerek o kapak kullanım dışı hale getirilebilecektir.

Sistemin zemin katında bulunan taşıyıcı ve diğer katlarda bulunan duvar kelepçesiyle sistemin taşınması sağlanmaktadır.





Şekil 44. ATAS bölümlerinin numarlandırılması

Sistemin altında bulunan stop dirsekler aşağıya doğru hızlıca inen atığın hızını yavaşlatmakta, seperatör içinde bulunan kanatlara yumuşak düşüşü sağlamaktadır. 4'lü seperatör yan yüzeyinde bulunan kanatlar davlumbazın arkasında bulunan motorlar vasıtasıyla konumlandırılmakta, atığın ilgili konteynere düşüşü sağlanmaktadır. Konteynerlar belli bir hacimsel doluluğa eriştiğinde, seperatör ün altında bulunan optik sensörlerle sisteme uyarı sinyali verilerek, tüm sistem kapalı hale gelecektir.

Mekanik yangın damperinin özelliği ise hiçbir elektrik-elektronik bir bağlantısının bulunmamasıdır. Ucundaki gerili yay sayesinde devamlı açık konumda bulunmaktadır. Seperatör ve konteynerlerde oluşabilecek yangın esnasında, yayın ucuna takılı kurşun plaka tipi ve özelliğine göre ilgili sıcaklıkta erimesiyle yay boşanarak kapak kapalı duruma geçecektir. Böylelikle yangının sisteme, katlara ulaşmasının önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

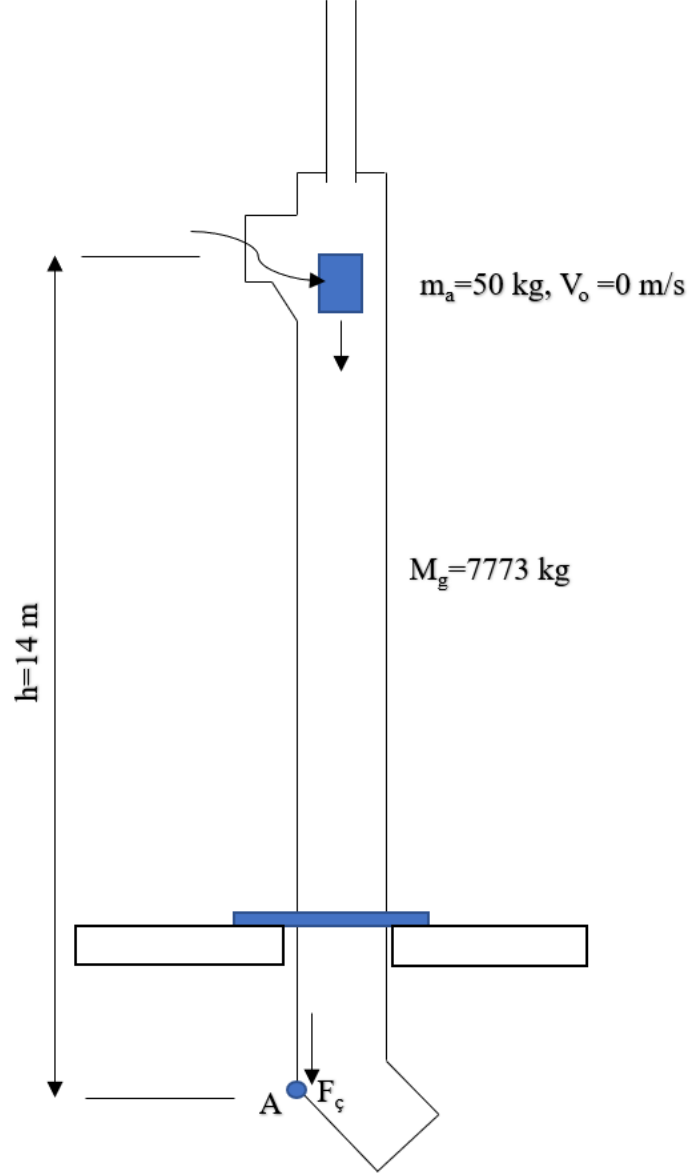
Sistemin en altında bulunan otomasyon kontrol panosu ile sistemin kontrolü sağlanacaktır. Ayrıca, görevli pano üzerinde bulunan HDMI ekrandan, sistemin o anda hangi proses anında olduğu bilgisini görebilecektir.

Tablo 4. ATAS malzeme özellikleri

| No | Parçanın adı                  | Malzeme özellikleri                                |
|----|-------------------------------|--|
| 1  | Kapaklı modül                 | Ø 600 2 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik         |
| 2  | Atık atış kapağı              | 500mm*500mm 1,5 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik |
| 3  | Düz modül                     | Ø 600 2 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik         |
| 4  | Stop dirsekler                | Ø 600 3 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik         |
| 5  | Seperatör gövdesi             | 1250*3750*3 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik     |
|    | Seperatör kanat gövdesi       | 3 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik               |
|    | Seperatör kanat yatakları     | Ø 101,6*3 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik       |
|    | Seperatör taşıyıcı profilleri | 60*60*3 mm ST 37 çelik sac                         |
| 6  | konteynerler                  | Sipariş üzerine                                    |
| 7  | Havalandırma bacası           | Ø 200 0,60 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik      |
| 8  | Şapka                         | Ø 200 0,60 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik      |
| 9  | Duvar kelepçesi               | 3 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik               |
| 10 | Taşıyıcı                      | 5 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik               |
| 11 | Havalandırma fanı             | 850 m <sup>3</sup> /h debi, 2770 rpm, 0,33A        |
| 12 | Mekanik yangın damperi        | 750*50 3 mm AISI 304 kalite paslanmaz çelik        |

Tablo 4'te belirtildiği şekilde malzeme özellik ve et kalınlıkları ön görülerek sistemin malzeme seçimi ve mekanik tasarımı yapılmıştır. Bu malzemelerin amaca uygunluğunun anlaşılması için mukavemet hesapları, sonlu elemanlar analizi ve malzeme araştırmaları yapılmıştır.

Sistemin gövdesine etkiyen kritik kuvvet ve tanımlamalar Şekil 45'te gösterilmiştir.



Şekil 45. Sistemin dinamik analizi için şematik gösterimi

Atığın serbest düşmesi Denklem (1) ve Denklem (2)' deki gibi olacaktır.

$$h = \frac{1}{2} g t_1^2 \quad (1)$$

$$v_{\zeta} = g t_1 \quad (2)$$

(h; atığın serbest düşme yüksekliği (m), g; yer çekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>), t<sub>1</sub>;serbest düşme zamanı(sn), v<sub>ç</sub>=atığın serbest düşme hızı/çarpma hızı (m/s) )

Buradan h=14 m, g=9,81 m/sn<sup>2</sup> olmak üzere; t=1,39 s ve v<sub>ç</sub>=16,57 m/s bulunmaktadır.

Momentum korunumu Denklem (3)' te verilmiştir.

$$I = \Delta P \rightarrow f_{\zeta} \Delta t = m_a \Delta v \rightarrow f_{\zeta} \Delta t = m_a (v_{\zeta} - v_s) \quad (3)$$

(f<sub>ç</sub>; atığın A noktasına uyguladığı kuvvet (N), Δt; çarpma anındaki zaman farkı(s) , m<sub>a</sub>; atık ağırlığı (kg), v<sub>ç</sub>; atığın serbest düşme hızı (m/s), v<sub>s</sub>=atığın çapmadan sonraki hızı(m/s))

Buradan Δt =0,5 s (kabul), m<sub>a</sub>= 50 kg ; t=1,39 s , v<sub>ç</sub>=16,57 m/s, v<sub>s</sub>=0 m/s olmak üzere;

f<sub>ç</sub>= 1657 N bulunmaktadır.

Ayrıca stop dirseğin ağırlığından oluşan yer çekimi kuvveti ve A noktasına uygulanan gerçek kuvvet Denklem (4) ve Denklem (5)' teki gibi olacaktır.

$$f_s = m_s g \quad (4)$$

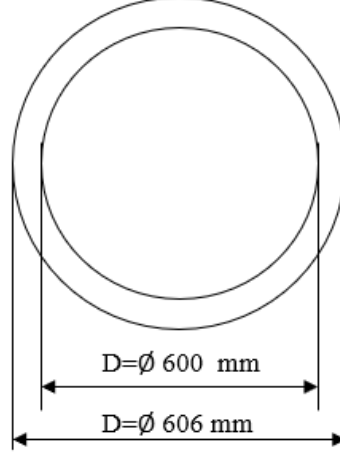
$$f_r = f_{\zeta} + f_a \quad (5)$$

(f<sub>s</sub>; stop dirsek malzeme ağırlığından kaynaklı yer çekimi kuvveti (N), m<sub>s</sub>; stop dirsek malzeme ağırlığı (kg), g; yer çekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>), f<sub>ç</sub>; atığın A noktasına uyguladığı kuvvet (N), f<sub>r</sub>; A noktasına uygulanan gerçek kuvvet (N))

Buradan m<sub>s</sub>= 50 kg, g=9,81 m/s<sup>2</sup>, f<sub>ç</sub>= 1657 N olmak üzere f<sub>s</sub>=490,5 N ve f<sub>r</sub>=2147 N bulunmaktadır.

Toplam kuvvet miktarı Şekil 46'da kesit görünümü verilen dirsek üzerinde gerilme oluşturacaktır.

Dirsek kesit görüntüsü



Şekil 46. Stop dirsek kesit görünümü

Bu noktada oluşan gerilme, Denklem (6)'da verilmiştir.

$$\sigma_r = \frac{f_r}{A_0} \rightarrow \sigma_t = \frac{f_r}{\pi(D^2-d^2)/4} \quad (6)$$

( $\sigma_r$ ; A noktasındaki toplam gerilme (N/mm<sup>2</sup>),  $f_r$ ; A noktasına uygulanan gerçek kuvvet (N), D; dirsek dış çapı (mm), d; dirsek iç çapı (mm))

D=Ø606 mm, d=Ø600 mm (Şekil 28) ve  $f_r=2.147$  N olmak üzere;  $\sigma_r=0,38$  N/mm<sup>2</sup> bulunmaktadır.

Bu noktada oluşan emniyet gerilmesi ve emniyet şartı Denklem (7) ve Denklem (8)'te gösterilmektedir.

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_A^{0,2}}{S_A} \quad (7)$$

$$\sigma_r \leq \sigma_{em} \quad (8)$$

( $\sigma_{em}$ ; A noktası için emniyet gerilmesi (N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_A$ ; akma mukavemeti (N/mm<sup>2</sup>),  $S_A$ ; emniyet katsayısı,  $\sigma_r$ ; A noktasındaki toplam gerilme (N/mm<sup>2</sup>))

Buradan  $\sigma_A = 205 \text{ N/mm}^2$  (tablo 2) ve  $s_A = 2$  olmak üzere  $\sigma_{em} = 20,5 \text{ N/mm}^2$  bulunur.

$\sigma_r = 0,38 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{em} = 20,5 \text{ N/mm}^2$  olmak üzere seçilen malzemenin emniyet sınırlarının içinde kaldığı görülmektedir.

Çarpma anındaki uzama miktarı Denklem (9) dan bulunabilir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma_r}{E}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \rightarrow \Delta l = \frac{\sigma_r}{E} l_0 \quad (9)$$

( $\varepsilon$ ; Birim uzama oranı (1 %), E; Elastite modülü ( $\text{N/mm}^2$ ),  $\Delta l$ ; Uzama miktarı (mm),  $l_0$ ; malzemenin ilk boyu (mm),  $\sigma_r$ ; A noktasındaki toplam gerilme ( $\text{N/mm}^2$ ))

Burada  $\sigma_r = 0,38 \text{ N/mm}^2$ ,  $E = 193000 \text{ N/mm}^2$  ve  $l_0 = 14000 \text{ mm}$  olmak üzere  $\Delta l = 0,027 \text{ mm}$  bulunmaktadır.

**Otomasyon için proseslerin zaman analizi;** mekatronik sistemde gereksinimlere göre amaca yönelik sensör eyleyici ve kontrolcü önerilerinde bulunmak üzere yapılmıştır.

Tasarımda kullanılan konteyner hacmi hesabı Denklem (10) ve haftalık kullanılan atık miktarının konteyner hacmine oranı Denklem (11)'de verilmiştir.

$$V_k = l \cdot w \cdot h \quad (10)$$

$$v_o; \frac{v_h}{v_k} \quad (11)$$

( $v_k$ ; Konteyner hacmi ( $\text{m}^3$ ), l; uzunluk (m), w; genişlik (m), h; yükseklik (m),  $v_h$ ; haftalık kullanılan atık miktarı ( $\text{m}^3$ ),  $v_o$ ; Hacimsel oran)

Burada tasarımda kullanılan konteyner ölçüleri  $l = 0,7 \text{ m}$ ,  $w = 1 \text{ m}$ ,  $h = 1 \text{ m}$  olmak üzere konteyner hacmi Denklem (10)'dan  $v_k = 0,7 \text{ m}^3$  bulunmaktadır.

Tablo 5'ten yararlanılarak 4 katlı bina için haftalık atık miktarı  $v_h = 1,2 \text{ m}^3$  olarak bulunmaktadır. Kritik durum için tüm atıkların aynı konteyner üzerinde yoğunlaştığı varsayılarak hacimsel oran Denklem (11)'den  $v_o = 1,7$  bulunmaktadır. Atıkların haftalık toplandığı düşünülerek her atık türü için en az bir adet yedek konteyner bulundurmak gerekli

olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yedek konteynerler, mevcut konteynerler dolduğunda sistemin çalışmaya devam etmesi, bakım ve değiştirme işlemi için gereklidir. Anahtar vasıtasıyla manuel olarak veya optik sensörler kullanılarak otomasyon ile herhangi bir konteyner bakım için yerinden alındığında sistemin kapatılması sağlanmalıdır. Model ölçekli prototop tasarımıda her iki çalışmayı göstermek için, konteynerlar dolduğunda optik sensörler kullanılarak, sistemin bakımı esnasında ise anahtar ile manuel olarak sistemin kapatılması öngörölmüştür.

Tablo 5 Haftalık atık miktarı [7]

| Kullanım yeri | Değerlendirme        | Haftalık atık miktarı |
|---------------|----------------------|-----------------------|
| Ev-konut      | Ev başına/kat başına | 0.3 m <sup>3</sup>    |

Atığın en üstteki kapaktan konteynera kadar olan toplam serbest düşmesi Denklem (12)'deki gibi olacaktır.

$$h_t = \frac{1}{2} g t_2^2 \quad (12)$$

( $h_t$ ; atığın serbest düşme toplam yüksekliği (m),  $g$ ; yer çekimi ivmesi (m/sn<sup>2</sup>),  $t_2$ ; toplam serbest düşme zamanı (sn) )

Buradan  $h_t=17m$ ,  $g=9,81 m/sn^2$  olmak üzere;  $t_2=1,86 s$  bulunmaktadır.

Kullanıcının atış sayısı ve sayılar arasındaki bekleme süresine bağlı oluşan süre Denklem (13)'te gösterilmiştir.

$$t_4 = n. (t_2 + t_3) \quad (13)$$

( $t_4$ ; atış sayısı ve sayılar arasındaki bekleme süresine bağlı oluşan süre(s),  $t_3$ ; atış miktarları arasındaki bekleme süresi (s),  $n$ ; atış ayısı,  $t_2$ ; toplam serbest düşme zamanı (s) )

n=10 kabulü ile;

Burada atıklar ardarda atıldığında ( $t_3=0$  s),  $t_4=18,6$  s;

Burada atıklar üçer saniye ara ile atıldığında ( $t_3=3$  s),  $t_4=48,6$  s;

Burada atıklar beşer saniye ara ile atıldığında ( $t_3=5$  s),  $t_4=68,6$  s bulunmaktadır.

Başka bir kullanıcı, aynı türde atığın atışını yapmak istese dahi mevcut kullanıcının atışını beklemesi gerekmektedir. En yüksek noktadan konteynera olan atış süresi  $t_2=1,86$  s bulunmuştu. Bu süre dahi eyleyicilerin seperatör kapaklarının konumlandırmasına yeterli olmayacağından, eyleyicilerin için yeterli zamanın oluşturulması gerekmektedir. Kullanıcı ilgili atık türüne bastığında zaman rölelerine tanımlanmış süre kadar kapağı açamayacaktır. Bu süre model ölçekli tasarımda güvenlik faktörü de eklenerek 7 saniye olarak tanımlanmıştır. Toplam süre Denlem (14)'de gösterilmiştir.

$$t_{top} = t_r + t_{4max} \quad (14)$$

( $t_{top}$ ; toplam süre (s),  $t_r$ ; mekanizmaların konumlaması için tanımlanan süre (s),  $t_{4max}$ ; atış sayısı ve sayılar arasındaki bekleme süresine bağlı oluşan azami süre (s) )

$t_r=7$  s,  $t_{4max}=68,6$  s olmak üzere;  $t_{top}=75,6$  s bulunmaktadır.

Görüldüğü üzere en iyimser şekilde bir kullanıcının, diğer bir kullanıcıyı toplam bekleme süresi  $t_{top}=75,6$  s bulunmuştur. Bu bekleme zamanının kullanıcıları yormaması için kapakların birbiri ile irtibatlı olması gereksinimi ortaya çıkmıştır. Elektronik olarak irtibatının yapılarak kapaklar kapandığında kullanıcılara kapaklar üzerinde bulunan sinyal lambasıyla uyarı verilebilir. Böylece sistemin başında beklenecek oluşan gereksiz zaman kayıplarının önüne geçilmiş olacak ve aynı zamanda kullanıcıların emiyetini sağlamış olacaktır.

Kullanıcılar kapak üzerindeki atış yapmak istedikleri atık türlerinin ışıklı butonuna basarak, eyleyiciler yardımıyla ilgili atık koyteynerına seperatör kapaklarını yönlendirerek atıkları türlerine göre ayrıştırma yapmış olmaktadırlar. Fakat bazı durumlarda kullanıcılar; atık toplama ve ayrıştırma sisteminde ilgili atık konteynerına doğru atık türününü



tanıtımama, atmama durumları olabilir. Kullanıcılara eğitimler verilerek, gerekli talimatların gözüken yerlere asılması sağlanılarak veya sistemin atık atış kapak anahtarlarının yetkili tek bir kişiye verilmesi suretiyle sistemin kontrolü sağlanabilir. Ayrıca bu istenmeyen durum daha düzgün ve temiz ayrıştırma yapılması için kapasitif, indüktif vb sensör ilaveleriyle atıkların henüz konyenera düşmeden durdurularak ilgili konteynere yönlendirilmesi de bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Atıkların en düşük, orta ve yüksek ağırlık seçeneklerine göre ardarda yapılan atış sayısına bağlı toplam kütle Denklem (15)'de gösterilmiştir

$$m_t = m_a \cdot n \quad (15)$$

( $m_t$ ; konteynere ulaşan atık ağırlığı (kg),  $m_a$ ; Atılan atıkların ağırlığı (kg),  $n$ ; atış sayısı)

$n=10$  kabulü ile;

$m_a=1$  kg olduğunda  $m_t=10$  kg ;

$m_a=25$  kg olduğunda  $m_t=250$  kg ;

$m_a=50$  kg olduğunda  $m_t=500$  kg bulunmaktadır.

Burada stop dirseğinin ilk darbeleri emdiği ve bundan ötürü konteynere düşen çarpma kuvveti ihmal edildiğinde konteynera gelen kuvvet Denklem (16)'da gösterilmiştir.

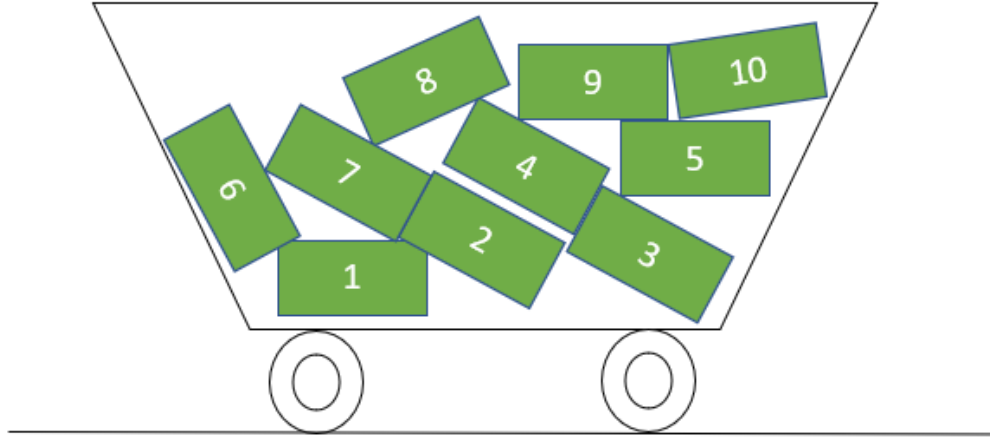
$$f_k = m_t \cdot g \quad (16)$$

( $f_k$ ; konteynere uygulanan yer çekimi kuvveti (N),  $m_t$ ; ardarda "n" atış tekrarındaki toplam atık ağırlığı (kg),  $g$ ; yer çekimi ivmesi ( $m/sn^2$ ))

Buradan  $m_t= 500$  kg,  $g=9,81$  m/sn<sup>2</sup> olmak üzere  $f_g=4905$  N bulunmaktadır.

Konteynerler; Şekil 47'deki gibi en yoğun durumda aralarında  $t_2=1,86$  s düşmesi süresi olan ardarda  $n=10$  atış tekrarı sonunda 4905 N kuvvete maruz kalabilmektedirler. Konteyner sipariş seçiminde veya tasarımında bu nokta dikkate alınmalıdır. Konteynerlar dolduğunda

optik sensörler kullanılarak hacimsel kontrolü yapılacak olan sistemin, ileri tasarımlarda ağırlık kontrolü yapılarak sisteme bilgi verilmesi sağlanabilir.

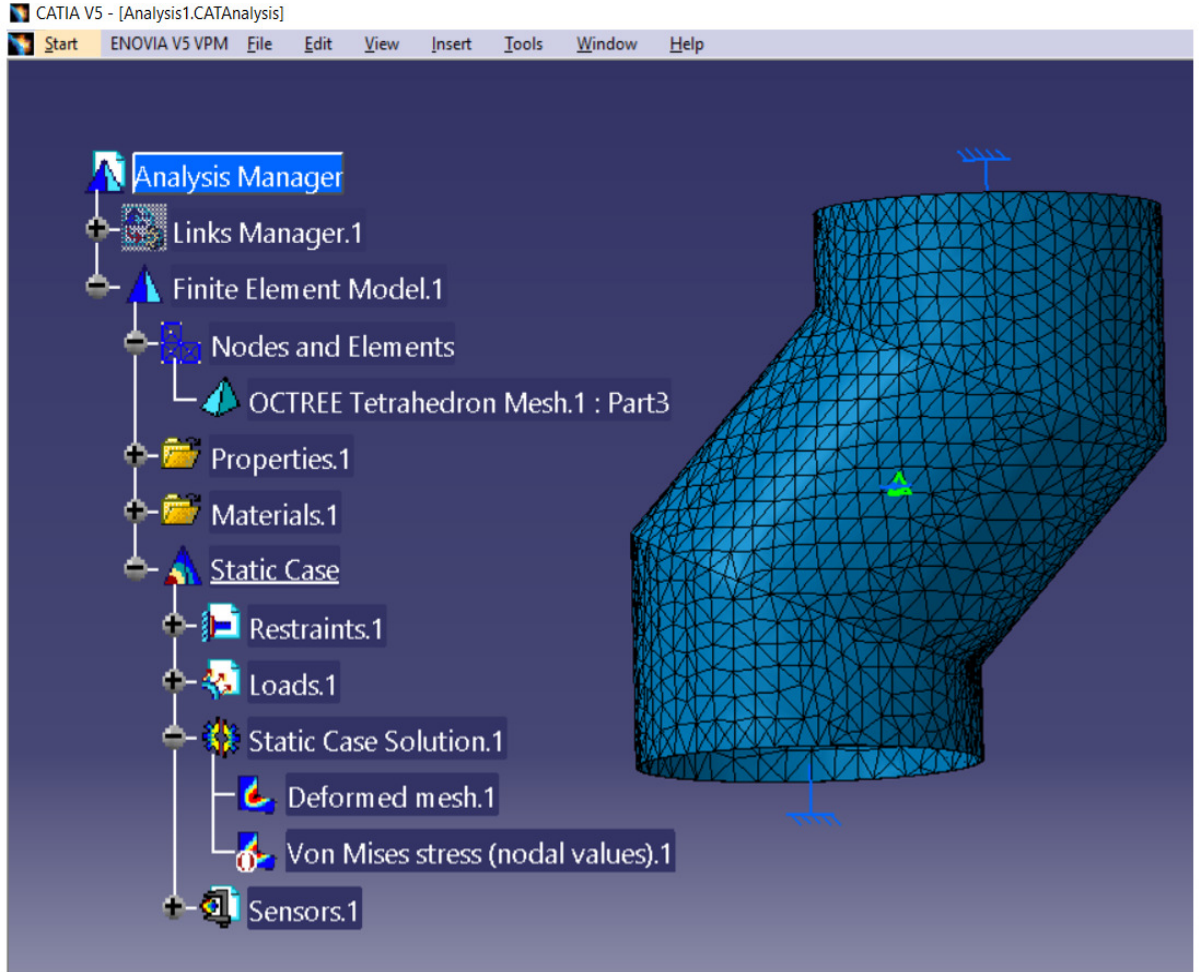


Şekil 47. Atık konteyneri taşıma kapasitesi

Catia V5 Student Edition Generative Structural Analysis modülü ile yapısal analizlerde kullanılmak üzere hazırlanan stop dirsek tasarımının genel görünüşleri Şekil 47’de gösterilmiştir. Tablo 6’daki malzeme özellikleri programa girilerek malzeme tanımı yapılmıştır. Analizlerde 10 düğümlü tetrahedral katı eleman, toplam 400854 sonlu eleman ve 794403 düğüm noktası ile kullanılmıştır.

Tablo 6. Malzeme özellikleri [31]

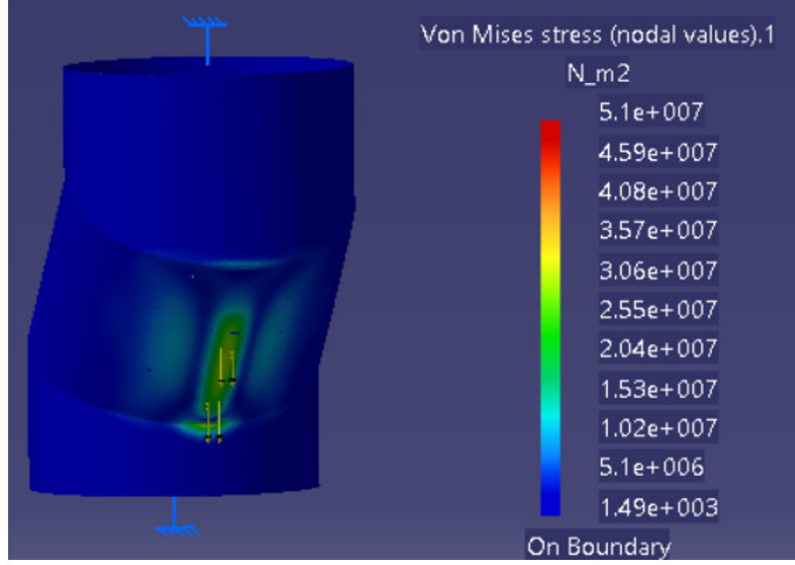
| Malzeme          | Elastite Modülü | Akma Dayanımı | Poison Oranı |
|------------------|-----------------|---------------|--------------|
| 1.4401 –AISI 304 | 193Gpa          | 205 Mpa       | 0.29         |



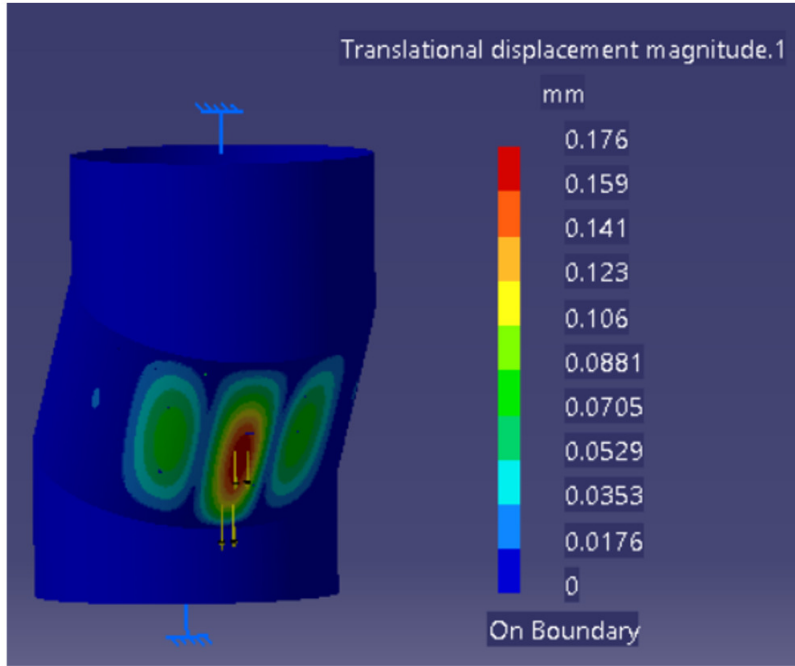
Şekil 48. Stop dirsek tasarımı model ağ yapısı

Maksimum Von Mises gerilme dağılımı Şekil 49’da, uzama miktarı ise Şekil 50’de gösterilmiştir. Burada maksimum gerilme ve uzama miktarları, darbenin maksimum olduğu noktalarda olduğu gözlemlenmiştir.

Maksimum Von Mises gerilimi 51 Mpa ve uzama miktarı 0,176 mm olarak gözlenmemiştir. Malzemenin bu değerleri alan noktalarına destek ilavesi yapılacak ve daha sonra tekrar gerilme analizi yapılacaktır.

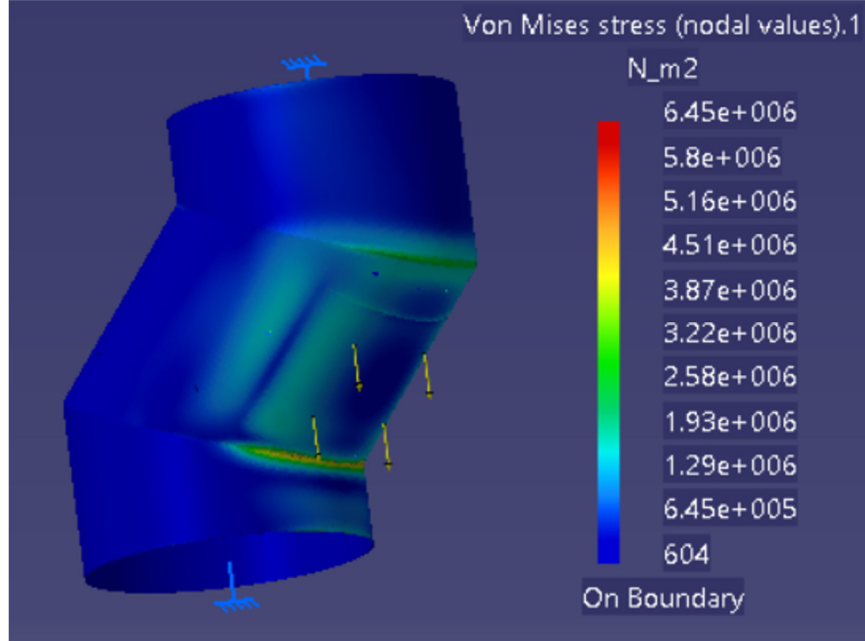


Şekil 49. Stop dirsek tasarımdan elde edilen Von Mises gerilme dağılımı

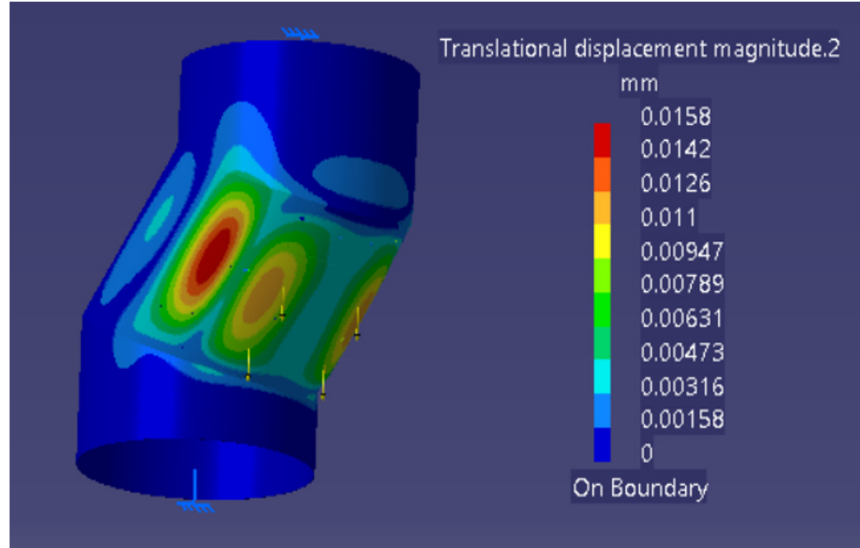


Şekil 50. Stop dirsek tasarımdan elde edilen uzama miktarı dağılımı

Kalınlığı 3 mm olan stop dirseğin darbe noktalarına 1 mm destek sacı ilavesinden sonra, stop dirseğin gerilme ve uzama miktarına etkisini görmek için tekrar analiz yapılmıştır. Von Mises gerilme dağılımı Şekil 51’de, uzama miktarı ise Şekil 52’de gösterilmiştir



Şekil 51. Destek ilaveli stop dirsek tasarımdan elde edilen Von Mises gerilme dağılımı



Şekil 52. Destek ilaveli stop dirsek tasarımdan elde edilen uzama miktarı dağılımı

Stop dirsek ve destek ilaveli stop dirsek analiz sonuç özetleri Tablo 7'de verilmiştir. Darbe bölgelerine 1 mm destek sacı ilavesinden sonra yapılan analiz sonucunda maksimum

Von Mises gerilmesi 6,45 Mpa ve uzama miktarı 0,0158 mm'ye kadar gerilemiştir. Sonuç olarak; bu bölgede farklı destek tasarımları yapılarak uzama miktarlarının düşürülebilir olacağı gözlemlenmiştir.

Tablo 7.Stop dirsek ve destek ilaveli stop dirsek analiz sonuçlarının karşılaştırılması

| Seçenekler                 | Von Mises gerilme miktarı (max) | Yer değiştirme miktarı (max) |
|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Stop Dirsek                | 51 Mpa                          | 0,176 mm                     |
| Destek ilaveli stop dirsek | 6,45 Mpa                        | 0,0158 mm                    |

Detayı Şekil 53'te verilen sistemin taşıyıcına gelen gövde kuvveti ve gerçek kuvvet Denklem (17) ve Denklem (18)' de verilmiştir.

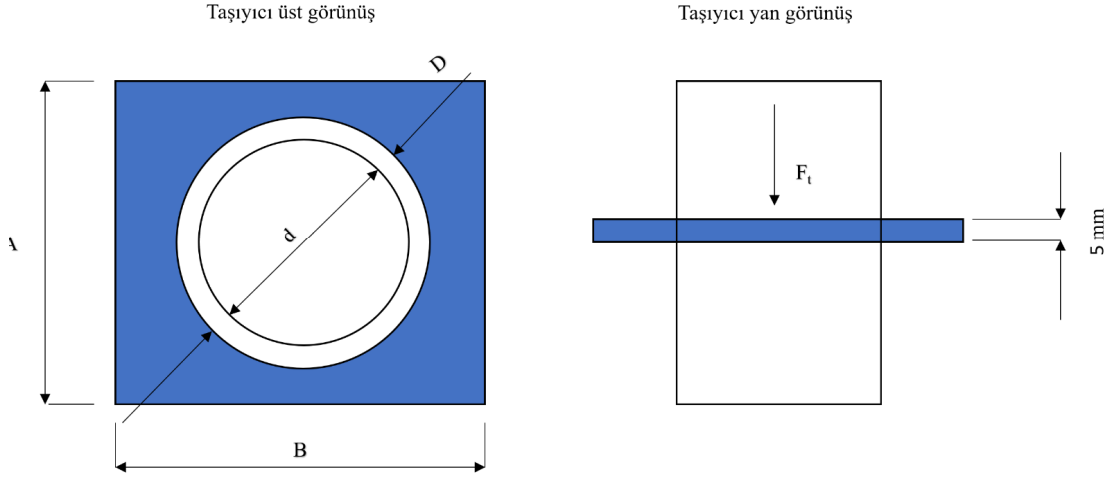
$$f_g = m_g g \quad (17)$$

$$f_t = f_g + f_r \quad (18)$$

( $f_g$ ; gövde yer çekimi kuvveti (N),  $m_g$ ; gövde ağırlığı (kg),  $g$ ; yer çekimi ivmesi ( $m/sn^2$ )  
 $f_t$ ; taşıyıcıya uygulanan toplam kuvvet (N),  $f_r$ ; A noktasına uygulanan gerçek kuvvet (N))

Buradan  $m_g= 7773$  kg,  $g=9,81$   $m/sn^2$  ve  $f_r=2147$  N olmak üzere  $f_g=76253$  N ve  $f_t=78400$  N bulunmaktadır.

Taşıyıcı sacının binanın beton zeminine sabitletlenmesinden ötürü rijit biçimde olduğu varsayılmıştır. Burada toplam kuvvet ( $f_t$ )'inden oluşan  $\sigma_t$  ezilme Denklem (19) ve  $\tau_t$  kesme gerilmesi Denklem (20)' da verilmiştir.



Şekil 53. Sistem taşıyıcısı kesit görünümü

Taşıyıcıda oluşan ezilme gerilmesi;

$$\sigma_t = \frac{f_t}{A} \rightarrow \sigma_t = \frac{f_t}{(A*B) - \pi D^2 / 4} \quad (19)$$

( $\sigma_t$ ; sistemin toplam ağırlığının taşıyıcı sacına oluşturduğu ezme gerilmesi ( $N/mm^2$ ),  
A: taşıyıcının eni (mm), B: taşıyıcının boyu (mm), D; dirsek dış çapı (mm) )

D= $\emptyset$ 606 mm, A=860 mm, B=860 mm ve  $f_t=78400$  N olmak üzere;  $\sigma_t=0,174$   $N/mm^2$  bulunmaktadır.

Denlem (7)'den  $\sigma_{em}=20,5$   $N/mm^2$  bulunmuştur.

$\sigma_t=0,174$   $N/mm^2 \leq \sigma_{em}=20,5$   $N/mm^2$  dir.

Taşıyıcıda oluşan kesme gerilmesi;

$$\tau_t = \frac{F_t}{A} \rightarrow \tau_t = \frac{F_t}{\pi D s} \quad (20)$$

( $\tau_t$ ; sistemin toplam ağırlığının taşıyıcı sacına oluşturduğu kesme gerilmesi ( $N/mm^2$ ),  
D; dirsek dış çapı (mm), s; taşıyıcı sac kalınlığı (mm))

$f_t=78400$  N , D= $\emptyset$ 606 mm, s=5 mm/ olmak üzere;  $\tau_t=8,24$   $N/mm^2$  bulunmaktadır.

Bu noktada oluşan emniyet gerilmesi ve emniyet şartı Denklem (21), Denklem (22) ve Denklem (23)'de gösterilmektedir.

$$\tau_A = \frac{\sigma_A}{2} \text{ Tresca kriteri} \quad (21)$$

$$\tau_{em} = \frac{\tau_A^{0,2}}{S_A} \quad (22)$$

$$\tau_t \leq \tau_{em} \quad (23)$$

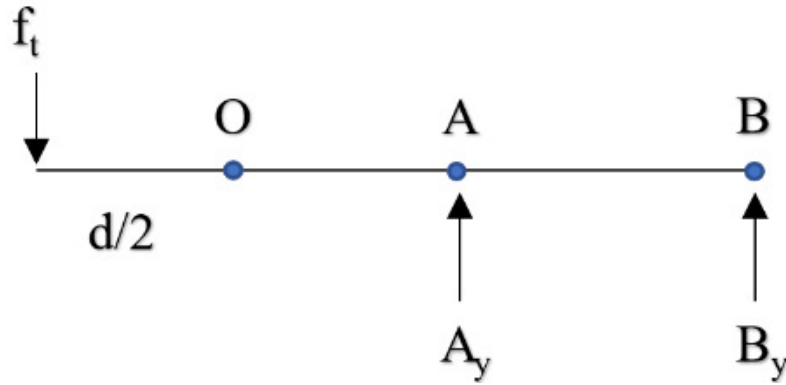
( $\tau_{em}$ ; emniyet gerilmesi (N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_A$ ; akma mukavemeti (N/mm<sup>2</sup>),  $S_A$ ; emniyet katsayısı)

Buradan  $\sigma_A = 205 \text{ N/mm}^2$  (tablo 2) ve  $S_A = 2$  olmak üzere  $\tau_{em} = 10,25 \text{ N/mm}^2$  bulunur.

$T_t = 8,24 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_{em} = 10,25 \text{ N/mm}^2$  olmak üzere taşıyıcı sacı için seçilen malzeme ve özelliklerinin emniyet sınırları içinde olduğu görülmektedir.

Taşıyıcı M12 çelik dübellere betona sabitlenmektedir. Şekil 54'te taşıyıcı ve çelik dübellere etkileyen kuvvetler gösterilmiştir.

Çelik dübele gelen kuvvet ve kesme gerilme hesaplamaları Denklem (24), Denklem (25)'te verilmiştir.



Şekil 54 Taşıyıcı ve çelik dübellere etkileyen kuvvetler



$$\Sigma M_0=0 \rightarrow f_t \frac{d}{2} - A_y[AO] - B_y[BO] = 0 \quad (24)$$

$$A_y + B_y = f_t \quad (25)$$

( $f_t$ ; taşıyıcıya uygulanan toplam kuvvet (N),  $A_y$ ; A noktasında bulunan çelik dübelin maruz kaldığı kuvvet (N),  $B_y$ ; B noktasında bulunan çelik dübelin maruz kaldığı kuvvet (N),  $d$ ; gövde iç çapı (mm),  $[BO]$ ;  $B_y$  kuvvetin merkeze olan uzaklığı (mm),  $[AO]$ ;  $B_y$  kuvvetin merkeze olan uzaklığı (mm) )

Buradan  $f_t= 78400 \text{ N/mm}^2$ ,  $d=600 \text{ mm}$ ,  $[BO]=400 \text{ mm}$  ve  $[AO]=200 \text{ mm}$  olmak üzere  $A_y= B_y= 39200 \text{ N/mm}^2$  bulunur.

Çelik dübelde oluşan kesme gerilmesi Denklem (26)'da gösterilmektedir.

$$\tau_\zeta = \frac{B_y}{n_a \cdot A} \rightarrow \tau_\zeta = \frac{B_y}{n_a (\pi R L)} \quad (26)$$

( $\tau_\zeta$ ; Çelik dübel kesme gerilmesi (N/mm<sup>2</sup>),  $n_a$ ; aynı akstaki çelik dübel sayısı,  $R$ ; çelik dübel çapı (mm),  $L_d$ ; çelik dübel boyu (mm))

$B_y=39200 \text{ N}$ ,  $n_a=2$ ,  $R=\emptyset 12 \text{ mm}$ ,  $L=10 \text{ mm}$  olmak üzere;  $\tau_\zeta =5,2 \text{ N/mm}^2$  bulunmaktadır.

Bu noktada oluşan emniyet gerilmesi ve emniyet şartı Denklem (27), Denklem (28) ve Denklem (29)'de gösterilmektedir.

$$\tau_A = \frac{\sigma_A}{2} \quad \text{Tresca kriteri} \quad (27)$$

$$\tau_{em} = \frac{\tau_A^{0,2}}{S_A} \quad (28)$$

$$\tau_\zeta \leq \tau_{em} \quad (29)$$

Buradan seçilen 5 µm galvanize edilmiş karbon çelik dübel için  $\sigma_A = 560 \text{ N/mm}^2$  [32] ve  $s_A = 2$  olmak üzere  $\tau_{em} = 28 \text{ N/mm}^2$  bulunur.

$T_\zeta = 5,2 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_{em} = 28 \text{ N/mm}^2$  olmak üzere seçilen çelik dübelin emniyet sınırlarında olduğu görülmektedir.

Bu tasarımın ortalama maliyeti işçilik ve montaj dahil 10385 \$ olarak bulunmuştur. Bu sistemin yaygınlaştırılmasının katma değer katacağı bilindiğinden dolayı her hanenin kullanımına sunulması için fiyatının daha uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Araştırmalarımıza göre fiziksel ve mekaniksel dayanımlar göz önüne alındığında paslanmaz yerine galvanize edilmiş çelik kullanılabilen ve bu maliyet 6779 \$'a kadar düşmektedir.

Ayrıca diğer bir alternatif olarak alüminyum malzeme kullanımı araştırılmıştır. Özellikle alüminyum serilerinin içinde 7000 Serileri darbelere ve korozyona dayanıklı olması sebebiyle bu tasarım için öne çıkmaktadır. AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin fiyatı 2,95 \$/kg iken 7000 serisi alüminyum fiyatı ise 4,73 \$ /kg dır. Alüminyum yoğunluğu çelikten daha düşük olduğu için fiyat farkı kapansa da ,7000 serisi alüminyumların sert yapılarından dolayı silindir büküm makinalarındaki büküm işçiliğinin zahmetli olması ayrıca kaynak işçiliğinin diğer paslanmaz ve galvaniz çelik malzemeye göre daha hassas olması 7000 serisi alüminyumların bu tasarım için kullanılmasına engel gözükmemektedir.

Bu tasarım için son yıllarda kullanılmaya başlanan aluzink ve zinkalum diye de tabir edilen Galvalume sac [33], galvanizli çelik sac malzemeye alternatif olabilir. Bu sacın içeriğinde % 55 Alüminyum, % 43,4 Çinko ve % 1,6 oranında silikon bulunmaktadır. Aluzink bileşiğindeki alüminyum ve çinkodan kaynaklı, galvaniz saca göre daha fazla yüksek korozyon dayanımına imkan vermektedir. Alüminyum ve çinkonun birleşimi tek başına alüminyum ya da tek başına çinkonun sergilediği korumadan daha fazladır.

#### **b) ATAS model ölçekli prototip tasarım**

Model ölçekli prototip tasarım; gerçek boyutta tanımlanan sistemden daha küçük boyutlardaki mekanik tasarıma elektrik elektronik donanımların eklenmesiyle oluşturulmuştur. Şekil 55, Şekil 56 ve Şekil 57'de geliştirilen ATAS model ölçekli prototip tasarım gösterimi yapılmıştır.



Şekil 55. ATAS model ölçekli prototip tasarım



Şekil 56. ATAS model ölçekli prototip tasarım



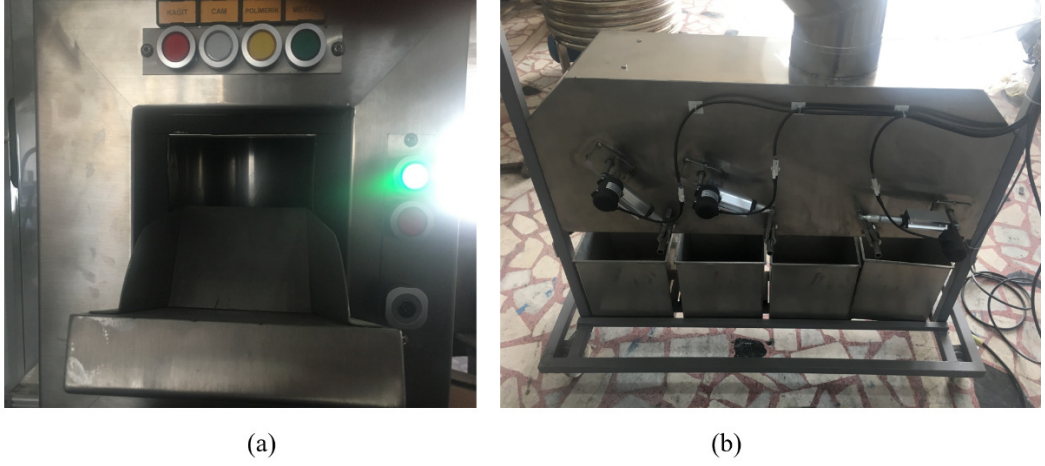
Şekil 57. ATAS model ölçekli prototip tasarım

Gerçek boyutlu tasarım dört katlı bir yapı için tasarlanmıştır. Sunum ve teste uygun olması açısından model ölçekli prototip tasarımda iki katlı bir yapı kurgulanarak, iki adet atış kapağı konulmuştur. Model ölçeğe uygun 4'lü separator davumbaz, seperatör kanatlar, konteynerlar, havalandırma, temizleme bölümü ve mobil kullanım için ise tekerlekli stand konulmuştur. Havalandırma bölümüne bir adet fan ve otomasyon panosu yerleşimi yapılmıştır. Gövde, gerçek ölçekli tasarımdaki gibi AISI 304 kalite paslanmaz çelikten, stand ise kutu profilden imal edilip üzeri antipas boya ile boyanmıştır.

Kapaklara gerçek boyutlu tasarımda olduğu üzerine dört ayrı tür atık için ışıklı buton konulup, bu butonların herbirinin üzerine atık türleri belirtilmiştir. Bu butonlar sistemin altındaki minyatur konteynerlarla irtibatlandırılmışlardır. Şekil 58.a'da gösterilen kapakların yan taraflarına kapakların hazır yada meşgul olduğunu gösteren ışıklı ikaz lambaları konulmuştur. Örneğin yeşil ikaz lambası yanıyor ise sistem kullanıma hazır olduğu bilindiğinden, kağıt butonuna basıldığında kapak yanlardaki lineer motorlar vasıtası ile kapak aşağıya doğru açılacaktır. Atık içine konulduğunda ise tekrar, kağıt butonuna basıldığında kapak kapanacak ve atığın aşağıya doğru inişi gerçekleşecektir. Her bir atık türü için bu işlem aynı şekilde geçerli olup, denemeleri yapılmıştır. Yine güvenlik için tasarlanan kilit butonu model ölçekte de konulmuştur.

PLC proglama ve lineer motorlar vasıtasıyla kapaklar konumlandırılarak aşağıya doğru iniş yapan atığın kendi konteynerına yönlendirilmeleri sağlanmaktadır. Bu yönlendirme, kullanıcı herhangi bir atık butonuna bastığı anda henüz kapak açılmadan kanatların miline bağlanmış Şekil 58.b' deki gibi lineer motorlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Ayrıca davlumbazın üst bölümünde çıkacak yangını engellemek için, yaylı ve ucunda müşür bağlı devamlı açık konumda bulunan yangın damperi bulunmaktadır. Ayrıca kapaklardan biri kullandığında diğer kapakta kırmızı renkteki meşgul ikaz lambası yanıyor olduğundan, bu kapağı kullanmak isteyen kullanıcının sinyal lambalarında yeşil ışık yanana kadar beklemesi gerekmektedir.





Şekil 58. ATAS model ölçekli prototip tasarım a) Kapak b) Separatör görüntüsü

Gerçek boyutlu tasarımda tanımlanmış olan yıkama sistemini göstermek için sistemin üst kısmına yıkama sistemi konulmuştur (Şekil 59.a). Bu prototipteki yıkama sistemi, aynı zamanda yangın sistemini göstermek için de tasarlanmıştır. Bu sistemi çalıştırmak için otomasyon kontrol panosu üzeri mandal buton konulmuştur. Bu buton çevrilerek sisteme yangın temiz su, sabunlu su gibi seçenekler ile yıkama sağlanabilecektir. Yıkama ve tüm işlemler otomasyon kontrol panosu üzerine konulan ekranda gözükmektedir. Aynı zamanda ekran, iş akışının gözükmesi için ayrıca programlanmıştır (Şekil 59.b).



Şekil 59. ATAS model ölçekli prototip tasarım a) Yıkama ünitesi b) Otomasyon kontrol panosu

### 7.2.1.2. ATAS elektrik, elektronik tasarım

Sistemin elektrik-elektronik tasarımında aşağıdaki ürünler kullanılmıştır.

- PLC modülü için GMT GLC 196-T- 1 adet PLC.
- PLC ek modülü; GMT GXM-88T-2 adet, GMT GXM-08T-1 adet
- Otomasyon panosundaki Ekran: GMT CNT GOP43-043AT-1 adet
- 12 V Güç kaynağı: MEAN WELL EDR-120-12-1 adet
- 24 V Güç kaynağı: DELTA DVP-PS02-1 adet
- Röle: SCHRACK RT 424-024-15 adet
- Monofoze Sigorta AB188KC6-1 adet
- Kapak üzerindeki ışıklı butonlar: Weiller- 8 adet
- Kapak üzerindeki Sinyal lambaları: Weiller-4 adet
- Kapak üzerindeki kilit butonları: Weillwer-2 adet
- Optik sensör (konteyner dolum): Scan M18P-L3000p reflektörlü fotosel-1 adet
- Kapak eyleyicileri: keskinler SKG 02-50D2 lineer motor -5 adet
- Taze hava basıçlandırma fanı: 850 m<sup>3</sup>/h debi, 2770 rpm, 0,33A- 1 adet
- Otomasyon kontr. panosu üzerinde 1-02 kalıcı mandal yıkama butonu: Emas-1 adet
- Yıkama sistemi: Selonoid valf -2 adet, çek valf-1 adet
- Otomasyon kontrol panosu üzerindeki açma kapama şalteri: OPAŞ 3X25A-1

### 7.2.2. ATAS sistemin yazılımı

PLC programlama için GMTSuite PLC Editör programı (ver 0.9.1.6) (BETA) ve sistemin çalışırken konum ve uyarıları gösteren ekran haberleşmesi için GOP HMI Editör programı (ver 2.4.0.0) kullanılmıştır.

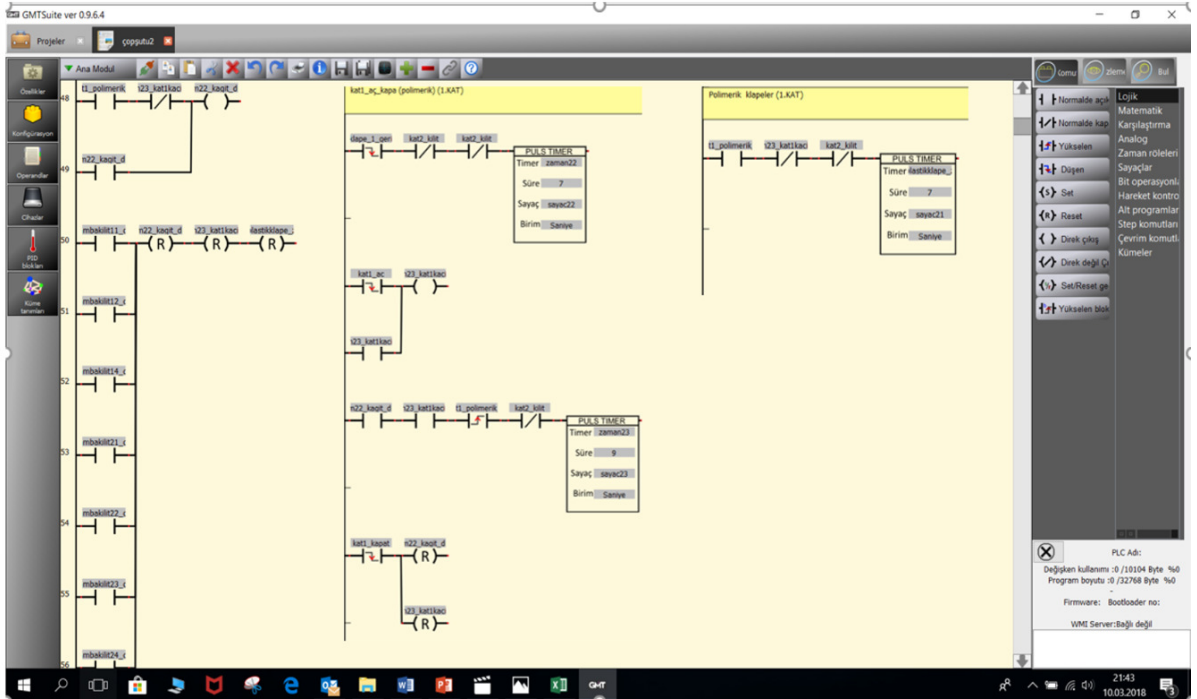
### 7.2.3. ATAS sistemin Kontrolü

Sistemin kontrolü için GMT GLC marka PLC seçilmiştir. Şekil 60'daki gibi Ladder diyagramı PLC'ye yüklenerek çalıştırılmıştır.

Model ölçekli prototip tasarımda iki adet kapak için kat 1, kat2 ve klape gibi ifadeler verilerek Ladder diyagramı oluşturulmuştur.

Atış kapakları üzerine yerleştirilen butonlar, röle kontakları ve optik sensörlerden kaynaklı giriş sinyallerinin eyleyici, röle bobinlerin valflere aktarılması ve bunların referans değerlerinin karşılaştırılması ile sistemin PLC ile otomasyonu sağlanmıştır.

GMT GLC 196-T ANA modüle, 2 adet GMT GXM-88T, 1 adet GMT GXM-08T modül eklenerek giriş ve çıkış sayısı artırılmıştır.



Şekil 60. ATAS sistem ladder diyagram görüntüsü



## BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz şartlarında her türlü malzemenin kullanıldıktan sonraki süreçte tekrar geri kazanımı, öz kaynakların tüketilmemesi ve çevre kirliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Atıkların geri kazanımı için bunların toplanması ve ayrılması gerekmektedir. Bu işlemler için çeşitli yöntem ve prosesler bulunmaktadır. Bazı durumlarda ayırma işlemleri karmaşık olabilmekte ve karmaşıklığın önüne geçmek için çeşitli çalışmalar olduğu bilinmektedir. Bu çalışmalar; atığın henüz kaynakta iken toplanabilmesi durumunda daha verimli ve daha az maliyetli geri kazanım elde edileceğini göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada kaynakta toplama yöntemi için önemli derecede gerekli olan atık toplama ve ayrıştırma mekanizmaları üzerinde inceleme yapılmış ve sabit konteynerli dört ayıklayıcı atık toplama ve ayrıştırma (ATAS) geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca bu sistemde ayrılan atık türlerinden doğada yok olma süresi uzun olan polimerlerin, toplama ayrıştırma sisteminden FDM tekniği ile katmanlı imalat ile ürün oluşturulmasına kadar olan bir dizi proses sistematik olarak açıklanmış ve atık toplama ayrıştırma sistemi ile katmanlı imalat arasındaki dolaylı ilişki incelenmiştir.

Dört kattan fazla olan sistemlerde atık hızını düşürmek için hız sınırlayıcısı konulacağından, dört atış kapaklı gerçek boyutlu ATAS katı model tasarımı yapılmıştır. Sisteme etki eden kuvvetler ve korozyon direnci gibi parametreler dikkate alınarak malzeme ve et kalınlıkları ön görülmüştür. Gerçek boyutlu tasarımın yapısal, maliyet ve otomasyon için proses zaman analizleri yapılarak sistem karşılaştırmaları ortaya konulmuştur. ATAS gerçek boyutlu tasarımın çalışabilirliğini görmek için model ölçekli prototip tasarım uygulaması yapılmıştır. Model ölçekli prototip tasarım, gerçek boyutta tanımlanan sistemden daha küçük boyutlardaki mekanik tasarıma elektrik elektronik donanımların ve sistem otomasyonunun eklenmesiyle oluşturulmuştur. Prototipte iki katlı bir yapı kurgulanarak, iki adet atış kapağı konulmuştur. Model ölçeğe uygun atık atış kapakları, gövde, dörtlü separator davumbaz, seperatör kanatlar, konteynerlar, havalandırma bölümü, temizleme bölümü ve otomasyon kontrol panosundan oluşmakta olan model, mobil kullanım için tekerlekli standla sabitlenmiştir. Model ölçek prototip tasarım performansı test edilmiş, istenilen şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Bu sistematik içerisinde görülen bazı sorunlar ve bunlar ile ilgili çözüm önerileri aşağıda sıralanmıştır.

1. Atık toplama ve ayrıştırma sisteminin yaygınlaştırılmasının gerekliliği

a) Tasarımın ekonomik olarak satın alınabilirliğinin sağlanamaması;

Toplama ve ayrıştırma sistemi binalara girdiği takdirde geri kazanım verimi önemli ölçüde artacaktır. Bunun için kurulum maliyetiyenin makul seviyelere çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca atık toplama ayrıştırma sistemlerinden uygulama yapılacak alana göre yüksek verim alınabilmesi için sistemin mekatronik sistem tasarımının önemi oldukça öne çıkmaktadır. Mekatronik tasarımı oluşturan fiziksel mekatronik sistem, yazılım ve kontrol bölümlerinin doğru bir şekilde yapılandırılması gereklidir. Tasarıma uygun seçilmeyen malzeme, ekipman, kontrolcüler sebebiyle bu tasarımdan gelen şikayetlerin ve sistemin amacı dışında ön görülemeyen maliyetlerin artmasına sebep olacaktır.

Ø600 mm, 14 m yüksekliğinde ve AISI 304 kalite paslanmaz malzemeden tasarlanmış sistemin Catia V5 Student Edition Generative Structural Analysis modülü ile yapısal analizleri yapılmıştır. Gövde et kalınlığı 2 mm olan sistemin toplam ağırlık ve artı yüklerinden meydana gelen 78,4 kN kuvvetin, sistemin et kalınlığı 5 mm olan taşıyıcına aşağı yönünde meydana getirdiği basınçtan dolayı kesme analizi yapılmıştır. Akma dayanımı 205 Mpa olan malzemenin o noktada Von mises gerilmesinin 8,6 Mpa olduğu görülmüştür.

Ayrıca, atık ağırlığından dolayı oluşan darbelere ilk önce maruz kalan 3 mm et kalınlığında stop dirsek parçasının iki farklı statik analizi yapılmıştır. İlk analizde stop dirseğe etkiyen 2,17 kN olan toplam kuvvet, direkt olarak stop dirseğin ilk haline uygulanmıştır. Burada von mises gerilimi 50,1 Mpa, uzama miktarının 0,176 mm olduğu görülmüştür. İkinci analizde ise ilk analizde görülen sonuçlara göre gerilmenin en yüksek olduğu noktalara 1 mm destek sacı ilave edilerek statik analizi yapılmıştır. Buna göre von mises gerilimi 6,45 Mpa, uzama miktarının 0,0158 mm olduğu görülmüştür. Bu iki analiz arasındaki değişim gözlemlenmiş ve sistemin ilk halinin emniyet sınırlarının içinde olduğu kanaatine varılmıştır.

Paslanmaz çelik malzeme kullanıldığında bu tasarımın ortalama maliyet işçilik ve montaj dahil 10385 \$ olarak bulunmuştur. Yine mekanik değerleri paslanmaz çeliğe yakın olan galvanizli çelik kullanılabilen maliyet işçilik ve montaj dahil 6779 \$'a kadar düşmektedir. Yapılan statik analiz değerlerinden de görüldüğü üzere gerilmenin yoğun olduğu noktalarda destek ilaveleri yapılarak, gövde sacı et kalınlıkları bir derece düşürülebilir olduğunda maliyet aşağıya düşecektir.

Kullanım ömrünün daha uzun olmasının ve aynı zamanda düşük maliyet istenilen sistemelerde, korozyona dayanım açısından galvaniz çeliğe alternatif olarak Türkiye'de de üretimi olan galvalume (aluzink) malzeme kullanılabilir. Galvalume maliyet olarak galvaniz çelik sac ile yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen galvanizli saca göre yaklaşık üç kat daha korozyon direnci sağlamaktadır.

Gerçek boyutlu tasarımdaki malzeme kabul ve tanımlamalara göre dizayn edilmiş sistemin model ölçekli prototip tasarımı yapılmıştır. Model ölçekli prototip tasarım, gerçek boyutta tanımlanan sistemden daha küçük boyutlardaki mekanik tasarıma elektrik elektronik donanımların eklenmesiyle oluşturulmuştur. Prototipte iki katlı bir yapı kurgulanarak, iki adet atış kapağı konulmuştur. Model ölçeğe uygun atık atış kapakları, gövde, 4 lü separator davumbaz, seperatör kanatlar, konteynerlar, havalandırma bölümü, temizleme bölümü ve otomasyon kontrol panosundan oluşmakta olan prototip mobil kullanım için tekerlekli standla sabitlenmiştir.

Havalandırma bölümünde sistemin havalandırılması için bir adet 850 m<sup>3</sup>/h, 2770 rpm, 33A fan konulmuştur. Sistemin kontrolcü ve elektronik ekipmanların bulunduğu otomasyon kontrol panosu yerleşiminde; bir adet GMT GLC 196-T PLC modülü, iki adet GMT GXM-88T ve bir adet GMT GXM-08T PLC ek modülü, bir adet GMT CNT GOP43-043AT HDMI ekran, bir adet 12 V ve bir adet 24 V güç kaynağı, onbeş adet röle, bir adet monofaze sigorta, bir adet OPAŞ 3X25A-1 açma kapama şalteri bulunmaktadır.

Gövde, gerçek ölçekli tasarımdaki gibi AISI 304 kalite paslanmaz çelikten, stand ise kutu profilden imal edilip üzeri antipas boya ile boyanmıştır. Atış kapaklarının açılması ve atıkların kendi konteynerına yönlendirilmeleri için beş adet keskinler SKG 02-50D2 lineer

motor, kapak üzerinde atık türleri ve kapakların durumunu gösteren iki adet Weiller sinyal lambası ve dört adet Weiller ışıklı buton konulmuştur.

Yıkama sistemi; otomasyon kontrol panosu üzerinde bulunan bir adet 1-02 kalıcı mandal buton, iki adet Selonoid valf , bir adet çek valf-1 adet, bir adet sabun haznesi ve şebeke suyu girişinden oluşmaktadır.

Konteynerler dolduğunda sisteme uyarı verebilmek için bir adet Scan M18P-L3000 p optik sensör kullanılmıştır.

PLC programlama için GMT Suite PLC Editör program, ekran haberleşmesi için ise GOP HMI Editör programı (ver 2.4.0.0) kullanılmış sistemin denemeleri ve testi yapılarak sistemin istenilen kriterlere uygun çalıştığı görülmüştür. Maliyete etki eden önemli başlıkların arasında sistemin elektrik-elektronik ekipmanları ve programlanması bulunmaktadır. Kullanılan yazılım program, PLC kontrolcüler, sensör ve diğer ekipmanlarda yerli ürün kullanılarak uygun maliyet sağlanabilir. Örneğin bu tasarımda PLC programlama için GMT Suite PLC Editör programı , sistemin kontrolü için ise GMT GLC 196-T PLC yerli ürün olarak uygulanmıştır.

b) Devlet desteğinin yeterli derecede olmaması;

İlgili bakanlıklar bünyelerinde bilgiler verilerek bu sistemin gerekliliği ile daha fazla farkındalık oluşturulması, geri dönüşüm ve diğer toplama ayırma proeselerine verilen desteğin alınmasına katkı sağlayacaktır. Bu katkı, sistemin katma değerinin anlaşılması ile paralel olarak teşvik ve hibe ile sonuçlandığında, ayrıca kişiler üzerindeki maliyet yükleri de hafifleteceğinden sistemin yaygınlaştırılması sağlanabilir.

c) Sistemin kullanıcılar tarafından yeteri derecede bilinmiyor olması;

Sistemin yaygınlaştırılması için yerel yönetimlerin düzenlediği sempazyumlarda bu sistemin gerekliliğinin topluma anlatılması sağlanmalıdır.

d) Proje ve şantiye teknik personelin sistemi tanımiyor olması;

Sistemin yapılarda kurulması için proje aşamasında uygun yer planlamasının olmaması veya projede bulunsada da uygulama aşamasında sistemin kullanılmadığı bilinmektedir. Bunun önüne geçebilmek için bu işlerde görev alabilecek teknik personel ve sistemin

gerekliliği konusunda farkındalık yaratmak için gerekli eğitim ve seminerlerin verilmesi, hatta üniversitelerde bu sistem ile ilgili eğitimlerin verilmesi gerekmektedir.

- e) Bazı durumlarda sistemin etrafa kötü koku yayacağı ve doğru ayrılmış atık elde edilemeyeceği endişesi;

Yıllık bakım ve temizliği yapılmayan sistemde gövde üzerinde kalan atık birikintilerinin çevreye kötü koku yayması doğal bir durumdur. Bu nedenden dolayı sistemin bakımının yapılması ve tasarıma eklenen temizleme üniteleri vasıtasıyla sistemin belirlenen periyotlarda temizliğinin yapılması gerekmektedir.

Kullanıcıların bazı durumlarda atık toplama ve ayrıştırma sistemlerinde ilgili atık konteynerına doğru atık türünü atmama durumları olabilir. Kullanıcılara eğitimler verilerek, gerekli talimatların gözüken yerlere asılması sağlanılarak bu durumun önüne geçilebilir. Bazı durumlarda sistemin atık atma kapak anahtarlarının yetkili tek bir kişiye verilerek te sistemin kontrolü sağlanabilir. Ayrıca bu istenmeyen durum kapasitif, indüktif vb sensör ilaveleriyle atıkların henüz konyenere düşmeden ilgili konteynere yönlendirilmesi sağlanarak daha düzgün ve temiz ayrıştırma yapılması da bir seçenektir.

## 2. Tesislerin karmaşıklığı ve geri dönüşüm yatırımlarının çoğaltılmasının gerekliliği

Geri dönüşüm verimliliği, toplanan atıkların temizliği ile doğru orantılıdır. Bu oranı artırmak için atık ayrıştırma tesislerinin birkaç aşamadan oluşması gerekmektedir. Bundan dolayı sistemler karmaşık hale gelmektedir. Dört ayıklayıcı olarak geliştirilen atık toplama-ayrıştırma mekanizmasının atığın kaynağında kullanılmasının yaygınlaşmasına paralel olarak, ayrıştırma tesislerinin karmaşıklığı azalacak ve daha temiz atık elde edilmesi sağlanacaktır. Henüz kaynakta iken sistematik bir şekilde yapılan atık ayrıştırma ile merkezde ayırma tesisleri birbirlerinin tamamlayıcısı niteliktedir. 2016 yılında ülkemizde 791 adet geri dönüşüm tesisi ve 573 adet atık ayırma tesisi bulunmaktadır. Toplama ve ıslah sahalarında atıkların imhası için toprağa gömme maliyetlerinin yeniden kazanım maliyetlerinden daha fazla olduğu bilindiğinden bu tesislerin gerekli desteği görmesi ve nüfus, yerleşim yeri artışına oranla bu mekatronik sistemlerin akıllı ayrıştırma sistemleri olarak kullanımı için sayılarının artırılması gerektiği değerlendirilmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] Kayakutlu G, Daim T, Kunt M, Altay A, Suharto Yulianto. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Renewable and Sustainable Energy Reviews 74 (2017) 1323–1335
- [2] Ünal Sayman R, Akpulat O. Ambalaj atıklarının kontrolü yönetmeliği belediye uygulama rehberi. Ankara, Bölgesel Çevre Merkezi, REC Türkiye, 2016.
- [3] Beyhan M, (1997). Isparta evsel ve ticari katı atıklardan geri kazanılabilir maddelerin potansiyelinin araştırılması. Yıldız Teknik üniversitesi, Yüksek lisans Tezi, İstanbul.
- [4] <http://www.disanhidrolik.com>, Disan hidrolik ayıklama sistemleri, erişim tarihi: 20.04.2018
- [5] <https://www.pendik.bel.tr/haber/detay/atik-ayrıştırma-tesisi-faaliyete-gecti>, Pendik Belediyesi atık ayrıştırma tesisi, erişim tarihi: 20.04.2018
- [6] <http://www.hardall.co.uk>, Recycling Chute, erişim tarihi: 20.04.2018
- [7] Yıldar A, (2014). Bina Yapılarının işletmesinde çöp bacalarının ve düzenleme ilkelerinin değerlendirilmesi. Çukurova üniversitesi, Yüksek lisans Tezi, Adana.
- [8] Pappa G, Boukouvalas C, Magoulas K, Lygeros A, Tassios D. The selective dissolution/precipitation technique for polymer recycling: a pilot unit application. Resources, Conservation and Recycling 34 (2001)
- [9] Maris J, Bourdon S, Brossard J-M, Cauret L, Fontaine L, Montembault V. Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes. Polymer Degradation and Stability /S0141-3910(17)30337-3/ 10.1016/j.polymdegradstab.2017.11.001/ PDST 8387

- [10] Yi S, Jang Yong C, Kyoungjin A. Potential for energy recovery and greenhouse gas reduction through waste-to-energy Technologies. *Journal of Cleaner Production* S0959-6526(17) 33053-6/10.1016/j.jclepro.2017.12.103/JCLP 11498
- [11] Garforth A, Ali S, Marti´nez J H, Akah A. Feedstock recycling of polymer wastes. *Current Opinion in Solid State and Materials Science* 8 (2004) 419–425
- [12] Kaminsky W, Predel M, Sadiki A. Feedstock recycling of polymers by pyrolysis in a fluidised bed. *Polymer Degradation and Stability* 85 (2004) 1045e1050
- [13] Al-Salem S- M, Lettieri P, Baeyens J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management* 29 (2009) 2625–2643
- [14] Jouhara H, Czajczy\_ńska D. Ghazal H, Krzy\_zy\_ńska R, Anguilano L, Reynolds A J, Spencer N. Municipal waste management systems for domestic use. *Energy* 139 (2017) 485e506
- [15] Zhang S, Ding Y, Liu B, Chang H. Supply and demand of some critical metals and present status of their recycling in WEEE. *Waste Management* 65 (2017) 113–1
- [16] Pivnenko K, Eriksson E, F. Astrup T. Waste paper for recycling: Overview and identification of potentially critical substances. *Waste Management* 45 (2015) 134–142
- [17] Ervasti I, Miranda R, Kauranen I. A global, comprehensive review of literature related to paper recycling: A pressing need for a uniform system of terms and definitions. *Waste Management* 48 (2016) 64–71
- [18] Durgun İ, Başaran D. FDM katmanlı imalat teknolojisinin araç geliştirme sürecindeki uygulamaları. OTEKON 2010 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 07 – 08 Haziran 2010, BURSA. <https://www.researchgate.net/publication/280079263>

- [19] Kılıçkalkan S, (2012). Alçak Yoğunluklu polietilen plastik atıklar ile önemli linyitlerin eş-pirolizizi. Ankara Üniversitesi, Yüksek lisans Tezi, Ankara.
- [20] Ayi.Plastikmalzemeler, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>, erişim tarihi: 20.04.2018
- [21] Atagür M, (2016). Farklı yapıya sahip kil minarelleri ile TPU kullanılarak polimer matrisli kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [22] <http://www.elastron.com/thermoplastic-elastomers-tpe>, Termoplastik elastomerler (TPE), Erişim tarihi: 20.04.2018
- [23][http://www.distrupol.com/Elastollan\\_Processing\\_Recommendations.pdf](http://www.distrupol.com/Elastollan_Processing_Recommendations.pdf),Thermoplastik c polyurethane elastomers (TPU), erişim tarihi: 20.04.2018
- [24]<https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-yazici-filamentozellikleri> %20(ABS), ABS filamentinin temel özellikleri, erişim tarihi: 20.04.2018 0.04.2018
- [25] Elbaba Ö, Sezer S, Şahin H, Dilibal S. Elastomerik malzemelerin katmanlı imalatında temel parametlerin analizi. International journal of 3D printing technologies and dijital industry 2:1 (2018) 69-75
- [26] Aydın M, Güler B, Çetinkaya K, Dikey Ekstrüzyon (Fialament) Sistemi Tasarım ve Prototip İmalatı. International Journal of 3D printing technologies and digital industry 2:1 (2018) 1-10
- [27] <http://ustunismakina.com.tr/plastik-granul-hatlari>, Plastik granül hatları, erişim tarihi: 20.04.2018
- [28] [www.filafab.co.uk](http://www.filafab.co.uk), Filafab operating manuel, erişim tarihi: 20.04.2018
- [29]<http://www.sangirplastics.in/waste-conveyance-system.html>,Waste Conveyance System, erişim tarihi: 20.04.2018



[30] <http://www.hardall.co.uk>, Waste generation statistics, erişim tarihi: 20.04.2018

[31] <http://www.dm-consultancy.com/TR/dosya/1-59/h/aisi-340-info.pdf>, Stainless Steel-Grade 304, erişim tarihi: 20.04.2018

[32] [https://www.hilti.com/medias/sys\\_master/h45/h30/9150832738334/HST\\_FTM\\_2012-09.pdf?mime=application%2Fpdf&realname=HST\\_FTM\\_2012-09.pdf](https://www.hilti.com/medias/sys_master/h45/h30/9150832738334/HST_FTM_2012-09.pdf?mime=application%2Fpdf&realname=HST_FTM_2012-09.pdf), Mechanical properties of HST, HST-R, HST-HCR, Erişim tarihi: 20.04.2018

[33] <http://www.tezcan.com/tr/urunler>, GL- GALVALUME ® Sac, Erişim tarihi: 20.04.2018

## ÖZGEÇMİŞ

|                   |                        |                            |                         |
|-------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>Adı</b>        | <b>Kürşat</b>          | <b>Soyadı</b>              | <b>TANRIVER</b>         |
| <b>Doğum Yeri</b> | İstanbul /Türkiye      | <b>Doğum arihi ve yeri</b> | 1982-İSTANBUL           |
| <b>Uyruğu</b>     | Türkiye Cumhuriyeti    | <b>Tel</b>                 | +90 537 724 34 20       |
| <b>E-mail</b>     | k.tanriver@hotmail.com | <b>Web</b>                 | www.ulusendustriyel.com |

### Eğitim Düzeyi

|                         | Mezun Olduğu Kurumun Adı  | Mezuniyet Yılı |
|-------------------------|---|----------------|
| <b>Doktora/Uzmanlık</b> | -   | -              |
| <b>Yüksek Lisans</b>    | -   | -              |
| <b>Lisans</b>           | Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü | 2004           |
| <b>Ön Lisans</b>        | Atatürk Üniversitesi Erzurum MYO<br>Makine Bölümü                           | 2001           |

### İş Deneyimi

| <b>Görevi</b>    | <b>Kurum</b>                                 | <b>Süre (Yıl- Yıl)</b> |
|------------------|--|------------------------|
| Teknik Müdür     | Ulus Endüstriyel Ltd. Şti. Tuzla/İSTANBUL    | 2014-                  |
| Teknik Müdür     | Ekol Makine Ltd. Şti. Tuzla/İSTANBUL         | 2009-2014              |
| Üretim Mühendisi | Kadıgil Çelik Makine Ltd. Şti. Gebze/KOCAELİ | 2007-2009              |