

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VAKUM İLE ÇALIŞAN HAVA YÜKSELTİCİ (AIR  
AMPLIFIER) TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Seyed Soroush SOLEİMANİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Osman İYİBİLGİN**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


VAKUM İLE ÇALIŞAN HAVA YÜKSELTİCİ (AIR  
AMPLIFIER) TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seyed Soroush SOLEİMANİ

Enstitü Anabilim Dalı : Makina MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 10/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Dr.Öğr.Üyesi  
Osman İYİBİLGİN  
Jüri Başkanı



Dr.Öğr.Üyesi  
Recep KILIÇ  
Üye



Dr.Öğr.Üyesi  
Osman HAMDİ METE  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Seyed Soroush SOLEIMANI

22.04.2019

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, bilgilerini bizlerle payőalaőan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayaağım saygıdeğer danıőman hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman İYİBİLGİN'e, çalıőmam boyunca benden desteklerini esirgemeyen arkadaőım Murat őAHİN'e ve tezimi okuyup gerekli düzeltmeleri yapmamda bana yardımcı olan Arő. Gör. Engin GEPEK'e teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca alıőma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme ve çalıőmalarımda beni motive eden ve sabırla destekleyen sevgili niőanlım Nadia'ya sonsuz teőekkürler ederim.

# İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| TEŞEKKÜR .....   | i    |
| İÇİNDEKİLER .....  | ii   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....                        | v    |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                       | vi   |
| TABLOLAR LİSTESİ .....                                       | viii |
| ÖZET .....   | ix   |
| SUMMARY .....  | x    |
| BÖLÜM 1.   |      |
| GİRİŞ .....  | 1    |
| BÖLÜM 2.   |      |
| LİTERATÜR TARAMASI .....                                     | 4    |
| 2.1. Taşıma Sistemleri .....                                 | 4    |
| 2.1.1. Mekanik taşıma sistemleri .....                       | 4    |
| 2.1.2. Pnömatik taşıma sistemleri .....                      | 5    |
| 2.1.2.1. Pnömatik taşıma sistemlerin sınıflandırılması ..... | 7    |
| 2.1.2.1.1. Faz durumuna göre sınıflandırılma .....           | 7    |
| 2.1.2.1.1.1. Seyrek faz .....                                | 7    |
| 2.1.2.1.1.2. Yoğun faz .....                                 | 8    |
| 2.1.2.1.1.3. Faz durumunun belirlenme<br>Yöntemi .....       | 9    |
| 2.1.2.1.2. Basınca göre sınıflandırma .....                  | 10   |
| 2.1.2.1.2.1. Negatif basınçlı sistemler<br>(vakum) .....     | 10   |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.1.2.1.2.2. Pozitif basınçlı sistemler .....             | 11        |
| 2.1.2.2. Pnömatik taşıma sistemlerin avantajları .....    | 12        |
| 2.1.2.3. Pnömatik taşıma sistemlerin dezavantajları ..... | 13        |
| 2.1.3. Hava yükseltici sistemleri .....                   | 14        |
| 2.1.3.1. Sistemin çalışma prensibi .....                  | 15        |
| 2.1.3.2. Sistemin avantajları .....                       | 16        |
| 2.1.3.3. Sistemin dezavantajları .....                    | 16        |
| <br>  |           |
| <b>BÖLÜM 3.</b>   |           |
| <b>DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>                             | <b>17</b> |
| 3.1. Giriş .....  | 17        |
| 3.2. Deneyin Amacı .....                                  | 17        |
| 3.3. Deney Düzeneği Tasarımı ve İmalatı .....             | 17        |
| 3.3.1. Mekanik aksamlar .....                             | 19        |
| 3.3.1.1. Hortumlar .....                                  | 19        |
| 3.3.1.2. Dolum hazneleri .....                            | 20        |
| 3.3.1.3. Gövde .....                                      | 21        |
| 3.3.1.4. Kompresör .....                                  | 21        |
| 3.3.1.5. Hava Yükseltici .....                            | 22        |
| 3.3.2. Elektriksel aksamlar .....                         | 22        |
| 3.3.2.1. Yük Hücresi .....                                | 23        |
| 3.3.2.2. HX711 Ağırlık sensörü .....                      | 25        |
| 3.3.2.3. Arduniu Uno .....                                | 25        |
| 3.3.2.4. HC 05 Bluetooth Modülü .....                     | 26        |
| 3.3.2.5. Arduino 20*4 Lcd I2c .....                       | 27        |
| 3.4. Ölçüm ve Hesaplamalar .....                          | 28        |
| 3.4.1. Debi ölçümü .....                                  | 28        |
| 3.4.2. Aktarım süresi.....                                | 28        |

## BÖLÜM 4.

|   |    |
|---|----|
| MODELLEME VE TASARIM .....                                  | 31 |
| 4.1. Hava Yükselticinin Modellenmesi (Referans Model) ..... | 31 |
| 4.2. CAD Modelinin Oluşturulması.....                       | 31 |
| 4.3. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi .....            | 33 |
| 4.3.1. Geometrik parametreler .....                         | 34 |
| 4.3.1.1 Giriş çapı .....                                    | 35 |
| 4.3.1.2. Çıkış çapı .....                                   | 35 |
| 4.3.1.3. Vakum bölgesi boyutlandırması (Pah tasarımı) ..... | 35 |
| 4.3.1.3.2. Dış bükey pah .....                              | 36 |
| 4.3.1.3.3. Düz pah .....                                    | 39 |
| 4.3.1.3.1. İç bükey pah .....                               | 41 |
| 4.3.2. Çalışma parametreleri .....                          | 43 |
| 4.3.2.1. Basınç .....                                       | 43 |
| 4.3.2.2. Sıcaklık .....                                     | 43 |
| 4.3.2.3. Hız .....  | 43 |

## BÖLÜM 5.

|  |    |
|--|----|
| SONLU ELEMENLAR ANALİZLERİ .....   | 44 |
| 5.1. Sonlu Elemanlar Analiz Modeli .....   | 44 |
| 5.2. Sınır Şartları Belirlenmesi .....   | 45 |
| 5.3. Mesh Yapısı .....   | 45 |
| 5.4. Referans model için deneysel çalışma sonuçları ile sonlu elemanlar analiz sonuçlarının doğrulanması ..... | 46 |
| 5.4.1. Solidworks Flow Simulation ile simülasyon .....   | 47 |
| 5.4.2. Ansys Fluent yazılımı ile Simülasyon .....  | 51 |
| 5.4.2.1. Ansys fluent programında uygulanan mesh yapısı ...  | 51 |
| 5.4.2.2. Ansys Fluent programında uygulanan sınır şartlar ...  | 52 |
| 5.5. Yeni pah Tasarım Modelleri İçin Akış Analizlerinin Gerçekleştirilmesi .....                               | 53 |
| 5.5.1. Dış bükey .....   | 54 |

|   |    |
|---|----|
| 5.5.2. Düz pah .....  | 58 |
| 5.5.3. İç bükey .....                                       | 62 |
| 5.5.4. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması .....          | 63 |
| <br>  |    |
| BÖLÜM 6.  |    |
| SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER .....                          | 64 |
| 6.1. Giriş .....  | 64 |
| 6.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....            | 64 |
| 6.2.1. Pah etkisinin incelenmesi .....                      | 65 |
| 6.2.1.1. Dış bükey pah .....                                | 65 |
| 6.2.1.2. Düz bükey pah .....                                | 66 |
| 6.2.1.3. İç bükey pah .....                                 | 67 |
| 6.2.2. Optimum model için hız etkisinin incelenmesi .....   | 67 |
| 6.2.3. Optimum model için vakum etkisinin incelenmesi ..... | 69 |
| <br>  |    |
| KAYNAKLAR .....   | 71 |
| EKLER .....   | 74 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 88 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| $\alpha$ | : İç kabuk pah açısı                 |
| $\theta$ | : Dış kabuk pah açısı                |
| CAD      | : Computer Aided Design              |
| CM       | : Santimetre                         |
| D        | : Hava yükseltici çapı               |
| d        | : Pahnın merkez noktasından uzaklığı |
| FEM      | : Finite Element Method              |
| KG       | : Kilogram                           |
| MM       | : Milimetre                          |
| Pa       | : Pascal                             |
| r        | : radyüsü                            |
| SE       | : Sonlu Elemanlar                    |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 1.1. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaları gösteren akış diyagramı .           | 3  |
| Şekil 2.1. 1882'de bir Rus gemisinde bulunan hububatın pnömatik yöntem ile Tahliyesi ..... | 5  |
| Şekil 2.2. Pnömatik taşıma sistemin çalışma prensibi .....                                 | 7  |
| Şekil 2.3. Seyrek fazlı sistemlerinin çalışma prensibi .....                               | 8  |
| Şekil 2.4. Yoğun fazlı sistemlerinin çalışma prensibi .....                                | 9  |
| Şekil 2.5. Negatif basınçlı taşıma sistemi .....   | 11 |
| Şekil 2.6. Pozitif basınçlı taşıma sistemi .....   | 12 |
| Şekil 2.7. Hava yükselticinin çalışma prensibi .....                                       | 15 |
| Şekil 3.1. Hava yükseltici performansını ölçmek için tasarlanan deney düzeneği .....       | 18 |
| Şekil 3.2. Deney düzeneğinin mekanik aksamları .....                                       | 19 |
| Şekil 3.3. Basma dolum haznesi .....   | 20 |
| Şekil 3.4. Emme dolum haznesi .....  | 21 |
| Şekil 3.5. Deneysel çalışmada kullanılan Hava Yükseltici (ZHB10-B-X185) .....              | 22 |
| Şekil 3.6. Deney düzeneğinin elektrik aksamları .....                                      | 23 |
| Şekil 3.7. Dolum haznesi altında kullanılan ağırlık hücresi .....                          | 24 |
| Şekil 3.8. Deneysel çalışmada kullanılan yük hücresinin çalışma prensibi .....             | 24 |
| Şekil 3.9. Yük hücresi ve ağırlık sensörü .....  | 25 |
| Şekil 3.10. Arduino Uno .....  | 26 |
| Şekil 3.11. Arduino Uno, Ağırlık hücresi ve sensörü .....                                  | 26 |
| Şekil 3.12. HC 05 Bluetooth Modülü ve elektrik paneli içerisindeki montaj görüntüsü .....  | 27 |
| Şekil 3.13. Deney düzeneğinde kullanılan Arduino LCD ekran .....                           | 27 |
| Şekil 3.14. Aktarım süresi basınca göre hesaplanması .....                                 | 29 |
| Şekil 3.15. Aktarım süresi emme hortumunu boyutuna göre hesaplanması .....                 | 30 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.1. SolidWorks programında tasarlanan hava yükselticinin iç bölgesi<br>(hava ve partikül giriş ve çıkış bölgeleri) .....    | 31 |
| Şekil 4.2. SOLIDWOKS programında modellenmiş olan hava yükselticinin<br>referans modeli .....                                      | 32 |
| Şekil 4.3. SOLIDWOKS programında modellenmiş olan referans modelin<br>kesit görünüşü .....   | 33 |
| Şekil 4.4. Hava yükseltici tasarımında kullanılan geometrik parametreler.....  | 34 |
| Şekil 4.5. Pah tasarımları, a) dış bükey, b) iç bükey, c) düz pah.....   | 35 |
| Şekil 4.6. Dış bükey pah boyutları (Referans model) .....  | 37 |
| Şekil 4.7. Dış bükey pah tasarımı .....  | 37 |
| Şekil 4.8. Düz pah tasarımı .....  | 40 |
| Şekil 4.9. Hava yükseltici tasarımında kullanılan düz pah boyutları .....  | 41 |
| Şekil 4.10. İç bükey pah tasarımı .....  | 41 |
| Şekil 5.1. Sonlu Elemanlar modeli ve sınır şartları .....  | 45 |
| Şekil 5.2. Hava Yükselticinin Mesh yapısı .....  | 46 |
| Şekil 5.3. SE analizi ve deneysel sonuçlarına dayalı ortalama hız karşılaştırma<br>Grafiği .....                                   | 46 |
| Şekil 5.4. Hava yükselticinin SolidWorks yazılımında elde edilen hava akış<br>yörüngeleri .....                                    | 47 |
| Şekil 5.5. Referans model için farklı basınçlar altında hava hızının gösterilmesi<br>(1, 2, 3 ve 4 bar basınçlar altında) .....    | 48 |
| Şekil 5.6. Referans model için farklı basınçlar altında hava hızının gösterilmesi<br>(5, 6, 7 ve 8 bar basınçlar altında) .....    | 49 |
| Şekil 5.7. Referans model için farklı basınçlar altında vakum etkisinin<br>gösterilmesi (1, 2, 3 ve 4 bar basınçlar altında) ..... | 50 |
| Şekil 5.8. Referans model için farklı basınçlar altında vakum etkisinin<br>gösterilmesi (5, 6, 7 ve 8 bar basınçlar altında) ..... | 50 |
| Şekil 5.9. Hava yükselticinin referans modeli için Ansys Fluent programında<br>düzenlenen mesh yapısının gösterilmesi .....        | 51 |
| Şekil 5.10. Ansys Fluent programında elde edilen akış analizi sonuçları<br>(vakum etkisi) .....                                    | 52 |
| Şekil 5.11. Hava yükselticinin Ansys Fluent programında hava hızının   |    |

|   |    |
|---|----|
| gösterilmesi .....  | 53 |
| Şekil 5.12. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah radyüsü<br>kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi .....                       | 54 |
| Şekil 5.13. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah radyüsü<br>kullanılarak hava hızının incelenmesi.....                           | 55 |
| Şekil 5.14. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 50 derece pah açısı<br>kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi .....                    | 55 |
| Şekil 5.15. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 50 derece pah açısı<br>kullanılarak hava hızının incelenmesi .....                       | 56 |
| Şekil 5.16. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah uzaklığı<br>Kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi (uzaklık: 2 mm) .....      | 57 |
| Şekil 5.17. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2mm pah uzaklığı<br>Kullanılarak hava hızının incelenmesi .....                          | 57 |
| Şekil 5.18. Düz pah için 7 bar basınç altında ve 30 derece pahın dış kabuk açısı<br>( $\theta$ ) kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi ..... | 58 |
| Şekil 5.19. Düz pah için 7 bar basınç altında ve 30 derece pahın dış kabuk açısı<br>( $\theta$ ) kullanılarak hava hızının incelenmesi .....    | 59 |
| Şekil 5.20. Düz pah için 7 bar basınç altında ve 7 derece pah açısı kullanılarak<br>vakum etkisinin incelenmesi .....                           | 60 |
| Şekil 5.21. Düz pah için 7 bar basınç altında ve 7 derece pah açısı kullanılarak<br>hava hızının gösterilmesi .....                             | 60 |
| Şekil 5.22. Düz pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah uzaklıkları<br>kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi (uzaklık: 4.9 mm) .....    | 61 |
| Şekil 5.23. Düz pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah uzaklığı kullanılarak<br>hava hızının gösterilmesi (uzaklık: 4.9 mm) .....          | 61 |
| Şekil 5.24. İç bükey pah için 7 bar basınç altında ve 8 mm pah radyüsü<br>kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi .....                       | 62 |
| Şekil 5.25. İç bükey pah için 7 bar basınç altında ve 8 mm pah radyüsü<br>kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi .....                       | 63 |
| Şelil 6.1. Dış Bükey Pah Modeli İçin Ortalama Hız – Pah Radyüsü Grafiği .....   | 64 |
| Şelil 6.2. Düz Pah Modelinin Ortalama Hız - Radyüsü Grafiği .....   | 66 |
| Şekil 6.3. İç Bükey Pah Modelinin Ortalama Hız - Radyüsü Grafiği .....  | 67 |

Şekil 6.4. Opmtimum hava yükseltici modelinin hava hız - radyüsü grafiği ..... 69

Şekil 6.5. Opmtimum hava yükseltici modelinin vakum etkisi - radyüsü grafiğis 70



## TABLolar LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Tablo 4.1. Analizlerde kullanılan hava yükseltici modellerinin boyutları                      | 35 |
| .....   |    |
| Tablo 4.2. Hava yükselticinin dış bükey pah tasarımı modelleri<br>(radyüs etkisi) .....       | 38 |
| Tablo 4.3. Hava yükselticinin dış bükey pah tasarımı modelleri (pah açısı<br>etkisi) .....    | 38 |
| Tablo 4.4. Hava yükselticinin dış bükey pah tasarımı modelleri (pah uzaklığı<br>etkisi) ..... | 39 |
| Tablo 4.5. Hava yükselticinin düz pah tasarımı modelleri ( $\theta$ açısı etkisi) .....       | 40 |
| Tablo 4.6. Hava yükselticinin iç bükey pah tasarım modelleri (radyüs etkisi) ..               | 43 |
| Tablo 6.1. Optimum hava yükseltici modellerinin boyutları .....                               | 68 |

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Hava yükseltici, Pnömatik taşıyıcı, Sonlu Elemanlar, ptimizasyon

Katı maddeleri (tahıl, partikül vb.) transfer etmek için mekanik ve pnömatik sistemler kullanılmaktadır. Mekanik sistemler, uzun yıllardan beri kullanılmasına karşın, transfer edilen ürünlerin kısmen kırılmasına, gürültüye ve toza neden olmaktadır. Pnömatik sistemler ise, üfleme ve vakum olmak üzere iki farklı şekilde çalışmakta ve tahılların daha verimli ve hasarsız bir şekilde taşınmalarını sağlamaktadır. Bu çalışmada özellikle, vakum ile çalışan pnömatik taşıma sistemleri araştırılmıştır.

Çalışmada, hava yükseltici (air amplifier) kullanılarak tahılların transfer edilmesi prosesi deneysel olarak ve Sonlu Elemanlar (SE) yöntemi ile incelenmiştir. Deneysel çalışmada, 15,5mm çapında hava yükseltici ile tahıllar 7 bar basınç altında transfer edilerek kırılma, gürültü, toz, güvenlik ve taşıma kapasiteleri değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında sistemin SE modeli kurulmuş ve deneysel verilerle SE çalışmasından elde edilen veriler karşılaştırılarak SE modeli doğrulanmıştır. Daha sonra SE analizleri 17mm ve 18,6mm çap değerleri ve 5, 6 ve 7 bar basınç değerleri dikkate alınarak tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Sonuç olarak, gürültü ve ortamda oluşan toz miktarı önemli ölçüde azaltılarak, tahılların hasar görmeden güvenli bir şekilde transferi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ihtiyaca göre istenilen taşıma kapasitelerine ulaşabilmek için gerekli hava yükseltici özellikleri tespit edilmiş ve optimize edilmeye çalışılmıştır. Sabit basınç altında, hava yükselticinin çapının artması ile hız azalırken, transfer edilen tahıl miktarı artmıştır. Sonuçta, toz ve gürültü gibi çevreye zararlı etkiler en aza indirilerek, mevcut mekanik sistemlerle aynı ya da daha yüksek kapasitede tahıl transferine imkân sağlayacak parametreler SE yöntemi ile belirlenmiştir.

# **DESIGN AND OPTIMIZATION OF VACUUM OPERATED AIR AMPLIFIER**

## **SUMMARY**

Keywords: Air Amplifier, Vacuum, SolidWorkS, Pneumatic conveying, FEM

Mechanical and pneumatic systems are used to transfer solids (grains, particles, etc.). Although mechanical systems have been used for many years, they cause partial breakage, noise and dust of the transferred products. Pneumatic systems are operated in two different ways: blowing and vacuum, allowing the grains to be transported more efficiently and without damage. In this effort, vacuum-operated pneumatic conveying systems were investigated.

In this report, by using the SolidWorks program, the whole of the system in general and the fragment of air amplifier in particular designed and then the flow simulation part of SolidWorks application is used for analyzing the flow of fluid that has described in further parts of this report by showing on figures. The process of transferring the grains by using an air amplifier is examined experimentally and by using the Finite Element Method (FEM) analysis.

As a result, noise and the amount of dust generated in the environment is reduced significantly and the grain is transferred safely without damage. In addition, the required air amplifiers features have been determined and optimized to achieve the desired carrying capacity according to the need.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, genel olarak pnömatik taşıma sistemleri arasında yer alan hava yükselticiler incelenmiştir. Basınçlı hava ile çalışan bu taşıma sistemleri özellikle endüstride kullanılan pnömatik taşıma yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde malzemelerin transferi basınçlı hava kullanılarak gerçekleştiği için basınçlı hava ile çalışan taşıma sistemleri (compressed air operated conveying systems) olarak adlanmaktadır. Çalışmada, hava yükseltici (air amplifier) kullanılarak tahılların transfer edilmesi prosesi deneysel ve Sonlu Elemanlar (SE) yöntemi ile incelenerek mevcutlara oranla daha yüksek performansa sahip yeni bir hava yükseltici geliştirilmiştir.

Çalışmada öncelikle, piyasada ticari bir ürün olarak bulunan CKT firmasına ait ZHB10-B-X185 model numaralı hava yükseltici satın alınmıştır. Bu mevcut hava yükselticisine uygun bir test düzeneği tasarlanarak hava yükselticinin deneysel çalışma performansı incelenmiş ve çalışma performansına etki eden parametreler ölçülmüştür. Kurulan deney düzeneğini kullanarak hava yükselticinin farklı şartlar altında taşıma kapasitesi incelenmiştir. Ayrıca, hava yükselticinin ortalama hava hızı miktarını ölçmek için uygun bir Hava Akışı Ölçüm cihazı kullanılmıştır. Sonra, elde edilen ortalama hız değerleri grafik halinde sunulmuştur.

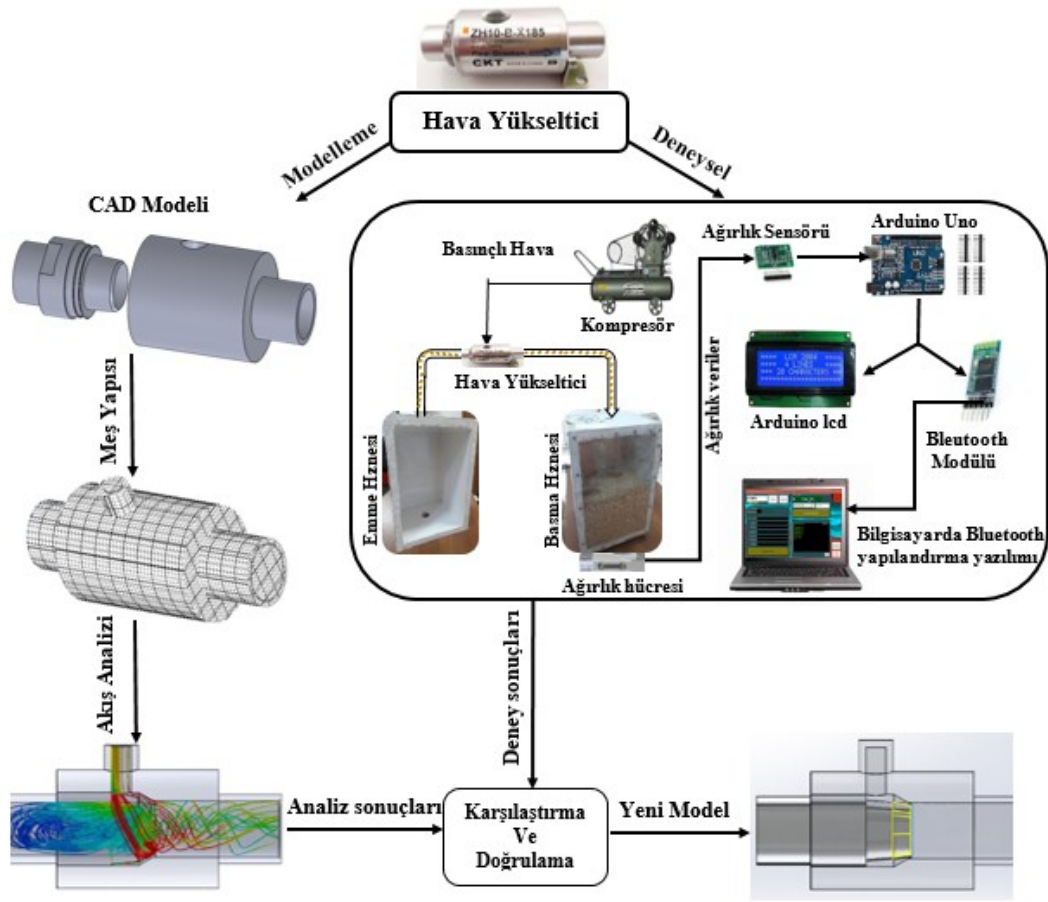
Modelleme çalışması kapsamında, pnömatik konveyör sisteminin en önemli parçası olan hava yükselticisinin boyutları hassas bir şekilde ölçülmüş ve Solidworks yazılımında parametrik olarak modellenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan hava yükseltici ile aynı boyutlara sahip olan bu model, referans model olarak isimlendirilmiştir. Referans model kullanılarak akış analizleri yapılmıştır.

Tasarım çalışması kapsamında modellenmiş olan hava yükselticinin parametreleri ve çalışma performansı dikkate alınarak yeni hava yükseltici modelleri oluşturulmuştur.

Analiz aşamasında, sonuçların doğrulanması amacıyla referans model olarak isimlendirilen ve gerçek model ile aynı boyut ve özelliklere sahip olan model kullanılmıştır. Referans model kullanılarak elde edilen analiz sonuçları deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve analiz modelinin doğruluğu teyit edilmiştir. Akış analizleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek grafik halinde sunulmuştur.

Sonuç olarak, Sonlu Elemanlar analizinden elde edilen veriler karşılaştırılarak, farklı boyut ve basınç değerleri için kullanılacak optimum transfer hızı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, ihtiyaca göre istenilen taşıma kapasitelerine ulaşabilmek için gerekli hava yükseltici tasarım özellikleri tespit edilmiş ve optimum hava yükseltici modeli belirlenmiştir.

Şekil 1.1.'de tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere tez çalışması, modelleme, tasarım, sonlu elemanlar analizi ve deneysel doğrulama adımlarını içermektedir.



Şekil 1.1. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmaları gösteren akış diyagramı.

## **BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI**

### **2.1. Taşıma Sistemleri**

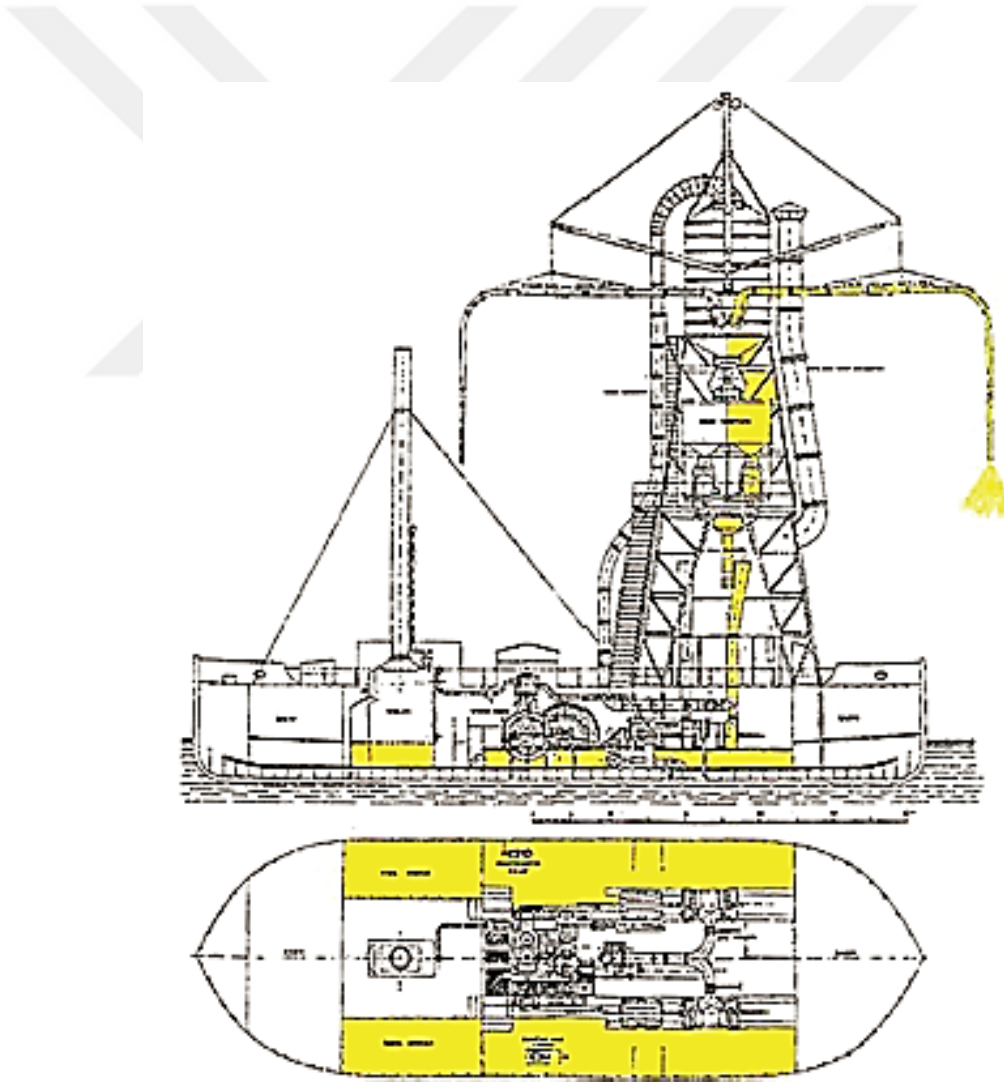
Tahıllar gibi katı maddelerin bir alandan başka bir alana transfer edilmesi birçok problemi bünyesinde barındıran araştırma konuları arasında yer almaktadır. Bu maddelerin transferinde hız, kapasite, boyut, gürültü, sağlık yönünden uygunluk gibi birçok unsur, üretimi ve maliyetleri doğrudan etkilemektedir. Bu amaçla tahıl ve benzeri granül halindeki maddelerin taşınması amacıyla farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları mekanik ve pnömatik taşıma sistemleridir. Katı maddeleri transfer etmek için ürünün boyutu, taşıma kapasitesi, uygulama bölgesi de dikkate alınarak mekanik ve pnömatik taşıma sistemleri kullanılmaktadır (De Silva ve ark., 1995; Daniyan ve ark., 2014; Milak ve ark., 2018).

#### **2.1.1. Mekanik taşıma sistemleri**

Mekanik taşıma sistemleri uzun yıllar tahılların transferinde etkili olarak kullanılmış ve halen de kullanılmaya devam etmektedir. Başlıca mekanik taşıma sistemleri arasında zincirli konveyörler, vidalı konveyörler, bantlı konveyörler, kovalı tahıl elevatörler v.b sayılabilir. Mekanik taşıma sistemleri arasında en çok tercih edilen ve etkili olan yöntem bantlı konveyörlerdir (Roberts, 1982; Vanamane ark., 2012; Sondalini, 2013).

Ancak, mekanik taşıma sistemlerinde tahılların transfer sırasında kırılması, transfer için özel biriktirme alanlarına ihtiyaç duyulması, gürültü vb. birçok problemle karşılaşmaktadır. Mekanik sistemlerin boyutunun büyük olması, sabit bir alanda

kullanıldığından esnekliğinin sınırlı mertebelerde kalması, ortamda çok fazla toz oluşmasına neden olması, taşıma sırasında tahılların bant üzerinden dökülerek kirliliğe ve kayıplara yol açması bu yöntemin en önemli dezavantajlarıdır. Bu sorunlardan dolayı transfer işlemi için farklı teknikler araştırılmaya başlanmıştır. Literatür araştırmalarına göre 1856- 1876 yılları arasında Londra, Rotterdam, Hamburg ve Leningrad limanlarında, hububatın gemilerden boşaltılması amacıyla ilk kez hava ile transfer gerçekleştirilmiş ve bu yeni yöntem pnömatik taşıma sistemi olarak isimlendirilmiştir (Henderson, 1976; Alspaugh ve ark., 2002; Klinzing, 2017). Şekil 2.1.'de 1882'de bir Rus gemisinin hububat yükünü pnömatik yöntemi ile tahliyesi gösterilmektedir.

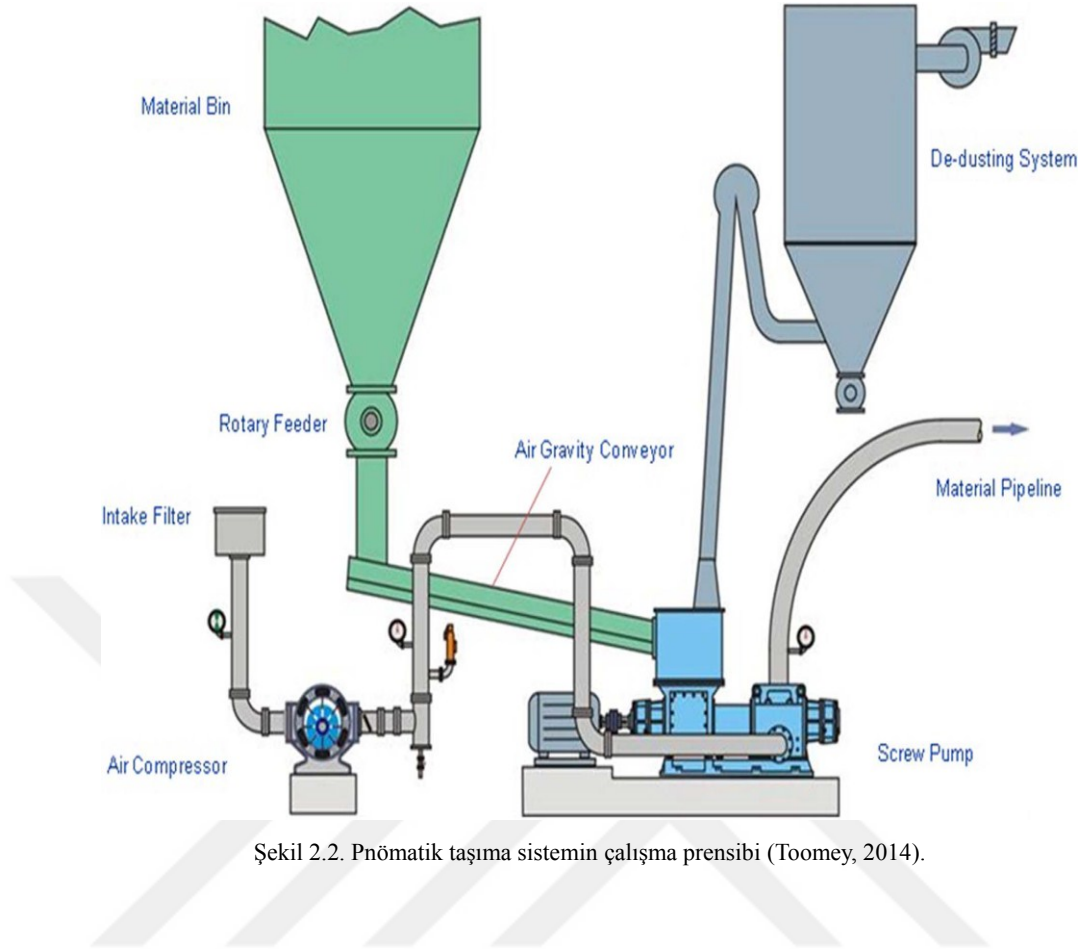


Şekil 2.1. 1882'de bir Rus gemisinde bulunan hububatın pnömatik yöntem ile tahliyesi (Klinzing, 2017).

### 2.1.2. Pnömatik taşıma sistemleri

Şekil 2.1.'de gösterilen ve borular vasıtasıyla transferin gerçekleştirildiği pnömatik taşıma sistemleri ilk olarak limanlardaki gemilerin boşaltılması amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra bu yeni taşıma yöntemi fabrikalarda ve tarımsal alanlardada kullanılmış, halen de kullanılmaya devam etmektedir. Fabrikalarda daha çok granül halindeki parçacıklar ve küçük tanecikleri bir yerden diğer yere iletmek için kullanılmaktadır. Tarımda, tahıllar, hububat, işlenmiş malzemeler, hayvan yemi peletleri, un, şeker, çay ve kahve gibi gıda ürünleri pnömatik taşıma sistemleri ile aktarılabilir (Steele, 2009; Klinzing, 2017; Ghafori ve Sharifi, 2018).

Pnömatik taşıma sistemlerinde hava, nitrojen vb. gazlar kullanılarak kapalı bir ortam içerisinde akış oluşturulup granül halindeki katı maddeler transfer edilebilmektedir. Şekil 2.2.'de genel olarak kullanılan bir pnömatik taşıma sistemin çalışma prensibi gösterilmiştir. Şekilde gösterilen pnömatik taşıma sisteminde ana parçalar olarak hava kompresörü, boru hatları, filtreler, malzeme ambarları, vidalı pompa vb, yer almaktadır (Toomey, 2014; Mills ve ark., 2004; Vasquez, 2003).



Şekil 2.2. Pnömatik taşıma sistemin çalışma prensibi (Toomey, 2014).

### 2.1.2.1. Pnömatik Taşıma Sistemlerin Sınıflandırılması

Pnömatik taşıma sistemleri için iki farklı sınıflandırma yöntemi mevcuttur. Bu sistemler faz durumuna göre veya sistemde kullanılan basınca göre sınıflandırılmaktadır. Sistemde havanın transfer edilen malzemeden daha fazla olması durumu seyrek faz, taşınan maddenin oranca daha fazla olması durumu ise yoğun faz olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, uygulanan basıncına göre bu sistemleri pozitif ya da negatif basınçlı sistemler olarak da isimlendirilmektedir. Bu sistemlerin her birinde kendine özgü kullanım alanları bulunmaktadır (Klinzing ve ark., 2010).

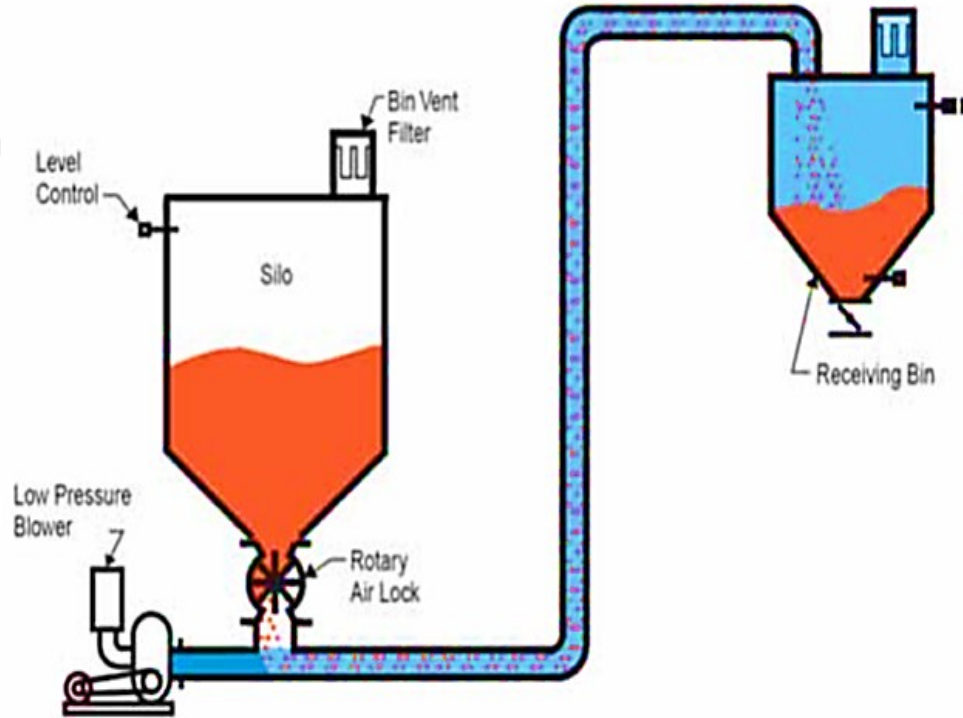
#### 2.1.2.1.1. Faz durumuna göre sınıflandırılma

Pnömatik konveyör sistemleri çalışma prensiplerine göre iki bölümde sınıflandırılmaktadır. Bunlar seyrek fazlı ve yoğun fazlı taşıma sistemleridir. Şekil

2.3.'te ve Şekil 2.4.'te gösterildiği gibi yoğun fazlı ve seyrek fazlı sistemlerin arasında, kullanılan parçalar farklılık göstermektedir (Mills ve ark., 2004; Kody ve ark., 2013).

#### 2.1.2.1.1.1. Seyrek faz

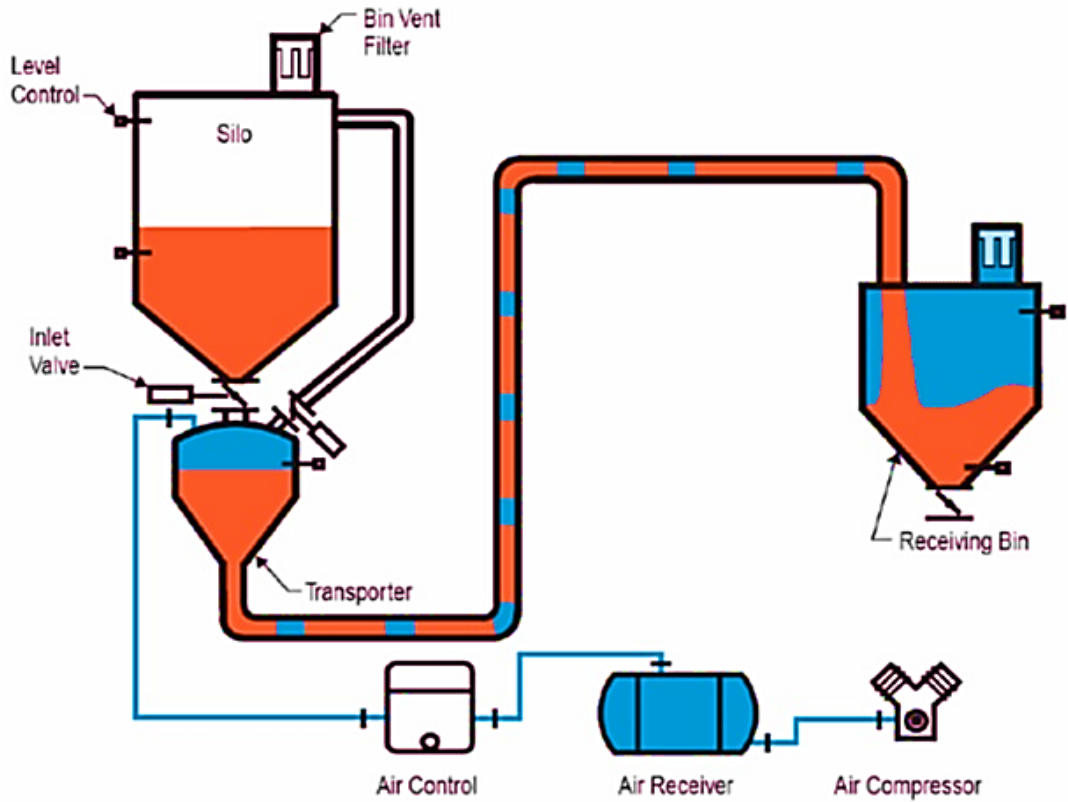
Seyrek fazlı taşıma sisteminde basınçlı hat içindeki gaz (hava), malzemeye oranla daha fazla bulunmaktadır. Seyrek fazlı taşıma sisteminde düşük basınç uygulanmasına karşın taşıma hızı yüksektir. Şekil 2.3.'te seyrek fazlı taşıma sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. Seyrek fazlı taşıma biçiminde düşük basınç uygulanır, taşıma hızı ise yüksektir (Mills ve ark., 2004; Tripathi, 2017; Zhou, 2017).



Şekil 2.3. Seyrek fazlı sistemlerinin çalışma prensibi (kimia Bespar Company, 2015).

#### 2.1.2.1.1.2. Yoğun faz

Yoğun fazlı sistemler, tozlar veya granüller için en yaygın taşıma yöntemlerinden biridir. Şekil 2.4.'te Yoğun fazlı sistemlerinin çalışma prensibi gösterilmiştir. Şekil 2.4.'te gösterilen yoğun fazlı taşıma sisteminde basınçlı hat içindeki gaz (hava), malzemeye oranla daha az bulunmaktadır. Yoğun fazda, partiküller taşınan basınçlı hat içerisinde de asılı kalmaz. Yoğun fazlı taşıma biçiminde yüksek basınç uygulanır ancak taşıma hızı düşüktür (Mills ve ark., 2004; Va'squez, 2003).



Şekil 2.4. Yoğun fazlı sistemlerinin çalışma prensibi (kimia Bespar Company, 2015).

### 2.1.2.1.1.3. Faz durumunun belirlenme yöntemi

İlgili makalelerde ve akademik yayınlarda faz çeşitlerinin tanımlanmasında çok sayıda görüş ve fikir ayrılığı tespit edilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında basınçlı hava hızına göre faz çeşidinin belirlenmesi metodu kabul edilmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasında seyrek fazlı taşıma sistemleri incelenmiştir (Mills ve ark., 2004; Bilirgen, 2001; Va'squez, 2003).

Yukarıda anlatılan iki taşıma fazı arasındaki farkın belirlenebilmesi için çeşitli akademik görüşler mevcuttur. Bu görüşler arasından iki tanesi kabul görmektedir. Bu görüşlerden birincisi, hat içerisindeki kütle akış hızının, basınçlı gazın kütle akış hızına oranına göre faz çeşidini belirlemektedir. İkinci görüşe göre ise basınçlı hava hızına göre faz çeşidi belirlenmektedir (Bilirgen, 2001).

#### **2.1.2.1.2. Basınca göre sınıflandırma**

Pnömatik konveyör sistemleri uygulanan basınç çeşidine göre pozitif basınçlı ve negatif basınçlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu sistemleri üfleli ya da vakumlu sistemler olarak da adlandırılmaktadır. Bu iki yöntemde kendine has kullanım alanları vardır (Mills ve ark., 2004).

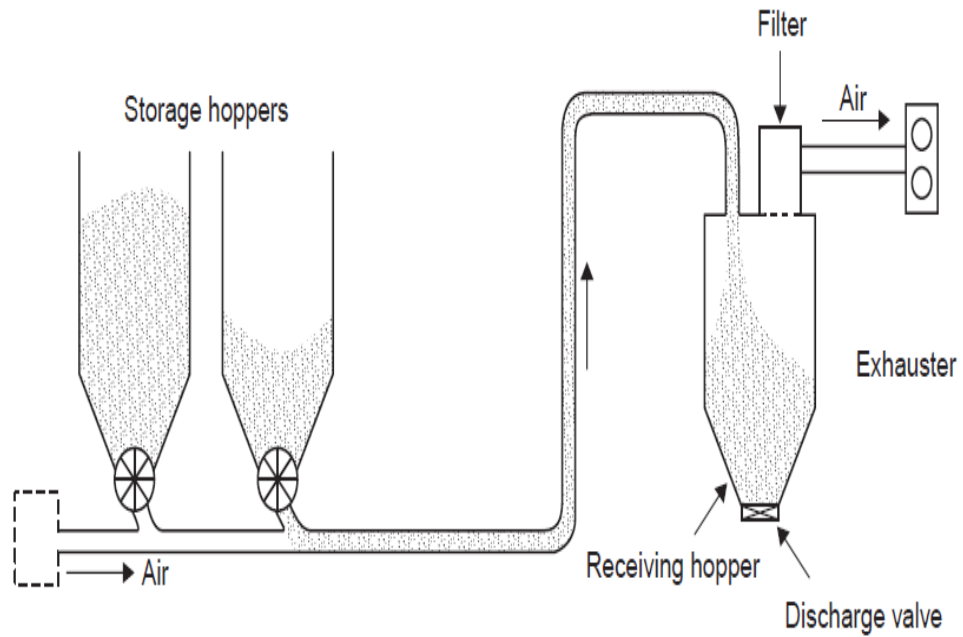
##### **2.1.2.1.2.1. Negatif basınç sistemler**

Vakum iletim veya absorpsiyon olarak da bilinen bu tür sistemlerde, sistemlerin içindeki gaz basıncı doğal atmosfer basıncından düşüktür. İletim mekanizması, boruların içerisindeki havanın aspiratör tarafından absorbe edileceği şeklindedir, böylelikle borudaki hava basıncı negatif olur.

Bu yöntemde iletim uzunluğu 300 metreden az, taşıma yüksekliği ise maksimum 20 metredir. Evlerde kullanılan elektrikli süpürgeler negatif basınç yöntemi ile malzeme iletiminin en basit örneğidir. Bu tür sistemler genellikle temizleme ve malzeme boşaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu taşıma sistemi Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.

Şekil 2.5.'te gösterilmiş olduğu gibi negatif basınçlı taşıma sistemlerin ana bileşenleri aşağıda sıralanmaktadır (Bilirgen, 2001; Mills ve ark., 2004).

- Depolama hazneleri; taşınan malzemeleri taşınmadan önce depolama amacıyla kullanılmaktadır. Bu haznelerin diğer bir deyişle, gönderim hazneleri veya gönderim istasyonu olarak adlanmaktadır.
- Alım hazneleri; bu hazneler ise taşıma esnasında aktarılan malzemeleri almak amacıyla kullanılmaktadır.
- Bu taşıma sistemlerde alım haznesinin üzerinde hava filtresi kullanılmaktadır.
- Pnömatik taşıma sistemlerinin en önemli parçası ise hava yönlendiricilerdir. Negatif basınçlı sistemlerde hava yönlendirici olarak aspiratör (exhauster) kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan aspiratör, boruların içindeki hava veya kullanılan gazı emerek, aktarılan malzemelerin vakumla taşınmasını sağlamaktadır. Bu hava yönlendiriciler, taşıma esnasında boruların içindeki hava veya her hangi gazı dışarıya yönlendirmek amacıyla kullanılır.

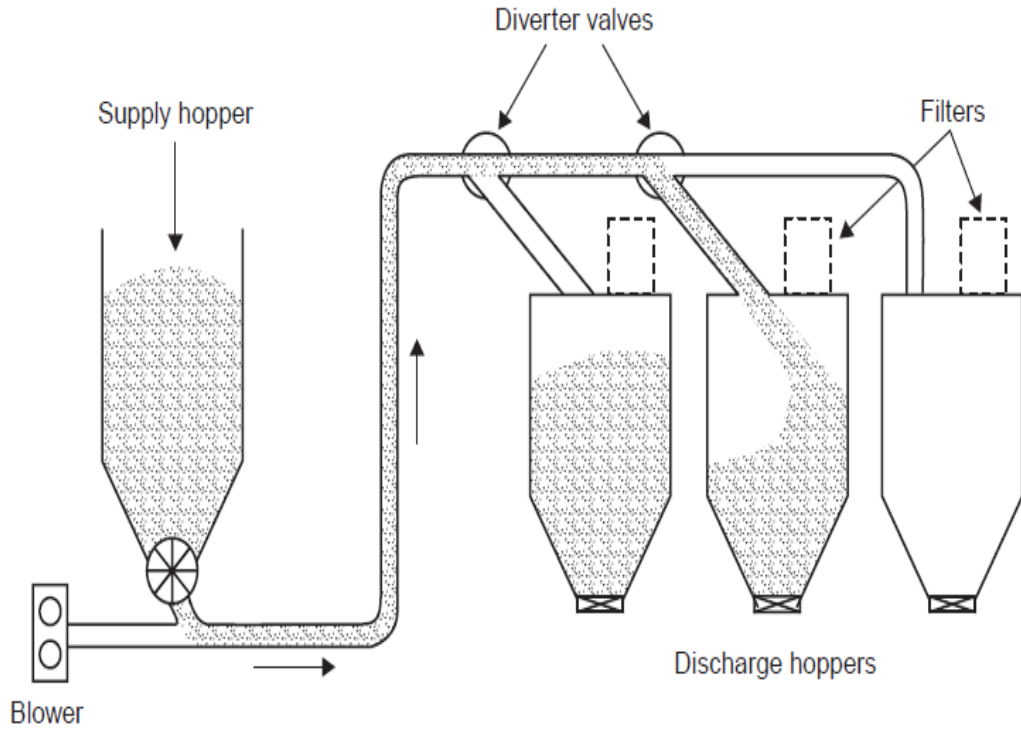


Şekil 2. 5. Negatif basınçlı taşıma sistemi (Mills ve ark., 2004).

#### 2.1.2.1.2.2. Pozitif basınç sistemler

Hava aktarım sistemi olarak bilinen bu tür sistemlerde, taşıma esnasında sistemin taşıyıcı borusundaki gazın basınç değeri her zaman atmosfer basıncından daha yüksektir (Ratnayake, 2005 Mills ve ark., 2004).

Şekil 2.6.'da pozitif basınçlı pnömatik taşıma sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir. Şekilde gösterilen sistemin çalışma prensibi, basınçlı hava taşıyıcı boruya dışarıdan gönderilerek (borunun iç kısmında basınç pozitifdir) ve aktarılan materyaller sistemin içindeki hava boşluğu ile borunun ucuna aktarılmaktadır; parçacıkların havadan ayrılması için bir ayırma cihazı bulunmaktadır. Bu yöntemde taşıma mesafesi 300 ila 1000 metre arasındadır. Bu yöntem, özellikle malzemenin bir noktadan beslenmesi ve çok noktaya malzeme aktarımı yapılan sistemlerde kullanılmaktadır (Ratnayake, 2005).



Şekil 2.6. Pozitif basınçlı taşıma sistemi (Mills, 2004).

Pnömatik taşıyıcı sistemlerde; yükseklik değişiklikleri, katı ivmelenmesi, gaz sürtünme kayıpları, katı maddeler sürtünme kayıpları, kıvrımlar, dirsekler ve bağlantı parçaları basınç kaybına yol açmaktadır. Basınç kaybı çok olan iletim hatlarında

pozitif ve negatif basınçlı sistemler aynı anda kullanılabilir. Malzeme besleme noktasında pozitif basınç jeneratörü hedef noktada ise negatif basınç jeneratörü kullanılarak iletim hat uzunluğu veya iletim hızı yükseltilebilir.

#### **2.1.2.2. Pnömatik taşıma sistemlerinin avantajları**

Pnömatik taşıma sistemi ile parçacıkların ve katı maddelerin aktarılması, diğer malzeme taşıma sistemlere göre çok sayıda avantajı bulunmaktadır. Ayrıca, belirli şartlar altında diğer taşıma yöntemlerine ciddi bir rakip olarak görülmektedir. Bu avantajların en önemli olanlar aşağıda sayılmaktadır (Silva, 1995; Guner, 2007; Klinzing ve ark., 2010).

- Uzun mesafeler arasında malzeme taşıma; İki uzun aktarım noktası arasındaki mesafeler için en uygun sistemlerdir.
- Değişen yönlerde malzeme taşındığı durumlarda; yön değişikliğinin olduğu şartlarda pnömatik taşıma sistemleri esnek ve taşınabilirlik kabiliyeti yüksek olduğundan, zaman sarfiyatını ve kurulan sistemin maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır.
- Bu sistemlerin bakım maliyetleri diğer taşıma yöntemlerinden daha azdır.
- Bu sistemlerde aktarılan malzemeler kapalı bir alanda aktarıldığından, toz ve çevre kirliliği en düşük seviyededir.
- Çalışma sırasında sistemin gürültüsü ve aktarılan ürünün kırılması durumu diğer yöntemlerden daha azdır.
- İş güvenliği; pnömatik taşıma sistemlerde hareketli parçaların sayısı daha azdır, ayrıca malzemeler kapalı bir alanda taşınmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çalışma esnasında çalışanlar iş kazaları görmemektedir.

#### **2.1.2.3. Pnömatik taşıma sistemlerin dezavantajları**

Pnömatik taşıma sistemleri, önemli avantajlarına rağmen bazı dezavantajlarına sahiptir. Aşağıda verilen dezavantajlardan dolayı pnömatik taşıma sistemleri her alanda kullanılamamaktadır (De Silva, 1995; Guner, 2007; Klinzing ve ark., 2010).

- Pnömatik sistemlerde malzemelerin boru içerisinde iletmesini sağlamak için basınçlı hava kullanılmaktadır. Basınçlı havayı temin etmek için bir kompresör bulunması zorunludur.
- Basınçlı hava ile sisteme nem ve istenmeyen gazlar girer ve sistemin parçalarında veya taşınacak malzemelerde bozulmaya neden olmaktadır.
- Pnömatik taşıma sistemlerinin bazı yöntemlerinde enerji tüketimi yüksektir. Özellikle kurulmuş olan sistem en uygun şekilde tasarlanmadığı durumlarda enerji tüketimi yüksektir
- Bu sistemlerin diğer dezavantajı taşınabilir partikül ağırlığının limitli olmasıdır.

## 2.2. Hava Yükseltici Sistemleri

Pnömatik sistemlerin çok sayıda avantajları bulunmasına rağmen dezavantajlarında bulunmaktadır. Bu sistemlerin büyük olması, kurulum maliyetinin yüksek olması, esnek olmaması ve fazla güç tüketmesi gibi problemlerle karşılaşılmaktadır. Bu problemleri çözmek için daha küçük alanlarda çalışabilen ve hava yükseltici olarak adlandırılan cihazlar kullanılmıştır (Okano ve ark., 1991; Dumas, 2011).

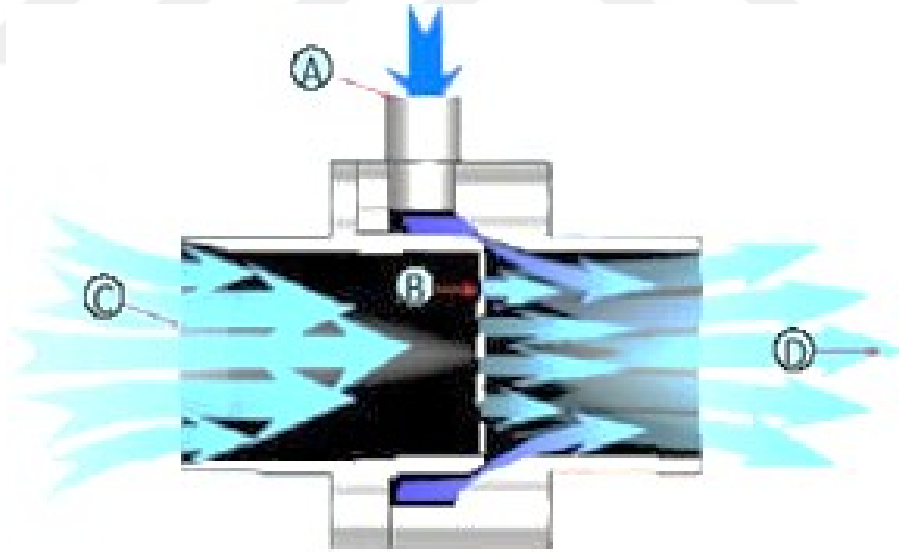
Hava yükselticiler bir çeşit enerji dönüştürücülerdir. Farklı endüstrilerin ihtiyacına göre ve kullanım türüne bağlı olarak farklı tipleri vardır. Bu hava yükselticiler adından da anlaşıldığı gibi giren hava hızını yükseltmektedir. Bu sistemler Venturi Etkisini kullanarak sıkıştırılmış havanın yüksek basıncını daha düşük basınçta yüksek debiye dönüştürmektedirler. Hava yükselticilerin bu kabiliyeti sayesinde boru içinde bir vakum etkisi oluşturarak granül halindeki malzemeleri uzun mesafede yüksek kapasiteli olarak iletmektedir (Lubomirsky ve ark., 2001).

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak hava yükselticiler de zaman içerisinde hızla gelişmeye devam etmiş ve hava bıçakları, hava süpürücüler, hava tabancaları gibi birçok yeni ürün geliştirilmiştir. Bu taşıyıcıları kullanmanın en önemli avantajı, farklı koşullar altında, farklı yerlerde esneklik, taşınabilirlik ve kullanım kolaylığıdır. Bu

avantajlar sayesinde, farklı iletim borularının uzunluğunda ve farklı yüksekliklerde malzemeleri taşınmasını mümkün kılmaktadır (Bakos, 2013; Lee, 2014).

### 2.2.1. Negatif basınçla çalışan hava yükselticiler

Pnömatik sistemler ise, üfleme ve vakum olmak üzere iki farklı şekilde çalışmaktadır. Tahılların daha verimli ve hasarsız bir şekilde taşınmalarını sağlamaktadır. Bu çalışmada özellikle, vakum ile çalışan pnömatik taşıma sistemleri araştırılmıştır. Endüstriyel hava yükselticiler (air amplifier); bir basınçlı hava kaynağı (kompresör) kullanarak (A noktasına giren), venturi etkisi vasıtasıyla, boru hattı içerisinde (B noktada) vakum oluşturan, ve bu vakum sayesinde granül veya toz halindeki katı maddelerin iletim hattı boyunca C noktasından D noktasına taşınmasını sağlayan üründür. Şekil 2.7.'de hava yükselticinin çalışma prensibi gösterilmektedir (Lee, 2014).



Şekil 2.7. Hava yükselticinin çalışma prensibi. (nex flow air corporation, 2017)

#### 2.2.1.1. Sistemin çalışma prensibi

Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi A noktasından basınçlı hava girmekte ve çap değişiminin olduğu pah olarak adlandırılan dairesel boşluktan geçmektedir. Hava

pahtan geçtiğinde havanın basınç değeri hızlı bir şekilde düşmekte ve hava hızı artmaktadır. Bu kabiliyet sayesinde B noktasında bir vakum etkisi uluştırarak granül halindeki mazemeler C noktasından D noktasına doğru iletilmektedir (Lee, 2007; Zhang, 2011).

### 2.2.1.2. Sistemlerin avantajları

Vakum ile çalışan sistemlerin diğer pnömatik sistemlere göre önemli avantajları vardır. Bu avantajları aşağıda listelenmiştir.

- Vakum ile çalışan sistemlerin önemli avantajlarından biri, maliyeti ve bakım masraflarının düşük olmasıdır.
- Bu yöntemin diğer popüler pnömatik taşıma yöntemlerine göre en önemli farkı ve avantajı sistemin taşınabilirliği ve esnekliğidir.
- Bu taşıma sistemleri çalışma esnasında diğer sistemlere göre daha güvenlidir. Hareketli parçaları bulunmadığından kaza ihtimali düşüktür.
- Elektrik çarpması riski bulunmamaktadır.
- Ayrıca, bu yöntemin diğer bir avantajı ise sıkıştırılmış olarak gelen havanın büyüklüğünü değiştirerek malzemelerin isteğe bağlı hızlandırılabilmesidir.

### 2.2.1.3. Sistemlerin dezavantajları

Vakum ile çalışan sistemlerin diğer pnömatik sistemlere göre önemli avantajları olmasına karşın bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu sistemlerin dezavantajları aşağıda sıralanmıştır (Santo ve Ark., 2018; Yang ve Kuan, 2006).

- Bu sistemin diğer pnömatik taşıma sistemlerine göre en önemli dezavantajlarından biri düşük kapasiteli ve limitli olmasıdır.
- Vakum ile çalışan sistemlerin ikinci önemli dezavantajı ise boru içerisinde oluşan nem ve rütübetten önemli derece etkilenmesidir. Bu nem ve rütübet, hava yükselticine giren basınçlı havadan kaynaklanmaktadır.

- Bu sistemlerin diğer dezavantajı, taş gibi ağır taneciklerin taşınması için uygun olmamasıdır.



## **BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA**

### **3.1. Giriş**

Deneysel çalışmada mevcut hava yükselticinin performansını ölçmek ve analiz etmek için ihtiyaç duyulan başlangıç verilerini elde etmek amacıyla deney düzeneği tasarlanmıştır. Deneysel çalışmada hava yükseltici çapı 15.5mm olarak sabit tutulmuş, basınç değeri ise 4, 5, 6 ve 7 bar olmak üzere 4 farklı değerde uygulanmıştır.

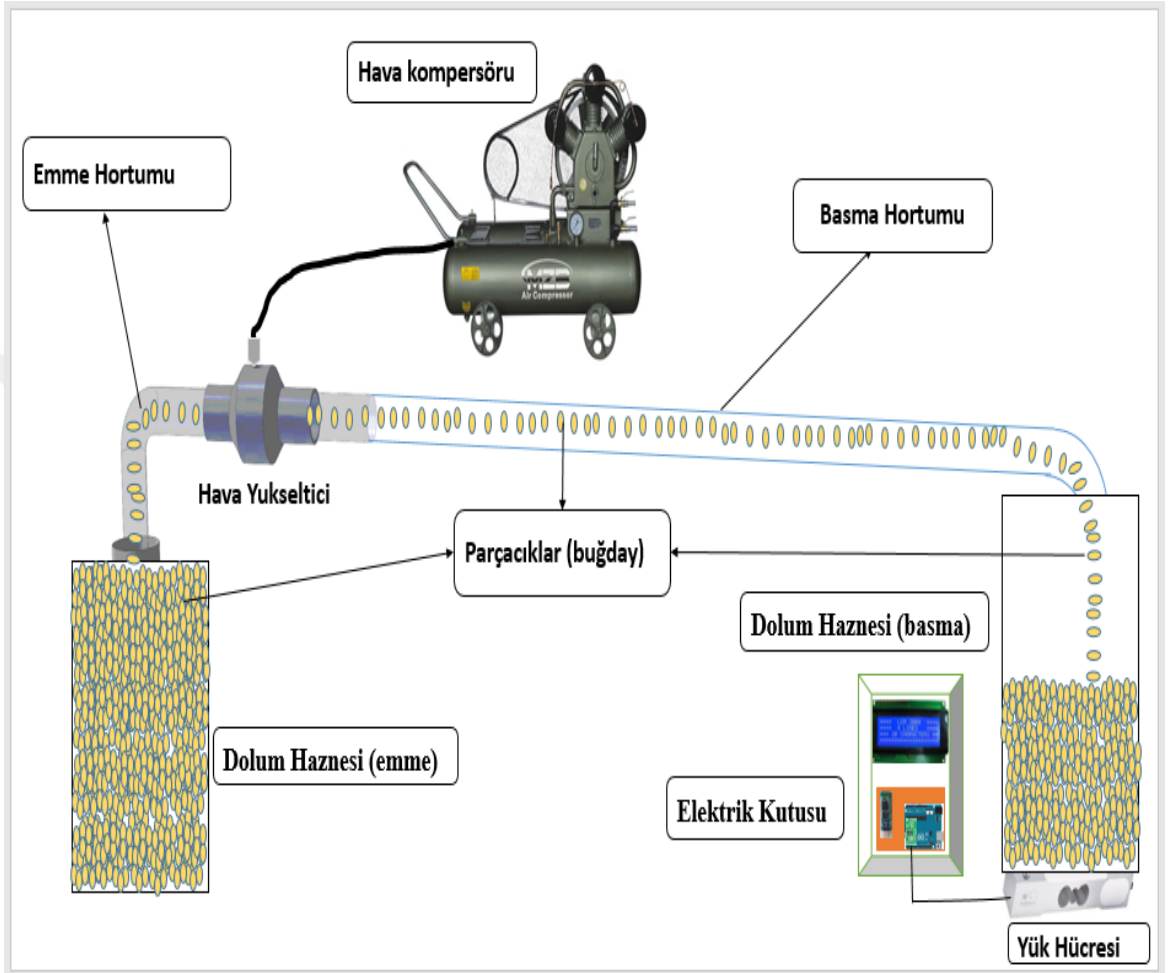
### **3.2. Deneysel Çalışmanın Amacı**

Deneysel çalışmada hava yükselticinin performansı deneysel olarak incelenmiş ve performansa etki eden parametreler ve değerleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışmada, 15,5mm çapında hava yükseltici ile buğday, kuru fasulye ve bulgur dört farklı basınç altında transfer edilerek kırılma, gürültü, toz, güvenlik ve taşıma kapasiteleri değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler ışığında sistemin SE modeli kurulmuş ve deneysel verilerle SE çalışmasından elde edilen veriler karşılaştırılarak SE modeli doğrulanmıştır. Deneysel çalışmanın diğer aşamasında emme hortumunun uzunluğunun aktarım süresine etkisi incelenmiştir. Bu nedenle, 4 farklı uzunlukta (50cm, 100cm, 150cm ve 200cm) emme hortumu kullanılmıştır. Bu aşamasında geometrik parametreler arasında yer alan hava yükselticinin çapı ve çalışma parametreleri arasında yer alan hava basıncı sabit tutulmuştur.

### **3.3. Deney Düzeneği Tasarımı ve İmalatı**

Şekil 3.1.'de Deneysel çalışmada kullanılmak amacıyla tasarlanmış deney düzeneğine ait sembolik bir görsel verilmiştir. Deney düzeneği, mevcut hava yükselticinin performansının ölçülmesi ve analiz sonuçlarının doğrulanması amacıyla

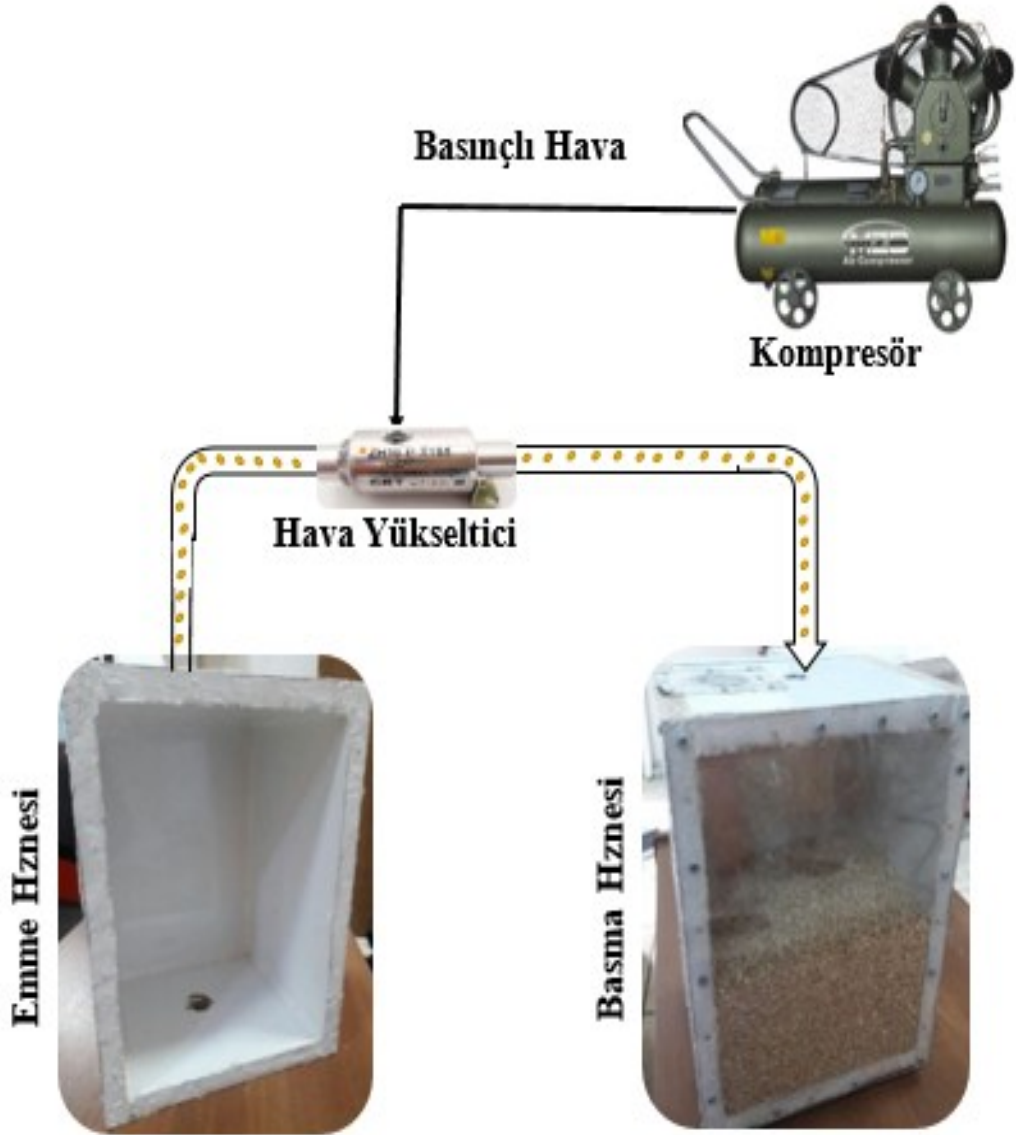
kullanılmıştır. Deneysel çalışma sırasında 3 farklı ürün, 4 farklı basınç değerinde transfer edilmiş ve hava yükselticinin performansı ölçülmüştür. Daha sonra bu veriler sonlu elemanlar analizlerinin doğrulanmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Hava yükselticinin performansını ölçmek için tasarlanan deney düzeneği.

### 3.3.1. Mekanik aksamlar

Deney düzeneyinde mekanik aksamlar olarak adlandırılan farklı boyutlarda hortumlar, dolum hazneleri, gövde, hava kompresörü gibi ekipmanlardan oluşan ünitenin en önemli parçası hava yükselticidir. Mekanik aksamlar hava yükselticinin kapasitesi dikkate alınarak seçilmiştir. Şekil 3.2.'de deney düzeneğin mekanik akasamları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Deney düzeneğinin mekanik aksamaları

### 3.3.1.1. Hortumlar

Çok sayıda deney yapabilmek ve daha çok özelliği test edebilmek için, farklı uzunluklarda hortumlar kullanılmıştır. Bu hortumlar hava yükselticinin giriş ve çıkış bölgesine yerleştirilerek emme ve basma amacıyla farklı deneylerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Kullanılan hortumların çapları hava yükselticinin giriş ve çıkış bölgesindeki çap değerine göre seçilmiştir.

Emme hotumun bir ucu emme haznesinin altında yer alan deliğe takılıp ve diğer ucu ise hava yükselticinin giriş kısmına bağlanmaktadır. Basma hotumun bir ucu hava yükselticinin çıkış bölgesine ve diğer ucu ise basma dolum haznesinin üst kısmında yer alan deliğe takılmaktadır.

### 3.3.1.2. Dolum hazneleri

Deney düzeneği ile aktarılan malzemeleri emme ve basma bölgelerinde depolamak amacıyla, 20 kilogram kapasiteye sahip olan iki adet dolum haznesi (emme ve basma) kullanılmıştır.

Şekil 3.3.'de basma dolum haznesi gösterilmiştir. Bu çalışmada aktarım sırasında kullanılmak üzere buğday seçilmiştir. Buğday bu tip silolarda en çok transfer edilen tahıllar arasında yer almaktadır. Bu nedenle başlangıç denemeleri buğday ile yapılmıştır.



Şekil 3.3. Basma dolum haznesi

Deneysel çalışmada, aktarılan malzemeleri, aktarılmadan önce depolama ve sonra hava yükseltici ve borular vasıtasıyla basma dolum haznesine transfer etmek amacıyla emme dolum haznesi kullanılmaktadır. Deney esnasında ilk olarak emme

haznesi malzeme ile doldurulmakta Daha sonra emme haznesinin altına takılan emme hortumu ve hava yükseltici vasıtasıyla basma bölgesine aktarılmaktadır. Şekil 3.4.'te emme dolum haznesi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Emme dolum haznesi

### 3.3.1.3. Gövde

Gövde, mekanik akşamların ve elektronik akşamların monte edildiği ve deney düzeneğinin kurulduğu ünedir. Aktarılan malzeme miktarının hassas bir şekilde belirlenmesi amacıyla, basma haznesinin altına yük hücresi yerleştirilmiştir.

### 3.3.1.4. Kompresör

Hava kompresörü, deneysel çalışma sırasında ihtiyaç duyulan basınçlı havanın temin edilmesi sırasında kullanılan önemli mekanik akşamlardan bir tanesidir. Hava yükselticinin çalışması için ihtiyaç duyulan basınçlı hava bu ünite tarafından sağlanmaktadır. Burada ihtiyaç duyulan çalışma basıncı 8 bardır ve bu basıncı sağlayabilecek herhangi bir kompresör çalışmada kullanılabilir. Bu çalışmada farklı basınç değerlerinde hava sağlayabilen basınç ayarlı bir kompresör kullanılmıştır.

### 3.3.1.5. Hava Yükseltici

Deneysel çalışmada, deney düzeneğinin ana parçası hava yükselticidir. Deney yapmak amacıyla piyasada ticari olarak temin edilebilen CKT firmasına ait ZHB10-B-X185 model numaralı hava yükseltici satın alınmış ve bu hava yükselticiye uygun bir test düzeneği tasarlanmıştır. Daha sonra hava yükselticinin performansı deneysel olarak incelenmiş ve performansa etki eden parametreler ve değerleri tespit edilmiştir. Şekil 3.5.'te Deneysel çalışmada kullanılan hava yükseltici gösterilmiştir.

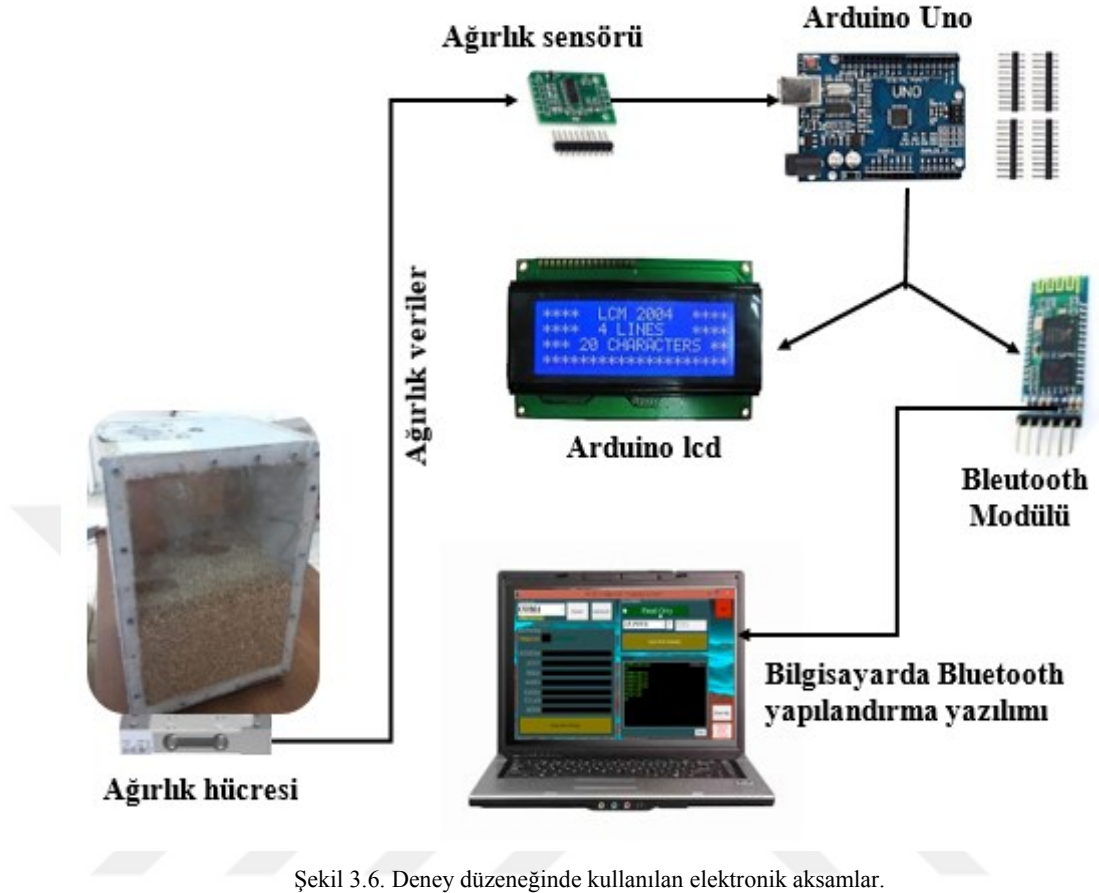


Şekil 3.5. Deneysel çalışmada kullanılan hava yükseltici (ZHB10-B-X185 modeli)

### 3.3.2. Elektronik aksamalar

Elektronik aksamalar, deneysel verilerin bir bilgisayarda toplanması ve görüntülenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Elde edilen verilerin bilgisayara, cep telefonuna yada başka bir elektronik cihaza aktarılması amacıyla bluetooth modülü kullanılmıştır.

Deney düzeneğinde kullanılan elektronik parçalar, yük hücresi, ağırlık sensörü, Aduino kiti, HC 05 Bluetooth modülü, Arduino 20x4 Lcd I2c, elektrik kutusu ve kablolardan oluşmaktadır. Şekil 3.6.'da deney düzeneğinde kullanılan elektronik aksamalar gösterilmektedir.

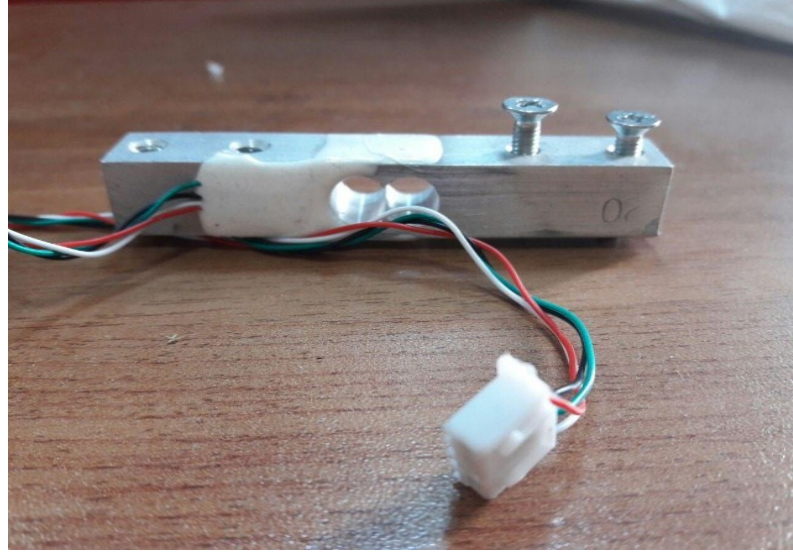


Şekil 3.6. Deney düzeneğinde kullanılan elektronik aksamlar.

### 3.3.2.1. Yük Hücresi

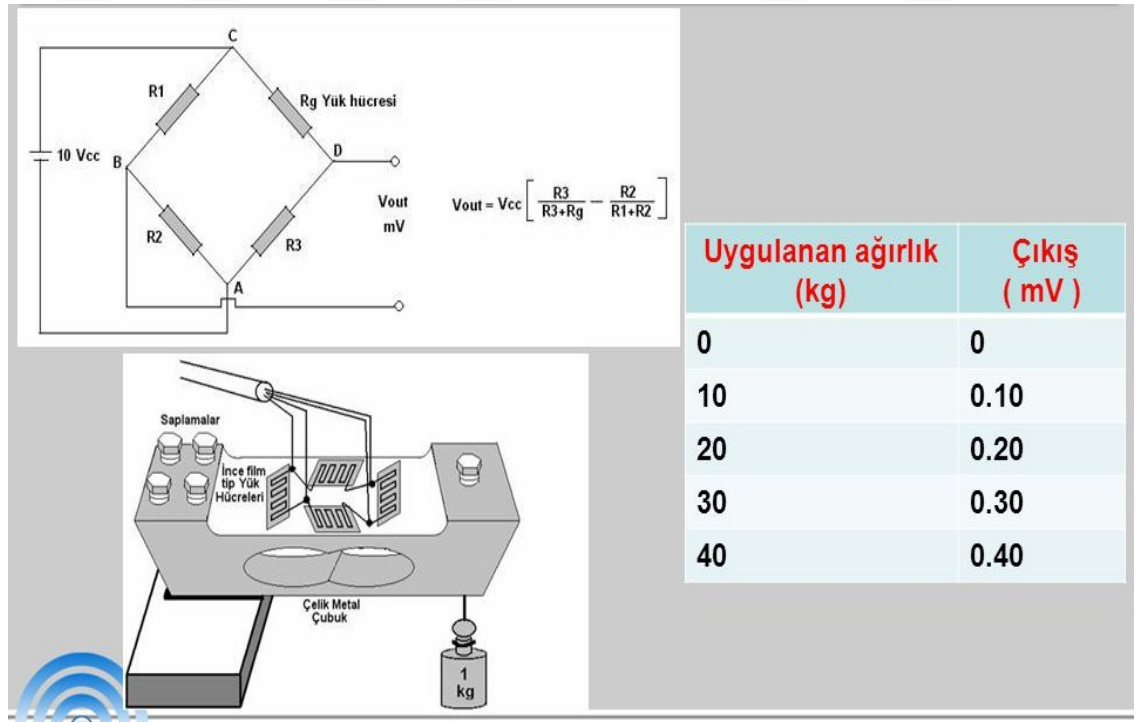
Deneysel çalışma sırasında transfer edilen katı miktarını hassas bir şekilde tartabilmek için dolum haznesinin altına 20 kg tartma kapasitesine sahip bir yük hücresi yerleştirilmiştir. Bu sayede emme haznesinden taşınan katı maddelerin miktarı zamana bağlı olarak  $\pm 1$ g hassasiyetle tespit edilmiştir.

Şekil 3.7.'de deneysel çalışmada kullanılan yük hücresi gösterilmiştir. Bu yük hücresi, basma haznesinin altına yerleştirilerek anlık ölçüm almakta ve elde edilen verileri bilgisayar yâda cep telefonuna göndererek ağırlık değişimlerini hesaplamaktadır.



Şekil 3.7. Dolum haznesi altında kullanılan ağırlık hücresi

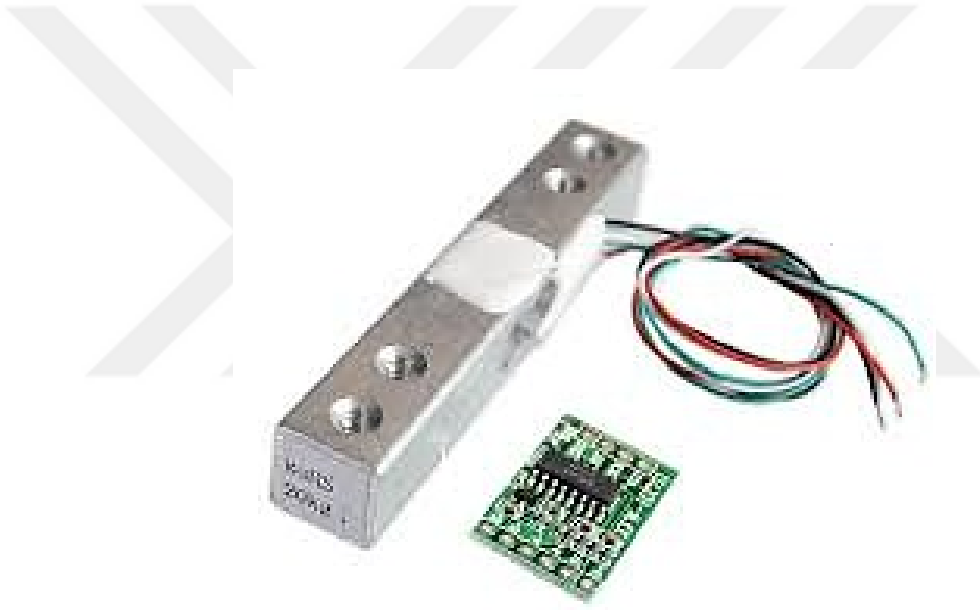
Denylerde kullanılan yük hücresinin çalışma prensibi Şekil 3.8.'de verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi yük hücresi dengeli bir Wheatstone köprüsü biçiminde yerleştirilmiş ağırlık sensörlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.8. Denysel çalışmada kullanılan yük hücresinin çalışma prensibi.

### 3.3.2.2. HX711 Ağırlık Sensörü

Ağırlık sensörü, yük hücresinin ölçtüğü ağırlıkları sensöre gönderen bir mikroçip ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Bu mikroçip, özellikle yük hücresinden gelen sinyalleri almak ve bu alınan sinyalleri başka bir mikrodenetleyiciye rapor etmek amacıyla tasarlanmıştır. Ağırlık sensörü bu ölçülen ağırlık verilerini arduino kitine göndermekte ve anlık debi kontrolü yapılmaktadır. Başka bir deyişle, ağırlık sensörü, Arduino'ya ne kadar ağırlığın ölçüldüğü bilgisinin iletmesini sağlar. HX711 ağırlık sensörü bu dijital verileri arduino kitine I2C protokolü kullanılarak, seri halde göndermektedir. Şekil 3.9.'da Yük hücresi ve ağırlık sensörü gösterilmiştir.

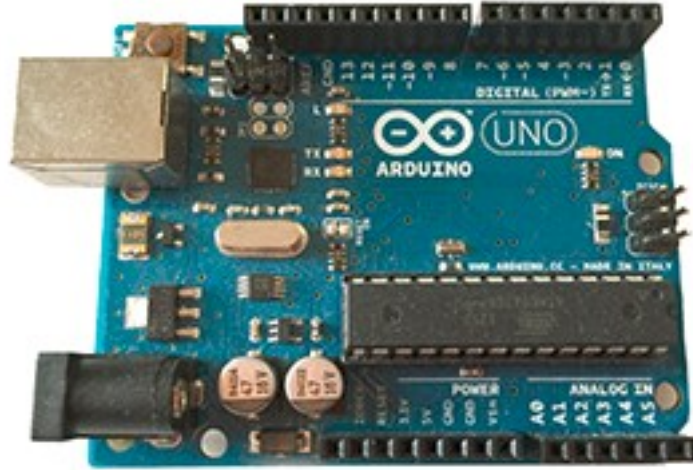


Şekil 3.9. Yük hücresi ve ağırlık sensörü

### 3.3.2.3. Arduino Uno

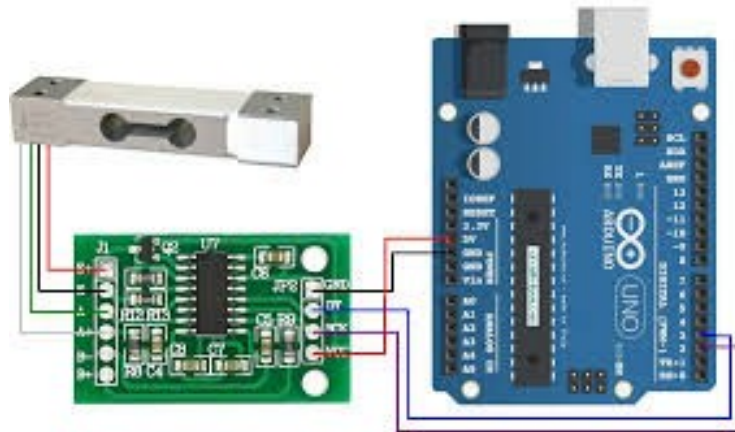
Arduino, belli donanımların uygun yazılımlarla kontrol edilerek hızlı ve uygun fiyatlı çözümlerin sunulduğu açık kaynaklı bir elektronik platformdur. Arduino kitinin en önemli özelliği, çok yönlülüğü ve kullanım kolaylığıdır. Arduino kiti kullanılırken kitin üzerindeki mikrodenetleyiciye gerekli talimatlar gönderilerek yapılacak iş

tanımlanmaktadır. Bunu yapmak için, Arduino programlama dili ve İşleme dayalı Arduino Yazılımı (IDE) kullanılmaktadır. Şekil 3.10.'da Aduino Uno gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Arduino Uno (Culkin ve Hagan, 2017)

Şekil 3.11.'de ise, Arduino Uno kiti, yük hücresi ve ağırlık sensörü, elektronik devre bağlantıları ile birlikte gösterilmiştir.

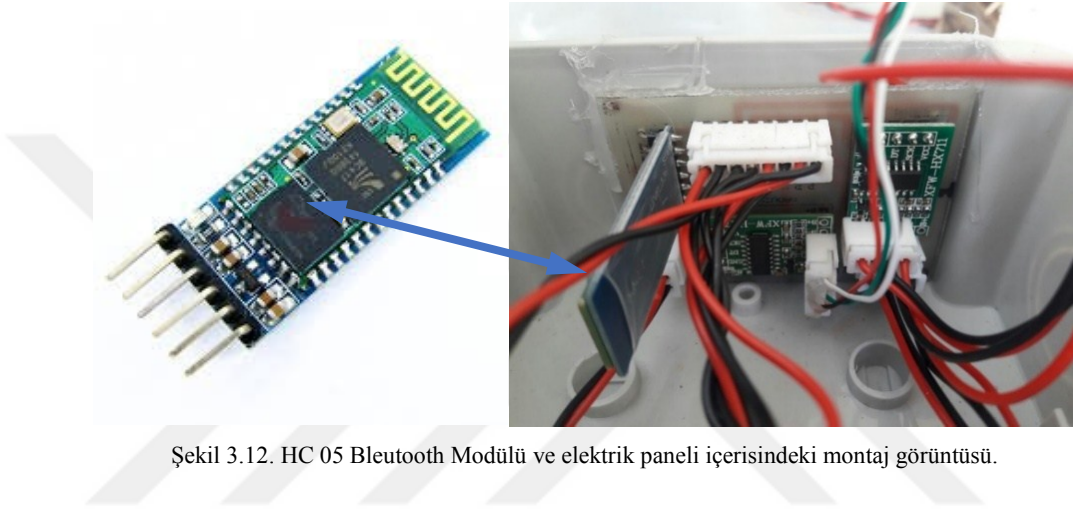


Şekil 3.11. Arduino Uno, Ağırlık hücresi ve sensörü

#### 3.3.2.4. HC 05 Bluetooth Modülü

Bluetooth, bilgisayarlar, cep telefonları ve diğer taşınabilir el cihazları arasında bağlantı sağlayan küçük bir elektronik elemandır. HC 05 Bluetooth modülü,

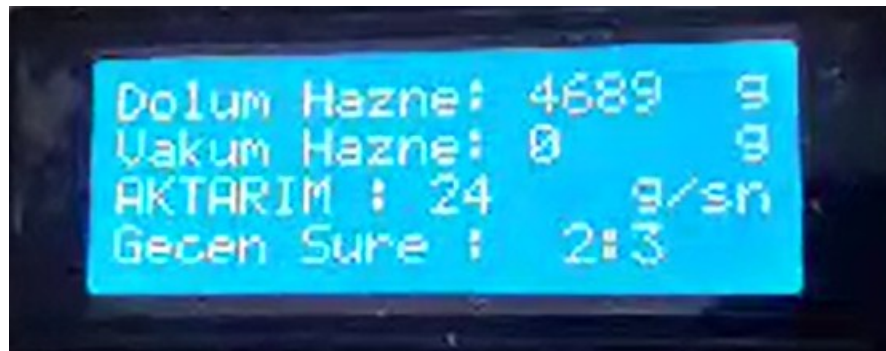
arduino uno ile elektronik cihazlar arasında bağlantı kurar. Bluetooth modülü, cep telefona ve ya bilgisayar ile mikrodenetleyici arasında bir arayüz olarak çalışmaktadır. Genellikle, HC-05 Bluetooth modülü alıcı veya verici olarak kullanılabilir. Bu çalışmada kurulmuş deney düzeneğinde, kullanılan Bluetooth modülü verici olarak çalışırken akıllı telefon ve bilgisayar alıcı görevi görmektedir. Şekil 3.12.'de HC 05 Bluetooth Modülü elektrik paneli içerisinde montaj halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.12. HC 05 Bluetooth Modülü ve elektrik paneli içerisindeki montaj görüntüsü.

### 3.3.2.5. Arduino 20x4 Lcd I2c

Deneysel çalışma sırasında yapılan işlemleri ve ölçümleri görüntülemek için 20x4 LCD ekran olarak isimlendirilen ve bir satırda 20 karakter görüntüleyebilen ve toplamda 4 satırdan oluşan bir LCD ekran kullanılmıştır. Şekil 3.13.'te deney düzeneğinde kullanılan Arduino LCD ekran gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Deney düzeneğinde kullanılan Arduino LCD ekran.

Şekil 3.13.'te, Arduino LCD ekranda deneysel çalışmada kullanılan parametrelerden basma dolum haznesinin ağırlığı, vakum haznesi ağırlığı, aktarım kapasitesi ve geçen süre görülmektedir.

### **3.4. Ölçüm ve Hesaplamalar**

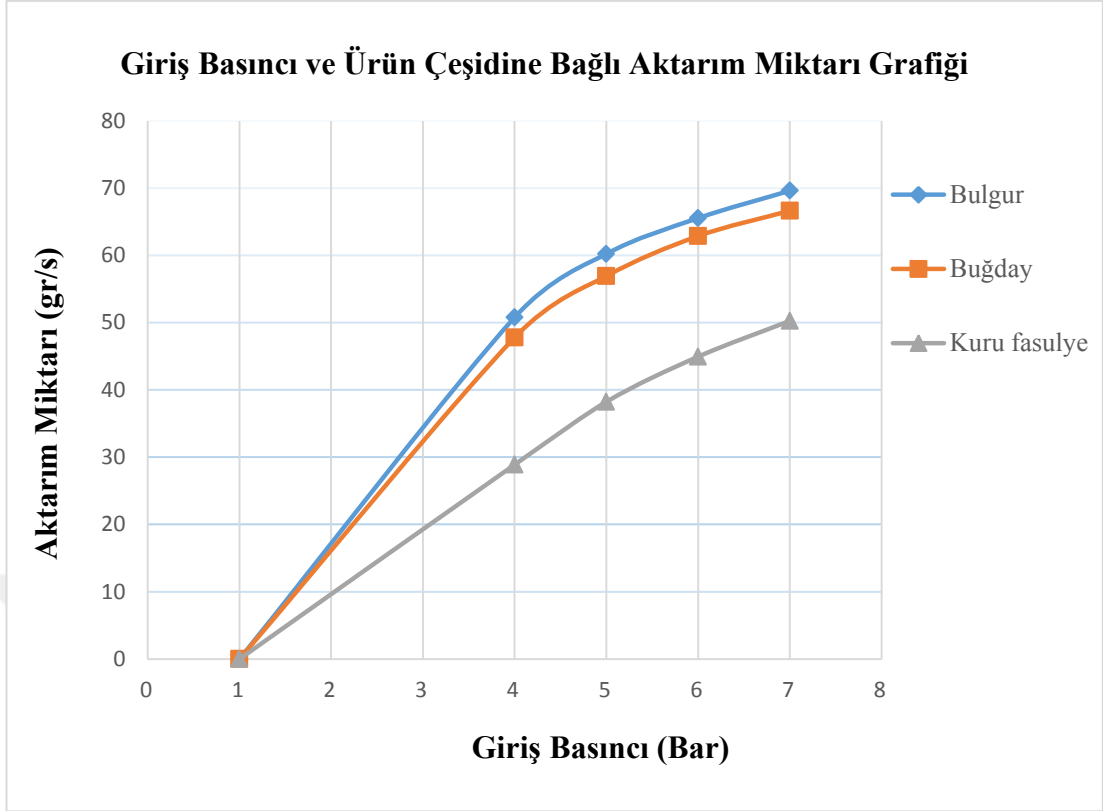
Bu çalışmada, deneysel çalışma ve sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sadece referans olarak kabul edilen model için yapılmış ve bu modele ait SE analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak gerçekleştirilen debi ölçümü ve kütle transferi hesaplamaları SE analizlerinin doğruluğunu ispatlamak amacıyla kullanılmıştır.

#### **3.4.1. Debi ölçümü**

Referans model olarak isimlendirilen hava yükseltici modeli kullanılarak farklı basınç değerleri için yapılan deneysel ve SE analiz sonuçlarından elde edilen veriler grafiksel olarak bölüm 5'te gösterilecektir. Grafikte, deneysel olarak elde edilen ortalama hava hızı verileri, debi ölçer cihazı ile elde edilen verilerle karşılaştırılmaktadır. Bu grafik, SolidWorks programında oluşturulan hava yükseltici modelinin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

#### **3.4.2. Aktarım süresi**

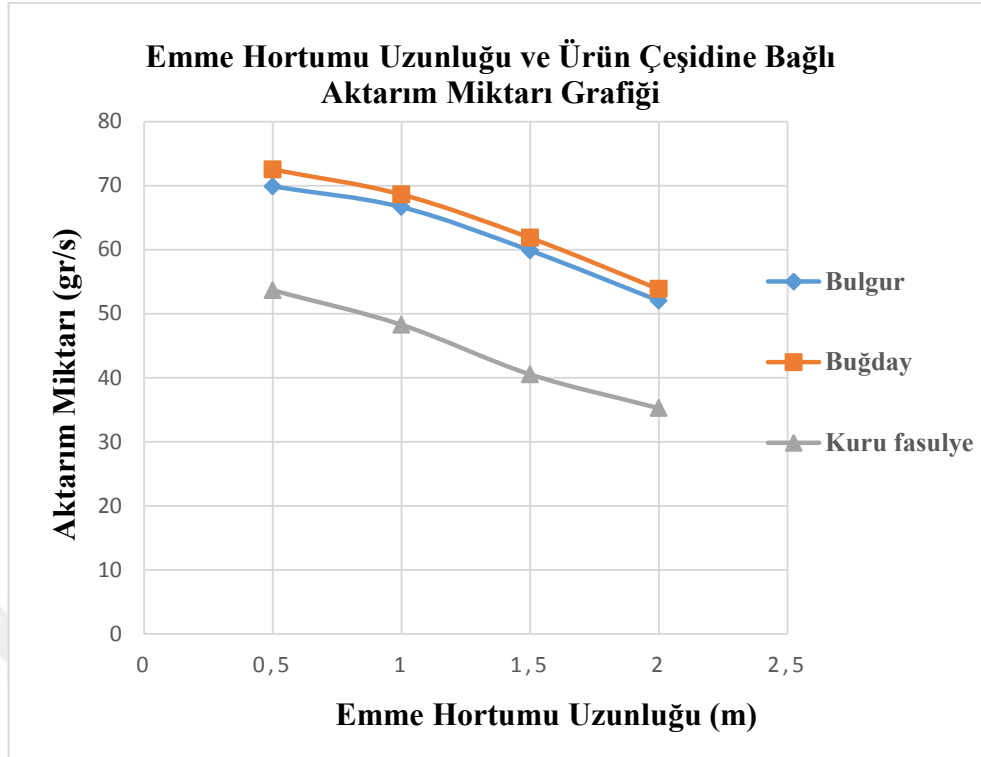
Deneysel çalışmada, 3 farklı ürün (buğday, kuru fasulye ve bulgur), dört farklı basınç değeri altında (4 bar, 5 bar, 6 bar ve 7 bar) test edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen deney sonuçları şekil 3.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Aktarım süresinin basınca göre hesaplanması

Şekil 3.14.'te gösterilen aktarım miktarı grafiğine bakıldığında, aktarım miktarının partikül boyutuna ve ağırlığına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Örneğin, bu grafik incelendiğinde her bir ürün çeşidinin 50 g/s debide aktarılması için, kuru fasulyede 7 bar, buğdayda 4.1 bar, bulgurda ise 3.8 bar basınç uygulanması gerektiği görülmektedir.

Ayrıca, farklı emme hortumu uzunlukları için, sabit basınç altında (7bar) çalıştırılan düzeneki kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Emme hortumunun etkisi şekil 3.15.'te grafik halinde gösterilmiştir. Bu deney gerçekleştirilirken emme hortumunun boyundaki değişimine bağlı olarak hava yükselticinin giriş bölgesindeki basınç ve hız değişimleri ölçülmüştür. Basınç ve hız değişimlerinin transfer edilen katı madde miktarını etkileyen en önemli parametre olduğu gözlemlenmiştir. Bu veriler panel üzerine yerleştirilmiş bir ekran üzerinden anlık olarak okunabilmekte ve sistem içerisinde yer alan bluetooth modülü ile bilgisayara aktarılmaktadır.



Şekil 3.15. Aktarım süresi emme hortumunu boyutuna göre hesaplanması.

Emme basıncı değeri sabit 7 bar alınarak, 3 farklı malzeme (bulgur, buğday, kuru fasulye) için ve 4 farklı emme hortumu uzunluğu (0.5m, 1m, 1.5m, 2m) dikkate alınarak deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen deney sonuçları şekil 3.15.'de grafik halinde gösterilmiştir. Deneysel alışma sonucunda, emme hortumu uzunluğunun hava yükselticinin performansını nasıl etkilediği tespit edilmiştir. Emme hortumu uzunluğunun hava yükseltici performansına etkilerinin incelendiği deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Emme hortumu boyunun kısa olması durumunda, sistemin performansı ve taşıma kapasitesi artmaktadır.
- Kısa emme hortumu kullanıldığında hava hızı artmakta ve buna bağlı olarak taşıma süresi azalmaktadır.
- Emme hortumu uzunluğu arttıķa aktarım miktarı azalmaktadır.
- Tavsiye edilen emme hortumu uzunluğu 0.5-2m aralığındadır.
- Emme hortumu uzunluğu arttıķa aynı miktarda ürün transfer etmek için daha yüksek basınca ihtiyaç duyulmakta ve transfer için daha fazla enerji harcanmaktadır.

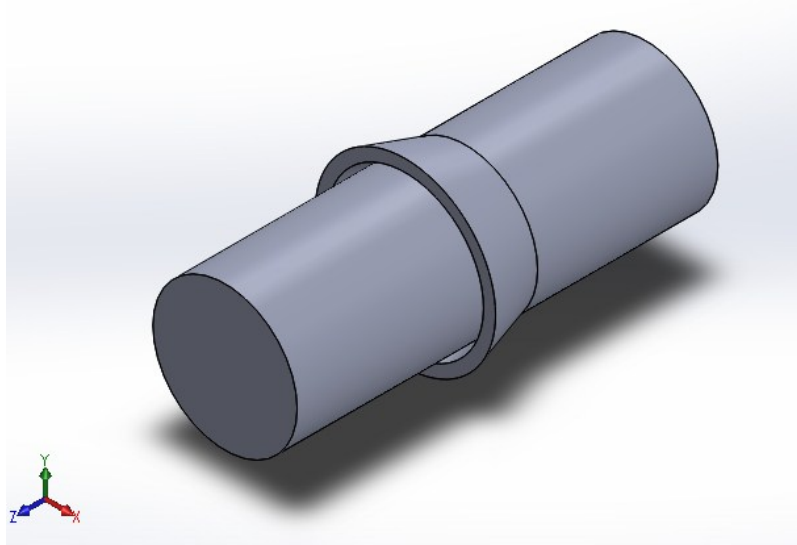
## BÖLÜM 4. MODELLEME VE TASARIM

### 4.1. Hava Yükselticinin Modellenmesi (Referans Model)

Modelleme aşamasında deneysel çalışmada kullanılan hava yükselticiye ait CAD modeli oluşturulmuştur. Bu model, ilk yapılan analiz ve tasarım çalışmalarında kullanılmıştır.

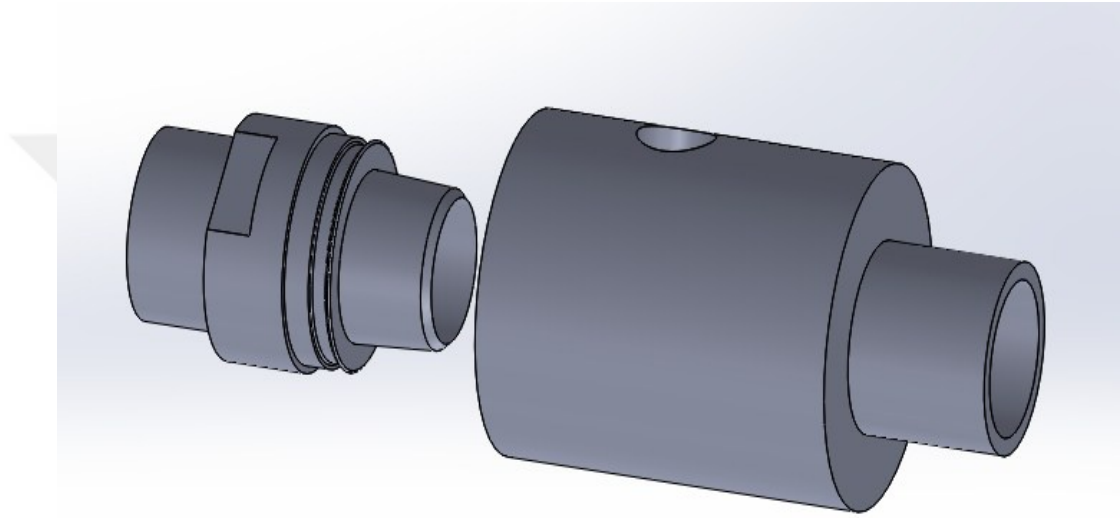
### 4.2. CAD Modelinin oluşturulması

Çalışmada kullanılan tüm tasarımlar parametrik katı modelleme programı olan SolidWorks yazılımında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu tez çalışmasında hava yükseltici için sonlu elemanlar analizlerini gerçekleştirmek amacıyla iki farklı yazılım kullanılmıştır. Bu yazılımlar SolidWorks ve Ansys Fluent yazılımlarıdır. Şekil 4.1.'de SolidWorks yazılımında tasarlanan ve Ansys Fluent yazılımında analiz edilen hava yükseltici modeli gösterilmiştir.



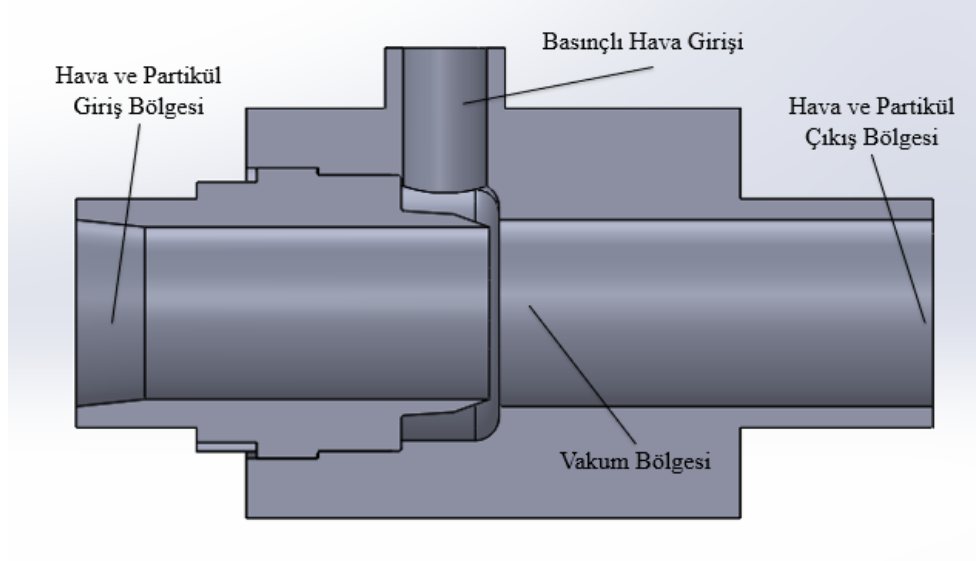
Şekil 4.1. SolidWorks programında tasarlanan hava yükselticinin analiz modeli.

SE analizlerini gerçekleştirmek amacıyla hava yükselticinin iç bölgesi modellenmiştir. Bunun nedeni, Ansys Fluent programında akış analizleri gerçekleştirilirken sadece sıvı ve gazın akışının olduğu bölgelere ait modele ihtiyaç duyulmasıdır. Ayrıca, SolidWorks programında referans alınan hava yükseltici modeli tasarlanmıştır. Şekil 4.2.'de Solidworks yazılımında modellenmiş olan hava yükselticinin iç kabuk ve dış kabuğuna ait CAD modeli görülmektedir.



Şekil 4.2. SOLIDWOKS programında modellenmiş olan ve referans alınan hava yükseltici modeli.

Referans model isimlendirilen ve deneysel çalışmada kullanılan hava yükseltici ile aynı boyularda olan modele ait kesit görüntüsü Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. SOLIDWOKS programında modellenmiş olan referans modelin kesit görünüşü

Şekil 4.3.'de gösterilen Hava yükselticinin ana elemanlarının işlevleri aşağıda anlatılmaktadır.

- Basınçlı hava girişi; kompresör tarafından üretilen basınçlı hava sisteme bu bölgeden gönderilmektedir.
- Hava ve partikül giriş bölgesi; hava ve partiküllerin taşıma sistemine giriş bölgesidir.
- Hava ve partikül çıkış bölgesi; hava ve partiküllerin çıkış bölgesidir.
- Vakum bölgesi; Yüksek hızlı havanın elde edildiği ve farklı boyutlarda pah kırılmış elemanlardan oluşan bölgedir.

Diğer bir deyişle, üst tarafta bulunan basınçlı hava girişi bölgesinden cihaza giren basınçlı hava, iletim sırasında yüksek bir vakum etkisi oluşturmakta ve emme hortumunda bulunan partikülleri çıkış bölgesine doğru hareket ettirmektedir.

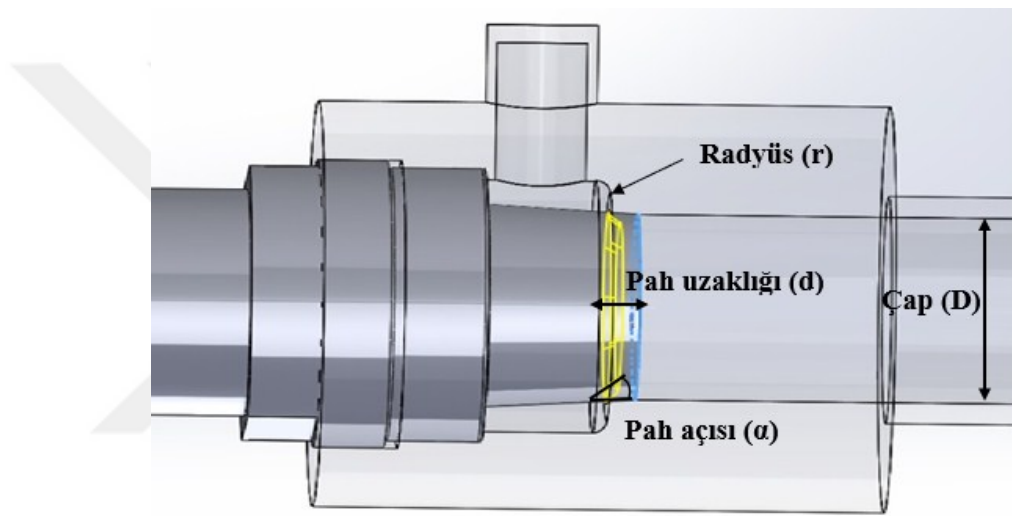
#### 4.3. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Hava Yükseltici modeli üzerinde yapılan çalışmalara bakıldığında, bu tip taşıyıcıların çalışma performansı, hava basıncı, pah ve çap boyutlarından etkilenmektedir.

Çalışma performansını etkileyen bu parametreler, tez içerisinde geometrik parametreler ve çalışma parametreleri olarak sınıflandırılmıştır.

#### 4.3.1. Geometrik parametreler

Hava yükselticinin çalışma performansına etki eden geometrik parametreler, çap ( $D$ ), pah açısı ( $\alpha$ ), pah radyusu ( $r$ ) ve pah uzaklığı ( $d$ ) şeklinde tanımlanmıştır. Şekil 4.4.'te hava yükseltici tasarımında kullanılan geometrik parametreler gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Hava yükseltici tasarımında kullanılan geometrik parametreler.

Tablo 4.1.'de analizlerde kullanılan hava yükseltici modellerinin boyutları gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Analizlerde kullanılan hava yükseltici modellerinin boyutları.

| Hava Yükseltici modelleri | Çap ( $D$ ) | Pah açısı ( $\alpha$ ) | Pah uzaklığı ( $d$ ) | Radyüsü ( $r$ ) |
|---------------------------|-------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| Referans Model            | 15,5 mm     | 47 derece              | 1,8 mm               | 2 mm            |
| Dış bükey pah             | 15,5 mm     | 50 derece              | 2,0 mm               | 2 mm            |
| İç bükey pah              | 15,5 mm     | 7 derece               | 4,9 mm               | 8 mm            |
| Düz pah model             | 15,5 mm     | 7 derece               | 4,9 mm               | 5 mm            |

|               |         |          |        |      |
|---------------|---------|----------|--------|------|
| Düz pah mode2 | 17,0 mm | 7 derece | 4,9 mm | 5 mm |
| Düz pah mode3 | 18,5 mm | 7 derece | 4,9 mm | 5 mm |

#### 4.3.1.1. Giriş çapı

Hava ve partiküllerin taşıma sistemine girdiği bölgenin çapı, giriş çapı olarak isimlendirilmekte ve hava yükselticilerin çalışma performansına etki eden geometrik parametrelerin başında gelmektedir. Bu tez çalışmasında üç farklı giriş çapı (15.5, 17, 18.5 mm) dikkate alınarak hava yükseltici tasarımı yapılmıştır. Giriş çapı sistemin kapasitesini belirleyen en önemli unsurdur. Taşınacak tane boyutu, ağırlığı ve debiye bağlı olarak farklı giriş çapının tespit edilmesi gerekmekte ve basınç değiştirilerek parametreler istenilen değerlerde tutulmaktadır.

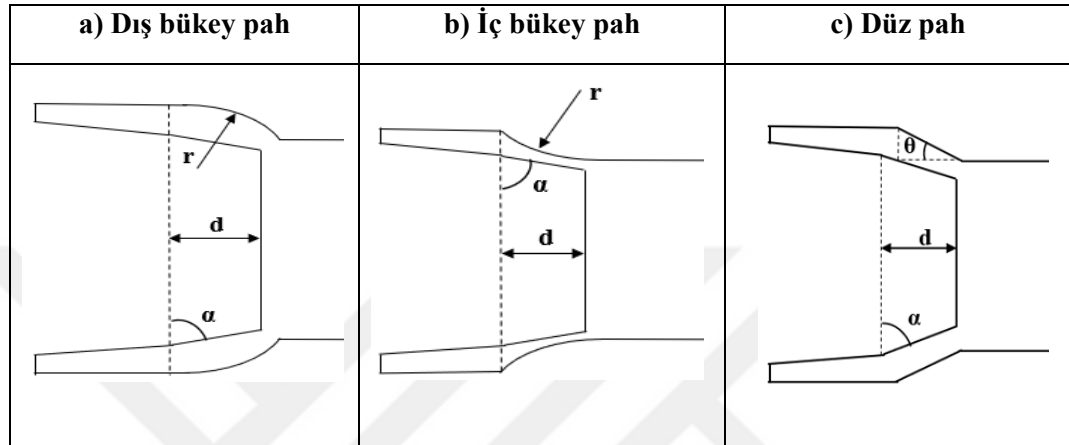
#### 4.3.1.2. Çıkış çapı

Yüksek basınçlı Hava ve partiküllerin taşıma sisteminden çıktığı bölgenin çapı, çıkış çapı olarak tanımlanmaktadır. Hava yükseltici modellerinde giriş ve çıkış çapı aynı model için aynı değerlerdedir. Toplam 6 adet hava yükseltici modeli bulunmakla birlikte, üç farklı giriş ve çıkış çapı kullanılmıştır. Diğer geometrik parametreler değiştirilerek oluşturulan tasarım modellerinde giriş çapı hangi değerde kullanılmış ise çıkış çapıda aynı değerde tutularak tasarımlar yapılmıştır.

#### 4.3.1.3. Vakum bölgesi boyutlandırılması (Pah tasarımı)

Vakum bölgesi, hava yükselticinin orta bölgesinde bulunan ve yüksek hızın elde edildiği bölgedir. Giriş bölgesinde pah olarak isimlendirilen parça nedeniyle sabit basınçlı hava kullanılarak vakum etkisi oluşturulmakta ve çıkışta yüksek hız elde edilmektedir. Bu sayede transfer edilen partiküllerin daha hızlı ve kısa sürede transfer edilmesi mümkün olmaktadır. Pah sayesinde yüksek vakum etkisi oluşturulması daha az enerji kullanılarak daha yüksek etkilerin oluşturulmasını sağlamakta ve mevcut sistemlere oranla daha ekonomik bir taşıma yapılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, pah etkisini daha iyi inceleyebilmek amacıyla, düz, iç

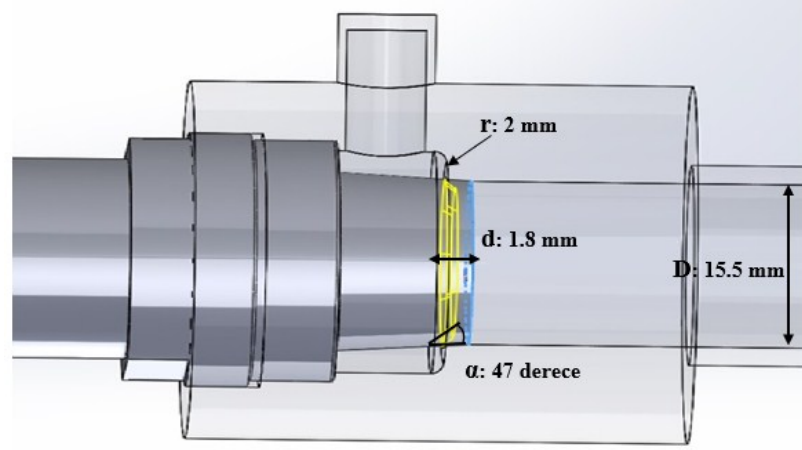
bükey ve dış bükey olmak üzere 3 farklı pah tasarımı gerçekleştirilmiştir. Referans model olarak isimlendirilen tasarımda dış bükey pah modeli kullanılmıştır. Bunun nedeni, deneysel çalışmada kullanılan gerçek modeldeki pah açısının da dış bükey olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan pah tasarımları ve geometrik parametreleri şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Pah tasarımları, a) dış bükey, b) iç bükey, c) düz pah.

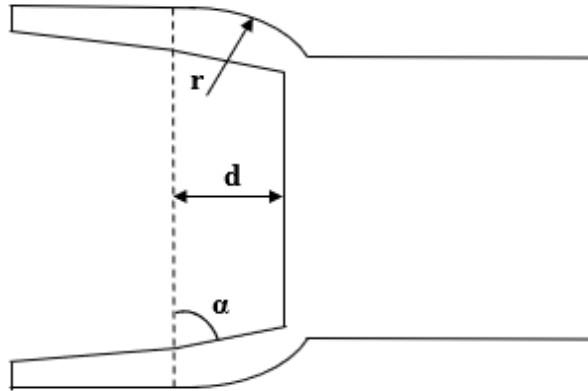
#### 4.2.1.3.2. Dış bükey pah

Tasarım aşamasına geçmeden önce modelleme işlemi gerçekleştirilmiş ve bu aşamada referans model olarak isimlendirilen ve deneysel çalışmada kullanılan hava yükseltici boyut ölçüleri gerçeğine uygun olarak modellenmiştir. Modellemede SolidWorks programı kullanılmıştır. Şekil 4.6.'da deneysel çalışmada kullanılan ve modelleme aşamasında referans model olarak kabul edilen hava yükseltici için geometrik parametreler gösterilmiştir. Burada, çap ( $D$ ), pah açısı ( $\alpha$ ), pah radyusu ( $r$ ) ve pah uzaklığı ( $d$ ) sembolü ile gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Dış bükey pah boyutları (Referans model).

Modelleme tamamlandıktan sonra, SE analizlerinde kullanılacak analiz modelleri oluşturulmuştur. Analiz aşamasında geometrik parametreleri daha detaylı bir şekilde incelemek amacıyla yeni tasarımlar oluşturulmuş ve bu tasarımlar kendi içerisinde gruplandırılarak incelenmiştir. Dış bükey pah tasarımında kullanılan geometrik parametreler Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen dış bükey pah tasarımında  $\alpha$  sembolü pah açısını,  $r$  harfi pahın radyüsünü ve  $d$  harfi ise pah uzunluğunu göstermektedir.



Şekil 4.7. Dış bükey pah tasarımı.

Dış bükey pah tasarımı sırasında, radyüsün etkisini daha iyi görmek amacıyla pah açısı ( $50^\circ$ ) ve pah uzaklığı (2mm) sabit tutularak ve 7 farklı radyüs değeri için tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta, pah açısı ve pah uzaklığı referans modelde kullanılan boyutlar dikkate alınarak ( $50^\circ$ ) ve (2mm) alınmıştır. Bu sabit

alınan parametreler de daha sonra değiştirilerek optimize edilmiştir. Tablo 4.2.'de dış bükey pah tasarımında kullanılan modeller ve geometrik parametreler verilmiş ve radyüsteki değişimin etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.2. Hava yükselticinin dış bükey pah tasarımı modelleri (radyüs etkisi)

| Dış bükey pah modelleri | Çap (D) | Pah açısı ( $\alpha$ ) | Pah uzaklığı (d) | Radyüsü (r) |
|-------------------------|---------|------------------------|------------------|-------------|
| A1                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 1 mm        |
| A2                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 1,5 mm      |
| A3                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 2 mm        |
| A4                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 3 mm        |
| A5                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 4 mm        |
| A6                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 5 mm        |
| A7                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 6 mm        |

Bu aşamada ilk olarak pah uzaklığı ve pah radyüsü sabit tutularak farklı pah açısı parametrelerinde analizler yapılmıştır. Bu adımda, sabit 7 bar basınç altında pah uzaklığı ve radyüsü 2 mm olarak sabit tutulmuş ve farklı pah açıları için analiz modelleri oluşturulmuştur. Tablo 4.3.'te dış bükey pah tasarımında pah açısı etkisini incelemek amacıyla tasarımda kullanılan parametreler gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Hava yükselticinin dış bükey pah tasarımı modelleri (pah açısı etkisi)

| Dış bükey pah modelleri | Çap (D) | Pah açısı ( $\alpha$ ) | Pah uzaklığı (d) | Radyüsü (r) |
|-------------------------|---------|------------------------|------------------|-------------|
| B1                      | 15,5 mm | 40 derece              | 2 mm             | 2 mm        |
| B2                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 2 mm        |
| B3                      | 15,5 mm | 55 derece              | 2 mm             | 2 mm        |
| B4                      | 15,5 mm | 60 derece              | 2 mm             | 2 mm        |
| B5                      | 15,5 mm | 70 derece              | 2 mm             | 2 mm        |

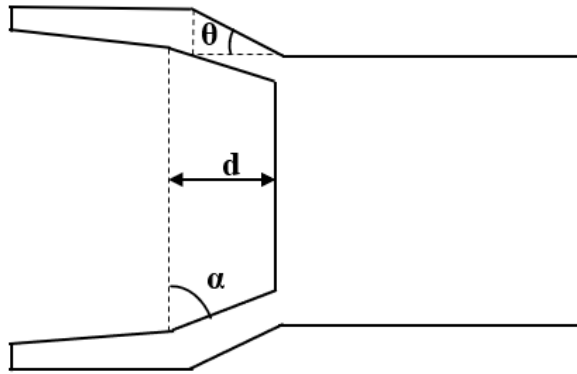
Son olarak, pah açısı ve pah radyüsü sabit tutularak farklı pah uzaklığı değerleri için tasarım modelleri oluşturulmuş ve pah uzaklığının etkisi incelenmiştir. Yapılan analizlerin parametreleri Tablo 4.4.'te gösterilmiştir. Bu adımda, sabit 7 bar basınç altında pah açısı 50 derece, radyüsü 2 mm olarak sabit tutulmuş ve farklı pah uzaklıkları için akış analizi yapılmıştır. Tablo 4.4.'te dış bükey pah tasarımında kullanılan pah uzaklıkları gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Hava yükselticinin dış bükey pah tasarımı modelleri (pah uzaklığı etkisi)

| Dış bükey pah modelleri | Çap (D) | Pah açısı ( $\alpha$ ) | Pah uzaklığı (d) | Radyüsü (r) |
|-------------------------|---------|------------------------|------------------|-------------|
| C1                      | 15,5 mm | 50 derece              | 1 mm             | 2 mm        |
| C2                      | 15,5 mm | 50 derece              | 2 mm             | 2 mm        |
| C3                      | 15,5 mm | 50 derece              | 3 mm             | 2 mm        |
| C4                      | 15,5 mm | 50 derece              | 4 mm             | 2 mm        |
| C5                      | 15,5 mm | 50 derece              | 5 mm             | 2 mm        |
| C6                      | 15,5 mm | 50 derece              | 6 mm             | 2 mm        |
| C7                      | 15,5 mm | 50 derece              | 7 mm             | 2 mm        |

#### 4.2.1.3.3. Düz pah

Şekil 4.8.'de düz pah tasarımı gösterilmiştir. Şekilde gösterilen düz pah tasarımında  $\alpha$  sembolü pah açısını, d harfi pah uzaklığını göstermektedir. Düz pah tasarımında Şekil 4.8.'de gösterilen çap, pah açısı ve pah uzaklığı değerleri sabit tutulmuş ve  $\theta$  sembolü ile gösterilen açı değeri değiştirilerek analiz modelleri oluşturulmuştur.



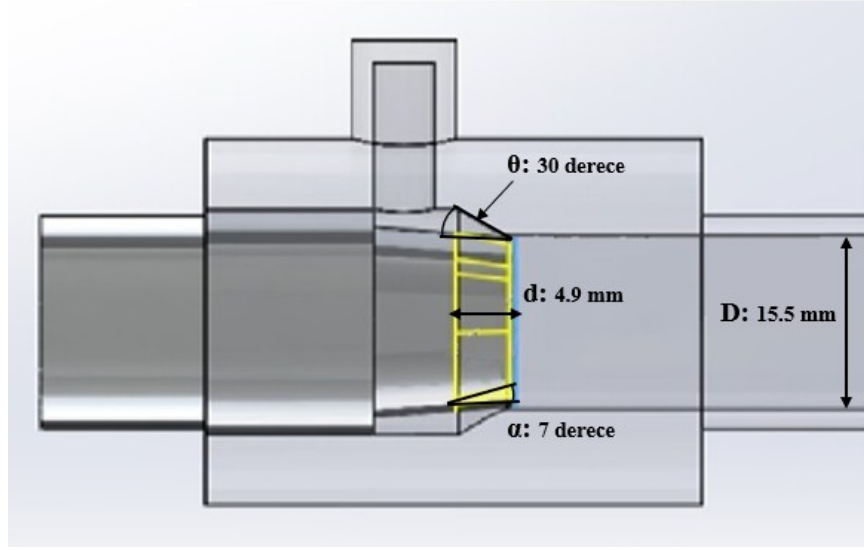
Şekil 4.8. Düz pah tasarımı

Düz pah modeli için gerçekleştirilen tasarımlar ve geometrik parametreler Tablo 4.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Hava yükselticinin düz pah tasarımı modelleri (  $\theta$  açısı etkisi)

| Düz pah modelleri | Çap (D) | Pah açısı ( $\alpha$ ) | Pah uzaklığı (d) | $\theta$ açısı ( $\theta$ ) |
|-------------------|---------|------------------------|------------------|-----------------------------|
| D1                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 45 derece                   |
| D2                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 40 derece                   |
| D3                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 30 derece                   |
| D4                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 25 derece                   |
| D5                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 20 derece                   |
| D7                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 15 derece                   |
| D6                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 10 derece                   |
| D7                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 5 derece                    |
| D7                | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 1 derece                    |

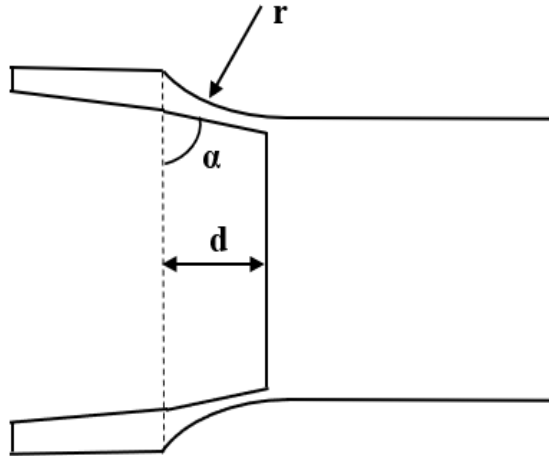
Şekil 4.9.'da hava yükseltici tasarımında düz pah boyutları şekil üzerinde gösterilmiştir. Çap 15.5 mm, pah açısı 7 derece, pah uzaklığı 4.9 mm olarak sabit alınmış ve  $\theta$  açısının değişiminin performansa etkisi incelenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.9. Hava yükseltici tasarımında kullanılan düz pah boyutları.

#### 4.2.1.3.1. İç bükey pah

İç bükey pah tasarımı ve geometrik parametreler Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Şekilde gösterilen iç bükey pah tasarımında  $\alpha$  sembolü pah açısını,  $d$  harfi pah uzaklığını ve  $r$  harfi ise pah radyüsünü göstermektedir.



Şekil 4.9. İç bükey pah tasarımı

İç bükey pah için tasarım modelleri oluşturulurken çap, pah açısı ve pah uzaklığı değerleri sabit tutularak radyüs değerleri değiştirilmiş ve radyüs etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında, iç bükey pah tasarımında kullanılan radyüsün

sonuçları önemli derecede etkilediği görüldüğü için diğer tasarımlara oranla daha fazla analiz modeli oluşturulmuş ve radyüs etkisi incelenmeye çalışılmıştır. İç bükey pah için oluşturulan tasarım modelleri Tablo 4.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Hava yükselticinin iç bükey pah tasarım modelleri (radyüs etkisi)

| İç bükey pah modelleri | Çap (D) | Pah Açısı ( $\alpha$ ) | Pah Uzaklığı (d) | Radyüs (r) |
|------------------------|---------|------------------------|------------------|------------|
| E1                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 5 mm       |
| E2                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 6 mm       |
| E3                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 7 mm       |
| E4                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 8 mm       |
| E5                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 9 mm       |
| E6                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 10 mm      |
| E7                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 12 mm      |
| E8                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 15 mm      |
| E9                     | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 20 mm      |
| E10                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 40 mm      |
| E11                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 70 mm      |
| E12                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 100 mm     |
| E13                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 130 mm     |
| E14                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 160 mm     |
| E15                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 190 mm     |
| E16                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 220 mm     |
| E17                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 250 mm     |
| E18                    | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 280 mm     |

### **4.3.2. Çalışma parametreleri**

Hava yükselticinin çalışma performansına etki eden diğer parametreler ise basınç, sıcaklık ve hız değerleridir. Bu bölümde çalışma parametreleri daha detaylı olarak incelenecektir.

#### **4.3.2.1. Basınç**

Hava yükselticiler basınçlı hava ile çalışmaktadır ve giriş bölgesinden sisteme giren basınçlı hava, vakum bölgesinde hızlandırılarak çıkış bölgesinde yüksek hız elde edilmektedir. Bu ise partiküllerin daha hızlı ve daha ekonomik taşınmasını sağlamaktadır. Hava yükselticilerin gücü, vakum etkisi ile hızlandırılan basınçlı havadan gelmektedir.

#### **4.3.2.2. Sıcaklık**

Deneysel çalışma sırasında sıcaklığın hava yükselticinin çalışma performansına herhangi bir etkisi gözlemlenmemiştir. Bu nedenle, SE analizi modellerinde sınır şartları belirlenirken duvarlar adiyabatik olarak kabul edilmiştir.

#### **4.3.2.3. Hız**

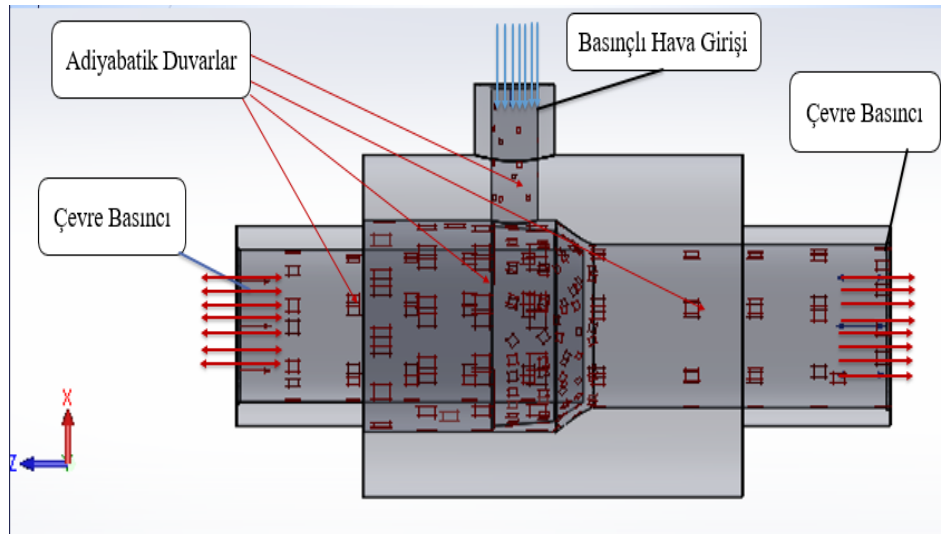
Hava yükselticilerin çalışmasına etki eden önemli parametrelerden biri hız değeridir. Hızın artması transfer edilen partikül miktarını, debiyi ve enerji sarfiyatını doğrudan etkilemektedir. Düşük çalışma basıncı ile yüksek hız elde edilmesi ise verimi artırmakta, maliyetleri düşürmektedir. Çalışmada Hız değeri olarak, hava yükselticilerin ortalama hız değeri kullanılmıştır.

## **BÖLÜM 5. SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ**

### **5.1. Sonlu Elemanlar Analiz Modeli**

Tasarımdan elde edilen analiz modelleri kullanılarak sonlu elemanlar analizi için sınır şartları tespit edilmiştir. Bu aşamada hava yükselticinin gerçek çalışma ortamındaki sınır şartları belirlenmiş ve uygulanmıştır. Analiz sonuçlarının doğrulanması amacıyla referans model olarak isimlendirilen ve gerçek model ile aynı boyut ve özelliklere sahip olan model kullanılmıştır. Referans model kullanılarak elde edilen analiz sonuçları deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve analiz modelinin doğruluğu teyit edilmiştir. Daha sonra diğer tasarım modelleri için analizler tekrarlanarak geometrik parametrelerin etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

SolidWorks programıyla akış analizi yapabilmek için model kapalı bir sistem olarak tasarlanmalıdır. Hava yükselticinin kapalı sistem olarak tasarlanması, modelin hava ve partikül giriş noktası, çıkış noktası ve basınçlı hava giriş noktalarının kapatılması anlamına gelmektedir. Model tasarlandıktan sonra akış analizi yapmak için SolidWorks programının akış simülasyon modülü kullanılmıştır. Şekil 5.1.'de akış analizlerinde kullanılan model ve uygulanan sınır şartları gösterilmiştir.



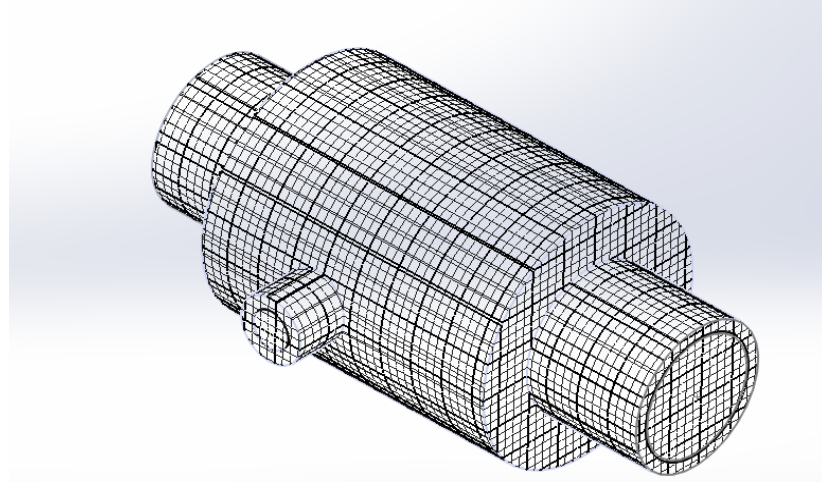
Şekil 5.1. SolidWorks programında oluşturulan Sonlu Elemanlar modeli ve sınır şartları.

## 5.2. Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Şekil 5.1.'de gösterilen analiz modelinde temel koşul olarak tek akışkanın hava olduğu ve sistem adiyabatik olduğu kabul edilmektedir. Sistemin adiyabatik olması analiz esnasında sistemde ısı ve kütle kaybının olmaması anlamına gelmektedir. Bu temel şart yapılan bütün analizlerde aynı kabul edilmiştir. Ayrıca malzemelerin sisteme giriş ve çıkış noktasında çevre basıncı (101325 pa) sabit tutulmuştur.

## 5.3. Mesh Yapısı

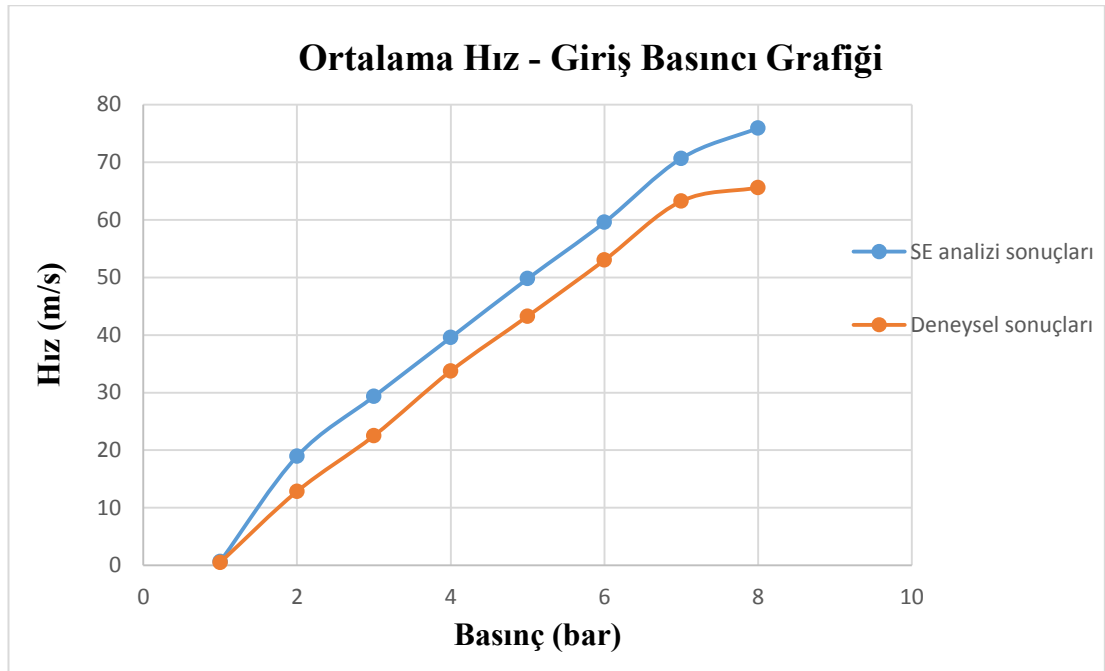
Mesh boyutu analiz sonuçlarını etkileyen en önemli parametredir. Mesh boyutu küçüldükçe analiz sonuçları daha hassas olmaktadır. Ancak mesh boyutu küçüldükçe analiz süresi uzadığından, en uygun mesh boyutunun belirlenmesi çok önemlidir. Optimum mesh boyutunu belirlemek için başlangıçta eleman boyutu büyük tutulmuştur. Daha sonra eleman boyutu kademeli bir şekilde küçültülerek analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Bu işleme, analiz sonuçlarında farklılık olmayıncaya kadar devam edilmiştir. Sonuçta en uygun mesh yapısı belirlenmiş ve tüm analizlerde bu mesh boyutu kullanılmıştır. Hava Yükselticinin akış analizlerinde kullanılan mesh yapısı (ağ yapısı) Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Hava Yükselticinin Mesh yapısı.

#### 5.4. Deneysel çalışma sonuçları ile sonlu elemanlar analiz sonuçlarının doğrulanması (Referans model için)

Sonlu Elemanlar analizleri Solidworks programının simülasyon modülü ile yapılmıştır. Farklı basınç değerleri için elde edilen analiz sonuçları ile deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve Şekil 5.3.'te grafik olarak gösterilmiştir.

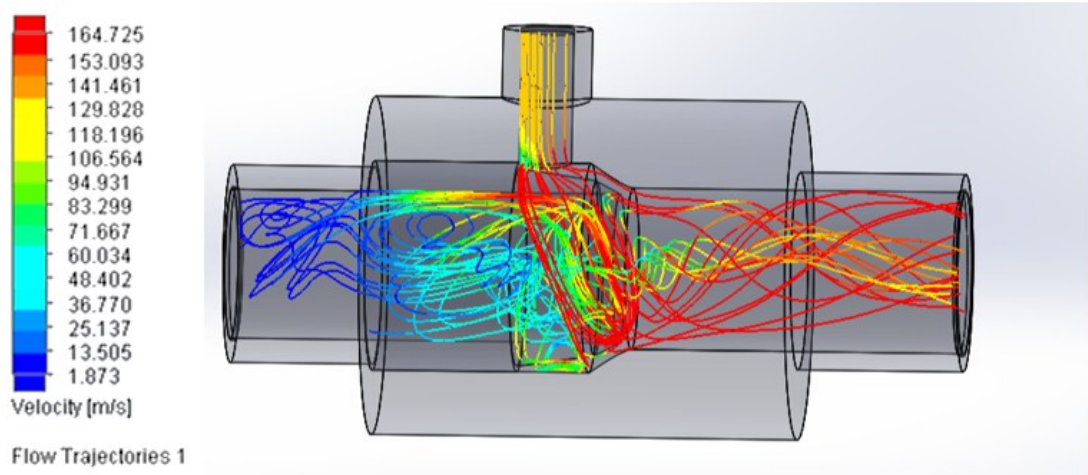


Şekil 5.3. SE analizi ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.

Şekil 5.3.'de verilen grafikte, giriş basıncının ortalama hava hızına etkisi gösterilmektedir. Sonlu elemanlar analiz sonuçları mavi çizgi, deneysel sonuçlar ise kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Analiz ve deneysel sonuçlara bakıldığında giriş basıncı arttıkça ortalama hava hızının arttığı görülmektedir. Ortalama hava hızı her iki yöntemde de 6.5 bar giriş basıncına kadar doğrusal bir artış göstermektedir. Hava giriş basıncı 6.5 bar üzerinde olduğunda deneysel ve analiz sonuç çizgileri birbirinden uzaklaşmaya başlamaktadır. Bu farklılaşma deneysel çalışmalarda kullanılan hava yükselticinin kapasitesinin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu noktada hava yükseltici, maksimum taşıma kapasitesi ile çalışmaktadır. Daha yüksek basınçların kullanılması sisteme zarar vermektedir. Diğer bir değişle, referans modelin ortalama hızı 8 bar giriş basıncıyla en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Referans model için mevcut sınır şartları dikkate alındığında, optimum hava hızının yaklaşık 86 m/s değerine ulaştığı görülmüştür.

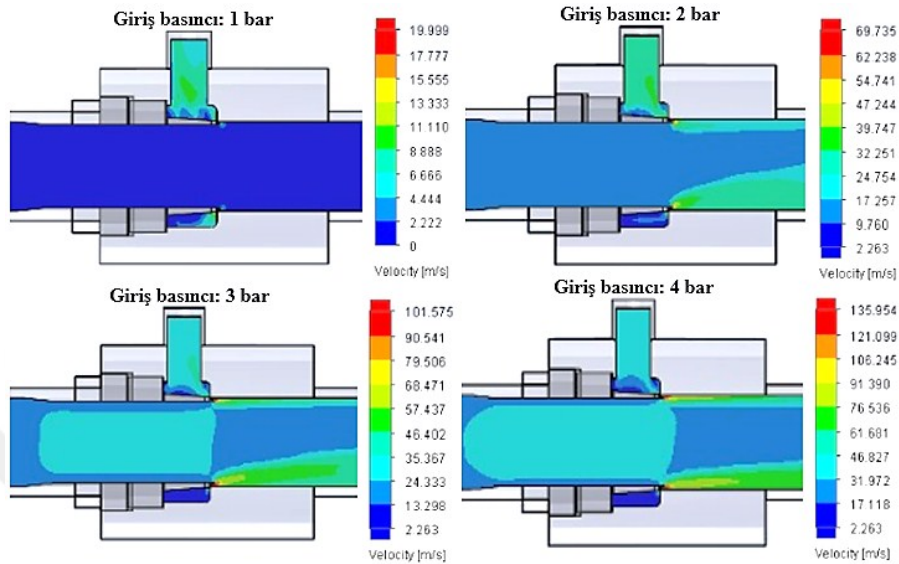
#### 5.4.1. Solidworks Flow Simulation ile simülasyon

Bu tez çalışmada akış analizlerin çoğu SolidWorks yazılımının akış simülasyon modülü kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5.4.'te hava yükselticinin hava hızı için akış yörüngeleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Hava yükselticinin SolidWorks yazılımında elde edilen hava akış yörüngeleri.

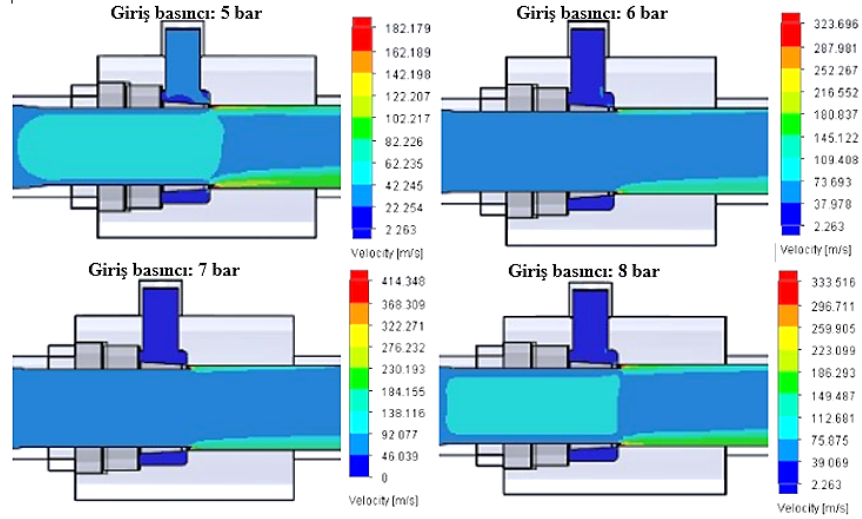
Şekil 5.5.'de hava yükseltici referans modeli için farklı basınçlar altında (1, 2, 3 ve 4 bar basınç) SolidWorks akış simülasyon modülü ile yapılan analiz sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Referans model için farklı basınçlar altında elde edilen hava hızı değerleri (1, 2, 3 ve 4 bar basınçlar altında).

Şekil 5.5.'te görüldüğü gibi hava yükseltici giriş basıncı arttıkça vakum etkisi nedeniyle çıkıştaki hava hızının arttığı gözlemlenmiştir. 1 bar giriş basıncı uygulandığında pah bölgesinde kısmi hız değişimi olmakla birlikte hava hızı hem giriş hemde çıkış bölgesinde aynı mertebelerde kalmaktadır. Basıncın 1 barın üzerine çıkması durumunda giriş ve çıkış bölgeleri arasındaki hız farkı da artmaya başlamıştır. 1 bar basınç uygulanması durumunda hava çıkış hızı 2.22 m/s mertebelerinde iken, basınç 2 bar olduğunda hava hızı 17.25 m/s ye ulaşmakta, 3 bar olduğunda hava hızı 24.33 m/s olmaktadır. Giriş basıncı 4 bar uygulandığında ise, hava çıkış hızı 31.972 m/s olmuştur. Vakum bölgesi olarak isimlendirilen orta bölgede daha yüksek hava hızı değerleri elde edilmesine karşın, önerilen çalışmada çıkış bölgesindeki hava hızı daha büyük önem taşımaktadır.

Şekil 5.6.'da yine referans model için 5, 6, 7 ve 8 bar basınç değerleri uygulanması durumunda elde edilen akış analizi sonuçları gösterilmiştir.

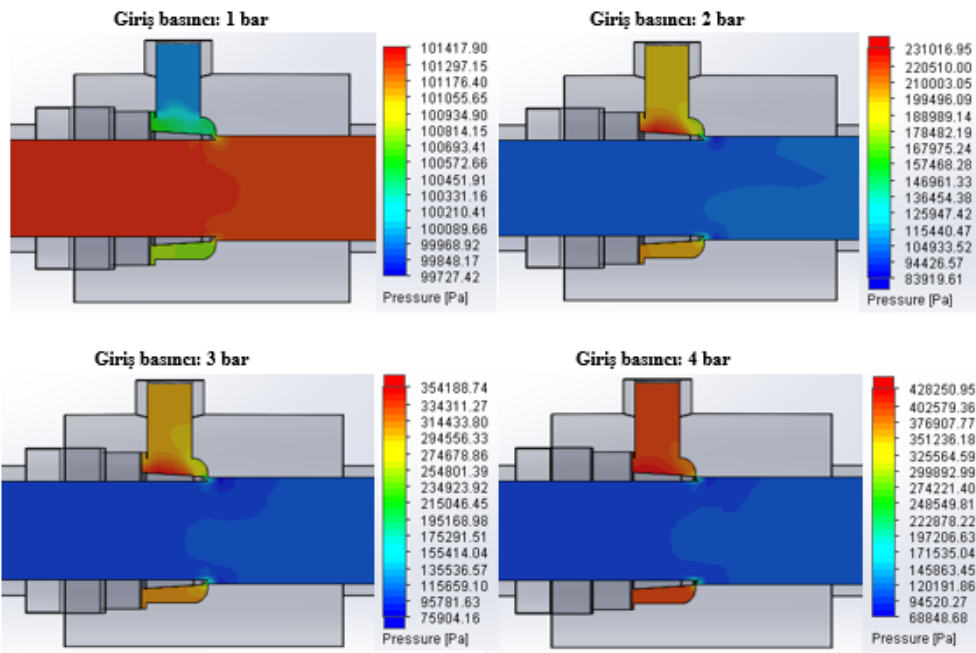


Şekil 5.6. Referans model için farklı basınçlar altında elde edilen hava hızı değerleri (5, 6, 7 ve 8 bar basınçlar altında)

Şekil 5.6.'da incelendiğinde basıncın artması ile hava çıkış hızının arttığı açıkça görülmektedir. 5, 6, 7 ve 8 bar giriş basıncı uygulanması durumunda, hava çıkış hızı sırasıyla 42.245, 73.693, 92.077 ve 112.681 m/s olmuştur. Hava hızının artması ile taşınan partikül miktarı artmakla birlikte, taşınan partiküllerin hızı daha düşük mertebelerde kalmaktadır. Partikül ağırlığı, partiküllerin çıkış hızını etkilemektedir.

Çalışmada incelenen diğer bir parametre vakum basıncıdır. Hava yükselticinin yerleştirildiği ve şeklin tam orta bölgesinde elde edilen vakum basıncı taşınan partikül miktarını ve performansı etkilemektedir. Şekil 5.7.'de referans model için farklı basınçlar altında (1, 2, 3 ve 4 bar giriş basıncı) elde edilen vakum basıncı incelenmiştir. Şekil 5.7. incelendiğinde sabit giriş basıncı uygulanması durumunda sistemde oluşan vakum etkisi daha açık bir şekilde görülebilmektedir.

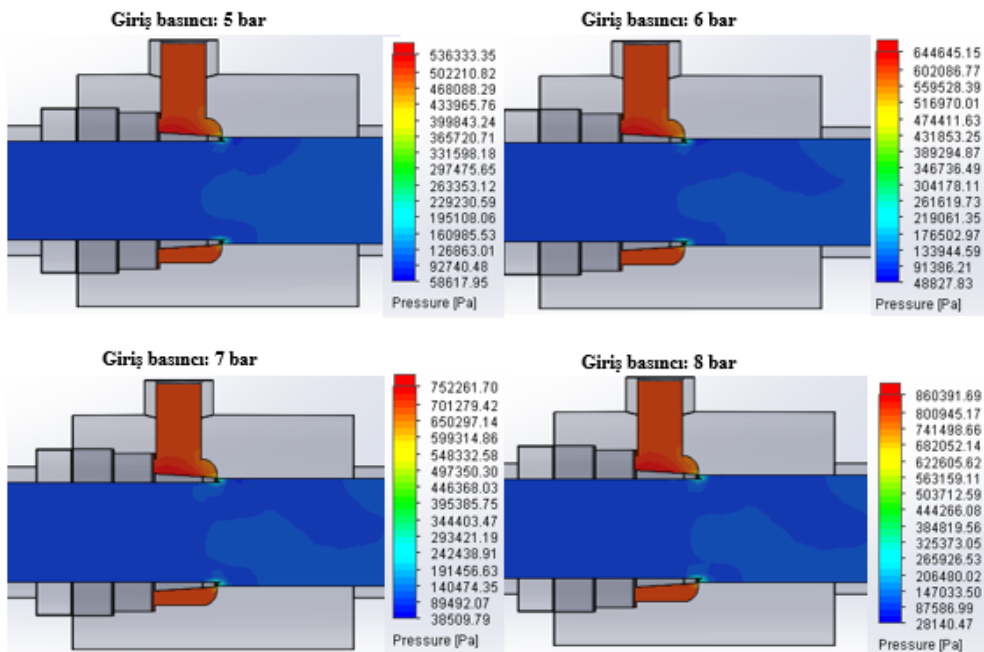
1 bar giriş basıncı uygulandığında pah bölgesinde kısmi vakum basıncı değişimi olmakla birlikte vakum etkisi hem giriş hemde çıkış bölgesinde aynı mertebelerde kalmaktadır. Hava giriş basıncı 1 bar olması durumunda vakum basıncı 101.19 kPa olurken, 2 bar basınç uygulandığında 83.9 kPa, 3 ve 4 bar basınç uygulanması durumunda ise sırasıyla 75.9 ve 68.8 kPa olmuştur.



Şekil 5.7. Referans model kullanılarak farklı basınçlar altında vakum basıncı etkisinin incelenmesi (1, 2, 3 ve 4 bar

giriş basıncı)

Şekil 5.8.'de referans model için 5, 6, 7 ve 8 bar basınç değerleri uygulanması durumunda elde edilen akış analizi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Referans model kullanılarak farklı basınçlar altında vakum basıncı etkisinin incelenmesi (5, 6, 7 ve 8 bar

bar

giriş basıncı)

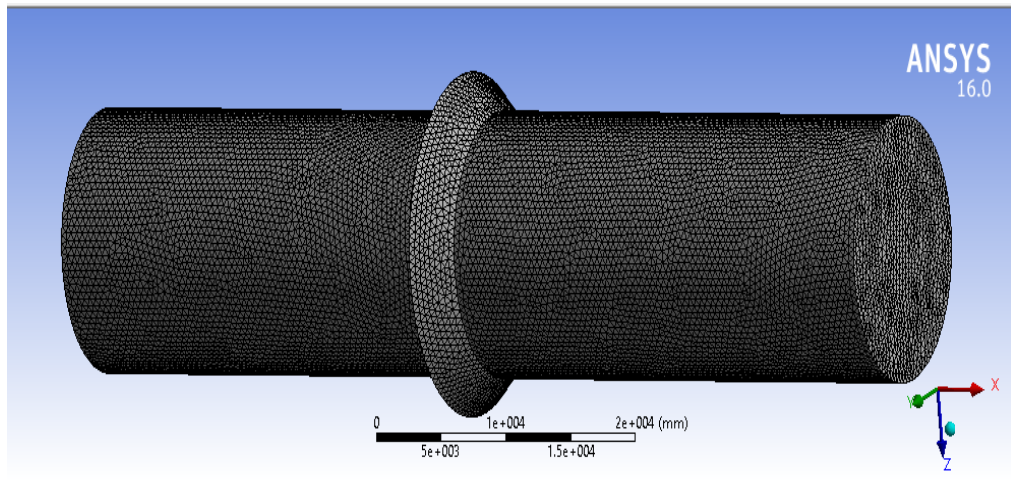
Şekil 5.8.'i incelediğinde, referans model için dört farklı basınç etkisi altında, vakum basıncı değişimi görülmektedir. Şekilde gösterilen analiz sonuçları incelendiğinde giriş basıncın artması ile vakum basıncı düştüğü açıkça görülmektedir. 5 bar basınç uygulanması durumunda vakum basıncı 58.6 kPa mertebelerinde iken, basınç 6 bar olduğunda vakum basıncı 48.8 kaPa değerine ulaşmakta, 7 bar olduğunda vakum basıncı 38.5 kaPa olmaktadır. Giriş basıncı 8 bar uygulandığında ise, vakum basıncı 28.1 kaPa olmuştur.

#### 5.4.2. Ansys Fluent yazılımı ile simülasyon

Hava yükselticinin hava ile temaslı olan bölgeleri (iç bölgesi) SolidWorks programında tasarlandıktan sonra ansys fluent programına akış analizi yapılmak amacıyla gönderilmiştir.

##### 5.4.2.1. Ansys fluent programında uygulanan mesh yapısı

SolidWorks programında tasarlanan modelini Ansys Fluent programa gönderildikten sonra hassas sonuçları elde etmek için uygun mesh yapısı belirlenmiştir. Şekil 5.9'da kullanılan modelin mesh yapısı gösterilmiştir.



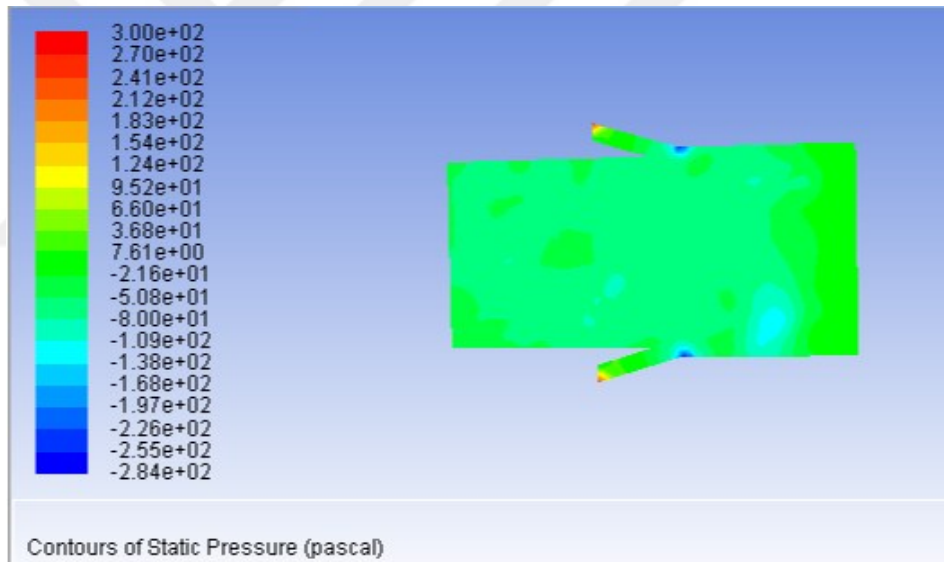
Şekil 5.9. Hava yükselticinin referans modeli için Ansys Fluent programında düzenlenen mesh yapısının

gösterilmesi

#### 5.4.2.2. Ansys Fluent programında uygulanan sınır şartlar

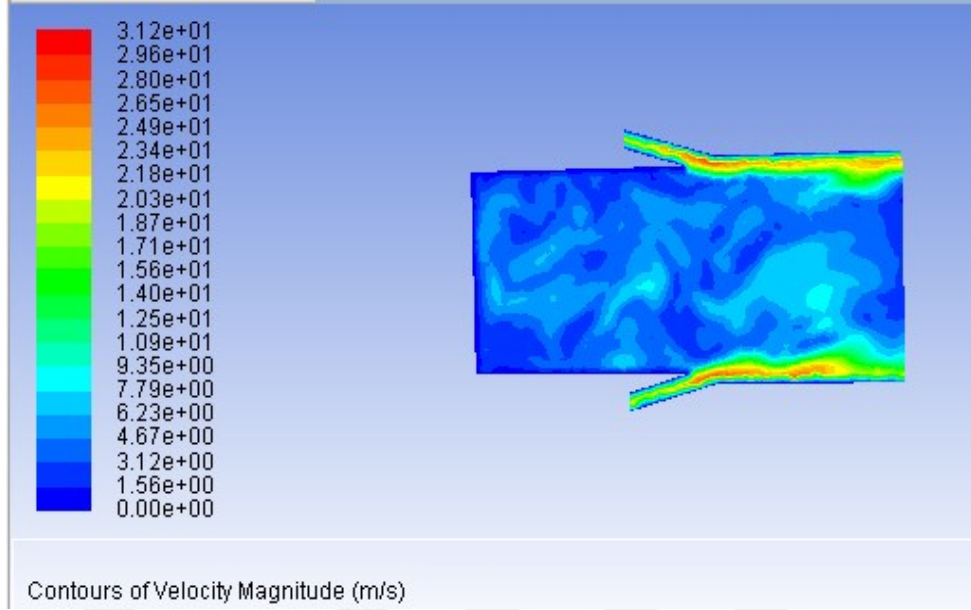
Ansys Fluent programında akış analizlerini gerçekleştirilmek amacıyla uygun sınır şartları uygulanması gerekmektedir. Yapılan analizlerde hava ve partiküllerin giriş ve çıkış noktalarında çevre basıncı sabit (101325 pa) tutulmuştur. Bu analizlerde giriş basıncı olarak 7 bar basınç (bu çalışmada en ideal hava basıncı) kullanılmıştır.

Şekil 5.10.'da hava yükseltici referans modeli için Ansys Fluent programında elde edilen akış analizi kontur sonuçları gösterilmiştir. Şekilde vakum etkisi nedeniyle oluşan basınç dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.10. Ansys Fluent programında elde edilen akış analizi sonuçları (vakum etkisi).

Şekil 5.11.'de hava yükselticinin referans modeli için Ansys Fluent programında yapılan akış analizin sonuçlarına göre hava hızı gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi analiz esnasında giriş noktasından çıkış noktaya doğru hava basıncı değerini kaybetmeye başlamış ve vakum etkisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.11. Hava yükselticinin Ansys Fluent programında hava hızının gösterilmesi

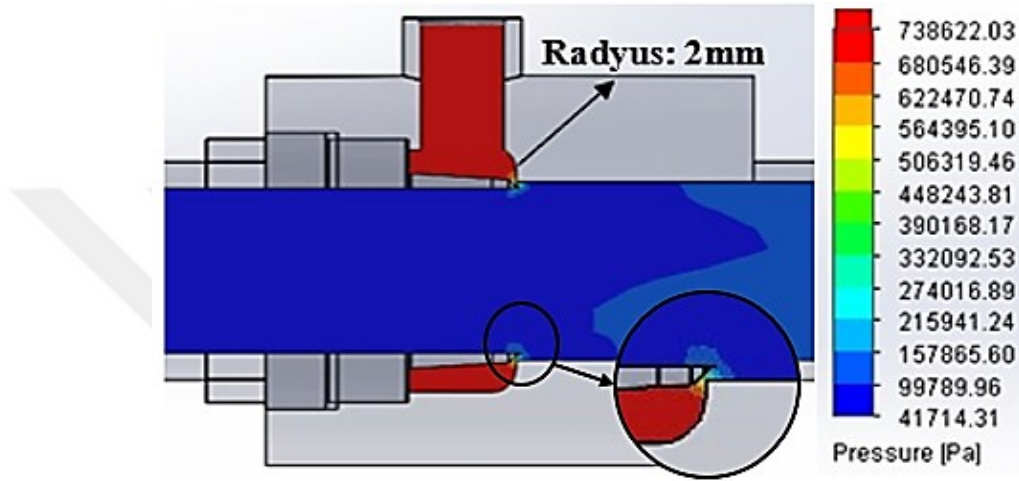
Şekilde gösterildiği gibi analiz esnasında giriş basıncı arttıkça hız yükselmeye başlamıştır. Şekilde koyu mavi rengi ile gösterilen odadaki hava hızı (0.01 m/s), orta bölgede ve çıkış noktada ise açık mavi ve sarı renkleri ile gösterilen yükseltilmiş hava hızı gözlemlenmiştir. SolidWorks programında ve Ansys Fluent programında yapılan akış analizlerinin sonuçları karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar gözlemlenmiştir. Bu nedenle tez çalışmasında bu bölümden itibaren gerçekleştirilen akış analizlerinde SolidWorks programın akış simülasyon modülü kullanılmıştır.

### 5.5. Yeni tasarım modelleri için Akış Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

Hava yükseltici referans modeli üzerinde gerçekleştirilen akış analizlerinden sonucu en çok etkileyen tasarım parametresinin pah geometrisi olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında üç farklı pah modeli tasarlanmıştır. Bu modeller dış bükey, iç bükey ve düz pah modelleridir. Optimum pah tasarımının belirlenmesi amacıyla farklı basınç, radyüs ve pah değerleri dikkate alınarak çok sayıda analiz yapılmıştır.

### 5.5.1. Dış bükey

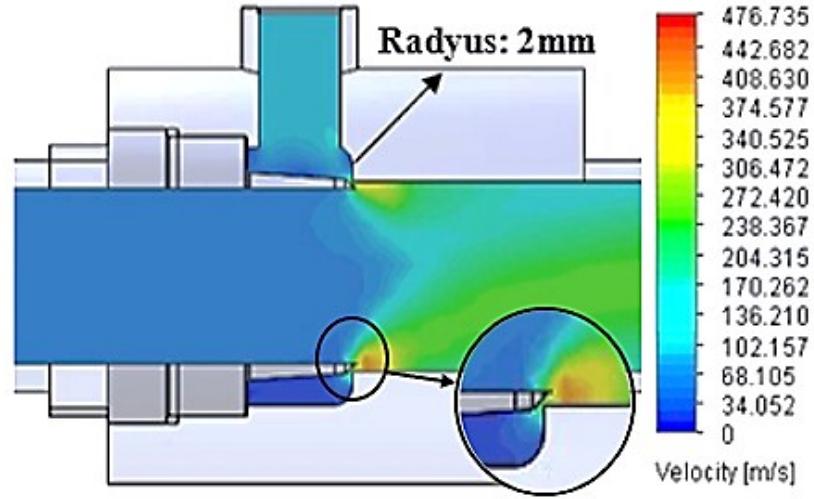
Bu bölümde hava yükseltici için dış bükey pah tasarımında pah açısı ve pah uzaklığı sabit tutularak farklı pah radyüsleri için 7 bar basınç altında akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.12’te dış bükey pah için 7 bar basınç altında 2mm pah radyüsü kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah radyüsü kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi

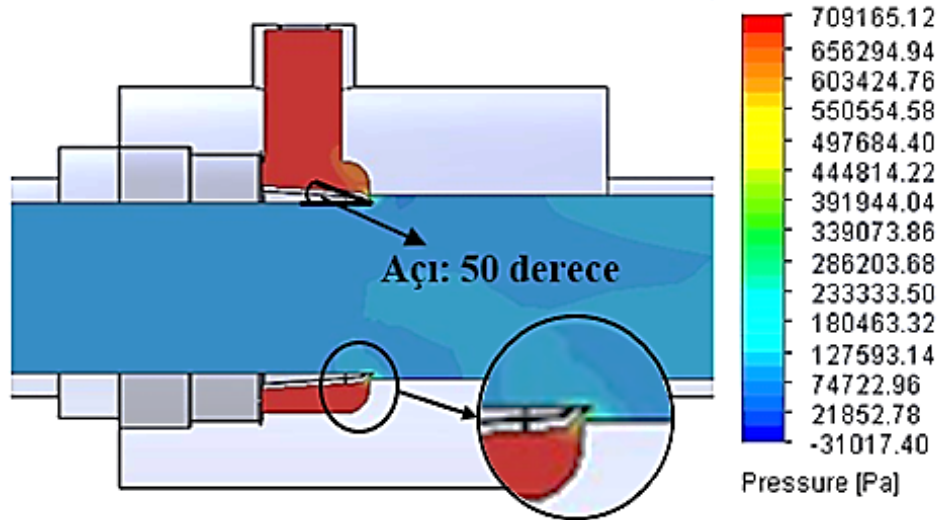
Şekil 5.12.’de koyu mavi rengi ile gösterilen bölgeler düşük basıncı ifade etmekte ve kırmızı rekli bölgeler ise giriş basıncını (7 bar basıncı) göstermektedir.

Şekil 5.13.’te dış bükey pah için 7 bar basınç altında 2mm pah radyüsü kullanılarak hava hızının incelenmesi gösterilmiştir. Şekil 5.13.’te koyu mavi bölgeler düşük hız değerini ve sarı renkli bölgeler ise yükseltmiş hava hızını göstermektedir. Şekile bakıldığında analiz esnasında basınçlı hava vakum bölgesinden geçtikçe anında basınç değerini kaybetmiş ve hava hızının artmasını neden olmuştur. Analiz sonuçlarına bakıldığında en optimum hava yükseltici pah radyüsünün 2 mm olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.13. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah radyüsü kullanılarak hava hızının incelenmesi

Analizlerin bu aşamasında, hava yükseltici için dış bükey pah tasarımında radyüsü ve pah uzaklığı sabit tutularak 50 derece pah açısı için 7 bar basınç altında akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.14.'te dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 50 derece pah açısını kullanarak vakum etkisinin incelenmesi gösterilmiştir.

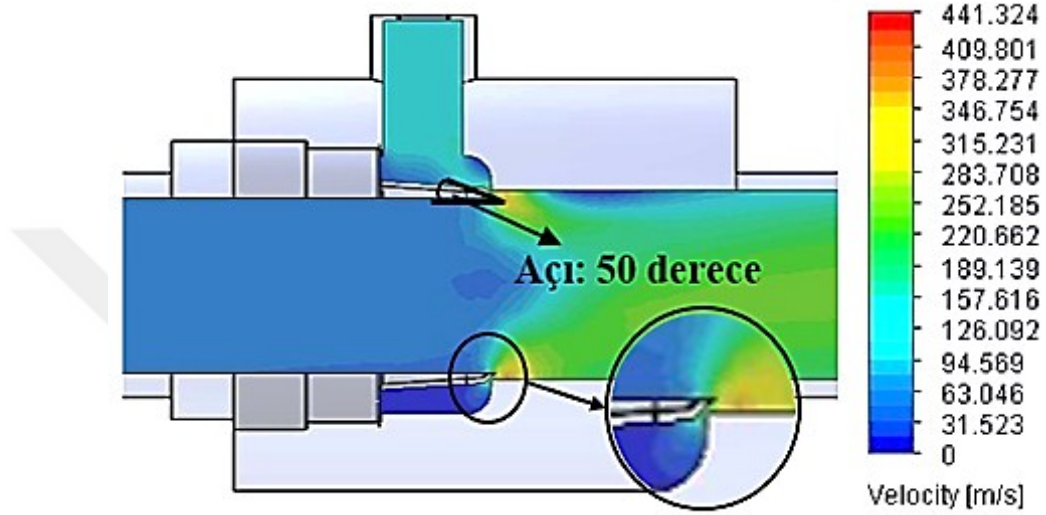


Şekil 5.14. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 50 derece pah açısı kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi

Şekilde düşük basınçlı bölgeler koyu mavi rengi ile ifade edilmekte ve kırmızı rekli bölgeler ise hava yükselticinin giriş basıncını (7 bar basıncı) göstermektedir. Analiz

incelediğinde sabit 7 bar basınç altında pah açısı 50 derece olan modelde sistemdeki basınıcının daha fazla düşmesi gözlemlenmiştir.

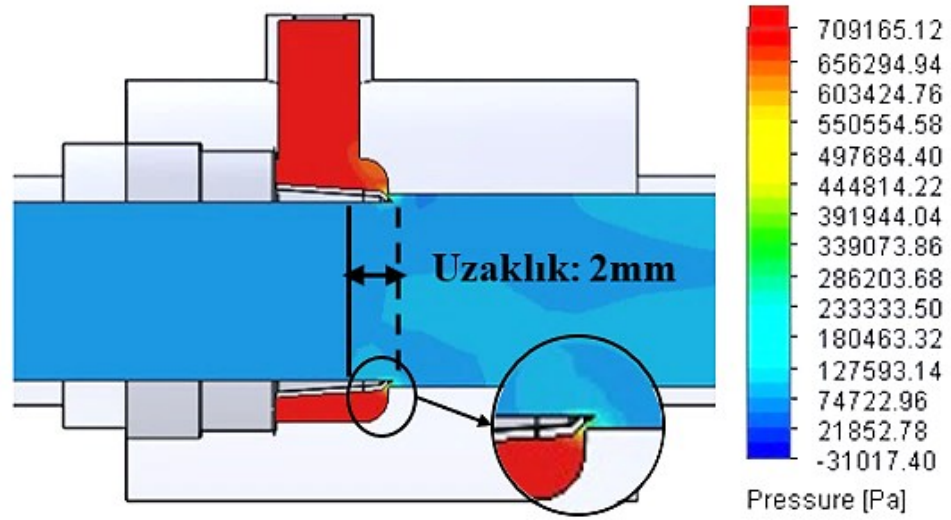
Şekil 5.15.'te dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 50 derece pah açısı kullanıldığında hava hızının incelenmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 50 derece pah açısı kullanılarak hava hızının incelenmesi

Şekil 5.15.'te koyu mavi rekli bölgeler düşük hız değerini ve sarı renkli bölgeler ise yükseltmiş hava hızını göstermektedir. Şekile bakıldığında sabit 7 bar basınç altında analiz esnasında basınçlı hava vakum bölgesinden geçtikçe anında basınç değerini kaybetmekte ve hava hızının arttığı gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında en optimum hava yükseltici pah açısının 50 derece olduğu belirlenmiştir.

Bir sonraki aşamada, hava yükseltici için dış bükey pah tasarımında radyüsü ve pah açısı sabit tutularak farklı pah uzaklıkları için 7 bar basınç altında akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.16.'da dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah uzaklığı kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi gösterilmiştir.

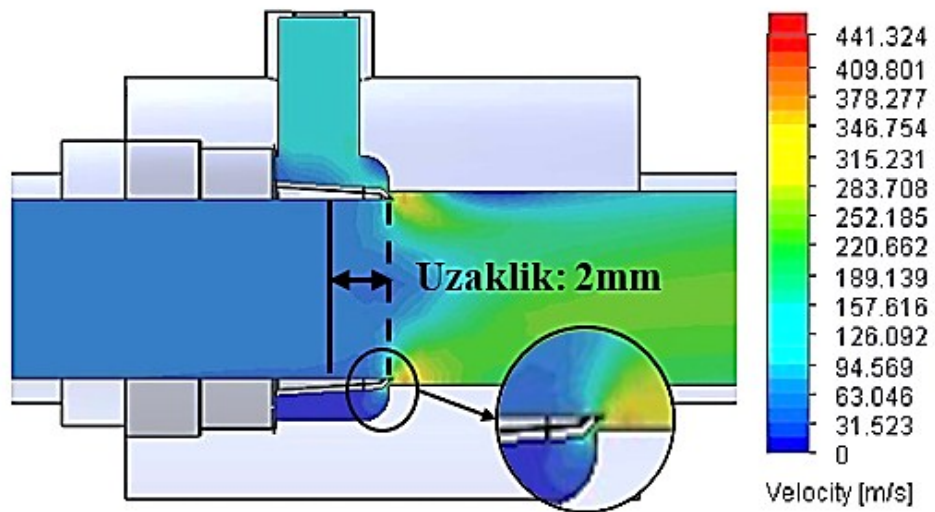


Şekil 5.16. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah uzaklığı kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi

(uzaklık: 2 mm)

Şekil 5.16.'da koyu mavi rengi ile gösterilen bölgeler düşük basıncı ifade etmekte ve kırmızı reklı bölgeler ise giriş basıncını (7 bar basıncı) göstermektedir. Şekile bakıldığında analiz esnasında sabit 7 bar basınç altında pah uzaklığı 2 mm olan modelde sistemdeki basıncının maksimum düşüşü gözlemlenmiştir.

Şekil 5.17.'de dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah uzaklığı kullanılarak hava hızının incelenmesi gösterilmiştir.

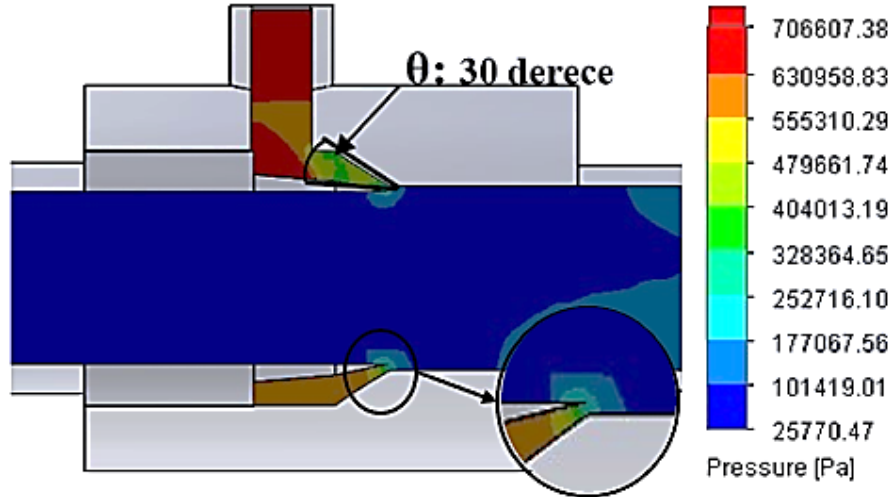


Şekil 5.17. Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2mm pah uzaklığı kullanılarak hava hızının incelenmesi

Şekil 5.17.'de dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve 2 mm pah uzaklığını kullandığı durumda hava hızının incelenmesi gösterilmiştir. Şekilde koyu mavi renkli bölgeler düşük hava hızı değerini, sarı ve yeşil renkli bölgeler ise yükseltmiş hava hızını ibraz etmektedir. Şekile bakıldığında sabit 7 bar basıncı altında analiz esnasında basınçlı hava, vakum bölgesinden geçtikçe anında basınç değerini kaybetmiş ve hava hızının arttığını neden olmuştur. Analiz sonuçları incelediğinde en optimum hava yükseltici pah uzaklığının 2 mm olduğu görülmüştür.

### 5.5.2. Düz pah

Bu aşamada hava yükseltici için düz pah tasarımında pah açısı ve pah uzaklığı sabit tutularak farklı pahın dış kabuk açıları için 7 bar basınç altında akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekillere bakıldığında en optimum hava yükselticinin pahın dış kabuk açısı ( $\theta = 30$ ) derece olduğu görülmüştür. Şekil 5.18.'de düz pah için 7 bar basınç altında ve 30 derece pahın dış kabuk açısı kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi gösterilmiştir.

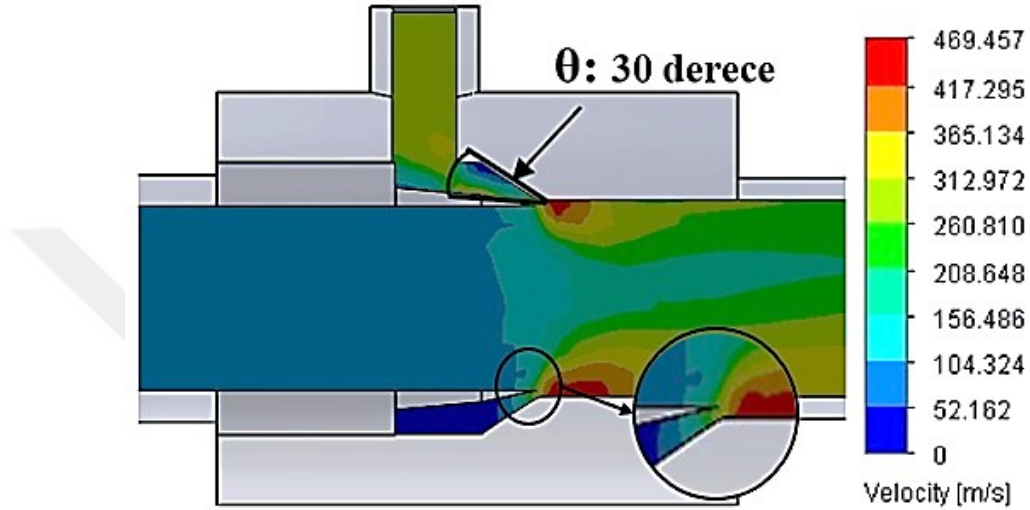


Şekil 5.18. Düz pah için 7 bar basınç altında ve 30 derece pahın dış kabuk açısı ( $\theta$ ) kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi

Şekilde düşük basınçlı bölgeler koyu mavi rengi ile ifade edilmiş ve giriş basıncı (7 bar basıncı) kırmızı regü ile gösterilmiştir. Şekile bakıldığında analiz esnasında sabit 7

bar basınç etkisi altında pahın dış kabuk açısı 30 derece olan modelde vakum basıncının maksimum düşüşü görülmüştür.

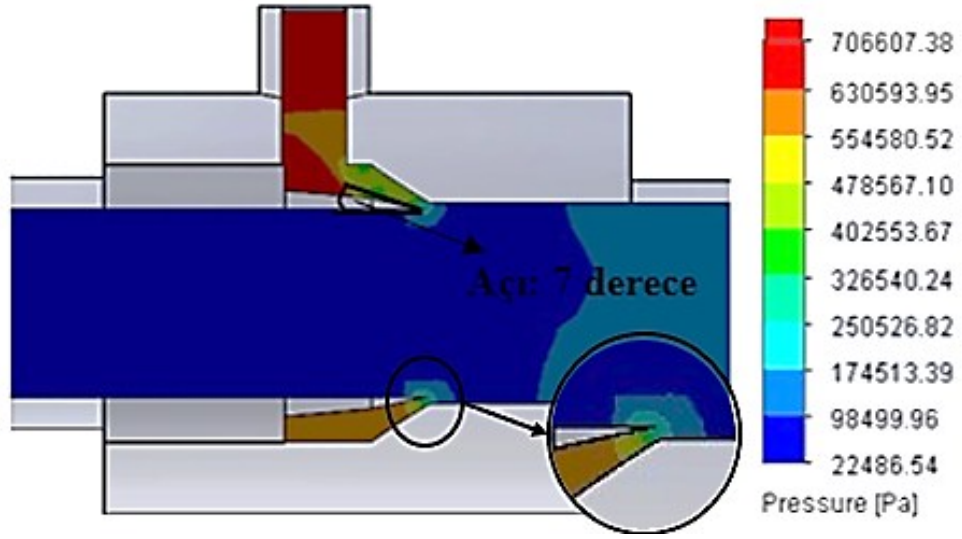
Şekil 5.19.'da düz pah için 7 bar basınç altında ve 30 derece pahın dış kabuk açısı kullanılarak hava hızının incelenmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Düz pah için 7 bar basınç altında ve 30 derece pahın dış kabuk açısı ( $\theta$ ) kullanılarak hava hızının incelenmesi

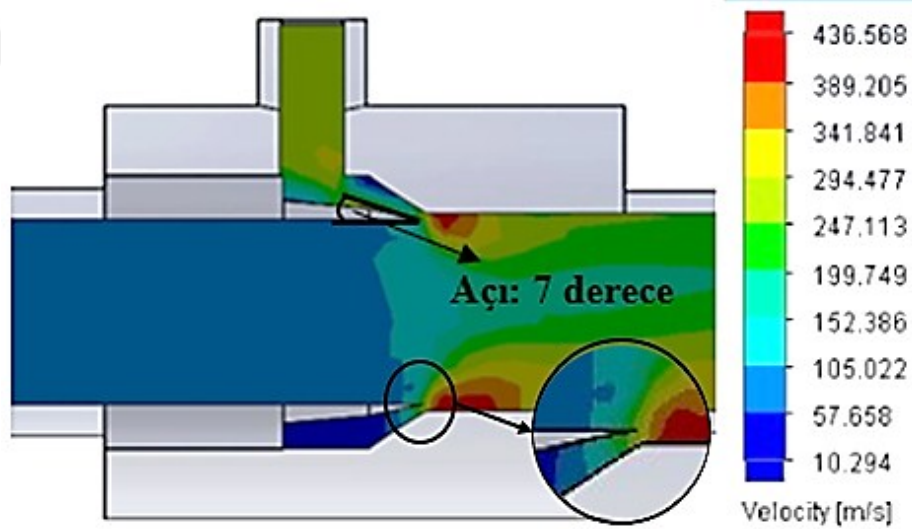
Şekilde koyu mavi reklı bölgeler düşük hava hızı değerini, sarı, yeşil ve kırmızı renklı bölgeler ise yükseltmiş hava hızını ibraz etmektedir. Şekile bakıldığında sabit 7 bar basıncı altında analiz esnasında basınçlı hava, vakum bölgesinden geçtiğinde anında basınç değerini kaybetmiş ve hava hızının arttığını neden olmuştur.

Analizlerin bu kısmında hava yükseltici için düz pah tasarımında pahın dış kabuk açısı ve pah uzaklığı sabit tutularak farklı pah açıları için 7 bar basınç altında akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.20.'de düz pah için 7 bar basınç altında ve 7 derece pah açısı kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Düz pah için 7 bar basınç altında ve 7 derece pah açısı kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi

Şekil 5.21.'de düz pah için 7 bar basınç altında ve 7 derece pah açısı kullanılarak hava hızının incelenmesi gösterilmiştir. Analiz sonuçları incelediğinde ve şekillere bakıldığında en optimum hava yükselticinin pah açısı 7 derecedir.



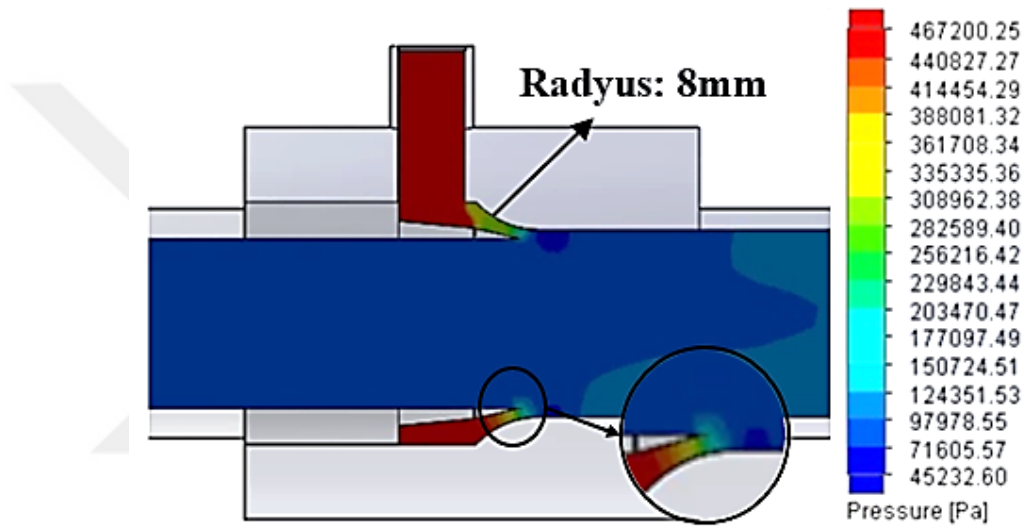
Şekil 5.21. Düz pah için 7 bar basınç altında ve 7 derece pah açısı kullanılarak hava hızının gösterilmesi

Düz pah modellerinin son akış analizlerinde ise pahnın dış kabuk açısı ve pah açısı sabit tutularak farklı pah uzaklıkları için 7 bar basınç altında akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.22.'de düz pah için 7 bar basınç altında ve 4.9 mm pah uzaklığı kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi gösterilmiştir.



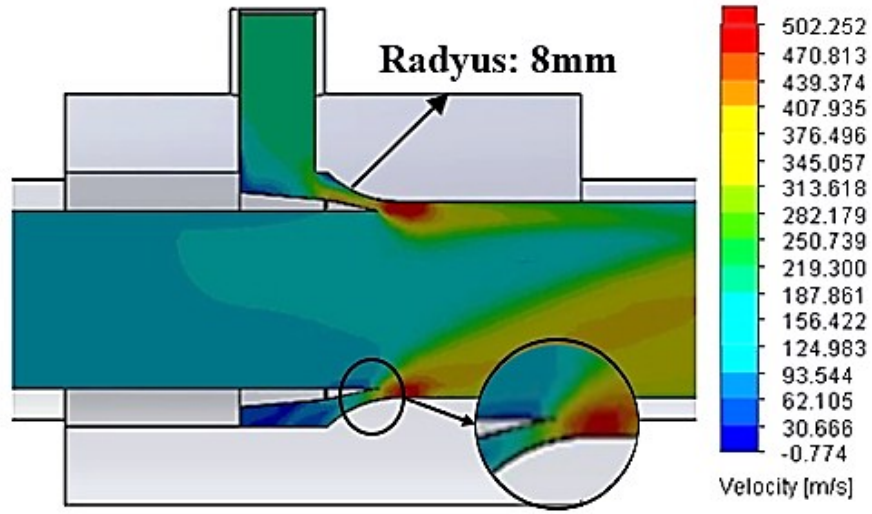
### 5.5.3. İç bükey

İç bükey pah tasarımının özellikleri düz pah modeline benzediğinden dolayı hava yükselticinin iç kabuk tasarımı için düz pah tasarımında kullanılan ölçülerinden faydalanmaktadır. Bu aşamada hava yükseltici için iç bükey pah tasarımında pah açısı ve pah uzaklığı sabit tutularak farklı pah radyüsleri için 7 bar basınç altında akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.24.'te iç bükey pah için 7 bar basınç altında ve 8 mm pah radyüsü kullanılarak vakum etkisinin incelenmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.24. İç bükey pah için 7 bar basınç altında ve 8 mm pah radyüsü kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi

Şekil 5.25.'te iç bükey pah için 7 bar basınç altında ve 8 mm pah radyüsü kullanılarak hava hızının incelenmesi gösterilmiştir. Sonuç olarak, şekillere bakıldığında en optimum hava yükselticinin radyüsü 8 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 5.25. İç bükey pah için 7 bar basınç altında ve 8 mm pah radyüsü kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi

#### 5.5.4. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Farklı pah tasarım modelleri için akış analizleri yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve farklı modeller için en optimum tasarım modeli belirlenmiştir. Ayrıca, bu üç farklı pah modelinin analiz sonuçları, aktarım miktarı dikkate alınarak karşılaştırılmış ve sonuçta optimum pah modeli olarak düz pah tasarımı beşirlenmiştir.

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER**

### **6.1. Giriş**

Bu çalışmada hava ile çalışan vakumlu pnömatik konveyörler incelenmiş ve geliştirilmeye çalışılmıştır. Sistemde özellikle hava yükseltici olarak isimlendirilen elemanlar kullanılarak modelleme ve tasarımlar gerçekleştirilmiştir. İhtiyaca göre, istenilen kapasite ve hıza ulaşabilecek şekilde tasarım değişiklikleri yapılarak hava yükselticiler iyileştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelemeler yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

### **6.2. Analiz Sonuçlarının değerlendirilmesi**

Sonuç olarak, gürültü ve ortamda oluşan toz miktarı önemli ölçüde azaltılarak, tahılların hasar görmeden güvenli bir şekilde transferi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ihtiyaca göre istenilen taşıma kapasitelerine ulaşabilmek için gerekli hava yükseltici özellikleri tespit edilmiş ve optimize edilmeye çalışılmıştır. Sabit basınç altında, hava yükselticinin çapının artması ile hız azalırken, transfer edilen tahıl miktarı artmıştır. Sonuçta, toz ve gürültü gibi çevreye zararlı etkiler en aza indirilerek, mevcut mekanik sistemlerle aynı ya da daha yüksek kapasitede tahıl transferine imkan sağlayacak parametreler SE yöntemi ile belirlenmiştir. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Hava yükseltici kullanılması durumunda, diğer taşıma sistemlerine oranla transfer sırasında oluşan ortam gürültüsü % 25-30 azaltılmıştır.
- Enerji sarfiyatı % 20-30 azaltılmıştır.
- Tahıl transfer hızı yaklaşık % 10 artırılmıştır.

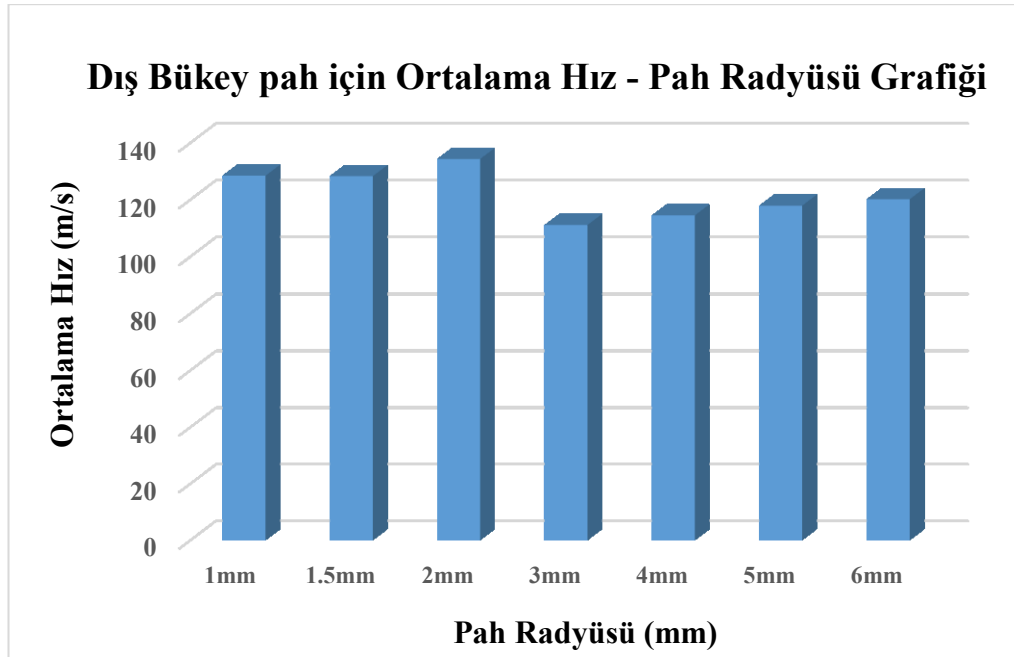
- Diğer sistemlere göre daha güvenlidir. Hareketli parça bulunmadığından kaza ihtimali düşüktür. Elektrik çarpması riski bulunmamaktadır.
- Taşıma kapasitesi partikül boyutuna ve ağırlığına bağlı olarak değişmektedir.

### 6.2.1. Pah etkisinin incelenmesi

Bu tez çalışmasında tasarlanan hava yükseltici modeli için üç farklı pah modeli tasarlanmıştır. Bu pah modelleri dış bükey pah, düz pah ve iç bükey pah olarak isimlendirilmiştir. Bu bölümde analiz sonuçları yorumlanmıştır.

#### 6.2.1.1. Dış bükey pah

SE analizi bölümünde gerçekleştirilen analizler sonucunda pah açısı 50 derece, pah uzaklığı 2 mm değerleri için en iyi taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Bu sırada tespit edilen en uygun basınç değeri de 7 bar olmuştur. Bu bölümde bu sınır şartları dikkate alınarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 6.1.'de hava yükselticinin dış bükey pah modeli için akış analizi sonuçları grafik halinde gösterilmiştir.

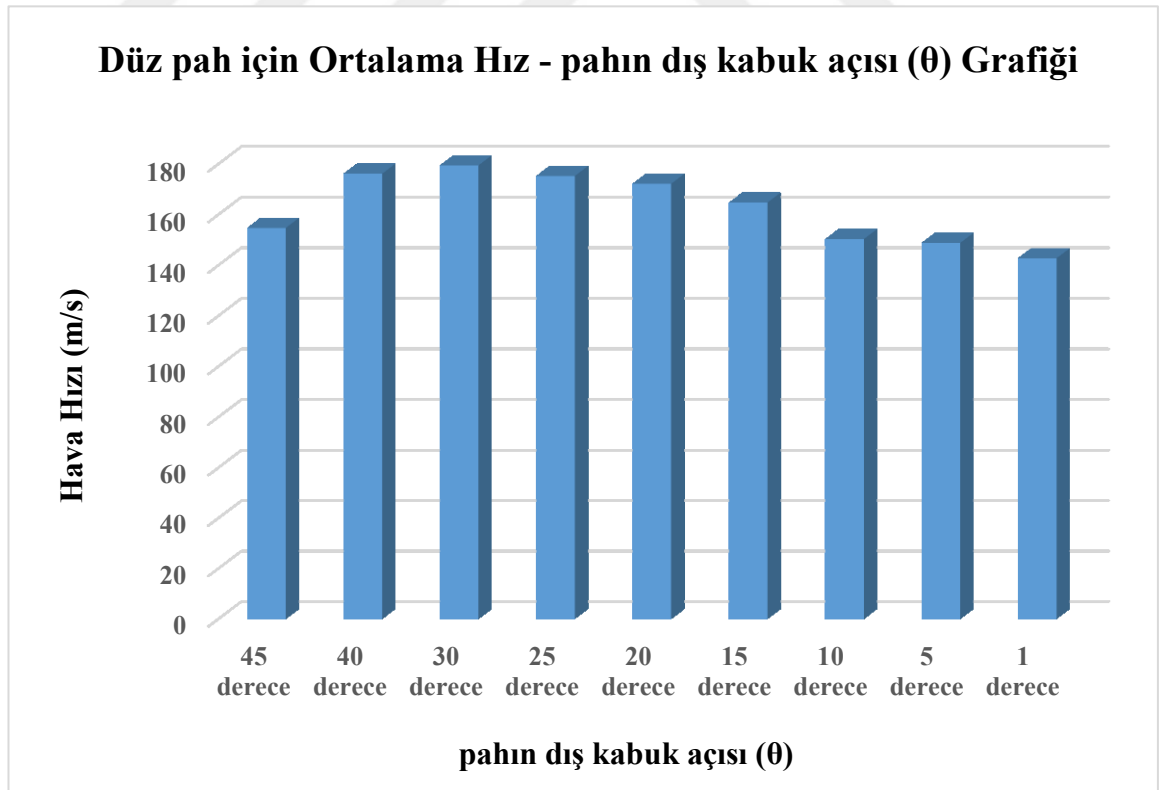


Şekil 6.1. Dış Bükey Pah Modeli İçin Ortalama Hız – Pah Radyüsü Grafiği

Grafik incelendiğinde pah radyüsünün 2mm değerine kadar ortalama taşıma hızı artmış, 2 mm nin üzerindeki pah radyüsü değerleri için taşıma hızı tekrar düşmeye başlamıştır. Bu nedenle optimum pah radyüsü 2mm olarak belirlenmiştir.

#### 6.2.1.2. Düz pah

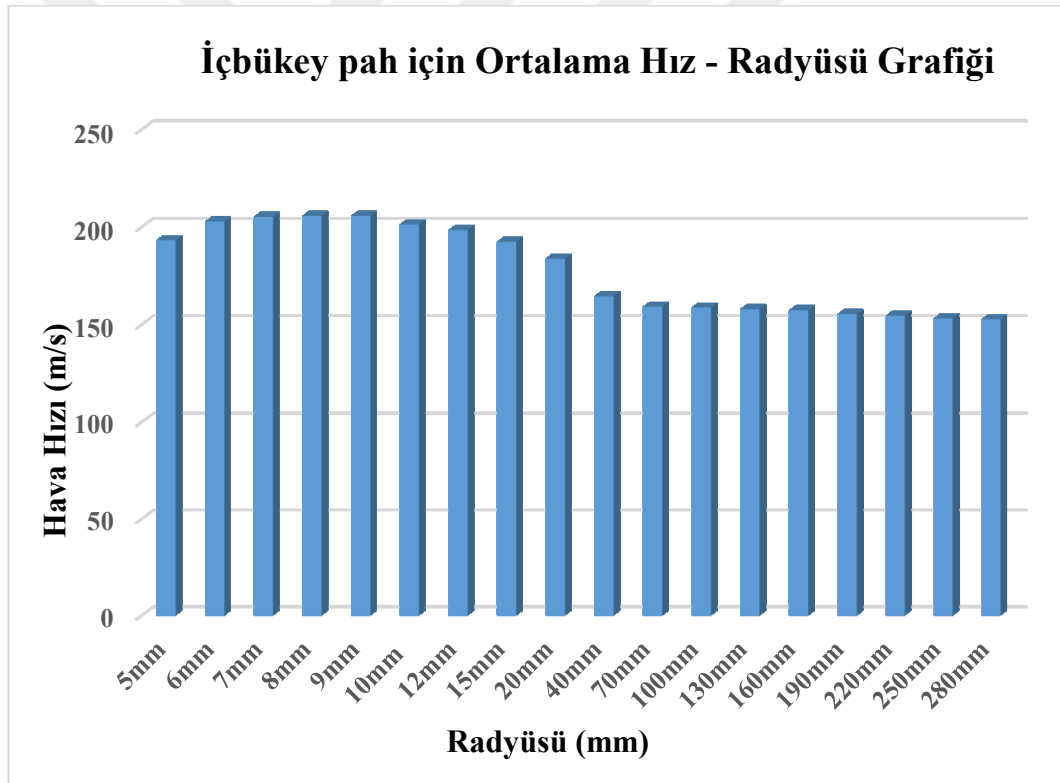
SE analizi bölümünde gerçekleştirilen analizler sonucunda pah açısı 50 derece, pah uzaklığı 4.9mm değerleri için en iyi taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Bu sırada tespit edilen en uygun basınç değeri de 7 bar olmuştur. Bu bölümde bu sınır şartları dikkate alınarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 6.2.'de hava yükselticinin düz pah modeli için yukarıda belirtilen sınır şartları dikkate alınarak elde edilen akış analizi sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. Grafikte de açıkça görüleceği gibi pahın dış kabuk açısı ( $\theta$ ) 30 derece değerine kadar hava hızı artmış, bu değer üzerinde tekrar düşmeye başlamıştır. Sonuç olarak, düz pah için pahın dış kabuk açısı 30 derece olarak belirlenmiştir.



Şelil 6.2. Düz Pah Modelinin Ortalama Hız - pahın dış kabuk açısı ( $\theta$ ) Grafiği

### 6.2.1.3. İç bükey pah

SE analizi bölümünde gerçekleştirilen analizler sonucunda pah açısı 50 derece, pah uzaklığı 4.9mm değerleri için en iyi taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Bu sırada tespit edilen en uygun basınç değeri de 7 bar olmuştur. Bu bölümde bu sınır şartları dikkate alınarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 6.3.'de hava yükselticinin içbükey pah modeli için yukarıda belirtilen sınır şartları dikkate alınarak elde edilen akış analizi sonuçları grafik olarak gösterilmiştir. Grafikte de açıkça görüleceği gibi pah radyüsünün 8mm değerine kadar hava hızı artmış, bu değer üzerinde tekrar düşmeye başlamıştır. Sonuç olarak, düz pah için pah radyüsü 8 mm olarak belirlenmiştir.



Şelil 6.3. İç Bükey Pah Modelinin Ortalama Hız - Radyüsü Grafiği

### 6.2.2. Optimum model için hız etkisinin incelenmesi

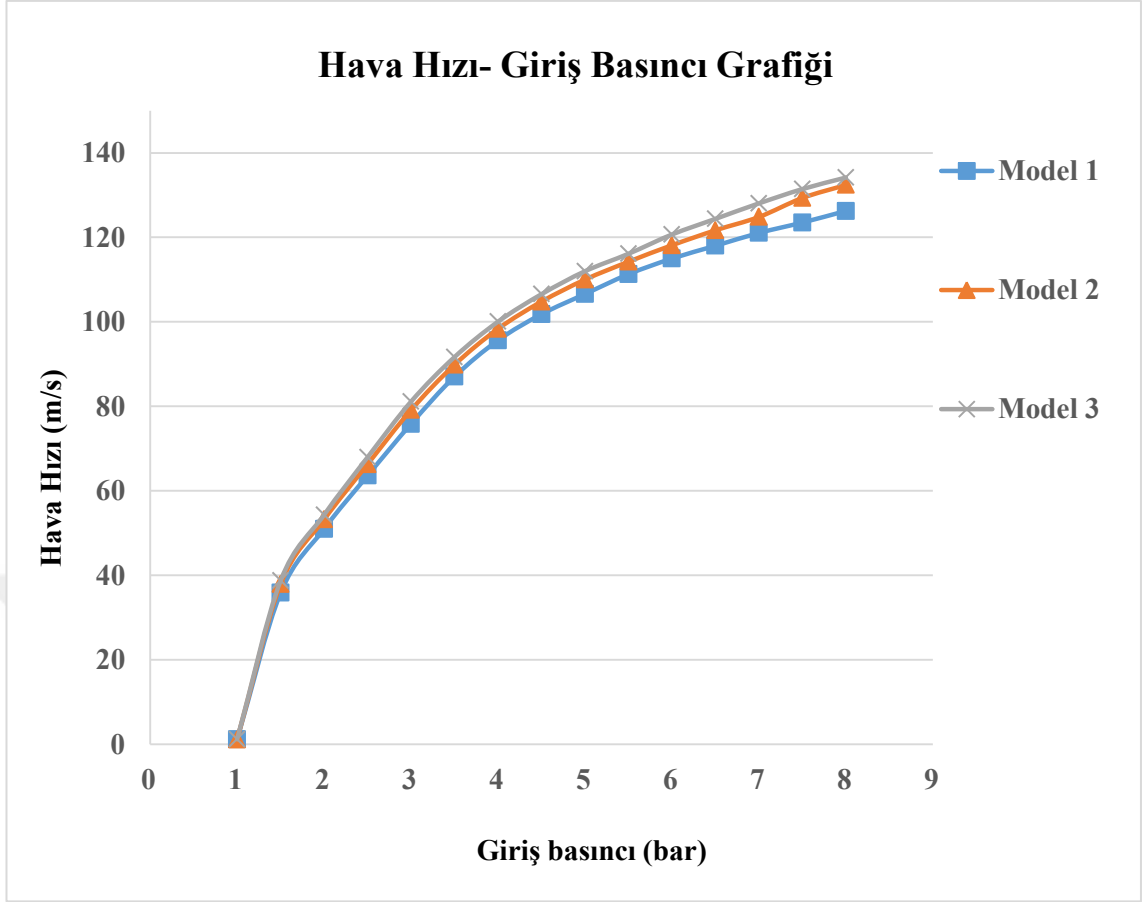
SE analizleri kısmında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde en iyi sonucun elde edildiği pah modelinin düz pah olduğu görülmüştür. Bu nedenle düz pah için pah

uzaklığı 4.9mm, iç kabuk pah açısı 7 derece ve dış kabuk pah açısı  $\theta=30$  derece parametreleri dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.4.'te Optimum hava yükseltici modeli için giriş basıncı - hava hızı grafiği gösterilmiştir. Bu grafikteki veriler, SE analizinden elde edilen sonuçlardır. Grafikte model 1, model 2 ve model 3 isimleri kullanılarak gruplama yapılmıştır. Bu modellerin tasarımında kullanılan parametreler Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Optimum hava yükseltici modellerinin boyutları

| Hava Yükseltici modelleri | Çap (D) | Pah açısı ( $\alpha$ ) | Pah uzaklığı (d) | Pahın dış kabuk açısı ( $\theta$ ) |
|---------------------------|---------|------------------------|------------------|------------------------------------|
| Model 1                   | 15,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 30 derece                          |
| Model 2                   | 17 mm   | 7 derece               | 4,9 mm           | 30 derece                          |
| Model 3                   | 18,5 mm | 7 derece               | 4,9 mm           | 30 derece                          |

Şekil 6.4.'te gösterilen grafik incelendiğinde her üç model için de giriş basıncının arttıkça hava hızı artmıştır. Analizler 8 bar basınca kadar gerçekleştirilmiştir. Bu değer üzerinde hava hızı artmaya devam etmekle birlikte aradaki fark giderek azalmaktadır. Daha yüksek basınçlarda taşıma işleminin gerçekleştirilebilmesi için daha dayanıklı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ise fiyat performans ilişkisi açısından efektif olmamaktadır. Grafik incelendiğinde 4bar basınca kadar hava hızında keskin bir artış olduğu gözlemlenirken 4 bar ile 8 bar arasında daha yatay bir seyir gözlemlenmektedir. Bu nedenle taşıma basıncının 4 barın üzerinde ve maksimum 8 bar olacak şekilde seçilmesi tavsiye edilmektedir. Bu basınç değeri fiyat performans sonucu açısından en optimum basınç değeridir.

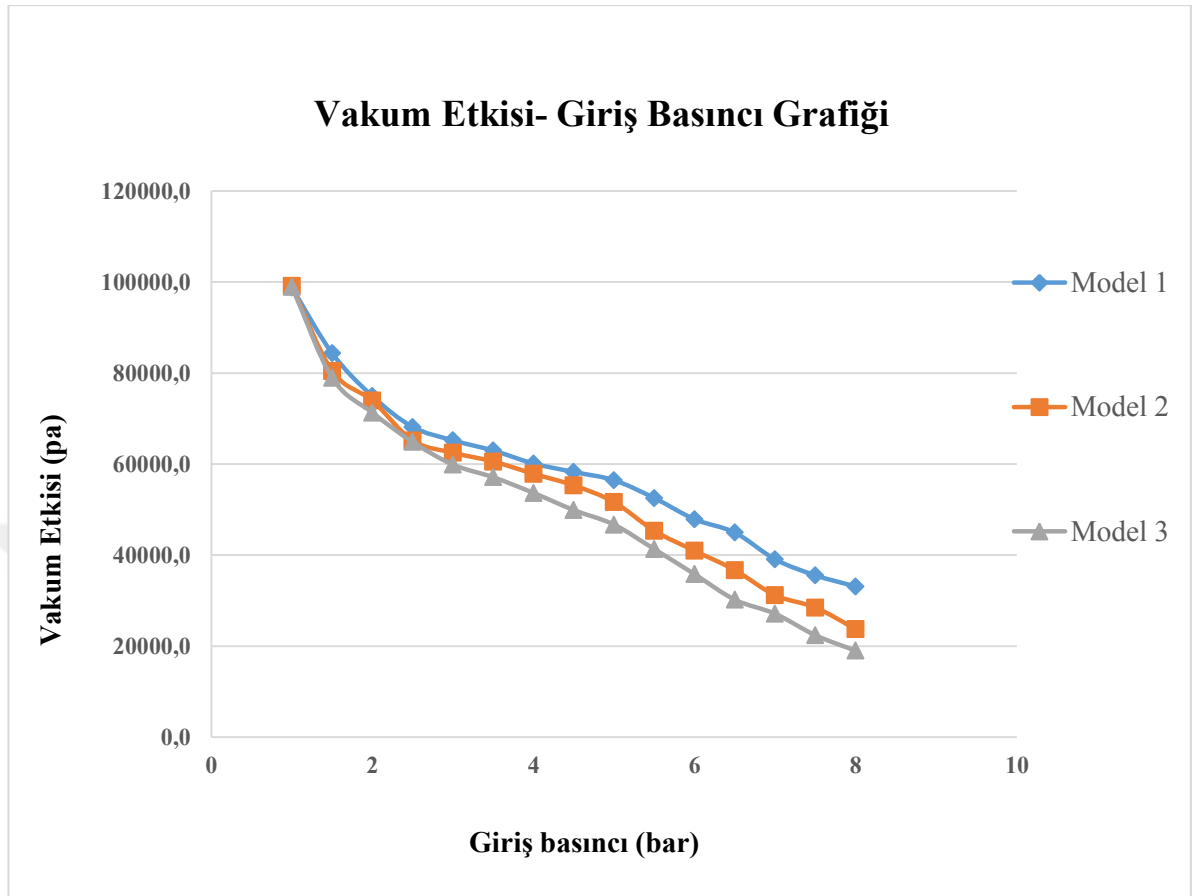


Şelil 6.4. Opmtimum hava yükselti modelinin hava hızı – giriş basıncı grafiği

### 6.2.3. Optimum model için vakum etkisinin incelenmesi

Şekil 6.5.'te gösterilen grafik incelendiğinde her model 1, model 2 ve model 3 için de giriş basıncının arttıkça sistemin içindeki basınç düşmüş ve vakum etkisi artmıştır. Akış analizleri 1 bardan 8 bar basınca kadar gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6.5.'te gösterilen optimum hava yükselticinin giriş basıncına göre vakum etkisinin grafiği gösterilmiştir. Bu grafikte üç farklı hava yükselticinin optimum modelleri incelenmiştir. Bu modellerin tasarımında kullanılan parametreler Tablo 6.1.'de verilmiştir. Şekil 6.5.'teki grafik incelendiğinde, 1 bar giriş basıncı uygulandığında, her üç modelde vakum etkisi sistemin girişbasıncına yakın bir değere (101000 Pascal) ulaşmıştır. 1 bar ile 4 bar giriş basıncı arasında keskin bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, 4 bar ile 8 bar arasında daha yatay bir seyir görülebilmektedir.



Şelil 6.5. Opmtimum hava yükselti modelinin vakum etkisi - radyüsü grafiği

## KAYNAKLAR

- Abdolkarimi, V., Boroojerdi, S. H. 2013, CFD modeling of particulates motion in gas pipelines. *Petroleum & Coal* 55 (3) 241-253.
- Abdolkarimi, V., Mohammadikhah, R., 2013, CFD modeling of particulates erosive effect on a commercial scale pipeline bend. Hindawi Publishing Corporation.
- Alspaugh, Mark, Dewicki, Grzegorz 2002, computer simulation solves conveyor Problems. Coal Age publishing company.
- Burkardt J., 2011, Meshing for the Finite Element Method, Department of Scientific Computing Florida State University.
- Bilirgen, H., Levy, E. K., 2001, Mixing and dispersion of particle ropes in lean phase pneumatic conveying, *Powder Technology*.
- Dumas, E., Dumas, E., Dumas, H, 2011, Fluid flow amplifier. United States Patent.
- Daniyan, I. A., Adeodu A. O., and Dada, O. M. 2014, Design of a material handling equipment. *Journal Of Advancement In Engineering And Technology*.
- Ghafori, H., Sharifi, M., 2018, Numerical and experimental study of an innovative design of elbow in the pipe line of a pneumatic conveying system. *Powder technology*.
- Güner, M., 2007, Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds. ELSEVIER, *Journal of Food Engineering*.
- Henderson, S.M. 1976, *Agricultural processing engineering*, AVI Publishing Company.
- Joseph F. Peters, Jr. 1991, pneumatic conveyor for grainy material and suction nozzle for use in such conveyor, flow pattern. United States Patent.
- kimia bespar company, 2015, dense phase system. Retrieved from kimia bespar corporation, <http://www.kbpcorp.com/index.php/blog/406-pneumatic-conveying-system-part-2.html>, Erişim Tarihi: 11.12.2018.
- Klinzing, G. E., 2017, Historical review of pneumatic conveying, *KONA Powder and Particle journal*.
- Klinzing, G. E., 2018, A review of pneumatic conveying status, advances and projections, *Powder technology*.

- Lee, J. M., Cho, M. Y., Honi, C. K., Yoon, S. M., Kim, H. S., Kim, Y.-J., 2014, Effect of coanda nozzle clearance on the flow characteristics of air amplifier.
- Litovchenko, A., 2013, Study on influence of geometrical features on capacity of industrial scale vertical air-lifters. Telemark Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Liu, Y., 2013, Effects of Mesh Density on Finite Element Analysis. SAE Technical Papers 2, DOI: 10.4271/2013-01-1375.
- Milak, M., Chaniecki, Z., Sankowski, D., 2018, Image processing for evaluation of settled layer during pneumatic conveying of granule solid. institute of applied science, Lodz university of technology.
- Mills, D. 2004a, Pneumatic Conveying design guide. Elsevier Butterworth-Heinemann, 30-31.
- Mills, D. 2004b, Pneumatic Conveying design guide. Elsevier, Butterworth-Heinemann, 31-32.
- Nex flow air corporation, 2017, Adjustable Air Amplifier. Retrieved from nex flow air: <https://www.nexflowair.co.za/air-amplifier-adjustable.php>. Erişim Tarihi: 01.11.2018.
- Roberts, A.W. 2008, Design and application of feeders for the controlled loading of bulk solids onto conveyor belts. Department of Mechanical Engineering, The University of Newcastle.
- Seema S. Vanamane, Pravin A. Mane, (2012), Design, Manufacture and Analysis of Belt Conveyor System. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA).
- Smajstrla, P. E., Kody W. 2013, efficient pneumatic conveying dense phase vs. dilute phase, WOCA conference.
- Toomey, C. G. (2014), Pneumatic Conveying System Optimization. IEEE Transactions On Industry Applications.
- Tripathi, N. M., Levya, A., Kalman, H., 2018, Acceleration pressure drop analysis in horizontal dilute phase pneumatic conveying system. Powder Technology.
- Va'squeza, N., Sa'ncheza, L., Klinzinga, G. E., Dhodapkar, S., 2003, Friction measurement in dense phase plug flow analysis, Powder technology.
- Wilson, Pamela 2001, air amplifier with uniform output, flow pattern. United States Patent.
- [www.google.com](http://www.google.com), Erişim Tarihi: 20.02.2019.
- Wang, Y., Williams, K., Jones, M., Chen, B., CFD simulation methodology for gas-solid flow in bypass pneumatic conveying – A review. Applied Thermal Engineering.
- Yang, W., Kuan, B., 2006, Experimental investigation of dilute turbulent particulate flow inside a curved 90° bend. Chemical Engineering Science.

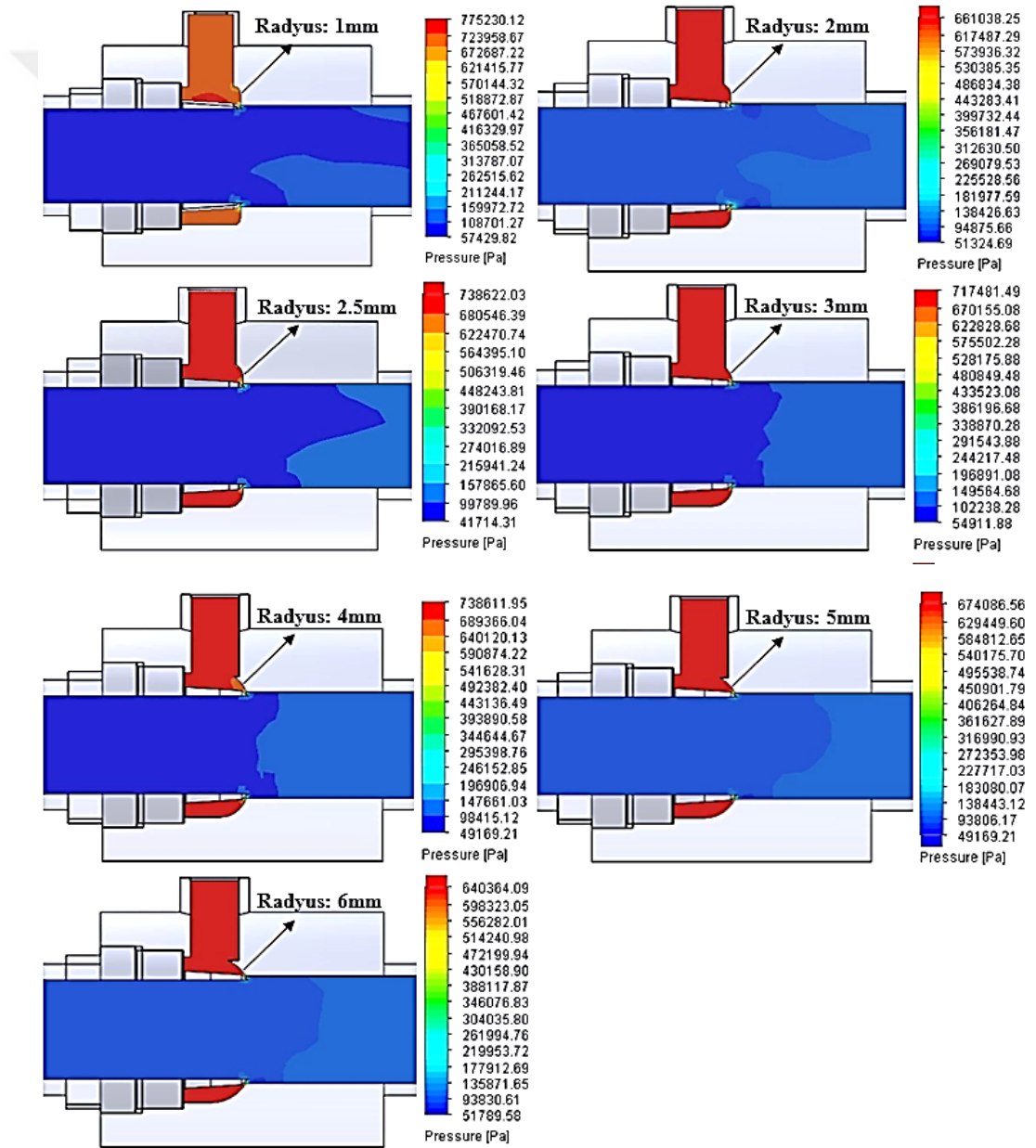
Zhou, J. W., Liu, Y., Liu, S. Y., Du, C. L., Li, J. P., 2017, Effects of particles hape and swirling intensity on elbow erosion in dilute-phase pneumatic conveying, Elsevier, Wear.

Zinchenko, M., 2013, Determination of particle velocities in pneumatic conveying. Telemark Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi.

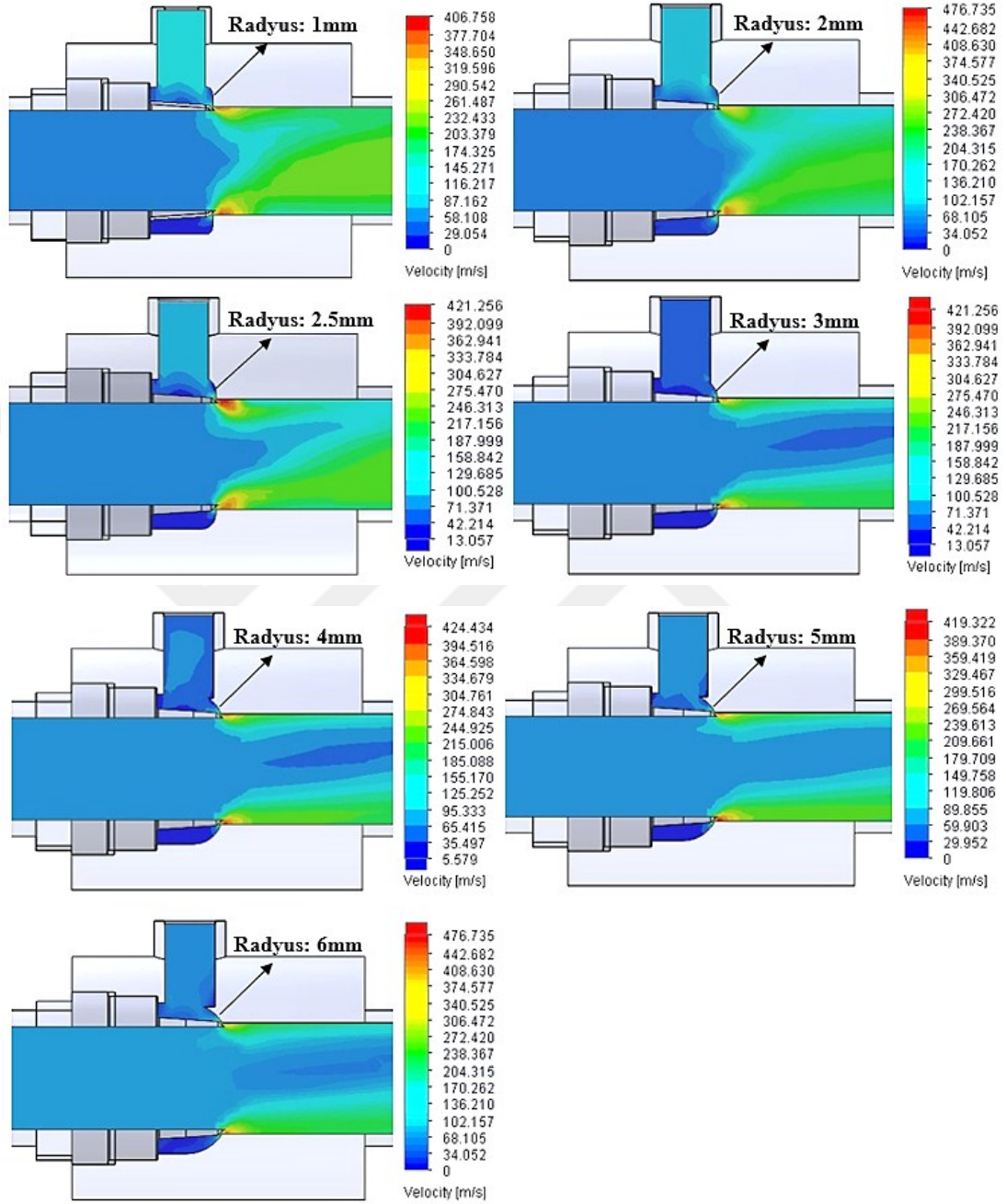


## EKLER

**EK A:** Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah radyusları kullanılarak Vakum etkisinin gösterilmesi (pah radyüsü: 1, 2.5, 3, 4, 5 ve 6 mm)

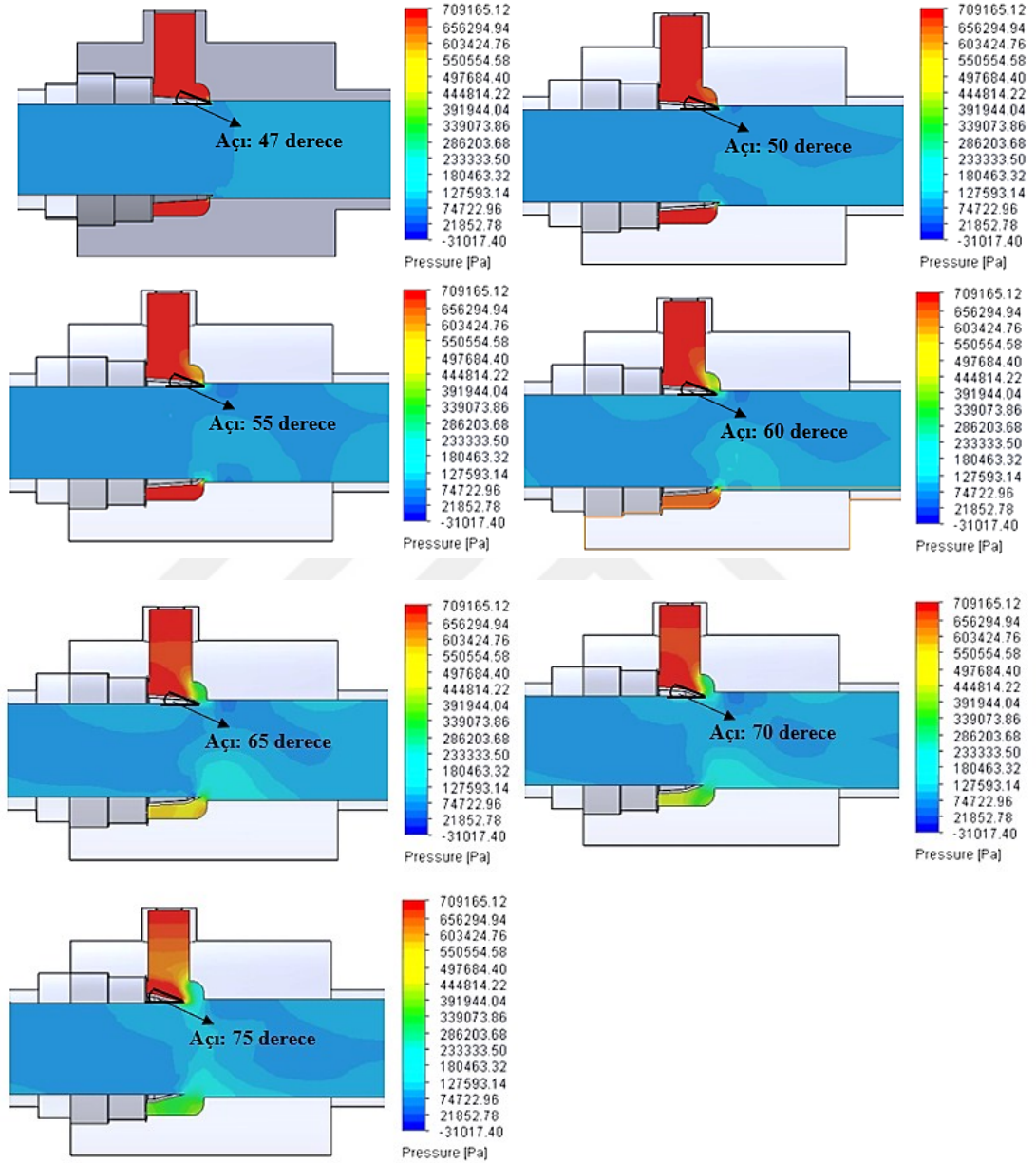


**EK B:** Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah radyusları kullanılarak hava hızının gösterilmesi (pah radyüsü: 1, 2.5, 3, 4, 5 ve 6 mm)

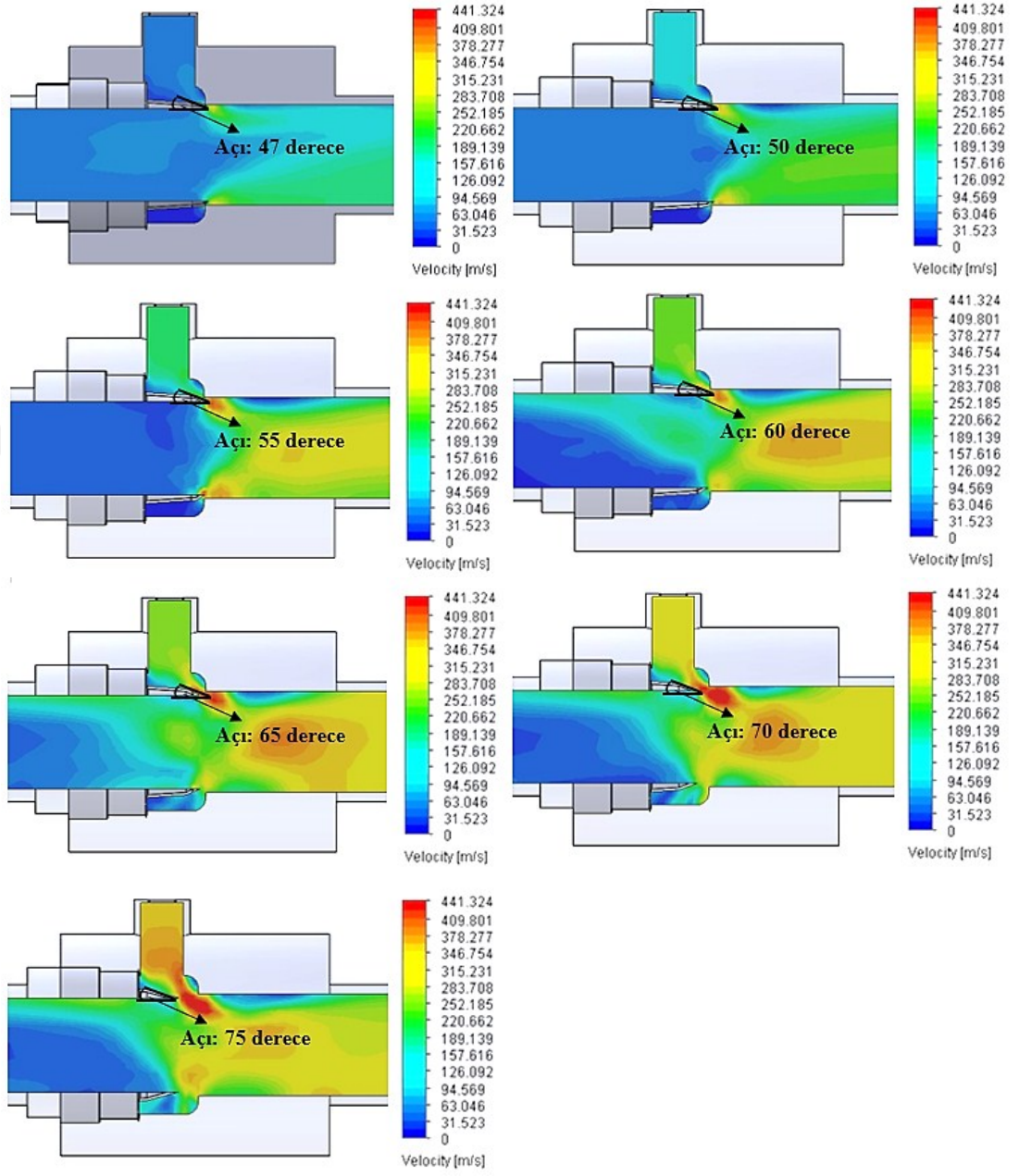


**EK C: Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah açıları kullanılarak vakum**

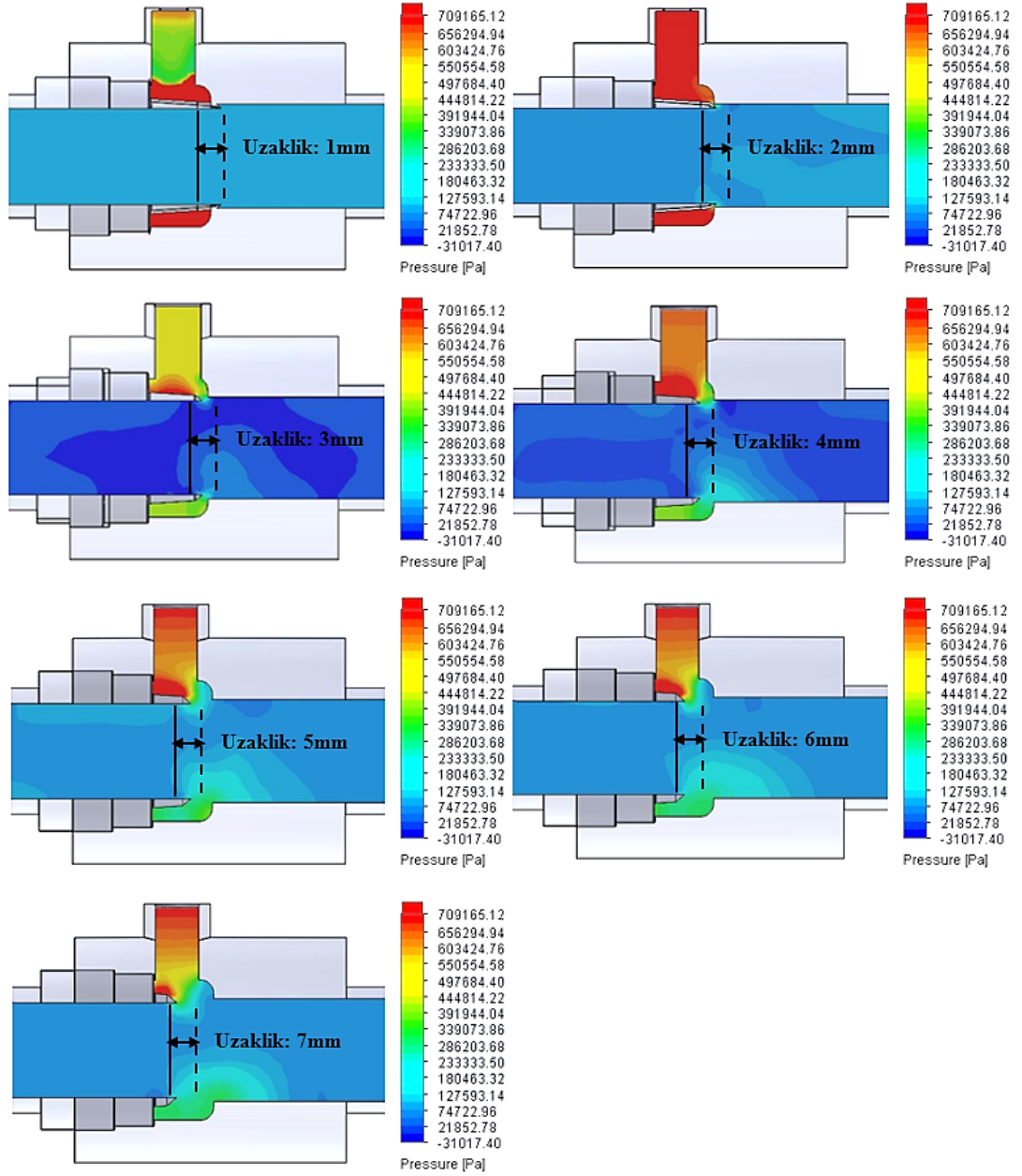
etkisinin gösterilmesi (pah açıları: 47, 50, 55, 60, 65, 70 ve 75 derece)



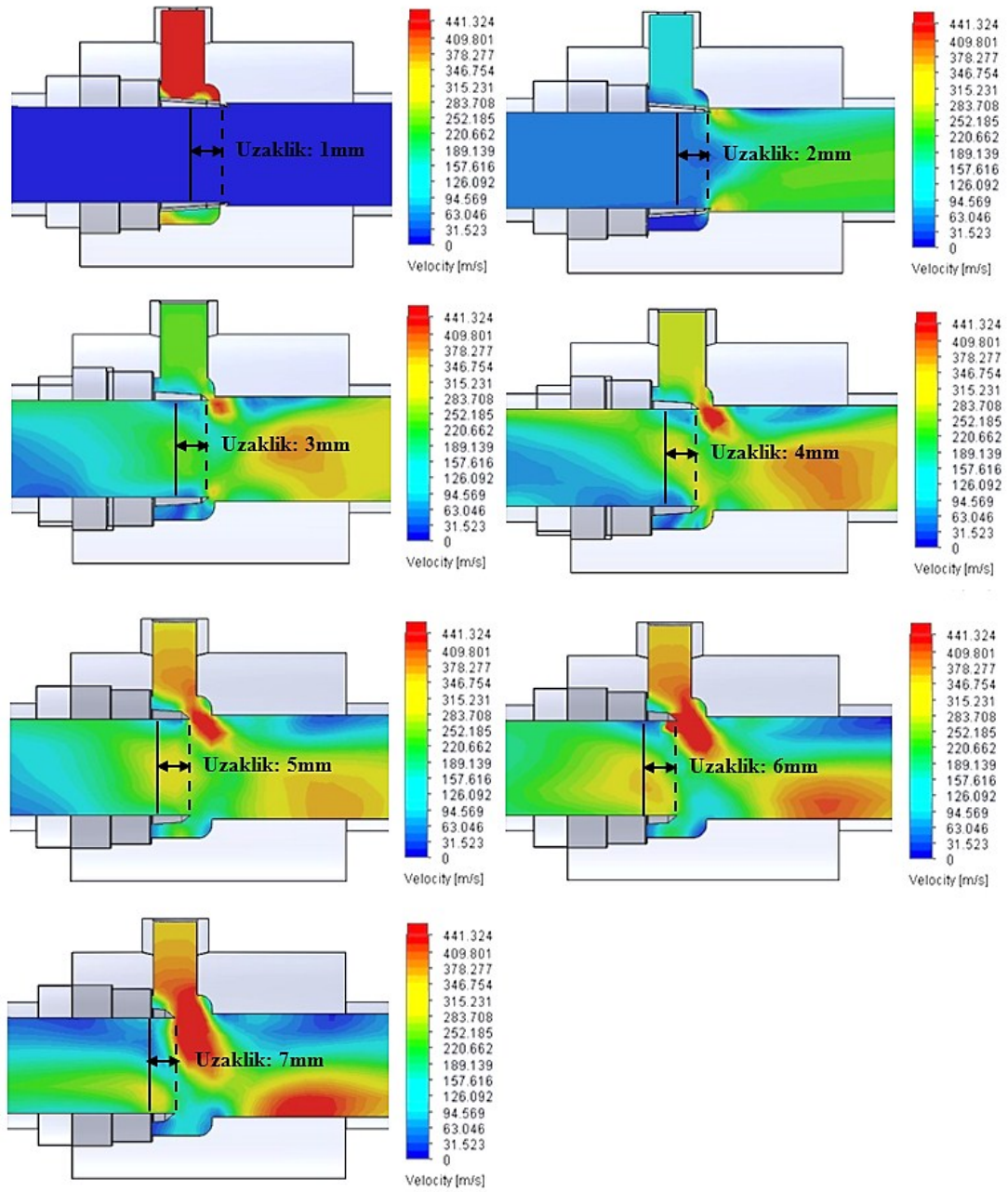
**EK D:** Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah açıları kullanılarak hava hızının gösterilmesi (pah açıları: 47, 50, 55, 60, 65, 70 ve 75 derece)



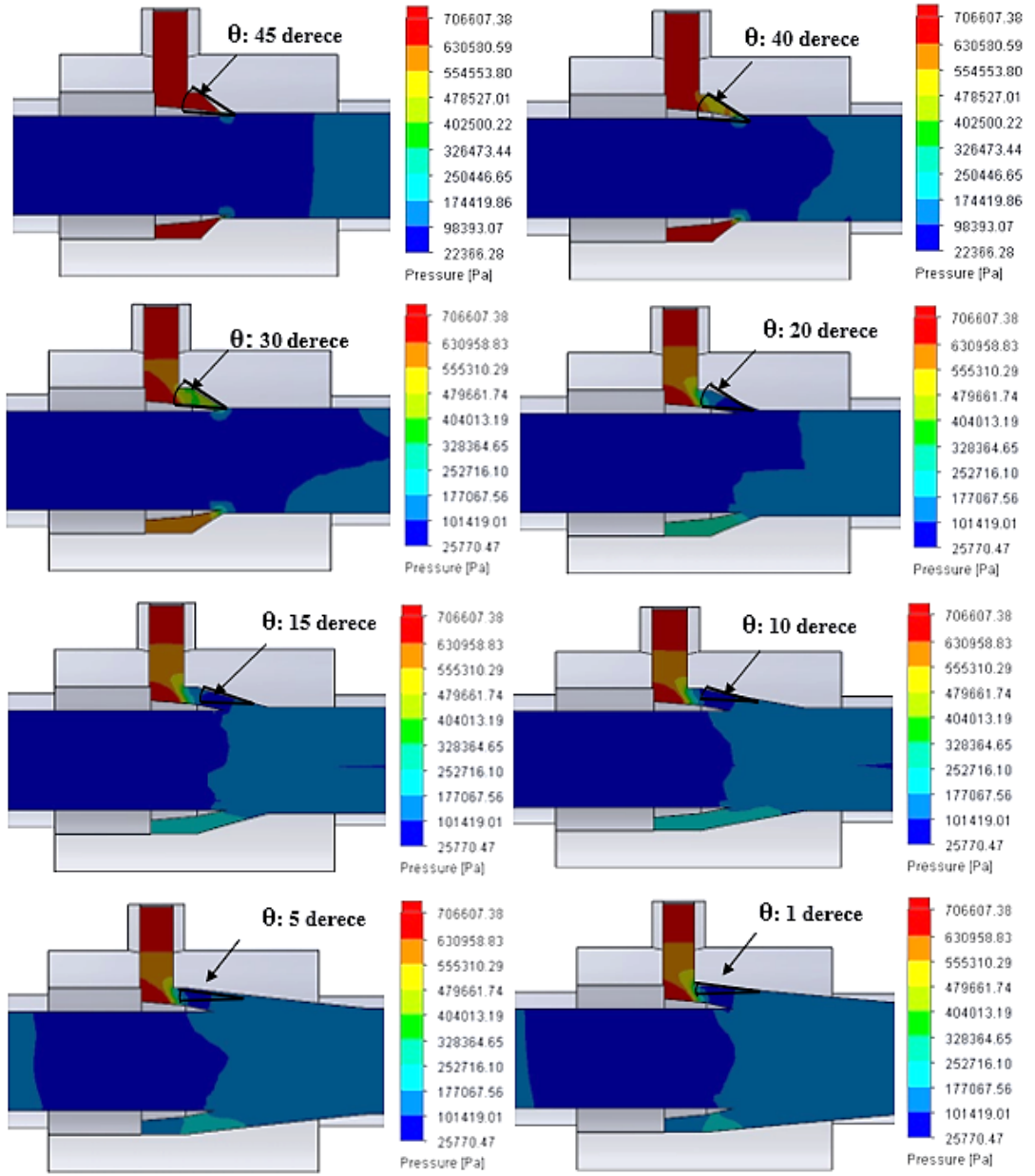
**EK E:** Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah uzaklıkları kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi (uzaklık: 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 mm)



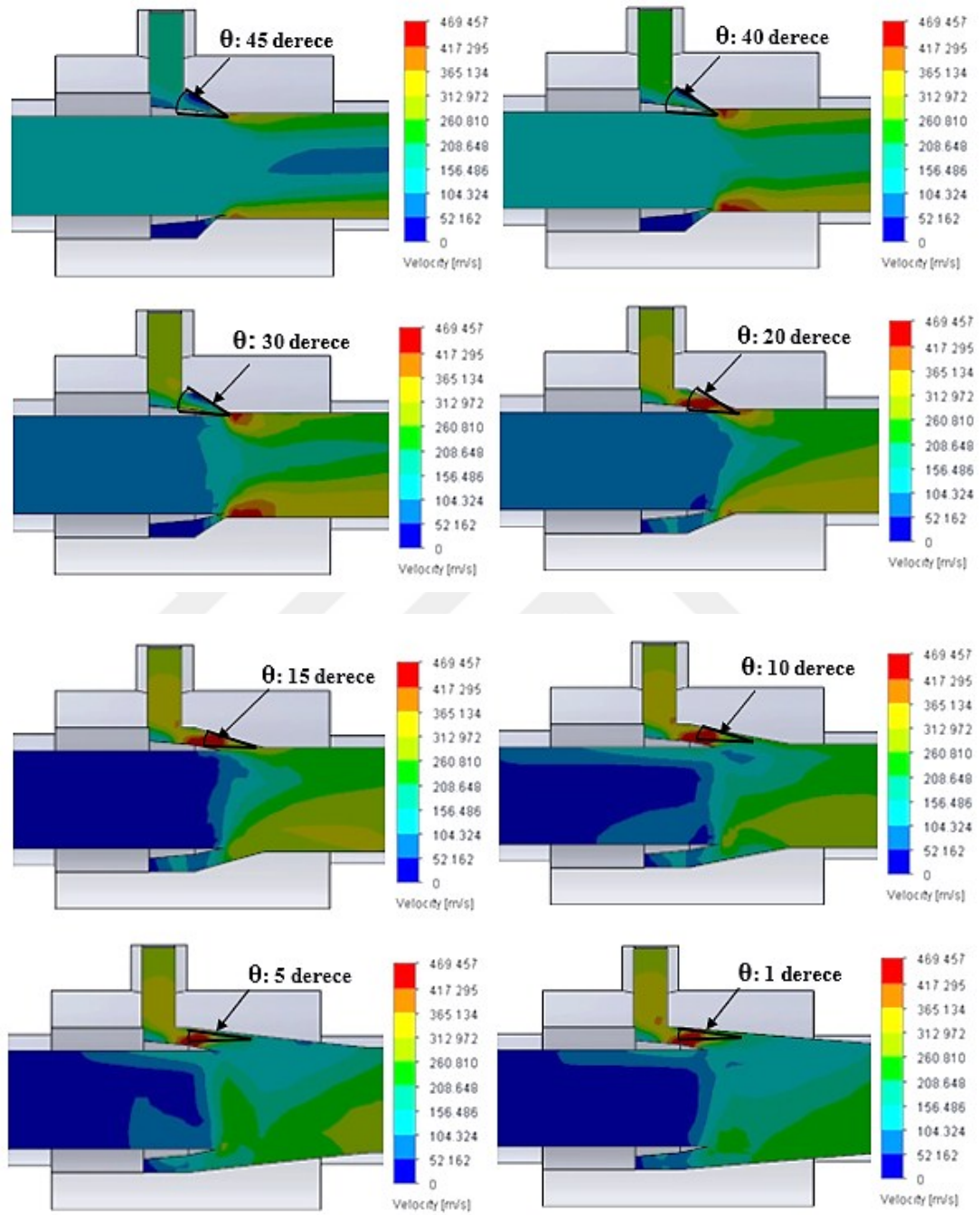
**EK F:** Dış bükey pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah uzaklıkları kullanılarak hava hızının gösterilmesi (uzaklık: 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 mm)



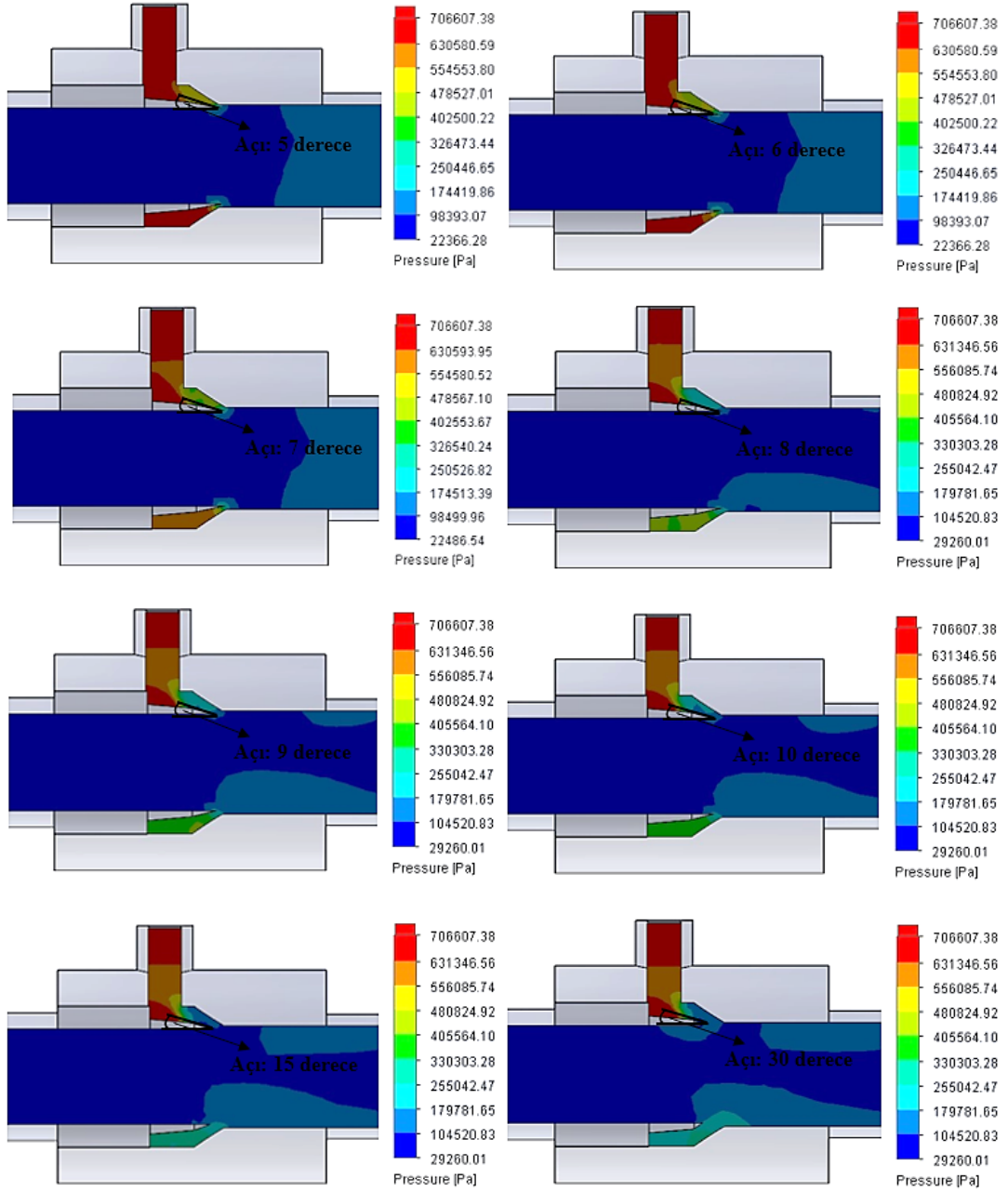
**EK G:** Düz pah için 7 bar basınç altında ve farklı pahın dış kabuk açıları kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi ( $\theta$ : 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40 ve 45 derece)



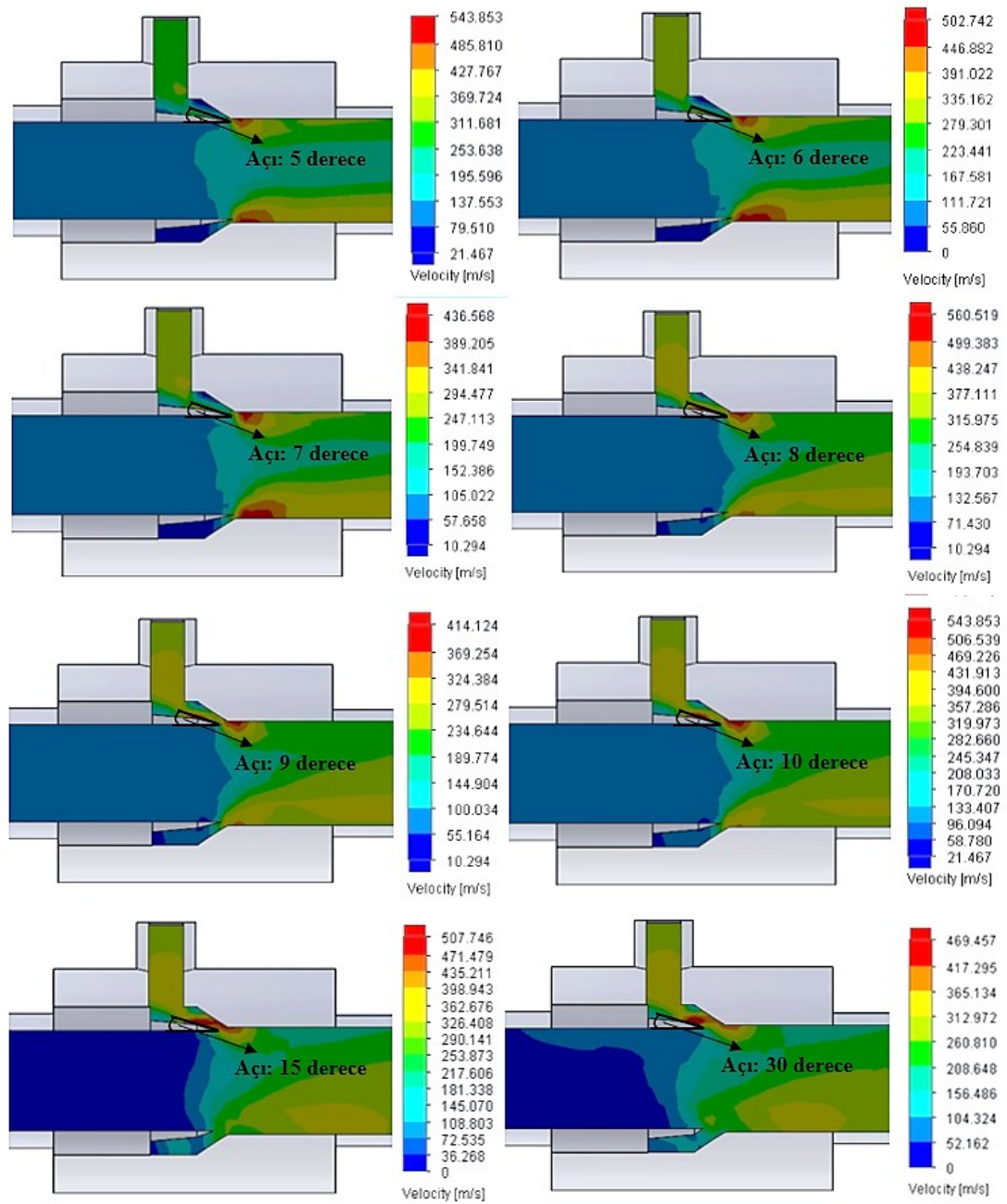
**EK H:** Düz pah için 7 bar basınç altında ve farklı pahın dış kabuk açıları kullanılarak hava hızının gösterilmesi ( $\theta$ : 1, 5, 10, 15, 20, 30, 40 ve 45 derece)



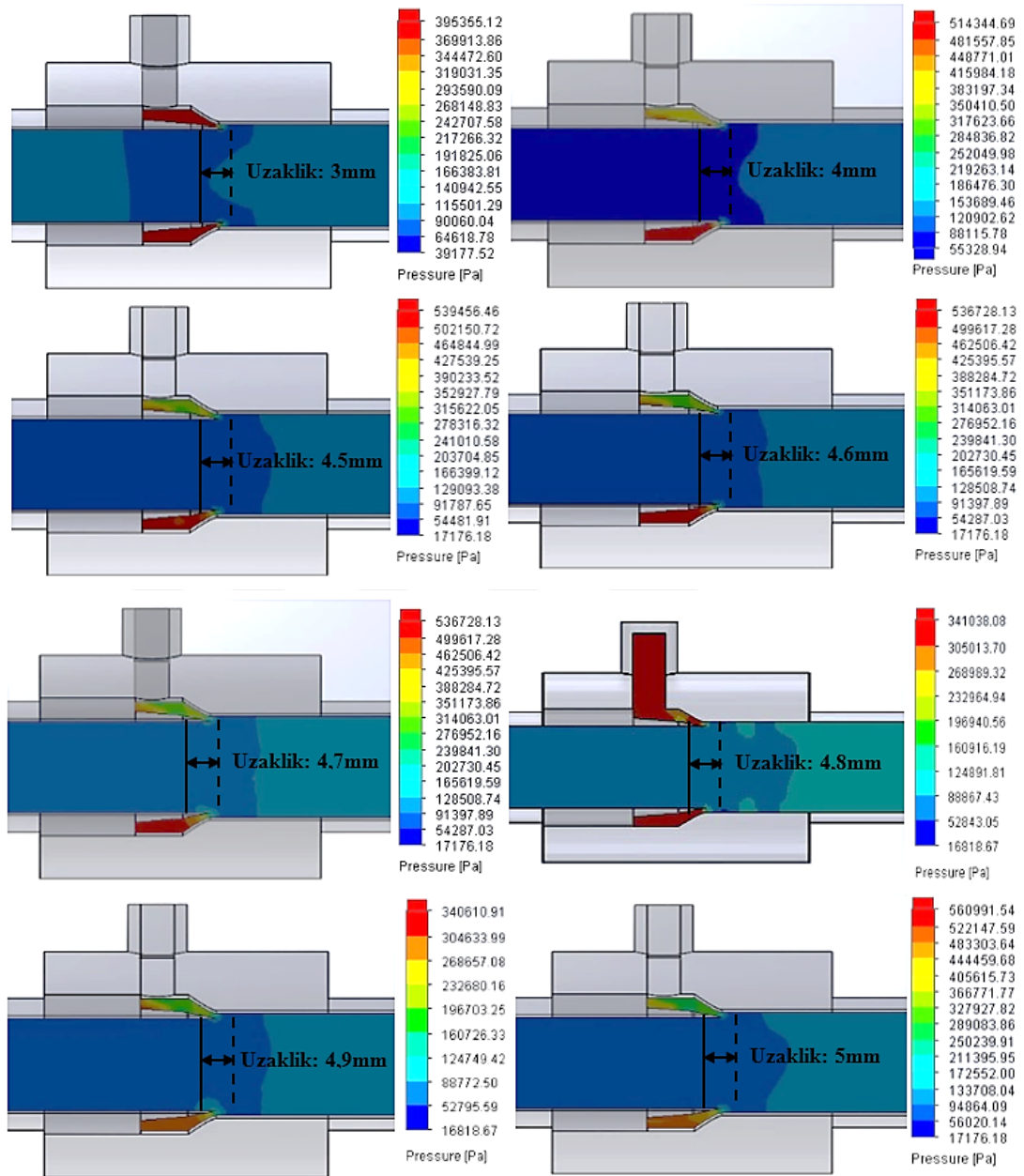
**EK İ:** Düz pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah açıları kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi (açı: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15 ve 30 derece)



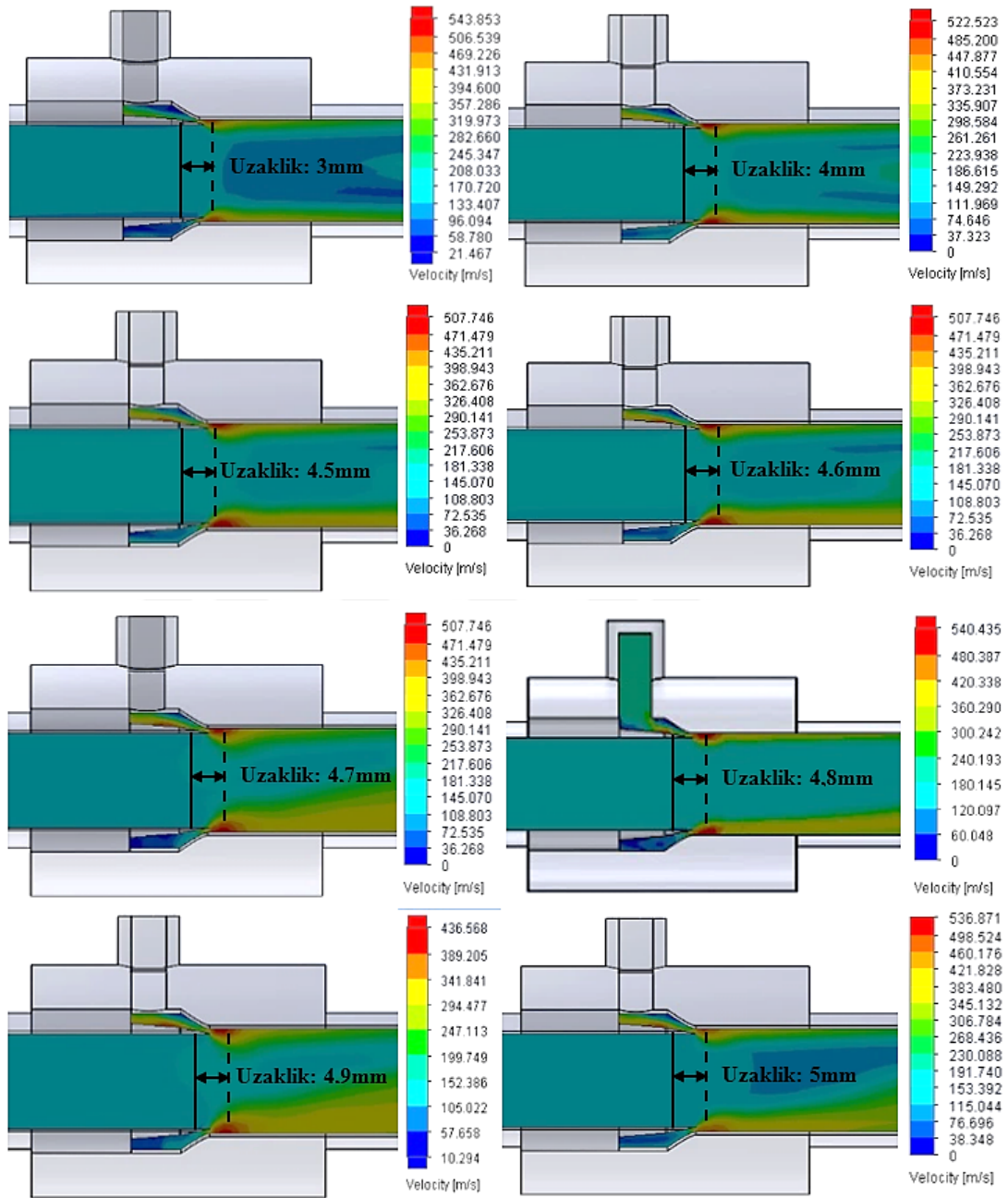
**EK J:** Düz pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah açıları kullanılarak hava hızının gösterilmesi (açı: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15 ve 30 derece)



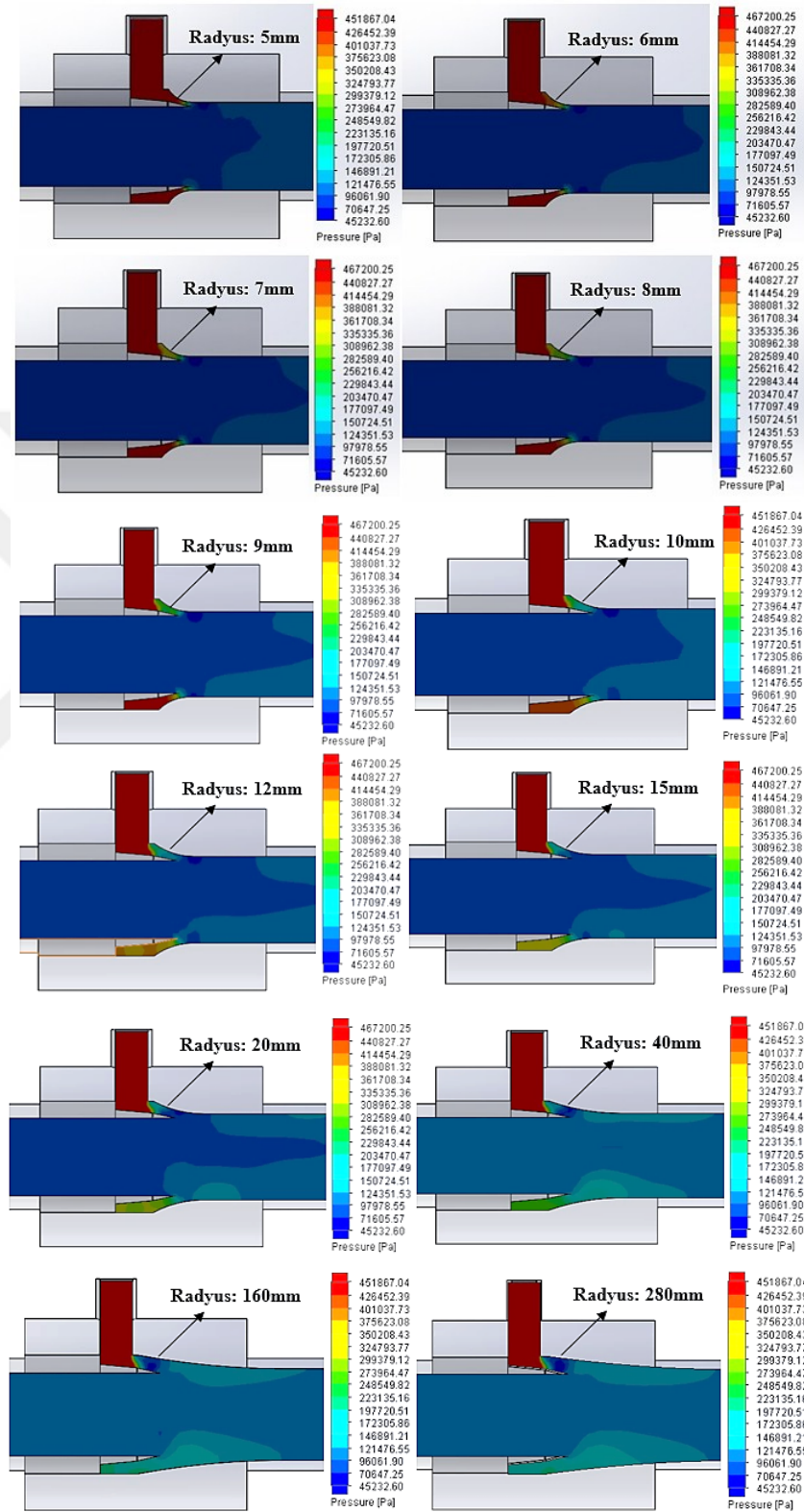
**EK K:** Düz pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah uzaklıkları kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi (uzaklık: 3, 4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 5 mm)



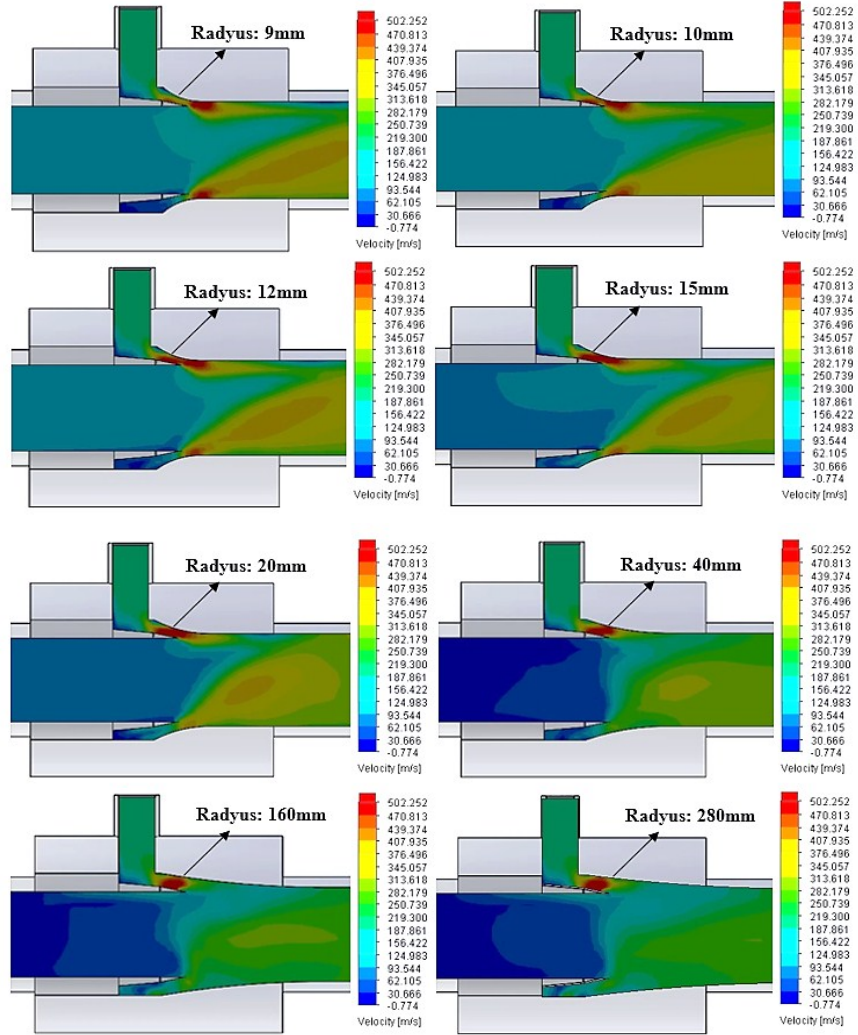
**EK L:** Düz pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah uzaklıkları kullanılarak hava hızının gösterilmesi (uzaklık: 3, 4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 5 mm)



**EK M:** İç bükey pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah radyusları kullanılarak vakum etkisinin gösterilmesi (pah radyüsleri: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 40, 160 ve 280 mm)



**EK N:** İç bükey pah için 7 bar basınç altında ve farklı pah radyusları kullanılarak hava hızının gösterilmesi (pah radyüsleri: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 40, 160 ve 280 mm)



## ÖZGEÇMİŞ

Seyed Soroush SOLEIMANI, 27.07.1990'da İranın Sanandaj şehrinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini sanandaj'da tamamladı. 2008 yılında Shahed Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Azad Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2013 yılında başladığı Askerlik Hizmetini 2015 yılında bitirdi. 2015 yılın son aylarında Sakarya Üniversitesi'nde Makina Mühendisliği bölümünde Yüksek lisansı başladı.