



**DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAKLI
BİR KAZANIN SOĞUK DENEY DÜZENİĞİ
İLE MODELLENMESİ**

Koray ÖZDEMİR

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜLLÜCE
2017
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAKLI BİR KAZANIN SOĞUK DENEY
DÜZENİĞİ İLE MODELLENMESİ**

Koray ÖZDEMİR

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Enerji Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



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



TEZ ONAY FORMU

**DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAKLI BİR KAZANIN SOĞUK DENEY
DÜZENEGİ İLE MODELLENMESİ**

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜLLÜCE danışmanlığında, Koray ÖZDEMİR tarafından hazırlanan bu çalışma 25/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı – Enerji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜLLÜCE

İmza :

Üye : Doç. Dr. Mehmet KAYA

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu **26.../01.../2017** tarih ve **04.../...28**..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAKLI BİR KAZANIN SOĞUK DENEY DÜZENEGİ İLE MODELLENMESİ

Koray ÖZDEMİR

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜLLÜCE

Gelişen teknoloji ve beraberinde getirdiği gelişmeler doğrultusunda Dünya genelinde ve ülkemizde enerji ihtiyacı ve tüketimi de hızla artmaktadır. Bu noktada verimli ve çevre dostu olan dolaşimli akışkan yataklı (DAY) kazan teknolojisi ön plana çıkmaktadır. DAY kazanda ısı ve kütle transferi, katı ve akışkan akış oranlarından doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle doğru bir DAY kazan tasarımı ve işletimi açısından sistem hidrodinamiğinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. DAY bir kazanda basınç düşümündeki değişiklikler, yatak içerisindeki katı yoğunluğu profilini dolayısıyla da ısı transfer yüzeylerindeki ısı transferi katsayısını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca yatak içerisinde yanma ve dolaşım için gereken havayı basmak için kullanılan hava fanı kapasitesi de doğrudan yatak içi basınç düşümüne bağlıdır. Bu sebeple farklı çalışma parametreleri için basınç düşümü profillerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada tasarımı yapılan bir DAY kazan, kazan geometrisi, hızı, tane boyutu gibi parametreleri içeren tam set boyutlandırma kuralları ile 1/15 oranında küçültülerek soğuk modeli oluşturulmuş ve farklı hava debisi, yatak malzemesi tane boyutu ve kütlesi gibi parametrelerin yatak basınç düşümüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Soğuk modelde elde edilen sonuçlar, boyutlandırma kuralları ile kazanın yoğun yatak, geçiş ve boş kolon bölgeleri için benzetilerek kazan için kapsamlı bir çalışma aralığı tahmin edilebilmiştir. Yatak toplam basınç düşümü, artan yatak malzemesi kütlesi ve artan birincil ve ikincil hava debisi ile artmakta, artan tane boyutu ile azalmaktadır. Yatak üst kısım basıncı, artan ikincil hava debisi/birincil hava debisi oranı ile doğrusal olarak artmaktadır.

2017, 119 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dolaşimli akışkan yataklı kazan, boyutlandırma, benzetim, soğuk model, basınç düşümü

ABSTRACT

MS Thesis

MODELLING OF A CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER VIA COLD EXPERIMENTAL SETUP

Koray ÖZDEMİR

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Department
Department of Energy

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hüseyin GÜLLÜCE

In line with the developing technology and the developments it brings together, the energy demand and consumption in the World and our country are increasing rapidly. At this point, efficient and environmentally friendly circulating fluidized bed (CFB) boiler technology is at the forefront. In a CFB boiler, the heat and mass transfer is directly affected by the solid and the fluid flowrates. For this reason, the system hydrodynamics must be well known in terms of accurate CFB boiler design and operation. In a CFB boiler, changes in the boiler pressure drop directly affects the solid density profiles in the bed hence the heat transfer coefficient of heat transfer surface. In addition, the air fan capacity used to pump the air required for combustion and circulation in the bed is also directly dependent on the in-bed pressure drop. For this reason it is important to know the pressure drop profiles for different operating parameters. For this purpose, in this study, a designed CFB boiler is scaled down and cold modelled with a ratio of 1/15 using full set scaling relationships including parameters such as geometry, gas velocity, particle diameter and the effect of parameters such as different air flow rates, bed material particle size and mass on pressure drop through the bed is studied experimentally. Using the results obtained from the cold model a comprehensive operation ranges for dense bed, transition region and freeboard regions of boiler were able to estimated via scaling relationships. The bed total pressure drop increases with increasing bed material mass and increasing primary and secondary air flowrates, decreases with increasing particle size. Absolute pressure of the upper part of the bed increases linearly with increasing secondary air to primary air flowrates ratio.

2017, 119 pages

Keywords: Circulating fluidized bed boiler, scale-down, similitude, cold model, pressure drop

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında, öncelikle tezimi değerlendirerek değerli görüş ve eleştirileriyle her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜLLÜCE'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam MİLTES (Termik Santral Teknolojilerinin Geliştirilmesi ve Yerleştirilmesi) Projesi kapsamında desteklendiğinden başta Proje Yürütücüm olmak üzere tasarımda ve bu çalışmaya konu olan deney düzeneği ile ilgili aşamalarda samimi yardımlarını esirgemeyen proje ekibine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak, yalnızca yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında değil her işte sınırsız manevi desteğini yanımda hissettiğim aileme teşekkür ederim.

Koray ÖZDEMİR

Ocak, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dünyada Enerji.....	1
1.2. Dünya’da Kömürün Enerjideki Payı	1
1.3. Türkiye’de Enerji	2
1.3.1. Türkiye’de Kömürün Enerjideki Payı	2
1.3.2. Kömürden Elektrik Üretimi.....	3
1.4. Kömür Yakma Sistemleri	6
1.5. Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazan Teknolojisi.....	9
1.6. DAY Benzeşim.....	16
1.7. DAY Boyutlandırma Kuralları	17
1.8. DAY Benzeşim Deneysel Çalışmalar	21
1.9. Amaç ve Kapsam.....	35
2. KURAMSAL TEMELLER	36
2.1. Boyutlandırma Kuralları.....	36
2.2. Basitleştirilmiş Boyutlandırma Kuralları	37
2.3. Minimum Akışkanlaşma Hızı	37
2.4. Basınç Düşümü Boyutlandırma.....	38
3. MATERYAL ve YÖNTEM	39
3.1. Materyal.....	39
3.2. Yöntem	45
3.2.1. Ölçeğin Belirlenmesi.....	45
3.2.2. Soğuk Modelin Boyutlandırılması	46

3.2.3. Siklonun Boyutlandırılması.....	47
3.2.4. Boyutlandırma Parametrelerinin Belirlenmesi.....	48
3.2.5. Deney Düzeneginin Montajı ve Kurulumu	51
3.2.6. Deneylerin Yürütülmesi	55
3.2.7. Verilerin İşlenmesi	58
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	64
4.1. Soğuk Modelde Yatak Malzemesi Kütlesinin Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi.....	64
4.2. Kazanda Yatak Malzemesi Kütlesinin Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi.....	75
4.3. Soğuk Modelde Yatak Malzemesi Tane Boyutunun Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi	85
4.4. Kazanda Yatak Malzemesi Tane Boyutunun Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi.....	94
4.5. Kazanda Birincil ve İkincil Hava Debisinin Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi.....	103
5.6. Soğuk Modelde Yatak Üst Kısım Basıncının İkincil Hava Debisi/Toplam Hava Debisi Oranına Göre Değişiminin İncelenmesi.....	107
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	110
5.1. Sonuçlar.....	110
5.2. Öneriler.....	114
KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\emptyset_s$	Parçacık küreselliği, (birimsiz)
d_p	Tane çapı, (m)
ε	Yatak boşluk oranı, (birimsiz)
μ	Akışkan (gaz) viskozitesi, (kg/m.s)
Fr_D	Froude sayısı, (birimsiz)
G_s	Net katı akısı, (kg/m ² s)
L_1	Sıcak kazan yatak yüksekliği, (m)
L_2	Soğuk model yatak yüksekliği, (m)
Q_1	Birincil (primer) hava debisi, (m ³ /h)
Q_2	İkincil (sekonder) hava debisi, (m ³ /h)
Q_{ls}	Loopseal hava debisi, (m ³ /h)
Re_{dp}	Parçacık hızına bağlı Reynold sayısı, (birimsiz)
$\bar{u}$	Gaz hızının vektörel gösterimi
u_0	Boş kolon gaz hızı, (m/s)
u_{mf}	Minimum akışkanlaşma hızı, (m/s)
u_t	Katı parçacık terminal hızı, (m/s)
$\bar{v}$	Parçacık hızının vektörel gösterimi
v_0	Boş kolon katı hızı, (m/s)
ρ_f	Akışkan (gaz) yoğunluğu, (kg/m ³)
ρ_s	Katı parçacık yoğunluğu, (kg/m ³)
ΔP	Basınç düşümü, (kPa)
A	Yatak kesit alanı, (m ²)
Ar	Arşimet Sayısı, (birimsiz)
BHD	Birincil (primer) hava debisi, (m ³ /h)
D	Yatak çapı, (m)
DAY	Dolaşımli Akışkan Yatak
$EÜAŞ$	Elektrik Üretim A.Ş.
g	Yer çekimi ivmesi, (m/s ²)

h	Ölçüm noktası (sensör) yükseliği, (m)
H	Yatak yüksekliği, (m)
İHD	İkincil (sekonder) hava debisi, (m ³ /h)
L	Yatak yüksekliği, (m)
LSHD	Loopseal hava debisi, (m ³ /h)
mtep	Milyon ton eşdeğer petrol
m	Birim kütle
m _{sm}	Soğuk model yatak malzemesi kütlesi
m _k	Kazan yatak malzemesi kütlesi
PBD	Parçacık boyut dağılımı
PT	Basınç Transmitteri
THD	Toplam hava debisi (birincil ve sekonder hava debisi toplamı), (m ³ /h)
YG	Yatak geometrisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı.....	2
Şekil 1.2. Türkiye birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı.....	3
Şekil 1.3. Türkiye kurulu gücünün kaynaklara dağılımı.....	4
Şekil 1.4. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı.....	5
Şekil 1.5. Linyit rezervlerimizin ısı değer bazında dağılımı.....	5
Şekil 1.6. Dolaşımli akışkan yataklı kazan ve ekipmanları	11
Şekil 1.7. Basınçlandırılmış DAY şematik görünüm	22
Şekil 1.8. Farklı gaz bileşenli DAY soğuk model deney düzeneği	23
Şekil 1.9. DAY deney düzeneği.....	26
Şekil 1.10. İkinci hava/toplam hava oranının basınç profiline etkisi.....	26
Şekil 1.11. 300 MW _e 'lik DAY kazanın soğuk modeli (solda) ve ölçüm noktalarının genel görünümü (sağda)	27
Şekil 1.12. DAY soğuk model	29
Şekil 1.13. DAY soğuk model çalışma haritası	30
Şekil 3.1. Fan	41
Şekil 3.2. Basınç transmitteri (solda), sıcaklık sensörü (sağda).....	42
Şekil 3.3. Rotametreler, birincil ve ikincil hava (solda), loopseal hava (sağda).....	42
Şekil 3.4. PLC	43
Şekil 3.5. Paslanmaz çelik bilyalar	43
Şekil 3.6. Birincil, ikincil ve loopseal hava dağıtımı için kullanılan sürgülü vanalar	44
Şekil 3.7. Elek.....	44
Şekil 3.8. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	45
Şekil 3.9. DAY yanma bölgesi boyutları	46
Şekil 3.10. Soğuk deney düzeneği üç boyutlu katı modeli.....	53
Şekil 3.11. Soğuk deney düzeneği montaj sonrası.....	54
Şekil 3.12. Soğuk deney düzeneği bağlantı ve sensörler	55
Şekil 3.13. Deneylere ilişkin örnek görüntüler	57
Şekil 3.14. Örnek veri ile oluşturulan grafik.....	59
Şekil 3.15. Örnek veri ile h/H aralıkları için oluşturulan doğrular üstte) 0,01-0,07 ortada) 0,07-0,18 altta) 0,18-0,70.....	60
Şekil 3.16. Örnek veri ile oluşturulan güncel grafik.....	61

Şekil 4.1. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:0-150 \text{ } \mu\text{m}$	65
Şekil 4.2. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:0-150 \text{ } \mu\text{m}$	66
Şekil 4.3. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:0-150 \text{ } \mu\text{m}$	67
Şekil 4.4. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:0-150 \text{ } \mu\text{m}$	68
Şekil 4.5. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150-212 \text{ } \mu\text{m}$	70
Şekil 4.6. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150-212 \text{ } \mu\text{m}$	71
Şekil 4.7. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150-212 \text{ } \mu\text{m}$	72
Şekil 4.8. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150-212 \text{ } \mu\text{m}$	73
Şekil 4.9. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2 \approx 217000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ } \mu\text{m}$	75
Şekil 4.10. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2 \approx 261000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ } \mu\text{m}$	76
Şekil 4.11. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 304000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ } \mu\text{m}$	77
Şekil 4.12. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ } \mu\text{m}$	78
Şekil 4.13. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 217000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530-750 \text{ } \mu\text{m}$	80
Şekil 4.14. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 261000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530-750 \text{ } \mu\text{m}$	81
Şekil 4.15. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 304000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530-750 \text{ } \mu\text{m}$	82
Şekil 4.16. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530-750 \text{ } \mu\text{m}$	83

Şekil 4.17. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=10 \text{ kg}$	86
Şekil 4.18. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=10 \text{ kg}$	87
Şekil 4.19. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=10 \text{ kg}$	88
Şekil 4.20. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=10 \text{ kg}$	89
Şekil 4.21. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$	90
Şekil 4.22. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$	91
Şekil 4.23. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$	92
Şekil 4.24. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$	93
Şekil 4.25. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2 \approx 217000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=m \text{ kg}$	95
Şekil 4.26. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2 \approx 261000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=m \text{ kg}$	96
Şekil 4.27. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 304000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=10 \text{ kg}$	97
Şekil 4.28. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=m \text{ kg}$	98
Şekil 4.29. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 217000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=2m \text{ kg}$	99
Şekil 4.30. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 261000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=2m \text{ kg}$	100
Şekil 4.31. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 304000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=2m \text{ kg}$	101
Şekil 4.32. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=2m \text{ kg}$	102

Şekil 4.33. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ } \mu\text{m}$, $m_k = m \text{ kg}$	104
Şekil 4.34. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ } \mu\text{m}$, $m_k = 2m \text{ kg}$	105
Şekil 4.35. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530-750 \text{ } \mu\text{m}$, $m_k = m \text{ kg}$	106
Şekil 4.36. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530-750 \text{ } \mu\text{m}$, $m_k = 2m \text{ kg}$	107
Şekil 4.37. İHD/THD oranına göre yatak üst kısım basıncı $Q_1 = 400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p: 0-150 \text{ } \mu\text{m}$	108
Şekil 4.38. İHD/THD oranına göre yatak üst kısım basıncı $Q_1 = 350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p: 0-150 \text{ } \mu\text{m}$	109
Şekil 5.1. Akışkanlaşma tipleri	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kömür yakma sistemleri.....	7
Çizelge 1.2. Türkiye’deki DAY kazanlı termik santraller	14
Çizelge 1.3. Literatürde boyutlandırma parametreleri.....	20
Çizelge 1.4. Literatürde DAY modelleme deneysel çalışmalar.....	31
Çizelge 2.1. Kullanılan boyutlandırma kuralları.....	37
Çizelge 3.1. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanlar.....	39
Çizelge 3.2. DAY yanma bölgesi boyutları	47
Çizelge 3.3. Siklon boyutları	48
Çizelge 3.4. DAY kazan çalışma parametreleri.....	49
Çizelge 3.5. DAY soğuk model gaz özellikleri	49
Çizelge 3.6. DAY kazan için hesaplanan boyutsuz parametreler.....	50
Çizelge 3.7. DAY soğuk model çalışma parametreleri.....	50
Çizelge 3.8. DAY soğuk model boyutsuz parametreler	51
Çizelge 3.9. Basınç sensörleri yerleşimi	52
Çizelge 3.10. Paslanmaz çelik bilyaların elek analizi sonuçları	55
Çizelge 3.11. Deney prosedürü.....	56
Çizelge 3.12. Örnek veri	58
Çizelge 3.13. Örnek veri ile basınç düşümü değerlerinin hesaplanması	58
Çizelge 3.14. Örnek veri ile kazan için basınç düşümü değerlerinin hesaplanması	63

1. GİRİŞ

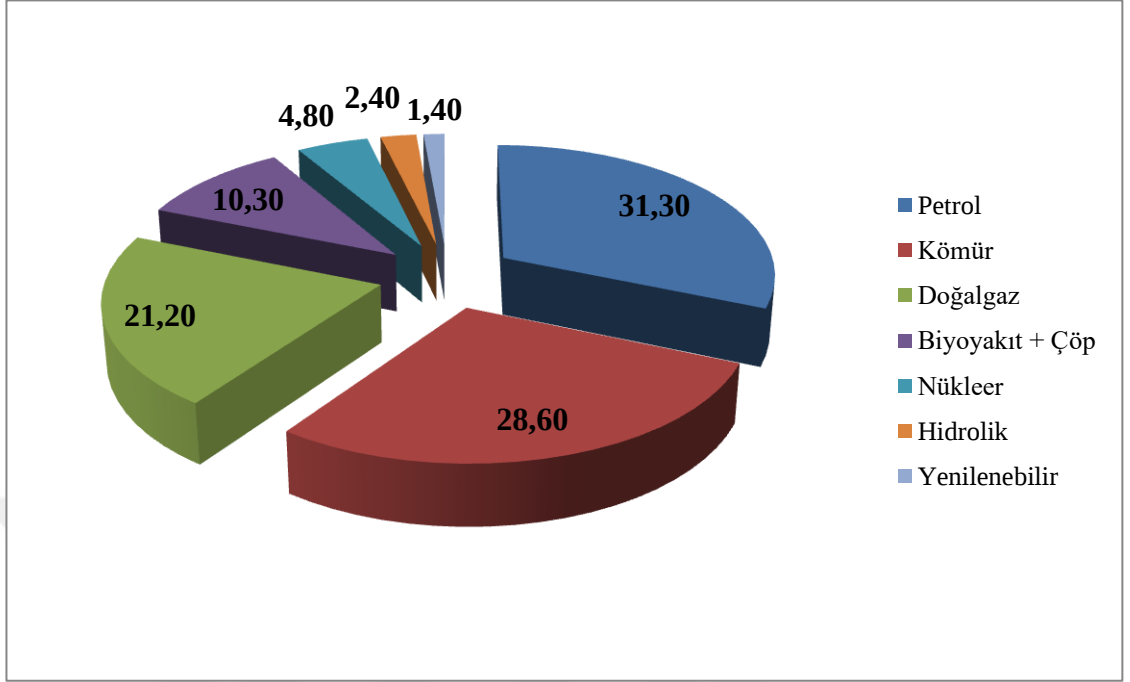
1.1. Dünyada Enerji

Gelişen teknoloji ve beraberinde getirdikleri doğrultusunda Dünya genelinde enerji ihtiyacı ve tüketimi de hızla artmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda artan nüfus ve toplumsal refah düzeyi ile sanayinin uluslararası platformda rekabet edebilmesi gibi unsurlara bağlı olarak enerji talebi de dünya ortalamasının üzerinde artış göstermektedir.

1.2. Dünya’da Kömürün Enerjideki Payı

Uluslararası Enerji Ajansı güncel verilerine göre Dünya birincil enerji arzı 1973 ve 2014 yılları arasındaki 41 yılda iki kattan fazla artarak 2014 yılı itibarıyla 13699 mtep (milyon ton eşdeğer petrol) düzeyine ulaşmıştır. 1973-2014 yılları arasındaki dönemde; Dünya’da petrolün payı %46,2’den %31,3’e düşerken, doğalgazın payı %16,0’dan %21,2’ye, nükleer enerjinin payı %0,9’dan %4,8’e ve hidrolik dâhil yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %1,9’dan %3,8’e yükselmiştir. Aynı dönemde kömürün payı 4,1 puan artışla %24,5’ten %28,6 düzeyine ulaşmıştır (Şekil 1.1) (Anonim 2016).

Yeni yüzyılın ilk 14 yılındaki en dikkat çekici gelişme ise kömürün toplam enerji arzı içerisindeki payına ilişkindir. Söz konusu 14 yılda petrolün payı %36,5’ten %31,3’e, nükleer payı %6,7’den %4,8’e düşerken, doğalgazın payı sadece 0,7 puanlık artışla %20,5’ten %21,2’ye yükselmiş, buna karşın kömürün toplam içindeki payı 5,3 puan artışla %23,3’ten %28,6 düzeyine artmıştır (Anonim 2016a).

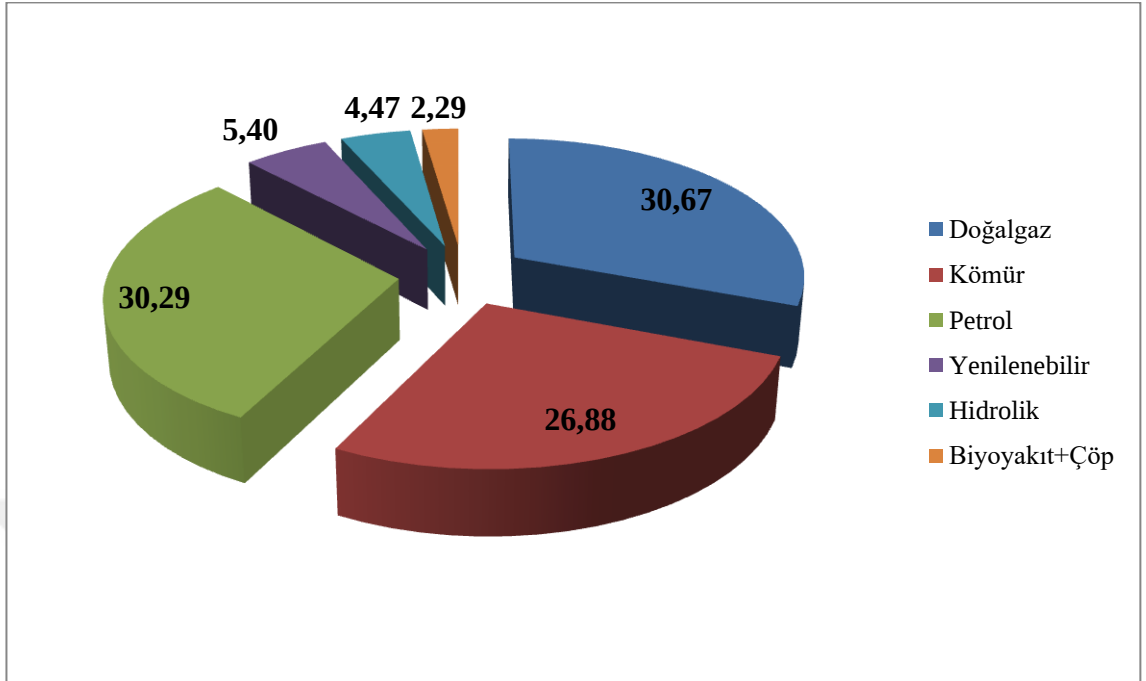


Şekil 1.1. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı

1.3. Türkiye’de Enerji

1.3.1. Türkiye’de Kömürün Enerjideki Payı

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre Ülkemiz birincil enerji tüketiminde ortalama yıllık artış oranı son on yılda %3,7 ve son yirmi yılda ise %3,6 düzeyindedir. Birincil enerji arzı 2015 yılında bir önceki yıla göre %4,3 artış göstererek 129,3 mtep olmuştur. Bu arzın kaynaklara dağılımında ilk sırayı 39,7 mtep ile doğalgaz almaktadır. Doğalgazı sırasıyla; 39,2 mtep ile petrol, 34,7 mtep ile kömür, 7,0 mtep ile jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar 5,8 mtep ile hidrolik, 3,0 mtep ile odun, hayvan ve bitki artıkları izlemektedir (Şekil 1.2) (Anonim 2016b).

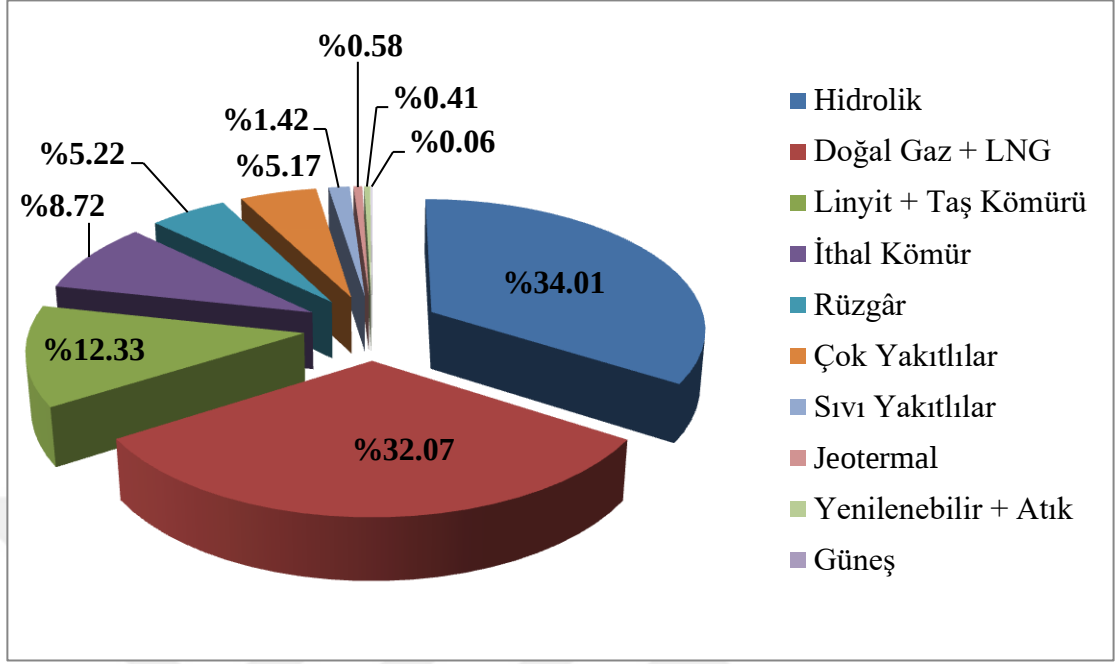


Şekil 1.2. Türkiye birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı

1.3.2. Kömürden Elektrik Üretimi

Elektrik Üretim A. Ş. verilerine göre 2014 yılı sonu itibariyle Ülkemizin elektrik üretim kurulu gücü 69519,67 MW'tır. Kurulu gücümüzün kaynaklara dağılımında ilk sırayı 23643,10 MW ile hidrolik almaktadır. Hidroliği sırasıyla; 22292,10 MW ile doğalgaz ve sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG), 8573,40 MW ile linyit ve taş kömürü, 6062,60 MW ile ithal kömür, 3629,70 MW ile rüzgâr, 3595,80 MW ile çok yakıtlılar, 989,80 MW ile fuel-oil, motorin, nafta ve asfaltit gibi sıvı yakıtlılar, 404,90 MW ile jeotermal, 288,10 MW ile yenilenebilir ve atık ve 40,20 MW ile güneş izlemektedir (Şekil 1.3) (Anonim 2015a).

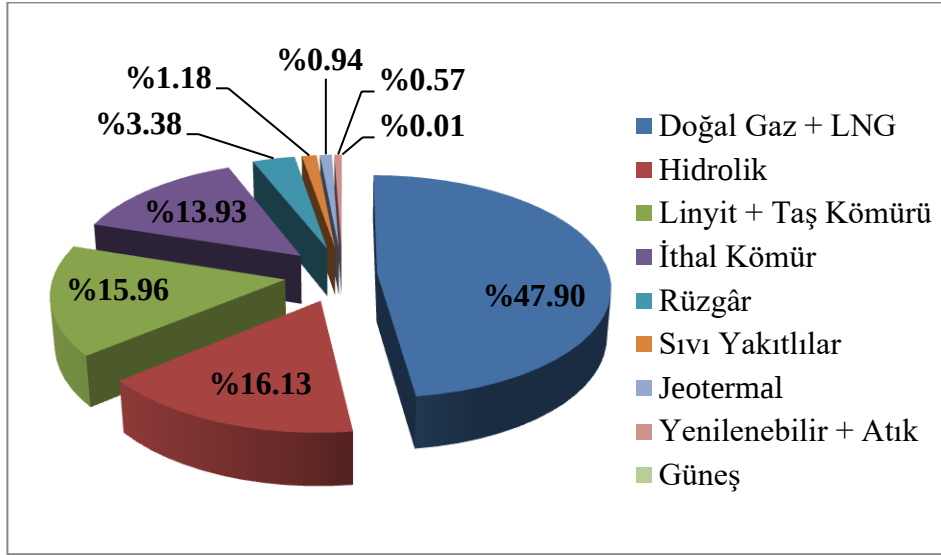
Yine Elektrik Üretim A.Ş. verilerine göre 2014 yılı sonu itibariyle Ülkemizin elektrik üretim değerleri 251962,8 GWsa'tır. Elektrik üretiminin kaynaklara dağılımında ilk sırayı 120699,8 GWsa ile doğalgaz ve sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) almaktadır.



Şekil 1.3. Türkiye kurulu gücünün kaynaklara dağılımı

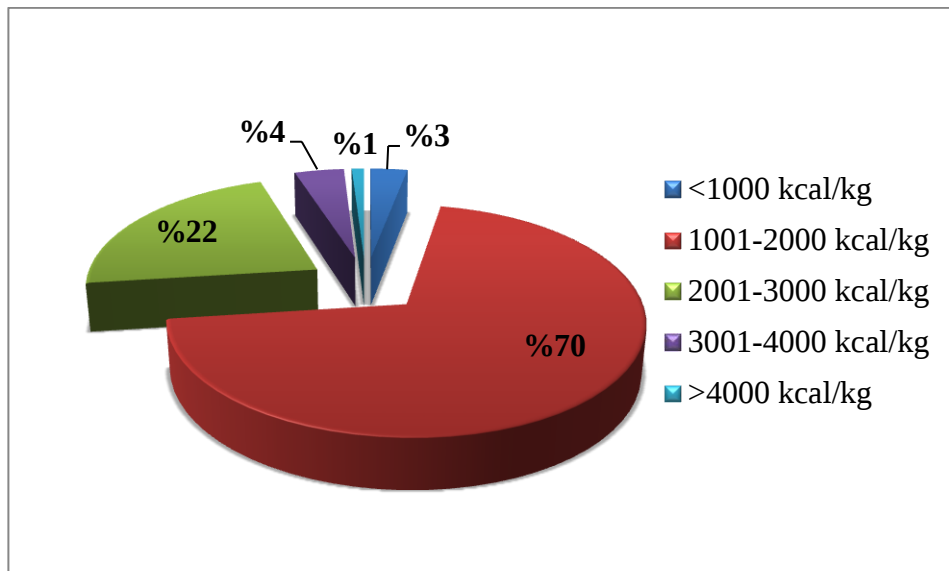
Doğalgaz ve sıvılaştırılmış doğalgazı (LNG) sırasıyla; 40644,7 GWsa ile hidrolik, 40222,5 GWsa ile linyit ve taş kömürü, 35086,0 GWsa ile ithal kömür, 8520,1 GWsa ile rüzgâr, 2975,9 GWsa ile fuel-oil, motorin, nafta ve asfaltit gibi sıvı yakıtlılar, 2364,0 GWsa ile jeotermal, 1432,6 GWsa ile yenilenebilir ve atık ve 17,4 GWsa ile güneş izlemektedir (Şekil 1.4) (Anonim 2015a).

Şekil 1.2 ve Şekil 1.4'teki veriler birlikte değerlendirildiğinde; Ülkemizin, enerji arzında %76,2, elektrik üretiminde ise %65,0 oranlarında dışa bağımlı olduğu görülmektedir. Ülkemizde, doğalgaz ve petrol rezervleri oldukça sınırlı olmasına karşın, 506 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 13,9 milyar tonu görünür rezerv niteliğinde toplam 14,2 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır (Anonim 2015b). Bu noktada linyit kaynaklarımızın değerlendirilmesi oldukça önem arz etmektedir.



Şekil 1.4. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı

Ülkemiz linyit rezervlerince zengin olmasına karşın ülkemiz linyit rezervlerinin alt ısı değeri (AID) 1000 kcal/kg ile 4200 kcal/kg arasında değişiklik göstermekle birlikte, ülkemiz linyitlerinin büyük bir kısmı düşük kaliteli linyitler sınıfına girmektedir. Örneğin, en büyük rezervin bulunduğu Afşin-Elbistan havzasındaki linyit kömürünün alt ısı değeri 900-1250 kcal/kg'dır. Bu durum Şekil 1.5'te açıkça görülmektedir (Anonim 2014).



Şekil 1.5. Linyit rezervlerimizin ısı değeri bazında dağılımı

Kömür madenciliği ve kömür kullanımı, her aşaması çevre üzerinde etkili ve belirli düzeylerde çevre kirliliğine neden olan faaliyetler bütünüdür. Özellikle son 20-25 yıl içerisinde, kömürün çevreye etkileri konusunda gerek teknoloji gerekse mevzuat bakımından olumlu gelişmeler yaşanmıştır. Kömürün yakılması sonucunda ortaya çıkan ve küresel ısınmaya neden olan NO_x , SO_x ve CO_2 emisyonları ise, son yıllarda kömürden kaynaklanan çevresel sorunlar arasında ilk sırada yer almaktadır. Kömürün küresel ısınmaya yol açan etkilerinin ne şekilde giderilebileceği konusu ve bu kapsamda temiz kömür teknolojilerinin bugünü ve geleceği tüm dünyada ciddi şekilde tartışılmaktadır.

“Temiz kömür teknolojileri” kavramı, genel olarak, kömür üretimi, hazırlanması ve kullanımı süreçlerinde verimlilik ve çevresel etkilerini bir araya toplayan bir tanımlamaya işaret etmektedir. Temiz kömür teknolojileri, genel olarak kömürü düşük emisyonlu yakma, kömür yıkama, kömür sıvılaştırma, kömür gazlaştırma, karbon tutma ve depolama gibi çok geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Söz konusu teknolojiler; bir taraftan emisyon ve atıkların azaltılmasını diğer taraftan da birim kömürden elde edilecek enerjinin arttırılmasını hedeflemektedir. Küresel bazda kömür endüstrisinin son yıllarda odaklandığı temel alanlar ise; kömüre dayalı termik santrallerin veriminin arttırılması ve bu santrallerden NO_x , SO_x ve CO_2 emisyonlarının azaltılmasıdır. Bu çerçevede özellikle sanayileşmiş Batılı ülkeler tarafından benimsenen genel yol haritası; öncelikle mevcut ya da yeni tesis edilecek kömür santrallerinde en son teknolojilerin kullanımının sağlanması, termik santral teknolojilerinde daha iyi gelişmelerin elde edilmesi ve son olarak da NO_x , SO_x ve CO_2 tutma ve depolama teknolojilerinin ticari olarak devreye alınmasıdır (Tamzok 2011).

1.4. Kömür Yakma Sistemleri

Kömür yakma sistemleri genel olarak;

- Izgaralı Kömür Yakma Sistemleri
- Kabarcıklı Akışkan Yataklı Kömür Yakma Sistemleri

- Dolaşımli Akışkan Yataklı Kömür Yakma Sistemleri
- Pulverize/Toz Kömür Yakma Sistemleri

şeklinde ifade edilebilmektedir. Bu sistemlerin karşılaştırılması Çizelge 1.1’de gösterilmiştir (Dülger 2007).

Çizelge 1.1. Kömür yakma sistemleri

Kömür yakma sistemi	Izgaralı	Kabarcıklı akışkan yataklı	Dolaşımli akışkan yataklı	Pulverize
Yatak yüksekliği veya yakıt tabakasının kalınlığı	0,2	1-2	15-40	27-45
Parçacık boyutu (mm)	6-40	0-6	0-6	µm
Hava fazlası	20-30	20-25	10-20	15-30
Yanma verimi (%)	85-90	90-96	95-99	99
Birim alan başına üretilen ısı (MW/m²)	0,5-1,5	0,5-1,5	3-5	4-6
Hava hızı (m/s)	1,2	1,5-2,5	4-12	4-6
Kapasite oranı	4:1	3:1	3-4:1	-
Fırında tutulan SO₂ oranı (%)	-	80-90	80-90	Az
No_x yayınımlı (%)	400-600	300-400	50-200	400-600
Katı hareketi	Durağan	Her yöne	Genellikle yukarı doğru	Genellikle yukarı doğru bazen aşağıya
Gaz hareketi	Yukarıya	Yukarıya	Yukarıya	Yukarıya
Katı-gaz karışması	İyi-Ters	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi-paralel

Çizelge 1.1. (devam)

Kömür yakma sistemi	Izgaralı	Kabarcıklı akışkan yataklı	Dolaşımli akışkan yataklı	Pulverize
Tipik ısı iletim kat sayıları (W/m^2)	50-100	200-550	100-250	50-100
Sıcaklık gradyanı	Büyük	Çok küçük	Küçük	Önemli değil
Aglomerasyon	Önemli ölçüde	Olabilir	Önemli değil	Önemli değil
Parçalanma - sürüklenme	Az	Biraz	Biraz	Önemli ölçüde

Günümüzde, geleneksel kömür yakıtlı güç üretimi sistemi, pulverize kömür yakma şeklindedir. Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan pulverize kömür yakma sisteminde mikron büyüklükteki kömür 1600-1900 °C’de yakılmaktadır. Yüksek oranda kül içerdiklerinden her zaman uygun olmamalarına karşın, bu sistemde çok çeşitli kalitedeki kömürler kullanılabilir. Pulverize kömür yakma ile çalışan termik santrallerde öncelikle, kömür öğütülerek toz haline getirilir. Toz haline getirilmiş olan bu kömür daha sonra yüksek sıcaklıklarda yakılacağı fırına püskürtülür. Elde edilen sıcaklık, buhar türbinini döndürecek ve jeneratörü çalıştıracak olan buharın üretimi için kullanılır. Bu sistemde verimler gün geçtikçe yükselmekte ve bunun sonucunda da emisyonlar azalmaktadır.

Izgaralı sistemlerde ise parçacık boyutu toz kömür yakma sistemlerine göre çok daha fazladır (25–30 mm). Kömür parçacıkları havanın ve yanma gazlarının içerisinde akacağı sabit bir yatak oluşturur. Sistemin çalışma sıcaklığı 1600 °C’nin üzerindedir.

İlerleyen kısımlarda dolaşımli akışkan yataklı kazan teknolojisinden bahsedilecektir. Ancak Çizelge 1.1’den açıkça anlaşılacağı üzere DAY kazanı diğer kazanlardan üstün kılan en önemli özelliği yüksek yanma verimi ve düşük NO_x yayılımıdır.

1.5. Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazan Teknolojisi

Akışkan yataklı kazanların çalışmasını sağlayan temel prensip, 1921 yılında Almanya’da Fritz Winkler tarafından yapılan bir deneyle ortaya çıkmıştır. Yaptığı deneyde yanma ürünü gazları, kömür parçacıkları içeren bir potanın içinden geçirmiştir ve bu sayede modern teknolojinin çok önemli bir gelişmesinin başlangıcını oluşturmuştur. Winkler, yaptığı deneyde parçacıkların kütlelerinden kaynaklanan ağırlıklarının gazın kaldırma kuvveti etkisi ile dengelendiğini ve parçacıkların kaynayan bir sıvı gibi davrandığını görmüştür ve bu yeni işleme akışkanlaşma demiştir (Dülger 2007). Minimum akışkanlaşma hızı akışkan yatağın hidrodinamiği karakteristiğini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Minimum akışkanlaşma hızı, yatağa beslenen kömür ile kül, kireç, kum gibi inert maddelerin akışkanlaştırıcı gazda askıda kalmaya başladığı ilk hızdır. Minimum akışkanlaşma hızı, yatak malzemesi özelliklerine, yatak geometrisine ve akışkanlaştırıcı gazın özelliklerine bağlıdır (Escudero and Heindel 2013).

Akışkan yataklı kazan tipleri;

- Atmosferik klasik akışkan yataklı kazan,
- Basıncılı akışkan yataklı kazan,
- Dolaşımli akışkan yataklı kazan,

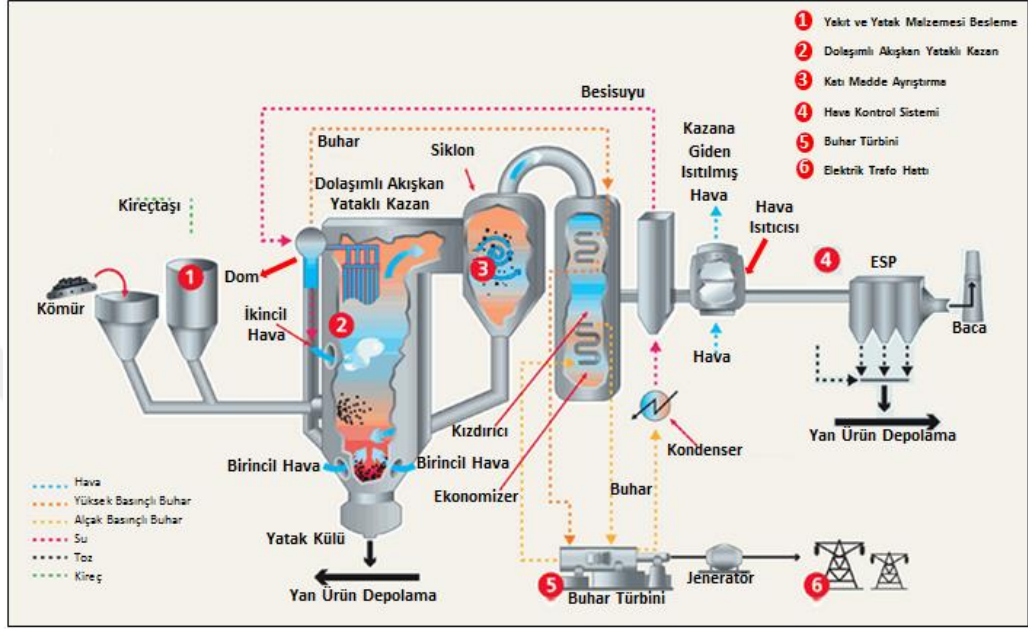
olarak sınıflandırılabilir.

Akışkan yatak, yakıtın 800-950°C sıcaklıkta, kül, kireç, kum gibi inert maddelerin bir hava yastığı üzerinde akışkanlaştırıldığı sistemdir. Bu sistemler, 10 mm parçacık boyutuna kadar olan kömürlerle çalışır ve kömür, akışkan yatağa direkt beslenir. Yakıt-hava karışımı, yakıt taneciği etrafındaki yakma havası sınır tabakasında oluşur. Bu yatağın sabit yataktan farkı, yoğun yapısal türbülanslılığı nedeni ile hava sınır tabakasının sürekli yırtılması, böylece yakıt-hava arasındaki ısı ve kütle aktarımının hızlandırılmasıdır. Yakılan kömürün 95-99 katını oluşturan, yüksek sıcaklıktaki

türbülanslı yatak kütlesi, kömürün gazlaşması ve tutuşması için çok yoğun bir ısı deposu, SO_2 'nin tutulması için bir absorbent deposu işlevi görür. Yatak sıcaklığın 800-950°C'de tutulmasının başlıca nedeni, bu sıcaklıklarda ısı NO_x oluşumunun düşük, SO_2 tutma veriminin ise yüksek olmasıdır. Bu yapısal özellikleri nedeni ile akışkan yatak, düşük kaliteli kömürlerin verimli ve temiz şekilde yakılması için uygundur. Akışkan yatak, geniş bir yakıt bandında ve yük bölgesinde, ilave SO_2 ve NO_x arıtma sistemlerine (düşük kükürt içerikli kömürler için) gerek duyulmaksızın, verimli ve temiz yanma için gerekli yanma koşullarını yapısal olarak bünyesinde taşıyan yakma sistemidir (Kural 1998). Yüksek kükürt içerikli kömürlerde akışkan yataklı kazan çıkışlarında ilave bir desülfirizasyon sistemine ihtiyaç duyulabilir ancak bu sistem pulverize vb. tipteki kazanlarla karşılaştırıldığında daha düşük kapasiteli olmaktadır. Dolaşımli akışkan yataklı kazan Şekil 1.6'da gösterildiği gibi genel olarak aşağıdaki ekipmanlardan oluşmaktadır:

- **Yakıt ve yatak malzemesi besleme sistemi:** yakıt ile kül, kireç, kum gibi yatak malzemelerinin ocak bölgesine beslendiği sistemdir,
- **Ocak:** kömürün kimyasal enerjisinin yanma sonucunda ısı enerjisine dönüştürüldüğü kısımdır,
- **Dom:** su-buhar karışımı için rezervuar görevi ile karışımın ayrıştırılmasında faz seperatörü görevi gören kısımdır,
- **Kül soğutma ve atma sistemi:** kül atma işleminde külün ısınıı ekonomizer, kondenser suyu ve havaya aktarılarak soğutulduğu sistemdir,
- **Geri besleme düzeneği (Loopseal):** siklonda tutulan malzemelerin ocağa tekrar beslenmesi için gerekli basınç farkını oluşturan ekipmandır,
- **Siklon:** ocak çıkışında sıcak katı-gaz karışımlarının ayrıştırıldığı kısımdır,
- **Ekonomizer:** kazan besisuyunun ön ısıtıldığı ısı değiştiricidir,
- **Kızdırıcı:** buharın türbinde kullanım sıcaklığına kadar ısıtıldığı ısı değiştirici paketleridir,
- **Hava ön ısıtıcı:** akışkanlaştırıcı havanın kazana girmeden önce ısıtıldığı kısımdır,
- **Toz tutma sistemi:** yanma sonucunda baca gazıyla birlikte sürüklenen katı parçacıkların tutulduğu sistemdir,

- **Fanlar:** Birincil hava fanı, ikincil hava fanı, cebri çekme fanı, geri dönüş ayağı fanı vb. (Patents 2013; Teke 2014).



Şekil 1.6. Dolaşımli akışkan yataklı kazan ve ekipmanları

Sistemin avantajları şöyle sıralanabilmektedir (Jha 2000):

- Yüksek yanma ve çalışma verimliliği,
- Yüksek ısı transfer katsayısı sayesinde daha küçük yüzey alanı gereksinimi,
- Küçük kazan boyutlarıyla yüksek ısı üretim hızı,
- Katı yakıt çeşitlilik esnekliği,
- Düşük kömür hazırlama maliyeti,
- Düşük kaliteli kömürler ile yüksek ya da değişken kül içerikli kömürlerin kullanılabilmesi,
- İnce taneli yakıtların yakılabilmesi,
- NO_x ve SO_2 gazlarının salınımında azalma,
- Düşük sıcaklıktan dolayı azaltılmış korozyon, erozyon ve cürufanma,
- Düşük sıcaklıktan dolayı kolay kül atma sistemi,
- Azaltılmış fazla hava gereksinimi,

- Yanma esnasındaki yüksek türbülans sayesinde kolay devreye alma ve çalıştırma,
- Yüksek ısı depolama karakteristiği sayesinde yük dalgalanmalarına hızlı yanıt verebilme,
- Kazan yanma bölgesindeki hareketli parçalar sayesinde yüksek güvenilirlik ve düşük bakım maliyetleri.

Dolaşımli akışkan yataklı kazan teknolojisinin bu gibi avantajlarının yanında;

- Yeni bir teknoloji olması nedeni ile gelişme sürecinde olması,
- Ticari işletmede olan en büyük santral gücü 460 MW_e olması,
- İlk devreye almalarda işletme güçlükleri bulunması,
- Yatak kütlelerinin akışkanlaşmasının kesildiği durumlarda (fan arızası vb.) topaklaşarak sistemin sürekliliğini bozması denetim ve donatımda güçlüklerle karşılaşılması,
- Öğütülmüş kireçtaşı kullanıldığından kireçtaşı maliyetlerinin yüksek olması,
- Yakıt kullanımında esneklik olmakla birlikte, kömür içindeki taş parçacıkları yüksek akışkanlaşma hızından ötürü kazan boru patlaklarına neden olduğundan çok iyi ayrıştırılma gerektirmesi,

gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Anonim 2005).

Akışkan yataklı yakma teknolojisinde yanma odası sıcaklığının düşük olması ve dolayısıyla özellikle linyit gibi birçok yakıtın kül erime sıcaklığının altında kalması nedeniyle, pulverize tip santrallarda karşılaşılan cürufanma ve ısı transfer yüzeylerinde oluşacak kirlenmeler önlenmektedir.

Yanma esnasında yakıtın içerdiği kükürt oksitlenerek SO₂'e dönüşmektedir. Akışkan yataklı yakma sistemlerinde yatağa genellikle kireçtaşı, bazen de dolomit enjeksiyonu yapılarak yatak içinde SO₂'nin absorbe edilmesi mümkündür. Akışkan yataklı yakma sistemlerinde kükürt giderimi %95'in üzerinde olabilmektedir.

DAY Kullanım Alanları (Basu 2006):

1. Enerji Dönüşümleri
 - a. Buharlı Güç Santralleri
 - b. Gazlaştırma
 - c. Atık Yakma
2. Petro-Kimyasal İşlemler
 - a. Akışkan Katalitik Parçalama
 - b. Fischer - Tropsch Süreci
3. Maden İşleme
 - a. Alüminyum Kalsinasyonu
 - b. Cevher Tavlama
 - c. Demir Cevheri Ön İndirgeme
 - d. Çimento Üretimi Ön Kalsinasyonu
4. Kimya ve Eczacılık
 - a. Naftalin Ftalik Anhidrid
 - b. Sülfat, Klorür Ayırıştırma
 - c. Maleik Anhidridden Bütan Oksidasyonu
 - d. Metanol –Olefin Dönüşümleri
5. Fiziksel İşlemler
 - a. Kurutma
 - b. Parçacık Kaplama
 - c. Isı Eşanjörü ve Baca Gazı Temizleme
 - d. Isıl İşlemler

Uluslararası alanda çevre kirliliğine karşı gösterilen duyarlılık nedeniyle DAY kazanların kullanım alanlarından buharlı güç santralleri alanı önem arz etmektedir.

Örneğin, ilk süperkritik dolaşımli akışkan yataklı yakma sistemine sahip termik santral Polonya'nın güneyinde PKE's Lagisza'da kurulmuştur. Santral zamanının en büyük çevrimli akışkan yataklı yakma sistemine sahiptir (460 MW_e) ve dolaşımli akışkan yataklı yakma sisteminin geleceğini temsil etmektedir. Santralin işletmeye alınma zamanı 2006 yılı olup verim düzeyi halihazırdaki OECD ortalamasından %7 daha fazla olan %43 civarında seyredecek şekilde çalışmaktadır. Dolaşımli akışkan yataklı yakma sistemi küresel pazarda güç üretiminde, önemli bir paya sahip olma yolunda muhtemelen akışkan yataklı yakma sisteminin en cazip şeklidir.

Söz konusu kullanım alanlarından buharlı güç santralleri düşük kaliteli linyit zengini olan ülkemiz açısından da son derece önemlidir. Çizelge 1.2'den de görüleceği üzere, ülkemizde DAY kazanlı termik santraller özellikle yeni yatırımlarla yaygınlaşmaktadır.

Çizelge 1.2. Türkiye'deki DAY kazanlı termik santraller

Termik santral	Kurum / Firma	Yakıt türü	Kurulu güç (MW _e)	SO ₂ emisyonu (mg/Nm ³)	NO _x emisyonu (mg/Nm ³)	Linyit kalorifik değeri (kcal/kg)
18 Mart Çan Termik Santrali	EÜAŞ	Yerli Kömür (Linyit)	2x160	1000	800	2600
Tufanbeyli Termik Santrali	Enerjisa Enerji Üretim A.Ş.	Yerli Kömür (Linyit)	150	<400	<200	1150
Yunus Emre Termik Santrali	Adularya Enerji Elektrik Üretimi ve Madencilik A. Ş.	Yerli Kömür (Linyit)	2x145	200	200	2 200 kcal/kg (Zenginleştirilmiş-Kazana Beslenen)
Silopi Elektrik Santrali	Şırnak Elektrik Üretim A. Ş.	Asfaltit	2x135	<1000	<800	5508

Çizelge 1.2. (devam)

Termik santral	Kurum / Firma	Yakıt türü	Kurulu güç (MW _e)	SO ₂ emisyonu (mg/Nm ³)	NO _x emisyonu (mg/Nm ³)	Linyit kalorifik değeri (kcal/kg)
Bolu Göynük Elektrik Santrali	Aksa Göynük Elektrik Üretim A.Ş.	Yerli Kömür (Linyit)	2x135	-	-	2600
İlgın 500 MW Termik Santrali	Konya İlgin Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Yerli Kömür (Linyit)	2x250	-	-	2 150
Etyemez Kömür Termik Santalı	Tam Enerji Üretim A.Ş.	-	135	-	-	1280

Ülkemizin ilk DAY kazanlı termik santrali olan 18 Mart Çan Termik Santrali, Çan linyitlerinin değerlendirilmesi amacıyla, Elektrik Üretim-İletim A.Ş. (EÜAŞ) tarafından, Fransız Alstom Power Centrales firmasının liderliğinde, kazan Alstom Power Boiler, buhar türbin-generatör Alstom, soğutma suyu sistemi Gea-Egi, inşaat ve montaj işleri ise Teknotes firmalarının ortaklığındaki konsorsiyuma yaptırılmıştır. Çan Termik Santralının bedeli teklif alma tarihi olan 27.01.1998 tarihindeki kurlarla toplam 379 000 000,00 \$'dır. Toplam verimi %42 olan santralin kazanı 462 ton/h kapasite ve %92 verimle çalışmaktadır. Kurulduğu günden bugüne sorunsuz ve çevre dostu olarak çalışan santralin 2014 yılı elektrik üretimi 1917 GW olarak belirtilmiştir (Anonim 2015c).

1.6. DAY Benzeşim

Akışkan yataklı kazanda ısı ve kütle transferi, katı ve akışkan akış oranlarından doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle doğru bir akışkan yataklı kazan tasarımı açısından sistemin akışkanlar dinamiği boyutunun çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda tasarlanan bilgisayar simülasyon programları genellikle geçerlilik aralığı kısıtlı ampirik kolerasyonlara bağlı olduğundan yetersiz kalabilmektedir. Ayrıca endüstriyel kazanlarda ve termik santraldeki yüksek çalışma sıcaklıklarından dolayı gerekli ölçümlerin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Kazan hidrodinamiğinin anlaşılması için büyük ölçekli uygulama düzenekleri gerçek ölçekteki tesisler için daha uygulanabilir bilgi verebilir (Lim 2012). Ancak bu tip düzeneklerin kurulması zahmetli ve pahalı olmaktadır. Ayrıca sınanabilecek çalışma koşulları ve değerleri sınırlı kalmaktadır. Bu gibi nedenlerle içerisinde yanmanın gerçekleşmediği, **soğuk model** olarak isimlendirilen ve düşük sıcaklık koşullarında çalışabilen küçük boyutlu modellerle çalışmak ve sonuçların tam ölçeğe boyutlandırılabilmesi çok daha etkin, ucuz, basit ve verimli bir tercih olarak düşünülmektedir (Nicastro and Glicksman 1984). Bunun için yatak dinamiklerinin kontrol edilebileceği parametrelerin benzeşim teorisi kullanarak geliştirilmesi gerekmektedir. DAY model hidrodinamik benzetimde geometrik benzerliğin dışında sekiz önemli giriş parametresi bulunmaktadır:

- i. Boş kolon gaz hızı
- ii. Katı dolaşım akısı
- iii. Ortalama parçacık çapı
- iv. Parçacık yoğunluğu
- v. Kolon hidrolik çapı
- vi. Gaz yoğunluğu
- vii. Gaz viskozitesi
- viii. Yer çekimi ivmesi

Belirtilen girdilerle belirlenen çıktılar;

- Kolon basınç düşümü
- Kolon katı kütlesi
- Yerel katı hacim oranı
- Yerel katı kütlesi akısı ve hızı
- Kolondaki kayma hızı

şeklinde sıralanabilir (Meer *et al.* 1999). Benzeşimde genel olarak iki yatağın (tam ölçekli akışkan yataklı kazan ve küçültülmüş akışkan yataklı soğuk model) yatak çapı ve parçacık bazlı Reynold sayılarının, Froude sayılarının, katı yoğunluğunun gaz yoğunluğuna oranlarının eşit olması gerekmektedir. Bunlara ek olarak yatak geometrileri, parçacık çap dağılımı ve parçacık küreselliği gibi parametrelerin de benzer olması gerekmektedir (Glicksman *et al.* 1993a).

1.7. DAY Boyutlandırma Kuralları

Mirek (2011) DAY kazanın hidrodinamik parametrelerinin belirlenebilmesi için kullanılan üç farklı küçültme modeli yaklaşımının genel bir değerlendirmesini yapmıştır. Bunlar; boyutsal analiz, diferansiyel denklemler ile tümleşik çözümler ve deneysel korelasyonlardır. Boyutsal analiz yaklaşımında gaz ve katı momentum formülleri boyutsuzlaştırılarak parametreler ortaya konulmaktadır. Diferansiyel denklem çözümleriyle yapılan küçültmenin en önemli kısıtlaması ise makro ölçekli akış bölgelerinde sağlıklı veri alınmasına elverişli olmamasıdır. Bu sebeple tümleşik çözümler ile deneysel korelasyonların birlikte değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Glicksman (1984), yüksek basınç ve sıcaklık koşullarındaki akışkan yataklı kazan koşullarının normal şartlarda güvenilir ve yakın sonuçların elde edilebilmesi için sistematik bir çalışmayla boyutlandırma kuralları geliştirmiştir. Ayrıca korunum denklemlerinden yola çıkarak her hangi bir akışkan yataklı kazan için akış rejim karakteristiklerinin ve akışkanlar dinamiği davranışlarının belirlenmesinde kullanılabilecek bağımsız boyutsuz parametreler elde etmiştir. Tam set boyutlandırma

kuralları olarak adlandırılan boyutlandırma parametreleri Çizelge 1.3'te gösterilmiştir. Bu kurallar oluşturulurken çarpışmalardan kaynaklanan parçacıklar arası kuvvetler momentum denklemlerinde yok sayılmıştır. Bu nedenle yapılan deneylerde çok küçük tane boyutlu parçacıklar kullanıldığında elektrostatik kuvvetler etkin olacağından yanlış sonuçlara sebebiyet verebileceği ve artan tane çapı ve tane yoğunluğuyla elektrostatik kuvvetlerin önemsiz olduğu belirtilmiştir. Ayrıca sıcak kazan dağıtıcı plaka bölgesinde ani sıcaklık değişimine bağlı olarak ani viskozite ve yoğunluk değişimi olduğundan atmosfer koşullarında uygulanan boyutlandırma parametreleri ile dağıtıcı plaka bölgesi tam olarak benzeştirilememektedir. Leckner *et al.* (2011) göre tam set boyutlandırma kuralları belirli bir model geometrisi, parçacık çapı ve yoğunluğu ile çalışılmasını gerektirdiğinden tüm bu parametrelerin tek bir modelde sağlanması zor olmaktadır.

Glicksman *et al.* (1988) akışkan yatakta parçacık ve akışkan için hareket denklemlerini boyutsuzlaştırarak viskoz limit boyutlandırma ilişkilerini elde etmiştir. Bir önceki çalışmadakinden farklı olarak uzunluk koordinatları parçacık çapı (d_p) yerine yatak boyu (L) ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada statik yük ya da Van der Waals kuvvetlerinden kaynaklanan parçacıklar üzerindeki yüzey kuvvetleri kapsam dışı bırakılmıştır. Ayrıca parçacıklar arası parçacık geri verme katsayısı veya sürtünme katsayısı etkileri de ihmal edilmiştir.

Horio *et al.* (1989) dairesel kümelenme akış modeli (DAY modelde parçacık kümeleri merkezde yukarı yönde dairesel çepere yakın taraflarda aşağı yönde hareket etmektedir) ile boyutsuz parametreler geliştirmişlerdir. Benzeşim yapılan iki DAY için boşluk dağılımı, boyutsuz merkezi çap, gaz ayrışması, katı ayrışması ve küme boşluğu değerlerinin eşit olması gerekmektedir. Glicksman'a göre bu parametreler basitleştirilmiş parametrelere eşdeğerdir (Glicksman *et al.* 1994).

Foscolo *et al.* (1990) literatürde yer alan boyutlandırma parametrelerinin parçacık basıncıyla ilişkilendirilmemesinden kaynaklı olarak homojen bir akışkanlaşmanın benzeşimde sağlanamayacağı düşüncesiyle parçacık basınç gradyanı parametrelili iki-

akışkan modelinin diferansiyel denklem çözümleri ile boyutsuz parametreler ortaya koymuşlardır.

Chang and Louge (1992) tam set boyutlandırma kurallarının değiştirilmiş şeklini eşleştirmişlerdir. Parçacık küreselliği bağımsız bir parametre olarak açıkça dahil edilmeyip parçacık çapı ve parçacık gaz direnç katsayısı ile birlikte diğer bir parametrede dahil edilmiştir.

Glicksman *et al.* (1993a), yine Glicksman'ın (1984, 1988) akışkan yatak dinamiği benzeşimi için önerdiği boyutlandırma parametrelerinin basitleştirilme yöntemlerini araştırmışlardır. Çünkü tam set boyutlandırma kuralları belirli bir model geometrisi, parçacık çapı ve yoğunluğu ile çalışılmasını gerektirdiğinden tüm bu parametrelerin tek bir modelde sağlanması zor olmaktadır (Leckner *et al.* 2011). Bu çalışmalarında kolon yüksekliği bazlı Froude sayısı, katı yoğunluğunun gaz yoğunluğuna oranı, boş kolon gaz hızının (superficial velocity) minimum akışkanlaşma hızına oranı, yatak geometrik oranları, parçacık küreselliği ve parçacık boyut dağılımı gibi boyutsuz parametreleri içeren basitleştirilmiş yeni boyutlandırma kurallarını soğuk model akışkan yatakta deneysel olarak doğrulamışlardır.

Qi *et al.* (2008) iki DAY modelde tam gelişmiş akış bölgesinde farklı çalışma koşullarında basınç gradyanının eksenel profil ölçümleri, katı konsantrasyonun radyal profil ölçümleri ve parçacık hız ölçümleri ile hidrodinamik benzerliği çalışmışlardır. Yaptıkları deneyde genel bir parametre olan $\frac{G_s}{\rho_s u_0}$ 'ın DAY model benzetiminde tam gelişmiş bölgenin karakteristiğini yansıtamadığı sonucuna ulaşmışlar ve bu nedenle modifiye edilmiş deneysel bir parametre olan $Fr_D^{-0.3} \frac{G_s}{\rho_s u_0}$ 'ın bu bölgede daha detaylı bir benzetim sağlandığını belirtmişlerdir.

Mirek (2011) çalışmasında Glicksman ve Horio tarafından önerilen parametrelerin kullanılması durumunda katı dolaşım akısına tasarım başında karar verilmesi

gerektiğinden bu parametreyi içermeyen yeni parametrelerin kullanılabileceğini belirtmiştir.

Çizelge 1.3. Literatürde boyutlandırma parametreleri

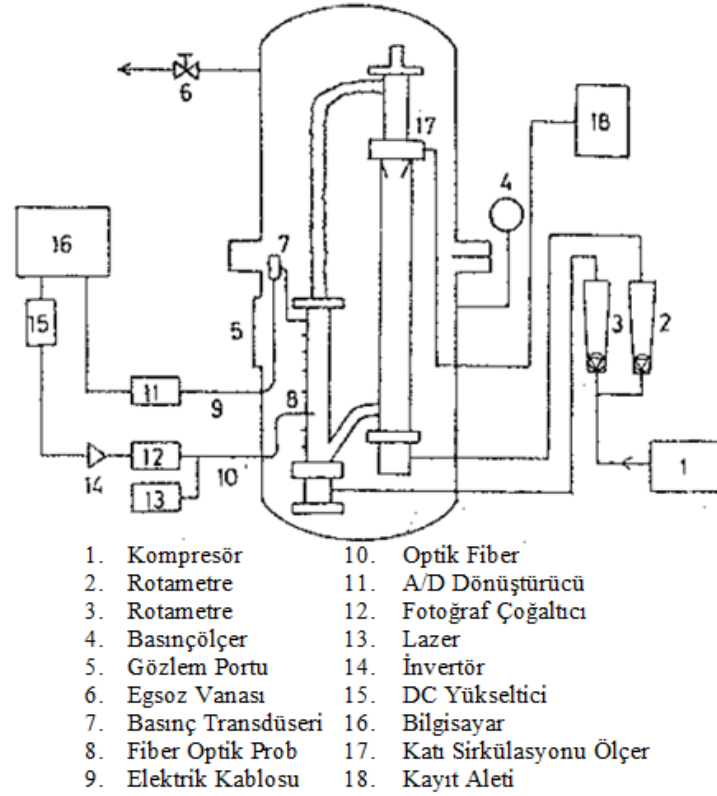
Referans	Boyutlandırma kuralları
Glicksman (1984)	a) Viskoz Rejim ($Re_{dp} < 4$): $\frac{gd_p}{u_0^2}, \frac{\rho_s^2 d_p^3 g}{\mu^2}, \frac{L}{d_p}, \frac{D}{d_p}, \emptyset_s, PBD, YG \quad (1.1)$
	b) Orta Rejim: $\frac{\rho_s \rho_f d_p^3 g}{\mu^2}, \frac{gd_p}{u_0^2}, \frac{\rho_f}{\rho_s}, \frac{L}{d_p}, \frac{D}{d_p}, \emptyset_s, PBD, YG \quad (1.2)$
	c) Atalet Rejim $Re_{dp} > 1000$): $\frac{gd_p}{u_0^2}, \frac{\rho_f}{\rho_s}, \frac{L}{d_p}, \frac{D}{d_p}, \emptyset_s, PBD, YG \quad (1.3)$
Glicksman (1988)	$\frac{u_0^2}{gL}, \frac{u_0}{u_{mf}}, \frac{L}{D}, \frac{L_1}{L_2}, \emptyset_s, PBD \quad (1.4)$
Horio et al. (1989)	$\frac{gD}{u_0^2}, \frac{v_0}{u_0}, \frac{u_t}{u_0}, \frac{\rho_f}{\rho_s}, \frac{L}{D} \quad (1.5)$
Foscolo et al. (1990)	$\frac{gd_p^3 \rho_f^2}{u_0^2}, \frac{\rho_f}{\rho_s}, \frac{u_0}{u_T}, \frac{L}{d_p} \quad (1.6)$
Chang and Louge (1992)	$\frac{u_0}{g \emptyset_s d_p}, \frac{D}{d_p \emptyset_s}, \frac{G_s}{\rho_s u_0}, \frac{\rho_s}{\rho_f}, \frac{\rho_s \rho_g (d_p \emptyset_s)^3 g}{\mu^2} \quad (1.7)$
Glickman et al. (1993)	$\frac{u_0^2}{gL}, \frac{\rho_s}{\rho_f}, \frac{u_0}{u_{mf}}, \frac{L_1}{L_2}, \frac{G_s}{\rho_s u_0}, \emptyset_s, PBD \quad (1.8)$
Qi et al. (2008)	$Fr_D^{-0.3} \frac{G_s}{\rho_s u_0} \quad (1.9)$
Mirek (2011)	$\frac{u_0 d \rho_f}{\mu}, \frac{u_0}{u_t}, \frac{d^3 \rho_f (\rho_s - \rho_f) g}{\mu^2} \quad (1.10)$

1.8. DAY Benzeşim Deneysel Çalışmalar

Horio *et al.* (1989) DAY için önerdikleri boyutlandırma kurallarını akışkanlaşma havası olarak atmosfer havasını kullanan ilki 1/25 diğeri 1/100 ölçekte olmak üzere iki küçültülmüş silindirik DAY modeli ile deneysel olarak doğrulamışlardır. Testlerde katı-gaz yoğunluk oranı değişmediğinden basitleştirilmiş boyutlandırma kuralları seti tutarlı eksenel katı oranı profilleri ile etkin bir şekilde doğrulanabilmiştir. Yüksek katı akısı ve düşük boş kolon gaz hızlarında “boğulma benzeri geçiş (choking-like transition)” olduğu gözlemlenmiştir. İki modelde “boğulma (choking)” geçiş noktasındaki uyuşmazlıklar yatak çıkışı ve katı geri dönüş hattındaki geometrik farklılıklarla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca geçiş noktasının parçacık boyut oranı ile oldukça duyarlı olduğu belirtilmiştir.

Ishii *et al.* (1991), Horio *et al.* (1989) tarafından önerilen boyutlandırma ilişkilerini iki soğuk modelde basınç kaybı, basınç dalgalanma karakteristiği, küme uzunluğu ve boşluğu ile çekirdek çapı (core diameter) gibi hidrodinamik parametreleri kullanarak katı akısı, basınç kaybı ve optik prop ölçümleri ile karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Yataklar arasında iyi benzerlikler elde edilmiştir. Gaz-katı yoğunluk oranı yataklar arasında sabit tutulmuştur. Boyutsuz katı akısı sabit tutulduğundan boş kolon gaz hızı arttığında katı akısının azaldığı belirtilmiştir.

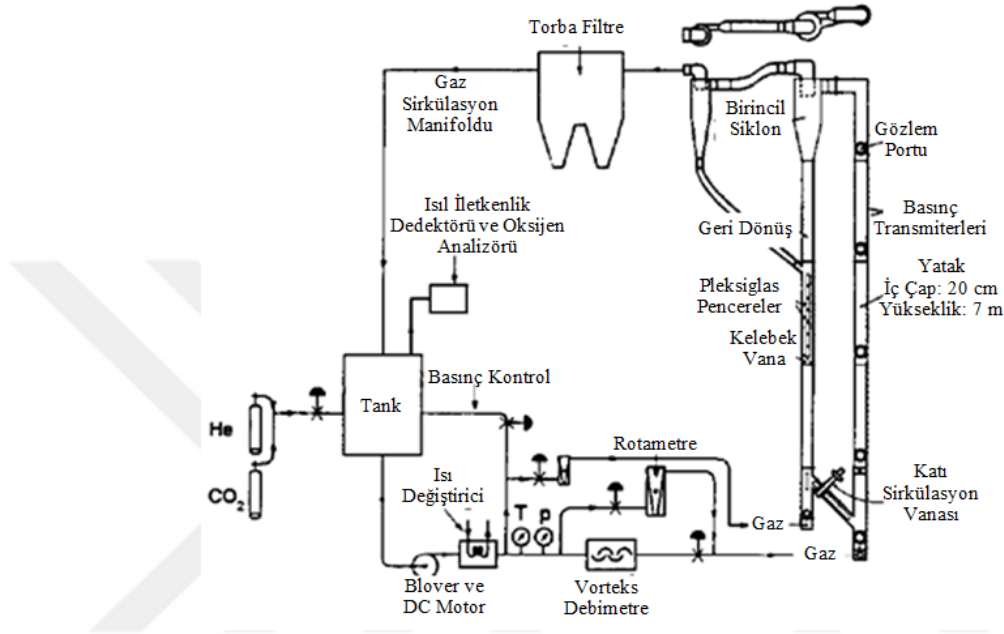
Tsukada *et al.* (1991), Horio *et al.* (1989) tarafından önerilen DAY boyutlandırma kurallarını farklı basınç değerlerinde uygulamışlardır. Çalışmada (Şekil 1.7) tek bir yatak ve yatak malzemesi ile gaz basıncını değiştirme amaçlı basınç tankı kullanılmıştır. 0,10, 0,18 ve 0,38 MPa basınç değerlerinde basınç arttıkça eksenel katı oranının dolayısıyla da hidrodinamiğin değiştiğinden bahsetmişlerdir. Bu değişimin sebebini Reynolds sayısı limitine yani viskoz limite ulaşılması ve kolon ve geri dönüş ayağı arasındaki gaz baypasındaki değişim ile ilişkilendirmişlerdir. Bu çalışmada Horio *et al.* (1989) boyutlandırma kuralları ile eşleşmeyen tek parametre ise gaz katı yoğunluğu oranıdır.



Şekil 1.7. Basınçlandırılmış DAY şematik görünüm

Glicksman *et al.* (1991) deneysel DAY kazanı ve küçültülmüş soğuk model ile tam set boyutlandırma kurallarının uygulamalarını dikey katı oranı profilleri, olasılık yoğunluk fonksiyonu ve basınç dalgalanmalarının Fourier dönüşümü açısından zamana bağlı basınç dalgalanmaları ve zaman-ortalamalı basınç kaybı ölçümleri ile karşılaştırmışlardır. Sıcak DAY kazan katı dolaşımı ölçümlerindeki belirsizlikten dolayı soğuk model katı akısı sıcak kazan ortalama yatak katı oranı ile eşleştirilerek ayarlanmıştır. Yataklardaki dikey katı oranı profilleri arasında yatak çıkışı civarı bölgeler haricinde uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Bu farklılığın sıcak yataktaki çıkıntılar ve duvar pürüzlülüğünün soğuk modelde temsil edilememesi sebebiyle oluştuğunu savunmuşlardır. Ayrıca olasılık yoğunluk fonksiyonu ve basınç dalgalanmalarının Fourier dönüşümü kıyaslarında da benzer sonuçlar elde edilerek önerilen boyutlandırma parametrelerinin geçerliliği ortaya konulmuştur.

Chang and Louge (1992) soğuk DAY modelden beş kata kadar büyük sıcak ticari yatakları modelleyerek farklı yoğunluk ve boyuttaki parçacıklarla gaz bileşimini (He ve CO₂) değiştirerek deneyler yürütmüşlerdir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Farklı gaz bileşenli DAY soğuk model deney düzeneği

Cam ve plastik parçacıkları arasındaki karşılaştırmalar özdeş ortalama dikey katı oran profillerini göstermektedir. Beklenenin aksine plastik ve cam basınç dalgalanmaları $\rho_s u_0^2$ ile değil, $\rho_s g \phi d_p$ ile boyutlandırılmıştır. Testlerde deneysel yatak çapı sabit tutulduğundan yatak çapına dayalı Froude sayısı kıyaslamalarda eşleştirilemediğinden deneysel tasarımda $Fr^2 = u_0^2 / g \phi d_p$ eşleştirmesi söz konusu çalışmanın orijinal yönü olarak ortaya çıkmaktadır. Yatak çapının artırılabilmesi D/d_p boyutlandırma parametresinin eşleştirilmesini imkansız kılmaktadır. Chang and Louge (1992) tam set boyutlandırma kurallarının değiştirilmiş şeklini eşleştirmişlerdir. Parçacık küreselliği bağımsız bir parametre olarak açıkça dahil edilmeyip parçacık çapı ve parçacık gaz direnç katsayısı ile birlikte diğer bir parametrede dahil edilmiştir. Çelik ve cam parçacıklarının karşılaştırıldığı benzerlik, çelik parçacıkların boğulmasından (choking) dolayı zayıf kalmıştır. Yang (1983) tarafından önerilen korelasyonda boğulmanın yatak

çapına dayalı Froude sayısının güçlü bir fonksiyonu olduğu gösterildiğinden bu boğulmanın sebebi yatak çapına dayalı Froude sayısı (Fr_D) eşleşmemesi ile açıklanmıştır.

Glicksman *et al.* (1993b) 2.5 MW_{th} kapasiteli prototip bir kazanı 1/4 ölçeğinde küçültülerek DAY tam set boyutlandırma kurallarını değerlendirmiştir. Katı oranı profilleri üzerinden yapılan karşılaştırma yaklaşık benzer sonuçlar vermiştir. Sonuçlardaki farklılıklar ise sıcak yataktaki katı akısı ölçümlerindeki belirsizlikler ve katı-gaz yoğunluk oranındaki uyumsuzluk ile ilişkilendirilmiştir.

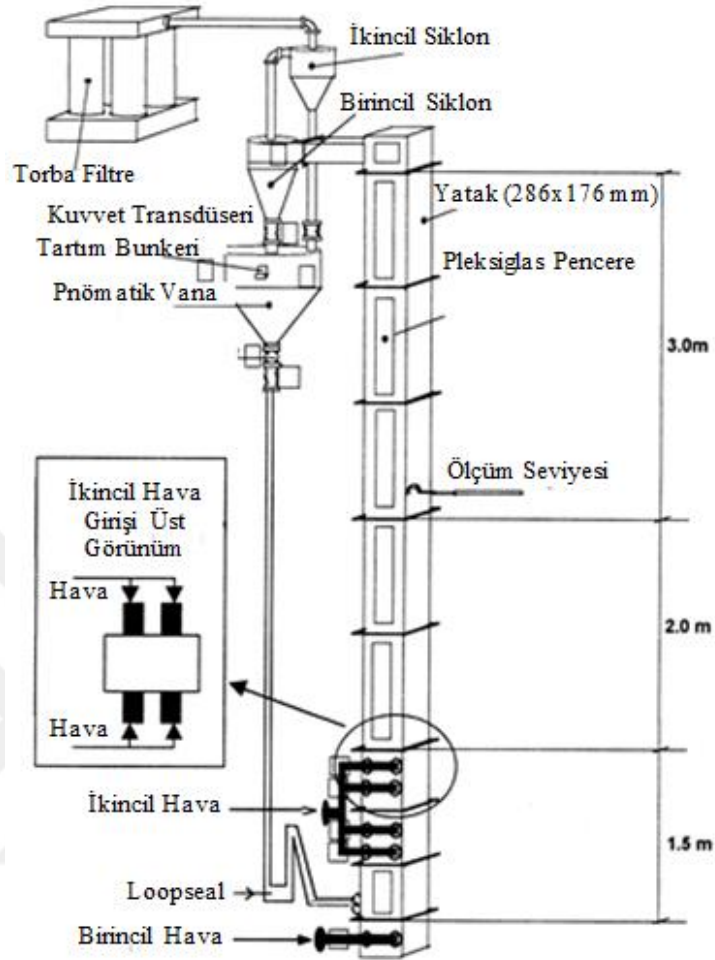
Glicksman *et al.* (1993a) viskoz limit boyutlandırma kurallarını cam/çelik ve cam/plastik (yani farklı yoğunluk oranları) aynı yatakta kullanarak iki seri testlerle değerlendirmiştir. Yataklar Yang (1983) korelasyonu ile tahmin edilen boğulma (choking) durumunun başlangıç koşulları sınırında çalıştıklarından ortalama katı oranı profilleri, olasılık yoğunluk fonksiyonu ve güç spektral yoğunluğu benzerlikleri zayıf kalmıştır. Söz konusu korelasyonda boğulma durumu için katı-gaz yoğunluğu güçlü bir fonksiyon olduğu için viskoz limit boyutlandırma parametreleri ile farklı akış rejimleri sınırında yatak hidrodinamiğinin modellenemediği sonucuna ulaşılmıştır. Viskoz limit boyutlandırmasının geçerli olması için düşük u_0 ve öte yandan boğulmayı önlemek için yüksek u_0 gerektiğinden viskoz limit boyutlandırma parametrelerinin DAY modeller için uygulanabilirliğinin kısıtlı olduğunu ve bu parametrelere kabarcıklı yataklarda daha geniş geçerlilik aralığı olabileceğini belirtmişlerdir.

Aynı çalışmada basitleştirilmiş boyutlandırma kuralları geometrik olarak benzer (biri diğerinin 1/4 ölçekte modellenmiş) iki yatakta ilk test serisinde düzgün boyutlandırılmış plastik parçacıklar ve ikinci test serisinde de cam parçacıklar kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu testlerde çok iyi derecede ortalama katı oranı profilleri, olasılık yoğunluk fonksiyonu ve güç spektral yoğunluğu benzerlikleri elde etmişlerdir. Viskoz limit boyutlandırma kurallarının aksine boğulma durumlarında bile tutarlı sonuçlara ulaşmışlardır.

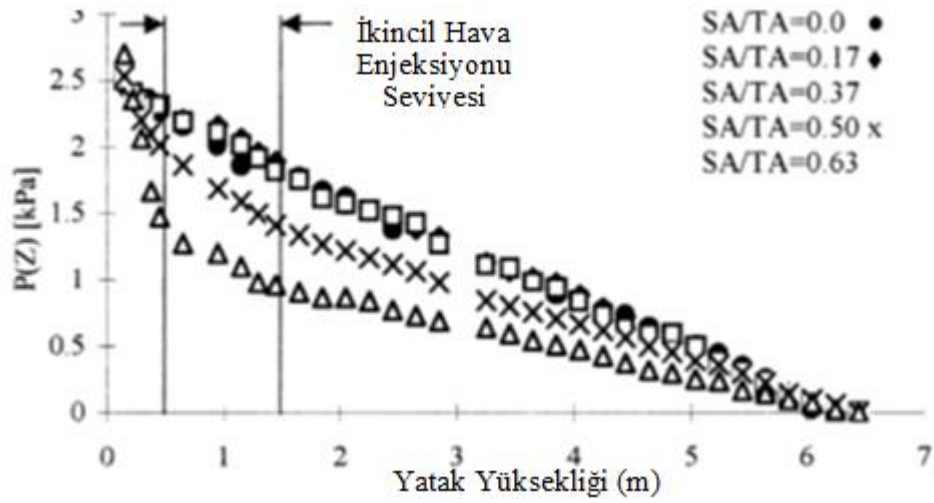
Yine aynı çalışmada sıcak bir yatak ile onun 1/4 ve 1/16 oranında küçültülmüş iki soğuk modeli karşılaştırılarak basitleştirilmiş boyutlandırma kurallarının doğruluğu sınanmıştır. Yapılan testlerin çoğunda ortalama katı oranı profillerinde iyi derecede benzerlikler elde edilmiştir. Tam set boyutlandırma kuralları ile modellenmiş 1/4 ölçekli soğuk model ve basitleştirilmiş set boyutlandırma kuralları ile modellenmiş 1/16 ölçekli soğuk model arasında mükemmel derecede tutarlılık elde edildiğinden sıcak yatak ile 1/16 ölçekli soğuk model arasındaki uyumsuzlukların tam set kuralların basitleştirilmesinden kaynaklanmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Yazarlar genel olarak basitleştirilmiş boyutlandırma kurallarının geniş parçacık yoğunluğu ve yatak boyutları aralıklarında küçük küçültme oranlarında dahi kabul edilir sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Glicksman *et al.* (1995) basitleştirilmiş boyutlandırma parametrelerini kullanarak 14 bara kadar basınçlandırılabilen DAY kazanı boyutsuz parçacık boyut dağılımı ve gaz-katı yoğunluk oranını eşleştirebilmek için polietilen plastik parçacıklar ile modellemişlerdir. Kazanda ve soğuk modelde katı oranı dağılımını belirlemek için zamana göre ortalaması alınmış dikey basınç farkı değerleri kullanılmış ve iyi derecede benzerlik elde edilmiştir.

Kim and Shakourzadeh (2000) Şekil 1.9'da gösterilen DAY modelde emme probu ile yerel katı akısı ve fiber optik teknikle katı hızı ölçümleri ile ikinci havanın katı sirkülasyonuna etkisini analiz etmişlerdir. Sabit yatak malzemesi ile üst yatak katı konsantrasyonu giderek azalmakta ve basınç profiline yaklaşık benzer bir eğilim göstermektedir (Şekil 1.10).



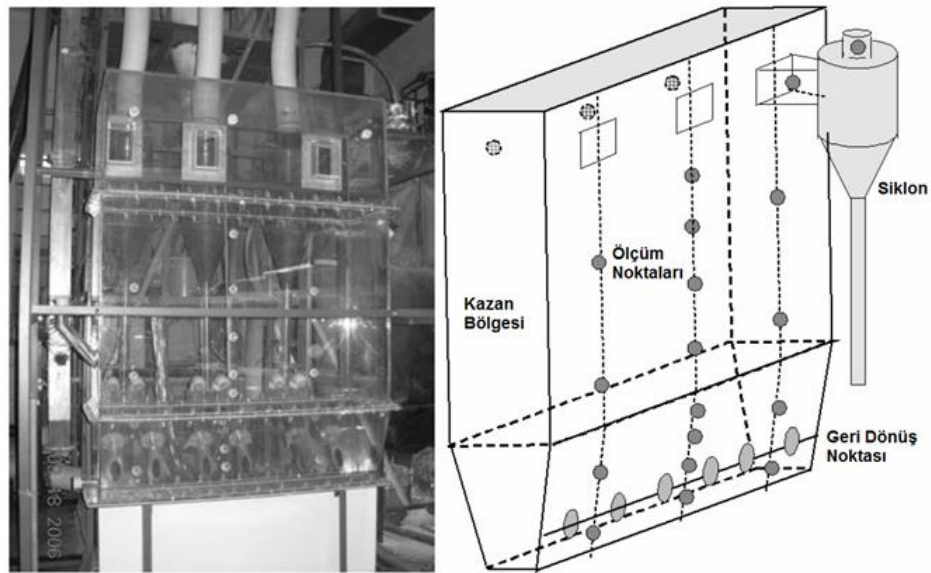
Şekil 1.9. DAY deney düzeneği



Şekil 1.10. İkinci hava/toplam hava oranının basınç profiline etkisi

Yue *et al.* (2009), 300 MW_e ve 600 MW_e kapasiteli iki DAY kazanda siklon yerleşiminden kaynaklanan katı akış dengesizliği üzerinde deneysel ve nümerik çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu çalışmalarında gerçek kazan boyutları 1/20 oranında küçültülmüş ve pleksiglastan imal edilen iki soğuk model kullanmışlardır. Kesit alan ölçüsü 1,5 m x 0,4 m ve yüksekliği 2,0 m olan soğuk modelin küçültülerek modellenmesinde Glicksman ve arkadaşlarının (1993) önerdiği modelleme kuralları uygulanmıştır. Modellerde akışı kolaylaştırmak adına sadece primer hava beslenmiştir. Siklonlar doğrudan ölçeklendirilmeyip nispeten daha küçük giriş alanlı ve çaplı olacak şekilde yüksek verimlilik hedefiyle tasarlanmıştır. Siklon düşü boyca ölçeklendirilmiş olup çap olarak kazandakinden daha dar imal edilmiştir. Geri dönüş ayağı olan loop-seal, siklon boyutlarına ve fark edilebilir parçacıkların şeffaf siklon düşünden akma süresinin ölçülmesiyle belirlenen net katı akısına göre boyutlandırılmıştır. Bahsi geçen boyutlandırma kanunlarına göre hesaplanan yatak malzemesini atmosfer sıcaklığında tam olarak karşılayabilen bir katı madde bulunmadığı için yatak malzemesi olarak demir parçacıkları seçilmiştir.

Testler farklı miktarlarda yatak malzemesi ve gaz hızlarında yürütülerek basınç ölçümleri Şekil 1.11’de gösterilen ölçüm noktalarından basınç ölçümleri yapılmıştır.

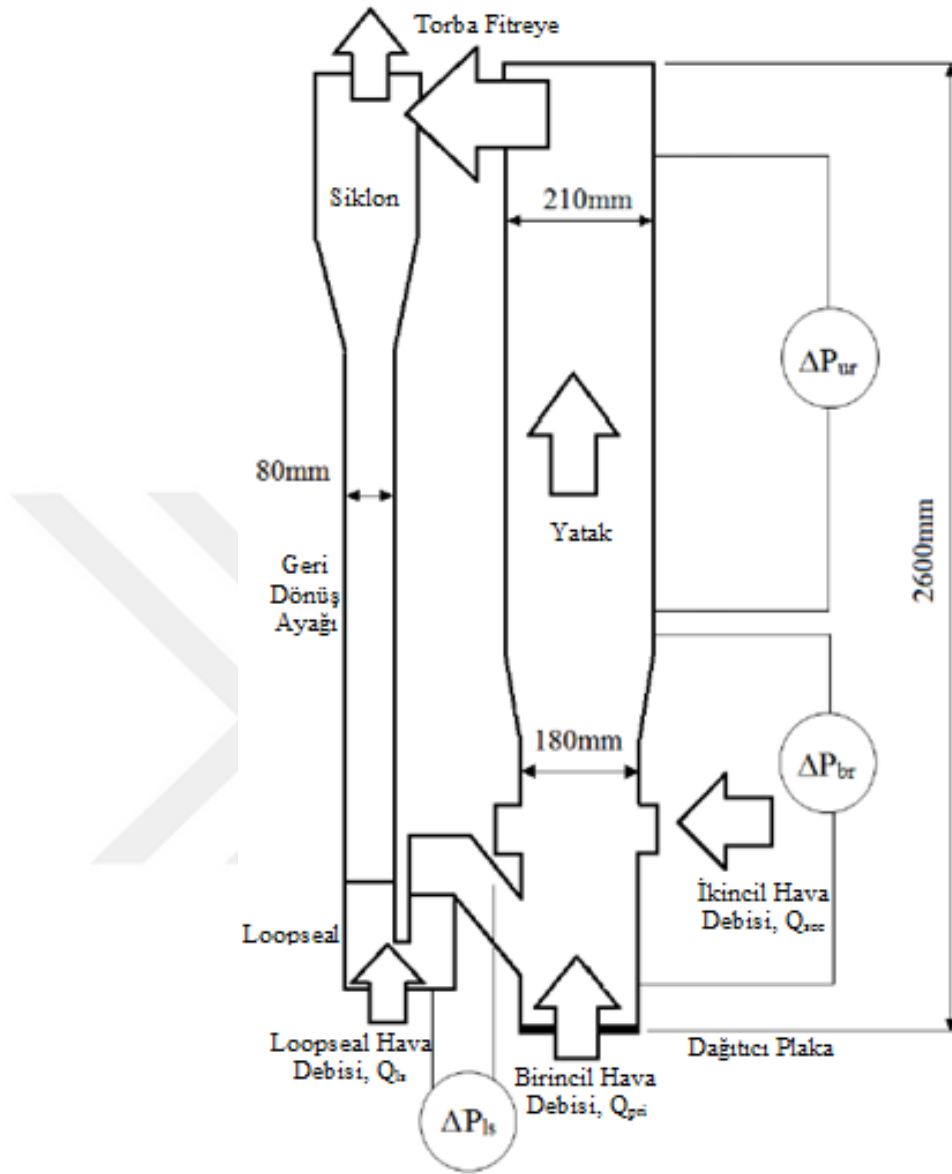


Şekil 1.11. 300 MW_e’lik DAY kazanın soğuk modeli (solda) ve ölçüm noktalarının genel görünümü (sağda)

Yapılan çalışmada siklonun üç farklı yerleşiminde basınç kayıplarının hemen hemen aynı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç her bir siklondaki katı ve gaz akış oranının yaklaşık olarak benzer olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışma birden fazla siklonlu DAY kazanlarda siklonların asimetrik düzende yerleştirilmiş olsun ya da olmasın her geri dönüşüm döngüsünün bağımsız basınç dengesine sahip olduğunu göstermiştir. Her bir devri daim döngüsündeki katı dolaşım oranı ve kazandaki katı süspansiyon yoğunluğu havalandırma oranının ayarlanmasıyla kontrol edilebilmektedir. Asimetrik düzen siklonlu sahip 300 MW_e ve 600 MW_e DAY kazanlarda havalandırma hızı ayarı vasıtası ile katı dolaşım oranları da kontrol edilebilmektedir.

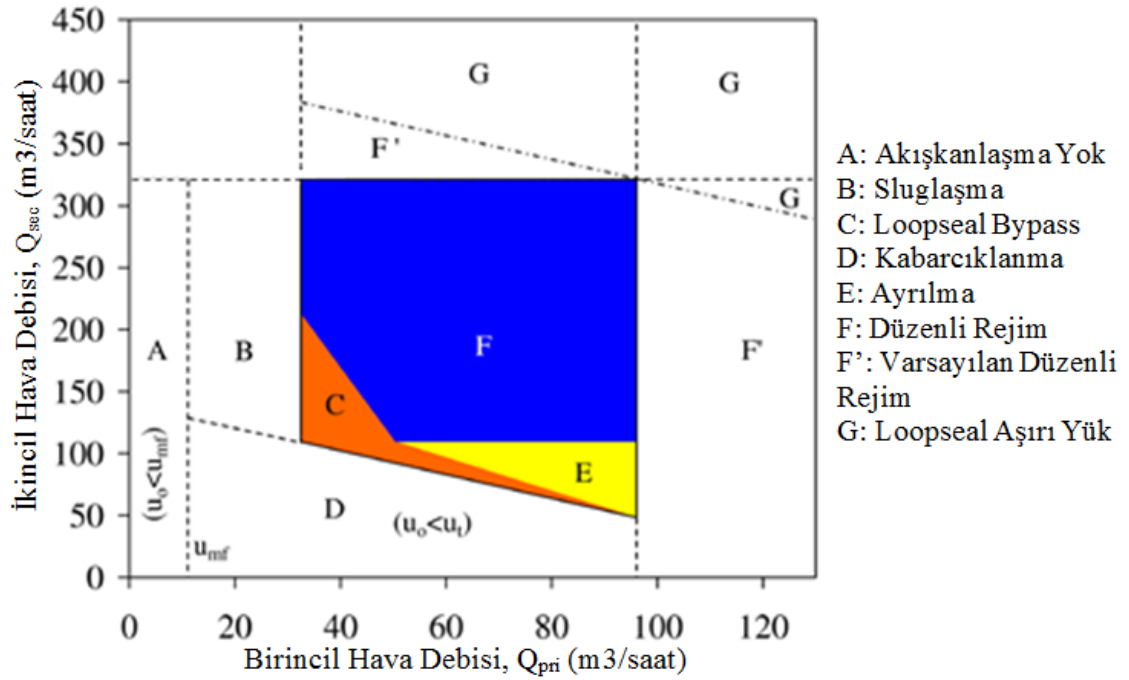
Mirek (2011), Dünyanın ilk süperkritik DAY kazanlı termik santrali olan 460 MW_e kapasiteli Lagisza DAY kazanının 1/20 ölçekli tam geometrik benzerlikte soğuk modeli ile hidrodinamik çalışmıştır. Çalışmada sıcak kazan ile soğuk model arasında Froude sayısı sabit tutulmuştur. Bu çalışmada Glicksman ve Horio tarafından önerilen parametrelerin kullanılması durumunda katı dolaşım akısına tasarım başında karar verilmesi gerektiğinden bu parametreyi içermeyen yeni parametrelerin kullanılabileceğini belirtmiştir. Deney sonuçları katı dağılımı açısından değerlendirilmiştir ve önerilen parametrelerle yapılan benzetimde ticari kazanda ölçülen değerler arasında çok iyi benzerlik elde edilmiştir. Önerilen parametreler modelde yapılacak değişikliklere esneklik sağladığından çok sayıda deney yapılmasına imkan vermektedir.

Lim *et al.* (2012) bir DAY Soğuk modelinin katı dağılım oranı, katı akış debisi ve basınç kayıpları açısından hidrodinamiği incelenmiştir. Şekil 1.12’de kurulan deney düzeneğinin akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 1.12. DAY soğuk model

Çalışmada farklı aralıklardaki primer, sekonder ve loop-seal hava debilerinde DAY kazan gövdesindeki katı akışı gözlemlenerek stabil bir çalışma haritası belirlenmiştir. Kazan gövdesinden geliş ayağına giden katı madde akışının loop-seal havasının kesilmesiyle katı maddenin tekrar dönmemesi sağlanmış ve katı madde debisi ve miktarı ölçülmüştür. Ayrıca primer hava debisi ve loop-seal hava debisi sabit tutularak sekonder hava debisinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca belirli primer, sekonder ve loop-seal hava debileri aralığında modelin farklı noktalarında basınç ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde Şekil 1.13'te gösterilen çalışma haritası oluşturulmuştur.



Şekil 1.13. DAY soğuk model çalışma haritası

Mirek *et al.* (2014) bildirilerinde Mirek (2011) tarafından yapılan çalışmadaki 1/20 ölçekli modele ek olarak yine aynı boyutsuz parametrelerle 1/10 ölçekli bir soğuk modelde benzetim parametrelerini geometri, parçacık küreselliği ve PBD parametrelerini de ekleyerek uygulamışlardır. 1/10 ölçekli modelde 1/20 ölçekli modele göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Dünya’da DAY kazana ilişkin kömür yakıtlı termik santral uygulamaları ile ilgili soğuk model ile yapılan deneysel çalışmalar genel olarak yukarıda belirtildiği gibi olup açık literatürde yer alan en güncel olan çalışmalar verilmiştir. Ülkemizde de, bu alanda yapılan deneysel çalışmalara açık literatürde rastlanamamaktadır.

DAY modelleme çalışmalarında kullanılan boyutsuz parametreler ve sayısal değerler Çizelge 1.4’te gösterilmektedir (Glicksman *et al.* 1994).

Çizelge 1.4. Literatürde DAY modelleme deneysel çalışmalar

Referans	$\rho_f u_0 D / \mu$	u_0^2 / gD u_0^2 / gL	ρ_s / ρ_f	L/D L_1/L_2	D/d_p	$G_s / \rho_s u_0$	ϕ_s	$d_p (\mu m)$	Diğer parametreler
Horio et al. (1989)	9885-16063	0,33-0,86	1508	8	2528	0,0028-0,0052	-	79	$Re_{dp}=3,9-6,4$ $u_0/u_{mf} \approx 229-371$
	1236-2008	0,33-0,86	1508	8	816	0,0028-0,0052	-	61	$Re_{dp}=1,5-5,25$ $u_0/u_{mf} \approx 190-310$
Ishii and Murakami (1991)	9885-14827	0,33-0,73	1508	-	3263	0,0056-0,0037	-	61	$Re_{dp}=3,0-4,5$ $u_0/u_{mf} \approx 381-571$
	1236-1853	0,33-0,73	1508	-	1078	0,0056-0,0037	-	46	$Re_{dp}=1,1-1,7$ $u_0/u_{mf} \approx 333-500$
Tsukada (1991)	1518	0,51	1534	8	1078	0,0067	-	46	$Re_{dp}=1,4$ $u_0/u_{mf} \approx 417$
	2736	0,51	852	8	1078	0,0067	-	46	$Re_{dp}=2,5$ $u_0/u_{mf} \approx 417$
	5327	0,51	437	8	1078	0,0067	-	46	$Re_{dp}=4,9$ $u_0/u_{mf} \approx 417$
Glicksman et al. (1991)	6785	66,94	6000	48,0	646	0,0016	-	52	$Re_{dp}=10,5$

Çizelge 1.4. (devam)

Referans	$\rho_f u_0 D / \mu$	u_0^2 / gD u_0^2 / gL	ρ_s / ρ_f	L/D L_1/L_2	D/d_p	$G_s / \rho_s u_0$	ϕ_s	$d_p (\mu m)$	Diğer parametreler
Chang and Louge (1992)	15630	13,84	4800	35	855	0,0044	0,69	234	Fr=13
	22977	9,34	4961	35	1835	0,0042	1,00	109	Ar≈45
	53454	4,20	4966	35	2985	0,0020	0,73	67	Fr=131
	22977	9,34	4961	35	1835	0,0020	1,00	109	Ar≈47
Glicksman et al. (1993b)	30349	5,63	6200	11,25	2759	0,0011	-	58	Re _{d_p} =11,0
Glicksman et al. (1993a)	3211-5 352	7,10- 19,70	2117	14,20	412	(4-7)10 ⁻³	1,0	79	Re _{d_p} =7,8-13,0 u ₀ /u _{mf} =106-176
	3211-5 352	7,10- 19,70	1167	14,20	326	(4-7)10 ⁻³	0,6-0,8	100	Re _{d_p} =9,9-16,5 u ₀ /u _{mf} =176-294

Çizelge 1.4. (devam)

Referans	$\rho_f u_0 D / \mu$	$\frac{u_0^2 / g D}{u_0^2 / g L}$	ρ_s / ρ_f	$\frac{L/D}{L_1/L_2}$	D/d_p	$G_s / \rho_s u_0$	ϕ_s	$d_p (\mu m)$	Diğer parametreler
Glicksman <i>et al.</i> (1993)	25699- 45146	7,10-19,60	2117	14,10	1158	$(4-7)10^{-3}$	1,0	112	$Re_{dp}=22,2-39,0$ $u_0/u_{mf}=104-174$
	3171- 5286	7,20-19,90	2117	14,40	407	$(4-7)10^{-3}$	1,0	79	$Re_{dp}=7,8-13,0$ $u_0/u_{mf}=106-176$
	24030- 43020	7,10-19,60	1167	14,10	900	$(2-3)10^{-3}$	0,6- 0,8	145	$Re_{dp}=26,7-47,8$ $u_0/u_{mf}=200-333$
	3188- 5313	7,20-19,90	1167	14,40	322	$(2-3)10^{-3}$	0,6- 0,8	100	$Re_{dp}=9,9-16,5$ $u_0/u_{mf}=176-294$
	25008- 31993	7,10-12,50	6200	14,10	2253	$(0,5-1,8)10^{-3}$	0,6- 0,8	58	$Re_{dp}=11,1-14,2$ $u_0/u_{mf}=214-286$
	3891- 5075	5,70-10,20	6200	14,40	1538	$(0,5-1,8)10^{-3}$	0,6- 0,8	26	$Re_{dp}=2,5-3,3$ $u_0/u_{mf}=200-267$

Çizelge 1.4. (devam)

Referans	$\rho_f u_0 D / \mu$	$\frac{u_0^2 / g D}{u_0^2 / g L}$	ρ_s / ρ_f	$\frac{L / D}{L_1 / L_2}$	D / d_p	$G_s / \rho_s u_0$	$\emptyset_s$	$d_p (\mu m)$	Diğer parametreler
Glicksman et al. (1995)	12530	3,62	758	40,9	564	0,016	0,85	180	$Re_{d_p}=22,2 \quad u_0/u_{mf}=107$
	13771	4,38	758	40,9	564	0,016	0,85	180	$Re_{d_p}=24,4 \quad u_0/u_{mf}=118$
	13207	4,01	758	40,9	564	0,015	0,85	180	$Re_{d_p}=23,4 \quad u_0/u_{mf}=113$
	12925	3,85	758	40,9	564	0,0035	0,85	180	$Re_{d_p}=22,9 \quad u_0/u_{mf}=111$
Yue et al. (2009)	48026	0,062	4037	20	-	$(0,048-0,3) 10^{-3}$	-	57	$Re_{d_p}=4,3$
Mirek (2011)	30453-	0,10-	2076	20	13606	0,0121-0,0254	1,00	44	$Re_{d_p}=2,2-4,4 \quad u_0/u_{mf}=410-798$ $u_0/u_t=5,47-10,65$
	59279	0,38							
	23324- 45402	0,06- 0,22	2076	20	15657	0,0079-0,0166	1,00	38	$Re_{d_p}=1,5-2,9 \quad u_0/u_{mf}=416-809$ $u_0/u_t=5,47-10,65$
Mirek et al. (2014)	60906- 118558	0,05- 0,19	2076	10	27213	0,0061-0,0127	1,00	44	$Re_{d_p}=2,2-4,4 \quad u_0/u_{mf}=410-798$ $u_0/u_t=5,47-10,65$

1.9. Amaç ve Kapsam

Dolaşımli akışkan yataklı bir kazanda basınç düşümündeki değişiklikler, yatak içerisindeki katı yoğunluğu profilini dolayısıyla da ısı transfer yüzeylerindeki ısı transferi katsayısını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca yatak içerisinde yanma ve dolaşım için gereken havayı basmakta kullanılan hava fanı kapasitesi de doğrudan yatak içi basınç düşümüne bağlıdır. Bu sebeple farklı çalışma parametreleri için basınç düşümü profillerinin bilinmesi önem arz etmektedir.

DAY kazanda değişen yakıt boyutunun yatak içi hidrodinamiğine etkisinin belirlenmesi amacıyla farklı tane boyutunun kazan içi basınç düşümü profiline etkisi araştırılmıştır.

DAY kazanda değişen çalışma yüküyle doğru orantılı olarak kazana beslenen yakıt ve yatak malzemesi toplam kütesinin yatak içi hidrodinamiğine etkisinin belirlenmesi amacıyla farklı yatak malzemesi kütesinin kazan içi basınç düşümü profiline etkisi araştırılmıştır.

Dolaşımli akışkan yataklı bir kazanda yanma kalitesini artırmak ve yanma sonucu oluşan NO_x emisyonlarını azaltmak için ikincil hava beslemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Beslenen ikincil hava debisinin toplam hava debisine oranının kazan içi basınç düşümü profilini nasıl etkilediğinin araştırılması da bu çalışmanın amaçlarındandır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Boyutlandırma Kuralları

Bölüm 1.6’da anlatıldığı gibi, kazan içi hidrodinamiğinin anlaşılması amacıyla içerisinde yanmanın gerçekleşmediği, **soğuk model** olarak isimlendirilen ve düşük sıcaklık koşullarında çalışabilen küçük boyutlu modellerle çalışmak ve sonuçların tam ölçeğe boyutlandırılabilmesi çok daha etkin, ucuz, basit ve verimli olmaktadır. Kazan soğuk modelinin oluşturulması için kullanılan boyutlandırma kuralları, korunum ve hareket denklemlerinin akışkan ve parçacık için uygun sınır koşulları ile çözülmesiyle oluşturulmaktadır. Akışkan gaz için kütle korunumu:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \text{div}(\varepsilon \bar{u}) = 0 \quad (2.1)$$

ile ifade edilmektedir. Burada, ε akışkan gazın yatakta kapladığı hacim oranı, $\bar{u}$ gaz hızının vektörel gösterimidir. Parçacık için kütle korunumu:

$$\frac{\partial}{\partial t} (1 - \varepsilon) + \text{div}[(1 - \varepsilon) \bar{v}] = 0 \quad (2.2)$$

ile ifade edilmektedir. Burada, $\bar{v}$ katı parçacık hızının vektörel gösterimidir. Akışkan gaz için hareket denklemi:

$$\rho_f \varepsilon \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \cdot \text{grad} \bar{u} \right] + \hat{i} \rho_f g \varepsilon + \text{grad} p + \beta (\bar{u} - \bar{v}) = 0 \quad (2.3)$$

ile ifade edilmektedir. Burada, $\hat{i}$ dikey yöndeki birim vektör ve $\beta (\bar{u} - \bar{v})$ parçacık ile gaz arasındaki sürtünme kuvvetini göstermektedir. Parçacık için hareket denklemi:

$$\rho_s(1-\varepsilon) \left[\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{v} \cdot \text{grad} \bar{v} \right] + \hat{i} \rho_s g(1-\varepsilon) - \beta(\bar{u} - \bar{v}) = 0 \quad (2.4)$$

ile ifade edilmektedir. Burada yine $\hat{i}$ dikey yöndeki birim vektör ve $\beta(\bar{u} - \bar{v})$ parçacık ile gaz arasındaki sürtünme kuvvetini göstermektedir.

2.2. Basitleştirilmiş Boyutlandırma Kuralları

Bu çalışmada, tasarımı yapılan kazanın deneysel modellenmesi amacıyla Glicksman *et al.* (1993a) tarafından önerilen boyutlandırma kuralları kullanılmıştır (Çizelge 2.1). Tam set parametrelerin basitleştirilmiş parametrelerle kullanılması kazan ya da kimyasal reaktörün modellenmesi için gereken tasarım aşamasında esneklik avantajı sağlamaktadır. Tam set parametreleri kullanılırken model gaz özelliklerinin belirlenmesiyle modelde sadece belirli bir parçacık boyutu, parçacık yoğunluğu, yatak boyutu, gaz hızı ve katı dolaşım oranı kullanılabilmektedir. Basitleştirilmiş parametrelerin kullanılmasıyla akışkanlaştırıcı gazın belirlenmesiyle katı yoğunluğu da sabitleşir. Ancak Froude sayısı sabit tutulmak kaydıyla boş kolon hızının (u_0) değiştirilmesiyle model boyutları da değiştirilebilmektedir. u_0/u_{mf} oranının sabit tutulması suretiyle parçacık boyutu belirlenebilir. Bu esneklik sayesinde tam set boyutlandırma parametreleri ile modellenmesi mümkün olmayan daha büyük kazan ve reaktörlerin modellenerek simule edilmesine imkan sağlamaktadır.

Çizelge 2.1. Kullanılan boyutlandırma kuralları

Glicksman <i>et al.</i> (1993)	$\frac{u_0^2}{gL}, \frac{\rho_s}{\rho_f}, \frac{u_0}{u_{mf}}, \frac{L_1}{L_2}, \frac{G_s}{\rho_s u_0}, \phi_s, PBD$
---------------------------------------	---

2.3. Minimum Akışkanlaşma Hızı

Minimum akışkanlaşma hızı, u_{mf} , Ergun Korelasyonu olarak da isimlendirilen yatak birim yüksekliğine göre basınç düşümü ilişkisi ile yataktaki basınç düşümünün yatak

ağırlığına yani akışkan direnç kuvvetine eşit olduğu denklemin birlikte çözülmesiyle elde edilmektedir (Basu 2006). Ergun Korelasyonu:

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{\mu u_0}{(\phi_s d_p)^2} + 1,75 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \frac{\rho_f u_0^2}{\phi_s d_p} \quad (2.5)$$

ile, yatak basınç düşümünün yatak ağırlığına eşit olduğu durum ise:

$$F_D = \Delta P A = A L (1-\epsilon) (\rho_s - \rho_f) g \quad (2.6)$$

ile gösterilmektedir.

2.4. Basınç Düşümü Boyutlandırma

Leckner ve arkadaşları (Leckner *et al.* 2011) geometrik olarak benzer iki kazanda benzetim yapılırken $G_s / \rho_s u_0$ eşitliğinde G_s yerine ΔP parametresi ile boyutlandırma kriteri elde edilebileceğini belirtmişler ve aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

$$\Delta P_1 = \frac{L_1}{L_2} \Delta P_2 \quad (2.7)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Soğuk deney düzeneğinde kullanılan tüm materyaller Çizelge 3.1’de listelenmiştir.

Çizelge 3.1. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanlar

No	Ekipman	Açıklama	Marka, Teknik özellikler, Adet, Şekil
1	Fan	Birincil, ikincil ve loop-seal havaları fanı	Pitsan PHD56K, 15 kPa, 5000 mm/SS, (Şekil 3.1)
2	Basınç transmitterleri	Fraklı noktalarda basınç ölçümü	KELLER PR-23R/80710,34 0-40 kPa, 4-20 mA, 5 adet, (Şekil 3.2 (solda))
3	Sıcaklık sensörü	Hava sıcaklığı ölçümü	METRONİK R03S{R3B}İ-0100-9P2-B-GB12, 0-100°C, 1 adet, (Şekil 3.2 (sağda))
4	Rotametre	Birincil ve ikincil hava debilerinin ölçümü	TECFLUID PS-31/PVC DN-80, 0-740 Nm ³ /h, 20 Nm ³ /h aralıklı, 2 adet, (Şekil 3.3 (solda))
5	Rotametre	Loopseal hava debilerinin ölçümü	TECFLUID PS-31/PVC DN-50, 0-200 Nm ³ /h, 5 Nm ³ /h aralıklı, (Şekil 3.3 (solda))
6	Bilgisayar	Ölçüm sonuçlarının yazılım ile kaydedilmesi	DELL OPTIPLEX 9020

Çizelge 3.1. (devam)

No	Ekipman	Açıklama	Marka, Teknik özellikler, Adet, Şekil
7	PLC	Otomasyon	SIEMENS MICROMASTER 440, 4 adet analog, 1 adet dijital PLC, 27 analog, 1 adet dijital I/O (4-20 mA), (Şekil 3.4)
8	Paslanmaz çelik bilya	Yatak malzemesi	SAE No. 10 (7800 kg/m ³ yoğunluk, 0,05-0,30 mm çap), 50 kg, (Şekil 3.5)
9	Sürgülü vana	Birincil ve ikincil havalarını dağıtmak için	DUYAR TS45717 DN-80, 2 adet, (Şekil 3.6)
10	Sürgülü vana	Loopseal havalarını dağıtmak için	DUYAR TS45717 DN-50, 2 adet, (Şekil 3.6)
11	Sigma profil	Konstrüksiyon malzemesi	≈40 m
12	Alüminyum köşebent	Konstrüksiyon malzemesi	≈10 m
13	Pleksiglas levha	DAY	≈5 m ² , Kalınlık:5 mm
14	Pleksiglas boru	Birincil, ikincil ve loop-seal hava girişleri, siklon geri dönüşü	≈2,5 m, Çap:50 mm
15	Fleks hortum	Birincil, ikincil ve loop-seal hava bağlantıları için	≈12 m, Çap:111 mm ≈12 m, Çap:550 mm
16	Plastik Borular	Birincil ve ikincil hava bağlantıları için	5 T, 6 Y, 34 Dirsek, 2 Redüksiyon

Çizelge 3.1. (devam)

No	Ekipman	Açıklama	Marka, Teknik özellikler, Adet, Şekil
17	Normal Terazî	Numune miktarı ölçümü için	METTLER TOLEDO Mak:35 kg, Hassasiyet: 0,1 g
18	Yapıştırıcı	Montaj	Epoxy, kloroform, Locktite, Bant
19	Cıvata ve Somun	Montaj	M8, ≈100 adet
20	Torba Filtre	Siklonlardan sonra tozları tutmak için	2 adet bez filtre
21	Elek	Paslanmaz Çelik Bilyaların Boyut Analizi için	RETSCH, 150 µm, 212 µm (Şekil 3.7)



Şekil 3.1. Fan



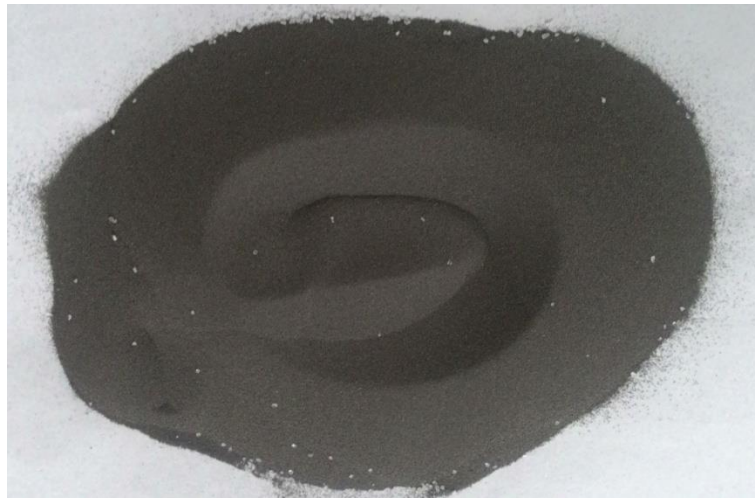
Şekil 3.2. Basınç transmitteri (solda), sıcaklık sensörü (sağda)



Şekil 3.3. Rotametreler, birincil ve ikincil hava (solda), loopseal hava (sağda)



Şekil 3.4. PLC



Şekil 3.5. Paslanmaz çelik bilyalar



Şekil 3.6. Birincil, ikincil ve loopseal hava dağıtımı için kullanılan sürgülü vanalar

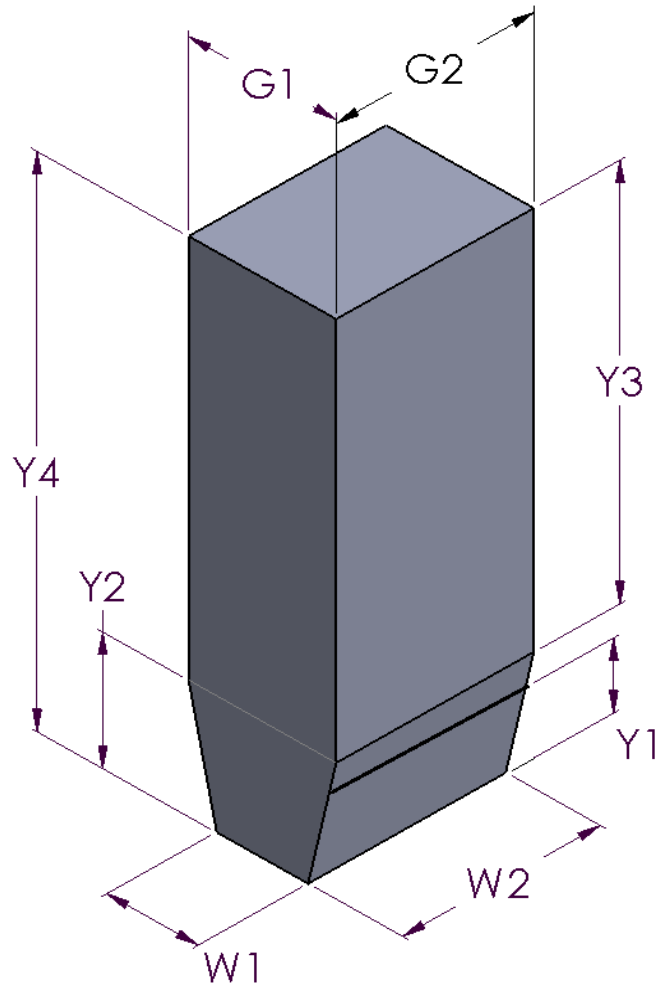


Şekil 3.7. Elek

mümkün olduğunca büyük olabilecek şekilde yapılan tasarım için 1/15 ölçeğin optimum olduğu görülmüştür.

3.2.2. Soğuk Modelin Boyutlandırılması

Soğuk model boyutları, proje kapsamında tasarlanan ve imal edilmesi planlanan DAY kazan akış hacmi boyutlarının (iç ölçüler) 1/15 oranında küçültülmesiyle belirlenmiştir. Şekil 3.9'da gösterilen boyutların DAY kazan yanma bölgesi için verilen ve DAY model için hesaplanan değerler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9. DAY yanma bölgesi boyutları

Çizelge 3.2. DAY yanma bölgesi boyutları

Boyut	Gösterim	Kazan	Birim	Model	Birim
Kazan dar kesit alanı	-	11,66	m ²	0,05	m ²
Kazan geniş kesit alanı	-	22,22	m ²	0,10	m ²
Kazan dar kesit genişliği	W1	2,43	m	162,00	mm
Kazan dar kesit uzunluğu	W2	4,80	m	320,00	mm
Kazan geniş kesit genişliği	G1	4,63	m	309,00	mm
Kazan geniş kesit uzunluğu	G2	4,80	m	320,00	mm
İkincil hava giriş yüksekliği	Y1	1,3&2,2	m	87&147	mm
Konik kısım yüksekliği	Y2	4,39	m	293,00	mm
Freeboard yüksekliği	Y3	24,00	m	1600,00	mm
Toplam yükseklik	Y4	28,39	m	1893,00	mm
Katı geri dönüş hattı giriş yüksekliği	-	1,20	m	80,00	mm
Siklon Çıkışı Sonrası Mesafe	-	0,50	m	33,00	mm

3.2.3. Siklonun Boyutlandırılması

Soğuk deney düzeneği siklonları 1/15 oranında küçültmek yerine literatürde yapıldığı gibi yeniden tasarlanmıştır. Tasarımda sıcak siklonun tasarımı ile aynı sistematik izlenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan 2 adet siklona ilişkin boyutlar Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Siklon boyutları

Parametre	Parametre kodu	Boyut (mm)	Siklonların katı modeli
Giriş Yüksekliği	a	158	
Giriş genişliği	b	60	
Siklon çapı	D	248	
Gaz çıkış çapı	D_e	120	
Vorteks bulucu uzunluğu	S	158	
Siklon silindir yüksekliği	h	447	
Toplam siklon yüksekliği	H	780	
Katı çıkış ağzı çapı	B	47	

3.2.4. Boyutlandırma Parametrelerinin Belirlenmesi

Çizelge 3.4. DAY kazan çalışma parametreleri

Parametre	Gösterim	Değer	Birim
Gaz hızı	u_0	5,5	m/s
Katı yoğunluğu	ρ_s	1700	kg/m ³
Gaz yoğunluğu	ρ_f	0,3189	kg/m ³
Dinamik viskozite	μ	4,462E-05	kg/ms
Küresellik	ϕ_s	1	
Ortalama çap	d_p	350	μm
Minimum akışkanlaşma hızı	u_{mf}	0,0763	m/s
Dolaşım	G_s	10,89	kg/m ² s

Burada minimum akışkanlaşma hızı, u_{mf} , Denklem 2.15 ve 2.16'nın birlikte çözülmesiyle elde edilmektedir.

DAY soğuk model atmosfer koşullarında çalışacağından 25°C'de hesaplanan gaz özellikleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. DAY soğuk model gaz özellikleri

Parametre	Gösterim	Model	Birim
Gaz yoğunluğu	ρ_f	1,187064	kg/m ³
Dinamik viskozite	μ	1,84E-05	kg/ms

Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.4'teki değerler kullanılarak Glicksman tarafından önerilen basitleştirilmiş boyutlandırma kuralları uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. DAY kazan için hesaplanan boyutsuz parametreler

Boyutsuz parametre	Değer
$\frac{u_0^2}{gL}$	0,1086
$\frac{\rho_s}{\rho_f}$	5330,8
$\frac{u_0}{u_{mf}}$	72,0758
$\frac{L_1}{L_2}$	1/15
$\frac{G_s}{\rho_s u_0}$	0,0012
ϕ_s	Küresellik eşit kabul edilmiştir
PBD	PSD eşit kabul edilmiştir

DAY soğuk model için bilinmeyen parametreler Çizelge 3.6'da hesaplanan boyutsuz parametreler yardımıyla hesaplanarak Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. DAY soğuk model çalışma parametreleri

Parametre	Gösterim	Değer	Birim
Gaz hızı	u_0	1,42	m/s
Katı yoğunluğu	ρ_s	6328	kg/m ³
Gaz yoğunluğu	ρ_f	1,187064	kg/m ³
Dinamik viskozite	μ	1,84E-05	kg/ms

Çizelge 3.7. (devam)

Parametre	Gösterim	Değer	Birim
Küresellik	ϕ_s	1	
Ortalama çap	d_p	80	μm
Minimum akışkanlaşma hızı	u_{mf}	0,020	m/s
Dolaşım	G_s	10,46	$\text{kg/m}^2\text{s}$

Çizelge 3.7’den de görüleceği gibi DAY soğuk modelde kullanılacak katı yoğunluğu 6328 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. Ancak bu yoğunlukta bir katı madde ancak alaşımlarla elde edilebilmektedir. Bu nedenle bu amaçla literatürde de sıkça kullanılan ve yoğunluğu 7800 kg/m^3 ile en yakın olan paslanmaz çelik parçacıkların kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Nihai durumda DAY soğuk model boyutlandırma parametreleri Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. DAY soğuk model boyutsuz parametreler

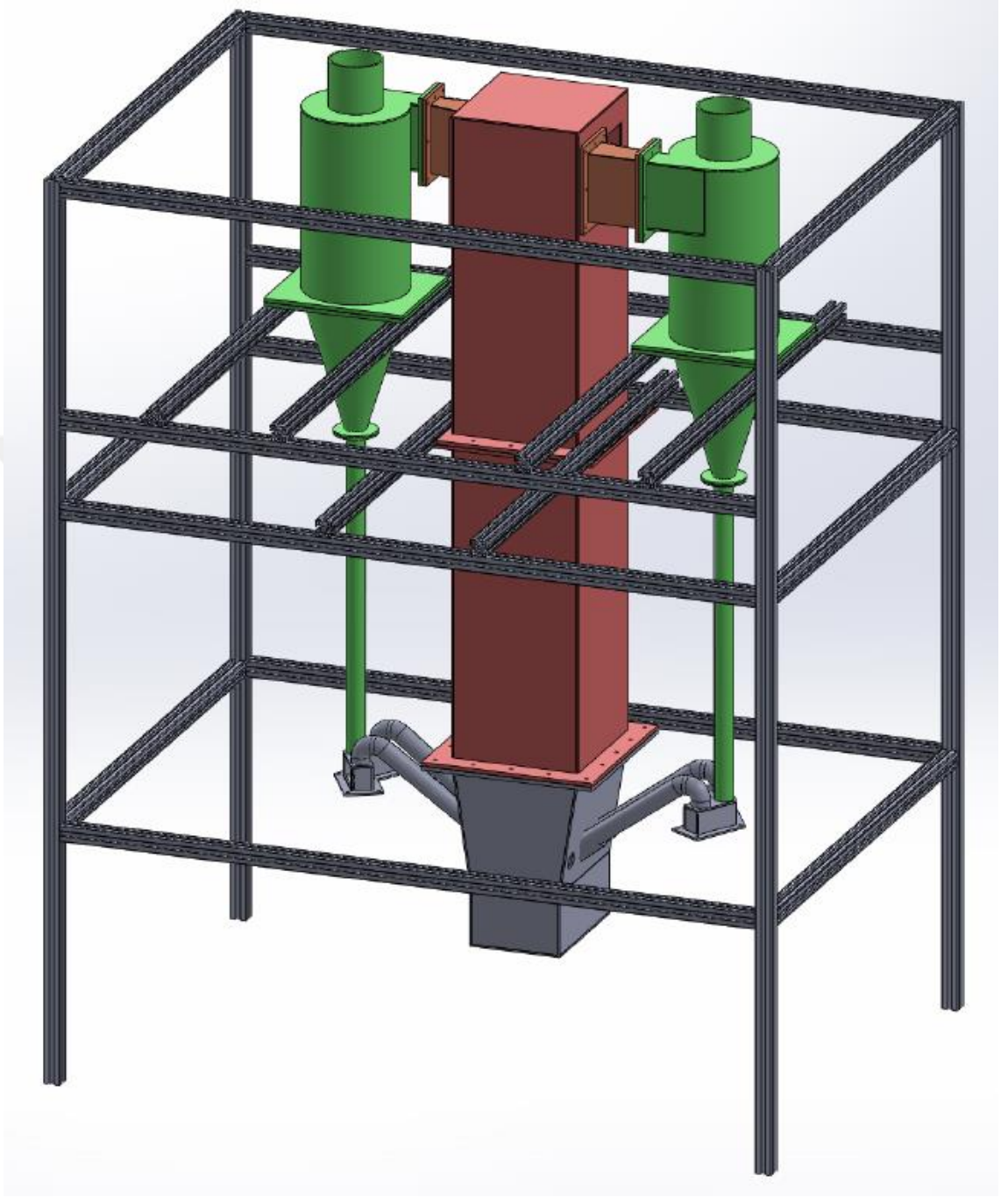
Boyutsuz parametre	Değer	Not
$\frac{u_0^2}{gL}$	0,1086	DAY Kazan ile aynı
$\frac{\rho_s}{\rho_f}$	6571	DAY Kazan parametresinin 1,23 katı
$\frac{u_0}{u_{mf}}$	72,0758	DAY Kazan ile aynı
$\frac{L_1}{L_2}$	1/15	DAY Kazan ile aynı
$\frac{G_s}{\rho_s u_0}$	0,0012	DAY Kazan ile $G_s=12,90 \text{ kg/m}^2\text{s}$ olarak güncellenmiştir
ϕ_s	Küresellik eşit kabul edilmiştir	DAY Kazan ile aynı
PBD	PSD eşit kabul edilmiştir	DAY Kazan ile aynı

3.2.5. Deney Düzeneğinin Montajı ve Kurulumu

Soğuk deney düzeneği ölçüleri boyutlandırma parametreleri ile belirlendikten sonra SOLIDWORKS yazılımı ile üç boyutlu katı modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.10). Üç boyutlu katı modeli oluşturan parçaların ayrı ayrı imalat resimleri çıkartılmıştır. İmalat resimlerine uygun olarak üretilen parçalar Çizelge 3.1’de belirtilen bağlantı malzemeleri ile birleştirilmiş ve sızdırmazlıkları sağlanmıştır. Sensörler, belirlenen noktalara sabitlenmiş ve kablolanmıştır. Basınç sensörlerinin yükseklikleri, boyutsuz konumları ve karşılık gelen fark basınç açıklaması Çizelge 3.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Basınç sensörleri yerleşimi

Basınç sensörü	Fark basınç, (kPa)	Yeri	Yüksekliği, (mm)	Yüksekliği, (m)	h/H, (m/m)
PT1		Dağıtıcı Plaka Altı	0	0,00	0,00
PT2	$\Delta P1=PT1-PT2$	Dağıtıcı Plaka Üstü	20	0,02	0,01
PT3	$\Delta P2=PT1-PT3$	Konik Bölge Orta Kısım	125	0,13	0,07
PT4	$\Delta P3=PT1-PT4$	Boş Kolon Başlangıç	334	0,33	0,18
PT5	$\Delta P4=PT1-PT5$	Boş Kolon Üst Kısım	1330	1,33	0,70

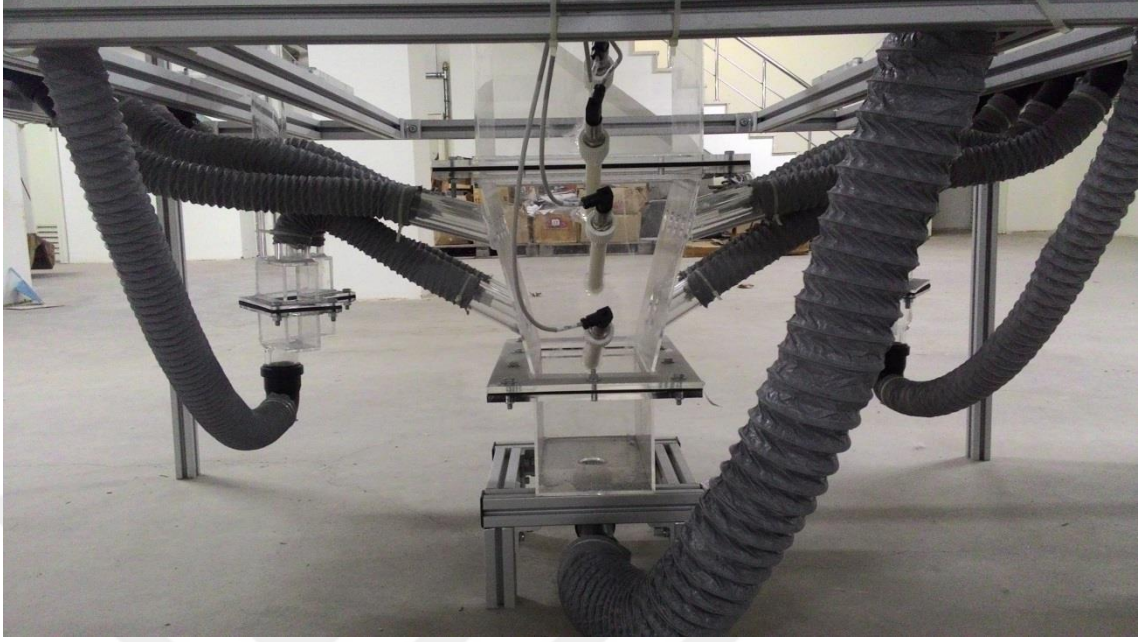


Şekil 3.10. Soğuk deney düzeneği üç boyutlu katı modeli

Soğuk deney düzeneği montaj sonrası hali Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Soğuk deney düzeneği montaj sonrası



Şekil 3.12. Soğuk deney düzeneği bağlantı ve sensörler

3.2.6. Deneylerin Yürütülmesi

Deneyde kullanılacak paslanmaz demir tozları elek analizine tabi tutulmuştur. Yapılan analizlerde paslanmaz çelik parçacıklarının tamamının 212 μm aralıklı elekten rahatlıkla geçtiği görülmüştür. Paslanmaz çelik parçacıklarının yaklaşık %95'inin 90 μm aralıklı elekten geçmediği görülmüştür. Paslanmaz demir parçacıklarından alınan numuneler, 150 μm ve 180 μm aralıklı eleklerle ayrı ayrı elenmiş ve 150 μm aralıklı elek ile yapılan analizde parçacıkların yaklaşık yarı yarıya ayrıldığı ölçülmüştür. Bu nedenle elek analizine 150 μm aralıklı elek ile devam edilmiş ve tüm parçacıklar 0-150 μm ve 150-212 μm aralıklarında olmak üzere sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. Paslanmaz çelik bilyaların elek analizi sonuçları

Parçacık boyut aralığı	Toplam tane kütlesi (kg)	Yüzdesi (%)
> 0 μm & < 150 μm	24	48
> 150 μm & < 212 μm	26	52

Deneyleerin yürütölmesine ilişkin ilk olarak yatağa toplamda 20 kg ve 10 kg olmak üzere ayrı ayrı paslanmaz çelik parçacıkları beslenmiş ve dolaşımli akışın sağlandığı optimum loopseal hava debisi 100 m³/h olarak belirlenmiştir. Ayrıca 20 kg ile yapılan deneyde ulaşılabilircek maksimum birincil ve ikincil hava debileri 400 m³/h olarak belirlenmiştir. Sonrasında ise uygulanan prosedür Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

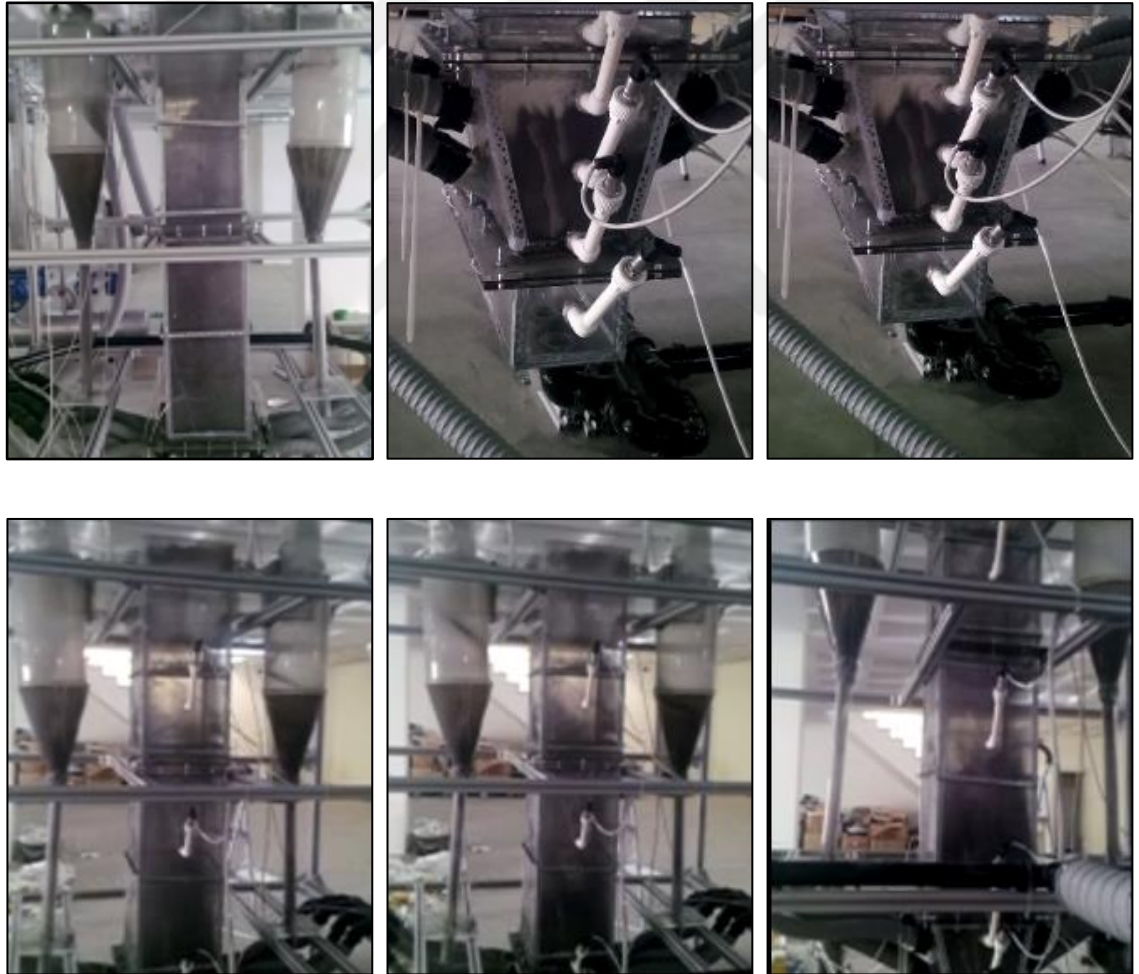
Çizelge 3.11. Deney prosedürü

Sıra No.	İşlem
1	Yatak içerisindeki tüm malzeme boşaltılır ve $m_{sm}=0$ kg ile fan çalıştırılır
2	Loopseal hava debisi 100 m ³ /h değerine ayarlanır
3	Birincil ve ikincil hava debileri 400 m ³ /h değerine ayarlanır
4	Birincil hava debisi 400 m ³ /h’te tutularak ikincil hava debisi 50 m ³ /h’lik düşüşlerle 0 m ³ /h’e kadar düşölür
5	Birincil hava debisi 50 m ³ /h azaltılır ve bu değerde 4. basamak yinelenir
6	Birincil hava debisi 0 m ³ /h’e kadar düşölürken herbir basamakta 4. basamak yinelenir
7	Herbir değeri için elde edilen basınç değeri SCADA ekranından okunur ve kaydedilir
8	Yatağa 0-150 µm aralığındaki tane boyutunda $m=10$ kg paslanmaz çelik parçacığı beslenir ve fan çalıştırılır
9	2, 3, 4, 5, 6 ve 7. basamaktaki işlemler sırasıyla uygulanır
10	Yatağa 0-150 µm aralığındaki tane boyutunda $m_{sm}=10$ kg daha paslanmaz çelik parçacığı beslenir ve toplamda $m_{sm}=20$ kg ile fan çalıştırılır
11	2, 3, 4, 5, 6 ve 7. basamaktaki işlemler sırasıyla uygulanır
12	Yatak içerisindeki tüm malzeme boşaltılır
13	Yatağa 150-212 µm aralığındaki tane boyutunda $m_{sm}=10$ kg paslanmaz çelik parçacığı beslenir ve fan çalıştırılır
14	2, 3, 4, 5, 6 ve 7. basamaktaki işlemler sırasıyla uygulanır

Çizelge 3.11. (devam)

Sıra No.	İşlem
15	Yatağa 150-212 μm aralığındaki tane boyutunda $m_{\text{sm}}=10$ kg daha paslanmaz çelik parçacığı beslenir ve toplamda $m_{\text{sm}}=20$ kg ile fan çalıştırılır
16	2, 3, 4, 5, 6 ve 7. basamaktaki işlemler sırasıyla uygulanır
17	Bazı basamaklarda sonuçların tekrarlanabilirliği sınanır

Deney esnasında alınan görüntüler Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Deneylere ilişkin örnek görüntüler

3.2.7. Verilerin İşlenmesi

Çizelge 3.11’de anlatılan prosedür ile yapılan bir çalıştırmada kaydedilen bir örnek veri Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Örnek veri

$Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150-212 \text{ }\mu\text{m}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$ Ölçüm Sonuçları					
Basınç Sensörü	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5
Basınç, kPa	3,40	2,29	1,52	1,44	1,35

Çizelge 3.12’de gösterilen her bir basınç değerinin PT1 referans basınç değerine göre basınç düşümü hesaplanmıştır. Örnek bir hesaplama şu şekildedir:

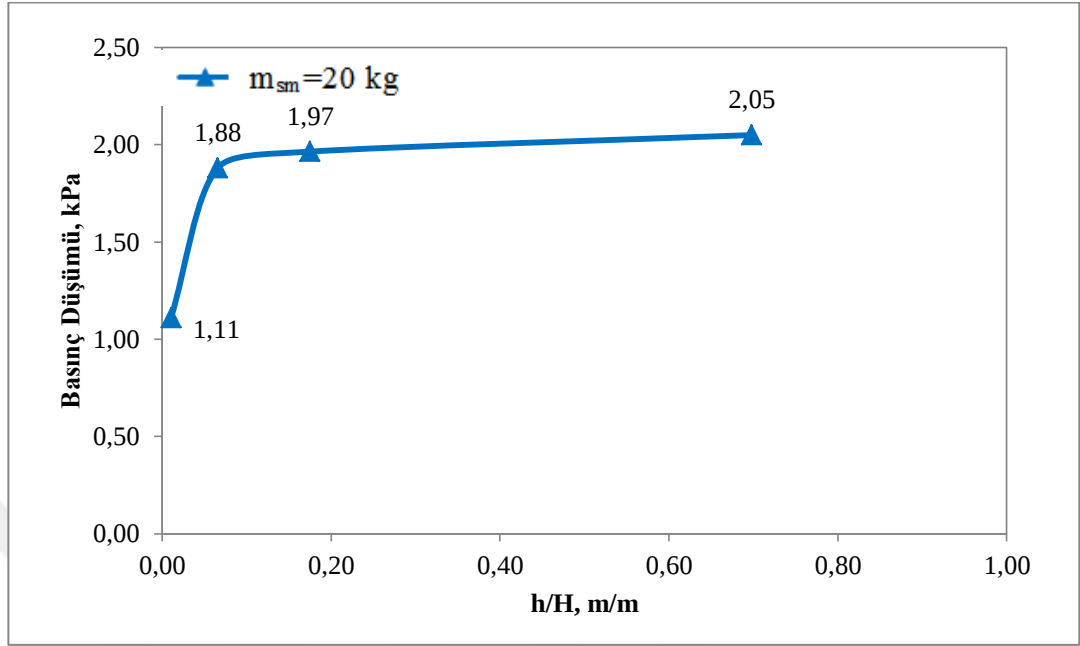
$$\Delta P_1 = PT2 - PT1 \quad (3.1)$$

$$\Delta P_1 = 3,40 - 2,29 = 1,11 \text{ kPa} \quad (3.2)$$

Tüm basınç düşümleri hesaplanmış (Çizelge 3.13) ve boyutsuz yatak yüksekliğine (ölçüm noktası yüksekliğinin toplam yatak yüksekliğine oranı) göre grafik (Şekil 3.14) üzerinde gösterilmiştir.

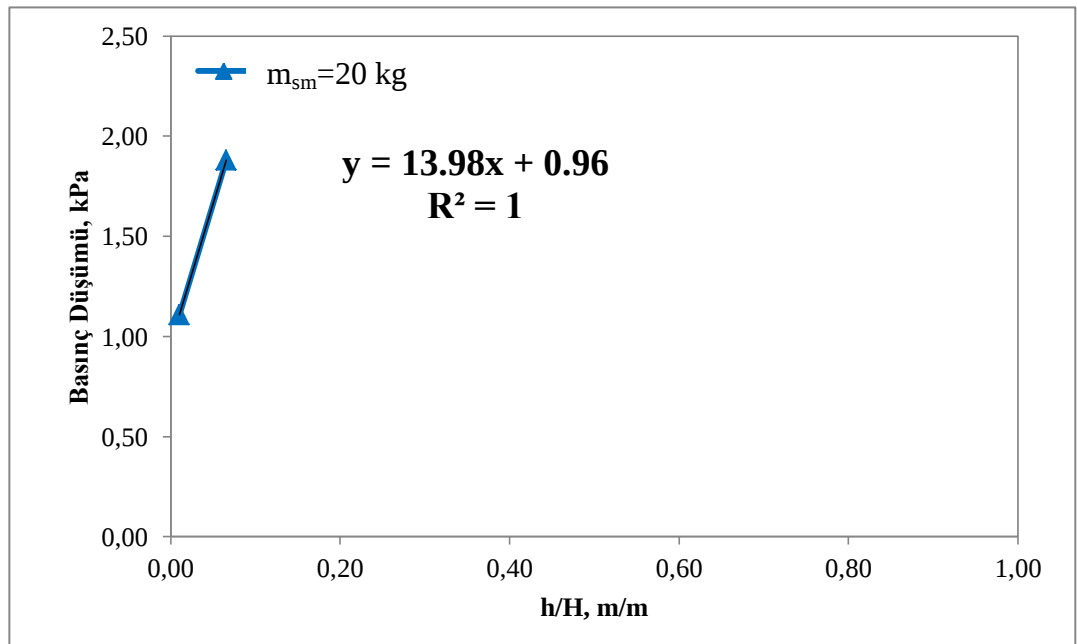
Çizelge 3.13. Örnek veri ile basınç düşümü değerlerinin hesaplanması

$Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150-212 \text{ }\mu\text{m}$ ölçüm yüksekliğine göre basınç düşüm değerleri				
Fark Basınç Gösterim	$\Delta P1$	$\Delta P2$	$\Delta P3$	$\Delta P4$
Fark Basınç, kPa	3,40	2,29	1,52	1,44
Boyutsuz Yükseklik	0,01	0,07	0,18	0,70

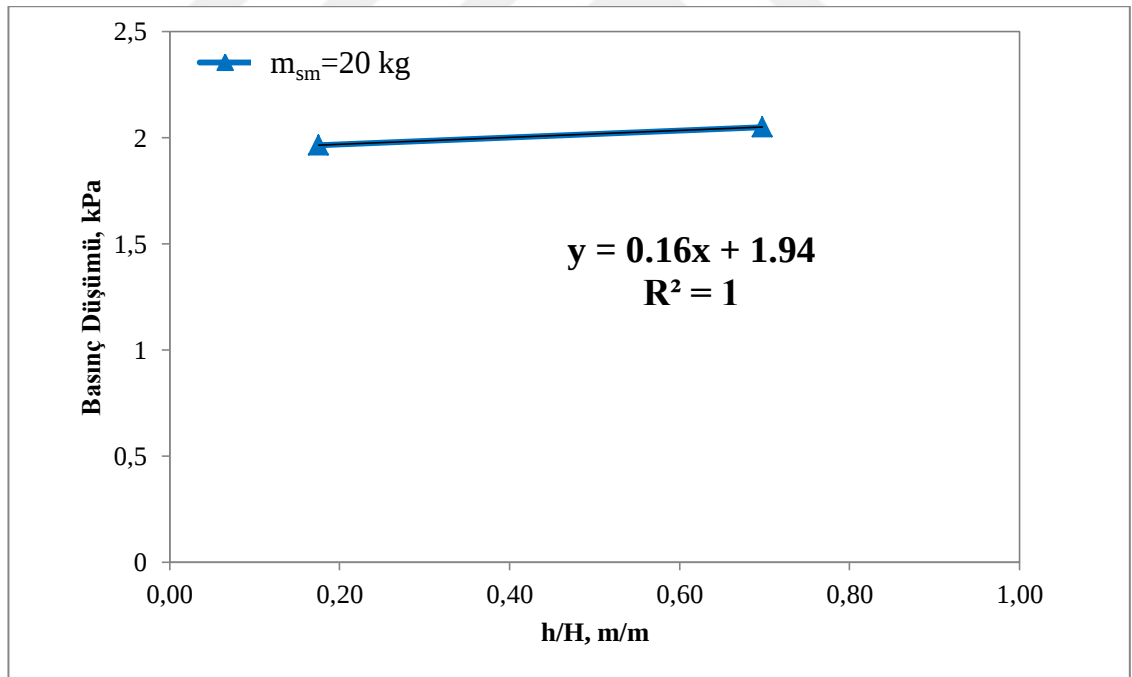
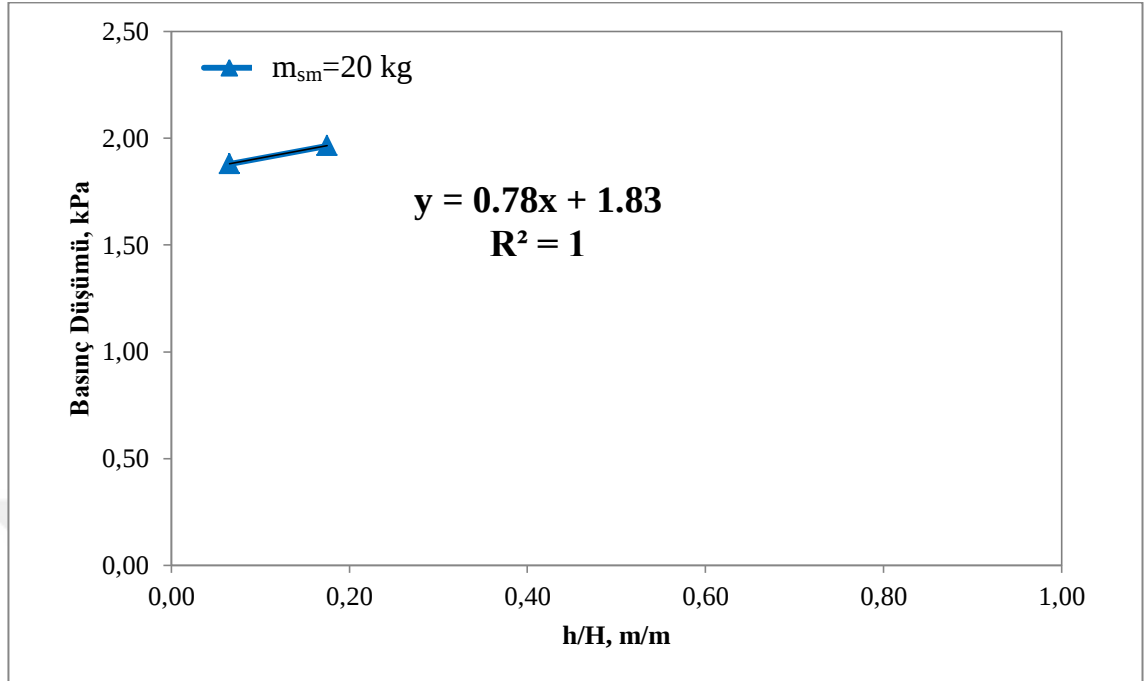


Şekil 3.14. Örnek veri ile oluşturulan grafik

Şekil 3.14'te gösterilen grafik üç aralık için ayrı ayrı doğrular oluşturulmuştur (Şekil 3.15, Denklem 3.3):



Şekil 3.15. (devam)



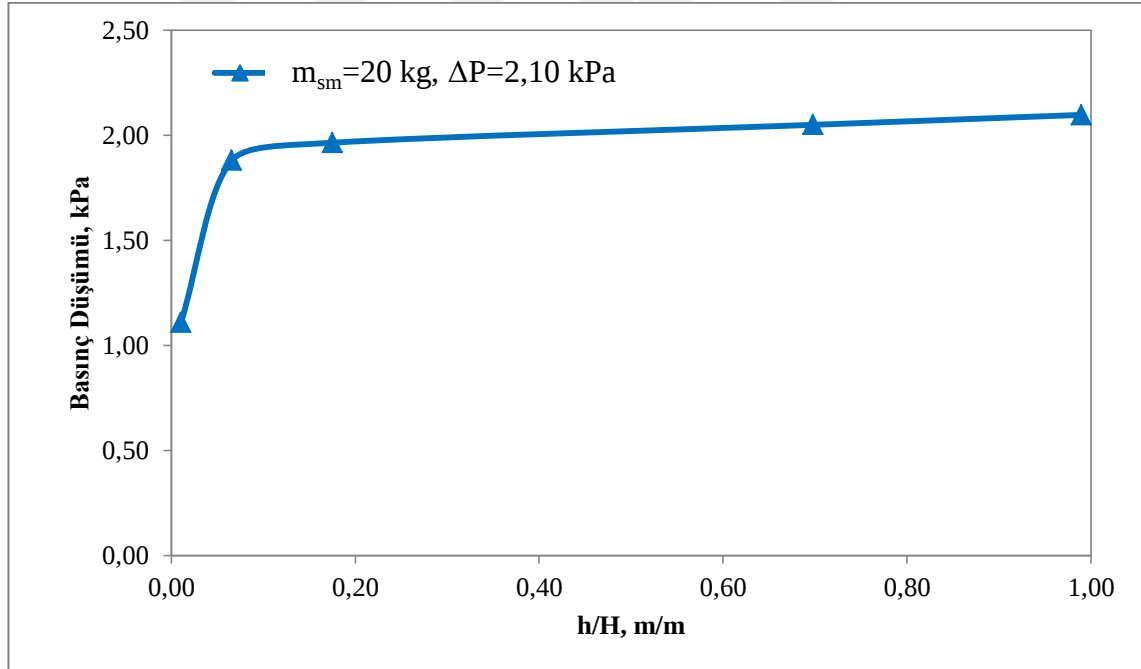
Şekil 3.15. Örnek veri ile h/H aralıkları için oluşturulan doğrular üstte) 0,01-0,07 ortada) 0,07-0,18 altta) 0,18-0,70

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 13,98(h/H)+0,96 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,78(h/H)+1,83 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,16(h/H)+1,94 & 0,18 < h/H \leq 0,70 \end{cases} \quad (3.3)$$

Yatak üst kısım bölgesinin temsil edilmesi amacıyla $h/H=0,99$ olarak yeni bir boyutsuz yükseklik belirlenmiştir ve karşılık gelen basınç düşümü değeri 0,18-0,70 aralığındaki doğru devam ettirilerek bulunmuştur.

$$\Delta P_{20 \text{ kg}, \frac{h}{H}=0,99} (\text{kPa}) = 0,16*(0,99)+1,94=2,10 \text{ kPa} \quad (3.4)$$

Hesaplanan bu değer ile Şekil 3.14'teki grafik Şekil 3.16'daki gibi yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 3.16. Örnek veri ile oluşturulan güncel grafik

Soğuk modelde farklı parametreler ile yapılan deneylere ilişkin sonuçlar Bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir.

Soğuk modelde yapılan ölçümlerin kazan için yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle Denklem 2.17 ile verilen bağıntıdan hareketle soğuk modelde yapılan ölçümler L_1/L_2 oranı olan 15 ile çarpılarak kazanın farklı çalışma koşulları için basınç düşümü değerleri önerilmiştir. Soğuk model hava debileri kazan için belirlenirken u_0^2/gL boyutsuz parametresinden yararlanılmıştır:

$$\left(\frac{u_0^2}{gL}\right)_{\text{soğuk model}} = \left(\frac{u_0^2}{gL}\right)_{\text{kazan}} \quad (3.5)$$

$$(u_0)_{\text{kazan}} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} (u_0)_{\text{soğuk model}} \quad (3.6)$$

Soğuk model için u_0 değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$u_0 = \frac{Q_1}{G1 * W2 * 3600} \quad (3.7)$$

Örnek veri için yapılan hesaplama şu şekildedir:

$$u_0 = \frac{400}{0,320 * 0,309 * 3600} = 1,12 \text{ m/s} \quad (3.8)$$

Kazan için karşılık gelen boş kolon gaz hızı değeri:

$$(u_0)_{\text{kazan}} = \sqrt{15} * 1,12 = 4,46 \text{ m/s} \quad (3.9)$$

Bu hız için hava debisi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$(Q_1)_{\text{kazan}} = (G1 * W2 * 3600 * u_0) \quad (3.10)$$

$$(Q_1)_{\text{kazan}} = (4,63 * 4,83 * 3600 * 4,46)_{\text{kazan}} \cong 348000 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.11)$$

Soğuk modelde dolaştırılan tane boyut aralıkları kazan için belirlenirken Bölüm 3.2.4'te anlatılan minimum akışkanlaşma hızı hesaplama yöntemi ve u_0/u_{mf} boyutsuz parametresinin birlikte iteratif çözülmesiyle belirlenmiştir. 150 μm için u_{mf} 0,0451 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu değer için u_0/u_{mf} 31,4932 olarak hesaplanmıştır. Yapılan iterasyonlarla kazan için 31,1932 değerine karşılık gelen tane boyutu yaklaşık 530 μm olarak belirlenmiştir.

Yukarıdaki veri ile kazan için yapılan benzetim Çizelge 3.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Örnek veri ile kazan için basınç düşümü değerlerinin hesaplanması

$Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530\text{-}750 \mu\text{m}$ ölçüm yüksekliğine göre basınç düşüm değerleri					
Fark Basınç Gösterim	$\Delta P1$	$\Delta P2$	$\Delta P3$	$\Delta P4$	$\Delta P5$
Fark Basınç, kPa	16,65	28,20	29,48	30,75	31,46
Boyutsuz Yükseklik	0,01	0,07	0,18	0,70	0,99

Kazanda farklı parametreler ile yapılan deneylere ilişkin sonuçlar Bölüm 4.2 ve 4.4'te verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

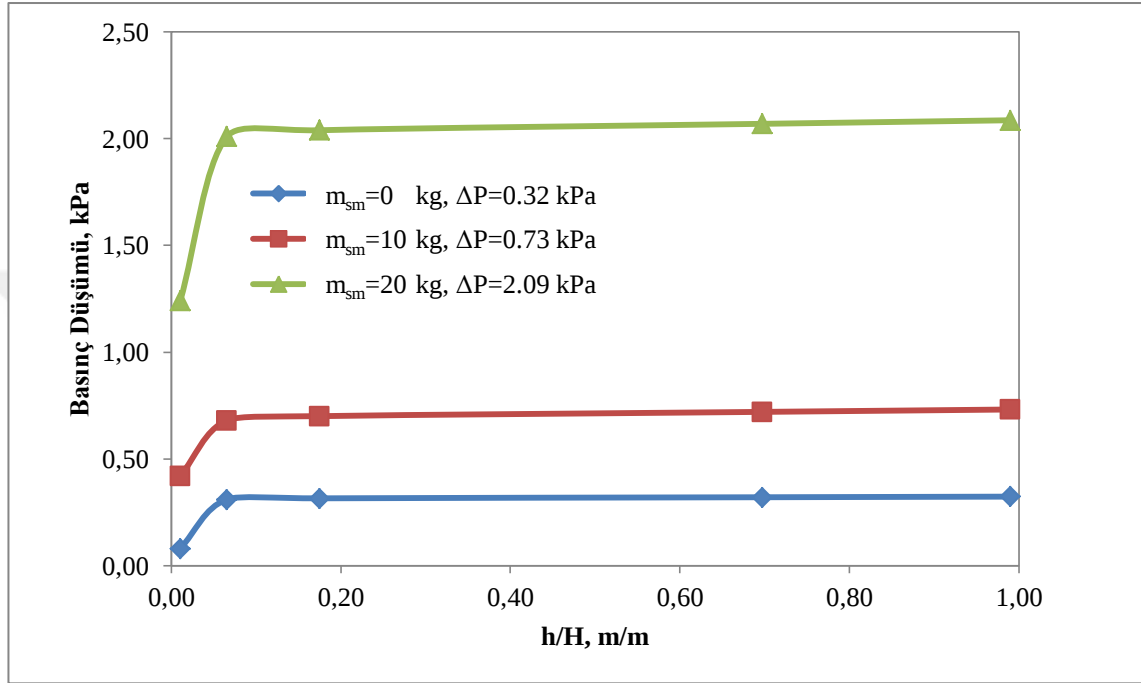
Dolaşımli akışkan yataklı bir kazanda basınç düşümündeki değişiklikler, yatak içerisindeki katı yoğunluğu profilini dolayısıyla da ısı transfer yüzeylerindeki ısı transferi katsayısını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca yatak içerisinde yanma ve dolaşım için gereken havayı basmakta kullanılan hava fanı kapasitesi de doğrudan yatak içi basınç düşümüne bağlıdır. Bu sebeple farklı çalışma parametreleri için basınç düşümü profillerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla yapılan deneylere ilişkin araştırma bulguları Bölüm 4.1 ve 4.2’de detaylı olarak verilmiştir.

Dolaşımli akışkan yataklı bir kazanda yanma kalitesini artırmak ve yanma sonucu oluşan NO_x emisyonlarını azaltmak için ikincil hava beslemesine ihtiyaç duyulmaktadır. İkincil hava debisinin toplam hava debisine oranının yatak basınç değişimine etkilerinin incelendiği deneylere ilişkin araştırma bulguları Bölüm 4.3’te detaylı olarak verilmiştir.

4.1. Soğuk Modelde Yatak Malzemesi Kütlesinin Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi

Yatak içerisine beslenen toplam kütlenin yatak basınç dağılımına etkisi dolaşımli akışın görüldüğü hava debilerinde incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler şeklinde gösterilmiştir. Birincil ve ikincil hava debileri birbirine eşit olarak değerlendirilmiştir. Yatakta kütle olmadığını ifade etmek amacıyla “0 kg” ifadesi kullanılmıştır. Loopseal hava debisi için ise farklı değerler gözlemlenmiş ve dolaşımın daha rahat olduğu 100 m³/h ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler paslanmaz çelik tane boyutunun 0-150 µm ve 150-212 µm aralıklarında olduğu durumlar için ayrı ayrı yürütülmüştür. Ayrıca yatak boyunca elde edilen basınç düşümü profilinin üç aralık için oluşturulan doğru denklemleri ilgili grafiğin altında verilmiştir.

Birincil ve ikincil hava debilerinin $250 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $0\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.1 ile Denklem 4.1, 4.2 ve 4.3'te gösterilmiştir.



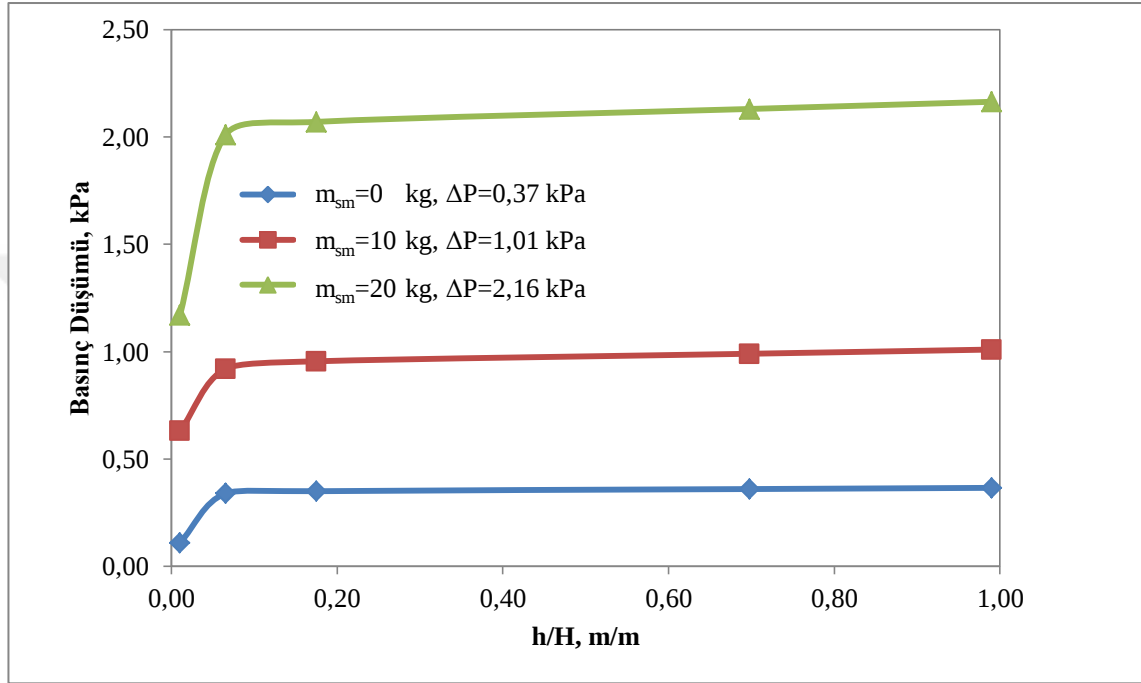
Şekil 4.1. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:0\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,18(h/H)+0,04 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,05(h/H)+0,31 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,01(h/H)+0,31 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\Delta P_{10 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,72(h/H)+0,37 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,18(h/H)+0,67 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,04(h/H)+0,69 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 13,98(h/H)+1,09 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,27(h/H)+1,99 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,06(h/H)+2,03 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.3)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $0\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.2 ile Denklem 4.4, 4.5 ve 4.6’da gösterilmiştir.



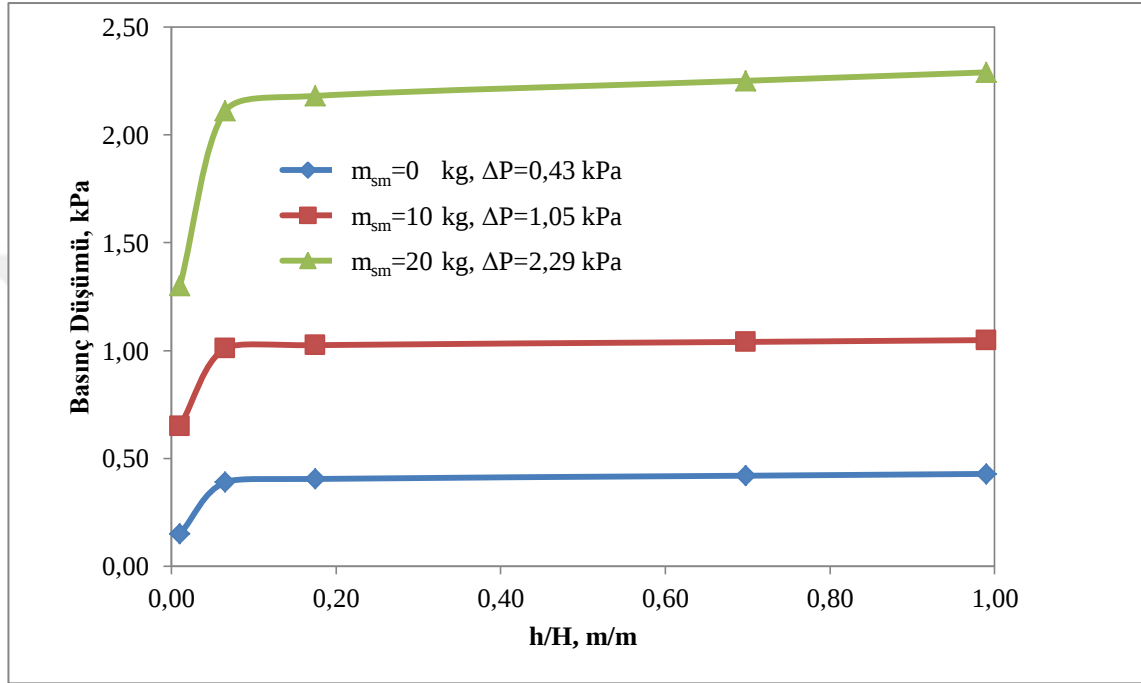
Şekil 4.2. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:0\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,18(h/H)+0,07 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,09(h/H)+0,33 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,02(h/H)+0,35 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.4)$$

$$\Delta P_{10 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 5,26(h/H)+0,57 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,32(h/H)+0,90 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,07(h/H)+0,94 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 15,25(h/H)+1,01 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,55(h/H)+1,97 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,11(h/H)+2,05 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.6)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $350 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $0\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.3 ile Denklem 4.7, 4.8 ve 4.9’da gösterilmiştir.



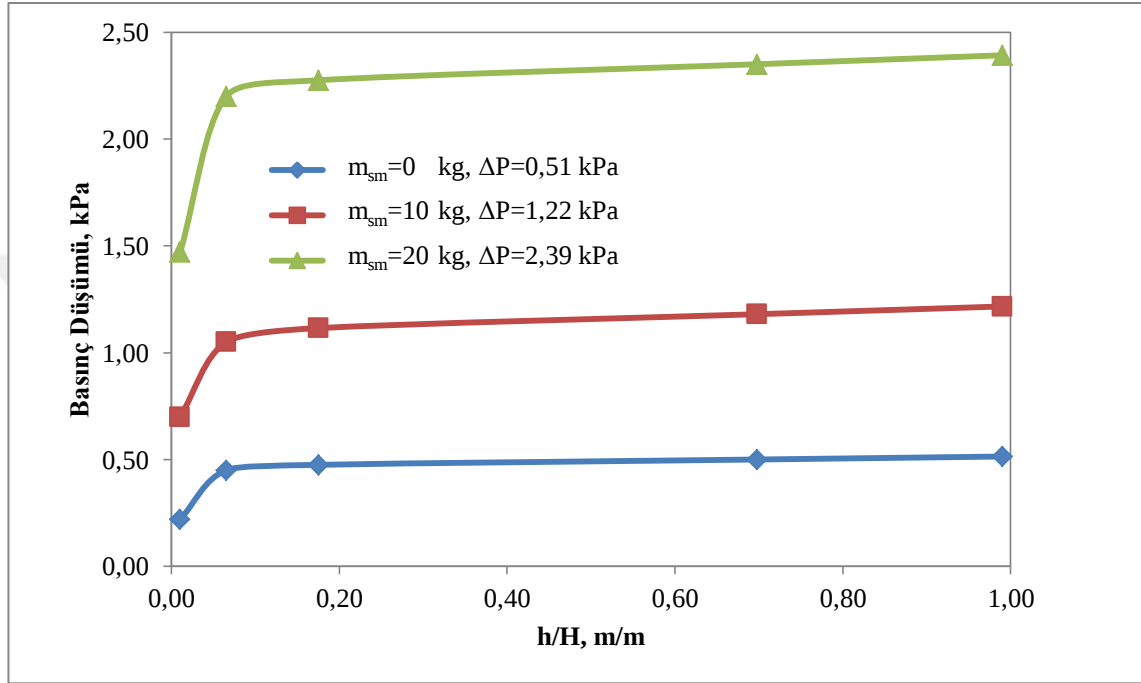
Şekil 4.3. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:0\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,36(h/H)+0,10 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,14(h/H)+0,38 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,03(h/H)+0,40 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\Delta P_{10 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 6,53(h/H)+0,58 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,14(h/H)+1,00 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,03(h/H)+1,02 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.8)$$

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 14,70(h/H)+1,15 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,64(h/H)+2,07 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,13(h/H)+2,16 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.9)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $0\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.4 ile Denklem 4.10, 4.11 ve 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:0\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,18(h/H)+0,18 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,23(h/H)+0,44 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,05(h/H)+0,47 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.10)$$

$$\Delta P_{10 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 6,35(h/H)+0,63 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,59(h/H)+1,01 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,12(h/H)+1,09 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.11)$$

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 13,25(h/H)+1,33 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,68(h/H)+2,16 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,14(h/H)+2,25 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.12)$$

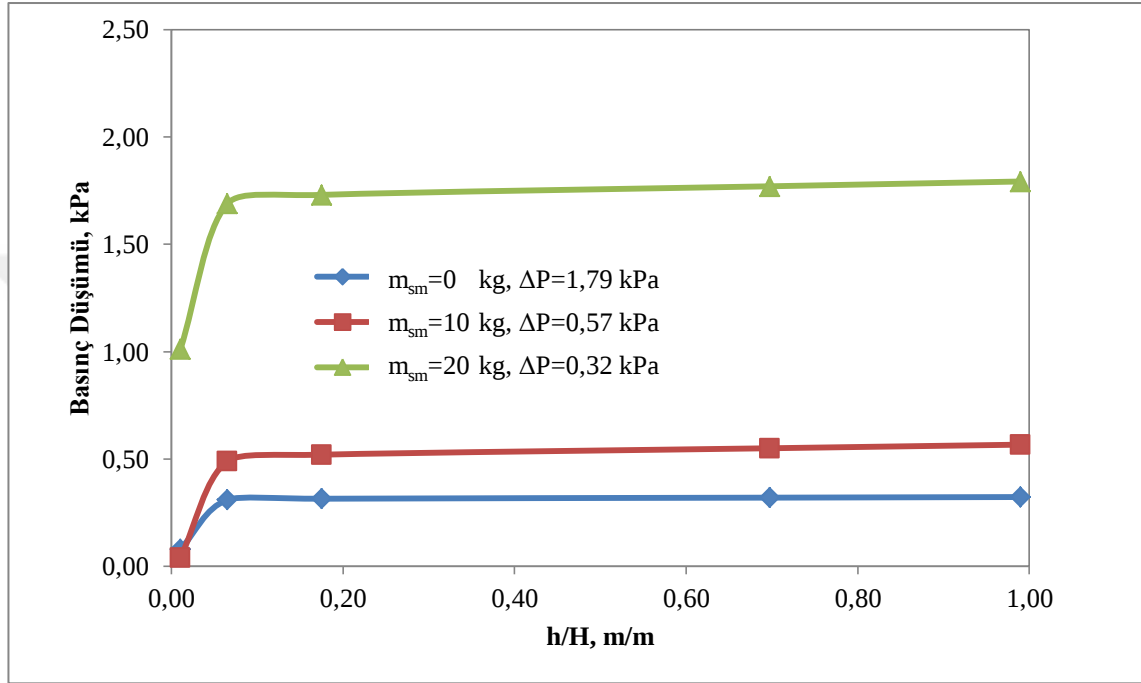
Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te görüldüğü gibi 0-150 μm tane boyutunda yatak toplam basınç düşümü artan yatak malzemesi kütlesiyle artmaktadır. Bu şekiller birlikte değerlendirildiğinde, soğuk modelde 10 kg yatak malzemesi ve 0-150 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma, 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,5 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi ($250 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ten $400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e) değeriyle değişmemektedir. Bu kütle artışında, artan hava debisi, kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini değiştirmeyip yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

Soğuk modelde 20 kg yatak malzemesi ve 0-150 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma ise 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 5,6 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi ($250 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ten $400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e) değeriyle 6,5 kattan 4,7 kata azalmaktadır. Bu kütle artışında, artan hava debisi, kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini azaltmakla birlikte yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

Soğuk modelde 20 kg yatak malzemesi ve 0-150 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma 10 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,3 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi ($250 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ten $400 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e) değeriyle 2,9 kattan 2,0 kata azalmaktadır. Bu kütle artışında, artan hava debisi, kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini azaltmakla birlikte yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

Soğuk modelde 0-150 μm tane boyutunda yatak malzemesi kütlesindeki eşit miktardaki artışlar soğuk model hidrodinamiğine yani yatak içi toplam basınç düşümüne yaklaşık olarak eşit oranlarda etki etmektedir. Yine kütle miktarı arttıkça artan hava debisi ile basınç düşümündeki azalış değerleri de yaklaşık olarak aynı oranlarda olmaktadır.

Birincil ve ikincil hava debilerinin $250 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $150\text{-}212 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.5 ile Denklem 4.13, 4.14 ve 4.15'te gösterilmiştir.



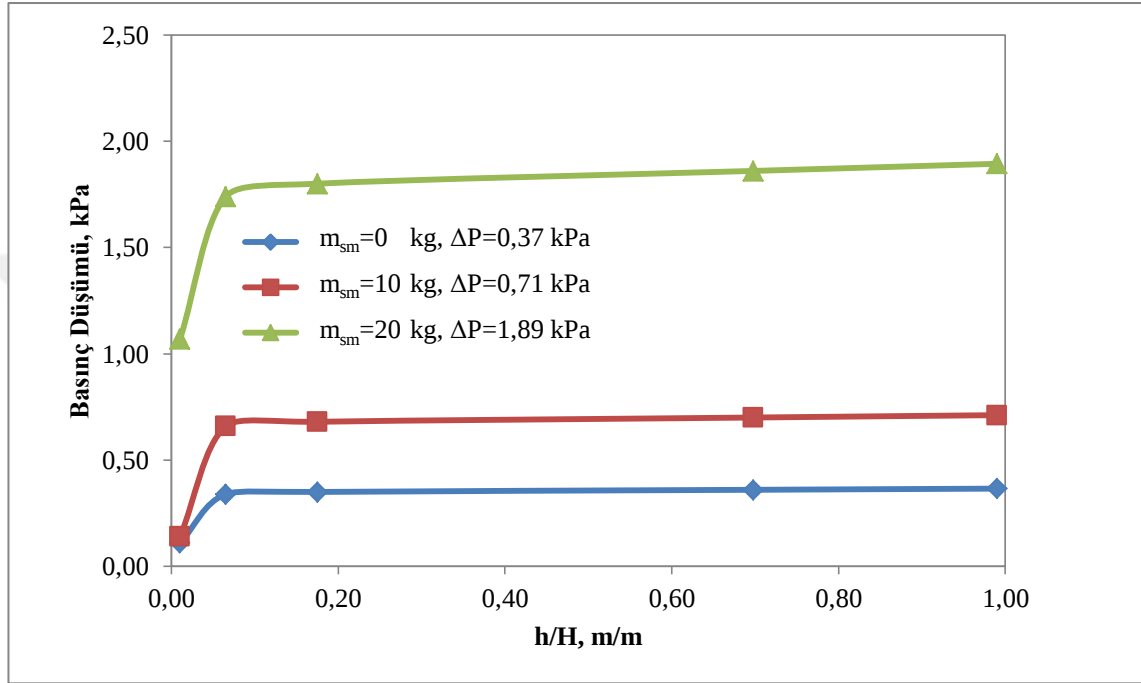
Şekil 4.5. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150\text{-}212 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,18(h/H)+0,04 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,05(h/H)+0,31 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,01(h/H)+0,31 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.13)$$

$$\Delta P_{10 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 8,17(h/H)-0,05 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,27(h/H)+0,47 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,06(h/H)+0,51 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.14)$$

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 12,34(h/H)+0,88 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,36(h/H)+1,67 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,08(h/H)+1,72 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.15)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $150\text{-}212 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.6 ile Denklem 4.16, 4.17 ve 4.18’de gösterilmiştir.



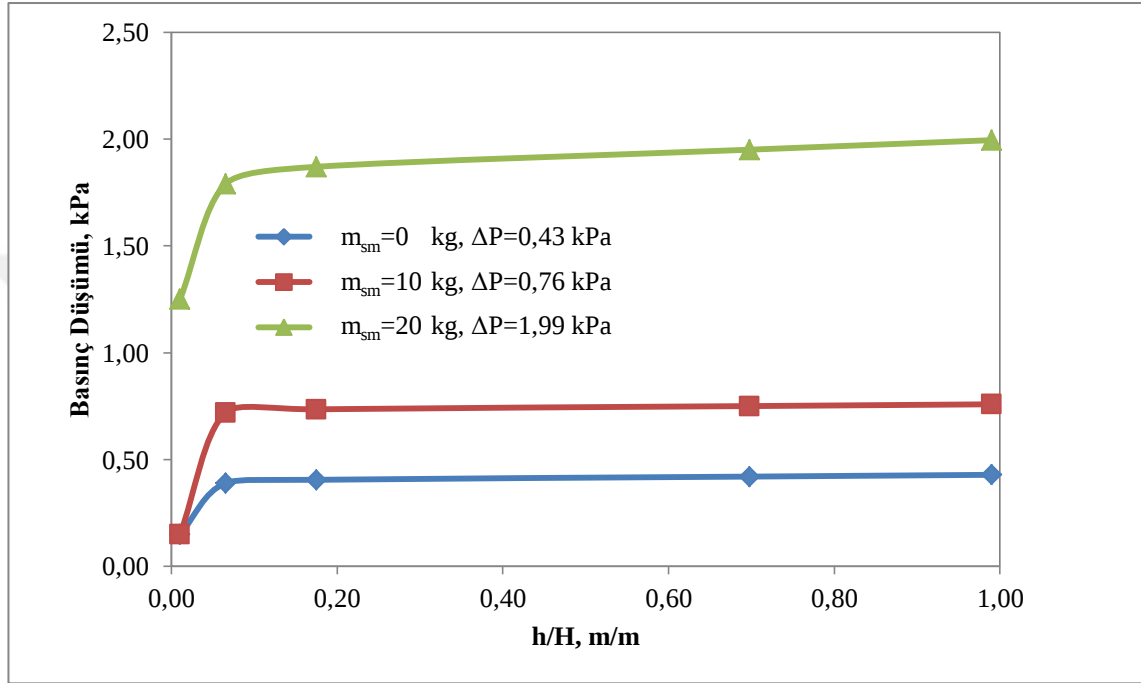
Şekil 4.6. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150\text{-}212 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,18(h/H)+0,07 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,09(h/H)+3,33 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,02(h/H)+0,35 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.16)$$

$$\Delta P_{10 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 9,44(h/H)+0,04 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,18(h/H)+0,65 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,04(h/H)+0,67 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.17)$$

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 12,16(h/H)+0,94 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,55(h/H)+1,70 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,11(h/H)+1,78 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.18)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $350 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $150\text{-}212 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.7 ile Denklem 4.19, 4.20 ve 4.21’de gösterilmiştir.



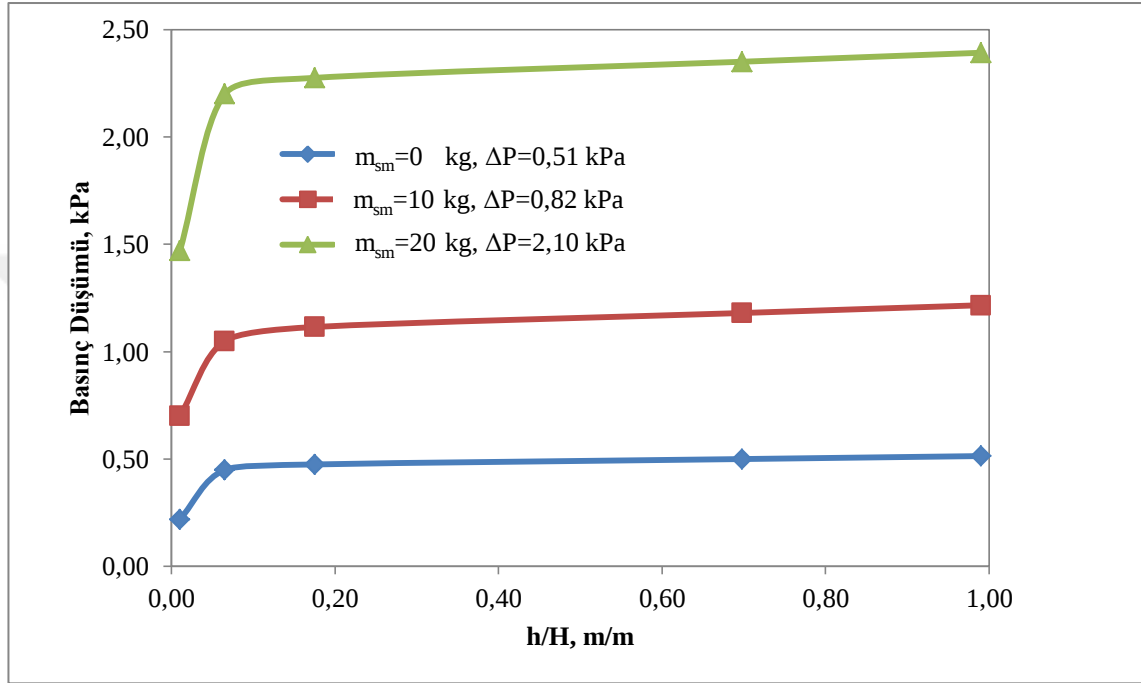
Şekil 4.7. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150\text{-}212 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,36(h/H)+0,10 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,14(h/H)+0,38 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,03(h/H)+0,40 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.19)$$

$$\Delta P_{10 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 10,35(h/H)+0,04 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,14(h/H)+0,71 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,03(h/H)+0,73 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.20)$$

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 9,80(h/H)+1,15 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,73(h/H)+1,74 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,15(h/H)+1,84 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.21)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $150\text{-}212 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.8 ile 4.22, 4.23 ve 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p:150\text{-}212 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,18(h/H)+0,18 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,23(h/H)+0,44 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,05(h/H)+0,47 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.22)$$

$$\Delta P_{10 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 10,53(h/H)+0,07 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,23(h/H)+0,75 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,05(h/H)+0,78 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.23)$$

$$\Delta P_{20 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 13,98(h/H)+0,96 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,78(h/H)+1,83 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,16(h/H)+1,94 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.24)$$

Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’de görüldüğü gibi 150-212 μm tane boyutunda yatak toplam basınç düşümü artan yatak malzemesi kütlesiyle artmaktadır. Bu şekiller birlikte değerlendirildiğinde, soğuk modelde 10 kg yatak malzemesi ve 150-212 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma, 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 1,8 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi ($250 \text{ m}^3/\text{h}$ ’ten $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ’e) değeriyle değişmemektedir. Bu kütle artışında, artan hava debisi, kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini değiştirmeyip yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

Soğuk modelde 20 kg yatak malzemesi ve 150-212 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma ise 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 4,9 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi ($250 \text{ m}^3/\text{h}$ ’ten $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ’e) değeriyle 5,6 kattan 4,1 kata azalmaktadır. Bu kütle artışında, artan hava debisi, kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini azaltmakla birlikte yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

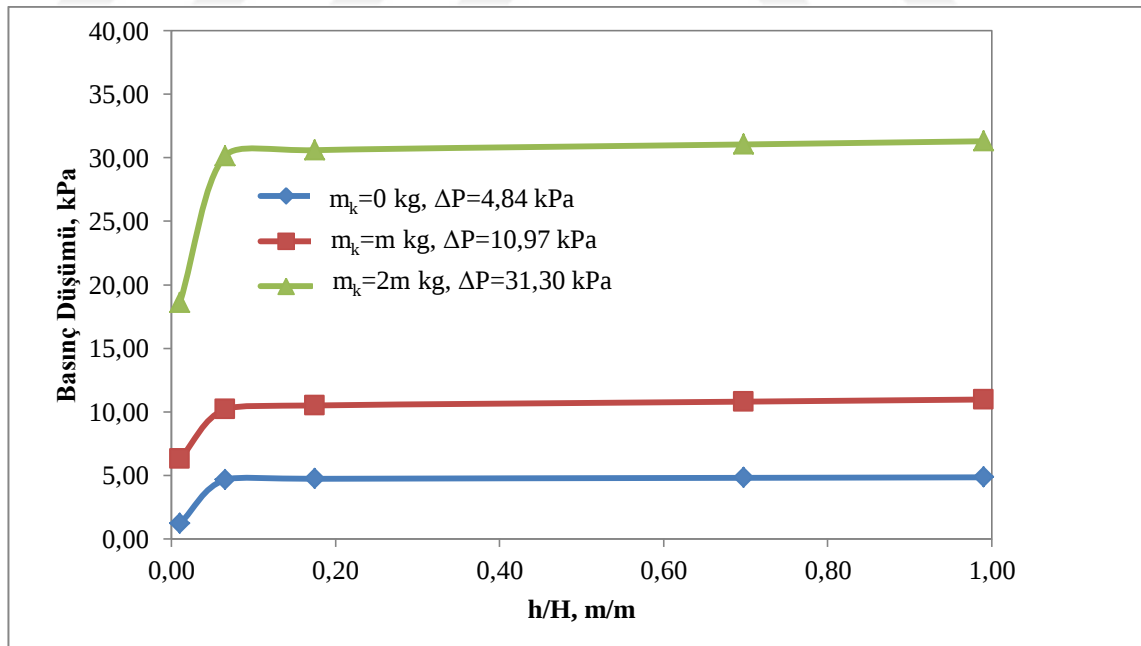
Soğuk modelde 20 kg yatak malzemesi ve 150-212 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma 10 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,7 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi ($250 \text{ m}^3/\text{h}$ ’ten $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ’e) değeriyle 3,1 kattan 2,7 kata azalmaktadır. Bu kütle artışında, artan hava debisi, kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini azaltmakla birlikte yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

Soğuk modelde 150-212 μm tane boyutunda yatak malzemesi kütlesindeki eşit miktardaki artışların soğuk model hidrodinamiğine yani yatak içi toplam basınç düşümüne etkisi artmaktadır. Ayrıca kütle miktarı arttıkça artan hava debisi ile basınç düşümündeki azalış oranları da azalmaktadır.

4.2. Kazanda Yatak Malzemesi Kütlesinin Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi

Soğuk modelde yatak malzemesi kütlesinin yatak basınç düşümüne etkisi Bölüm 4.1’de incelenmiştir. Bu incelemeden elde edilen sonuçlar kullanılarak Bölüm 3.2.7’de anlatılan prosedür ile kazan için benzetim yapılmıştır. DAY kazanda yatak içerisine beslenen toplam kütlenin yatak basınç düşümüne etkisi, aşağıda grafikler şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca kazanda yatak boyunca elde edilen basınç grafiği üç bölge için eğrileştirilmiş ve ilgili grafiğin altında verilmiştir.

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $217000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda yaklaşık $0\text{-}530 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.9 ile Denklem 4.25, 4.26 ve 4.27’de gösterilmiştir.



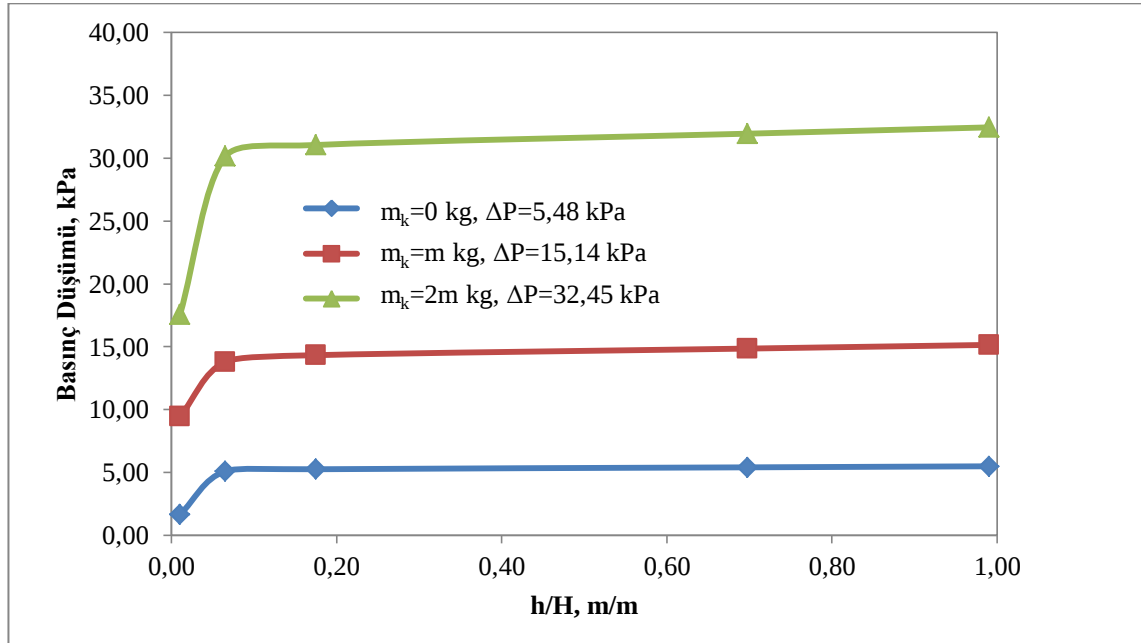
Şekil 4.9. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2\approx 217000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}\approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p\approx 0\text{-}530 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 62,63(h/H)+0,54 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,68(h/H)+4,61 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,14(h/H)+4,70 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.25)$$

$$\Delta P_{m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 70,79(h/H)+5,56 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,74(h/H)+10,02 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,57(h/H)+10,40 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.26)$$

$$\Delta P_{2m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 209,66(h/H)+16,40 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 4,10(h/H)+29,88 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,86(h/H)+30,45 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.27)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $261000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda yaklaşık $0\text{-}530 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 410 ile Denklem 4.28, 4.29 ve 4.30'da gösterilmiştir.



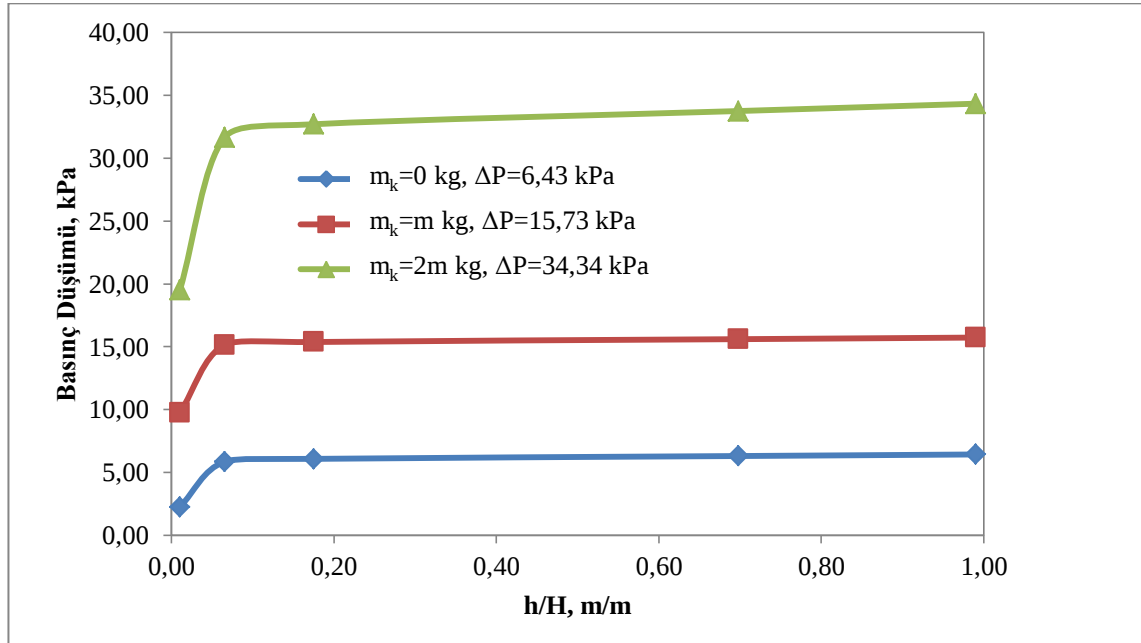
Şekil 4.10. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2 \approx 261000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0\text{-}530 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 62,63(h/H)+0,99 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 1,37(h/H)+5,01 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,29(h/H)+5,2 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.28)$$

$$\Delta P_{m \text{ kg}} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 78,96(h/H)+8,62 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 4,79(h/H)+13,49 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,00(h/H)+14,15 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.29)$$

$$\Delta P_{2m \text{ kg}} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 228,72(h/H)+15,15 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 8,21(h/H)+29,61 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,72(h/H)+30,75 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.30)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık 304000 m³/h ve loopseal hava debisinin yaklaşık 87000 m³/h olduğu durumda yaklaşık 0-530 µm aralığındaki tane boyutu ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.11 ile Denklem 4.31, 4.32 ve 4.33'te gösterilmiştir.



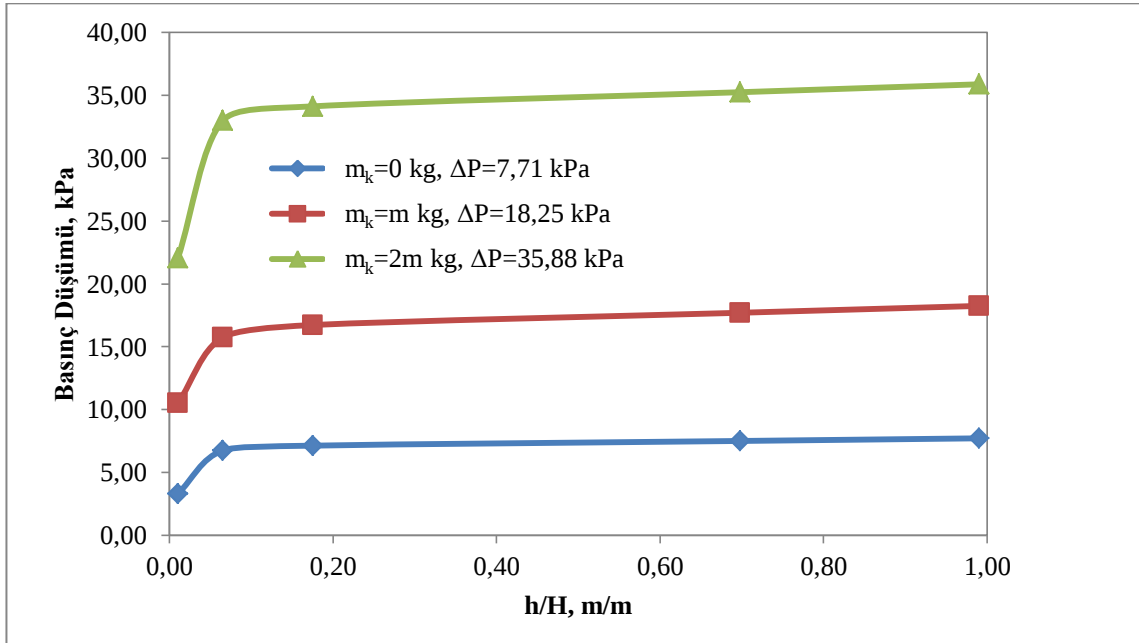
Şekil 4.11. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 304000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 65,35(h/H)+1,56 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,05(h/H)+5,72 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,43(h/H)+6,00 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.31)$$

$$\Delta P_{m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 98,02(h/H)+8,72 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,05(h/H)+15,02 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,43(h/H)+15,30 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.32)$$

$$\Delta P_{2m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 220,55(h/H)+17,19 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 9,58(h/H)+31,02 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 2,01(h/H)+32,35 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.33)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda yaklaşık $0\text{-}530 \text{ }\mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.12 ile Denklem 4.34, 4.35 ve 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 100 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0\text{-}530 \text{ }\mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 62,63(h/H)+2,64 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 3,42(h/H)+6,53 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,72(h/H)+7,00 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.34)$$

$$\Delta P_{m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 95,30(h/H)+9,5 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 8,89(h/H)+15,17 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,87(h/H)+16,40 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.35)$$

$$\Delta P_{2m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 198,77(h/H)+19,96 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 10,26(h/H)+32,33 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 2,15(h/H)+33,75 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.36)$$

Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12’te görüldüğü gibi 0-530 µm tane boyutunda yatak toplam basınç düşümü artan yatak malzemesi kütlesiyle artmaktadır. Bu şekiller birlikte değerlendirildiğinde, DAY kazanda m kg yatak malzemesi ve 0-530 µm aralığında tane boyutu ile çalıştırma, 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,5 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (217000 m³/h’ten 348000 m³/h’e) değeriyle değişmemektedir. Bu kütle artışında, artan hava debisi, yoğun yanma kısmı olan konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini değiştirmeyip yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

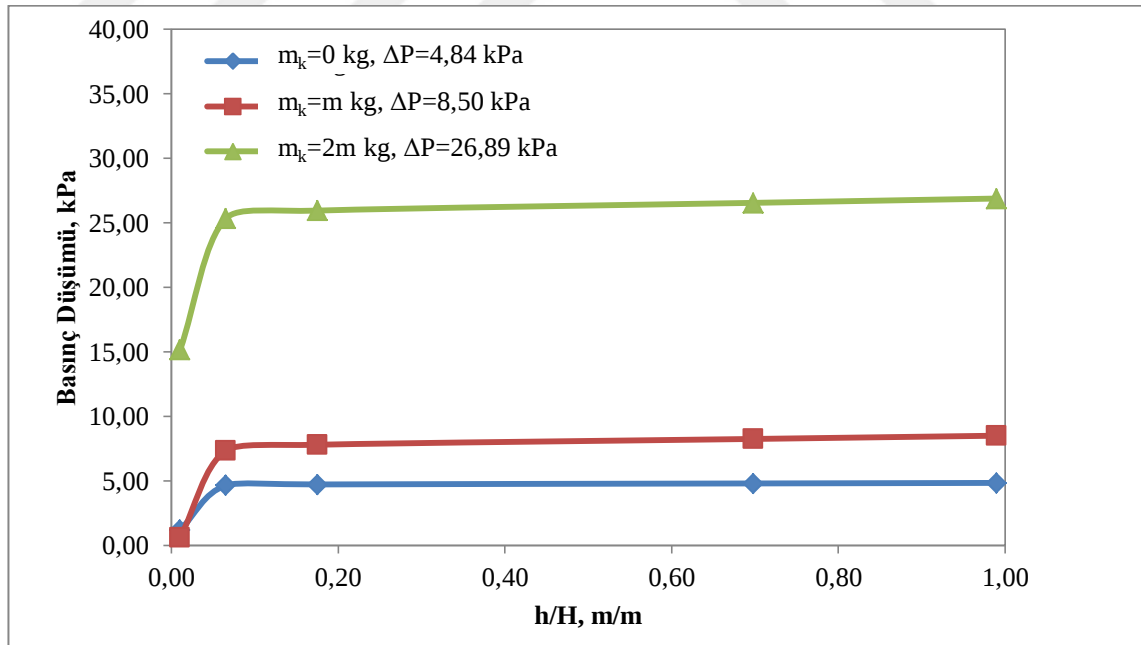
DAY kazanda 2m kg yatak malzemesi ve 0-530 µm aralığında tane boyutu ile çalıştırma ise 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 5,6 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (217000 m³/h’ten 348000 m³/h’e) değeriyle 6,5 kattan 4,7 kata azalmaktadır. Bu kütle artışında, artan hava debisi, yoğun yanma kısmı olan konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini azaltmakla birlikte yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

Soğuk modelde 2m kg yatak malzemesi ve 0-530 µm aralığında tane boyutu ile çalıştırma m kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,3 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (217000 m³/h’ten 348000

$\text{m}^3/\text{h}'\text{e}$) değeriyle 2,9 kattan 2,0 kata azalmaktadır. Bu kütle artışında, artan hava debisi, yoğun yanma kısmı olan konik bölgedeki yatak malzemesi kütlesini azaltmakla birlikte yatak içi dolaşım hızının ve oranının artmasına sebep olmaktadır.

DAY kazanda 0-530 μm tane boyutunda yatak malzemesi kütlesindeki eşit miktardaki artışlar kazan hidrodinamiğine yani yatak içi toplam basınç düşümüne yaklaşık olarak eşit oranlarda etki etmektedir. Yine kütle miktarı arttıkça artan hava debisi ile basınç düşümündeki azalış değerleri de yaklaşık olarak aynı oranlarda olmaktadır.

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık 217000 m^3/h ve loopseal hava debisinin 87000 m^3/h olduğu durumda yaklaşık 530-750 μm aralığındaki tane boyutu ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.13 ile Denklem 4.37, 4.38 ve 4.39'da gösterilmiştir.



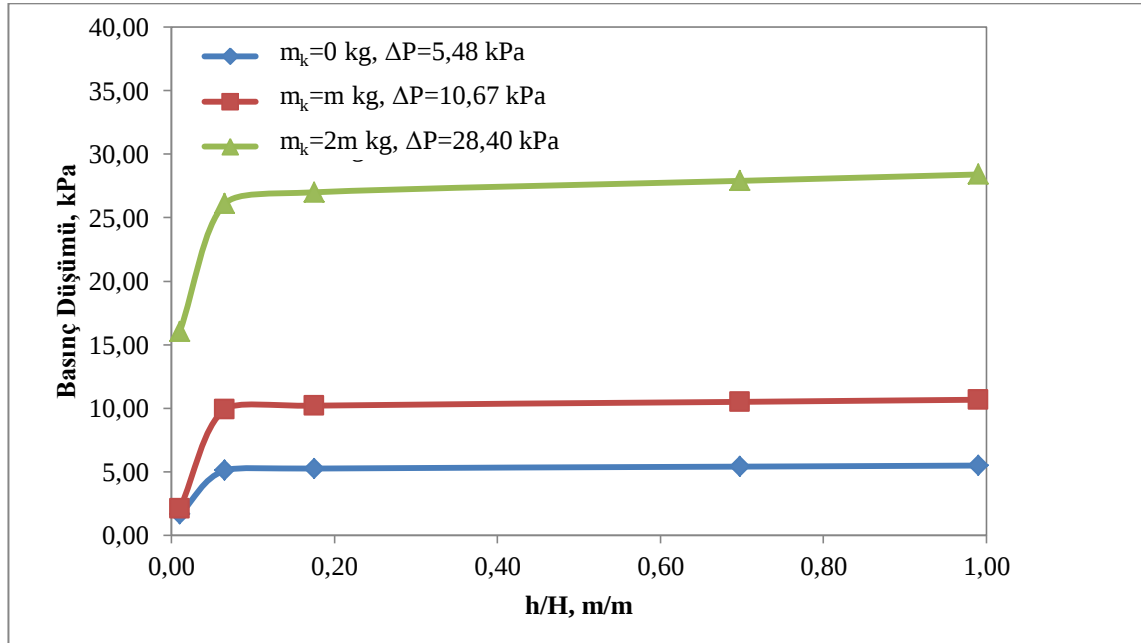
Şekil 4.13. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2\approx 217000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}\approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p\approx 530-750 \mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 62,63(h/H)+0,54 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,68(h/H)+4,61 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,14(h/H)+4,70 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.37)$$

$$\Delta P_{m \text{ kg}} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 122,53(h/H)-0,69 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 4,10(h/H)+7,08 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,86(h/H)+7,65 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.38)$$

$$\Delta P_{2m \text{ kg}} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 185,15(h/H)+13,21 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 5,47(h/H)+24,99 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,15(h/H)+25,75 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.39)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $261000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda yaklaşık $530\text{-}750 \mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.14 ile Denklem 4.40, 4.41 ve 4.42’de gösterilmiştir.



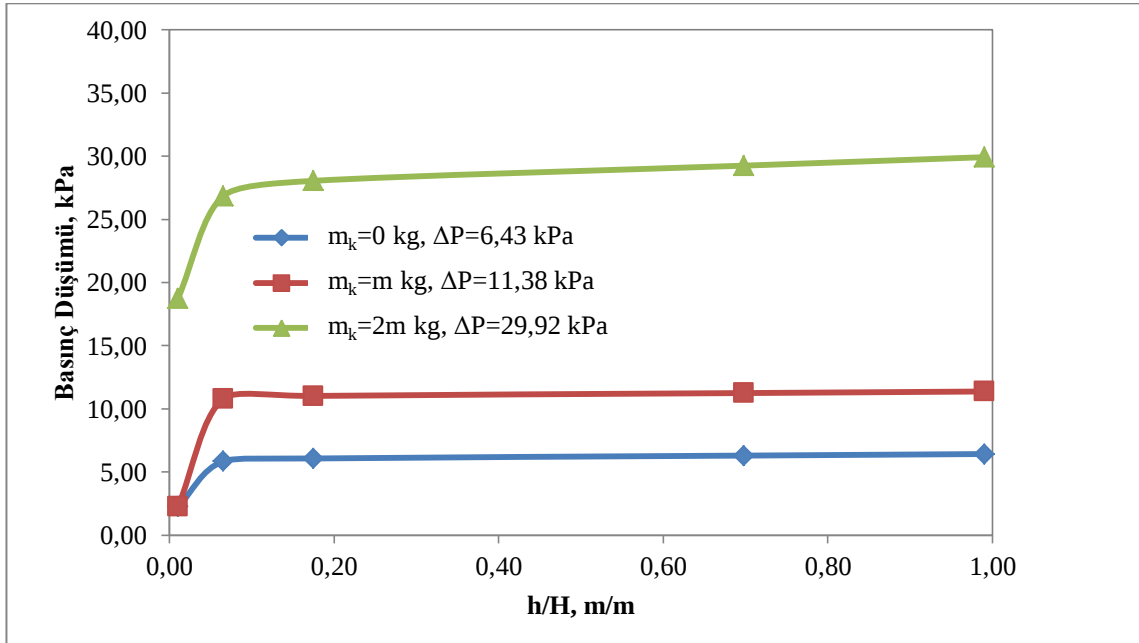
Şekil 4.14. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 261000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530\text{-}750 \mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 62,63(h/H)+0,99 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 1,37(h/H)+5,01 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,29(h/H)+5,20 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.40)$$

$$\Delta P_{m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 141,59(h/H)+0,61 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,74(h/H)+9,72 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,57(h/H)+10,10 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.41)$$

$$\Delta P_{2m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 182,43(h/H)+14,14 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 8,21(h/H)+25,56 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,72(h/H)+26,70 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.42)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $304000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda yaklaşık $530\text{-}750 \mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar durum Şekil 4.15 ile Denklem 4.43, 4.44 ve 4.45'te gösterilmiştir.



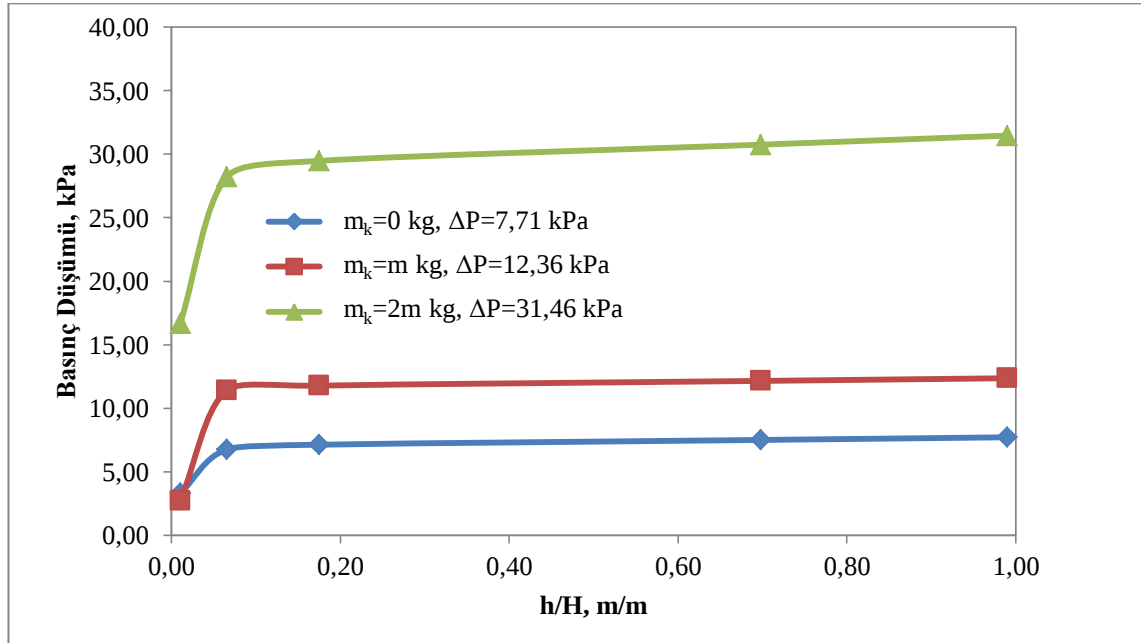
Şekil 4.15. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 304000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530\text{-}750 \mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 65,35(h/H)+1,56 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,05(h/H)+5,72 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,43(h/H)+6,0 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.43)$$

$$\Delta P_{m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 155,20(h/H)+0,62 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,05(h/H)+10,67 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,43(h/H)+10,95 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.44)$$

$$\Delta P_{2m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 147,03(h/H)+17,21 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 10,94(h/H)+26,13 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 2,30(h/H)+27,65 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.45)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda yaklaşık $530\text{-}750 \mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.16 ile Denklem 4.46, 4.47 ve 4.48'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530\text{-}750 \mu\text{m}$

$$\Delta P_{0 \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 62,63(h/H)+2,64 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 3,42(h/H)+6,53 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,72(h/H)+7,00 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.46)$$

$$\Delta P_{m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 157,93(h/H)+1,04 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 3,42(h/H)+11,18 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,72(h/H)+11,65 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.47)$$

$$\Delta P_{2m \text{ kg}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 209,66(h/H)+14,45 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 11,63(h/H)+27,44 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 2,44(h/H)+29,05 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.48)$$

Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16’da görüldüğü gibi 530-750 µm tane boyutunda yatak toplam basınç düşümü artan yatak malzemesi kütlesiyle artmaktadır. Bu şekiller birlikte değerlendirildiğinde, DAY kazanda m kg yatak malzemesi ve 530-750 µm aralığında tane boyutu ile çalıştırma, 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 1,8 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (217000 m³/h’ten 348000 m³/h’e) değeriyle değişmemektedir. Bu kütle artışında, artan hava debisi, yoğun yanma kısmı olan konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini değiştirmeyip yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

DAY kazanda 20 kg yatak malzemesi ve 530-750 µm aralığında tane boyutu ile çalıştırma ise 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 4,9 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (217000 m³/h’ten 348000 m³/h’e) değeriyle 5,6 kattan 4,1 kata azalmaktadır. Bu kütle artışında, artan hava debisi, yoğun yanma kısmı olan konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini azaltmakla birlikte yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

DAY kazanda 20 kg yatak malzemesi ve 530-750 µm aralığında tane boyutu ile çalıştırma 10 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,7 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (217000 m³/h’ten 348000

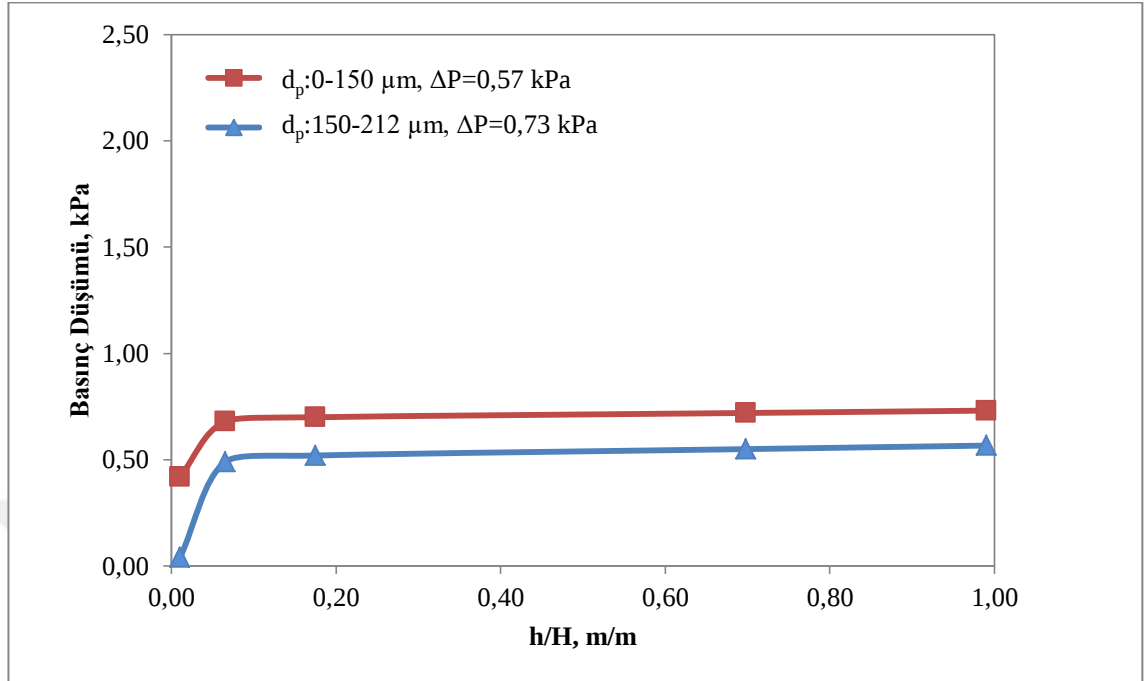
$\text{m}^3/\text{h}'\text{e}$) değeriyle 3,1 kattan 2,7 kata azalmaktadır. Bu kütle artışında, artan hava debisi, yoğun yanma kısmı olan konik bölgesindeki yatak malzemesi kütlesini azaltmakla birlikte yatak içi dolaşım hızının artmasına sebep olmaktadır.

DAY kazanda 530-750 μm tane boyutunda yatak malzemesi kütlesindeki eşit miktardaki artışların DAY kazan hidrodinamiğine yani yatak içi toplam basınç düşümüne etkisi artmaktadır. Ayrıca kütle miktarı arttıkça artan hava debisi ile basınç düşümündeki azalış oranları da azalmaktadır.

4.3. Soğuk Modelde Yatak Malzemesi Tane Boyutunun Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi

Yatak içerisine beslenen paslanmaz çelik tanelerinin 0-150 μm ve 150-212 μm olmak üzere iki farklı boyut aralığında yatak basınç dağılımına etkisi dolaşımli akışın görüldüğü hava debilerinde incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler şeklinde gösterilmiştir. Birincil ve ikincil hava debileri birbirine eşit olarak değerlendirilmiştir. Loopseal hava debisi için ise farklı değerler gözlemlenmiş ve dolaşımın daha rahat olduğu 100 m^3/h ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler toplam yatak malzemesi kütlesinin 10 kg ve 20 kg olduğu durumlar için ayrı ayrı yürütülmüştür. Ayrıca yatak boyunca elde edilen basınç grafiği üç bölge için eğrileştirilmiş ve ilgili grafiğin altında verilmiştir.

Birincil ve ikincil hava debilerinin 250 m^3/h ve loopseal hava debisinin 100 m^3/h olduğu durumda 10 kg yatak malzemesi ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.17 ile Denklem 4.49 ve 4.50'de gösterilmiştir.

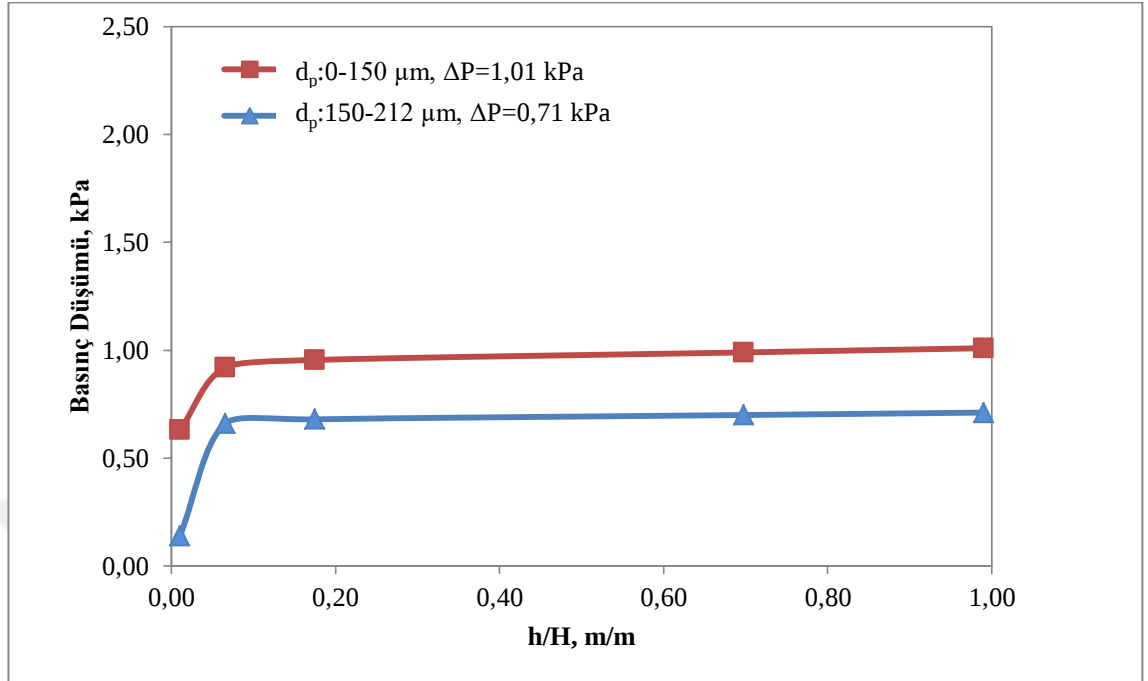


Şekil 4.17. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=10 \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p:0-150 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 4,72(h/H)+0,37 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,18(h/H)+0,67 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,04(h/H)+0,69 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.49)$$

$$\Delta P_{d_p:150-212 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 8,17(h/H)-0,05 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,27(h/H)+0,47 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,06(h/H)+0,51 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.50)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 10 kg yatak malzemesi ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.18 ile Denklem 4.51 ve 4.52’de gösterilmiştir.

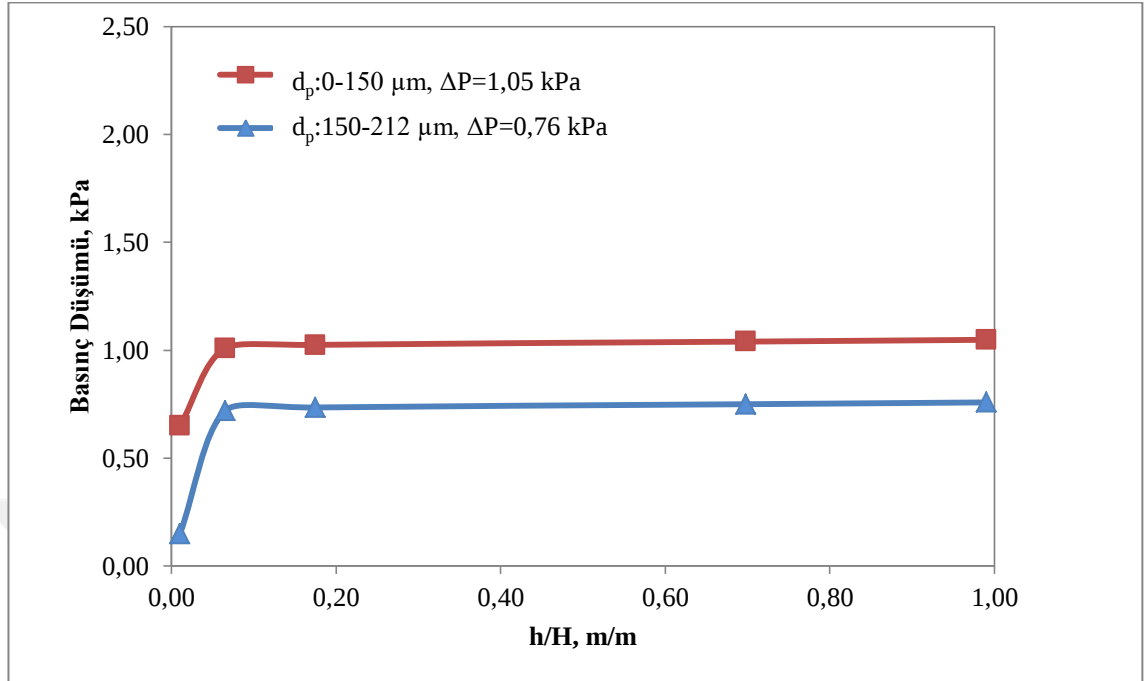


Şekil 4.18. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=10 \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p:0-150 \mu m} (\text{kPa}) = \begin{cases} 5,26(h/H)+0,57 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,32(h/H)+0,90 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,07(h/H)+0,94 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.51)$$

$$\Delta P_{d_p:150-212 \mu m} (\text{kPa}) = \begin{cases} 9,44(h/H)+0,04 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,18(h/H)+0,65 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,04(h/H)+0,67 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.52)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $350 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 10 kg yatak malzemesi ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.19 ile Denklem 4.53 ve 4.54'te gösterilmiştir.

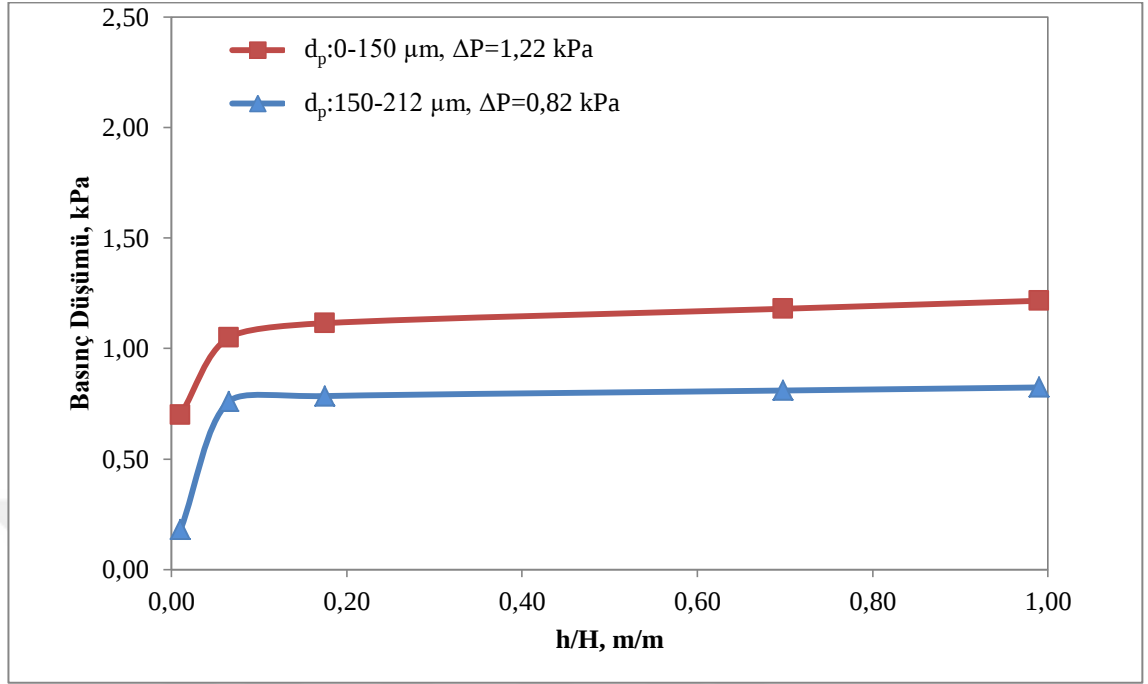


Şekil 4.19. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=10 \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p:0-150 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 6,53(h/H)+0,58 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,14(h/H)+1,00 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,03(h/H)+1,02 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.53)$$

$$\Delta P_{d_p:150-212 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 10,35(h/H)+0,04 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,14(h/H)+0,71 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,03(h/H)+0,73 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.54)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 10 kg yatak malzemesi ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.20 ile Denklem 4.55 ve 4.56’da gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=10 \text{ kg}$

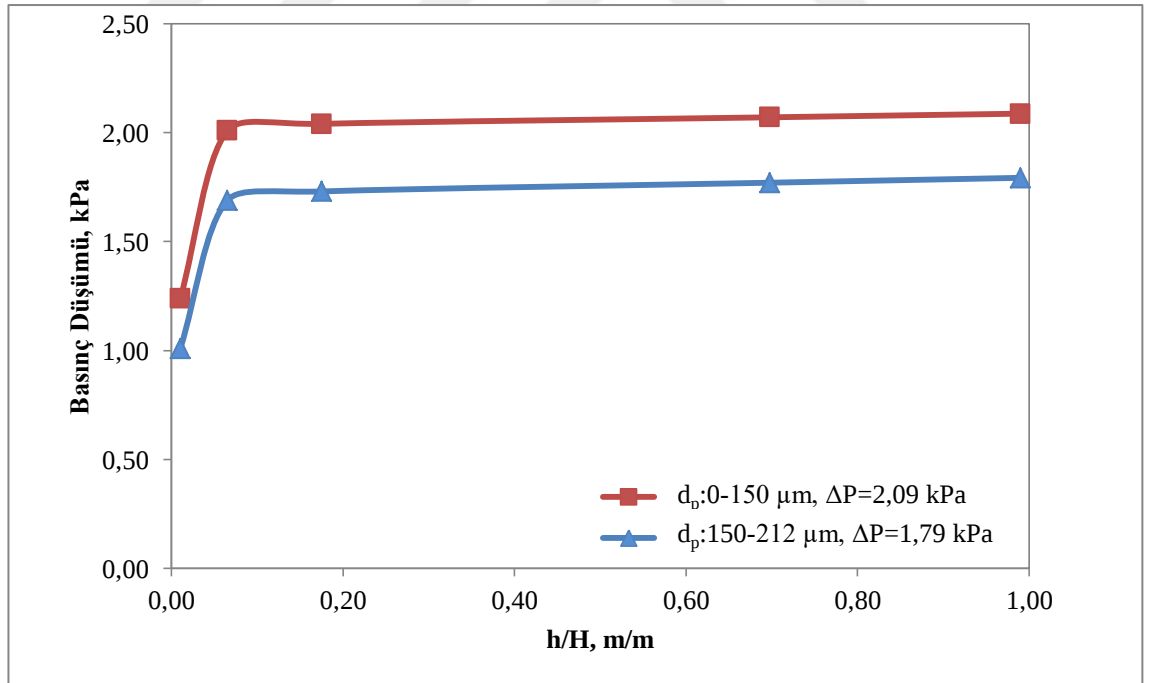
$$\Delta P_{d_p:0-150 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 6,35(h/H)+0,63 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,59(h/H)+1,01 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,12(h/H)+1,09 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.55)$$

$$\Delta P_{d_p:150-212 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 10,53(h/H)+0,07 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,23(h/H)+0,75 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,05(h/H)+0,78 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.56)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $250 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 20 kg yatak malzemesi ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.21 ile Denklem 4.57 ve 4.58’de gösterilmiştir.

Şekil 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20’de görüldüğü gibi yatak malzemesi kütlesinin 10 kg olduğu durumda yatak toplam basınç düşümü tane boyut aralığının artmasıyla azalmaktadır.

Şekil 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20 birlikte değerlendirildiğinde, soğuk modelde toplam 10 kg yatak malzemesi kütlesi ve 0-150 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalışma 150-212 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırmaya göre ortalama 1,4 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle değişmemektedir. Artan tane boyutunda daha az basınç düşümünün sebebi aynı hava debisinde yatak girişinde ölçülen mutlak basınç değerleri aynı fakat yatak boyunca büyük tane boyutunun sebep olduğu mutlak basınç değerleri daha büyük olduğundan referans değere göre daha düşük bir basınç düşümü değeri hesaplanmasındandır. Ayrıca kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi arasındaki boşluk oranı 0-150 μm tane boyutunda 150-212 μm tane boyut aralığına göre daha az olduğu için birincil ve ikincil hava bu bölgede daha fazla dirence maruz kaldığından daha fazla basınç düşümü olmaktadır.

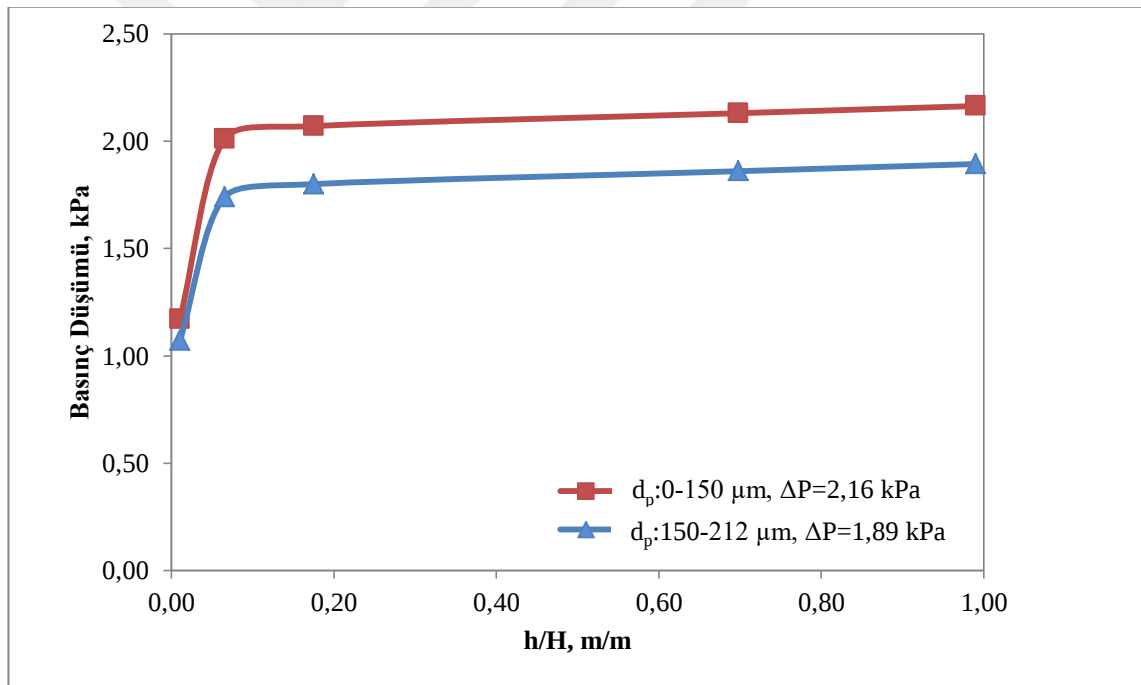


Şekil 4.21. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=250 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{15}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p:0-150 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 13,98(h/H)+1,09 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,27(h/H)+1,99 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,06(h/H)+2,03 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.57)$$

$$\Delta P_{d_p:150-212 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 12,34(h/H)+0,88 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,36(h/H)+1,67 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,08(h/H)+1,72 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.58)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 20 kg yatak malzemesi ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.22 ile Denklem 4.59 ve 4.60’da gösterilmiştir.

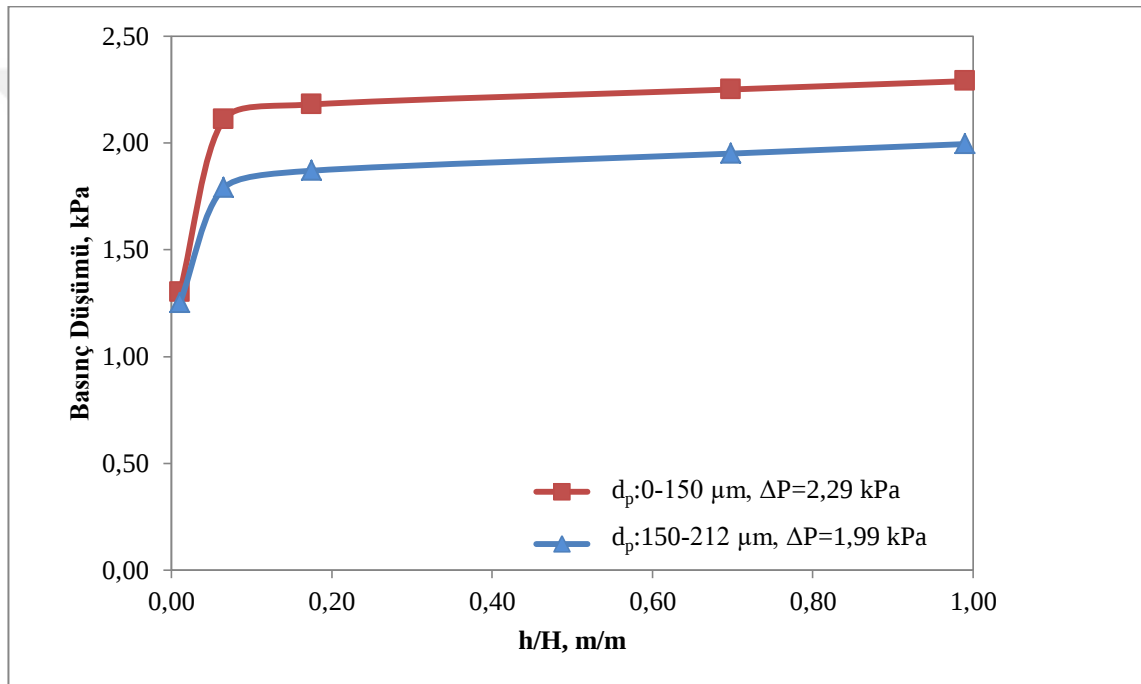


Şekil 4.22. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p:0-150 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 15,25(h/H)+1,01 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,55(h/H)+1,97 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,11(h/H)+2,05 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.59)$$

$$\Delta P_{d_p:150-212 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 12,16(h/H)+0,94 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,55(h/H)+1,70 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,11(h/H)+1,78 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.60)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $350 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 20 kg yatak malzemesi ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.23 ile Denklem 4.61 ve 4.62’de gösterilmiştir.

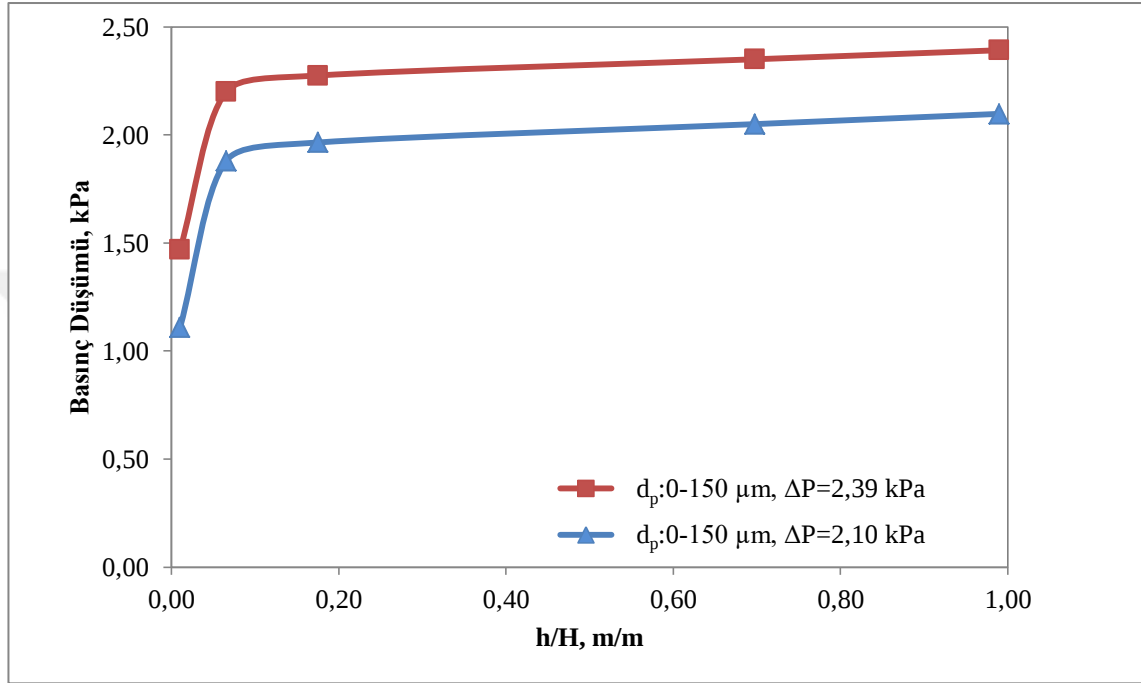


Şekil 4.23. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p:0-150 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 14,70(h/H)+1,15 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,64(h/H)+2,07 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,13(h/H)+2,16 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.61)$$

$$\Delta P_{d_p:150-212 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 9,80(h/H)+1,15 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,73(h/H)+1,74 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,15(h/H)+1,84 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.62)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 20 kg yatak malzemesi ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.24 ile Denklem 4.63 ve 4.64'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2=400 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls}=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_{sm}=20 \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p:0-150 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 13,25(h/H)+1,33 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,68(h/H)+2,16 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,14(h/H)+2,25 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.63)$$

$$\Delta P_{d_p:150-212 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 13,98(h/H)+0,96 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 0,78(h/H)+1,83 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,16(h/H)+1,94 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.64)$$

Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24'te görüldüğü gibi yatak malzemesi kütlesinin 20 kg olduğu durumda yatak toplam basınç düşümü tane boyutunun artmasıyla azalmaktadır.

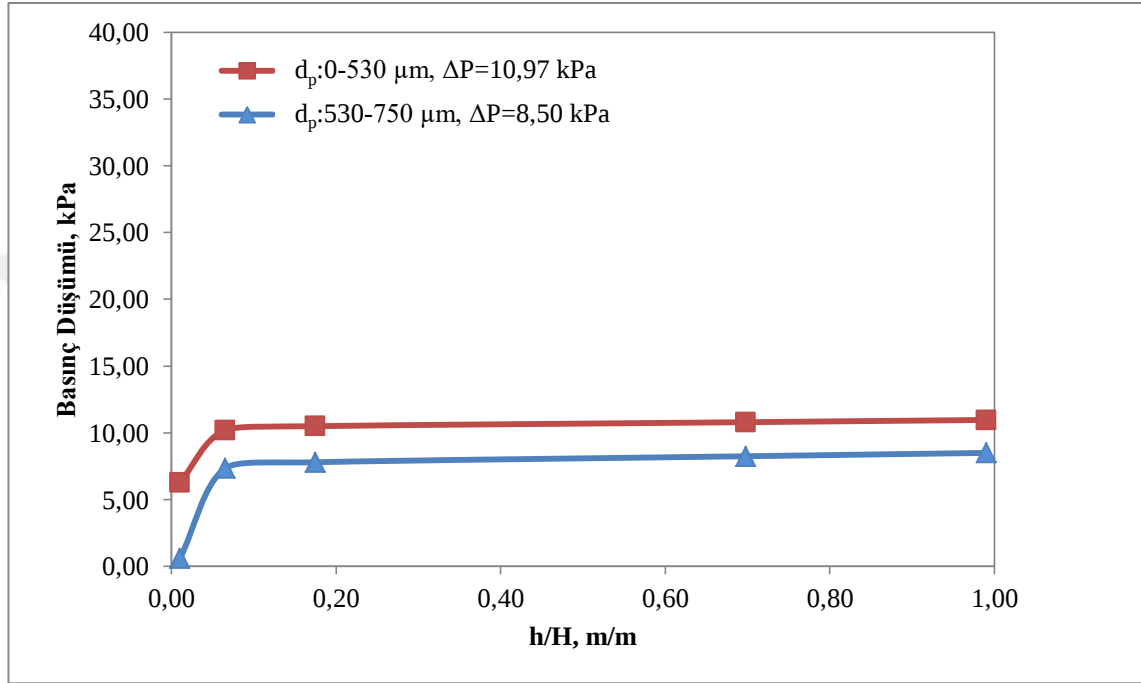
Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24 birlikte değerlendirildiğinde, soğuk modelde toplam 20 kg yatak malzemesi kütlesi ve 0-150 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırma 150-212 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırmaya göre ortalama 1,1 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle değişmemektedir. Artan tane boyutu aralığında daha az basınç düşümünün sebebi aynı hava debisinde yatak girişinde ölçülen mutlak basınç değerleri aynı fakat yatak boyunca büyük tane boyutunun sebep olduğu mutlak basınç değerleri daha büyük olduğundan referans değere göre daha düşük bir basınç düşümü değeri hesaplanmasındandır. Ayrıca kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi arasındaki boşluk oranı 0-150 μm tane boyutunda 150-212 μm tane boyut aralığına göre daha az olduğu için birincil ve ikincil hava bu bölgede daha fazla dirence maruz kaldığından daha fazla basınç düşümü olmaktadır.

Soğuk modelde 0-150 μm tane boyutunda 50-212 μm tane boyutuna göre yatak malzemesi kütlesinin 10 kg'dan 20 kg'a artması ile ortalama basınç düşümü artış değeri daha fazla olmaktadır. Bu ise yatak malzemesi dolaşım hızı ve oranının daha düşük miktarlarda daha fazla olmasındandır.

4.4. Kazanda Yatak Malzemesi Tane Boyutunun Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi

Soğuk modelde yatak içerisine beslenen paslanmaz çelik tanelerinin 0-150 μm ve 150-212 μm olmak üzere iki farklı boyut aralığında yatak basınç düşümüne etkisi dolaşımli akışın görüldüğü hava debilerinde Bölüm 4.3'te incelenmiştir. Bu incelemeden elde edilen sonuçlar kullanılarak Bölüm 3.2.7'de anlatılan prosedür ile kazan için benzetim yapılmıştır. Kazanda yatak malzemesi tane boyutunun yatak basınç düşümüne etkisi, aşağıda grafikler şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca yatak boyunca elde edilen basınç grafiği üç bölge için eğrileştirilmiş ve ilgili grafiğin altında verilmiştir.

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık 217000 m³/h ve loopseal hava debisinin yaklaşık 87000 m³/h olduğu durumda m kg yatak malzemesi ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.25 ile Denklem 4.65 ve 4.66'da gösterilmiştir.

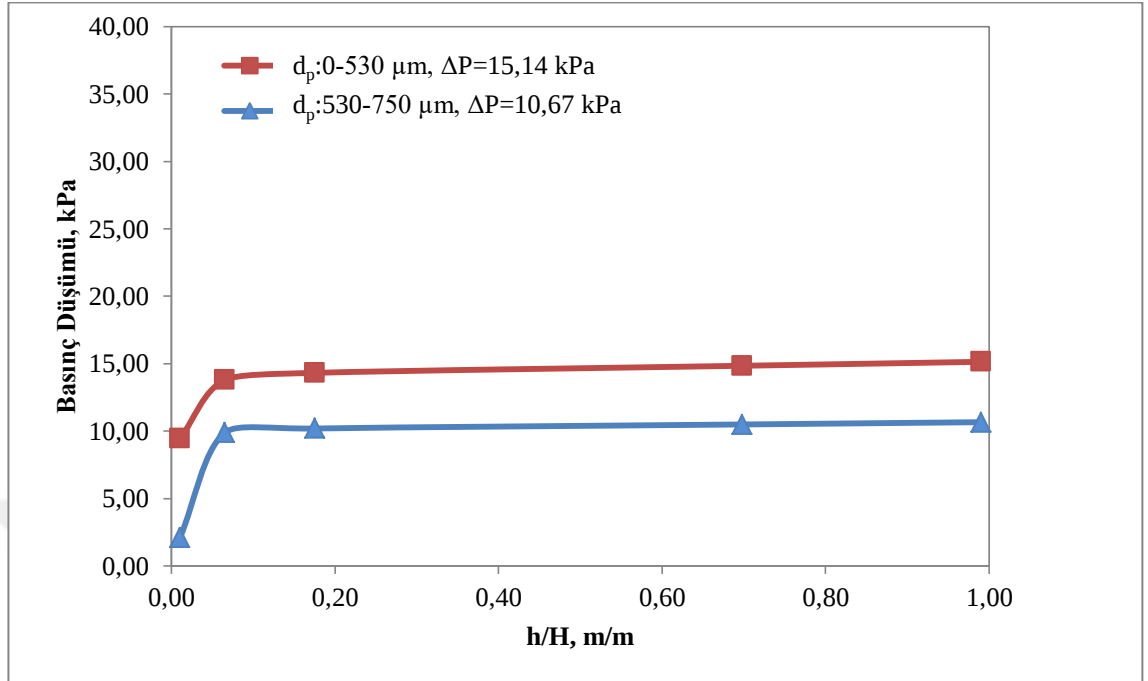


Şekil 4.25. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2\approx 217000$ m³/h, $Q_{ls}\approx 87000$ m³/h, $m_k=m$ kg

$$\Delta P_{d_p \approx 0-530 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 70,79(h/H)+5,56 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,74(h/H)+10,02 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,57(h/H)+10,40 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.65)$$

$$\Delta P_{d_p \approx 530-750 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 122,53(h/H)-0,69 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 4,10(h/H)+7,08 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,86(h/H)+7,65 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.66)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık 261000 m³/h ve loopseal hava debisinin yaklaşık 87000 m³/h olduğu durumda m kg yatak malzemesi ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.26 ile Denklem 4.67 ve 4.68'de gösterilmiştir.

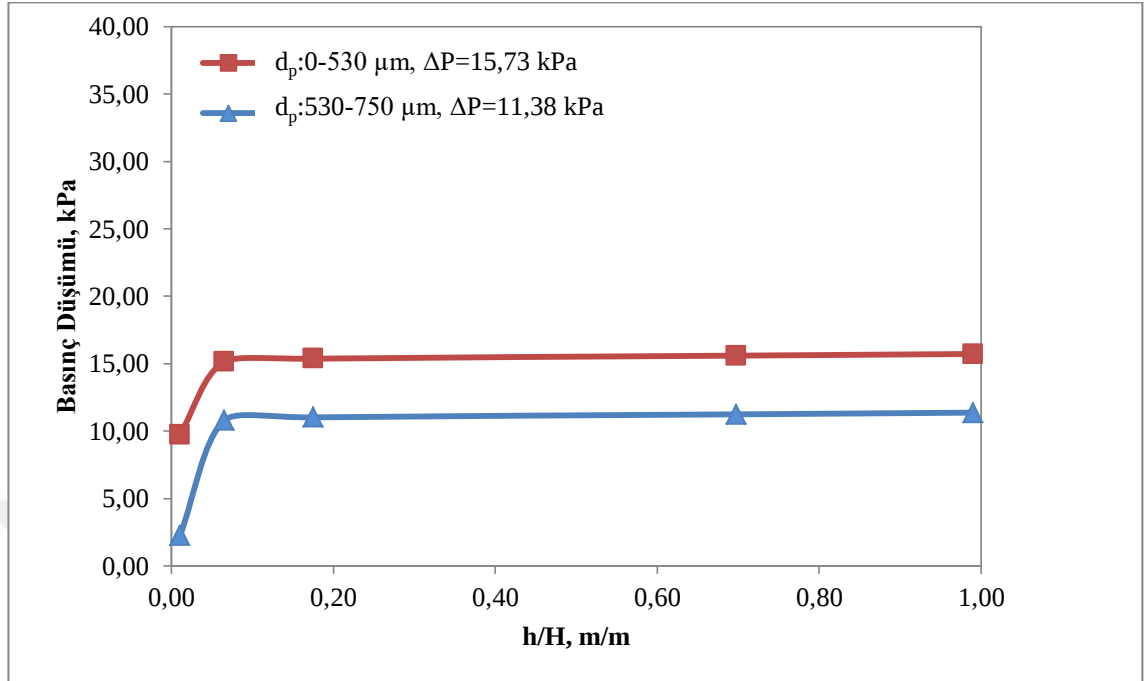


Şekil 4.26. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü, $Q_1=Q_2 \approx 261000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k = m \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p \approx 0-530 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 78,96(h/H) + 8,62 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 4,79(h/H) + 13,49 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,00(h/H) + 14,15 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.67)$$

$$\Delta P_{d_p \approx 530-750 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 141,59(h/H) + 0,61 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,74(h/H) + 9,72 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,57(h/H) + 10,10 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.68)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $304000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $m \text{ kg}$ yatak malzemesi ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.27 ile Denklem 4.69 ve 4.70’de gösterilmiştir.

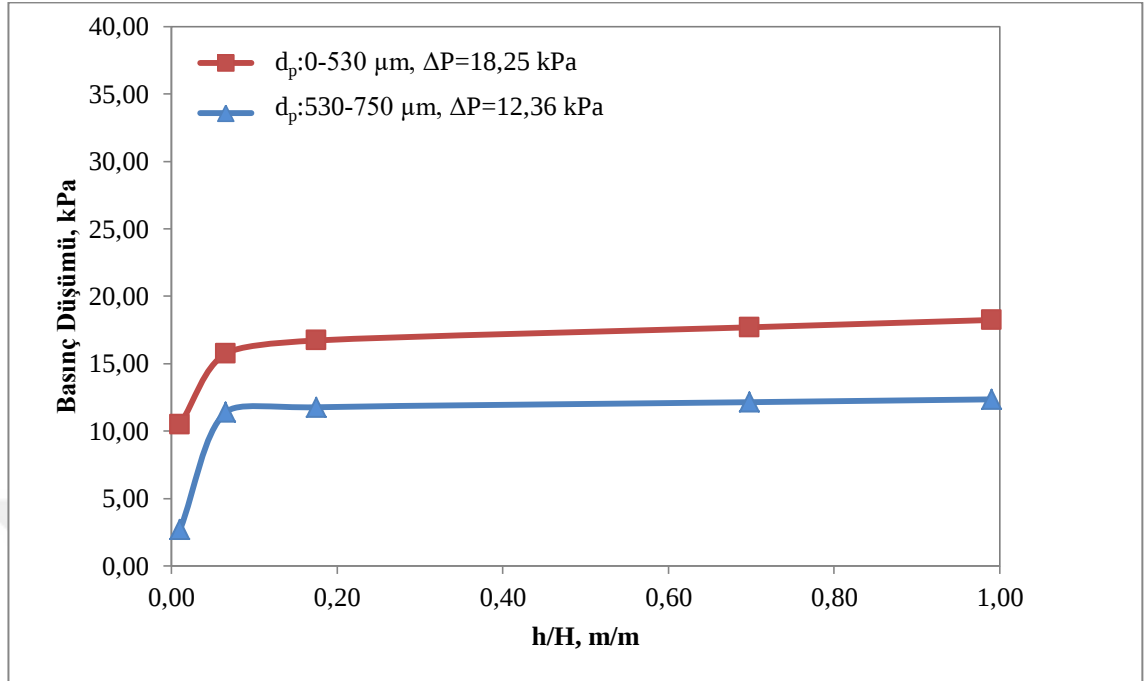


Şekil 4.27. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 304000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=10 \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p \approx 0-530 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 98,02(h/H)+8,72 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,05(h/H)+15,02 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,43(h/H)+15,30 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.69)$$

$$\Delta P_{d_p \approx 530-750 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 155,20(h/H)+0,62 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 2,05(h/H)+10,67 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,43(h/H)+10,95 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.70)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda $m \text{ kg}$ yatak malzemesi ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.28 ile Denklem 4.71 ve 4.72’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k = m \text{ kg}$

$$\Delta P_{d_p \approx 0-530 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 95,30(h/H) + 9,50 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 8,89(h/H) + 15,17 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,87(h/H) + 16,40 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.71)$$

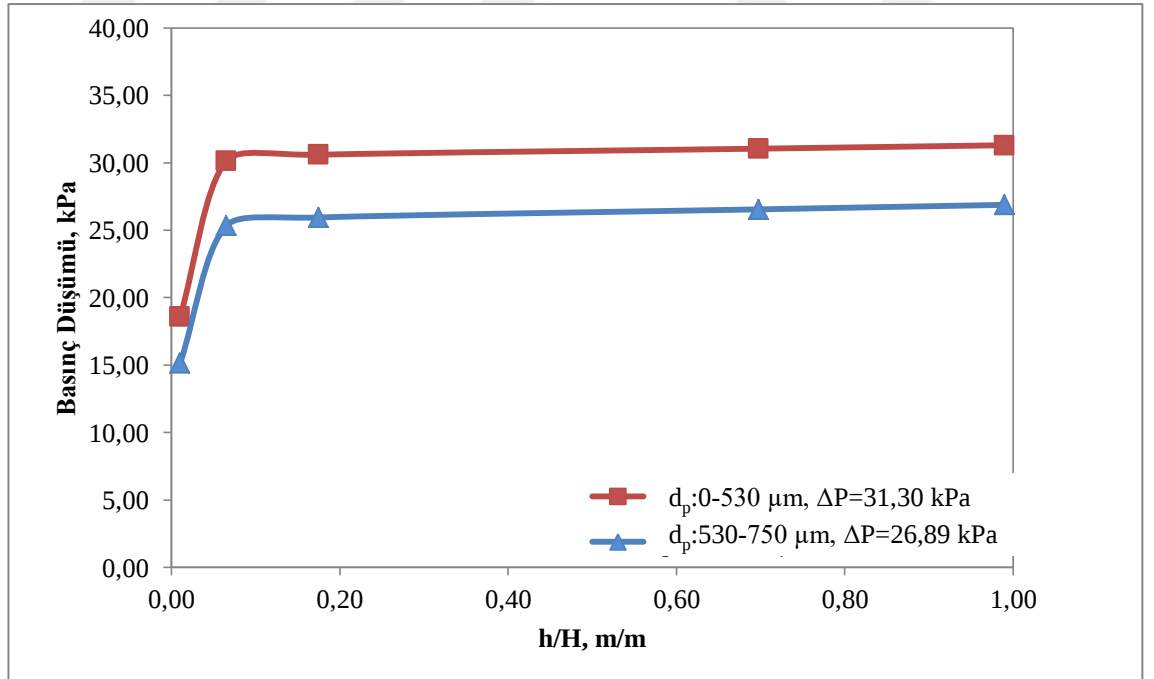
$$\Delta P_{d_p \approx 530-750 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 157,93(h/H) + 1,04 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 3,42(h/H) + 11,18 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,72(h/H) + 11,65 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.72)$$

Şekil 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28’de görüldüğü gibi yatak malzemesi kütlesinin $m \text{ kg}$ olduğu durumda yatak toplam basınç düşümü tane boyut aralığının artmasıyla azalmıştır.

Şekil 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28 birlikte değerlendirildiğinde, soğuk modelde toplam $m \text{ kg}$ yatak malzemesi kütlesi ve 0-530 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırma 530-750 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırmaya

göre ortalama 1,4 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi ($217000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ten $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e) değeriyle değişmemektedir. Artan tane boyutu aralığında daha az basınç düşümünün sebebi aynı hava debisinde yatak girişinde ölçülen mutlak basınç değerleri aynı fakat yatak boyunca büyük tane boyutunun sebep olduğu mutlak basınç değerleri daha büyük olduğundan referans değere göre daha düşük bir basınç düşümü değeri hesaplanmasındandır. Ayrıca yoğun yanma kısmı olan yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi arasındaki boşluk oranı $0-530 \mu\text{m}$ tane boyut aralığında $530-750 \mu\text{m}$ tane boyut aralığına göre daha az olduğu için birincil ve ikincil hava bu bölgede daha fazla dirence maruz kaldığından daha fazla basınç düşümü olmaktadır.

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $217000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 2 m kg yatak malzemesi ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.29 ile Denklem 4.73 ve 4.74'te gösterilmiştir.

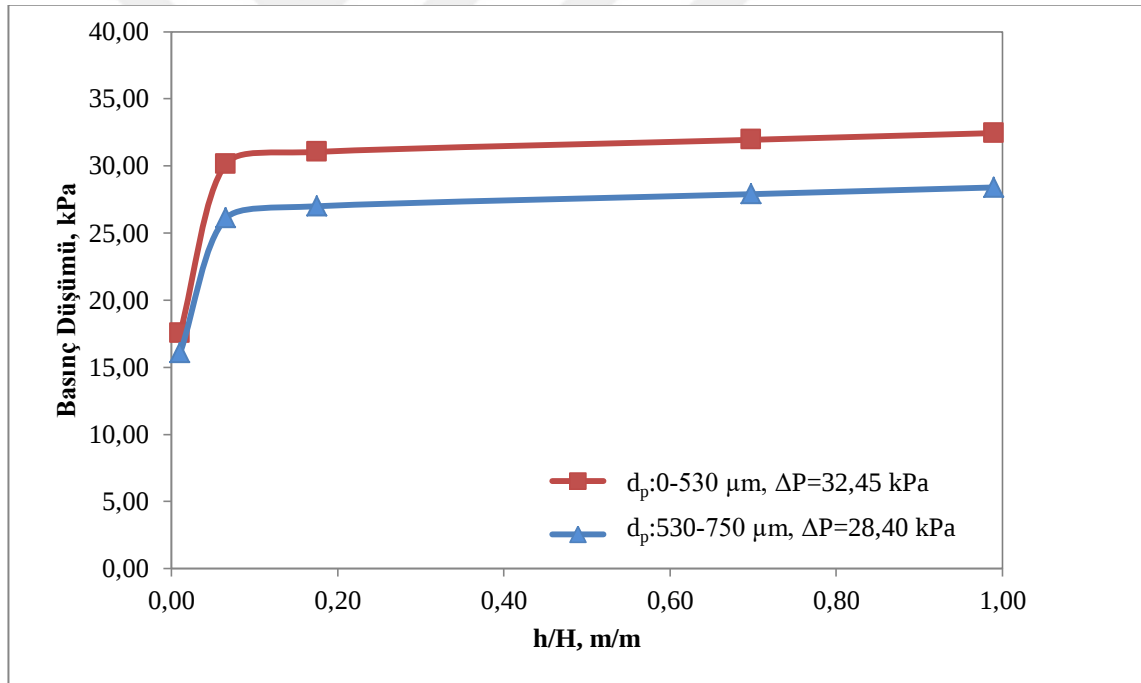


Şekil 4.29. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 217000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k = 2 \text{ m}$ kg

$$\Delta P_{d_p \approx 0-530 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 209,66(h/H)+16,40 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 41,0(h/H)+29,88 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 0,86(h/H)+30,45 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.73)$$

$$\Delta P_{d_p \approx 530-750 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 185,15(h/H)+13,21 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 5,47(h/H)+24,99 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,15(h/H)+25,75 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.74)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık 261000 m³/h ve loopseal hava debisinin yaklaşık 87000 m³/h olduğu durumda 2m kg yatak malzemesi ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.30 ile Denklem 4.75 ve 4.76'da gösterilmiştir.

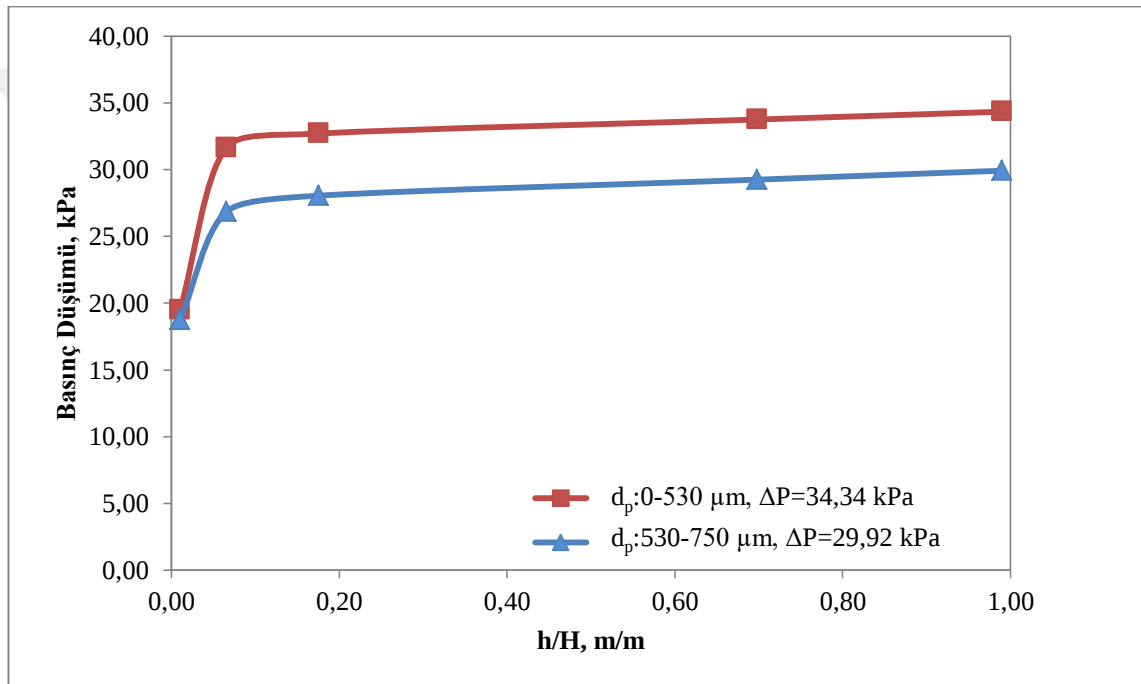


Şekil 4.30. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 261000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=2 \text{ m kg}$

$$\Delta P_{d_p \approx 0-530 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 228,72(h/H)+15,15 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 8,21(h/H)+29,61 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,72(h/H)+30,75 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.75)$$

$$\Delta P_{d_p \approx 530-750 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 182,43(h/H)+14,14 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 8,21(h/H)+25,56 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 1,72(h/H)+26,70 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.76)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık 304000 m³/h ve loopseal hava debisinin yaklaşık 87000 m³/h olduğu durumda 2m kg yatak malzemesi ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.31 ile Denklem 4.77 ve 4.78’de gösterilmiştir.

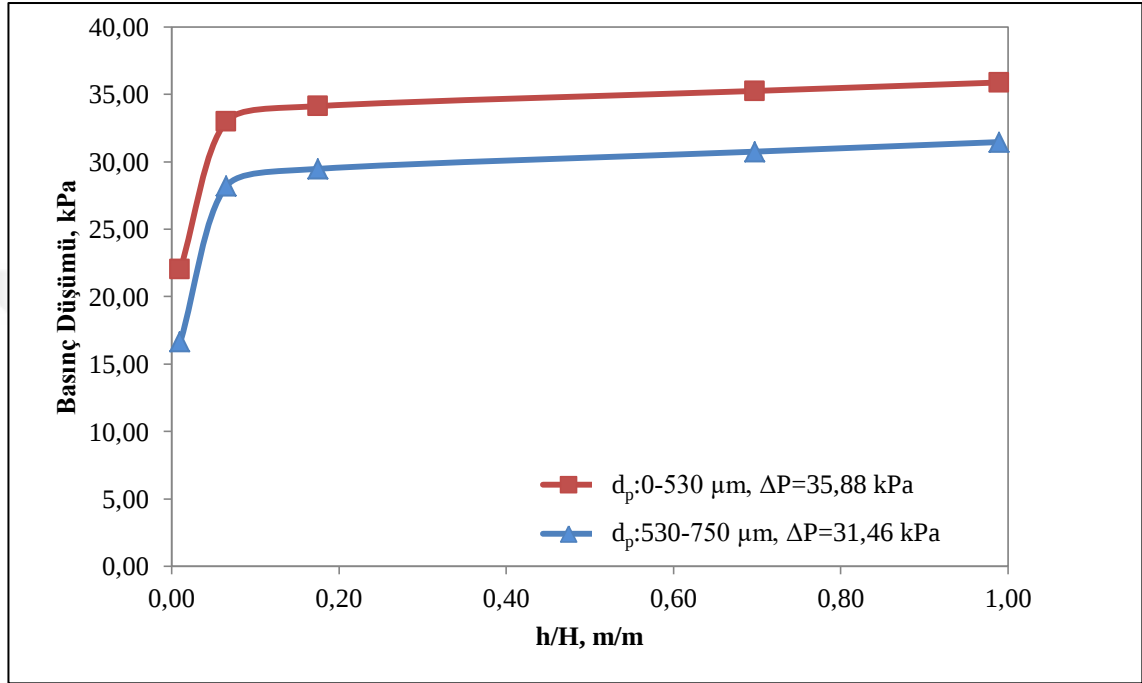


Şekil 4.31. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 304000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k=2\text{m kg}$

$$\Delta P_{d_p \approx 0-530 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 220,55(h/H)+17,19 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 9,58(h/H)+31,02 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 2,01(h/H)+32,35 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.77)$$

$$\Delta P_{d_p \approx 530-750 \mu m} \text{ (kPa)} = \begin{cases} 147,03(h/H)+17,21 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 10,94(h/H)+26,13 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 2,30(h/H)+27,65 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.78)$$

Birincil ve ikincil hava debilerinin yaklaşık $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ ve loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda 2 m kg yatak malzemesi ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.32 ile Denklem 4.79 ve 4.80’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_1=Q_2 \approx 348000 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $m_k = 2 \text{ m}$ kg

$$\Delta P_{d_p \approx 0-530 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 198,77(h/H) + 19,96 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 10,26(h/H) + 32,33 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 2,15(h/H) + 33,75 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.79)$$

$$\Delta P_{d_p \approx 530-750 \mu\text{m}} (\text{kPa}) = \begin{cases} 209,96(h/H) + 14,45 & 0,00 < h/H \leq 0,07 \\ 11,63(h/H) + 27,44 & 0,07 < h/H \leq 0,18 \\ 2,44(h/H) + 29,05 & 0,18 < h/H \leq 1,00 \end{cases} \quad (4.80)$$

Şekil 4.29, 4.30, 4.31 ve 4.32’te görüldüğü gibi yatak malzemesi kütlesinin 2 m kg olduğu durumda yatak toplam basınç düşümü tane boyutunun artmasıyla azalmıştır.

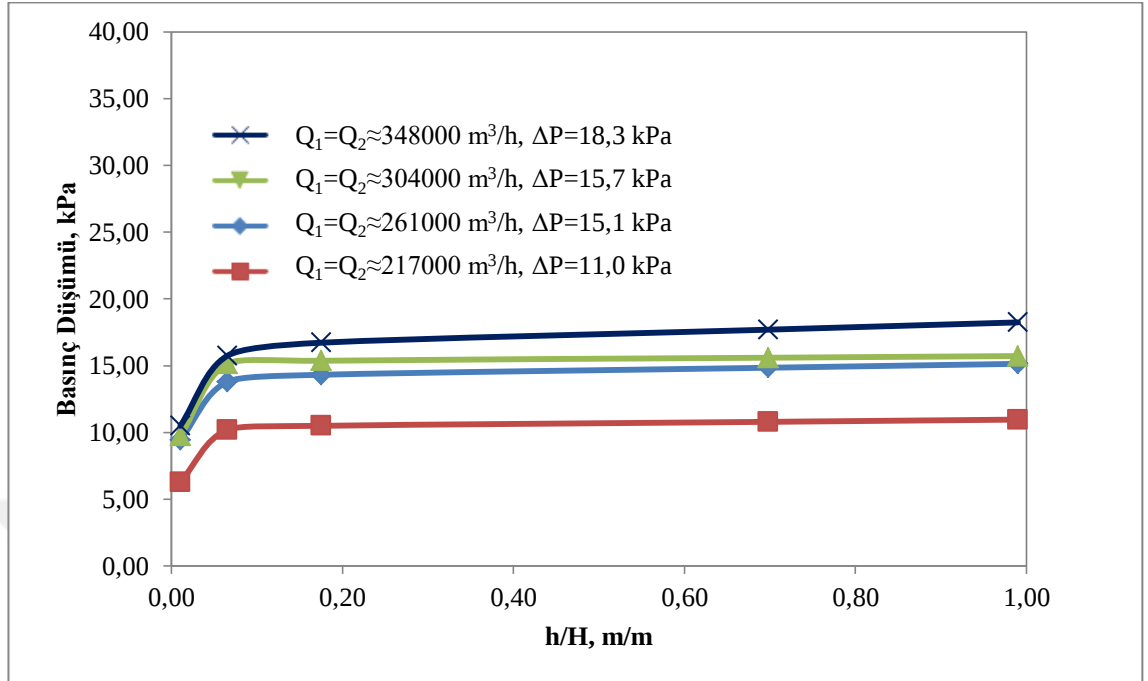
Şekil 4.29, 4.30, 4.31 ve 4.32 birlikte değerlendirildiğinde, soğuk modelde toplam 2m kg yatak malzemesi kütlesi ve 0-530 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırma 530-750 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırmaya göre ortalama 1,1 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (217000 m^3/h 'ten 348000 m^3/h 'e) değeriyle değişmemektedir. Artan tane boyutu aralığında daha az basınç düşümünün sebebi aynı hava debisinde yatak girişinde ölçülen mutlak basınç değerleri aynı fakat yatak boyunca büyük tane boyutunun sebep olduğu mutlak basınç değerleri daha büyük olduğundan referans değere göre daha düşük bir basınç düşümü değeri hesaplanmasındandır. Ayrıca kazanda yoğun yanma kısmına karşılık gelen yatak konik bölgesindeki yatak malzemesi arasındaki boşluk oranı 0-530 μm tane boyutunda 530-750 μm tane boyutuna göre daha az olduğu için birincil ve ikincil hava bu bölgede daha fazla dirence maruz kaldığından daha fazla basınç düşümü olmaktadır.

Soğuk modelde 0-530 μm tane boyutunda 530-750 μm tane boyutuna göre yatak malzemesi kütlesinin m kg'dan 2m kg'a artması ile ortalama basınç düşümü artış değeri daha fazla olmaktadır. Bu ise yatak malzemesi dolaşım hızı ve oranının daha düşük miktarlarda daha fazla olmasındandır.

4.5. Kazanda Birincil ve İkincil Hava Debisinin Yatak Basınç Düşümüne Etkisinin İncelenmesi

Bölüm 4.2 ve 4.4'te belirli hava debisi için gösterilen şekiller Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da tüm hava debilerini içerecek şekilde özetlenmiştir.

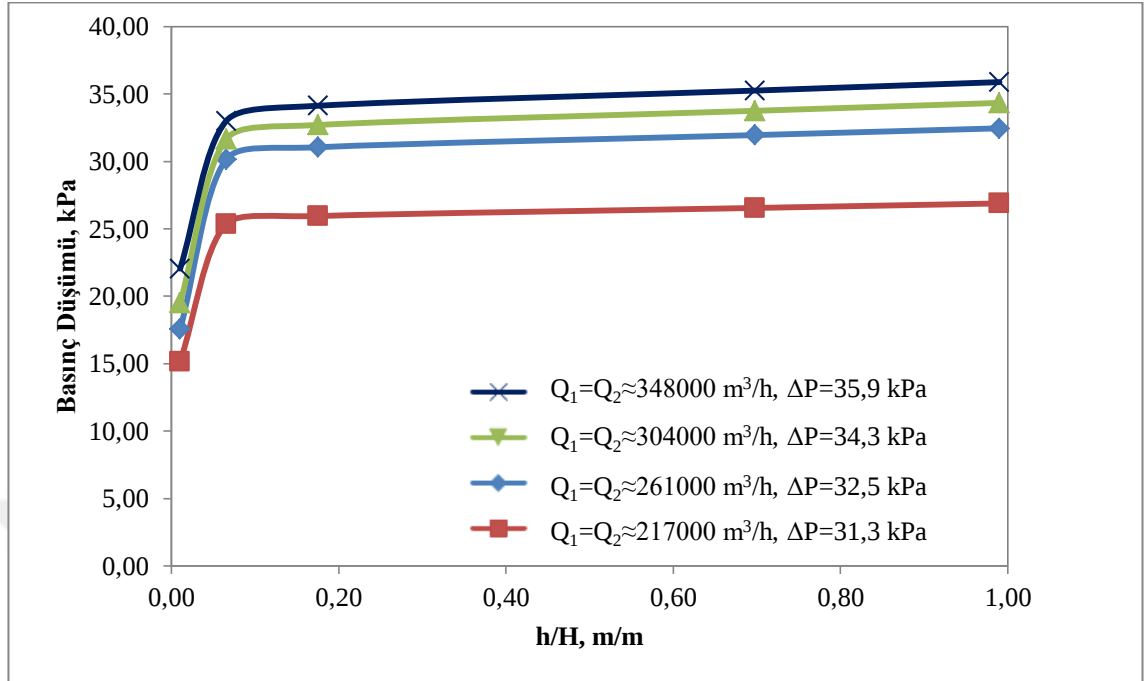
Loopseal hava debisinin yaklaşık 87000 m^3/h saat olduğu durumda yaklaşık 0-530 μm aralığındaki tane boyutu ve m kg ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ } \mu\text{m}$, $m_k = m \text{ kg}$

Şekil 4.33'te görüldüğü gibi loopseal hava debisinin $87000 \text{ m}^3/\text{h}$, tane boyut aralığının $0-530 \text{ } \mu\text{m}$ olduğu durumda $m \text{ kg}$ yatak malzemesi için yapılan önermede hava debisi $217000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ten $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e değişirken yatak basınç düşümü $11,0 \text{ kPa}$ 'dan $18,3 \text{ kPa}$ 'a artmaktadır.

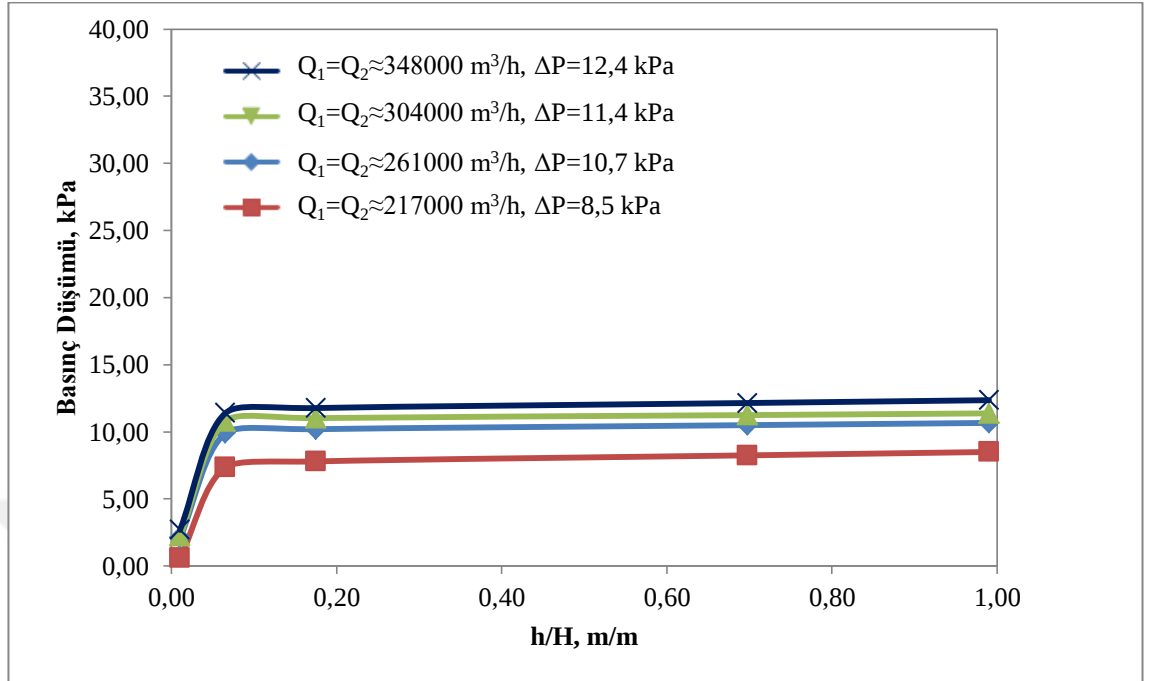
Loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ saat olduğu durumda yaklaşık $0-530 \text{ } \mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ve $2m \text{ kg}$ ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.34'te gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 0-530 \text{ } \mu\text{m}$, $m_k = 2 \text{ m kg}$

Şekil 4.34'te görüldüğü gibi loopseal hava debisinin $87000 \text{ m}^3/\text{h}$, tane boyut aralığının $0-530 \text{ } \mu\text{m}$ olduğu durumda 2 m kg yatak malzemesi için yapılan önermede hava debisi $217000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ten $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e değişirken yatak basınç düşümü $31,3 \text{ kPa}$ 'dan $35,9 \text{ kPa}$ 'a artmaktadır.

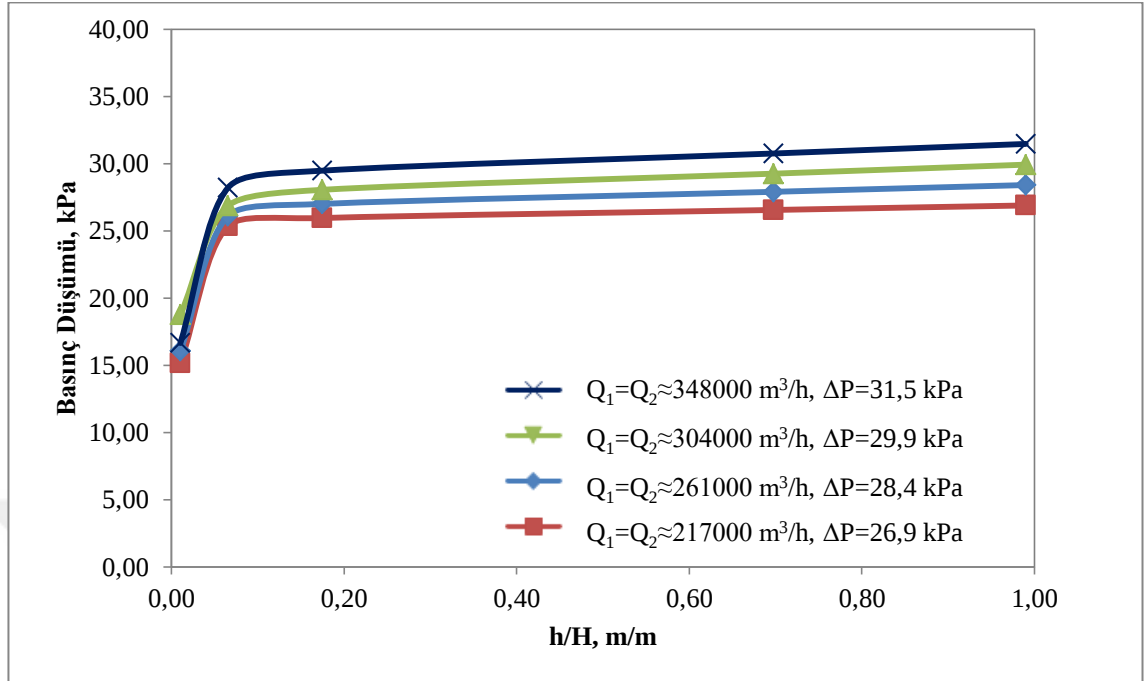
Loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ saat olduğu durumda yaklaşık $530-750 \text{ } \mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ve $m \text{ kg}$ ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.35'te gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_{ls} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530-750 \text{ } \mu\text{m}$, $m_k = m \text{ kg}$

Şekil 4.35'te görüldüğü gibi loopseal hava debisinin $87000 \text{ m}^3/\text{h}$, tane boyut aralığının $530-750 \text{ } \mu\text{m}$ olduğu durumda $m \text{ kg}$ yatak malzemesi için yapılan önermede hava debisi $217000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ten $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e değişirken yatak basınç düşümü $8,5 \text{ kPa}$ 'dan $12,4 \text{ kPa}$ 'a artmaktadır.

Loopseal hava debisinin yaklaşık $87000 \text{ m}^3/\text{h}$ saat olduğu durumda yaklaşık $530-750 \text{ } \mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ve $2m \text{ kg}$ ile çalıştırma için yapılan önermeye ilişkin sonuçlar Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



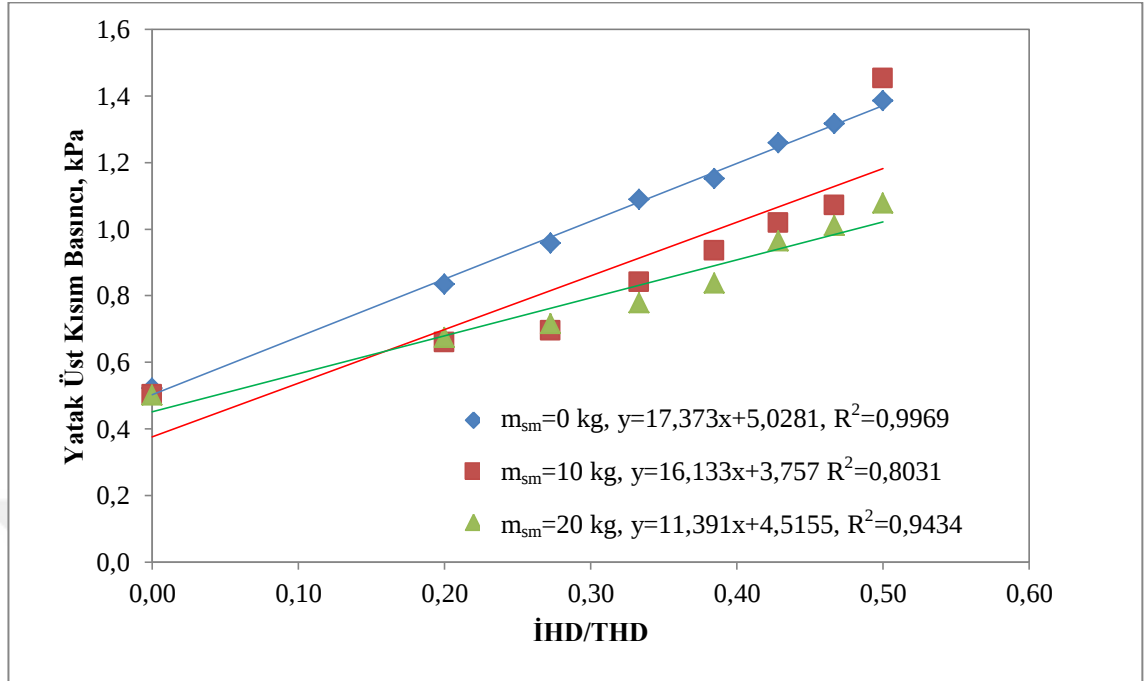
Şekil 4.36. Yatak yüksekliğine göre yatak toplam basınç düşümü $Q_{1s} \approx 87000 \text{ m}^3/\text{h}$, $d_p \approx 530-750 \text{ } \mu\text{m}$, $m_k = 2 \text{ m kg}$

Şekil 4.36’da görüldüğü gibi loopseal hava debisinin $87000 \text{ m}^3/\text{h}$, tane boyut aralığının $530-750 \text{ } \mu\text{m}$ olduğu durumda 2 m kg yatak malzemesi için yapılan önermede hava debisi $217000 \text{ m}^3/\text{h}$ ’ten $348000 \text{ m}^3/\text{h}$ ’e değişirken yatak basınç düşümü $26,9 \text{ kPa}$ ’dan $31,5 \text{ kPa}$ ’a artmaktadır.

Şekil 4.33, 4.34, 4.35 ve 4.36’da görüldüğü gibi DAY kazanda yatak toplam basınç düşümü aynı orandaki birincil ve ikincil hava debisi arttıkça artmaktadır. Bu durum artan hava debisi ile dolaşım hızı ve oranının da artmasından kaynaklanmaktadır.

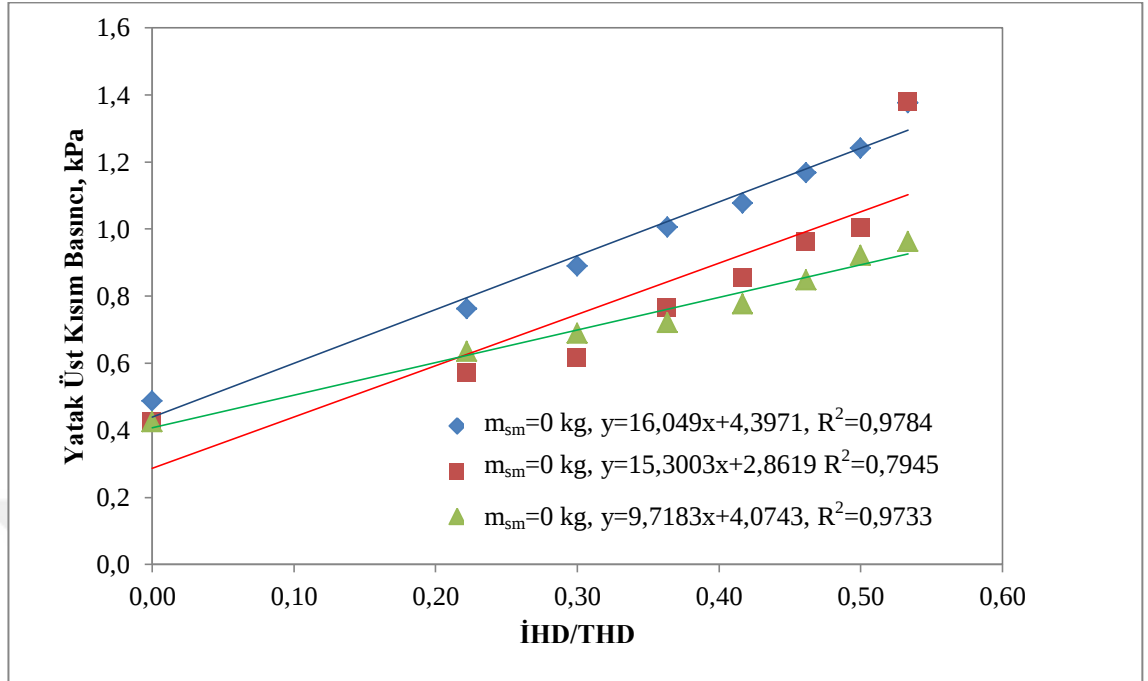
5.6. Soğuk Modelde Yatak Üst Kısım Basıncının İkincil Hava Debisi/Toplam Hava Debisi Oranına Göre Değişiminin İncelenmesi

Birincil debisinin $400 \text{ m}^3/\text{h}$, loopseal hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu ve $0-150 \text{ } \mu\text{m}$ aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. İHD/THD oranına göre yatak üst kısım basıncı $Q_1=400$ m³/h, $Q_{is}=100$ m³/h, $d_p:0-150$ µm

Birincil debisinin 350 m³/h, loopseal hava debisinin 100 m³/h olduğu ve 0-150 µm aralığındaki tane boyutu ile yapılan deneye ilişkin sonuçlar Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. İHD/THD oranına göre yatak üst kısım basıncı $Q_1=350$ m³/h, $Q_{is}=100$ m³/h, $d_p:0-150$ µm

Şekil 4.37 ve 4.38’de görüldüğü gibi yatak üst kısım basıncı, artan ikincil hava debisi/birincil hava debisi oranı ile doğrusal artan bir ilişki içerisinde. Soğuk modelde 400 m³/h birincil ve ikincil hava debisi ve 0-150 µm aralığındaki tane boyutundaki 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırma ile 10 kg yatak malzemesi ile çalıştırmada benzer eğilimler (0 kg ile eğim 17,373 ve 10 kg ile eğim 16,133) elde edilirken, 20 kg yatak malzemesi ile çalıştırmada eğimi daha küçük (11,391) bir doğru elde edilmiştir (Şekil 4.37). 350 m³/h birincil ve ikincil hava debisi ile yapılan çalıştırmada eğim ilişkisi aynı kalırken (0 kg ile eğim 16,049 ve 10 kg ile eğim 15,300) dikey eksenle aşağıya kaymıştır (Şekil 4.38). Hava debisi azaldıkça dolaşım oranı ve hızının azalmasına bağlı olarak mutlak basınç değeri de azalmaktadır.

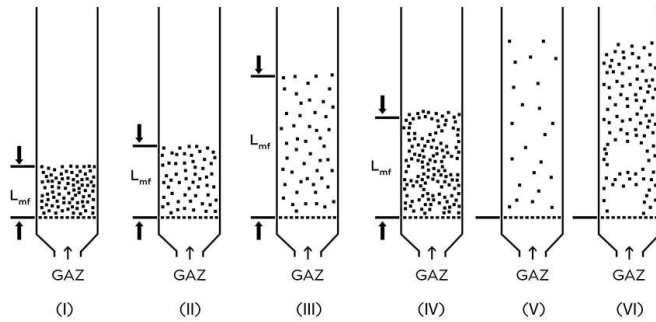
5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Soğuk modelde yürütülen deneylerde elde edilen ve Bölüm 4'te verilen araştırma bulgularına ilişkin sonuçlar Bölüm 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'te verilerek değerlendirilecektir.

5.1. Sonuçlar

Soğuk modelde yürütülen deneylere ilişkin genel sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yürütülen deneylerde devamlı bir dolaşım için en uygun loopseal hava debisi değeri $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak belirlenmiştir. Bu değer arttırıldıkça basınç düşümü de artmaktadır.
- İkincil hava debisinin $0 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda dolaşım $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ve üzeri birincil hava debisi değerlerinde olmaktadır.
- İkincil hava debisinin $100 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu durumda dolaşım $250 \text{ m}^3/\text{h}$ birincil hava debisi ve üzeri değerlerinde olmaktadır.
- Birincil ve ikincil hava debilerinin $400 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğu koşullarda dahi yatak konik bölgesinin alt kısmındaki akışkanlaşma karakteristiği Şekil 5.1 (IV)'teki gibi olmaktadır. Bu bölgenin üzerindeki kısımlarda ise (V)'teki durum gözlemlenmektedir.



Şekil 5.1. Akışkanlaşma tipleri

(I) sabit yatak, (II) minimum akışkanlaşma, (III) homojen akışkanlaşma, (IV) kabarcıklı akışkanlaşma, (V) akışkan yataktan pnömatik taşınma, (VI) sluglaşma

- Her iki siklonda siklon giriş ve çıkışında yer alan basınç sensörleri ile yapılan ölçüm değerleri yaklaşık olarak birbirinin aynı olmaktadır. Bir başka deyişle yatak malzemesi siklonlara eşit olarak dağılmaktadır. Bu durum gözlem ile de teyit edilmiştir.
- Kazandaki nozüllü dağıtıcı plaka sistemi soğuk modelde tam olarak temsil edilemediğinden hava tam olarak homojen dağılmamaktadır.
- Yatakta çok yoğun bir dolaşım olduğundan akış sonuçları görsel olarak sunulamamaktadır.

Soğuk modelde ve kazanda yatak malzemesi kütlesinin yatak basınç düşümüne etkisine ilişkin sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Soğuk modelde yatak toplam basınç düşümü artan yatak malzemesi kütlesiyle artmaktadır.
- Soğuk modelde 10 kg yatak malzemesi ve 0-150 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,5 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle değişmemektedir.
- Soğuk modelde 10 kg yatak malzemesi ve 150-212 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 1,8 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle değişmemektedir.
- Soğuk modelde 20 kg yatak malzemesi ve 0-150 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 5,6 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle 6,5 kattan 4,7 kata azalmaktadır. Artan hava debisi yatak konik bölgesinde daha fazla yatak malzemesi birikimine engel olduğundan daha rahat bir akışa imkan vermektedir.
- Soğuk modelde 20 kg yatak malzemesi ve 150-212 μm aralığında tane boyutu ile çalıştırma 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 4,9 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e)

değeriyle 5,6 kattan 4,1 kata azalmaktadır. Artan hava debisi yatak konik bölgesinde daha fazla yatak malzemesi birikimine engel olduğundan daha rahat bir akışa imkan vermektedir.

- Soğuk modelde 20 kg yatak malzemesi ve 0-150 μm tane boyutu ile çalıştırma 10 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,3 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle 2,9 kattan 2,0 kata azalmaktadır. Artan hava debisi yatak konik bölgesinde daha fazla yatak malzemesi birikimine engel olduğundan daha rahat bir akışa imkan vermektedir.

- Soğuk modelde 20 kg yatak malzemesi ve 150-212 μm tane boyutunda ile çalıştırma 10 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya oranla ortalama 2,7 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle 3,1 kattan 2,7 kata azalmaktadır. Artan hava debisi yatak konik bölgesinde daha fazla yatak malzemesi birikimine engel olduğundan basınç düşümünün azalmasına imkan vermektedir.

- Yukarıda soğuk model için verilen artış değerleri kazan için aynı kalmaktadır.

- Soğuk modelde dolaşan yatak malzemesi kütle değerine kazanda karşılık gelen kütle değeri tam ve yaklaşık olarak benzetim kuralları ile tahmin edilememektedir. Ancak kütlenin iki katına çıkması durumundaki farklılıklar yaklaşık olarak tahmin edilmektedir.

Soğuk modelde ve kazanda yatak malzemesi tane boyutunun yatak basınç düşümüne etkisine ilişkin değerlendirmeler şöyle sıralanabilir:

- Soğuk modelde yatak toplam basınç düşümü tane boyutunun artmasıyla azalmaktadır.
- Soğuk modelde toplam 10 kg yatak malzemesi kütlesi ve 0-150 μm tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırma 150-212 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırmaya göre ortalama 1,4 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle değişmemektedir.

- Soğuk modelde toplam 20 kg yatak malzemesi kütlesi ve 0-150 μm tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırma 150-212 μm aralığındaki tane boyutundaki yatak malzemesi ile çalıştırmaya göre ortalama 1,1 kat fazla basınç düşümüne sebep olmaktadır. Bu değer artan hava debisi (250 m^3/h 'ten 400 m^3/h 'e) değeriyle değişmemektedir.
- Artan tane boyutunda daha az basınç düşümünün sebebi, aynı hava debisinde yatak girişinde ölçülen mutlak basınç değerleri aynı fakat yatak boyunca büyük tane boyutunun sebep olduğu mutlak basınç değerleri daha büyük olduğundan referans değere göre daha düşük bir basınç düşümü değeri olduğundan kaynaklanmaktadır.
- Yukarıda soğuk model için verilen artış değerleri kazan için aynı kalmaktadır.

Kazanda birincil ve ikincil hava debisinin yatak basınç düşümüne etkisine ilişkin sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- DAY kazanda yatak toplam basınç düşümü aynı orandaki birincil ve ikincil hava debisi arttıkça artmaktadır.
- Şekil 4.33'te görüldüğü gibi loopseal hava debisinin 87000 m^3/h , tane boyutunun 0-530 μm olduğu durumda m kg yatak malzemesi için yapılan önermede hava debisi 217000 m^3/h 'ten 348000 m^3/h 'e değişirken yatak basınç düşümü 11,0 kPa'dan 18,3 kPa'a artmaktadır.
- Şekil 4.34'te görüldüğü gibi loopseal hava debisinin 87000 m^3/h , tane boyutunun 0-530 μm olduğu durumda 2m kg yatak malzemesi için yapılan önermede hava debisi 217000 m^3/h 'ten 348000 m^3/h 'e değişirken yatak basınç düşümü 31,3 kPa'dan 35,9 kPa'a artmaktadır.
- Şekil 4.35'te görüldüğü gibi loopseal hava debisinin 87000 m^3/h , tane boyutunun 530-750 μm olduğu durumda m kg yatak malzemesi için yapılan önermede hava debisi 217000 m^3/h 'ten 348000 m^3/h 'e değişirken yatak basınç düşümü 8,5 kPa'dan 12,4 kPa'a artmaktadır.
- Şekil 4.36'da görüldüğü gibi loopseal hava debisinin 87000 m^3/h , tane boyutunun 530-750 μm olduğu durumda 2m kg yatak malzemesi için yapılan önermede hava debisi

217000 m³/h'ten 348000 m³/h'e deęişirken yatak basınç dūşümü 26,9 kPa'dan 31,5 kPa'a artmaktadır.

Soğuk modelde ve kazanda yatak üst kısım basıncının ikincil hava debisinin toplam hava debisi oranına göre değişimine ilişkin sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Yatak üst kısım basıncı, artan ikincil hava debisi/birincil hava debisi oranı ile doğrusal artan bir ilişki içerisindedir.
- Soğuk modelde 400 m³/h birincil ve ikincil hava debisi ve 0-150 µm aralığındaki tane boyutundaki 0 kg yatak malzemesi ile çalıştırma ile 10 kg yatak malzemesi ile çalıştırmada benzer eğilimler (0 kg ile eğim 17,373 ve 10 kg ile eğim 16,133) elde edilirken, 20 kg yatak malzemesi ile çalıştırmada eğimi daha küçük (11,391) bir doğru elde edilmiştir (Şekil 4.37). 350 m³/h birincil ve ikincil hava debisi ile yapılan çalıştırmada eğim ilişkisi aynı kalırken (0 kg ile eğim 16,049 ve 10 kg ile eğim 15,300) dikey ekseninde aşağıya kaymıştır (Şekil 4.38). Yani aynı eğim ilişkisi daha düşük basınç değerleriyle korunmuştur.
- Deneylerde aynı birincil hava debisinde dağıtıcı plaka altında ölçülen mutlak basınç değerleri farklı toplam yatak malzemesi kütlelerinde farklı olduğundan (diğer bir deyişle; dağıtıcı plaka altı mutlak basınç değeri 20 kg yatak malzemesi ile çalıştırmada 10 kg yatak malzemesi ile çalıştırmaya göre daha yüksek ölçölmektedir) üst kısım mutlak basınç değerleri de kendi aralarında değerlendirilememektedir.
- Soğuk modelde elde edilen doğrusal bağıntı ve ilişkiler kazan için korunmakta fakat mutlak basınç değerleri tam ve yaklaşık olarak tahmin edilememektedir.

5.2. Öneriler

- Elde edilen sonuçlar devreye alma çalışmalarıda farklı çalışma ve işletme koşullarının tahmin edilmesinde kullanılabilir.

- Soğuk model imalatında, yatak içerisinde gözlemlenmesinin gerekli olmadığı deneyler için pleksiglas malzeme yerine metal malzeme kullanılması hava kaçaklarını alt düzeylere indirilebilir.
- Ölçüm sonuçlarının hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile doğrulanması ve diğer parametrelerin de sınanması bir sonraki çalışmanın konusu olabilir.
- Kazan için önerilen sonuçların, HAD ile doğrulanması bir sonraki çalışmanın konusu olabilir.
- Soğuk model deney düzeneği ve kazan çalışma koşulların en uygun işletme koşullarının belirlenmesi bir sonraki çalışmanın konusu olabilir.
- Soğuk model deney düzeneği ve kazan çalışma koşulların maliyet etkin işletme koşullarının belirlenmesi bir sonraki çalışmanın konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2005. http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/b81c4484ebf263f_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=0 (9 Temmuz 2015).
- Anonim, 2014. Enerji Raporu 2013. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.
- Anonim, 2015a. 2014 Yıllık Rapor. Elektrik Üretim A.Ş., Ankara.
- Anonim, 2015b. TKİ 2014 Yılı Faaliyet Raporu. TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri), Ankara.
- Anonim, 2015c. 18 Mart Çan Termik Santrali, <http://www.enerjiatlası.com/kömür/18-mart-can-termik-santrali.html> (9 Temmuz 2015).
- Anonim, 2016a. Key World Energy Statistics 2016. IEA (International Energy Agency), Paris.
- Anonim, 2016b. 2015 Yılı Genel Enerji Dengesi. ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), Ankara.
- Basu, P., 2006. Combustion And Gasification in Fluidized Beds. Taylor & Francis Group, 496 s, Abingdon.
- Chang, H. ve Louge, M., 1992. Fluid dynamic similarity of circulating fluidized beds. Powder Technology, 70, 259-270.
- Dülger, S., 2007. Akışkan Yataklı Kömür Yakma Sistemlerinde Otomatik Kontrol Tasarım ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Escudero, D. ve Heindel, T. J., 2013. Minimum fluidization velocity in a 3D fluidized bed modified with an acoustic field. Chemical Engineering Journal, 231, 68-75.
- Foscolo, P. U., Felice, R. D., Gibilaro, L. G., Pistone, L. ve Piccolo, V. 1990. Scaling relationships for fluidization: the generalized particle bed model. Chemical Engineering Science, 45, 1647-1651.
- Glicksman, L. R., 1984. Scaling Relationships for Fluidized Beds. Chemical Engineering Science, 39 (9), 1373-1379.
- Glicksman, L. R., 1988. Scaling relationships for fluidized beds. Chemical Engineering Science, 43, 1419-1421.
- Glicksman, L. R., Hyre, M. R. ve Farrell, P. A., 1994. Dynamic Similarity in Fluidization. International Journal of Multiphase Flow, 20, 331-386.
- Glicksman, L. R., Hyre, M. R. ve Westphalen, D., 1993b. Verification of scaling relations for circulating fluidized beds. Proceedings of the 12th International Conference on Fluidized Bed Combustion. Ed: L. Rubow. ASME, New York, 69-80.
- Glicksman, L. R., Hyre, M. ve Woloshun, K., 1993a. Simplified scaling relationships for fluidized beds. Powder Technology, 77, 177-199.
- Glicksman, L. R., Hyre, M., Torpey, M. ve Wheeldon, J., 1995. Verification of Simplified Hydrodynamic Scaling Laws for Pressurized Fluidized Beds: Part II Circulating Fluidized Beds. Proceedings of the 13th International Conference on Fluidized Bed Combustion. Ed: K.J. Heinscel. ASME, New York, 991-1000.
- Glicksman, L. R., Westphalen, D., Brereton, C. ve Grace, J., 1991. Verification of the scaling laws for circulating fluidized beds. Circulating Fluidized Bed

- Technology III. Ed: P. Basu, M. Horio ve M. Hasatani. Pergamon Press, Oxford, 585-602.
- Horio, M., Ishii, H., Kobukai, Y. ve Yamanishi, N., 1989. A scaling law for circulating fluidized beds. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 22 (6), 587-592.
- Ishii, H. ve Murakami, I., 1991. Evaluation of the scaling law of circulating fluidized beds in regard to cluster behaviors. *Circulating Fluidized Bed Technology III*. Pergamon Press, Oxford.
- Jha, M., 2000. An Overview of CFBC Boiler. A2Z Powercom Pvt. Ltd., Gurgaon, India.
- Kim, J. H. ve Shakourzadeh, K., 2000. Analysis and modelling of solid flow in a closed loop circulating fluidized bed with secondary air injection. *Powder Technology*, 111, 179-185.
- Kural, O., 1998. Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. İTÜ, 785, İstanbul..
- Leckner, B., Szentannai, P. ve Winter, F., 2011. Scale-up of fluidized-bed combustion – A review. *Fuel*, 90, 2951-2964.
- Leckner, B., Szentanni, P. ve Winter, F., 2011. Scale-up of fluidized-bed combustion – A review. *Fuel*, 90, 2951-2964.
- Lim, M. T., 2012. Hydrodynamics of a Cold Model of a Dual Fluidized Bed Gasification Plant. Christchurch, New Zealand.
- Meer, E. H. v. d., Thorpe, R. B. ve Davidson, J. F., 1999. Dimensionless groups for practicable similarity of circulating fluidised beds. *Chemical Engineering Science*, 54, 5369-5376.
- Mirek, P., 2011. A Simplified Methodology For Scaling Hydrodynamic Data From Lagisza 460 MWe Supercritical CFB Boiler. *Chemical and Process Engineering*, 4 (32), 245-253.
- Mirek, P., 2011. Scaling of Flow Phenomena in Circulating Fluidized Bed Boilers. *Chemical and Process Engineering*, 32, 91-100.
- Mirek, P., Ziaja, J., Nowak, W., Jagodzick, S. ve Zajchowski, A., 2014. Experimental Verification of the Scaling Rules for Cold Models of Different Scales. Beijing, Chemical Industry Press, 499-504.
- Mook, T. L., Shusheng, P. ve Justin, N., 2012. Investigation of solids circulation in a cold model of a circulating fluidized bed. *Powder Technology*, 226, 57-67.
- Nicastro, M. T. ve Glicksman, L. R., 1984. Experimental verification of scaling relationships for fluidized bed. *Chemical Engineering Science*, 39 (9), 1381-1391.
- Özbayoğlu, G., tarih yok Enerji Üretiminde Kömürün Geleceği ve Türkiyede Durum.
- Patents, W. B., 2013. All of the Above Energy, except for...<http://wayfinderinklings.blogspot.com.tr/2013/02/all-of-above-energy-except-for.html> (8 Temmuz 2015].
- Qi, X., Zhu, J. ve Huang, W., 2008. Hydrodynamic similarity in circulating fluidized bed risers. *Chemical Engineering Science*, 63, 5613-5625.
- Tamzok, N., 2011. Kömürün Geleceği. TMMOB 8. Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı 2. Cilt. İstanbul, 247-292.
- Teke, İ., 2014. Dolaşım Akışkan Yataklı Kazan Teknolojisi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- TKİ, 2013. Kömür Sektör Raporu (Linyit). Türkiye Kömür İşletmeleri.

- Tsukada, M. *et al.*, 1991. Hydrodynamic Similarity of Circulating Fluidized Bed Under Different Pressure Conditions. Montreal.
- WEC, 2013. Enerji Raporu 2012..
- WEC, 2014. Enerji Raporu 2013. World energy Council.
- Yang, W. C., 1983. Criteria for choking in vertical pneumatic conveying lines. Powder Technology, 35, 143-150.
- Yue, G. X., Yang, H. Z., Nie, L. Wang, Y. Z. ve Zhang, H., 2009. Hydrodynamics of 300 MWe and 600 MWe CFB Boilers with Asymmetric Cyclone Layout. Xian, China



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1988 yılında Ankara’da doğdu. İlk, Orta ve Lise Öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2013 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı. Halen TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü’nde Araştırmacı olarak çalışmaktadır.

