



**DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE DONMUŞ
MALZEME TAHLİYESİ İÇİN VAGON ISITMA
HOLÜ TASARIMI VE ISIL ANALİZİ**

YAVUZ TAN KIRIK

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ**

**DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE DONMUŞ MALZEME TAHLİYESİ İÇİN
VAGON ISITMA HOLÜ TASARIMI VE ISIL ANALİZİ**

Yavuz Tan KIRIK

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ**

**KARABÜK
Haziran 2021**

Yavuz Tan KIRIK tarafından hazırlanan “DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE DONMUŞ MALZEME TAHLİYESİ İÇİN VAGON ISITMA HOLÜ TASARIMI VE ISIL ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin KURT (NEÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Kamil ARSLAN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Yavuz Tan KIRIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE DONMUŞ MALZEME TAHLİYESİ İÇİN VAGON ISITMA HOLÜ TASARIMI VE ISIL ANALİZİ

Yavuz Tan KIRIK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ

Haziran 2021, 97 sayfa

Yoğun kış şartları nedeniyle ihtiva ettiği malzemelerin donması sebebiyle tahliyeleri sağlanamayan demiryolu yük vagonlarının, istenilen sürede, daha az maliyetli olarak ve malzeme sevkiyatlarını duraklamaya uğratmayacak şekilde tahliye edilebilmeleri demir çelik sektörü için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, çelik üretiminde kullanılan en önemli 2 hammadde olan demir ve antrasit kömür için bir vagon ısıtma holü tasarımı yapılarak, donmuş haldeki demir ve antrasit kömürün zamana bağlı ısı transfer analizleri gerçekleştirilmiş ve bu malzemelerin don çözme süreleri belirlenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle ısı kaybının önlenmesi için demiryolu standartlarına uygun ısı yalıtımlı bir vagon ısıtma holü tasarlanmıştır. Demir çelik tesislerinde atık gaz olarak kullanılan ve yüksek miktarda ısı ihtiva eden yüksek fırın gazları, yine bu çalışmada tasarlanan yanma odasına sevk edilip yakılarak ortamdaki çekilecek olan hava ısıtılacak ve ısınan hava ısıtma holüne blowerlar yardımıyla ve

boru hattıyla sevk edilerek vagon içerisinde sevkiyat sırasında donan malzemelerin fabrika içerisindeki tahliyeleri kolayca sağlanmış olacaktır.

Çalışmada, tasarlanan vagon ısıtma holü, yanma odası ve boru hatları için ısı kaybı hesapları yapılmış, vagonun ve malzemenin donunun çözülmesi için gerekli ısı miktarları belirlenmiştir. Daha sonra hem demir hem de antrasit kömür için zamana bağlı ısı transferi analizleri gerçekleştirilmiş ve malzemelerin merkez sıcaklıklarının 3 °C - 8 °C arasında kalması için gerekli süreler hesaplanmış ve vagon içerisindeki malzemelerin merkez sıcaklıkları belirlenmiştir. Analizlerde vagon ısıtma holü içerisinde üflenen hava sıcaklıkları 200 °C, 250 °C ve 300 °C olarak, hava hızları ise 50 m/s, 75 m/s ve 100 m/s şeklinde değiştirilerek sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda demir için en düşük don çözülme süreleri 200 °C – 100 m/s ve 250 °C – 75 m/s hava şartlarında 5 saat, 300 °C – 100 m/s hava şartlarında ise 4 saat olarak belirlenmiştir. Aynı şartlarda vagon içerisindeki demirin merkez sıcaklıkları ise sırasıyla 4.39 °C, 3.75 °C ve 5.43 °C olarak tespit edilmiştir. Aynı şartlarda, antrasit kömür için elde edilen sonuçlarda antrasit kömürün donunun çözülmediği görülmüştür. Bunun nedeni antrasit kömürün ısı iletim katsayısının demirden çok düşük olmasıdır.

Çalışma, iç malzeme sevkiyatları demiryolu ile sağlanan tüm demir ve çelik işletmeleri için uygulanabilir bir çalışmadır. Elde edilen sonuçlar ve çözüm önerileri ile işletmede kış aylarında ortaya çıkan yük vagonlarındaki donan malzemelerin tahliyesi için vibrasyon uygulaması, vibrasyon işlemi sonrasında yük vagonlarına verilen zararın karşılanması, zamanında tahliye edilemeyen yük vagonları için uygulanan somaj bedeli (gecikme cezası) ve gecikmeden dolayı işletme içerisinde lokomotiflerin manevra hareketlerini yapamaması gibi birçok problem ortadan kaldırılmış olacaktır.

Anahtar Sözcükler : Vagon ısıtma holü, donmuş malzeme tahliyesi, zamana bağlı ısı transferi, CFD analizi.

Bilim Kodu : 914.12

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN AND THERMAL ANALYSIS OF WAGON HEATING HALL FOR DISCHARGE OF FROZEN MATERIAL IN IRON AND STEEL INDUSTRY

Yavuz Tan KIRIK

**Karabuk University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Enes KILINÇ

June 2021, 97 pages

It is of great importance for the iron and steel industry that the railway freight wagons, which can not be evacuated due to the freezing of the materials they contain due to the intense winter conditions, can be evacuated in the desired time, with less cost and without interrupting the material shipments. In this study, a wagon heating hall was designed for iron and anthracite coal, which are the two most important raw materials used in steel production, and time-dependent heat transfer analyses of frozen iron and anthracite coal were carried out, and the defrosting times of these materials were determined. In this context, first of all, a heat-insulated wagon heating hall in accordance with railway standards was designed to prevent heat loss. Blast furnace gases, which are used as waste gas in iron and steel plants and contain a high amount of heat, will be sent to the combustion chamber designed in this study and the air to be drawn from the environment will be heated, and the heated air will be sent to the

heating hall with the help of blowers and pipeline, and evacuation of the materials frozen during shipment inside the wagon will be provided to easily.

In the study, heat loss calculations were made for the designed wagon heating hall, combustion chamber and pipelines, and the amount of heat required for the defrosting of the wagon and the material was determined. Then, time dependent heat transfer analyses were carried out for both iron and anthracite coal and the required times for the core temperatures of the materials to remain between 3 °C and 8 °C were calculated and the core temperatures of the materials in the wagon were determined. In the analyses, the air temperatures blown in the wagon heating hall were changed as 200 °C, 250 °C and 300 °C, and the air velocities were changed as 50 m/s, 75 m/s and 100 m/s, and the results were compared with each other. As a result of the study, the lowest thawing times for iron were determined as 5 hours at 200 °C – 100 m/s and 250 °C – 75 m/s weather conditions, and 4 hours at 300 °C – 100 m/s weather conditions. Under the same conditions, the core temperatures of the iron in the wagon were determined as 4.39 °C, 3.75 °C and 5.43 °C, respectively. In the same conditions, in the results obtained for anthracite coal, it was observed that the anthracite coal did not thaw. The reason for this is that the heat transfer coefficient of anthracite coal is much lower than that of iron.

The study is applicable to all iron and steel businesses whose internal material shipments are provided by rail. By means of the results and solution suggestions, many problems such as, vibration application for the evacuation of the frozen materials in the freight wagons in the winter months, compensation for the damage to the freight wagons after the vibration process, the demurrage fee (delay penalty) applied for the freight wagons that could not be evacuated on time, and inability of the maneuverings of the locomotives in the plant due to the delay will be eliminated.

Keywords : Wagon heating hall, frozen material discharge, transient heat transfer, CFD analysis.

Science Code : 914.12

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren Dr. Öğr. Üyesi Enes KILINÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İŞletme içi veri paylaşımında bulunup tezin önünü açan başta Kardemir A.Ő. Nakliyat ve Lojistik Müdürü Sn. Evrim YETİMOĞLU'na, ardından Demiryolları İŞletme ve Bakım Başmühendisi Sn. Erol ERGİN'e teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
BÖLÜM 3	13
DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI	13
3.1. DEMİRYOLU YÜK VAGONLARI	13
3.2. TCDD YAPI VE YÜK GABARİSİ	17
3.3. HAVA DURUMU TAKİBİ.....	18
3.4. VAGON TAHLİYE TONAJLARI TAKİBİ	19
BÖLÜM 4	21
MATERYAL VE METOT	21
4.1. ISIL ANALİZLER.....	21
4.2. VAGON ISITMA HOLÜ AKIŞ ŞEMASI VE YANMA ODASININ MODELLENMESİ	35
BÖLÜM 5	36

	<u>Sayfa</u>
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	36
5.1. ISITMA HOLÜ TASARIMI VE ISI KAYBI HESABI.....	36
5.2. YANMA ODASI TASARIMI VE ISI KAYBI HESABI	45
5.3. BORU HATTI TASARIMI VE ISI KAYBI HESABI.....	52
5.4. SİSTEM TOPLAM ISI KAYBI	60
5.5. MALZEME ISI İHTİYACI.....	60
5.6. VAGON ISI ENERJİSİ İHTİYACI.....	61
5.7. SİSTEM TOPLAM MALZEME VE VAGON ISI ENERJİSİ İHTİYAÇLARI.....	62
5.8. YANMA ODASI TASARIMI.....	63
5.9. GEREKLİ HAVA DEBİSİNİN HESAPLANMASI.....	68
5.10 MALZEME DON ÇÖZME SÜRESİ HESABI.....	68
BÖLÜM 6	91
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Kiruna bölgesindeki vagon ısıtma holü..... 5
Şekil 2.2.	Svappavaara bölgesindeki vagon ısıtma holü iç dizaynı..... 6
Şekil 2.3.	Doğrudan elektrik akımlı kablo ısıtma ile IH cihazlı ısıtmanın karşılaştırması..... 7
Şekil 2.4.	Depo genel görünümü..... 10
Şekil 2.5.	Depo sensör ve ısıtıcı konumları..... 11
Şekil 3.1.	F tipi vagon genel görünümü..... 15
Şekil 3.2.	F tipi vagon genel çapraz görünümü..... 15
Şekil 3.3.	F tipi vagon yan cephe görünümü..... 16
Şekil 3.4.	F tipi vagon ölçülü alın cephe görünümü..... 16
Şekil 3.5.	Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2019-2020 yılları arası Türkiye kış mevsimi minimum sıcaklıkları haritası..... 19
Şekil 4.1.	Antrasit kömür vagon içi temsili yarı dolu görünümü..... 21
Şekil 4.2.	Vagon içi donmuş antrasit kömür kütlesi..... 22
Şekil 4.3.	Vagon alın cepheler arası görünüm ve ölçüleri..... 24
Şekil 4.4.	Vagon alın cepheden görünüm ve semer yükseklik ölçüsü..... 24
Şekil 4.5.	Vagon alın cepheden üfleç pozisyonları görünümü..... 25
Şekil 4.6.	Vagon alın ve semer parları..... 26
Şekil 4.7.	Vagon semeri ile air domain temas bölgesi..... 27
Şekil 4.8.	Air domain (hol içi hava) mesh uygulaması..... 28
Şekil 4.9.	2 adet üfleme noktası gösterimi..... 28
Şekil 4.10.	Air domain out üst gösterimi..... 29
Şekil 4.11.	Vagon mesh uygulaması..... 29
Şekil 4.12.	Malzeme mesh uygulaması..... 30
Şekil 4.13.	Dikey kalite değeri..... 31
Şekil 4.14.	Eğrilik değeri..... 31
Şekil 4.15.	Dikey ve eğrilik kalite spektrumları..... 32
Şekil 4.16.	İzolasyon malzemesi değerleri..... 33

Sayfa

Şekil 4.17.	Çözüm ekranı gösterimi.	34
Şekil 4.18.	Vagon ısıtma holü genel akış şeması.....	35
Şekil 4.19.	Yanma odası modellemesi.....	35
Şekil 5.1.	Vagon ısıtma holü temsili genel görünümü.....	38
Şekil 5.2.	Vagon ısıtma holü ölçüleri.	39
Şekil 5.3.	Vagon ısıtma holü yan cepheler ısı kaybı hesabı modellemesi.....	40
Şekil 5.4.	Vagon ısıtma holü kapıları ısı kaybı hesabı modellemesi.	43
Şekil 5.5.	Yanma odası temsili genel görünümü.	45
Şekil 5.6.	4'lü üfleç kolektör grubu temsili genel görünümü.	52
Şekil 5.7.	DN200 boru ısı kaybı modellemesi.....	54
Şekil 5.8.	DN100 boru (hol dışı) ısı kaybı modellemesi.	57
Şekil 5.9.	Vagon semer sacı kütle gösterimi.....	61
Şekil 5.10.	Her bir durum için demir merkez sıcaklıkları.	70
Şekil 5.11.	Durum 1 200 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın ceph.....	70
Şekil 5.12.	Durum 1 200 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan ceph.....	71
Şekil 5.13.	Durum 2 200 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın ceph.....	72
Şekil 5.14.	Durum 2 200 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan ceph.....	72
Şekil 5.15.	Durum 3 200 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın ceph.....	73
Şekil 5.16.	Durum no 3 200 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan ceph.....	73
Şekil 5.17.	Durum no 4 250 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın ceph.....	74
Şekil 5.18.	Durum no 4 250 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan ceph.....	74
Şekil 5.19.	Durum no 5 250 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın ceph.....	75
Şekil 5.20.	Durum no 5 250 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan ceph.....	75

Sayfa

Şekil 5.21.	Durum no 6 250 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.....	76
Şekil 5.22.	Durum no 6 250 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.....	76
Şekil 5.23.	Durum no 7 300 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.....	77
Şekil 5.24.	Durum no 7 300 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.....	77
Şekil 5.25.	Durum no 8 300 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.....	78
Şekil 5.26.	Durum no 8 300 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.....	78
Şekil 5.27.	Durum no 9 300 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.....	79
Şekil 5.28.	Durum no 9 300 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.....	79
Şekil 5.29.	Durum numarasına göre antrasit kömür merkez sıcaklığı grafiği.....	80
Şekil 5.48.	Kabulü yapılan hol içi hava sıcaklık değeri ölçüm noktası.....	90
Şekil 5.49.	Demir için Durum 1 şartlarında vagon cidar sıcaklığı.....	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Yük vagonlarının tipleri ve kullanım sahası.	14
Çizelge 3.2. F tipi yüksek kenarlı vagon teknik özellikleri.....	17
Çizelge 3.3. TCDD yapı ve yük gabarisi.	18
Çizelge 3.4. Kardemir A.Ş. Nakliyat ve Lojistik Müdürlüğü 2017 yılı demiryolu yük vagonları tahliye tonajları.....	20
Çizelge 4.1. Temas bölgeleri özellikleri.	27
Çizelge 4.2. Malzeme özellikleri çizelgesi.	33
Çizelge 5.1. Hol yan cepheler ısı direnç hesabı.	41
Çizelge 5.2. Hol yan cepheler ısı kaybı hesabı.	41
Çizelge 5.3. Vagon ısıtma holü alın cepheler de dahil çatı cephe ısı direnç hesabı. 42	
Çizelge 5.4. Vagon ısıtma holü alın cepheler de dahil çatı cephe ısı kaybı hesabı... 43	
Çizelge 5.5. Hol kapıları ısı direnç hesabı.	44
Çizelge 5.6. Hol kapıları ısı kaybı hesabı.	44
Çizelge 5.7. Isıtma holü toplam ısı kaybı.....	45
Çizelge 5.8. Yanma odası yan cepheleri ısı direnç hesabı.	47
Çizelge 5.9. Yanma odası yan cepheler ısı kaybı hesabı.	47
Çizelge 5.10. Yanma odası çatı cephe (alın dahil) ısı direnç hesabı.....	48
Çizelge 5.11. Yanma odası çatı cephe (alın dahil) ısı kaybı hesabı.....	49
Çizelge 5.12. Yanma odası kapılar ısı direnç hesabı.	50
Çizelge 5.13. Yanma odası kapılar ısı kaybı hesabı.	51
Çizelge 5.14. Toplam yanma odası ısı kaybı.	51
Çizelge 5.15. DN200 boru ısı direnç hesabı.	55
Çizelge 5.16. DN200 boru ısı kaybı hesabı.....	56
Çizelge 5.17. DN100 boru (hol dışı) ısı direnç hesabı.....	58
Çizelge 5.18. DN100 boru (hol dışı) ısı direnç hesabı.....	59
Çizelge 5.19. Borular toplam ısı direnç hesabı.	59
Çizelge 5.20. Sistem toplam ısı kaybı hesabı.....	60
Çizelge 5.21. Toplam demir ve vagon ısı ihtiyaçları	62

Sayfa

Çizelge 5.24. Hava sıcaklığına bağlı yoğunluk tablosu	65
Çizelge 5.26. Antrasit kömür için hava şartları, don çözülme süresi ve malzeme merkez sıcaklık tablosu.	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Alan
P	: Basınç
q	: Birim kütle için ısı geçişi
w	: Birim kütle için iş geçişi
\dot{E}	: Birim zamanda enerji geçişi
\dot{Q}	: Birim zamanda ısı geçişi
\dot{W}	: Birim zamanda yapılan iş
L	: Boy
D	: Çap
I	: Elektrik akımı
E	: Enerji
h	: Entalpi
L	: Et kalınlığı
kHz	: Frekans
V	: Hacim
\dot{v}	: Hacimsel debi
V	: Hız
Q	: Isı ihtiyacı
u	: İç enerji
J	: Joule
kJ	: Kilo joule
kW	: Kilo watt
ke	: Kinetik enerji
m	: Kütle
\dot{m}	: Kütleli debi

MW : Mega watt
m² : Metre kare
m³ : Metre küp
R : Mükemmel gaz hava gaz sabiti
k : Ortalama ısı iletkenlik
 ν : Özgöl hacim
pe : Potansiyel enerji
 ν : Potansiyel fark
h : Saat
c_p : Sabit basınçta özgöl ısı
c_v : Sabit hacimde özgöl ısı
T : Sıcaklık
R : Temas direnci
W : Watt
r : Yarıçap
 ϵ : Yayıcılık katsayısı
g : Yerçekimi ivmesi
 ρ : Yoğunluk
z : Yükseklik
t : Zaman

Alt İndisler:

1 : 1. durum
2 : 2. durum
ç : Çıkan
g : Giren
kh : Kontrol hacmi
ort : Ortalama
h : Hol
hd : Hol dışı
hyc : Hol yan cepheler

hyct : Hol yan cepheler tek taraf
haç : Hol alın ve çatı cepheler
hk : Hol kapılar
hkt : Hol kapıları tek taraf
∞ : Sonsuz
y : Yanma odası
yyc : Yanma odası yan cepheler
yyct : Yanma odası yan cepheler tek taraf
yaç : Yanma odası alın ve çatı cephe
yk : Yanma odası kapılar
ykt : Yanma odası kapılar tek taraf

KISALTMALAR

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
DN : Diameter Nominal (Nominal Çap)
IH: : Induction Heating (İndüksiyonlu Isıtma)
TSR : Turkish State Railways (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları)
TCDD : Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demiryolu, koşut iki ray döşenerek yapılan ve üzerinde çelik alaşım tekerlekli araçların yürüdüğü yol olarak tanımlanabilir. Demiryolu taşımacılığı yüksek hacimli ürünlerin uzun mesafelere düşük maliyetlerle taşınmalarını sağlayabilmektedir. Güvenilir ve takip kolaylığı sağlayan birçok hizmet sunabilmekte olup, ulaştırma süreleri bakımından da sabittirler. Bu yönleriyle ekonomik olmalarıyla birlikte, çevreye verdikleri zarar da diğer taşımacılık yöntemlerine göre oldukça düşüktür. Bu nedenlerle, ülkeler demiryolu hatlarının bakımı, yenilenmesi, yeni hat montajları, vagon ve lokomotiflerin bakımı ve satın almaları, demiryolunda çalışacak personel istihdamı, hizmet binaları restorasyonu ve yeni inşaları, makine ve teçhizat yenilemeleri, yeni demiryolu taşıtları bakım merkezleri gibi birçok yatırıma yönelmiştir. Bu yatırımların ilk maliyetleri yüksek olmasına rağmen, kullanım ömürleri, stabiliteleri ve geri kazanım süreleri düşük olduğundan yatırımlara ülkemiz de dahil olmak üzere artırılarak devam edilmektedir. 2000 yılında Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde elektrikli hatlar da dahil olmak üzere toplam 10 922 km demiryolu hattı bulunurken, bu sayı yeni yatırımlarla 2019 sonu itibariyle, devlet tarafından 12 803 km'ye çıkarılmıştır [1]. 2000 yılından farklı olarak 2019 yılı rakamına 1 213 km yüksek hızlı tren hatları da dahildir [2].

Demiryolu taşımacılığı, entegre demir çelik tesislerinde de büyük rol oynamaktadır. Kardemir A.Ş. baz alındığında; işletme içi demiryoluyla sağlanan sevkiyat türleri, yüksek fırınlardan çelikhaneye mai demir madeni (torpido ve potalarla), harmanlama sahasına kömür tozu; demir cevheri; kalibre cevher ve pelet cevher (F tipi yüksek kenarlı vagonlarla), yüksek fırın ve çelikhaneden cüruf sahalarına mai demir ve çelik maden cürufu (potalarla) olmak üzere 3 ana grupta toplanmaktadır. Bu 3 ana grup sevkiyatın demiryoluyla gerçekleşmesinin temel nedenleri arasında düşük maliyet birinci sırada gelmektedir. Ek olarak; 2021 yılı sonu itibariyle 4 milyon ton/yıl mai

çelik üretim hedefi sebebiyle bu denli ağır tonajın sevkiyatı için başka bir alternatif taşıma yönteminin bulunmaması, ayrıca Kardemir A.Ş.'nin kendisinin üretilen kendi demiryolları montajında kullandığı 46 E2 tipi raylar ve özellikle mai madenlerin ihtiva ettiği yüksek sıcaklık da diğer sebepler arasındadır. İşletme içerisinde bulunan 32 km demiryolu hattı, Kardemir A.Ş.'ye ait 12 adet lokomotif ve toplamda 148 adet nakliyat ve lojistik personeli ile gerçekleştirilen bu sevkiyatlarda, 3 vardiya sistemi bulunmakta olup, her vardiyada lokomotiflerin ilgili vardiyada hangi sahalarda ve kaç adet bulunması gerektiği gün başlangıcında belirlenmektedir [3].

Eren Limanı ve Zonguldak Limanı'ndan Kardemir A.Ş.'ye sevk edilen demir ve çelik üretim hammaddesi yurtdışından; Kütahya, Balıkesir, Sivas'ın Hekimhan ilçesi, Kayseri ve Ankara'nın Yahşiyen ilçesi başta olmak üzere, Türkiye'nin çeşitli maden yataklarından yurtiçi tedarik ve demiryoluyla sevk edilmekte olup, don probleminin temelini ise madenlerden çıkarılan demir cevheri, kömür tozu ve pelet cevherinin yıkama işlemine tabi tutulması (yıkama işlemi yapılmassa dahi madenin kendisinde bulunan % nem oranı), vagonlara yüklenmesi ve kış ayında fabrikaya demiryolu vagonlarıyla sevkleri sırasında yolda çok şiddetli ayaza maruz kalarak vagonun içindeki malzemelerin donması oluşturmaktadır. TCDD lokomotifleriyle Kardemir A.Ş.'ye sevk edilen vagonlar, öncelikle TCDD/Ülkü İstasyonu sevk ve teslim demiryollarına getirilmekte, giriş işlemlerine müteakip, vagonlar Kardemir A.Ş. Nakliyat ve Lojistik Müdürlüğü'ne bağlı lokomotifler tarafından devralınarak işletme içi ilgili tahliye sahasına sevkleri sağlanmaktadır. İlgili vagon dizisi, yeraltı bunkerlerine deşarjlarının sağlanması için lokomotif tarafından getirilmekte ve Kardemir A.Ş. tarafından alt işveren firma tahliye personeli ve Kardemir A.Ş. Nakliyat ve Lojistik Müdürlüğü Demiryolları İşletme ve Bakım Başmühendisliği kontrolünde vagon kapakları açılmak suretiyle tahliyeleri sağlanmaktadır. Ancak, kış aylarında bu tahliye işlemi vagon kapaklarının çoğu zaman don nedeniyle açılmamasına dahi sebep olabilmektedir. Beton kırıcı ile vibrasyon müdahalesi de uygulanmasına rağmen tahliye sağlanamamakta, vagon ve vagon içi malzemenin donunun çözülmesi beklenmektedir. Dizi başında vagonlarla birlikte hem tahliye personeli beklemekte, hem demiryolu boşa işgal edilmiş olmakta, hem kırıcı operatörü ve kırıcı iş makinesi sahada beklemekte, kok fabrikaları ve yüksek fırınlar zamanında şarj alamamakta,

diziye sefer ve tahliye için tahsis edilen lokomotif de dizi başında mecburi olarak beklemektedir.

Bu çalışmanın amacı, kış şartları nedeniyle dona maruz kalmış ve yük vagonlarından tahliyeleri sağlanamayan malzemelerin tahliyelerini sağlayabilmektir. Söz konusu amacı gerçekleştirmek için çalışma 6 ana bölüme ayrılmıştır. Bu ayrılan bölümler kapsamında, birinci bölümde; demiryolları hakkında genel bilgiler verilmiş olup vagon ısıtma holüne neden ihtiyaç duyulduğu izah edilmiştir. İkinci bölümde; konuya ilişkin muadil literatür çalışmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde; demiryolu taşımacılığı ve demiryolu yük vagonları, TCDD yapı ve yük gabarisi, tez konusu içerisinde sevkiyatları yapılan illerin hava durumları ve Kardemir A.Ş. vagon tahliye tonaj bilgileri verilmiştir. Dördüncü bölümde; vagon ısıtma holü akış şeması çizilerek, sistemin termodinamik modellemesi şeklen izah edilmiş, hesaplamalara ilişkin teorik yaklaşımlar verilmiş, Ansys yazılımında don çözme süresine ilişkin analiz şartları detaylı olarak anlatılmıştır. Beşinci bölümde; tasarlanacak olan ısıtma holü, yanma odası ve boru hatları ısı kayıpları, sistemin toplam ısı kaybı, malzeme, vagon ve sistem toplam ısı ihtiyaçları hesaplanmış, yanma odası tasarımı gerçekleştirilmiş ve sistemde don çözümüne yönelik kullanılacak olan hava şartlarını sağlayacak hava debisi seçimi yapılmış, malzeme donunun çözülmesine ilişkin don çözme süresi; tüm sistem Ansys yazılımına aktarılarak simüle edilmiş; 200 °C, 250 °C ve 300 °C hava sıcaklığı ve her 3 adet sıcaklık şartı için de ayrı ayrı uygulanmak koşuluyla 50 m/s, 75 m/s ve 100 m/s olmak üzere 3 adet hava hızı şartı; çelik üretim hammaddelerinden olan demir için uygulanmış, analiz sonucu demir hammaddesi için elde edilen don çözme süreleri antrasit kömüre uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Altıncı bölümde ise, net sonuçlar analiz sonuçlarıyla birlikte güçlendirilerek verilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Demir ve çelik işletmelerinde iç ve dış sevkiyatı demiryolu ile sağlanan toz ve pelet halindeki hammadde, yoğun kış şartları nedeniyle dona maruz kalmakta ve işletme içerisinde tahliye edilememektedir. Daha önceki makale ve tezlerde vagon içerisinde donan malzemenin çözülmesine ilişkin sadece soruna yönelik atıf yapılmış, bilgisayarlı termal analize gidilmemiş hem süreye hem de sıcaklık dağılımlarına ilişkin net bir analiz ortaya konulmamıştır. Tezde ele alınacak olan malzemenin antrasit kömür ve demir olması nedeniyle, analiz sonucunda ortaya çıkarılacak olan sürenin, günümüz demir ve çelik üretim temel hammaddelerinin ısı iletim katsayılarının karşılaştırılmaları yoluyla, don sürelerinin, tezde ele alınan analiz sonundaki çözülme süresi baz alınarak daha uzun ya da daha kısa sürmesi, sıcaklık dağılımı varyasyonları ile ilgili yoruma açık bir hale getirme fırsatı sunacak olup, aynı zamanda farklı hava şartlarının farklı iki malzeme üzerindeki etkileri de net olarak ortaya konulmuş olacaktır.

Bu kapsamda, Garg (1979) yaptığı çalışmada, maden malzemelerinin kullanılabilir hale gelmeleri için gerekli 5 ana prosesi olan delme ve patlatma, kazma ve öğütme, sevk, elleçleme ve konstrüksiyon aşamalarının her birinde, donmuş malzemenin ortaya çıkardığı problemlere değinmiştir [4].

Ragneberg et al. (20..) yaptıkları çalışmada, İsveç'in 365 gün boyunca minimum -40 °C sıcaklıkta kalan kuru ve soğuk bir bölgesi olan Kiruna bölgesindeki demiryolu taşımacılığında, donan malzemelerin tahliyesindeki sorunu ortadan kaldırmak için 30 metre uzunluklu iki ucu açık olarak inşa edilen bir holün içerisine boru hattı montajı yapılarak, hol dışında sürekli olarak izoleli bir tankta 50 °C sıcaklıkta tutulan suyun boru hattında sirküle ettirilerek don çözülmesinin sağlanmaya çalışıldığına değinmişlerdir. Hol genel görünüşü Şekil 2.1'de gösterilmiştir [5].



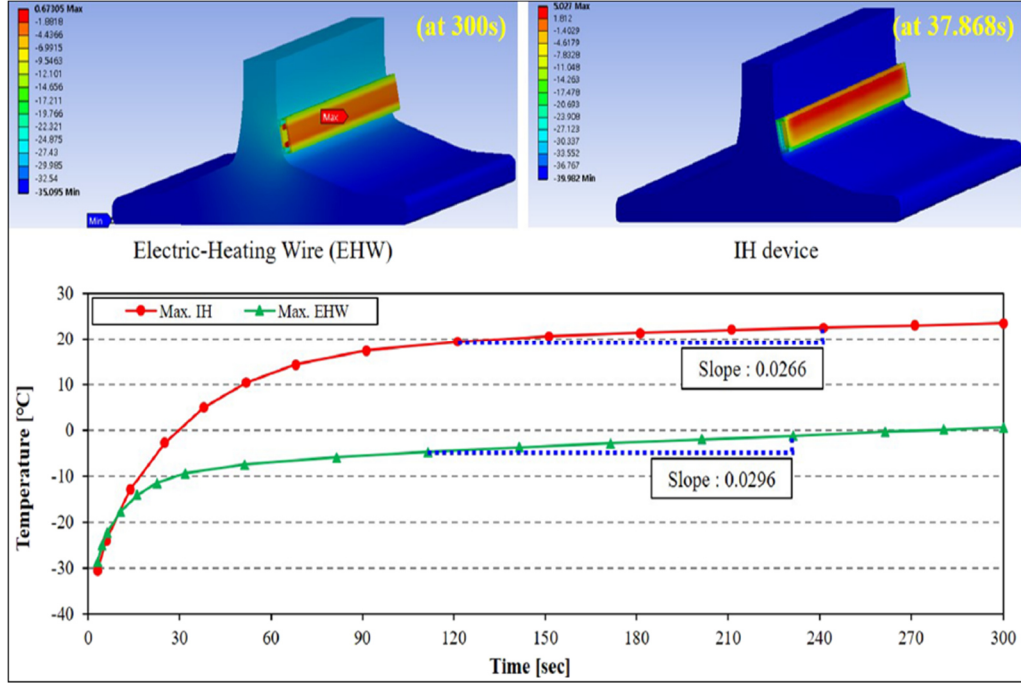
Şekil 2.1. Kiruna bölgesindeki vagon ısıtma holü.

Yine aynı çalışmada İsveç'in Svappavaara bölgesinde Kiruna bölgesindekinden farklı olarak, dona maruz kalmış vagonlara 2.0 MW güç kullanan bir gaz brülöründe LPG yakılarak, enerji havaya aktarılmış; fan vasıtasıyla 200 °C sıcaklıktaki havanın ısıtma holü içerisine boru hattıyla sevk edilerek doğrudan üflenmesiyle don çözülmesinin sağlanmaya çalışıldığına değinilmiştir. Sistem, uygulanışı bakımından bu çalışma ile örtüşmektedir. Ancak ilgili makale, don çözme süresi ve hem vagon hem malzeme içi sıcaklık dağılımı hem de hol içi hava sıcaklık dağılımına ilişkin net sonuç verememektedir. Hol içi boru hattı montajı Şekil 2.2'de gösterilmiştir [5].



Şekil 2.2. Svappavaara bölgesindeki vagon ısıtma holü iç dizaynı.

Oh et al. (2019) yaptıkları çalışmada, aşırı donun demiryolları makaslarındaki hareketi engellemesi, demiryolu makaslarında aktif kullanılmakta olan 250 kHz-200 W sınıfı indüksiyonlu ısıtma sistemine karşılık daha hızlı ve efektif ısıtma sağlayan IH sistemi önermiş ve iki sistemi Şekil 2.3'te karşılaştırarak önerdiği sistemin ilerideki montajlarda kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada ele alınan ısıtma sistemi, demiryollarının doğrudan kendisi ile alakalı olup, ısıtma uygulaması ve termal analiz yönüyle bu çalışma ile örtüşmektedir [6].



Şekil 2.3. Doğrudan elektrik akımlı kablo ısıtma ile IH cihazlı ısıtmanın karşılaştırması.

Yansheng et al. (2011) yaptıkları çalışmada, yüksek hızlı demiryolu hatlarında, hatta ait elektrik enerjisini taşıyan katanerlerin buz tabakası ile kaplanmasının, hattı ve demiryolunda seyreden diziyi ciddi derecede etkilediğini belirterek, katanere yüksek akım verme yoluyla açığa çıkan enerjinin, buzun çözülmesinde kullanılmasının en uygun yöntem olduğunu vurgulamış ve kataner hatlarındaki farklı kablo kombinasyonlarına göre verilmesi gereken akımları mesafeleri de kapsayacak şekilde hesaplamışlardır [7].

Wang et al. (2018) yaptıkları çalışmada, yüksek hızlı trenlerin, boji alt yürür takımlarına akuple yön saptırıcının, boji ve çevresinde neden olduğu buzlanmaya karşı etkilerini araştırmış olup saptırıcıların boji üst yüzeyine karı ittiğini, daha sonra yüksek hızdan dolayı üst yüzeyde tutunamayan karın gravitasyon etkisine bağlı olarak yere düştüğünü, yığılma olsa da saptırıcıların yığılmayı da optimize ettiğini tespit etmişlerdir. Çalışmada boji alt yürür takımına akuple farklı 2 açılı yön saptırıcılarının boji üzerindeki kar ve buz konsantrasyonlarına göre dağılımları belirlenmiş, seyir halinde bojide oluşan basınç ve akım çizgileri verilmiştir [8].

Kacira et al. (2016) yaptıkları çalışmada, salatalık bitkisinde kalsiyum eksikliği ile meydana gelen uç yanıklığını önlemek veya asgari seviyeye düşürebilmek için, genel uygulanan metotlardan biri olan salatalığın yaprak yüzeyine hava tedarikinin artırılabilmesi adına, rafların üzerinden bitkiye uygulanacak delikli bir boru tasarımı yapmışlardır. Çalışmada, tasarlanan boru raflarda 4 ayrı şekilde pozisyonlandırılarak en verimli hava dağılımları CFD analizi ile incelenmiş ve farklı hız ve sıcaklıktaki hava dağılımları elde edilerek sistem optimize edilmiştir [9].

Smolka et al. (2013) yaptıkları çalışmada, CFD analizi yaparak doğal akışlı bir tav fırınındaki sıcaklık dağılımlarını ve akış hızlarını incelemiştir. Toplamda aynı sürelerde uygulanan ve 3 varyant içeren bu çalışmada, 1. varyantta hiçbir şekilde müdahalede bulunulmadan stabil çalışma düzeninde fırın çalıştırılmış, 2. varyantta ise fırında 4 adet bulunan U tipi ısıtıcılardan en soldakinin arızalı olduğu kabul edilmiş ve diğer şartlar varyant 1 ile özdeş tutulmuş, 3. varyantta ise fırın arkasında bulunan yatay akış kanalları kapatılmış ve diğer tüm özellikler 1. varyant ile özdeş olarak tutulmuştur. Çalışmada fırın üst rafındaki sıcaklık ölçümleri, hesaplanan sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve hata oranları verilmiş, ayrıca fırın içerisindeki sıcaklık dağılımları tüm varyantlar için elde edilmiştir. 2. varyantta fırın içi sıcaklık dağılımı homojenliğini kaybederek fırının sağına doğru hareket etmiş olmakla birlikte, 3. varyantta uygulanan fırın arka ve yatay hava kanallarının kapatılmasının fırın içi hava sıcaklık dağılımını beklenenin aksine negatif etkilediği ve hem fırın taban sıcaklığını hem de fırın tavan sıcaklığını düşürdüğü açıkça görülmüştür. Isıtma holü içi hava sıcaklık dağılımına verimli bir hava sirkülasyonunun pozitif yönde katkı sağlayabileceği yönüyle bu çalışma ile örtüşmektedir [10].

Khor et al. (2015), tavandan infrared ısıtıcılı ve hava sirkülasyon fanına sahip yeniden akışlı bir tav fırınında yaptıkları deneysel çalışmada, 2 adet elektronik devre kartının fırında tavlanması ve tavlama prosesi sonucunda ortaya çıkan sıcaklık dağılımlarını incelemiştir. Tav prosesi sırasında deneysel olarak toplamda 60 adet termokupl ile ölçüm yapılmıştır. Sonlu hacim yönetimiyle yapılan CFD analizleri ve deneysel sonuçlar, fırın içinde aynı yükseklikte ancak fırının derinliğine bağlı olarak birbiri ardına gelecek şekilde seçilen 7 farklı pozisyon üzerinden alınarak birbirleriyle

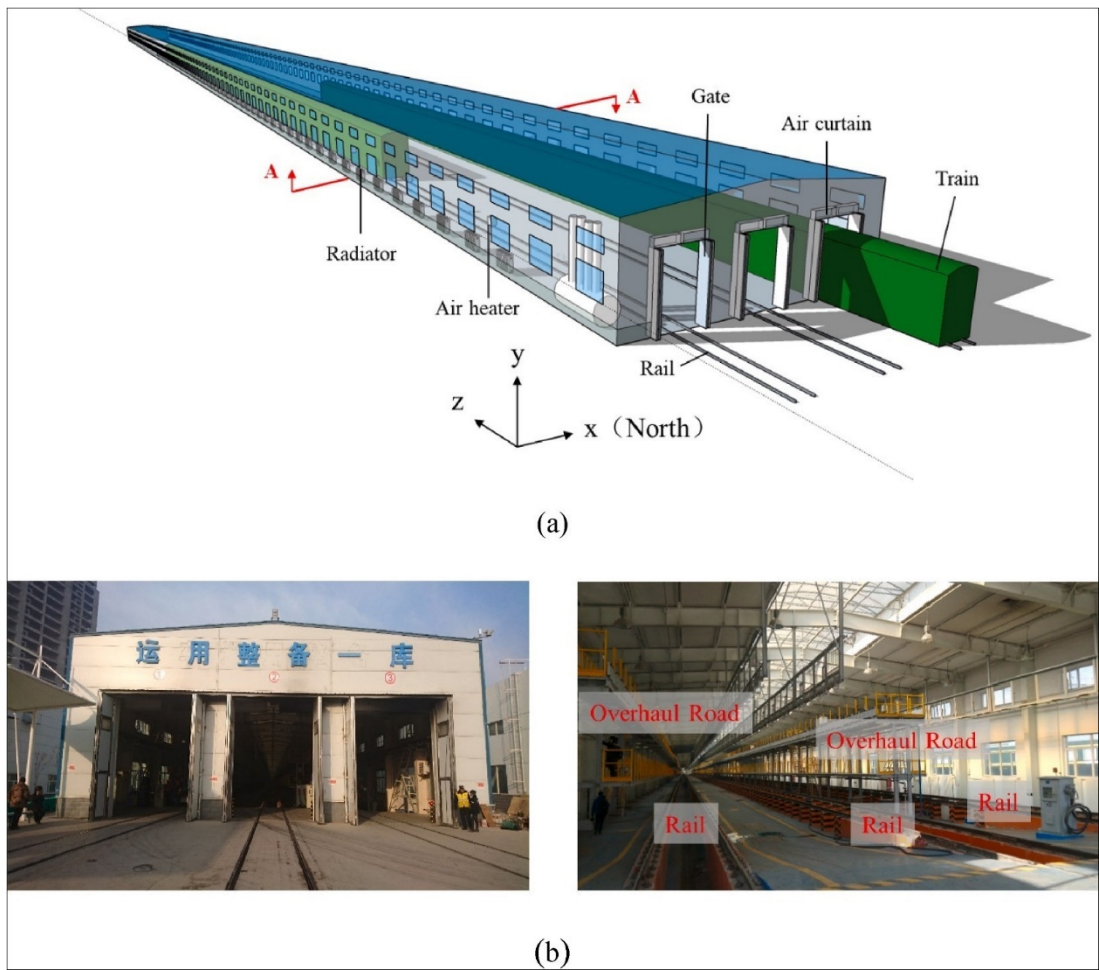
karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, fırın içerisinde tav prosesi sırasında hiçbir noktanın homojen olarak sıcaklık dağılımı sağlamadığı, ilk 4 nokta olan P1, P2, P3 ve P4 sıcaklıklarının birbirlerine yakın değerlerde olmasına sirkülasyon fanının zorlanmış taşınımı artırarak katkı sağladığı, P5, P6 ve P7 noktalarının ise sirkülasyon fanından uzakta kalmasından dolayı ilk 4 pozisyon kadar ısı akısından faydalanamadığı tespit edilmiştir [11].

Lee et al. (2021) yaptıkları çalışmada, konut tipi ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan klimaların montaj pozisyonlarının maksimum konfora etkisini araştırmışlardır. Öncelikli olarak hem ısıtma hem de soğutma modları için 5 adet yükseklik pozisyonu ölçümlerinden sonra en uygun montaj yüksekliğinin 1 860 mm olduğu tespiti yapılmış, daha sonra 3 600 mm x 2 200 mm x 2 700 mm ölçülerine sahip odada, 1 860 mm seviyesi değiştirilmeden klimanın uzun duvar tarafı (LS) ve kısa duvar tarafına (SS) montajları sonrası 9 farklı noktadan alınan sıcaklık ölçümleri değerlendirilmiştir. Isıtma modunda iki montaj pozisyonu için gözle görünür bir değişiklik olmamasına rağmen, soğutma modunda kısa duvar tarafının (SS) daha efektif bir soğutma sağladığı tespiti yapılmıştır. Soğutma ve ısıtma olmak üzere farklı 2 moddaki çalışma için oda içerisinde oluşan sıcaklık dağılımları CFD analizi ile elde edilmiştir [12].

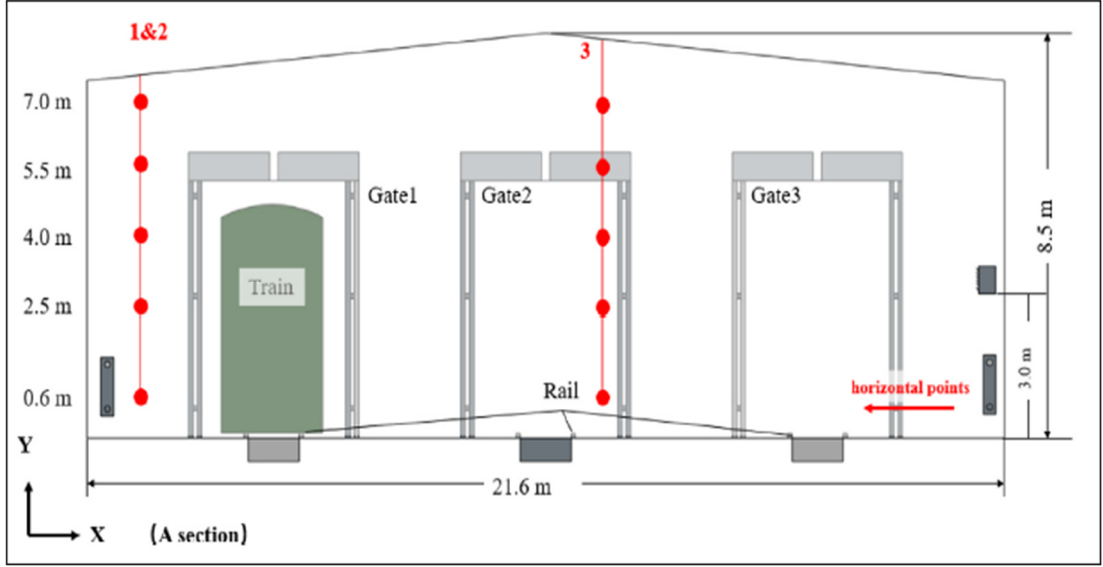
Millar and Schafrik (2015) yaptıkları çalışmada, maden endüstrisinde kırık kaya topluluklarından hava emişi sırasında oluşan basınç kayıplarını tespit edebilmek amacıyla laboratuvar ortamında bir deney düzeneği oluşturmuşlardır. 24 °C sıcaklıkta ve ABS430 malzemeden üretilmiş plastik küreler deney numunesi olarak kullanılmıştır. Deney sırasında sürekli sıcaklık ölçümleri amacıyla numune içerisine 6 adet termistör yerleştirilmiş, ayrıca -20 °C ve 5.75 L/s debideki hava girişten olmak üzere 5 saat uygulanmıştır. Çalışma sonucunda malzeme içerisindeki sıcaklık dağılımları incelenmiştir [13].

Zhang et al. (2020) yaptıkları çalışmada, Çin'in kuzeyindeki soğuk bir bölgede inşa edilen bir demiryolu deposundaki ısıtma sistemlerini 5 farklı senaryoda incelemiş ve senaryo 3 için bir CFD analizi gerçekleştirmişlerdir. Analiz için ele alınan depo 3 girişli sahiptir. Depo genel görünüşü Şekil 2.4'te, ölçüm noktası sensör konumları, radyatör

ve fanlı hava ısıtıcı pozisyonlarını da içerecek şekilde Şekil 2.5'te verilmiştir. Yapılan CFD analizleri sonucunda fanlı hava ısıtıcısının tek başına kullanılmasında yatay düzlemde yüksek seviyeye montajlarından dolayı etki sınırlarının çok dar olduğu, ancak altındaki radyatörlü ısıtıcıyla birlikte kullanıldığında daha verimli bir ısıtma sağlandığı tespit edilmiştir. Çalışmada demiryolu deposu incelendiğinden bu çalışma ile örtüşmektedir. Ayrıca yapılan çalışmanın giriş bölümünde demiryolları depoları ısıtma ve soğutma sistemleri hakkındaki literatürün çok kısıtlı olduğu ve daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu açıkça belirtilmiştir [14].



Şekil 2.4. Depo genel görünümü.



Şekil 2.5. Depo sensör ve ısıtıcı konumları.

Jain et al. (2020) yaptıkları çalışmada, iki giriş ve bir çıkışlı soğutma sistemine sahip bir ısıtma yatağında, aynı şartlarda hem soğutmalı ve soğutmasız olmak üzere, hem de ısıtma yatağı üzerindeki sıcaklık dağılımlarını, soğutmalı sistemde soğutma suyunun sistemdeki sirkülasyon hızına göre CFD analiziyle karşılaştırmışlardır. 0.75 m/s, 1.5 m/s ve 2.25 m/s olmak toplam üç adet soğutma suyu sirkülasyon hızı varyasyonu ile yapılan bu çalışmada, her üç sirkülasyon hızında da ısıtma yatağında homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiş, ancak sirkülasyon hızı 0.75 m/s'den 2.25 m/s'ye çıkarıldığında, ısıtma yatağı alt yüzey sıcaklığı %51.4 oranında gerilemiştir. Çalışmada sirkülasyon hızının özellikle makine alanında ihtiyaca göre daha hızlı bir soğutma için avantaj olabileceği vurgulanmıştır [15].

Yu et al. (2020) yaptıkları çalışmada, deşarj sırasında soğutmalı batarya paketleri içerisindeki sıcaklık dağılımlarını gösterebilmek için bir CFD analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, boyları 6.5 cm, çapları 1.8 cm olmak üzere toplamda 23 adet batarya, soğutma prosesini gerçekleştirecek olan 40 mm pervane çaplı bir fan ve başlangıç, 70 ve 140. saniyeler olmak üzere toplamda 3 adet zaman varyasyonu kullanılmış olup, her 3 varyasyon için batarya paketi içerisindeki sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Buna göre başlangıçta 20 °C sıcaklıkta ve homojen bir sıcaklık dağılımına sahip olan bataryaların, 70. saniyede neredeyse hala üst bölgeler olmak üzere 20 °C sıcaklıklarını korudukları, akışın aşağıya doğru yönlenmesiyle alt

bölgelerin sıcaklıklarının kademeli olarak artışa geçtiği, alt bölgenin hem 70 hem de 140. saniyede daha hızlı artış göstererek 35 °C'ye kadar ulaştığı tespit edilmiştir. 7. ve 23. bataryalardan deneysel ölçümler de alınarak CFD analizleriyle karşılaştırılmış, deneysel sonuçlara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir [16].

Yeom et al. (2020) yaptıkları çalışmada, belirli şartlarda ısı ihtiva eden bir hava kütleinin malzeme üzerine çarptırılmasını ve bunun akabinde malzeme yüzeyindeki sıcaklık dağılımlarını incelenmişlerdir. Çalışmada 0° ve 45° olmak üzere 2 farklı üfleme açısında malzemeye uygulanan hava şartları sonucunda silindirde meydana gelen sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Buna göre, üfleme nozulunun başlangıç konumu da göz önüne alındığında, aynı Reynolds sayısında, 45° açılı üfleme nozulu için daha verimli bir ısıtma ve sıcaklık dağılımı sağlanabildiği vurgulanmıştır [17].

BÖLÜM 3

DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI

3.1. DEMİRYOLU YÜK VAGONLARI

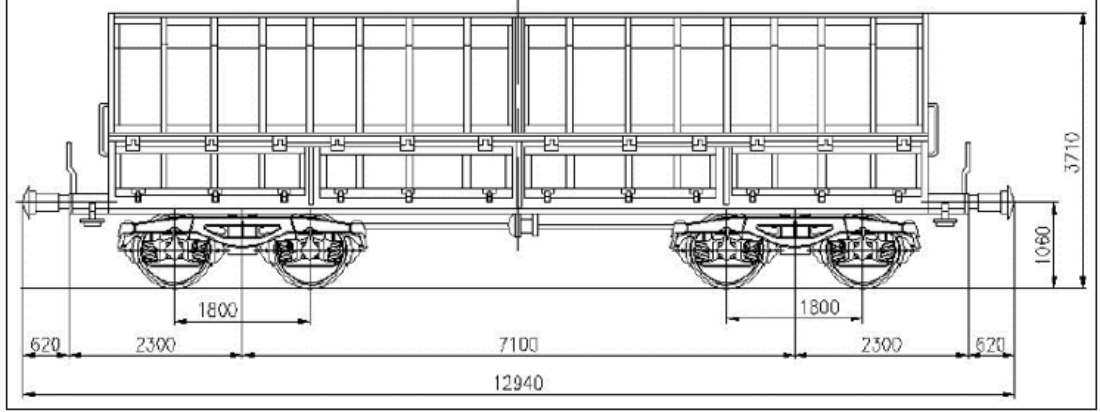
Yük vagonları, sevk edilecek olan malzemelere göre üretilmiş, boji grubu ve yine çelik alaşım demiryolu tekerlekleri üzerinde hareket eden ve lokomotifle koşumlarıyla bağlanmak suretiyle tahrik edilen yük taşıma araçlarıdır. Yük vagonlarının kullanım sahasına göre tipleri TCDD standartlarına göre Çizelge 3.1’de ifade edilmiş olup bu çalışmanın konusunu hem TCDD’nin hem de Kardemir A.Ş.’nin demir ve çelik üretim hammaddesi sevki için kullandığı F tipi (Fals) yüksek kenarlı vagonlar oluşturmaktadır [18].

Çizelge 3.1. Yük vagonlarının tipleri ve kullanım sahası.

Vagon Tipi	İnşa Tarzı	Kullanım Özellikleri
G	Kapalı Vagon	Kapalı vagon ile her türlü ev eşyası, gıda maddesi, torbalı çimento, gübre, canlı hayvan vb. taşımalar yapılır
H	Kayar Yan Duvarlı Kapalı Vagon	Paletli eşya vb. taşımalar yapılır.
E	Yüksek Kenarlı Vagon	Normal tip yüksek kenarlı vagon ile konteyner, kömür ve her türlü maden cevheri, tuğla, kiremit, demir, boru, kum vb. taşıma yapılır.
K-R	Platform Vagon	Normal tip platform vagon ile taşıt, iş ve tarım makineleri, beton demir ve ağaç, direk vb. taşımalar yapılır.
Rilns	Çok Amaçlı Vagon	Üzeri körüklü tenteye kapatılabilen, platform vagon ile taşıt, paletli araçların taşınması yapılır.
S	Platform Vagon	Özel tip platform vagon ile konteyner, tank, ağır iş makineleri, tır vb. taşımaları yapılır.
F	Yüksek Kenarlı Vagon	Özel tip yüksek kenarlı vagon ile kömür ve her türlü maden cevheri taşınması yapılır. Vagon üstten doldurulur, yandan manuel boşaltma tertibatı ile boşaltılır.
Ug	Özel Tip Vagon	Dökme hububat taşınması yapılır. Vagon üstten doldurulur, alttan manuel boşaltılır.
Z	Sarnıçlı Vagon	Sıvı taşımaya mahsus sarnıçlı vagon ile her türlü akaryakıt ve sıvı taşınması yapılır.
Uaa	Ağır Yük Vagonu	Trafo, jeneratör ve reaktör gibi ağır ve havaleli yüklerin taşınması yapılır. Yük ağırlık aralığı 120, 180 ve 250 tondur.
Ta	Dökme Yük Vagonu	Dökme cevher vb. yük taşımaları yapılır. Vagon üstten doldurulur, yandan boşaltılır.

F tipi vagonların tercih edilme sebepleri arasında, Kardemir A.Ş. içerisinde bulunan konveyör hatlarına şarjın yeraltı bunkerleriyle sağlanıyor olması birinci sırada gelmektedir. Ek olarak; vagon başına 55 m³ malzeme yükleme hacmiyle taşıma maliyeti açısından fiyat/ton olarak özellikle demir ve çelik üretim hammaddesi sevki için en düşük maliyetli ve pratik seçeneği F tipi vagonlar sunmaktadır. TCDD standartlarına göre F tipi vagonların teknik resmi Şekil 3.1’de, gerçek fotoğrafları

Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te, teknik özellikleri ise Çizelge 3.2'de gösterilmiştir [18].



Şekil 3.1. F tipi vagon genel görünümü.



Şekil 3.2. F tipi vagon genel çapraz görünümü.



Şekil 3.3. F tipi vagon yan cephe görünümü.



Şekil 3.4. F tipi vagon ölçülü alın cephe görünümü.

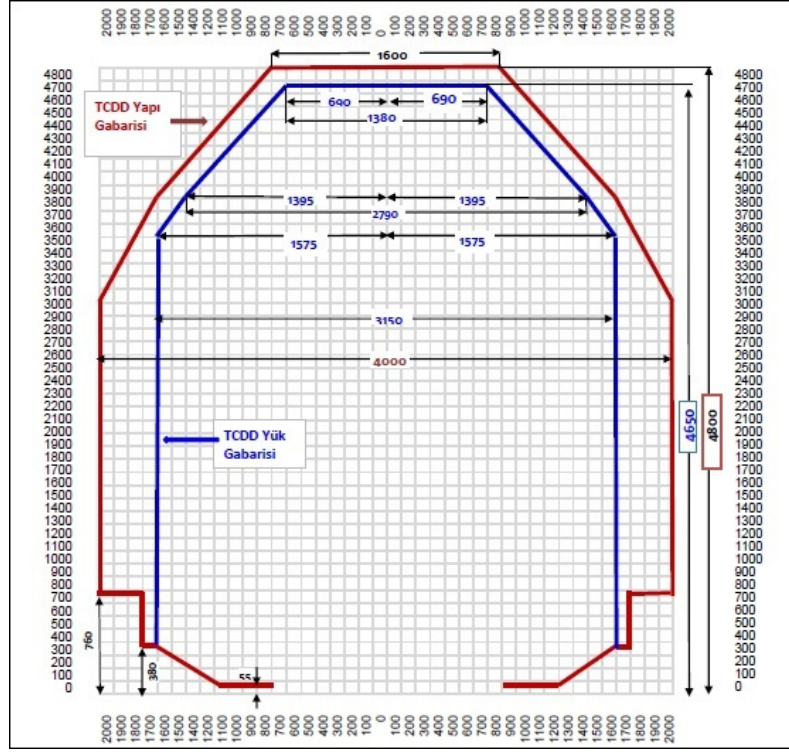
Çizelge 3.2. F tipi yüksek kenarlı vagon teknik özellikleri.

Tip	Fas	Falns	Fals
Seri No	6377001	6441001- 6441532- 6642003	6650331
Yükleme Kapasitesi	53.5 ton	67.5 ton	54 ton
Darası	26.5 ton	22.5 ton	26 ton
Yükleme Hacmi	55 m ³	55 m ³	55 m ³
Platform Yüksekliği	-	1 144 mm	1 250 mm
Yükleme Alanı	-	35 m ²	30 m ²
Yükleme Boyutu	10.5 m	10.466 m	10.20 m
Yükleme Eni	2.2 m	3,11 m	2.94 m
Yan Duvar Yüksekliği	2.4 m	-	2.65 m
Boşaltma Tertibatı	Manuel	Manuel	Manuel
Taban Malzemesi	Sac	Sac	Semerli
Yükleme Sınırları (A)	37.5 ton	40 ton	39 ton
(B)	45.5 ton	49.5 ton	47 ton
(C)	53.5 ton	57.5 ton	54 ton
(D)	53.5 ton	67.5 ton	-

3.2. TCDD YAPI VE YÜK GABARİSİ

TCDD yapı ve yük gabarisi Çizelge 3.3 ile gösterilmiş olup ölçü birimi mm olmak üzere, hol içi hesaplamalarda bu standart göz önünde bulundurulmuştur. Kardemir A.Ş. iç sevkiyatlarını da TCDD vagonları ve standartlarıyla sağlamaktadır. Fabrika içerisindeki barınma hatları da dahil olmak üzere, demiryolu montajları, montajda uygulanan dever, kurplar, periyodik demiryolu bakım ve onarım işleri, geçit gabarileri TCDD standartları kapsamında uygulanmaktadır [18].

Çizelge 3.3. TCDD yapı ve yük gabarisi.

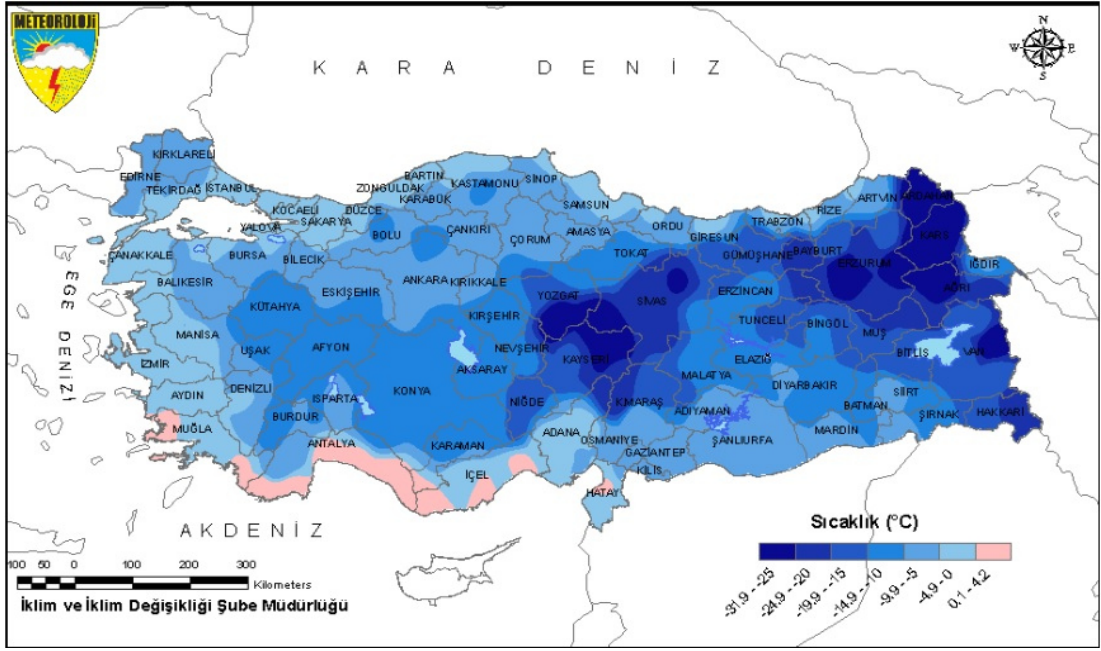


3.3. HAVA DURUMU TAKİBİ

Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, 2019-2020 yıllarına ait kış mevsimi minimum sıcaklıklarına ait illerin hava durumu takipleri Şekil 3.5 ile gösterilmiştir [19].

Harita dikkatlice incelendiğinde, Bölüm 1’de bahsedilen ve Kardemir A.Ş.’nin demir ve çelik üretim hammaddesi tedarik ettiği Zonguldak, Kütahya, Balıkesir, Sivas, Kayseri ve Ankara illerinden, özellikle Kayseri’nin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkla çok şiddetli kış şartlarına maruz olduğu görülmektedir.

Isıtma holüne sevk edilecek havanın önce ısıtılması gerektiği göz önüne alındığında, hesaplamalarda sıcaklığı $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak kabul edilen vagon içi dona maruz hammadde ve Karabük ili için $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ minimum dış ortam sıcaklığı baz alınmıştır. Tasarımı ve inşası planlanan ısıtma holü, işletme içerisinde sevkiyatların duraksamaya uğramaması için en şiddetli kış koşulları göz önüne alınarak tasarlanmıştır.

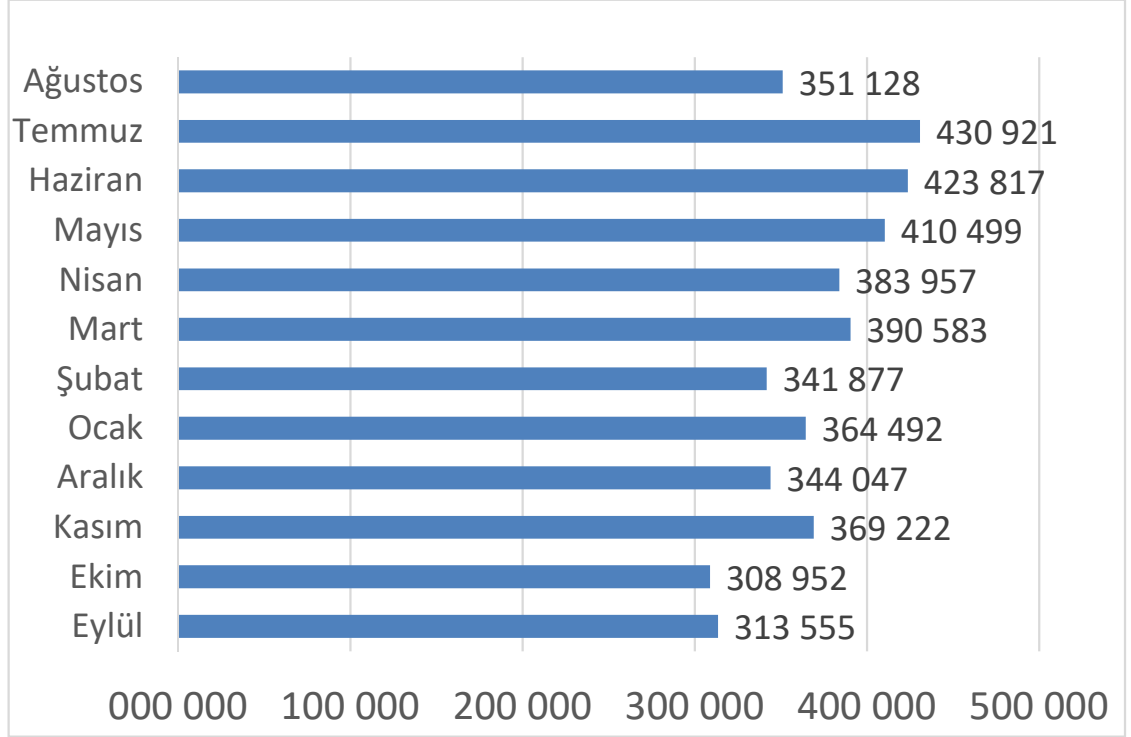


Şekil 3.5. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2019-2020 yılları arası Türkiye kış mevsimi minimum sıcaklıkları haritası.

3.4. VAGON TAHLİYE TONAJLARI TAKİBİ

Yoğun kış şartları nedeniyle vagonların dona maruz kalarak tahliyelerinin sekteye uğradığının sayısal olarak belirlenebilmesi için, 2017 yılına ait Kardemir A.Ş. Nakliyat ve Lojistik Müdürlüğü toplam demiryolu araçları tahliye faaliyet raporları incelenerek Çizelge 3.4 oluşturulmuştur. Çizelge 3.4 hazırlanırken, siparişe dayalı üretim düşüşü grafikten arındırılmış olup, Eylül ayından başlamak üzere Şubat ayının sonuna kadar işletme içerisindeki tahliye tonajının don kaynaklı olarak düşük seviyede kaldığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 3.4. Kardemir A.Ş. Nakliyat ve Lojistik Müdürlüğü 2017 yılı demiryolu yük vagonları tahliye tonajları.

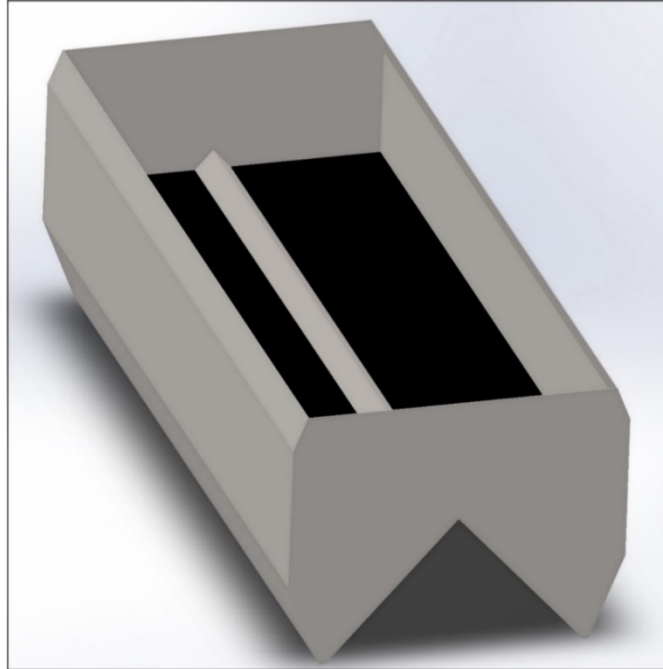


BÖLÜM 4

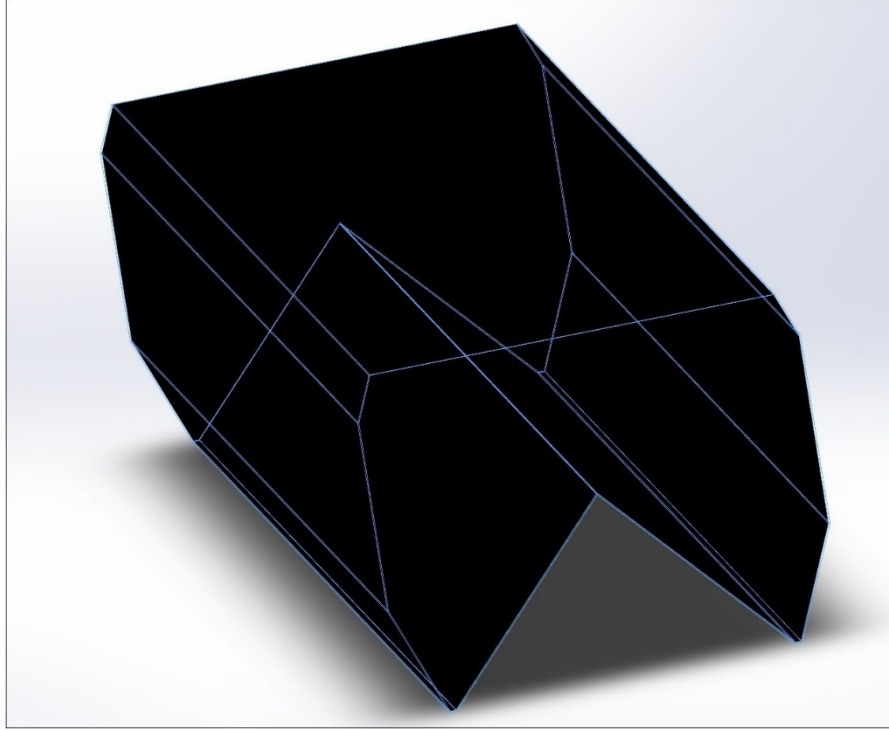
MATERYAL VE METOT

4.1. ISIL ANALİZLER

Öncelikli olarak, Solidworks yazılımıyla, vagon tekerlekleriyle birlikte alt yürür takım olan boji, vagonları birbirlerine bağlamak üzere kullanılan koşum tertibatları, fren ve süspansiyon mekanik ekipmanları, boşaltım kapakları, merdivenleri, korkuluk ve alt yapı çelik konstrüksiyon profiller hariç, sadece vagon yük bölümü (semer) ve vagon içi yarı dolu vaziyette antrasit kömür temsili olarak çizilmiş olup Şekil 4.1’de, örnek olarak vagon içi donmuş antrasit kütlesi ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Yapılan analizlerde de sadece vagon yük bölümü sacı ve don malzeme kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Antrasit kömür vagon içi temsili yarı dolu görünümü.



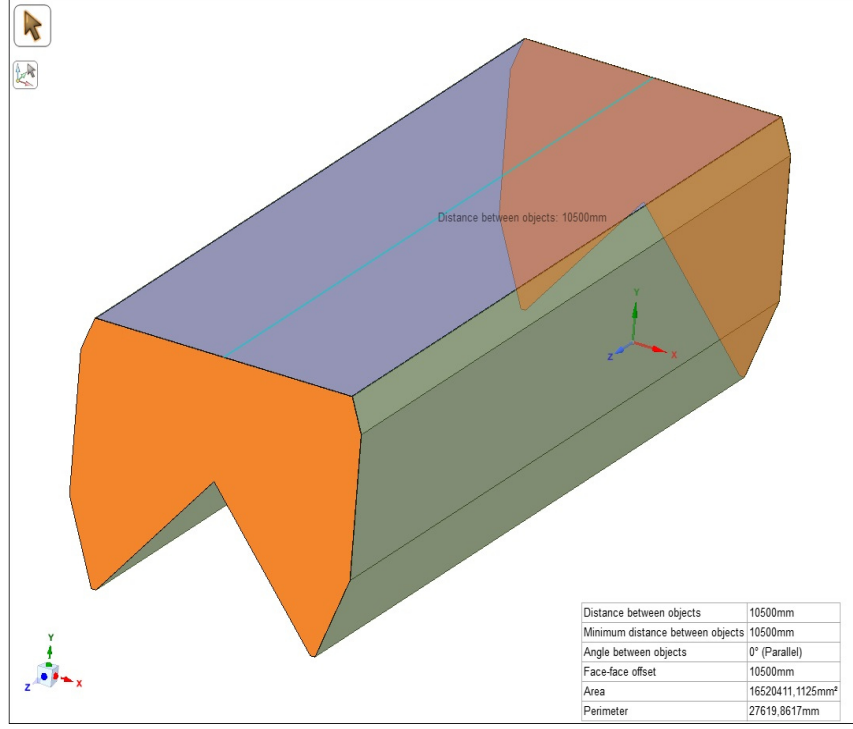
Şekil 4.2. Vagon içi donmuş antrasit kömür kütlesi.

Analizde kullanılan hava şartı kabulleri ise, Bölüm 3.4’te verilen en şiddetli kış şartları gereği, hol dışı atmosfer hava sıcaklığı $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, hol içi başlangıç hava sıcaklığı $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve hem vagon hem de Şekil 4.2’de gösterilen donmuş malzeme sıcaklığı için de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ kabulü yapılmıştır.

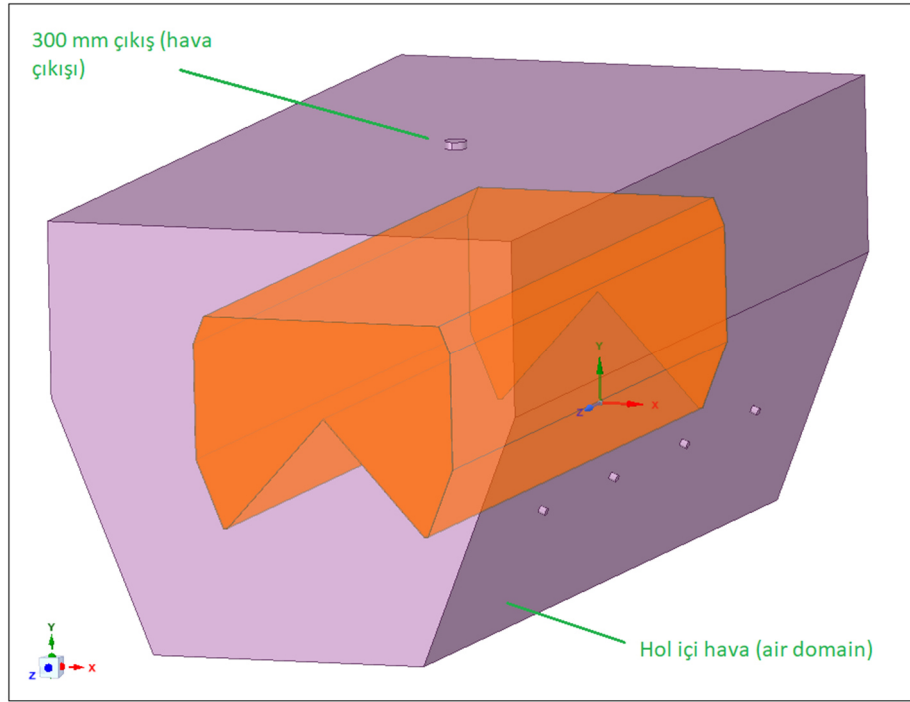
Vagon ısıtma holü termodinamik olarak ele alınmış olup, teorik hesaplamalar gerçek vagon ölçüleri ve saha şartları baz alınarak belirlenmiş, teorik hesaplamalardan sonra, tüm sistem şartları Ansys Fluent yazılımına aktarılarak CFD analiziyle don çözme süresi hesabı yapılmıştır. Bu bağlamda; analizde kullanılan hava varyasyonları sıcaklık için $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $300\text{ }^{\circ}\text{C}$; hava hızları için 50 m/s , 75 m/s ve 100 m/s şeklinde değiştirilmiş, malzeme varyasyonları olarak ise çelik üretiminde kullanılan en önemli iki hammadde olan demir ve antrasit kömür seçilmiştir. Demir ve çelik üretiminde başlıca kullanılan demir cevherleri olan magnetit, hematit ve limonit yoğunlukları $4\ 900\text{ kg/m}^3$ ’ten $7\ 500\text{ kg/m}^3$ ’e kadar değişmekte olup, analizde gerçek ve en zor şartların incelenmesi kapsamında, doğrudan en yoğun olan demir ve yine ısıl iletim katsayısı en düşük kömür türü olan antrasit kömür ele alınmıştır. Buradan yola

çıkılarak öncelikli olarak demir için 200 °C, 250 °C ve 300 °C hava sıcaklıkları ve her bir sıcaklık değeri için 50 m/s, 75 m/s ve 100 m/s hava hızları vagon ve demir malzemeye vagon kapakları merkezine 1 000 mm mesafeden analizde uygulanarak, malzeme +y eksenli merkez sıcaklığının 3 ile 8 °C'ye ulaşması için gerekli süre tespit edilmiştir. Bu süre, aynı hava şartları varyasyonları vagon içi don malzemesi olarak antrasit kömür için de belirlenerek, demir ve antrasit kömürün merkez sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Analiz, 150 metre uzunluklu holün tümü için değil, sadece tek vagon üzerine 15 metrelik hol kesiti üzerine uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

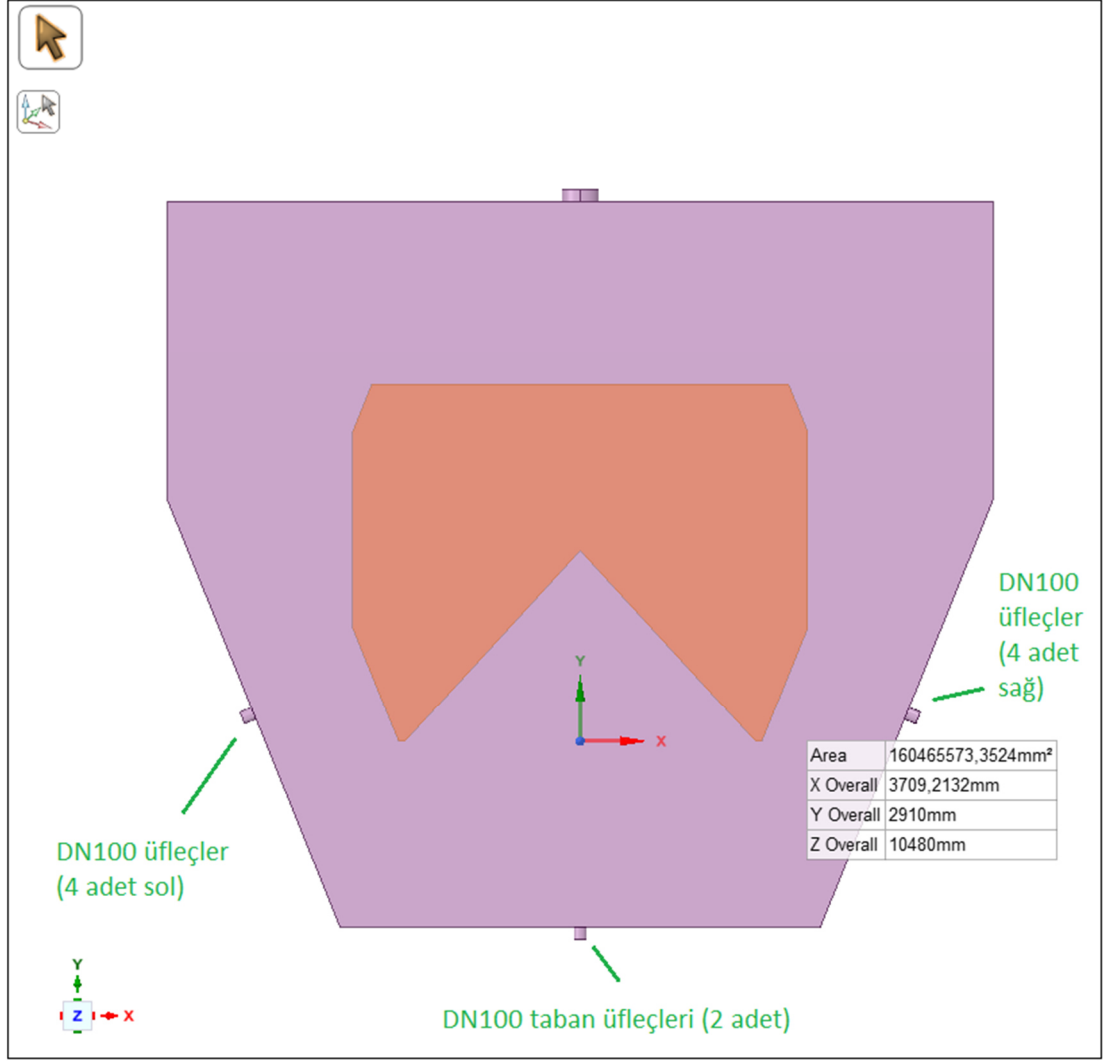
Ansys SpaceClaim yazılımında analiz için tüm modellemeler yapılmış olup; vagon ve vagon içi malzeme (vagon içerisinde tam dolu olacak şekilde) çizilmiş olup Şekil 4.3 ile gösterilmiştir. Vagon ve malzemeye üflenecek olan havayı temin edecek olan DN100 standardına sahip 4 adet vagonun solunda, 4 adet vagonun sağında ve 2 adet de vagon tabanında olmak üzere toplam 10 adet üfleç de vagon içi hol havasına (air domain) akuple edilerek çizilmiş olup Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Hol içi hava kütlesi (air domain) üzerine, vagon ve air domain merkezinde olacak şekilde; analiz gereği out (çıkış) verilebilmesi için 300 mm çaplı delik açılmıştır.



Şekil 4.3. Vagon alın cepheler arası görünüm ve ölçüleri.

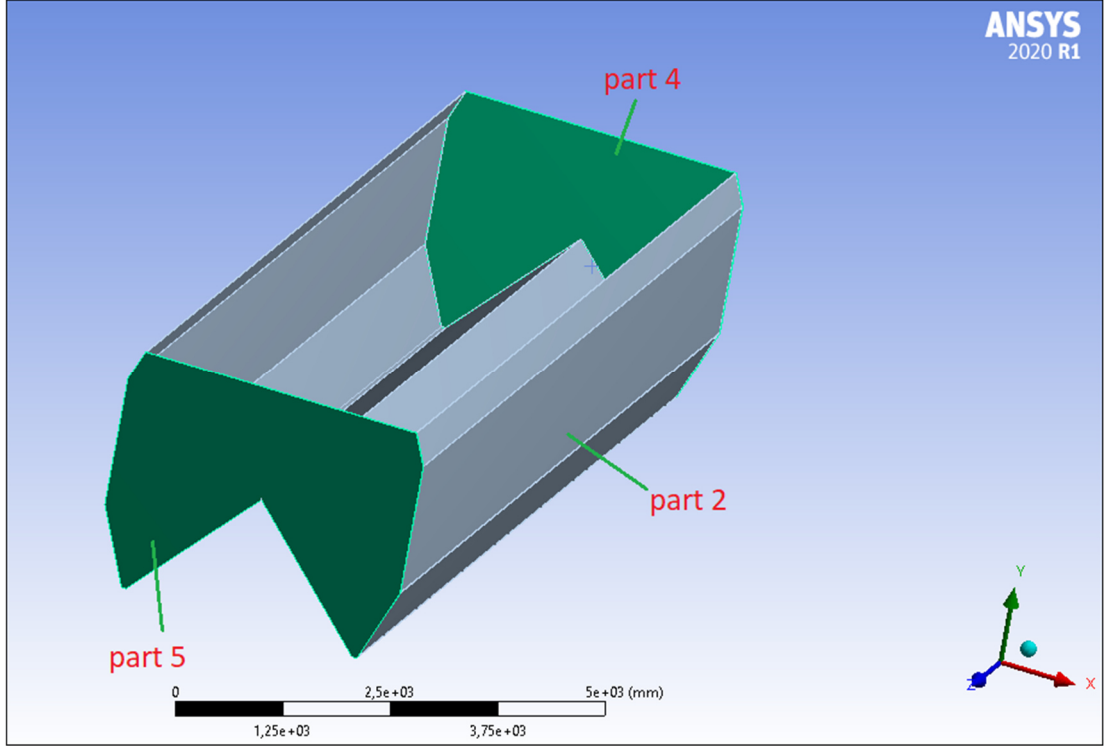


Şekil 4.4. Vagon alın cepheden görünüm ve semer yükseklik ölçüsü.



Şekil 4.5. Vagon aln cepheden üfleç pozisyonları görünümü.

Programda simülasyona uygulanan mesh (ısı transfer ağı) düzeyinin kabul edilebilir düzeyde tutabilmesi için, vagon semer bölümü, vagon semer gövdesi (part 2) ve karşılıklı aln bölümleri (part 4 ve part 5) olmak üzere toplamda 3 parça montajlı hale getirilmiş olup Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

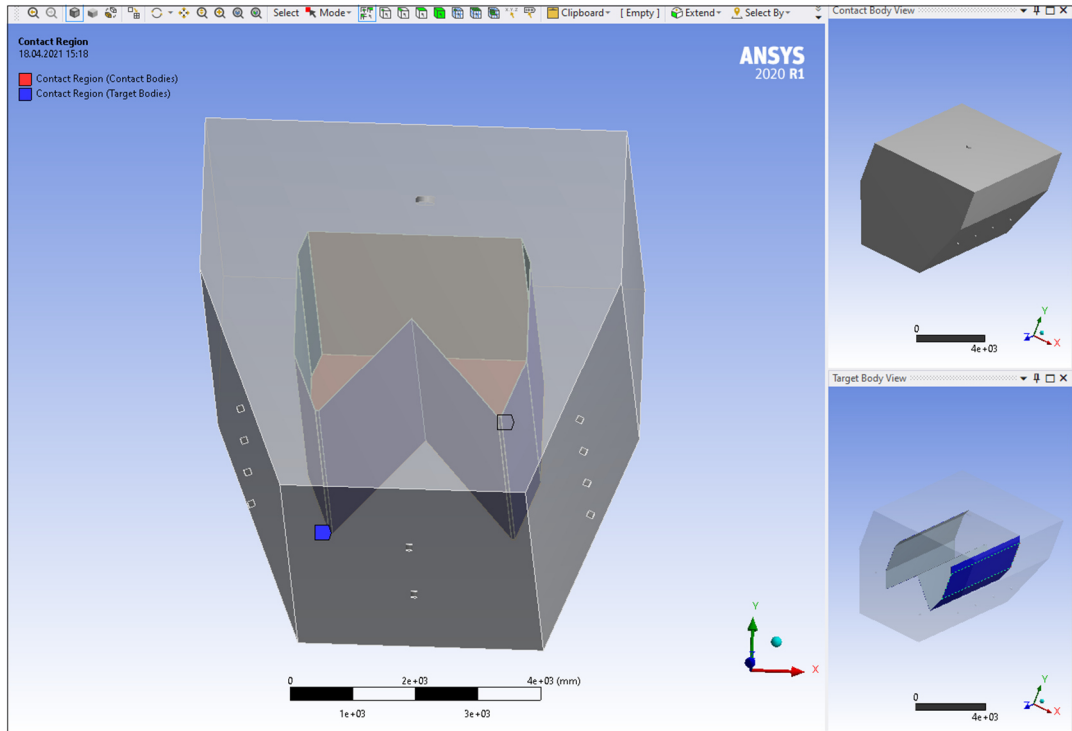


Şekil 4.6. Vagon alın ve semer partları.

Analiz için tüm geometri yüzeylerinin temasları baz alınarak; toplamda 10 adet temas bölgesi (Contact Region) tanımlanmıştır. Buna göre; 10 adet temas bölgesi; temas-hedef gövde ve temas-hedef yüzey sayılarıyla birlikte Çizelge 4.1’de verilmiş olup, bir adet örnek vagon semer sacı ile air domain temas bölgesi görüntüsü Şekil 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.1. Temas bölgeleri özellikleri.

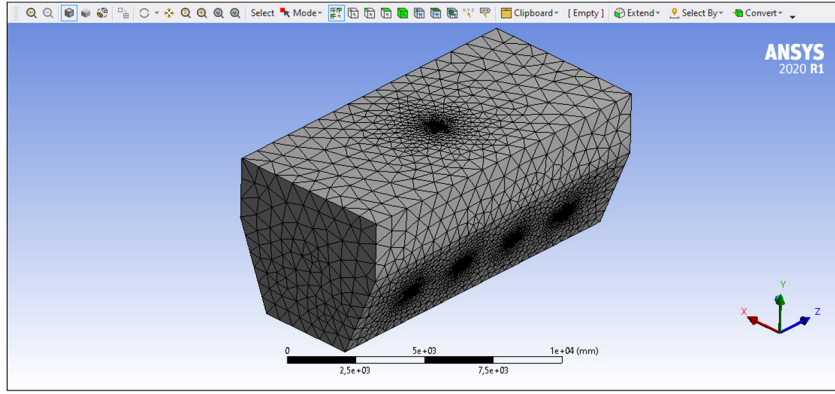
Temas Bölgesi	Temaslı Body	Hedef Body	Temas Yüzey Sayısı	Hedef Yüzey Sayısı
Contact Region	part 1	part 2	13	14
Contact Region 2	Part 1	Part 3	13	13
Contact Region 3	Part 1	Part 4	12	12
Contact Region 4	Part 1	Part 5	12	12
Contact Region 5	Part 2	Part 3	11	11
Contact Region 6	Part 2	Part 4	1	1
Contact Region 7	Part 2	Part 5	1	1
Contact Region 8	Part 3	Part 4	1	1
Contact Region 9	Part 3	Part 5	1	1



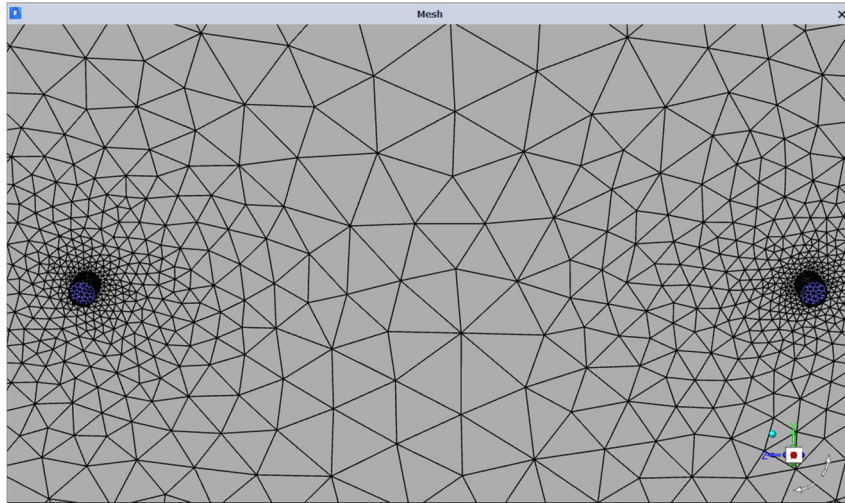
Şekil 4.7. Vagon semeri ile air domain temas bölgesi.

Contact region 2; Çizelge 4.1’de gösterildiği üzere, vagon içi donmuş malzeme (part 3) ve air domain (part 1) yazılımda 13 yüzeyle temaslı olmasına rağmen, hesap sadece malzeme üst yüzeyi ile air domain arasındaki yüzeyler arasında ısı transferi olacak şekildedir. Çünkü, donmuş malzeme ile hol içi hava air domain arasında vagon semer sacı bulunmaktadır.

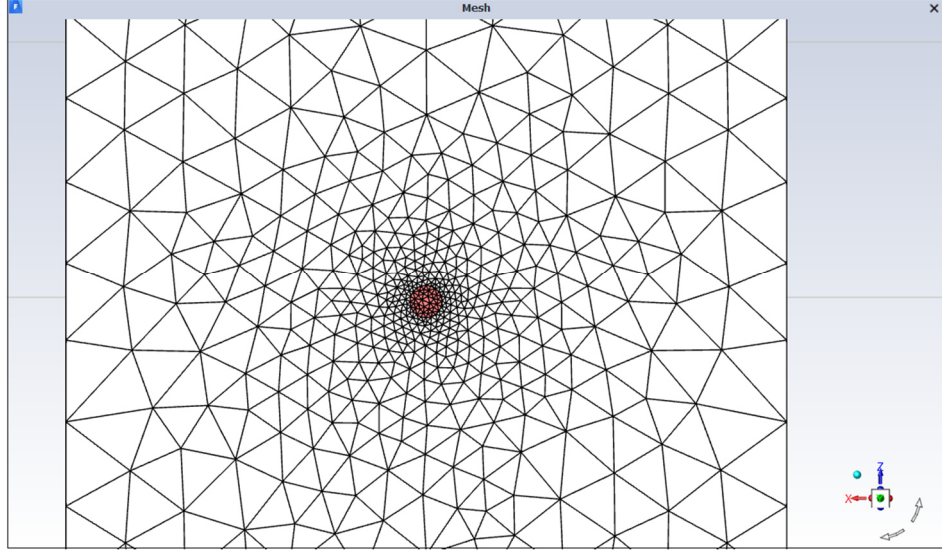
Programda uygulanan air domain meshi Şekil 4.8’de; 2 adet örnek üfleme noktası Şekil 4.9’da, air domain out ise Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Air domain (hol içi hava) için, boru hattı inletleri ve 300 mm outflow çıkışlarında zorlanmış taşınım olması sebebiyle mesh yoğunlaştırılmıştır. Vagon sacı içerisindeki büküm hatlarına Edge Sizing komutu, zorlanmış taşınım en şiddetli maruz kalan Part 2 semer (yük) sacının dış yüzeylerine ise Body Sizing komutu uygulanmıştır.



Şekil 4.8. Air domain (hol içi hava) mesh uygulaması.

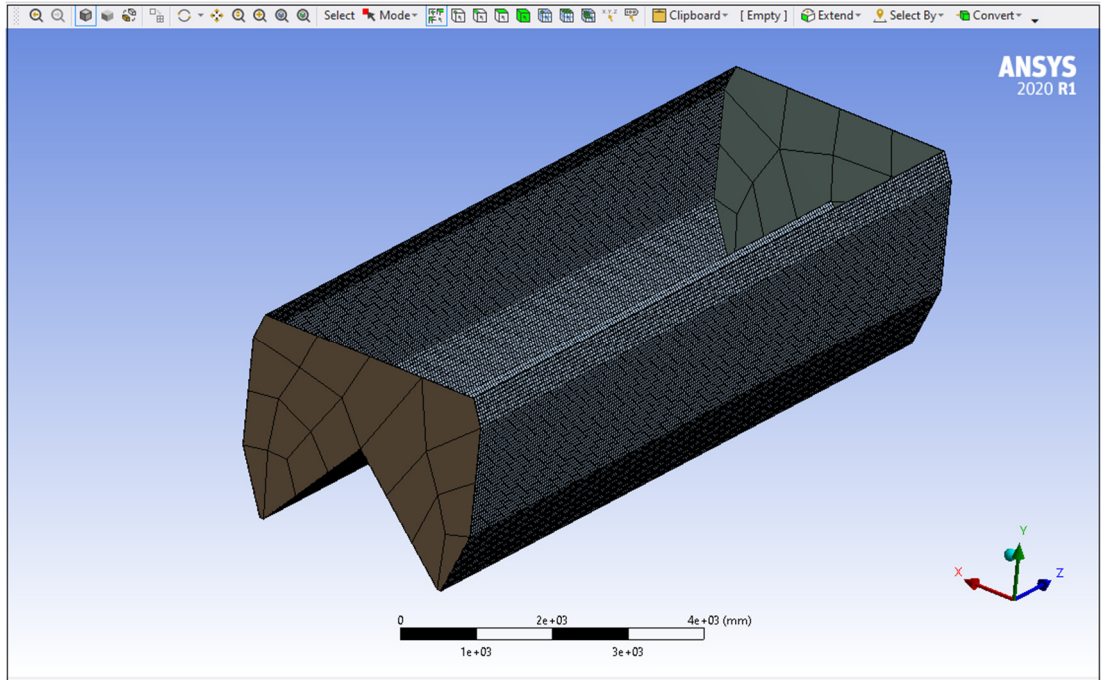


Şekil 4.9. 2 adet üfleme noktası gösterimi.

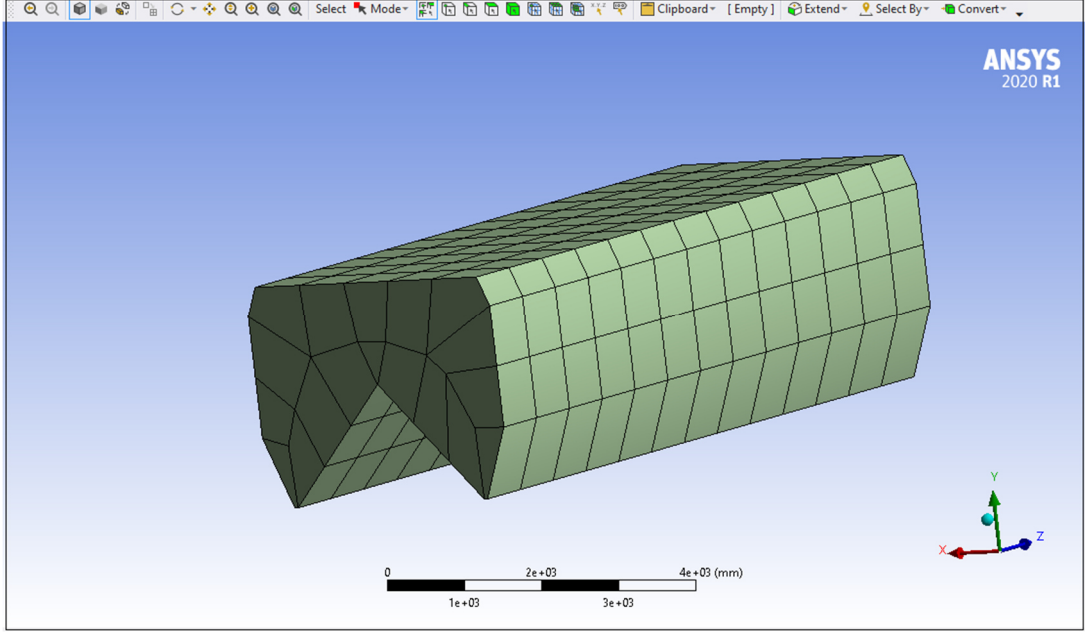


Şekil 4.10. Air domain out üst gösterimi.

Şekil 4.11 ile vagon mesh uygulaması, Şekil 4.12 ile vagon içerisindeki donuk vaziyetteki malzemeye uygulanan mesh gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Vagon mesh uygulaması.



Şekil 4.12. Malzeme mesh uygulaması.

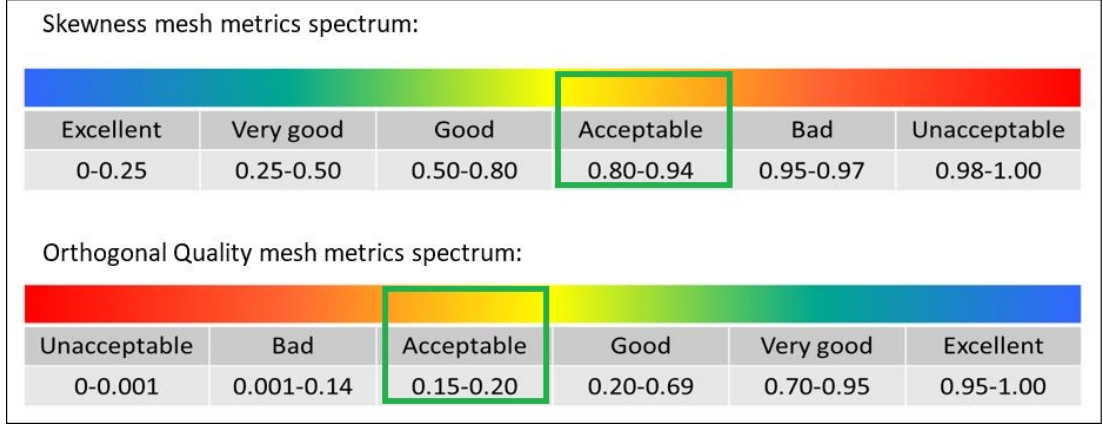
Mesh uygulamasında; orthogonal quality (dikey kalite) ve skewness (eğrilik oranı) olmak üzere toplam 2 adet kalite faktörü baz alınmış olup, bu 2 kalite faktörünün kendi içlerindeki spektrum değerleri “kabul edilebilir” düzeyde uygulanmıştır. Uygulanan dikey kaliteye bağlı mesh detayları Şekil 4.13’te, eğrilik oranı kalitesine bağlı mesh detayları ise Şekil 4.14’te gösterilmiştir. Dikey kalite 0.17737 değeri ile spektrumdaki 0.15-0.20 aralığına, maksimum eğrilik oranı değeri ise 0.8552 değeriyle yine spektrumda 0.80-0.94 aralığına tekabül etmekte olup kabul edilebilir düzeydedir. Dikey kalite eleman sayısı 46 449 ve eğrilik oranı kalite eleman sayısı ise 47 875’tir.

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (813,92 mm)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input checked="" type="checkbox"/> Min	0,17737
<input type="checkbox"/> Max	0,99993
<input type="checkbox"/> Average	0,77978
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,14952
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Assembly Meshing	
Method	None
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (7,3253 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	123830
<input type="checkbox"/> Elements	232318

Şekil 4.13. Dikey kalite değeri.

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (813,92 mm)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input checked="" type="checkbox"/> Min	2,8076e-005
<input type="checkbox"/> Max	0,8552
<input type="checkbox"/> Average	0,24224
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,15144
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Assembly Meshing	
Method	None
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (7,3253 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	123830
<input type="checkbox"/> Elements	232318

Şekil 4.14. Eğrilik değeri.



Şekil 4.15. Dikey ve eğrilik kalite spektrumları [20].

Yazılımın setup bölümünde ise; analiz tipi için “pressure-based”, hız formülasyonu için “absolute”, analiz zamana bağlı gerçekleştirildiği için time sekmesi için “transient” seçilmiş ve $-y$ ekseninde -9.81 m/s^2 yer çekimi etkisi verilmiştir. Enerji sekmesi “on” seçilerek aktif edilmiştir.

Materials (malzemeler) sekmesinde ise akışkan olarak air (hava), katı olarak ise hol içi hava (air domain) ile atmosfer havası arasına “insulation (izolasyon)”, vagon içi don malzeme için “iron (demir)” ve vagon semer bölümü sacı olan St 70-2 kalite sınıfı çelik 10 mm et kalınlıkta sac tanımlanmıştır [21]. 200 °C sıcaklık ve 50 m/s hızındaki hava şartları için yazılıma girilen çelik, demir ve izolasyon değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ayrıca analiz wall bölümünde ise; hol içi hava ile dış atmosfer havası arasına -10 °C sıcaklık değeri girilmiş ve hol içi havanın (air domain) dış yüzeyine yapılan izolasyon et kalınlığı ise 30 mm’dir [22].

The image shows a 'Wall' dialog box with the following settings:

- Zone Name: wall-hava
- Adjacent Cell Zone: hava
- Thermal Conditions:
 - Temperature (c): -10
 - Wall Thickness (m): 0.03
 - Heat Generation Rate (w/m3): 0
 - Shell Conduction: 1 Layer
- Material Name: insulation

Şekil 4.16. İzolasyon malzemesi değerleri.

Çizelge 4.2. Malzeme özellikleri çizelgesi.

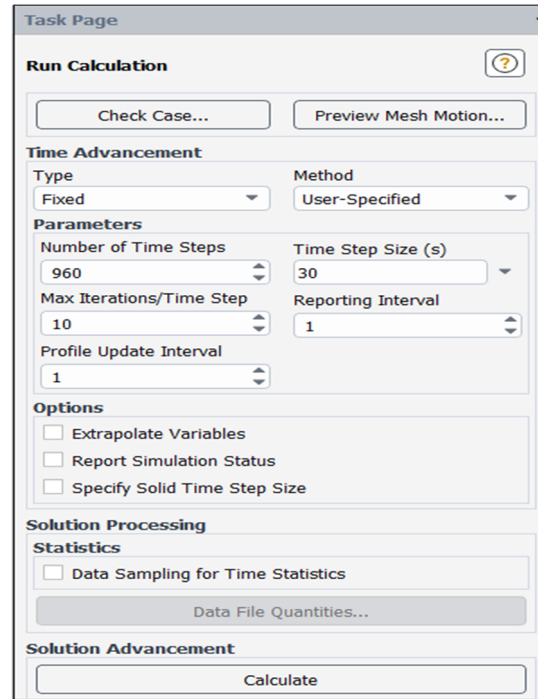
Name	Steel	Iron	Insulation
Material Type	solid	solid	solid
Fluent Solid Materials	steel	iron	insulation
Density - kg/m^3	7 700	7 870	50
Specific Heat C_p - j/kg. K	460	447	1.4
Thermal Conductivity - W/m. K	25	80.2	0.032

Setup cell zone conditions bölümünde ise; hol içi hava (air domain), donmuş malzeme ve alın ve gövde olmak üzere toplamda 3 parça vagon semer sacı tanımlanmış olup, herhangi bir değer girilmemiştir.

Boundary conditions (sınır şartları) bölümünde ise; toplamda 10 adet DN100 standartlı üfleçler için 10 adet inlet tanımlanmıştır. Internal bölümü ise 5 adet tanımlanmış olup herhangi bir sayısal değer girilmemiştir. Analizin “report definitions”, “monitors” ve alt sekmeleri, “cell registers and calculation activities” ve alt sekmelerine herhangi bir

değer girilmemiş olup “Initialization” bölümünde ise çözüm için “hybrid initialization” seçeneği uygulanmıştır.

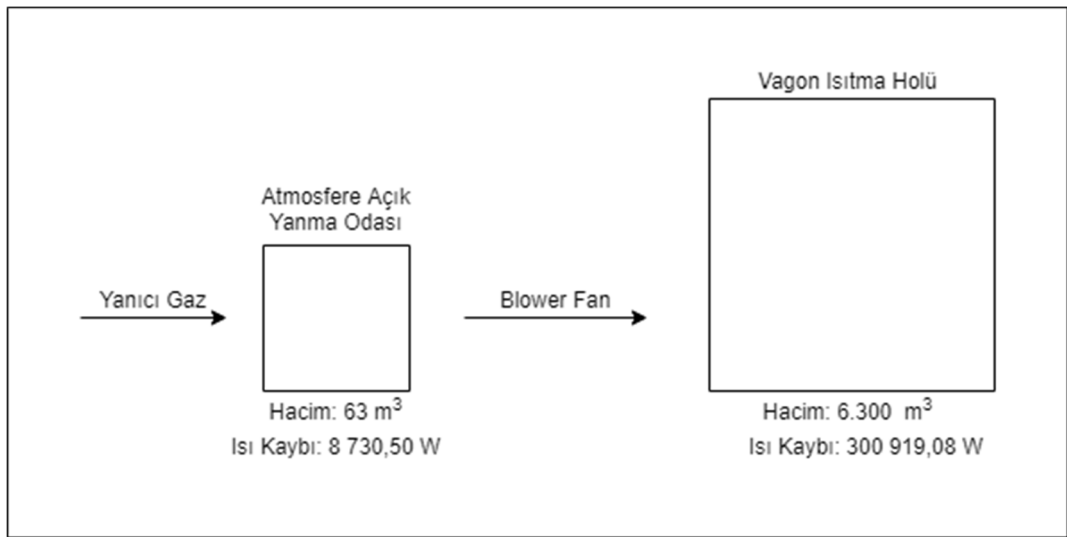
“Run calculation” bölümünde ise, yine 200 °C ve 50 m/s hava şartlarında 8 saatlik analiz çözümü demir için Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Burada “Time Step Size” sekmesi her bir çözüm stepinin kaç saniye süreceğini, “Max Iterations/Time Step” sekmesi, her bir step başına uygulanacak olan iterasyon sayısını, “Number of Time Steps” sekmesi ise toplam step sayısını göstermektedir [23]. Buradan 960 x 30 değeri toplamda 28 800 saniyedir ve bu da 8 saate tekabül etmektedir [24].



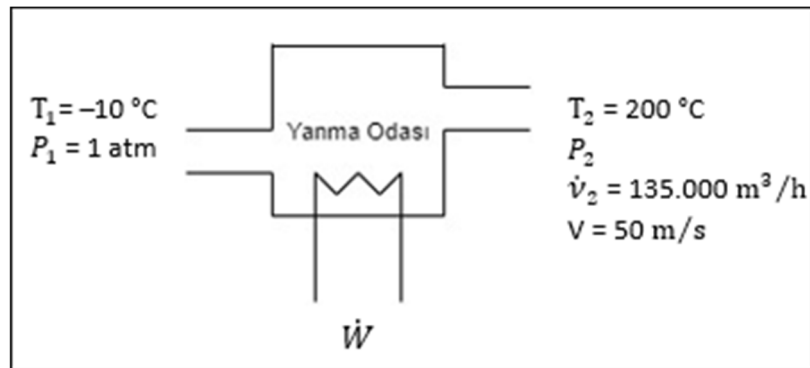
Şekil 4.17. Çözüm ekranı gösterimi.

4.2. VAGON ISITMA HOLÜ AKIŞ ŞEMASI VE YANMA ODASININ MODELLENMESİ

Vagon ısıtma holü termodinamik olarak ele alınacak olup, genel akış şeması Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Yanma odası ise yine termodinamik olarak ele alınarak, Şekil 4.19’da modellenmiştir.



Şekil 4.18. Vagon ısıtma holü genel akış şeması.



Şekil 4.19. Yanma odası modellemesi.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. ISITMA HOLÜ TASARIMI VE ISI KAYBI HESABI

Çalışmanın bu bölümünde, vagonların lokomotifler tarafından tahrik edilerek, içerisine sokulacağı iki ucu da kapalı olan bir hol tasarımı ele alınmıştır. F tipi 1 adet vagon uzunluğu bir tamponundan diğer tamponuna 12 940 mm'dir. Ancak gerek hol içerisindeki manevracı hareketi gerekse hol kapılarıyla tam temas halinde olmaması için bir vagon boyu emniyet mesafesiyle birlikte 15 m olarak alındığında, ısıtma için kullanılacak hol işletme içi tahliye verimi adına minimum 10 vagon içerecek şekilde tasarlanmış olup, hol uzunluğu 150 m olmalıdır. Hol ebadı ile ilgili faktörler aşağıda sıralanmış, genel görünüm Solidworks yazılımı kullanılarak çizilmiş, 3D genel görünüşü Şekil 5.1'de, ölçüleriyle birlikte ise Şekilde 5.2'de gösterilmiştir.

Hol genişliği ve yüksekliği ile ilgili ise göz önüne alınan faktörler şu şekildedir:

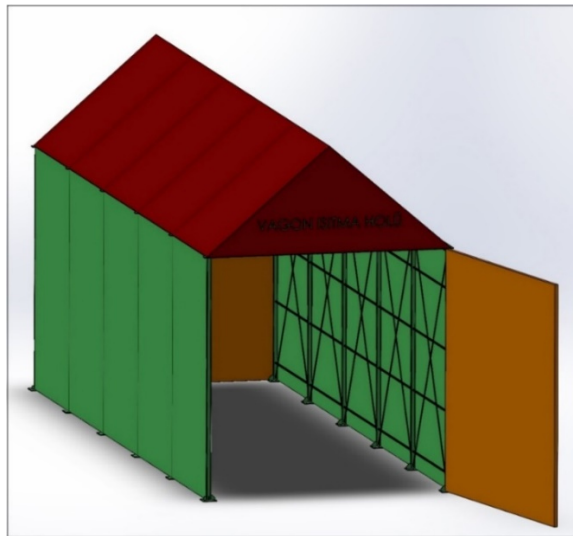
1. Şekil 3.5'te gösterilen gabari yapı ölçüleri itibariyle minimum genişlik 4 000 mm olarak ifade edilmiştir.
2. Vagonların birbirlerine bağlantılarını yapan ve dizi başındaki lokomotif yönlendiren manevracı personelin hol içerisindeki rahat hareketi engellenmemelidir.
3. Isıtma holü, düşük maliyet ve profil malzemelerinin bulunabilirlik faktörleri göz önüne alındığında çelik konstrüksiyon profiller üzerine, çatı cephe, hol kapıları da dahil olmak üzere yan cepheleri 2 mm et kalınlığında galvanizli çelik sac montajlı, sacdan sonra 30 mm et kalınlıklı cam yünü yalıtımlı sandviç panel ve üzerine yine 2 mm et kalınlıklı galvanizli çelik sac olarak tasarlanacaktır

(Sadece ısıtma holü kapıları 5 mm sac ile kaplıdır) [25]. Çünkü inşası yan ve çatı cephe galvanizli sac olarak planlanan holün açıklığı fazla olacaktır. Ancak, hol ısı verimi ne kadar artırılır, ısı izolasyonu ne kadar güçlü olursa, yanıcı gaz tasarrufu ve sistemin geri kazanım oranının da o kadar yüksek, aynı zamanda vagon don çözme süresinin de o kadar kısa olacağı unutulmamalıdır.

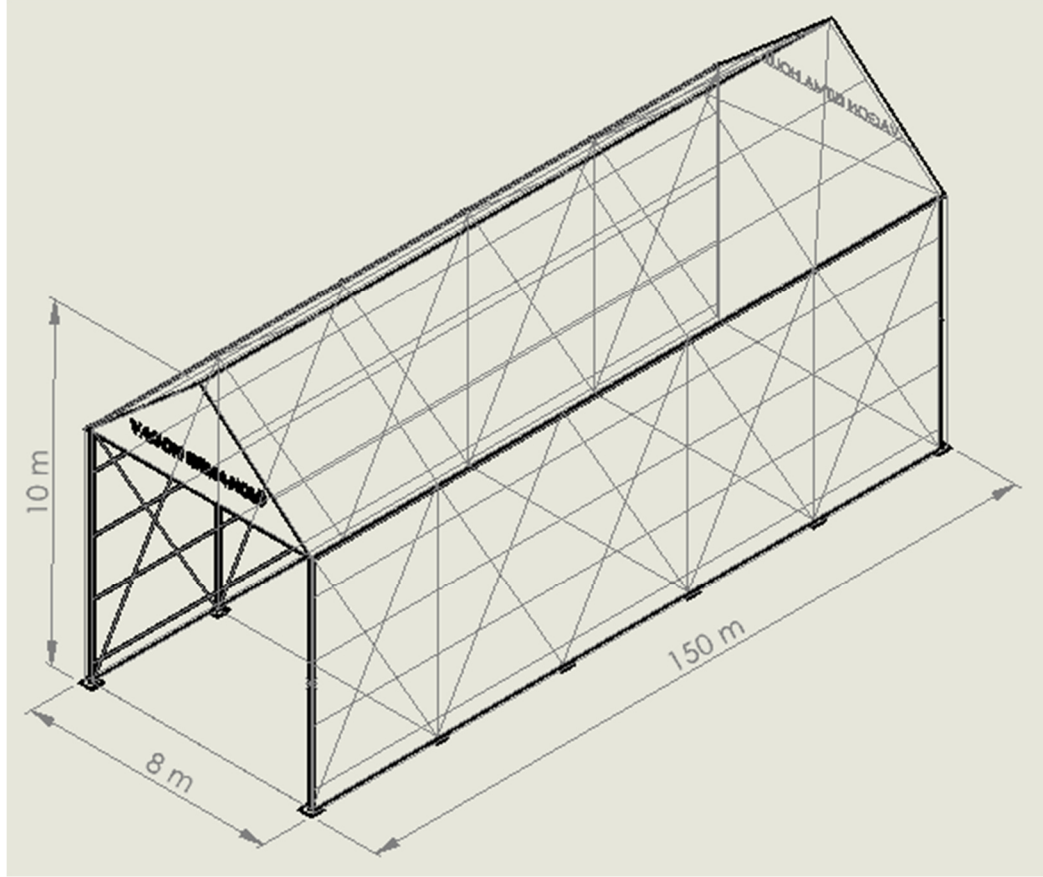
4. Hol içerisine montajı yapılacak olan ve ısı ihtiva eden havanın sevkini sağlayacak boru hattı için hol içi müsait olmalıdır. Aynı zamanda boru hat arızası durumunda arıza için gelen personel rahat çalışabilmeli ve demontaj mümkün olabilmelidir. Boru hattı yenileme gerektirdiğinde de aynı durum geçerli olmalıdır.
5. Sıralı faktörler göz önüne alındığında, hol genişliği 8 000 mm olarak tasarlanmıştır.
6. Yine gabari yapı ölçüleri ve F tipi vagon yüksekliği dikkate alındığında minimum ölçü 4 800 mm olmalıdır. Ancak ısıtma işlemi sırasında malzemenin ihtiva ettiği açığa çıkan buharın rahat hareket edebilmesi, ortalama bir insan boyu 1 800 mm olarak alındığında acil durumlarda vagon üzerine çıkabilmesi, 100 ton kapasiteli tavan vinci eni 2 500 mm, 500 mm hol içi aydınlatma lamba yerleşimi toplam hol yüksekliği 10 000 mm tasarlanmıştır.
7. Hol üstü ya üstü açılabilir tasarımı olmalı ya da hol içerisinde minimum 100 ton kapasiteli tavan vinci bulunmalıdır. Çünkü katardaki (yükli vagon dizisi) herhangi bir demiryolu aracı deray ettiği zaman (herhangi bir sebeple demiryolu aracının raydan çıkması), hol üstü açılarak bölgeye vinç sevk edilebilmeli veya tavan vinciyle ilgili vagon, tamponlarından sapan ile manevracılar tarafından bağlanmak suretiyle kaldırılıp rayına montajının yapılabilmesine olanak tanınmalıdır.
8. Hol giriş ve çıkışları kapı ile kapatılarak ısıtma sırasında ısı kaybı engellenmelidir.
9. Hol inşaatı maliyeti düşük ve neme mukavim olmalıdır. Bu nedenle, özellikle maliyet ele alındığında galvanizli sac düşünülmüş olup, ısı kaybı hesapları da bu malzemeye göre yapılacaktır.
10. Demir çelik tesislerinde atmosfere verilen yanıcı ve atık yüksek fırın gazları birinci etapta geri dönüşüm için düşünülmüş olup, bu gazlar kullanılsa da

kullanılmamasa da, hol dışında ısıl izolasyona sahip bir yanma odasında gaz yakılmalı, ısınan hava blower ile hol içerisine boru hattıyla sevk edilerek, kolektör vasıtasıyla da havanın dağılımı vagonların yan ve alt yüzeylerine denk gelecek şekilde efektif ısınmaları sağlanmalıdır. Diğer bir alternatif olarak, demir ve çelik tesisleri kok kömürü bataryaları/kok kömürü söndürme istasyonlarından yine atmosfere atık olarak verilen buharın doğrudan ısıtma holüne verilmesi düşünülmüştür. Ancak, buharın ısıtma amaçlı kullanılmasının yük vagonlarında oluşturması muhtemel korozyon için önlem alınmasını ve buharın filtreden geçirilmesi vb. prosesleri de kapsamı gerektiği hususu unutulmamalıdır.

11. Isıtma holüne sevk edilecek olan hava sıcaklığının hızlı don çözebilme ve sevkiyatın duraksamaması sebebiyle 200 °C ve 50 m/s olacağı kabulü yapılmıştır.
12. Bölüm 5.10’da Şekil 5.42’de gösterilen ve analiz sonucu elde edilen hol içi hava sıcaklığı değeri olan 401.81 K (128.66 °C) ısı kaybı hesaplarının tümünde kullanılacaktır.
13. Isıtma holü ısı kaybı hesapları ve ilgili alanlar 150 m holün tamamı için yapılmıştır.
14. Isı kaybı hesabı denklemleri sadece her bir cephe için bir kere gösterilerek ifade edilmiş, tüm cephe ısı kaybı değerleri ise tablolar halinde verilmiştir.



Şekil 5.1. Vagon ısıtma holü temsili genel görünümü.



Şekil 5.2. Vagon ısıtma holü ölçüleri.

Buna mukabil, öncelikle ısıtma holü 2 yan cephe kaplama Şekil 5.3'te modellenmiş olup hesapları ise Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Çizelgelerde yer alan h taşınım ısı transfer katsayısını, L malzeme et kalınlığını, k ısı iletim katsayısını, R ısı direnci ve A ise alanı ifade etmektedir. Hem vagon ısıtma holünde hem de yanma odasında kullanılan sandviç panel et kalınlığı 30 mm'dir [26].

Toplam direnç ve ısı kaybı ise şu şekilde hesaplanarak tablodaki yerini almıştır:

$$R_{toplam} = \frac{1}{h_1A} + \frac{L_1}{k_1A} \cdot 2 \text{ (2 katman çelik saclar eşit)} + \frac{L_2}{k_2A} + \frac{1}{h_2A} \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{toplam} = \frac{1}{10 \text{ W/m}^2\text{°C} \times 1\,050 \text{ m}^2} + \frac{0,002 \text{ m}}{42,7 \text{ W/m}^2\text{°C} \times 1\,050 \text{ m}^2} \cdot 2 + \frac{0,03 \text{ m}}{0,032 \text{ W/m}^2\text{°C} \times 1\,050 \text{ m}^2} + \frac{1}{40 \text{ W/m}^2\text{°C} \times 1\,050 \text{ m}^2} \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$$

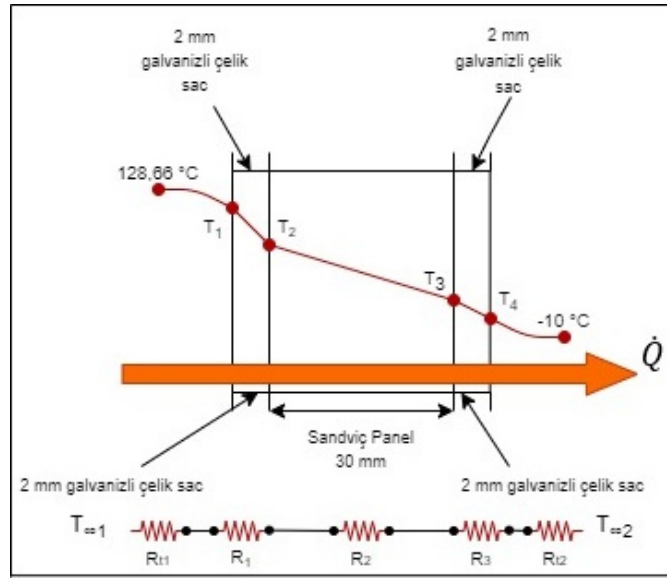
$$R_{toplam} = 9.52 \times 10^{-5} + [4.46 \times 10^{-8} \times 2] + 8.93 \times 10^{-4} + 2.38 \times 10^{-5}$$

$$R_{toplam} = 10.12 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\dot{Q}_{toplam,hyc} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{toplam}} \cdot 2 \text{ (toplam 2 yan cephe için) W}$$

$$\dot{Q}_{toplam,hyc} = \frac{128.66 - (-10) \text{ } ^\circ\text{C}}{10.12 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}} \cdot 2 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{toplam,hyc} = 274\,033.25 \text{ W}$$



Şekil 5.3. Vagon ısıtma holü yan cepheler ısı kaybı hesabı modellenmesi.

Çizelge 5.1. Hol yan cepheler ısı direnç hesabı.

Hol Yan Cepheler Isıl Direnç Hesabı		Birim	Sonuç [°C/W]	Toplam [°C/W]
R_{t1}				
h_1	10	W/(m ² °C)	9.52 x 10 ⁻⁵	9.52 x 10 ⁻⁵
Alan	1 050	m ²		
$R_1=R_3$ St-37 Sac				
L_1	0.002	m	4.46 x 10 ⁻⁸	8.92 x 10 ⁻⁸
k_1	42.7	W/(m°°C)		
Alan	1 050	m ²		
R_2 Sandviç Panel				
L_2	0.03	m	8.93 x 10 ⁻⁴	8.93 x 10 ⁻⁴
k_2	0.032	W/(m ² °C)		
Alan	1 050	m ²		
R_{t2}				
h_2	40	W/(m ² °C)	2.38 x 10 ⁻⁵	2.38 x 10 ⁻⁵
Alan	1 050	m ²		
R_{toplam}		°C/W		10.12 x 10⁻⁵

Çizelge 5.2. Hol yan cepheler ısı kaybı hesabı.

	Değer	Birim	Toplam
$T_{\infty 1}$	128.66	°C	
$T_{\infty 2}$	-10	°C	
R_{toplam}	10.12x10 ⁻⁴	°C/W	
$\dot{Q}_{toplam,hyc}$		W	137 016.63
$\dot{Q}_{toplam,hyc}$		W	274 033.25

Isıtma holü alın cepheleri de dahil olmak üzere çatı cephe ısı kaybı modellemesi Şekil 5.3 ile aynı olup hesaplamaları ise Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te gösterilmiştir:

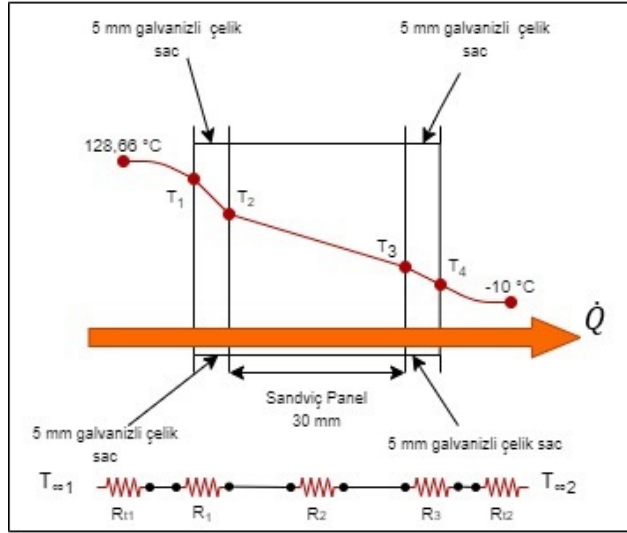
Çizelge 5.3. Vagon ısıtma holü alın cepheler de dahil çatı cephe ısı direnç hesabı.

Hol Çatı Cepheler (Alın Dahil) Isıl Direnç Hesabı		Birim	Sonuç [°C/W]	Toplam [°C/W]
R_{t1}				
h_1	10	W/(m ² °C)	9.43 x 10 ⁻⁴	9.43 x 10 ⁻⁴
Alan	106	m ²		
$R_1=R_3$ St-37 Sac				
L_1	0.002	m	4.42 x 10 ⁻⁷	8.84 x 10 ⁻⁷
k_1	42.7	W/(m°°C)		
Alan	106	m ²		
R_2 Sandviç Panel				
L_2	0.03	m	8.85 x 10 ⁻³	8.85 x 10 ⁻³
k_2	0.032	W/(m°°C)		
Alan	106	m ²		
R_{t2}				
h_2	40	W/(m ² °C)	2.36 x 10 ⁻⁴	2.36 x 10 ⁻⁴
Alan	106	m ²		
R_{toplam}		°C/W		100.25 x 10⁻⁴

Çizelge 5.4. Vagon ısıtma holü alın cepheler de dahil çatı cephede ısı kaybı hesabı.

	Değer	Birim	Toplam
$T_{\infty 1}$	128.66	°C	
$T_{\infty 2}$	-10	°C	
R_{toplam}	100.25×10^{-4}	°C/W	
$\dot{Q}_{toplam,haç}$		W	13 832.15

Isıtma holü kapıları ısı kaybı modellemesi Şekil 5.4 ile gösterilmiş olup, kapı genişlik ve uzunluğundan dolayı et kalınlığı 5 mm sac ile montajlanmıştır.



Şekil 5.4. Vagon ısıtma holü kapıları ısı kaybı hesabı modellemesi.

Çizelge 5.5. Hol kapıları ısı direnç hesabı.

Hol Kapıları Isıl Direnç Hesabı		Birim	Sonuç [°C/W]	Toplam [°C/W]
R_{t1}				
h_1	8	W/(m ² °C)	2×10^{-3}	2×10^{-3}
Alan	50	m ²		
$R_1=R_3$ St-37 Sac				
L_1	0.005	m	2.34×10^{-6}	4.67×10^{-6}
k_1	42.7	W/(m°°C)		
Alan	50	m ²		
R_2 Sandviç Panel				
L_2	0.03	m	1.88×10^{-2}	1.88×10^{-2}
k_2	0.032	W/(m°°C)		
Alan	50	m ²		
R_{t2}				
h_2	40	W/(m ² °C)	5×10^{-4}	5×10^{-4}
Alan	50	m ²		
R_{toplam}		°C/W		2.13×10^{-2}

Çizelge 5.6. Hol kapıları ısı kaybı hesabı.

	Değer	Birim	Toplam
$T_{\infty 1}$	128.66	°C	
$T_{\infty 2}$	-10	°C	
R_{toplam}	2.13×10^{-2}	°C/W	
$\dot{Q}_{toplam,hkt}$		W	6 523.74
$\dot{Q}_{toplam,hk}$		W	13 047.48

Buna göre ısıtma holü toplam ısı kaybı hesapları aşağıdaki şekilde yapılmış olup, Çizelge 5.7. ile gösterilmiştir.

$$\dot{Q}_{toplam,h} = \dot{Q}_{toplam \text{ ısı kaybı,hyc}} + \dot{Q}_{toplam,haç} + \dot{Q}_{toplam,hk}$$

$$\dot{Q}_{toplam,h} = 274\ 033.25 \text{ W} + 13\ 832.15 \text{ W} + 13\ 047.48 \text{ W}$$

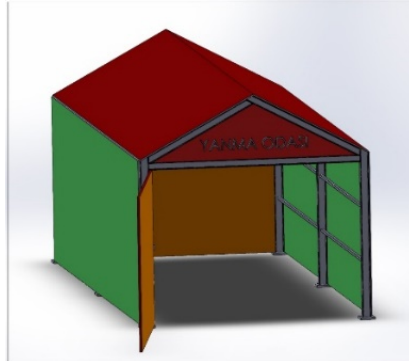
$$\dot{Q}_{toplam,h} = 300\ 912.88 \text{ W}$$

Çizelge 5.7. Isıtma holü toplam ısı kaybı

Isıtma Holü Toplam Isı Kaybı	Toplam [W]
$\dot{Q}_{toplam,hyc}$	274 033.25
$\dot{Q}_{toplam,haç}$	13 832.15
$\dot{Q}_{toplam,hk}$	13 047.48
$\dot{Q}_{toplam,h}$	300 912.88

5.2. YANMA ODASI TASARIMI VE ISI KAYBI HESABI

Yanma odası çelik konstrüksiyon yapısı genel olarak Şekil 5.5'te gösterilmiştir:



Şekil 5.5. Yanma odası temsili genel görünümü.

Yanma odası yan cepheleri ısı kaybı modellemesi Şekil 5.3 ile aynı olup, hesapları ise Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Toplam direnç ve ısı kaybı ise şu şekilde hesaplanarak tablodaki yerini almıştır:

$$R_{toplam} = \frac{1}{h_{1A}} + \frac{L_1}{k_{1A}} \cdot 2(2 \text{ katman çelik saclar eşit}) + \frac{L_2}{k_{2A}} + \frac{1}{h_{2A}} \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{toplam} = \frac{1}{10 \text{ W/m}^2\text{^{\circ}C} \times 16 \text{ m}^2} + \frac{0,002 \text{ m}}{42,7 \text{ W/m}^2\text{^{\circ}C} \times 16 \text{ m}^2} \cdot 2 + \frac{0,03 \text{ m}}{0,032 \text{ W/m}^2\text{^{\circ}C} \times 16 \text{ m}^2} + \frac{1}{40 \text{ W/m}^2\text{^{\circ}C} \times 16 \text{ m}^2} \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right)$$

$$R_{toplam} = 64 \ 516 \ 129 \times 10^{-10} + [29 \ 274 \times 10^{-10} \times 2] + 585 \ 937 \ 500 \times 10^{-10} + 15 \ 625 \ 000 \times 10^{-10} \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{toplam} = 666 \ 137 \ 177 \times 10^{-10} \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

$$\dot{Q}_{toplam, yyc} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{toplam}} \cdot 2 \text{ (toplam 2 yan cephe için) W}$$

$$\dot{Q}_{toplam, yyc} = \frac{128,66 - (-10) \text{ } ^{\circ}\text{C}}{666 \ 137 \ 177 \times 10^{-10} \text{ W}} \cdot 2 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{toplam, yyc} = 4 \ 163,11 \text{ W}$$

Çizelge 5.8. Yanma odası yan cepheleri ısı direnç hesabı.

Yanma Odası Yan Cepheler Isıl Direnç Hesabı		Birim	Sonuç [°C/W]	Toplam [°C/W]
R_{t1}				
h_1	10	W/(m ² °C)	6.46 x 10 ⁻³	6.46 x 10 ⁻³
Alan	16	m ²		
$R_1=R_3$ St-37 Sac				
L_1	0.002	m	2.93 x 10 ⁻⁶	5.85 x 10 ⁻⁶
k_1	42.7	W/(m°°C)		
Alan	16	m ²		
R_2 Sandviç Panel				
L_2	0.03	m	5.86 x 10 ⁻²	5.86 x 10 ⁻²
k_2	0.032	W/(m°°C)		
Alan	16	m ²		
R_{t2}				
h_2	40	W/(m ² °C)	1.57 x 10 ⁻³	1.57 x 10 ⁻³
Alan	16	m ²		
R_{toplam}		°C/W		6.67 x 10⁻²

Çizelge 5.9. Yanma odası yan cepheler ısı kaybı hesabı.

	Değer	Birim	Toplam
$T_{\infty 1}$	128.66	°C	
$T_{\infty 2}$	-10	°C	
R_{toplam}	6.67 x 10 ⁻²	°C/W	
$\dot{Q}_{toplam,yyc}$		W	2 081.55
$\dot{Q}_{toplam,yyc}$		W	4 163.11

Yanma odası çatı cephe alın cepheleriyle birlikte dahil ısı kaybı modellemesi Şekil 5.3 ile aynı olup, hesapları ise Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. Yanma odası çatı cephe (alın dahil) ısı direnç hesabı.

Yanma Odası Çatı Cephe (Alın Dahil) Isıl Direnç Hesabı		Birim	Sonuç [°C/W]	Toplam [°C/W]
R_{t1}				
h_1	10	W/(m ² °C)	4.35 x 10 ⁻³	4.35 x 10 ⁻³
Alan	23	m ²		
$R_1=R_3$ St-37 Sac				
L_1	0.002	m	2.04 x 10 ⁻⁶	4.07 x 10 ⁻⁶
k_1	42.7	W/(m°°C)		
Alan	23	m ²		
R_2 Sandviç Panel				
L_2	0.03	m	4.08 x 10 ⁻²	4.08 x 10 ⁻²
k_2	0.032	W/(m°°C)		
Alan	23	m ²		
R_{t2}				
h_2	40	W/(m ² °C)	1.09 x 10 ⁻³	1.09 x 10 ⁻³
Alan	23	m ²		
R_{toplam}		°C/W		4.62 x 10⁻²

Çizelge 5.11. Yanma odası çatı cephe (alın dahil) ısı kaybı hesabı.

	Değer	Birim	Toplam
$T_{\infty 1}$	128.66	°C	
$T_{\infty 2}$	-10	°C	
R_{toplam}	4.62×10^{-2}	°C/W	
		w	3 001.32
	$\dot{Q}_{toplam,yac}$		

Yanma odası kapı cepheleri ısı kaybı modellemesi Şekil 5.3 ile aynı olup, hesapları ise Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.12. Yanma odası kapılar ısı direnç hesabı.

Yanma Odası Kapılar Isıl Direnç Hesabı		Birim	Sonuç [°C/W]	Toplam [°C/W]
R_{t1}				
h_1	10	W/(m ² °C)	1.67 x 10 ⁻²	1.67 x 10 ⁻²
Alan	6	m ²		
$R_1=R_3$ St-37 Sac				
L_1	0.002	m	7.80 x 10 ⁻⁶	15.61 x 10 ⁻⁶
k_1	42.7	W/(m°°C)		
Alan	6	m ²		
R_2 Sandviç Panel				
L_2	0.03	m	1.57 x 10 ⁻¹	1.57 x 10 ⁻¹
k_2	0.032	W/(m°°C)		
Alan	6	m ²		
R_{t2}				
h_2	40	W/(m ² °C)	4.17 x 10 ⁻³	4.17 x 10 ⁻³
Alan	6	m ²		
R_{toplam}		°C/W		1.78 x 10⁻¹

Çizelge 5.13. Yanma odası kapılar ısı kaybı hesabı.

	Değer	Birim	Toplam
$T_{\infty 1}$	128.66	°C	
$T_{\infty 2}$	-10	°C	
R_{toplam}	1.78×10^{-1}	°C/W	
$\dot{Q}_{toplam,ykt}$		w	782.95
$\dot{Q}_{toplam,yk}$		w	1 565.90

Buna göre toplam yanma odası ısı kaybı aşağıdaki şekilde hesaplanmış olup Çizelge 5.14 ile gösterilmiştir.

$$\dot{Q}_{toplam,y} = \dot{Q}_{toplam,yyc} + \dot{Q}_{toplam,ya\check{c}} + \dot{Q}_{toplam,yk}$$

$$\dot{Q}_{toplam,y} = 4\,163.11\text{ W} + 3\,001.32\text{ W} + 1\,565.90\text{ W}$$

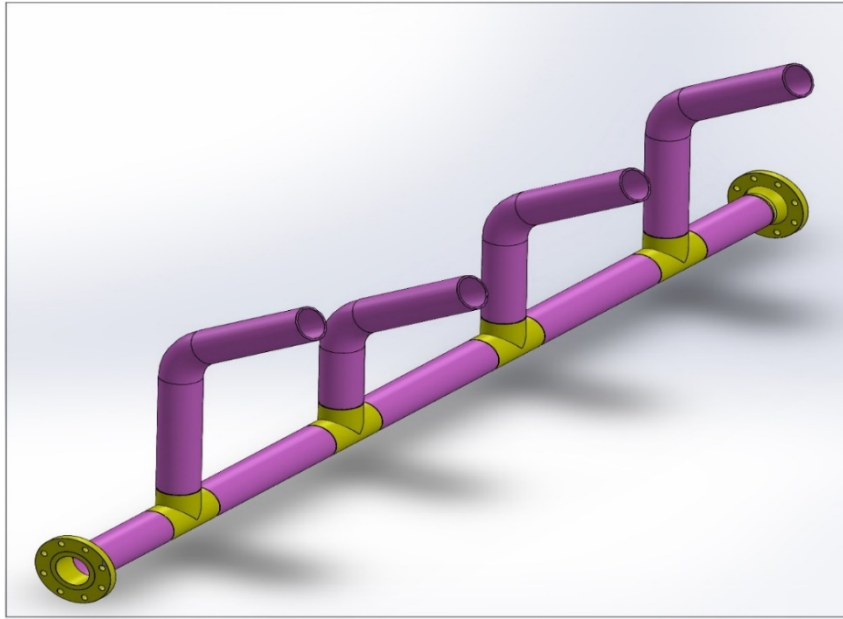
$$\dot{Q}_{toplam,y} = 8\,730.33\text{ W}$$

Çizelge 5.14. Toplam yanma odası ısı kaybı.

Yanma Odası Toplam Isı Kaybı	Toplam [W]
$\dot{Q}_{toplam,yyc}$	4 163.11
$\dot{Q}_{toplam,ya\check{c}}$	3 001.32
$\dot{Q}_{toplam,yk}$	1 565.90
$\dot{Q}_{toplam,y}$	8 730.33

5.3. BORU HATTI TASARIMI VE ISI KAYBI HESABI

Yanma odasından vagon ısıtma holüne ısınmış havayı sevk edecek olan DN200 ve bu çaptan DN100'e redükte olacak ve vagonlara hava üfleyecek 4 adet sağ, 4 adet sol ve 2 adet tabandan olmak üzere toplamda 10 adet üfleç grubunun 4'lü kolektörü temsili olarak Şekil 5.6'da gösterilmiş ve boru hattı metrajında etkili faktörler aşağıdaki maddelerle sıralanmıştır:



Şekil 5.6. 4'lü üfleç kolektör grubu temsili genel görünümü.

1. Boru hattının vagon ısıtma holü dışındaki uzunluğu boyunca ısı izolasyonu için 30 mm izolasyon şiltesi ve 2 mm alüminyum kaplama uygulanacaktır.
2. Boru hattından ısınmış havanın sevki sırasında ısı kaybının minimuma indirilebilmesi için yanma odası, vagon ısıtma holüne olabildiğince yakın bulunmalıdır. Bu nedenle yanma odası, vagon ısıtma holüne 10 000 mm uzaklıkta olduğu kabul edilecektir.
3. DN200 borudan DN100 çaplı boruya redüksiyonla akışkanın hızlandırılması amaçlanmış olup, redüksiyon işlemi blowerdan sonraki hol girişinde, kolektörlere dağıtımından hemen öncesinde olacaktır.

4. Kolektör montajı, vagona ısıtılmış havanın üflenmesi sırasında verimin artırılması ve üfleçler tarafından vagona sevk edilen havanın akış sırasında birbirlerine direnç göstermemesi adına farklı yüksekliklerde yapılmıştır.
5. Yanma odasından blowera gelen DN200 boru hattı 7 m olduğu kabulü yapılacaktır.
6. Bu durumda ise DN100 boru hattı uzunluğu:
 - 6.1. Hol uzunluğu 150 m sağ ve sol borulama grubuyla birlikte 150 m olmak üzere toplamda 300 m,
 - 6.2. Tek vagon için 8 kolektör yan ve 2 üfleç boru grubu da alttan olmak üzere grubu toplamda 10 adet DN100 boru, T ve 60 derece dirsek fittings grubu ile birlikte 20 metre olup, 10 vagon için toplamda 200 metredir.
 - 6.3.Redüksiyon da dahil olmak üzere, blower sonrası 3 metre DN100 boru hattıyla birlikte toplamda 503 metredir.

Yanma odasından blowera kadar gelen DN200 7 000 mm boru hattı ısı kaybı modellemesi Şekil 4.9'da yapılmış olup hesap tablosu da Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16'da gösterilmiştir:

$$R_{DN200,ısıt\ direnç} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2 A_4} \quad \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right)$$

$$A_1 = 2\pi r_1 = 2\pi (101.35 \text{ mm}) (7\,000 \text{ mm}) = 4.46 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 2\pi r_4 = 2\pi (251.1 \text{ mm}) (7\,000 \text{ mm}) = 11.04 \text{ m}^2$$

$$R_{DN200,ısıt\ direnç} = \frac{1}{5 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 4.46 \text{ m}^2} + \frac{\ln(1.44)}{2\pi \cdot 7 \text{ m} \cdot 42.7 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}} + \frac{\ln(1.27)}{2\pi \cdot 7 \text{ m} \cdot 0.04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}} + \frac{\ln(1.004)}{2\pi \cdot 7 \text{ m} \cdot 237 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}} + \frac{1}{40 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 11.04 \text{ m}^2} \quad \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}\right)$$

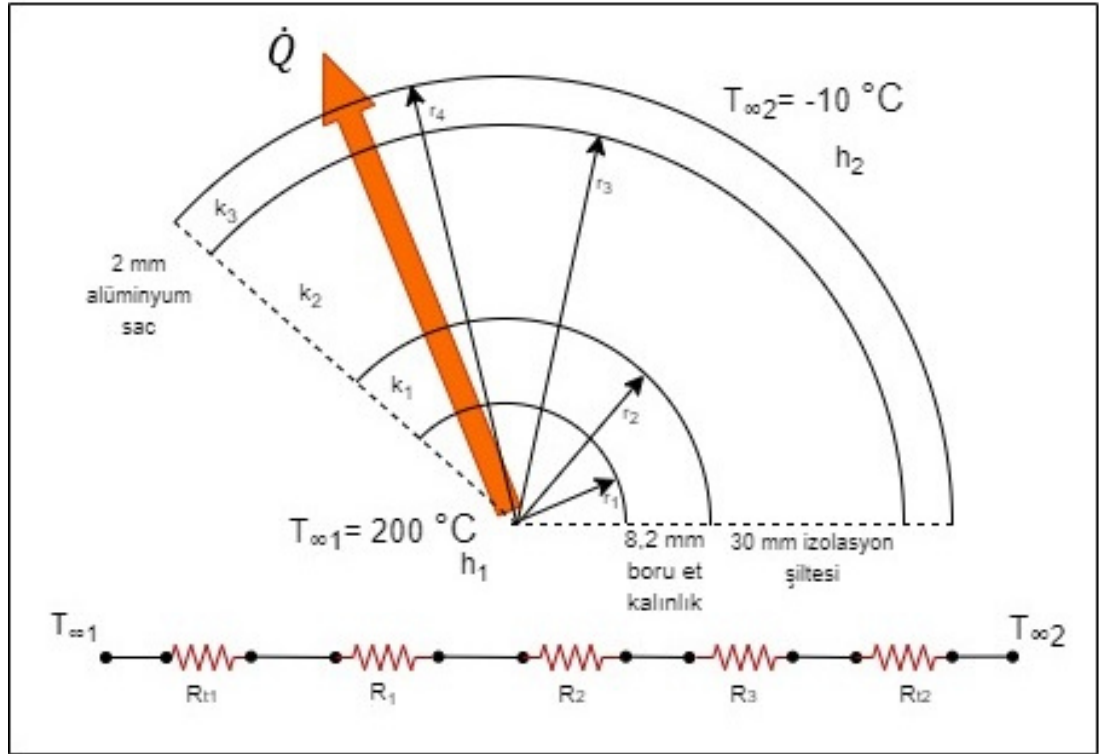
$$R_{DN200,ısıt\ direnç} = 0.0448430493 + 0.0001942596 + 0.1359286286 + 0.0000003832 + 0.0022644928 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{DN200,ısıt\ direnç} = 0.1809663206 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\dot{Q}_{DN200,hd} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{toplam}} \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{DN200,hd} = \frac{[200 - (-10)]^{\circ}\text{C}}{0.1809663206 \text{ }^{\circ}\text{C/W}} \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{DN200,hd} = 1160.44 \text{ W}$$



Şekil 5.7. DN200 boru ısı kaybı modellemesi.

Çizelge 5.15. DN200 boru ısı direnç hesabı.

DN200 Boru Isıl Direnç Hesabı (Hol Dışı)		Birim	Toplam
R_{t1}			4.49×10^{-2}
h_1	5	W/(m ² °C)	
Alan	4.46	m ²	
k_1 St-37 Çelik Boru			1.94×10^{-4}
L	7	m	
k_1	42.7	W/(m°C)	
r_2/r_1	1.44		
k_2 -Cam yünü şilte			1.36×10^{-1}
L	7	m	
k_2	0.04	W/(m°C)	
r_3/r_2	1.27		
k_3 -alüminyum sac			3.83×10^{-7}
L	7	m	
k_3	237	W/(m°C)	
r_4/r_3	1.0040		
R_{t2}			2.27×10^{-3}
h_2	40	W/(m ² °C)	
Alan	11.04	m ²	
R_{toplam}		°C/W	1.81×10^{-1}

Çizelge 5.16. DN200 boru ısı kaybı hesabı.

	Değer	Birim	Toplam
$T_{\infty 1}$	200	°C	
$T_{\infty 2}$	-10	°C	
R_{toplam}	1.81×10^{-1}	°C/W	
$\dot{Q}_{DN200,hd}$		W	1 160.44

Blowerdan sonraki 1 500 mm uzunluğundaki DN100 boru, -10 °C dış hava ile temas halindedir. Modellemesi Şekil 5.8’de yapılmış olup hesap tablosu da Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18’de gösterilmiştir.

$$R_{DN100,hd} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2 A_4} \quad \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}\right)$$

$$A_1 = 2\pi r_1 = 2\pi (101.35 \text{ mm}) (1 500 \text{ mm}) = 0.95 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 2\pi r_4 = 2\pi (251.1 \text{ mm}) (1 500 \text{ mm}) = 2.37 \text{ m}^2$$

$$R_{DN100,hd} = \frac{1}{5 \text{ W/m}^2\text{°C} \cdot 0.95 \text{ m}^2} + \frac{\ln(1,44)}{2 \cdot \pi \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 42,7 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{\ln(1,27)}{2 \cdot \pi \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{\ln(1,004)}{2 \cdot \pi \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 237 \text{ W/m}^\circ\text{C}} + \frac{1}{40 \text{ W/m}^2\text{°C} \cdot 2,37 \text{ m}^2} \quad \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}\right)$$

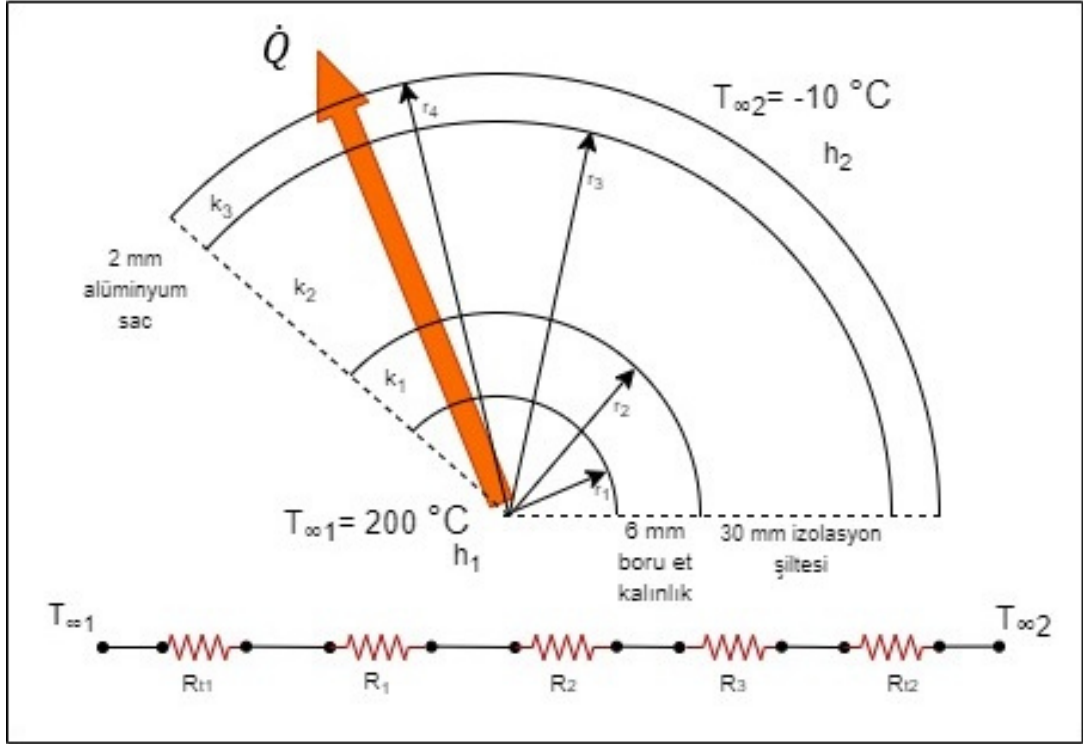
$$R_{DN100,hd} = 0.2105263158 + 0.0002817481 + 1.1286298710 + 0.0000101417 + 0.0105485232 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{DN100,hd} = 1.3394480767 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\dot{Q}_{DN100,hd} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{toplam}} \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{DN100,hd} = \frac{[200 - (-10)]^\circ\text{C}}{1.3394480767 \text{ } ^\circ\text{C/W}} \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{DN100,hd} = 156.78 \text{ W}$$



Şekil 5.8. DN100 boru (hol dışı) ısı kaybı modellemesi.

Çizelge 5.17. DN100 boru (hol dışı) ısı direnç hesabı.

DN100 Boru (Hol Dışı) Isıl Direnç Hesabı		Birim	Toplam
R_{t1}			2.10×10^{-1}
h_1	5	W/(m ² °C)	
Alan	0.95	m ²	
k_1 St-37 Çelik Boru			2.88×10^{-4}
L	1.5	m	
k_1	42.7	W/(m°C)	
r_2/r_1	1.12		
k_2 -Cam yünü şilte			1.13×10^{-1}
L	1.5	m	
k_2	0,04	W/(m°C)	
r_3/r_2	1.53		
k_3 -alüminyum sac			1.01×10^{-5}
L	1.5	m	
k_3	237	W/(m°C)	
r_4/r_3	1.0229		
R_{t2}			1.06×10^{-2}
h_2	40	W/(m ² °C)	
Alan	2.37	m ²	
R_{toplam}		°C/W	1.34×10^{-1}

Çizelge 5.18. DN100 boru (hol dışı) ısı direnç hesabı.

	Değer	Birim	Toplam
$T_{\infty 1}$	200	°C	
$T_{\infty 2}$	-10	°C	
R_{toplam}	1.34×10^{-1}	°C/W	
$\dot{Q}_{DN100,hd}$		w	156.78

Toplam DN200 ve DN100 standart boruların ısı kaybı ise aşağıdaki şekilde hesaplanmış olup Çizelge 5.19’da gösterilmiştir:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{borular} &= \dot{Q}_{DN200,hd} + \dot{Q}_{DN100,hd} \\ \dot{Q}_{borular} &= 1\,160.44 \text{ W} + 156.78 \text{ W} \\ \dot{Q}_{borular} &= 1\,317.22 \text{ W}\end{aligned}$$

Çizelge 5.19. Borular toplam ısı direnç hesabı.

Borular Toplam Isı Kaybı	Toplam [W]
$\dot{Q}_{DN200,hd}$	1 160.44
$\dot{Q}_{DN100,hd}$	156.79
$\dot{Q}_{borular}$	1 317.22

5.4. SİSTEM TOPLAM ISI KAYBI

Isıtma holü, yanma odası ve borular toplam ısı kaybı ise aşağıdaki şekilde hesaplanmış olup Çizelge 5.20’de gösterilmiştir:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{toplam,sistem} &= \dot{Q}_{borular} + \dot{Q}_{toplam,h} + \dot{Q}_{toplam,y} \\ \dot{Q}_{toplam,sistem} &= 1\,317.22\text{ W} + 300\,912.88\text{ W} + 8\,730.33\text{ W} \\ \dot{Q}_{toplam,sistem} &= 310\,960.43\text{ W}\end{aligned}$$

Çizelge 5.20. Sistem toplam ısı kaybı hesabı.

Sistem Toplam Isı Kaybı Hesabı	Toplam [W]
$\dot{Q}_{toplam,borular}$	1 317.22
$\dot{Q}_{toplam,h}$	300 912.88
$\dot{Q}_{toplam,y}$	8 730.33
\dot{Q}_{sistem}	310 960.43

5.5. MALZEME ISI İHTİYACI

Başlangıç sıcaklığı -10 °C alınan demirin, Bölüm 5.10’daki malzeme don çözme süresi Durum 1 hesabı verileri kullanılarak, bu sıcaklığa ulaşabilmesi alması gerekli ısı miktarı değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Demir kütlesi Çizelge 2.2’den alınan toplam kabul edilebilir vagon yükleme tonajıdır [27].

$$\begin{aligned}Q_{demir} &= m_{demir} \times c_{p,demir} \times T_{demir} \\ m_{demir} &= 54\text{ ton} \times 1\,000\text{ kg} = 54\,000\text{ kg}\end{aligned}$$

$$C_{p,demir} = 0.45 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_{2,demir} = 5.19 \text{ }^\circ\text{C} + 273,15 = 278.34 \text{ K}$$

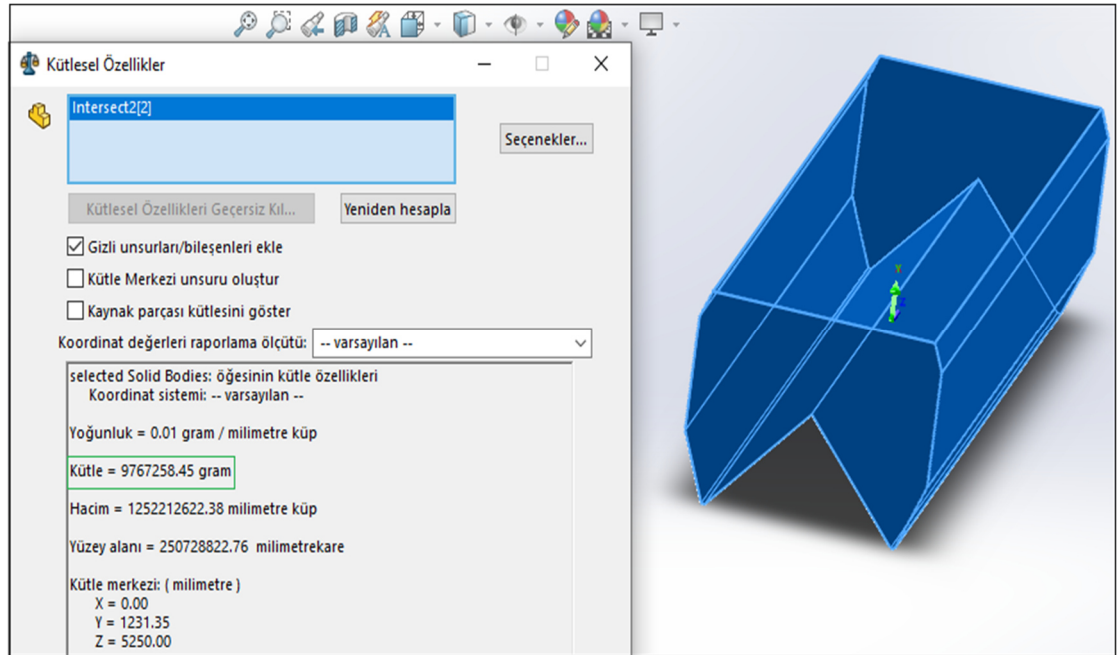
$$T_{1,demir} = -10 \text{ }^\circ\text{C} + 273.15 = 263.15 \text{ K}$$

$$Q_{demir} = 54 \text{ 000 kg} \times 0.45 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{K} \times (278.34 \text{ K} - 263.15 \text{ K})$$

$$Q_{demir} = 369 \text{ 117 kJ}$$

5.6. VAGON ISI ENERJİSİ İHTİYACI

İşletme içerisine Kardemir A.Ş. tarafından giriş işlemleri yapıldıktan sonra fabrika sahasına alınan vagon sıcaklıkları don vaziyette kabul edilmiş olup aşağıdaki hesaplama da vagonun $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den Bölüm 5.10'daki malzeme don çözme süresi Durum 1 hesabı verileri kullanılarak $4.37 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkarılabildiği için gerekli olan teorik ısı miktarını temsil etmektedir. Vagon semer sacı kütlesi Solidworks part ölçüm komutuyla Şekil 5.9'da gösterilmiştir [22].



Şekil 5.9. Vagon semer sacı kütle gösterimi.

$$Q_{vagon} = m_{vagon} \times c_{p,karbon \text{ çeliği}} \times \Delta T_{vagon}$$

$$m_{vagon} = 9.76 \text{ ton} \times 1000 \text{ kg} = 9760 \text{ kg}$$

$$c_{p,karbon \text{ çeliği}} = 0.5 \text{ kJ/kg.K}$$

$$T_{2,vagon} = 4.37 \text{ °C} + 273.15 = 277.52 \text{ K}$$

$$T_{1,vagon} = -10 \text{ °C} + 273.15 = 263.15 \text{ K}$$

$$Q_{vagon} = 9760 \text{ kg} \times 0.5 \text{ kJ/kg.K} \times (277.52 \text{ K} - 263.15 \text{ K})$$

$$Q_{vagon} = 70125.6 \text{ kJ}$$

5.7. SİSTEM TOPLAM MALZEME VE VAGON ISI ENERJİSİ İHTİYAÇLARI

Vagon içi demir malzeme ve vagonun toplam ısı ihtiyacı ise Çizelge 5.21’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 5.21. Toplam demir ve vagon ısı ihtiyaçları

Toplam Demir ve Vagon Isı İhtiyaçları	Birim	Toplam
Q_{demir}	kJ	369 117
Q_{vagon}	kJ	70 125.6
$Q_{toplam,kj}$	kJ	439 242.6

5.8. YANMA ODASI TASARIMI

Vagon ısıtma holü için ısıtılmış hava sevk kaynağı olarak görev yapacak olan yanma odası ısıl izolasyona sahip olacaktır. Burada yakılacak gaz ile önce yanma odasındaki hava ısıtılacak, daha sonra bu hava blower ile hol içerisine üflenecektir. DIN 2448 normuna göre, standart boru boyu 6 metre olduğundan, yanma odasına boru montajı yapılabilmesi öngörülerek yanma odası genişliği 7 metre, yüksekliği 3 metre ve kalınlığı da 3 metre olarak kabul edilmiştir. Kaplama olarak ise 2 mm et kalınlıklı trapez galvanizli sac, 30 mm et kalınlıklı sandviç panel ve 2 mm et kalınlıklı trapez galvanizli sac uygulanacaktır. Yapılan bu kabuller ile yanma odası hacmi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Ayrıca, yanma odası blowerın oluşturacağı vakuma mukavim olarak inşa edilmelidir [28].

$$V_{Yanma\ Odası} = 3\text{ m} \times 7\text{ m} \times 3\text{ m}$$

$$V_{Yanma\ Odası} = 63\text{ m}^3$$

Dış ortam sıcaklığının $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu kabulüyle, sistem termodinamik olarak modellenecektir. Buna göre; yanma odasına $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında giren hava, blowerdan $135\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ debiyle çıkmalıdır. Yanma odası atmosfere açık olmak zorundadır. Çünkü blower sürekli olarak bu debiyle hole hava üflemeğe devam ettikçe (termodinamik olarak sürekli akışlı sistem), aynı debi ile vakum etkisi oluşturarak, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ dış ortam sıcaklığındaki havayı yanma odasına sürekli olarak doldurmaya devam edecektir. Blower çıkışı boru çapı DN200 standardı boru alınarak, yanma odası menfezi, blowerın giriş ve çıkış boru çapı ile aynı çapa sahip olarak kabul edilecektir. Buradan hareketle havanın mükemmel gaz olduğu kabulü yapılarak sürekli akışlı bir modelleme Şekil 3.3'te yapılmış olup hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

$$D_{DN200,iç} = 202.74\text{ mm} \quad D_{DN200,iç} = 0.20274\text{ m}$$

Dairesel kesitli borudan akan akışkanın hacimsel debisi;

$$\dot{v} = VA$$

1 adet blower çıkışı DN200 ve 10 adet DN100 boru içerisinde geçen akışkanın ortalama hızları aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$V_{DN200} = 4 \times \dot{v} / \pi \times D^2 \text{ (m / s)}$$

$$V_{DN200} = [4 \times 135\,000 \text{ m}^3/\text{h} \times (1 \text{ h}) / (3\,600 \text{ s})] / [3.14 \times 0.20^2] \text{ (m / s)}$$

$$V_{DN200} = [4 \times 37.5 \text{ m}^3/\text{s}] / [3.14 \times 0.04 \text{ m}^2] \text{ (m / s)}$$

$$V_{DN200} = [150 \text{ m}^3/\text{s}] / [0.13 \text{ m}^2] \text{ (m / s)}$$

$$V_{DN200} = 1\,153.85 \text{ m / s}$$

100 adet tüm boru tesisatı toplam DN100 boru adeti olarak, boru başına debi;

$$\dot{Q} = 135\,000 \text{ m}^3/\text{h} \div 100$$

$$\dot{Q} = 1\,350 \text{ m}^3/\text{h}'\text{tir. Buradan;}$$

$$V_{DN100} = 4 \times \dot{v} / \pi \times D^2 \text{ (m / s)}$$

$$V_{DN100} = [4 \times 1\,350 \text{ m}^3/\text{h} \times (1 \text{ h}) / (3\,600 \text{ s})] / [3.14 \times 0.10^2] \text{ (m / s)}$$

$$V_{DN100} = [4 \times 0.375 \text{ m}^3/\text{s}] / [3.14 \times 0.01 \text{ m}^2] \text{ (m / s)}$$

$$V_{DN100} = [1.5 \text{ m}^3/\text{s}] / [0.03 \text{ m}^2] \text{ (m / s)}$$

$$V_{DN100} = 50 \text{ m / s}$$

Bölüm 4.2'de Şekil 4.7'deki akış şemasına istinaden; blowerin kullandığı toplam termodinamik güç için öncelikle sistem sürekli adyabatik olarak ele alınmış olup;

Sistem toplam debisi olan 135 000 m³/h için m³/s hesabı;

$$135\,000 \text{ m}^3/\text{h} \times (1 \text{ h} / 3\,600 \text{ s}) = 37.5 \text{ m}^3/\text{s} \text{ olarak bulunur.}$$

Buradan hareketle; hava için gaz sabiti Tablo-1'den $R = 0.2870 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}$ ve hava giriş ve çıkış iç enerji ve entalpi değerleri Tablo A-17'den alınmıştır [27].

Yanma odasındaki reaksiyonlarda zamanla dış ortama ısı aktarımı olmadığı ve sistem şartlarında değişim olmadığı için daimi akışlı bir sistem olarak ele alınmış olup blower adyabatik sıkıştırma yapmaktadır. Sistemdeki havanın mükemmel gaz olduğu koşullara göre; tüm sistem tek giriş ve çıkışlı olarak ele alınmış olup; blower giriş ve çıkışındaki kütleli debi sistemin debisine eşittir. Blower girişi (emiş) kesiti ise yine DN200 kesitindeki borudur. Sabit $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$ kütleli debi tespiti yapılabilmesi için, havanın sıcaklığa bağlı olarak yoğunluğunun tespit edilmesi gereklidir. Bu nedenle 200 °C hava yoğunluk tablosu kullanılmış olup Çizelge 5.24 ile gösterilmiştir [29].

Çizelge 5.24. Hava sıcaklığına bağlı yoğunluk tablosu.

Temperature °C	Density kg/m ³	Specific Weight N/m ³
-40	1.514	14.85
-20	1.395	13.68
0	1.293	12.67
5	1.269	12.45
10	1.247	12.23
15	1.225	12.01
20	1.204	11.81
25	1.184	11.61
30	1.165	11.43
40	1.127	11.05
50	1.109	10.88
60	1.060	10.40
70	1.029	10.09
80	0.9996	9.803
90	0.9721	9.533
100	0.9461	9.278
200	0.7461	7.317
300	0.6159	6.040
400	0.5243	5.142
500	0.4565	4.477
1000	0.2772	2.719

Tek giriş ve çıkışlı blower için $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$ eşitliğindeki kütleli debi tespiti için, öncelikli olarak;

$$\dot{m}_2 = \rho_2 V_2 A_2$$

$$\dot{m}_2 = 0.75 \text{ kg/m}^3 \cdot 50 \text{ m/s} \cdot \left(\frac{3.14 \cdot 0.2^2}{4} \text{ m}^2 \right)$$

$$\dot{m}_2 = 1.18 \text{ kg/s}$$

Buradan blower çıkış basıncı P_2 için özgül hacim eşitliği kullanılmış ve aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$v_2 = \frac{1}{\dot{m}} A_2 V_2, v_2 = \frac{1}{1.18 \text{ kg/s}} \cdot \left(\frac{3.14 \cdot 0.2^2}{4} \text{ m}^2 \right) \cdot 50 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0.85 \text{ s/kg} \cdot 0.03 \text{ m}^2 \cdot 50 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 1.28 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_2 = \frac{R T (K)_{200^\circ\text{C}}}{v_2}, P_2 = \frac{0.2870 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K} \cdot 473.15 \text{ K}}{1.28 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

$P_2 = 106.08 \text{ kPa}$ olarak bulunur.

Buradan blower giriş(emiş) hızı için;

$$V_1 = \frac{R T (K)_{-10^\circ\text{C}}}{P_1}, V_1 = \frac{0.2870 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K} \cdot 263.15 \text{ K}}{101.32 \text{ kPa}}$$

$$V_1 = 0.74 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_1 = \frac{\dot{m} \cdot v_1}{A_1}, V_1 = \frac{1.18 \text{ kg/s} \cdot 0.74 \text{ m}^3/\text{kg}}{0.03 \text{ m}^2}$$

$$V_1 = 29.10 \text{ m/s}$$

Blower, kütle transferine izin veren kontrol hacmi, yani sistem olarak alındığında, bu daimi akışlı sistem için enerji dengesi;

$$\dot{m} (h_1 + V_1^2/2) + \dot{W} = \dot{m} (h_2 + V_2^2/2)$$

$$\dot{W} = \dot{m} \left(h_{200^\circ\text{C}} - h_{-10^\circ\text{C}} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right)$$

$$\dot{W} = 1.18 \text{ kg/s} [475.47 \text{ kJ/kg} - 263.25 \text{ kJ/kg} + \frac{(50 \text{ m/s})^2 - (29.10 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right)]$$

$$(\dot{Q} \cong \Delta p_e \cong 0)$$

$$\dot{W} = 1.18 \text{ kg/s} [475.47 \text{ kJ/kg} - 263.25 \text{ kJ/kg} + \frac{2500 \text{ m}^2/\text{s}^2 - 846.81 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2}$$

$$\left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right)] (\dot{Q} \cong \Delta p_e \cong 0)$$

$$\dot{W} = 251.39 \text{ kJ/s}$$

$$\dot{W} = 251.39 \text{ kW olarak bulunur.}$$

Hole hava vasıtasıyla 8 saat üfleme süresiyle birlikte sevk edilen ısı için;

$$\dot{W} \times h = 251.39 \text{ kJ/s} \times 3600 \text{ s/1 h} \times 8 \text{ h} = 905004 \text{ kJ/h} \times 8 \text{ h} = 7240032 \text{ kJ'dür.}$$

Bölüm 5.4'te hesaplanan ısı kaybı hesabı, 150 metre ısıtma hol uzunluğunun tümü içindir. Ancak ısıl analiz, tek vagon üzerinden ve ısıtma holünün 15 metrelik bölümü üzerine uygulanmış olup, sistemin 15 metrelik ısıtma holü dahilinde 8 saatte kaybettiği ısı miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\dot{Q}_{\text{toplam,tv}} = \frac{\dot{Q}_{\text{toplam,h}}}{10} + \dot{Q}_{\text{toplam ısı kaybı yanma odası}} + \left[\dot{Q}_{\text{toplam,borular}} \times \frac{15 \text{ m}}{503 \text{ m}} \right]$$

$$\dot{Q}_{\text{toplam,tv}} = \frac{300912.88 \text{ W}}{10} + 8730.33 \text{ W} + 1371.22 \text{ W} \times \frac{15 \text{ m}}{503 \text{ m}}$$

$$\dot{Q}_{\text{toplam,tv}} = 38862.5 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{toplam,tv}} = 38.86 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{toplam,tv}} = 38.86 \text{ kJ/s} \times 3600 \text{ s/1 h} \times 8 \text{ h}$$

$$\dot{Q}_{\text{toplam,tv}} = 1119168 \text{ kJ'dür.}$$

Bölüm 5.7’de hesaplanan toplam ısı miktarı ise;

$$Q_{\text{toplam,kj}} = 439\ 242.6 \text{ kJ'dür.}$$

5.9. GEREKLİ HAVA DEBİSİNİN HESAPLANMASI

Endüstriyel blowerlar, emilen havanın yüksek debi ve düşük basınçta gönderilmesini sağlarlar ve verdikleri hava miktarları m^3/h olarak ölçülür. Bu çalışmada don çözümüne ilişkin boru içi akışkan hızlarından yola çıkılarak uygun hava debisi araştırılmış olup, bu debiyi sağlayabilmek için gerekli blower seçimi yapılmıştır.

Yanma odasından aldığı ısıtılmış havayı hızlı bir şekilde sevk edecek olan sistemden beklenen özellikler ise aşağıdaki maddeler halinde verilmiştir:

1. Seçilecek olan blowerın satın alma ve bakım maliyeti düşük olmalıdır.
2. Mümkün olan en kısa sürede ve hızlı bir şekilde yanma odasından aldığı ısıtılmış havayı hol içerisine sevk edebilmelidir.
3. Kullanım ömrü uzun olmalıdır.
4. Hava kapasitesi yüksek olmalıdır.
5. Hol hacmi kadar havanın yerini değiştirebilmelidir.
6. Hem sistem girişinde hem de yanma odası menfezinde, demir çelik tesisindeki aşırı tozlu ortamı bertaraf edebilmesi için filtre bulunmalıdır.
7. Filtrelere temizlik için belirli periyotlarla azot şoklaması uygulanmalıdır.

Yukarıdaki faktörler göz önüne alındığında malzeme don çözme hesabında $135\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$ debi kapasiteli bir blower hesaplamalarda kullanılacaktır.

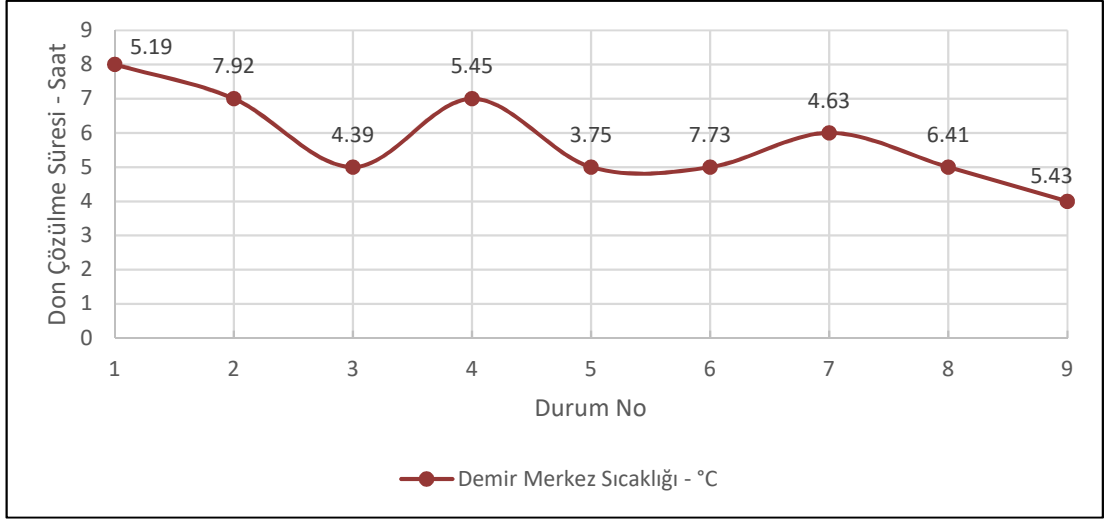
5.10 MALZEME DON ÇÖZME SÜRESİ HESABI

Bölüm 4’te belirtilen ve analizde kullanılan hava sıcaklık şartları olan $200\text{ }^\circ\text{C}$, $250\text{ }^\circ\text{C}$ ve $300\text{ }^\circ\text{C}$; ve 50 m/s , 75 m/s ve 100 m/s hava hızı şartları öncelikli olarak demire uygulanmış olup, malzeme merkezinin $+3$ ile $+8\text{ }^\circ\text{C}$ arasında sabit tutulması koşuluyla

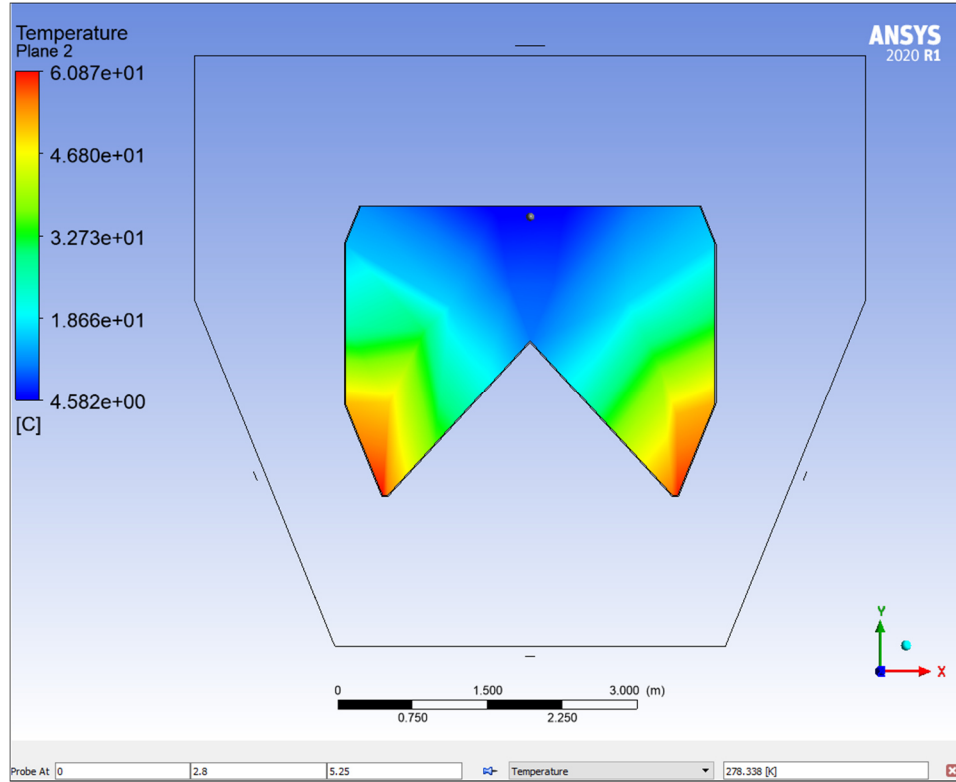
don çözme süreleri hesaplanmış, aynı süre ve hava şartları antrasit kömüre de uygulanarak bu defa antrasit kömür üzerindeki sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Ansys Result bölümü prop ile okunan sıcaklık değeri koordinatları ise; x ekseninde 0, y ekseninde 2.8 m (vagon ve malzeme yüzeyine yakın olan nokta) ve z ekseninde 5.25 m olup, sıcaklık spektrumu vagon yan ve alın cepheden olmak üzere 2 cepheden demir ve antrasit kömür için verilmiştir. Demir için analiz sonucunda tespit edilen değerler Çizelge 5.25'te, Çizelge 5.26'da ise antrasit kömür için verilmiştir. Her bir analiz durumu için analiz sonuçları ise demir ve antrasit kömür için ayrı ayrı sunulmuştur. Ayrıca Bölüm 5.5'te ve Bölüm 5.6'da malzeme ve vagon ısı ihtiyacı hesaplamalarında kullanılan sıcaklık değerleri, analizde baz alınan 200 °C hava sıcaklığı ve 50 m/s hava hızı şartları 8 saat uygulandıktan sonra, Çizelge 5.54'te Durum 1 ile gösterilen ve prop koordinatlarıyla alınan merkez sıcaklığından alınmıştır. Demir için uygulanan analiz sonucunda vagon cidar sıcaklığı ise Şekil 5.47'de gösterilmiş olup, 4.37 °C'dir.

Çizelge 5.25. Demir için hava şartları, don çözülme süresi ve malzeme merkez sıcaklık tablosu.

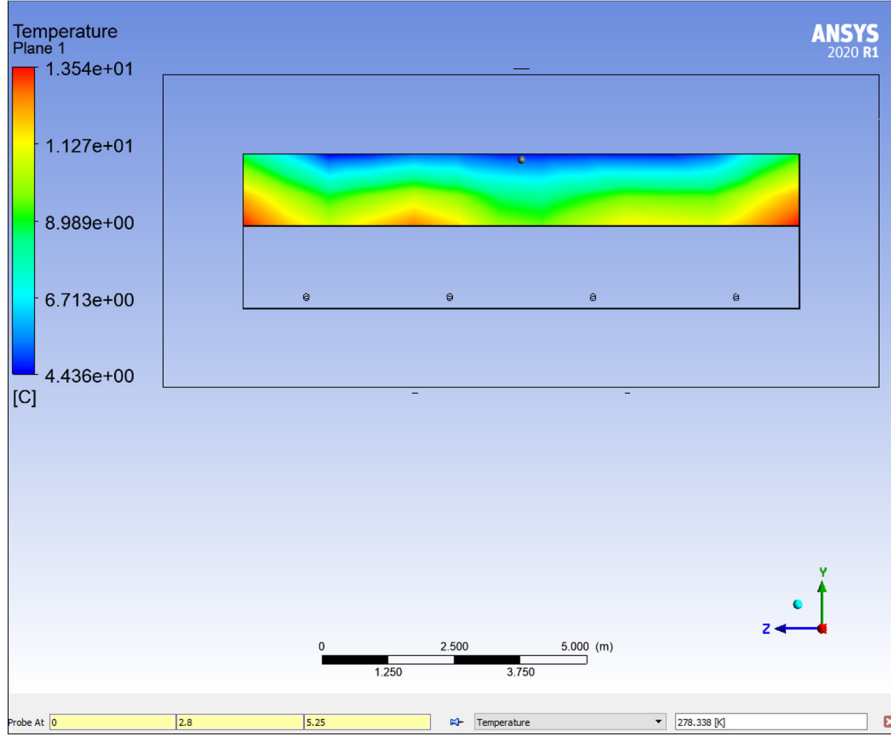
DEMİR				
Durum No	Uygulanan Hava Sıcaklığı - Uygulanan Hava Hızı	Don Çözülme Süresi	Merkez Sıcaklığı	Merkez Sıcaklığı
1	200 °C – 50 m/s	8 saat	278.34 K	5.19 °C
2	200 °C – 75 m/s	7 saat	281.07 K	7.92 °C
3	200 °C – 100 m/s	5 saat	277.54 K	4.39 °C
4	250 °C – 50 m/s	7 saat	278.60 K	5.45 °C
5	250 °C – 75 m/s	5 saat	276.90 K	3.75 °C
6	250 °C – 100 m/s	5 saat	264.74 K	7.73 °C
7	300 °C – 50 m/s	6 saat	277.78 K	4.63 °C
8	300 °C – 75 m/s	5 saat	279.56 K	6.41 °C
9	300 °C – 100 m/s	4 saat	278.58 K	5.43 °C



Şekil 5.10. Her bir durum için demir merkez sıcaklıkları.

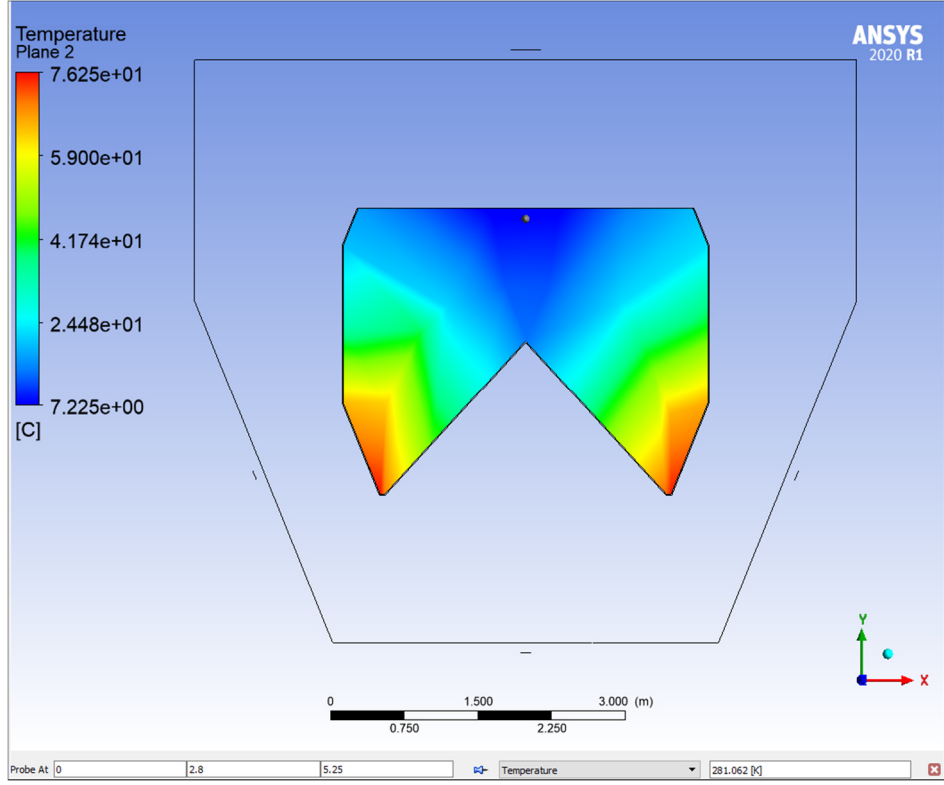


Şekil 5.11. Durum 1 200 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları-alın cephe.

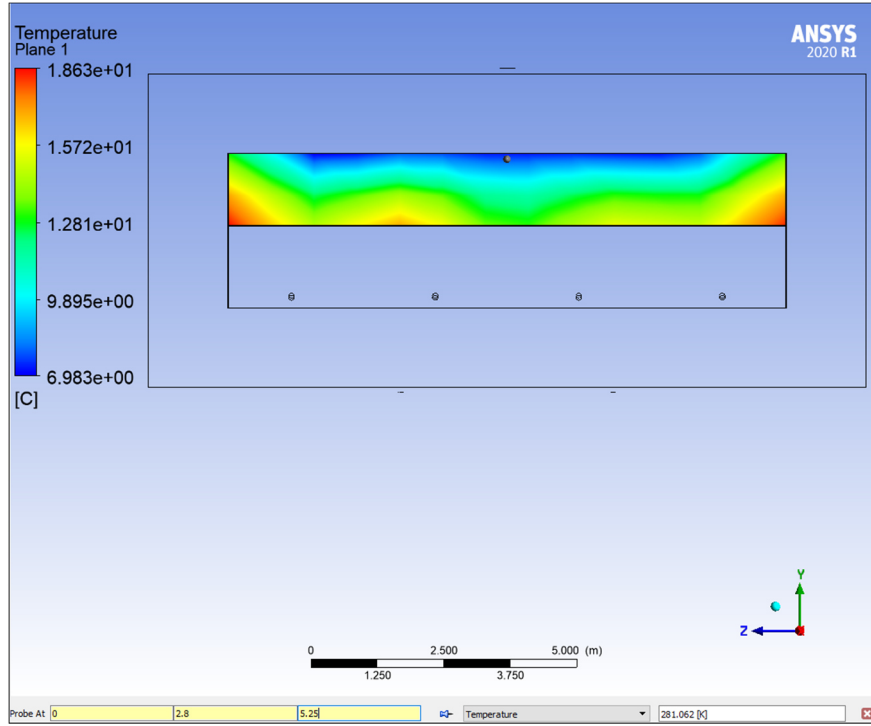


Şekil 5.12. Durum 1 200 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

200 °C ve 50 m/s hava şartları vagon ve malzemeye uygulandığında hem ekonomik ısıtma sağlanmış olup hem de malzemenin merkez sıcaklık değeri 5.19 °C değerine ulaşmaktadır. Bu sıcaklık değeri, deşarj bunkerleri ısıtma holüne uzak mesafede bulunsa da sevk sırasında tekrar don olayının gerçekleşmesini engelleyebilmek için yeterli bir sıcaklık değeridir. Hem İsveç Svappavaara hem de Kiruna bölgesinde uygulanmakta olan 200 °C hava sıcaklığı sabit tutulmuş, uygulanmakta olan bu sistemde, ısıtılan vagonların Kardemir A.Ş. F tipi vagonlardan yükleme hacmi yönüyle negatif ayrışması nedeniyle hava hız şartı 50 m/s seçilerek efektif ve daha hızlı bir ısıtma sağlanması amaçlanmıştır.

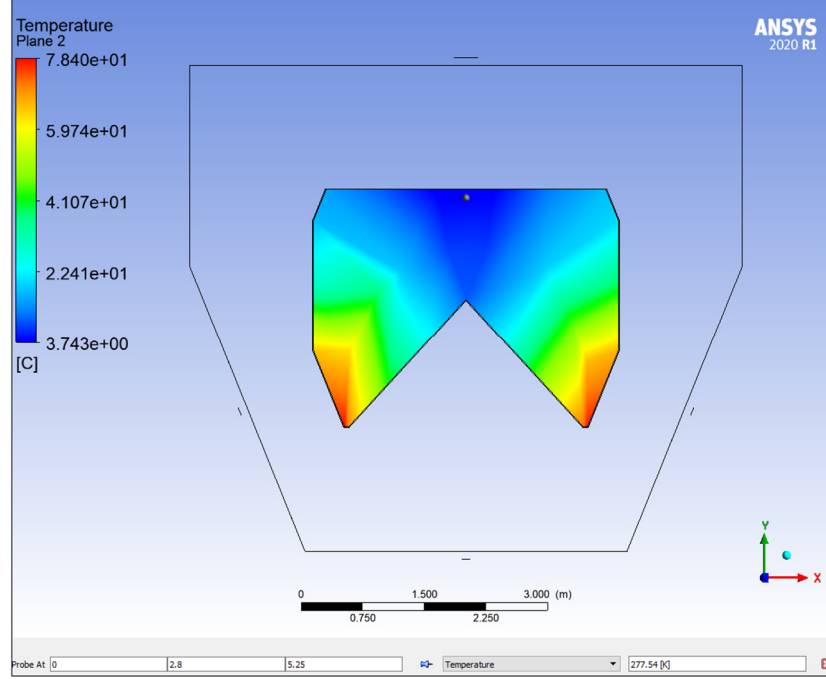


Şekil 5.13. Durum 2 200 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

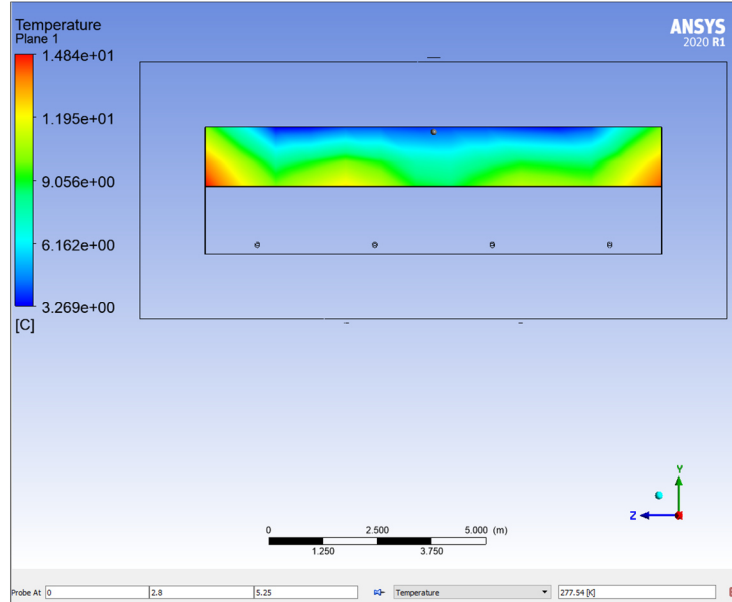


Şekil 5.14. Durum 2 200 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

200 °C ve 75 m/s hava şartları incelendiğinde ise, sıcaklık sabit tutulmak koşuluyla, don çözme süresi 7 saate gerilemiş olmakla birlikte, malzeme merkez sıcaklığı 7.92 °C değerine yükselmiştir.

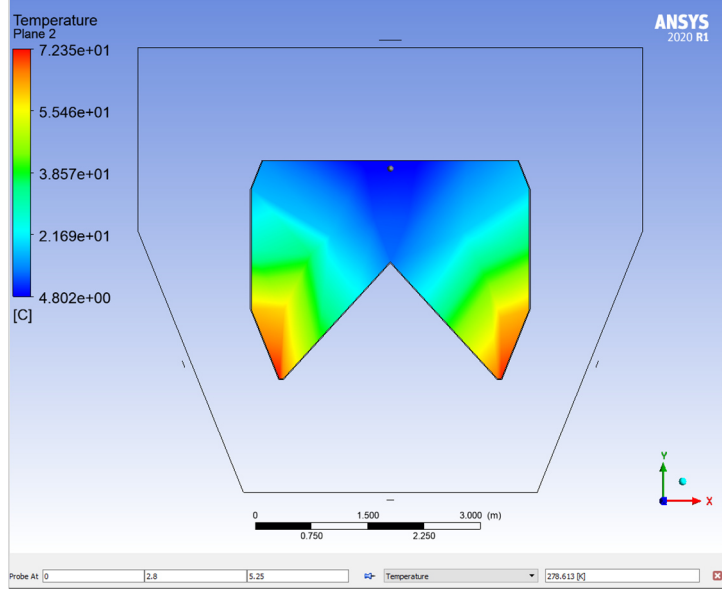


Şekil 5.15. Durum 3 200 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

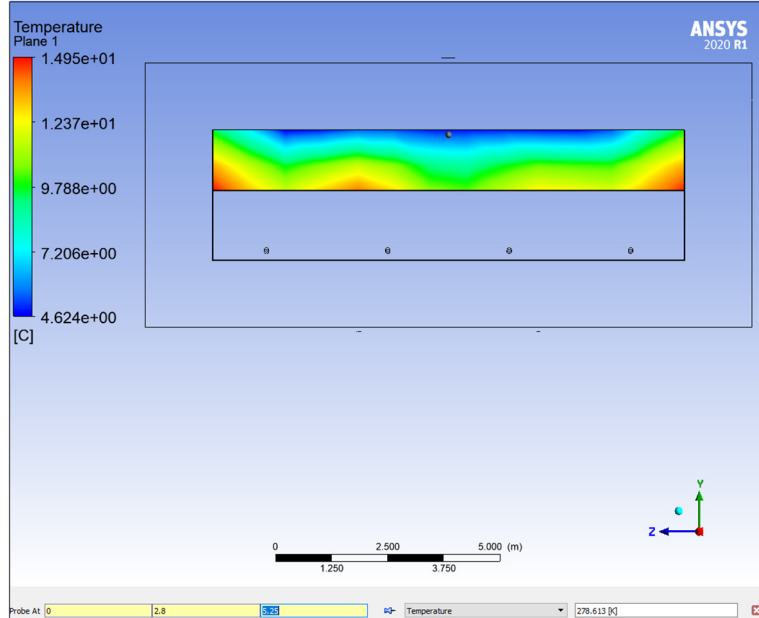


Şekil 5.16. Durum 3 200 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

200 °C üfleme sıcaklığı için hava hızı 100 m/s değerlerine çıkarıldığında don çözme süresinin 5 saate düştüğü tespiti yapılmıştır. Buradan 200 °C hava sıcaklığı sabit tutulmak koşuluyla, üflenen hava hızı 75 m/s ve 100 m/s değerlerine çıkarıldığında don çözme süreleri doğru orantılı olarak gerilemiştir.

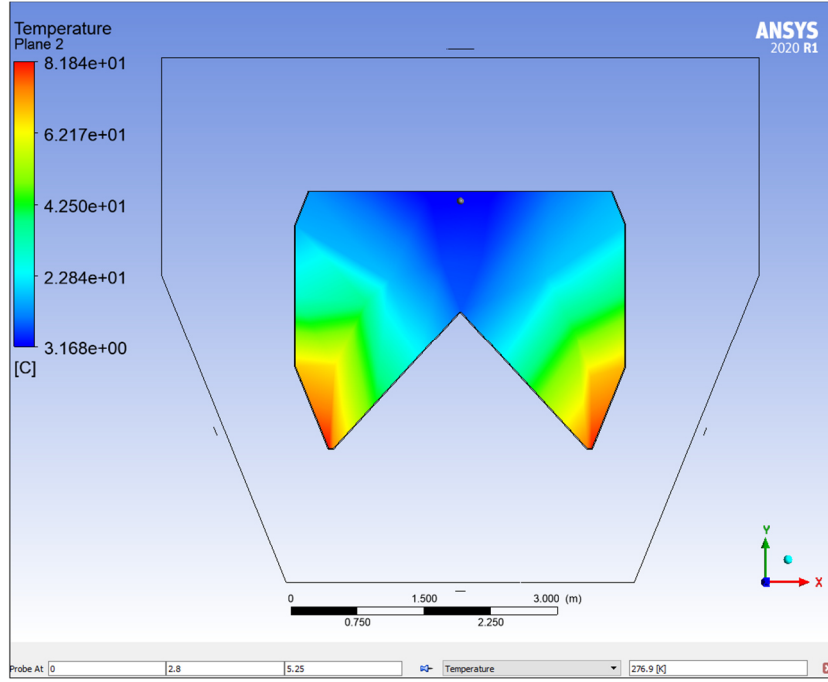


Şekil 5.17. Durum 4 250 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

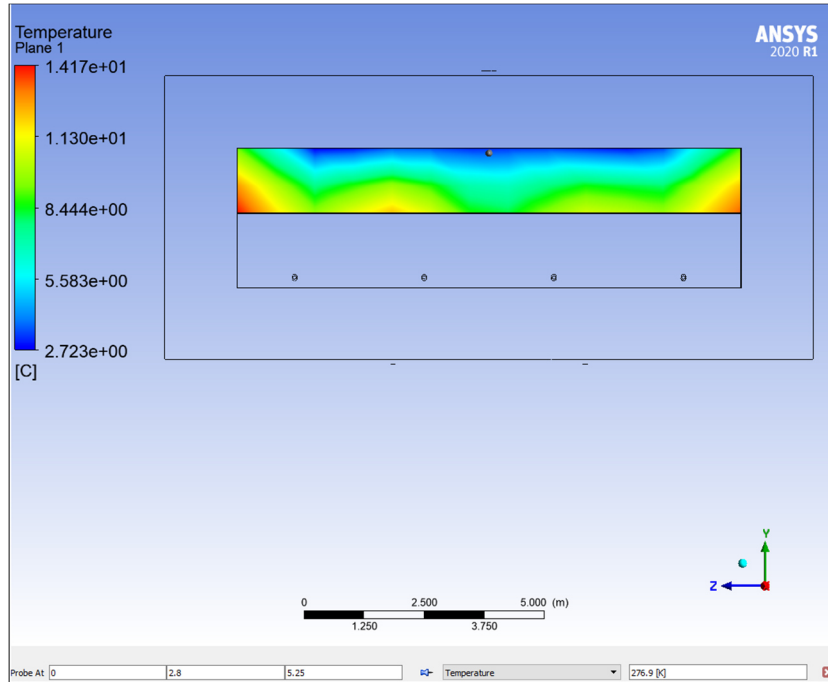


Şekil 5.18. Durum 4 250 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

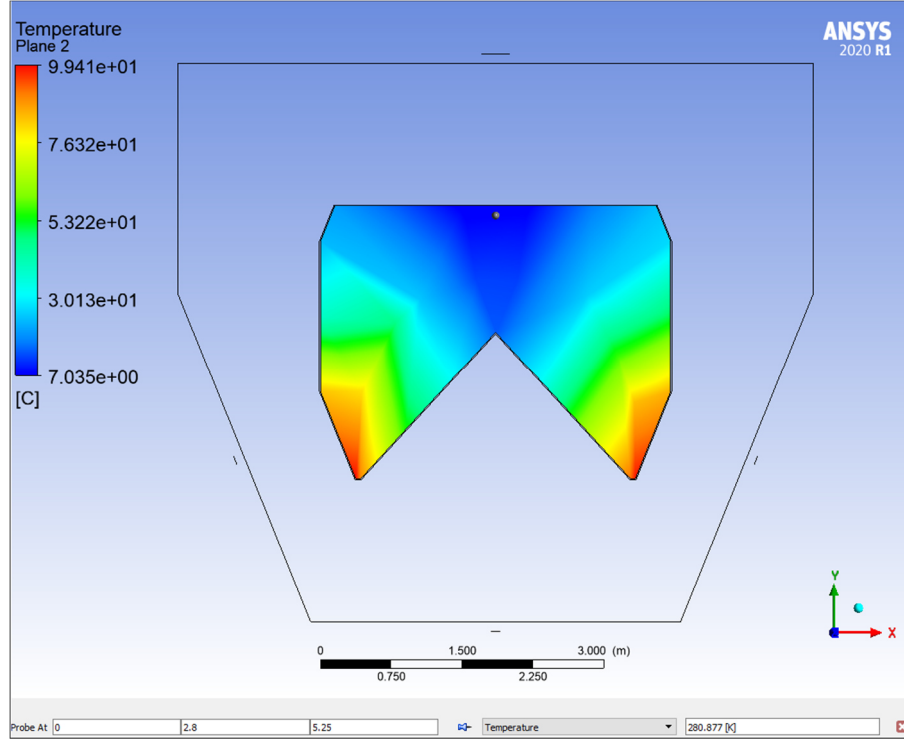
250 °C ve 50 m/s şartlarında, demir merkez sıcaklığı 5.45 °C ile neredeyse 200 °C ve 50 m/s şartları malzeme merkez sıcaklığı olan 5.19 °C olması ve don çözülme süresine 1 saatlik pozitif katkısı mukabilinde önemli bir değişikliğe uğramamıştır.



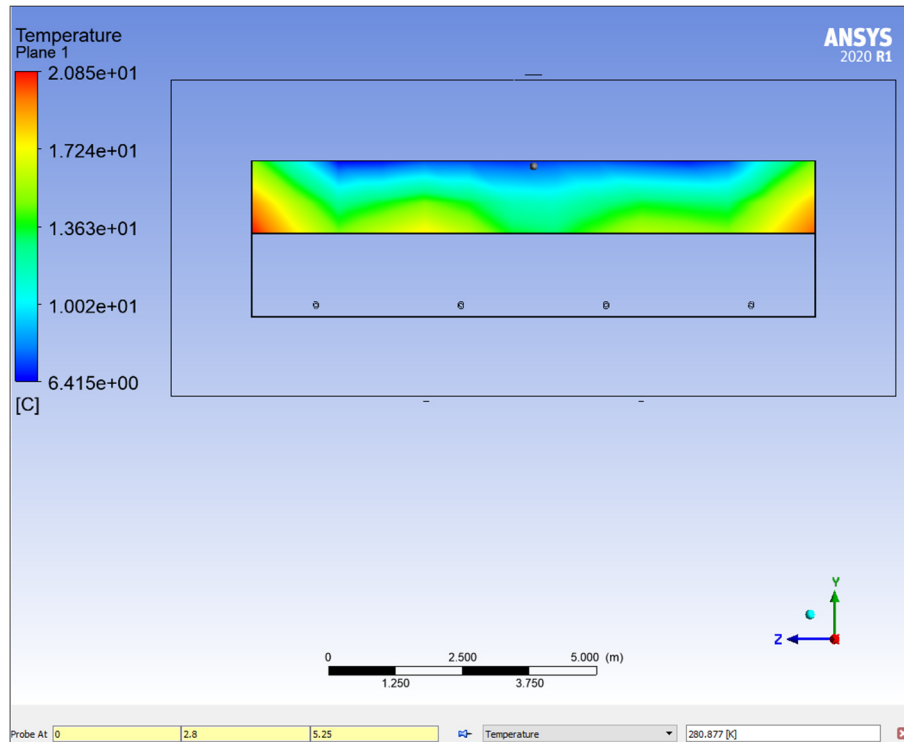
Şekil 5.19. Durum 5 250 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.



Şekil 5.20. Durum 5 250 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

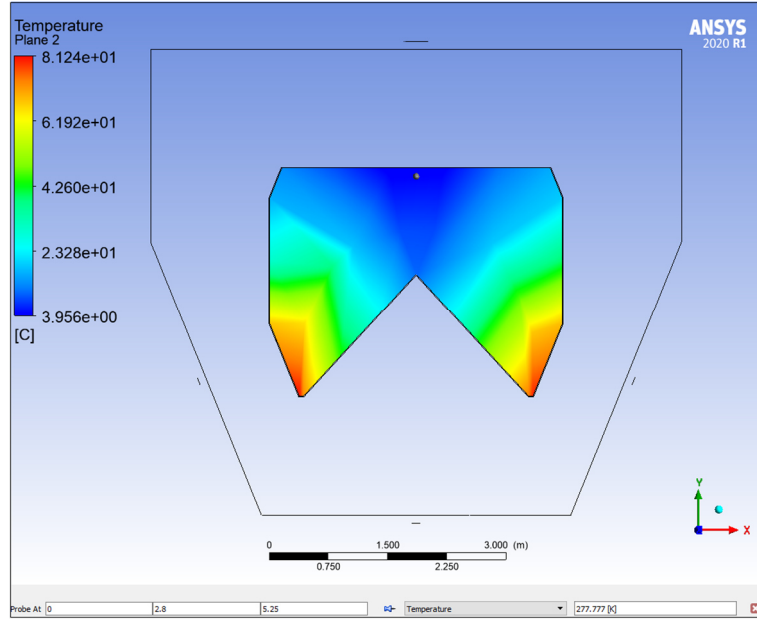


Şekil 5.21. Durum 6 250 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

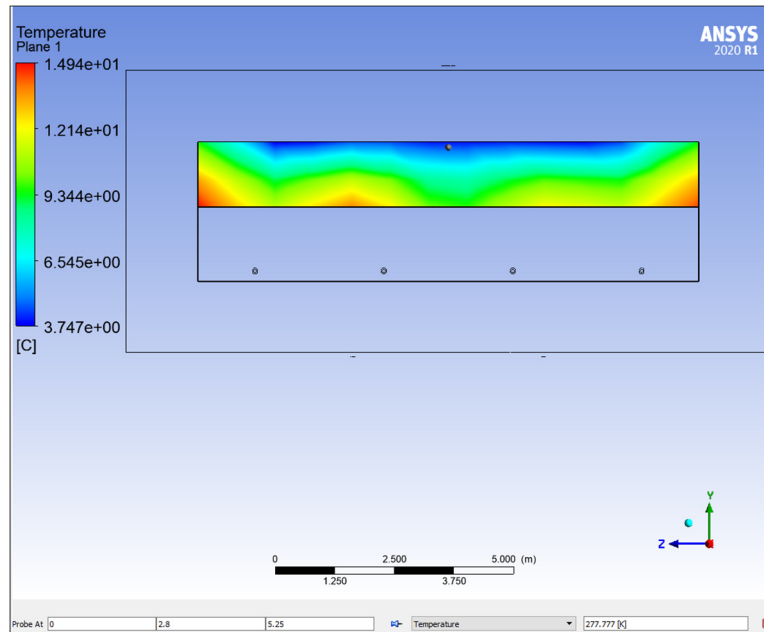


Şekil 5.22. Durum 6 250 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

Ancak 250 °C ve 75 m/s şartlarında malzeme merkez sıcaklığı 3.75 °C ile tüm hava şartlarından daha düşük bir seviyeye gerilemiş ve don çözme süresi ise 5 saat olarak tespit edilmiştir. 250 °C ve 75 m/s hava şartından hız 100 m/s değerine çıkarıldığında don çözme süresi 5 saat olarak sabit kalmış, ancak merkez sıcaklığı 7.73 °C değerine yükselmiştir.

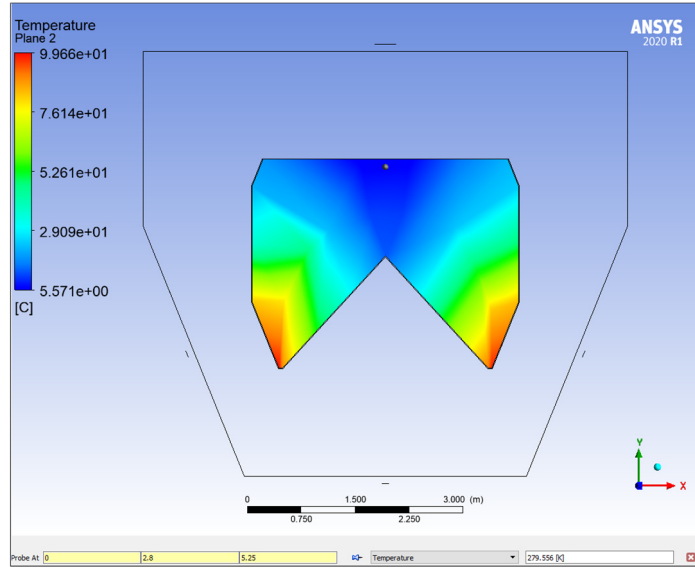


Şekil 5.23. Durum 7 300 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları—alın cephe.

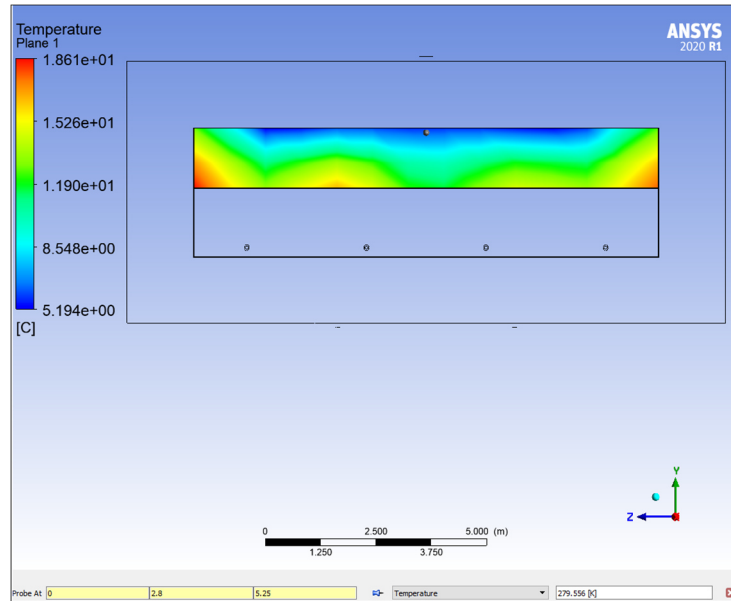


Şekil 5.24. Durum 7 300 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları—yan cephe.

300 °C ve 50 m/s hava şartları incelendiğinde, malzeme merkez sıcaklığı 4.63 °C değerini almıştır. 50 m/s hava hızı sabit tutulmak koşuluyla, sıcaklık 250 °C değerine düşürüldüğünde merkez sıcaklığı 5.45 °C değerine yükselmekte ve don çözme süresi 7 saate çıkmakta, 200 °C değerine düşürüldüğünde ise 5.19 °C değerini alarak, sıcaklığın düşürülmesine rağmen kayda değer olmasa da beklenenin aksine pozitif yönlü bir çıkış göstermiş, beraberinde ise don çözme süresi 8 saate çıkmıştır.

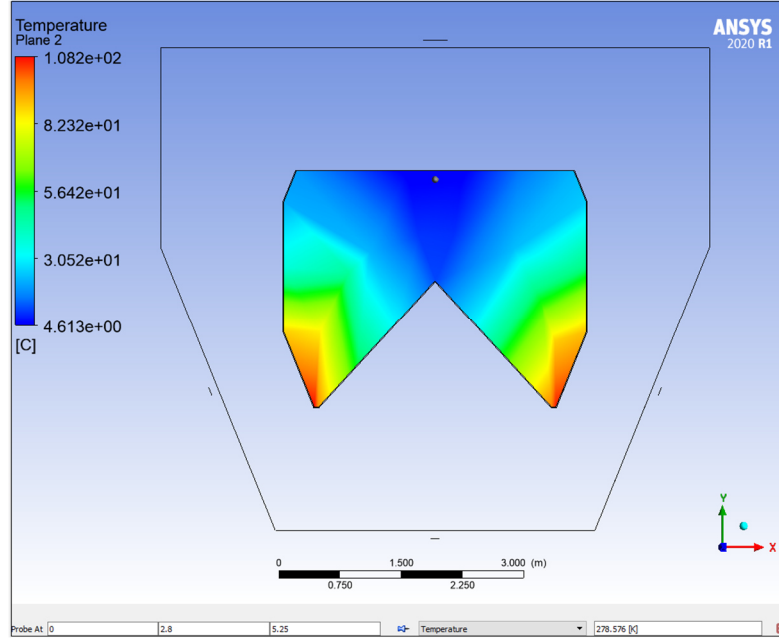


Şekil 5.25. Durum 8 300 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

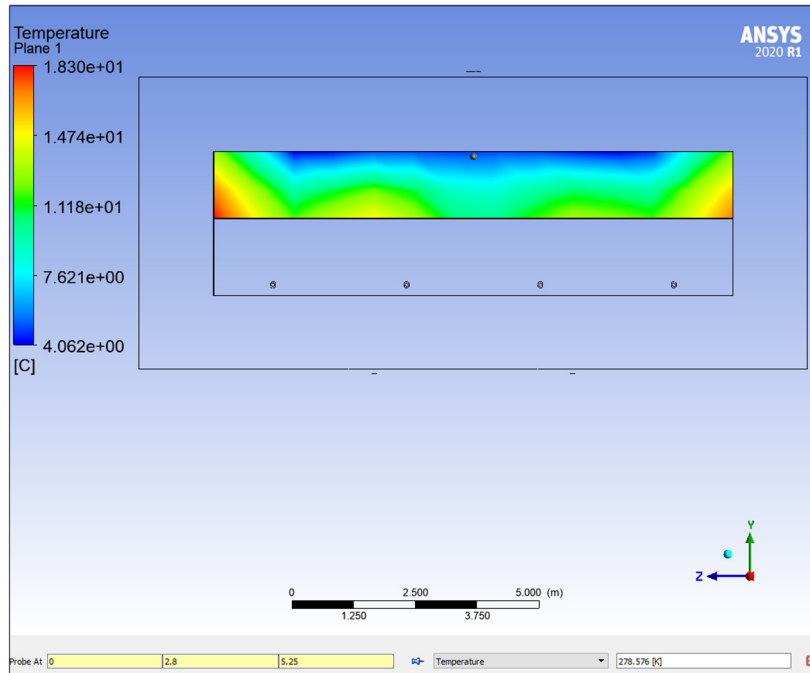


Şekil 5.26. Durum 8 300 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

300 °C ve 75 m/s hava şartlarında ise, 5 saatlik sabit don çözme süresi sabit kalmış olup, 250 °C ve 75 m/s hava şartlarında merkez sıcaklık 3.75 °C iken, 300 °C’de ise 6.41 °C ile sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak pozitif yönde bir değişim göstermiştir.



Şekil 5.27. Durum 9 300 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları—alın cephe.

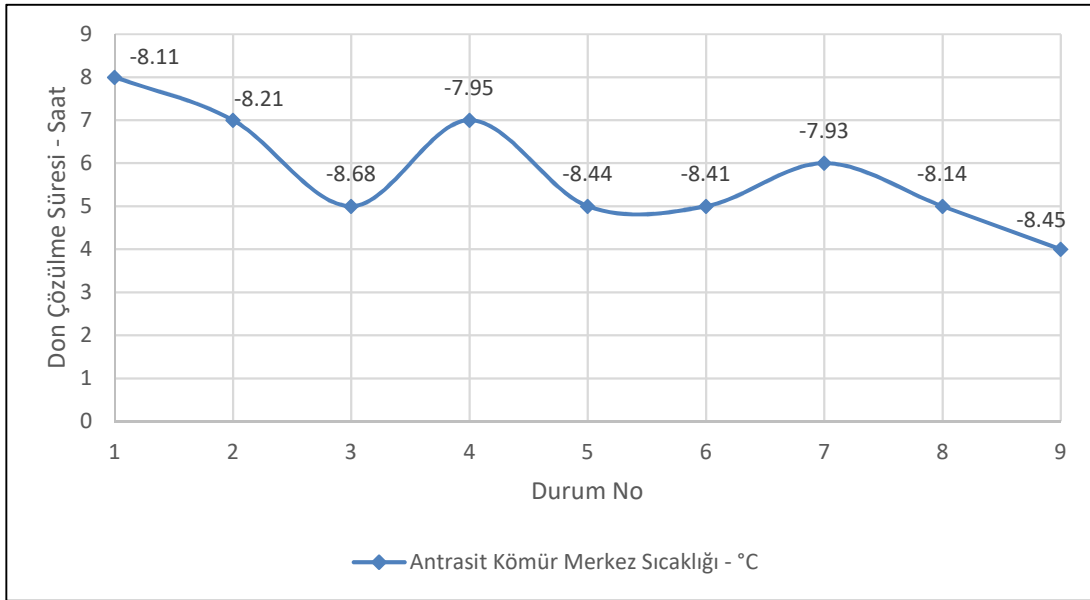


Şekil 5.28. Durum 9 300 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları—yan cephe.

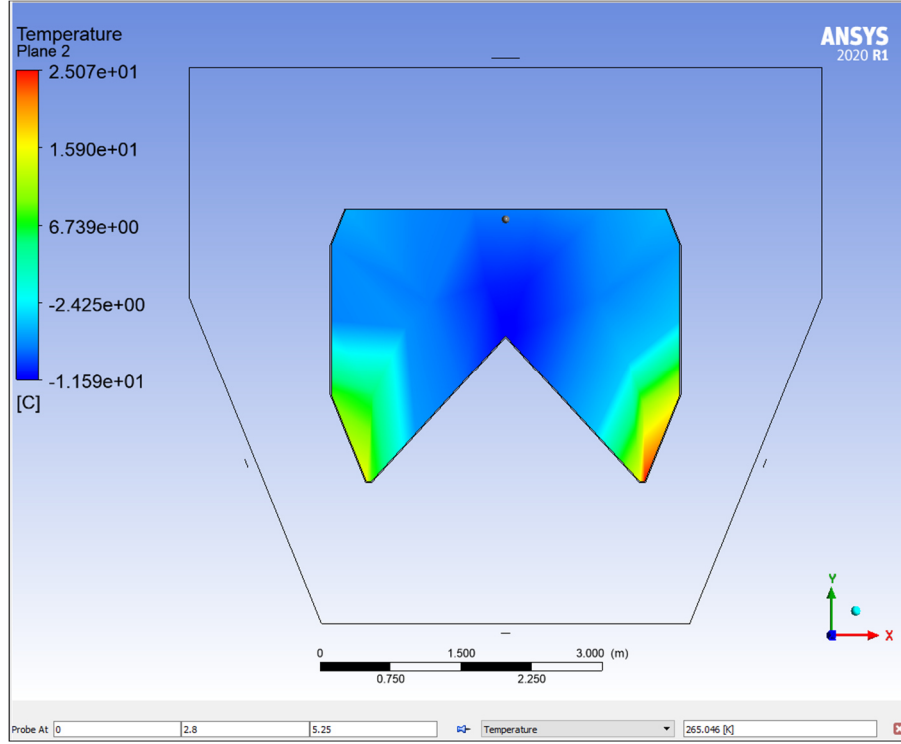
300 °C ve 100 m/s şartları incelendiğinde, 200 °C ve 50 m/s şartlarına göre don çözme süresi 8 saatten 4 saate kadar gerileyerek malzeme merkez sıcaklığı 5.43 °C olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.26. Antrasit kömür için hava şartları, don çözülme süresi ve malzeme merkez sıcaklık tablosu.

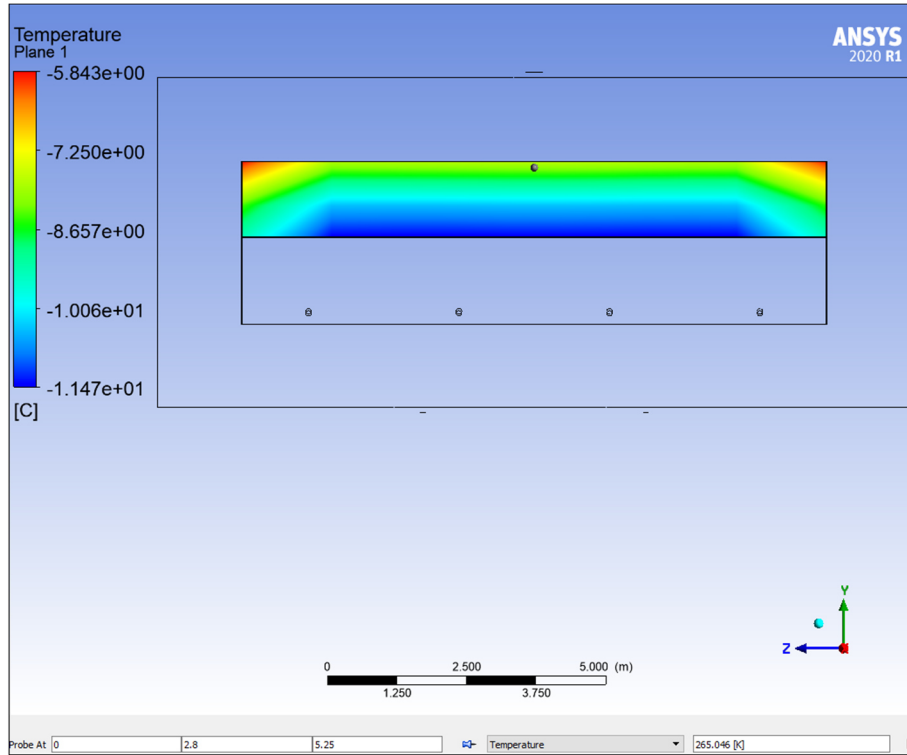
ANTRASİT KÖMÜR				
Durum No	Uygulanan Hava Sıcaklığı - Uygulanan Hava Hızı	Demir için Uygulanan Süre	Merkez Sıcaklığı	Merkez Sıcaklığı
1	200 °C – 50 m/s	8 saat	265.04 K	-8.11 °C
2	200 °C – 75 m/s	7 saat	264.94 K	-8.21 °C
3	200 °C – 100 m/s	5 saat	264.47 K	-8.68 °C
4	250 °C – 50 m/s	7 saat	265.20 K	-7.95 °C
5	250 °C – 75 m/s	5 saat	264.71 K	-8.44 °C
6	250 °C – 100 m/s	5 saat	264.74 K	-8.41 °C
7	300 °C – 50 m/s	6 saat	265.22 K	-7.93 °C
8	300 °C – 75 m/s	5 saat	265.01 K	-8.14 °C
9	300 °C – 100 m/s	4 saat	264.70 K	-8.45 °C



Şekil 5.29. Durum numarasına göre antrasit kömür merkez sıcaklığı grafiği.

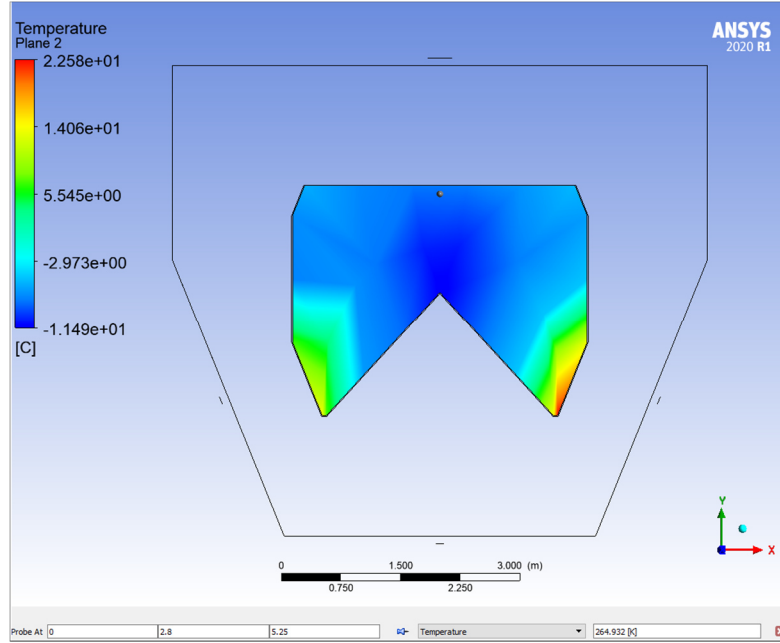


Şekil 5.30. Durum 1 200 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

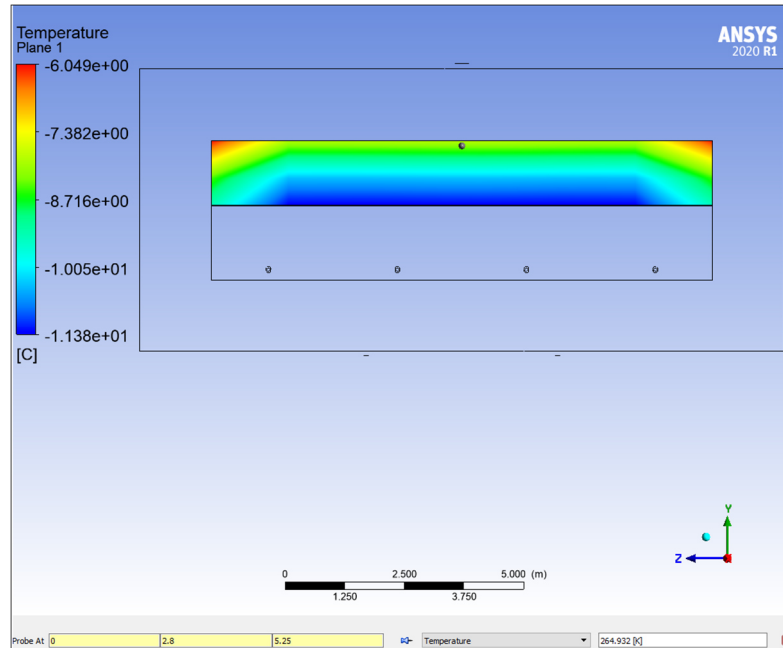


Şekil 5.31. Durum 1 200 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

Antrasit kömür için, demire uygulanan 8 saatlik don çözme süresi sonucunda 200 °C ve 50 m/s hava şartları için malzeme merkez sıcaklığı 8.11 °C’de kalarak don çözülemediği görülmüştür.

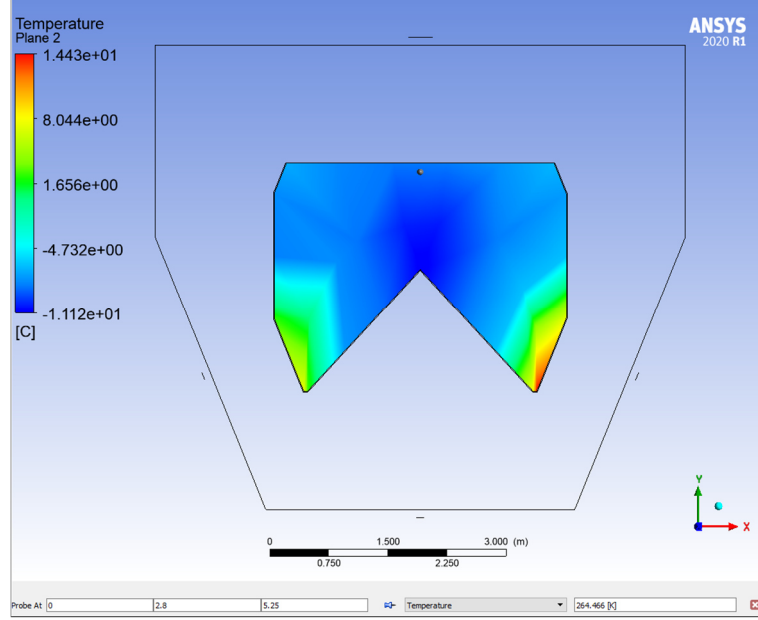


Şekil 5.32. Durum 2 200 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

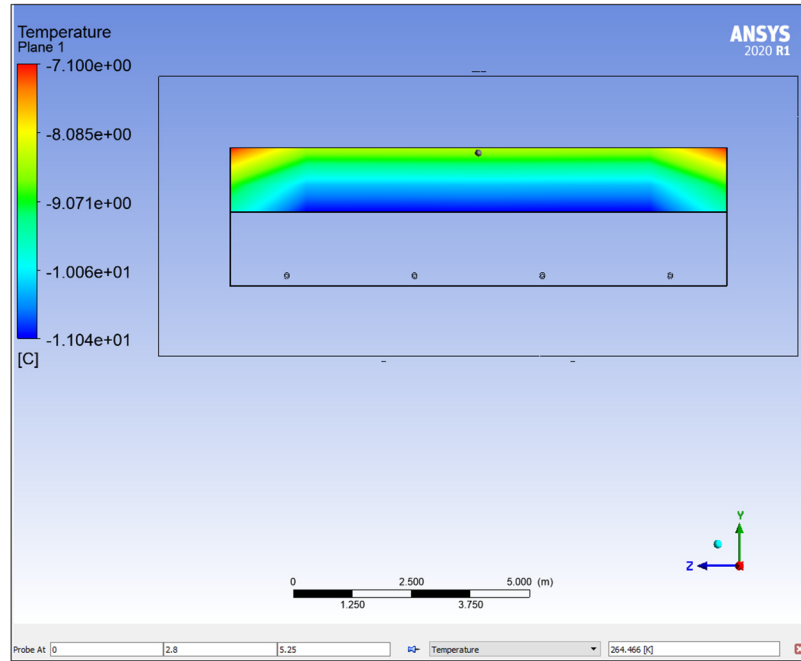


Şekil 5.33. Durum 2 200 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

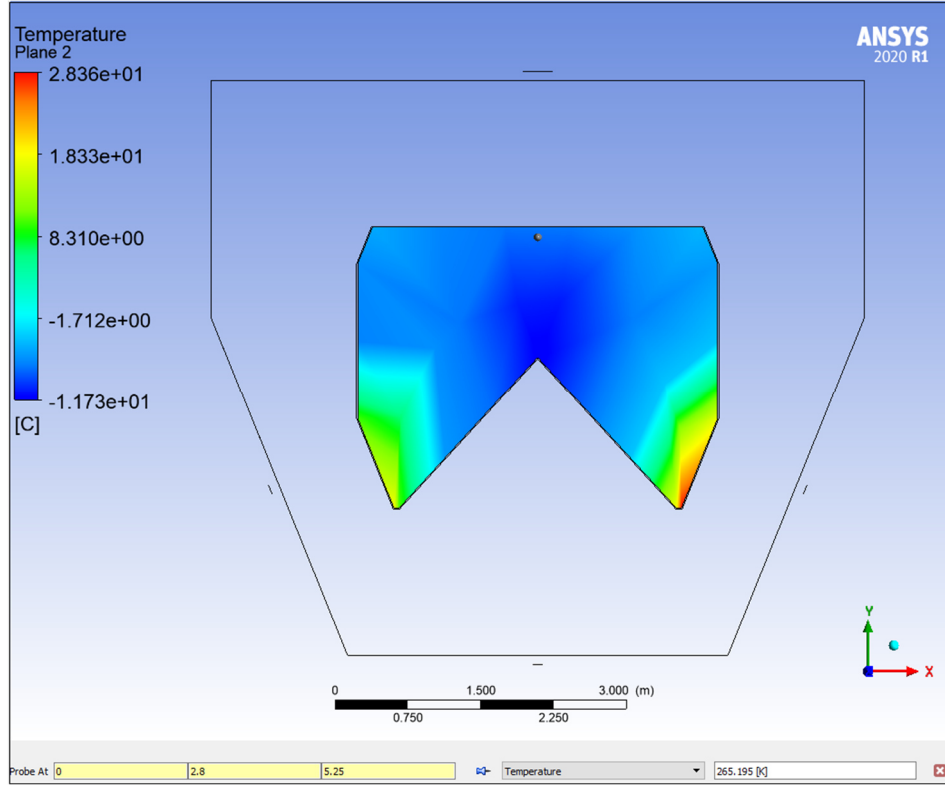
200 °C sıcaklık sabit bırakılarak, hava hızının 75 m/s'ye çıkarılmasına ve don çözme süresinin 7 saat seçilmesine rağmen, kömür merkez sıcaklığı 8.21 °C ile sabit kalmış olup don çözülmesi sağlanamamıştır.



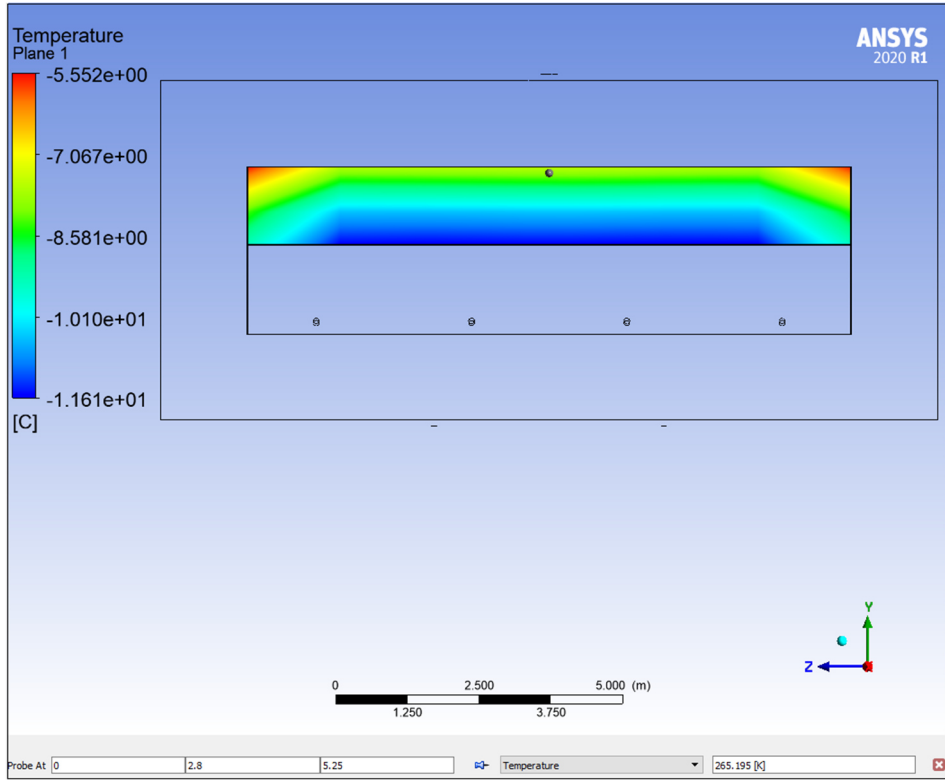
Şekil 5.34. Durum 3 200 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.



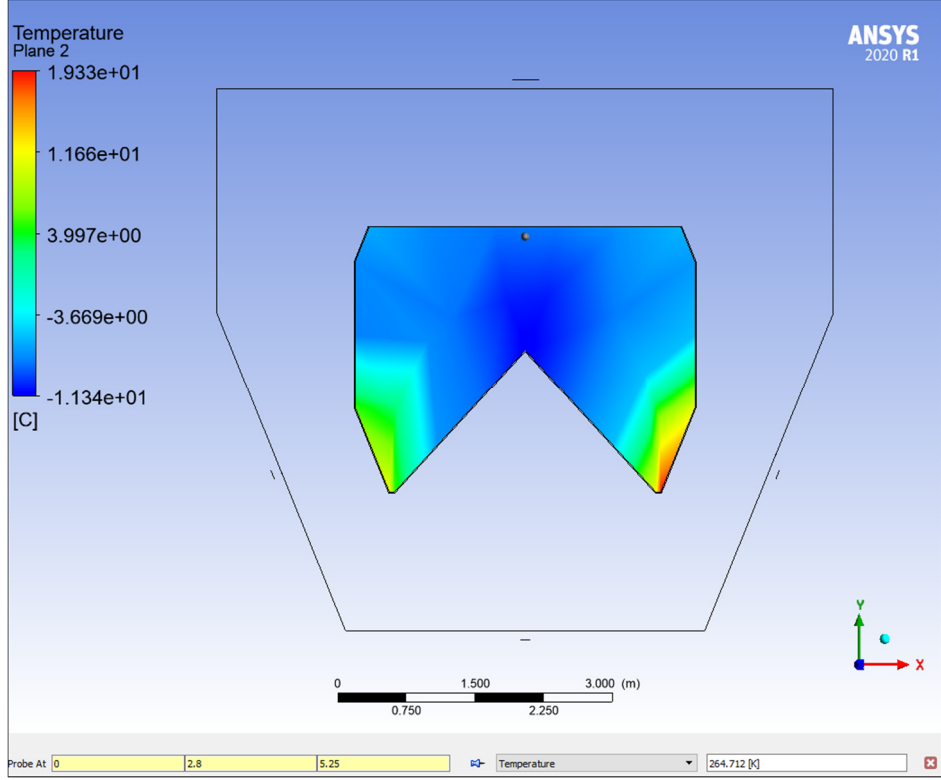
Şekil 5.35. Durum 3 200 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.



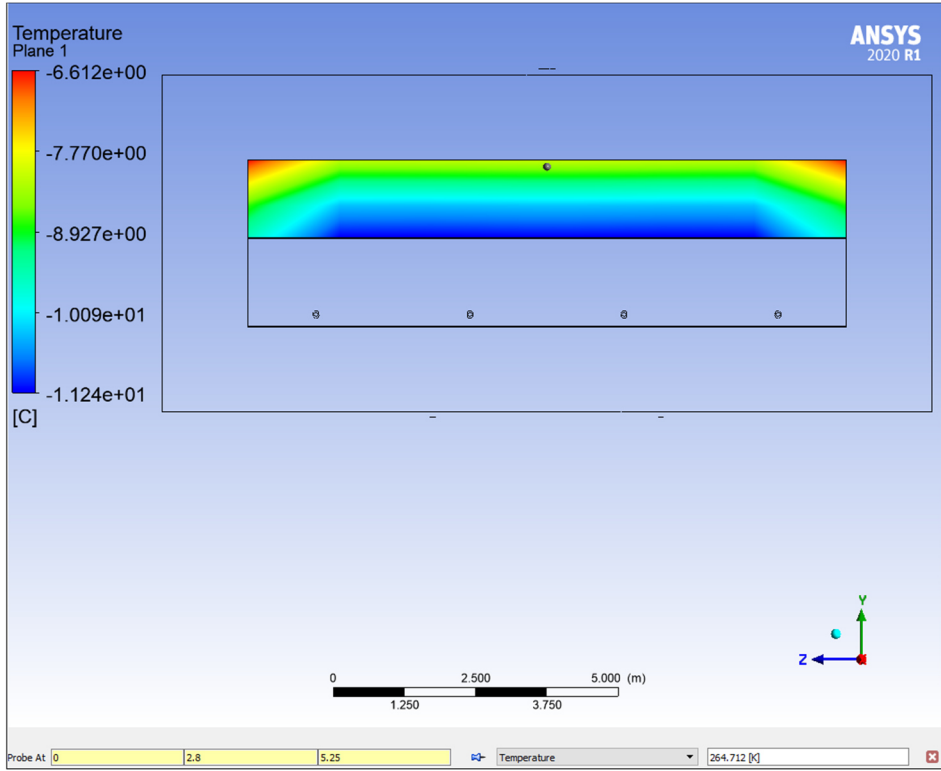
Şekil 5.36. Durum 4 250 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.



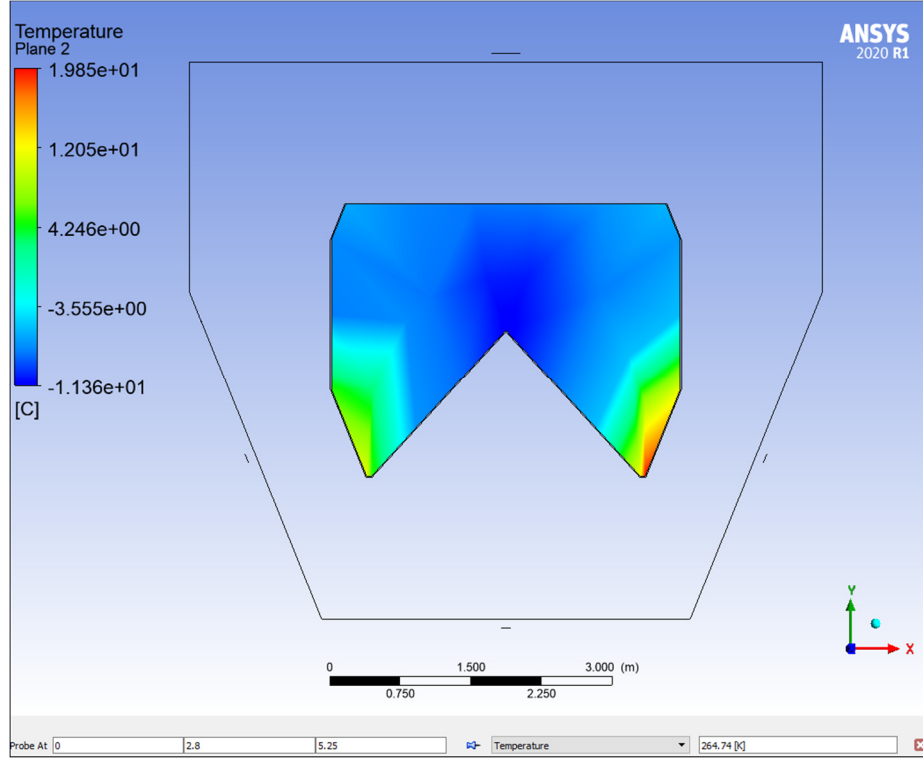
Şekil 5.37. Durum 4 250 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.



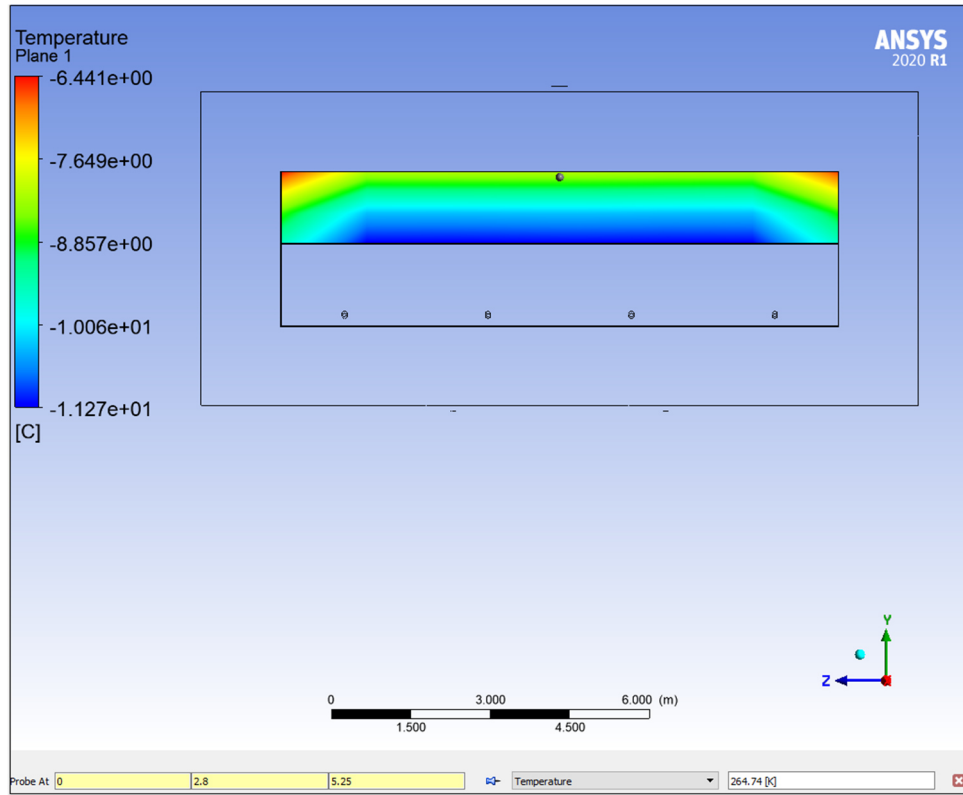
Şekil 5.38. Durum 5 250 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.



Şekil 5.39. Durum 5 250 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

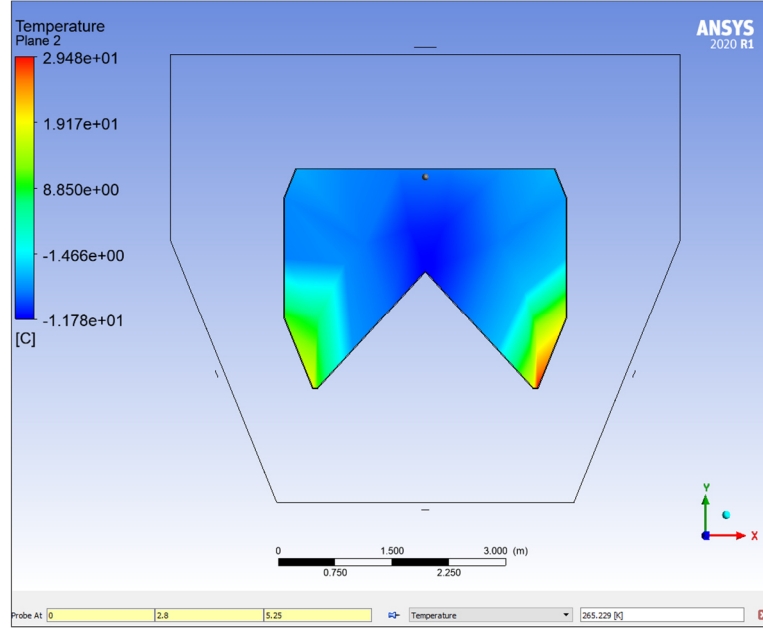


Şekil 5.40. Durum 6 250 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

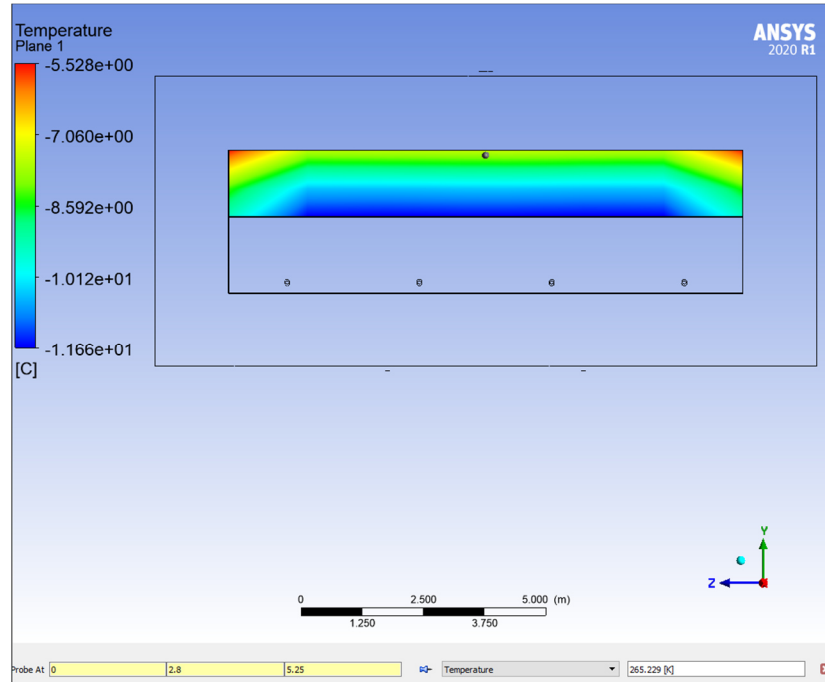


Şekil 5.41. Durum 6 250 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

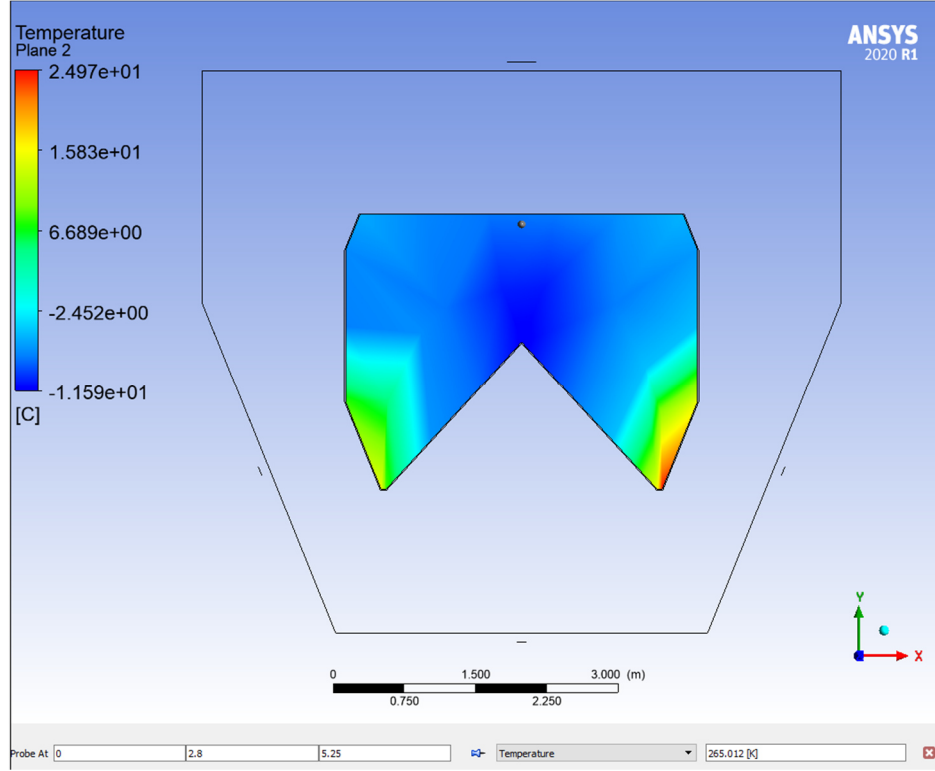
250 °C sıcaklık değeri ve 5 saatlik don çözme süresi sabit tutulduğunda, 75 m/s hava hızı şartında antrasit kömür merkez sıcaklığı -8.44 °C, hava hızı 100 m/s değerine çıkarıldığında ise yine önemli bir değişim göstermemiş olup, -8.41 °C değeri sabit kalmış ve don çözülemediği tespiti yapılmıştır.



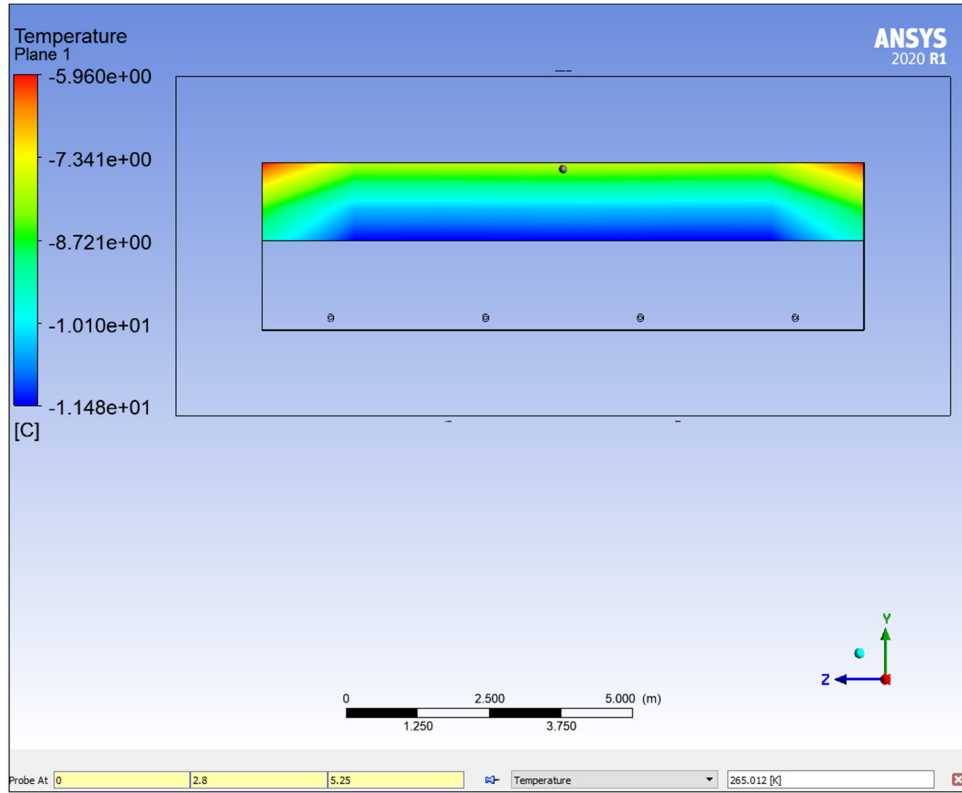
Şekil 5.42. Durum 7 300 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.



Şekil 5.43. Durum 7 300 °C ve 50 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

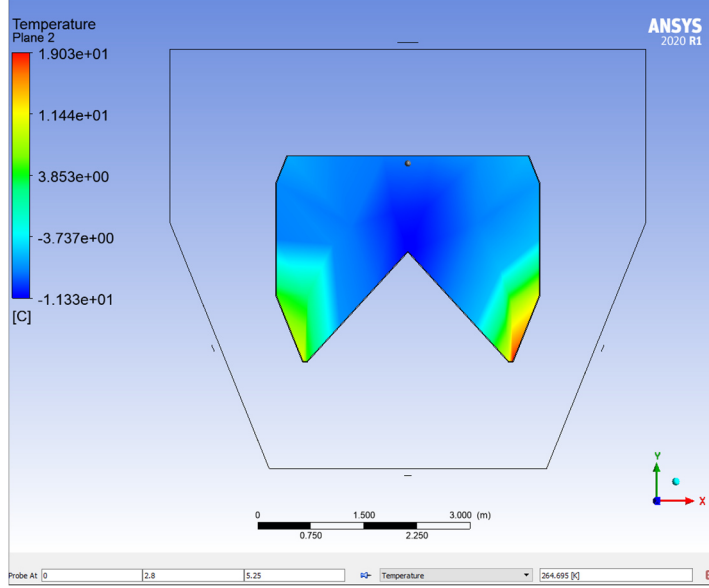


Şekil 5.44. Durum 8 300 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–alın cephe.

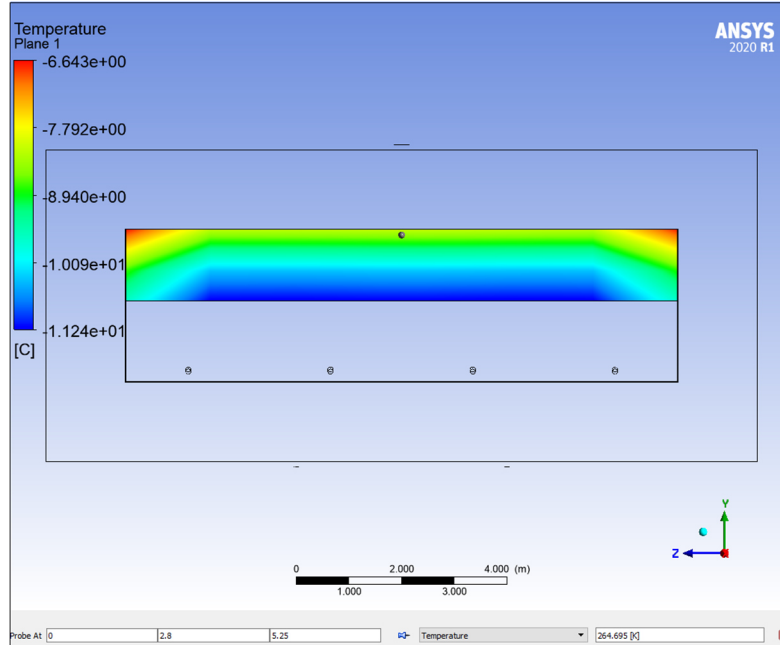


Şekil 5.45. Durum 8 300 °C ve 75 m/s hava şartları için analiz sonuçları–yan cephe.

300 °C ve 75 m/s hava şartları için 5 saat don çözme süresi sabit alındığında, 250 °C ve 75 m/s hava şartları için, sıcaklıkta 50 °C'lik bir artış uygulanmasına rağmen, malzeme merkez sıcaklığı -8.14 °C'ye gerilemiş ve ancak 0.33 °C'lik bir pozitif artış gösterebilmiştir.

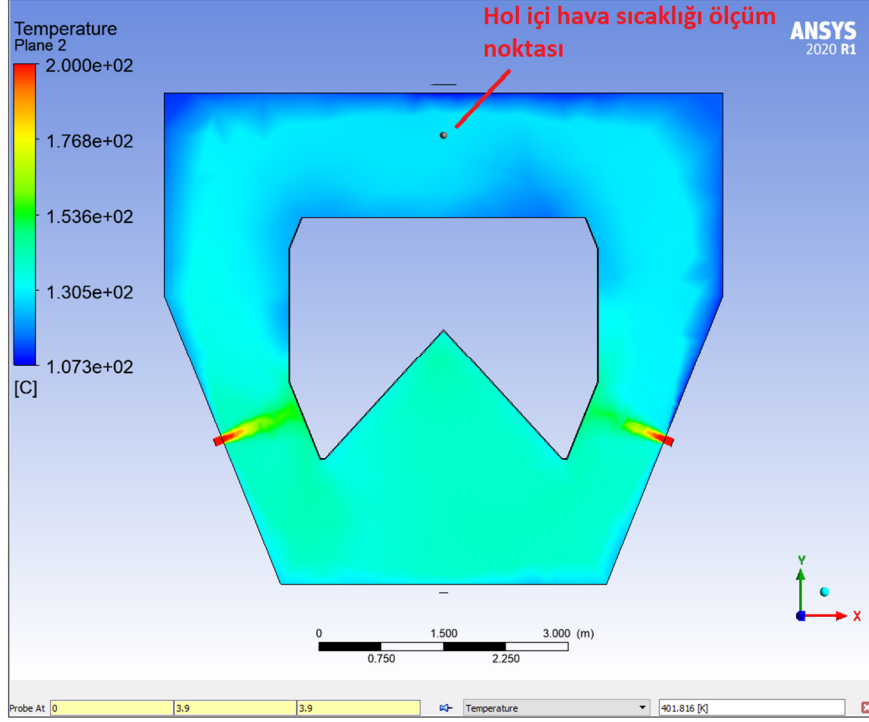


Şekil 5.46. Durum 9 300 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları—alın cephe.

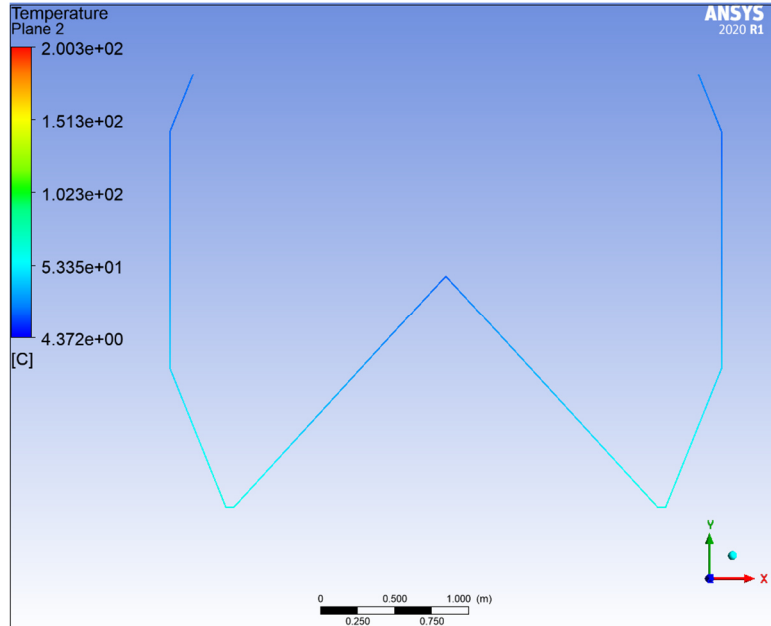


Şekil 5.47. Durum 9 300 °C ve 100 m/s hava şartları için analiz sonuçları—alın cephe.

Bölüm 5’te yapılan ısı kaybı hesaplarında, hol içi hava sıcaklığı değeri analiz sonucu elde edilmiş ve Şekil 5.48’de gösterilen prop koordinatları ile alınarak 401.81 K (128.66 °C) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.48. Kabulü yapılan hol içi hava sıcaklık değeri ölçüm noktası.



Şekil 5.49. Demir için Durum 1 şartlarında vagon cidar sıcaklığı.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş. de dahil olmak üzere, tüm demir ve çelik üretim işletmeleri için önemli bir sorun arz eden, şiddetli kış şartlarında sevkleri sırasında dona maruz kalarak, vagonlardan tahliyeleri sağlanamayan ve çelik üretiminde kullanılan en önemli 2 adet hammadde olan demir ve antrasit kömür için bir vagon ısıtma holü tasarımı yapılarak, donmuş haldeki demir ve antrasit kömürün zamana bağlı ısı transfer analizleri gerçekleştirilmiş, 8 saat sonunda her iki malzeme için vagon içerisindeki merkez sıcaklıkları tespit edilmiştir. Analizler, 200 °C, 250 °C ve 300 °C hava sıcaklığı ve 50 m/s, 75 m/s ve 100 m/s hava hızlarında gerçekleştirilerek sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

- 200 °C ve 50 m/s hava şartları don haldeki vagon içi malzemeye, vagon dışı cidarından ve vagon kapakları merkezine 1 m mesafeden uygulandığında, demir malzeme merkez sıcaklığı 5.19 °C'ye ulaşarak donun çözüldüğü tespit edilmiştir.
- Demir malzeme için 200 °C ve 50 m/s ile 200 °C ve 75 m/s hava şartları karşılaştırıldığında, sıcaklık sabitken üflenen hava hızı artırıldığında hem don çözülme süresinin 1 saat kadar azaldığı, hem de malzeme merkez sıcaklığının 5.19 °C'den 7.92 °C'ye kadar artış gösterdiği tespiti yapılmış; 200 °C ve 100 m/s şartlarında hava hızının artırılmaya devam edildiğinde ise malzeme merkez sıcaklığının 4.39 °C ile daha düşük bir seviyede seyrettiği görülmüştür.

- Demir malzemeye üflen en hava hızı 50 m/s’de sabit tutulup, hava sıcaklığı 200 °C’den 250 °C ve 300 °C’ye çıkarıldığında, don çözme süresi 250 °C için 7 saat, 300 °C için ise 6 saat olarak belirlenmiştir. Ancak hava sıcaklıklarının artmasına rağmen malzeme merkez sıcaklığında önemli bir artış kaydedilmemiş, aksine malzeme merkez sıcaklığı 4.63 °C’ye düşmüştür.
- 200 °C ve 50 m/s hava şartları ile 300 °C ve 100 m/s hava şartlarında yapılan analizler karşılaştırıldığında; hava sıcaklığının 100 °C daha artırılmasına ve hava hızının 100 m/s’ye kadar çıkartılmasına rağmen, malzeme merkez sıcaklığında önemli bir değişiklik kaydedilmemiştir.
- Demir ve antrasit kömür için 200 °C hava sıcaklığı, 50 m/s hava hızı ve 8 saat üfleme süresi karşılaştırıldığında; demir için malzeme merkez sıcaklığının 5.19 °C’ye çıkmasına rağmen, antrasit kömürün merkez sıcaklığı -8.11 °C’de kalmıştır. Bu farktaki en önemli etken ise; antrasit kömürün ısı iletim katsayısının demirden hayli düşük olması, buna bağlı olarak daha düşük hızda bir ısı transferinin gerçekleşmesidir.
- Antrasit kömür için uygulanan 9 farklı durumda da malzeme merkez sıcaklığında önemli bir değişiklik kaydedilmemiş olup, donun çözülmediği tespiti yapılmıştır.
- Çalışmada, demir ve antrasit kömür don halde ve kütle olarak ele alınmıştır. Gerçek şartlarda, Kardemir A.Ş.’ye sevk edilen demir tozu, pelet cevher, limonit ve diğer demir cevheri tüm malzemeler toz halindedir. Malzemenin toz halinde bulunması, birim yüzey alanının artmasına bağlı olarak ısı transfer hızını artıracak ve gerçek şartlarda don çözme süreleri daha da kısalmaktadır.
- Antrasit kömürün ihtiva ettiği nem oranı, don çözülme süresini ciddi derecede etkilemekte olup, yapılan analiz çalışmasında malzemeye nem oranı tanımlaması uygulanmamıştır [30].
- Demir cevheri içerisindeki nem oranı, demir cevherinin ısınmasında derecede etkili olup, yapılan analiz çalışmasında malzemeye nem oranı tanımlaması uygulanmamıştır [31].
- Bu çalışmada teorik olarak analizi yapıp hesaplanan boru hattı hava akış hızları irdelendiğinde, hava hızları çok yüksek olup, boru içi hava akış hızlarının düşürülebilmesi için farklı tasarımlara gidilmeli, ancak F tipi yük

vagonları için bu çalışmada yapılan analiz dahilinde üflenene hava sıcaklığı ve hızı bu çalışmanın sonuçlarına göre seçilmelidir. Hem İsveç Kiruna bölgesi hem de Svappavaara bölgesindeki ısıtma hollerinde baz alınan 30 m/s hava akış hızı F tipi vagonlar için analizle hesaplanan don çözülme saatleri baz alındığında yeterli gelmemektedir [32].

- Vagon ısıtma holü boru hattındaki basınç kayıplarına bağlı çaplar, basınç kaybı 1/2"e kadar boru çapına sahip basınçlı boru hatlarında %10, 3/4" ve daha büyük çaplara sahip basınçlı hava sevk eden boru hatlarında ise %5 olacak şekilde yeniden düzenlenmelidir [33].
- Malzemenin don çözme sürelerinin daha da düşürülebilmesi ve daha verimli üfleme için yeni tasarımlara gidilmeli, alt taban üfleçleri daha küçük çaplı ve daha fazla sayıda seçilmeli, hem vagon sağ ve sol hem de vagon tabanındaki üfleçlerin; havanın akışı sırasında birbirlerini iterek vagondan uzaklaşmasının engellenmesi için üfleç yükseklikleri aralarında belirli ölçülerde mesafe bırakılmalıdır [17].
- Nem ile birlikte, toz ve cevher malzeme içerisinde bulunan hava miktarı da toplam ısı iletim katsayısını düşürerek malzemenin ısınmasını geciktirmektedir [34].

KAYNAKLAR

1. İnternet: TCDD APK Dairesi Başkanlığı, "TCDD İstatistik Yıllığı", http://www.dtd.org.tr/_files/ulusal/tcddicc87statistikyc4b1llc4b1gcc86c4b12000-2004pdf.pdf (2010).
2. İnternet: TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü, "Şebeke Bildirimi", https://www.utikad.org.tr/Images/Duyuru/sebeke_bildirimi_2018pdf795019.pdf (2018).
3. İnternet: Kardemir Karabük Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş., "Demiryolu Rayları", <https://www.kardemir.com/dosyalar/satispazarlama/urunler/2.pdf> (2021).
4. Garg, O. P., "Géographie physique et Quaternaire Mining of frozen iron ore in northern Québec and Labrador L ' extraction du minerai de fer gelé au Nouveau-Québec et au MINING OF FROZEN IRON ORE", (1979).
5. M.Ragneberg., "Usage of Air and Water in a De-icing System of Iron Ore Rail Wagons in Northern Sweden M. Ragneberg 1 , J. Finn 2 , R. Bergström 3", (20..).
6. Oh, H. S., Park, C. B., Lee, S. H., Lee, J. B., Kim, T. H., and Lee, H. W., "A study on de-icing for railway turnouts using 250kHz-200W-class induction heating system", *AIP Advances*, 9 (12): (2019).
7. Yansheng, G., Wenxun, H., Jilai, W., and Qiang, W., "Research On Catenary Anti-icing (Ice-melting) Technology In High-speed Railway", *The 14th International Workshop On Atmospheric Icing Of Structures, Chongqing, China*, (2011).
8. Wang, J., Zhang, J., Xie, F., Zhang, Y., and Gao, G., "A study of snow accumulating on the bogie and the effects of deflectors on the de-icing performance in the bogie region of a high-speed train", *Cold Regions Science And Technology*, 148: 121–130 (2018).
9. Zhang, Y., Kacira, M., and An, L., "A CFD study on improving air flow uniformity in indoor plant factory system", *Biosystems Engineering*, 147: 193–205 (2016).
10. Smolka, J., Bulinski, Z., and Nowak, A. J., "The experimental validation of a CFD model for a heating oven with natural air circulation", *Applied Thermal Engineering*, 54 (2): 387–398 (2013).

11. Najib, A. M., Abdullah, M. Z., Khor, C. Y., and Saad, A. A., "Experimental and numerical investigation of 3D gas flow temperature field in infrared heating reflow oven with circulating fan", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 87: 49–58 (2015).
12. Wang, X., Liu, T., and Lee, W. L., "Using revised ADPIs to identify an optimum positioning for installation of reversible room air-conditioners in bedroom for maximum thermal comfort", *Building And Environment*, 188 (July 2020): 107333 (2021).
13. Schafrik, S. and Millar, D. L., "Verification of a CFD code use for air flow simulations of fractured and broken rock", *Applied Thermal Engineering*, 90: (2015).
14. Lin, L., Liu, X., and Zhang, T., "Performance investigation of heating terminals in a railway depot: On-site measurement and CFD simulation", *Journal Of Building Engineering*, 32 (March): 101818 (2020).
15. Sharma, G. K., Pant, P., Jain, P. K., Kankar, P. K., and Tandon, P., "CFD analysis in a heating bed with two inlets and one outlet cooling configuration for application in AM process", *Materials Today: Proceedings*, 43: 124–129 (2020).
16. Hu, Y., Yu, X., David, M., Ahladas, S., and Singer, N., "Transient CFD Heat Transfer Simulation Model of Air-Cooled Battery Packs", *InterSociety Conference On Thermal And Thermomechanical Phenomena In Electronic Systems, ITherm*, 2020-July: 609–615 (2020).
17. Kim, M., Kim, D., and Yeom, E., "Measurement of three-dimensional flow structure and transient heat transfer on curved surface impinged by round jet", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 161: 120279 (2020).
18. İnternet: TCDD Taşımacılık A.Ş., "Yük Vagon Rehberi" , <https://railturkeytr.files.wordpress.com/2020/10/vagon-rehberi-2019.pdf> (2021).
19. İnternet: Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Mevsimlik Sıcaklık Analizi", <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/sicaklik-analizi.aspx?s=m> (2021).
20. Gök, K., İnal, S., Gök, A., ve Gülbandılar, E., "Comparison of effects of different screw materials in the triangle fixation of femoral neck fractures", *Journal Of Materials Science: Materials In Medicine*, 28 (5): (2017).
21. Metlioğlu, M. R., Uzun, M., Gökçaya, H, "Raylı Sistemlerde Kullanılan Cevher Vagonunun Yapımında Malzeme Seçimi ve Önemi Üzerine Bir Değerlendirme", 9–11 (2013).
22. İnternet: "St70-2 Chemical Composition, Mechanical Properties, and Heat

- Treatment", <https://www.steelgr.com/Steel-Grades/Carbon-Steel/st70-2.html> (2021).
23. Description, P., Improvements, F., Fluent, A., Fluent, U. A., Workbench, A., Flow, F., Transfer, H., Elbow, M., Analysis, P., and Ansys, U., "Chapter 6 : Modeling Transient Compressible Flow", 1: 261–305 .
 24. Satrio, D., Ketut Aria Pria Utama, I., and Mukhtasor, "The influence of time step setting on the CFD simulation result of vertical axis tidal current turbine", *Journal Of Mechanical Engineering And Sciences*, 12 (1): 3399–3409 (2018).
 25. Yavuz, B., "S235 ' in Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Isıl ve Yapısal Analizi", 1 (1): 126–131 (2017).
 26. Arslan, M. A. and Aktaş, M., "İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi", *Journal Of Polytechnic*, 0900 (2): 299–320 (2018).
 27. Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., "“Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla, 5. Baskı”", An Automated Irrigation System Using Arduino Microcontroller, *Güven Bilimsel, İzmir*, 753-757, 764, 2–6 (2011).
 28. İnternet: Boru normları., "Global Marketing for Tube & Pipe", <https://pdf4pro.com/cdn/din-2448-seamless-steel-pipes-and-tubes-1291a8.pdf> (2021).
 29. İnternet: "Air Density and Specific Weight Table, Equations and Calculator | Engineers Edge | Www.Engineersedge.Com", <https://www.engineersedge.com/calculators/air-density.htm> (2021).
 30. Kurt, Ç., "Adana tufanbeyli kömürünün tanecik boyutunun yanma özelliklerine etkisi ", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 17-32 (2014).
 31. Ljung, A. L., Lundström, T. S., Marjavaara, B. D., and Tano, K., "Influence of air humidity on drying of individual iron ore pellets", *Drying Technology*, 29 (9): 1101–1111 (2011).
 32. International, E. D., "Technical Bulletin 145 Aeration Pipe Sizes", (2011).
 33. Division, P., America, N., and Flow, P. A., "TEC-15 Pipe Air Flow", (Step 1): (1999).
 34. Zhang, N., Liang, Y., Wu, H., Xu, X., Du, K., Shao, Z., Zhou, X., and Huang, G., "Heat transfer modeling and analysis of air-layer integrated radiant cooling unit", *Applied Thermal Engineering*, 194 (January): (2021).

ÖZGEÇMİŞ

Yavuz Tan KIRIK ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2008 yılında Karabük 75. Yıl Anadolu Lisesi'nden mezun oldu ve 2009 yılında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2014 yılında iyi derece ile mezun olduktan sonra, 2015 yılında askerlik görevini de tamamlayarak, 2015-2016 yılları arasında farklı özel sektör kuruluşlarında imalat mühendisi ve saha montaj mühendisi görevlerini yürüttü. 2016 yılı sonunda Kardemir A.Ş.'de önce Nakliyat ve Lojistik Müdürlüğü / Demiryolları İşletme ve Bakım Mühendisi olarak, ardından İş Makineleri İşletme Mühendisi olarak 1.5 yıl görev yaptıktan sonra, Çelik Üretim ve Haddehane Yatırımları Müdürlüğü'nde Akışkanlar ve Tesisat Yatırımları Mühendisi olarak görevine devam etti. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2015-2021 yılları arasında demiryolları yapım ve bakım faaliyetleri, tozsuzlaştırma sistemleri, kireç fabrikaları, polioli ve izosiyanat reaksiyonları için tank ve mikser projeleri, çelikhane bazik oksijen konverteri, yüksek fırın boru hatları revizyonları projelerinde demontaj, montaj, borulama, test ve devreye alma mühendisi olarak görev aldı. Halen Kardemir A.Ş. / Çelik Üretim ve Haddehane Yatırımları Müdürlüğü'nde görevlerine devam etmektedir.