

**KIZILÖTESİ IŞINIMLI ISITICI KULLANAN BİR KURUTUCUDA ISI  
VE AKIŞ ANALİZİ**

**Murat ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2012  
ANKARA**

Murat ŞAHİN tarafından hazırlanan KIZILÖTESİ IŞINIMLI ISITICI KULLANAN BİR KURUTUCUDA ISI VE AKIŞ ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ  
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı G. Ü.

Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih: 28/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Murat ŞAHİN

**KIZILÖTESİ IŞINIMLI ISITICI KULLANAN BİR KURUTUCUDA ISI VE  
AKIŞ ANALİZİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Murat ŞAHİN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2012**

**ÖZET**

Bu çalışmada, kızılötesi ışımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda ısı ve akış analizi Ansys Fluent 13.0 (CFD) bilgisayar programı kullanılarak incelendi. Araştırmaları gerçekleştirmek için kızılötesi ışımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucu tasarlandı ve imal edildi. Deneysel araştırmalar değişik sınır şartları altında gerçekleştirildi. Kızılötesi ışımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda iki adet kurutucu sıcaklığının kurumaya olan etkileri incelendi. Bayat ekmek dilimlerinin kurumaya olan davranışlarını elde etmek için altı farklı sınır şartlarında deneyler yapıldı. Hava akış hızı ve hava sıcaklığı kurutma süresini belirleyen temel öğelerdir. Deneyler, 40 °C hava sıcaklığında 1.0 m/s, 0.75 m/s ve 0.5 m/s hava hızlarında ve 50 °C hava sıcaklığında, 1.0 m/s, 0.75 m/s ve 0.5 m/s hava hızlarında yapıldı.

Oransal kontrol ile kızılötesi ışımlı (infrared) lambaların sıcaklıkları, kabin sıcaklığına göre artarak ve azalarak, ayarlanan kabin sıcaklığının sabit kalması sağlanmıştır. Kurutma deneylerinden sonra elde edilen tüm veriler, kayıt altına alınıp tablolar halinde hazırlanmıştır. Bu veriler, Ansys Fluent 13.0 programı kullanılarak, kurutma kabini içerisindeki ısı ve akış analizi yapılırken kullanılmıştır. Kızılötesi ışımlı kurutucuda analizlerin yapılması sonucunda, kurutma odasındaki hava dağılımının kurutmada çok önemli bir parametre olduğu görülmüştür.

**Bilim Kodu** : 904.1.018  
**Anahtar Kelimeler** : Bayat Ekmek, Kurutma, Kurutucu, Kızıl Ötesi Enerji  
**Sayfa Adedi** : 71  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ

**HEAT AND FLOW ANALYSIS OF AN INFRARED ENERGY DRYER****(MSc. Thesis)****Murat ŞAHİN****GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ****June 2012****ABSTRACT**

**In this study, an infrared energy dryer is investigated analysis of heat and flow by using Ansys Fluent 13.0(CFD) software. The infrared energy dryer was planned and manufactured. Then all major components of the infrared energy dryer are measured and modeled as accurately as possible. Carried out experimental investigations under different operating boundary conditions. The effect of two drying temperature on infrared drying of stale bread slices were experimented. In order to obtain from the drying behavior of stale bread slices, carried out six drying experimentals under different boundary conditions. Air temperature and air flow velocity that essentially influence in the drying time. In manufactured infrared energy dryer, stale bread slices was dried at air temperature of 40 °C, 50 °C and air flow velocity of 1.0 m/s, 0.75 m/s, 0.5 m/s. In the infrared energy dryer, drying air temperature was controlled with proportional. Proportional was controlled infrared lamp that drying air temperature was kept value of setting in the dryer chamber. In consequence of drying experimentals, noted all of data under different operating conditions. Those data were used to numerical analysis of heat and flow by ansys Fluent 13.0 (CFD). It was seemed that after doing analysis in the infrared dryer, air distribution in the dryer chamber is such an important parameter in the drying.**

**Science Code : 904.1.027**

**Keywords : Stale bread, drying, dryer, infrared energy**

**Total page : 71**

**Adviser : Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan Gazi Üniversitesi öğretim üyelerinden danışman hocam, sayın Prof.Dr. Mustafa İLBAŞ' a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin tüm aşamasında ve özellikle deneysel çalışmalarında desteklerini benden esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr. Mustafa AKTAŞ 'a, deneysel çalışmalarında deney düzeneğinin kurulmasındaki yardımlarından dolayı Arif YALÇIN' a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmamda, 07/2011-41 nolu Bilimsel Araştırma Projesisine maddi destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi yönetimi birimine teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim-Öğretim hayatım boyunca beni hep destekleyen, güvenen canım annem Neriman ŞAHİN' e ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamı Büyük Türk Milletine ve Aziz Şehitlerimize ithaf ediyorum.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. KIZIL ÖTESİ İŞİNİM (INFRARED) ENERJİ .....	5
3. MATERYAL VE METOT .....	7
3.1. Materyal .....	7
3.2. Deney Düzeneği.....	7
3.3. Ekmeğin Kurutulmasında kayıt altına alınan değerler .....	13
3.4. Deneyin Yapılışı .....	20
3.5. Deneyin Sonlandırılması.....	21
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	22
5. KIZILÖTESİ İŞİNİMLİ ISITICI KULLANAN KURUTUCUNUN ANSYS FLUENT 13.0 PROGRAMI KULLANILARAK 3 BOYUTLU ÇİZİMİ.....	27
5.1. Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucunun Fluent Ansys Programı Kullanılarak 3 Boyutlu Isı Ve Akış Analizi .....	31
5.1.1. 50 °C Sıcaklıkta 1.0 m/s Hızda Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanılan Kurutucuda Ansys Fluent 13.0 Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	31

5.1.2. 40 °C Sıcaklıkta 1.0 m/s Hızda Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent 13.0 Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	34
5.1.3. 40 °C Sıcaklıkta 0.75 m/s Hızda Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent 13.0 Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi.....	37
5.1.4. 50 °C Sıcaklıkta 0.75 m/s Hızda Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent 13.0 Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	40
5.1.5. 50 °C Sıcaklıkta 0.5 m/s Hızda Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent 13.0 Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	43
5.1.6. 40 °C Sıcaklıkta 0.5 m/s Hızda Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent 13.0 Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	46
5.2. Sonuç Ve Öneriler.....	49
6. KIZILÖTESİ İŞİNİMLİ ISITICI KULLANAN BİR KURUTUCUNUN ANSYS FLUENT13.0 PROGRAMI KULLANILARAK 2 BOYUTLU ISI VE AKIŞ ANALİZİ .....	50
6.1. 50 °C Kurutma Sıcaklığında Ve 1.0 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	50
6.2. 40 °C Kurutma Sıcaklığında Ve 1.0 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	53
6.3. 40 °C Kurutma Sıcaklığında Ve 0.75 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	55
6.4. 50 °C Kurutma Sıcaklığında Ve 0.75 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	59

**Sayfa**

6.5. 50 °C Kurutma Sıcaklığında Ve 0.5 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	62
6.6. 40 °C Kurutma Sıcaklığında Ve 0.5 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi .....	65
6.7. Sonuç Ve Öneriler.....	68
KAYNAKLAR .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	71

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri .....	14
Çizelge 3.2. Deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri .....	16
Çizelge 4.1. SMER (Özgül Nem Çekme Oranı) değerleri .....	24

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kızılötesi ışınım (infrared) radyasyonun elektromanyetik spektrumdaki yeri.....	5
Şekil 3.1. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma fırını .....	8
Şekil 3.2. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma fırınının 3 boyutlu görünüşü .....	8
Şekil 3.3. Ağırlık ölçüm cihazı elk. bağ. şeması .....	12
Şekil 4.1. Yüzey nem miktarı(gram su / gram kuru madde) .....	23
Şekil 4.2. SMER(Özgül Nem Çekme Oranı)(g/kwh) .....	23
Şekil 4.3. Kurutulmuş ürün ağırlığındaki değişim .....	24
Şekil 4.4. Sistemde kazanılan enerji(kwh) .....	25
Şekil 4.5. Bağıl nemdeki değişim(%) .....	26
Şekil 5.1. Kurutucunun hava girişi .....	27
Şekil 5.2. Kurutucunun hava çıkışı .....	28
Şekil 5.3. Kurutucu kızılötesi ışınımlı çubuk lambaları .....	28
Şekil 5.4. Kurutucunun ağırlık ölçer (load cell) ve şasesi çizimi .....	29
Şekil 5.5. Kurutucu duvar yüzeyleri .....	29
Şekil 5.6. Kızıl ötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutucunun mesh görünümü .....	30
Şekil 5.7. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi .....	31
Şekil 5.8. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı .....	32

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.9. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	33
Şekil 5.10. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	34
Şekil 5.11. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı. ....	35
Şekil 5.12. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	36
Şekil 5.13. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi .....	37
Şekil 5.14. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı. ....	38
Şekil 5.15. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	39
Şekil 5.16. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	40
Şekil 5.17. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı .....	41
Şekil 5.18. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	42
Şekil 5.19. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	43
Şekil 5.20. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı. ....	44
Şekil 5.21. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s 'de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	45
Şekil 5.22. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	46
Şekil 5.23. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı .....	47

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.24. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı .....	48
Şekil 6.1. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	50
Şekil 6.2. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı. ....	52
Şekil 6.3. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	52
Şekil 6.4. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	53
Şekil 6.5. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı. ....	54
Şekil 6.6. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	55
Şekil 6.7. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi .....	56
Şekil 6.8. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı. ....	57
Şekil 6.9. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	58
Şekil 6.10. Kurutma sıcaklığı 50 C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	59
Şekil 6.11. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı. ....	60
Şekil 6.12. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı .....	61
Şekil 6.13. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	62
Şekil 6.14. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s' de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı .....	63

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.15. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	64
Şekil 6.16. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.....	65
Şekil 6.17. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s' de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı. ....	66
Şekil 6.18. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı. ....	67



## RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma fırını .....	9
Resim 3.2. Ekmek kurutma tepsi.....	10
Resim 3.3. Ağırlık ölçer (Load cell) .....	11
Resim 3.4. Ağırlık ölçüm cihazı .....	11
Resim 3.5. Isı Geri Kazanım cihazı yan görünüş .....	12
Resim 3.6. Isı geri kazanım cihazı ön görünüş .....	13
Resim 3.7. Deneyler esnasındaki sıcaklık ölçümlerinde kullanılan cihaz .....	15
Resim 3.8. Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı .....	16
Resim 3.9. Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı .....	17
Resim 3.10. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma sistemi ön görünüşü.....	17
Resim 3.11. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma sistemi sol yan görünüşü.....	18
Resim 3.12. Isı geri kazanım cihazı yan görünüş.....	18
Resim 3.13. Isı geri kazanım cihazı görünüşü .....	18
Resim 3.14. Kurutma fırını elektrik panosu.....	19
Resim 3.15. Sıcaklık, bağıl nem ve load cell göstergesi.....	19

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, bayat ekmeklerin tekrar geri dönüşüm ile kullanıma hazırlarken 40 °C ve 50 °C kurutma sıcaklığında ve 1,0 m/s, 0,75 m/s, 0,5 m/s kurutma hava hızlarında en uygun kurutma süresi, en az enerji tüketimi ile kaliteli ürün elde etmek için en uygun metod ve materyaller tespit edilmeye çalışılmıştır. Kurutucu kabin içerisinde deneysel ve matematiksel olarak hız ve ısı akış analizi yapıldı. Bu deneysel ve matematiksel analizler sonucu 100 gram bayat ekmeğin daha verimli, kaliteli ve istenilen değerlerde kurutulması için çalışmalar yapılarak, kurutulmuş ekmeklerin tekrar çeşitli alanlarda kullanılması için en uygun metod ve materyallerin seçilmesine çalışılmıştır.

Dünyada farklı ülkelerde yaşayan insanlar günlük hayatlarında ekmek kullanırlar. Bu yüzden dünyada atık ekmek miktarı hiç de göz ardı edilemeyecek miktarlardadır. Eğer dünyada insanlar arta kalan ekmekleri tekrar çeşitli alanlarda kullanmayı başarabilirlerse, insanlar tarafından meydana gelebilecek israf önenebilir. Ve bunun sonucu zamanla dünyada artacak olan açlık ve kıtlığa bir nepsö önlem ve azaltma yönünde bir adım atılmış olur. Bayat ekmekler veya ekmek artıkları çeşitli alanlarda kullanılabilir. Örneğin kek, pasta, hayvan yemi gibi.

Bu çalışmanın amacı, kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda 100 gram dilimlenmiş bayat ekmeklerin farklı sınır şartları arasında, en uygun enerji tüketimi, en uygun kurutma süresini, ürün kalitesi bozmadan sağlamak, uygun metod ve materyalleri belirlemek için farklı kurutma sıcaklığı ve hava hızlarında deneyler yapmaktır. Bu deney sınır şartları şöyledir; Kurutma sıcaklıkları 40 °C, 50 °C ve 60 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. 60 °C kurutma sıcaklığında dilimlenmiş bayat ekmeklerin kısa bir sürede pembeleştiği tespit edilmiştir. Bundan dolayı kurutma deneylerinde 60 °C kurutma sıcaklığında deney yapılmamıştır. 40 °C kurutma sıcaklığında yapılan deneyde 0.5 m/s, 0.75 m/s, 1.0 m/s kurutma hava hızlarında kurutma süreleri ve tükettikleri enerjiler karşılaştırılmıştır. 50°C kurutma sıcaklığında yapılan deneyde 0.5 m/s, 0.75 m/s, 1.0 m/s kurutma hava hızlarında, kurutma süreleri

ve tükettikleri enerji miktarları göz önüne alınarak 40 °C 'deki değerlerle karşılaştırıp en uygun kurutma sıcaklığı ve kurutma hava hızı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Sistemde kullanılan ısı geri kazanım cihazı ile elde edilen enerji tüketimindeki kazanımlar farklı kurutma sıcaklığında ve farklı kurutma hava hızlarında elde edilen değerlerle karşılaştırılarak, 100 gram dilimlenmiş bayat ekmeğin en uygun enerji tüketimiyle kurutma işlemini gerçekleştirmeye çalışılmıştır. Sistemde kullanılan ısı geri kazanım cihazı ile farklı kurutma sıcaklıklarında ve hava hızlarında gerekli olan elektrik enerjisinde daha az bir enerji tüketilmesi sağlanmıştır. Sistemde kullanılan ısı geri kazanım cihazı ile farklı kurutma sıcaklıklarında ve kurutma hava hızlarında elde edilen elektrik enerjisi kazanımını grafikler halinde verilmeye çalışılmıştır.

Tasarımı ve imalatı yapılan deney düzeneğinin, Ansys Fluent (CFD) programı kullanılarak sınır şartları olan 40 °C, 50 °C ve 60 °C kurutma sıcaklıklarında, 0.5 m/s, 0.75 m/s, 1.0 m/s kurutma hava hızlarında, kurutucunun 2 boyutlu ve 3 boyutlu ısı ve akış analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kurutucunun hava giriş kesitine menfez konulmasının gerekliliğine karar verilmiştir. Hava giriş kesitine 45 ° 'lik açıyla konulan menfezden sonra hava akışının kurutma tepsinine temas yüzeyinin arttığı tespit edilmiştir. Analizler sonucu yapılan değerlendirmelerden sonra yapılan değişikliklerle tasarımı ve imalatı yapılan kurutucunun performansının artırılması sağlanmıştır.

Kurutucunun Ansys Fluent 13.0 (CFD) programı kullanılarak kurutucu kabin içerisindeki kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların olduğu kısımlarda, kurutucu kabin kenarlarına, kurutucu kabin içerisinde bulunan kurutma tepsinin montajının yapıldığı ağırlık ölçer (load cell) şasesinin bulunduğu bölgeler, kurutucu kabine hava giriş ve çıkış kesitlerinin bulunduğu bölgelere, kurutucunun diğer bölgelerine nazaran daha sık mesh atılarak, yapılmış olan ısı ve akış analizinin daha anlamlı sonuçlar bulunması sağlanmıştır. Kurutucunun iki boyutlu ve üç boyutlu ısı ve akış analizleri yapılmıştır.

## Literatür taraması

Kurutucularda, farklı kurutma hava hızlarının ve kurutma sıcaklık değerlerinin kuruma süresinin uzama veya kısalması konusundaki yapmış olduğu etki ile kurutma alanındaki benzer çalışmalar incelenmiş ve aşağıdaki çalışmalardan birkaçı özet olarak gösterilmiştir.

Kocabıyık ve Demirtürk (2008), bir miktar nane yaprağının, kızılötesi ışınlam (infrared) ısıtıcılı kurutucu ile sabit kurutma sıcaklığında ve değişik kurutma hava hızlarında kuruma kinetiğini incelemiş ve kurutma hava hızının artması ile kuruma süresinin uzadığını tespit etmişlerdir [1].

Toğrul ve arkadaşları (2005a), yapmış oldukları çalışmada, farklı kurutma havası sıcaklığı (50 °C, 60 °C ve 80°C) değerlerinde, 1.5, 0.5, ve 1.0 cm kalınlığında küp şeklinde kesilmiş, dilimlenmiş mantarların kuruma davranışlarını kızılötesi ışınlam (infrared) ısıtıcılı kurutucuda incelemişlerdir. Kurutma sıcaklığının 50 °C'den 80 °C'ye çıkarılmasıyla 1.5 cm, 1.0 cm ve 0.5 cm, dilim kalınlıklarının kuruma süresinde sırasıyla 104, 140, 170 dakikalık azalma olduğunu belirtilmiştir. Bununla birlikte dilimlenmiş mantar kalınlığının difüzyon katsayısına etkisini araştırmışlar ve bunun sonucunda kurutma sıcaklığının ve dilimlenmiş mantar kalınlıklarındaki artışın difüzyon katsayısı artışına sebep olduğunu belirlemişlerdir [2].

Toğrul ve arkadaşları (2005b), kızılötesi ışınlam (infrared) ısıtıcılı kurutucuda 50 °C, 60 °C, 70°C ve 80°C kurutma sıcaklık değerlerinde, farklı dört kalınlıkta keserek dilimledikleri muzları kurutarak, muz dilimlerinin kuruma kinetiğini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, araştırmacıların kurutma havası sıcaklığı arttığında, hem difüzyon katsayısının arttığını hem de kuruma süresinin, muz dilim kalınlığının artmasıyla da kuruma süresinin azaldığını belirtmiştir[3].

Ceylan ve arkadaşları ısı pompası destekli kereste kurutucusunun enerji ve ekserji analizini yapmıştır[4].

Aktaş ve arkadaşları güneş enerjili ve ısı pompalı kurutucularda elmaların kuruma karakteristiklerini belirlemişlerdir[5].

Hebbar ve arkadaşları sebzeler için sıcak hava ve kızılötesi ışınımlı ısıtıcı ile kombineli kurutucu geliştirmiştir[6].

Nowak ve arkadaşları kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kurutucuda elma dilimlerini kurutmuştur[7].

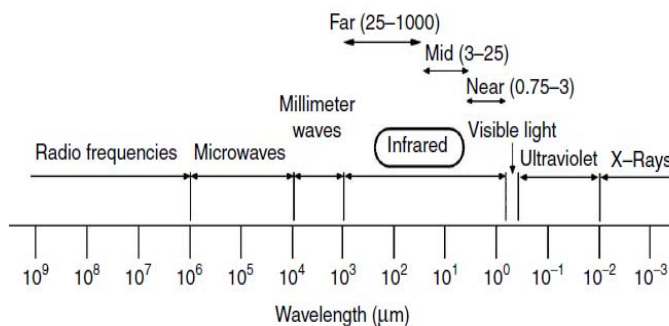
Sacilik ve Elicin organik elma dilimlerinin ince tabakada kurutulmasını incelemişlerdir[8].

Sharma ve arkadaşları soğan dilimlerinin ince tabakada kızılötesi ışınımla kurutulmasını incelemiştir[9].

## 2. KIZIL ÖTESİ IŞINIM (İNFRARED) ENERJİ

Sir William Herschel tarafından kızılötesi ışınım (infrared) (IR) 1800'lü yıllarda keşfedilmiştir. Çeşitli endüstri alanlarda, örneğin kağıt, plastik ve tıp gibi çoğu alanda uygulaması vardır. 1800 yıllarda keşfedilmesine rağmen 20.yuzyılın ikinci yarısından itibaren infrared radyasyonunun gıda endüstrisinde kullanımına başlandığı görülmektedir. 1950'lerde IR'nin kurutma alanında, 1960'lı yıllarda ise IR radyasyonun çeşitli endüstri alanlarında uygulamasına ilişkin çalışmalar yürütülmüştür. Kızılötesi ışınım (İnfrared) enerji elektromanyetik enerjinin bir formudur. Dalgalar halinde iletilir ve ısıya dönüştürülür. Kızılötesi ışınım radyasyon mikrodalga (1-1000 mm) ve görünür ışık (0.38-0.78  $\mu\text{m}$ ) arasındaki bir dalga boyu arasında yer almaktadır ve dalga boyuna göre yakın kızılötesi ışınım (infrared), orta kızılötesi ışınım (infrared) ve uzak kızılötesi ışınım (infrared) olmak üzere 3'e ayrılır [10].

Kızılötesi (infrared) ısıtma 0.5-100  $\mu\text{m}$  dalga boyunda uygulanan birçok ışınım yöntemi olup, gıda maddesinin ısıtılması, kurutulması ve yüzey pastörizasyonu amacıyla uygulanılmaktadır. Kızılötesi ışınım(infrared), gıda maddelerinin işlenmesinde yararlanılan 0.5-100  $\mu\text{m}$  dalga boyu arasındaki elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır. Aşağıda şekil 2.1.'de infrared radyasyonun ışık spektrumundaki yeri gösterilmektedir [10].



Şekil 2.1. Kızılötesi ışınım (infrared) radyasyonun elektromanyetik spektrumdaki yeri [10]

Dalga boyuna göre IR radyasyonu kısa (0.76-2  $\mu\text{m}$ ), orta(2-4  $\mu\text{m}$ ) ve uzak (4-1000  $\mu\text{m}$ ) olarak 3 bölgeye ayrılmıştır. Buna rağmen IR'yi tanımlayan dalga boylarının alt ve üst sınırları literatürde kesin olarak ifade edilmemiştir. Bundan dolayı bu sınıflandırma evrensel olarak kabul görmüş bir sınıflandırma değildir [10].

Bu çalışmada ;

- Bayat ekmekek dilimlerinin kızılötesi ışınım (infrared) ısıtıcılı bir kurutma fırınında kurutulması,
- Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanacak şekilde imal edilen bu kurutucuda, kurutma sıcaklığının ve hava akış hızının kurutucu kabin içerisindeki ısı ve akış analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. Materyal**

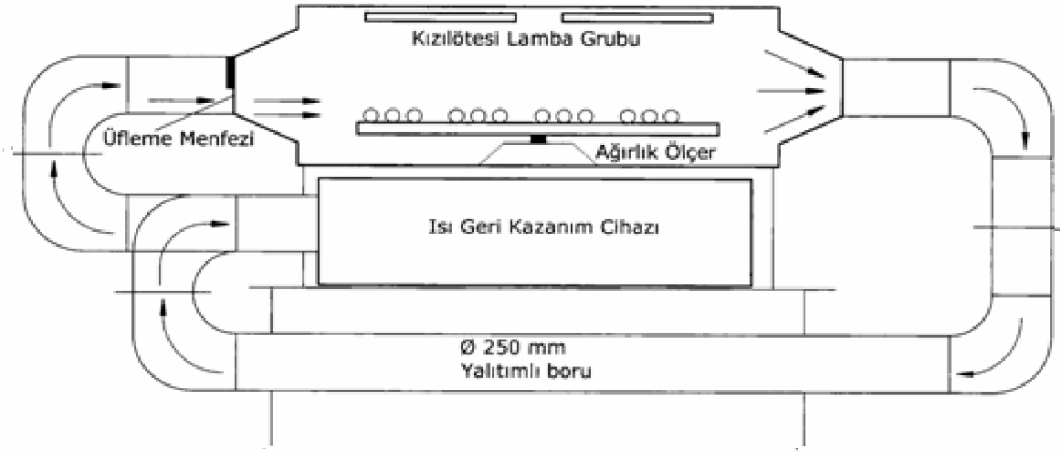
Deney materyali olarak, ülkemizde ve dünyada günlük hayatta insanların çoğu tarafında tüketilen ekmek seçilmiştir. Bölgesel bir marketten alınan ekmek kurutulma zamanına kadar oda sıcaklığında naylon torba içerisinde 4 gün muhafaza edilmiştir.

#### **3.2. Deney Düzenegi**

Kurutmada en önemli üç unsur; kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası hızı ve kurutma havası bağıl nemidir. Kaliteli bir ürün elde edilmesi için bu üç unsurun kontrol edilmesi gereklidir. Yüksek sıcaklık ya da yüksek hava hızında yapılan kurutma da bayat ekmeğin yüzeyinde bozulmaya sebebiyet vermektedir. Yüksek bağıl nemde yapılan kurutma ürünün kuruma süresinin uzamasına sebebiyet vermektedir. Düşük hava hızında yapılacak kurutma işlemi ile de kurutma süresi uzamaktadır. Bu üç unsurun bayat ekmeğin kurutulması için belirlenmesi; kontrol mekanizmasının geliştirilmesi ve bayat ekmek kurutma esnasında meydana gelen kurutma kusurlarını ortadan kaldırılması hususları göz önünde bulundurularak kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı destekli oransal kontrollü kurutma fırını tasarlanmış ve imal edilmiştir.

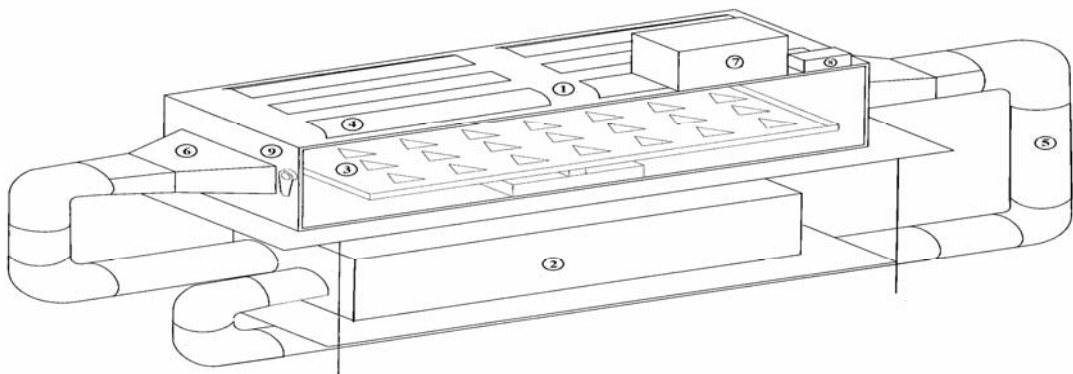
Tasarlanan ve imal edilen kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma fırını Şekil 3.1' de gösterilmiştir.





Şekil 3.1. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma fırını

Bu çalışma için tasarımı ve imalatı yapılan kurutucuda, kızılötesi ışınımlı bir ısıtıcı kullanılmıştır. Kurutma kabini 600x1150x600 mm ebatlarında olup, kabin içerisinde üst kısma eşit aralıklarla 6 adet 500 W çubuk tip kızılötesi ışınım (infrared) lamba montajı yapılmıştır. Işık yansıtılmasına yardımcı olması için kabin içi üst 1150x600 mm kısma parlak alüminyum levha yerleştirilmiştir. Kurutma havasının ürünler üzerine etki etmesi için kurutma fırını giriş kapak kısmına hava yönlendirici menfez takılmıştır. Şekil 3.2.'de Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Oransal Kontrollü Kurutma Fırınının 3 boyutlu görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.2. Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan kurutma fırının 3 boyutlu görünüşü

- |                        |                            |                    |
|------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1. Kurutma kabini      | 2. Isı geri kazanım cihazı | 3. Kurutma tepsisi |
| 4. Kızılötesi lamba    | 5. Yalıtımlı hava kanalı   | 6. Davlumbaz       |
| 7. Sıcaklık ölçüm cih. | 8. Ağırlık ölçüm cih.      | 9. Kapak           |

Kurutma kabini dışında sabit elektrik panosu içerisine yerleştirilip elektrik bağlantısı yapılan kontrol kartı sayesinde sistemde hava hızı ve kızılötesi ışınımın ışık şiddeti oransal olarak kontrol edilmiştir. Kurutma havası sıcaklığı proses kontrol ekipmanından set edilen değerde oransal kontrol sistemi ile tutulacaktır. Böylece kurutma havası sıcaklığı istenilen değerde kurutma havası hızının değişimi ile tutulacaktır. Sistemde belirli noktalarda yerleştirilmiş 6 adet sıcaklık ölçer mevcuttur. Set edilen değer, sıcaklık ölçer ile okunan değerden büyük olduğunda; fan daha az debide havayı üfleyecektir. Set edilen değer, sıcaklık ölçer ile okunan değerden küçük olduğunda, fan daha fazla debide havayı üfleyecektir. Resim 3.1.'de kızılötesi ışınımlı ısıtıcı oransal kontrollü kurutma fırınının görüntüsü verilmektedir.



Resim 3.1. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma fırını

Kurutma sırasında ürünler, kabin içerisinde teflon tel ızgaradan yapılmış kurutma tepsisi üzerine yerleştirilip kurutulmuştur. Aşağıdaki resim 3.2.'de kurutma tepsisi resmi görülmektedir.



Resim 3.2. Ekmek kurutma tepsisi

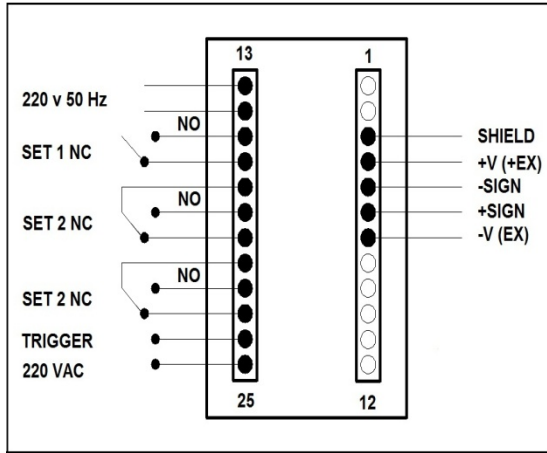
Üründeki kaybolan kütle miktarının tespit edilebilmesi için kabin içerisinde kurutma tepsisi altına sabitlenmiş ağırlık ölçer (load cell) yerleştirilmiştir. Belirli zaman aralıklarında ölçülen değerler takip edilerek, ürünün kuruma grafiği elde edilmiştir. Resim 3.3.'te ağırlık ölçerin, resim 3.4.ve şekil 3.3'te ise ağırlık ölçüm cihazı ve elektrik bağlantısı şeması görülmektedir.



Resim 3.3. Ağırlık ölçer (Load cell)



Resim 3.4. Ağırlık ölçüm cihazı



Şekil 3.3. Ağırlık ölçüm cihazı elk.bağ.şeması

Kızılötesi ışınlı (infrared) ısıtıcı kullanacak şekilde imal edilen bu kurutucuda, kurutucu kabini terk eden egsoz hava, önce sistem altında sabit montajı yapılan ısı geri kazanım cihazından geçirilerek, kurutma kabinine alınacak kurutma havasının sıcaklığının artırılması sağlanmıştır. Bu şekilde sistemden atılan egsoz hava sıcaklığından geri kazanılan enerji miktarları şekil 4.4 'de gösterilmiştir. Bahsettiğimiz ısı geri kazanım cihazı içerisine monte edilmiş olan 2 adet fan sayesinde kurutma havasının sirkülasyonu sağlanmıştır. Isı geri kazanım cihazı resim 3.5.'te gösterilmiştir.



Resim 3.5. Isı Geri Kazanım cihazı yan görünüşü





Resim 3.6. Isı geri kazanım cihazı ön görünüşü

Elektrik panosu içine montajı yapılan tek fazlı akıllı elektronik sayaç sayesinde sistemin kurutma boyunca harcadığı enerji takip edilmiştir. Kontrol kartına set edilen değer ile ısı geri kazanım cihazı bünyesinde bulunan fanların devri ayarlanmış, kurutmanın kontrollü bir şekilde olması sağlanmıştır. Aşağıda resim 3.14.'te kurutma fırınının elektrik panosu verilmiştir.

### 3.3. Ekmeğin Kurutulmasında kayıt altına alınan değerler

Başlangıç nem miktarları belirlenen bayat ekmek dilimleri, kızılötesi ışıyım (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma fırını kabinine muntazam şekilde yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi 40 °C ve 50 °C sıcaklıklarında, 1.0 m/s, 0.75 m/s ve 0.5 m/s kurutma hava hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde ürünlerdeki ağırlık değişimleri her 10 dakikada bir kaydedilmiş, ölçümleri sistem bünyesinde sabit montajlı ağırlık ölçer ile yapılmıştır. Bayat ekmek kurutulurken aşağıda yazılı değerler kayıt altına alınmıştır.

- Dış hava sıcaklığı (°C)
- Egzoz hava sıcaklığı (°C)
- Kurutma fırını giriş sıcaklığı (°C)
- Kurutma fırını giriş bağıl nemi ( $\phi$  (%))

- Kurutma fırını çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Kurutma fırını çıkış bağıl nemi ( $\varphi$  (%))
- Sistemde set edilen sıcaklık değeri ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Sistemde harcanan enerji (kWh)
- Sistemde set edilen hava hızı değeri (m/s)

Kurutma işlemi sırasında bayat ekmek dilimlerindeki ağırlık değişimi her 10 dakikada bir ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Yapılan bu deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri

Kullanılan cihaz	Özellikleri
Isı Geri Kazanım Cihazı	Vantila Reco 1000. 230 v 50 Hz, Max.Hava debisi 1000 m <sup>3</sup> /h, fan motor gücü 265 W
Ağırlık Ölçüm Cihazı	OPKON OP-WE1 Model, 24 V AC 50 Hz veya 220 V AC 50 Hz
Sıcaklık Ölçüm Cihazı	ORDEL PI 440 Model, 220 v 50 Hz
Termokupl	ORDEL Pt-100 6 mm çap, OR07-B1E06-5ÜÖ3K Model, 400 $^{\circ}\text{C}$ duyarlılık
İnfrared Lamba	Çubuk tip 235V 500W 410 mm uzunluk,
Ağırlık Ölçer	Zemic 5 Kg Kapasite -40~+80 $^{\circ}\text{C}$ , 5~12 (DC), % 0.02 hassasiyet
Elektronik Akıllı Sayaç	220 v 50 Hz, Tek fazlı TS EN 62052-11 TS EN 62053-21 -40 $^{\circ}\text{C}$ ~ +85 $^{\circ}\text{C}$ çalışabilme 8 Haneli LCD gösterge,

Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanılacak şekilde imal edilen bu kurutucuda kurutma hava akış hızı ve kurutma sıcaklığı kontrol kartı sayesinde oransal olarak kontrol edilmektedir. Sistemde set edilen sıcaklık değerine göre kontrol kartı kızılötesi ışınımlı ısıtıcı çubuk lambaların sıcaklığını ayarlayacaktır. Bu oransal kontrol ile kurutma süresi boyunca meydana gelen sıcaklık dalgalanmaları önlenmiş olacaktır. Kurutma kabini terk eden sıcak hava ısı geri kazanım cihazına gelen taze havayı, cihazın içerisinden kurutma kabinine giderken taze havanın sıcaklığını arttırarak ısı tasarrufu sağlayacaktır.

Kurutma işlemi sırasında bayat ekmek dilimlerindeki ağırlık değişimi her yarım saatte bir ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Aşağıdaki resim 3.7’de bayat ekmek dilimlerinin kurutulması anındaki görüntüsü verilmektedir.



Resim 3.7. Deneyler esnasındaki sıcaklık ölçümlerinde kullanılan cihaz

Yapılan bu deneyler esnasında kullanılan cihazlar ve teknik özellikleri çizelge 3.2’de; bu cihazların resimleri de resim 3.8. ve resim 3.9.’da verilmiştir.



Çizelge 3.2. Deneyle esnasında kullanılan cihazlar ve özellikleri

Kullanılan cihaz	Özellikleri
Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı	Testo 435, sıcaklık -20.+70 °C, hız 0-20 m/s ölçüm hassasiyeti 0.01 m/s, 0.1 °C, heated wire, NTC sensör.
Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı* (Termohigrometre)	Testo, 625 model, 5-95% bağıl nemde $\pm 3$ % ölçüm hassasiyeti, 0-50 °C sıcaklıkta $\pm 0.5$ °C ölçüm hassasiyeti.

\* Havanın sıcaklığı ve bağıl neminin ölçülmesinde kullanılmıştır.



Resim 3.8. Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı



Resim 3.9. Sıcaklık ve nem ölçüm cihazı



Resim 3.10. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutma sistemi ön görünüşü

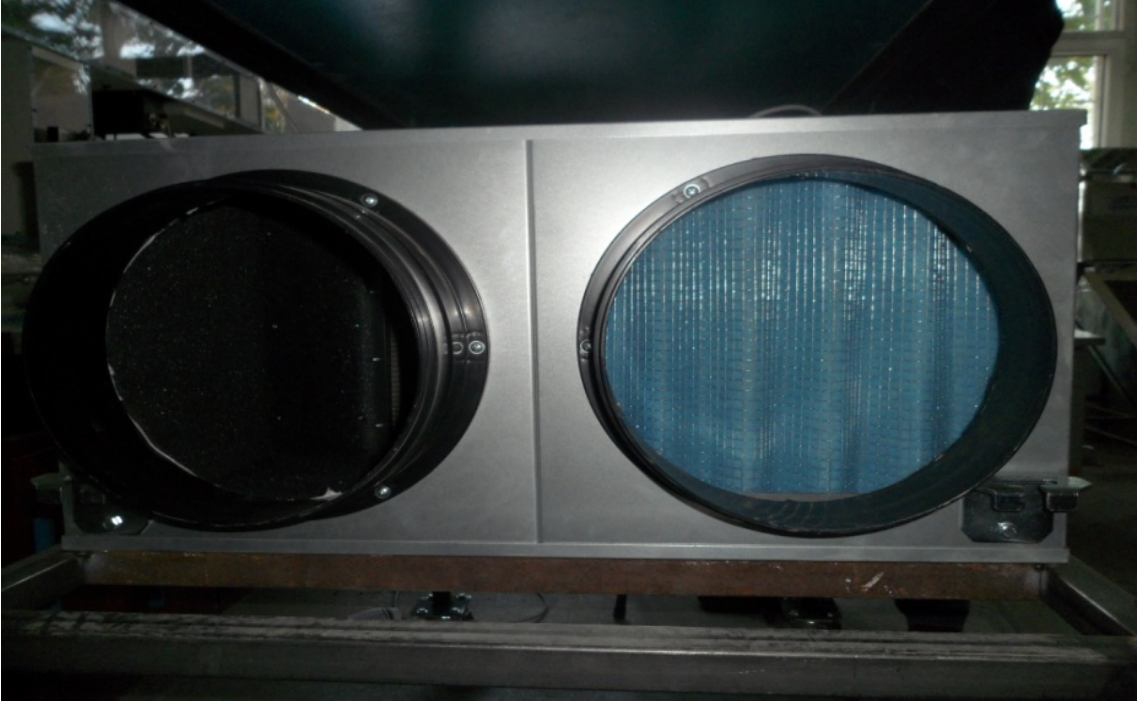


Resim 3.11. Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan kurutma sistemi sol yan görünüşü

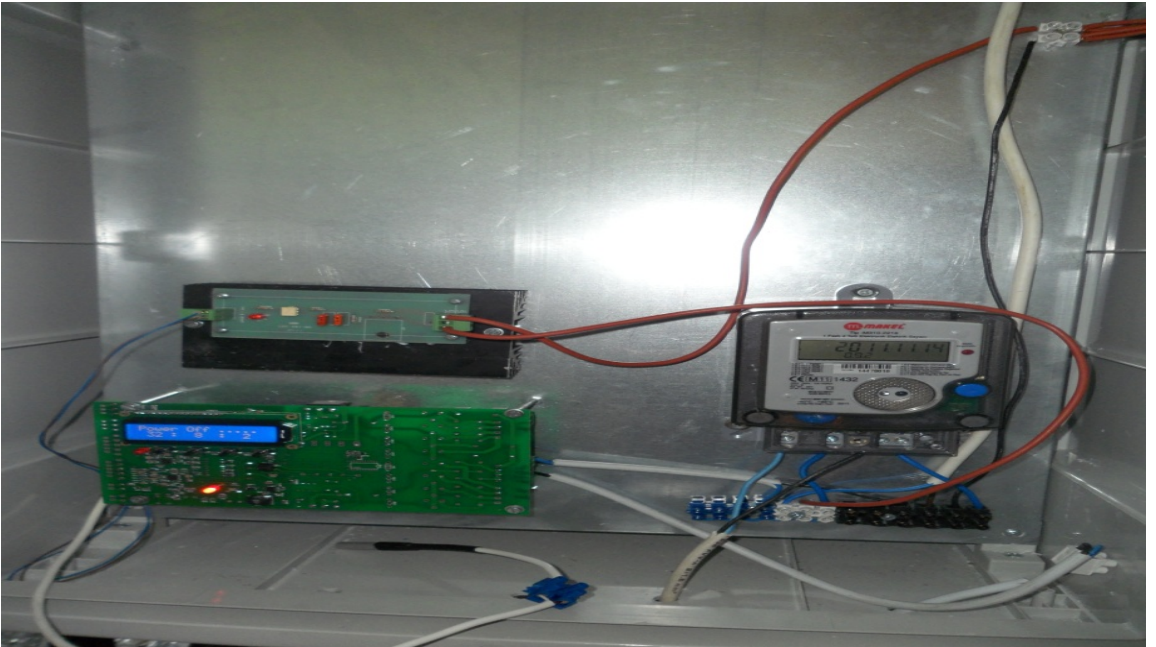


Resim 3.12. Isı geri kazanım cihazı yan görünüşü





Resim 3.13. Isı geri kazanım cihazı ön görünüşü



Resim 3.14. Kurutma firını elektrik panosu



Resim 3.15. Sıcaklık, bağıl nem ve load cell göstergesi

### 3.4. DeneYlerin Yapılışı

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bu kurutucuda deneYlere başlamadan önce, mahalle bakkalından 4 adet ekmek alındı. Bu ekmekler naylon torbanın içinde 4 gün bekletildi. Daha sonra sırasıyla aşağıdaki işlemler yapıldı;

- Bayat ekmekler 5 mm kalınlığında dilimlendi.
- Herbir deney için toplam 100 gram ağırlığında dilimlenmiş bayat ekmek kullanıldı.
- Bayat ekmeklerin tam kuru ağırlığını bulmak için  $100 \pm 3^{\circ}\text{C}$  3 saat boyunca kurutuldu.
- 3 saatlik kurutma boyunca, bayat ekmeklerin ağırlıkları herbir yarım saatte hassas terazide ölçümleri yapıldı.
- 3 saatlik kurutma boyunca tamamlanan 6 ölçümün sonunda, 100 gramlık bayat ekmeğın tam kuru ağırlığı 49 gram olarak tespit edildi.
- Ölçümlerin doğrulamasını yapmak için dijital, hassas terazi kullanıldı.

- Herbir deneye başlamadan önce deney şartlarının sağlanması için sistem 10 dakika çalıştırıldı.
- Tüm deney şartlarında, her 10 dakikada üründeki ağırlık değişimleri ağırlık ölçer(load cell) kullanılarak takip edilmiş ve kayıt altına alınmıştır.

### **3.5. Deneylerin Sonlandırılması**

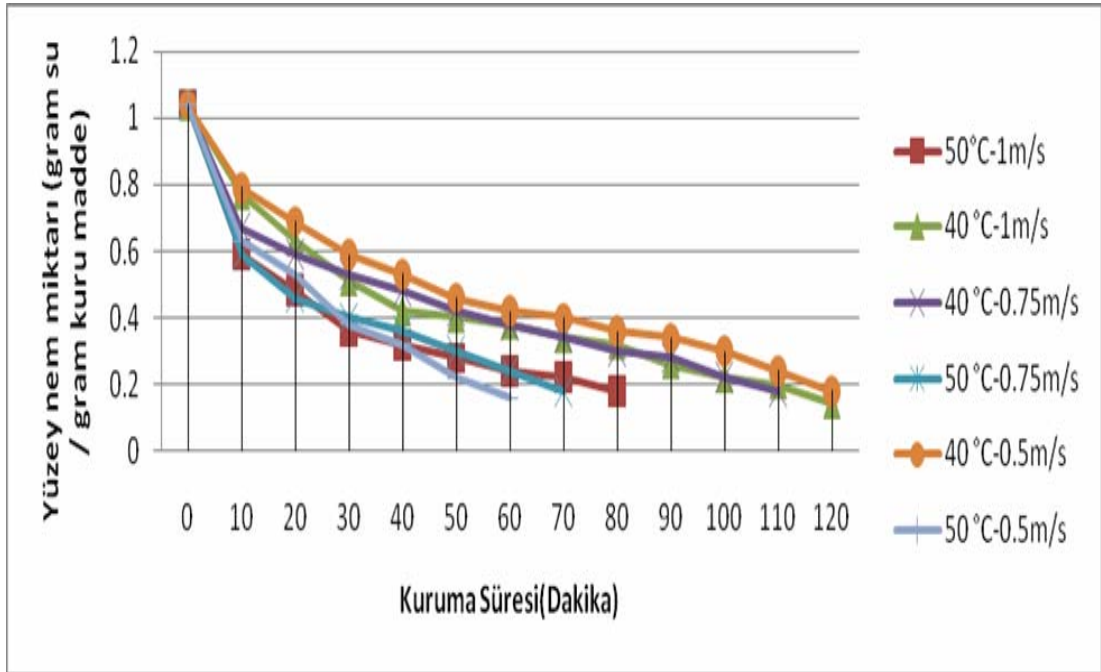
Yapılan 40 °C ve 50 °C sıcaklık ve 1.0 m/s, 0.75 m/s, 0.5 m/s hava hızlarında bayat ekmek dilimleri son nem miktarları ve yapılan duyusal analizler neticesinde sonlandırılmıştır.

Bayat ekmek dilimlerinde yapılan duyusal analiz, el ve göz ile olmaktadır. El ile yapılan duyusal analizde kurutulan dilimler ikiye katlandığında kırılğan hale geldiği tespit edilmiştir. Kurutulan bayat ekmek dilimleri resim 3.2.'de verilmiştir.

#### 4. YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

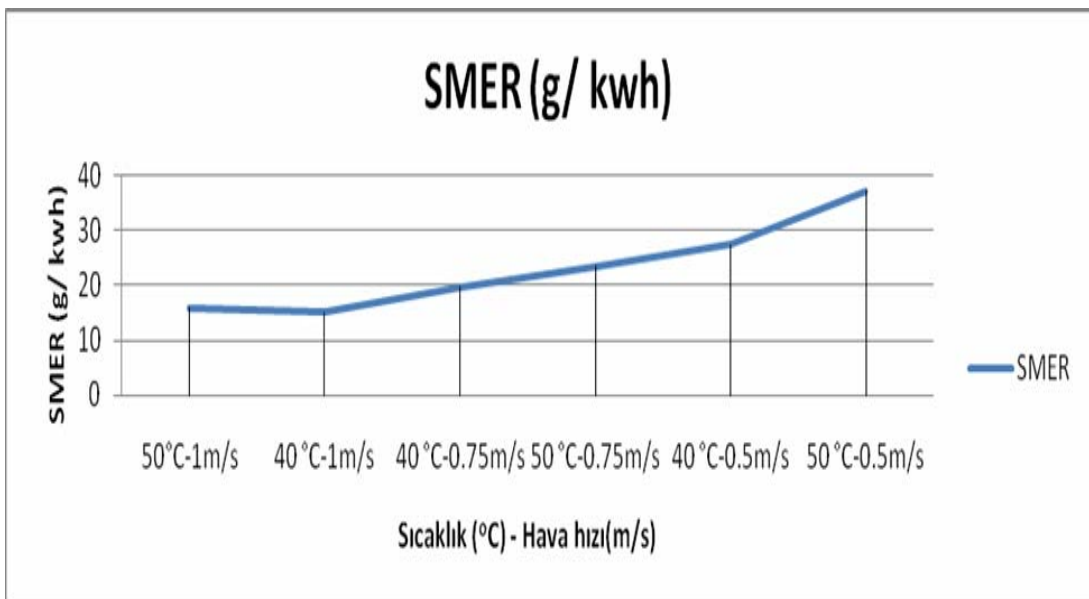
Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Kurutucuda ekmek dilimleri 40°C ve 50°C kurutma hava sıcaklığında, 1.0 m/s, 0.75 m/s ve 0.5 m/s kurutma hava akış hızında kurutulmuştur.
- Bu çalışmada yapılan 6 deneyden, 50 °C 0.5 m/s'de yapılan kurutma deneyi 60 dakika sürerek, en kısa kurutma süresi olmuştur.
- Yapılan tüm deneylerde kurutma sıcaklığı sabit olduğunda, kurutma hava hızı arttığında kullanılan enerji miktarıda artmıştır.
- Kurutucu kabine taze hava gelmeden önce, ısı geri kazanım cihazının vasıtasıyla sıcaklığının artmasıyla, bağıl nemi düşmüş ve bünyesine alabileceği nem kapasitesi artırılmış oldu.
- Kurutucu sistemde ürün ağırlık değişimi load cell vasıtasıyla sürekli izlenmiştir.
- Kurutma deneylerinin hepsinde, sıcaklık sabit tutularak, hava akış hızı artıkça, kuruma süreleride artmıştır.
- Kurutma deneylerinin hepsinde kurutma hava akış hızı sabit tutularak, sıcaklık arttığında kuruma süreleri kısalmıştır. Ve sistemde kullanılan enerji miktarı artmıştır.
- Kurutma deneyleri sonucunda, ekmek dilimlerinin tatları değişmemiştir.
- Bu mevcut çalışmada, kurutma kabinine giren taze hava soğutucu etki yapmıştır. Bu etkiyi Ansys fluent 13.0 programını yardımıyla yapılan ısı ve akış analizinde görülmüştür.
- Tüm kurutma deneylerinden sonra, son ağırlık hassas, dijital terazi ile kontrol edilip tartılmıştır.
- Deneysel ve matematiksel analiz sonucu, imalatı yapılmış olan deney düzeneğinde, diğer ürünlerin de kurutulması mümkün olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 4.1. Yüzey nem miktarı (gram su / gram kuru madde)

Kızılötesi ışınım kullanan ısıtıcılı bu kurutucuda başlangıçta yüzey nem miktarları 1.04 olan bayat ekmekek dilimleri 0.14, 0.16 ve 0.18 gram su / gram kuru madde olarak hesaplanmış ve Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



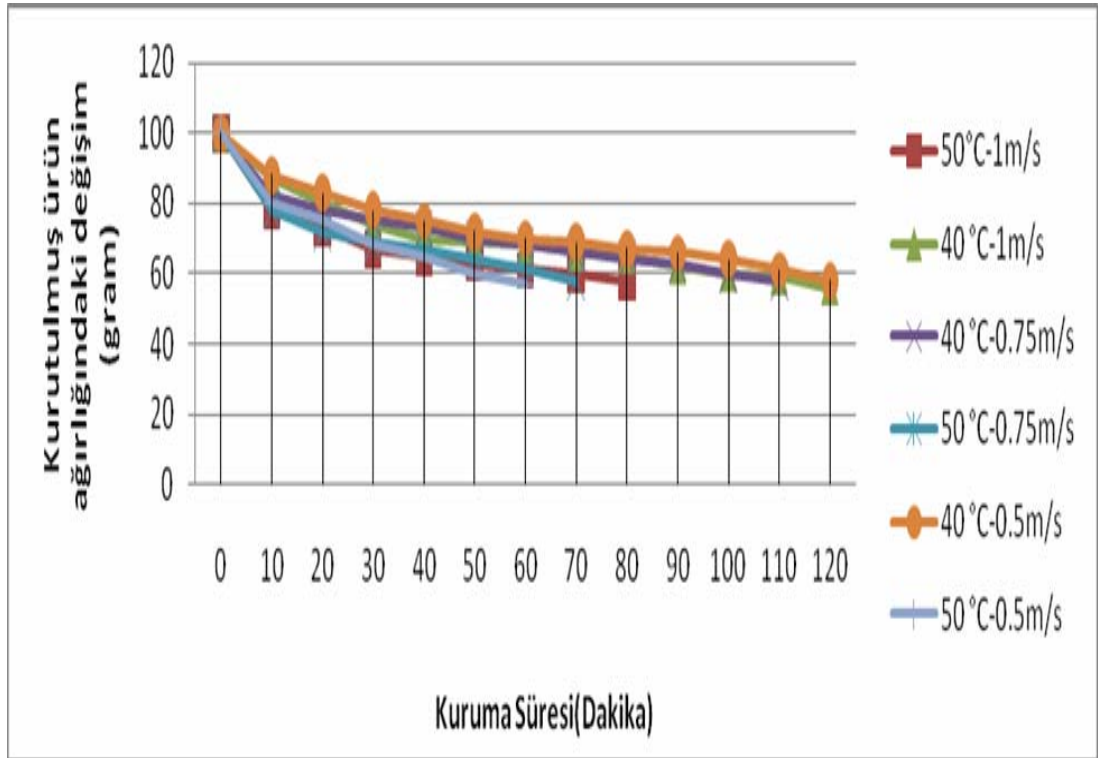
Şekil 4.2. SMER (Özgül Nem Çekme Oranı) (g/kWh)



Kurutma fırınında sınır şartları 40 °C, 50 °C kurutma sıcaklığında 1.0 m/s, 0.75 m/s ve 0.5 m/s hava akış hızlarında SMER (Özgül Nem Çekme Oranı) hesapları yapıldı. Elde edilen sonuçlarla aşağıdaki çizelge 4.1 oluşturulmuştur.

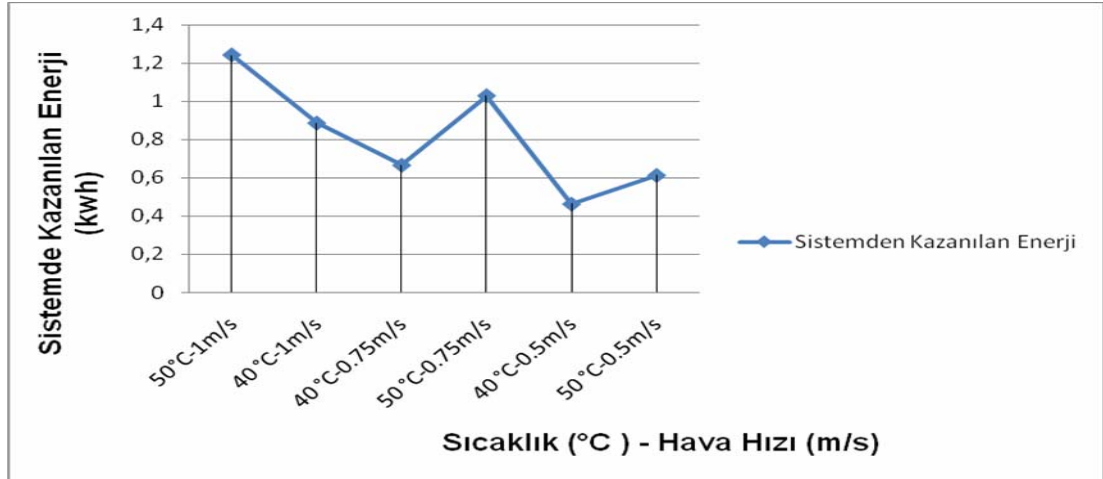
Çizelge 4.1. SMER (Özgül Nem Çekme Oranı) değerleri

Kurutma Hava Sıcaklığı - Kurutma Hava Hızı	Deneysel SMER değerleri
40 °C - 1 m/s	15,13 g/kWh
40 °C - 0.75 m/s	19,79 g/kWh
40 °C - 0.5 m/s	27,5 g/kWh
50 °C - 1 m/s	15,96 g/kWh
50 °C - 0.75 m/s	23,52 g/kWh
50 °C - 0.5 m/s	37,22 g/kWh



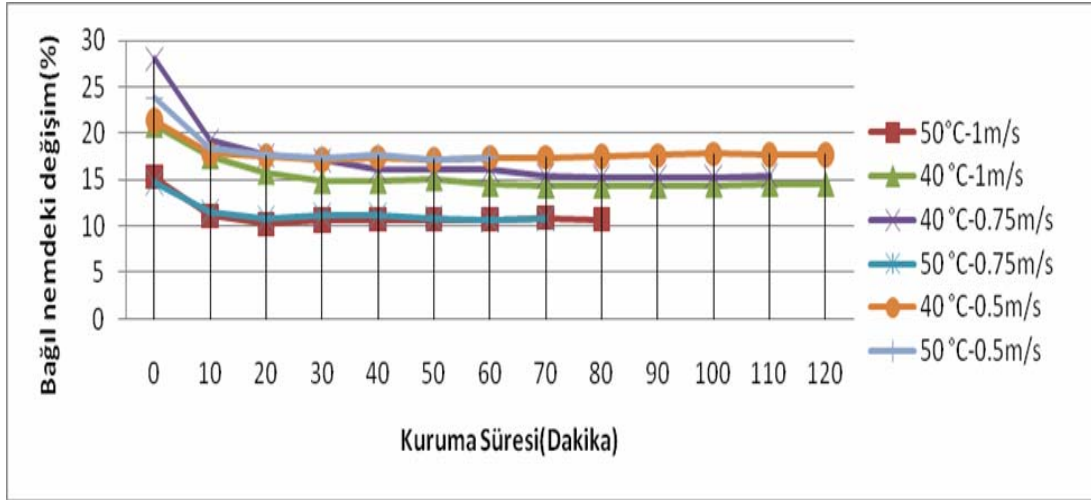
Şekil 4.3. Kurutulmuş ürün ağırlığındaki değişim

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan kurutucuda tüm deneylerde bayat ekme dilimlerinin toplam ağırlığı 100 gramdır. Deney esnasında her bir deney için elde edilen ağırlık değişimi loadcell yardımı ile sürekli takip edilmiştir ve elde edilen her 10 dakikalık veriler şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Sistemde kazanılan enerji(kwh)

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bu kurutucu sistemde bulunan ve resim 3.12, resim 3.13 gösterilen ısı geri kazanım ekipmanı ile 40 °C, 50 °C kurutma sıcaklıklarında 1.0 m/s, 0.75 m/s ve 0.5 m/s hava akış hızlarından oluşan sınır şartlarındaki sırasıyla kazanılan enerji miktarı 0,88 kwh, 0,66 kwh, 0,46 kwh, 1,24 kwh, 1,02 kwh, 0,61 kwh olarak hesaplanarak şekil 4.4 'de gösterilmiştir.



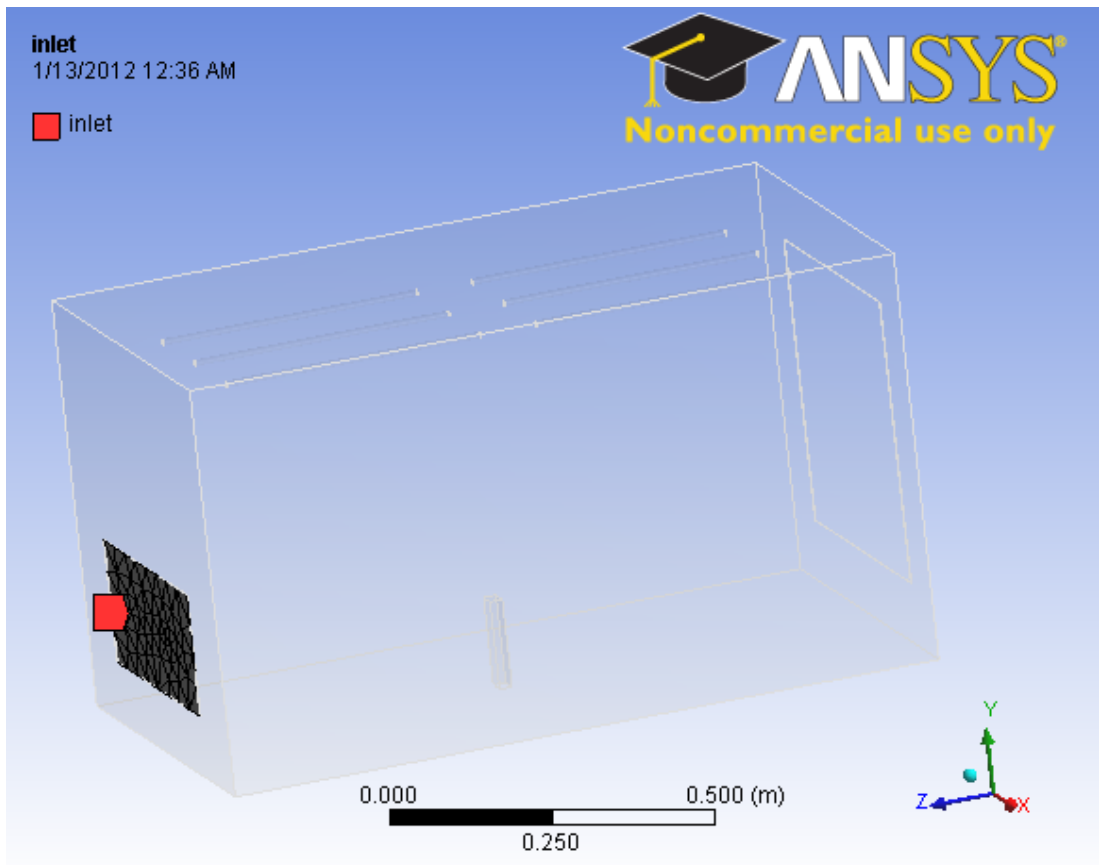
Şekil 4.5. Bağıl nemdeki değişim(%)

Bu çalışmada yapılan tüm deneylerin, kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bu kurutucudaki kuruma süresince bağıl nemlerinde ki değişimleri şekil 4.5'de verilmiştir.

Kızılötesi ışınlı kullanan ısıtıcı bir kurutucuda bayat ekmek kurutma deneyleri tamamlandı. 40°C ve 50°C kurutma sıcaklığında, 1.0 m/s, 0.75 m/s ve 0.5 m/s kurutma hava hızlarında kurutulan 100 gram bayat ekmek dilimlerinin deney sonuçlarından elde edilen veriler tablolar haline getirildi. Bu veriler Ansys fluent 13.0 (CFD) kullanılarak, kurutucu fırın içindeki ısı ve akış analizi yapılmıştır.

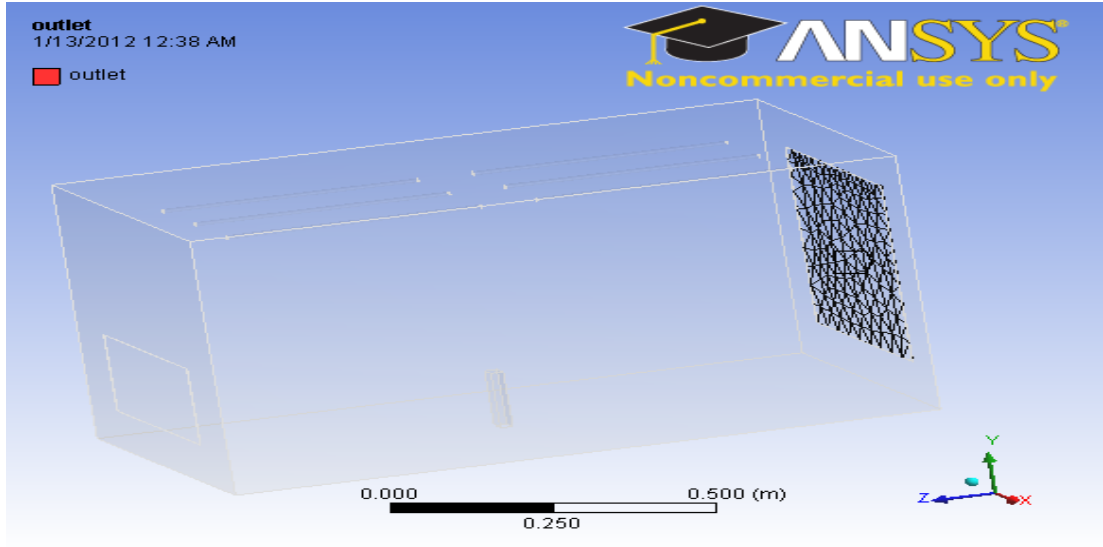
## 5. KIZILÖTESİ IŞINIM ISITICILI KULLANAN BİR KURUTUCUNUN ANSYS FLUENT 13.0 PROGRAMI KULLANILARAK 3 BOYUTLU ÇİZİMİ

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bu kurutucuda Ansys Fluent 13.0 programı kullanılarak, kurutucu bölümleri tanımlanarak çizildi.



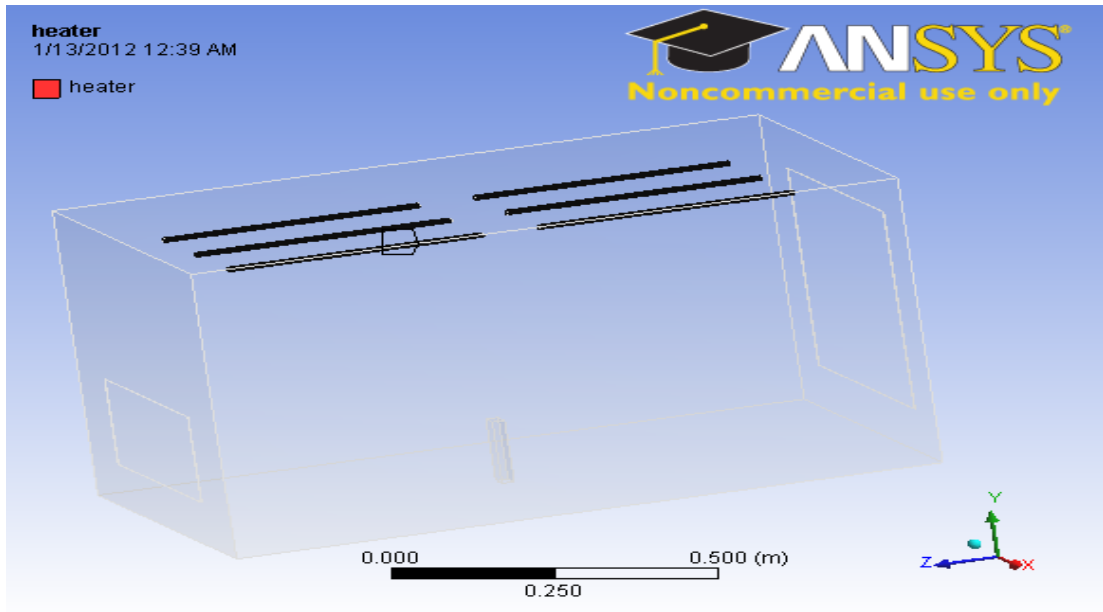
Şekil 5.1. Kurutucunun hava girişi

Kurutucunun 195 mm X 390 mm hava giriş kesiti çizilerek inlet olarak tanımlandı. Şekil 5.1’de gösterildi.



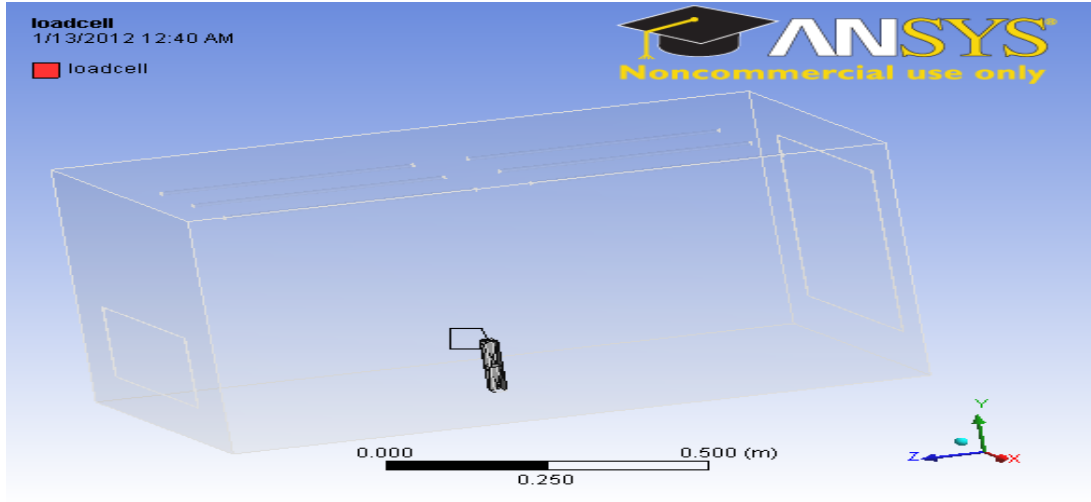
Şekil 5.2. Kurutucunun hava çıkışı

Kurutucunun hava çıkış kesiti 450 mm X 450 mm fluent ansys 13.0 programı kullanılarak outlet olarak tanımlandı. Şekil 5.2 'de gösterildi.



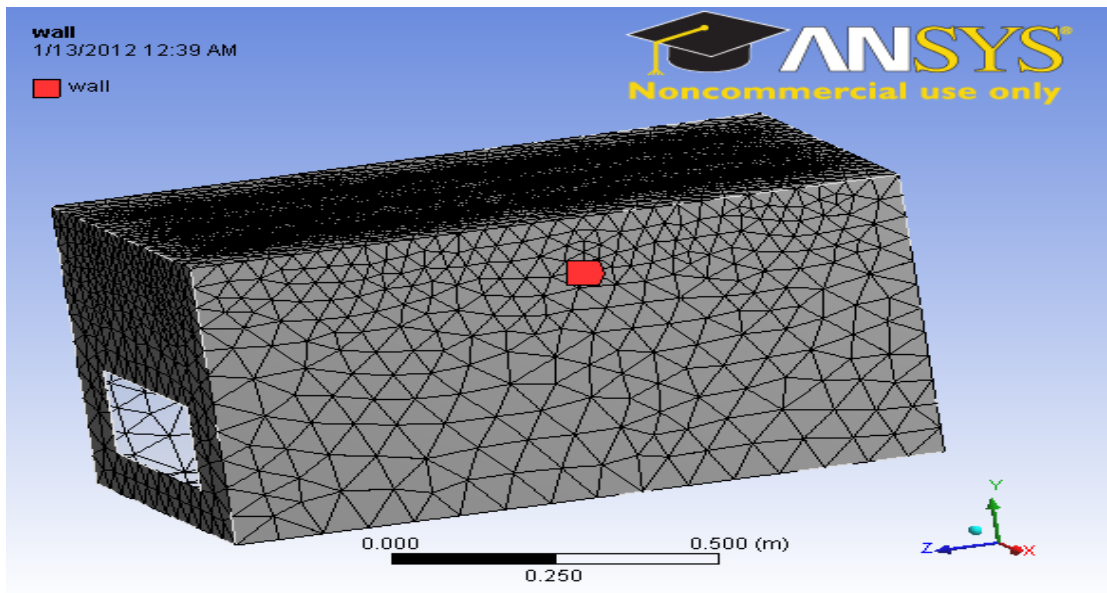
Şekil 5.3. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı çubuk lambaları

Kurutucudaki 6 adet 500 W kızılötesi ışınımlı ısıtıcı çubuk lambaları çizilerek, fluent ansys 13.0 heater olarak tanımlandı. Şekil 5.3'de gösterildi.



Şekil 5.4. Kurutucunun ağırlık ölçer (load cell) ve şasesi çizimi.

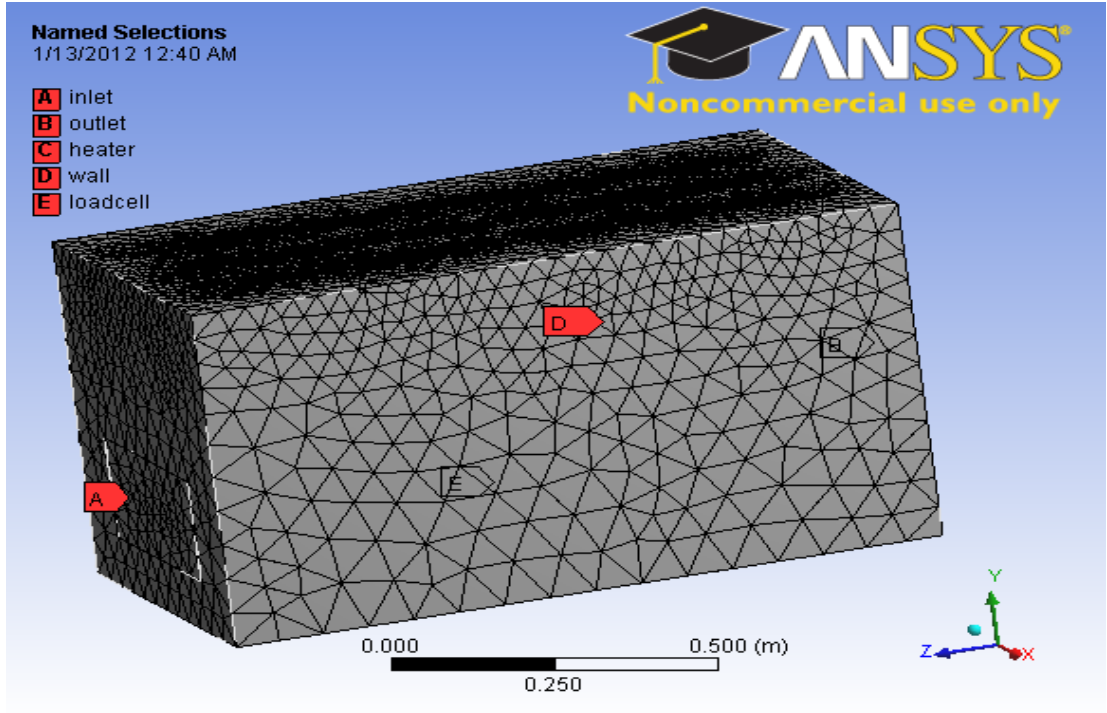
Kurutucuda bulunan ürün ağırlığının kuruma zamanına göre değişiminin takip edildiği ağırlık ölçer (load cell) ve şasesinin çizimi yapıldı ve loadcell olarak tanımlandı. Şekil 5.4’de gösterildi.



Şekil 5.5. Kurutucu duvar yüzeyleri

Kurutucunun 6 yüzeyinin daha önce belirtilmeyen tüm yüzeyler duvar olarak çizildi ve wall olarak tanımlandı. Şekil 5.5’de gösterilmiştir.

Kurutucu yüzeylerinin hız ve ısı akışının önemli olduğu bölgelere analiz sonuçlarının daha iyi ifade edilebilmesi için o bölgeler mesh'ler daha sık atıldı. Şekil 5.5'de ve şekil 5.6'da gösterildi.

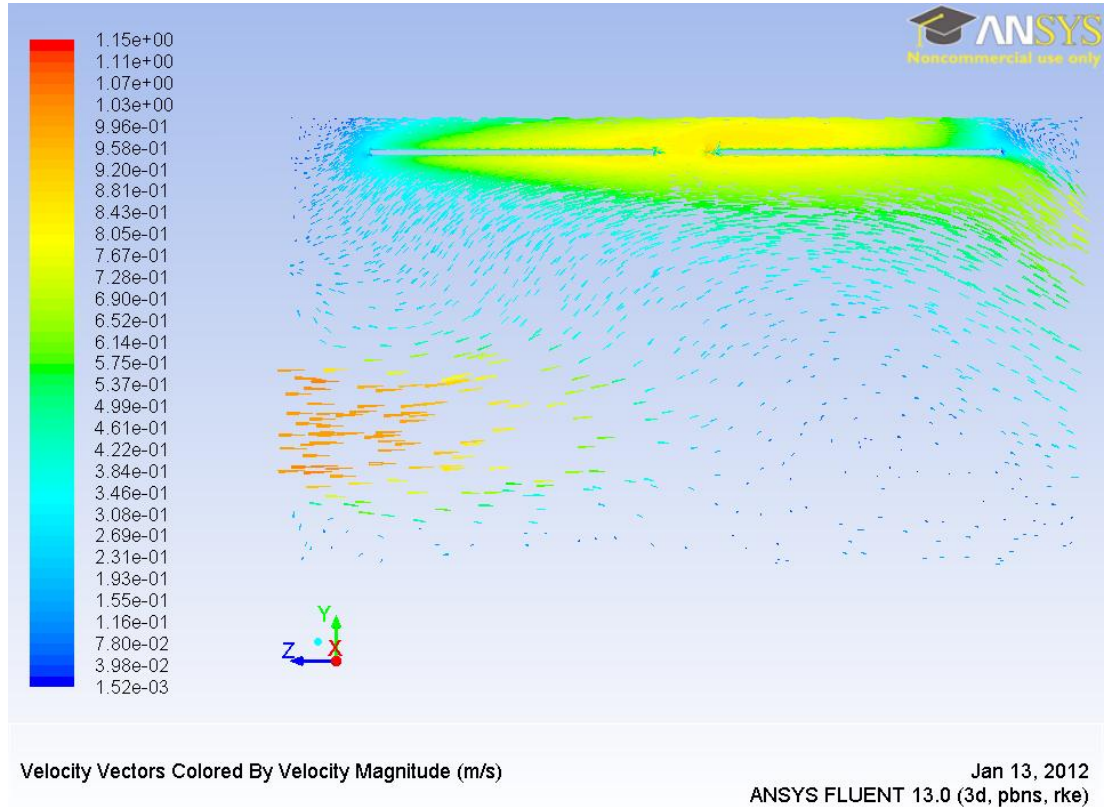


Şekil 5.6. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutucunun mesh görünümü

Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutucunun mesh işlemi tamamlandıktan sonra bölüm adlarının belirtildi ve yazılarak şekil 5.6 'da gösterildi.

## 5.1. Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucunun Fluent Ansys 13.0 Programı Kullanılarak 3 Boyutlu Isı Ve Akış Analizi

### 5.1.1. 50 °C Sıcaklıkta 1.0 m/s hava hızında kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan kurutucuda ansys fluent 13.0 programı kullanılarak ısı ve akış analizi

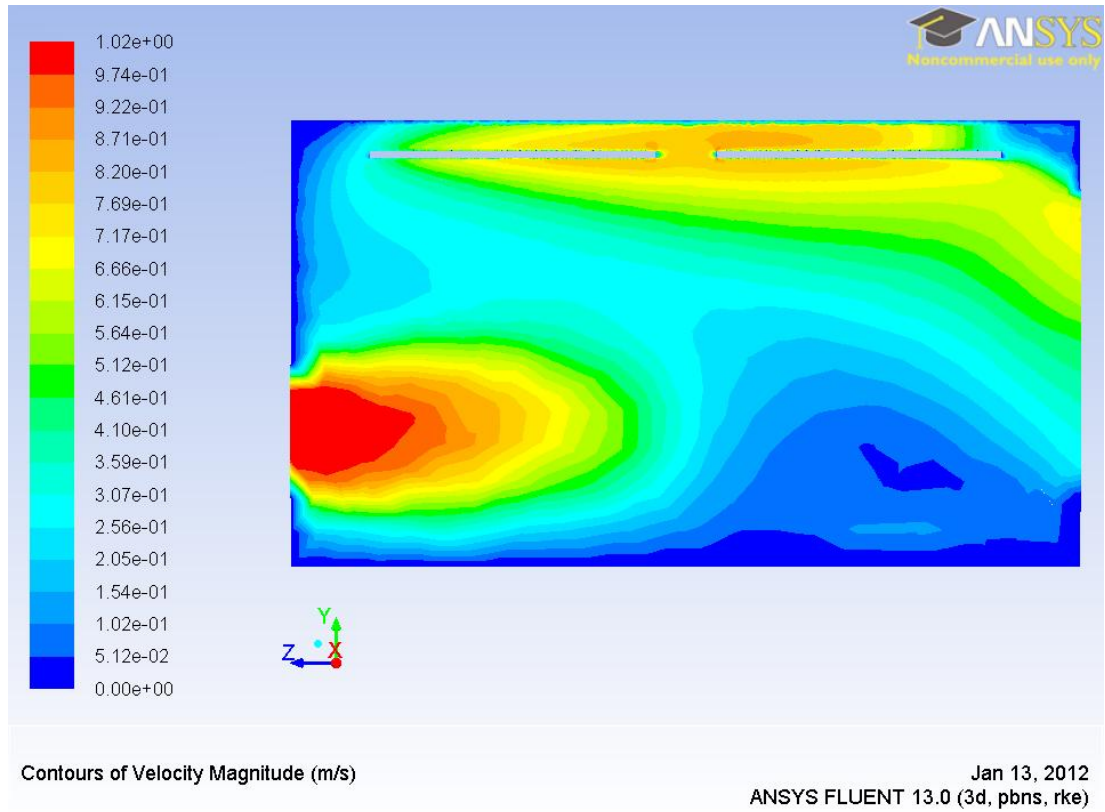


Şekil 5.7. Kurutma sıcaklığı 50°C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 5.7'de gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri yaklaşık 1,0 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olduğundan hızların vektörel yoğunlaşması bu doğrultuda görünmektedir. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgede yoğunlaşmaktadır. Kurutucu kabin hava



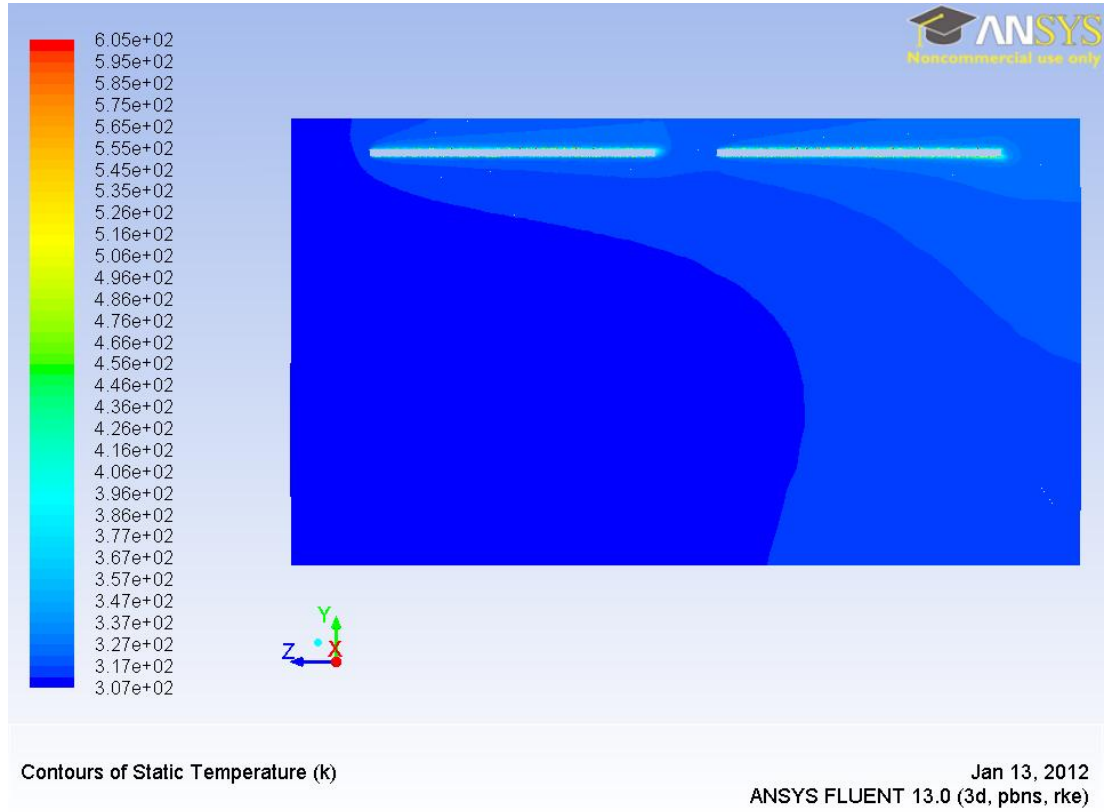
çıkışındaki fanın etkisinden dolayı oluşan vakumla direk dışarıya atılmaktadır. Bunun sonucu olarak sıcak hava kurutucu kabin içerisinde verimli bir şekilde faydalanmadan, kurutucu kabini terk etmektedir.



Şekil 5.8. Kurutma sıcaklığı  $50^{\circ}\text{C}$  ve Hava akış hızı  $1.0\text{ m/s}$  'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine  $195 \times 390\text{ mm}$  kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve  $450 \times 450\text{ mm}$  olan çıkış kesitinde hava hızının daha az olduğu görülmektedir. Bu esnadaki kabin içindeki hava akış hızının dağılımı Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Kurutucu kabin içerisine giren hava akış  $1.0\text{ m/s}$  olarak görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Hava akış yönünün direk kabin içerisinden hareket ederek, ısındıkça yükselerek ve ivedilikle kurutucu kabini terk ettiği görülmektedir. Bundan dolayı kurutucu kabin içerisine giriş yapan taze havanın,

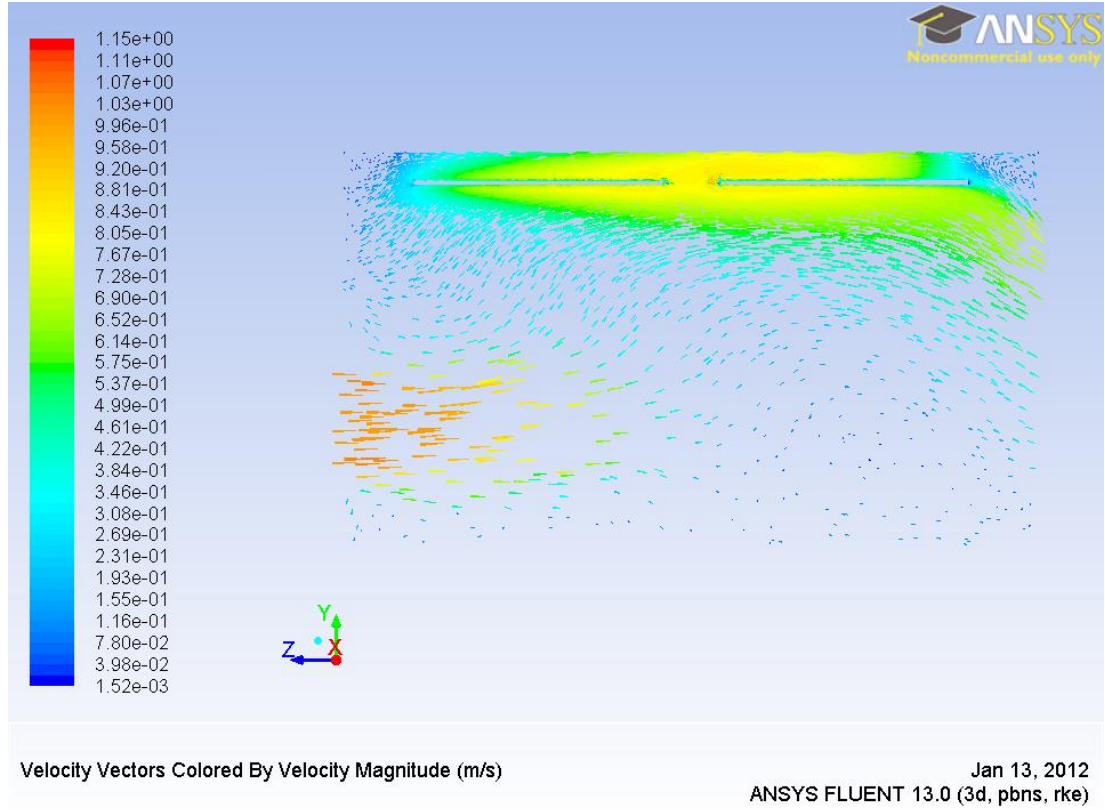
kurutucu kabin içerisine girerken 45 derece açılı bir menfez yapılarak, sıcaklığın kurutulacak ürün üzerinde homojen dağılımı sağlanmalıdır.



Şekil 5.9. Kurutma sıcaklığı 50°C ve Hava akış hızı 1.0 m/s ' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

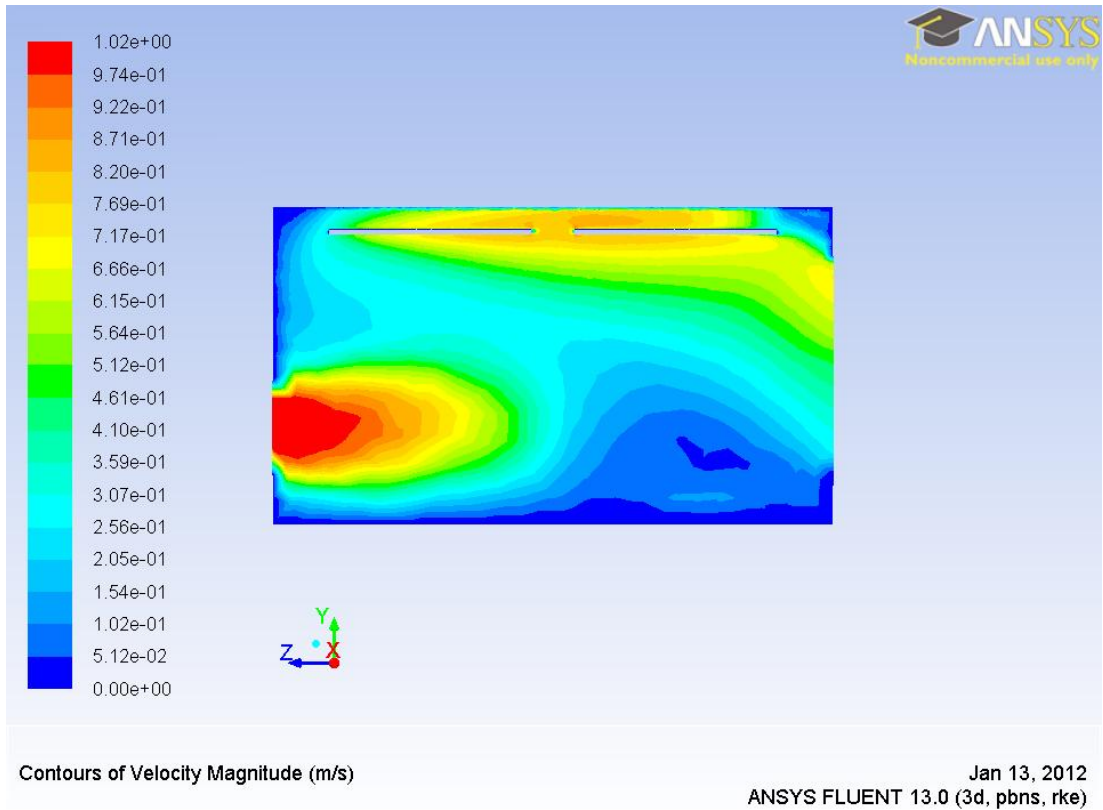
Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda hava girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın hava akış hızının ve yönünün etkisi ile sıcak havanın kızılötesi ışınım lambalarının olduğu bölgede azami olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Sıcaklığın hava akış yönünden dolayı verimli bir şekilde kurutucu kabin içerisinde gerektiği gibi faydalanılmadan kabini terk ettiği görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde hava akış yönünün etkisi ile sıcaklığın kabin içerisindeki dağılımı şekil 5.9'da gösterilmiştir. Kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambaların sıcaklıkları ortalama 330 °C olarak şekilde görülmektedir. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 331 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır.

### 5.1.2. 40 °C Sıcaklıkta 1.0 m/s hava hızında kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan kurutucuda ansys fluent 13.0 programı kullanılarak ısı ve akış analizi



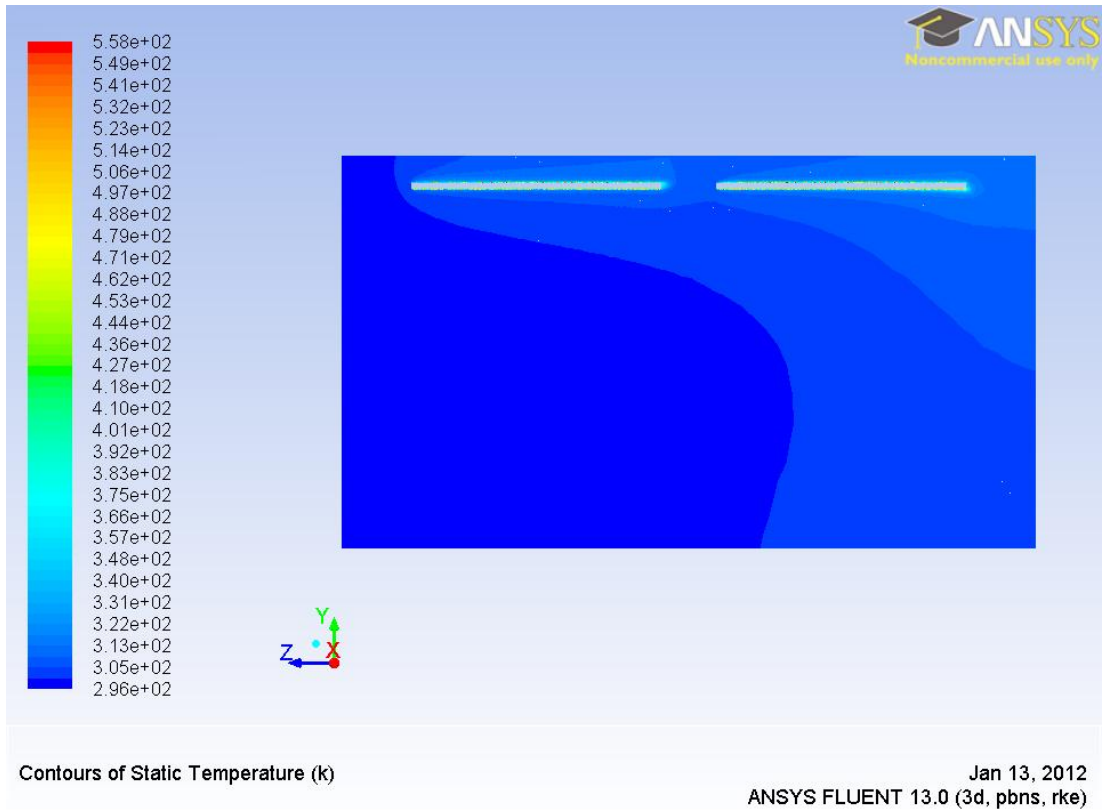
Şekil 5.10. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 5.10'da gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri yaklaşık 1.0 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olduğundan hızların vektörel yoğunlaşması bu doğrultuda görünmektedir. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınlı (infrared) ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgede yoğunlaşmaktadır. Kurutucu kabin hava çıkışındaki fanın etkisinden dolayı oluşan vakumla direk dışarıya atılmaktadır. Bunun sonucu olarak sıcak hava kurutucu kabin içerisinde verimli bir şekilde faydalanmadan, kurutucu kabini terk etmektedir.



Şekil 5.11. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

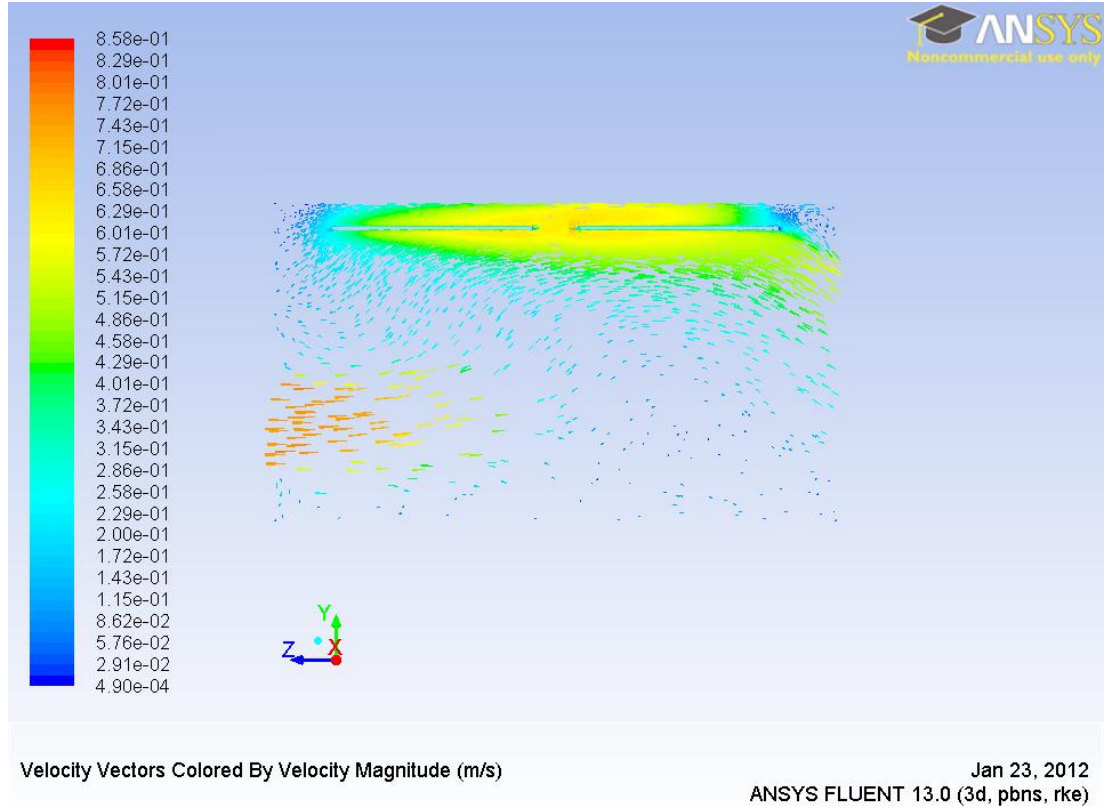
Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava hızının daha az olduğu görülmektedir. Bu esnadaki kabin içindeki hava akış hızının dağılımı Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Kurutucu kabin içerisine giren hava akış 1.0 m/s olarak görünmektedir. Kurutucu kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Hava akış yönünün direk kabin içerisinden hareket ederek, ısındıkça yükselerek ve ivedilikle kurutucu kabini terk ettiği görülmektedir. Bundan dolayı kurutucu kabin içerisine giriş yapan taze havanın, kurutucu kabin içerisine girerken 45 derecelik bir menfez yapılarak, sıcaklığın kurutulacak ürün üzerinde homojen dağılımı sağlanmalıdır.



Şekil 5.12. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s ' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda hava girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın hava akış hızının ve yönünün etkisi ile sıcak havanın Kızılötesi ışınımlı lambalarının olduğu bölgede azami olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Sıcaklığın hava akış yönünden dolayı verimli bir şekilde kurutucu kabin içerisinde gerektiği gibi faydalanılmadan kabini terk ettiği görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde hava akış yönünün etkisi ile sıcaklığın kabin içerisindeki dağılımı şekil 5.12'de gösterilmiştir. Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı lambaların sıcaklıkları ortalama 285 °C olarak şekilde görülmektedir. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 290 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır.

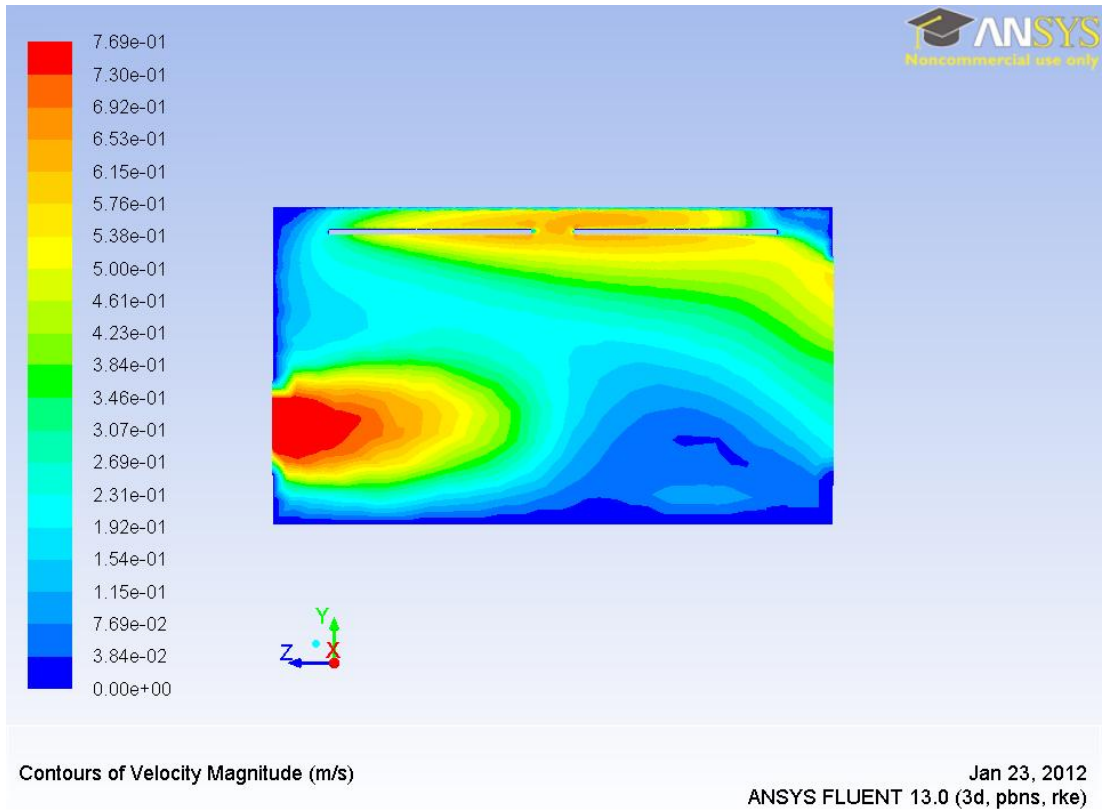
### 5.1.3. 40 °C Sıcaklıkta 0.75 m/s hava hızında kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan kurutucuda ansys fluent 13.0 programı kullanılarak ısı ve akış analizi



Şekil 5.13. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

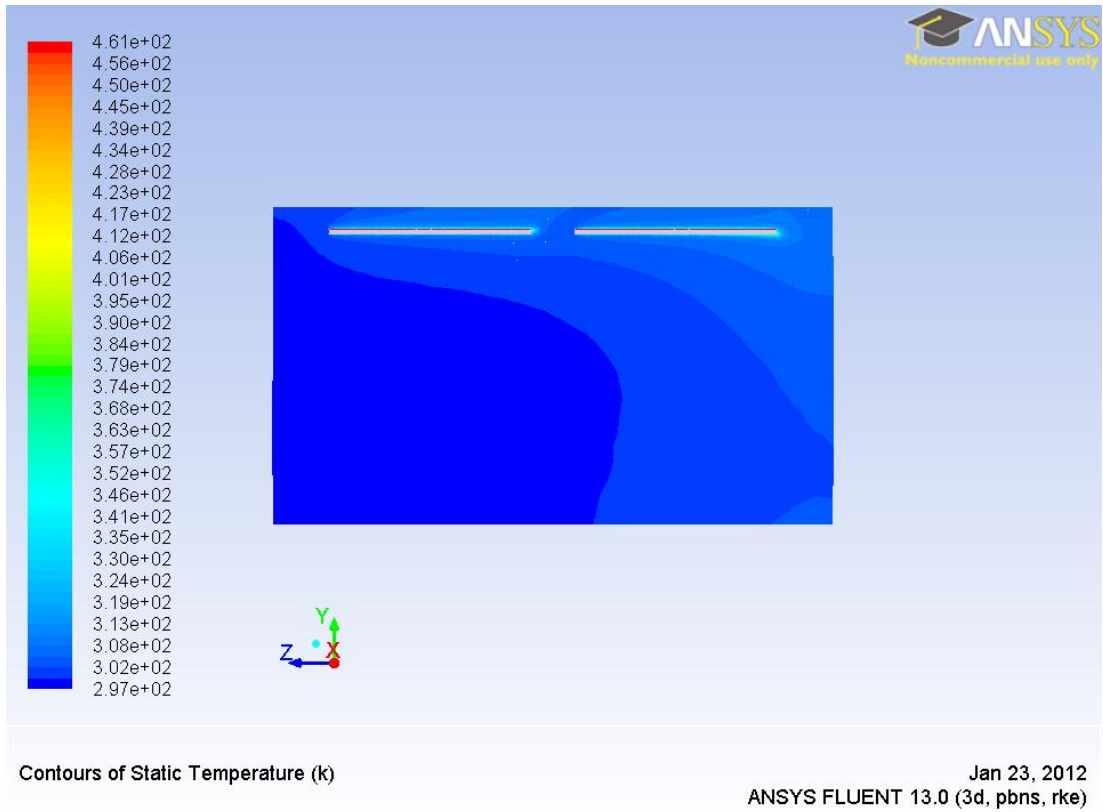
Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 5.13'de gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri yaklaşık 0.75 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olduğundan hızların vektörel yoğunlaşması bu doğrultuda görünmektedir. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgede yoğunlaşmaktadır. Kurutucu kabin hava çıkışındaki fanın etkisinden dolayı oluşan vakumla direk dışarıya atılmaktadır. Bunun sonucu olarak sıcak hava kurutucu kabin içerisinde verimli bir şekilde faydalanmadan, kurutucu kabini terk etmektedir.





Şekil 5.14. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s’de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava hızının daha az olduğu görülmektedir. Bu esnadaki kabin içindeki hava akış hızının dağılımı Şekil 5.14’de gösterilmiştir. Kurutucu kabin içerisine giren hava akış 0.75 m/s olarak görünmektedir. Kurutucu kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Hava akış yönünün direk kabin içerisinden hareket ederek, ısındıkça yükselerek ve ivedilikle kurutucu kabin terk ettiği görülmektedir. Bundan dolayı kurutucu kabin içerisine giriş yapan taze havanın, kurutucu kabin içerisine girerken 45 derecelik bir menfez yapılarak, sıcaklığın kurutulacak ürün üzerinde homojen dağılımı sağlanmalıdır.

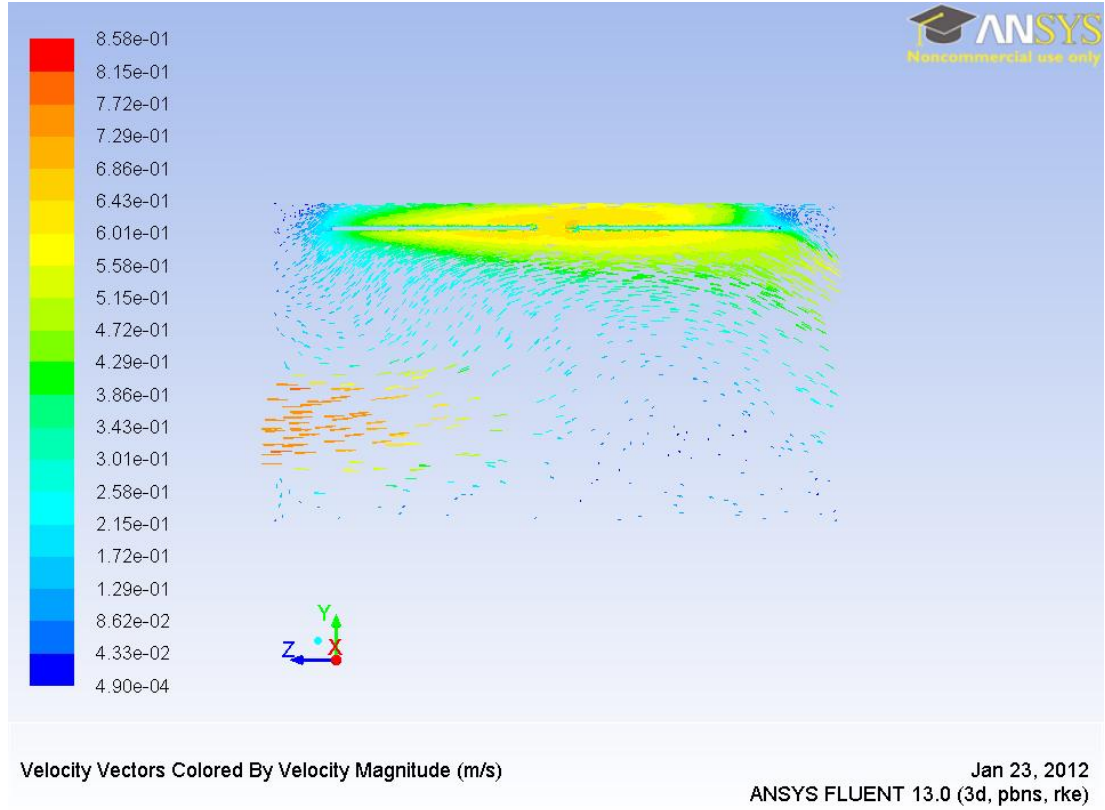


Şekil 5.15. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda hava girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın hava akış hızının ve yönünün etkisi ile sıcak havanın kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambalarının olduğu bölgede azami olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Sıcaklığın hava akış yönünden dolayı verimli bir şekilde kurutucu kabin içerisinde gerektiği gibi faydalanılmadan kabini terk ettiği görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde hava akış yönün etkisi ile sıcaklığın kabin içerisindeki dağılımı şekil 5.15'de gösterilmiştir. Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıkları ortalama 186 °C olarak şekilde görülmektedir. Deneysel tüzenekte infrared ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 188 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır.

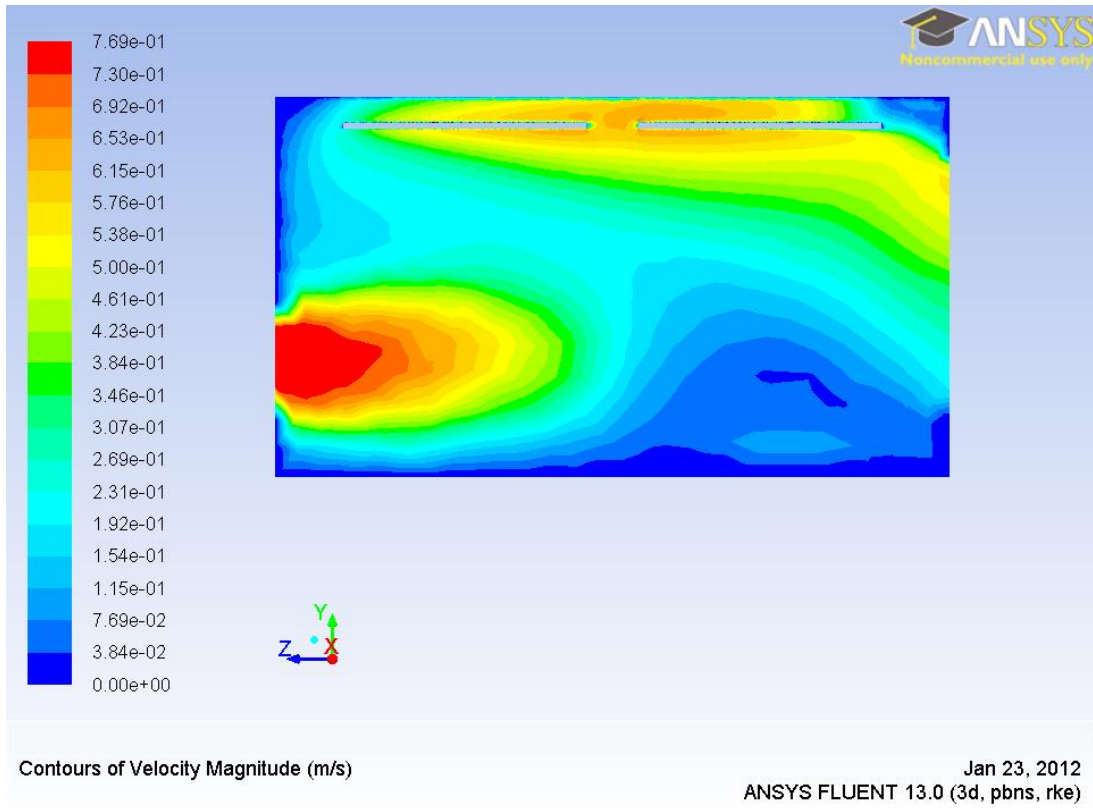


#### 5.1.4. 50 °C Sıcaklıkta 0.75 m/s hava hızında kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan kurutucuda ansys fluent 13.0 programı kullanılarak ısı ve akış analizi



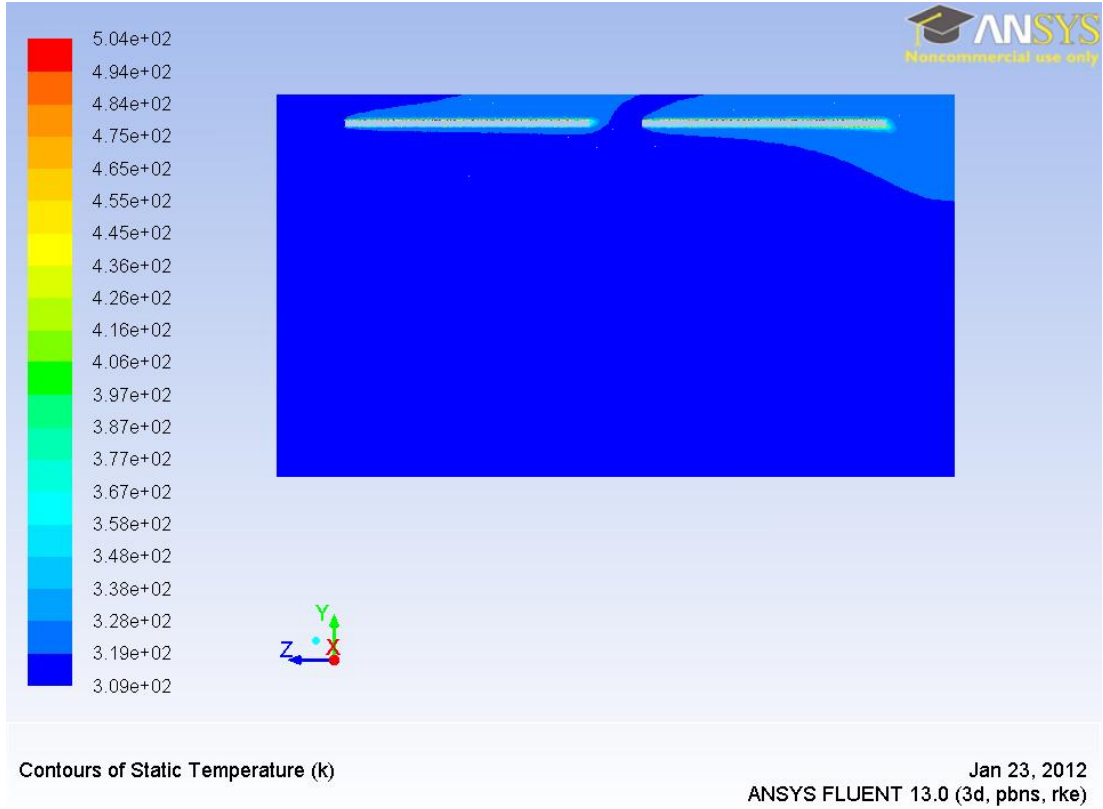
Şekil 5.16. Kurutma sıcaklığı 50°C ve Hava akış hızı 0,75 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 5.16'da gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri 0,75 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olduğundan hızların vektörel yoğunlaşması bu doğrultuda görülmektedir. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgede yoğunlaşmaktadır. Kurutucu kabin hava çıkışındaki fanın etkisinden dolayı oluşan vakumla direk dışarıya atılmaktadır. Bunun sonucu olarak sıcak hava kurutucu kabin içerisinde verimli bir şekilde faydalanmadan, kurutucu kabini terk etmektedir.



Şekil 5.17. Kurutma sıcaklığı  $50^{\circ}\text{C}$  ve Hava akış hızı  $0.75\text{ m/s}$ 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

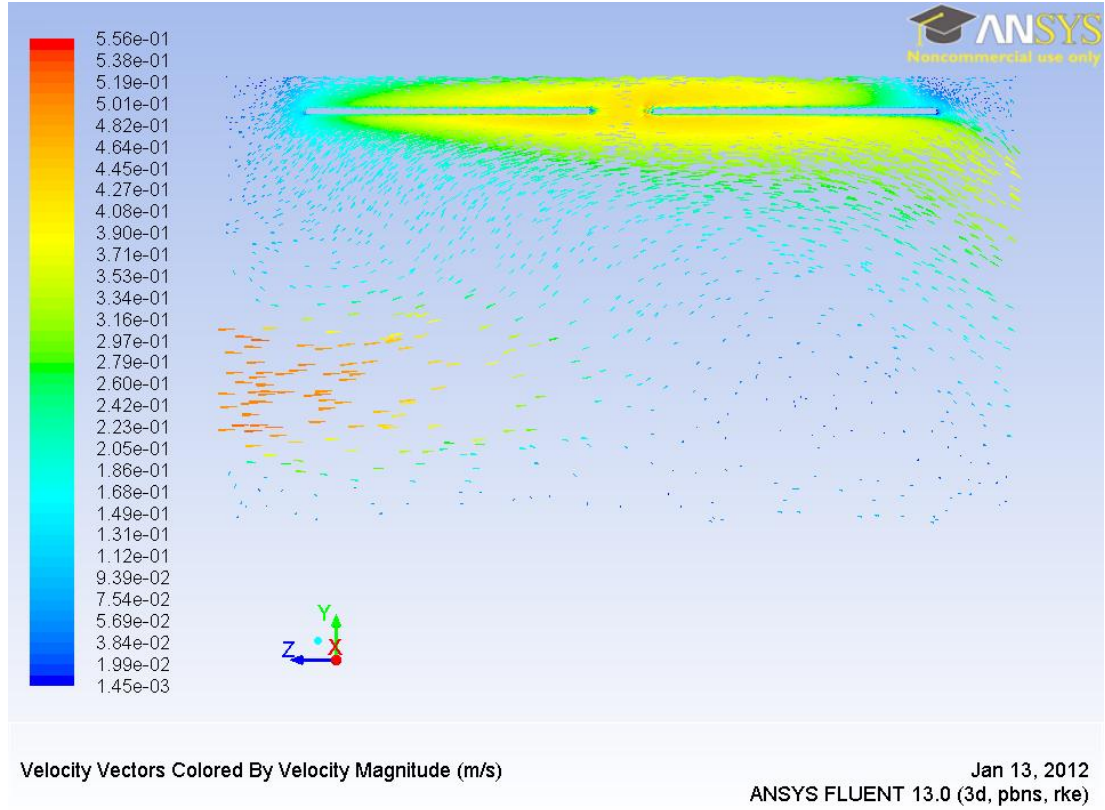
Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine  $195 \times 390\text{ mm}$  kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve  $450 \times 450\text{ mm}$  olan çıkış kesitinde hava hızının daha az olduğu görülmektedir. Bu esnadaki kabin içindeki hava akış hızının dağılımı Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Kurutucu kabin içerisine giren hava akış  $0,75\text{ m/s}$  olarak görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Hava akış yönünün direk kabin içerisinden hareket ederek, ısındıkça yükselerek ve ivedilikle kurutucu kabin terk ettiği görülmektedir. Bundan dolayı kurutucu kabin içerisine giriş yapan taze havanın, kurutucu kabin içerisine girerken  $45$  derecelik bir menfez yapılarak, sıcaklığın kurutulacak ürün üzerinde homojen dağılımı sağlanmalıdır.



Şekil 5.18. Kurutma sıcaklığı 50°C ve Hava akış hızı 0.75 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

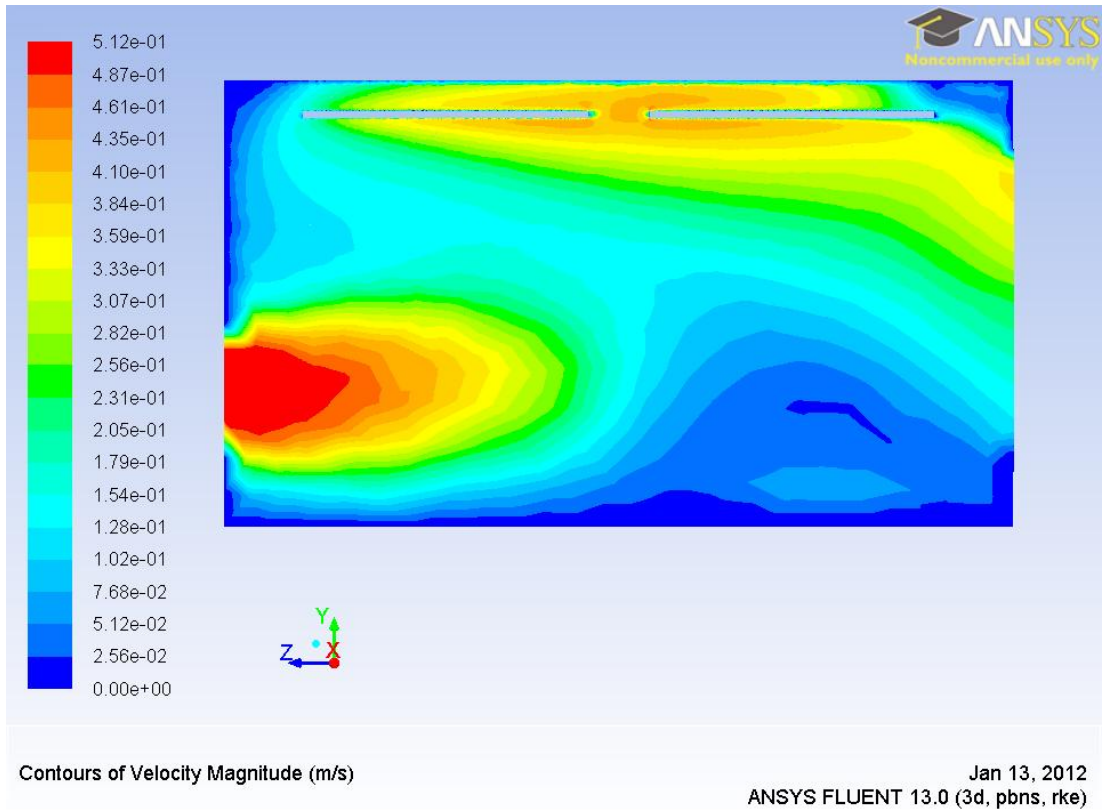
Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan kurutucuda hava girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın hava akış hızının ve yönünün etkisi ile sıcak havanın kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambalarının olduğu bölgede azami olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Sıcaklığın hava akış yönünden dolayı verimli bir şekilde kurutucu kabin içerisinde gerektiği gibi faydalanılmadan kabini terk ettiği görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde hava akış yönünün etkisi ile sıcaklığın kabin içerisindeki dağılımı şekil 5.18'de gösterilmiştir. Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıkları ortalama 230 °C olarak şekilde görülmektedir. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 231 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır.

### 5.1.5. 50°C Sıcaklıkta 0.5 m/s hava hızında kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan kurutucuda ansys fluent 13.0 programı kullanılarak ısı ve akış analizi



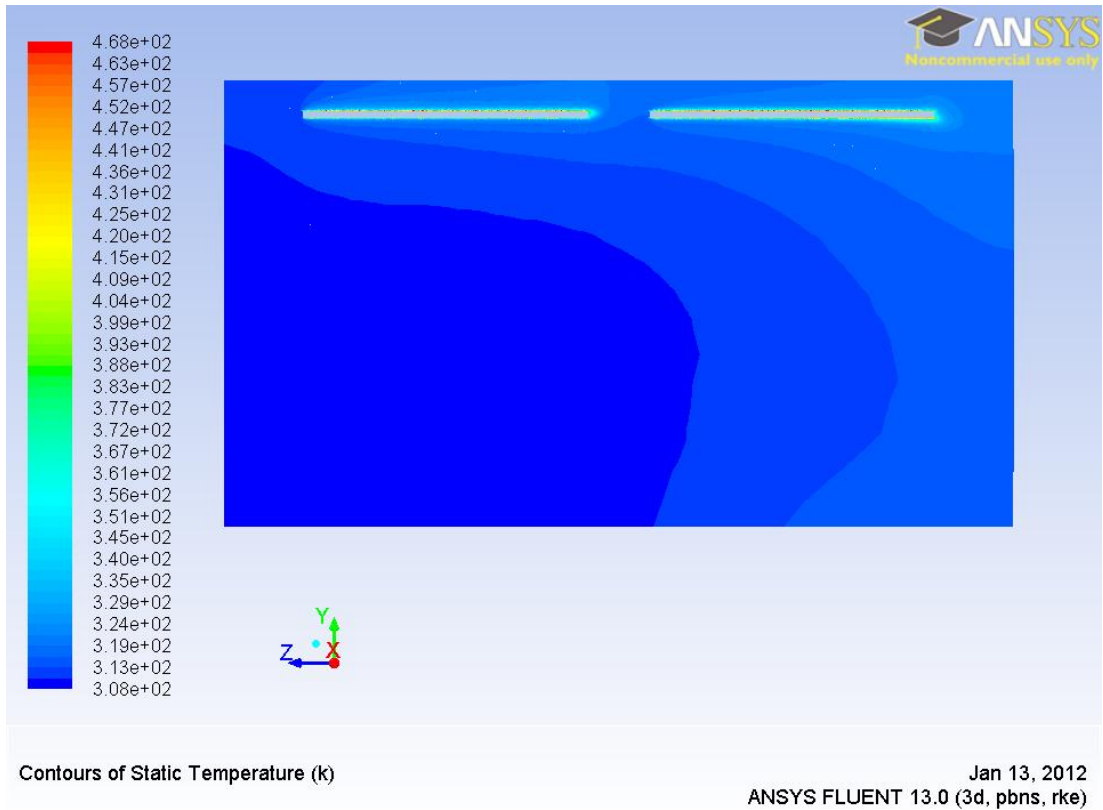
Şekil 5.19. Kurutma sıcaklığı 50°C ve Hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 5.19'da gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri yaklaşık 0.5 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olduğundan hızların vektörel yoğunlaşması bu doğrultuda görünmektedir. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınlı (infrared) ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgede yoğunlaşmaktadır. Kurutucu kabin hava çıkışındaki fanın etkisinden dolayı oluşan vakumla direk dışarıya atılmaktadır. Bunun sonucu olarak sıcak hava kurutucu kabin içerisinde verimli bir şekilde faydalanmadan, kurutucu kabini terk etmektedir.



Şekil 5.20. Kurutma sıcaklığı  $50^{\circ}\text{C}$  ve Hava akış hızı  $0.5\text{ m/s}$ 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine  $195 \times 390\text{ mm}$  kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve  $450 \times 450\text{ mm}$  olan çıkış kesitinde hava hızının daha az olduğu görülmektedir. Bu esnadaki kabin içindeki hava akış hızının dağılımı Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Kurutucu kabin içerisine giren hava akış  $0,5\text{ m/s}$  olarak görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Hava akış yönünün direk kabin içerisinden hareket ederek, ısındıkça yükselerek ve ivedilikle kurutucu kabin terk ettiği görülmektedir. Bundan dolayı kurutucu kabin içerisine giriş yapan taze havanın, kurutucu kabin içerisine girerken  $45$  derecelik bir menfez yapılarak, sıcaklığın kurutulacak ürün üzerinde homojen dağılımı sağlanmalıdır.

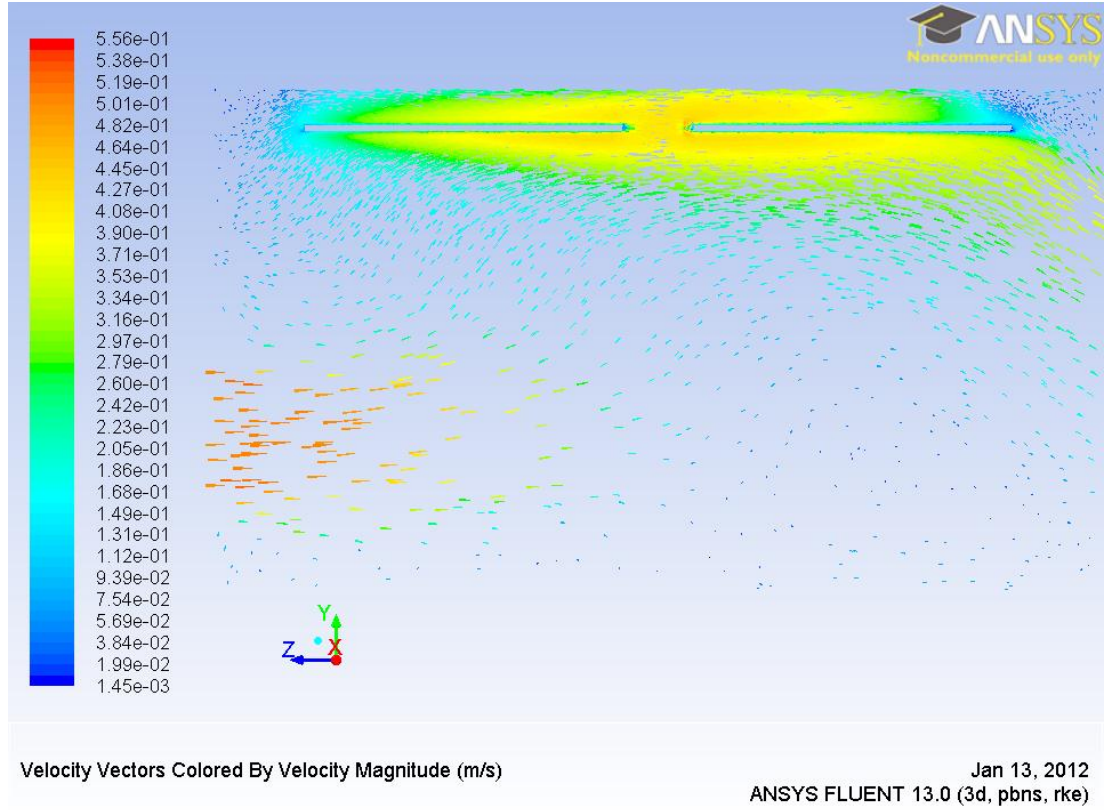


Şekil 5.21. Kurutma sıcaklığı 50°C ve Hava akış hızı 0.5 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan bu kurutucuda hava girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın hava akış hızının ve yönünün etkisi ile sıcak havanın kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambalarının olduğu bölgede azami olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Sıcaklığın hava akış yönünden dolayı verimli bir şekilde kurutucu kabin içerisinde gerektiği gibi faydalanılmadan kabini terk ettiği görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde hava akış yönünün etkisi ile sıcaklığın kabin içerisindeki dağılımı Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıkları ortalama 194 °C olarak şekilde görülmektedir. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 195 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır.

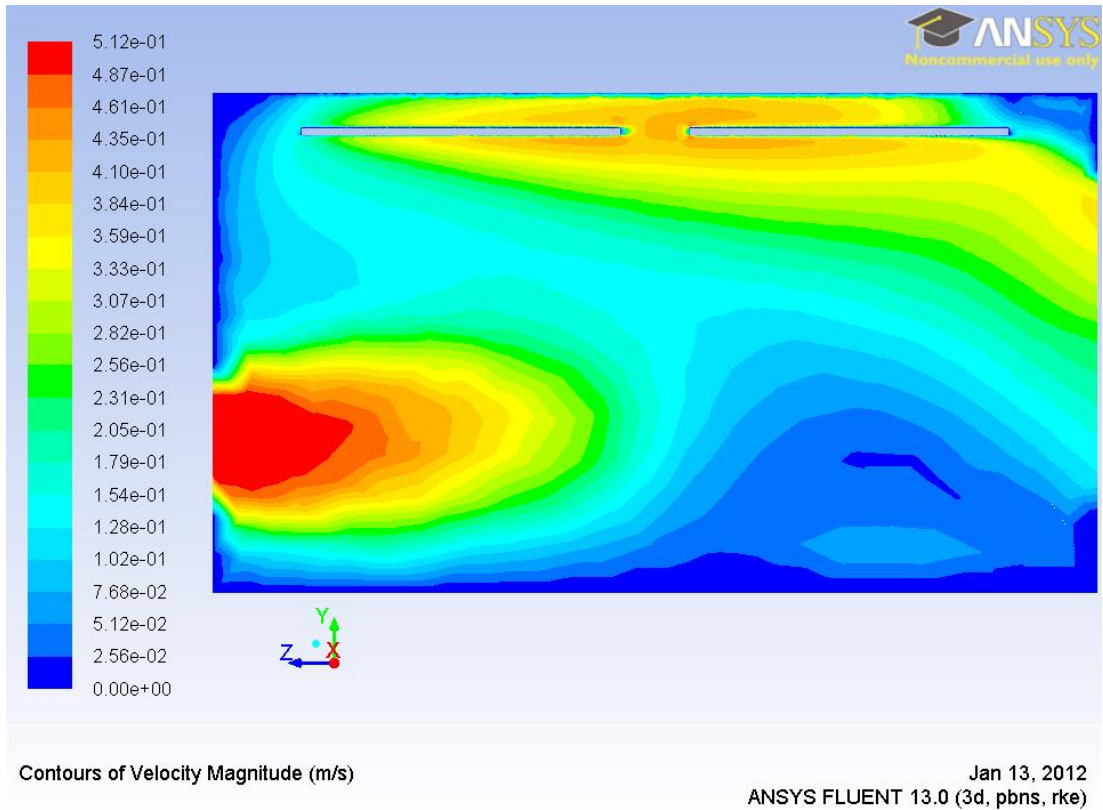


### 5.1.6. 40 °C Sıcaklıkta 0.5 m/s hava hızında kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan kurutucuda ansys fluent 13.0 programı kullanılarak ısı ve akış analizi



Şekil 5.22. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

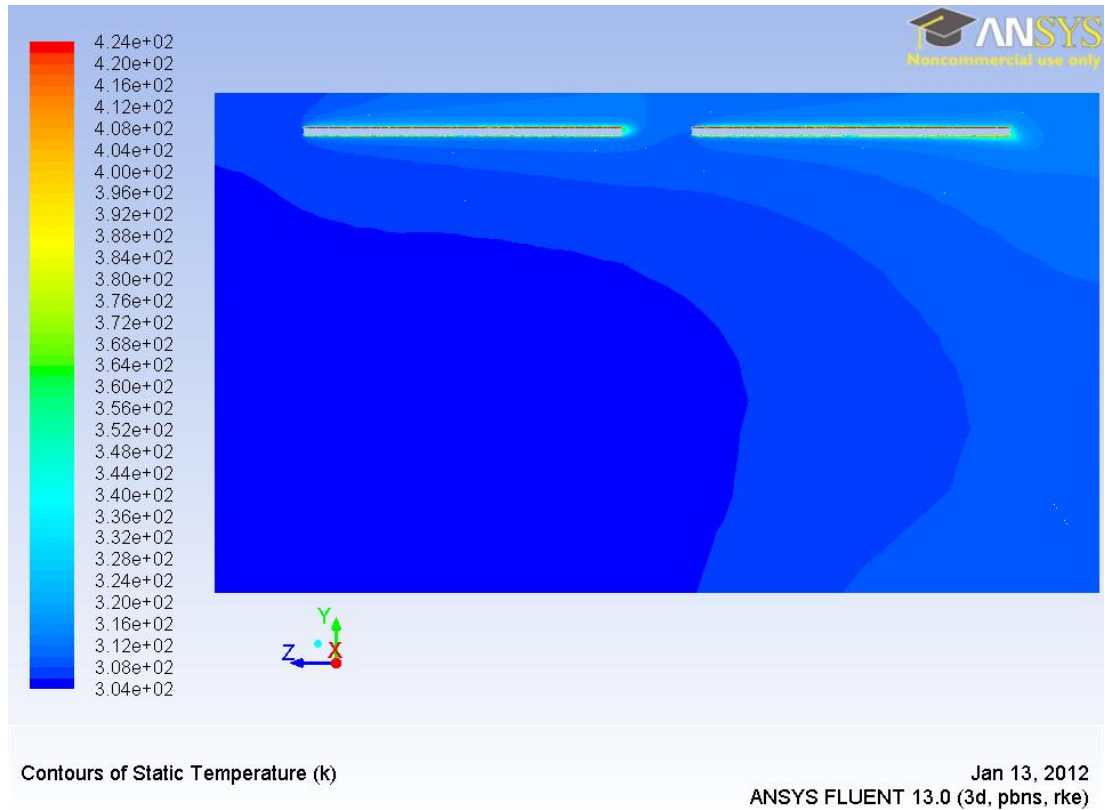
Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 5.22'de gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri yaklaşık 0.5 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olduğundan hızların vektörel yoğunlaşması bu doğrultuda görünmektedir. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınlı (infrared) ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgede yoğunlaşmaktadır. Kurutucu kabin hava çıkışındaki fanın etkisinden dolayı oluşan vakumla direk dışarıya atılmaktadır. Bunun sonucu olarak sıcak hava kurutucu kabin içerisinde verimli bir şekilde faydalanmadan, kurutucu kabini terk etmektedir.



Şekil 5.23. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s’de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava hızının daha az olduğu görülmektedir. Bu esnadaki kabin içindeki hava akış hızının dağılımı Şekil 5.23’de gösterilmiştir. Kurutucu kabin içerisine giren hava akış 0.5 m/s olarak görünmektedir. Kurutucu kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Hava akış yönünün direk kabin içerisinden hareket ederek, ısındıkça yükselerek ve ivedilikle kurutucu kabin terk ettiği görülmektedir. Bundan dolayı kurutucu kabin içerisine giriş yapan taze havanın, kurutucu kabin içerisine girerken 45 derecelik bir menfez yapılarak, sıcaklığın kurutulacak ürün üzerinde homojen dağılımı sağlanmalıdır.





Şekil 5.24. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

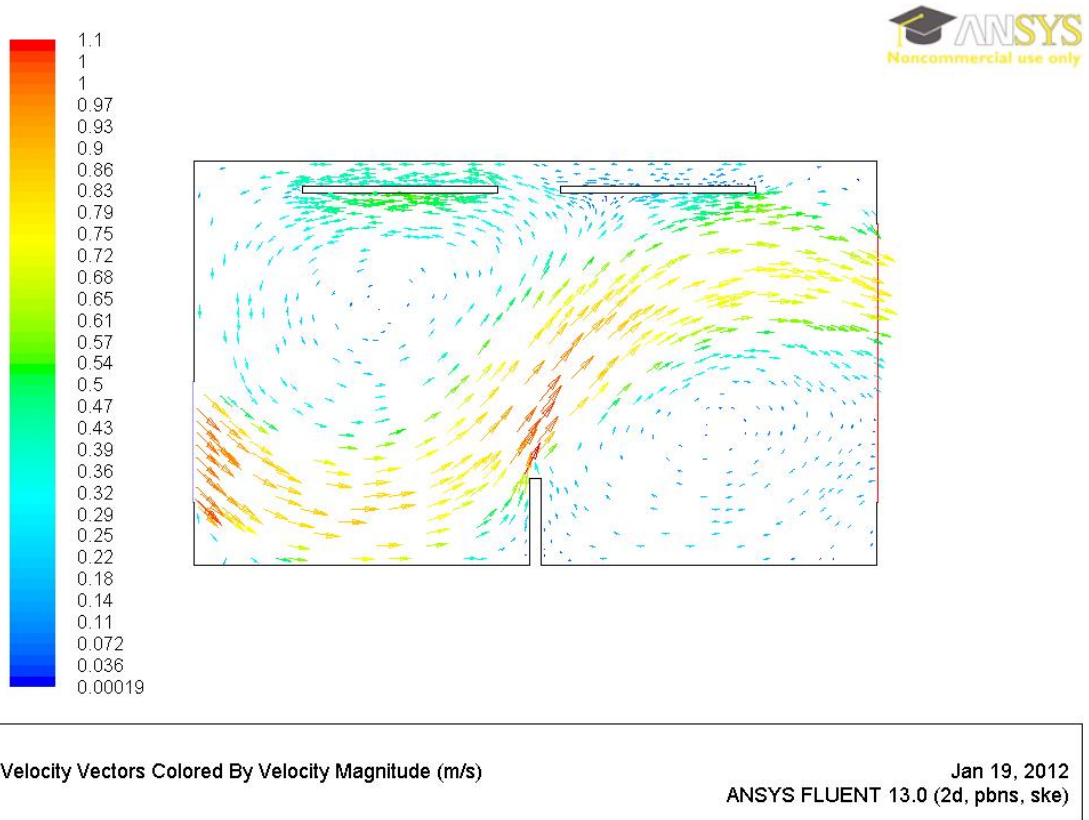
Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan bu kurutucuda hava girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın hava akış hızının ve yönünün etkisi ile sıcak havanın Kızılötesi ışınımlı lambalarının olduğu bölgede azami olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Sıcaklığın hava akış yönünden dolayı verimli bir şekilde kurutucu kabin içerisinde gerektiği gibi faydalanılmadan kabini terk ettiği görülmektedir. Kurutucu kabin içerisinde hava akış yönünün etkisi ile sıcaklığın kabin içerisindeki dağılımı şekil 5.24'de gösterilmiştir. Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıkları ortalama 151 °C olarak şekilde görülmektedir. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 152 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır.

## 5.2. Sonuç Ve Öneriler

Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan bu kurutucuda Ansys fluent 13.0 (CFD) programı kullanılarak yapılan ısı ve akış analizinde, hava akış hızı ve yönünün izlenmiş olduğu davranışlarından, kurutucu kabinin verimli bir şekilde kullanılmadığı tespit edilmiştir. Hava akış yönünün kurutucu kabine direk ortasına doğru hareket ederek giriş yapması, ısınarak yükselmesi ve kabin çıkış emiş fanının oluşturduğu vakum ile ivedilikle kabini terk etmesi, bunun içinde kurutucu kabin içerisinde kurutulacak ürün üzerinde homojen bir sıcaklık dağılımının sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bunu önlemek için kurutucu kabin girişindeki hava girişine 45 derecelik bir menfez konulmasına karar verilmiştir. Kurutucu kabindeki hava giriş kesitinin 195X390 mm yapılmasına karar verilmiştir.

## 6. KIZILÖTESİ İŞINIMLI ISITICI KULLANAN BİR KURUTUCUNUN ANSYS FLUENT 13.0 PROGRAMI KULLANILARAK 2 BOYUTLU ISI VE AKIŞ ANALİZİ

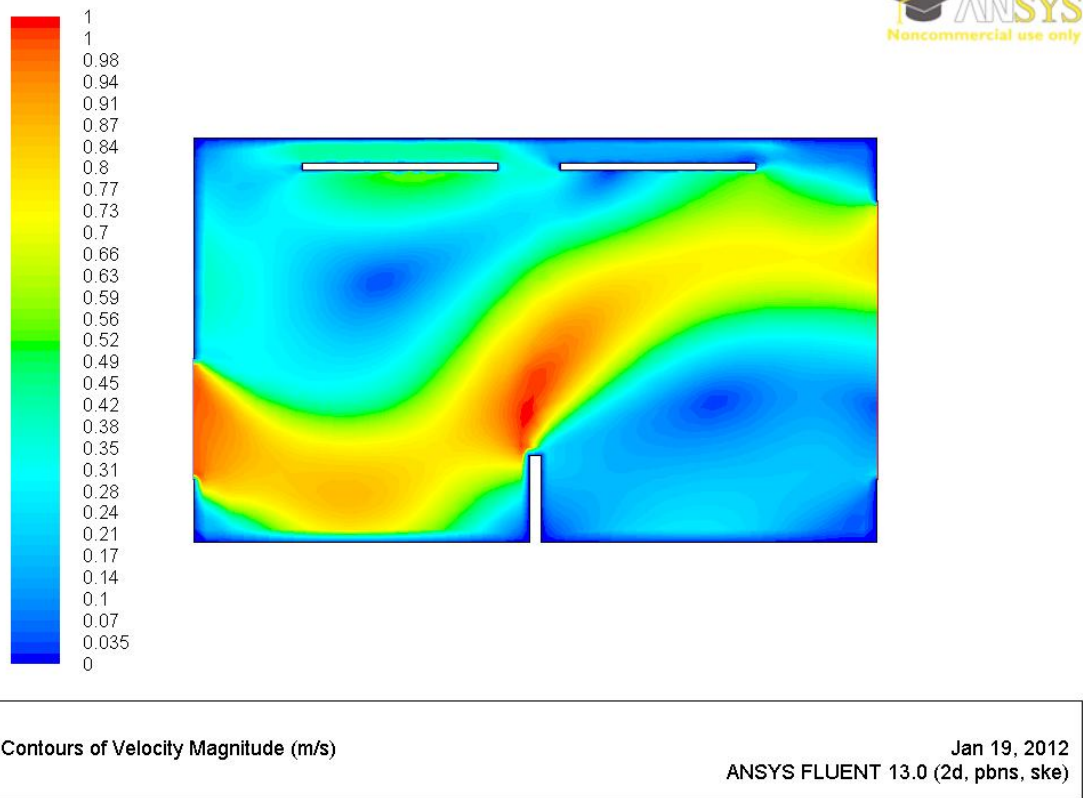
### 6.1. 50°C Kurutma Sıcaklığında Ve 1.0 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımli Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi



Şekil 6.1. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

Kızılötesi ışınımli ısıtıcı kullanan bu kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 6.1.'de gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri, çıkışındaki değerinin iki katı olarak gözükmektedir. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olması bu sonucu doğrulamaktadır. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava, hava girişinde bulunan menfezin etkisi ile kurutucu kabin içerisine yaklaşık 45 derecelik açı ile

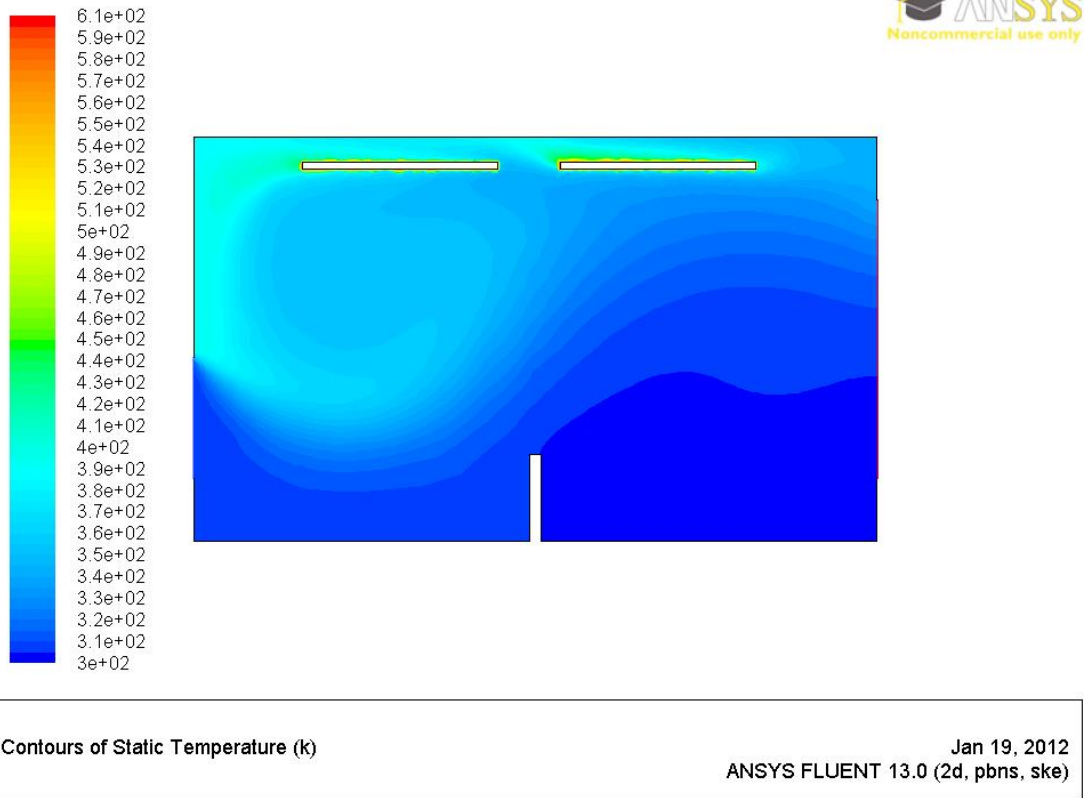
yönlendiriliyor. Kurutucu hava kurutucu kabin içerisinde zemine çarptıktan sonra ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınımı (infrared) ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgeye doğru hareket etmektedir. 450 X 450 mm hava çıkışında emiş fanının oluşturduğu vakum ile yükselen hava kızılötesi ışınımı (infrared) ısıtıcı lambalara ulaşmadan kurutucu kabini terketmektedir. Kurutucu kabin içerisinde bulunan 6 adet 500 W'lık kızılötesi ışınımı (infrared) ısıtıcı çubuk lambaların etrafında sıcaklığın etkisi ile hava akımları oluşmaktadır. Hava akışı boyunca karşısına çıkan loadcell ve şasesinin etkisi ile kurutucu kabin içerisinde hava akışında türbülans oluşmaktadır. Hava akış hızlarında ve yönlerinde değişimler gözlenmiştir. Kurutucu kabin içerisine denemeler sonucu konulan menfez ve açısının hız akış analizi sonucu doğru olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 6.2. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınımı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava hızının daha asgari olduğu görülmektedir. Kabin içindeki hava akış hızının dağılımı

şekil 6.2'de gösterilmiştir. Kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Kurutucu kabin köşelerindeki bölgelerde hava akışı yoktur. Kabin girişi hava akış hızı 1.0 m/s olarak deneysel düzenekte ayarlanmıştır. Analiz sonucu da aynı hava akış hızı değeri elde edilmiştir. Kurutucu kabin içerisindeki hava akışının hız değerleri kabin girişinden kabin çıkışına doğru azalmaktadır. Fakat bir tane istisnai bir durum vardır, bu azalmayı bozan. O da loadcell ve şasesinin olduğu bölgede hava akış hızı tekrar yaklaşık 1.0 m/s hızı yakalamaktadır.

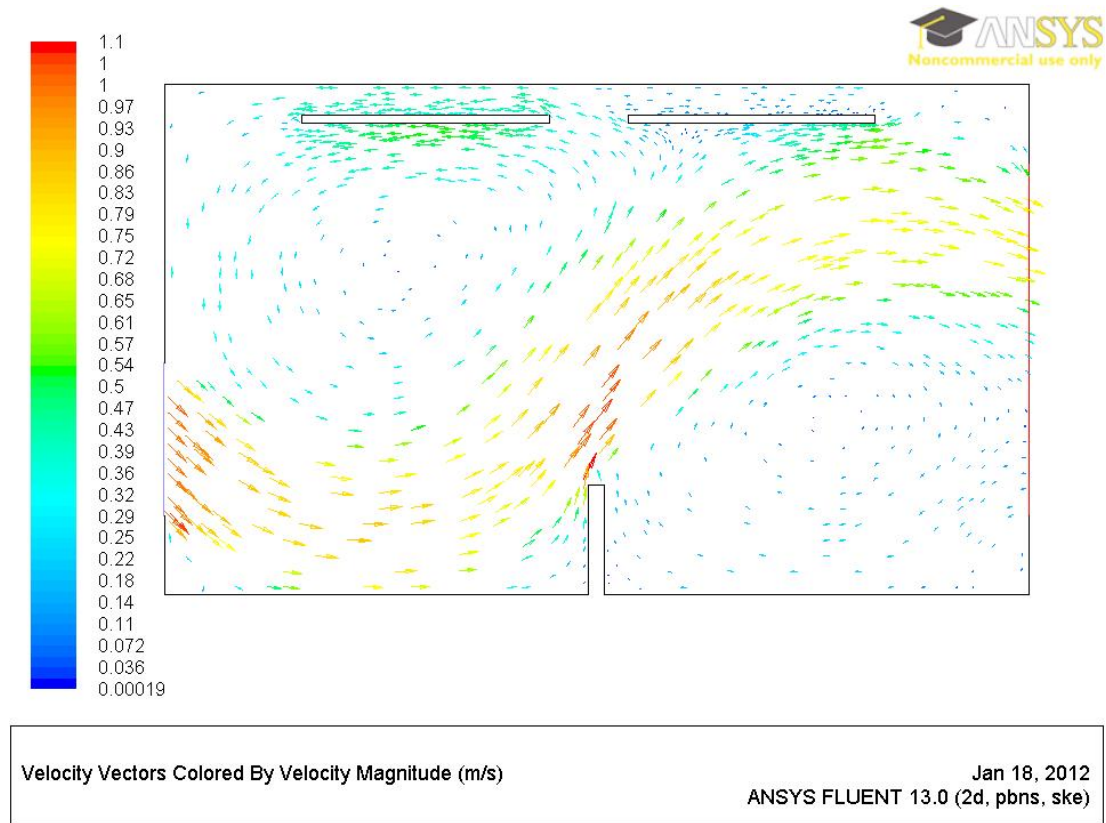


Şekil 6.3. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kurutucu havanın girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın yüksek olduğu ve kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambalarının olduğu bölgedeki sıcaklığın azami olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Buna neden olan bu bölgelerde hava akış

hızının az olmasından dolayı sıcaklığın bu bölgede yayılmasını ve yoğunlaşmasını sağlamıştır. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 332 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır. Analiz sonucu da aynı değerlere ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil 6.3’de gösterilmiştir. 450 mm X 450 mm çıkış kesitinde hava emiş fanının oluşturduğu vakumdan dolayı kurutucu kabin çıkışındaki bölümde mevcut sıcaklık dışarı atılmaktadır. Bu analiz sonucu loadcell’in konduğu yerin doğruluğu üzerinde karar verilmiştir.

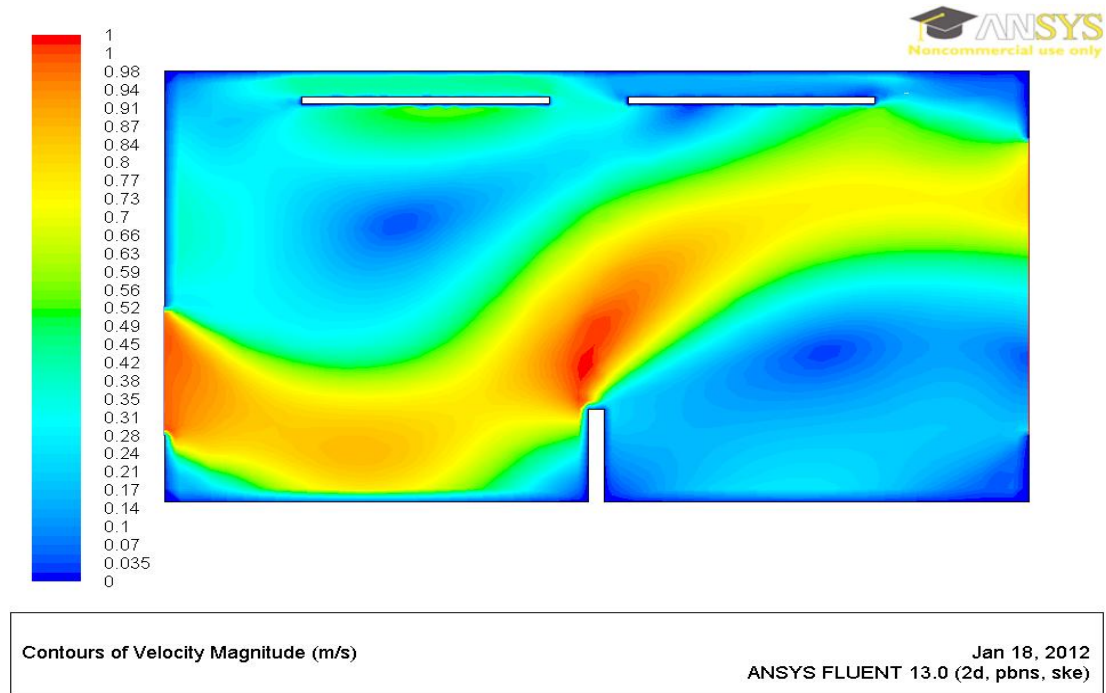
## 6.2. 40° C Kurutma Sıcaklığında Ve 1.0 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi



Şekil 6.4. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bu kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış

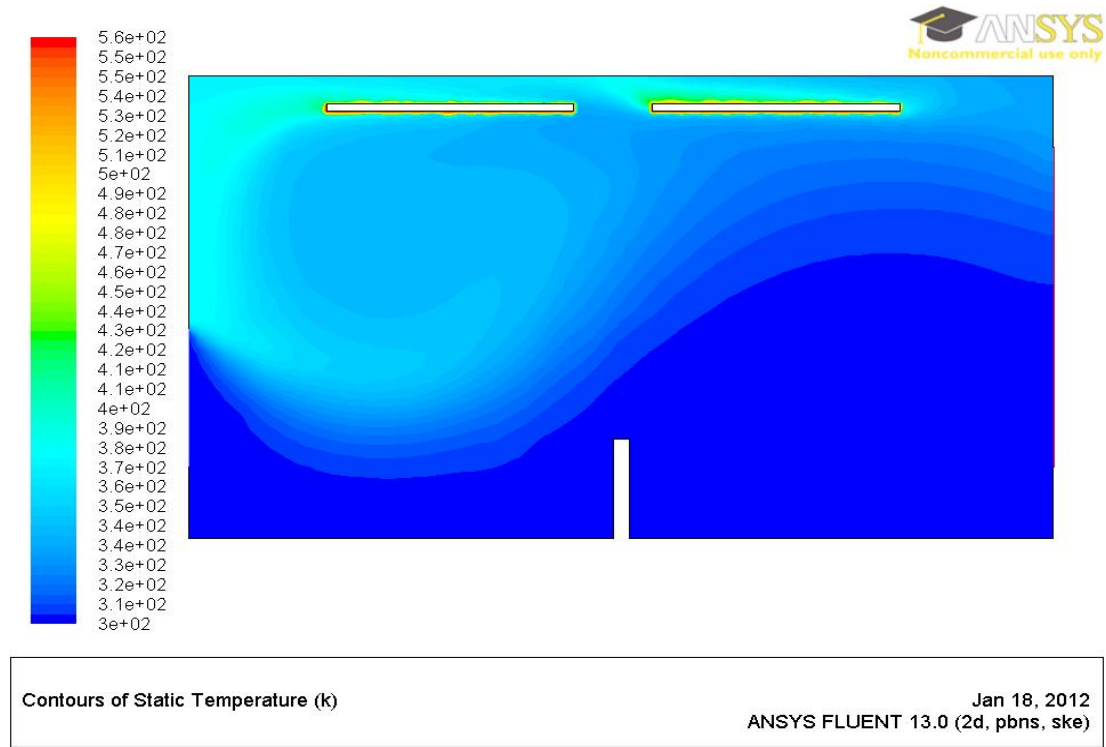
hızının vektörel olarak şekil 6.4’de gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri, çıkışındaki değerinin iki katı olarak gözükmektedir. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olması bu sonucu doğrulamaktadır. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava, hava girişinde bulunan menfezin etkisi ile kurutucu kabin içerisine yaklaşık 45 derecelik açı ile yönlendiriliyor. Kurutucu hava kurutucu kabin içerisinden zemine çarptıktan sonra ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgeye doğru hareket etmektedir. 450 X 450 mm hava çıkışında emiş fanının oluşturduğu vakum ile yükselen hava kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambalara ulaşmadan kurutucu kabini terketmektedir. Kurutucu kabin içerisinden bulunan 6 adet 500 W’lık Kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların etrafında sıcaklığın etkisi ile hava akımları oluşmaktadır. Hava akışı boyunca karşısına çıkan loadcell ve şasesinin etkisi ile kurutucu kabin içerisinden hava akışında türbülans oluşmaktadır. Hava akış hızlarında ve yönlerinde değişimler gözlenmiştir. Kurutucu kabin içerisine denemeler sonucu konulan menfez ve açısının hız akış analizi sonucu doğru olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 6.5. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s ’de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.



Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava hızının daha asgari olduğu görülmektedir. Kabin içindeki hava akış hızının dağılımı şekil 6.5'de gösterilmiştir. Kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Kurutucu kabin köşelerindeki bölgelerde hava akışı yoktur. Kabin girişi hava akış hızı 1.0 m/s olarak deneysel düzenekte ayarlanmıştır. Analiz sonucu da aynı hava akış hızı değeri elde edilmiştir. Kurutucu kabin içerisindeki hava akışının hız değerleri kabin girişinden kabin çıkışına doğru azalmaktadır. Fakat bir tane istisnai bir durum vardır, bu azalmayı bozan. O da loadcell ve şasesinin olduğu bölgede hava akış hızı tekrar yaklaşık 1.0 m/s hızı yakalamaktadır.



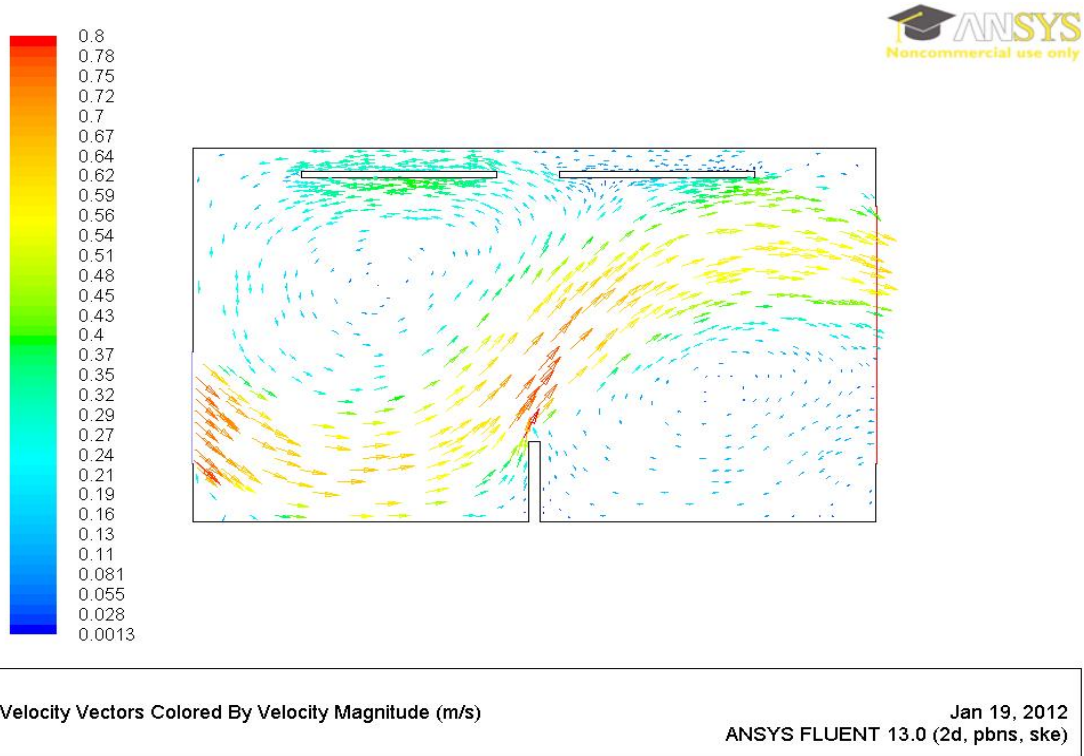
Şekil 6.6. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 1.0 m/s 'de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kurutucu havanın girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın yüksek olduğu ve kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambalarının olduğu bölgedeki sıcaklığın azami



olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Buna neden olan bu bölgelerde hava akış hızının az olmasından dolayı sıcaklığın bu bölgede yayılmasını ve yoğunlaşmasını sağlamıştır. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 290 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır. Analiz sonucu da aynı değerlere ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil 6.6'de gösterilmiştir. 450 mm X 450 mm çıkış kesitinde hava emiş fanının oluşturduğu vakumdan dolayı kurutucu kabin çıkışındaki bölümde mevcut sıcaklık dışarı atılmaktadır. Bu analiz sonucu loadcell'in konduğu yerin doğruluğu üzerinde karar verilmiştir.

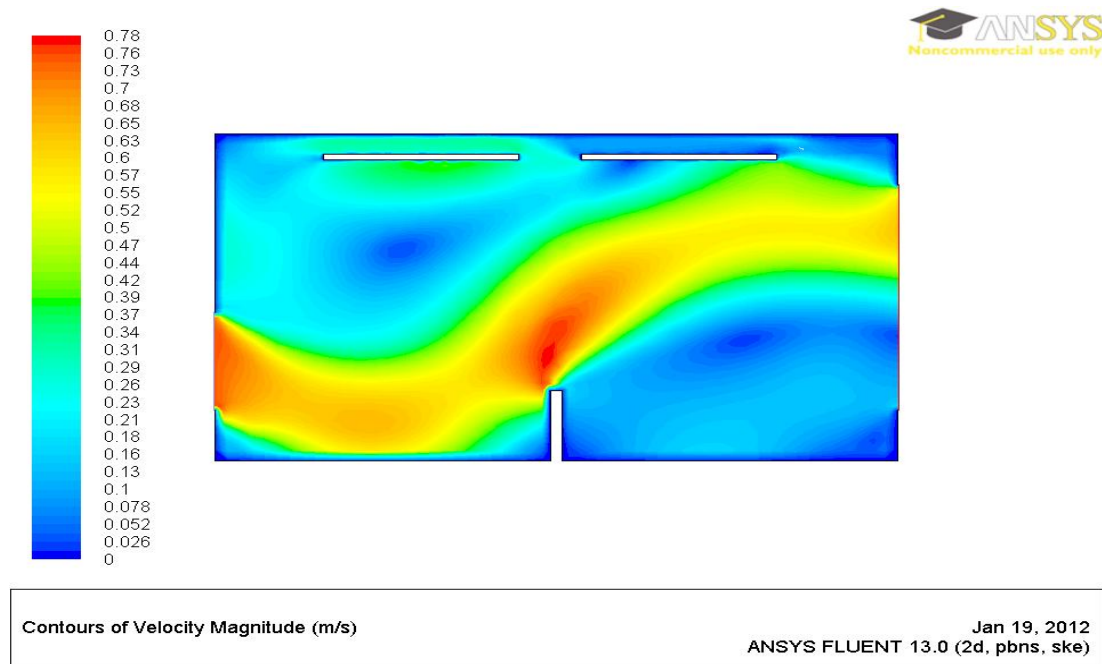
### 6.3. 40 °C Kurutma Sıcaklığında Ve 0.75 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı 13.0 Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi



Şekil 6.7. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

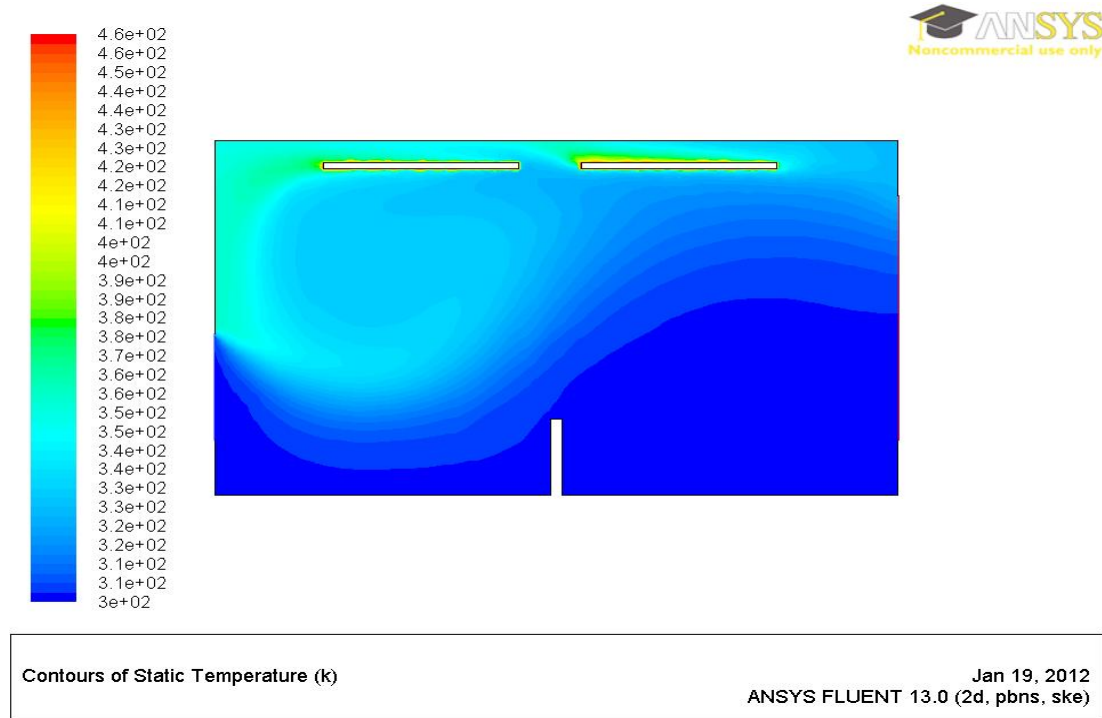
Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bu kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış

hızının vektörel olarak şekil 6.7’de gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri, çıkışındaki değerinin iki katı olarak gözükmektedir. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olması bu sonucu doğrulamaktadır. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava, hava girişinde bulunan menfezin etkisi ile kurutucu kabin içerisine yaklaşık 45 derecelik açı ile yönlendiriliyor. Kurutucu hava kurutucu kabin içerisinden zemine çarptıktan sonra ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı ve yön hareketleri kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgeye doğru hareket etmektedir. 450 X 450 mm hava çıkışında emiş fanının oluşturduğu vakum ile yükselen hava kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambalara ulaşmadan kurutucu kabini terketmektedir. Kurutucu kabin içerisinden bulunan 6 adet 500 W’lık kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların etrafında sıcaklığın etkisi ile hava akımları oluşmaktadır. Hava akışı boyunca karşısına çıkan loadcell ve şasesinin etkisi ile kurutucu kabin içerisinden hava akışında türbülans oluşmaktadır. Hava akış hızlarında ve yönlerinde değişimler gözlenmiştir. Kurutucu kabin içerisine denemeler sonucu konulan menfez ve açısının hız akış analizi sonucu doğru olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 6.8. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s’de kurutucu kabin içerisinden hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava hızının daha asgari olduğu görülmektedir. Kabin içindeki hava akış hızının dağılımı şekil 6.8'de gösterilmiştir. Kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Kurutucu kabin köşelerindeki bölgelerde hava akışı yoktur. Kabin girişi hava akış hızı 0.75 m/s olarak deneysel düzenekte ayarlanmıştır. Analiz sonucu da aynı hava akış hızı değeri elde edilmiştir. Kurutucu kabin içerisindeki hava akışının hız değerleri kabin girişinden kabin çıkışına doğru azalmaktadır. Fakat bir tane istisnai bir durum vardır, bu azalmayı bozan. O da loadcell ve şasesinin olduğu bölgede hava akış hızı tekrar yaklaşık 0.75 m/s hızı yakalamaktadır.

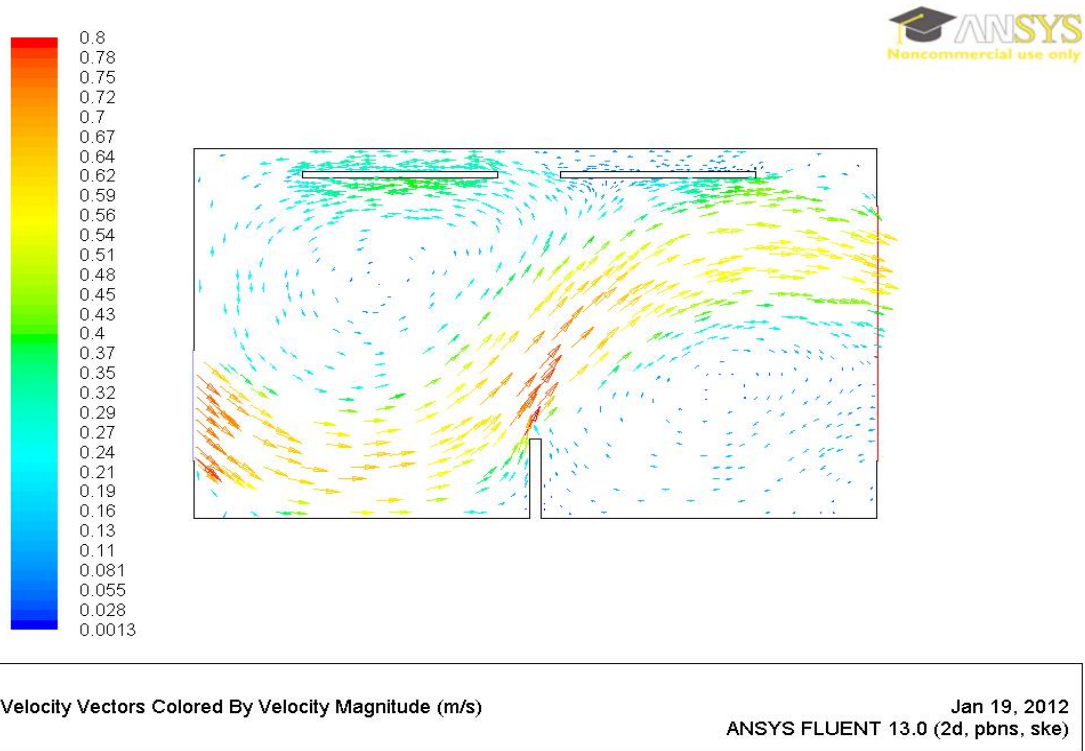


Şekil 6.9. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kurutucu havanın girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın yüksek olduğu ve Kızılötesi ışınlı lambalarının olduğu bölgedeki sıcaklığın azami olduğu

analiz sonucu tespit edilmiştir. Buna neden olan bu bölgelerde hava akış hızının az olmasından dolayı sıcaklığın bu bölgede yayılmasını ve yoğunlaşmasını sağlamıştır. Deneysel tüzenektede infrared ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 188 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır. Analiz sonucu da aynı değerlere ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil 6.9'de gösterilmiştir. 450 mm X 450 mm çıkış kesitinde hava emiş fanının oluşturduğu vakumdan dolayı kurutucu kabin çıkışındaki bölümde mevcut sıcaklık dışarı atılmaktadır. Bu analiz sonucu loadcell'in konduğu yerin doğruluğu üzerinde karar verilmiştir.

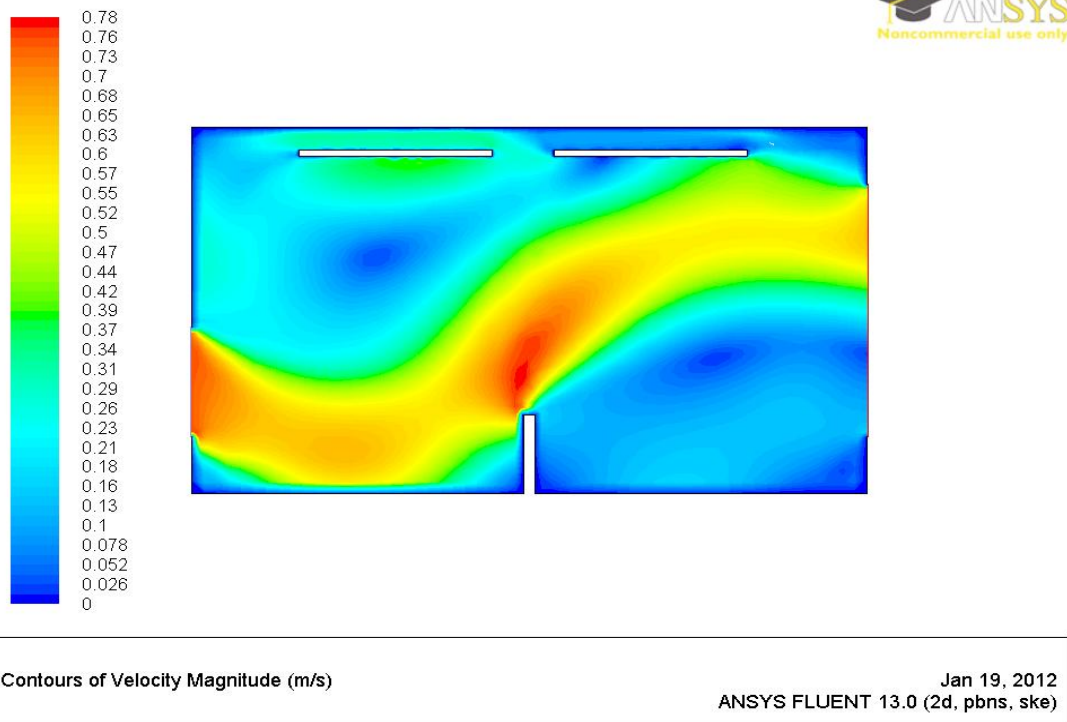
#### 6.4. 50°C Kurutma Sıcaklığında Ve 0.75 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi



Şekil 6.10. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

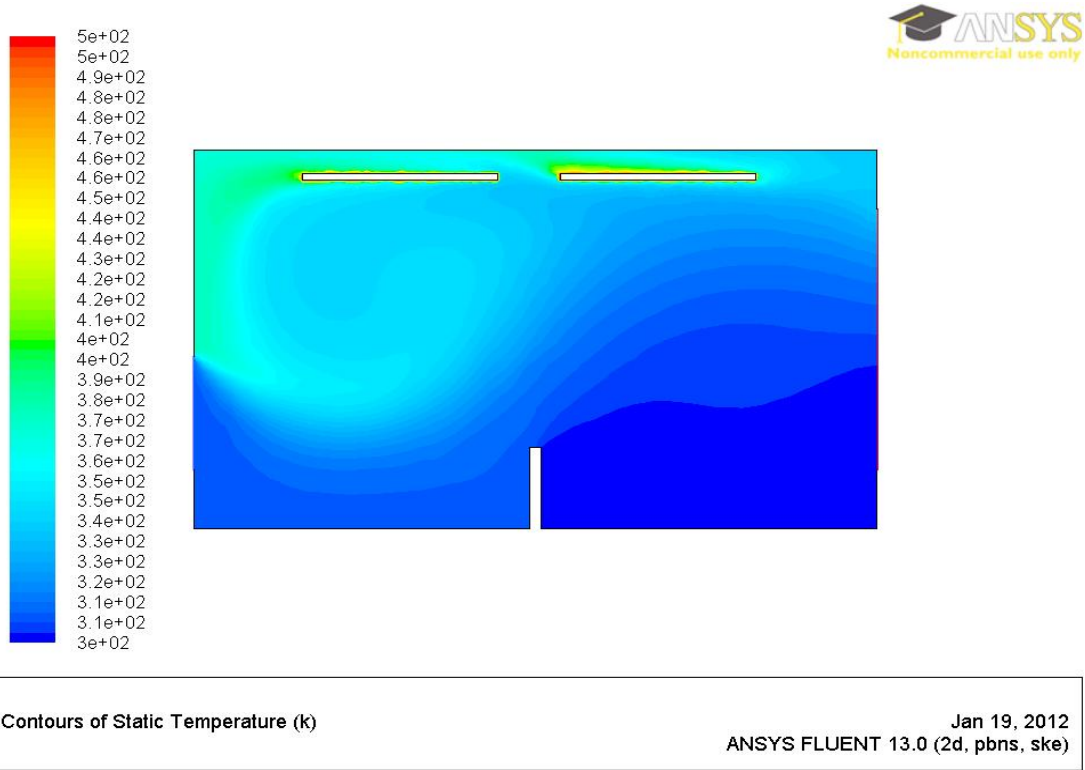
Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bu kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 6.10'da gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu

kabin girişindeki değeri, çıkışındaki değerinin iki katı olarak gözükmektedir. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olması bu sonucu doğrulamaktadır. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava, hava girişinde bulunan menfezin etkisi ile kurutucu kabin içerisine yaklaşık 45 derecelik açı ile yönlendiriliyor. Kurutucu hava kurutucu kabin içerisinde zemine çarptıktan sonra ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgeye doğru hareket etmektedir. 450 X 450 mm hava çıkışında emiş fanının oluşturduğu vakum ile yükselen hava kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambalara ulaşmadan kurutucu kabini terketmektedir. Kurutucu kabin içerisinde bulunan 6 adet 500 W'lık kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların etrafında sıcaklığın etkisi ile hava akımları oluşmaktadır. Hava akışı boyunca karşısına çıkan loadcell ve şasesinin etkisi ile kurutucu kabin içerisinde hava akışında türbülans oluşmaktadır. Hava akış hızlarında ve yönlerinde değişimler gözlenmiştir. Kurutucu kabin içerisine denemeler sonucu konulan menfez ve açısının hız akış analizi sonucu doğru olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 6.11. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava hızının daha asgari olduğu görülmektedir. Kabin içindeki hava akış hızının dağılımı şekil 6.11’de gösterilmiştir. Kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarda olmasından kaynaklanmaktadır. Kurutucu kabin köşelerindeki bölgelerde hava akışı yoktur. Kabin girişi hava akış hızı 0.75 m/s olarak deneysel düzenekte ayarlanmıştır. Analiz sonucu da aynı hava akış hızı değeri elde edilmiştir. Kurutucu kabin içerisindeki hava akışının hız değerleri kabin girişinden kabin çıkışına doğru azalmaktadır. Fakat bir tane istisnai bir durum vardır, bu azalmayı bozan. O da loadcell ve şasesinin olduğu bölgede hava akış hızı tekrar yaklaşık 0.75 m/s hızı yakalamaktadır.



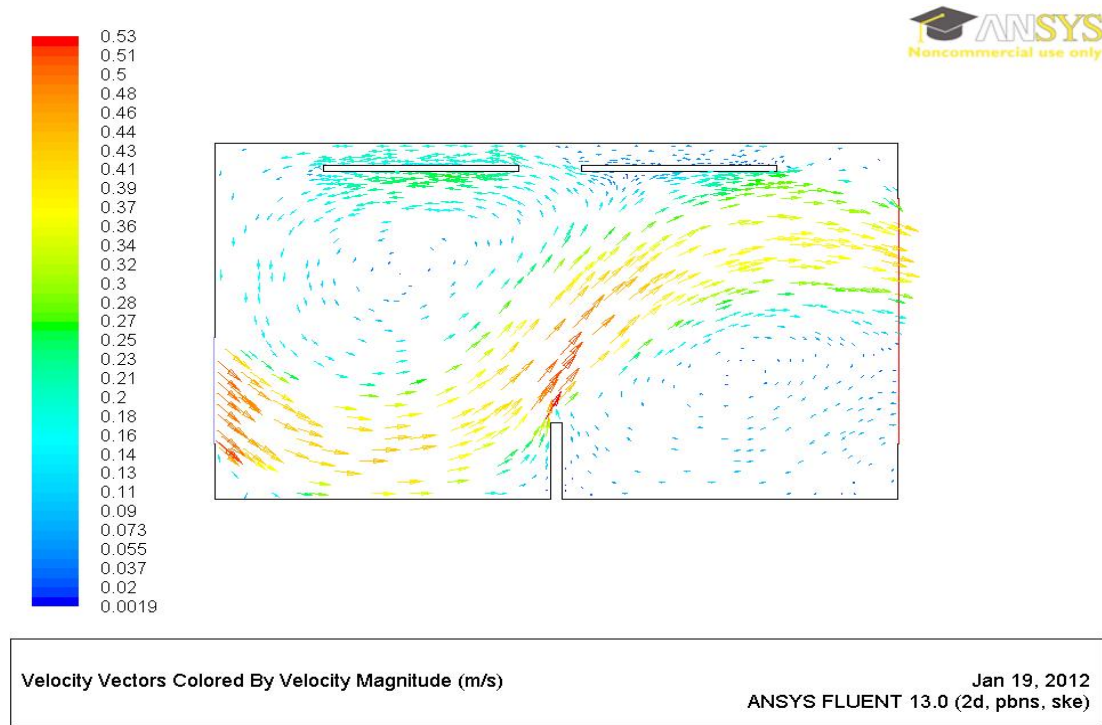
Şekil 6.12. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.75 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kurutucu havanın girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın yüksek olduğu ve kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambalarının olduğu bölgedeki sıcaklığın azami



olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Buna neden olan bu bölgelerde hava akış hızının az olmasından dolayı sıcaklığın bu bölgede yayılmasını ve yoğunlaşmasını sağlamıştır. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 231 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır. Analiz sonucu da aynı değerlere ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil 6.12'de gösterilmiştir. 450 mm X 450 mm çıkış kesitinde hava emiş fanının oluşturduğu vakumdan dolayı kurutucu kabin çıkışındaki bölümde mevcut sıcaklık dışarı atılmaktadır. Bu analiz sonucu load cell'in konduğu yerin doğruluğu üzerinde karar verilmiştir.

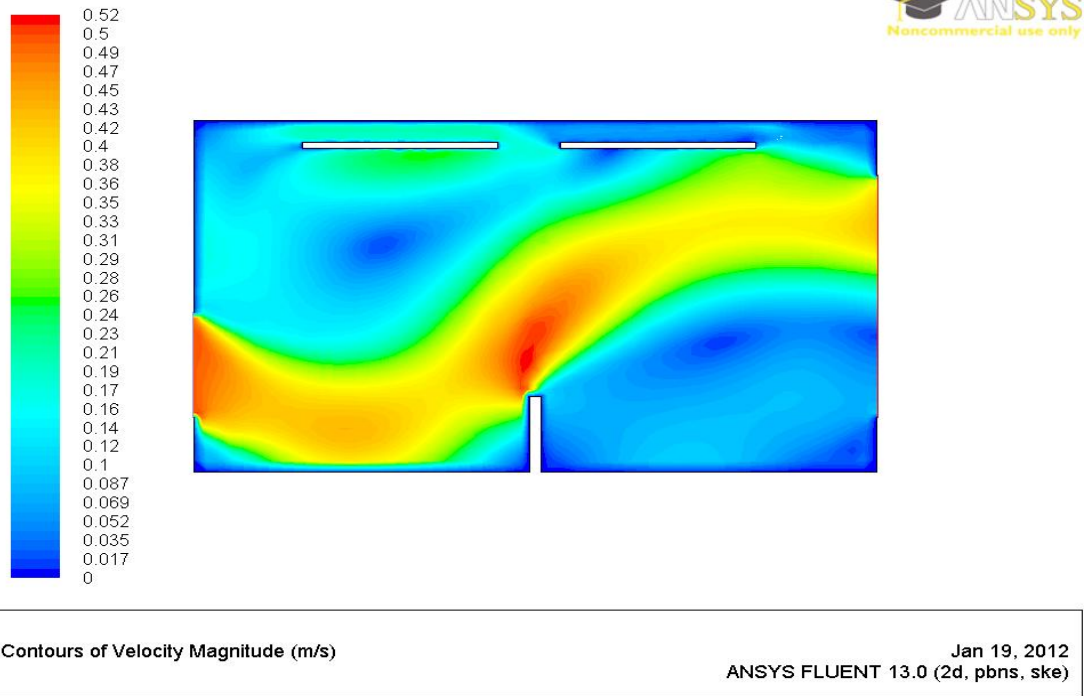
### 6.5. 50°C Kurutma Sıcaklığında Ve 0.5 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınımlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi



Şekil 6.13. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve hava akış hızı 0.5 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bu kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış hızının vektörel olarak şekil 6.13'de gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri, çıkışındaki değerinin iki katı olarak gözükmektedir.

Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olması bu sonucu doğrulamaktadır. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava, hava girişinde bulunan menfezin etkisi ile kurutucu kabin içerisine yaklaşık 45 derecelik açı ile yönlendiriliyor. Kurutucu hava, kurutucu kabin içerisnde zemine çarptıktan sonra ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınımlı ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgeye doğru hareket etmektedir. 450 X 450 mm hava çıkışında emiş fanının oluşturduğu vakum ile yükselen hava kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambalara ulaşmadan kurutucu kabini terketmektedir. Kurutucu kabin içerisnde bulunan 6 adet 500 W'lık Kızılötesi ışınımlı çubuk lambaların etrafında sıcaklığın etkisi ile hava akımları oluşmaktadır. Hava akışı boyunca karşısına çıkan loadcell ve şasesinin etkisi ile kurutucu kabin içerisnde hava akışında türbülans oluşmaktadır. Hava akış hızlarında ve yönlerinde değişimler gözlenmiştir. Kurutucu kabin içerisine denemeler sonucu konulan menfez ve açısının hız akış analizi sonucu doğru olduğuna karar verilmiştir.

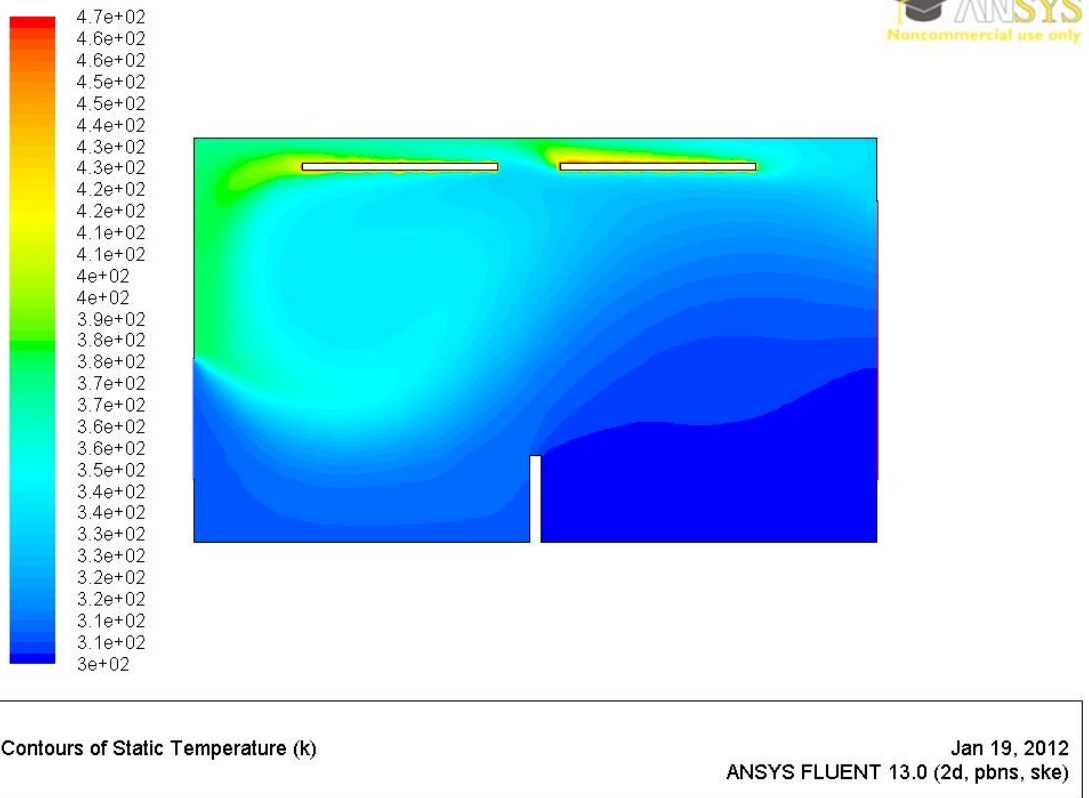


Şekil 6.14. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0.5 m/s'de kurutucu kabin içerisndeki hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınımlı ısıtıcı kullanan bir kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava



hızının daha asgari olduğu görünmektedir. Kabin içindeki hava akış hızının dağılımı şekil 6.14'de gösterilmiştir. Kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarıda olmasından kaynaklanmaktadır. Kurutucu kabin köşelerindeki bölgelerde hava akışı yoktur. Kabin girişi hava akış hızı 0.5 m/s olarak deneysel düzende ayarlanmıştır. Analiz sonucu da aynı hava akış hızı değeri elde edilmiştir. Kurutucu kabin içerisindeki hava akışının hız değerleri kabin girişinden kabin çıkışına doğru azalmaktadır. Fakat bir tane istisnai bir durum vardır, bu azalmayı bozan. O da loadcell ve şasesinin olduğu bölgede hava akış hızı tekrar yaklaşık 0,5 m/s hızı yakalamaktadır.

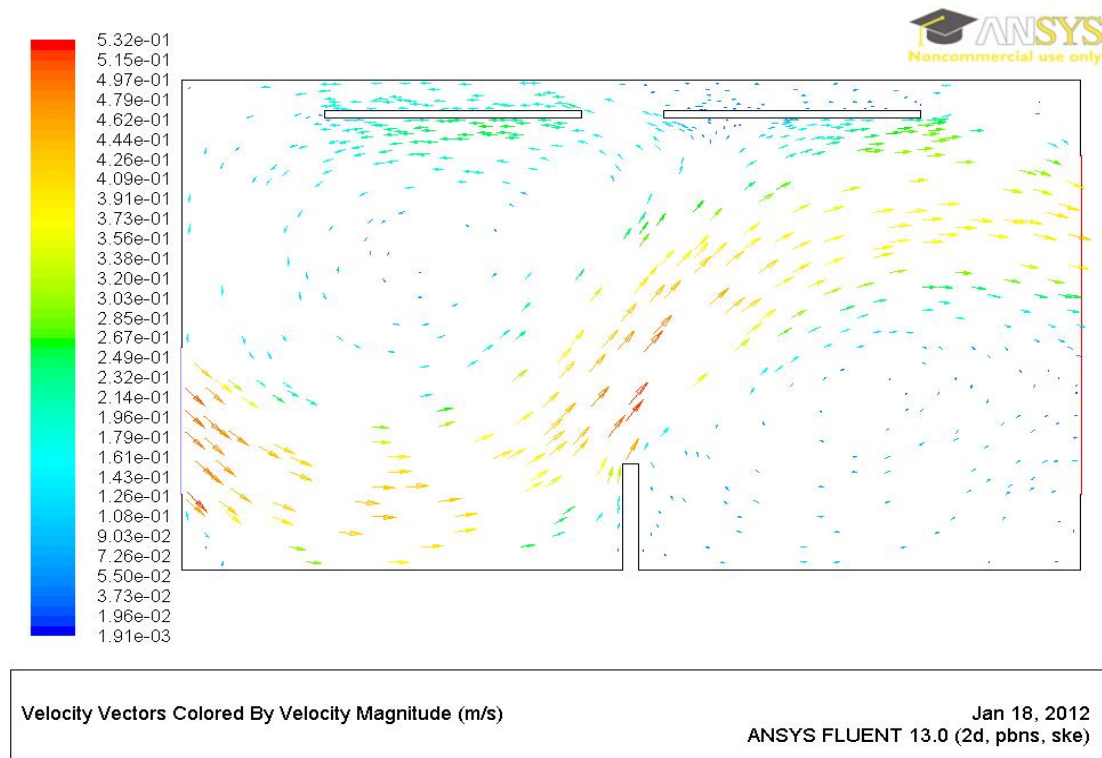


Şekil 6.15. Kurutma sıcaklığı 50 °C ve Hava akış hızı 0,5 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kurutucu havanın girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın yüksek olduğu ve kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambalarının olduğu bölgedeki sıcaklığın azami

olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Buna neden olan bu bölgelerde hava akış hızının az olmasından dolayı sıcaklığın bu bölgede yayılmasını ve yoğunlaşmasını sağlamıştır. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 195 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır. Analiz sonucu da aynı değerlere ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil 6.15’de gösterilmiştir. 450 mm X 450 mm çıkış kesitinde hava emiş fanının oluşturduğu vakumdan dolayı kurutucu kabin çıkışındaki bölümde mevcut sıcaklık dışarı atılmaktadır. Bu analiz sonucu loadcell’in konduğu yerin doğruluğu üzerinde karar verilmiştir.

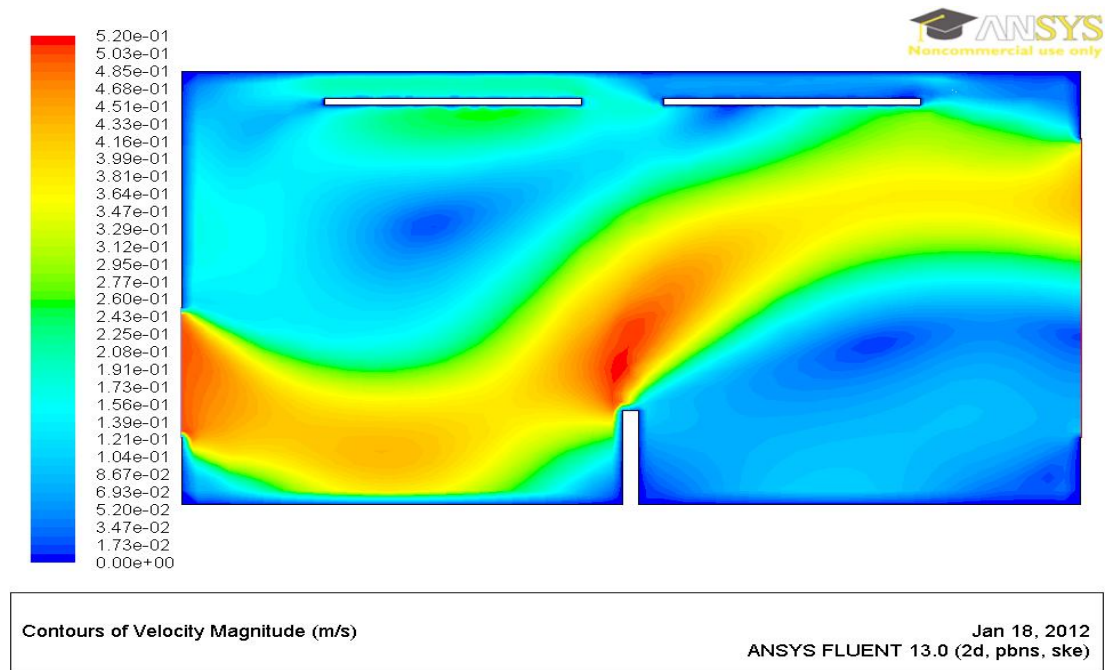
#### 6.6. 40 °C Kurutma Sıcaklığında Ve 0,5 m/s Kurutma Hava Akış Hızında Kızılötesi Işınlı Isıtıcı Kullanan Kurutucuda Ansys Fluent Programı Kullanılarak Isı Ve Akış Analizi



Şekil 6.16. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0,5 m/s 'de kurutucu kabin içerisinde vektörel olarak hız dağılımının gösterimi.

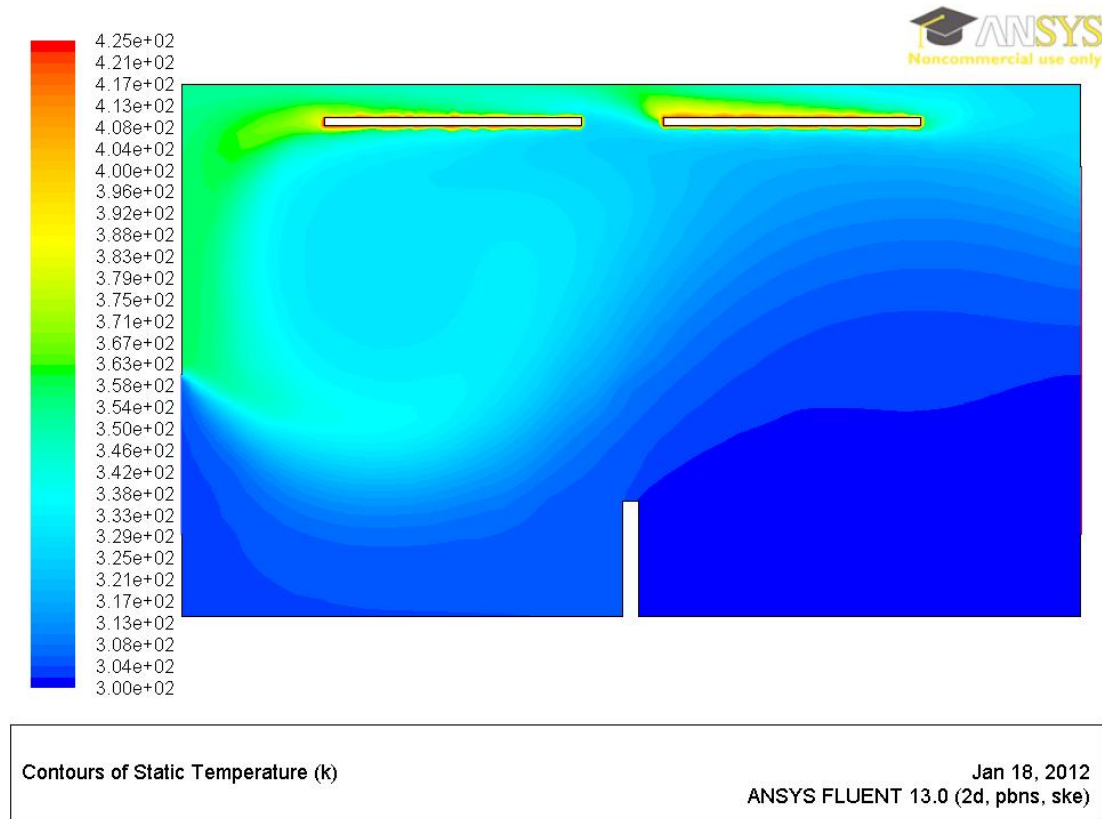
Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bu kurutucuda, hava kurutucu kabine 195X390 mm kesitten giriyor ve 450X450 mm olan çıkış kesitinden çıkıyor. Bu esnadaki hava akış

hızının vektörel olarak şekil 6.16'da gösterilmiştir. Kurutma hava hızının kurutucu kabin girişindeki değeri, çıkışındaki değerinin iki katı olarak gözükmektedir. Kurutucu kabin girişinin kesiti, çıkış kesitinin yarısı olması bu sonucu doğrulamaktadır. Kurutucu kabin içerisine giren soğuk hava, hava girişinde bulunan menfezin etkisi ile kurutucu kabin içerisine yaklaşık 45 derecelik açı ile yönlendiriliyor. Kurutucu hava kurutucu kabin içerisinde zemine çarptıktan sonra ısınarak yükselmektedir. Isınan havanın hızı hareketleri kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların olduğu bölgeye doğru hareket etmektedir. 450 X 450 mm hava çıkışında emiş fanının oluşturduğu vakum ile yükselen hava kızılötesi ışınlı ısıtıcı lambalara ulaşmadan kurutucu kabini terketmektedir. Kurutucu kabin içerisinde bulunan 6 adet 500 W'lık kızılötesi ışınlı ısıtıcı çubuk lambaların etrafında sıcaklığın etkisi ile hava akımları oluşmaktadır. Hava akışı boyunca karşısına çıkan loadcell ve şasesinin etkisi ile kurutucu kabin içerisinde hava akışında türbülans oluşmaktadır. Hava akış hızlarında ve yönlerinde değişimler gözlenmiştir. Kurutucu kabin içerisine denemeler sonucu konulan menfez ve açısının hız akış analizi sonucu doğru olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 6.17. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0,5 m/s'de kurutucu kabin içerisindeki hava hızının dağılımı.

Kızılötesi ışınlı ısıtıcı kullanan bu kurutucuda, hava hızının kabine 195X390 mm kesitten girdiğinde hızının azami olduğu ve 450X450 mm olan çıkış kesitinde hava hızının daha asgari olduğu görülmektedir. Kabin içindeki hava akış hızının dağılımı şekil 6.17’de gösterilmiştir. Kabin içerisinde havanın hareket etmediği ölü noktalar vardır. Bu alanlar hava giriş ve çıkış kesitlerinin kabin içi zemininden yukarıda olmasından kaynaklanmaktadır. Kurutucu kabin köşelerindeki bölgelerde hava akışı yoktur. Kabin girişi hava akış hızı 0.5 m/s olarak deneysel düzenekte ayarlanmıştır. Analiz sonucu da aynı hava akış hızı değeri elde edilmiştir. Kurutucu kabin içerisindeki hava akışının hız değerleri kabin girişinden kabin çıkışına doğru azalmaktadır. Fakat bir tane istisnai bir durum vardır, bu azalmayı bozan. O da loadcell ve şasesinin olduğu bölgede hava akış hızı tekrar yaklaşık 0,5 m/s hızı yakalamaktadır.



Şekil 6.18. Kurutma sıcaklığı 40 °C ve Hava akış hızı 0,5 m/s' de hızdaki kurutucu kabin içerisindeki sıcaklık dağılımı.

Kurutucu havanın girişindeki 195X390 mm kesitin üzerinde sıcaklığın yüksek olduğu ve kızılötesi ışınımlı ısıtıcı lambalarının olduğu bölgedeki sıcaklığın azami olduğu analiz sonucu tespit edilmiştir. Buna neden olan bu bölgelerde hava akış hızının az olmasından dolayı sıcaklığın bu bölgede yayılmasını ve yoğunlaşmasını sağlamıştır. Deneysel tüzenekte kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı lambaların sıcaklıklarının ortalaması 152 °C olarak tespit edilip, kayıt altına alınmıştır. Analiz sonucu da aynı değerlere ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil 6.18’de gösterilmiştir. 450 mm X 450 mm çıkış kesitinde hava emiş fanının oluşturduğu vakumdan dolayı kurutucu kabin çıkışındaki bölümde mevcut sıcaklık dışarı atılmaktadır. Bundan dolayı kurutucu kabin hava çıkışındaki bölümdeki sıcaklık değerleri, hava girişindeki bölüme göre daha azdır. Bu analiz sonucu loadcell’in konduğu yerin doğruluğu üzerinde karar verilmiştir.

### **6.7. Sonuç Ve Öneriler**

Kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan bu kurutucuda 2 boyutlu ısı ve akış analizi yapılmıştır. Analiz sonucu kurutucu kabin içerisine hava giriş kısmına menfez konularak, hava akış yönü 45 derecelik bir yön verilerek önce kabin zeminine yönlendirilmiştir. Daha sonra kurutucu kabinin zemine doğru hareket eden hava akışı ısınarak yükselmiş ve kızılötesi ışınımlı ısıtıcı çubuk lambalarına kadar ulaşmıştır. Kurutucu kabin hava çıkış kesitine kadar ulaşan hava akışı, emiş fanının oluşturduğu vakumun etkisiyle kabini terk eder. Bu hava akışı süresince daha önce 3 boyutlu ısı ve akış analizinde sıcaklığın ve hava akışının verimsiz olduğu tespit edilmiş, yapılan menfez ve diğer çalışmalar ile bu durum önlenmiştir.

Analiz sonucunda, kurutucu havanın kurutma kabine giriş kesiti başlangıçta 450mmX450mm olan ölçüleri, 195mmX390mm olarak değiştirilmiş ve alınan kararın doğruluğu 2 boyutlu ısı ve akış analizinin sonucunda görülmüştür. Deneysel tüzenekte termokulplarla ölçülen ürün yüzey sıcaklıkları, kabin hava giriş sıcaklıkları, kabin hava çıkış sıcaklıkları, kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı çubuk lambalarının termokulplarda okunan değerler ile ansys fluent programını kullanılarak yapılan 2 boyutlu ısı ve akış analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerlerinin birbirine

uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda hava kabin giriş hızı yapılan her analiz için elde edilen değer ile deneysel tuzenekte girilen değerin birbirine eşit olduğu tespit edilmiştir. Hava akış hızı resim 3.8 'de gosterilen hava hızı ölçüm cihazı ile ölçülen kabin girişi hız değeri ile kabin içine dağılan hava hız değerleri, analiz sonucu ile elde edilen değerlerle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Analiz sonucu elde edilen kabin içi sıcaklık dağılımı ve hava akış hız dağılımı, kızılötesi ışınımlı (infrared) ısıtıcı kullanan bu kurutucunun imalatının ve ekipmanlarının yerleştirilmesinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sistem, yapılan analizlerle bayat ekmek kurutulması için bir model olarak geliştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Kocabıyık, H., Demirtürk, B., S., “Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 5(3) (2008).
2. Toğrul, H., Toğrul, İ., İspir, A., “Mantarların İnce Tabaka Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi”, *III.Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı*, Antalya, (2005).
3. Toğrul, H., Toğrul, İ., İspir, A., “İnfrared Kurutucuda Muzun Kuruma Kinetiğinin incelenmesi”, *III.Tarımsal Ürünleri Kurutma Çalıştayı*, Antalya, (2005).
4. Ceylan, İlhan, Aktas, Mustafa, Doğan, Hikmet Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump Mechanical Education Department, Technical Education Faculty, *Gazi University, Teknikokullar*, 06503 Ankara, Turkey Received 14 March 2006; accepted 21 April 2006 Available online 14 June 2006
5. Aktaş, Mustafa, Ceylan, İlhan b, Yılmaz, Sezayi Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer b a *Mechanical Education Department, Technical Education Faculty, Gazi University, Teknikokullar, 06503 Ankara, Turkey b Mechanical Education Department, Technical Education Faculty, Karabük University, Received 12 July 2007; Accepted 5 March 2008*
6. Hebbar, H., Vishwanathan, K.H., Ramesh, M.N., “Development of Combined İnfrared And Hot Air Dryer For Vegetables”, *Journal of Food Engineering*,65,557-563 (2004).
7. Nowak, D., Lewicki, P.P., “ İnfrared Drying of Apple Slices”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 353-360 (2004).
8. Sacilik, K., Elicin, A.K., “ The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices”, *Journal of Food Engineering*, 73(3) 281-289 (2006).
9. Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathare, P.B., “Thin Layer İnfrared Radiation of Onion Slices ”, *Journal of Food Engineering*, 67:361-366 (2005).
10. Internet, <http://www.food.hacettepe.edu.tr>

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞAHİN, Murat  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 17.05.1982, Kırşehir  
 Medeni hali : Bekâr  
 Telefon : 0 505 757 98 17  
 Belgegeçer : 0 505 757 98 17  
 Elektronik posta : [muratsahin4006@gmail.com](mailto:muratsahin4006@gmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	2005
Lise	Hasanoğlan Atatürk Anadolu Öğretmen Lisesi	2000

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2004	Makine Kimya Enstitüsü	Stajyer Öğrenci
2005-2006	Sente Asansör Lmd.Şti.	Makine Mühendisi
2006-2010	Lafarge Dalsan Alçı A.Ş	Makine Mühendisi
2010-2011	Baştaş Hazır Beton A.Ş	Makine Mühendisi