

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SABİT ISI AKISI ETKİSİNDE BİR PLAKANIN DOĞAL TAŞINIM ISI TRANSFERİ
İLE SOĞUTULMASININ CFD ANALİZİ**

BURAK BAŞARAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI-PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SABİHA YILDIZ**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SABİT ISI AKISI ETKİSİNDE BİR PLAKANIN DOĞAL TAŞINIM ISI TRANSFERİ
İLE SOĞUTULMASININ CFD ANALİZİ**

Burak BAŞARAN tarafından hazırlanan tez çalışması 20.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Sabiha YILDIZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sabiha YILDIZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nurten VARDAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ebru MANÇUHAN
Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, sabit ısı akısının etki ettiği dikey bir plakada yüzey sıcaklıkları ve yüzeye yakın yerdeki hava hızları, CFD analizi sonucu incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ampirik bir ifadeden hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmam süresince, kıymetli bilgi ve görüşlerini esirgemeyen, tez danışmanım Doç. Dr. Sabiha YILDIZ'a teşekkür ederim. Tüm yaşamımda olduğu gibi, her daim yanımda olan ve desteğini mütemadiyen hissettiğim aileme saygı ve sevgilerimi sunarım.

Mart,2016

Burak BAŞARAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	3
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Orijinal Katkı	10
BÖLÜM 2	
PROBLEMİN OLUŞTURULMASI	11
2.1 Problem Tanımı	11
2.2 Sınır Şartları	12
2.3 Çözüm Yöntemi	12
BÖLÜM 3	
PLAKA YÜZEY SICAKLIĞININ AMPİRİK BAĞINTIYLA BELİRLENMESİ	14
3.1 İterasyona Ait Adımlar	14
BÖLÜM 4	
FLUENT ANALİZİ	18
4.1 Hesaplama Bölgesi	18
4.2 Ağ Yapısını Oluşturma	19
4.3 Sınır Şartlarının Programda Oluşturulması	27
4.4 Fluent Basamakları	29

BÖLÜM 5

SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	43
5.1 CFD Analizi Sonuçları ve İrdeleme.....	43
5.1.1 Hava Hızları	43
5.1.2 Havanın ve Yüzeyin Sıcaklığı	60
5.2 CFD Analizi ve Ampirik Bağntı Sonuçlarının Karşılaştırılması	77
5.3 Öneriler	85
EK-A	
DENEYSEL BAĞINTIDAN HESAPLANAN YÜZEY SICAKLIKLARI.....	87
A-1 400 W/m ² Sabit Isı Akısı Etkiyen Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıklarının Elde Edilmesi	88
A-2 600 W/m ² Sabit Isı Akısı Etkiyen Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıklarının Elde Edilmesi	105
A-3 800 W/m ² Sabit Isı Akısı Etkiyen Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıklarının Elde Edilmesi	121
A-4 1000 W/m ² Sabit Isı Akısı Etkiyen Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıklarının Elde.....Edilmesi.....	140
ÖZGEÇMİŞ.....	160

SİMGE LİSTESİ

A	Alan
c_p	Sabit basınçta özgül ısı
g	Yerçekimi ivmesi
Gr	Grashof sayısı
Gr_x	Yerel Grashof sayısı
Gr_x^*	Değiştirilmiş yerel Grashof sayısı
h	Isı taşınım katsayısı
h_x	Yerel ısı taşınım katsayısı
k	Isı iletim katsayısı
k_f	Film sıcaklığındaki akışkanın ısı iletim katsayısı
L	Uzunluk, karakteristik uzunluk
Nu	Nusselt sayısı
Nu_x	Yerel Nusselt sayısı
p	Basınç
Pr	Prandtl sayısı
$\dot{q}$	Isı akısı
Ra	Rayleigh sayısı
Ra_x	Yerel Rayleigh sayısı
Ra_x^*	Değiştirilmiş yerel Rayleigh sayısı
T	Sıcaklık
T_f	Film sıcaklığı
T_s	Yüzey sıcaklığı
T_w	Plaka yüzey sıcaklığı
T_∞	Akışkanın sınır tabaka dışındaki sıcaklığı
u	Ortalama hız bileşeni
x	Kartezyen koordinatlar, karakteristik uzunluk
y	Kartezyen koordinatlar
α	Isı yayılma katsayısı
β	Hacimsel genleşme katsayısı
ε	Yayıcılık oranı
θ	Plakanın dikey ile olan açısı
λ	Isı iletim katsayısı
μ	Dinamik viskozite

ν	Kinematik viskozite
ρ	Yoğunluk
ρ_∞	Havanın yoğunluğu

KISALTMA LİSTESİ

CFD	Computational Fluid Dynamics
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
PIV	Particle Image Velocimetry
SIMPLE	Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Isıtılan bir dikey plaka üzerinde sınır tabaka gelişimi 1
Şekil 1.2	Laminer akışta doğal taşınım için yerel ısı transferi verileri [4] 5
Şekil 1.3	Kararlı ve kararsız durumdaki plakalarda geçiş bölgesinin açısı ile değişimi [4] 6
Şekil 2.1	Sistemin şematik gösterimi 11
Şekil 4.1	Belirlenen hesaplama bölgesinin programdaki geometrisi 19
Şekil 4.2	Uzun kenarların 50 eşit parça olarak programda boyutlandırılması 20
Şekil 4.3	Kısa kenarların 50 parçaya bölünerek Bias faktörü ile programda boyutlandırılması 21
Şekil 4.4	Eşleştirilmiş ağ yapısının oluşturulduğu bölge 21
Şekil 4.5	2500 elemanlı (50x50) ağ yapısının programda oluşturulması 22
Şekil 4.6	Uzun kenarların 100 eşit parça olarak programda boyutlandırılması 22
Şekil 4.7	Kısa kenarların 100 parçaya bölünerek Bias faktörü ile programda boyutlandırılması 22
Şekil 4.8	10000 elemanlı (100x100) ağ yapısının programda oluşturulması 23
Şekil 4.9	Uzun kenarların 200 eşit parça olarak programda boyutlandırılması 24
Şekil 4.10	Kısa kenarların 200 parçaya bölünerek Bias faktörü ile programda boyutlandırılması 24
Şekil 4.11	40000 elemanlı (200x200) ağ yapısının programda oluşturulması 25
Şekil 4.12	Uzun kenarların 300 eşit parça olarak programda boyutlandırılması 25
Şekil 4.13	Kısa kenarların 300 parçaya bölünerek Bias faktörü ile programda boyutlandırılması 26
Şekil 4.14	90000 elemanlı (300x300) ağ yapısının programda oluşturulması 26
Şekil 4.15	Basınç giriş şartının programa tanıtılması 27
Şekil 4.16	Basınç çıkış şartının programa tanıtılması 28
Şekil 4.17	Sabit ısı akısı şartının programa tanıtılması 28
Şekil 4.18	Simetri sınır şartının programa tanıtılması 29
Şekil 4.19	Hesaplanacak bölgenin analizinin yapılmadan kontrol edilmesi gerekli genel bölüm 30
Şekil 4.20	Akışa ait modellerin belirlendiği kısım 30
Şekil 4.21	400 W/m ² 'ye ait havanın özellikleri 31
Şekil 4.22	Sınır şartlarının programdaki görünümü 32
Şekil 4.23	Isı akısı sınır şartı değerinin programa girilmesi 32

Şekil 4.24	Atmosferik basınç giriş sınır şartı	33
Şekil 4.25	Atmosferik basınç çıkış sınır şartı	33
Şekil 4.26	Çözüm yöntemine ait detaylar	34
Şekil 4.27	Mutlak kriter değerlerinin değiştirilip sonucun hassaslaştırılması	34
Şekil 4.28	Programı ilk kullanıma (iterasyona) hazırlama	35
Şekil 4.29	İterasyon sayısının girilerek çözümün başlatılması	36
Şekil 4.30	400 W/m ² ısı akısında 50x50 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	37
Şekil 4.31	400 W/m ² ısı akısında 100x100 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	37
Şekil 4.32	400 W/m ² ısı akısında 200x200 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	37
Şekil 4.33	400 W/m ² ısı akısında 300x300 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	38
Şekil 4.34	600 W/m ² ısı akısında 50x50 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	38
Şekil 4.35	600 W/m ² ısı akısında 100x100 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	38
Şekil 4.36	600 W/m ² ısı akısında 200x200 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	39
Şekil 4.37	600 W/m ² ısı akısında 300x300 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	39
Şekil 4.38	800 W/m ² ısı akısında 50x50 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	39
Şekil 4.39	800 W/m ² ısı akısında 100x100 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	40
Şekil 4.40	800 W/m ² ısı akısında 200x200 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	40
Şekil 4.41	800 W/m ² ısı akısında 300x300 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	40
Şekil 4.42	1000 W/m ² ısı akısında 50x50 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	41
Şekil 4.43	1000 W/m ² ısı akısında 100x100 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	41
Şekil 4.44	1000 W/m ² ısı akısında 200x200 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	41
Şekil 4.45	1000 W/m ² ısı akısında 300x300 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci	42
Şekil 5.1	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 50x50 ağ yapılı havanın hareketi	43
Şekil 5.2	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 100x100 ağ yapılı havanın hareketi	44
Şekil 5.3	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 200x200 ağ yapılı havanın hareketi	45
Şekil 5.4	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 300x300 ağ yapılı havanın hareketi	45
Şekil 5.5	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 50x50 ağ yapılı havanın hareketi	46
Şekil 5.6	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 100x100 ağ yapılı havanın hareketi	46
Şekil 5.7	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 200x200 ağ yapılı havanın hareketi	47
Şekil 5.8	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 300x300 ağ yapılı havanın hareketi	47
Şekil 5.9	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 50x50 ağ yapılı havanın hareketi	48
Şekil 5.10	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 100x100 ağ yapılı havanın hareketi	48
Şekil 5.11	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 200x200 ağ yapılı havanın hareketi	49
Şekil 5.12	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 300x300 ağ yapılı havanın hareketi	49

Şekil 5.13	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 50x50 ağ yapılı havanın hareketi.....	50
Şekil 5.14	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 100x100 ağ yapılı havanın hareketi.....	50
Şekil 5.15	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 200x200 ağ yapılı havanın hareketi.....	51
Şekil 5.16	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 300x300 ağ yapılı havanın hareketi.....	51
Şekil 5.17	Isı akısına maruz kalan yüzeye yakın 10 doğru	52
Şekil 5.18	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip).....	52
Şekil 5.19	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip).....	53
Şekil 5.20	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip).....	53
Şekil 5.21	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip).....	54
Şekil 5.22	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip).....	54
Şekil 5.23	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip).....	55
Şekil 5.24	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip).....	55
Şekil 5.25	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip).....	56
Şekil 5.26	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip).....	56
Şekil 5.27	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip).....	57
Şekil 5.28	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip).....	57
Şekil 5.29	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip).....	58
Şekil 5.30	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)	58
Şekil 5.31	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)	59
Şekil 5.32	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)	59
Şekil 5.33	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)	60
Şekil 5.34	400 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (50x50 ağ yapısına sahip).....	61
Şekil 5.35	400 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (100x100 ağ yapısına sahip).....	61
Şekil 5.36	400 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (200x200 ağ yapısına sahip).....	62

Şekil 5.37	400 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (300x300 ağ yapısına sahip).....	62
Şekil 5.38	600 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (50x50 ağ yapısına sahip).....	63
Şekil 5.39	600 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (100x100 ağ yapısına sahip).....	63
Şekil 5.40	600 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (200x200 ağ yapısına sahip).....	64
Şekil 5.41	600 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (300x300 ağ yapısına sahip).....	64
Şekil 5.42	800 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (50x50 ağ yapısına sahip).....	65
Şekil 5.43	800 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (100x100 ağ yapısına sahip).....	65
Şekil 5.44	800 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (200x200 ağ yapısına sahip).....	66
Şekil 5.45	800 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (300x300 ağ yapısına sahip).....	66
Şekil 5.46	1000 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (50x50 ağ yapısına sahip).....	67
Şekil 5.47	1000 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (100x100 ağ yapısına sahip).....	67
Şekil 5.48	1000 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (200x200 ağ yapısına sahip).....	68
Şekil 5.49	1000 W/m ² ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (300x300 ağ yapısına sahip).....	68
Şekil 5.50	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)	69
Şekil 5.51	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)	70
Şekil 5.52	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)	70
Şekil 5.53	400 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)	71
Şekil 5.54	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)	71
Şekil 5.55	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)	72
Şekil 5.56	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)	72
Şekil 5.57	600 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)	73
Şekil 5.58	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)	73
Şekil 5.59	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)	74

Şekil 5.60	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)	74
Şekil 5.61	800 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)	75
Şekil 5.62	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)	75
Şekil 5.63	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)	76
Şekil 5.64	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)	76
Şekil 5.65	1000 W/m ² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)	77
Şekil 5.66	400 W/m ² sabit ısı akısına maruz kalan plakanın sonuçlarının karşılaştırılması	78
Şekil 5.67	400W/m ² sabit ısı akısı etkiyen dikey plakaya ait tüm sonuçlar.....	79
Şekil 5.68	600 W/m ² sabit ısı akısına maruz kalan plakanın sonuçlarının karşılaştırılması	80
Şekil 5.69	600W/m ² sabit ısı akısı etkiyen dikey plakaya ait tüm sonuçlar.....	80
Şekil 5.70	800 W/m ² sabit ısı akısına maruz kalan plakanın sonuçlarının karşılaştırılması	81
Şekil 5.71	800W/m ² sabit ısı akısı etkiyen dikey plakaya ait tüm sonuçlar.....	82
Şekil 5.72	1000 W/m ² sabit ısı akısına maruz kalan plakanın sonuçlarının karşılaştırılması	83
Şekil 5.73	1000W/m ² sabit ısı akısı etkiyen dikey plakaya ait tüm sonuçlar.....	84
Şekil 5.74	Yerel ısı taşınım katsayısının değişik ısı akılarında plaka üzerindeki değişimi	84

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Havanın 340 K'deki termofiziksel özellikleri	15
Çizelge 3.2 Havanın 331 K'deki termofiziksel özellikleri	16
Çizelge 3.3 Ampirik bağıntı ile bulunan değişik ısı akılarındaki yüzey sıcaklıkları	17
Çizelge 4.1 Ağ yapılarına ve ısı akısı değerlerine göre iterasyonun bittiği adımlar	36

SABİT ISI AKISI ETKİSİNDE BİR PLAKANIN DOĞAL TAŞINIM ISI TRANSFERİ İLE SOĞUTULMASININ CFD ANALİZİ

Burak BAŞARAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sabiha YILDIZ

Doğal taşınım ısı transferi, günlük hayatımızda karşılaştığımız ısı transferi mekanizmalarından biridir. Herhangi bir dış etki olmadan, akışkan içinde taşınım hareketlerinin, sadece sıcaklık gradyanından olduğu bir ısı transferi şeklindedir. Akışkanın bir gaz veya sıvı olup olmadığına bakılmaksızın, ısıtma işleminin bir sonucu olarak, ısı transferi yüzeyi yakınlarındaki akışkanın yoğunluğundaki azalma nedeniyle, akışkana uygulanan kaldırma kuvvetinden kaynaklanır. Sıcak radyatörlerden havaya gerçekleşen ısı transferinde olduğu gibi, elektronik cihazların soğuması ve fotovoltaik panellerin doğal ortamda soğuması gibi birçok alanda, doğal taşınım ısı transferi gerçekleşir.

Bu çalışmada, sabit ısı akısı etkisinde bir plakanın, doğal taşınım ısı transferinde hava ile soğutulmasının CFD analizi yapılmıştır. Bu analizle, plakaya etkiyen sabit ısı akısı 400, 600, 800 ve 1000 W/m² olarak alınmış ve hız ile sıcaklık gradyanları elde edilmiştir. CFD analizi ile elde edilen plaka yüzey sıcaklıkları, literatürde uygun bir ampirik ifadeden elde edilen yüzey sıcaklıkları ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Doğal taşınım, sabit ısı akısı, hava, dikey plaka, CFD analizi

**CFD ANALYSIS OF COOLING A PLATE WITH NATURAL CONVECTION HEAT
TRANSFER AT CONSTANT HEAT FLUX**

Burak BAŞARAN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Sabiha YILDIZ

Natural convection heat transfer is a heat transfer mechanism that we encounter in our daily lives. Without any outside influence, natural convection heat transfer is a form of temperature gradient effect only in fluid movement. Regardless of whether fluid is a gas or a liquid, as a result of heat flux, it is caused by a decrease in density of the fluid near the heat transfer surface. As in the effect heat transfer from hot radiator to air, in many areas like cooling of electronic devices, and cooling of photovoltaic panels in natural environment conditions, natural convection heat transfer occurs.

In this study, CFD analysis were performed about a plate that is affected by constant heat flux is cooled by natural convection heat transfer with air. The constant heat flux on the plate was taken as 400, 600, 800, 1000 W/m² and thanks to CFD analysis, velocity and temperature gradients were obtained. The plate's surface temperatures, that were gained by CFD analysis, and that were obtained from an appropriate empirical correlation in the literature, were compared and then results were found coherent.

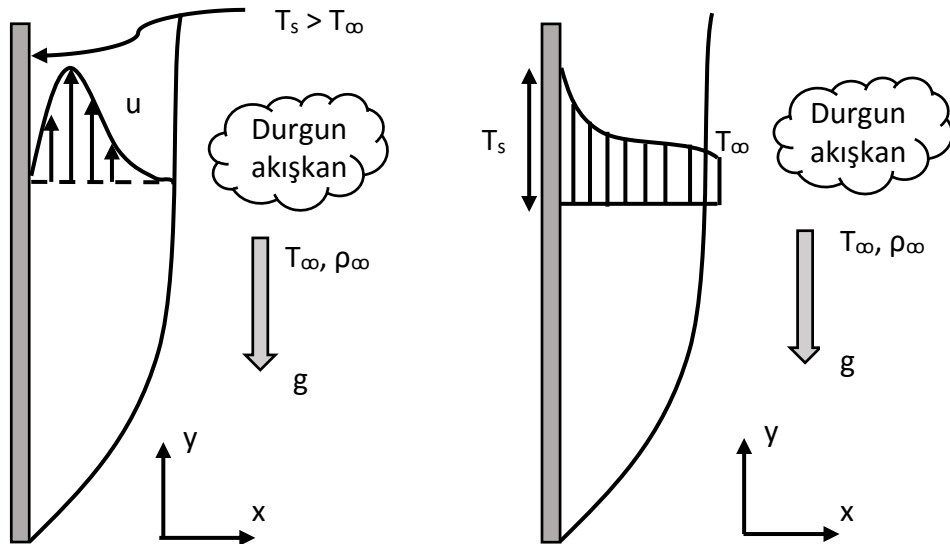
Keywords: Natural convection, constant heat flux, air, vertical plate, CFD analysis

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

GİRİŞ

Genel olarak, ısıtılan dikey bir plakada doğal taşınım ile akışkan hareketleri, akışkan içindeki sıcaklık gradyanlarından dolayı oluşan, yoğunluk gradyanları sonucu gerçekleşen kaldırma kuvvetleri sonucu oluşur [1]. Isıtılan dikey bir plaka üzerinde sıcaklık ve hız sınır tabaka gelişimi Şekil 1.1’de gösterilmektedir. Plakanın durgun bir akışkan içinde yer aldığı göz önüne alınmaktadır. Plakanın yüzey sıcaklığı, içinde bulunduğu akışkandan daha yüksektir. Böylelikle, plakaya yakın olan akışkanın yoğunluğu, plakadan uzak olan akışkan yoğunluğuna göre daha azdır. Bunun sonucu olarak, plaka üzerinde kaldırma kuvvetleri ile bir doğal taşınım sınır tabakası oluşur. Akışkan yukarı doğru hareket ederken, durgun bölgedeki akışkan, yukarı hareket eden akışkanın yerini alır.



Şekil 1.1 Isıtılan bir dikey plaka üzerinde sınır tabaka gelişimi

Kaldırma kuvvetleri tarafından oluşan bir laminar sınır tabaka akışı için sürekli, iki boyutlu bir akışın olduğu, özelliklerin sabit kaldığı ve yerçekimi kuvvetinin eksi y yönünde etkidiği

düşünülür. Boussinesq yaklaşımı olarak bilinen yoğunluk değişiminin, akışkan hareketini gerçekleştiren kaldırma kuvvetine etkisi dışında, akışkan sıkıştırılmaz kabul edilir. Y koordinatı plaka boyunca; x koordinatı plakaya dik yönde seçilmiştir. Öngörülen kabuller doğrultusunda süreklilik (1.1), x-momentum (1.2), y-momentum (1.3) ve enerji denklemleri (1.4) aşağıda gösterildiği gibidir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1.1)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (1.2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v - \rho g \quad (1.3)$$

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \nabla^2 T \quad (1.4)$$

Sınır tabaka içindeki herhangi bir noktada y-basınç gradyanı, sınır tabaka dışındaki durgun bölge içindeki basınç gradyanına eşit olmalıdır. Bu bölgede, $v=0$ 'dır. Bu nedenle (1.5) denklemi;

$$\frac{\partial P}{\partial y} = -\rho_\infty g \quad (1.5)$$

denklem (1.3)'te yerine yazılırsa, aşağıdaki bağıntı (1.6) elde edilir.

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = +\mu \nabla^2 v - g(\rho - \rho_\infty) \quad (1.6)$$

Bu çalışmada, sabit ısı akısındaki dikey bir plakanın doğal taşınımda havayla soğutulmasının, CFD analizi iki boyutta incelenmiştir. Hava, ideal gaz olarak kabul edilmiş ve hava için ideal gaz yasası kullanılmıştır.

Dikey bir plakada doğal taşınım ısı transferi:

Doğal taşınım ısı transfer hızı, Newton'un soğutma yasası kullanılarak hesaplanabilir. Taşınım ısı akısı (W/m^2), yüzey ve akışkan sıcaklıklarının arasındaki sıcaklık farkı ile doğru

orantılıdır ve orantı katsayısı h ($W/m^2 K$), ısı taşınım katsayısıdır. Newton'un soğutma yasası birim alan için aşağıdaki eşitlik (1.7) gibi ifade edilir.

$$\dot{q} = h(T_s - T_\infty) \quad (1.7)$$

Yerel taşınım katsayısı için Newton'un soğutma yasası kullanılırsa, yerel Nusselt sayısı (1.8) elde edilir.

$$Nu_x \equiv \frac{h_x x}{k} \quad (1.8)$$

Sabit ısı akısında dikey plakalarda doğal taşınım için Vliet'e göre [2] yerel Nusselt ifadesi (1.9);

$$Nu_x \propto (Gr_x^* Pr)^{1/5} \quad (1.9)$$

ile orantılıdır. Eşitlik (1.10) sabit ısı akısı için değiştirilmiş Grashof sayısı, aşağıdaki gibidir.

$$Gr_x^* = Gr_x Nu_x = \frac{g \beta \dot{q} x^4}{k \nu^2} \quad (1.10)$$

Burada $\dot{q} = q/A$ olup, ısı akısı tüm yüzeyde sabit kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak değiştirilmiş Rayleigh sayısı da denklem (1.11)'de tanımlanmıştır.

$$Ra_x^* = Gr_x^* Pr = \frac{g \beta \dot{q} x^4}{k \nu \alpha} \quad (1.11)$$

ideal gazlar için hacimsel genleşme katsayısı β ;

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (1.12)$$

bağıntısından (1.12) hesaplanabilir. Burada T (K) mutlak sıcaklıktır.

1.1 Literatür Özeti

Vliet [2], deneysel yerel ısı transfer verilerini; akışkan olarak su ve havanın kullanıldığı, sabit ısı akılı, dik ve eğimli yüzeylerde doğal taşınım etkileri için sunmuştur. $Gr_x^* Pr$ sayısının 10^{16} ya kadar olan verileri, dik durumdan yatayla 30° açığa kadar olan durumlardaki, laminar, geçiş ve türbülanslı rejimleri kapsar. Yerçekimi etkisinin yüzeye paralel olduğu dikey plakada, laminar durumdaki veriler iyi bir etkileşim göstermiştir. Geçiş bölgesi, eğim açısından büyük oranda etkilenmiş ve dikey durumda $Gr_x^* Pr$ sayısı

10^{13} dolaylarında geçiş bölgesi iken, yatayla 30° olan kararsız durumda 10^8 civarında bu durum gözlemlenmiştir.

Deneyde kullanılan aparatlar, büyük bir su tankı içinde, elektrikle ısıtılan (sabit ısı akılı) düz bir plakadan oluşturulmuştur. 0,9 m genişliğinde, 1,2 m yükseklikte paslanmaz çelik levha arka yüzeyinden ısıtılmıştır. Termokupllar, plakanın orta eksenini boyunca, paslanmaz sac ve yalıtım arasına yerleştirilmiştir.

Eğimli yüzeyler için geçiş bölgesinin daha düşük Ra_x^* sayılarında oluşmasıyla birlikte; Prandtl sayısının aralığını genişletmek için 45° eğimli yüzeyde hava deneyleri de yapmıştır. Bu deneyler, ısı akısının yaklaşık 568 W/m^2 olduğu, buna bağlı olarak da Rayleigh sayısının, Ra_L^* yaklaşık 10^{12} değerini aldığı durumlarda gerçekleştirilmiştir. Havayla yaptıkları deneylerde, radyasyon ve arka yüzeyde ısı transferini dikkate almıştır. Laminer akış için Vliet [2], aşağıdaki bağıntıyı (1.13) dikey ve eğimli plakalar için önermiştir.

$$Nu_x = 0,60(Gr_x^*Pr)^{0,2} \quad Gr_x^*Pr < 10^{13} \quad (1.13)$$

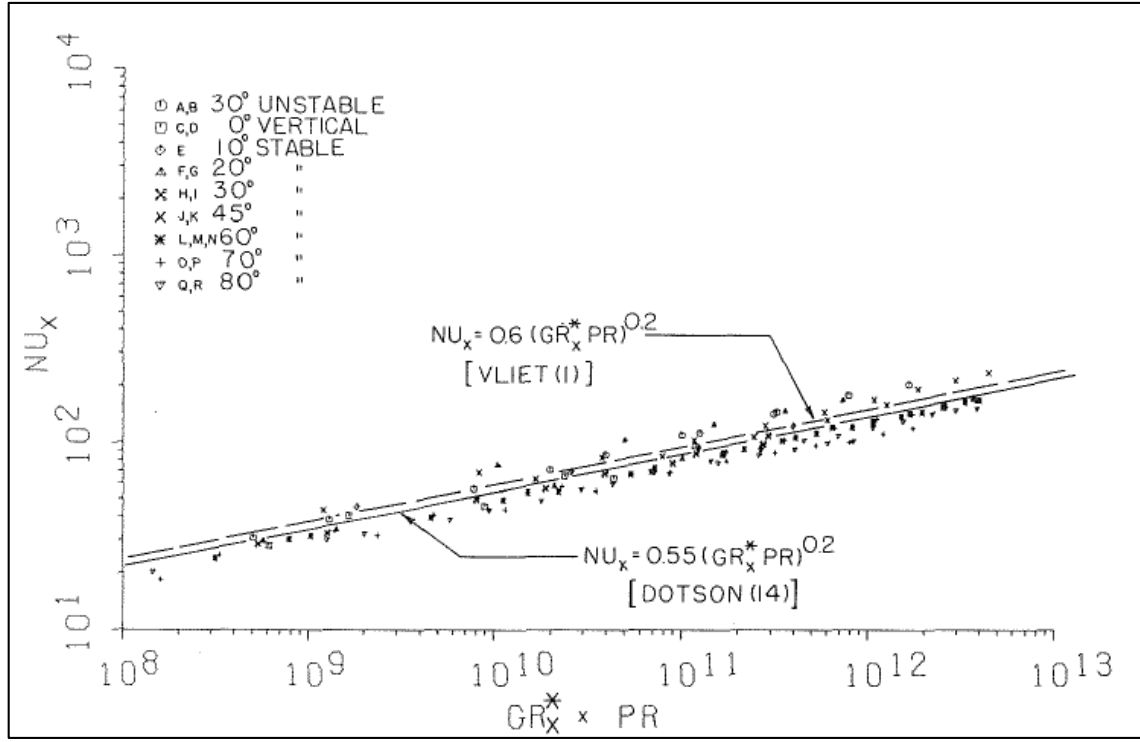
Vliet ve Liu [3] çalışmalarını, dikey plaka üzerinde suyla yaptıkları deneylerle, sabit ısı akısında türbülanslı doğal taşınım sınır tabakasını incelemişlerdir. Sonuçlar, geçiş bölgesinin $10^{12} < Ra^* < 10^{14}$ aralığında, tam gelişmiş türbülanslı bölgenin ise $Ra^* = 10^{14}$ 'te olduğunu göstermiştir. Özellikler, ortalamadan yaklaşık %12 maksimum sapma ile ortalama sınır tabaka sıcaklığında $T_B + (1/2)\Delta T_w$ değerlendirilmiştir. Türbülanslı ısı transfer verileri $2 \times 10^{13} < Ra^* < 10^{16}$ aralığındaki değerler için yerel ısı transferi bağıntısı olarak aşağıdaki denklemi (1.14) önermişlerdir.

$$Nu_x = 0,568(Gr_x^*Pr)^{0,22} \quad 2 \times 10^{13} < Gr_x^*Pr < 10^{16} \quad (1.14)$$

Aynı zamanda, plaka uzunluğu boyunca, ısı transfer katsayısı değerinde etkili oranda azalma görmüşlerdir.

Vliet ve Ross [4] çalışmalarında, dikey ve ısıtılan yüzey yukarı ve aşağı olmak üzere türbülanslı doğal taşınım için yerel ısı transferi verilerini sunmuşlardır. Test yüzeyi olarak; 1,83 m (6 ft) genişlikte ve 7,32 m (24 ft) yükseklikte, elektrik dirençli ısıtma ile elde edilen sabit bir yüzey ısı akısı, plakaya uygulanmıştır. Deneyler, değiştirilmiş Grashof sayısının, 10^{15} üzerinde olduğu durumda, hava içinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, dikey plakada,

dikeyle 80° açı olan durumda (ısıtılan yüzeyi aşağı, kararlı) ve dikeyle 30° açı durumunda (ısıtılan yüzeyi yukarı, kararsız), sabit ısı akısı koşulunda, yerel yüzey sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 1.2 Laminer akışta doğal taşınım için yerel ısı transferi verileri [4]

Sonuçlar, plakanın eğim açısının, laminer akıştan türbülanslı akışa geçişin yerini etkileyen bir parametre olduğunu göstermiştir. Kararsız durum için, plakanın dikeyle yaptığı açı arttıkça laminer akıştan türbülanslı akışa geçişin gerçekleştiği, plakanın altından olan yerel uzunluk azalmaktadır. Kararlı durumda ise, plakanın dikeyle yaptığı açı arttıkça, bu geçiş durumu için lokal mesafe de artmaktadır.

Laminer akışta, ısıtılan yüzeyi aşağı (kararlı) ve yukarı (kararsız) yüzeylerde, plakanın dikeyle yapmış olduğu eğim açısından dolayı, değiştirilmiş Grashof sayısında g' 'nin yerine $g \cos(\theta)$ ifadesi yer alır.

$$Nu_x = 0,17(Gr_x^* Pr)^{0,25} \quad 2 \times 10^{13} < Gr_x^* Pr < 10^{16} \quad (1.16)$$

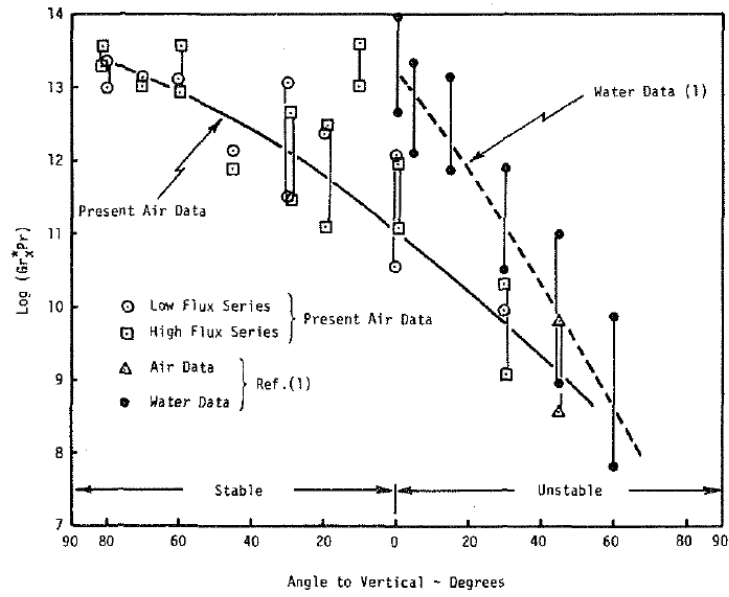
Türbülanslı akışta, kararlı durumda, yerçekimi ifadesinin değiştirilerek, $g \cos^2(\theta)$ ifadesini alması en iyi çözüm olmuştur. Kararsız durum için ise, ısı transferi açıdan bağımsızdır. Burada θ ifadesi, plakanın dikey ile yaptığı açıdır. Böylelikle, türbülanslı ve

kararlı akıslarda, taşınım ısı transferi üzerinde, açının önemli etkisinin olduğu anlaşılmıştır.

Isı taşınım katsayısı (1.17), eşitlik (1.16)'da x 'e göre değişmez ve yüzey sıcaklığı bu nedenle sabit kalır.

$$h_x \sim \frac{1}{x} (x^4)^{1/4} \quad (1.17)$$

Vliet ve Ross [4], kararlı ve kararsız durumlar için geçiş bölgesinin, hangi değiştirilmiş Rayleigh sayılarında olacağına ilişkin sonuçları da Şekil (1.5)'te göstermiştir.



Şekil 1.3 Kararlı ve kararsız durumdaki plakalarda geçiş bölgesinin açı ile değişimi [4]

Fahiminia vd. [5], dikey yüzeylerde laminar doğal taşınım hesaplama analizi yapmışlardır. Çalışmalarında, durgun hava içinde ısıtılmış dikey levha kullanmışlardır.

Sayısal analiz için aşağıdaki varsayımlar, Fahiminia vd. [5] tarafından kabul edilmiştir.

- Akış, kararlı, laminar ve üç boyutlu incelenmiştir.
- Yoğunluk dışındaki akışkanın tüm özellikleri sıcaklıktan bağımsızdır.
- İdeal gaz kabulü yapılarak, havanın yoğunluğu hesaplanmıştır.
- Işınım ile gerçekleşen ısı transferi ihmal edilmiştir.

Fahiminia vd. [5], dik levha yüzeyini kanatlı ve kanatsız olmak üzere incelemiştir. Kanatlar arasındaki mesafe belirli bir oranda arttıkça, taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin arttığını; ancak bir noktadan sonra azalmaya başladığını görmüşlerdir.

Laein vd. [6], tarafından yapılan çalışma, sabit ısı akısı etkisinde, dikey ve yatay düz levha üzerindeki, TiO_2 – su serbest nanoakışkan konveksiyonunun laminar sınır tabaka kalınlığını ölçen PIV ile ilgilidir. Isı akısı değeri, 3000 ve 7000 W/m^2 olan iki değer için sonuçlar verilmiştir. Sınır tabaka kalınlığı ve hız profilleri üzerindeki nanopartikül ve ısı akısı etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Sonunda, deneysel, teorik ve sayısal sonuçlar farklı durumlar için mukayese edilmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre, esas akışkana nanopartiküllerin eklenmesiyle hız sınır tabaka kalınlığının azalma eğilimi göstermişlerdir.

Laein vd. [6], düz yüzey üzerinde, laminar serbest taşınım akışı oluşturmanın en kolay yolunun, sabit ısı akılı bir yüzey olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında düz ve ince elektrikli plaka, yüzeyde sabit ısı akısı yaratmak için bir ısıtıcı gibi kullanılmıştır. Kalınlığı 1 mm ve boyutu 10x15 cm olan bu madde, opak, bakır levha üzerine yerleştirilmiş ve tabaka ile ısıtıcı arasındaki boşluk, silikon yapıştırıcı ile doldurulmuştur. Boyutları 10x30 cm ve 30x10 cm (uzunluk x genişlik) olan iki küp, dikey ve yatay durumları için sırasıyla kullanılmıştır. 50-100 mikrometre çapındaki cam parçalar görüntüde hız ölçmek için izleyici olarak kullanılmıştır. Akışkan içindeki partiküllerin dağılımı daha iyi olsun diye partiküller, manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Sonuç olarak, duvardaki ısı akısının artmasıyla, duvara yakın yerdeki hava hızının da arttığını hem deneylerinde hem de yaptıkları CFD analizinde görmüşlerdir. Hız sınır tabakasının deneysel ve teorik verilerini karşılaştırdıklarında, aralarında maksimum %5 gibi bir fark olduğunu görmüşlerdir.

Teymourtash vd. [7], süperkritik akışkanın etkidiği dikey bir plakada, çeşitli ısı akılarındaki doğal taşınım durumlarını ele almışlardır. Sabit ısı akısının etkidiği duvarda, kritik şartlardaki akışkanlar ile karşılaştırılan süperkritik akışkanın, plakanın sıcaklığını düşürmede etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Azalan eğilimde (örneğin 4000 W/m^2 den 1000 W/m^2 ye) ısı akısına maruz kalan plakada, hız sınır tabaka profillerini karşılaştırmışlardır. Ayrıca, sıcaklık gradyanlarını da değişik durumlarda incelemişlerdir.

Pantokratoras [8], sabit, dikey durumda ve üniform ısı akısı etkisindeki bir plaka boyunca, gliserolün laminar sınır tabaka akışını incelemiştir. Gliserolün yoğunluğu, ısı iletkenliği ve ısı kapasitesi, sıcaklığın lineer olarak fonksiyonu iken; dinamik viskozitesi, sıcaklığın üstel fonksiyonudur. Sonuçları, sınır tabaka denklemlerinin sayısal çözümü ile elde etmiştir. Sabit ısı akısının etkidiği plaka için ısı transferi, yukarı yönlü akış (plaka

ısıtma) durumunda artarken, aşağı yönlü akışta (plaka soğutma), doğrusal olmayan, asimetrik bir şekilde azalış göstermiştir. Yine sabit ısı akısının etkideği durumda, plaka ve çevre havası sıcaklığı arasındaki farklılık, yukarı yönlü akışta artarken, aşağı yönlü akışta ΔT , başta artmış ve maksimum değere ulaşmış; ancak sonrasında azaldığını belirtmiştir.

Lim ve Chung [9] ise, doğal taşınım deneylerini, eğimli plakalar üzerinde gerçekleştirmiştir. Isı transferi simülasyonu için bakır sülfat elektro yüzey kaplamaya benzer bir sistem esas alınmıştır. Bakır plakaların uzunlukları; 0,1 m ve 0,35 m olmakla beraber, sırasıyla bu plakalara ait Grashof sayıları ise $8,06 \times 10^7$ ve $3,45 \times 10^9$ olarak tespit edilmiştir. Bu durumda ilk plaka, laminar akışlar için, ikinci plaka ise türbülanslı akışı simüle etmek için kullanılmıştır. Simülasyonda, kritik uzunluğun yerinin plaka açısına bağlı olarak tespitini gerçekleştirmişlerdir. Kritik uzunlukların önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması; akışın nerelerde ayrılmaya başladığını, nerede geçiş bölgesine girdiğini anlamalarını sağlamıştır. Açığa bağlı olarak kritik uzunluğu veren bir empirik ifade de önermişlerdir.

Khan ve Aziz [10] ise çalışmalarında, sabit ısı akısı etkileyen, dikey bir plaka üzerinden nanoakışkanın aktığı, doğal taşınım durumunu sayısal olarak incelemişlerdir. Analiz sonucunda; hız, sıcaklık ve nanoparçacık hacim oranının sınır tabaka içinde etkilendiği beş boyutsuz parametre olduğunu söylemişlerdir. Bu parametreler, Prandtl sayısı Pr , Lewis sayısı Le , Brownian hareket parametresi N_b , termoforesis parametresi N_t ve kaldırma kuvveti oranı parametresi N_r 'dir. Ayrıca, parametrelerden biri veya birkaçı sabit kalırken diğerlerinin değişimini de sonuç olarak paylaşmışlardır.

Aydın [11], laminar akıştaki dikey bir levhadan doğal taşınım ile gerçekleşen ısı transferi üzerinde, sınır tabaka kalınlığının düzenini veya düzensizliğini oluşturan, kot elemanlarının etkisini araştırmıştır. Bazı deneysel veriler, sonlu farklar kodu ile gerçekleştirilen sayısal verilerle karşılaştırılmıştır. Deneyleri, düz bir plakanın dışarıdan gelecek hava akımından korunması ve durumun doğal taşınım olarak kalabilmesi için, dikdörtgen bir kanal içerisine yerleştirerek gerçekleştirmiştir. Kanalın iç yüzeyleri, alüminyum saclarla kapatılarak, ışınlama olan ısı transferi azaltılmak istenmiştir. Kanal yüzeyinde, dört adet kare delik açılarak, uygun şekilde kızılötesi kameralar konumlandırılmıştır. Düz plaka, 0,2 m genişlikte ve 1,21 m yükseklikte olup, dikdörtgen

kanalın boşluk mesafesi ise 0,1 m'dir. Plakanın kendisi ise, düşük iletim katsayılı bir malzeme olan camdır ($k \approx 0,70 \text{ W/mK}$).

Laminer durum için Aydın [11] da çalışmasında Vliet [2]'in önerdiği, ampirik bağıntıyı kullanmıştır (1.13). Bu çalışmada elde edilen sonuçları destekleyen bir sonuç da Aydın [11] tarafından verilmiştir. Isı taşınım katsayısının, dikey plakada +y yönünde gittikçe azaldığı ifade edilmiştir. Ancak, dikey plakada bütünleşmiş bir kot elemanı olduğu durumda, önce ısı taşınım katsayısı ani bir artış gösterecek, sonrasında giriş yüksekliği boyunca tekrardan azalacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Sabit ısı akısı etkisinde olan bir plakanın doğal taşınım ile soğutulması dışarıdan ilave bir enerji kullanımını gerektirmez. Bu sebeple de bu konunun daha fazla araştırılması gerekmektedir. Isı transferine etki edecek mümkün parametreler, dikkate alınıp ısı transferiyle bu parametrelerin nasıl değiştiği incelenmelidir. Elektronik cihazların, radyatörlerin ve fotovoltaiklerin soğutulması olayları, çoğunlukla doğal taşınım ile gerçekleşebilmektedir. Bu cihazlardaki durum düşünüldüğünde, sabit ısı akısı etkisinde bir plakanın soğutulması söz konusudur. Bu çalışmada, sabit ısı akısı etkisinde bir plakanın doğal taşınım ısı transferi ile soğutulmasında farklı ısı akılarının plaka boyunca doğal taşınım etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Doğal taşınım, atmosferle ilgili olan akışlarda da etkilidir. Bu tez çalışmasındaki, sabit ısı akısına maruz kalan yüzey, aslında güneş enerjisini, elektrik enerjisine çeviren bir fotovoltaik panel yüzeyi olarak düşünülebilir. Güneş'ten gelen ışıının, yüzeyde ısı enerjisine dönüştüğü ve panelin verimini önemli ölçüde etkilediği (panel sıcaklığı arttıkça verim düşer) bu durum için herhangi bir soğutma olmadığı takdirde, yüzey sıcaklıkları ve atmosferik havanın hareketi belirlenebilir. Yine binaların yüzeylerinden olan doğal taşınım ve duvar sıcaklığı gibi parametrelerin belirlenmesi gibi durumlar için analizler yapılmıştır.

1m x 1m boyutlarında dikey bir plakanın dört farklı sabit ısı akısında olması durumu için doğal taşınım ile soğutulması esnasında, yüzeyde oluşan sıcaklık ve hız gradyanları, CFD ile incelenmiştir. Doğal taşınım ısı transferi esnasında sınır tabaka içinde hız ve sıcaklık

profilleri belirlenmiştir. Fluent sonuçları ile Vliet'in [2] doğal taşınım için önerdiği ampirik bağıntı (1.13) sonuçları arasında karşılaştırma yapılmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

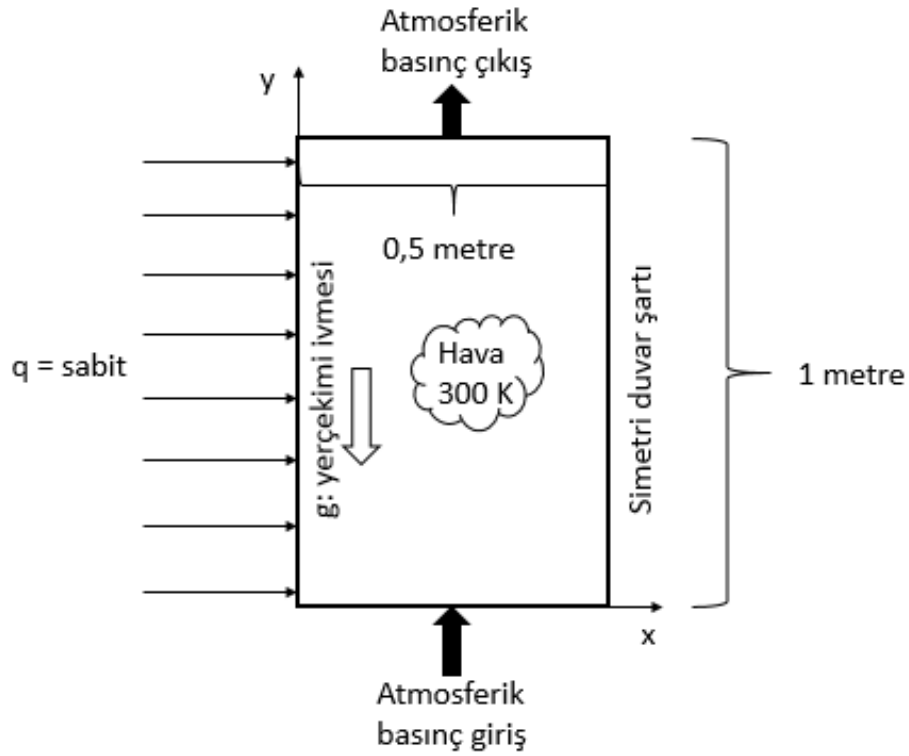
Literatürde, sabit ısı akısı sınır şartlarında, sabit sıcaklık sınır şartlarına göre daha az çalışma yapıldığı görülmektedir. Ayrıca, doğal taşınımda soğutmayı sağlamak üzere kullanılan akışkanlar, genellikle sıvıdır (su, gliserol vb.). Yine literatürde, dikey plakalarda ise doğal taşınım ısı transferi, sabit yüzey sıcaklığında araştırılmıştır. Gerçekte radyatör, elektronik cihazlar ve fotovoltaik paneller doğal ortamda hava ile soğutulmaktadır. Bu çalışmada, sabit ısı akısındaki dikey bir plakanın doğal taşınım ortamında soğutulması incelenmiştir. Deney ortamının oluşturulmasından önce; hız ve sıcaklık gradyanları ile bunlara ait profillerin görülebilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

PROBLEMİN OLUŞTURULMASI

2.1 Problem Tanımı

İncelenmek istenen dikey plakaya ait sistem, Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Burada L , plakanın uzunluğunu ifade eder. Plakaya uygulanan ısı akısı $\dot{q}$ (W/m^2) sabittir. Yerçekimi ivmesi g ise, plakaya $-y$ yönünde etki etmektedir. Plakanın boyutları $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ olup, ısıtım için yüzeyin alüminyum ve yayıcılığının $\epsilon = 0,05$ olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2.1 Sistemin şematik gösterimi

Yüzeye dört farklı ısı akısı uygulanmış ve bu dört durumun her biri için ise oluşturulan geometriye, dört farklı ağ yapısı (mesh) atanarak, sonucun ağ yapısının sıklığı ile değişimi de dikkate alınmıştır.

Problemi Fluent'te çözmek için; süreklilik denklemi (1.1), Navier-Stokes denklemleri (1.2) ve (1.3) ile enerji denklemi (1.4), iki boyutta çözülmüştür.

Çalışmada doğal taşınım, iki boyutta, sürekli, özelliklerin sabit ve akışkanın Newton tipi olduğu durum için düşünülmüştür. İstisna bir durum olarak, yoğunluk farkı nedeniyle gerçekleşen akışkan hareketinin, kaldırma kuvvetine etkisini göz önüne alan Boussinesq yaklaşımının geçerli olduğu varsayılmıştır.

2.2 Sınır Şartları

Şekil 2.1'deki şematik gösterimde, sol duvar sabit ısı akısı, sağ duvar simetri, alt duvar atmosferik basınç giriş şartlarında ve üst duvar ise atmosferik basınç çıkış şartlarındadır. İncelenen geometriye ait sınır şartları için oluşturulan denklemler aşağıdaki gibidir.

$$u(x, 0) = v(x, 0) = v(x, y \rightarrow \infty) = 0 \quad (2.1)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial y}(x, 0) = q_w \quad (2.2)$$

$$T(x, y \rightarrow \infty) = T_\infty \quad (2.3)$$

Sabit ısı akısı değeri olarak başlangıçta 400 W/m² değeri verilmiştir. Daha sonra 600,800 ve 1000 W/m² ısı akısı yüzeye etki ettirilerek incelemeler yapılmıştır. Isı akısının daha önce de belirtildiği gibi yüzeyde sabit olduğu varsayılmıştır.

2.3 Çözüm Yöntemi

Yüzeyde sabit ısı akısı olması durumunda, yüzeyin sıcaklığı bilinmemektedir. Ancak hava özelliklerini belirleyebilmek için sıcaklık farkını tahmin etmek ve buradan film sıcaklığını kabul etmek gerekir. Daha sonra, iterasyon yapılarak tahmin edilen film sıcaklığı ve buna bağlı özelliklere gitgide yaklaşılmaya çalışılır. Sıcaklık farkını tahmin etmenin en basit yolu, ısı taşınım katsayısına rastgele değer vermektir.

Plakanın karakteristik uzunluğu olan 1 m üzerinde, on eşit noktada (0,1; 0,2 ... 1 m) yüzey sıcaklığı, Mathcad programı kullanılarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Nusselt sayısı için Vliet [2]'in önerdiği denklem (1.13) kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Her bir adımda Rayleigh sayıları kontrol edilerek, akışın laminar, geçiş veya türbülanslı olduğu durumlar belirlenmiştir. Bu bağlamda denklem (1.13), akışın laminar olduğu durum için geçerlidir ve ısı akısının 400, 600, 800, 1000 W/m² olduğu durumlarda yüzeyin tamamında akış laminardır.

İterasyon sonucunda (ampirik ifadeyle) bulunan yüzey sıcaklıkları, Fluent'teki yüzey sıcaklıkları ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar EK-A'da gösterilmiştir.

PLAKA YÜZEY SICAKLIĞININ AMPİRİK BAĞINTIYLA BELİRLENMESİ

İncelenen makaleler ışığında, Vliet vd.'nin [2],[3],[4] yaptığı deneylerin sonucuna göre belirttiği ampirik bağıntı, bu çalışmadaki sabit ısı akısına maruz kalan dikey plaka için ele alınmıştır. Plakanın 1 m uzunluğunda olduğu durumda, Nusselt ifadesinden yüzey sıcaklıkları, her 10 cm'deki noktada belirlenmiştir. Daha sonra çıkan sonuçlar, Fluent'te analizi yapılan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3.1 İterasyona Ait Adımlar

İterasyonun tamamı, Mathcad programında gerçekleştirilmiş olup, belirli sırada tekrarlanan bir dizi işlem den oluşmaktadır. Bu işlemler, dört sabit ısı akısının tamamı için yüzeyin on eşit noktadaki sıcaklıklarını belirlemek içindir.

Örnek olarak; levhanın 0,1 m'sindeki noktanın yüzey sıcaklığını bulmak için ilerleyen bölümlerdeki adımlar izlenmiştir. Adımda; $y = 0,1 \text{ m}$; $q_w = 400 \text{ W/m}^2$; $T_\infty = 300 \text{ K}$ ve yerçekimi ifadesi olarak $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ alınmıştır. Havanın sıcaklığı ve yerçekimi ifadesi tüm ısı akıları için aynıdır.

Kabul edilen bu değerlerden sonra, bir de ısı taşınım katsayısı h , doğal taşınıma uygun olacak şekilde bir değer seçilerek varsayım yapılır. Isı akısının 400 W/m^2 olduğu bu durum için $h = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak seçilmiştir. Denklem (3.1)'deki ifadeden sıcaklık farkı ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\Delta T \approx \frac{q_w}{h} = \frac{400}{5} = 80 \text{ K} \quad (3.1)$$

Bulunan sıcaklık farkı ifadesinden, varsayılan ilk film sıcaklığı bulunabilir (3.2).

$$T_f \approx \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 340 \text{ K} \quad (3.2)$$

Bulunan bu film sıcaklığı, iterasyona başlamak için ilk adımı oluşturur. Havanın bu film sıcaklığına bağlı özellikleri, aşağıdaki tabloda (Çizelge 3.1) verilmiştir.

Çizelge 3.1 Havanın 340 K'deki termofiziksel özellikleri

Tanımı	Sembol	Değeri	Birimi
Yoğunluk	ρ	1,02828	kg/m ³
Özgül ısı	c_p	1,0086	kJ/kgK
Isıl iletkenlik	k	29,26x10 ⁻³	W/mK
Dinamik viskozite	μ	203,48x10 ⁻⁷	Ns/m ²
Kinematik viskozite	ν	19,914x10 ⁻⁶	m ² /s
Film sıcaklığı	T_f	340	K
Isıl genleşme katsayısı	β	0.002941	K ⁻¹
Isıl yayılım katsayısı	α	28,42x10 ⁻⁶	m ² /s
Prandtl sayısı	Pr	0,7014	-

Bu noktada, değiştirilmiş Grashof sayısı hesaplanabilir.

$$Gr_x^* = Gr_x Nu_x = \frac{g \beta q_w y^4}{k \nu^2} = \frac{9,81 \times 0,002941 \times 400 \times 0,1^4}{29,26 \times 10^{-3} (19,914 \times 10^{-6})^2} = 9,946 \times 10^7 \quad (3.3)$$

Değiştirilmiş Rayleigh sayısı da hesaplanarak akışın türü belirlenir. Akış türüne göre ise Vliet'in ampirik Nusselt ifadelerinden hangisinin kullanılacağı olgusu ortaya çıkmaktadır.

$$Ra_x^* = Gr_x^* Pr = 9,946 \times 10^7 \times 0,7014 = 6,976 \times 10^7 \quad (3.4)$$

Değiştirilmiş Rayleigh sayısı, 10¹³'ten küçük olduğundan akış laminardır ve denklem (1.8) ile (1.13) ifadesi eşitlenerek, ısı taşınım katsayısı ifadesi belirlenmeye çalışılırsa;

$$h_1 = \frac{k_f}{y} (0,60) (Gr_x^* Pr)^{0,2} = \frac{29,26 \times 10^{-3}}{0,1} 0,60 (6,976 \times 10^7)^{0,2} \quad (3.5)$$

$$= 6,504 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

denklem (3.5) elde edilir. Burada h_1 , birinci iterasyon sonucunda ortaya çıkan, yeni ısı taşınım katsayısı ifadesi olup; iterasyonu tekrar başlangıca döndürür. Belirlenecek olan sıcaklık farkı ve ona bağlı film sıcaklığı ile havanın özellikleri tekrar belirlenerek işlemler tekrarlanır.

$$\Delta T_1 \approx \frac{q_w}{h_1} = \frac{400}{6,504} = 61,505 \text{ K} \quad (3.6)$$

Yeni film sıcaklığı denklem (3.7) ile hesaplanır.

$$T_f \approx \left(\frac{\Delta T_1}{2} + T_\infty \right) = 330,75 \text{ K} \quad (3.7)$$

Havanın 331 K'deki özellikleri tablodan bulunur (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Havanın 331 K'deki termofiziksel özellikleri

Tanımı	Sembol	Değeri	Birimi
Yoğunluk	ρ	1,058232	kg/m ³
Özgül ısı	c_p	1,00824	kJ/kgK
Isıl iletkenlik	k	28,594x10 ⁻³	W/mK
Dinamik viskozite	μ	199,232x10 ⁻⁷	Ns/m ²
Kinematik viskozite	ν	19,0086x10 ⁻⁶	m ² /s
Film sıcaklığı	T_f	331	K
Isıl genleşme katsayısı	β	0.003023	K ⁻¹
Isıl yayılım katsayısı	α	27,088x10 ⁻⁶	m ² /s
Prandtl sayısı	Pr	0,70266	-

Buradan yeni Grashof sayısı;

$$Gr_x^* = \frac{g\beta q_w y^4}{k\nu^2} = \frac{9,81 \times 0,003023 \times 400 \times 0,1^4}{28,594 \times 10^{-3} (19,009 \times 10^{-6})^2} = 1,148 \times 10^8 \quad (3.8)$$

olarak denklem (3.8)'den bulunur. Değiştirilmiş yeni Rayleigh sayısı ise;

$$Ra_x^* = Gr_x^* Pr = 1,148 \times 10^8 \times 0,70266 = 8,069 \times 10^7 \quad (3.9)$$

olarak hesaplanır. Buna göre, akış yine laminerdir ve denklem (3.10)'daki ifadeden yeni ısı taşınım katsayısı bulunur.

$$h_2 = \frac{k_f}{y} (0,60) (Gr_x^* Pr)^{0,2} = \frac{28,594 \times 10^{-3}}{0,1} 0,60 (8,069 \times 10^7) = 6,543 \text{ W/m}^2 \text{ K} \quad (3.10)$$

Yeni ısı taşınım katsayısına bağlı sıcaklık farkı bulunur.

$$\Delta T_2 \approx \frac{q_w}{h_2} = \frac{400}{6,543} = 61,133 \text{ K} \quad (3.11)$$

Sıcaklık farkı ve ısı taşınım katsayıları arasındaki fark artık önemsenmeyecek düzeylerdedir. Bu nedenle iterasyonun 0,1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için adım, tamamlanmış olur. Bu adıma ait en son film sıcaklığı,

$$T_f \approx \left(\frac{\Delta T_2}{2} + T_\infty \right) = 330,57 \text{ K} \cong 331 \text{ K} \quad (3.12)$$

olarak hesaplanmış ve özellikler de bu sıcaklığa ait değerler olduğundan iterasyon tamamlanmıştır. Yüzey sıcaklığı,

$$T_w = (2T_f - T_\infty) = 361,13 \text{ K} \quad (3.13)$$

Nusselt sayısı,

$$Nu_x = (0,60)(Ra_x^*)^{0,20} = 22,883 \quad (3.14)$$

olarak hesaplanmıştır. İterasyona ait tüm adımlar, her bir ısı akısı için EK-A'da paylaşılmıştır.

İterasyon sonucu bulunan sıcaklıklar, aşağıdaki çizelgede paylaşılmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Ampirik bağıntı ile bulunan değişik ısı akılarındaki yüzey sıcaklıkları

$T_w \text{ (K)} \backslash q_w$	400 W/m ²	600 W/m ²	800 W/m ²	1000 W/m ²
$T_{w1} (y=0,1 \text{ m})$	361,133	385,218	408,011	430,035
$T_{w2} (y=0,2 \text{ m})$	370,437	398,255	424,714	450,23
$T_{w3} (y=0,3 \text{ m})$	376,536	406,845	435,734	463,483
$T_{w4} (y=0,4 \text{ m})$	381,187	413,421	444,114	473,596
$T_{w5} (y=0,5 \text{ m})$	384,987	418,789	450,974	481,873
$T_{w6} (y=0,6 \text{ m})$	388,228	423,408	456,824	488,934
$T_{w7} (y=0,7 \text{ m})$	391,073	427,429	461,947	495,112
$T_{w8} (y=0,8 \text{ m})$	393,597	430,968	466,523	500,628
$T_{w9} (y=0,9 \text{ m})$	395,889	434,268	470,666	505,771
$T_{w10} (y=1 \text{ m})$	397,988	437,185	474,472	510,463

FLUENT ANALİZİ

Akışın yer aldığı mühendislik sistemlerinin tasarımı ve analizinde iki ana yaklaşım vardır. Bunlar; deney ve hesaplama yapmaktır. Deney için gerekli olan şey, model oluşturup, modeli test etmektir. Hesaplama içinse diferansiyel denklemlerin analitik veya sayısal olarak çözülmesi gereklidir. Günümüzde, hem deneysel analiz hem de bilgisayar destekli analiz uygulanarak; ikisinin birbirini tamamlaması sağlanır. Örnek olarak; kaldırma, direnç, basınç düşüşü veya güç gibi genel özellikler, deneysel olarak elde edilebilirler, ancak kayma gerilmeleri, hız ve basınç dağılımları ile akışa ait akım çizgileri gibi ayrıntıları keşfetmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde, laminar akışlar kolayca çözümlenebilirken, uygulamadaki türbülanslı akışları, türbülans modelleri kullanmadan çözmek imkansızdır. Genel bir türbülans modeli olmadığı için bir türbülanslı çözüm, sadece türbülanslı modelin o sisteme uygunluğu kadar iyidir. Buna rağmen standart bir türbülans model ile uygulamadaki pek çok problemde, nispeten iyi sonuçlar alınabilmektedir.

4.1 Hesaplama Bölgesi

Viskoz, sıkıştırılmaz, serbest yüzey etkileri olmayan Newton tipi akışkanın daimi, laminar akışı için hareket denklemleri, süreklilik denklemi (4.1),

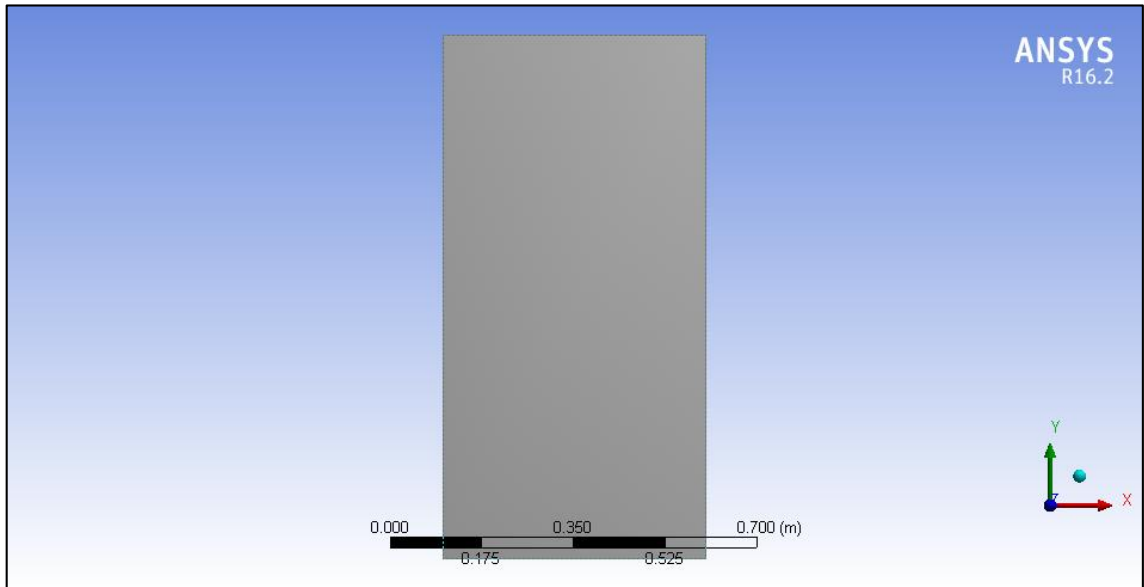
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (4.1)$$

ve Navier-Stokes denklemidir (4.2).

$$(\vec{V} \cdot \vec{\nabla})\vec{V} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}P' + \nu\nabla^2\vec{V} \quad (4.2)$$

Burada, (4.1) korunum denklemi, (4.2) ise hesaplama bölgesi boyunca doğrusal momentumun taşınmasını temsil eden transport denklemdir. Bu denklemleri çözmek içinse, bir hesaplama bölgesi seçilir ve ağ (mesh) oluşturulup, bu bölge, hücre denilen çok sayıda küçük elemana bölünür. İki boyutlu bölgeler için hücreler alanlar olup, üç boyutlu bölgelerde hücreler, hacimlerdir.

Bu çalışmada, hesaplama bölgesi olarak Şekil 2.1'deki gibi, iki boyutlu bir alan ele alınmıştır. Fluent'in geometri kısmında bu alan çizilmiştir. Programdaki görüntüsü aşağıdaki gibidir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Belirlenen hesaplama bölgesinin programdaki geometrisi

4.2 Ağ Yapısını Oluşturma

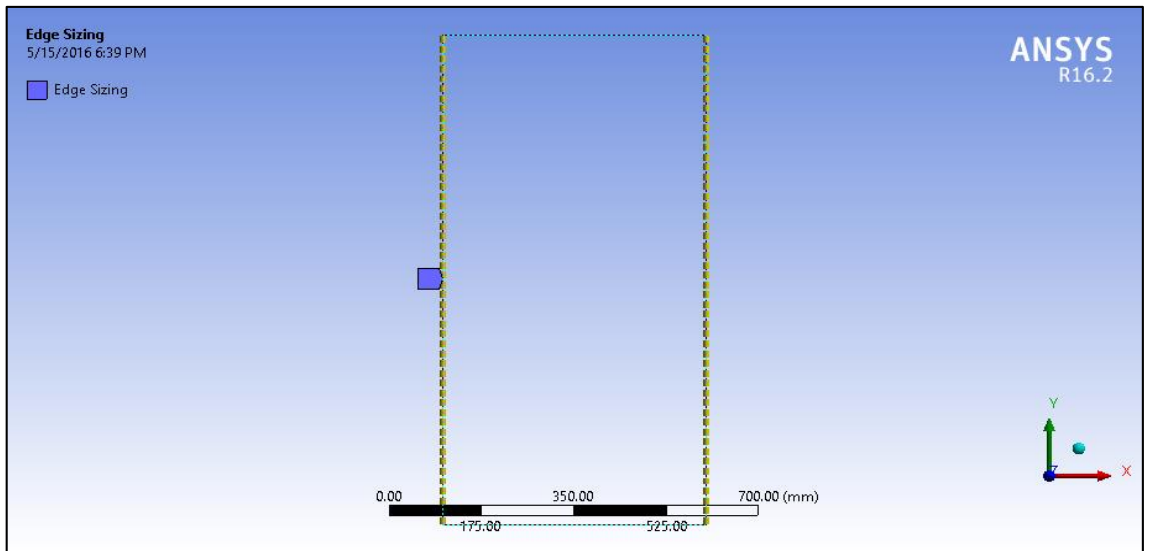
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümü yolunda ilk adım, hesaplama bölgesindeki akış değişkenlerinin (hız, basınç, vb.), hesaplanacağı hücreleri tanımlayacak bir ağ yapısı oluşturmaktır. Bu noktada ağ yapısını oluşturmak, sonuçları ciddi oranda etkileyeceğinden, çözüme giden yolda en önemli faktörlerden biridir.

Ağ yapısı olarak yapılandırılmış veya yapılandırılmamış ağ yapıları, Fluent programında vardır. Yapılandırılmış bir ağ, dört kenarlı düzlemsel hücrelerden veya altı yüzlü hacimsel hücrelerden oluşmaktadır. Yapılandırılmamış bir ağda ise, genellikle üçgen veya dörtgen

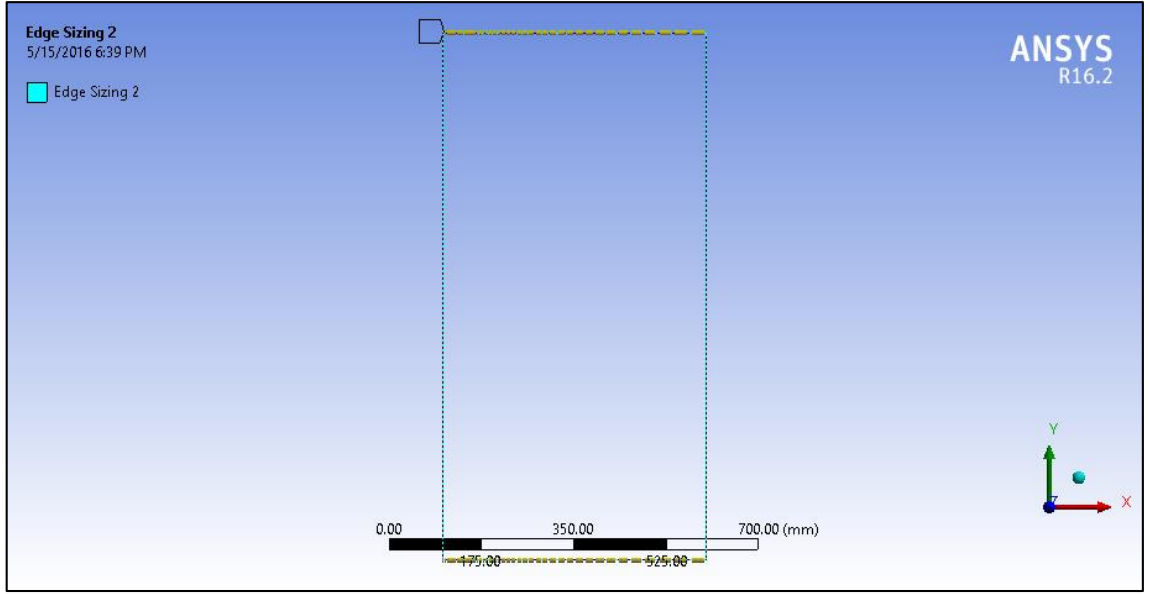
şeklinde düzlemsel hücreler veya dört yüzlü ile altı yüzlü hacimsel hücreler kullanılır. Yapılandırılmamış ağı oluşturmak kolayken, yapılandırılmış ağı oluşturulması zor ancak, çözüme giden yolu hızlandırıp, çözümün daha doğru olmasını sağlaması bakımından üstünlükleri vardır.

Seçilen ağı türüne bakılmaksızın, güvenilir bir çözüm için kritik noktalardan biri de ağı niteliğidir. Üçgen ve dikdörtgen hücreler, yapıları bakımından sıfır çarpıklığa sahipken, diğer üçgenimsi ve yamuk yapılarda bir çarpıklık değeri vardır. Bu değerler, ani değişime neden olacağından, yazılımda hesaplama ve yakınsama güçlüklerine yol açabilir. Yüksek nitelikli ağı, doğru bir çözüm için çok önemlidir. Ayrıca, çözümlerin ağıdan bağımsızlığı da test edilmelidir. Ağı bağımsızlığını test etmenin standart yolu, çözünürlüğü artırmak ve simülasyonu tekrarlamaktır. Sonuçların değişmediği görülüyorsa, bir önceki ağı yapısı, çözüm için yeterli olabilmektedir.

Tüm bu fonksiyonları göz önünde bulundurarak, her bir ısı akısı için dört değişik biçimde ağı yapısı oluşturulmuş ve sonuca gidilmeye çalışılmıştır. İlk ağı yapısı için hesaplama bölgesi içinde 1 m uzunluktaki kenarlar, 50 eşit parçaya bölünerek, kaba bir ağı yapısı oluşturulmak istenmiştir (Şekil 4.2). 0,5 m uzunluktaki diğer iki kenar da 50 parçaya bölünmüş, ancak Bias faktörü olarak 25 kullanılmıştır (Şekil 4.3). Isı akısının etkideği yüzeyde daha sık ağı yapısının oluşmasını sağlayan Bias faktörü değeri sayesinde, yüzeye yakın noktalardaki hız profilleri ve sıcaklık dağılımları daha net görülebilmektedir.

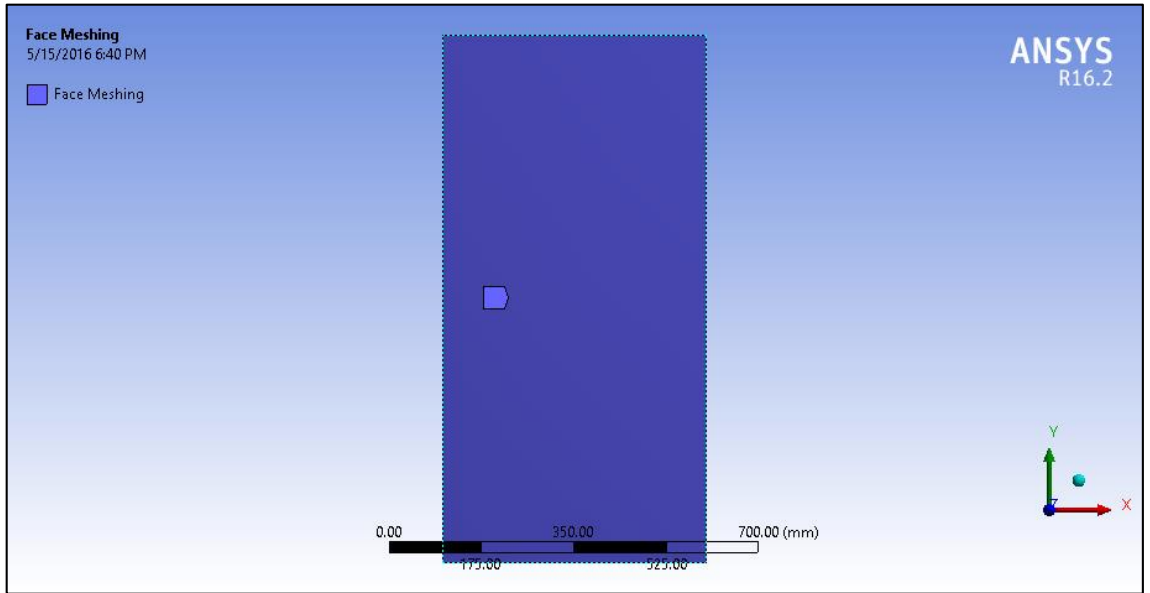


Şekil 4.2 Uzun kenarların 50 eşit parça olarak programda boyutlandırılması



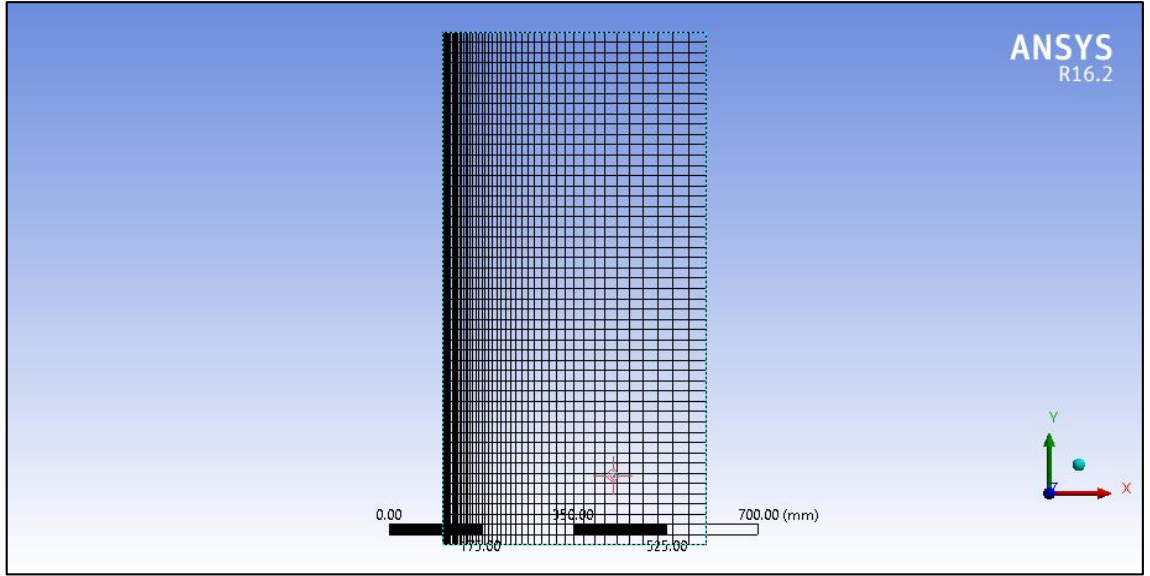
Şekil 4.3 Kısa kenarların 50 parçaya bölünerek Bias faktörü ile programda boyutlandırılması

Bölünmüş kenarların üniform bir şekilde dağılımını sağlamak için de eşleştirilmiş yüz ağ (Mapped Face Meshing) yapısı kullanılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Eşleştirilmiş ağ yapısının oluşturulduğu bölge

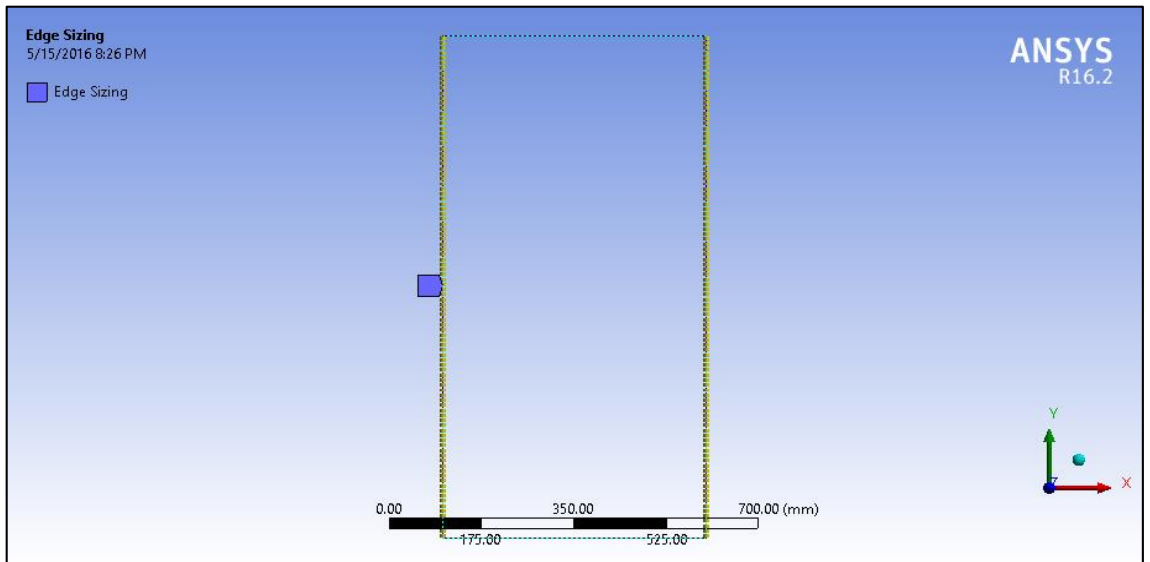
2500 elemandan (50x50) oluşan ağ yapısı, aynı zamanda 2601 adet düğüm noktasına sahiptir. Ağ yapısının çarpıklığını gösteren skewness, maksimum değeri $1,3066 \times 10^{-10}$ olarak program tarafından belirtilmiştir. Bu değerın sıfıra yakın olması, ağın tümünün dikdörtgen veya üçgen hücrelerden oluştuğunu, düzgün dağılı bir yapıda olduğunu göstermektedir (Şekil 4.5).



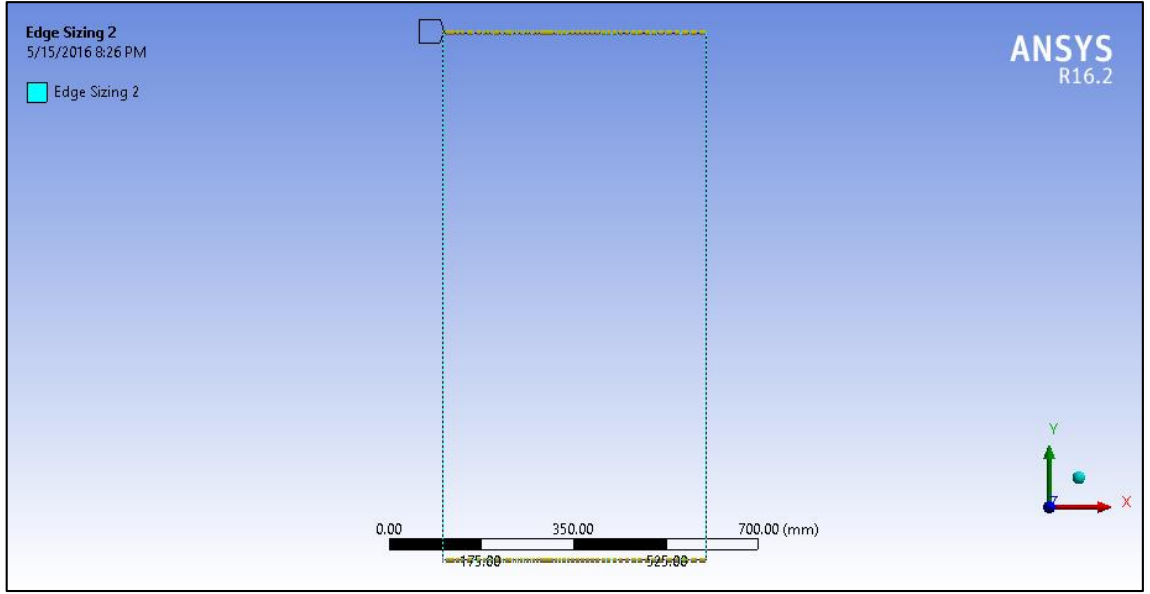
Şekil 4.5 2500 elemanlı (50x50) ağ yapısının programda oluşturulması

İki boyutlu bir simülasyonda, her bir kenardaki aralık sayısı iki katına çıkarıldığında, hücre sayısı dört kat artmaktadır. Bu durumda, çözüm için gereken hesaplama zamanı da yaklaşık olarak dört katına çıkmaktadır.

İkinci, orta ağ yapısı için uzun kenarlar 100 eşit parçaya bölünmüştür (Şekil 4.6). Kısa kenarlar da 100 parçaya bölünerek, Bias faktörü olarak 25 girilmiştir (Şekil 4.7). Yine eşleştirilmiş yüz ağ yapısı da tüm hesaplanan bölge yüzeyinde Şekil 4.4'teki gibi seçilmiştir.

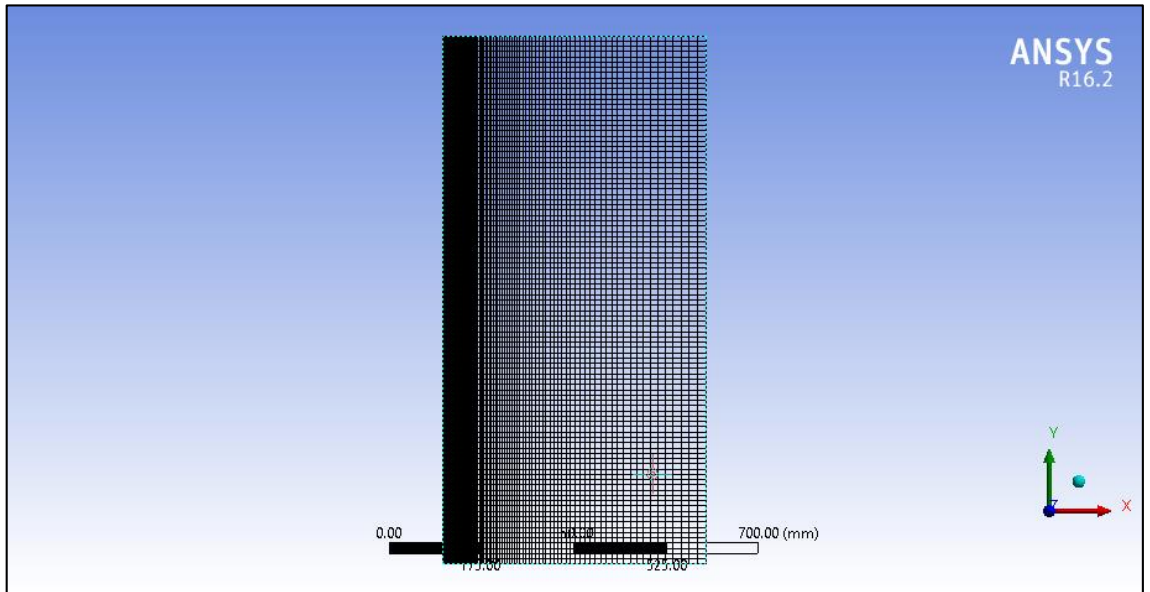


Şekil 4.6 Uzun kenarların 100 eşit parça olarak programda boyutlandırılması



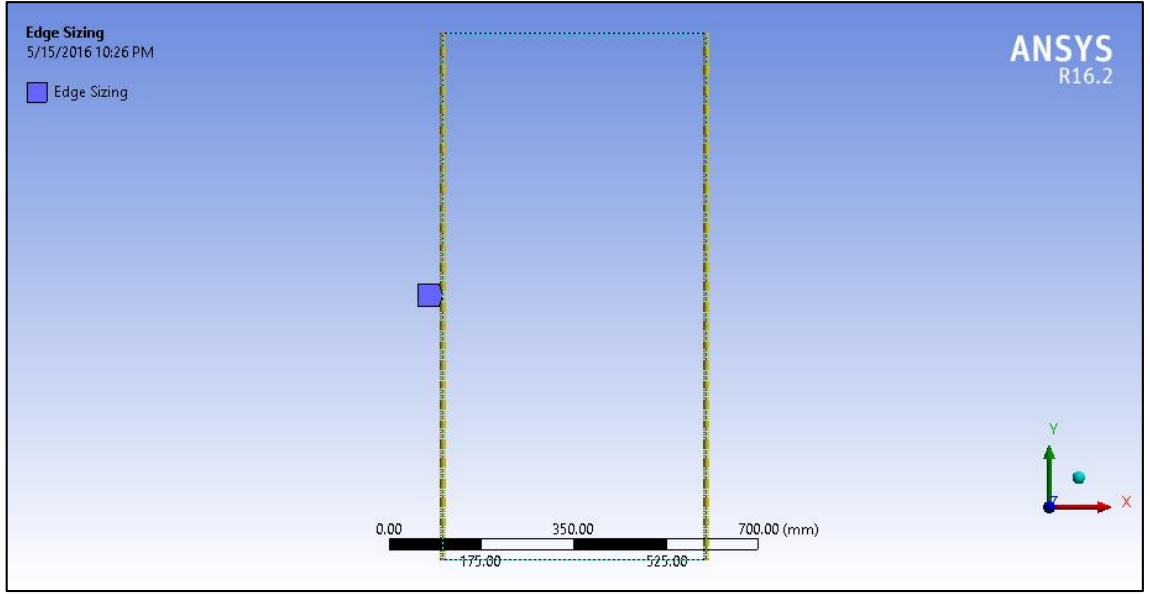
Şekil 4.7 Kısa kenarların 100 parçaya bölünerek Bias faktörü ile programda boyutlandırılması

10000 elemandan (100x100) oluşan ağ yapısı, aynı zamanda 10201 adet düğüm noktasına sahiptir (Şekil 4.8). Ağ yapısının çarpıklığını gösteren skewness, maksimum değeri $1,3079 \times 10^{-10}$ olarak program tarafından belirtilmiştir.

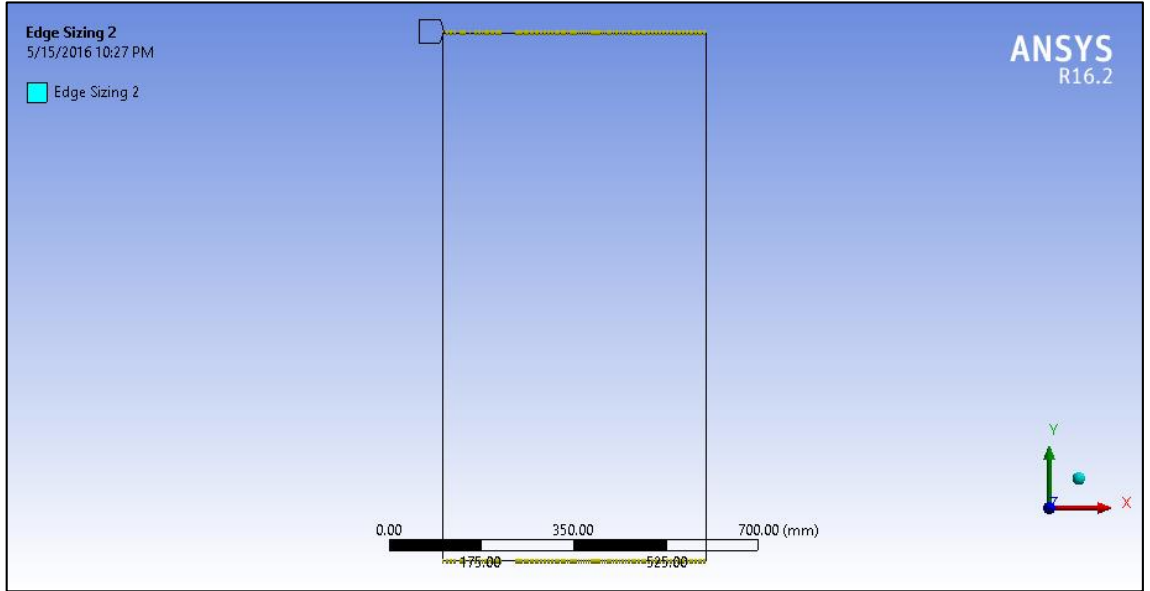


Şekil 4.8 10000 elemanlı (100x100) ağ yapısının programda oluşturulması

Üçüncü, ince sıklıktaki ağ yapısı için uzun kenarlar, 200 eşit parçaya bölünmüştür (Şekil 4.9). Kısa kenarlar da 200 parçaya bölünerek, Bias faktörü olarak 25 girilmiştir (Şekil 4.10). Yine eşleştirilmiş yüz ağ yapısı da tüm hesaplanan bölge yüzeyinde Şekil 4.4'teki gibi seçilmiştir.

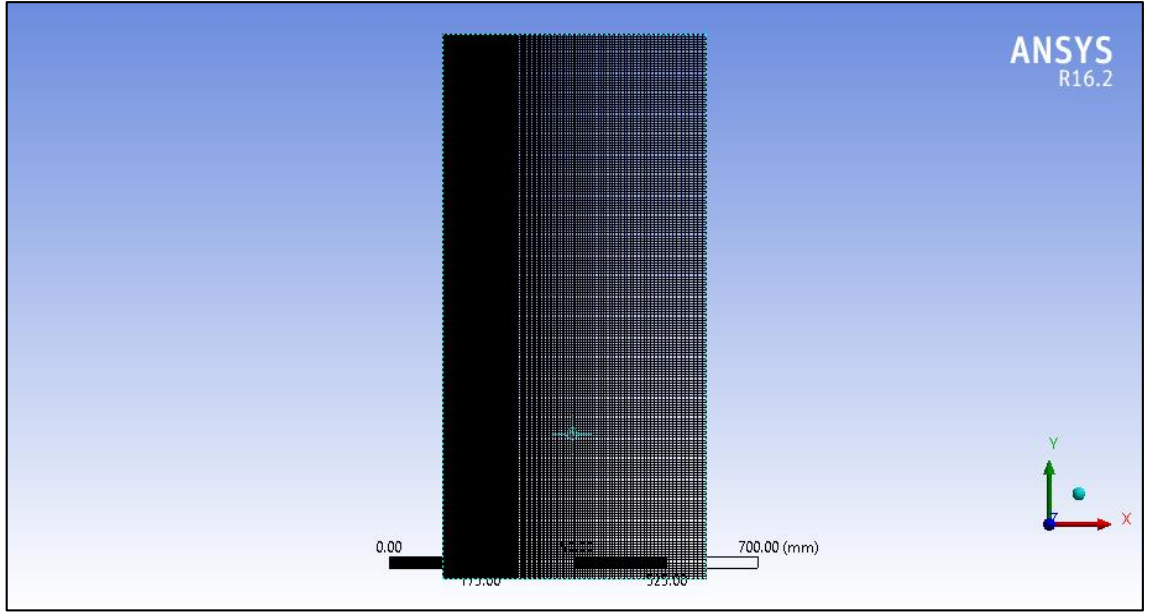


Şekil 4.9 Uzun kenarların 200 eşit parça olarak programda boyutlandırılması



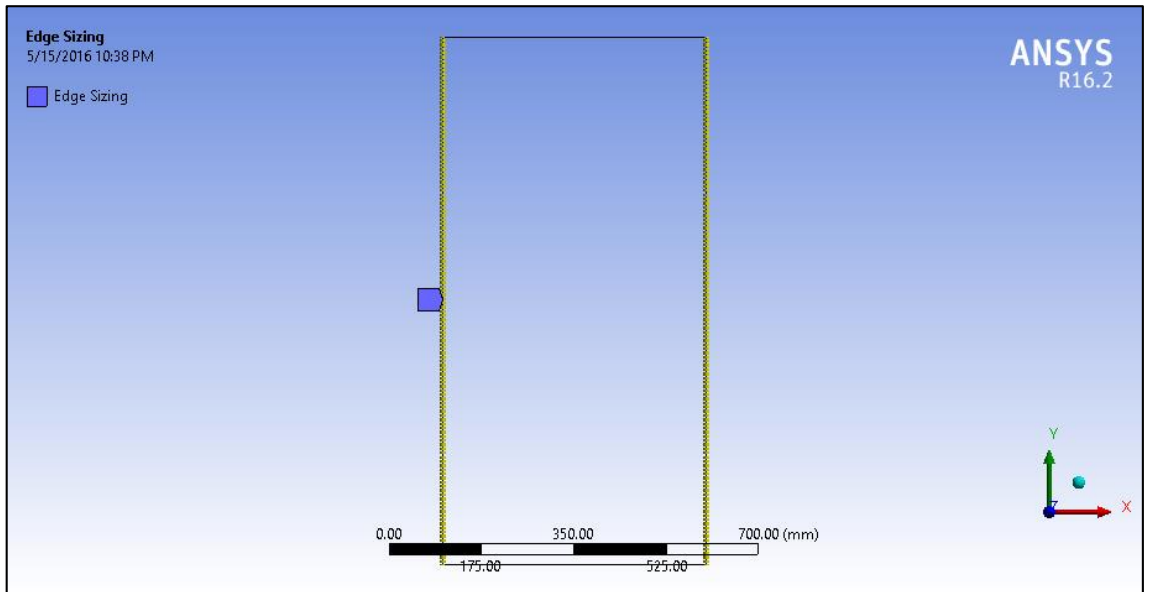
Şekil 4.10 Kısa kenarların 200 parçaya bölünerek Bias faktörü ile programda boyutlandırılması

40000 elemandan (200x200) oluşan ağ yapısı, aynı zamanda 40401 adet düğüm noktasına sahiptir (Şekil 4.11). Ağ yapısının çarpıklığını gösteren skewness, maksimum değeri $1,3106 \times 10^{-10}$ olarak program tarafından belirtilmiştir.

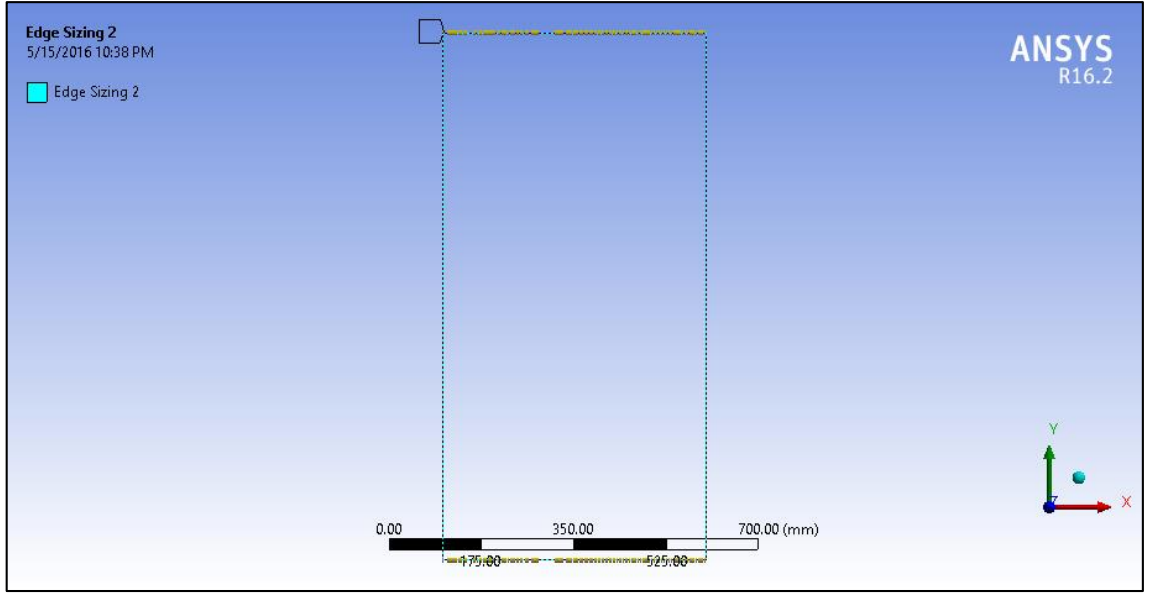


Şekil 4.11 40000 elemanlı (200x200) ağ yapısının programda oluşturulması

Dördüncü ağ yapısı için ise uzun kenarlar 300 eşit parçaya bölünmüştür (Şekil 4.12). Kısa kenarlar da 300 parçaya bölünerek, Bias faktörü olarak 25 girilmiştir (Şekil 4.13). Yine eşleştirilmiş yüz ağ yapısı da tüm hesaplanan bölge yüzeyi Şekil 4.4'teki gibi seçilmiştir.

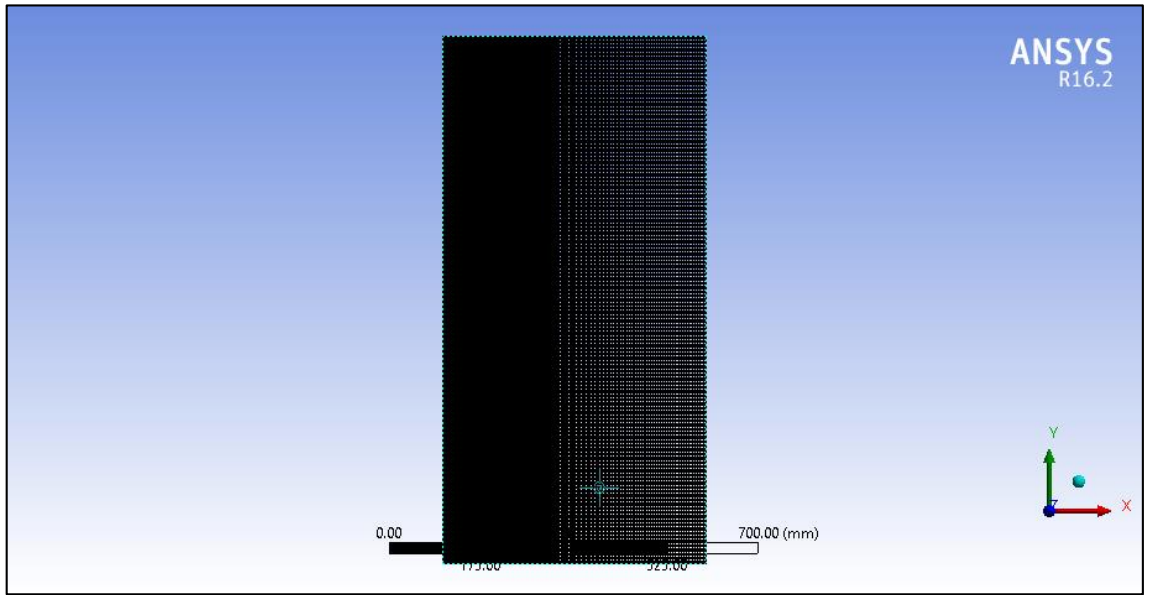


Şekil 4.12 Uzun kenarların 300 eşit parça olarak programda boyutlandırılması



Şekil 4.13 Kısa kenarların 300 parçaya bölünerek Bias faktörü ile programda boyutlandırılması

90000 elemandan (300x300) oluşan ağ yapısı, aynı zamanda 90601 adet düğüm noktasına sahiptir (Şekil 4.14). Ağ yapısının çarpıklığını gösteren skewness, maksimum değeri $1,3137 \times 10^{-10}$ olarak program tarafından belirtilmiştir.



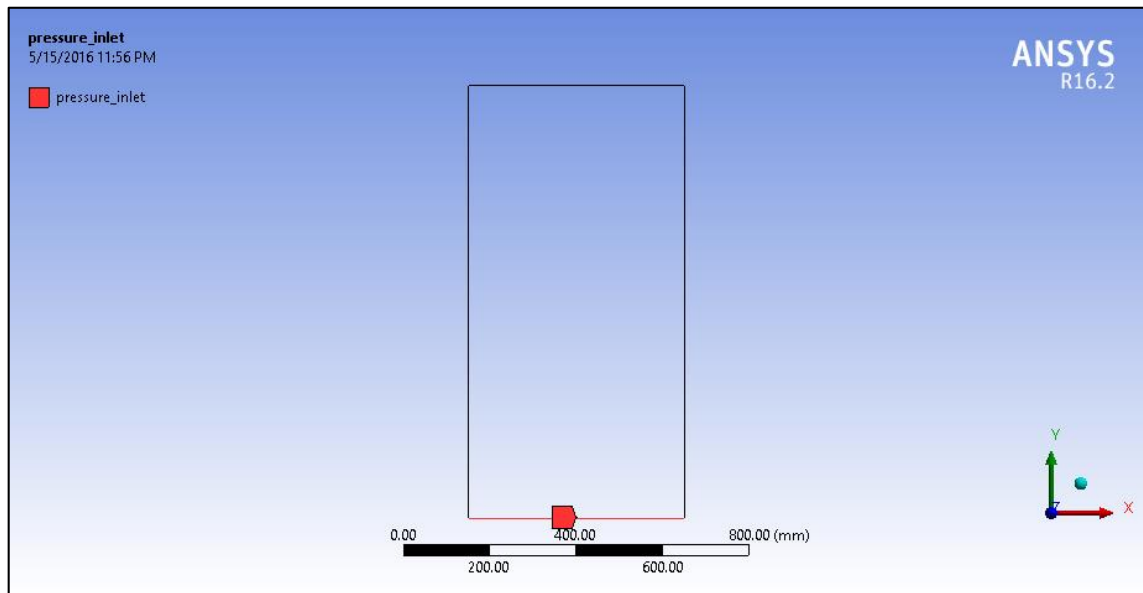
Şekil 4.14 90000 elemanlı (300x300) ağ yapısının programda oluşturulması

4.3 Sınır Şartlarının Programda Oluşturulması

İki hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümü için, hareket denklemleri, hesaplama bölgesi ve hatta ağ bile aynı olabilmesine karşın, modellenen akışın türü, uygulanan sınır şartları tarafından belirlenir. Doğru bir çözüm elde edebilmek için uygun sınır şartları gerekir.

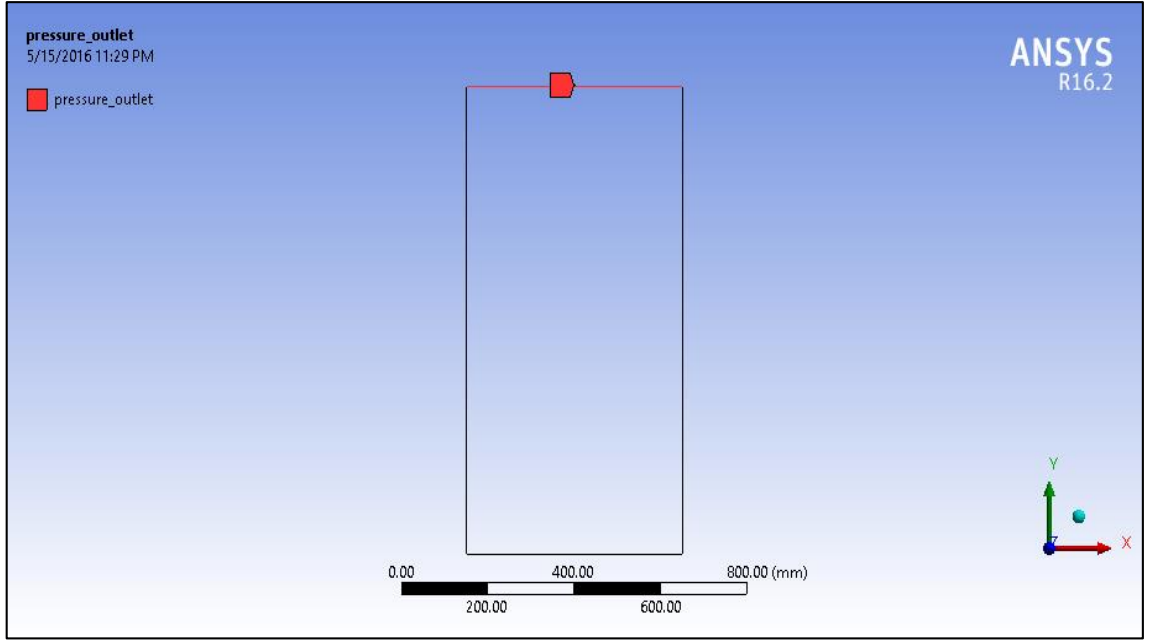
Akışkanın hesaplama bölgesine girdiği veya bu bölgeden çıktığı sınırlarda birkaç seçenek söz konusudur. Bunlar genellikle ya hızı belirtilmiş şartlar ya da basıncı belirtilmiş şartlar olarak sınıflandırılır. Doğal taşınımında, akışkanın hızı önceden öngörülemediğinden, giriş ve çıkış şartlarının her ikisi için de basınç sınır şartı verilmelidir.

Bu bağlamda, dikey plakada alt kenara basınç girişi şartı verilmiştir (Şekil 4.15).



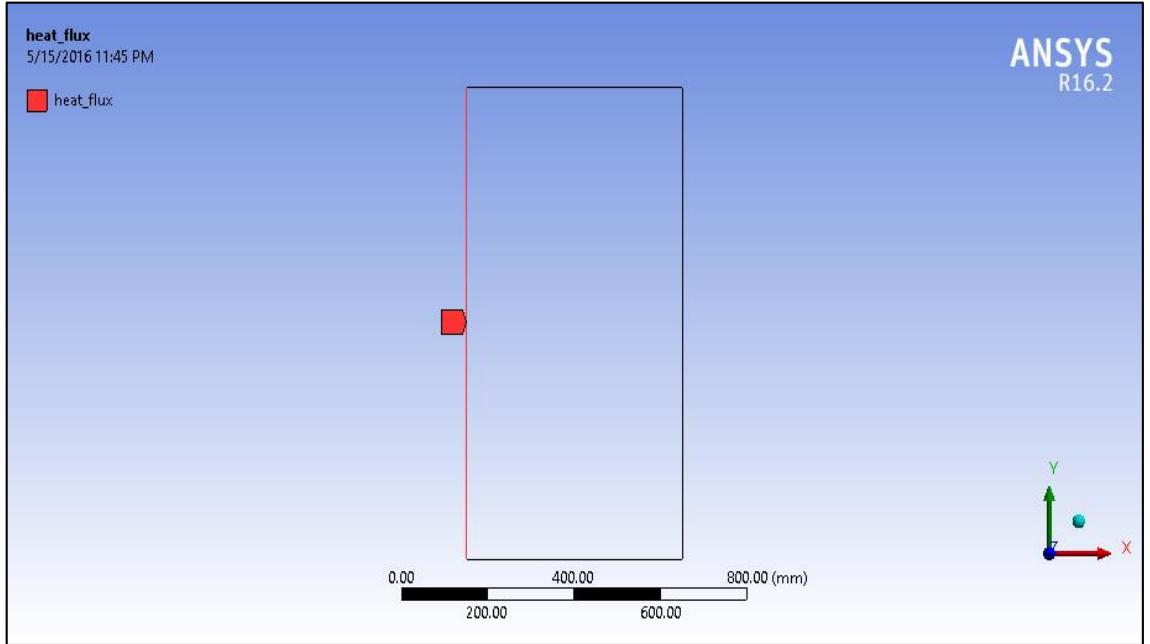
Şekil 4.15 Basınç giriş şartının programa tanıtılması

Basınç çıkışında ise akışkan, hesaplama bölgesinden dışarı akar. Statik basıncı, çıkış kenarı boyunca belirtiriz ve genellikle çıkış şartı atmosferik basınçtır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Basınç çıkış şartının programa tanıtılması

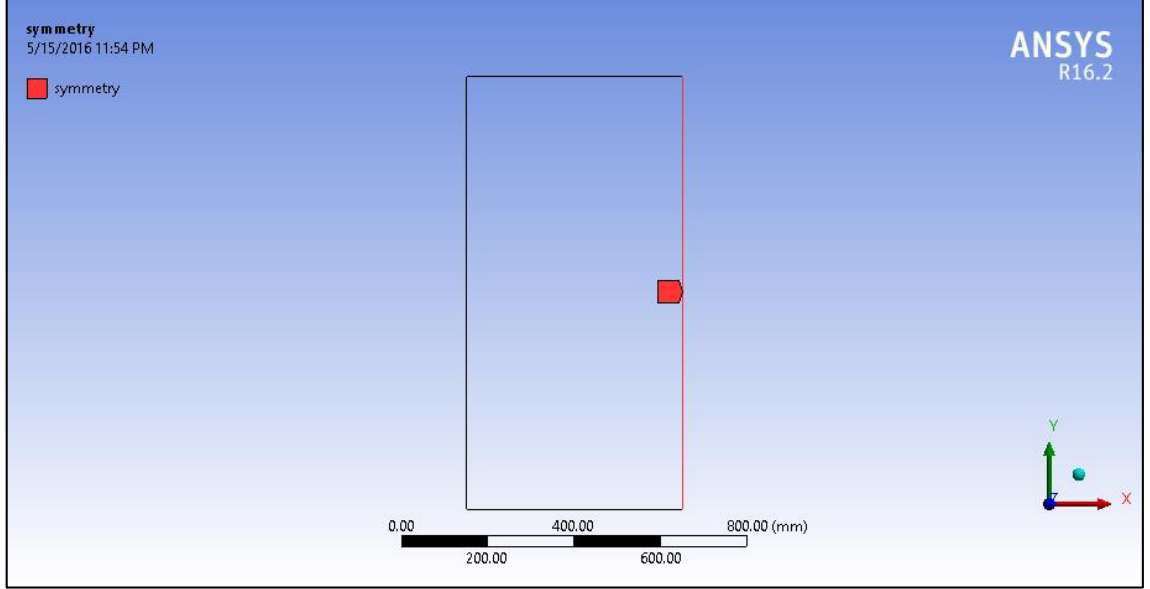
En basit sınır şartı, çepere ait olandır. Sol uzun duvar, bu sebeple sabit ısı akısı şartıdır ve kenar boyunca sabittir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Sabit ısı akısı şartının programa tanıtılması

Akışkan çeperden geçemeyeceği için, üzerinde çeper sınır şartının verileceği bir kenar boyunca, çepere göre hızın normal bileşeni sıfır alınır. Buna ek olarak, kaymama koşulundan ötürü, durağan bir çeper üzerindeki hız bileşeni de genellikle sıfırdır.

Simetri sınır şartı, akış alanı değişkenlerinin simetri düzleminin karşısında ayna görüntülerinin oluşmasını sağlar (Şekil 4.18). Bir veya daha fazla simetri şartı bulunan akışlarda, hesaplanan bölgenin bir parçası modellenir ve bu sayede iterasyon süreci azalır.



Şekil 4.18 Simetri sınır şartının programa tanıtılması

Sınır şartları, iki boyutlu geometrideki tüm kenarlar için belirtilmiştir. Bu noktada, Fluent programı çalıştırılır.

4.4 Fluent Basamakları

Geometrinin oluşturulup, uygun şekilde bir ağ yapısı kurgulanarak ki; bu çalışmada kaba (Şekil 4.5), orta (Şekil 4.8), ince (Şekil 4.11) ve çok ince (Şekil 4.14) olmak üzere, her bir sabit ısı akısı sınır şartı için toplamda dört değişik şekilde oluşturulmuştur, sınır şartlarının da programa tanıtılmasıyla, akışın çözümleneceği Fluent arayüzüne geçiş yapılır.

Öncelikle ağ yapısının kontrol edilerek, herhangi bir sorun olmadığından emin olunmalıdır. Çözümleme basınca dayalı olup, sürekli şartta incelenmiştir. Doğal taşınımın oluşmasındaki etkileri nedeniyle, yerçekimi ivmesinin analizlerde önemi büyüktür. Bu nedenle, yerçekimi ivmesi olarak $-y$ yönünde $9,81 \text{ m/s}^2$, hesaplama bölgesinin dik olduğunu ifade eder (Şekil 4.19).

General

Mesh

Scale... Check Report Quality

Display...

Solver

Type

☒ Pressure-Based ☐ Density-Based

Velocity Formulation

☒ Absolute ☐ Relative

Time

☒ Steady ☐ Transient

2D Space

☒ Planar ☐ Axisymmetric ☐ Axisymmetric Swirl

☒ Gravity Units...

Gravitational Acceleration

X (m/s²) 0 P

Y (m/s²) -9.81 P

Z (m/s²) 0 P

Şekil 4.19 Hesaplanacak bölgenin analizinin yapılmadan kontrol edilmesi gerekli genel bölüm

Model olarak, enerji denklemi ifadesi açık olarak değiştirilmiş, akışın türü Mathcad'de hesaplanan değiştirilmiş Rayleigh sayılarının, laminar bölgede olmasından dolayı, laminar olarak bırakılmıştır (Şekil 4.20).

Models

Models

Multiphase - Off

Energy - On

Viscous - Laminar

Radiation - Surface to Surface (S2S)

Heat Exchanger - Off

Species - Off

Discrete Phase - Off

Solidification & Melting - Off

Acoustics - Off

Edit...

Şekil 4.20 Akışa ait modellerin belirlendiği kısım

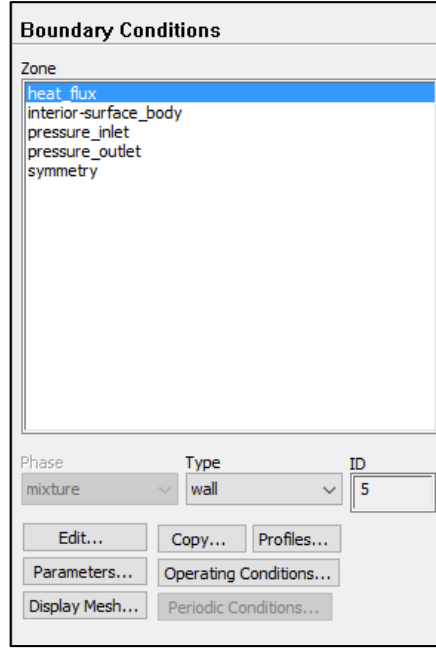
Vliet'in [2] yapmış olduğu deneylerinin sonuçlarında, kullanmış olduğu plakanın yüzeyinden yayılan ısıtımın da etkisi göz önüne alınmış ve buna bağlı olarak (1.13)'ü önermiştir. Bu sebeple, Fluent analizinde ısıtımın yüzeyden yüzeye (surface to surface-S2S) olduğu model kullanılarak, analizdeki ısıtımın etkisi de dikkate alınmıştır (Şekil 4.20).

Akışkan olarak kullanılan havanın özellikleri, bir sonraki adımda belirtilmelidir. Havanın yoğunluğu, Boussinesq yaklaşımı ile programa girilir. Küçük yoğunluk farklarında, sıcaklık ve hız profilleri için hassas sonuçlar alınmak istendiğinden bu seçenek kullanılmıştır. Aşağıda 400 W/m² sabit ısı akısındaki hava özellikleri örnek olarak gösterilmiştir. (Şekil 4.21).

The screenshot shows the 'Create/Edit Materials' dialog box in ANSYS Fluent. The 'Name' field is set to 'air'. The 'Material Type' is 'fluid'. The 'Chemical Formula' field is empty. The 'Fluent Fluid Materials' dropdown is set to 'air'. The 'Mixture' dropdown is set to 'none'. The 'Order Materials by' section has 'Name' selected. The 'Properties' section shows: Density (kg/m3) set to 'boussinesq' with a value of 1.01164; Cp (Specific Heat) (J/kg-K) set to 'constant' with a value of 1008.8; Thermal Conductivity (W/m-K) set to 'constant' with a value of 0.02963; and Viscosity (kg/m-s) set to 'constant' with a value of 2.0584e-05. Buttons at the bottom include 'Change/Create', 'Delete', 'Close', and 'Help'.

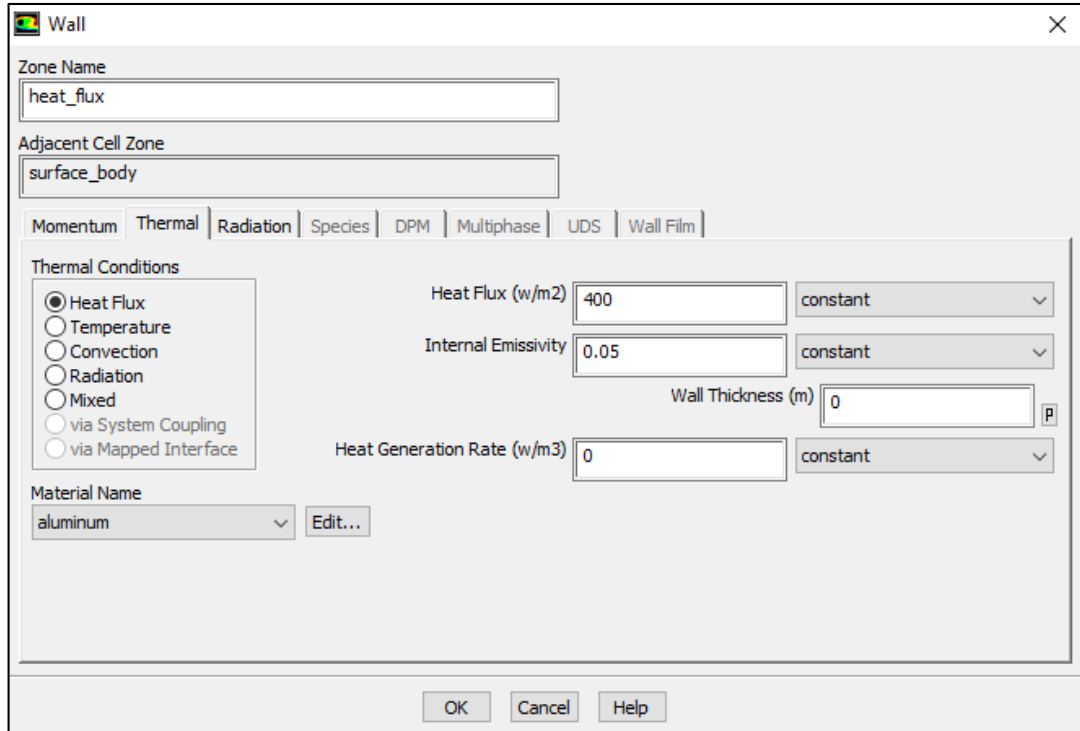
Şekil 4.21 400 W/m²'ye ait havanın özellikleri

Sınır şartları altındaki sekmede, daha önceden ağ yapısını oluştururken, kenarlara verilmiş olunan isimlendirmelerin, bu arayüzde otomatik olarak sınır şartları adlarını aldığı görülmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22 Sınır şartlarının programdaki görünümü

Isı akısının sırasıyla 400, 600, 800 ve 1000 W/m² değerlerini aldığı daha önce belirtilmişti. Örnek olması açısından aşağıda verilen ısı akısı şartı için 400 W/m² değeri görülmektedir (Şekil 4.23). Diğer sınır şartlarının tümü, ısı akısının değişmesinden bağımsız olarak aynıdır.



Şekil 4.23 Isı akısı sınır şartı değerinin programa girilmesi

Aşağıdaki şekillerde ise atmosferik basınç giriş ve çıkış şartlarına ait sınır koşulları görülmektedir (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).

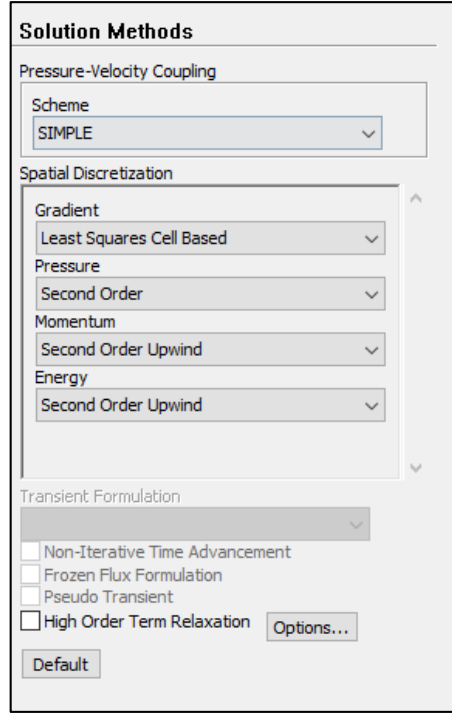
The screenshot shows the 'Pressure Inlet' dialog box. The 'Zone Name' field is set to 'pressure_inlet'. The 'Momentum' tab is selected. The 'Reference Frame' is set to 'Absolute'. The 'Gauge Total Pressure (pascal)' is set to '0' with a 'constant' specification. The 'Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal)' is also set to '0' with a 'constant' specification. The 'Direction Specification Method' is set to 'Normal to Boundary'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Şekil 4.24 Atmosferik basınç giriş sınır şartı

The screenshot shows the 'Pressure Outlet' dialog box. The 'Zone Name' field is set to 'pressure_outlet'. The 'Momentum' tab is selected. The 'Gauge Pressure (pascal)' is set to '0' with a 'constant' specification. The 'Backflow Direction Specification Method' is set to 'Normal to Boundary'. There are two unchecked checkboxes: 'Average Pressure Specification' and 'Target Mass Flow Rate'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Şekil 4.25 Atmosferik basınç çıkış sınır şartı

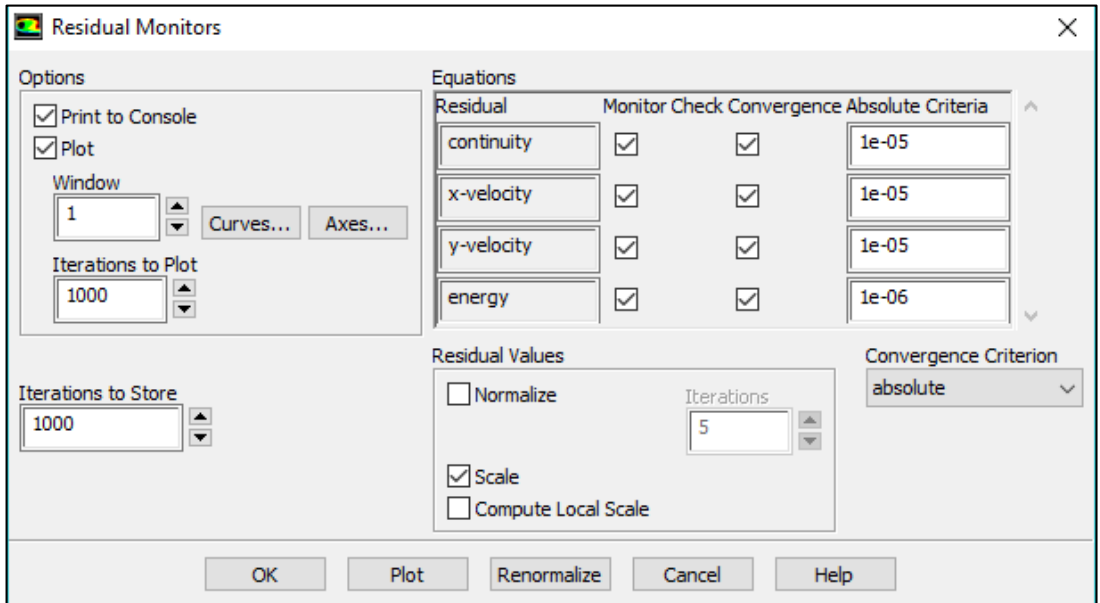
Simetri sınır şartında belirtilmesi gereken herhangi bir veri veya değer yoktur. Bu noktada çözüme geçilir. Çözüm için kullanılan yöntemler, SIMPLE (The Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations) algoritmasına göre gerçekleştirilmiştir. Basınç, momentum ve enerji denklemleri ikinci dereceden upwind kullanılarak, daha hassas çözümler elde edilmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Çözüm yöntemine ait detaylar

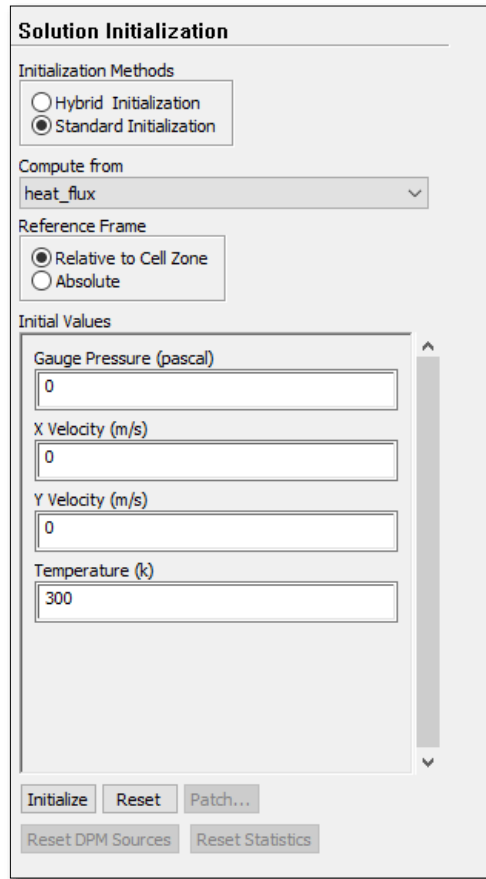
Çözüm kontrollerine ait bölümde, alt başlık olan gevşeme faktörleri varsayılan haliyle bırakılmıştır.

Artık monitör (residual monitors) sekmesi altında, süreklilik, x'deki hız ve y'deki hızların mutlak kriter değerleri, 10^{-3} olan varsayılmış değerden 10^{-5} 'e çıkarılarak sonuçların daha hassas olması sağlanmıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 Mutlak kriter değerlerinin değiştirilip sonucun hassaslaştırılması

İterasyonu başlatmadan önce her koşulun sağlandığını; başka bir deyişle, çözümün normal şekilde ilerleyebileceği anlamında, programda ilk kullanıma hazırlama (initialization) yapılmalıdır. İki türlü programı çözüme hazırlama seçeneği vardır ve bunlar; standart ve hibrit hazırlamadır. Daha az karmaşık modellerde, genellikle standart hazırlama yapılırken, türbülanslı akış vb. gibi komplike durumlarda hibrit hazırlama yapılabilir. Hibrit hazırlama, tüm sınır şartlarından otomatik olarak gerçekleştirilirken, standart hazırlama için herhangi bir sınır şartından itibaren hesaplama gibi bir seçenek de mevcuttur. Bu çalışmada standart hazırlama kullanılmış olup, sabit ısı akısına maruz kalan yüzeyden itibaren hesaplama yapılarak, çözüme giden iterasyon sayısında azalma sağlamak istenmiştir (Şekil 4.28).



Solution Initialization

Initialization Methods

☐ Hybrid Initialization
☒ Standard Initialization

Compute from
heat_flux

Reference Frame
☒ Relative to Cell Zone
☐ Absolute

Initial Values

Gauge Pressure (pascal)
0

X Velocity (m/s)
0

Y Velocity (m/s)
0

Temperature (K)
300

Initialize Reset Patch...
Reset DPM Sources Reset Statistics

Şekil 4.28 Programı ilk kullanıma (iterasyona) hazırlama

Tüm bu hazırlık işlemlerinden sonra ise iterasyon sayısı girilerek, çözüm başlatılmıştır (Şekil 4.29).

Şekil 4.29 İterasyon sayısının girilerek çözümün başlatılması

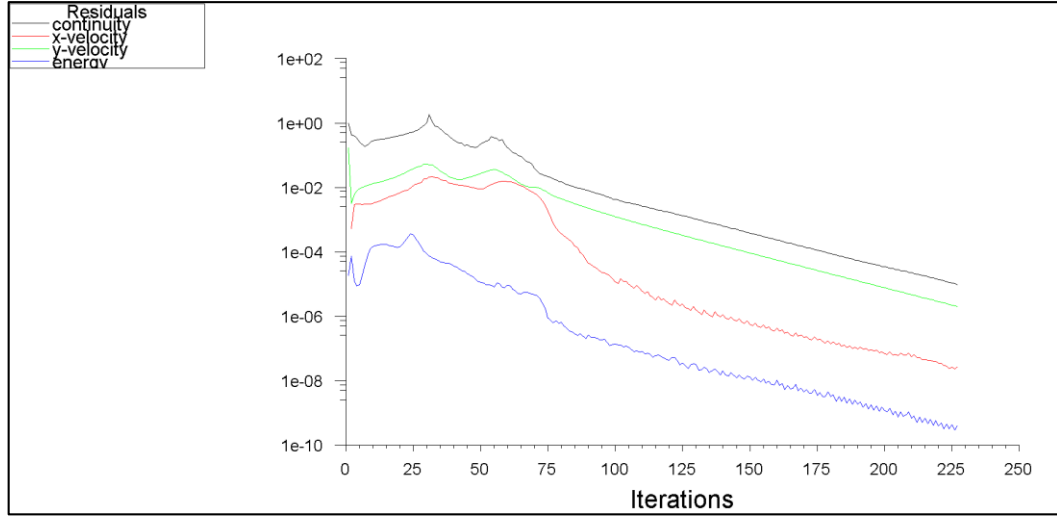
Aşağıdaki çizelgede, her bir ısı akısı ve onlara ait dört farklı ağ yapısı için iterasyonun bittiği adım sayıları görülmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Ağ yapılarına ve ısı akısı değerlerine göre iterasyonun bittiği adımlar

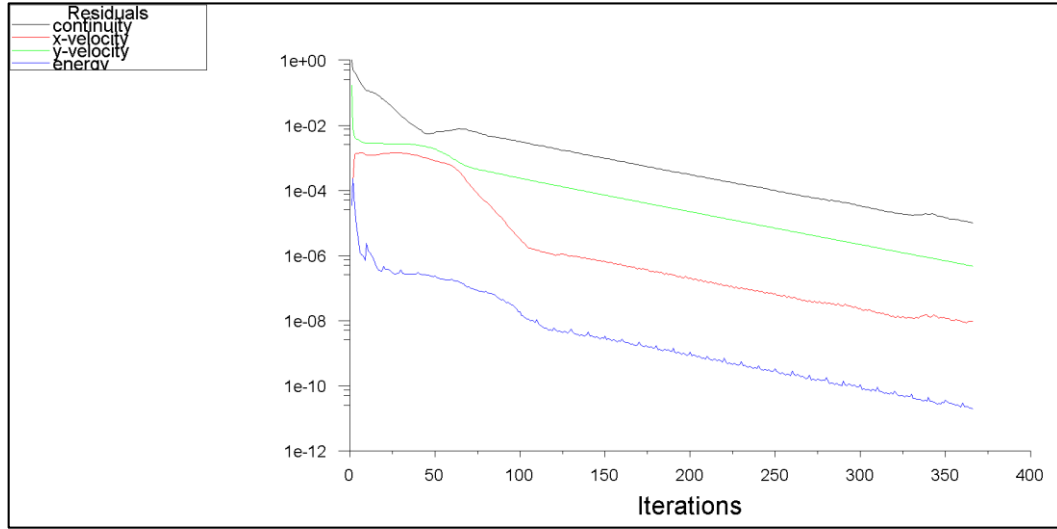
Ağ yapısı \ q_w	400 W/m ²	600 W/m ²	800 W/m ²	1000 W/m ²
50x50	227	218	219	211
100x100	366	360	368	375
200x200	879	917	855	845
300x300	1388	1379	1355	1323

Çizelge 4.1'den de anlaşılacağı üzere, artan ağ yapısı sayısı nedeniyle, iterasyon sayısı artmıştır. Ancak ileriki bölümlerde, sonucun ağ yapısının artmasıyla (daha ince), ne kadar daha gerçeğe yakın olduğu paylaşılmıştır.

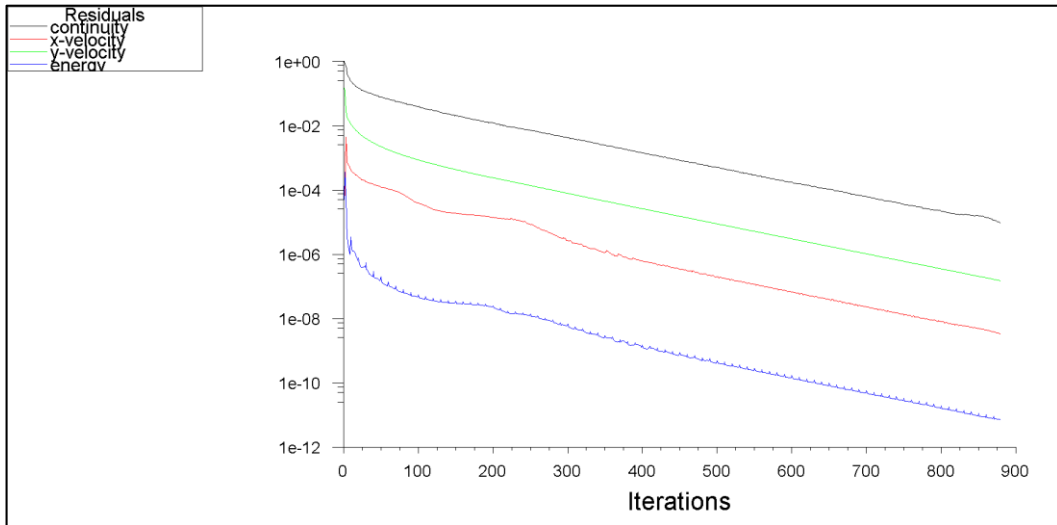
Çizelge 4.1'deki iterasyonların bittiği adımlara, nasıl ulaşıldığı ise aşağıdaki şekillerde görülmektedir (Şekil 4.30 - 4.45).



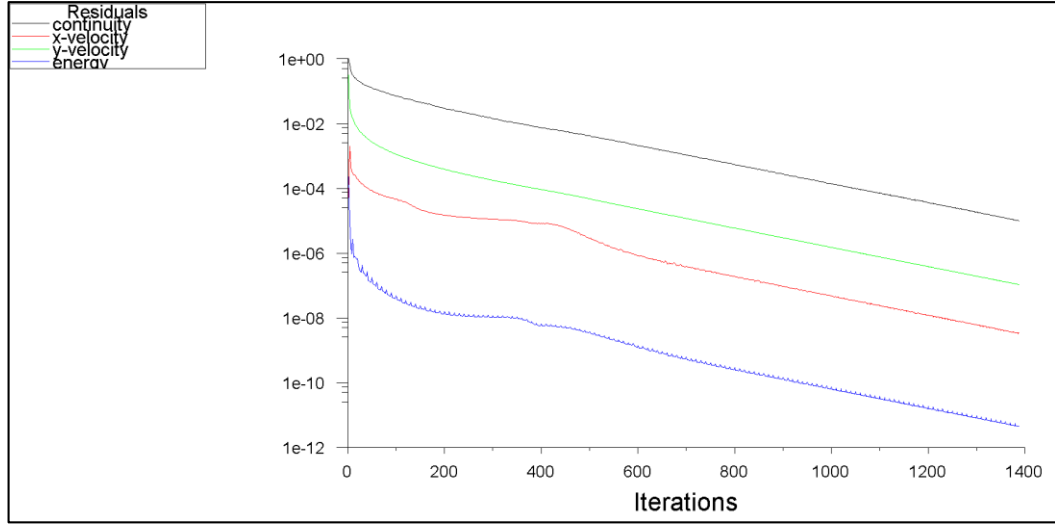
Şekil 4.30 400 W/m^2 ısı akısında 50×50 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



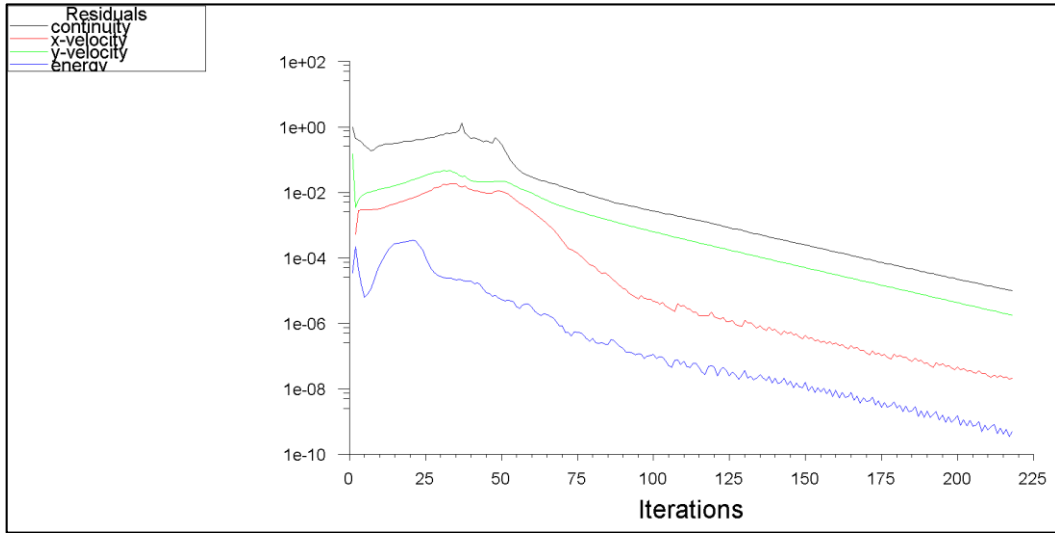
Şekil 4.31 400 W/m^2 ısı akısında 100×100 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



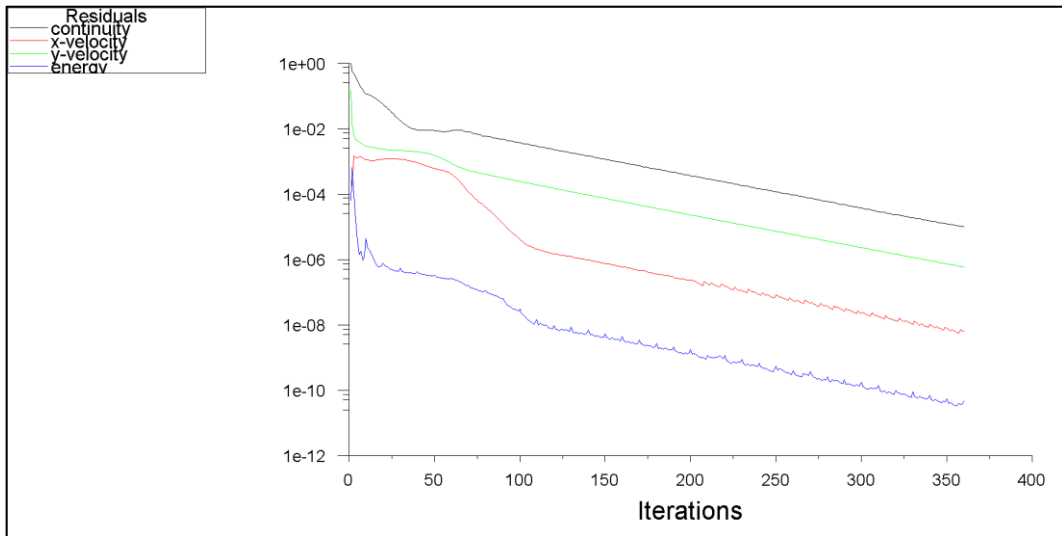
Şekil 4.32 400 W/m^2 ısı akısında 200×200 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



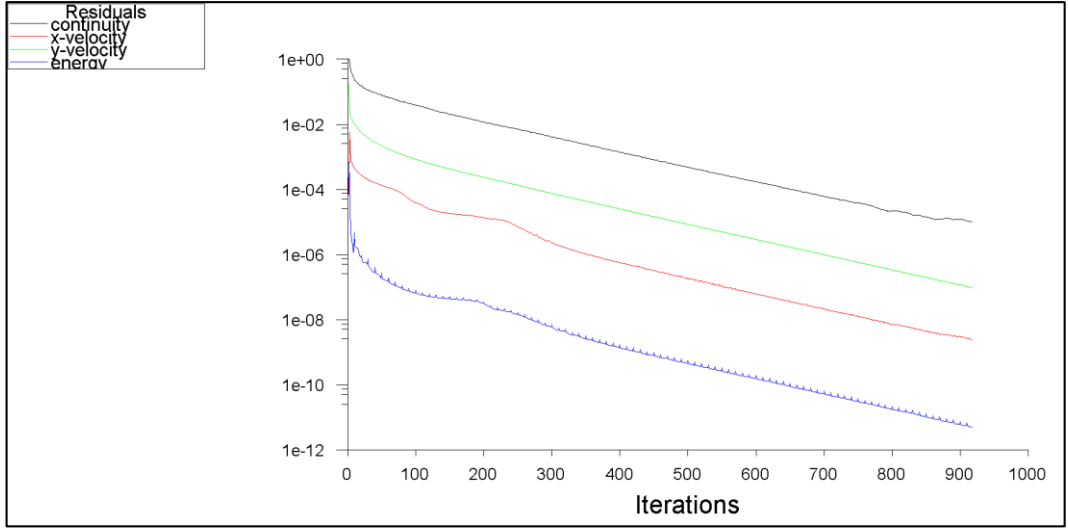
Şekil 4.33 400 W/m² ısı akısında 300x300 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



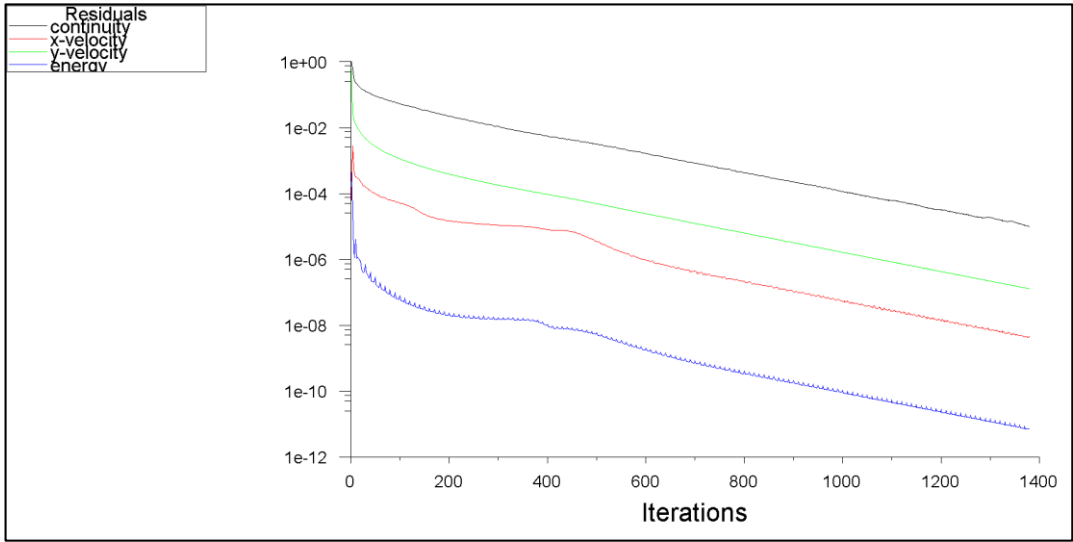
Şekil 4.34 600 W/m² ısı akısında 50x50 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



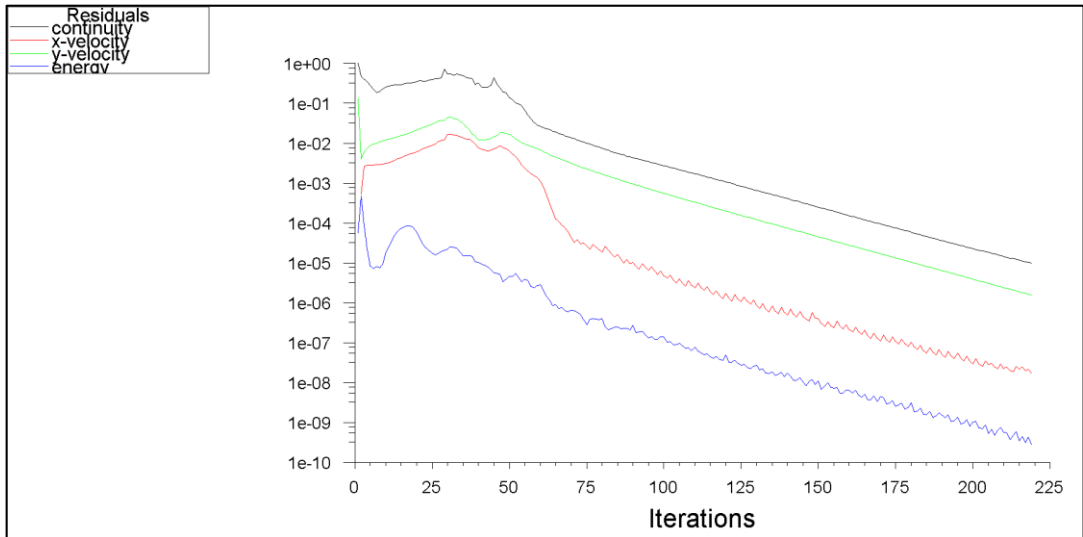
Şekil 4.35 600 W/m² ısı akısında 100x100 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



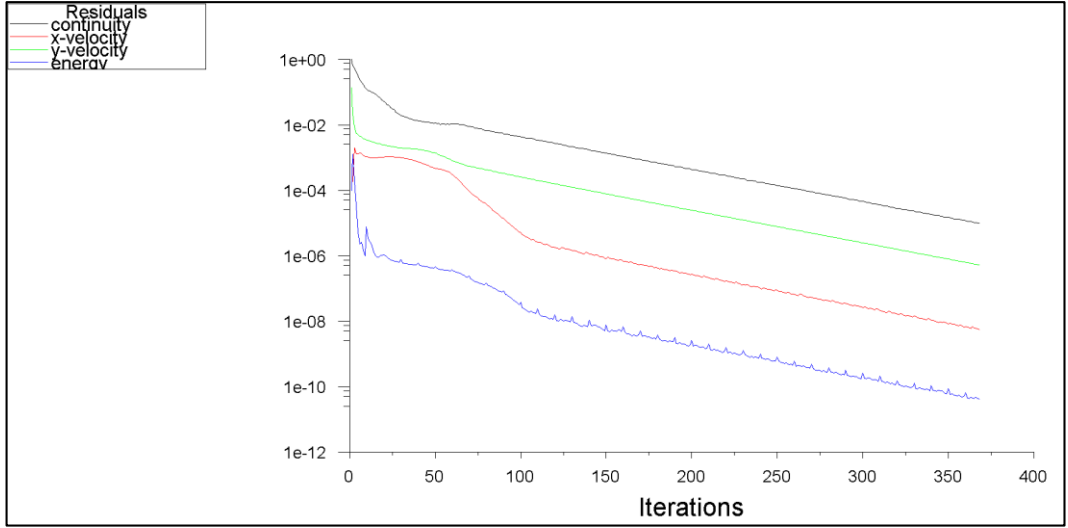
Şekil 4.36 600 W/m² ısı akısında 200x200 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



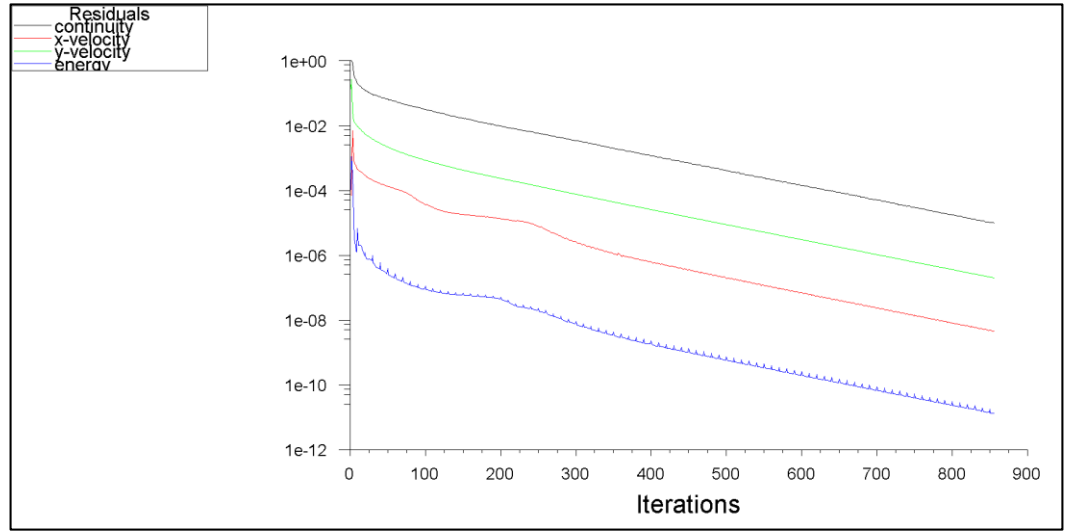
Şekil 4.37 600 W/m² ısı akısında 300x300 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



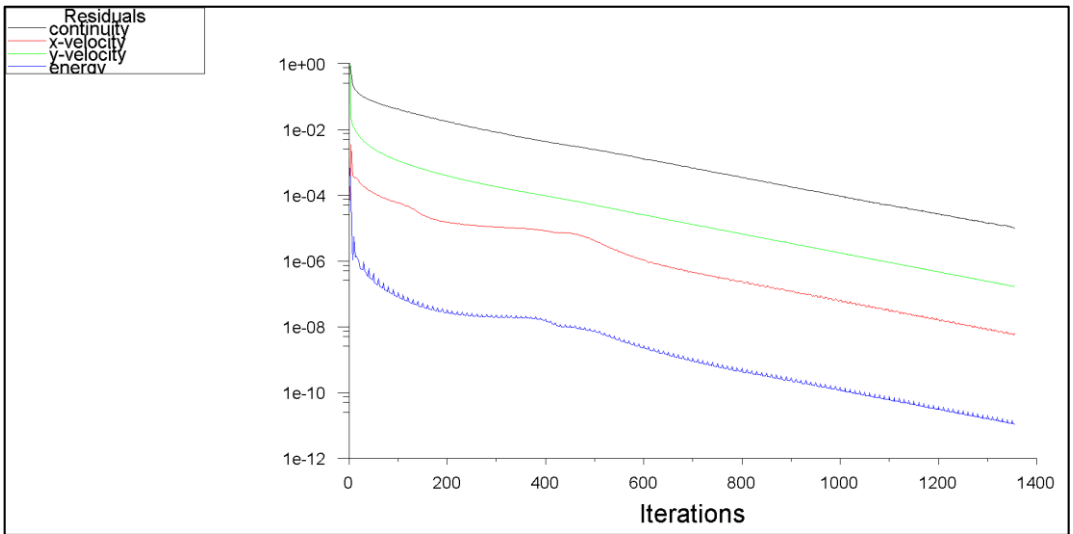
Şekil 4.38 800 W/m² ısı akısında 50x50 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



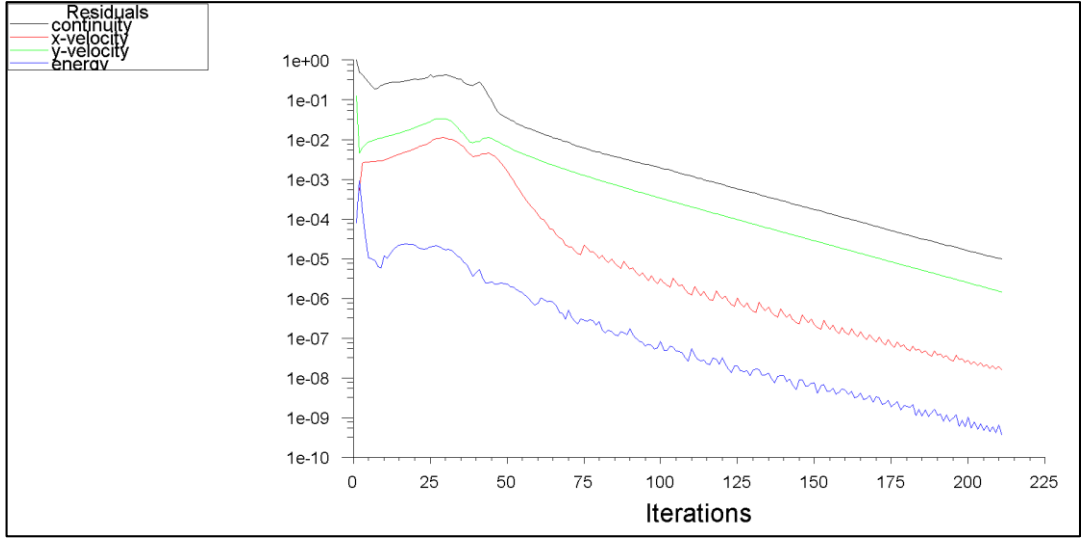
Şekil 4.39 800 W/m^2 ısı akısında 100×100 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



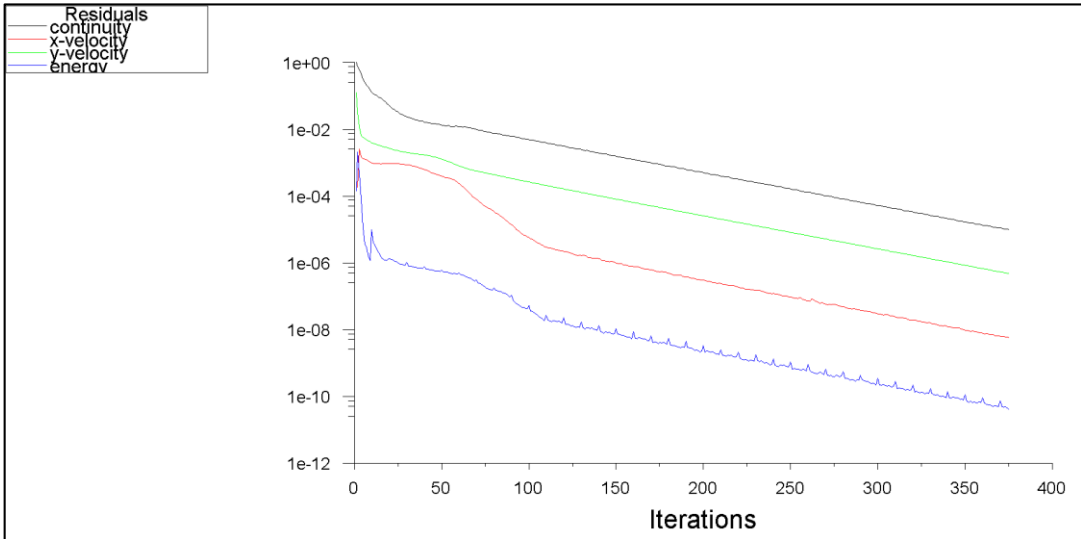
Şekil 4.40 800 W/m^2 ısı akısında 200×200 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



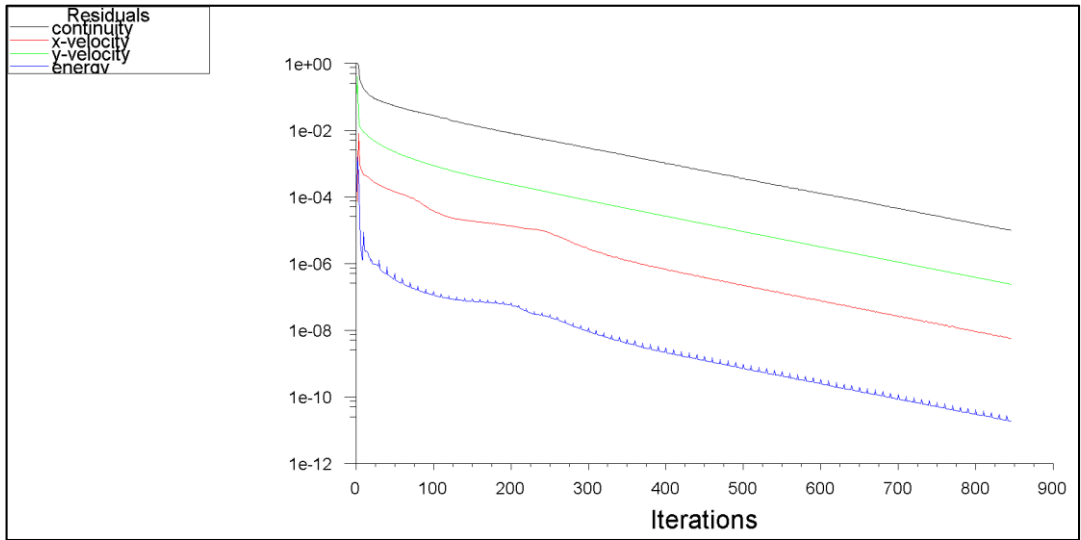
Şekil 4.41 800 W/m^2 ısı akısında 300×300 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



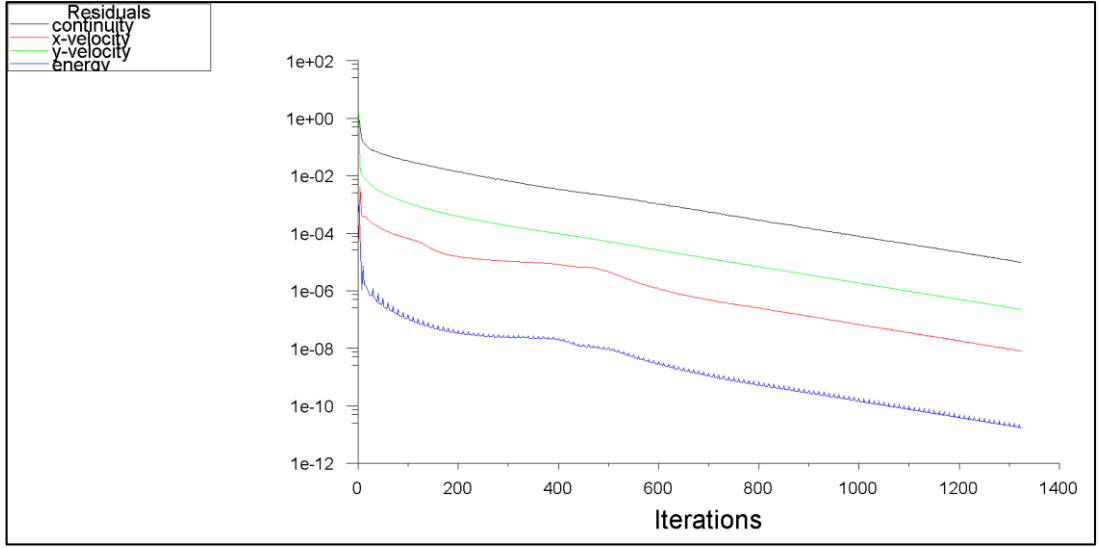
Şekil 4.42 1000 W/m^2 ısı akısında 50x50 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



Şekil 4.43 1000 W/m^2 ısı akısında 100x100 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



Şekil 4.44 1000 W/m^2 ısı akısında 200x200 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci



Şekil 4.45 1000 W/m^2 ısı akısında 300×300 ağ yapılı modele ait iterasyon süreci

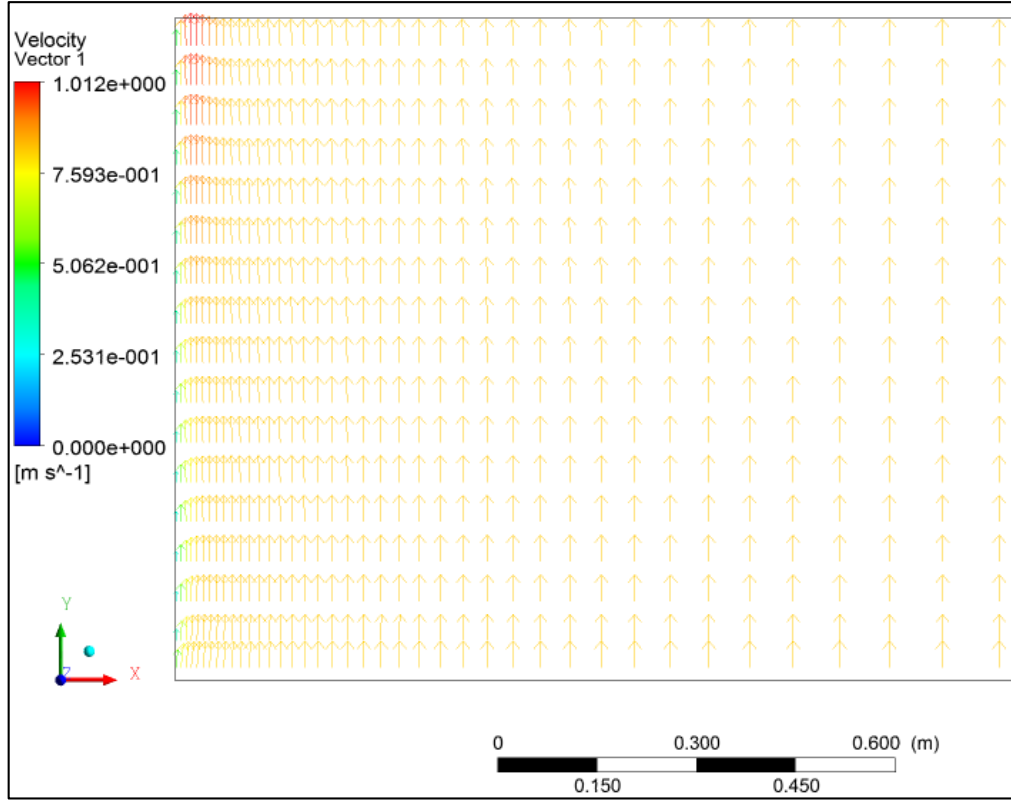
SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 CFD Analizi Sonuçları ve İrdeleme

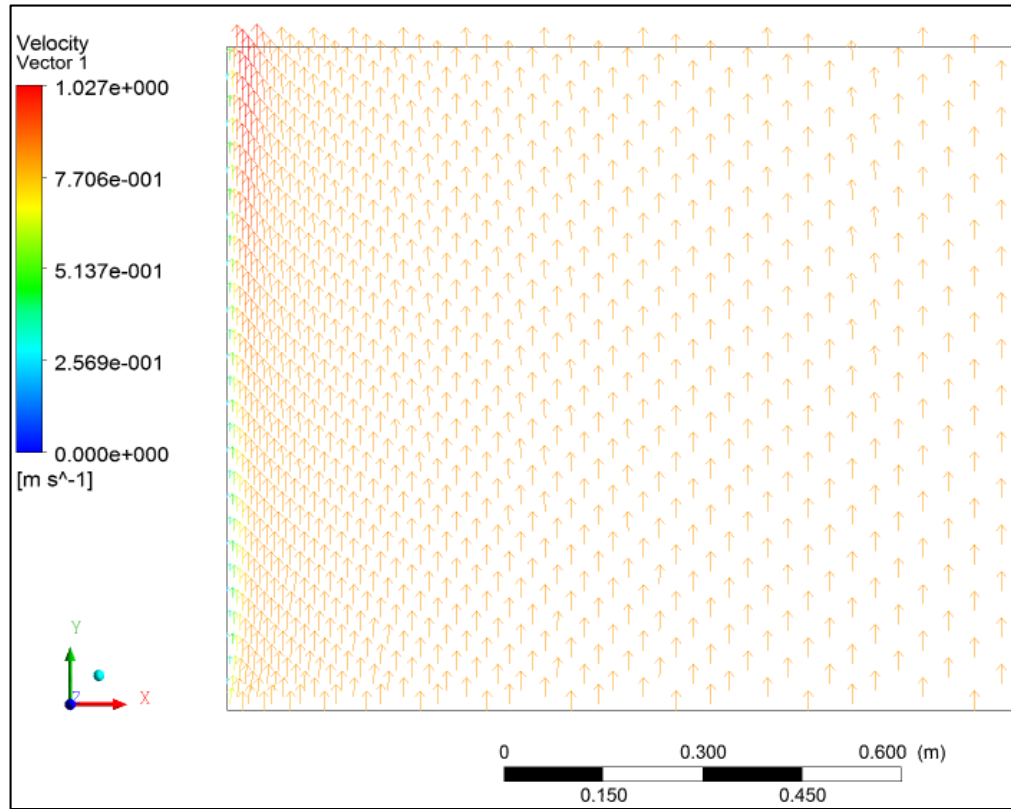
Dikey bir plakanın, sabit ısı akısına maruz kalmasından oluşan yüzey sıcaklıkları ve yüzeyin yakınındaki havanın hızı ile hareketi, iterasyonun bitmesiyle tespit edilmiştir. Sonuçlar aşağıda detaylı olarak paylaşılmıştır.

5.1.1 Hava Hızları

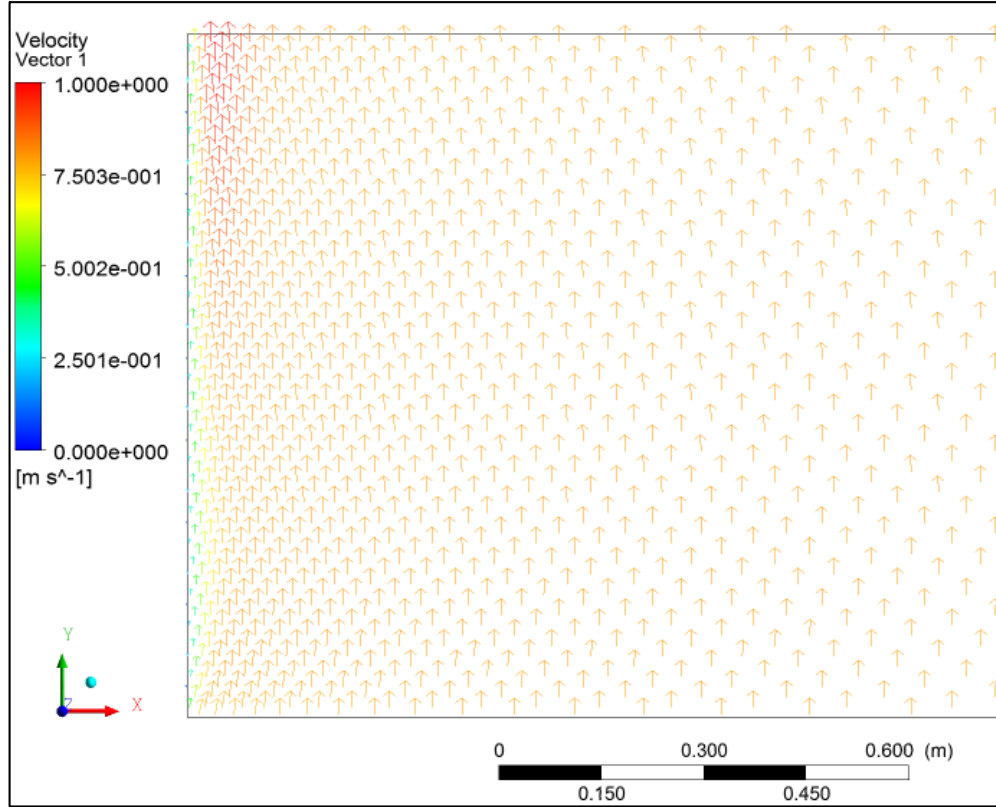
Dikey plakanın yakınındaki hava hızları ve havanın hareketine dair detaylar, aşağıdaki şekillerde paylaşılmıştır. Ağ yapısının gitgide incilmesi nedeniyle, hava hızlarını gösteren oklar, gerçek ölçüsünde görünemeyecek kadar küçük kaldığından, hava hızlarının detaylı görülebilmesi açısından belirli ölçeklerde büyütülerek paylaşılmıştır.



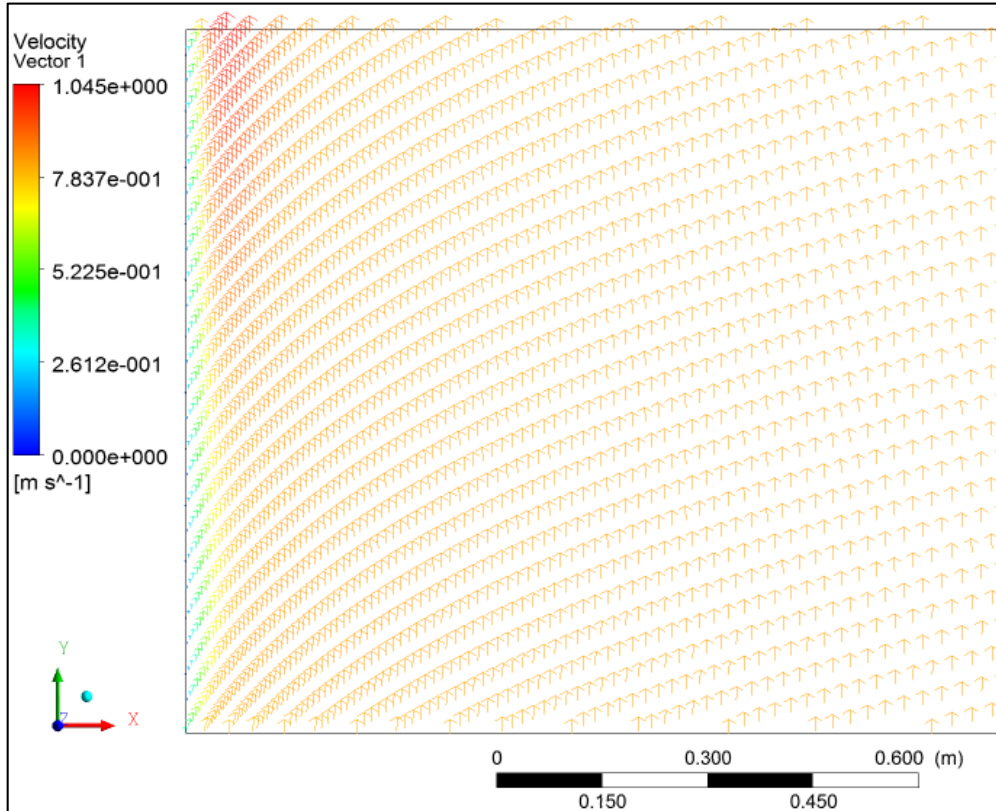
Şekil 5.1 400 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 50x50 ağ yapılı havanın hareketi



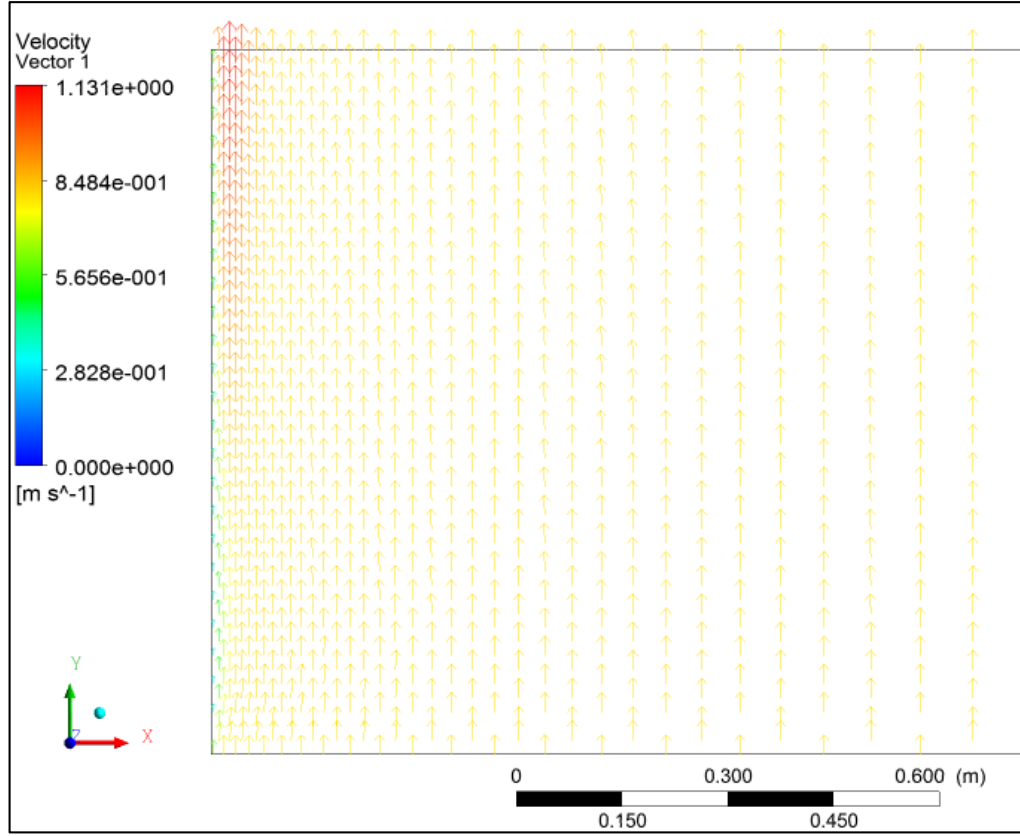
Şekil 5.2 400 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 100x100 ağ yapılı havanın hareketi



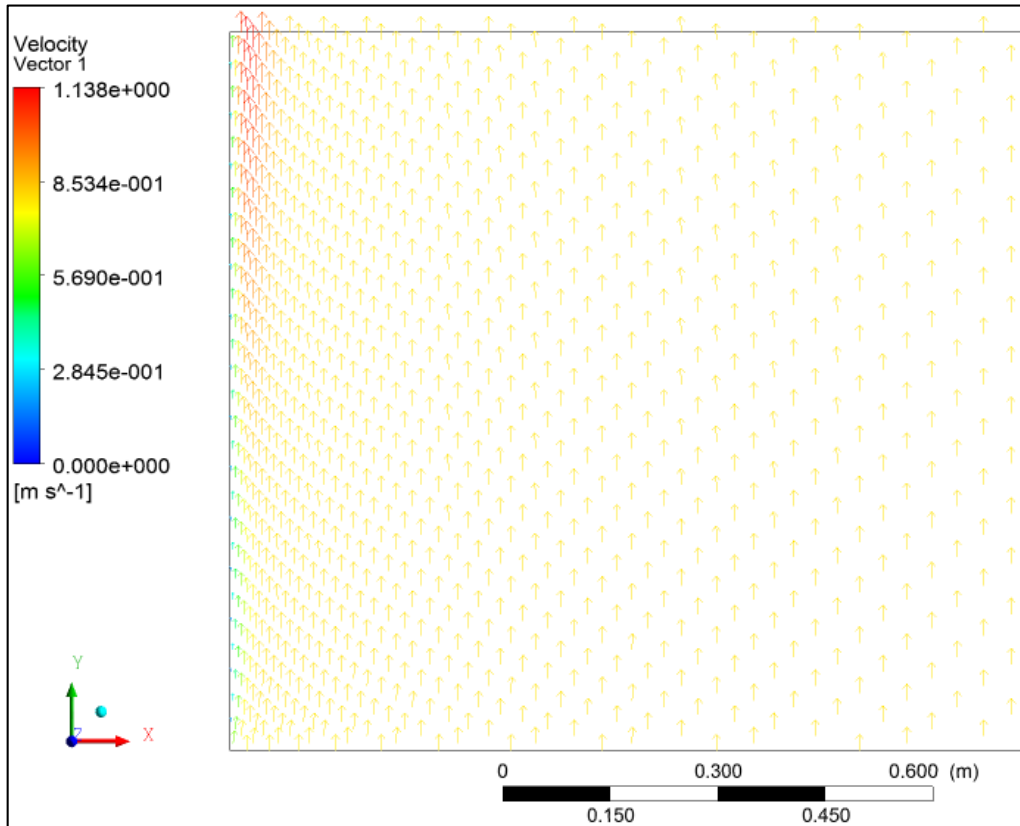
Şekil 5.3 400 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 200x200 ağ yapılı havanın hareketi



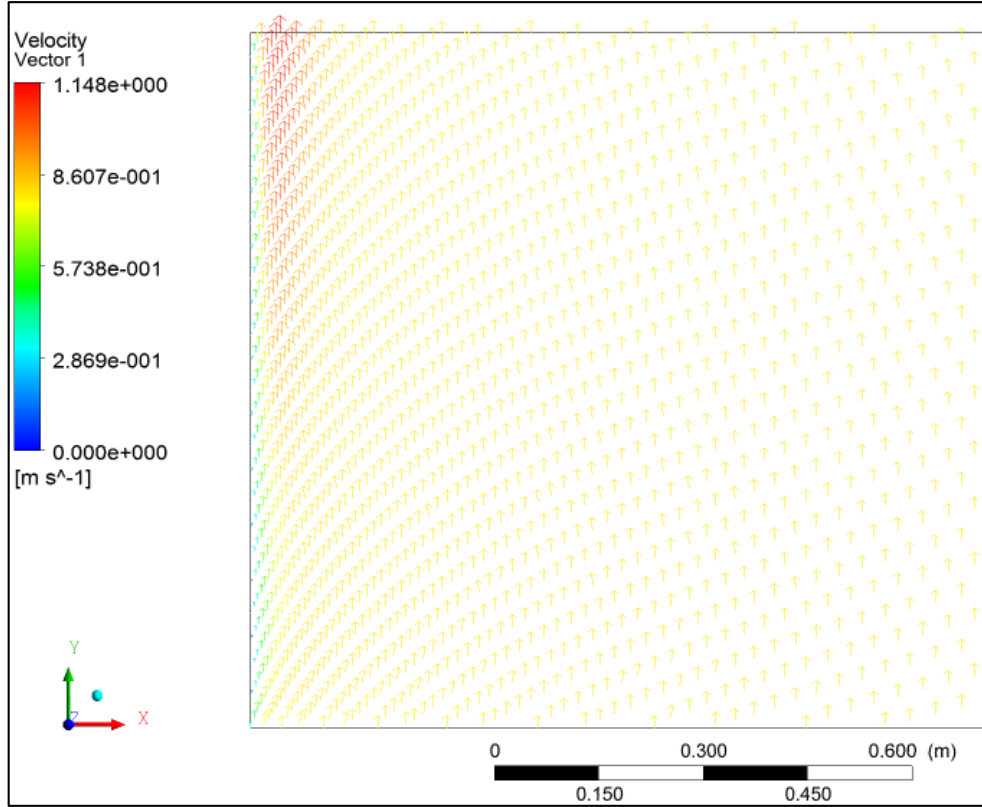
Şekil 5.4 400 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 300x300 ağ yapılı havanın hareketi



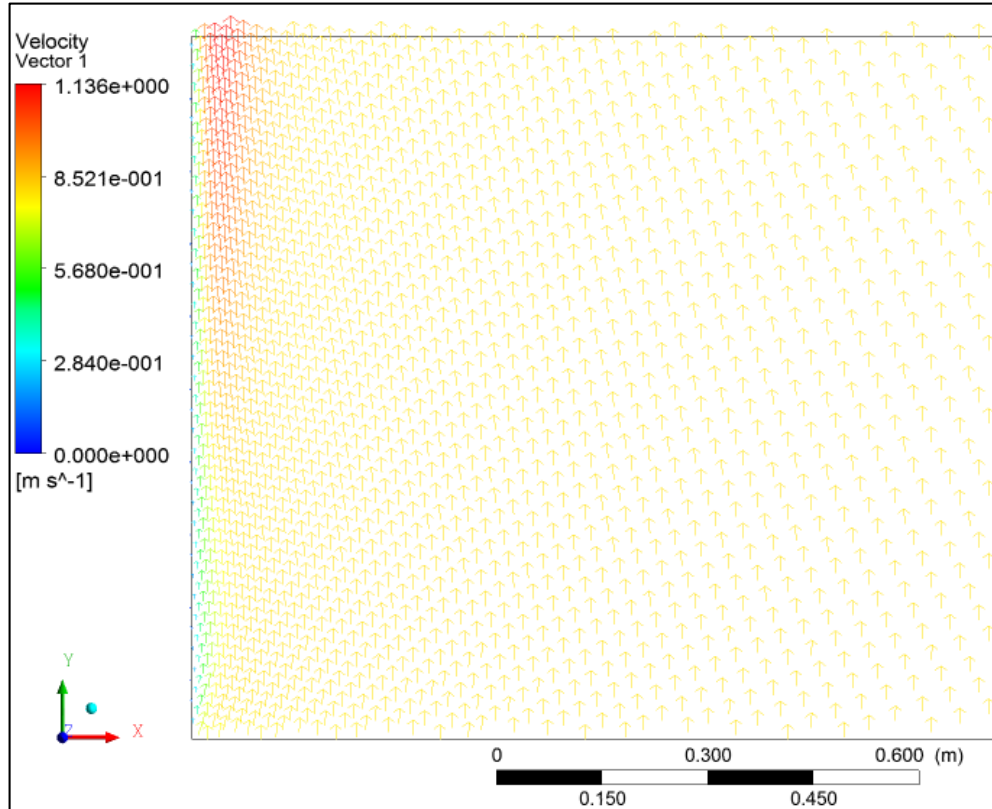
Şekil 5.5 600 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 50x50 ağ yapılı havanın hareketi



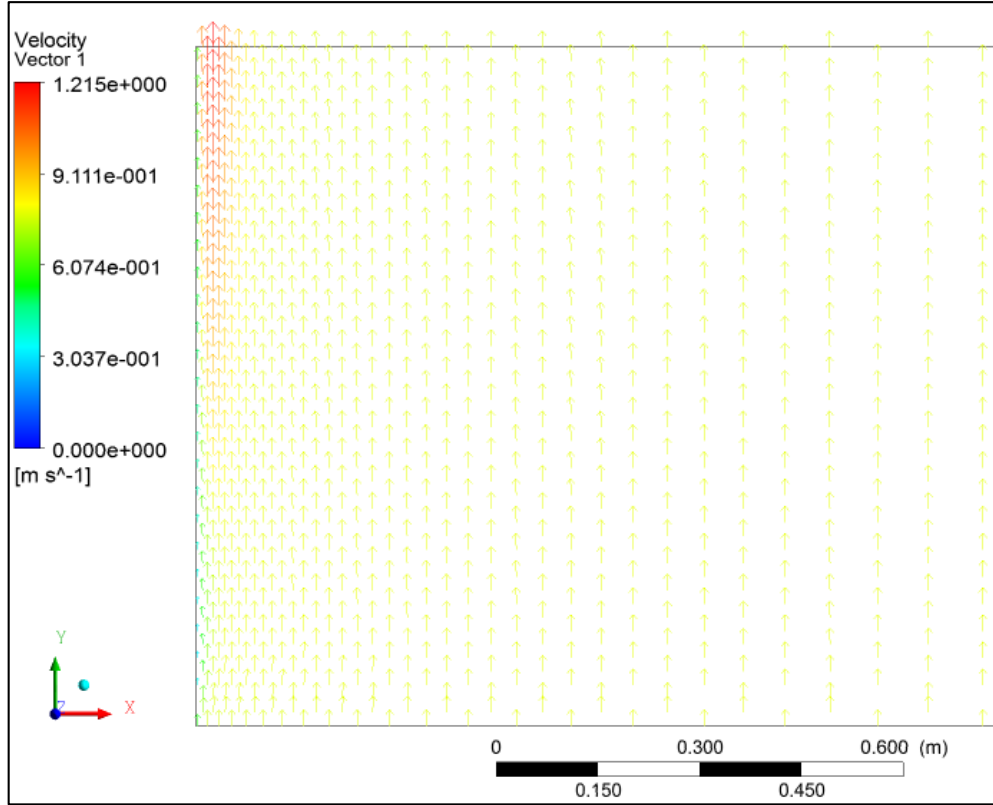
Şekil 5.6 600 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 100x100 ağ yapılı havanın hareketi



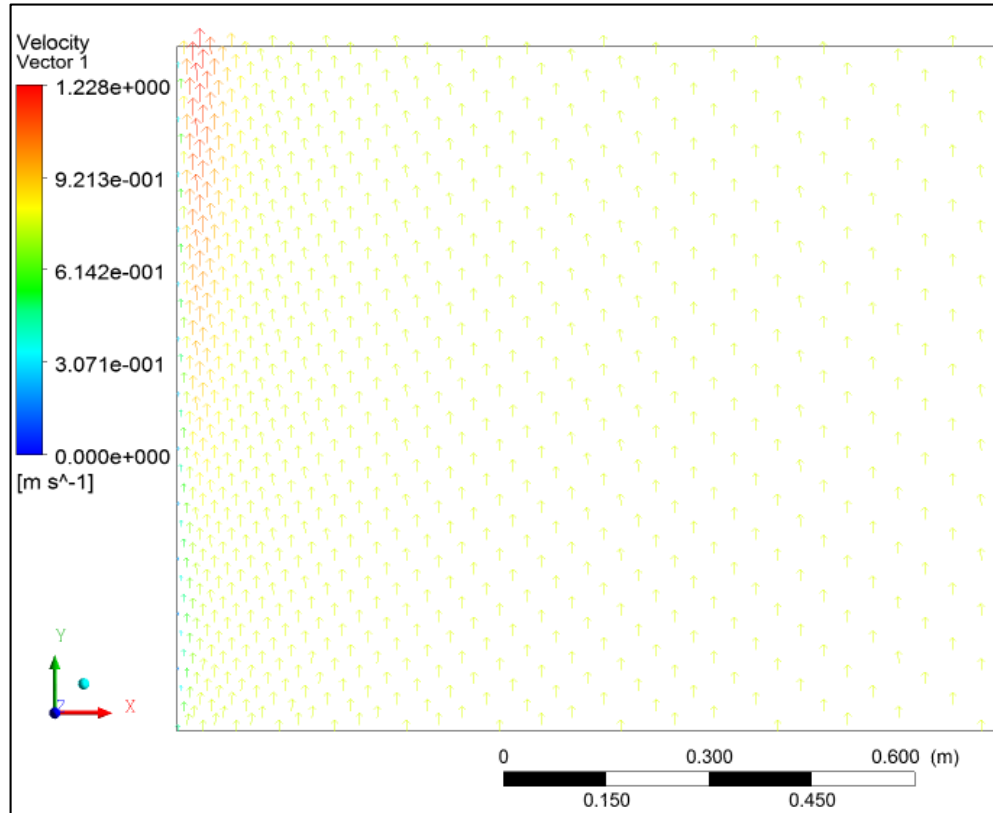
Şekil 5.7 600 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 200x200 ağ yapılı havanın hareketi



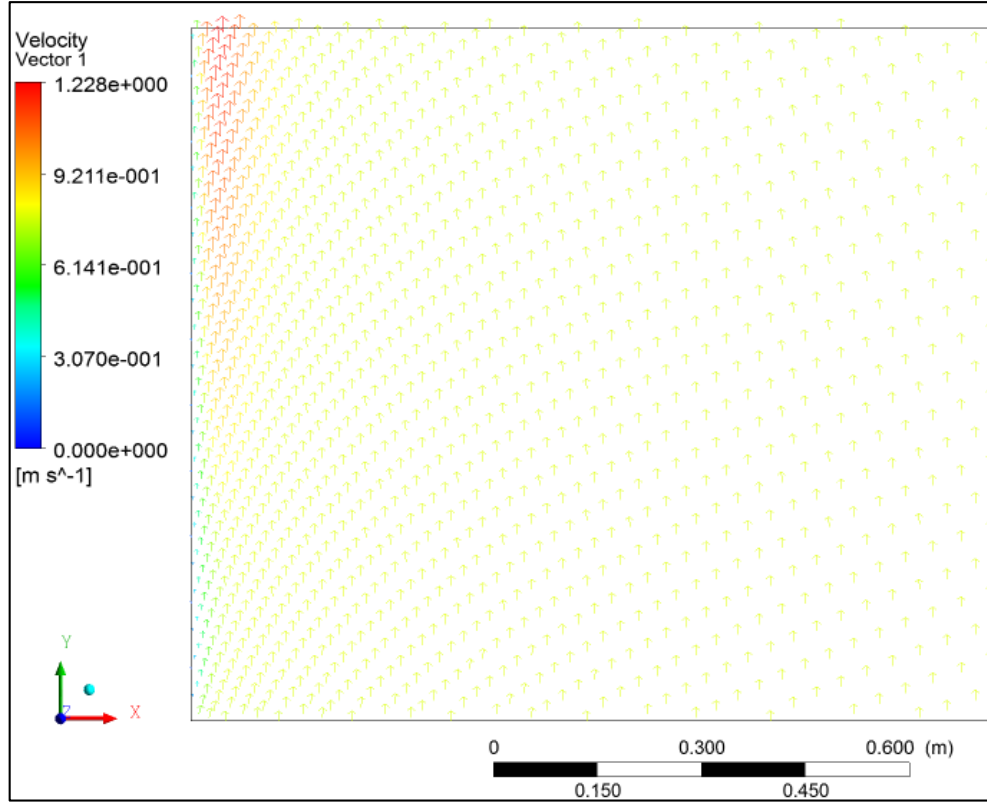
Şekil 5.8 600 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 300x300 ağ yapılı havanın hareketi



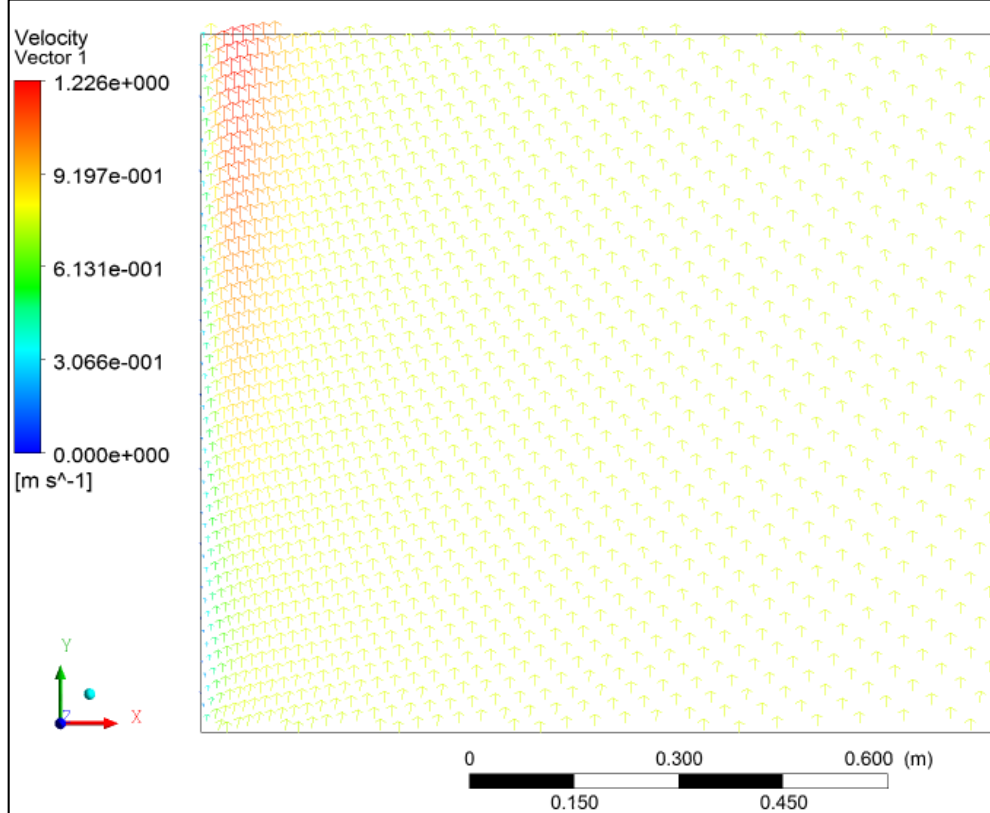
Şekil 5.9 800 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 50x50 ağ yapılı havanın hareketi



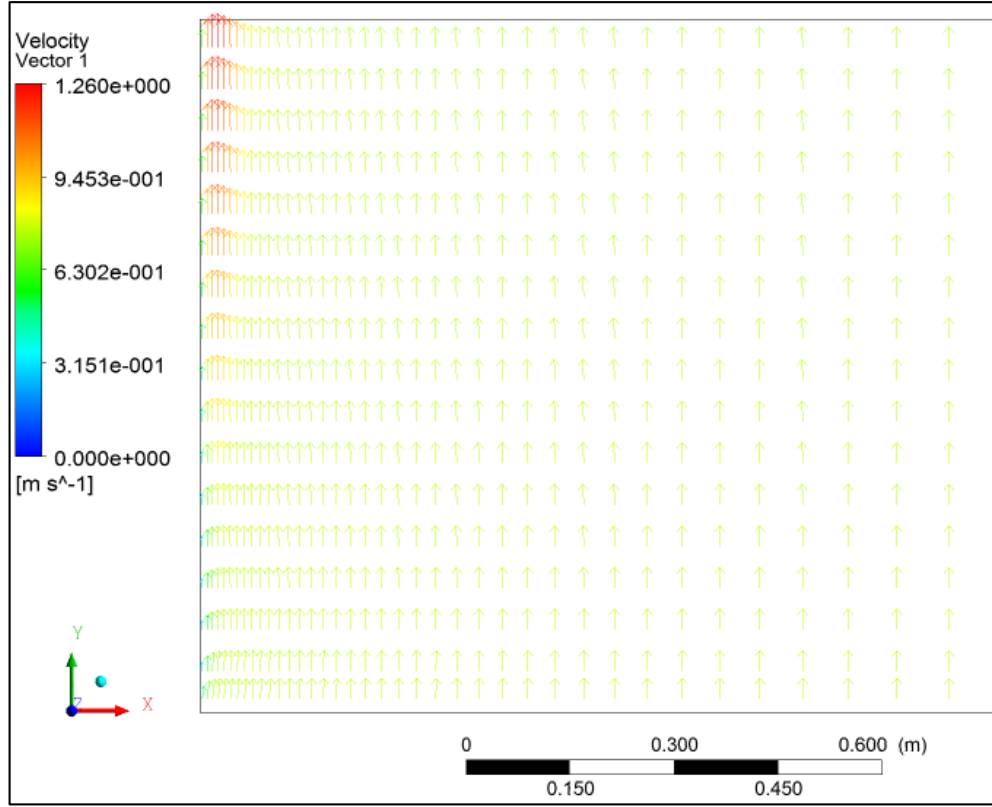
Şekil 5.10 800 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 100x100 ağ yapılı havanın hareketi



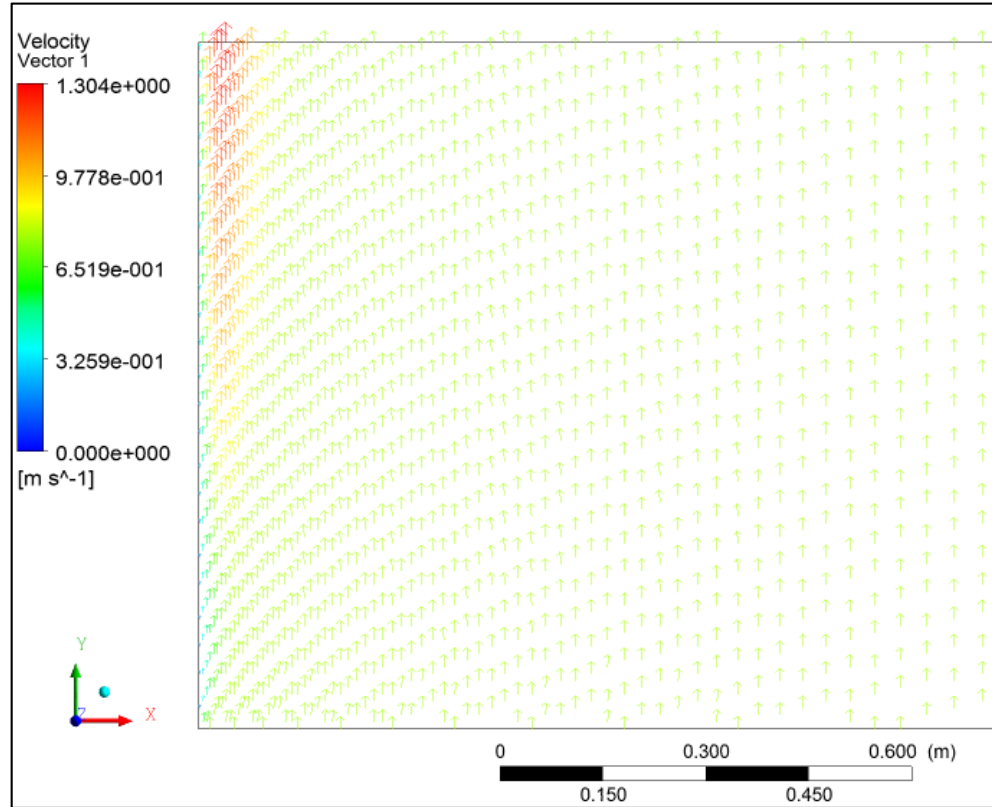
Şekil 5.11 800 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 200x200 ağ yapılı havanın hareketi



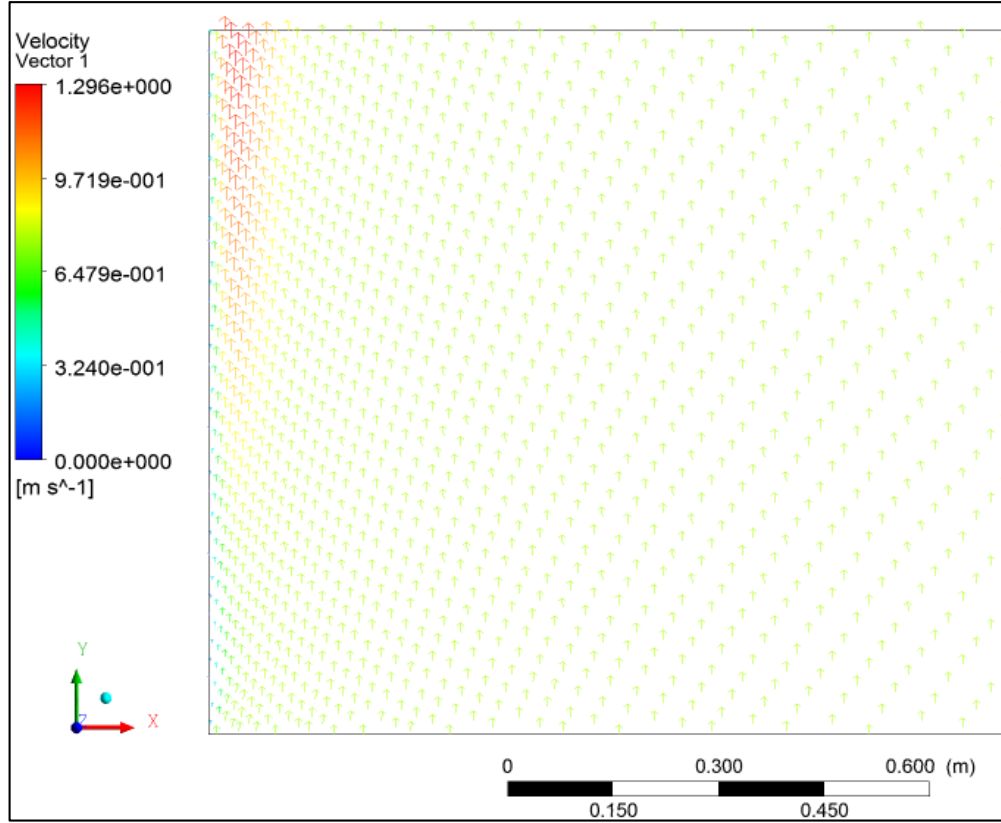
Şekil 5.12 800 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 300x300 ağ yapılı havanın hareketi



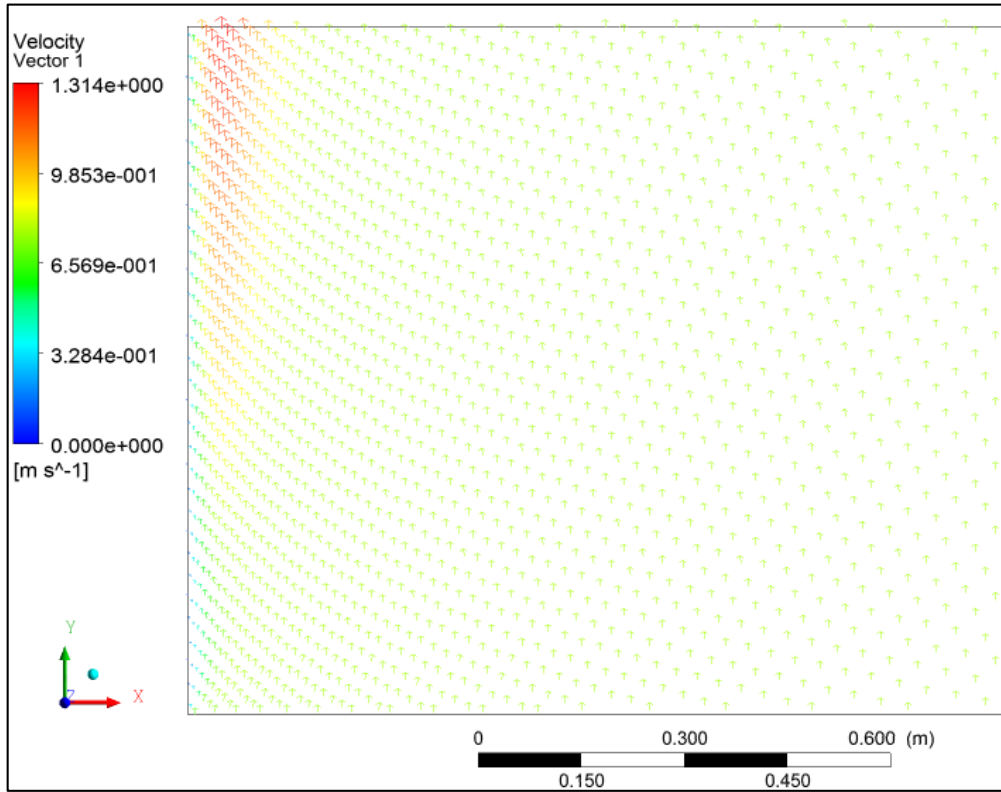
Şekil 5.13 1000 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 50x50 ağ yapılı havanın hareketi



Şekil 5.14 1000 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 100x100 ağ yapılı havanın hareketi



Şekil 5.15 1000 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 200x200 ağ yapılı havanın hareketi

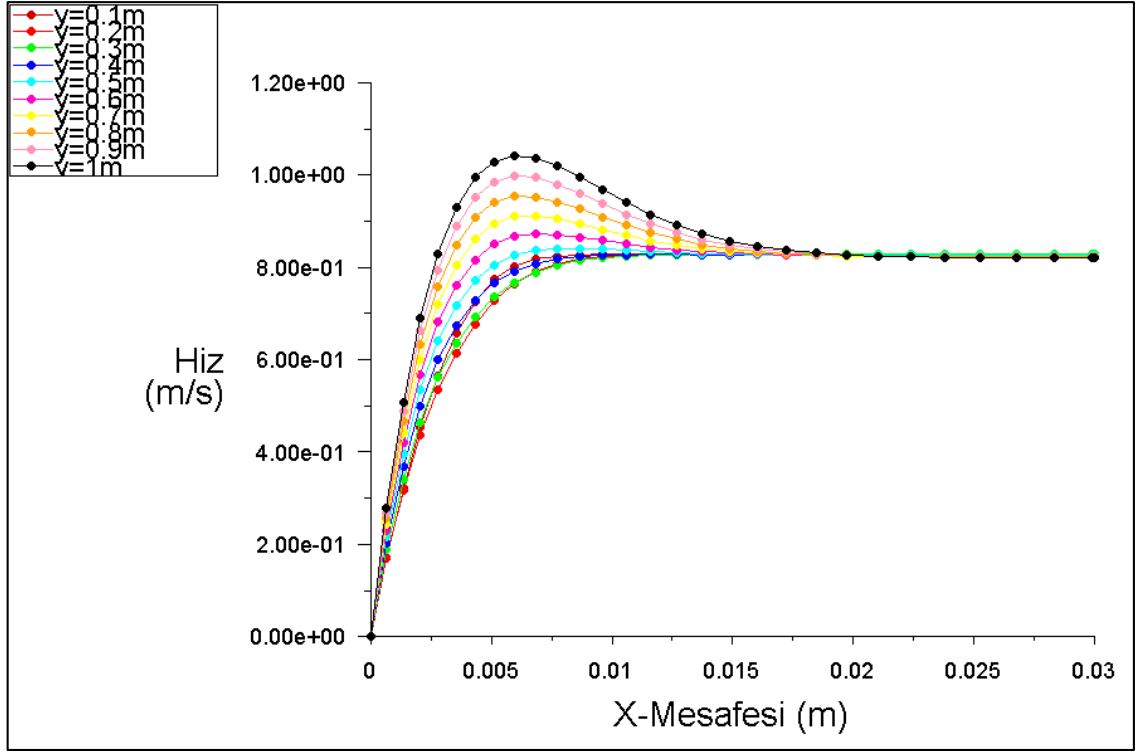


Şekil 5.16 1000 W/m² ısı akısındaki plakanın yakınındaki 300x300 ağ yapılı havanın hareketi

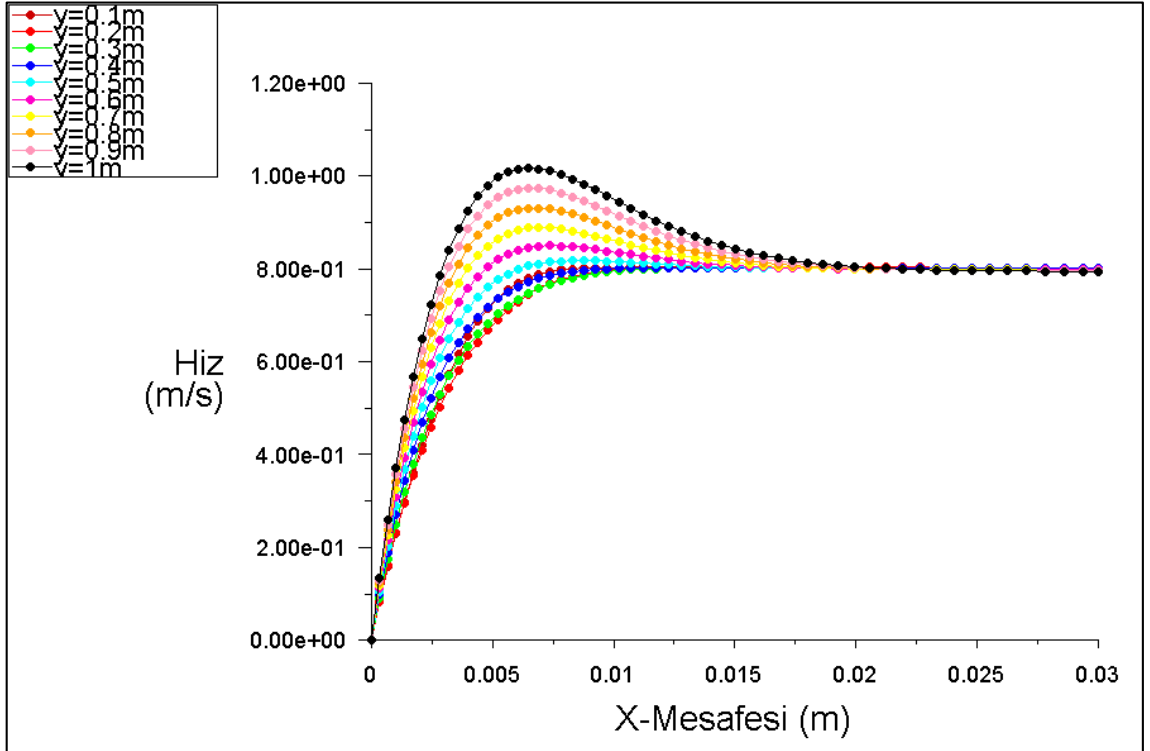
- Belirli bir ısı akısındaki, farklı ağ yapısına sahip geometrilerde, ağ yapısının daha ince olması daha hassas sonuçlar vermiştir.
- Isı akısının değeri arttıkça, dikey yönde havanın hızı da artmıştır.

Diagram illustrating a rectangular domain with a vertical dashed line at $x=0$. The domain is divided into two regions: $x < 0$ and $x > 0$. The vertical line is labeled $y=1\text{ m}$ at the top and $y=0,1\text{ m}$ at the bottom. A coordinate system (x, y) is shown at the bottom right.

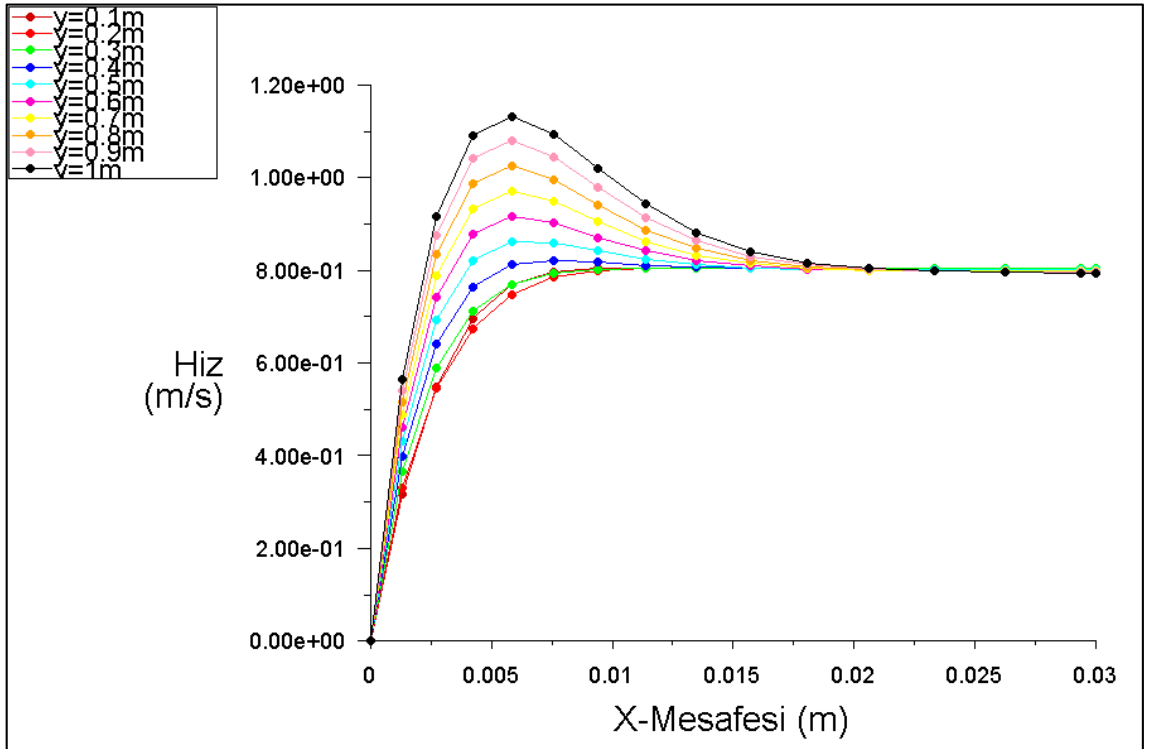
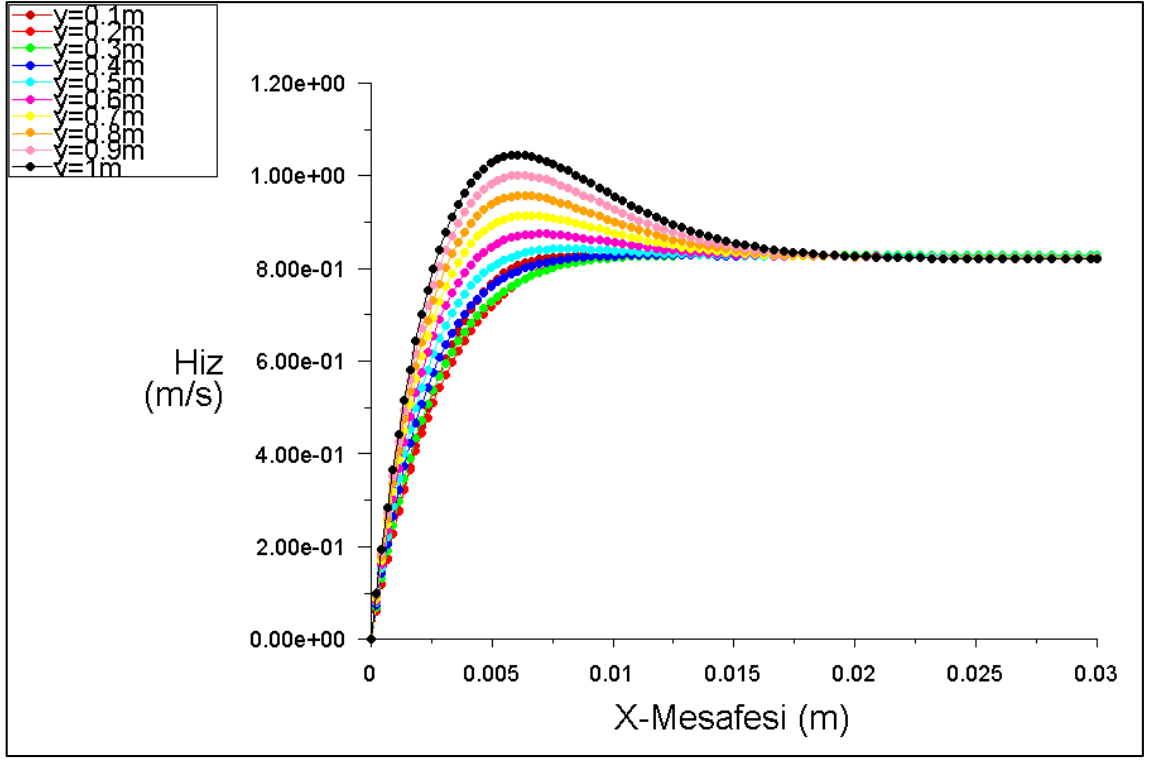
52

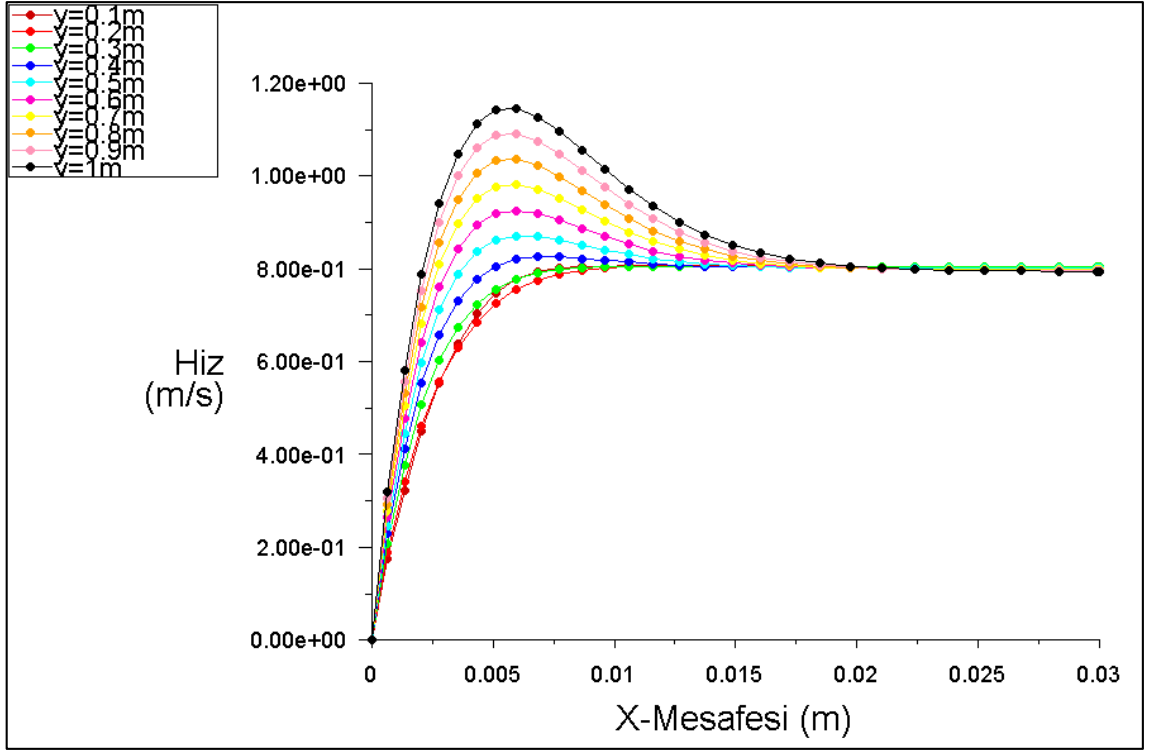


Şekil 5.19 400 W/m^2 ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)

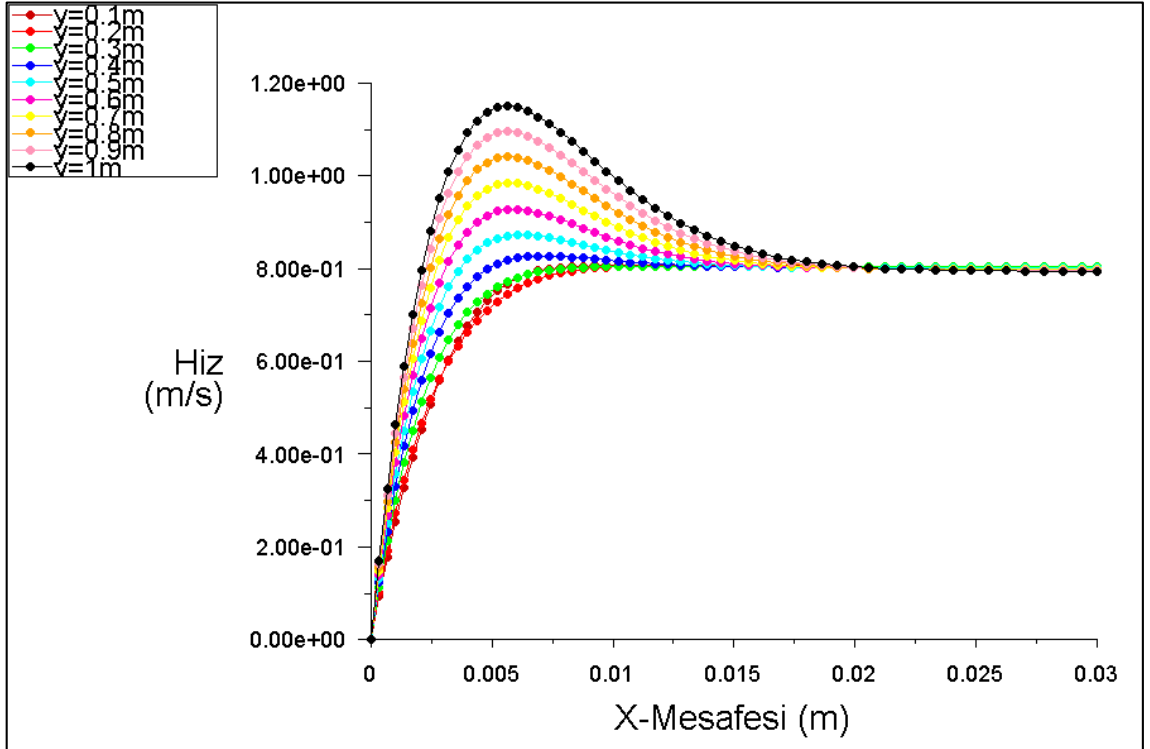


Şekil 5.20 400 W/m^2 ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)

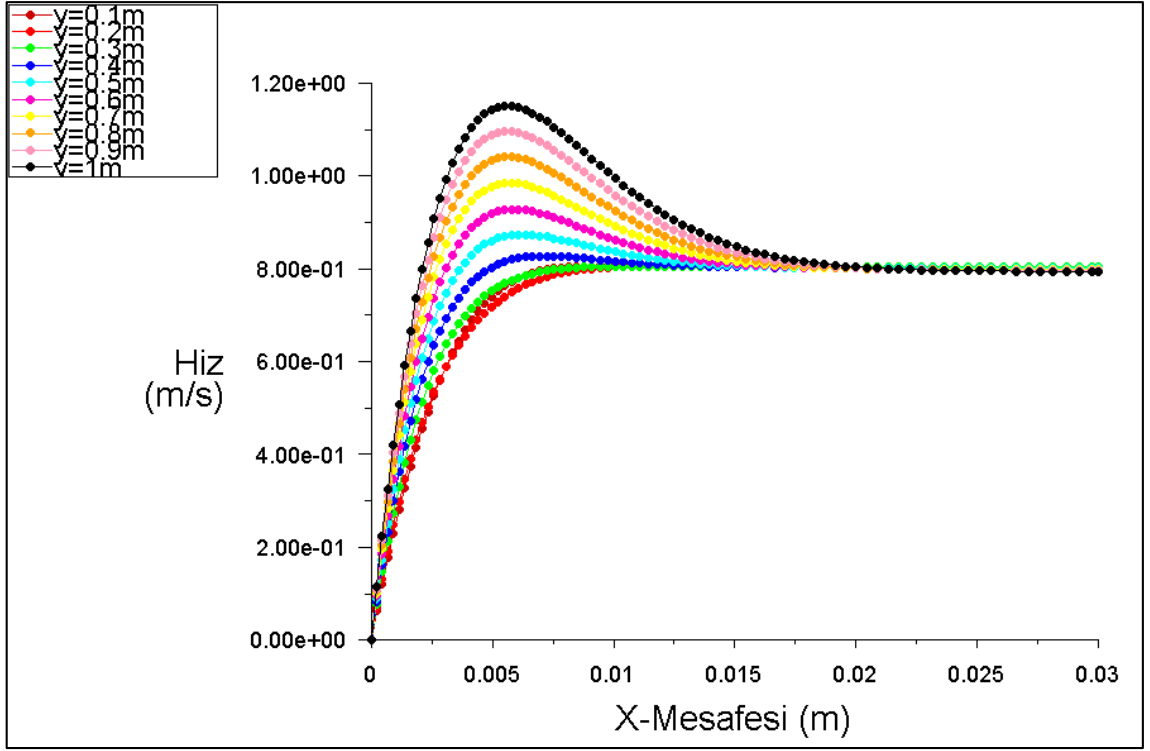




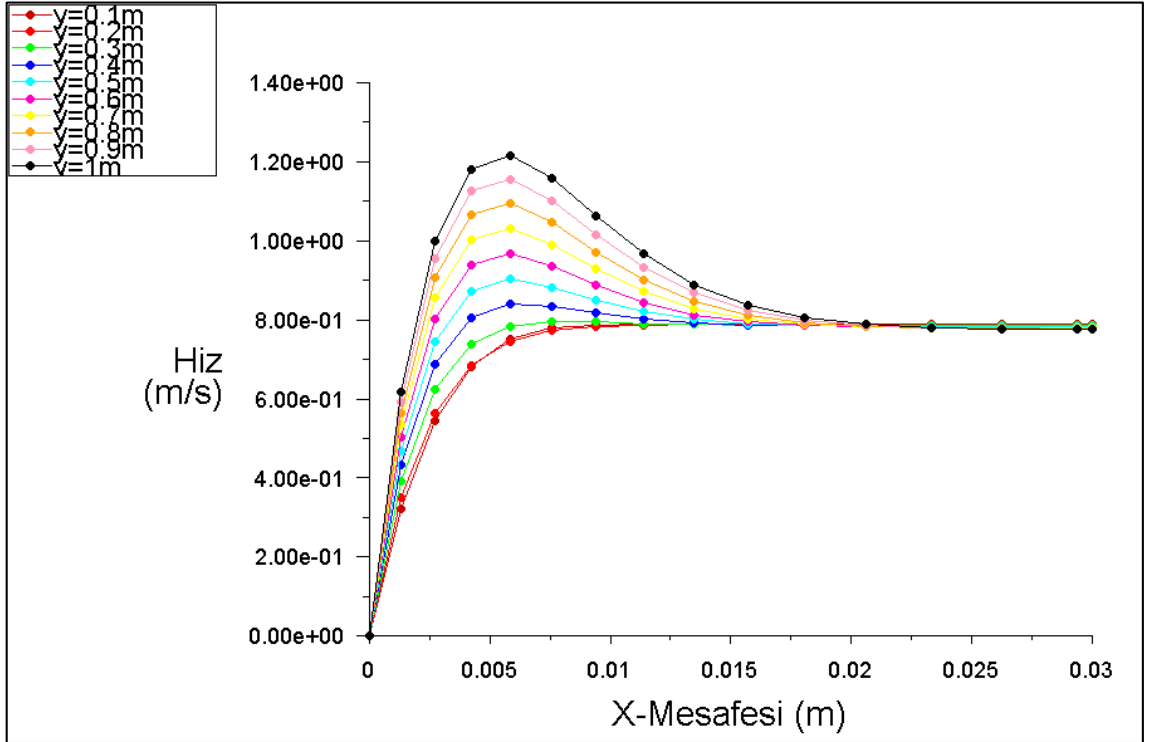
Şekil 5.23 600 W/m^2 ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)



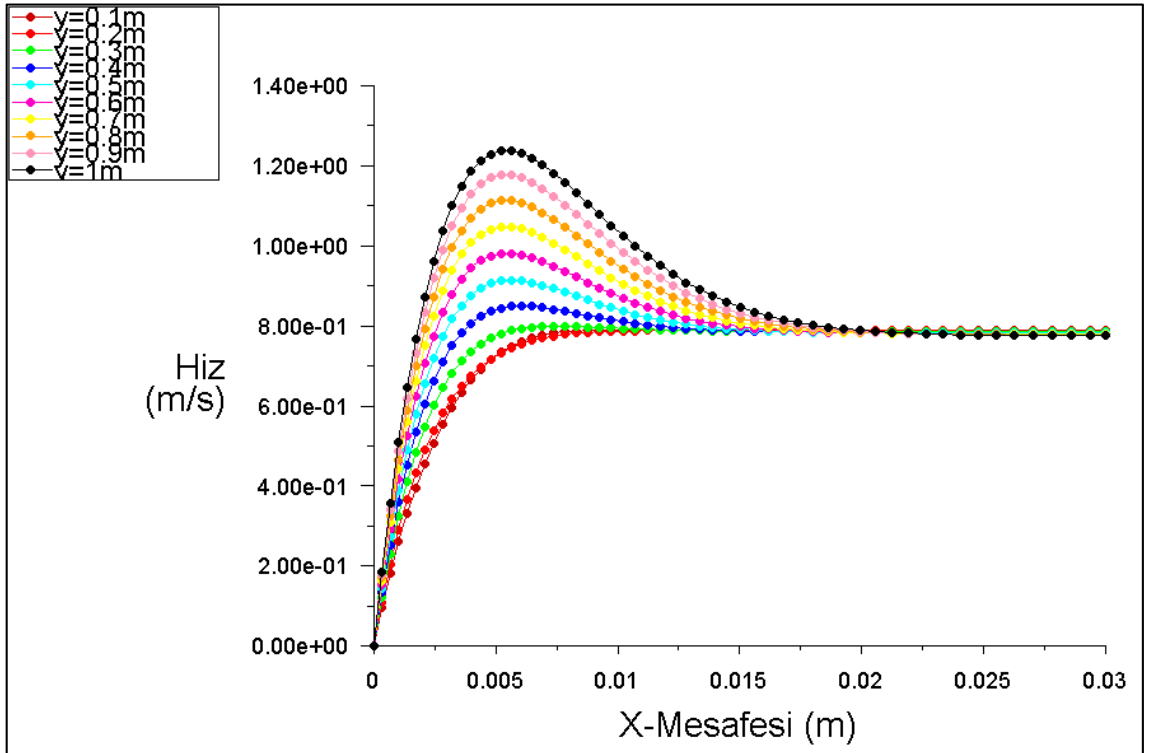
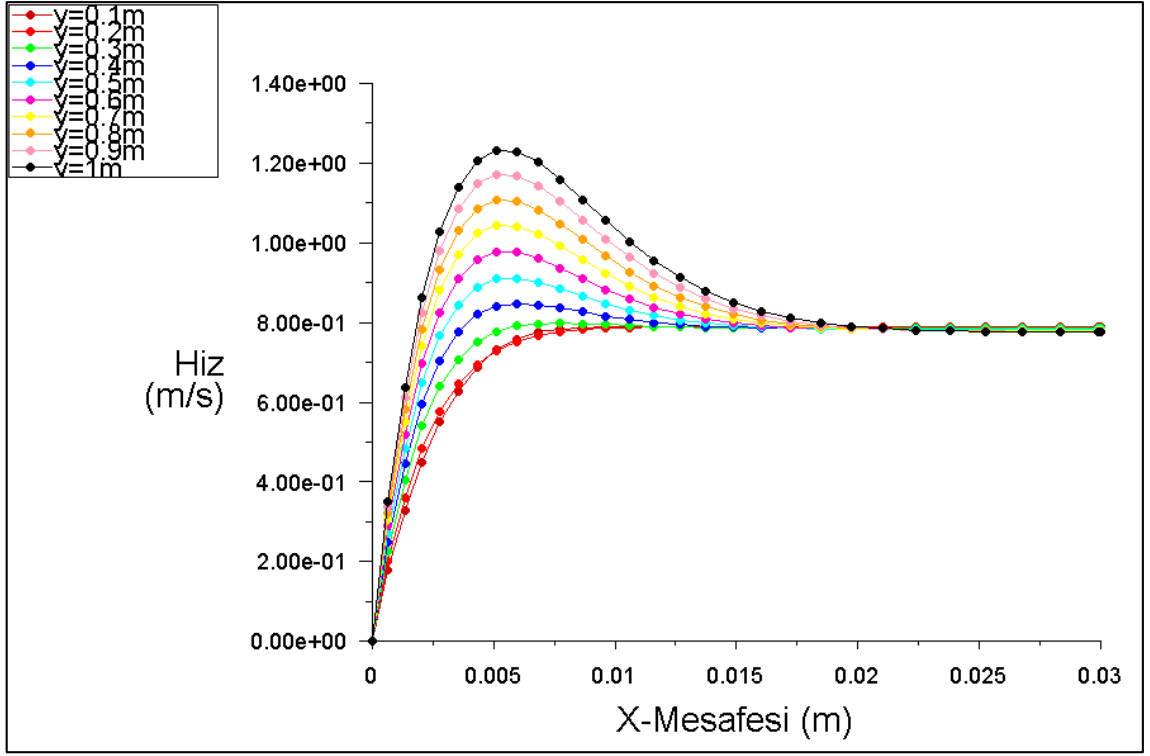
Şekil 5.24 600 W/m^2 ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)

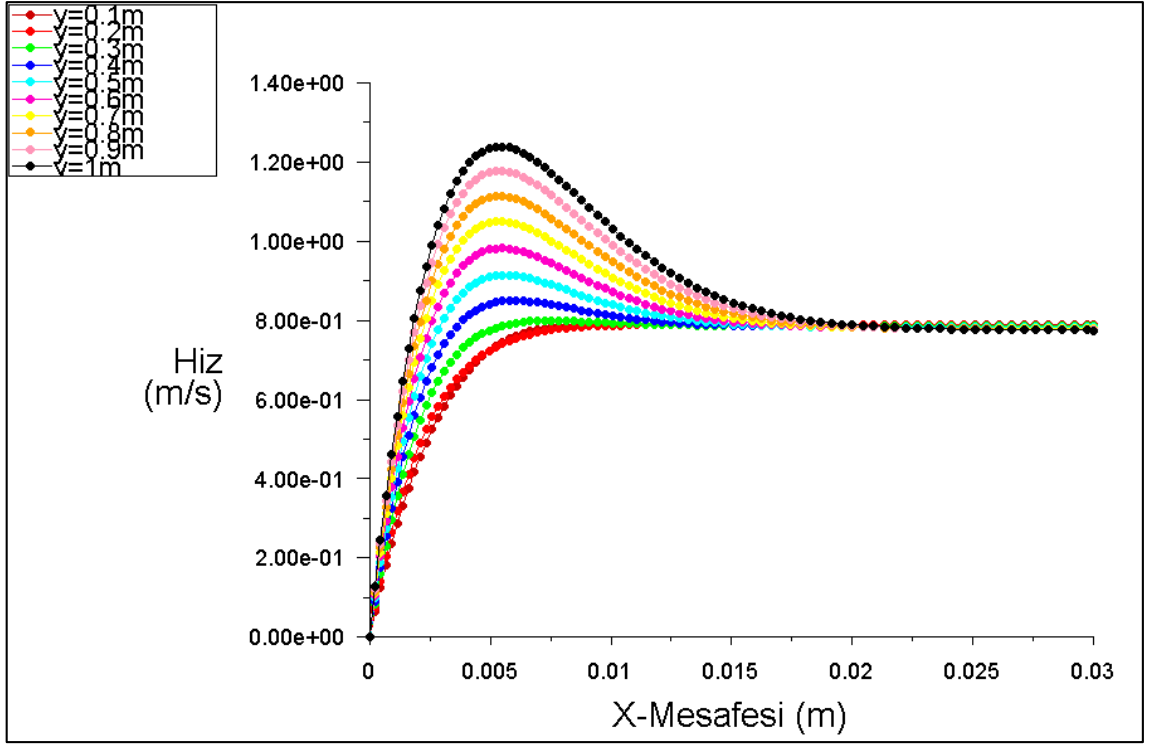


Şekil 5.25 600 W/m² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)

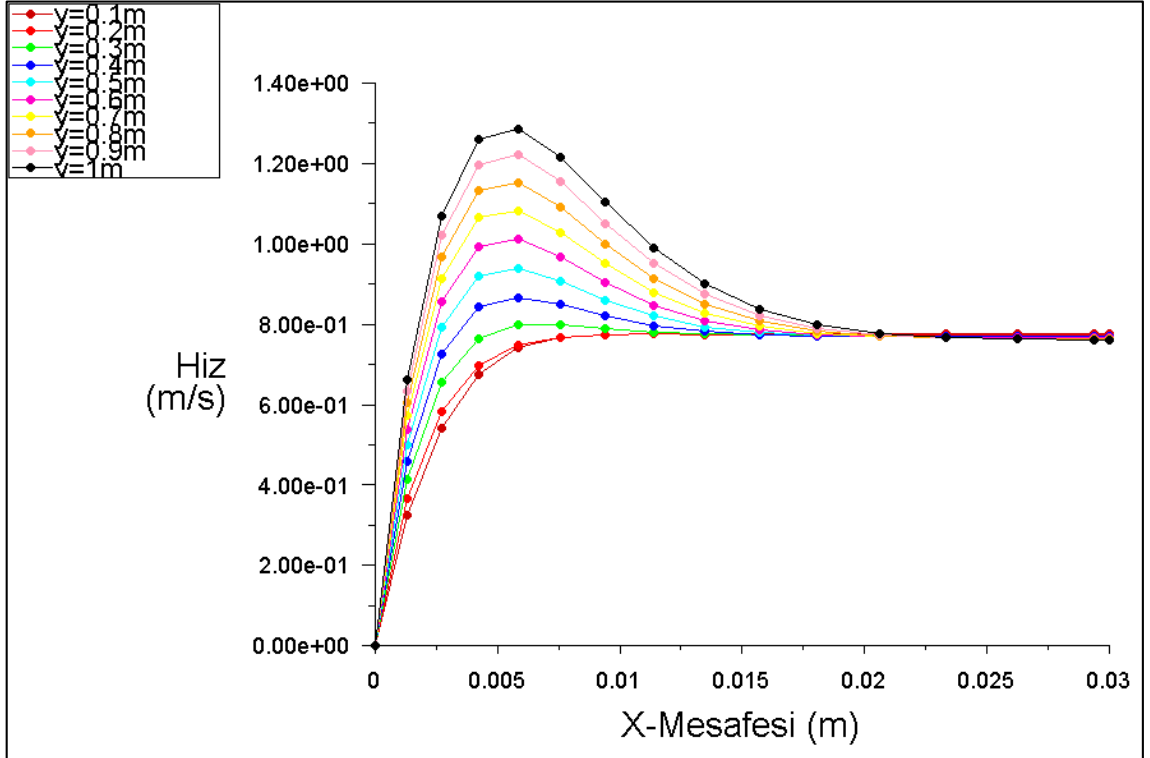


Şekil 5.26 800 W/m² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)

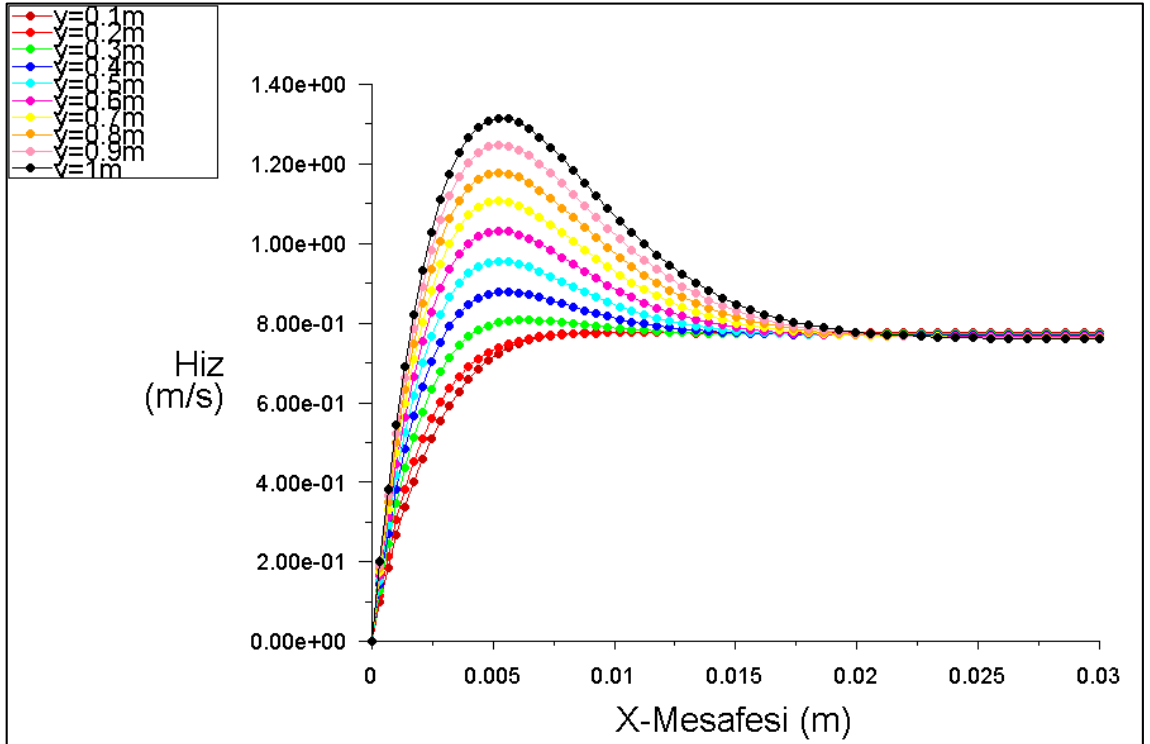
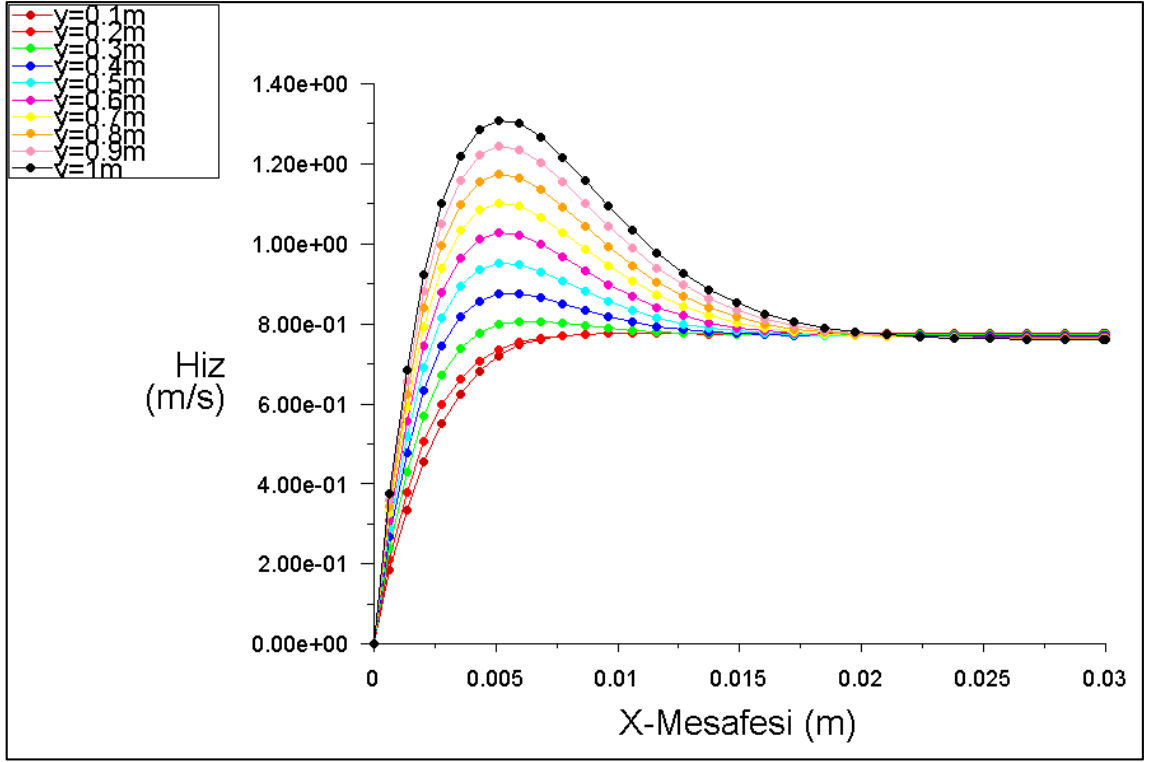


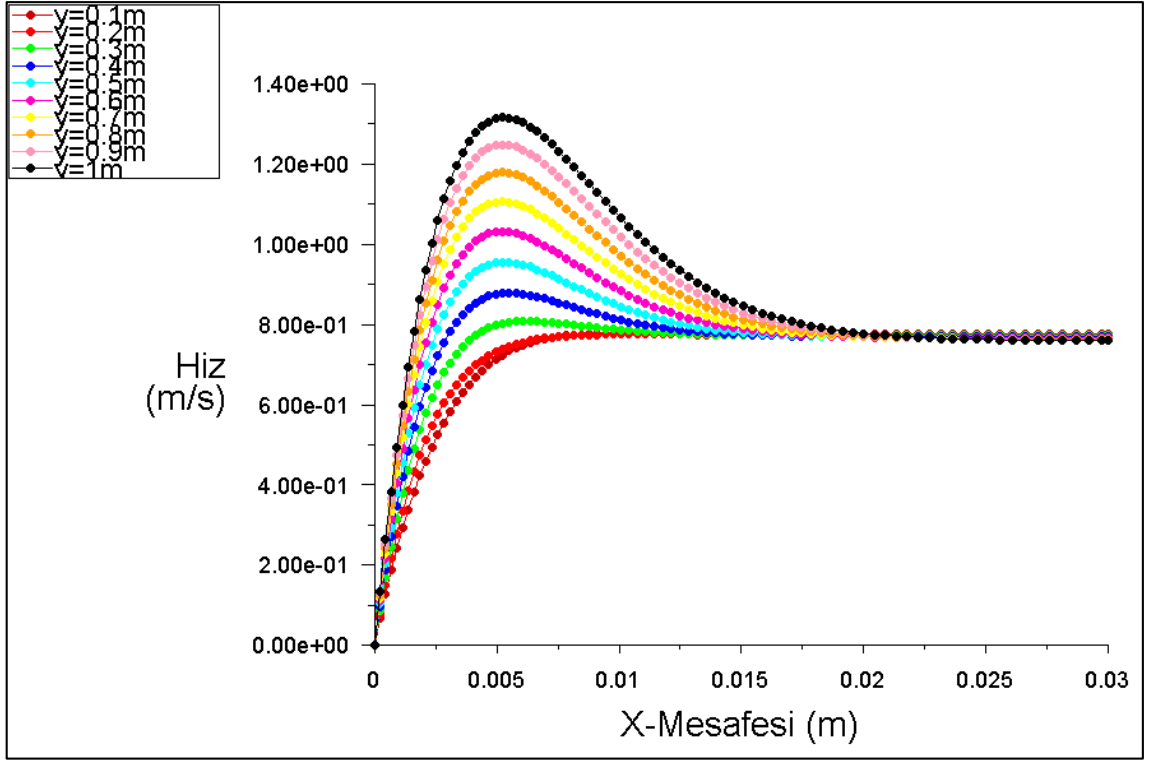


Şekil 5.29 800 W/m² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)



Şekil 5.30 1000 W/m² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)





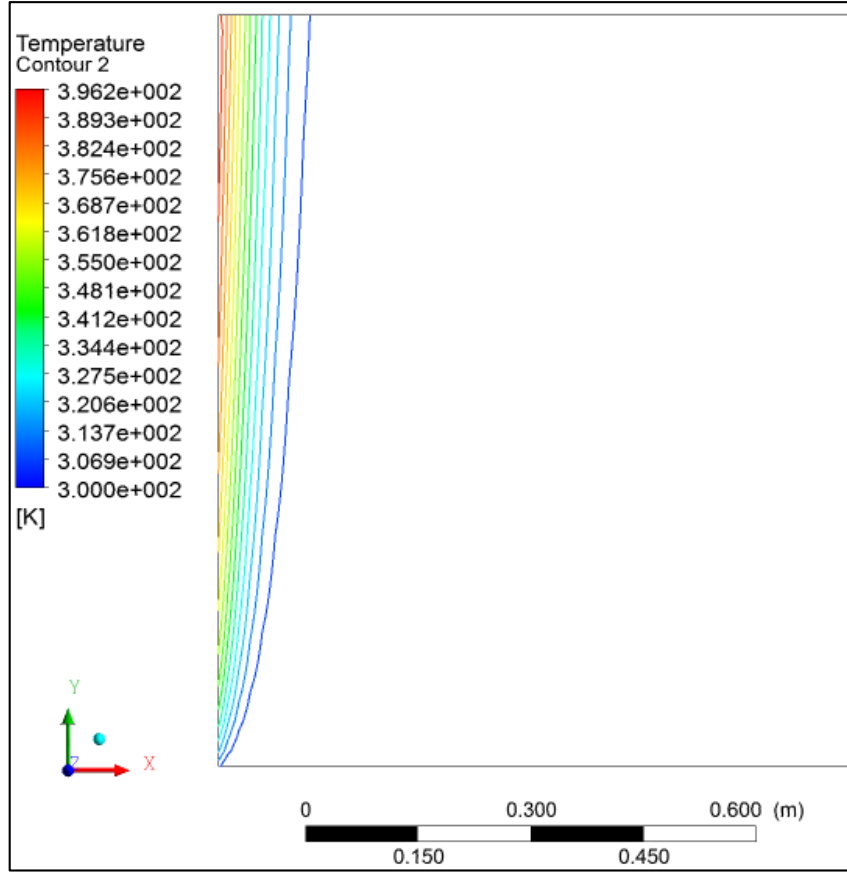
Şekil 5.33 1000 W/m² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava hızının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)

Şekil 5.18'den 5.33'e kadar olan grafiklerden çıkarılacak sonuçlar ise;

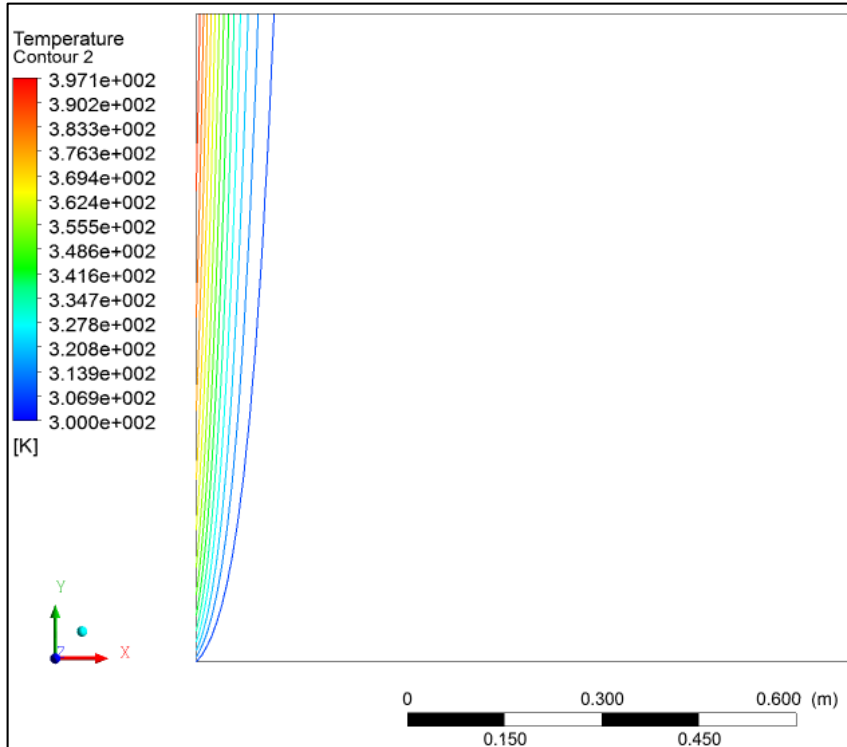
- Hız sınır tabaka bölgesi, +x yönünde 0,02 m civarında gerçekleşmiştir.
- Artan ısı akısının, hız sınır tabakasının tüm plaka boyunca gerçekleştiği bölgeyi çok fazla değiştirmedeği görülmüştür. Ancak plakanın başlangıcından 1 m'ye kadar olan ara mesafelerde az da olsa sınır tabaka kalınlığında değişimler vardır.
- Isı akısının artmasıyla, havanın +y yönünde hızı da artmıştır.

5.1.2 Havanın ve Yüzeyin Sıcaklığı

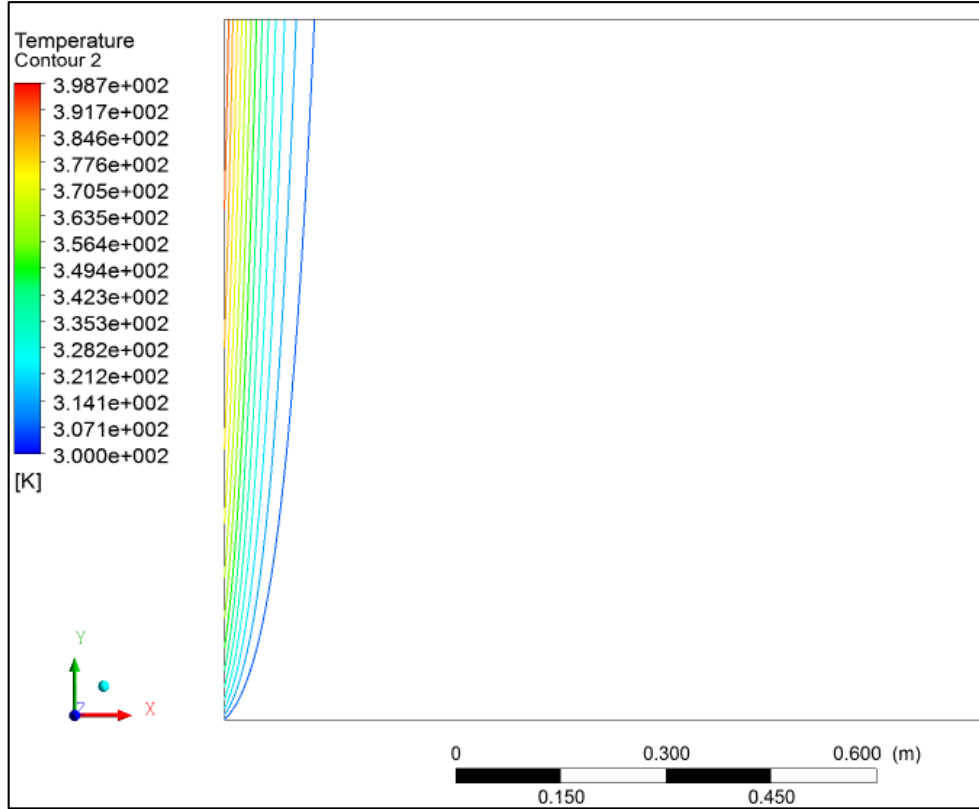
Dikey plakaya yakın yüzeydeki sıcaklık değişimi de aşağıda incelenmiştir.



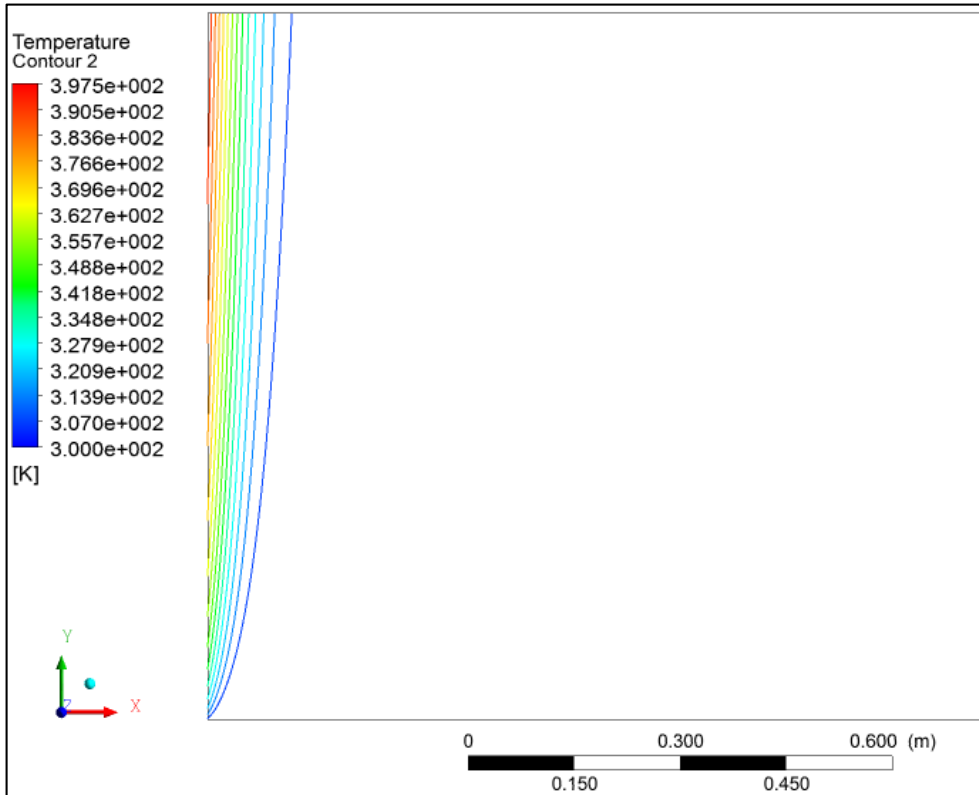
Şekil 5.34 400 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)



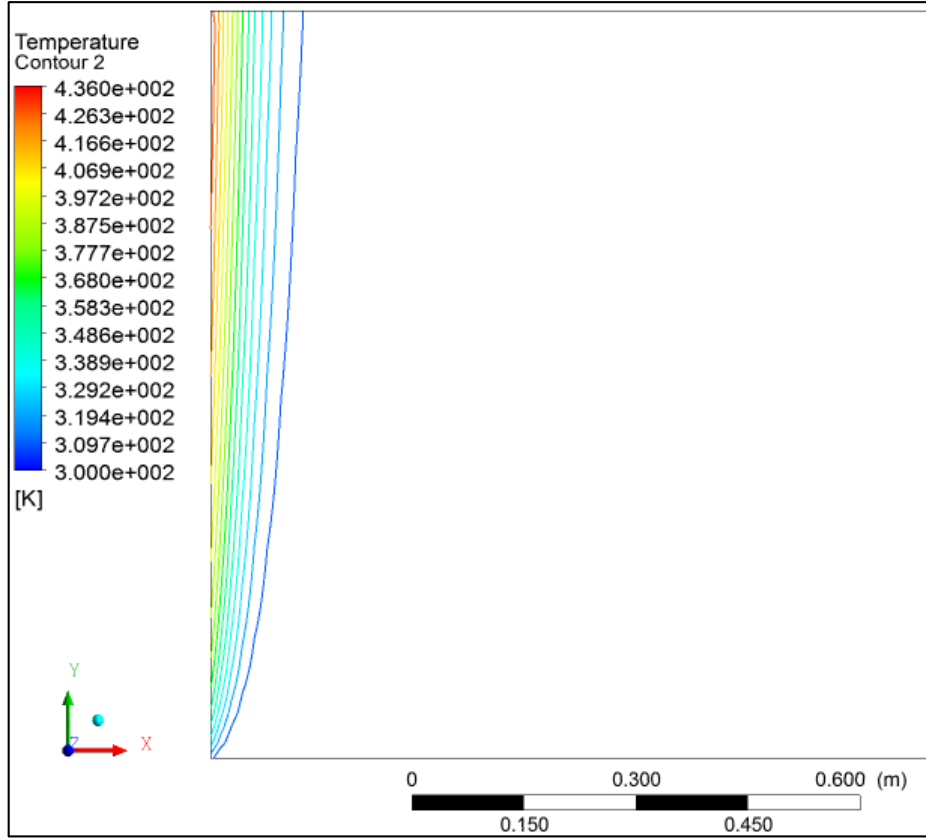
Şekil 5.35 400 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)



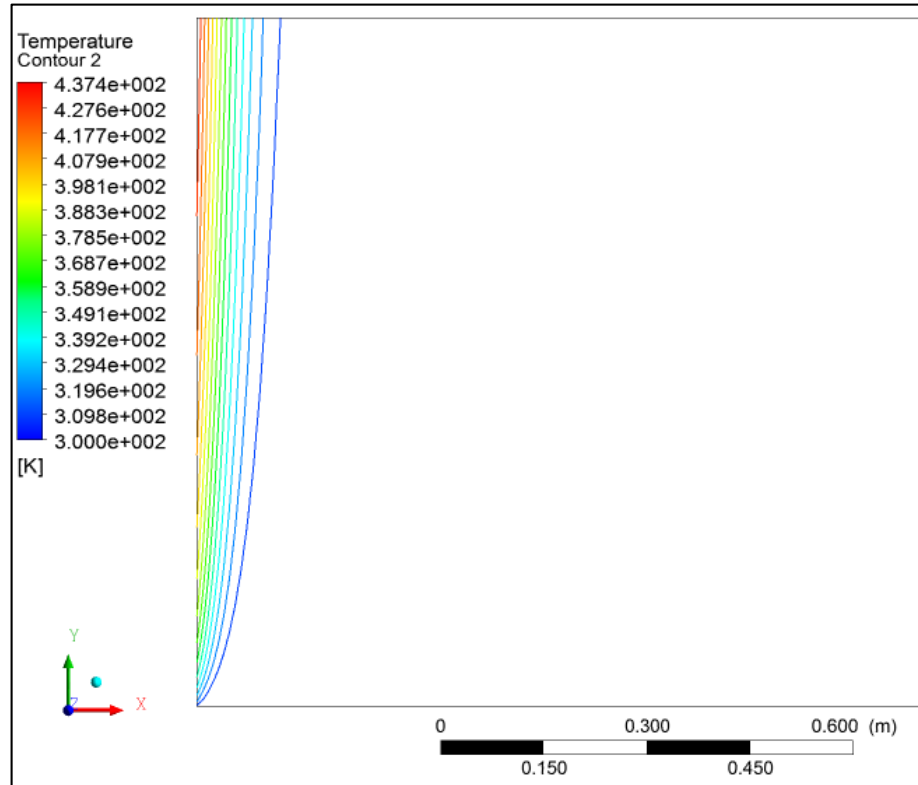
Şekil 5.36 400 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)



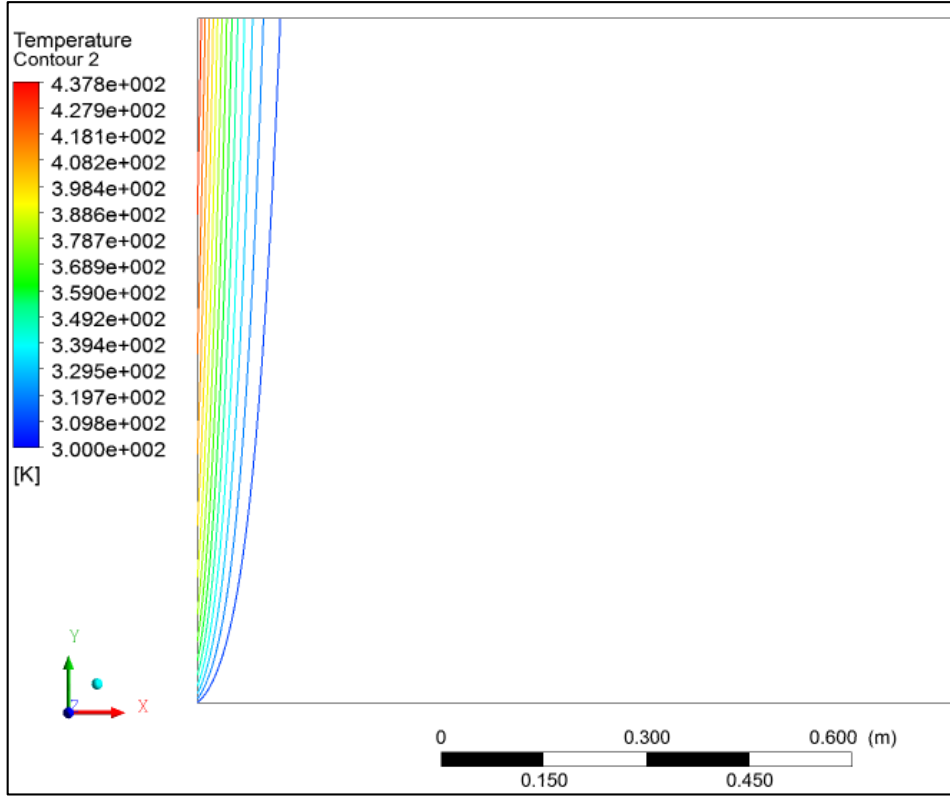
Şekil 5.37 400 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)



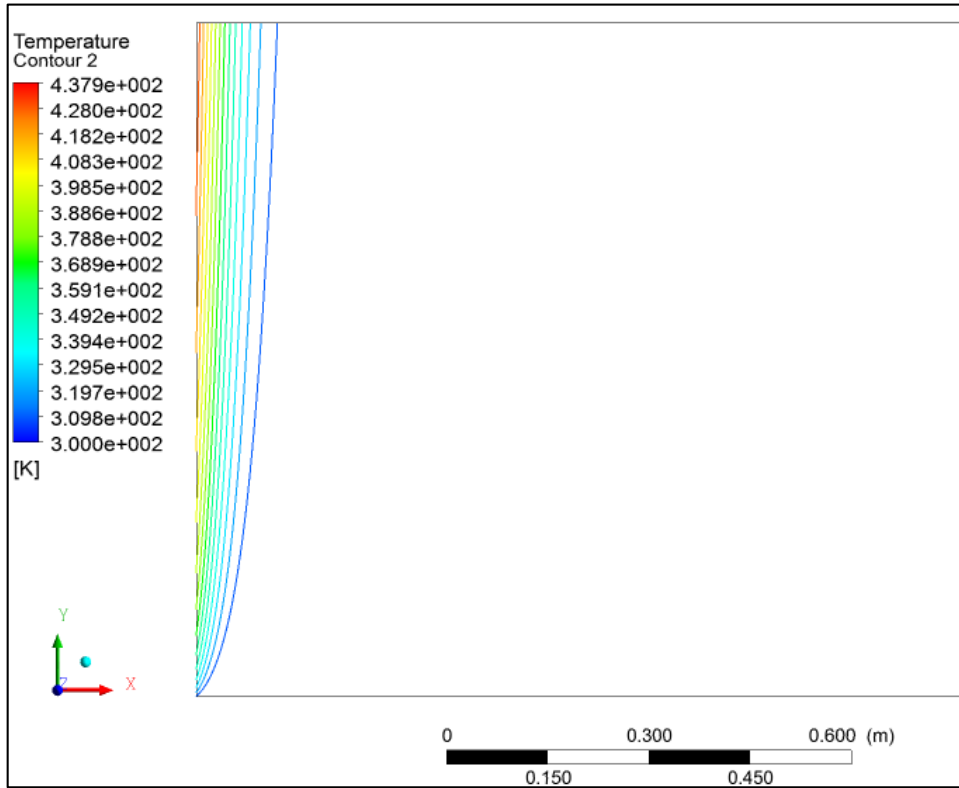
Şekil 5.38 600 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)



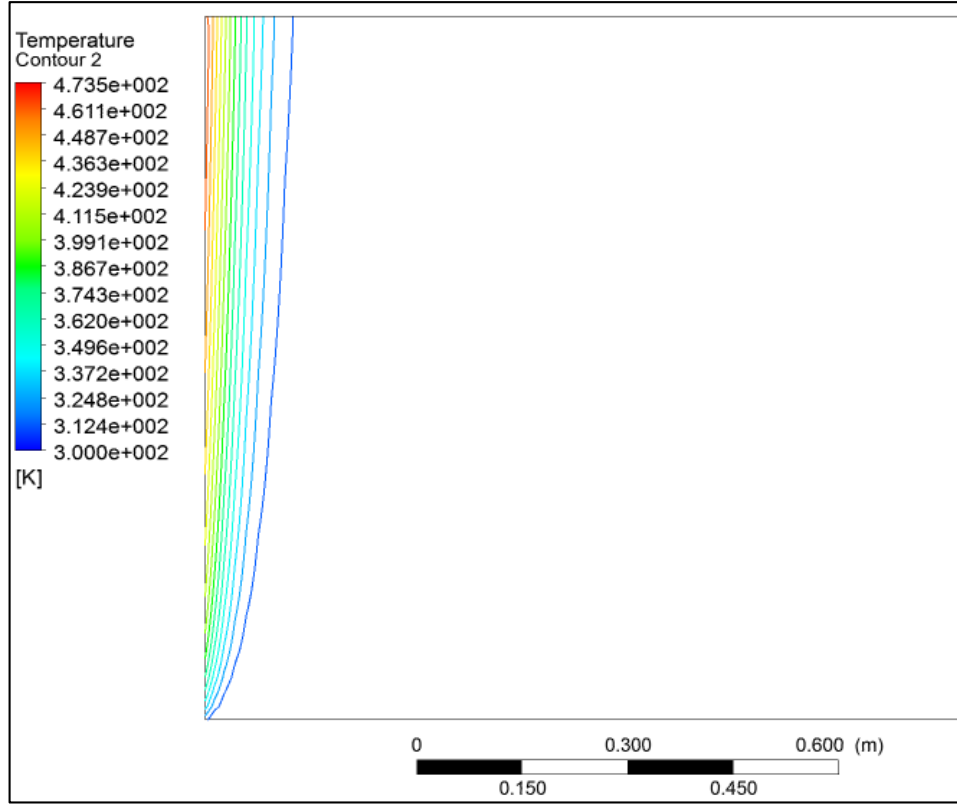
Şekil 5.39 600 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)



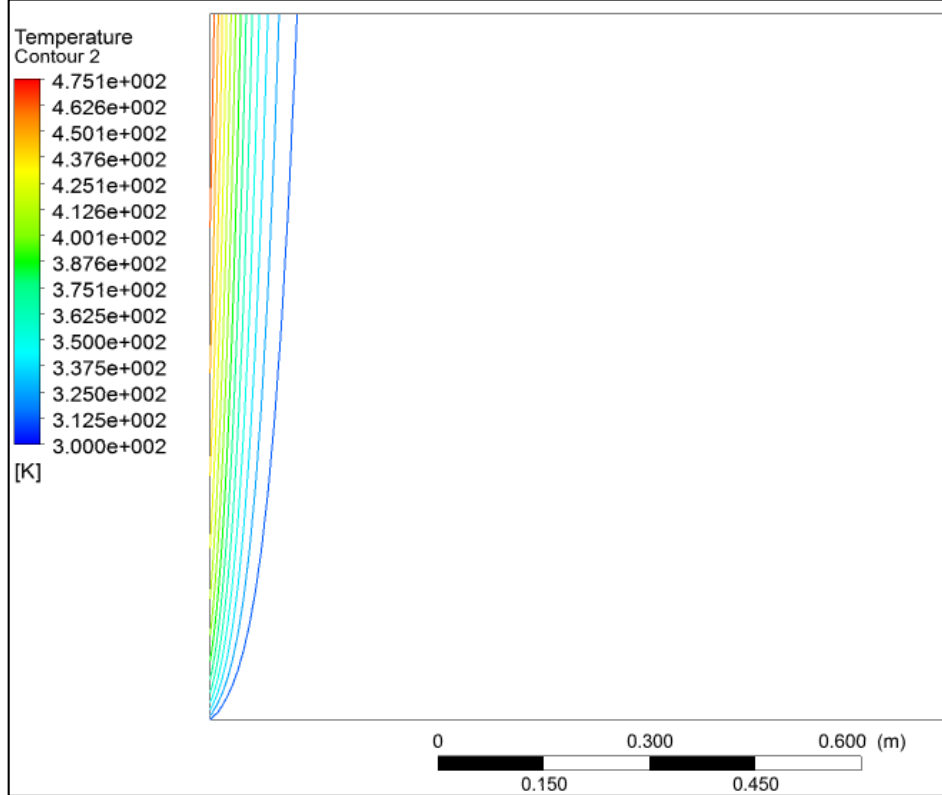
Şekil 5.40 600 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)



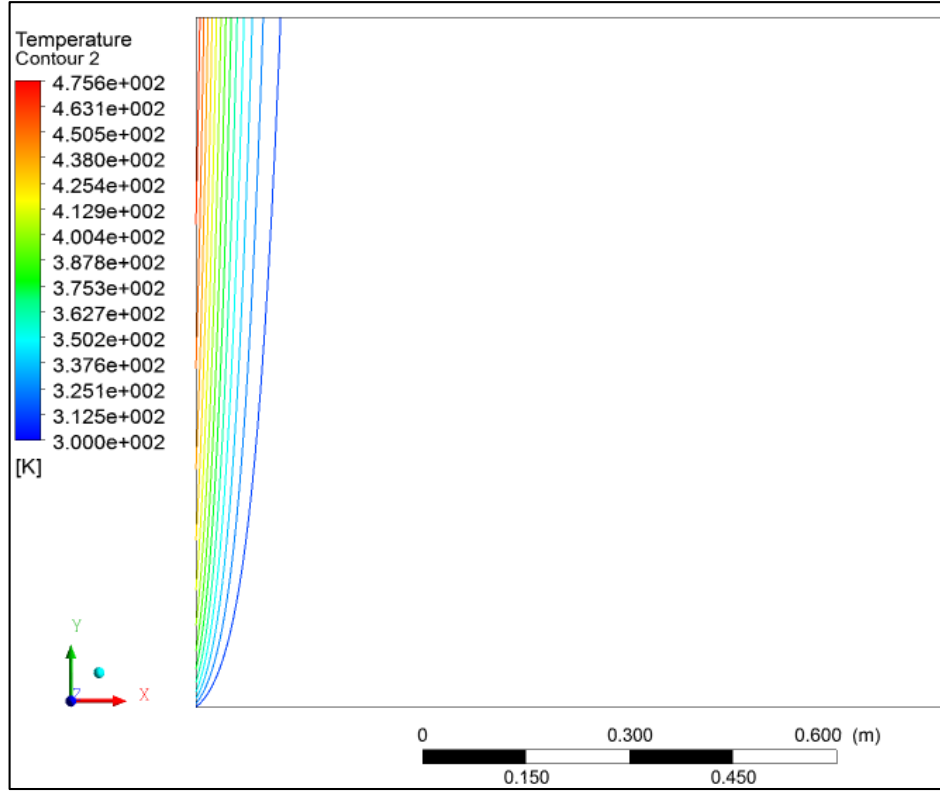
Şekil 5.41 600 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)



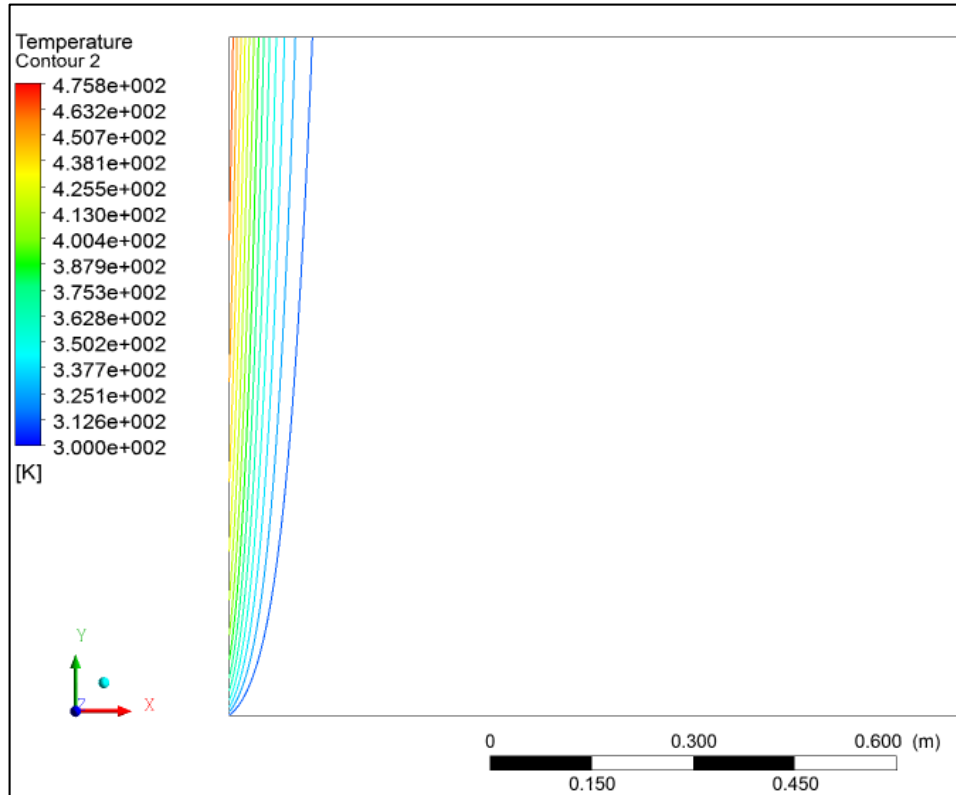
Şekil 5.42 800 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)



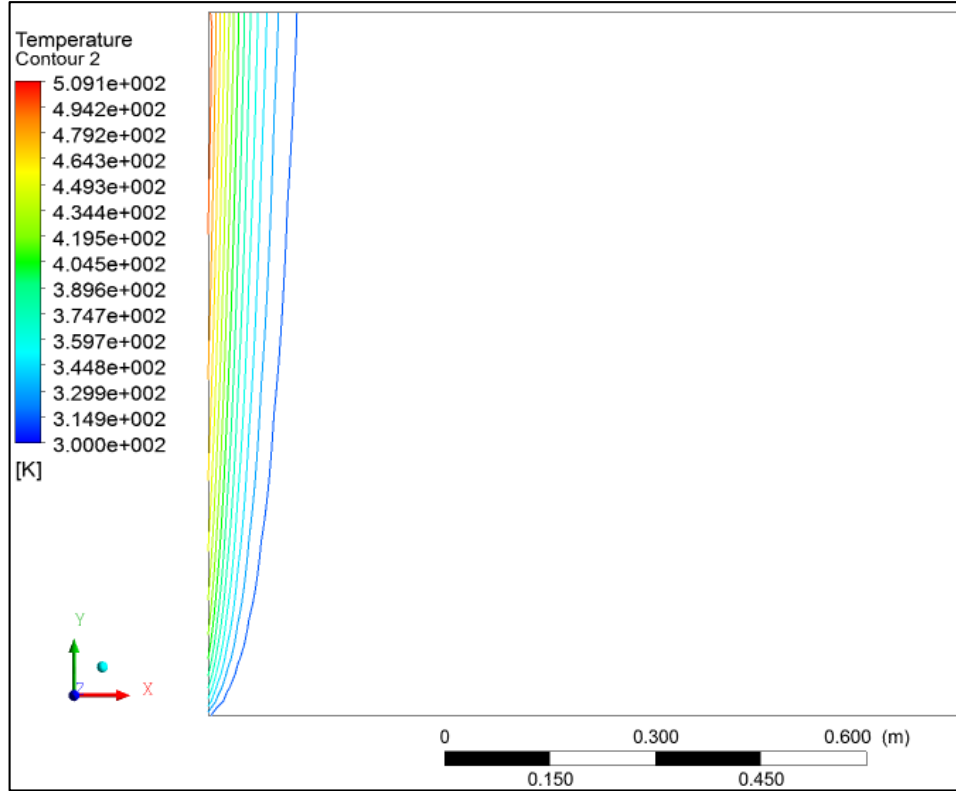
Şekil 5.43 800 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)



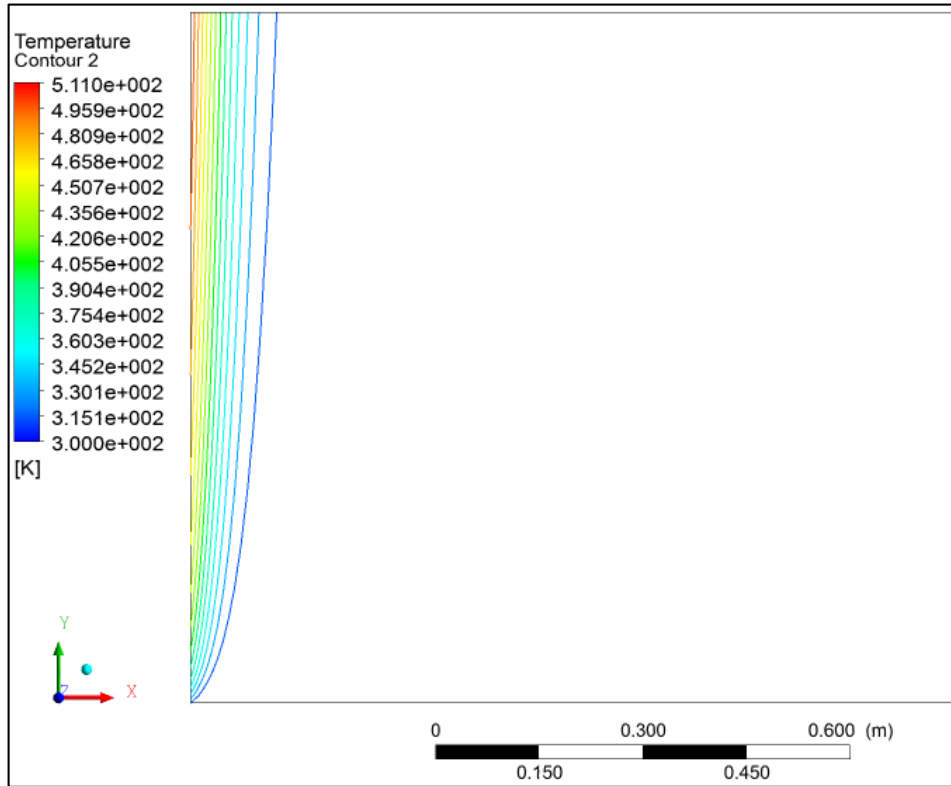
Şekil 5.44 800 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)



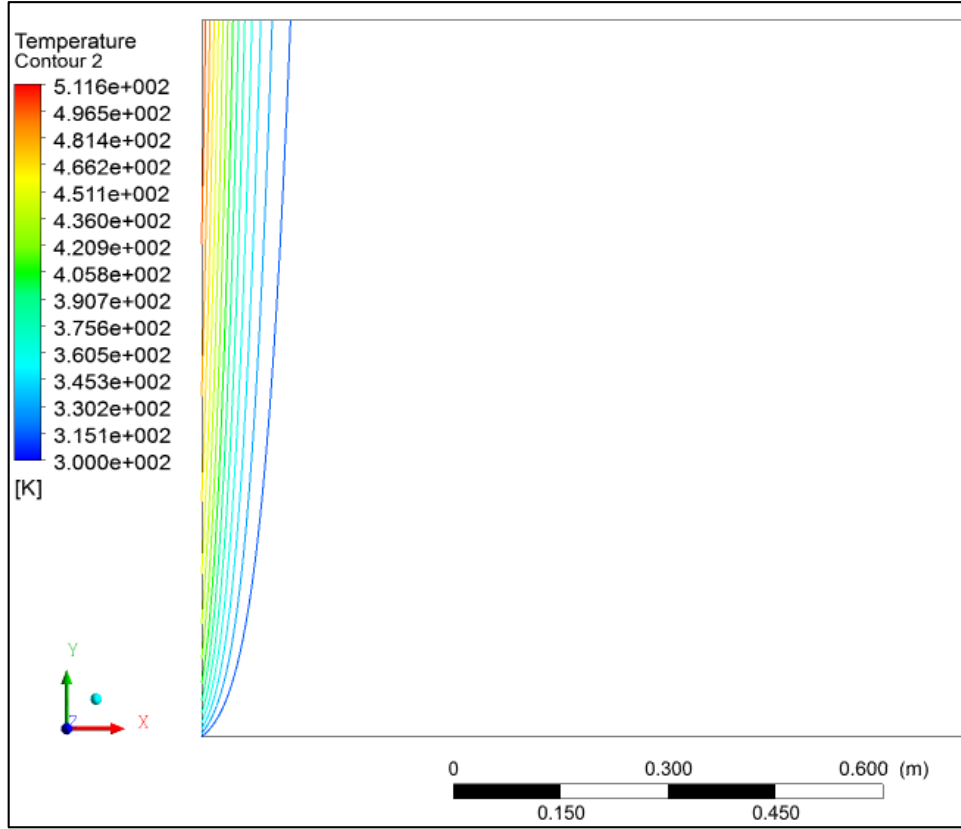
Şekil 5.45 800 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)



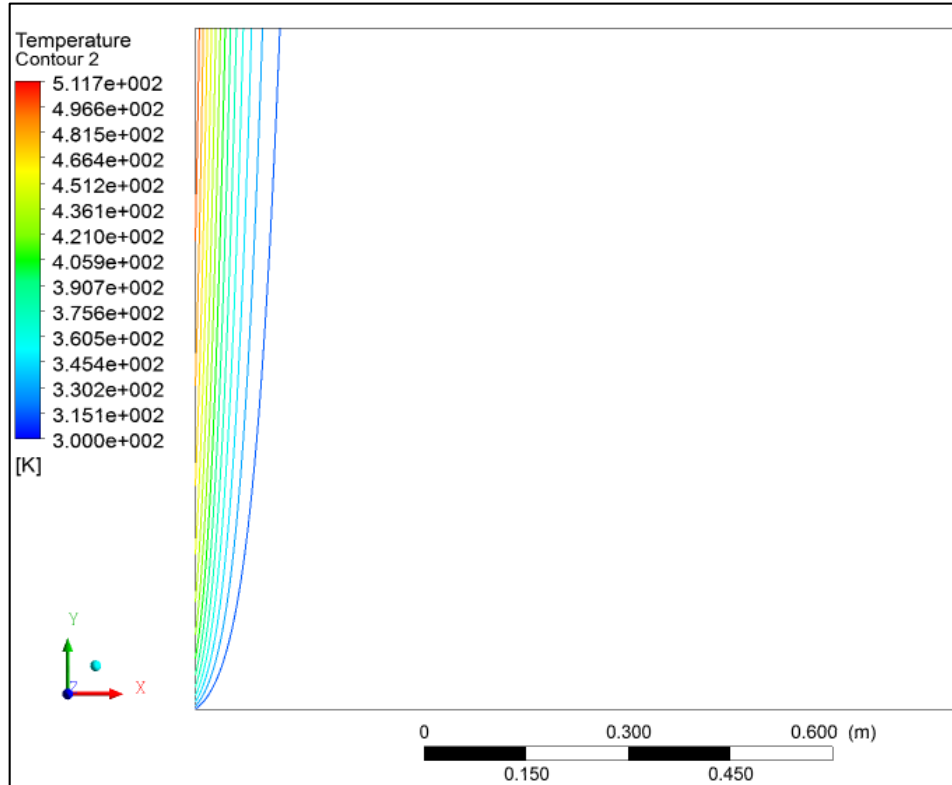
Şekil 5.46 1000 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)



Şekil 5.47 1000 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)



Şekil 5.48 1000 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)

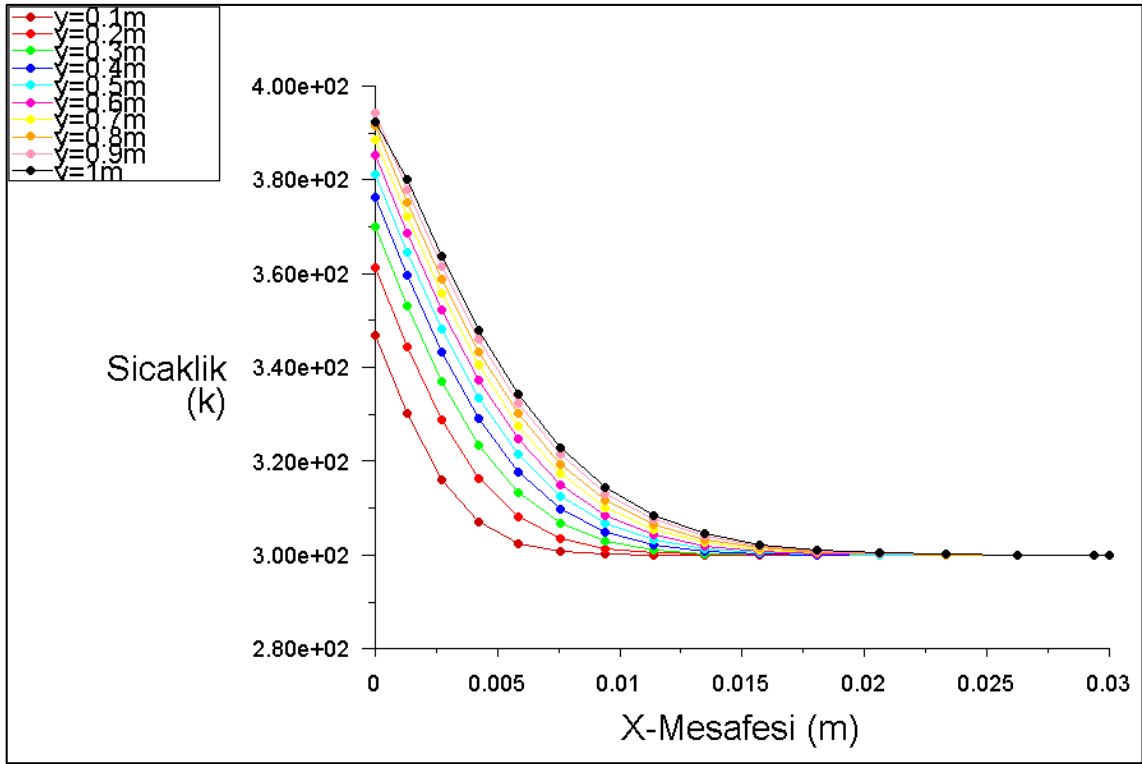


Şekil 5.49 1000 W/m^2 ısı akısına maruz kalan yüzeye yakın yerdeki sıcaklık değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)

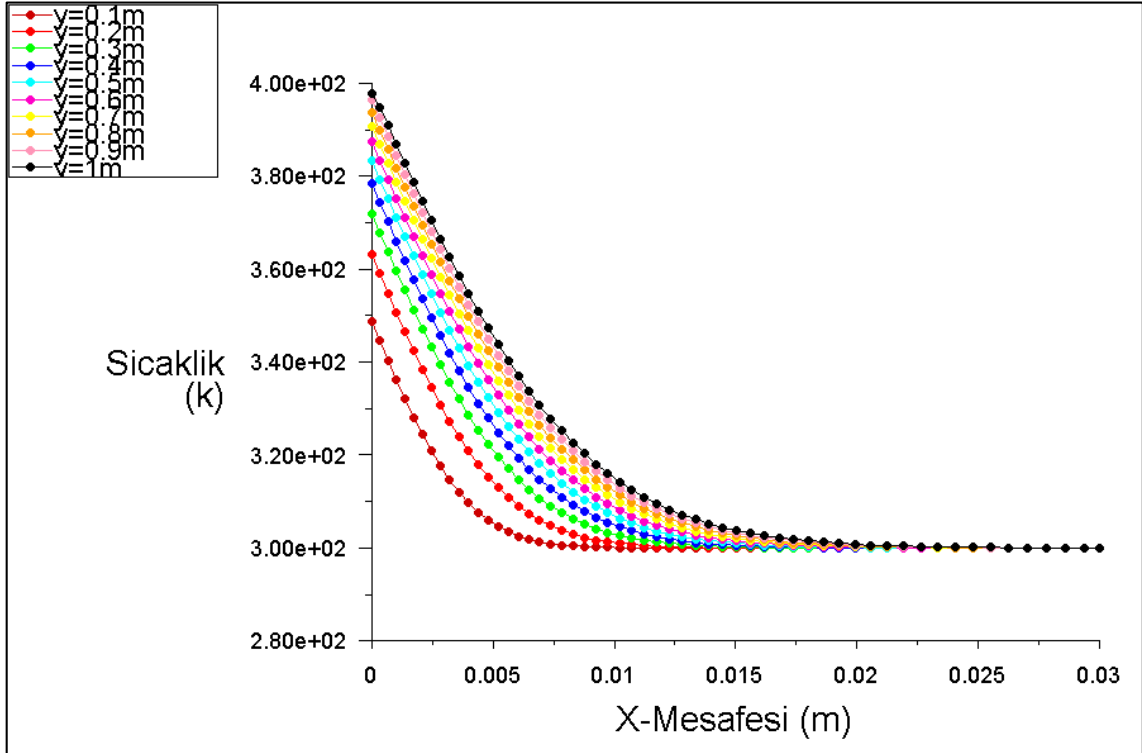
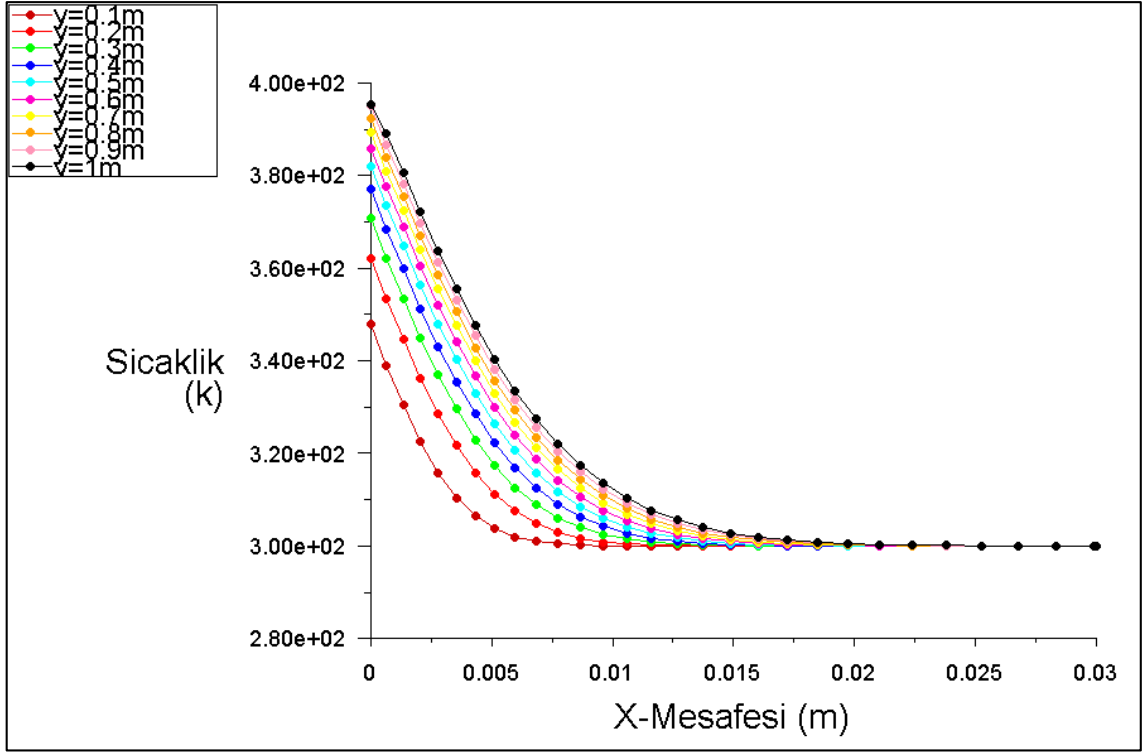
Şekil 5.34'ten 5.49'a kadar olan grafiklerden çıkarılan sonuçlar ise;

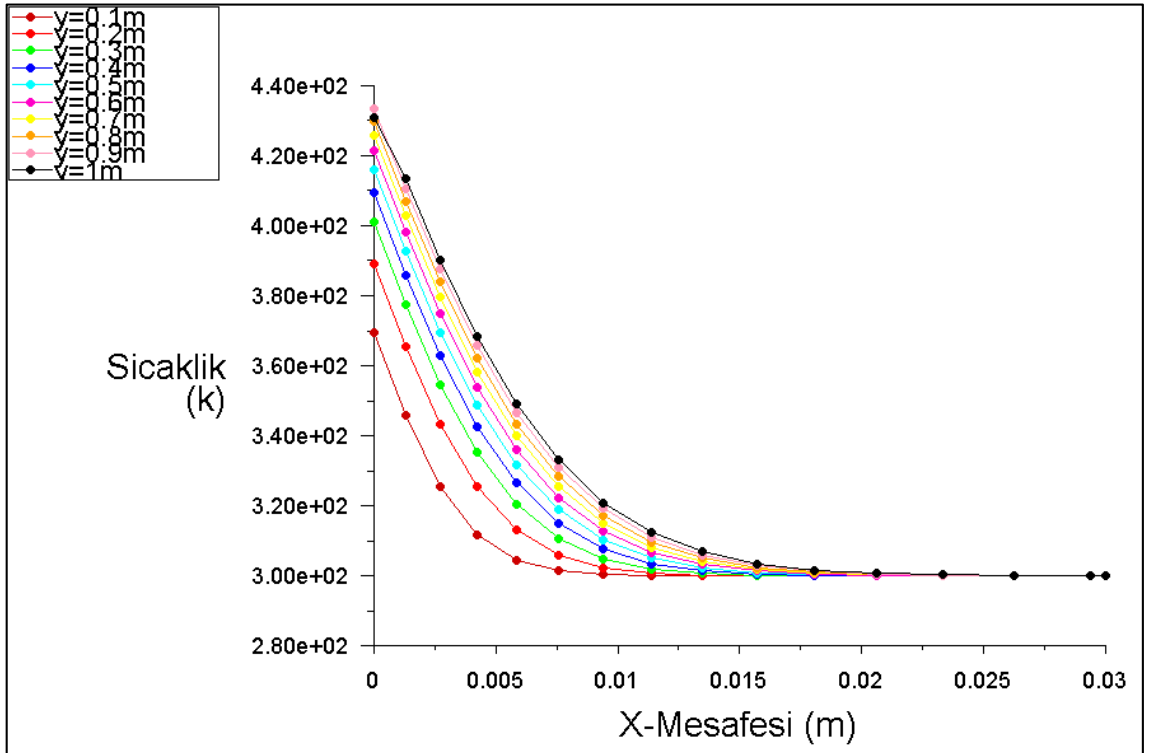
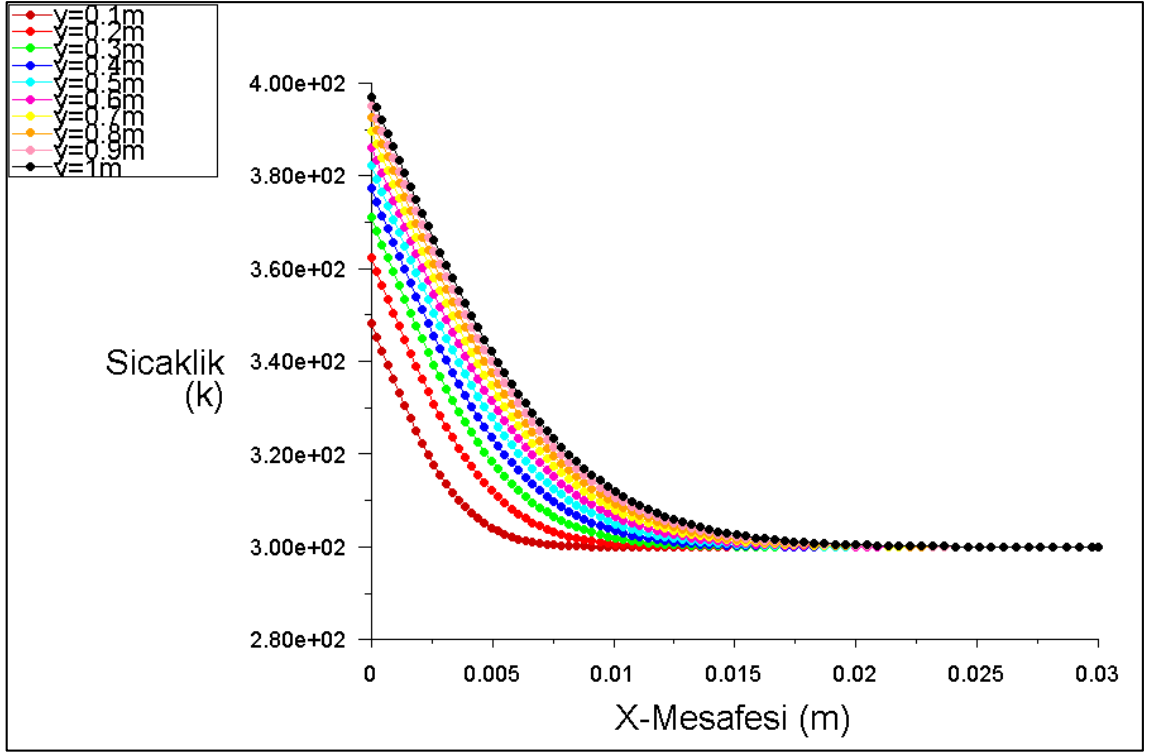
- Dikey plakaya etki eden sabit ısı akısı sonucunda yüzeyin sıcaklığı +y yönünde değişmiştir.
- Yüzeyde +y yönünde sıcaklık logaritmik olarak artmıştır.
- Artan ısı akısı değeri ile sıcaklık artışı da daha yüksek olmuştur.
- Ağ yapısının daha ince olması sonucu hassaslaştırmıştır.

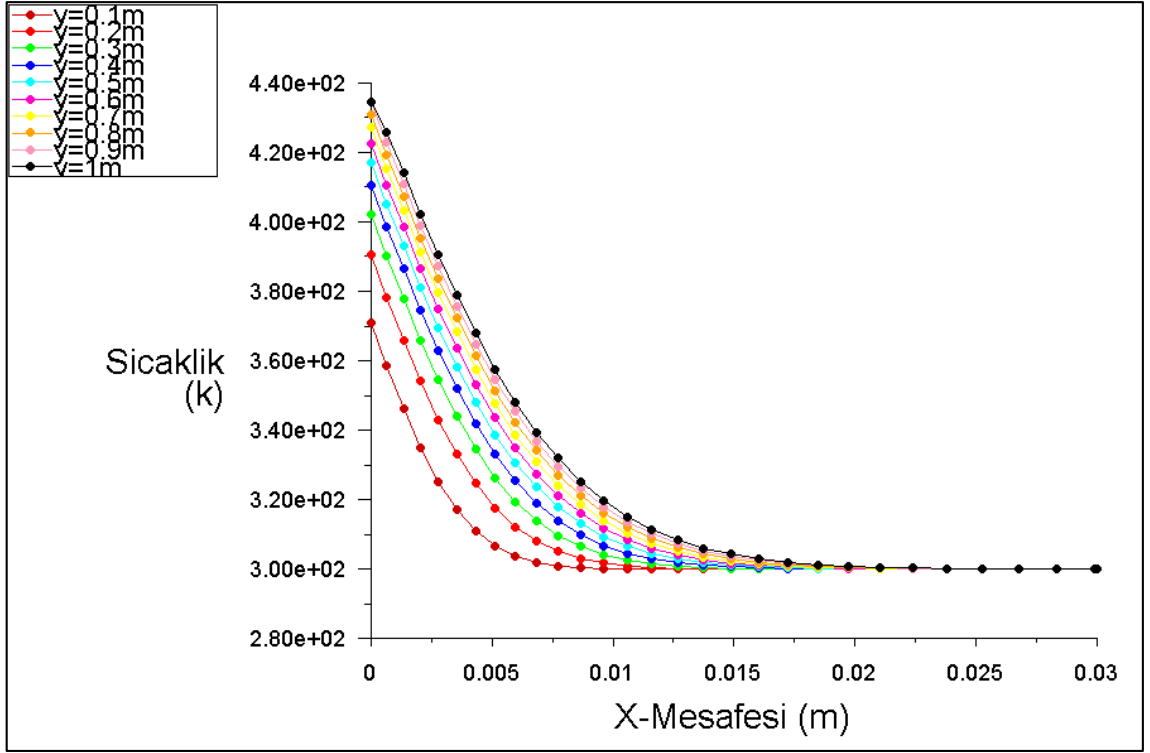
Yine Şekil 5.17'deki belirlenen on değişik doğrultuda sıcaklığın değişimi, farklı ağ yapılarında aşağıda gösterilmiştir.



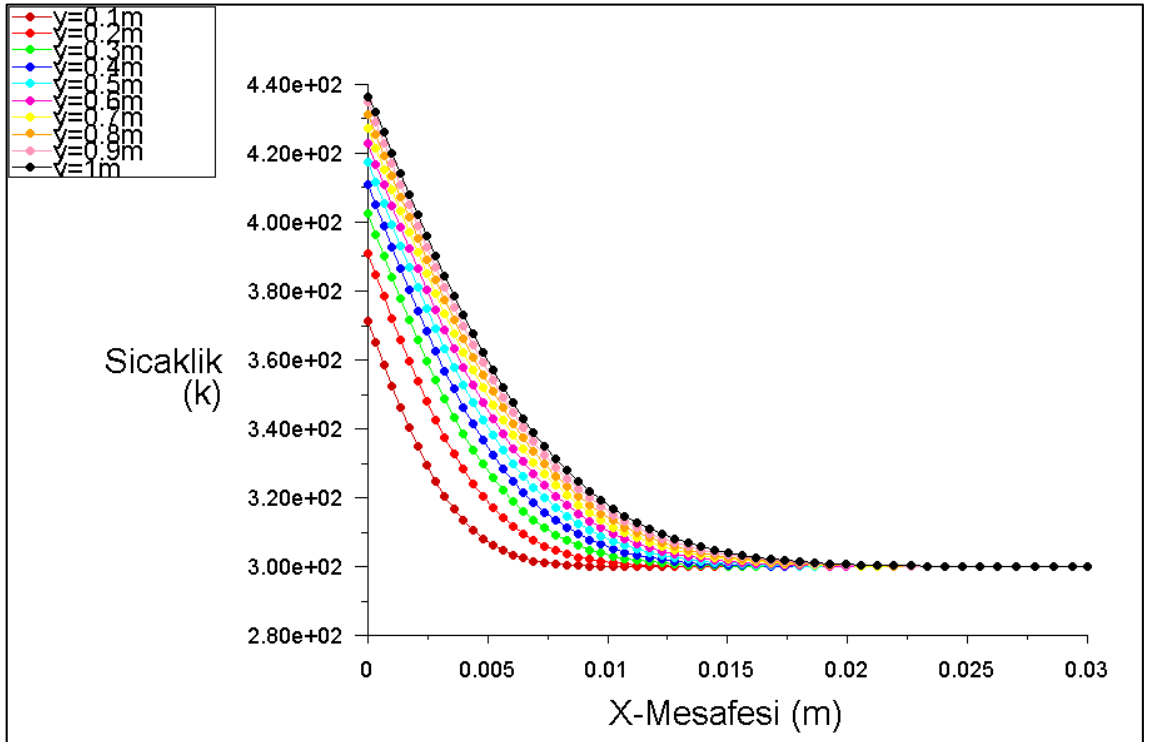
Şekil 5.50 400 W/m² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)



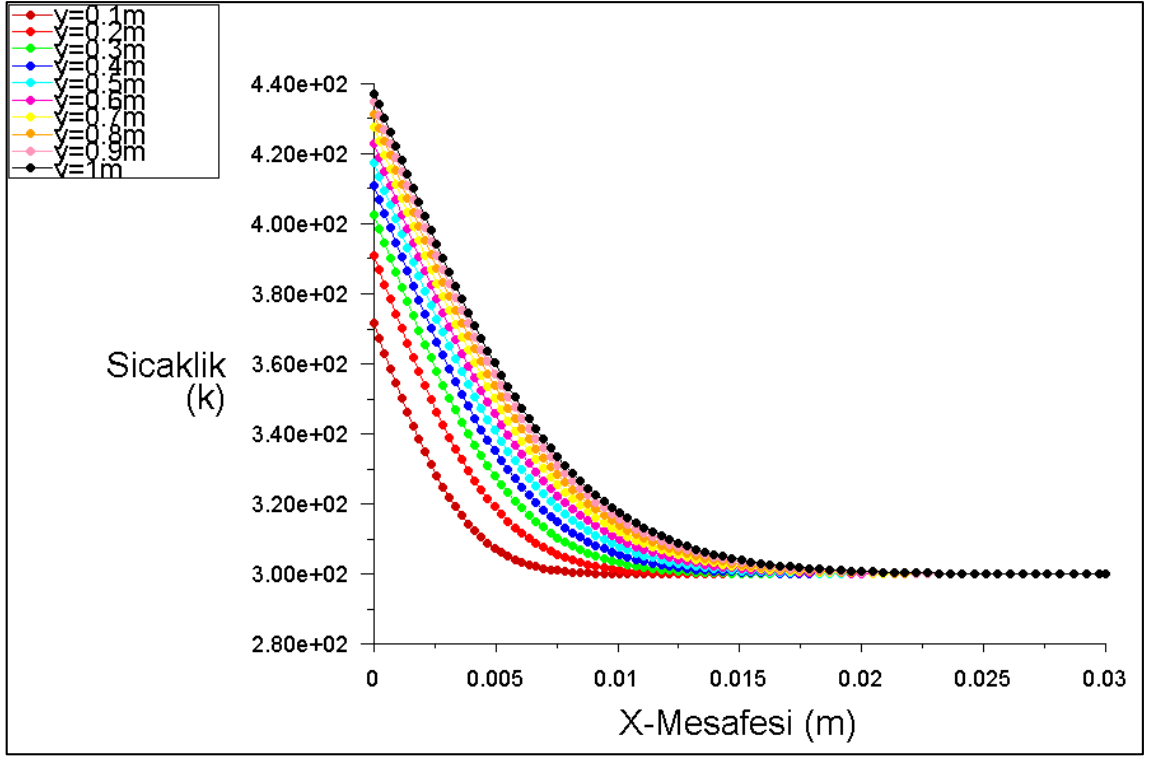




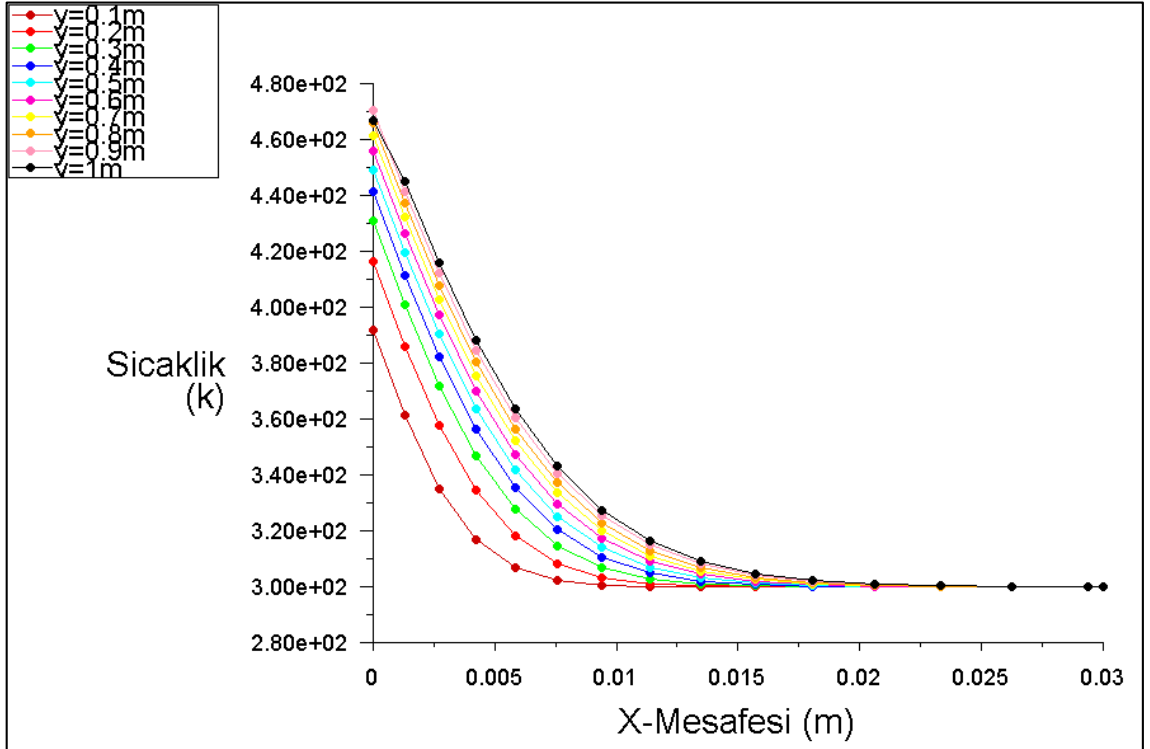
Şekil 5.55 600 W/m^2 ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (100x100 ağ yapısına sahip)



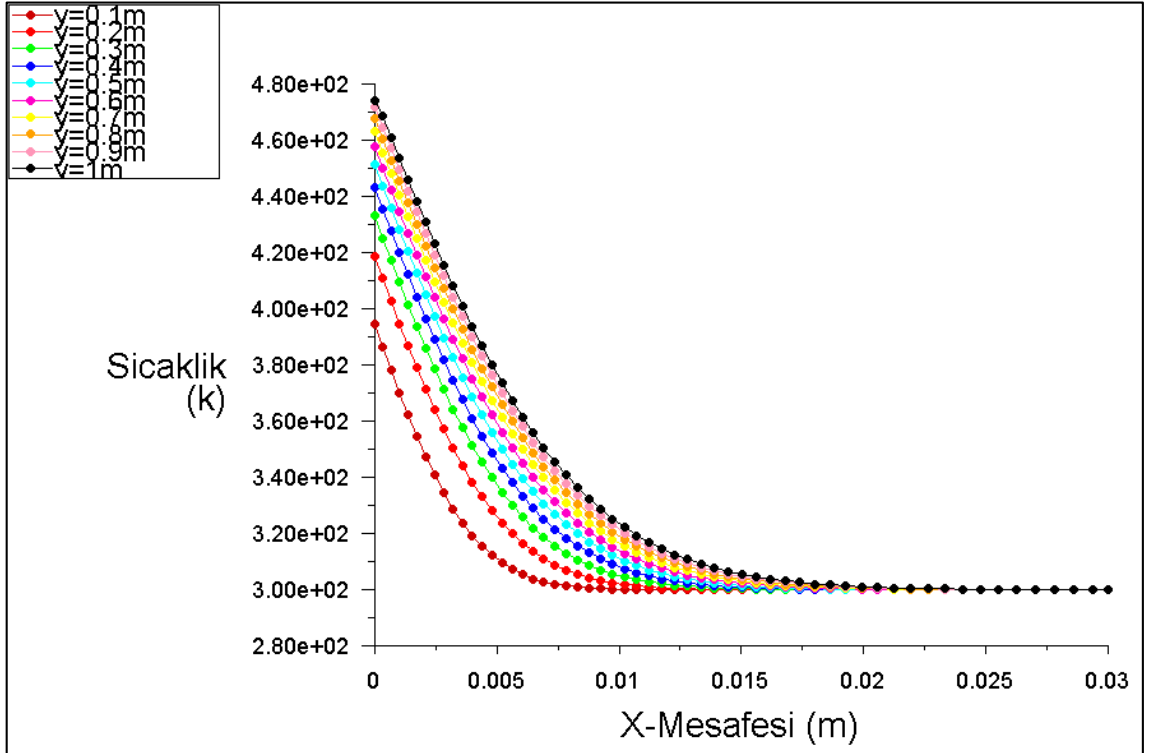
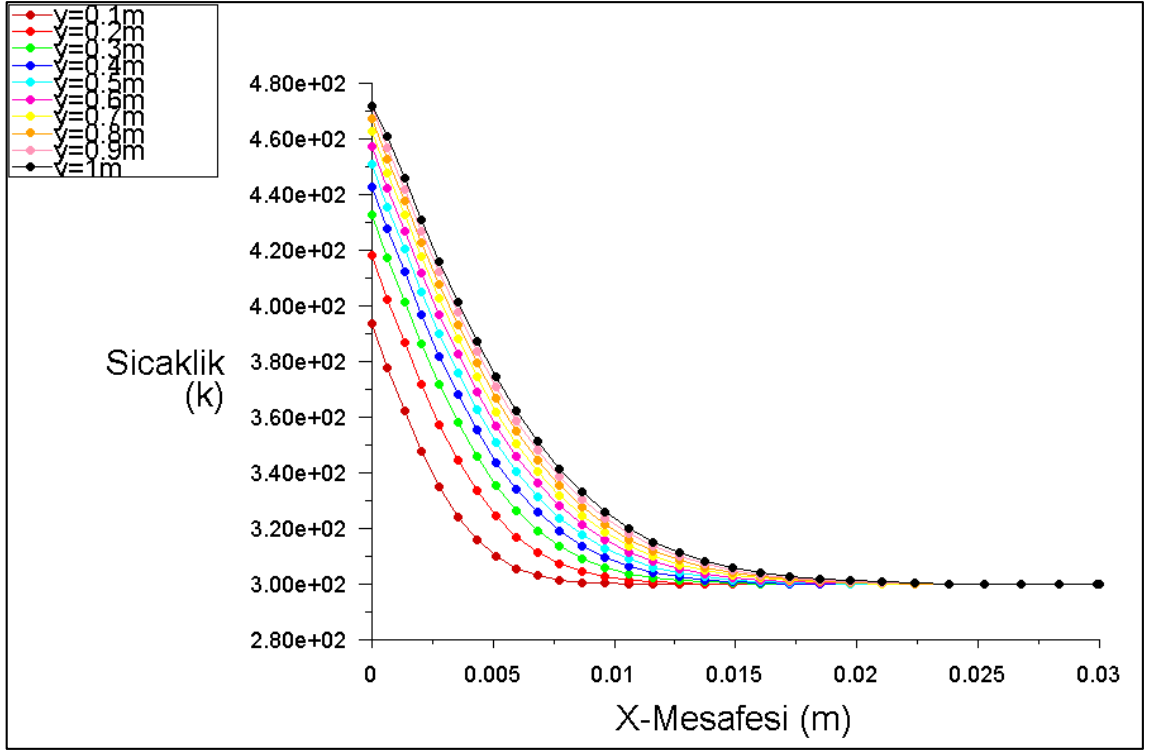
Şekil 5.56 600 W/m^2 ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (200x200 ağ yapısına sahip)

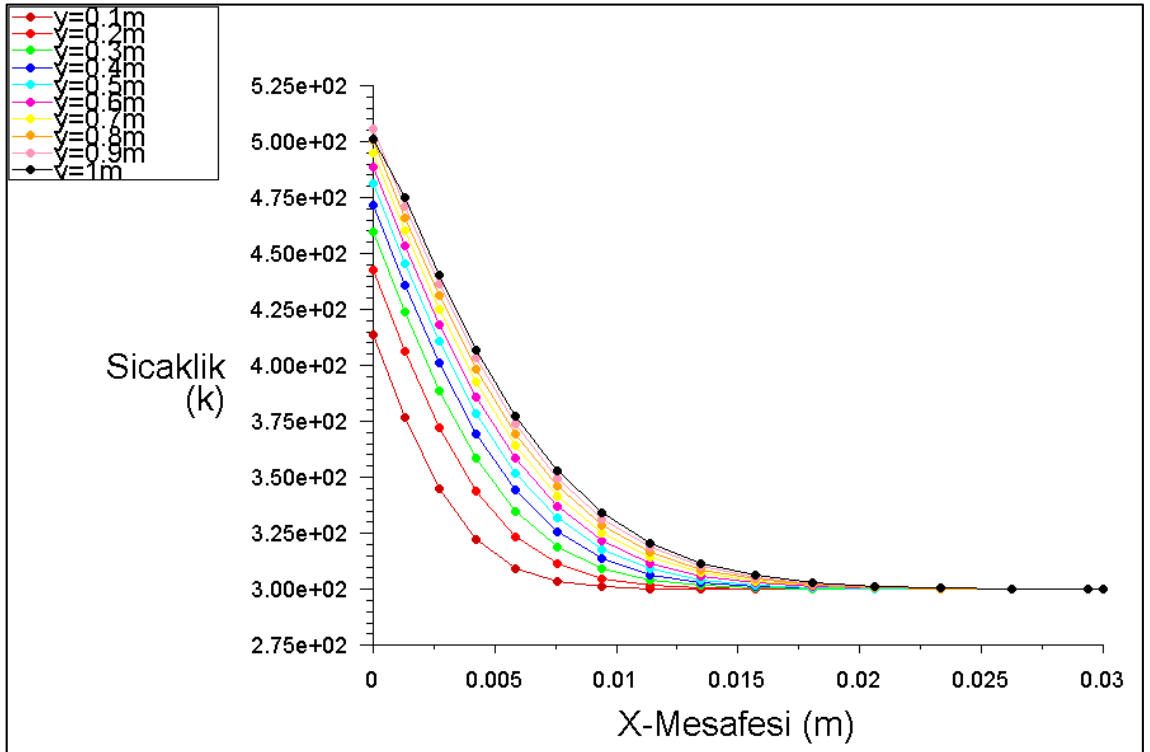
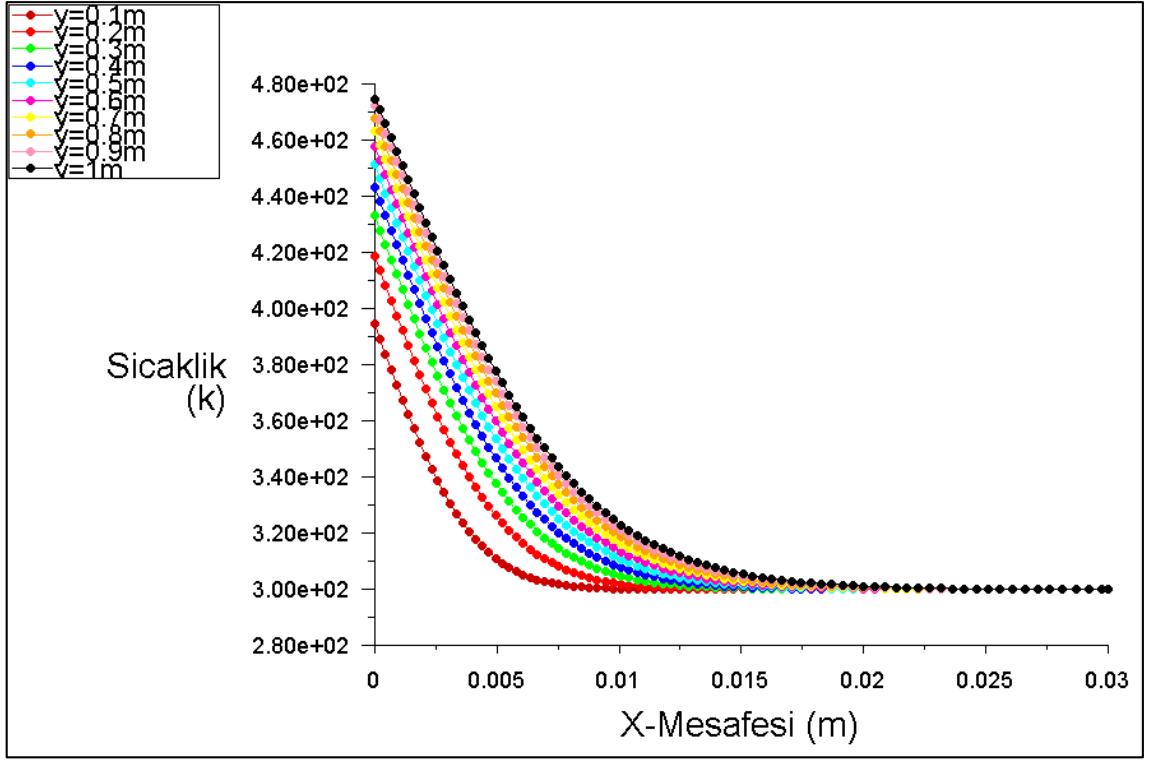


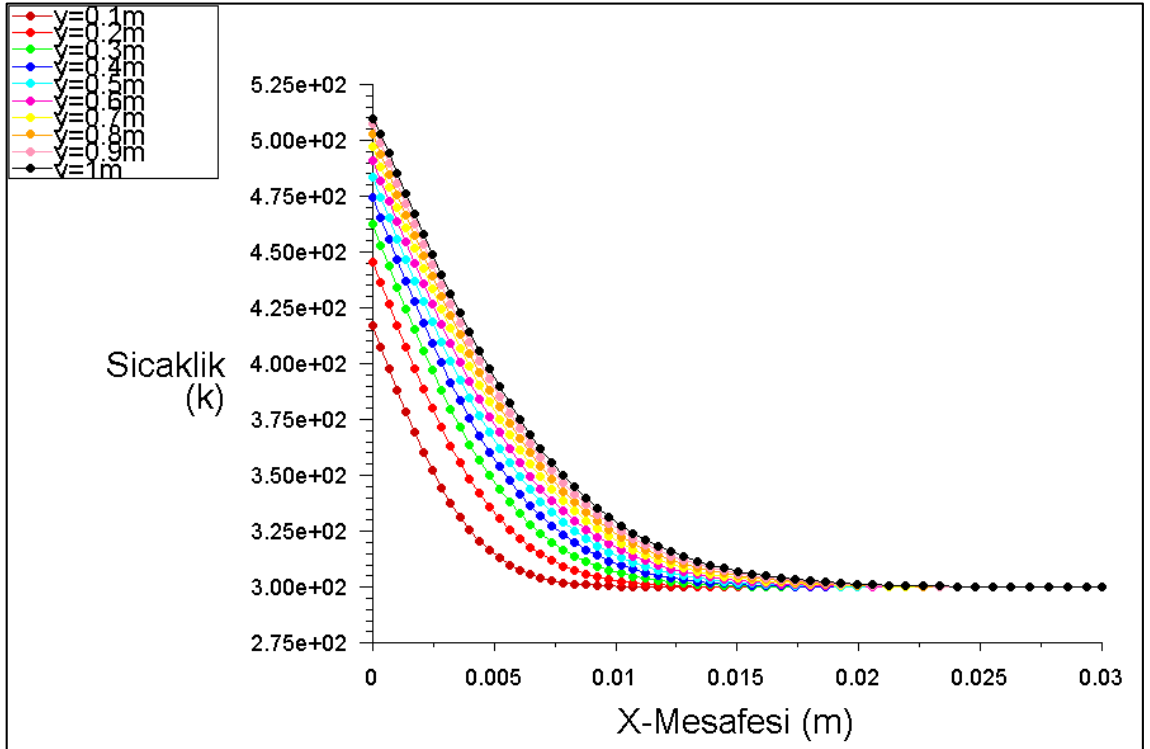
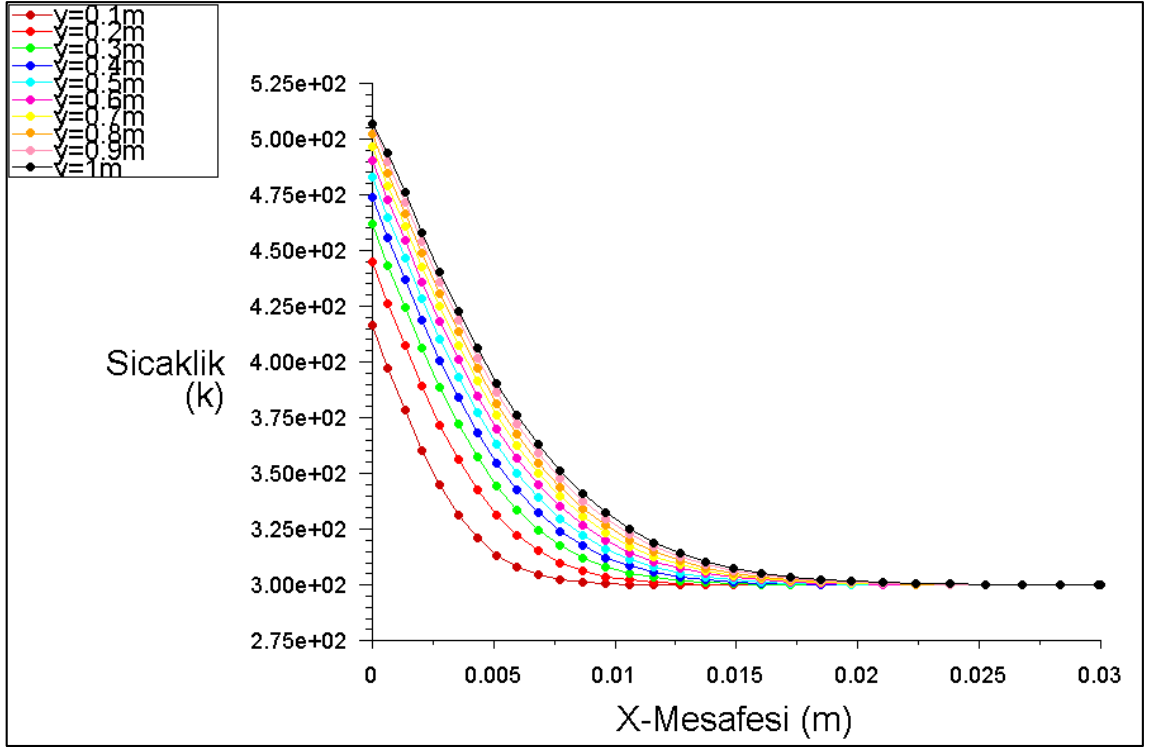
Şekil 5.57 600 W/m^2 ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)

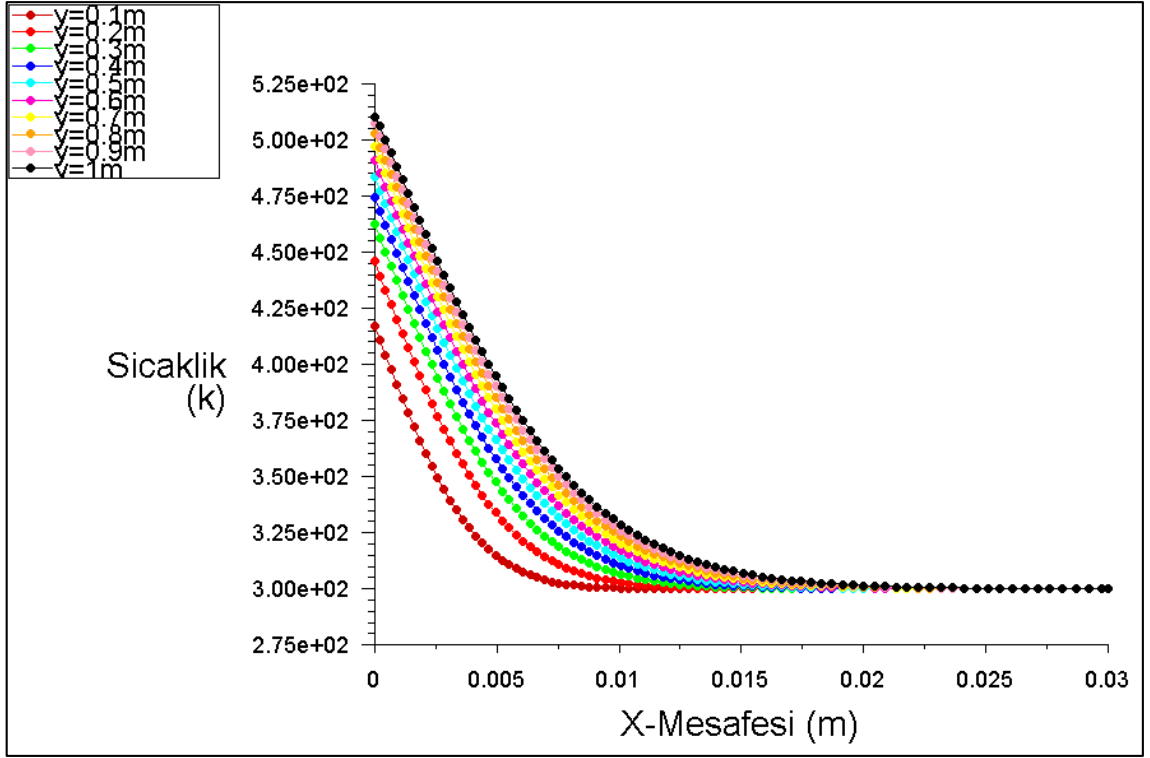


Şekil 5.58 800 W/m^2 ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (50x50 ağ yapısına sahip)









Şekil 5.65 1000 W/m² ısı akısındaki plakanın yüzeyine yakın yerdeki hava sıcaklığının değişimi (300x300 ağ yapısına sahip)

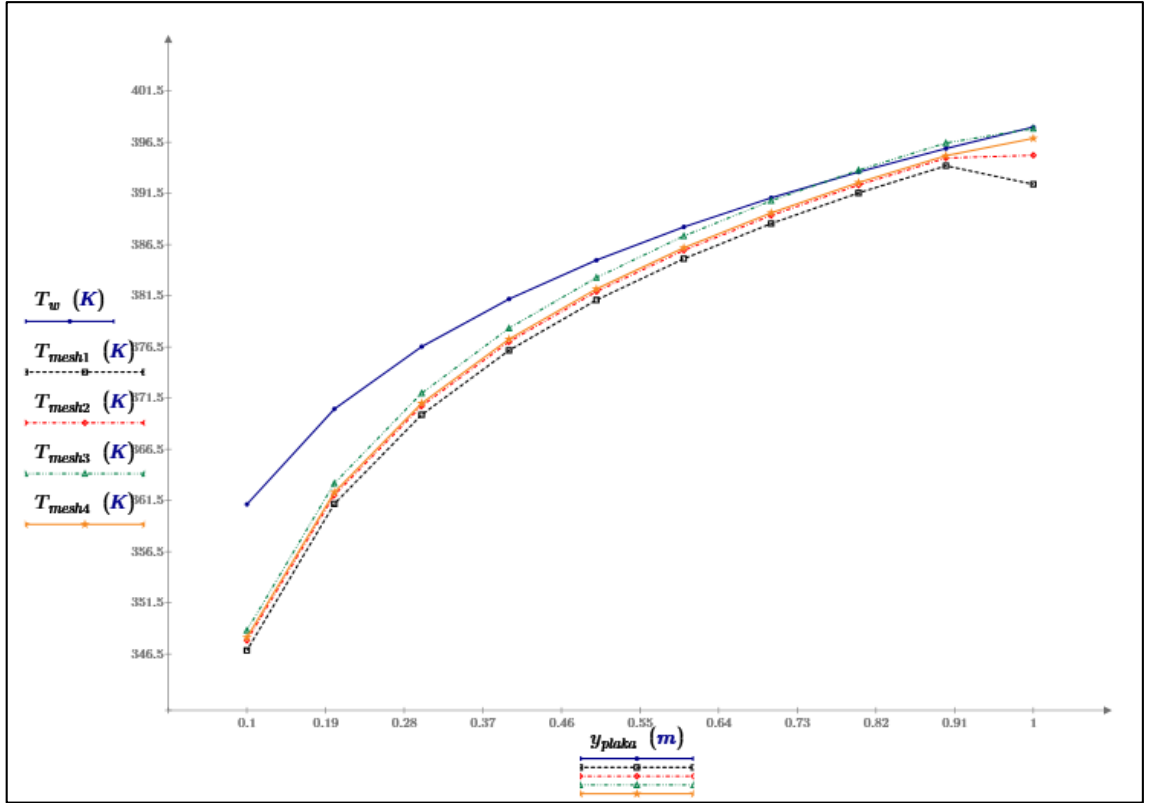
Şekil 5.50’den 5.65’e kadar olan grafiklerden çıkarılan sonuçlar aşağıdadır;

- Isıl sınır tabakası da hız sınır tabakasındaki gibi +x yönünde 0,02 m civarında gerçekleşmiştir.
- Artan ısı akısının, ısıl sınır tabakayı çok fazla etkilemediği görülmüştür.
- Isı akısının artmasıyla, yüzeyde oluşan sıcaklıklar da artmıştır.
- Artan ağ yapısı sonuçları daha hassaslaştırmıştır.

5.2 CFD Analizi ve Ampirik Bağıntı Sonuçlarının Karşılaştırılması

İlerleyen bölümde Mathcad yazılımı ile hesaplanan, dört değişik ısı akısı değerinden alınan sonuçlarla, Fluent’te hesaplanan dört değişik ısı akısı değerinin, dört ayrı ağ yapısı değeri için alınan sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

Aşağıdaki şekilde 400 W/m² sabit ısı akısı değerleri için karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 5.66).



Şekil 5.66 400 W/m² sabit ısı akısına maruz kalan plakanın sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 5.66, 5.68, 5.70 ve 5.72'deki grafiklerde; T_w , plakaya etkiyen ısı akısı sonucu oluşan sıcaklığın, ampirik ifade sonucu bulunan değerlerini; T_{mesh1} , 50x50 ağ yapısına sahip hesaplama bölgesinin Fluent sonuçlarını, T_{mesh2} , 100x100 ağ yapısına sahip hesaplama bölgesinin Fluent sonuçlarını, T_{mesh3} , 200x200 ağ yapısına sahip hesaplama bölgesinin Fluent sonuçlarını, T_{mesh4} , 300x300 ağ yapısına sahip hesaplama bölgesinin Fluent sonuçlarını göstermektedir.

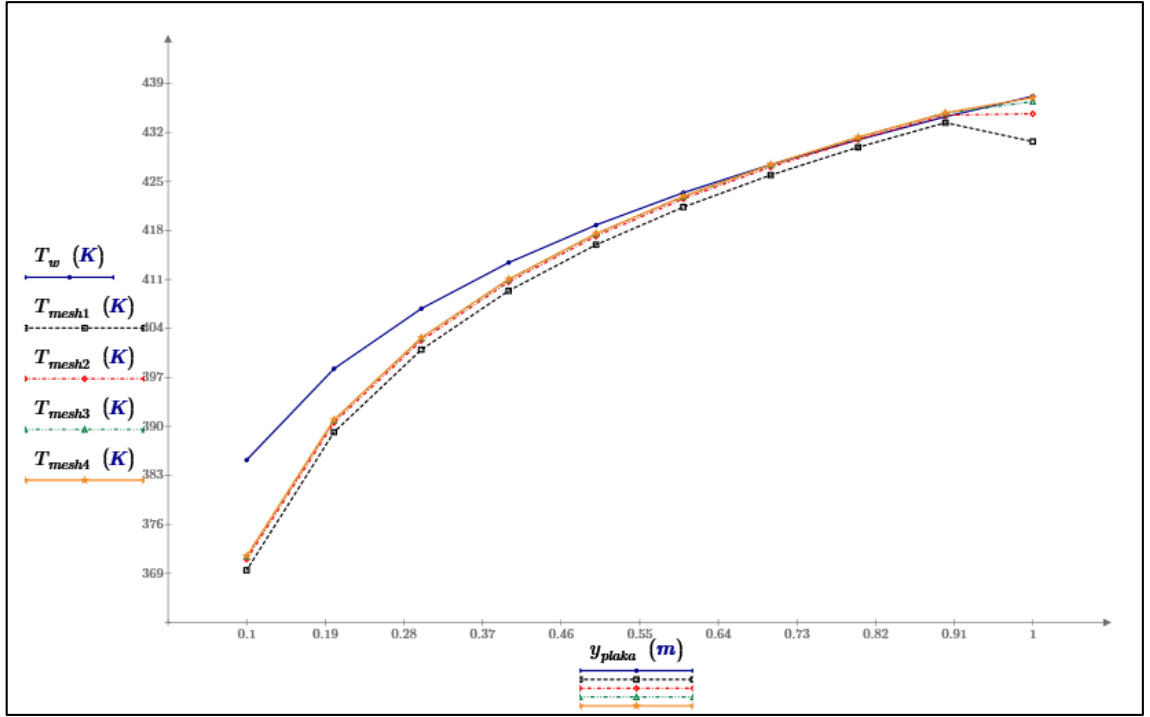
Aşağıda ise yine 400 W/m² sabit ısı akısı etkiyen plakaya ait sonuçlar detaylı bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.67).

y_{plaka} (<i>m</i>)	T_{400W} (<i>K</i>)	T_{mesh1} (<i>K</i>)	T_{mesh2} (<i>K</i>)	T_{mesh3} (<i>K</i>)	T_{mesh4} (<i>K</i>)
0.1	361.13	346.86	347.84	348.82	348.12
0.2	370.44	361.17	362.03	363.18	362.29
0.3	376.54	369.88	370.74	371.99	371.00
0.4	381.19	376.17	377.01	378.33	377.27
0.5	384.99	381.09	381.91	383.28	382.17
0.6	388.23	385.12	385.94	387.34	386.19
0.7	391.07	388.56	389.35	390.79	389.60
0.8	393.60	391.55	392.32	393.78	392.56
0.9	395.89	394.20	394.96	396.43	395.19
1	397.99	392.40	395.23	397.84	396.88

Şekil 5.67 400W/m² sabit ısı akısı etkiyen dikey plakaya ait tüm sonuçlar

Fluent'ten elde edilen sonuçlar ile deneysel bağıntıdan elde edilen sonuçların aralarında, ilk adımda 13-14 derecelik farklar olsa da dikey plakanın bittiği bölgeye yakın yerlerde fark, neredeyse sıfıra düşmüştür. Ağ yapısının daha ince olması durumunda, çözüm hassasiyet kazanıp, kaba şekilde atılan 50x50 ağ yapısına ait sonucun, son adımındaki sıcaklık düşüşünün, ağ yapısından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Kısacası, ağ yapısının daha ince olması, Fluent'ten alınan sonuçları, deneysel ifadeden çıkan sonuçlara yaklaştırmıştır.

Aşağıdaki şekilde 600 W/m² sabit ısı akısı değeri için karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 5.68).



Şekil 5.68 600 W/m² sabit ısı akısına maruz kalan plakanın sonuçlarının karşılaştırılması

Aşağıdaki çizelgede ise 600 W/m² sabit ısı akısı etkileyen plakaya ait sonuçlar detaylı bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.69).

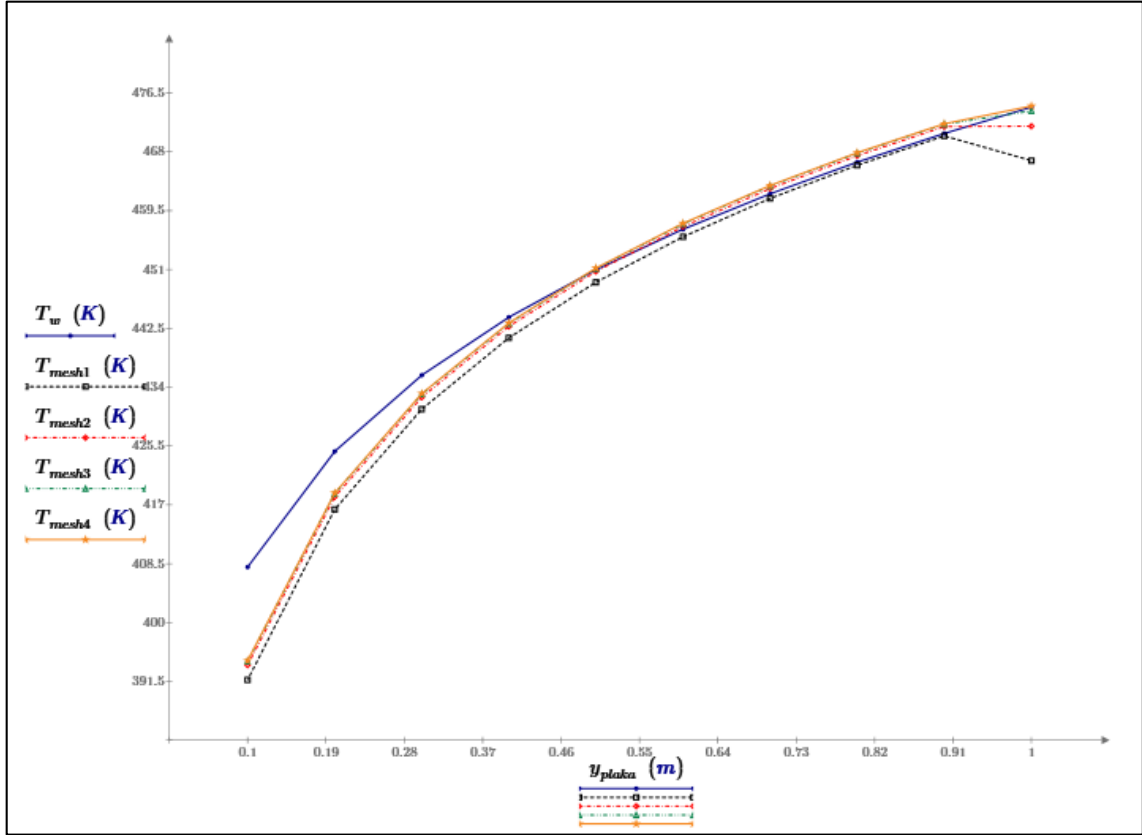
y_{plaka} (m)	T_{600W} (K)	T_{mesh1} (K)	T_{mesh2} (K)	T_{mesh3} (K)	T_{mesh4} (K)
0.1	385.22	369.46	371.02	371.41	371.49
0.2	398.26	389.19	390.55	390.90	390.97
0.3	406.85	400.98	402.28	402.62	402.69
0.4	413.42	409.40	410.66	410.99	411.06
0.5	418.79	415.97	417.19	417.51	417.57
0.6	423.41	421.35	422.54	422.84	422.91
0.7	427.43	425.93	427.08	427.37	427.43
0.8	430.97	429.90	431.00	431.29	431.35
0.9	434.27	433.41	434.49	434.76	434.82
1	437.19	430.71	434.68	436.43	436.99

Şekil 5.69 600W/m² sabit ısı akısı etkileyen dikey plakaya ait tüm sonuçlar

Şekil 5.69'dan çıkarılacak sonuçlardan biri, 400 W/m²'deki sonuca benzer şekilde ilk üç adımda aralarındaki farkın biraz daha fazla olduğu (14-15 derece); ancak 0,4 m ve daha

yukarıdaki sonuçlarda (1 m'deki hariç) neredeyse tüm ağ yapılarında benzer sonuçlar alındığıdır. Ağ yapısının en ince olduğu 300x300 durumunda, 1 m'deki sıcaklıklar da örtüşmüştür.

Aşağıdaki şekilde 800 W/m² sabit ısı akısı değeri için karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 5.70).



Şekil 5.70 800 W/m² sabit ısı akısına maruz kalan plakanın sonuçlarının karşılaştırılması

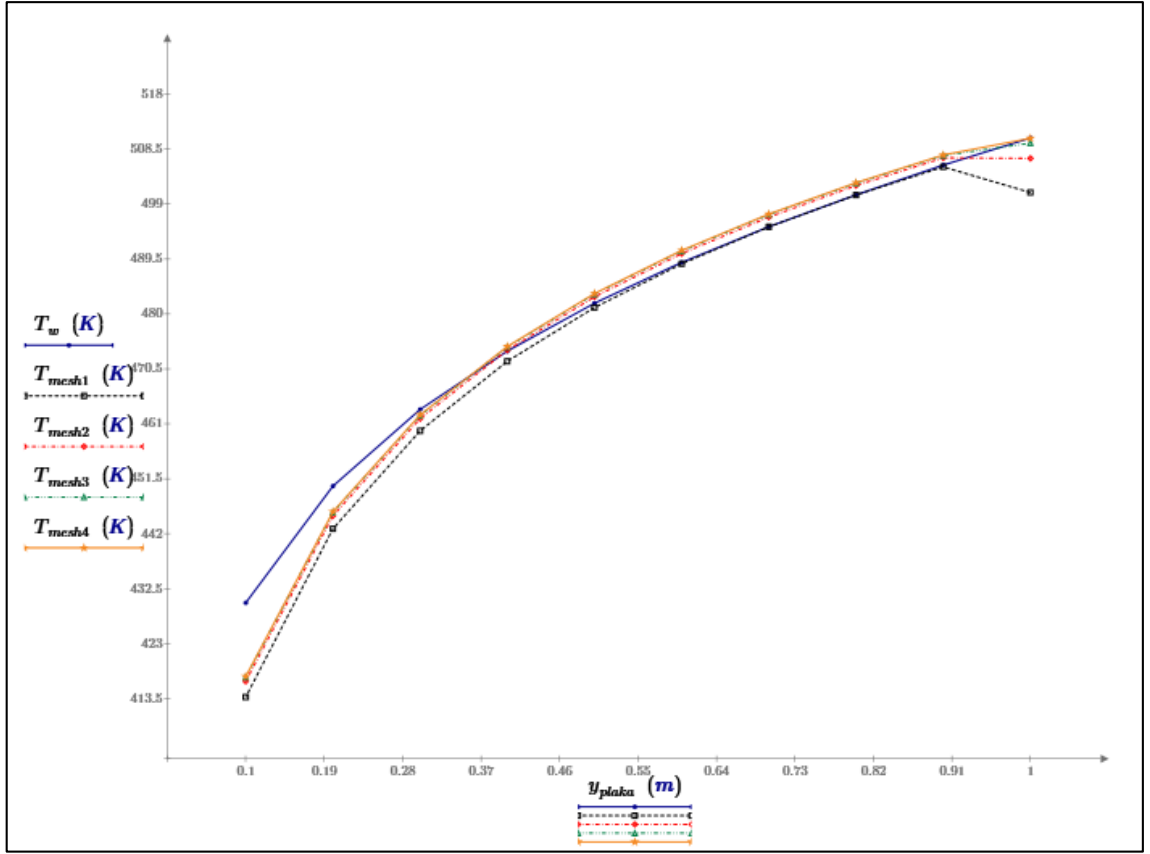
Aşağıdaki çizelgede ise 800 W/m² sabit ısı akısı etkiyen plakaya ait sonuçlar detaylı bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.71).

y_{plaka} (<i>m</i>)	T_{800W}	T_{mesh1} (<i>K</i>)	T_{mesh2} (<i>K</i>)	T_{mesh3} (<i>K</i>)	T_{mesh4} (<i>K</i>)
0.1	408.01	391.71	393.85	394.39	394.50
0.2	424.71	416.33	418.15	418.62	418.71
0.3	435.73	430.83	432.55	432.99	433.08
0.4	444.11	441.14	442.78	443.20	443.29
0.5	450.97	449.17	450.73	451.13	451.22
0.6	456.82	455.73	457.21	457.60	457.68
0.7	461.95	461.28	462.70	463.07	463.15
0.8	466.52	466.07	467.45	467.81	467.89
0.9	470.67	470.31	471.65	472.00	472.07
1	474.47	466.74	471.72	473.93	474.63

Şekil 5.71 800W/m² sabit ısı akısı etkiyen dikey plakaya ait tüm sonuçlar

Şekil 5.71'den çıkarılacak sonuçlar arasında ilki, 400 W/m² ve 600 W/m²'deki sonuca benzer şekilde, ilk adımda aralarındaki farkın biraz daha fazla olduğu (13-17 derece); ancak 0,3-0,4 m ve plakanın daha üst kısımlarındaki sonuçlarda (1 m'deki hariç) neredeyse tüm ağ yapılarında benzer sonuçlar alındığıdır. Ağ yapısının ince 200x200 ve en ince olduğu 300x300 durumda, 1 m'deki sıcaklıklar da örtüşmüştür.

Aşağıdaki şekilde 1000 W/m² sabit ısı akısı değeri için karşılaştırma yapılmıştır (Şekil 5.72).



Şekil 5.72 1000 W/m² sabit ısı akısına maruz kalan plakanın sonuçlarının karşılaştırılması

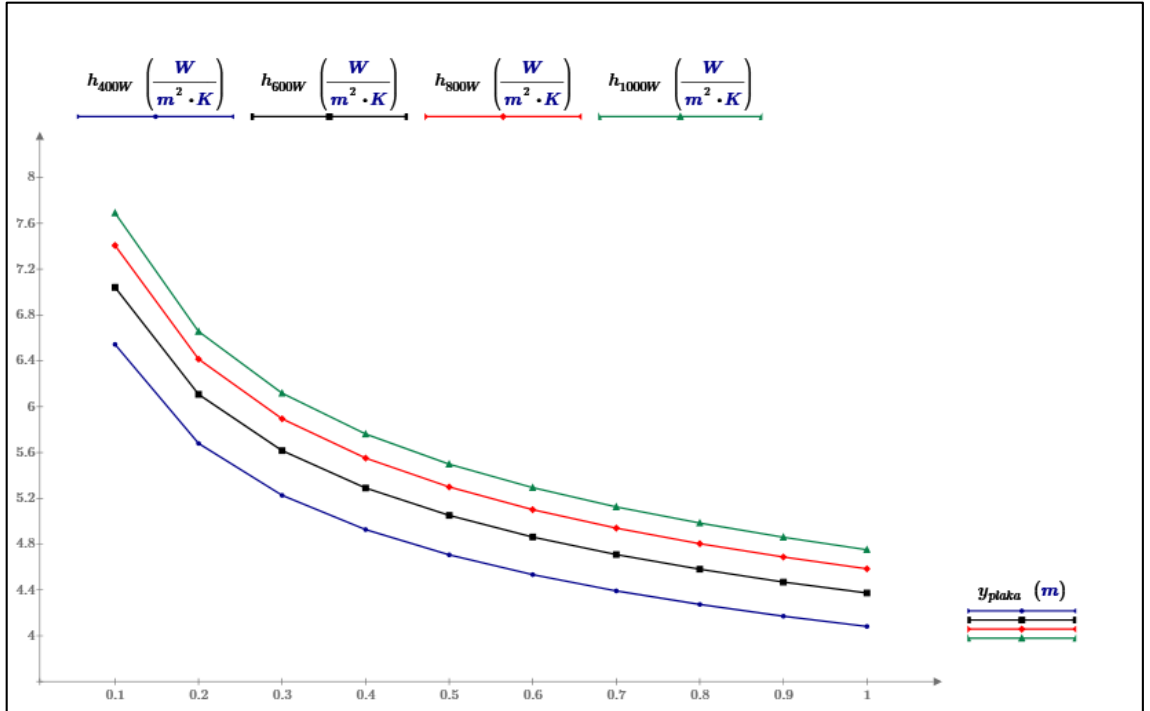
Aşağıdaki çizelgede ise 1000 W/m² sabit ısı akısı etkiyen plakaya ait sonuçlar detaylı bir şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.73).

Şekil 5.73'ten çıkarılacak sonuç, plakanın 0,1 m'sindeki sıcaklığın deneysel bağıntıdan bulunan ile, analiz sonucu bulunandan yaklaşık 13-17 derece fark olduğudur. Ancak 0,2 m ve daha üst kısımlarda sıcaklık değerleri birbirine çok yakındır. Hatta diğer ısı akılarından farklı olarak, ağ yapısına da çok bağlı olmadığı açıkça görülmektedir. Özellikle 0,3 m – 0,9 m aralığındaki sonuçlar, birbiriyle iyi uyum göstermiştir. Plakanın en üst noktasında yani 1 m'deki değerler arasında ise en ince ağ yapısına sahip olan 300x300 ağ yapısında bulunan yüzey sıcaklığı değeri neredeyse aynıdır. Buradan bir kez daha anlayabiliriz ki; ağ yapısının sonuçlar üzerindeki etkisi çok büyüktür. Deneysel bağıntıdan sonuç elde edilmesinde izlenen yol, her bir sabit ısı akısı değeri için ayrı ayrı EK-A'da gösterilmiştir.

y_{plaka} (m)	T_{1000W}	T_{mesh1} (K)	T_{mesh2} (K)	T_{mesh3} (K)	T_{mesh4} (K)
0.1	430.04	413.73	416.45	417.14	417.28
0.2	450.23	442.84	445.09	445.68	445.80
0.3	463.48	459.79	461.90	462.44	462.55
0.4	473.60	471.82	473.78	474.29	474.39
0.5	481.87	481.13	482.97	483.45	483.55
0.6	488.93	488.69	490.46	490.91	491.01
0.7	495.11	495.09	496.77	497.21	497.30
0.8	500.63	500.59	502.22	502.64	502.73
0.9	505.77	505.46	507.03	507.43	507.53
1	510.46	501.03	506.94	509.57	510.41

Şekil 5.73 1000W/m² sabit ısı akısı etkiyen dikey plakaya ait tüm sonuçlar

Aşağıdaki şekilde ise yerel ısı taşınım katsayısının, farklı sabit ısı akıları etkisindeki dikey plaka boyunca değişimi görülmektedir (Şekil 5.74).



Şekil 5.74 Yerel ısı taşınım katsayısının değişik ısı akılarında plaka üzerindeki değişimi

Yerel ısı taşınım katsayı değerleri beklendiği üzere, dikey plaka boyunca azalmaktadır. Artan ısı akısı değerlerinde, yerel ısı taşınım katsayıları da artmaktadır.

5.3 Öneriler

Aynı şartlarda;

- Deneysel çalışma yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Bu çalışma iki boyutta incelenmiş olup, üç boyutta incelenerek sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Doğal ortamda havanın durgun olmadığı düşünülürse, problemde havaya hız verilerek sonuçlar değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Çengel, Y. A., (2011). Isı ve Kütle Transferi Pratik bir Yaklaşım, 3. baskıdan çeviri, Güven Kitabevi, İzmir.
 - [2] Vliet, G. C., (1969). "Natural Convection Local Heat Transfer on Constant-Heat-Flux Inclined Surfaces", Journal of Heat Transfer, ASME, 91: 511-516.
 - [3] Vliet, G. C. ve Liu C. K., (1969) "An Experimental Study of Turbulent Natural Convection Boundary Layers", Journal of Heat Transfer, ASME, 69: 517-531.
 - [4] Vliet, G.C. ve Ross D. C., (1975) "Turbulent Natural Convection on Upward and Downward Facing Inclined Constant Heat Flux Surfaces", Journal of Heat Transfer, ASME, 74: 549-554.
 - [5] Fahiminia, M., Naserian, M. M., Goshayeshi, H. R., Majidian, D., (2011). "Investigation of Natural Convection Heat Transfer Coefficient on Extended Vertical Base Plates", Energy and Power Engineering, 3: 174-180.
 - [6] Laein, R. P., Rashidi, S., Esfahani, A., (2016). "Experimental investigation of nanofluid free convection over the vertical and horizontal flat plates with uniform heat flux by PIV", Advanced Powder Technology, 27: 312-322.
 - [7] Teymourtash A. R., Khonakdar D. R., Raveshi M. R., (2013). "Natural convection on a vertical plate with variable heat flux in supercritical fluids", The Journal of Supercritical Fluids, 74: 115-127.
 - [8] Pantokratoras A., (2003). "Laminar free-convection in glycerol with variable physical properties adjacent to a vertical plate with uniform heat flux", International Journal of Heat and Mass Transfer, 46: 1675-1678.
 - [9] Lim C. K. ve Chung B. J., (2015). "Natural convection experiments on the upward and downward faces of inclined plates using an electroplating system", Heat Mass Transfer, 51: 713-722.
 - [10] Khan W. A. ve Aziz A., (2011). "Natural convection flow of a nanofluid over a vertical plate with uniform surface heat flux", International Journal of Thermal Sciences, 50: 1207-1214.
 - [11] Aydın, M., (1997). "Dependence of Natural Convection over a Vertical Flat Plate in the Presence of the Ribs", Int. Comm. Heat Mass Transfer, 24: 521-231.

DENEYSEL BAĞINTIDAN HESAPLANAN YÜZEY SICAKLIKLARI

Bu bölümde, dikey plakaya etki eden dört farklı ısı akısı değerinin (400, 600, 800, 1000 W/m²) etkisi sonucunda, yüzey sıcaklıklarının ne olabileceği sorusuna cevap aranmıştır. Vliet'in [2] yaptığı deneylerden elde ettiği sonuçların değerlendirip ortaya koyulan Nusselt bağıntısı (1.13), plaka yüzeyinde seçilmiş; 0,1 m; 0,2 m; ... 1 m'deki yüzey sıcaklıklarının iterasyonla belirlenmesi için kullanılmıştır. İterasyon adımlarının her birinde havanın özellikleri de değiştirilmiştir. Yüzey sıcaklıklarının elde edilmesinde, Mathcad programı kullanılmıştır.

A-1 400 W/m² Sabit Isı Akısı Etkiyen Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıklarının Elde Edilmesi

400 W/m² Sabit Isı Akısına Maruz Kalan Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıkları

Plakanın 0,1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.1 \text{ m} \quad q_w := 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_\infty := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.02926 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 9.946 \cdot 10^7$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 6.976 \cdot 10^7$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 6.504 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 61.505 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_\infty + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 330.752 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.003023 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 331 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.058232 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 199.232 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 19.0086 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 28.594 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 27.088 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.70266$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.148 \cdot 10^8$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 6.543 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_1 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 8.069 \cdot 10^7 \quad Nu_1 := 0.60 \cdot (Ra_1)^{\frac{1}{5}} = 22.883$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 61.133 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 330.566 \text{ K}$$

$$T_{w1} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 361.133 \text{ K}$$

Plakanın 0,2 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.2 \text{ m} \quad q_w := 400 \frac{W}{m^2} \quad h := 5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{K}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.02926 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.591 \cdot 10^9$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.116 \cdot 10^9$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.662 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 70.651 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 335.325 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002982 \frac{1}{K}$$

Havanın 335 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.04492 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 201.12 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 19.411 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 28.89 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 27.68 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.7021$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.72 \cdot 10^9$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.679 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_2 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.208 \cdot 10^9 \quad Nu_2 := 0.60 \cdot \left(Ra_2 \right)^{\frac{1}{5}} = 39.313$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 70.437 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 335.219 \text{ K}$$

$$T_{w2} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 370.437 \text{ K}$$

Plakanın 0.3 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.3 \text{ m}$$

$$q_w := 400 \frac{W}{m^2}$$

$$h := 5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ } K$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 340 \text{ } K$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{K}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.02926 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 8.056 \cdot 10^9$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 5.651 \cdot 10^9$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.221 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 76.619 \text{ } K$$

$$T_{f,yeni} := T_\infty + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 338.309 \text{ } K$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002956 \frac{1}{K}$$

Havanın 338 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.034936 \frac{kg}{m^3} \quad \mu := 202.536 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \nu := 19.7128 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 29.112 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 28.124 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.70168$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 8.305 \cdot 10^9$$

$$h_{w,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.226 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_3 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 5.827 \cdot 10^9$$

$$Nu_3 := 0.60 \cdot \langle Ra_3 \rangle^{\frac{1}{5}} = 53.857$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 76.536 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 338.268 \text{ K}$$

$$T_{w3} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 376.536 \text{ K}$$

Plakanın 0,4 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.4 \text{ m} \quad q_w := 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.02926 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.546 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.786 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \langle Gr_x \cdot Pr \rangle^{\frac{1}{5}} = 4.929 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 81.156 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 340.578 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002936 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 341 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.024952 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 203.952 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 20.0146 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 29.334 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 28.568 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.70126$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.51 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.927 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_4 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.76 \cdot 10^{10}$$

$$Nu_4 := 0.60 \cdot (Ra_4)^{\frac{1}{5}} = 67.184$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 81.187 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 340.593 \text{ K}$$

$$T_{w4} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 381.187 \text{ K}$$

Plakanın 0,5 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.5 \text{ m}$$

$$q_w := 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$h := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.02926 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.216 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 4.36 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.714 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 84.86 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 342.43 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00292 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 342 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.021624 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 204.424 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 20.1152 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 29.408 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 28.716 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.70112$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.019 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.707 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_5 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 4.22 \cdot 10^{10} \quad Nu_5 := 0.60 \cdot \left(Ra_5 \right)^{\frac{1}{5}} = 80.023$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 84.987 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 342.493 \text{ K}$$

$$T_{w5} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 384.987 \text{ K}$$

Plakanın 0,6 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.6 \text{ m} \quad q_w := 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.02926 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.289 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 9.041 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.545 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 88.012 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 344.006 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002907 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 344 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.014968 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 205.368 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 20.3164 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$
$$k_f := 29.556 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 29.012 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.70084$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.212 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.534 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_6 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 8.493 \cdot 10^{10} \quad Nu_6 := 0.60 \cdot \left(Ra_6 \right)^{\frac{1}{5}} = 92.037$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 88.228 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 344.114 \text{ K}$$

$$T_{w6} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 388.228 \text{ K}$$

Plakanın 0,7 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.7 \text{ m} \quad q_w := 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7014$$
$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.02926 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.388 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.675 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.407 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 90.767 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 345.384 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002895 \frac{1}{K}$$

Havanın 345 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.01164 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 205.84 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 20.417 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 29.63 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 29.16 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.7007$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.209 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_x \cdot Pr = 1.673 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.393 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 91.064 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 345.532 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002894 \frac{1}{K}$$

Havanın 346 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.008312 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 206.312 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 20.5176 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 29.704 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 29.308 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.70056$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.181 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.392 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_7 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.528 \cdot 10^{11} \quad Nu_7 := 0.60 \cdot \left(Ra_7 \right)^{\frac{1}{5}} = 103.503$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 91.073 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 345.537 \text{ K}$$

$$T_{w7} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 391.073 \text{ K}$$

Plakanın 0,8 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.8 \text{ m} \quad q_w := 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.02926 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 4.074 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 2.857 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.291 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 93.224 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 346.612 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002885 \frac{1}{K}$$

Havanın 347 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.004984 \frac{kg}{m^3} \quad \mu := 206.784 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \nu := 20.6182 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 29.778 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 29.456 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.70042$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 3.663 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.274 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_8 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.566 \cdot 10^{11} \quad Nu_8 := 0.60 \cdot \left(Ra_8 \right)^{\frac{1}{5}} = 114.813$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 93.597 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 346.798 \text{ K}$$

$$T_{w8} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 393.597 \text{ K}$$

Plakanın 0,9 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.9 \text{ m} \quad q_w := 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad T_\infty := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.02926 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.526 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 4.577 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.191 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 95.446 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_\infty + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 347.723 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002876 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 348 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.001656 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 207.256 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 20.7188 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 29.852 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 29.604 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.70028$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 5.778 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.171 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_g := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 4.046 \cdot 10^{11} \quad Nu_g := 0.60 \cdot \left(Ra_g \right)^{\frac{1}{5}} = 125.765$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 95.889 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 347.945 \text{ K}$$

$$T_{w9} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 395.889 \text{ K}$$

Plakanın 1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 1 \text{ m} \quad q_w := 400 \frac{W}{m^2} \quad h := 5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 80 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 340 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002941 \frac{1}{K}$$

Havanın 340 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.02828 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1008.6 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.0348 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7014$$

$$\nu := 19.914 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.02926 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.2842 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 9.946 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 6.976 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.103 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 97.479 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 348.739 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002867 \frac{1}{K}$$

Havanın 349 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.998328 \frac{kg}{m^3} \quad \mu := 207.728 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \nu := 20.8194 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 29.926 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 29.752 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.70014$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 8.674 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.082 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_{10} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 6.073 \cdot 10^{11} \quad Nu_{10} := 0.60 \cdot \left(Ra_{10} \right)^{\frac{1}{5}} = 136.407$$

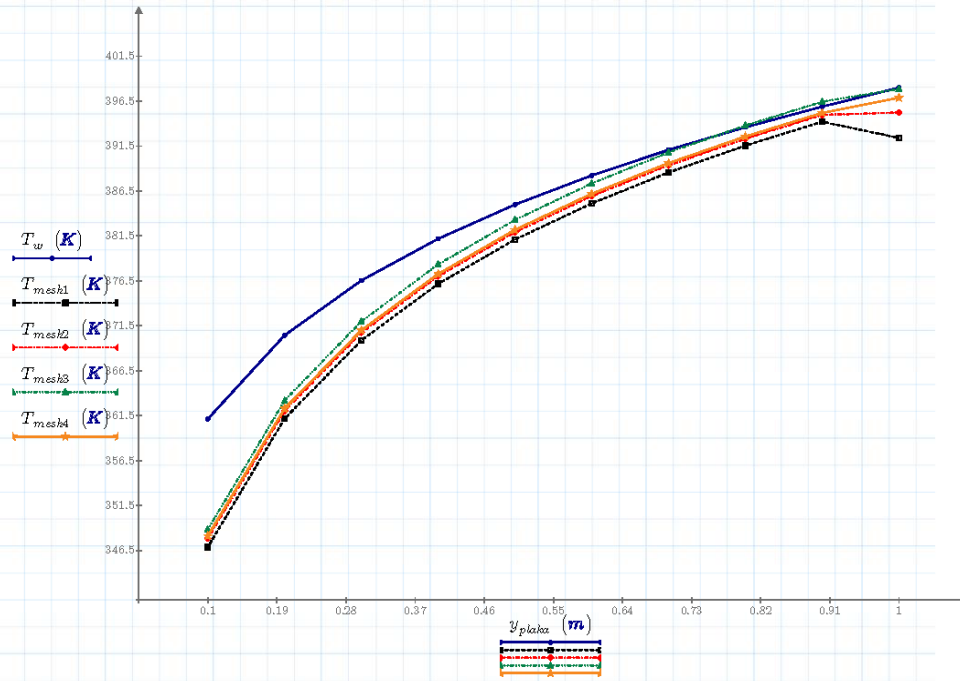
$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 97.988 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 348.994 \text{ K}$$

$$T_{w10} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 397.988 \text{ K}$$

y_{plaka} (m)	T_w	T_{mesh1} (K)	T_{mesh2} (K)	T_{mesh3} (K)	T_{mesh4} (K)
0.1	T_{w1}	346.86	347.84	348.82	348.12
0.2	T_{w2}	361.17	362.03	363.18	362.29
0.3	T_{w3}	369.88	370.74	371.99	371.00
0.4	T_{w4}	376.17	377.01	378.33	377.27
0.5	T_{w5}	381.09	381.91	383.28	382.17
0.6	T_{w6}	385.12	385.94	387.34	386.19
0.7	T_{w7}	388.56	389.35	390.79	389.60
0.8	T_{w8}	391.55	392.32	393.78	392.56
0.9	T_{w9}	394.20	394.96	396.43	395.19
1	T_{w10}	392.40	395.23	397.84	396.88

Fluent'te alınan ağı yapısına bağlı sonuçlarla deneysel bağıntıdan çıkan sonuçların karşılaştırılması:



$T_w = \begin{bmatrix} 361.133 \\ 370.437 \\ 376.536 \\ 381.187 \\ 384.987 \\ 388.228 \\ 391.073 \\ 393.597 \\ 395.889 \\ 397.988 \end{bmatrix} \mathbf{K}$	$T_{mesh1} = \begin{bmatrix} 346.86 \\ 361.17 \\ 369.88 \\ 376.17 \\ 381.09 \\ 385.12 \\ 388.56 \\ 391.55 \\ 394.2 \\ 392.4 \end{bmatrix} \mathbf{K}$	$T_{mesh2} = \begin{bmatrix} 347.84 \\ 362.03 \\ 370.74 \\ 377.01 \\ 381.91 \\ 385.94 \\ 389.35 \\ 392.32 \\ 394.96 \\ 395.23 \end{bmatrix} \mathbf{K}$	$T_{mesh3} = \begin{bmatrix} 348.82 \\ 363.18 \\ 371.99 \\ 378.33 \\ 383.28 \\ 387.34 \\ 390.79 \\ 393.78 \\ 396.43 \\ 397.84 \end{bmatrix} \mathbf{K}$	$T_{mesh4} = \begin{bmatrix} 348.12 \\ 362.29 \\ 371 \\ 377.27 \\ 382.17 \\ 386.19 \\ 389.6 \\ 392.56 \\ 395.19 \\ 396.88 \end{bmatrix} \mathbf{K}$
$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 13.682 \mathbf{K}$				
$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 13.667 \mathbf{K}$				
$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 13.724 \mathbf{K}$				
$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 13.716 \mathbf{K}$				
$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 13.336 \mathbf{K}$				
$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 13.321 \mathbf{K}$				
$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 13.376 \mathbf{K}$				
$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 13.369 \mathbf{K}$				
$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 1.904 \mathbf{K}$				
$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 1.35 \mathbf{K}$				
$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 1.117 \mathbf{K}$				
$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 1.035 \mathbf{K}$				

A-2 600 W/m² Sabit Isı Akısı Etkiyen Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıklarının Elde Edilmesi

600 W/m² Sabit Isı Akısına Maruz Kalan Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıkları

Plakanın 0,1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.1 \text{ m} \quad q_w := 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_\infty := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.281 \cdot 10^8$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 8.966 \cdot 10^7$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 7.011 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 85.577 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_\infty + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 342.789 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002917 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 343 K'deki özellikleri:

$$\rho := 1.018296 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 204.896 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 20.2158 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 29.482 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 28.864 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.70098$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.425 \cdot 10^8$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 7.041 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_1 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 9.99 \cdot 10^7 \quad Nu_1 := 0.60 \cdot \left(Ra_1 \right)^{\frac{1}{5}} = 23.882$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 85.218 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 342.609 \text{ K}$$

$$T_{w1} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 385.218 \text{ K}$$

Plakanın 0,2 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.2 \text{ m} \quad q_w := 600 \frac{W}{m^2} \quad h := 6 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.049 \cdot 10^9$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.435 \cdot 10^9$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 6.104 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yenı} := \frac{q_w}{h_{yenı}} = 98.302 \text{ K}$$

$$T_{f,yenı} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yenı}}{2} = 349.151 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yenı}} = 0.002864 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 349 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.998328 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 207.728 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 20.8194 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 29.926 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 29.752 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.70014$$

$$Gr_{x,yenı} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.079 \cdot 10^9$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yenı} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 6.107 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_2 := Gr_{x,yenı} \cdot Pr = 1.456 \cdot 10^9$$

$$Nu_2 := 0.60 \cdot (Ra_2)^{\frac{1}{5}} = 40.811$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 98.255 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 349.128 \text{ K}$$

$$T_{w2} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 398.255 \text{ K}$$

Plakanın 0,3 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.3 \text{ m}$$

$$q_w := 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$h := 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.038 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 7.263 \cdot 10^9$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.628 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 106.606 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 353.303 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00283 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 353 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.987566 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 209.514 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 21.2494 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 30.228 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 30.404 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.6994$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 9.887 \cdot 10^9$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.616 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_3 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 6.915 \cdot 10^9$$

$$Nu_3 := 0.60 \cdot \left(Ra_3 \right)^{\frac{1}{5}} = 55.732$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 106.845 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 353.423 \text{ K}$$

$$T_{w3} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 406.845 \text{ K}$$

Plakanın 0,4 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.4 \text{ m} \quad q_w := 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad T_\infty := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 3.279 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 2.295 \cdot 10^{10}$$

$$h_{\text{yeni}} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 5.314 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{\text{yeni}} := \frac{q_w}{h_{\text{yeni}}} = 112.92 \text{ K}$$

$$T_{f,\text{yeni}} := T_\infty + \frac{\Delta T_{\text{yeni}}}{2} = 356.46 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,\text{yeni}}} = 0.002805 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 357 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.977654 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 211.266 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 21.6886 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 30.532 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 31.076 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6986$$

$$Gr_{x,\text{yeni}} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.943 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.29 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_4 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.056 \cdot 10^{10} \quad Nu_4 := 0.60 \cdot \left(Ra_4 \right)^{\frac{1}{5}} = 69.305$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 113.421 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 356.71 \text{ K}$$

$$T_{w4} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 413.421 \text{ K}$$

Plakanın 0,5 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.5 \text{ m} \quad q_w := 600 \frac{W}{m^2} \quad h := 6 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 8.005 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 5.604 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.082 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 118.073 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 359.037 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002785 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 359 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.972698 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 212.142 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 21.9082 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 30.684 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 31.412 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.6982$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.957 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 5.051 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_5 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 4.858 \cdot 10^{10}$$

$$Nu_5 := 0.60 \cdot (Ra_5)^{\frac{1}{5}} = 82.307$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 118.789 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 359.394 \text{ K}$$

$$T_{w5} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 418.789 \text{ K}$$

Plakanın 0,6 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.6 \text{ m}$$

$$q_w := 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$h := 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.66 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.162 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 122.458 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 361.229 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002768 \frac{1}{K}$$

Havanın 361 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.967742 \frac{kg}{m^3} \quad \mu := 213.018 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \nu := 22.1278 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 30.836 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 31.748 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.6978$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.399 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 9.76 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.863 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 123.369 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 361.684 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002765 \frac{1}{K}$$

Havanın 362 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.965264 \frac{kg}{m^3} \quad \mu := 213.456 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \nu := 22.2376 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 30.912 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 31.916 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.6976$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.38 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.862 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_6 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 9.625 \cdot 10^{10} \quad Nu_6 := 0.60 \cdot (Ra_6)^{\frac{1}{5}} = 94.369$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 123.408 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 361.704 \text{ K}$$

$$T_{w6} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 423.408 \text{ K}$$

Plakanın 0,7 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.7 \text{ m} \quad q_w := 600 \frac{W}{m^2} \quad h := 6 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 3.075 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 2.153 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.751 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 126.292 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 363.146 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002754 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 363 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.962786 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 213.894 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 22.3474 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 30.988 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 32.084 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.6974$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.515 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_x \cdot Pr = 2.145 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 127.383 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 363.691 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00275 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 364 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.960308 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 214.332 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 22.4572 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.064 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 32.252 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.6972$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.48 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.709 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_7 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.729 \cdot 10^{11} \quad Nu_7 := 0.60 \cdot \left(Ra_7 \right)^{\frac{1}{5}} = 106.102$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 127.429 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 363.714 \text{ K}$$

$$T_{w7} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 427.429 \text{ K}$$

Plakanın 0,8 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.8 \text{ m} \quad q_w := 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 5.246 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 3.673 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.626 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 129.711 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 364.855 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002741 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 365 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.95783 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 214.77 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 22.567 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.14 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 32.42 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.697$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 4.167 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.581 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_s := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.904 \cdot 10^{11} \quad Nu_s := 0.60 \cdot (Ra_s)^{\frac{1}{5}} = 117.695$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 130.968 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 365.484 \text{ K}$$

$$T_{ws} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 430.968 \text{ K}$$

Plakanın 0,9 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.9 \text{ m} \quad q_w := 600 \frac{W}{m^2} \quad h := 6 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 8.404 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 5.883 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.518 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 132.802 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 366.401 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002729 \frac{1}{K}$$

Havanın 366 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.955352 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 215.208 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 22.6768 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 31.216 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 32.588 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6968$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.566 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_x \cdot Pr = 5.856 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.471 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 134.21 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 367.105 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002724 \frac{1}{K}$$

Havanın 367 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.952874 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 215.646 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 22.7866 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 31.292 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 32.756 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6966$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.475 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.469 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_9 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 4.51 \cdot 10^{11}$$

$$Nu_9 := 0.60 \cdot \langle Ra_9 \rangle^{\frac{1}{5}} = 128.526$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 134.268 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 367.134 \text{ K}$$

$$T_{w9} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 434.268 \text{ K}$$

Plakanın 1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 1 \text{ m} \quad q_w := 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.281 \cdot 10^{12}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 8.966 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \langle Gr_x \cdot Pr \rangle^{\frac{1}{5}} = 4.424 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 135.631 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 367.815 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002719 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 368 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.950396 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 216.084 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 22.8964 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.368 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 32.924 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6964$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 9.731 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.374 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_{10} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 6.777 \cdot 10^{11} \quad Nu_{10} := 0.60 \cdot \left(Ra_{10} \right)^{\frac{1}{5}} = 139.43$$

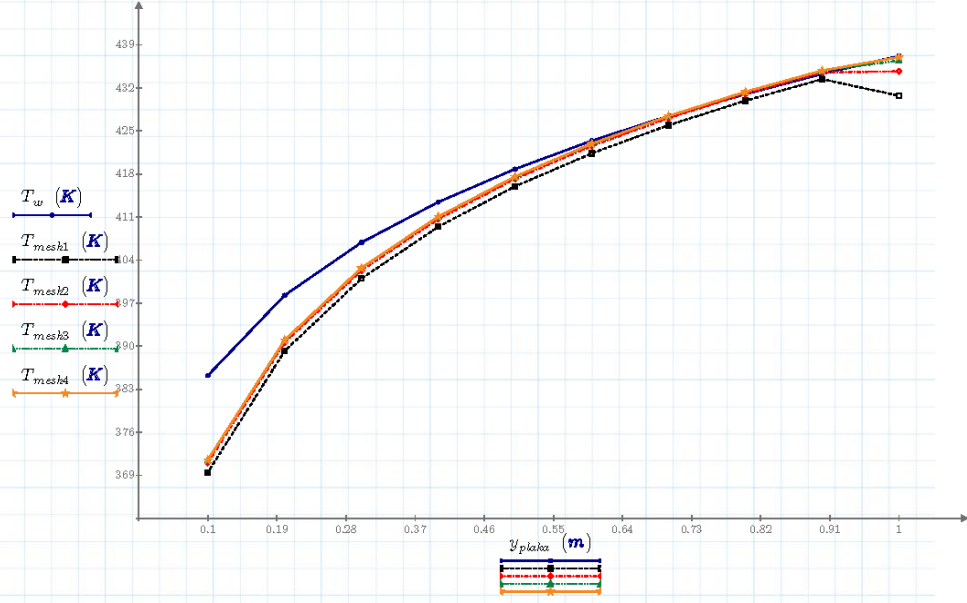
$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 137.185 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 368.593 \text{ K}$$

$$T_{w10} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 437.185 \text{ K}$$

y_{plaka} (m)	T_w	T_{mesh1} (K)	T_{mesh2} (K)	T_{mesh3} (K)	T_{mesh4} (K)
0.1	T_{w1}	369.46	371.02	371.41	371.49
0.2	T_{w2}	389.19	390.55	390.90	390.97
0.3	T_{w3}	400.98	402.28	402.62	402.69
0.4	T_{w4}	409.40	410.66	410.99	411.06
0.5	T_{w5}	415.97	417.19	417.51	417.57
0.6	T_{w6}	421.35	422.54	422.84	422.91
0.7	T_{w7}	425.93	427.08	427.37	427.43
0.8	T_{w8}	429.90	431.00	431.29	431.35
0.9	T_{w9}	433.41	434.49	434.76	434.82
1	T_{w10}	430.71	434.68	436.43	436.99

Fluent'te alınan ağı yapısına bağı sonuçlarla deneysel bağıntıdan çıkan sonuçların karşılaştırılması:



$$T_w = \begin{bmatrix} 385.218 \\ 398.255 \\ 406.845 \\ 413.421 \\ 418.789 \\ 423.408 \\ 427.429 \\ 430.968 \\ 434.268 \\ 437.185 \end{bmatrix} K \quad T_{mesh1} = \begin{bmatrix} 369.46 \\ 389.19 \\ 400.98 \\ 409.4 \\ 415.97 \\ 421.35 \\ 425.93 \\ 429.9 \\ 433.41 \\ 430.71 \end{bmatrix} K \quad T_{mesh2} = \begin{bmatrix} 371.02 \\ 390.55 \\ 402.28 \\ 410.66 \\ 417.19 \\ 422.54 \\ 427.08 \\ 431 \\ 434.49 \\ 434.68 \end{bmatrix} K \quad T_{mesh3} = \begin{bmatrix} 371.41 \\ 390.9 \\ 402.62 \\ 410.99 \\ 417.51 \\ 422.84 \\ 427.37 \\ 431.29 \\ 434.76 \\ 436.43 \end{bmatrix} K \quad T_{mesh4} = \begin{bmatrix} 371.49 \\ 390.97 \\ 402.69 \\ 411.06 \\ 417.57 \\ 422.91 \\ 427.43 \\ 431.35 \\ 434.82 \\ 436.99 \end{bmatrix} K$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 18.539 K$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 18.528 K$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 18.576 K$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 18.599 K$$

$$\text{stddev} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 18.07 K$$

$$\text{stddev} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 18.059 K$$

$$\text{stddev} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 18.106 K$$

$$\text{stddev} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 18.128 K$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 2.779 K$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 2.022 K$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 1.696 K$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 1.599 K$$

A-3 800 W/m² Sabit Isı Akısı Etkiyen Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıklarının Elde Edilmesi

800 W/m² Sabit Isı Akısına Maruz Kalan Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıkları

Plakanın 0,1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.1 \text{ m} \quad q_w := 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_\infty := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.708 \cdot 10^8$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.195 \cdot 10^8$$

$$h_{\text{yeni}} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 7.426 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{\text{yeni}} := \frac{q_w}{h_{\text{yeni}}} = 107.723 \text{ K}$$

$$T_{f,\text{yeni}} := T_\infty + \frac{\Delta T_{\text{yeni}}}{2} = 353.862 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,\text{yeni}}} = 0.002826 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 354 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.985088 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 209.952 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 21.3592 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 30.304 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 30.572 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6992$$

$$Gr_{x,\text{yeni}} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.604 \cdot 10^8$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 7.407 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_1 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.122 \cdot 10^8 \quad Nu_1 := 0.60 \cdot \left(Ra_1 \right)^{\frac{1}{5}} = 24.441$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 108.011 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 354.005 \text{ K}$$

$$T_{w1} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 408.011 \text{ K}$$

Plakanın 0,2 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.2 \text{ m} \quad q_w := 800 \frac{W}{m^2} \quad h := 8 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.733 \cdot 10^9$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.913 \cdot 10^9$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 6.465 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 123.741 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 361.871 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002763 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 362 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.965264 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 213.456 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 22.2376 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 30.912 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 31.916 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.6976$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.27 \cdot 10^9$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 6.415 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_2 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.584 \cdot 10^9$$

$$Nu_2 := 0.60 \cdot \left(Ra_2 \right)^{\frac{1}{5}} = 41.503$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 124.714 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 362.357 \text{ K}$$

$$T_{w2} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 424.714 \text{ K}$$

Plakanın 0,3 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.3 \text{ m}$$

$$q_w := 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$h := 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.383 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 9.683 \cdot 10^9$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.962 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 134.194 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 367.097 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002724 \frac{1}{K}$$

Havanın 367 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.952874 \frac{kg}{m^3} \quad \mu := 215.646 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \nu := 22.7866 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 31.292 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 32.756 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.6966$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.066 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 7.424 \cdot 10^9$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.896 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 135.674 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 367.837 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002719 \frac{1}{K}$$

Havanın 368 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.950396 \frac{kg}{m^3} \quad \mu := 216.084 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \nu := 22.8964 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 31.368 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 32.924 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.6964$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.051 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.894 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_g := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 7.319 \cdot 10^9 \quad Nu_g := 0.60 \cdot \left(Ra_g \right)^{\frac{1}{5}} = 56.369$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 135.734 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 367.867 \text{ K}$$

$$T_{w3} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 435.734 \text{ K}$$

Plakanın 0,4 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.4 \text{ m} \quad q_w := 800 \frac{W}{m^2} \quad h := 8 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 4.372 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 3.06 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.628 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 142.141 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 371.071 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002695 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 371 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.942962 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 217.398 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 23.2258 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.596 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 33.428 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.6958$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 3.177 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.21 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.554 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 144.038 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 372.019 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002688 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 372 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.940484 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 217.836 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 23.3356 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.672 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 33.596 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.6956$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 3.131 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.551 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_4 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.178 \cdot 10^{10}$$

$$Nu_4 := 0.60 \cdot \left(Ra_4 \right)^{\frac{1}{5}} = 70.108$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 144.114 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 372.057 \text{ K}$$

$$T_{w4} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 444.114 \text{ K}$$

Plakanın 0,5 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.5 \text{ m} \quad q_w := 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.067 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 7.472 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 5.383 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 148.629 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 374.314 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002672 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 374 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.935528 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 218.712 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 23.5552 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.824 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 33.932 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6952$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 7.421 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 5.159 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.302 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 150.882 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 375.441 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002664 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 375 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.93305 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 219.15 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 23.665 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 34.1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.695$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 7.313 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.299 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_5 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 5.083 \cdot 10^{10} \quad Nu_5 := 0.60 \cdot \left(Ra_5 \right)^{\frac{1}{5}} = 83.055$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 150.974 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 375.487 \text{ K}$$

$$T_{w5} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 450.974 \text{ K}$$

Plakanın 0,6 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.6 \text{ m} \quad q_w := 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad T_\infty := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.213 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.549 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.19 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 154.148 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_\infty + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 377.074 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002652 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 377 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.928094 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 220.026 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 23.8846 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 32.052 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 34.436 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6946$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.475 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.025 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.105 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 156.718 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 378.359 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002643 \frac{1}{K}$$

Havanın 378 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.925616 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 220.464 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 23.9944 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.128 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 34.604 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6944$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.453 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.101 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_6 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.009 \cdot 10^{11} \quad Nu_6 := 0.60 \cdot \left(Ra_6 \right)^{\frac{1}{5}} = 95.267$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 156.824 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 378.412 \text{ K}$$

$$T_{w6} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 456.824 \text{ K}$$

Plakanın 0,7 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.7 \text{ m}$$

$$q_w := 800 \frac{W}{m^2}$$

$$h := 8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3}$$

$$c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 4.101 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 2.87 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.032 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 158.975 K$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 379.487 K$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002635 \frac{1}{K}$$

Havanın 379 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.923138 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 220.902 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.1042 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.204 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 34.772 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6942$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.654 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.842 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.943 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 161.83 K$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 380.915 K$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002625 \frac{1}{K}$$

Havanın 381 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.918182 \frac{kg}{m^3} \quad \mu := 221.778 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s} \quad \nu := 24.3238 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.356 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 35.108 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad Pr := 0.6938$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.584 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.94 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_7 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.793 \cdot 10^{11} \quad Nu_7 := 0.60 \cdot (Ra_7)^{\frac{1}{5}} = 106.871$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 161.947 K$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 380.974 K$$

$$T_{w7} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 461.947 K$$

Plakanın 0.8 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.8 m \quad q_w := 800 \frac{W}{m^2} \quad h := 8 \frac{W}{m^2 K} \quad T_{\infty} := 300 K \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 K$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 K$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.995 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 4.897 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 163.278 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 381.639 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00262 \frac{1}{K}$$

Havanın 382 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.915704 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 222.216 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.4336 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.432 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 35.276 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6936$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 4.35 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 3.017 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.808 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 166.391 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 383.195 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00261 \frac{1}{K}$$

Havanın 383 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.913226 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 222.654 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.5434 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.508 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 35.444 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6934$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 4.284 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.804 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_8 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.97 \cdot 10^{11} \quad Nu_8 := 0.60 \cdot (Ra_8)^{\frac{1}{5}} = 118.227$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 166.523 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 383.261 \text{ K}$$

$$T_{w8} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 466.523 \text{ K}$$

Plakanın 0,9 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.9 \text{ m} \quad q_w := 800 \frac{W}{m^2} \quad h := 8 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.121 \cdot 10^{12}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 7.844 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 4.786 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 167.17 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 383.585 \text{ } K$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002607 \frac{1}{K}$$

Havanın 384 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.910748 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 223.092 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.6532 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.584 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 35.612 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6932$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.778 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 4.699 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.691 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 170.523 \text{ } K$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 385.261 \text{ } K$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002596 \frac{1}{K}$$

Havanın 385 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.90827 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 223.53 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.763 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.66 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 35.78 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.693$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.673 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.688 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_9 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 4.625 \cdot 10^{11} \quad Nu_9 := 0.60 \cdot \left(Ra_9 \right)^{\frac{1}{5}} = 129.172$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 170.666 \text{ } K$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 385.333 \text{ K}$$

$$T_{w9} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 470.666 \text{ K}$$

Plakanın 1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 1 \text{ m} \quad q_w := 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.708 \cdot 10^{12}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.195 \cdot 10^{12}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.686 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 170.73 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 385.365 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002595 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 385 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.90827 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 223.53 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 24.763 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 32.66 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 35.78 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.693$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.017 \cdot 10^{12}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 7.047 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.59 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 174.31 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 387.155 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002583 \frac{1}{K}$$

Havanın 387 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.90827 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 223.53 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.763 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.66 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 35.78 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.693$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.012 \cdot 10^{12}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.585 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_{10} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 7.014 \cdot 10^{11} \quad Nu_{10} := 0.60 \cdot \left(Ra_{10} \right)^{\frac{1}{5}} = 140.394$$

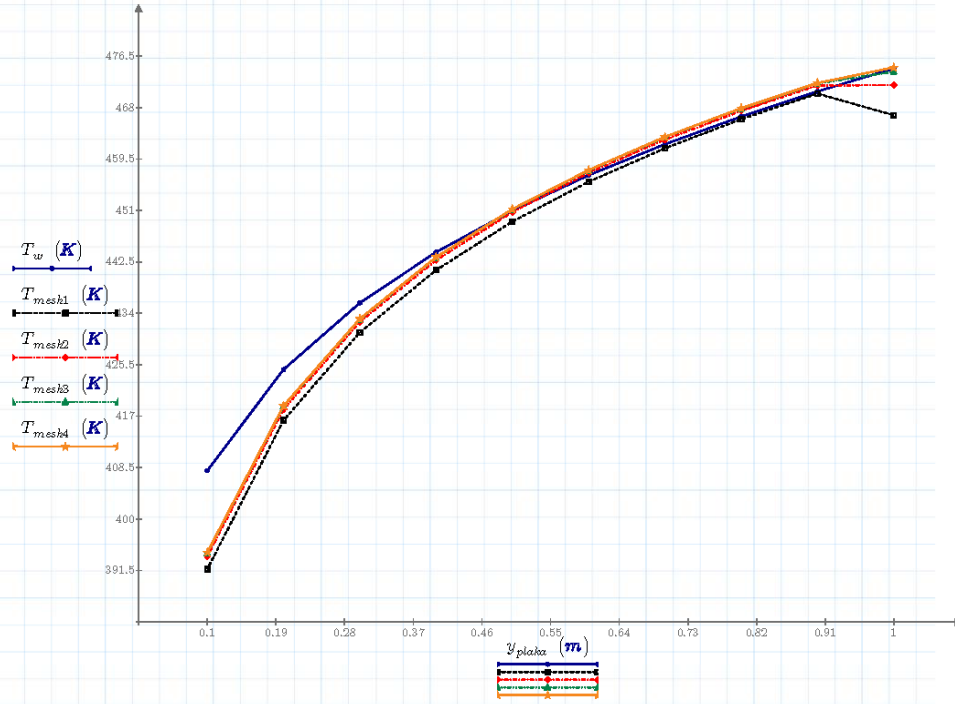
$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 174.472 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 387.236 \text{ K}$$

$$T_{w10} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 474.472 \text{ K}$$

y_{plaka} (m)	T_w	T_{mesh1} (K)	T_{mesh2} (K)	T_{mesh3} (K)	T_{mesh4} (K)
0.1	T_{w1}	391.71	393.85	394.39	394.50
0.2	T_{w2}	416.33	418.15	418.62	418.71
0.3	T_{w3}	430.83	432.55	432.99	433.08
0.4	T_{w4}	441.14	442.78	443.20	443.29
0.5	T_{w5}	449.17	450.73	451.13	451.22
0.6	T_{w6}	455.73	457.21	457.60	457.68
0.7	T_{w7}	461.28	462.70	463.07	463.15
0.8	T_{w8}	466.07	467.45	467.81	467.89
0.9	T_{w9}	470.31	471.65	472.00	472.07
1	T_{w10}	466.74	471.72	473.93	474.63

Fluent'te alınan ağı yapısına bağlı sonuçlarla deneysel bağıntıdan çıkan sonuçların karşılaştırılması:



$$T_w = \begin{bmatrix} 408.011 \\ 424.714 \\ 435.734 \\ 444.114 \\ 450.974 \\ 456.824 \\ 461.947 \\ 466.523 \\ 470.666 \\ 474.472 \end{bmatrix} \mathbf{K} \quad T_{mesh1} = \begin{bmatrix} 391.71 \\ 416.33 \\ 430.83 \\ 441.14 \\ 449.17 \\ 455.73 \\ 461.28 \\ 466.07 \\ 470.31 \\ 466.74 \end{bmatrix} \mathbf{K} \quad T_{mesh2} = \begin{bmatrix} 393.85 \\ 418.15 \\ 432.55 \\ 442.78 \\ 450.73 \\ 457.21 \\ 462.7 \\ 467.45 \\ 471.65 \\ 471.72 \end{bmatrix} \mathbf{K} \quad T_{mesh3} = \begin{bmatrix} 394.39 \\ 418.62 \\ 432.99 \\ 443.2 \\ 451.13 \\ 457.6 \\ 463.07 \\ 467.81 \\ 472 \\ 473.93 \end{bmatrix} \mathbf{K} \quad T_{mesh4} = \begin{bmatrix} 394.5 \\ 418.71 \\ 433.08 \\ 443.29 \\ 451.22 \\ 457.68 \\ 463.15 \\ 467.89 \\ 472.07 \\ 474.63 \end{bmatrix} \mathbf{K}$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 23.008 \mathbf{K}$$

$$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 22.426 \mathbf{K}$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 22.991 \mathbf{K}$$

$$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 22.409 \mathbf{K}$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 23.053 \mathbf{K}$$

$$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 22.469 \mathbf{K}$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 23.083 \mathbf{K}$$

$$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 22.498 \mathbf{K}$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 3.591 \mathbf{K}$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 2.632 \mathbf{K}$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 2.216 \mathbf{K}$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 2.095 \mathbf{K}$$

A-4 1000 W/m² Sabit Isı Akısı Etkiyen Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıklarının Elde Edilmesi

1000 W/m² Sabit Isı Akısına Maruz Kalan Dikey Plakada Yüzey Sıcaklıkları

Plakanın 0,1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.1 \text{ m} \quad q_w := 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad T_\infty := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.135 \cdot 10^8$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.494 \cdot 10^8$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 7.765 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 128.777 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_\infty + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 364.388 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002744 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 364 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.960308 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 214.332 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 22.4572 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.064 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 32.252 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6972$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.718 \cdot 10^8$$

$$Ra_{yeni} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.198 \cdot 10^8$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 7.693 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 129.985 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 364.992 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00274 \frac{1}{K}$$

Havanın 365 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.95783 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 214.77 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 22.567 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 31.14 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 32.42 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.697$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.695 \cdot 10^8$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 7.69 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_1 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.181 \cdot 10^8$$

$$Nu_1 := 0.60 \cdot \left(Ra_1 \right)^{\frac{1}{5}} = 24.696$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 130.035 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 365.017 \text{ K}$$

$$T_{w1} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 430.035 \text{ K}$$

Plakanın 0,2 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.2 \text{ m}$$

$$q_w := 1000 \frac{W}{m^2}$$

$$h := 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 3.416 \cdot 10^9$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 2.391 \cdot 10^9$$

$$h_{\text{yeni}} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 6.76 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{\text{yeni}} := \frac{q_w}{h_{\text{yeni}}} = 147.925 \text{ K}$$

$$T_{f,\text{yeni}} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{\text{yeni}}}{2} = 373.963 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,\text{yeni}}} = 0.002674 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 374 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.935528 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 218.712 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 23.5552 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.824 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 33.932 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6952$$

$$Gr_{x,\text{yeni}} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.377 \cdot 10^9$$

$$Ra_{\text{yeni}} := Gr_{x,\text{yeni}} \cdot Pr = 1.653 \cdot 10^9$$

$$h_{\text{yeni}} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,\text{yeni}} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 6.66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{\text{yeni}} := \frac{q_w}{h_{\text{yeni}}} = 150.14 \text{ K}$$

$$T_{f,\text{yeni}} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{\text{yeni}}}{2} = 375.07 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,\text{yeni}}} = 0.002666 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 375 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.93305 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 219.15 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 23.665 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 31.9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 34.1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.695$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.342 \cdot 10^9$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 6.656 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_2 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.628 \cdot 10^9 \quad Nu_2 := 0.60 \cdot \left(Ra_2 \right)^{\frac{1}{5}} = 41.733$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 150.23 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 375.115 \text{ K}$$

$$T_{w2} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 450.23 \text{ K}$$

Plakanın 0,3 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.3 \text{ m} \quad q_w := 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.729 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.21 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 6.234 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 160.421 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 380.21 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00263 \frac{1}{K}$$

Havanın 380 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.92066 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 221.34 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.214 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.28 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 34.94 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.694$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.104 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 7.663 \cdot 10^9$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 6.121 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 163.362 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 381.681 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00262 \frac{1}{K}$$

Havanın 382 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.915704 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 222.216 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.4336 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.432 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 35.276 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6936$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.075 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 6.117 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_3 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 7.458 \cdot 10^9 \quad Nu_3 := 0.60 \cdot (Ra_3)^{\frac{1}{5}} = 56.581$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 163.483 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 381.742 \text{ K}$$

$$T_{w3} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 463.483 \text{ K}$$

Plakanın 0,4 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.4 \text{ m} \quad q_w := 1000 \frac{W}{m^2} \quad h := 10 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3} \quad c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 5.465 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 3.826 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 5.885 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 169.922 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 384.961 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002598 \frac{1}{K}$$

Havanın 385 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.90827 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 223.53 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.763 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.66 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 35.78 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.693$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 3.257 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.257 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.765 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 173.449 K$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 386.725 K$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002586 \frac{1}{K}$$

Havanın 387 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.903314 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 224.406 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 24.9826 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 32.812 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 36.116 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6926$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 3.171 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.761 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_4 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.196 \cdot 10^{10} \quad Nu_4 := 0.60 \cdot \left(Ra_4 \right)^{\frac{1}{5}} = 70.224$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 173.596 K$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 386.798 K$$

$$T_{w4} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 473.596 K$$

Plakanın 0,5 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.5 \text{ m} \quad q_w := 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_\infty := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_\infty \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.334 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 9.34 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_x \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 5.628 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 177.677 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_\infty + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 388.838 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002572 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 389 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.898358 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 225.282 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 25.2022 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 32.964 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 36.452 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6922$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 7.531 \cdot 10^{10}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 5.213 \cdot 10^{10}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 5.504 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 181.702 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 390.851 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002559 \frac{1}{K}$$

Havanın 391 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.893402 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 226.158 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 25.4218 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 33.116 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 36.788 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6918$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 7.33 \cdot 10^{10}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot (Gr_{x,yeni} \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} = 5.498 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_5 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 5.071 \cdot 10^{10}$$

$$Nu_5 := 0.60 \cdot (Ra_5)^{\frac{1}{5}} = 83.017$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 181.873 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 390.936 \text{ K}$$

$$T_{w5} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 481.873 \text{ K}$$

Plakanın 0,6 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.6 \text{ m}$$

$$q_w := 1000 \frac{W}{m^2}$$

$$h := 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{kg}{m^3}$$

$$c_p := 1009 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 0.03 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.767 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.937 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.427 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 184.275 K$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 392.138 K$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.00255 \frac{1}{K}$$

Havanın 392 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.890924 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 226.596 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 25.5316 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 33.192 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 36.956 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6916$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.498 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.036 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.298 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 188.741 K$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 394.371 K$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002536 \frac{1}{K}$$

Havanın 394 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.885968 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 227.472 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 25.7512 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 33.344 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 37.292 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6912$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.458 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.293 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_6 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.008 \cdot 10^{11} \quad Nu_6 := 0.60 \cdot \left(Ra_6 \right)^{\frac{1}{5}} = 95.241$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 188.934 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 394.467 \text{ K}$$

$$T_{w6} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 488.934 \text{ K}$$

Plakanın 0,7 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.7 \text{ m} \quad q_w := 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 5.126 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 3.588 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yenı} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.262 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yenı} := \frac{q_w}{h_{yenı}} = 190.045 \text{ K}$$

$$T_{f,yenı} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yenı}}{2} = 395.022 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yenı}} = 0.002532 \frac{1}{K}$$

Havanın 395 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.88349 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 227.91 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 25.861 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 33.42 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 37.46 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.691$$

$$Gr_{x,yenı} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.668 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yenı} := Gr_{x,yenı} \cdot Pr = 1.843 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yenı} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yenı} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.131 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yenı} := \frac{q_w}{h_{yenı}} = 194.902 \text{ K}$$

$$T_{f,yenı} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yenı}}{2} = 397.451 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yenı}} = 0.002516 \frac{1}{K}$$

Havanın 397 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.878534 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 228.786 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 26.0806 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 33.572 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 37.796 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6906$$

$$Gr_{x,yenı} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.595 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yenı} := Gr_{x,yenı} \cdot Pr = 1.792 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.125 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 195.115 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 397.558 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002515 \frac{1}{K}$$

Havanın 398 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.876056 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 229.224 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 26.1904 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 33.648 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 37.964 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.6904$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.567 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.125 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_7 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 1.772 \cdot 10^{11}$$

$$Nu_7 := 0.60 \cdot \left(Ra_7 \right)^{\frac{1}{5}} = 106.624$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 195.112 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 397.556 \text{ K}$$

$$T_{w7} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 495.112 \text{ K}$$

Plakanın 0,8 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.8 \text{ m}$$

$$q_w := 1000 \frac{W}{m^2}$$

$$h := 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{K}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 8.744 \cdot 10^{11}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 6.121 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.123 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 195.189 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 397.594 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002515 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 398 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.876056 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := 229.224 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \nu := 26.1904 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 33.648 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 37.964 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad Pr := 0.6904$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 4.379 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 3.023 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 200.397 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 400.198 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002499 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 400 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.8711 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 230.1 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 26.41 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 33.8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 38.3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.69$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 4.259 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.984 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_8 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 2.939 \cdot 10^{11}$$

$$Nu_8 := 0.60 \cdot \left(Ra_8 \right)^{\frac{1}{5}} = 117.973$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 200.628 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 400.314 \text{ K}$$

$$T_{w8} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 500.628 \text{ K}$$

Plakanın 0,9 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 0.9 \text{ m}$$

$$q_w := 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$h := 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$T_{\infty} := 300 \text{ K}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.401 \cdot 10^{12}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 9.804 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_x \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 5.004 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 199.841 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 399.921 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.0025 \frac{1}{K}$$

Havanın 400 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.8711 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 230.1 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 26.41 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 33.8 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 38.3 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.69$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.827 \cdot 10^{11}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 4.71 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.869 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 205.382 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 402.691 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002483 \frac{1}{K}$$

Havanın 403 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.865274 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu := 231.336 \cdot 10^{-7} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$\nu := 26.7688 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$k_f := 34.01 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\alpha := 38.834 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$Pr := 0.68976$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 6.558 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.86 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Ra_9 := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 4.524 \cdot 10^{11} \quad Nu_9 := 0.60 \cdot \langle Ra_9 \rangle^{\frac{1}{5}} = 128.603$$

$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 205.771 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 402.886 \text{ K}$$

$$T_{w9} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 505.771 \text{ K}$$

Plakanın 1 m'sindeki yüzey sıcaklığı için yapılan iterasyon:

$$y := 1 \text{ m} \quad q_w := 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad h := 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad T_{\infty} := 300 \text{ K} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T := \frac{q_w}{h} = 100 \text{ K}$$

$$T_f := \left(\frac{\Delta T}{2} + T_{\infty} \right) = 350 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_f} = 0.002857 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 350 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_p := 1009 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \mu := 2.082 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad Pr := 0.7$$

$$\nu := 20.92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 0.03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \alpha := 0.299 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Gr_x := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 2.135 \cdot 10^{12}$$

$$Ra := Gr_x \cdot Pr = 1.494 \cdot 10^{12}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \langle Gr_x \cdot Pr \rangle^{\frac{1}{5}} = 4.9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 204.097 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 402.048 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002487 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 402 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.867216 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 230.924 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 26.6492 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 33.94 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 38.656 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.68984$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 1.012 \cdot 10^{12}$$

$$Ra_{yeni} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 6.983 \cdot 10^{11}$$

$$h_{yeni} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.761 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_{yeni} := \frac{q_w}{h_{yeni}} = 210.051 \text{ K}$$

$$T_{f,yeni} := T_{\infty} + \frac{\Delta T_{yeni}}{2} = 405.026 \text{ K}$$

$$\beta := \frac{1}{T_{f,yeni}} = 0.002469 \frac{1}{\text{K}}$$

Havanın 405 K'deki özellikleri:

$$\rho := 0.86139 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu := 232.16 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\nu := 27.008 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$k_f := 34.15 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha := 39.19 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Pr := 0.6896$$

$$Gr_{x,yeni} := \frac{g \cdot \beta \cdot q_w \cdot y^4}{k_f \cdot \nu^2} = 9.723 \cdot 10^{11}$$

$$h_{x,son} := \frac{k_f}{y} \cdot (0.60) \cdot \left(Gr_{x,yeni} \cdot Pr \right)^{\frac{1}{5}} = 4.751 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$Ra_{10} := Gr_{x,yeni} \cdot Pr = 6.705 \cdot 10^{11} \quad Nu_{10} := 0.60 \cdot \left(Ra_{10} \right)^{\frac{1}{5}} = 139.134$$

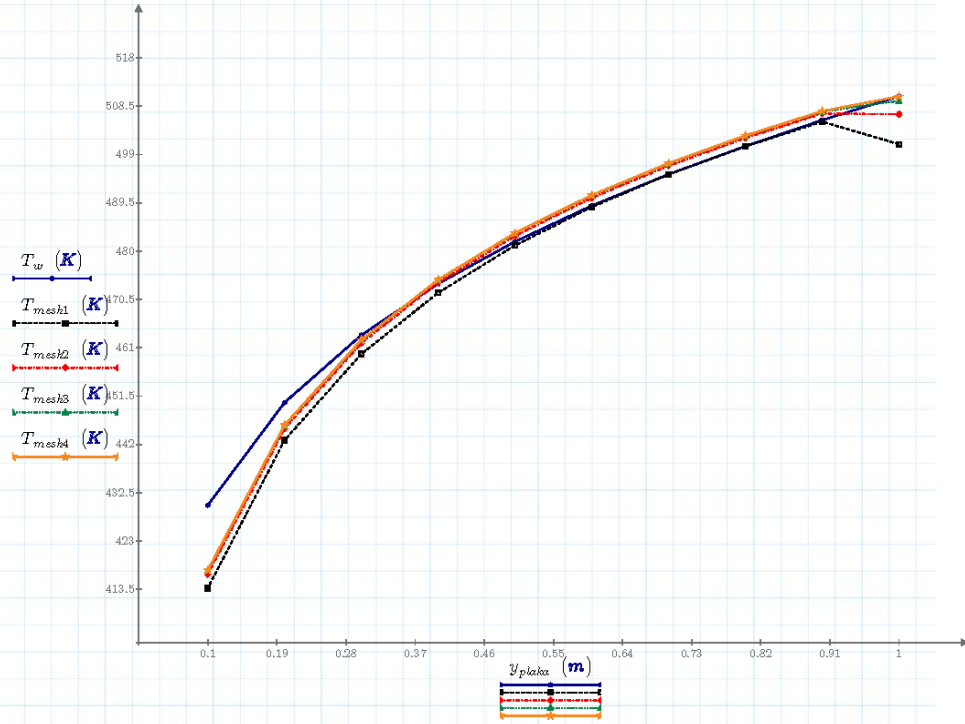
$$\Delta T_{son} := \frac{q_w}{h_{x,son}} = 210.463 \text{ K}$$

$$T_{f,son} := \left(T_{\infty} + \frac{\Delta T_{son}}{2} \right) = 405.232 \text{ K}$$

$$T_{w10} := 2 \cdot T_{f,son} - T_{\infty} = 510.463 \text{ K}$$

y_{plaka} (m)	T_w	T_{mesh1} (K)	T_{mesh2} (K)	T_{mesh3} (K)	T_{mesh4} (K)
0.1	T_{w1}	413.73	416.45	417.14	417.28
0.2	T_{w2}	442.84	445.09	445.68	445.80
0.3	T_{w3}	459.79	461.90	462.44	462.55
0.4	T_{w4}	471.82	473.78	474.29	474.39
0.5	T_{w5}	481.13	482.97	483.45	483.55
0.6	T_{w6}	488.69	490.46	490.91	491.01
0.7	T_{w7}	495.09	496.77	497.21	497.30
0.8	T_{w8}	500.59	502.22	502.64	502.73
0.9	T_{w9}	505.46	507.03	507.43	507.53
1	T_{w10}	501.03	506.94	509.57	510.41

Fluent'te alınan ağı yapısına bağlı sonuçlarla deneysel bağıntıdan çıkan sonuçların karşılaştırılması:



$$T_w = \begin{bmatrix} 430.035 \\ 450.23 \\ 463.483 \\ 473.596 \\ 481.873 \\ 488.934 \\ 495.112 \\ 500.628 \\ 505.771 \\ 510.463 \end{bmatrix} \mathbf{K} \quad T_{mesh1} = \begin{bmatrix} 413.73 \\ 442.84 \\ 459.79 \\ 471.82 \\ 481.13 \\ 488.69 \\ 495.09 \\ 500.59 \\ 505.46 \\ 501.03 \end{bmatrix} \mathbf{K} \quad T_{mesh2} = \begin{bmatrix} 416.45 \\ 445.09 \\ 461.9 \\ 473.78 \\ 482.97 \\ 490.46 \\ 496.77 \\ 502.22 \\ 507.03 \\ 506.94 \end{bmatrix} \mathbf{K} \quad T_{mesh3} = \begin{bmatrix} 417.14 \\ 445.68 \\ 462.44 \\ 474.29 \\ 483.45 \\ 490.91 \\ 497.21 \\ 502.64 \\ 507.43 \\ 509.57 \end{bmatrix} \mathbf{K} \quad T_{mesh4} = \begin{bmatrix} 417.28 \\ 445.8 \\ 462.55 \\ 474.39 \\ 483.55 \\ 491.01 \\ 497.3 \\ 502.73 \\ 507.53 \\ 510.41 \end{bmatrix} \mathbf{K}$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 27.158 \mathbf{K}$$

$$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 26.471 \mathbf{K}$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 27.131 \mathbf{K}$$

$$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 26.444 \mathbf{K}$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 27.201 \mathbf{K}$$

$$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 26.513 \mathbf{K}$$

$$\text{Stdev} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 27.237 \mathbf{K}$$

$$\text{stdev} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 26.547 \mathbf{K}$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh1} \rangle = 4.46 \mathbf{K}$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh2} \rangle = 3.308 \mathbf{K}$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh3} \rangle = 2.81 \mathbf{K}$$

$$\text{stderr} \langle T_w, T_{mesh4} \rangle = 2.66 \mathbf{K}$$

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Burak BAŞARAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 01/12/1989 Malatya
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : basaranburak@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise		Adem Tolunay Anadolu Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	SRTEK	AR/GE Müh.
2014	Teratek	Tasarım Müh.
2012	Friterm	Lisans Tez Çalışması
2011	Cantek	Stajyer
2010	Konveyör	Stajyer

