

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAİRESEL KESİTLİ YÜZEYLERİN
SIRALI JET AKIMI İLE SOĞUTULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İlhan METİN

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi
Programı: Enerji Eğitimi

ŞUBAT - 2010

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAİRESEL KESİTLİ YÜZEYLERİN
SIRALI JET AKIMI İLE SOĞUTULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlhan METİN

Enstitü No: 02119107

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 Ocak 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Şubat 2010

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Halit L. YÜCEL (F.Ü.)

ŞUBAT - 2010

ÖNSÖZ

Jet akımları ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle düz plakalar ve tek sıralı jetler kullanılarak yapılan çalışmaların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu çalışmada daha sonraki çalışmalarda daha çok kullanılacağı için dairesel bir yüzey seçilmiştir. Ayrıca tekli jet akımı ile beraber, üç ve altı sıralı jetler kullanılarak değişik parametrelerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tezin hazırlanmasında projenin başından itibaren tüm bilgi birikimini benimle paylaşan, desteğini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP' a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yine Yüksek Lisans öğreniminin ilk gününden bitimine kadar her zaman desteğini hissettiğim değerli hocam Prof. Dr. Yasin VAROL' a, tezin hazırlanmasında ve grafiklerin çiziminde bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Ahmet KOCA' ya, deney setinin kurulması ve verilerin alınması sırasında emek harcayan Araştırma Görevlisi Müjdat FIRAT' a, Yüksek Lisans öğrencisi Betül TURAN' a ve her zaman yanımda olan eşim Ebru METİN' e teşekkür ederim.

İlhan METİN

ELAZIĞ–2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırması.....	2
1.2. Jet Teorisi.....	9
2. MATERYAL VE METOT	13
3. BULGULAR	21
3.1. Zamana bağlı sıcaklık grafikleri.....	21
3.1.1. Tekli jet 90 derece grafikleri	21
3.1.2. Tekli jet 120 derece grafikleri	24
3.1.3. Tekli jet 150 derece grafikleri	26
3.1.4. Üçlü jet 90 derece grafikleri	29
3.1.5. Üçlü jet 120 derece grafikleri	31
3.1.6. Üçlü jet 150 derece grafikleri	34
3.1.7. Altılı jet 90 derece grafikleri.....	36
3.1.8. Altılı jet 120 derece grafikleri.....	39
3.1.9. Altılı jet 150 derece grafikleri.....	41
3.1.10. Zamana bağlı sıcaklık değişimlerinde sıralı jetin etkisi.....	43
3.2. Sıcaklığın yerel olarak değişimi	46
3.2.1. Tekli jet 90 derece grafikleri	46
3.2.2. Tekli jet 120 derece grafikleri	49
3.2.3. Tekli jet 150 derece grafikleri	51
3.2.4. Üçlü jet 90 derece grafikleri	53
3.2.5. Üçlü jet 120 derece grafikleri	55

	<u>Sayfa No</u>
3.2.6. Üçlü jet 150 derece grafikleri	57
3.2.7. Altılı jet 90 derece grafikleri.....	59
3.2.8. Altılı jet 120 derece grafikleri.....	61
3.2.9. Altılı jet 150 derece grafikleri.....	63
3.2.10. Sıcaklığın yerel olarak değişiminde sıralı jetin etkisi.....	65
3.3. Yerel Nusselt sayılarının değişimi.....	67
3.3.1. Tekli jet 90 derece grafikleri	67
3.3.2. Tekli jet 120 derece grafikleri	70
3.3.3. Tekli jet 150 derece grafikleri	72
3.3.4. Üçlü jet 90 derece grafikleri	75
3.3.5. Üçlü jet 120 derece grafikleri	77
3.3.6. Üçlü jet 150 derece grafikleri	80
3.3.7. Altılı jet 90 derece grafikleri.....	82
3.3.8. Altılı jet 120 derece grafikleri.....	85
3.3.9. Altılı jet 150 derece grafikleri.....	87
3.3.10. Yerel Nusselt sayılarının değişiminde sıralı jetin etkisi.....	90
3.4. Ortalama Nusselt sayılarının değişimi	92
3.4.1. $Re=2800$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri.....	92
3.4.2. $Re=2800$ için Ortalama Nusselt sayısı değişimlerine sıralı jetin etkisi	94
3.4.3. $Re=9000$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri.....	95
3.4.4. $Re=9000$ için ortalama Nusselt sayısı değişimlerine sıralı jetin etkisi .	97
3.4.5. $Re=36000$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri.....	99
3.4.6. $Re=36000$ için ortalama Nusselt sayısı değişimlerine sıralı jetin etkisi	101
3.5. Hız Grafikleri.....	103
3.5.1. X ekseninde oluşan hız dağılımları	103
3.5.1. Y ekseninde oluşan hız dağılımları	105
3.6. Belirsizlik Analizi	106
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	108
5. ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	110
ÖZGEÇMİŞ.....	114

ÖZET

Bu çalışmada, dairesel serbest hava jeti, sabit ısı akısı sınır şartına sahip dairesel bir plakaya çarptırılarak, çarpan jetin ısı transferi ve akış karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Sistem için gerekli hava radyal bir fan yardımıyla sağlanmıştır. Dairesel kesitli levha üzerindeki sıcaklık dağılımı zamana bağlı olarak tespit edilmiştir. Çalışma esnasında akış ve ısı transferine etkiyen parametreler; Reynolds sayısı (2800, 9000 ve 36000), farklı jet çapları (tekli jet, üçlü jet ve altılı jet), farklı jet-cisim uzaklığı/jet çapı oranları (H/D_h), dairesel cismin jete göre eğim açısıdır. Sonuçlar, sıcaklığın durma noktasında zamana bağlı olarak değişimi, sıcaklığın r-ekseni boyunca değişimi, yerel ve ortalama Nusselt sayıları ve hız profilleri olarak sunulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda, soğutma etkinliğinin artan Reynolds sayısı ile birlikte arttığı, durma noktası yerinin dairesel plaka eğim açısı ile değiştiği, ve nozul sayısının akış ve ısı transferi üzerinde önemli bir kontrol parametresi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıralı jet, ısı transferi, dairesel disk

SUMMARY

Cooling of Circular Surface Using Jet Array

In this study, heat transfer and flow characteristics of circular free air jet of impinged jet to heated disk have been investigated experimentally. The air is supplied by using a radial fan. Unsteady temperature distribution on disk is obtained. The effective parameters for flow and heat transfer are Reynolds number (2800, 9000 and 36000), different jet diameter (single jet, triple jet and jet with six holes), different jet-disk distance to jet diameter ratio (H/D_h), inclination angle of disk ($\phi = 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$). Results are presented for unsteady temperature distribution of temperature at stagnation point, variation of temperature along the r-axis, local and mean Nusselt numbers and velocity profiles. Finally, it is found that effectiveness of cooling increases with increasing of Reynolds number, location of stagnation point changes with inclination angle, and nozzle number plays an important role to control heat transfer and fluid flow.

Key Words: Jet array, heat transfer, circular disk

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Çarpan jetin akış bölgeleri.....	10
Şekil 1.2.	Serbest jetin akış bölgeleri	11
Şekil 2.1.	Deney düzeneği şematik görüntüsü.....	13
Şekil 2.2.	Deney düzeneği tasarımı	14
Şekil 2.3.	Deney düzeneği ölçüleri.....	14
Şekil 2.4.	Deney düzeneği 1 nolu parça	15
Şekil 2.5.	Deney düzeneği 2,3 ve 4 nolu parçalar	15
Şekil 2.6.	Deney düzeneği 5 nolu parça	16
Şekil 2.7.	Deney düzeneği köşe birleştirmeleri	16
Şekil 2.8.	Deney düzeneği	17
Şekil 2.9.	Deney düzeneği ve ölçü aletleri	17
Şekil 2.10.	Deneyde kullanılan ısıtıcı.....	18
Şekil 2.11.	Deneyde kullanılan ısıtıcı.....	19
Şekil 3.1.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, tekli jet, $\varphi = 90^\circ$,	23
Şekil 3.2.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, tekli jet, $\varphi = 120^\circ$,	26
Şekil 3.3.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, tekli jet, $\varphi = 150^\circ$,	28
Şekil 3.4.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, üçlü jet, $\varphi = 90^\circ$,.....	31
Şekil 3.5.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, üçlü jet, $\varphi = 120^\circ$,.....	33
Şekil 3.6.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, üçlü jet, $\varphi = 150^\circ$,.....	36
Şekil 3.7.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, altılı jet, $\varphi = 90^\circ$,	38
Şekil 3.8.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, altılı jet, $\varphi = 120^\circ$,	41
Şekil 3.9.	Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, altılı jet, $\varphi = 150^\circ$,	43
Şekil 3.10.	Zamana bağlı sıcaklık değişimlerinde sıralı jetin etkisi $\varphi = 90^\circ$, $Re=9000$..	45
Şekil 3.11.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, tekli jet, $\varphi = 90^\circ$,.....	48
Şekil 3.12.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, tekli jet, $\varphi = 120^\circ$,.....	50
Şekil 3.13.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, tekli jet, $\varphi = 150^\circ$,.....	52
Şekil 3.14.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, üçlü jet, $\varphi = 90^\circ$,.....	54
Şekil 3.15.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, üçlü jet, $\varphi = 120^\circ$,.....	56
Şekil 3.16.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, üçlü jet, $\varphi = 150^\circ$,.....	58

Şekil 3.17.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, altılı jet, $\phi = 90^\circ$,	60
Şekil 3.18.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, altılı jet, $\phi = 120^\circ$,	62
Şekil 3.19.	Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, altılı jet, $\phi = 150^\circ$,	64
Şekil 3.20.	Sıcaklığın yerel olarak değişiminde sıralı jetin etkisi, $\phi = 90^\circ$, $Re=9000$	66
Şekil 3.21.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, tekli jet, $\phi = 90^\circ$,	69
Şekil 3.22.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, tekli jet, $\phi = 120^\circ$,	72
Şekil 3.23.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, tekli jet, $\phi = 150^\circ$,	74
Şekil 3.24.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, üçlü jet, $\phi = 90^\circ$,	77
Şekil 3.25.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, üçlü jet, $\phi = 120^\circ$,	79
Şekil 3.26.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, üçlü jet, $\phi = 150^\circ$,	82
Şekil 3.27.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, altılı jet, $\phi = 90^\circ$,	84
Şekil 3.28.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, altılı jet, $\phi = 120^\circ$,	87
Şekil 3.29.	Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, altılı jet, $\phi = 150^\circ$,	89
Şekil 3.30.	Yerel Nusselt sayılarının değişiminde sıralı jetin etkisi, $\phi = 90^\circ$, $Re=9000$.	91
Şekil 3.31.	$Re=2800$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri, a) Tekli Jet, b) Üçlü Jet, c) Altılı Jet	93
Şekil 3.32.	$Re=2800$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri, a) $\phi=90^\circ$, b) $\phi=120^\circ$, c) $\phi=150^\circ$	95
Şekil 3.33.	$Re=9000$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri, a) Tekli Jet, b) Üçlü Jet, c) Altılı Jet	97
Şekil 3.34.	$Re=9000$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri, a) $\phi=90^\circ$, b) $\phi=120^\circ$, c) $\phi=150^\circ$	99
Şekil 3.35.	$Re=36000$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri, a) Tekli Jet, b) Üçlü Jet, c) Altılı Jet	101
Şekil 3.36.	$Re=36000$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri, a) $\phi=90^\circ$, b) $\phi=120^\circ$, c) $\phi=150^\circ$	103
Şekil 3.37.	Isıtıcı X ekseninde oluşan hız dağılımları a) Üçlü Jet, b) Altılı Jet	104
Şekil 3.38.	Isıtıcı Y ekseninde oluşan hız dağılımları a) Üçlü Jet, b) Altılı Jet	105

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Alan
D	: Çap
D_h	: Hidrolik çap
H	: Jet mesafesi
h_i	: Yerel ısı transfer katsayısı
h_m	: Ortalama ısı taşınım katsayısı
I	: Akım
k	: Havanın ısıl iletkenlik katsayısı
n	: Ölçüm noktası sayısı
Nu	: Nusselt sayısı
Nu_i	: Yerel Nusselt sayısı
Nu_m	: Ortalama Nusselt sayısı
P	: Güç
r₀	: Yarıçap
Re	: Reynolds sayısı
t	: Zaman
T(K)	: Sıcaklık (Kelvin)
T_a	: Jet sıcaklığı
T_i	: Isıl çiftten ölçülen sıcaklık
T_m	: Ortalama sıcaklık
V	: Gerilim

1. GİRİŞ

Endüstride, yüksek ısı transferi elde etmek ve soğumanın en iyi şekilde sağlanması için kullanılan tekniklerin başında çarpan jetler gelir. Burada amaç, en az miktarda akışkan kullanılarak yüksek oranda ısı transferi elde etmektir. Çarpan hava jetleri, çarpma bölgesinde oluşan yüksek ısı ve kütle transferi nedeniyle, tekli ve çoklu olmak üzere, tekstil, kâğıt ve kereste kurutması, elektronik elemanların soğutulması, cam sanayisi, metallerin ısıtma işlemleri, jet motorlu uçaklarda yüksek sıcaklıklara sahip yanma gazlarının ısıttığı gaz türbini kanatlarının soğutulması gibi pek çok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır.

Özellikle, herhangi bir geometriye sahip yüzeye çarpan jetin ısıtma ve akış karakteristiklerinin deneysel ya da sayısal metotlar kullanılarak incelenmesi geçmişte üzerine yoğunlaşılma en önemli konulardan biridir. Jetler bir yüzeye çarparken artan hızla birlikte basıncın azalmasından dolayı özellikle kurutma endüstrisinde önemli bir yer tutarlar.

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ve üretilen elektronik ekipmanlardan beklentilerin artmasıyla birlikte, elektronik ekipmanlarda daha karmaşık yapılar ortaya çıkmıştır. Bu karmaşık yapı, beraberinde bunları oluşturma elektronik devrelerde ısınmayı getirmiştir. Çalışma sıcaklığının artması sonucu ortaya çıkan ısıtma gerilmeleri, elektronik sistemlerin bozulmasının ve verimlerinin düşmesinin temel sebebidir. Çarpan hava jeti uygulamaları bu tarz elektronik elemanların soğutulmasında kullanılan son derece başarılı ve ekonomik bir yöntemdir.

Jetler kullanılarak iki veya daha fazla gaz ya da sıvının karıştırılması, bilinen pervaneli karıştırıcılara alternatif olarak son yıllarda en fazla tercih edilen metotlardan biridir. Çünkü bu metot ile daha düşük maliyet, daha hızlı ve homojen sonuç elde etmek mümkündür. Endüstride bu yöntem yüksek başlangıç nemi içeren katı parçacıkların kurutulmasında, toz toplamada, tankların ısıtma karışmasında, oda ve otomobil içi havalandırma sistemlerinde, biyomedikal cihazlarda ve yakıtların yanması gibi birçok alanda kullanılırlar.

Bu çalışmada, bir tünel yardımı ile oluşturulan dairesel hava jeti, sabit ısı akısı sınır şartına sahip bir dairesel plakaya çarptırılarak, jetin ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Sistem için gerekli hava, radyal bir fan yardımıyla sağlanmıştır. Dairesel kesitli levha üzerindeki sıcaklık dağılımı zamana bağlı olarak tespit edilmiştir. Çalışma esnasında farklı jet çapları, farklı uzaklıklar, farklı açılar ve farklı devir sayıları kullanılarak sonuçlar elde edilmiş ve grafikleri çizilerek parametrelere bağlı olarak meydana gelen değişimler incelenmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Çarpan jetlerin verimini; çarptırılan akışkanın hızı ve sıcaklığı, lüle ile levha arası mesafe, Reynolds sayısının değeri, lüle açısı, lüle şekli, miktarı ve lüleler arası mesafe ile akışın laminar ya da türbülanslı olması etkilemektedir.

Jet akımının değişik geometrili cisimler üzerindeki soğutma ve kurutma etkisinin araştırılması, gittikçe artan sayıda çalışmaya konu olmakta ve hiçbir zaman güncelliğini yitirmemektedir.

Jet akışında ısı transferi üzerine yapılan incelemelerin çoğu, düz yüzeylerin soğutulması ile ilgilidir. Jet akışları ile ilgili olarak eski yıllarda yapılan çalışmaların çoğu, jet akışının akış karakteristiklerinin tespiti ile ilgilidir. Günümüzde ise, enerji teknolojileri alanında daha çok jetlerle soğutma ve kurutma prosesindeki karakteristik büyüklüklerin tespiti önem arz etmektedir. Jetlerin kullanım alanları ile ilgili uygulamalar literatürde geniş bir şekilde yer almaktadır [1-18].

Ergen [19], düşük lüle plaka aralıklarında çarpan hava jetinin ısı transferi özelliklerini PHOENICS paket programını kullanarak sayısal olarak incelemiştir. Sonuç olarak lüle plaka mesafesinin çok düşük olduğu durumlarda lüle çıkışında maksimum bir ısı transferi sağlandığını tespit etmiştir. Lüle plaka mesafeleri arttıkça bu maksimum ısı transferinin yaşandığı noktanın çarpma noktasına doğru yaklaştığı görülmüştür. Re sayısının yüksek seçildiği parametrik çalışmalarda da yerel Nu sayılarının dolayısıyla ısı transferinin çok yükseldiği tespit edilmiştir. Kısaca Re sayısı arttıkça ısı transferi artmakta; bu da yerel Nu sayılarının artmasına neden olmaktadır.

Lüle plaka mesafesi azaldığında ısı transferi artışı dikkate değer ölçüde artmıştır. Nu sayısının lüle plaka arası mesafe (z/d) azaldıkça önemli derecede arttığını sayısal olarak saptamıştır.

Whelan ve Robinson [20], Robinson ve Schnitzler [21], akışkan olarak su kullanarak bir plakaya dik jet püskürterek soğutmaya etki eden parametreleri incelemişlerdir. Çalışmada, özellikle jet mesafesinin çarpan yüzeye olan etkisinin akışı ve ısı transferini etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu vurgulanmıştır. Jet akışlarının literatürde farklı geometrili cisimlere çarpma durumunda akış ve ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Özellikle hava tüneli içerisinde oluşturulmuş jet akışlarının ısıtılmış eğimli levha, prizma ya da eğrisel yüzeylere çarpması durumu için deneysel çalışmalar yapılmıştır [21-22].

Benzer bir çalışma olarak, Atmaca, İnan ve Gül [23], jet akışlarını hava tüneli içerisinde jet akımı oluşturarak, tünel hava akımının olması ve olmaması durumlarında jet karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın amacı, dairesel kesitli yüzeylere çarpan jetin ısı transfer performansının incelenmesidir. Daha önce yapılan çalışmalarda, silindirlerin eğrisel cidarlarına çarptırılan jet ile cisimlerin soğutma karakteristikleri incelenmiştir.

Bu kapsamda, Gori ve Bossi [24], dikdörtgen kesitli yarık hava jetinin (slot jet) bir silindir yüzeyine çarptırılması ile oluşan ısı transferi karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma, Reynolds sayısının 4000 ve 20000 değerleri arasında yapılmış olup, sadece sıcaklık ve ısı transferine ait veriler elde edilmiştir. Slot jet çıkışının silindirik parçaya olan mesafesinin $H/S = 2-10$ değerleri için sonuçlar alınmıştır. Çalışma sonucunda, $2 \leq H/S \leq 6$, değer aralığı için, ortalama Nusselt sayısı bağıntısı,

$$Nu_m = 0.121(H/S)^{0.12} Re^{0.68}$$

ve $6 \leq H/S \leq 10$ aralığı için,

$$Nu_m = 0.178(H/S)^{-0.13} Re^{0.69}$$

olarak elde edilmiştir.

Gori ve Bossi [25], elektrikle ısıtılan bir silindire çarpan slot jet için ısı transfer karakteristiklerini incelemişlerdir. Çalışmada, maksimum ortalama Nusselt sayısı, slot çıkışı-silindir mesafesinin slot jet yüksekliğine oranının 8, değeri için elde edilmiştir. Silindir üzerinde beş ayrı noktada yerel olarak sıcaklıklar ölçülmüş ve en düşük yerel Nusselt sayısı 180° de bulunmuştur.

Gori, Petracci ve Tedesco [26], yapmış oldukları bir başka deneysel çalışmada, slot jet önüne iki ayrı silindir yerleştirerek düşük türbülanslı akış rejiminde silindirlerin birbirlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Silindirlerin birbirlerine olan mesafeleri (H/S) ve jetin birinci silindire olan mesafesi için ayrı ayrı ölçümler alınmış ve $H/S = 6$ için ikinci silindirdeki ısı transferinin birinci silindirle olan mesafeye bağımlı olduğu tespit edilmiştir. Fakat $H/S = 4$ için birinci silindirin ısı transferini artırıcı bir özelliğinin olmadığı tespit edilmiştir.

Jet çarpma açısının da ısı transferi ve akış karakteristikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Eren ve Çelik [27], yaptıkları deneysel çalışmada, emmeye çalışan bir hava tüneli içerisinde slot jet akımı oluşturulmuş ve jet düzlemsel bir yüzeye farklı açılarda çarptırılmıştır. Çalışmada, minimum sıcaklık noktasının pozisyonunun artan eğim açısı ile birlikte arttığı rapor edilmiştir.

Bilen [28], tarafından yapılan bir başka çalışmada, tam gelişmiş dairesel hava jeti düz bir yüzeye dik ve açılı olarak çarptırılmıştır. Çalışmada, ısı transfer katsayısının durma noktasında azalan jet açısı ile azaldığı tespit edilmiştir.

Nada [29], yapmış olduğu deneysel çalışmada, çoklu slot hava jetini ısıtılan bir plaka üzerine çarptırarak, akış ve ısı transfer karakteristiklerini incelemiştir. Çalışma, çok parametrelili bir deney olup, hem zorlanmış taşınım hem doğal taşınım etkilerini içermekte ve dolayısıyla sonuçlar, farklı Reynolds ve Rayleigh sayıları için verilmektedir. Ayrıca, düzlem plakanın yerçekimine göre eğim açısı da bir başka parametre olarak alınmıştır. Plakada etkin soğutmanın artan Rayleigh ve Reynolds sayıları ile birlikte arttığı tespit edilmiştir.

Sezai ve Aldabbagh [30], sürekli rejim şartlarında bir sıralı jet sisteminin düşük Reynolds sayılarında akış ve ısı transfer karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, bir jet kesiti, 24 adet üç sütun ve 68 satırlı çoklu jet sistemi içermektedir. Kare kesitli odacıklardan çıkan jet akımı ısıtılmış yüzeye çarptırılmıştır. Nozzle plaka mesafesine ve Reynolds sayısına bağlı olarak, yüzey Nusselt sayısı değişken (osilasyon) olarak hareket etmektedir.

Can, Etemoğlu ve Avcı [31], yapmış oldukları deneysel çalışmada, kare ve daire şeklindeki nozullardan çarpan hava jetinin taşınım ısı transferine etkisi incelenmiştir. Çalışmada, çok nozullu bir sistem tasarlanarak, alüminyum sıcak bir plakaya çarptırılmıştır ve optimum serbest alan elde edilmiştir. Isı transfer katsayısı, akış debisi ve fan gücü arasında bir bağıntı geliştirilmiştir. Böylece, optimum nozul tasarımı yapılmıştır.

Köseoğlu [32], jet ile çarpma plakası arasındaki sıcaklık farkının yerel ve ortalama ısı transferine etkisini $Re = 250-10000$, jet plaka mesafesi $H/D = 2-12$ aralığında deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Bahsedilen sıcaklık farkının özellikle küçük jet hızlarında ortalama ısı transferi üzerinde %35'e varan oranlarda etkili olduğu ve kaldırma kuvveti etkisiyle oluşan akışın yerel ısı transferini çarpma plakasının değişik bölgelerinde arttırdığı veya azalttığını gözlemlemiştir. Dairesel ve eliptik jetin akış alanı jet geometrisinin ve jet ile plaka arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak ayrıntılı Lazer Doppler Anemometrisi (LDA) ve basınç ölçümleriyle belirlemiştir. Eliptik jetlerde eksen kayması olduğu ve dairesel jetten daha küçük potansiyel öz uzunluğuna sahip oldukları belirlenmiştir. Düşük Re sayılı Lam- Bramhorst $k-\epsilon$ türbülans modeli dairesel, eliptik ve dikdörtgen kesitli türbülanslı jetlerin modellenmesinde test edilmiştir. Sonuç olarak modelin ısı transferini çarpma plakası üzerinde her noktada belirlemede yetersiz kaldığı ancak durma noktasından itibaren genel değişimi yakalayabildiğini gözlemlemiştir.

Telişık [33], birbirine paralel olarak duran, iki yatay levhadan üst levhanın ortasında bulunan bir lüleden çıkan hava jeti alt levhaya çarptırılmıştır. Çalışmada sıcak yüzeye çarpan jetin akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Alt levha sabit sıcaklıkta tutularak ve üst levha yalıtılarak, Reynolds sayısının 250, 400, 500 ve 650 değerleri için simülasyonlar yapılmıştır. Lüle-alt levha arasındaki mesafenin lüle genişliğine oranı $H/W = 0.5, 1, 1.5, 2, 3.5$ ve 5 değerleri için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, bütün Reynolds sayılarında, akışkan ile sıcak alt levha arasındaki maksimum ısı transferi, jetin durma noktasında gerçekleşmiştir.

Ayrıca, Nusselt sayısı; Reynolds sayısı arttıkça veya lüle ile levha arasındaki mesafe azaldıkça artmaktadır. Lüle ile levha arasındaki mesafe $H/W = 0.5$ 'den 2'ye kadar arttıkça Nusselt sayısı hızlı bir şekilde azalmaktadır. Ancak, H/W 'nun 2'den büyük değerlerinde, incelenen Reynolds sayısı aralığında Nusselt sayısı yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.

Dağtekin ve Öztop [34], yaptıkları sayısal çalışmada bir tarafı kapalı ve zemini sıcak bir kanala dikey olarak yerleştirilen farklı hızlara sahip çift jetlerin akış ve ısı transfer karakteristiklerini incelemişlerdir. Sıcak yüzeydeki Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısında liner olarak artmış, bunun sonucu olarak ısı transferi artmış ve sıcak yüzeydeki termal sınır incelmıştır.

Çelik ve Eren [22], ısıtılmış dikdörtgen prizması şeklindeki bir cisme jet akımı uygulanması halinde oluşan sıcaklık profili deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla emmeye çalışan hava tünelinin $30 \times 30 \text{ cm}^2$ çıkış kesitli daralma konisi içerisine $3 \times 30 \text{ cm}^2$ çıkış kesitli yeni bir koni yerleştirilerek bir jet akımı meydana getirilmektedir. Hava tüneli test odası içerisine yerleştirilen $13.6 \times 29.5 \text{ cm}^2$ ebatlarındaki küt cismin farklı Reynolds sayılarında (5860, 8879, 11606) jet akımına maruz kalmasıyla birlikte üst, arka ve ön yüzeylerde oluşan sıcaklık değerleri tespit edilmektedir.

İşman, Pulat, Etemoğlu ve Can [35], sabit ısı akısıyla ısıtılmış bir yüzeyin tek ve çift jet kullanılarak soğutulması işlemindeki akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelemişlerdir. Akışın, türbülanslı, iki boyutlu, sıkıştırılamaz ve sürekli rejimde olduğu kabul edilmiştir. Analizde standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmış olup korunum denklemleri Galerkin Sonlu Elemanlar Metodu ile ANSYS-FLOTTRAN paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Perry [36], ortam sıcaklığından 400°C daha yüksek sıcaklıktaki jetleri kullanarak, çarpma plakası ısı transferi karakteristiklerini belirlemek için yapmıştır. Plaka eğiminin 15 dereceden 90 dereceye kadar değiştirildiği bu çalışmada taşınım ile ısı transferi katsayısının artan eğimle arttığı görülmüş, en yüksek değerine 90 derecede ulaştığı gözlenmiştir. Burada 90 derece dik çarpma jetini temsil etmektedir. Deneyler sonucunda Nu sayısı için elde edilen korelasyonların H/D oranını içermemesi ve sadece Re ve Pr sayılarının bir fonksiyonu olarak ifade edilmesi kayda değer bir durumdur.

Huang [37], dairesel hava jeti ve jet dizilerinin ortalama ve yerel, taşınım ısı transferi katsayılarını 176 °C sıcaklığında ısıtılmış hava kullanarak Re sayısının 1000 ile 10000 arası değerlerinde incelemiştir. Dairesel tek jet için yapılan çalışma sonucunda Nu sayısı, Re ve Pr sayısına ek olarak H/D nin fonksiyonu olan bir katsayı cinsinden ifade edilmiş, böylece çarpan jetlerin performansları, bilinen zorlanmış taşınım korelasyonlarından farklı bir şekilde bel ki de ilk kez ifade edilmiştir. Jet dizileriyle yapılan deneyler sonunda, ısı transferinin uniform dağılımı için H/D değeri belirlenmeye çalışılmış ayrıca açık alanın tüm jet plakası alanına oranının en ekonomik güç tüketimi açısından değeri belirlenmiştir

Gardon ve Akfırat [38], bir yüzeye çarpan jet akışından elde edilen yerel taşınım ısı transferi katsayısı verilerini, hız ve türbülans dağılımı ölçümlerini kullanarak, türbülansın ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçlarından, ısı transferi karakteristiklerinin, sadece hıza ve mesafeye bağlı sınır tabakası kalınlığıyla belirlenemeyeceğini, jetteki türbülansın etkisinin de hesaba katılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Jet içinde türbülans düzeyinin sürekli değiştiğini ve $H/D \leq 8$ değerleri için lüle geometrisinin ve türbülans arttırıcıların jet içindeki türbülansı etkileyeceğini belirtmişlerdir.

Kercher ve Tabakoff [39], dairesel hava jeti dizileriyle yaptıkları deneylerde ısı transferini, çapraz akışın etkisini de hesaba katarak incelemişlerdir. Çalışmada çapraz akışın tek yönlü çıkışta ısı transferini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiş, ortalama Nusselt sayısı için korelasyonlar geliştirilmiştir. Korelasyonlar, jetlere dik yönde olan akışın, jet çapının, jetler arası mesafenin, jet-plaka mesafesi oranının fonksiyonu olarak verilmiştir.

Florschuetz, Berry ve Metzger [40], çapraz akış etkisindeki jet dizilerini kullanarak jetler arası mesafe, jet- plaka mesafesi, jet dizilim şekli, delik çapı gibi parametrelerin taşınım ısı transferi katsayısına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Havanın tek yönde dışarı çıkmaya zorlandığı çalışmada, çapraz akışın etkisinin akış yönündeki mesafeyle ve jet dizilimiyle değişimi belirlenmiştir. Üçgen dizilim şeklinde çapraz akışın ısı transferine olumsuz etkisinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiş, ayrıca akış yönünde, çapraz akış debisinin jet debisine oranının arttığı gözlemlenmiştir.

Goldstein ve Behbahani [41], çarpan hava jetlerinin çapraz akış altındaki yerel taşınım ile ısı transferi katsayılarını belirlemek için çalışmalar yapmışlardır. Çapraz akışın, $H/D \geq 12$ değerlerinde maksimum ısı transferini azalttığı, daha küçük oranlarda ise olumlu yönde katkıda bulunabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca bütün H/D değerlerinde en yüksek Nusselt sayısının elde edildiği noktanın durma noktasından çapraz akış yönünde kaydığını belirlemişlerdir.

Garimella ve Rice [42], yerel taşınım ısı transferi katsayılarının, Re sayısı, H/D oranı ve lüle çapıyla değişimini incelemişlerdir. Aynı Re sayısı ve H/D oranı için, daha küçük çaplı lülelerin daha yüksek taşınım ısı transferi katsayısı değerleri gösterdiği, durma noktasındaki taşınım ısı transferi katsayısının $H/D \leq 5$ değerleri için fazla değişmediği, daha büyük mesafelerde ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlardan deneylerindeki sabit hız çekirdeği mesafesinin $H/D = 5$ civarında olduğu sonucunu çıkarmışlar bunlara ek olarak $H/D = 1$ ve 2 değerlerinde durma noktasına ek olarak ısı transferinde ikincil maksimum değerler gözlemlemişler ve bu değerlerin H/D nin azalmasıyla daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir.

Yan ve Saniei [43], dairesel jetlerle yaptıkları çalışmada çarpma açısının ve H/D oranının yerel taşınım ısı transferi katsayılarına etkisini incelemişlerdir. Dik çarpmalarda mevcut olan simetrik yapının bozulduğunu ve asimetrikliğin H/D oranının azalmasıyla arttığını belirlemişler, ayrıca maksimum ısı transferinin durma noktasından daralan yöne doğru kaydığını gözlemlemişlerdir.

Isı transferinin, maksimum olduğu noktadan itibaren değişimi incelendiğinde özellikle küçük H/D değerlerinde, daralma yönünde sürekli bir azalma görülürken genişleme yönünde ikincil maksimum noktaların olduğu gözlemlenmiştir. Plaka eğikliğinin artmasıyla birlikte, maksimum ısı transferinin azaldığı ve gözlemlendiği noktanın daralma yönünde kaydığı tespit edilmiştir.

Alawadhi [44], ardışık dizili elektronik elemanların soğutulmasında, jet akımının kullanılabilirliğini önermiş ve bu konu üzerine sayısal bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, debinin ve hava jeti-chip termal iletkenlik katsayısı oranının en önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir.

C. Cornaro vd. [45], içbükey ve dışbükey yüzeyler üzerinde doğrusal olarak duman akımını görsel bir şekilde ifade ederek akışın yüzeylere göre durumlarını incelemişlerdir. Ayrıca açık jet üzerinde bölgesel hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri yapmışlardır. Çarpan jet akımında, akış halkalarının büyümesi ve yüzeye çarpması nozzle çapına, nozzle-yüzey mesafesine ve Reynolds sayısına bağlı olarak farklılık göstermiştir.

Atmaca vd. [46], hava tüneline jet akışı ölçümleri yapmışlardır. Önce çevre akışı olmadan jet akış ölçümleri yapılmış daha sonra da çevre akışını ve jet çıkış hızını değiştirerek farklı hızlarda jet akış deneyleri yapılmıştır. Jet akışı ile serbest hava akımı birbirine paraleldir. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerle, akış profilinin, hız ve türbülans dağılımları gösterilmiştir

Jet akışları üzerinde yapılan bu kadar yoğun çalışmaya rağmen, üniform akış ile karşılaştırıldığında jetle soğutmanın verimliliği henüz çok iyi bilinmemektedir.

1.2. Jet Teorisi

Mühendislik uygulamalarında önem taşıyan çoğu akışlar türbülanslıdır ve karşılaşılan problemlerin analitik olarak çözülmesi güçtür. Türbülanslı akışların uygun bir fiziksel modelinin olması da en büyük çıkmazdır. Karşılaşılan problemler iki kısımda incelenebilir.

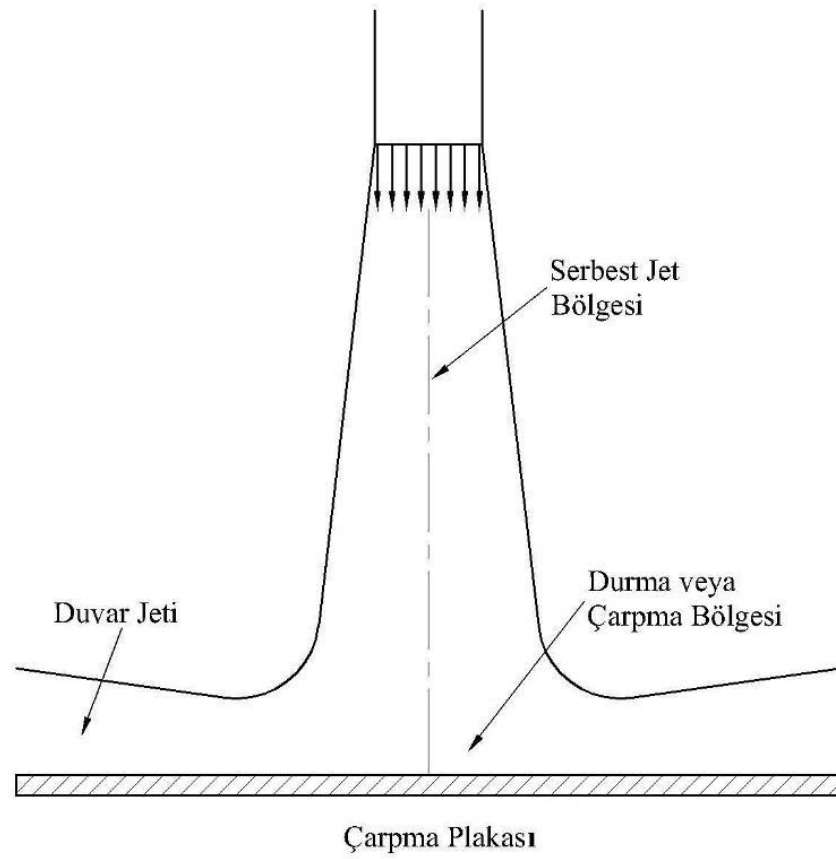
Birincisi; çok basit olmadıkça herhangi bir türbülanslı akışa teorik çözüm getirmek zordur. Kompleks ve rastgele oluşan türbülanslı akışlar bir analiz gerektirdiği gibi ayrıca ekstra terimler de (Reynolds gerilmeleri vs.) sunarlar.

İkincisi; çarpma bölgesi kompleks bir akış alanıdır. Lüle-yüzey arası uzaklığın, lüle genişliğine oranı olan boyutsuz lüle-yüzey mesafesinin (x/w) pratik değerlerinde yüzeye çarpmasından sonra oluşup gelişen akışlarda girdap viskozitesi, Prandtl karışım uzunluğu gibi kavramlar yetersiz kalmaktadır.

Çarpan jet, dairesel veya dikdörtgen lüleden çıkan akışkanın, bir yüzeye çarpması sonucu elde edilmektedir. Çarpma bölgesinde sınır tabaka kalınlığı azalır ve buna bağlı olarak yerel ısı taşınım katsayısı artar. Böylece, jetin çarptığı yüzeyde etkin ısı ve kütle aktarımı sağlanır.

Çarpan jetlerin akış ve ısı transferi özellikleri, jet çıkış geometrisinden jet çıkışındaki hız profiline, jet ile plaka arasındaki mesafeden jet içerisindeki türbülansa, çarpma plakası geometrisinden jet ile plaka arasındaki sıcaklık farkına kadar birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir.

Bir yüzeye çarpan jet, Şekil 1.1’de görüldüğü gibi serbest jet bölgesi, durma veya çarpma bölgesi ve duvar jeti olmak üzere özellikleri birbirinden farklı üç bölgeye ayrılabilir.



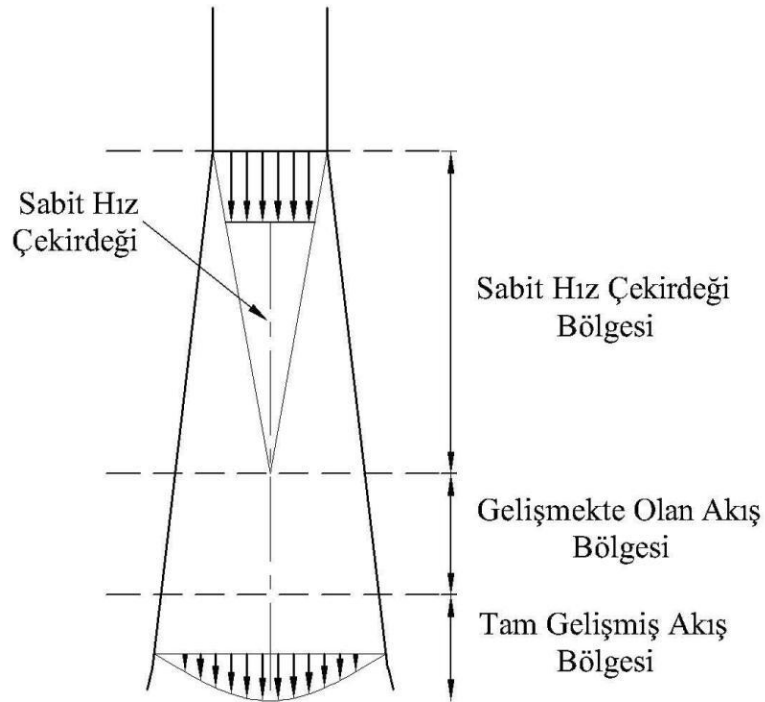
Şekil 1.1. Çarpan jetin akış bölgeleri

Serbest jet bölgesinde, jet ile durgun çevre arasında kütle, momentum ve enerji aktarımı söz konusudur. Bu etkileşim, jet içinde radyal yönde sabit olmayan bir hız profili oluşmasına, jetin serbest sınırının genişlemesine, toplam kütleli debinin artmasına, jet sıcaklığının değişmesine ve sabit hız çekirdeği bölgesinin daralmasına yol açar. Serbest jet bölgesinin karakteristiklerinden biri de bu bölgedeki akışın çarpma yüzeyinden etkilenmemesidir.

Durma veya çarpma bölgesinde akış, çarpma yüzeyinden etkilenmekte olup akışın çarpma yüzeyine dik durumdan paralel duruma dönmesi söz konusudur. Bu bölge içerisindeki hız, çarpma yüzeyine dik yönde azalırken, çarpma yüzeyine paralel yönde bir artış göstermektedir. Yüzeye paralel ve dik hızların sıfır olduğu durgunluk noktası da bu bölge içerisinde yer almaktadır. Durma bölgesinin karakteristiklerinden biri de çarpma yüzeyine yakın bölgede sınır tabakası analiziyle belirlenen, akışın ivmelenmesiyle sınır tabakasının incelmesi aynı zamanda çevreyle momentum aktarımı sebebiyle sınır tabakasının kalınlaşma etkilerinin birbirini dengelemesi sonucu sınır tabakası kalınlığının fazla değişmemesidir.

Duvar jeti bölgesindeki akış, çarpma yüzeyine paralel olup, çevrede durgun olarak bulunan akışkanla momentum aktarımının ve çarpma plakasıyla etkileşimin sonucu yavaşlar. Bu bölge içerisindeki hızlar çarpma yüzeyinde ve serbest yüzeyde sıfır değerine sahiptir. Durma ve duvar jeti bölgesinde jet ile çarpma yüzeyi arasındaki güçlü etkileşim, bu bölgelerdeki yerel ısı transferini ve dolayısıyla ortalama ısı transferini etkiler.

Serbest jet bölgesi, Şekil 1.2’de görüldüğü gibi kendi içerisinde sabit hız çekirdeği bölgesi, gelişmekte olan akış bölgesi ve tam gelişmiş akış bölgesi olmak üzere üç alt bölgeye ayrılabilir.



Şekil 1.2. Serbest jetin akış bölgeleri

Sabit hız çekirdeği bölgesinde hız lüle çıkışındaki hıza eşittir ve değişmemektedir. Bu bölgenin jet çıkışından itibaren uzunluğu, jet çıkış geometrisine, lüle çıkışındaki hız profiline ve türbölans yoğunluğuna bağlıdır.

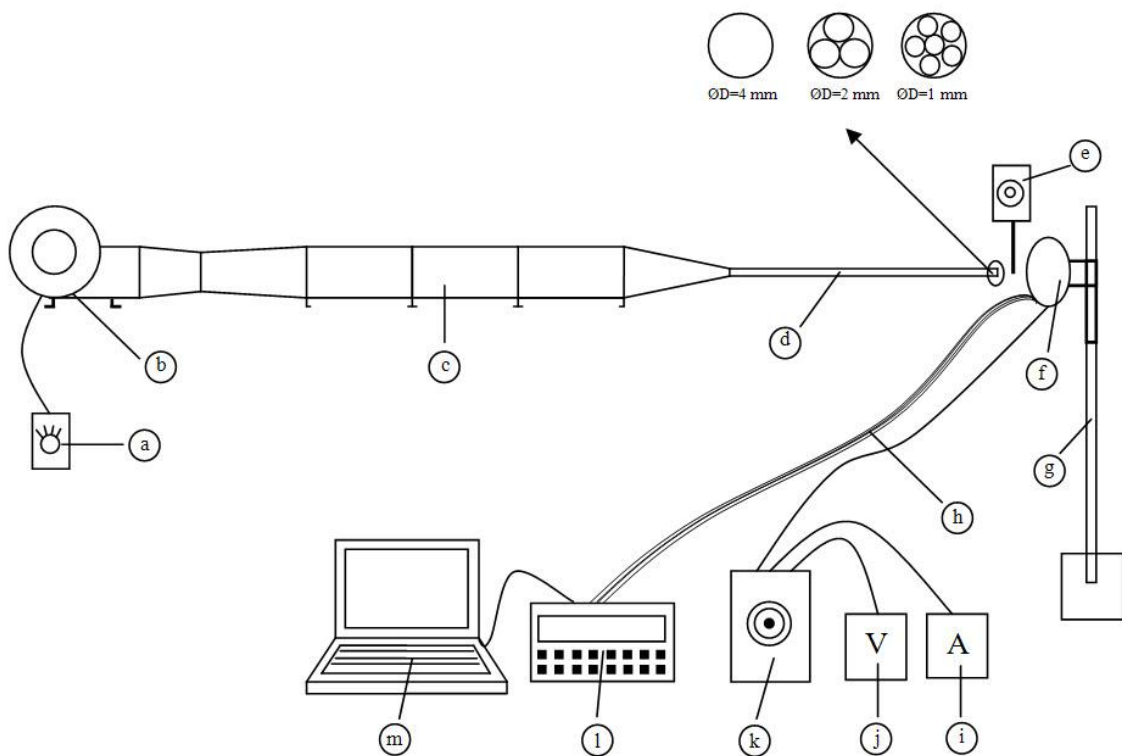
Çoklu jet çarpma sistemini etkileyen birçok parametre vardır. Bunlar;

- Ayrılma mesafesi,
- Jet-Jet arası mesafe,
- Sıralama türü,
- Jet geometrisi,
- Jet çapı,
- Çarpma yüzeyinin yapısı,

olarak sıralanabilir.

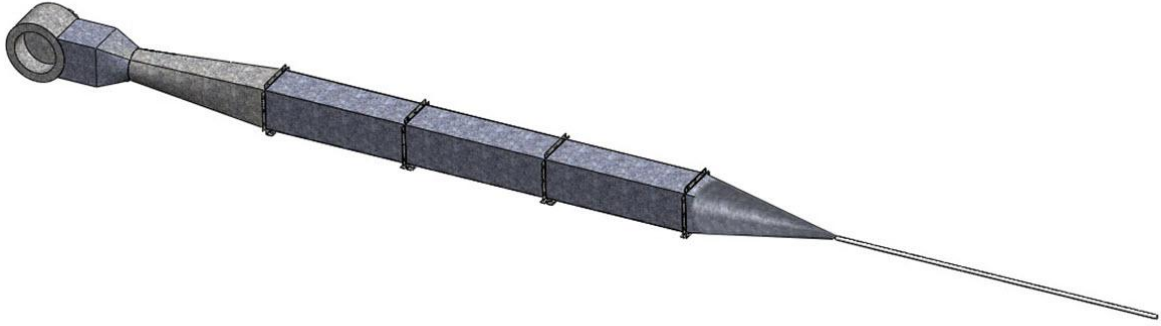
2. MATERYAL VE METOT

Deney setinin genel görünümü Şekil 2,1’ de verilmektedir. Radyal bir fan yardımı ile bir hava kanalından geçirilerek elde edilen hava bir nozul yardımı ile 110 cm uzunlukta ve 4 mm çapında bir borudan geçirilmektedir. Sıralı jet için ise 3 ve 6 sıralı jetler kullanılarak sıralı jet akımları elde edilmiştir.

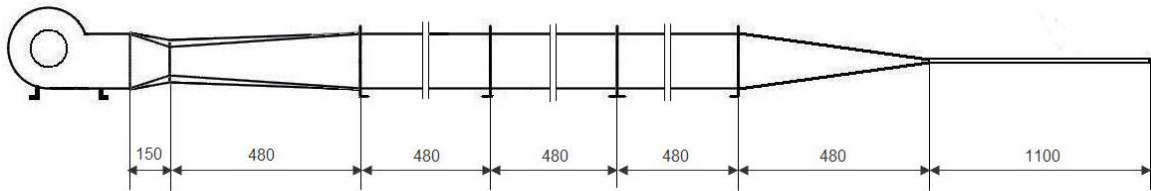


Şekil 2.1. Deney düzeneği şematik görüntüsü a) Devir ayarlayıcı, b) Radyal fan, c) Hava tüneli, d) Bakır boru, e) Hız ölçer, f) Isıtıcı, g) Isıtıcı ayar sehpası, h) Isıl çiftler (15 adet), i) Ampermetre, j) Voltmetre, k) Isı kontrol cihazı, l) Veri derleyici, m) PC

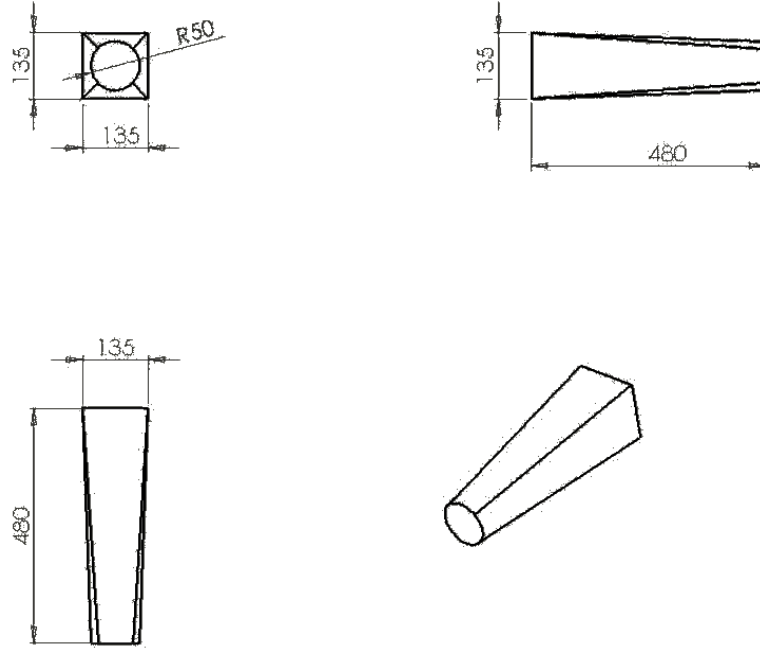
Deney düzeneği tasarlanırken sökülebilir olarak 6 parça şeklinde düşünülmüştür. Deney düzeneğinin tasarımı Şekil 2.2’ de, deney düzeneği ölçüleri Şekil 2.3’ de görülmektedir. İlk parçasının bir ucu radyal fan çıkışına uygun olarak $\varnothing=100$ mm silindirik ve diğer ucu 135 x 135 mm kare olacak şekilde 480 mm boyunda tasarlanmıştır. (Şekil 2.4) 2,3 ve 4 nolu parçalar 480 mm boyunda ve 135 x135 mm kare (Şekil 2.5), 5 nolu parça bir ucu 135 x 135 mm kare, diğer uç bakır boruların sökülüp takılabilmesi için $\varnothing=10$ mm silindirik olacak şekilde tasarlanmış (Şekil 2.6) ve 0,1 mm kalınlığında saçtan imal edilmiştir. Bütün parçalar cıvata somun kullanılarak birleştirilmiş, ayrıca sızıntıları önlemek için bütün parçaların birleştirme noktalarında sızdırmazlık contaları kullanılmıştır. (Şekil 2.7) Deney düzeneğine ait çeşitli fotoğraflar (Şekil 2.8), (Şekil 2.9) ve (Şekil 2.10)’ da görülmektedir.



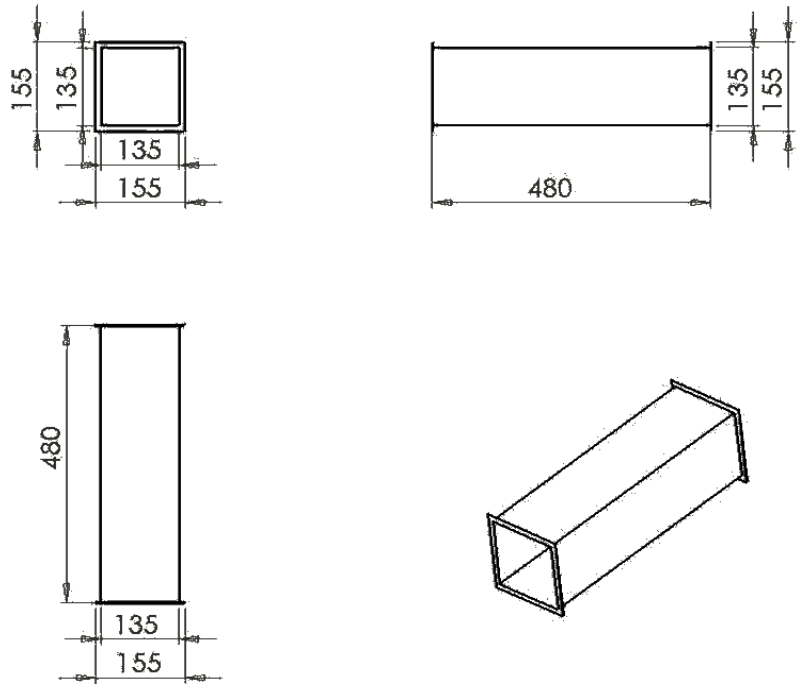
Şekil 2.2. Deney düzeneği tasarımı



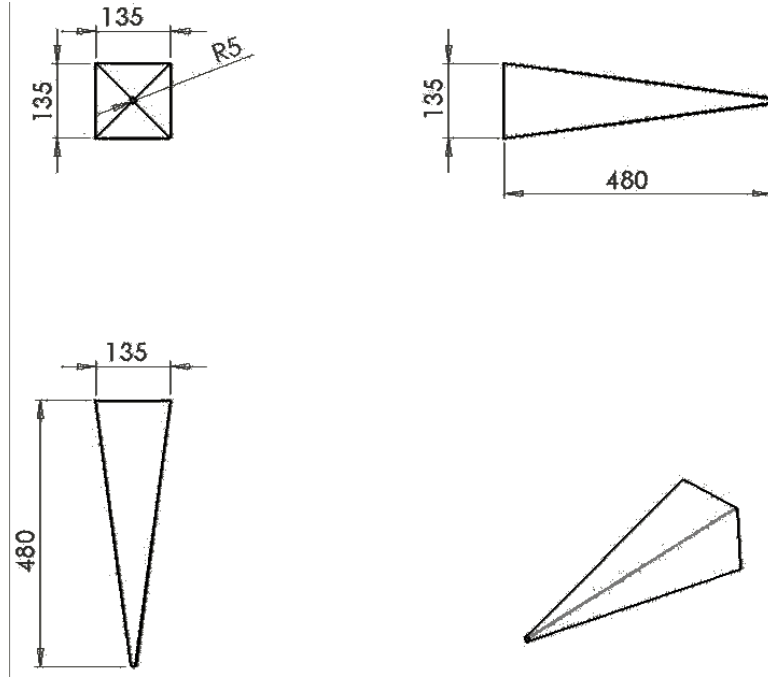
Şekil 2.3. Deney düzeneği ölçüleri



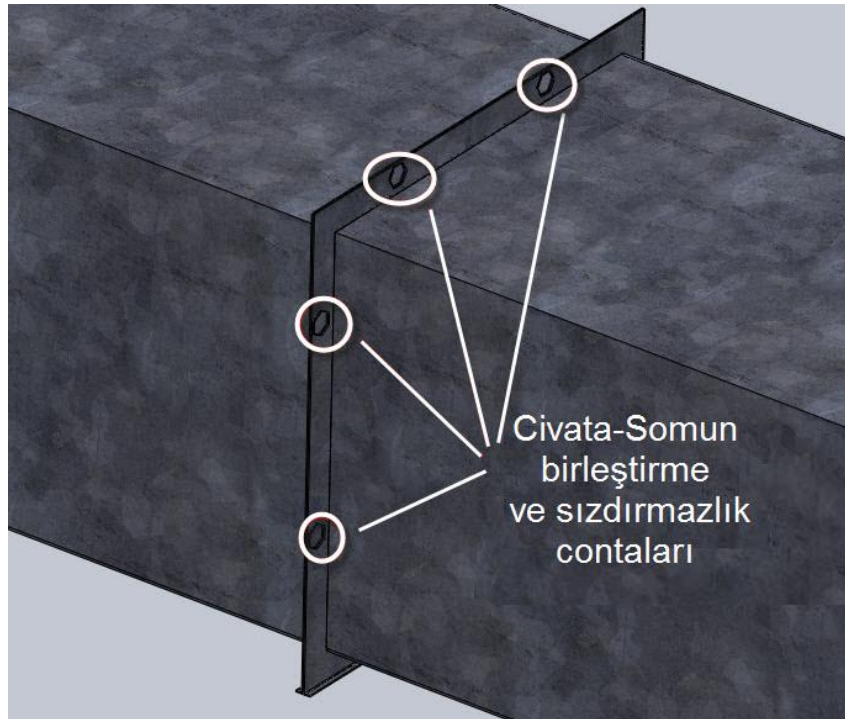
Şekil 2.4. Deney düzeneği 1 nolu parça



Şekil 2.5. Deney düzeneği 2,3 ve 4 nolu parçalar



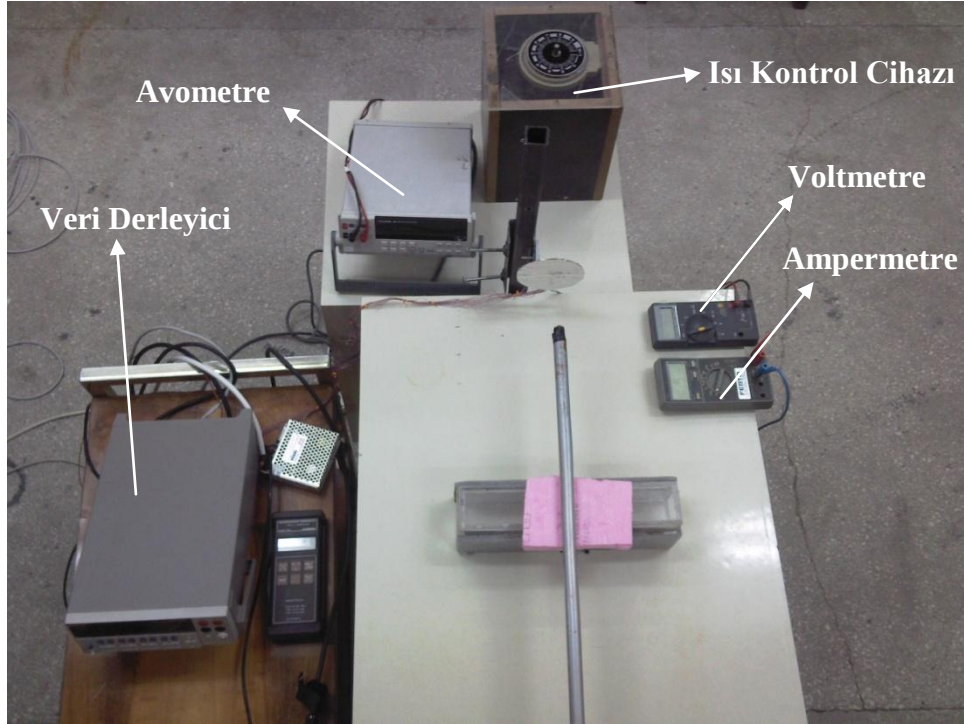
Şekil 2.6. Deney düzeneği 5 nolu parça



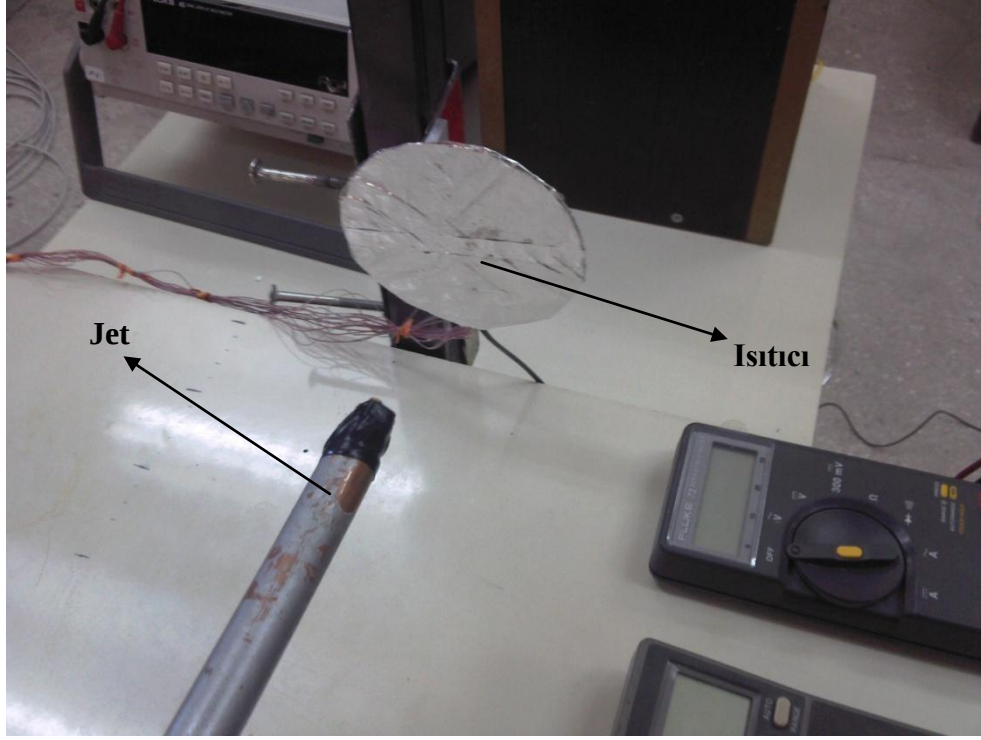
Şekil 2.7. Deney düzeneği köşe birleştirmeleri



Şekil 2.8. Deney düzeneği



Şekil 2.9. Deney düzeneği ve ölçü aletleri



Şekil 2.10. Deneyde kullanılan ısıtıcı

Deneyisel çalışmada, birçok parametreye göre çalışmalar yapılmış ve sonuçlar alınmıştır. İncelenen parametreler; jet akımının ısıtıcıya olan mesafesi ($H/D_h=5$, $H/D_h=10$, $H/D_h=15$, $H/D_h=20$), jet akımının ısıtıcı yüzeye çarpma açısı (90° , 120° , 150°) ve deneyde jet akımı elde etmek için kullanılan bakır borular (4 mm çaplı tek uç, 2'şer mm çaplı 3 uç ve 1'er mm çaplı 6 uç). Ayrıca deneyisel çalışmada kullanılan Radyal fan üç kademede çalışmaktadır. Böylelikle her mesafede, her açıda, her üç çeşit uçta ve radyal fanın üç kademesinde ayrı ayrı soğutma işlemi yapılarak bütün sonuçlar alınmış ve grafikleri çizilmiştir.

Deneyde kullanılan jet akımının hızını öğrenmek için sıralı jetler kullanılarak $H/D_h=20$ (8 cm) mesafede hız ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar grafik olarak çizilmiştir.

Table 1 Demographic characteristics of study population

19

Dairesel yüzey üzerinde birim alan başına elde edilen güç,

$$\frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (2.1)$$

olarak tanımlanır. Burada, P güç olup, $P = I.V$ şeklinde tanımlanır. A, daireSEL cismin yüzey alanı, D ise cismin çapıdır. Buradan, yerel ısı transfer katsayısı,

$$h_i = \frac{P}{[A(T_i - T_a)]} = \left[\frac{P}{\frac{\pi D^2}{4} (T_i - T_a)} \right] \quad (2.2)$$

şeklinde hesaplanır. Bu denklemde, T_a , jet sıcaklığı, T_i , ısı çiftten ölçülen sıcaklıktır.

Yerel Nusselt sayısı,

$$Nu_i = \frac{h_i D h}{k} = \frac{4P}{\pi k D (T_i - T_a)} \quad (2.3)$$

şeklinde bulunur. Bu denklemde, k, havanın ısıl iletkenlik katsayısıdır.

Ortalama Nusselt sayısı,

$$Nu_m = \frac{h_m D}{k} \quad (2.4)$$

olarak ifade edilir. Burada, h_m , ortalama ısı taşınım katsayısıdır. Ortalama ısı taşınım katsayısını hesaplamak için,

$$P = h_m A (T_m - T_a) \quad (2.5)$$

Ortalama sıcaklık,

$$T_m = \sum_i \frac{T_i}{n} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilebilir.

3. BULGULAR

Deneyisel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak grafikler çizdirilmiştir. Çizilen grafikler; zamana bağlı sıcaklık değişimi, sıcaklığın r_0/D_h oranına göre değişimi, yerel nusselt sayısının r_0/D_h oranına göre değişimi, ortalama nusselt sayısı grafikleri ve hız ölçüm grafikleri olarak gruplandırılmıştır. Bütün grafik çizimlerinde ve hesaplamalarda 2800, 9000 ve 36000 olarak üç farklı Reynolds sayısı kullanılmıştır.

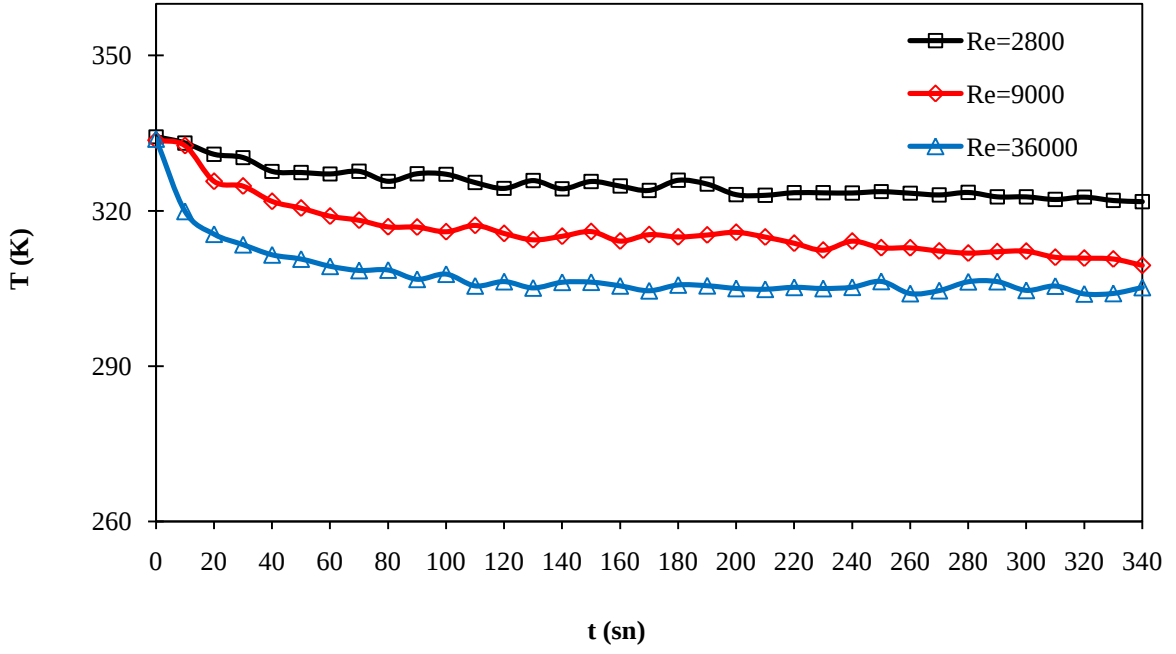
3.1. Zamana bağlı sıcaklık grafikleri

Bu bölümde dairesel kesitli yüzeyin zamana bağlı olarak soğuma grafikleri Şekil 3.1- 3.10 arasında verilmektedir. Çalışmada, jet akımını etkisiyle, dairesel kesitli yüzeyden ısı transferi olmakta ve soğuma görülmektedir. Çalışma zamana bağlı olarak gerçekleştirilmiş ve farklı Reynolds sayılarında yüzeydeki soğuma eğrileri çıkarılmıştır. Farklı jet durumlarının zaman bağlı olarak soğutma etkileri de incelenmiştir. Sıcaklığın zamana bağlı değişiminin incelendiği durumlarda ölçüm noktası olarak dairesel kesitli yüzeyin merkezi esas alınmıştır.

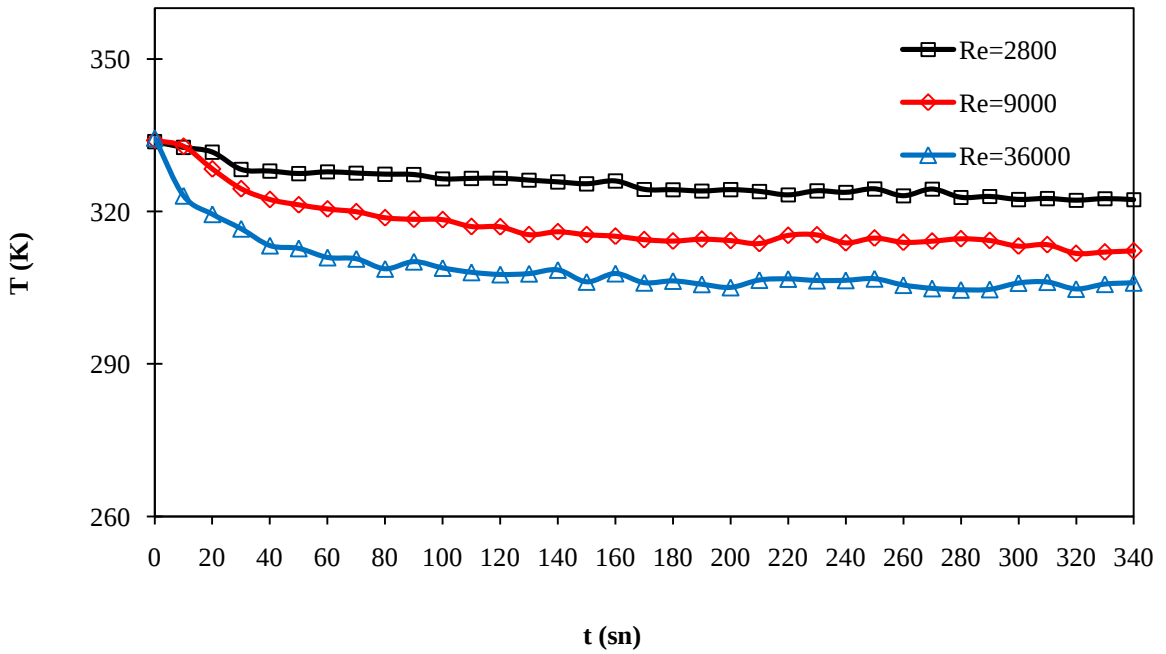
3.1.1. Tekli jet 90 derece grafikleri

Tek jet durumu için $\phi=90^\circ$ iken elde edilen zamana bağlı sıcaklık değişimi grafikleri Şekil 3.1(a-d)'de verilmektedir. Çalışma, 2800, 9000, 36000 olmak üzere üç farklı Reynolds sayısı ve dört farklı H/D_h oranında gerçekleştirilmiştir. Düşük H/D_h oranlarında jet etkisi belirgin olarak görülmektedir. Yüzeye dik olarak çarpan akım yüzeyde hızlı bir soğumaya sebep olmaktadır. Sıcaklık özellikle ilk 60 sn ciddi bir düşüş göstermektedir. Daha sonra jet sıcaklığıyla yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı azaldığından ısı transferi daha yavaş gerçekleşmektedir. Artan H/D_h oranlarında jetin soğutma etkisi düşmektedir.

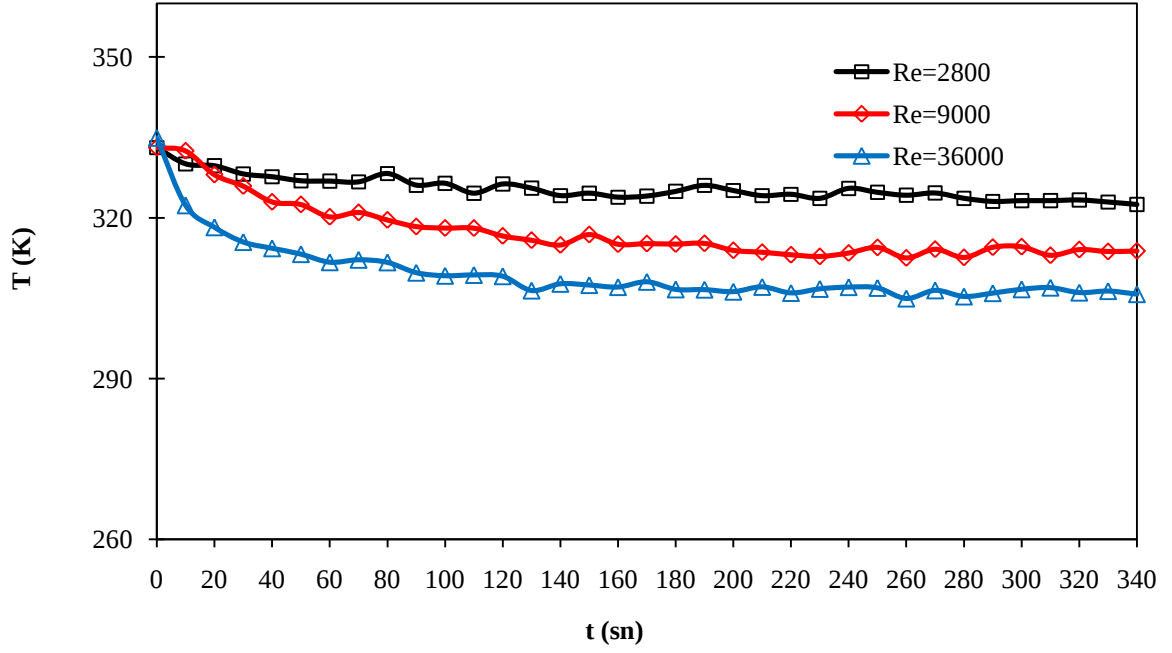
Aynı zamanda, artan H/D_h oranlarında Reynolds sayısının etkisi belirgin hale gelmektedir. Çalışmada, zaman ilerledikçe ısı transferi düşmekte ve 280 sn' den sonra yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.



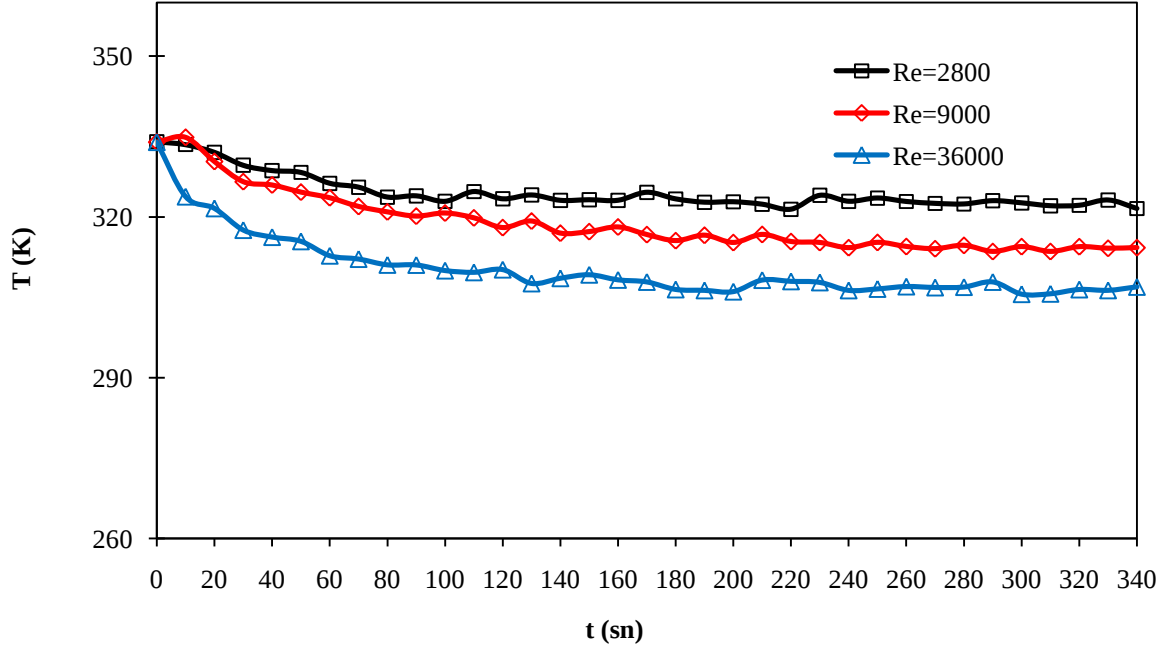
a)



b)



c)

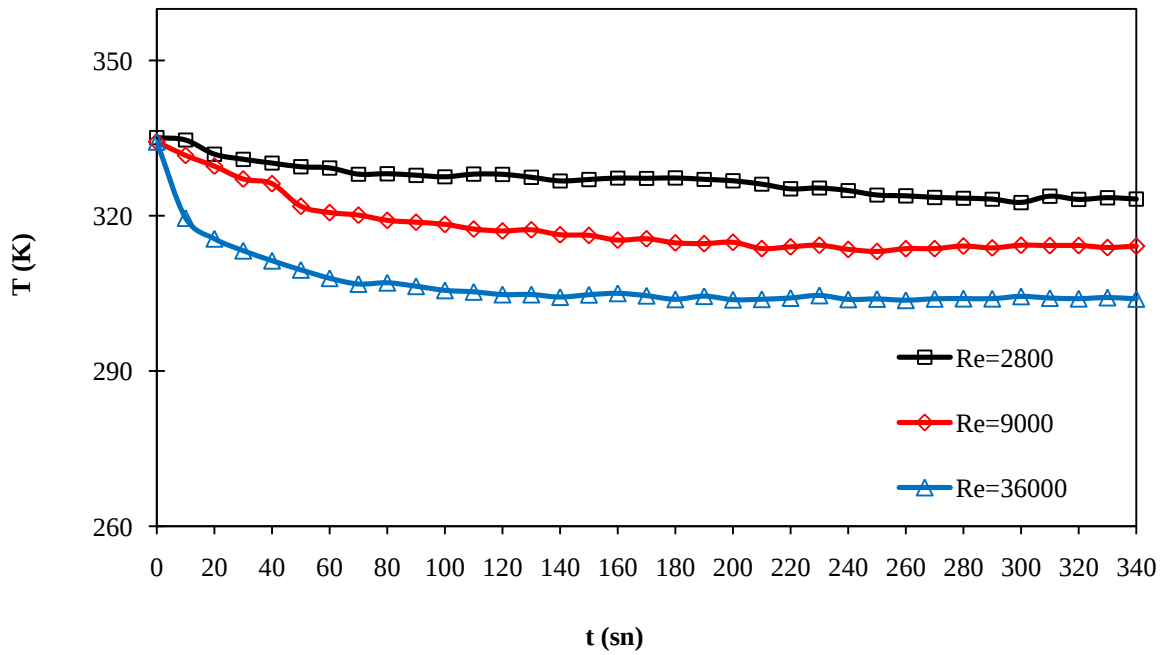


d)

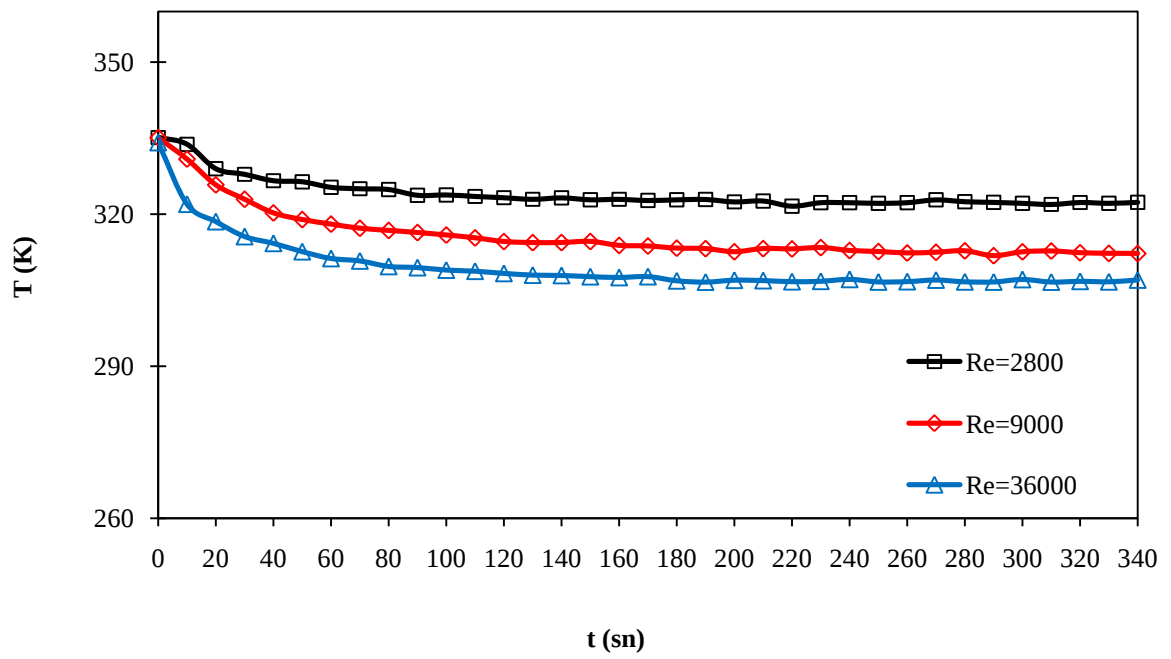
Şekil 3.1. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, tekli jet, $\varphi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.1.2. Tekli jet 120 derece grafikleri

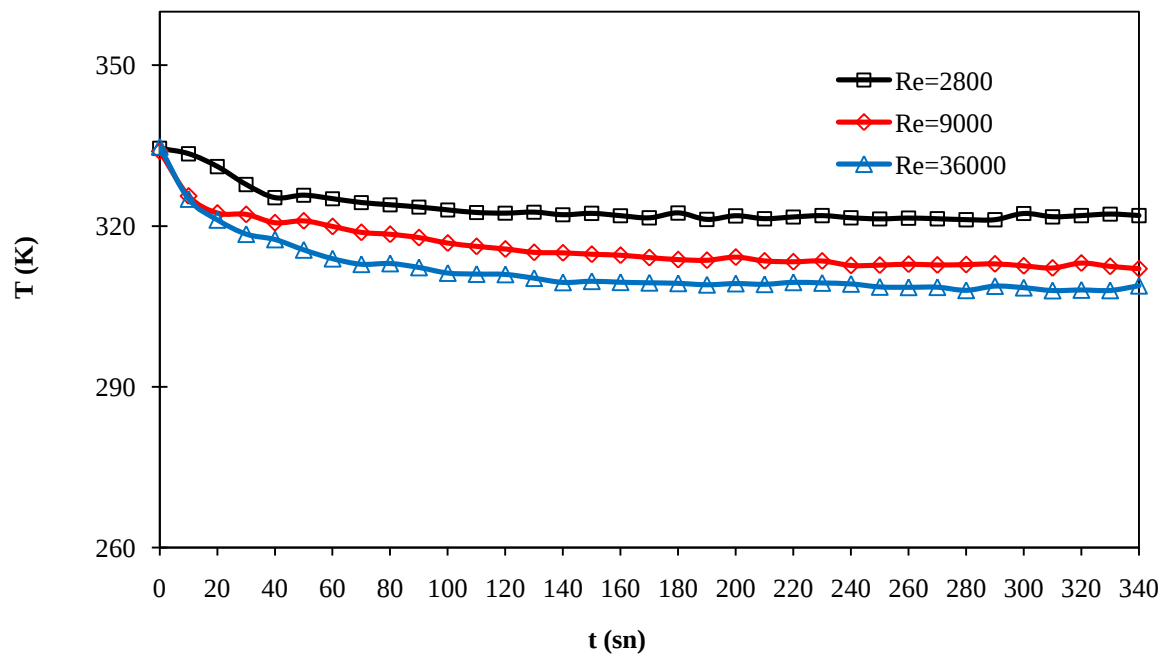
Zamana bağılı olarak dairesel kesitli yüzeyin merkez sıcaklığının değişimine göre açının etkisi de incelenmiştir. $\phi = 120^\circ$ iken yapılan ölçümler Şekil 3.2 (a-d)' de H/D_h oranına ve Reynolds sayılarına bağılı olarak verilmektedir. Çalışmada, jet merkezi yüzeye belli bir açıyla çarpmakta ve dik olarak çarptığı duruma göre jet yayılım etkisinden dolayı daha geniş bir bölgeyi etkilemektedir. Dolayısıyla, jetin dik olarak çarptığı duruma göre soğutma etkisi düşmüştür. Plakanın açısı, Reynolds sayılarının soğutmaya etkisini belirgin olarak göstermiştir. Yüksek Reynolds sayılarında yüzey sıcaklığı hızlıca düşmektedir. H/D_h oranı arttıkça jetin soğutmaya etkisi de azalmaktadır.



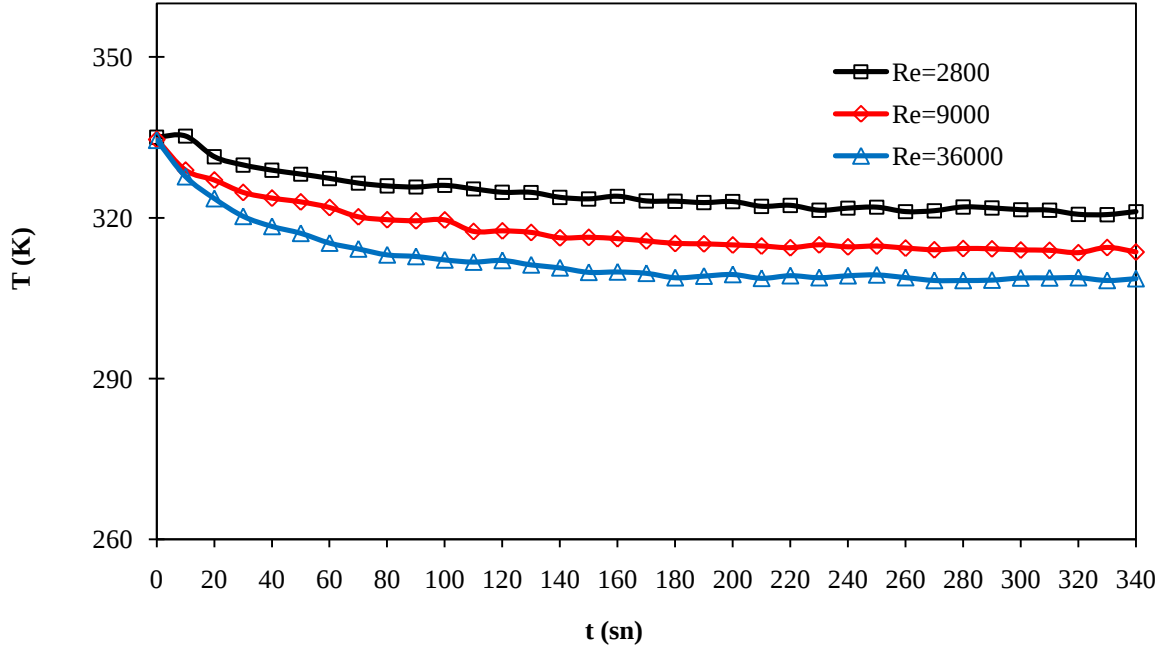
a)



b)



c)

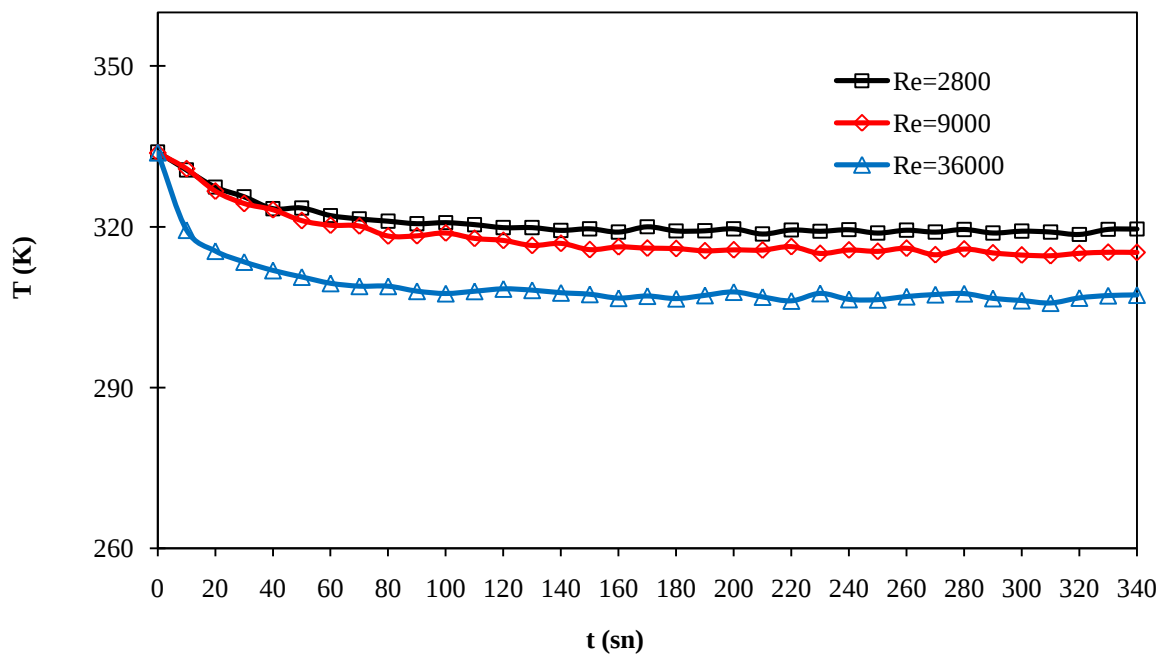


d)

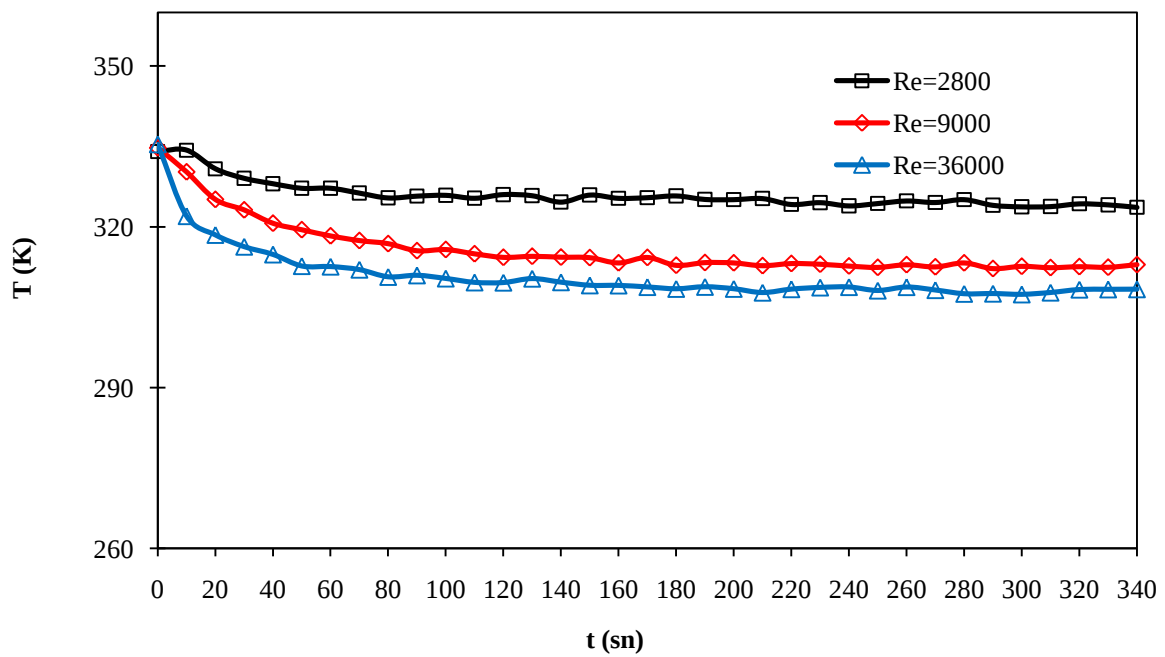
Şekil 3.2. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, tekli jet, $\phi = 120^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.1.3. Tekli jet 150 derece grafikleri

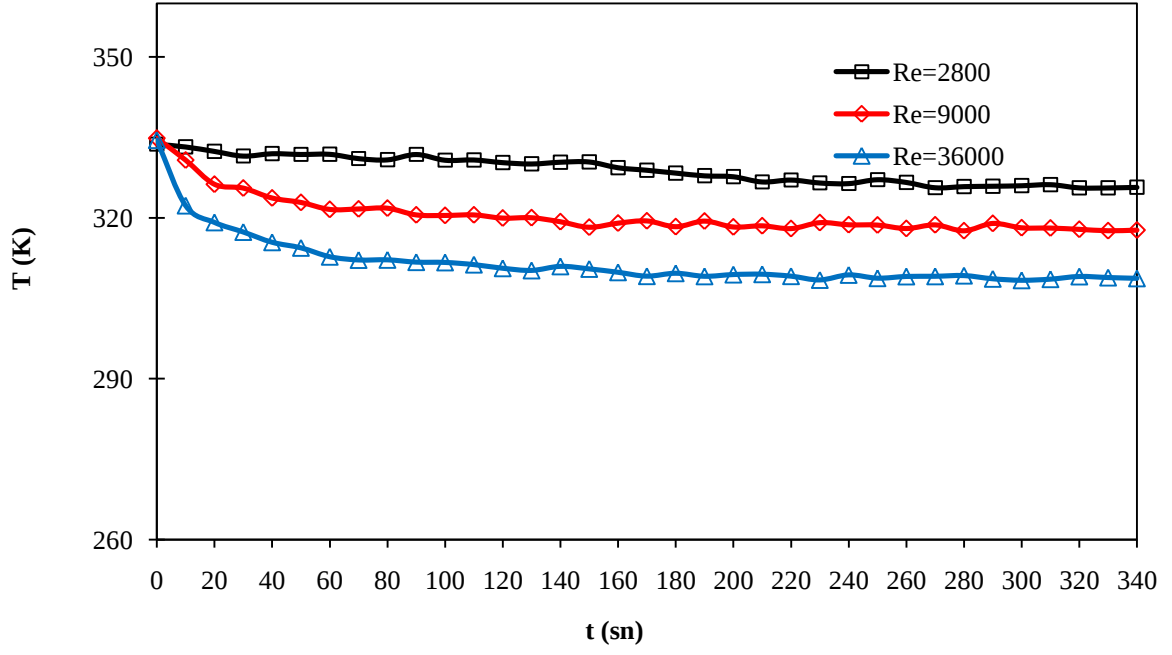
Zamana bağlı olarak yapılan ölçümler yüzey açısı $\phi = 150^\circ$ için tekrarlanmıştır. Bu durumda, jet merkezinin çarpma bölgesi yüzey açısının etkisiyle daha geniş bir alana yayılmıştır. Böylece, jetin yüzeye dik çarptığı duruma göre daha düşük bir soğutma sağlanabilmektedir. Ayrıca, düşük Reynolds sayılarında ilk 100sn den sonra ciddi bir değişim olmamış sıcaklık yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Artan H/D_h oranlarında, jet merkezi iyice büyümüş ve yüzey merkezindeki soğutma etkisi tüm Reynolds sayıları için düşmüştür.



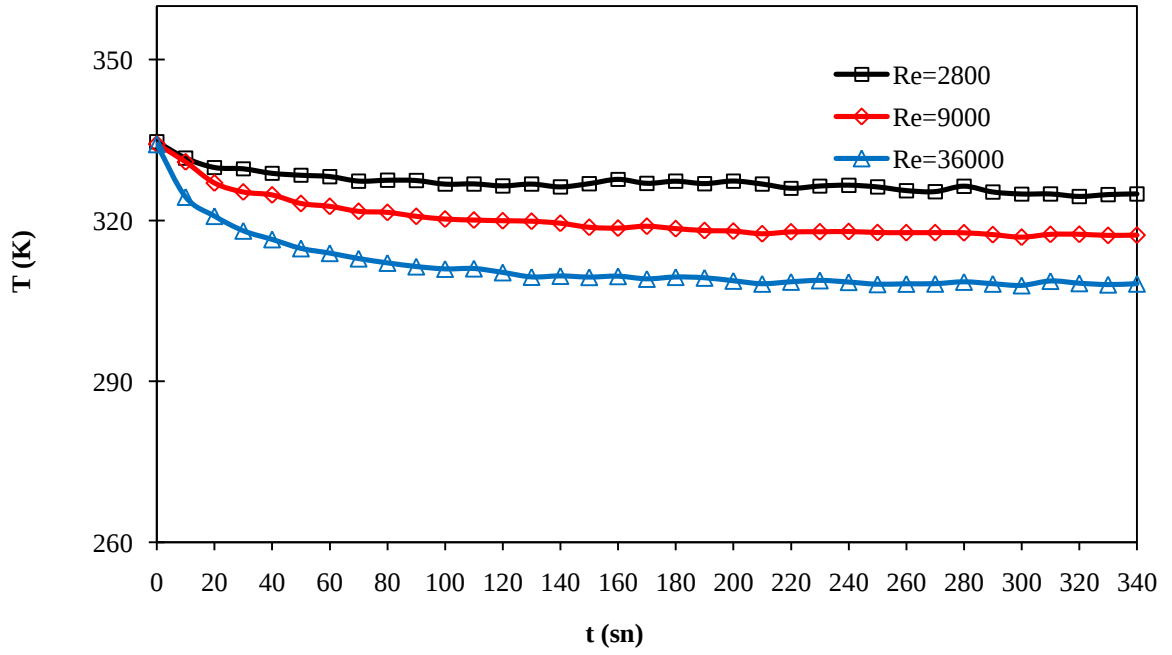
a)



b)



c)

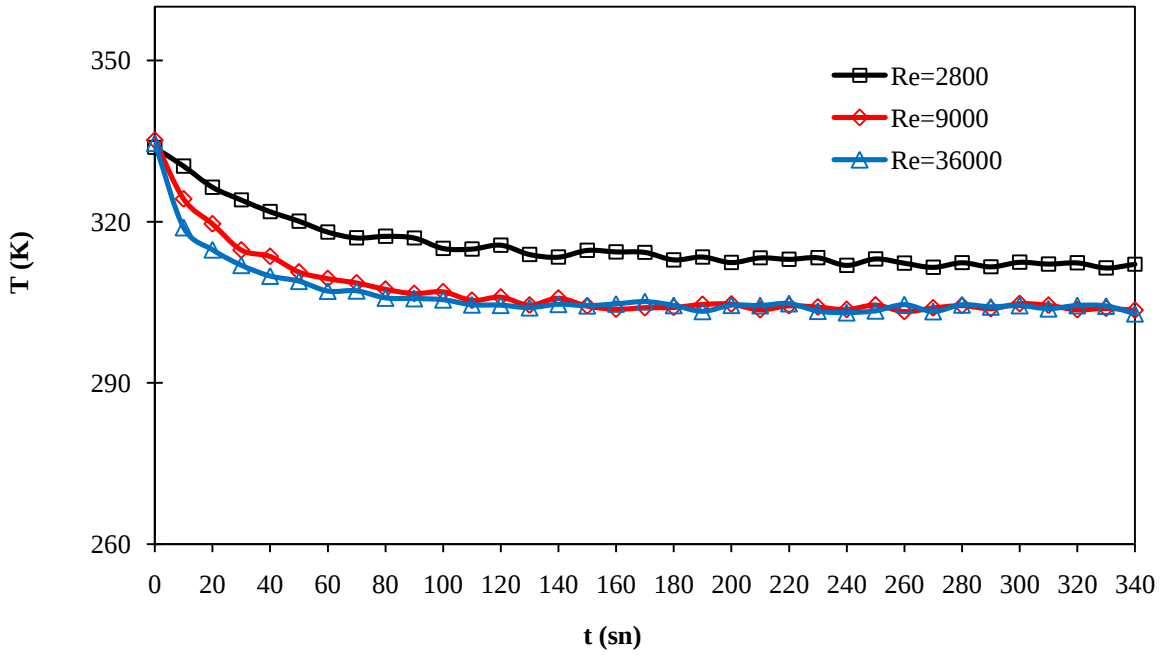


d)

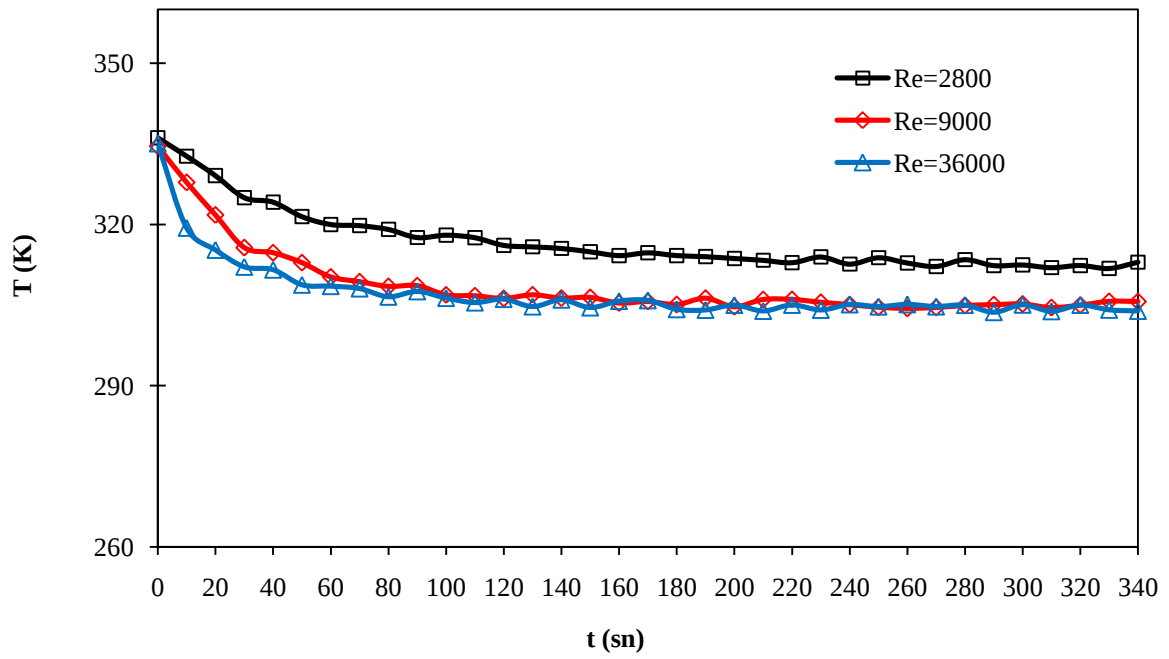
Şekil 3.3. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, tekli jet, $\phi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.1.4. Üçlü jet 90 derece grafikleri

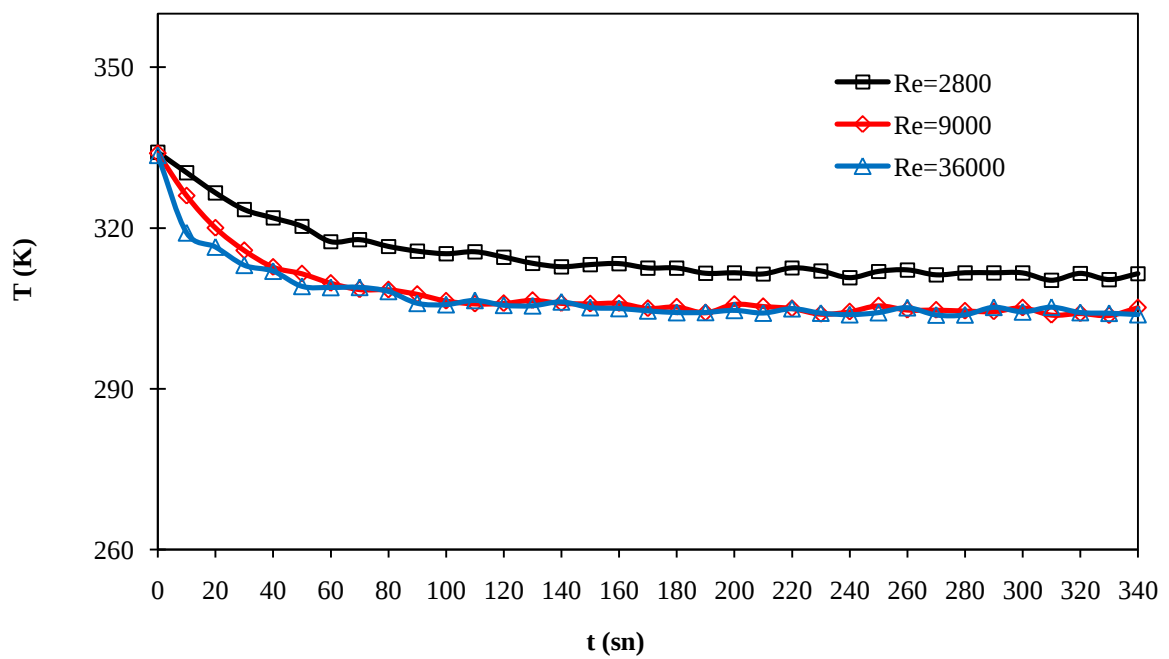
Dairesel kesitli yüzeyin merkezindeki sıcaklığın zaman bağlı değişimi üçlü jet için tekrarlanmıştır ve sonuçlar Şekil 3.4 (a-d)' de verilmiştir. Çalışmada, sıralı jetin etkisi özellikle Şekil 2.1' de gösterilen üçlü jet dizilimi için açıkça görülmektedir. Bu dizilim için, üçlü jet ve 90° yüzey açısında jetin soğutma etkisi artmaktadır. Jetin, yüzeye dik olarak çarptığı bu durumda, H/D_h oranına bağlı olarak jetin soğutma etkisi azalmaktadır. Üçlü jet durumunda, bütün H/D_h oranlarında, zamana bağlı çalışmanın ilk 60 sn' sinde tek jet durumuna göre, belirgin olarak sıcaklık düşmesi görülmektedir. İlerleyen zaman için sıcaklıklar yaklaşık olarak sabit duruma gelmektedir.



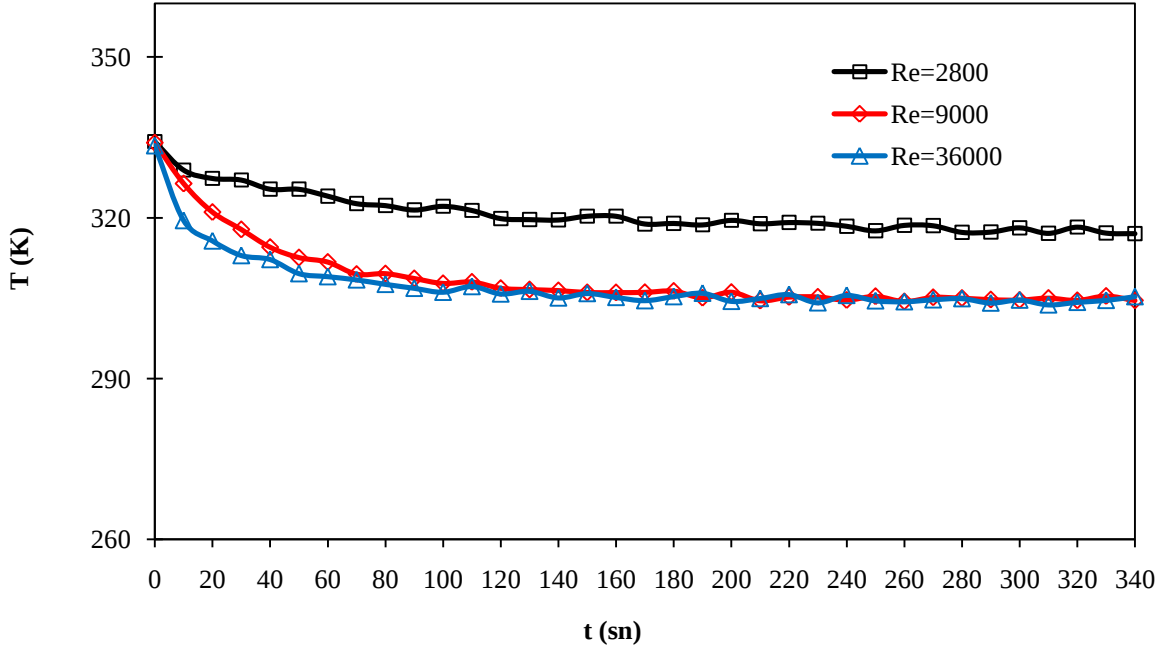
a)



b)



c)

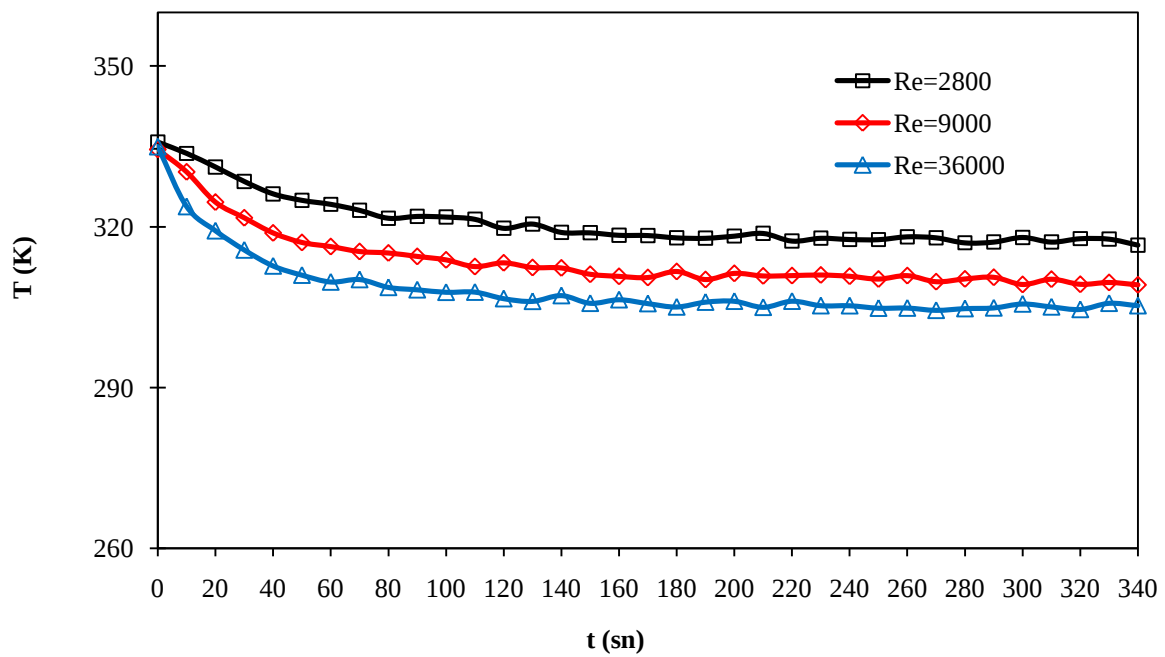


d)

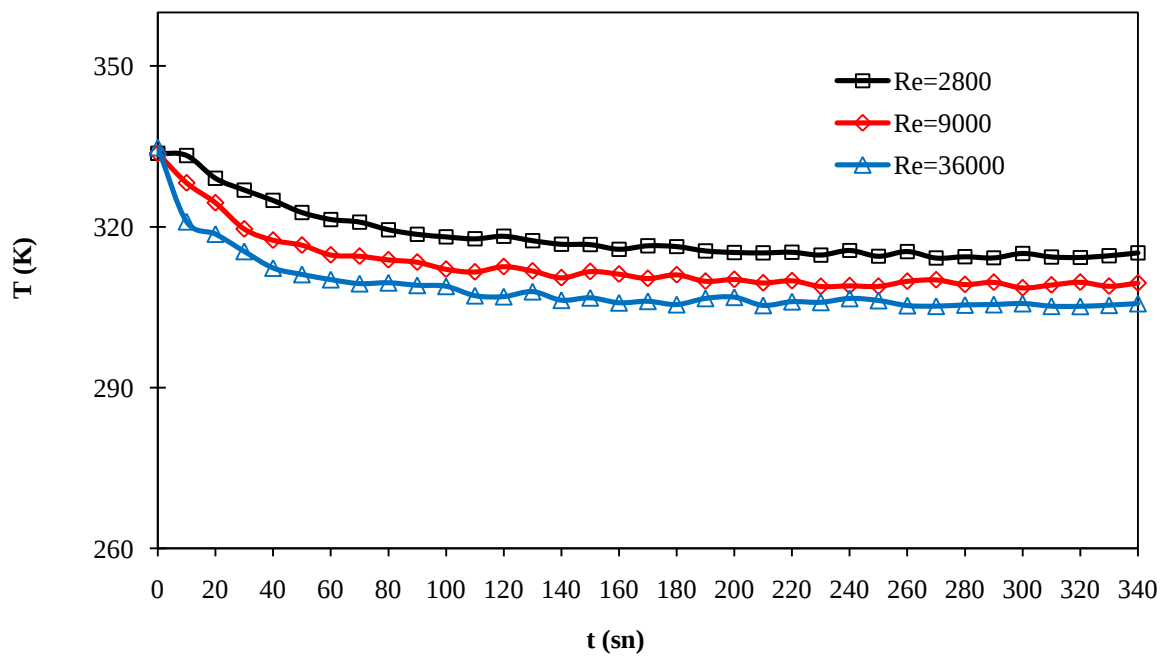
Şekil 3.4. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, üçlü jet, $\phi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.1.5. Üçlü jet 120 derece grafikleri

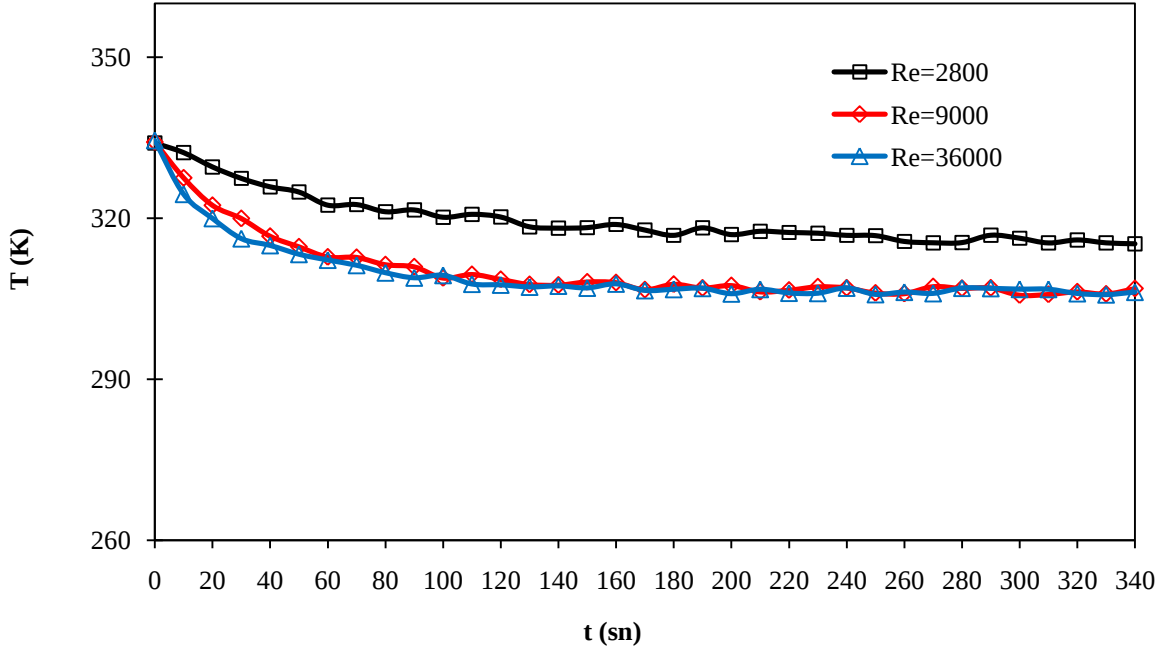
Yüzey açısının, yüzey merkez sıcaklığına etkisi üçlü jet durumu ve $\phi = 120^\circ$ için Şekil 3.5 (a-d)' de verilmektedir. Çalışmada, yüzey merkez sıcaklıkları tekli jet durumuna göre daha fazla düşmektedir. Üçlü jet durumunda, en iyi soğutma etkisi 90° yüzey açısında görülürken 120° yüzey açısında artan H/D_h oranlarında üçlü jetin etkisi artmaktadır. Artan Reynolds sayılarında soğutma etkisi artmaktadır.



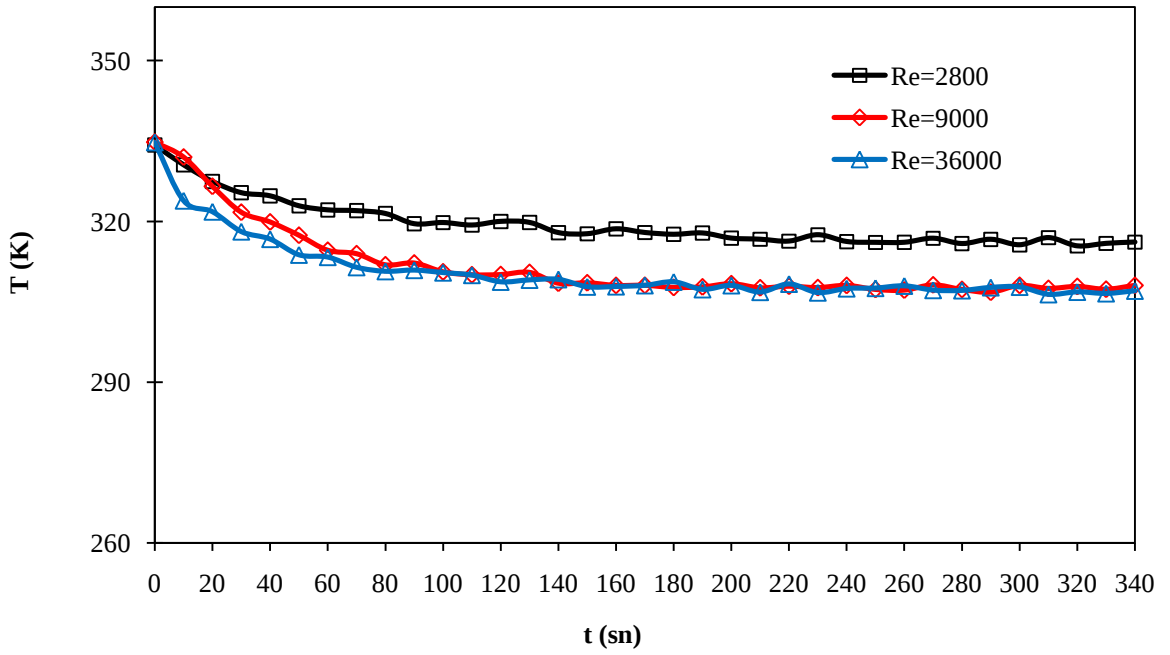
a)



b)



c)

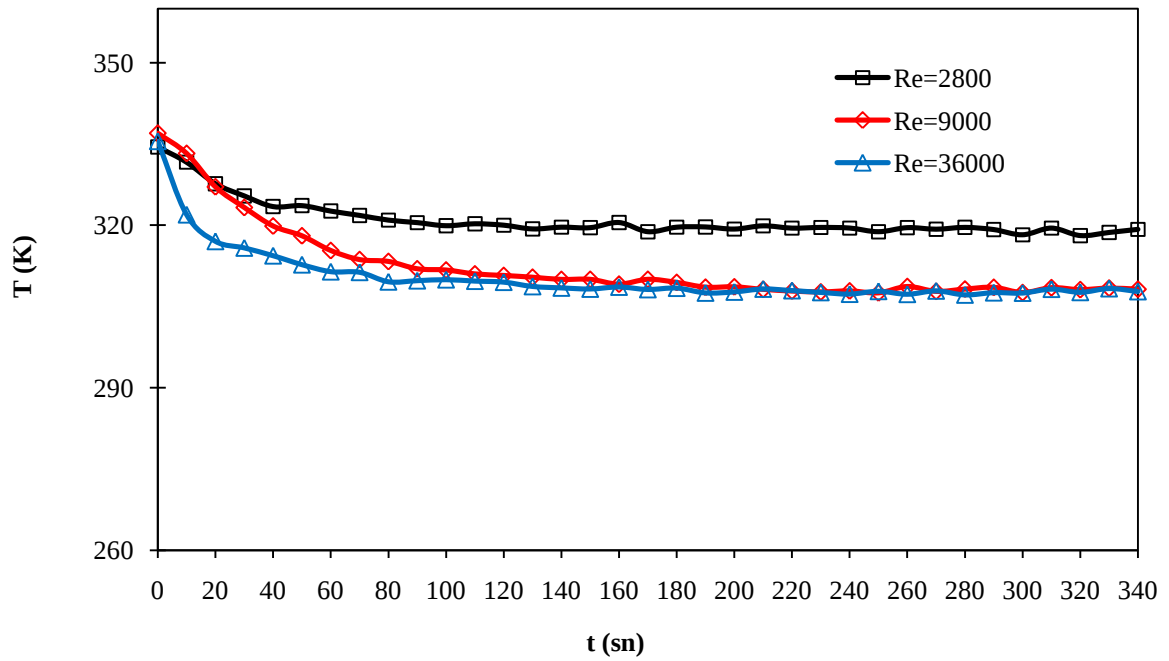


d)

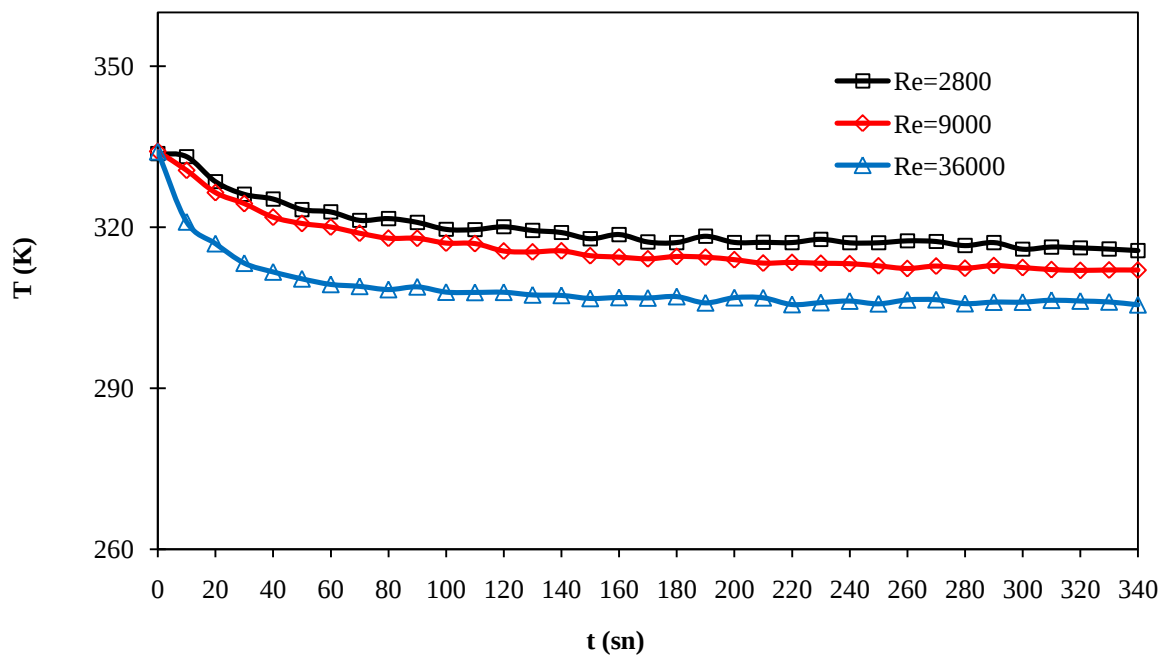
Şekil 3.5. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, üçlü jet, $\phi = 120^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.1.6. Üçlü jet 150 derece grafikleri

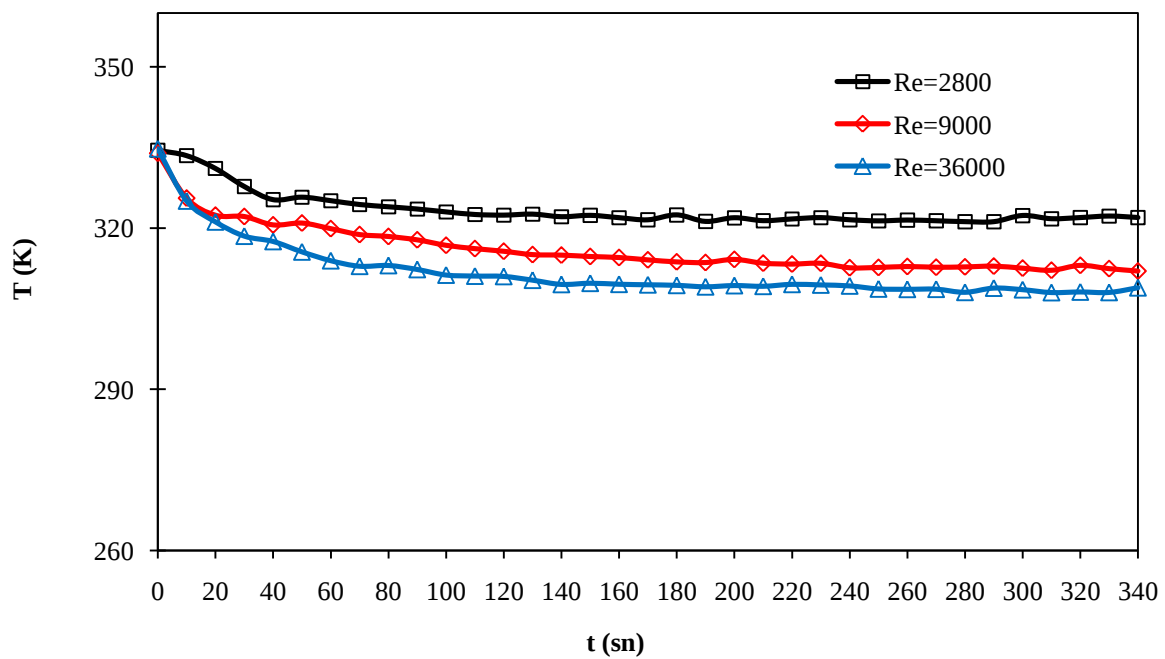
Çalışma, yüzey açısının $\phi = 150^\circ$ olduğu durumda tekrarlanmıştır. Bu durum için elde edilen grafikler Şekil 3.6 da verilmektedir. Yüzey açısıyla beraber, yüzey merkezindeki sıcaklık düşme miktarı azalmaktadır. H/D_h oranlarında jet etkisi sıralı jet durumu içinde azalmaktadır.



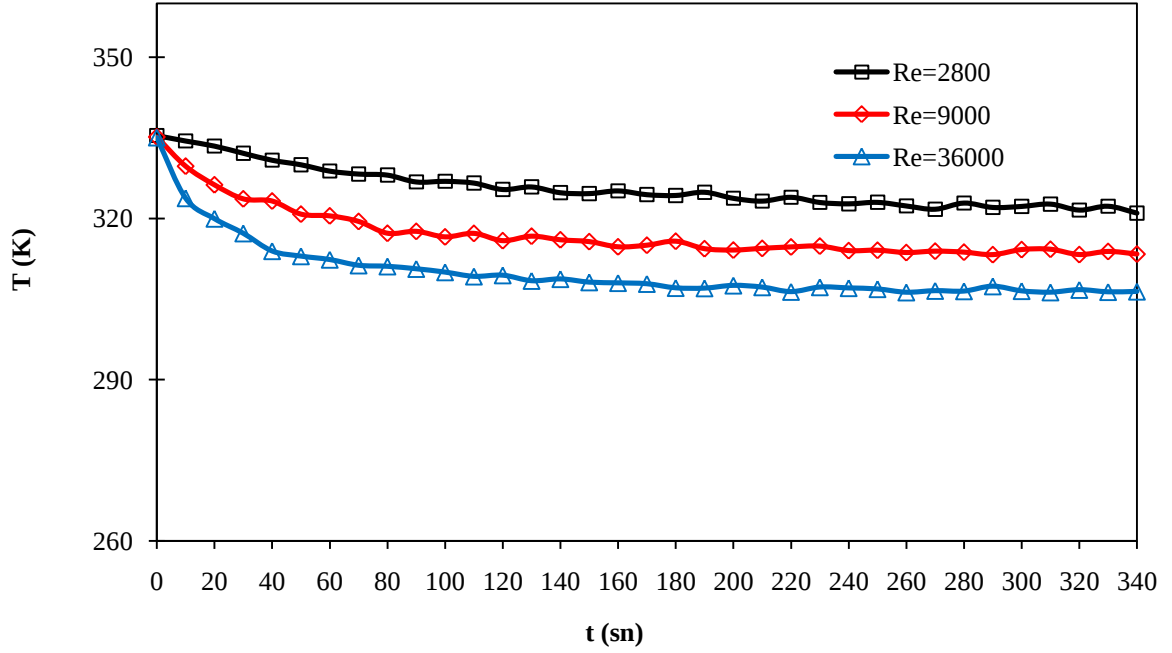
a)



b)



c)

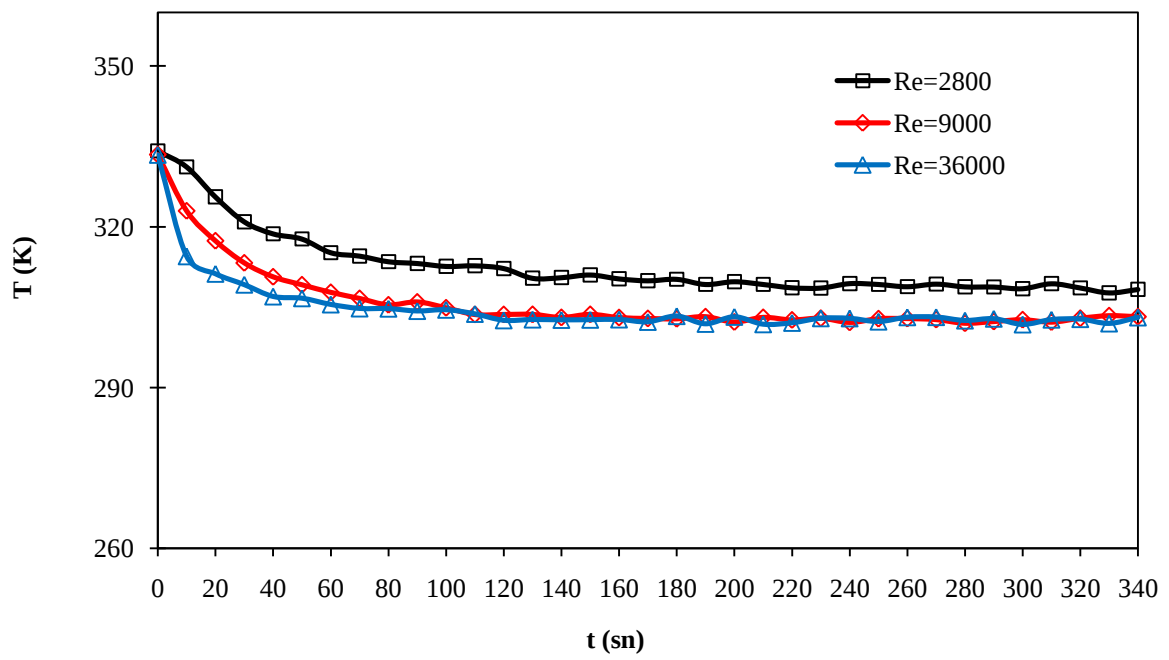


d)

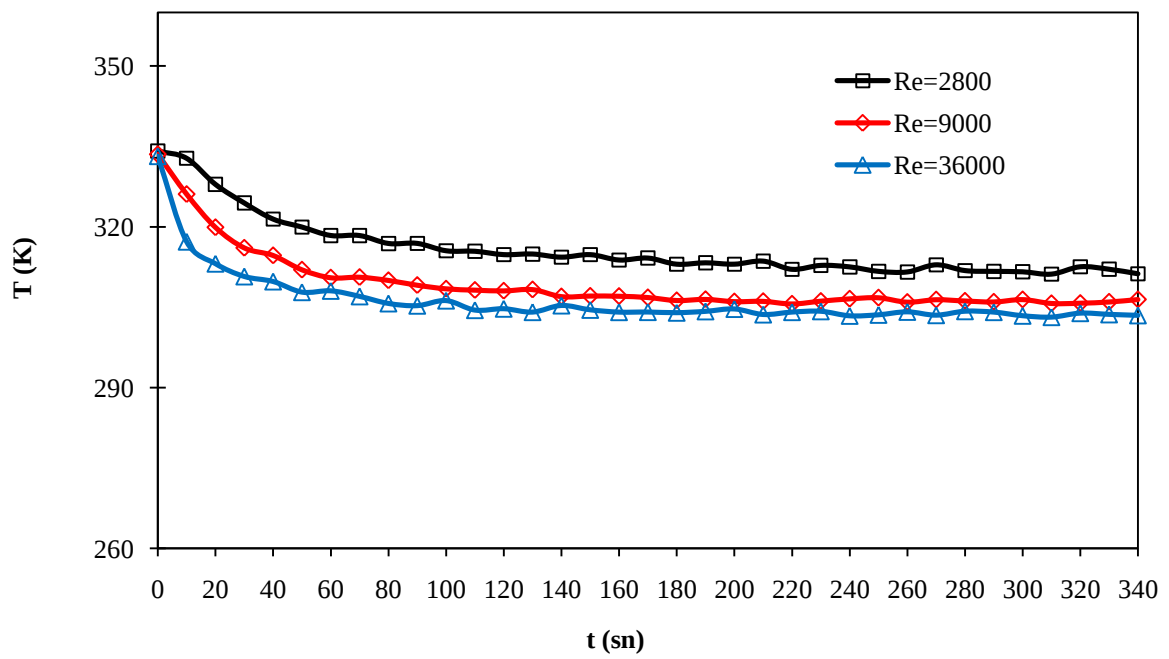
Şekil 3.6. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, üçlü jet, $\phi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.1.7. Altılı jet 90 derece grafikleri

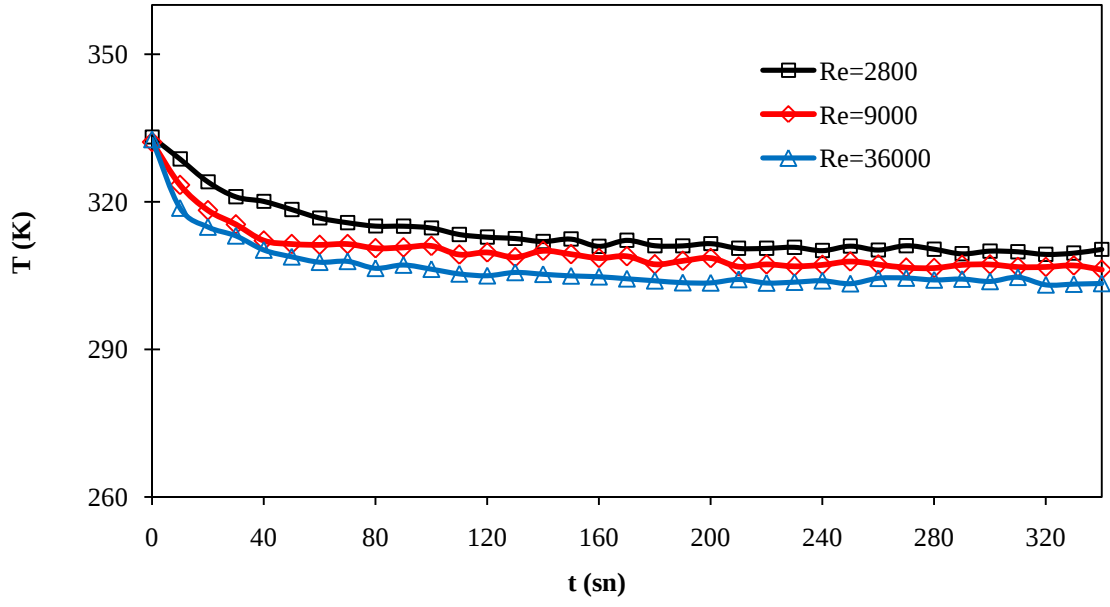
Altılı jet kullanılarak çalışma üç farklı Reynolds sayısı ve dört farklı H/D_h için tekrarlanmıştır. Altılı jet, tek ve üçlü jet durumlarına göre yüzey merkez sıcaklığını daha fazla düşürmektedir. Altılı jet durumunda yüzey açısı 90° iken elde edilen grafikler Şekil 3.7 de görülmektedir. Dik olarak yüzeye çarpan altılı jet, çalışmanın ilk 60 sn'inde ani sıcaklık düşüşü meydana getirmiş ilerleyen zamanla birlikte yüzey merkez sıcaklığı sabit kalmıştır. Jetin yüzeye dik olarak çarpması sıcaklığın düşüşünü hızlandırmaktadır. Artan H/D_h oranlarında jet merkezi büyümekte ve sıcaklıklardaki düşme azalmaktadır.



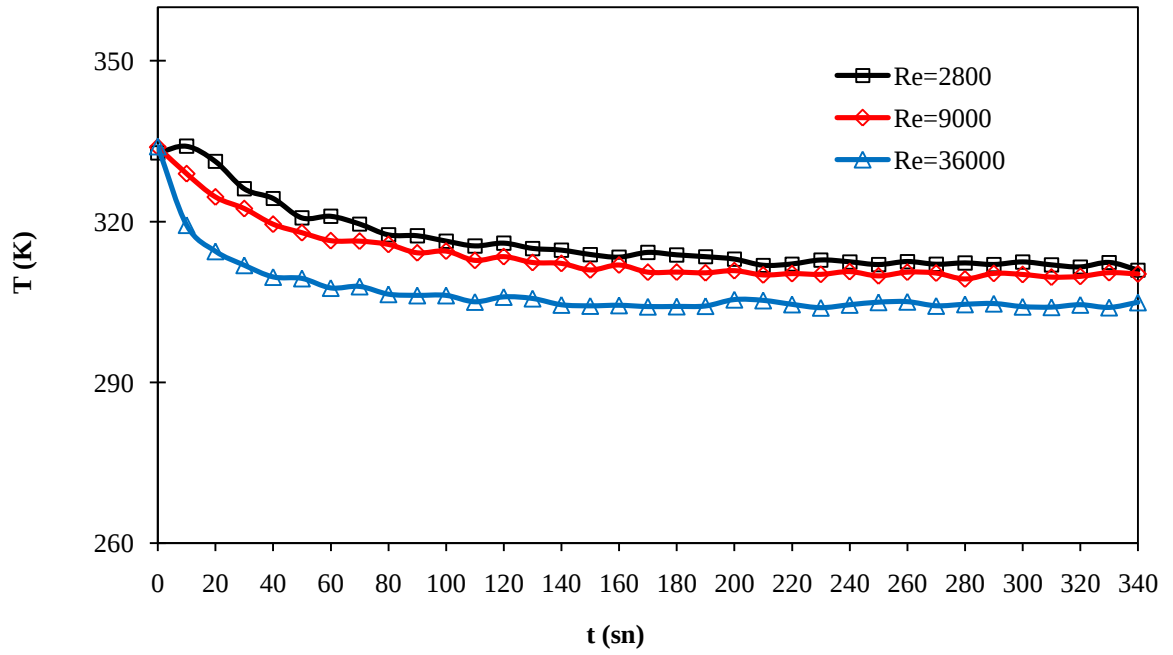
a)



b)



c)

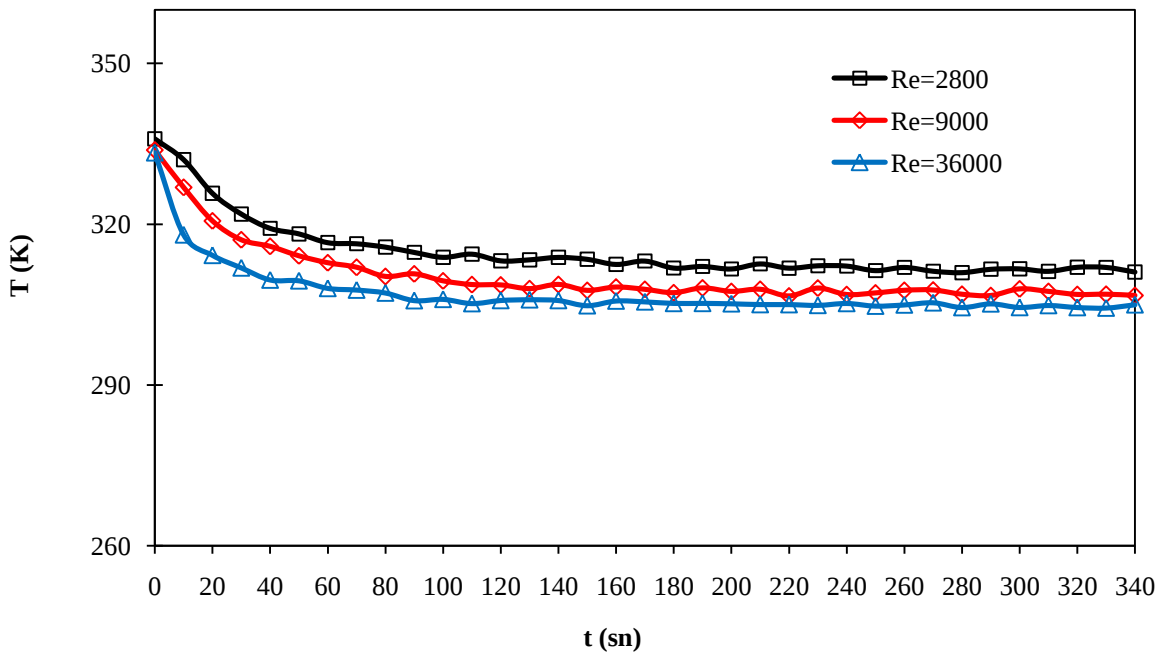


d)

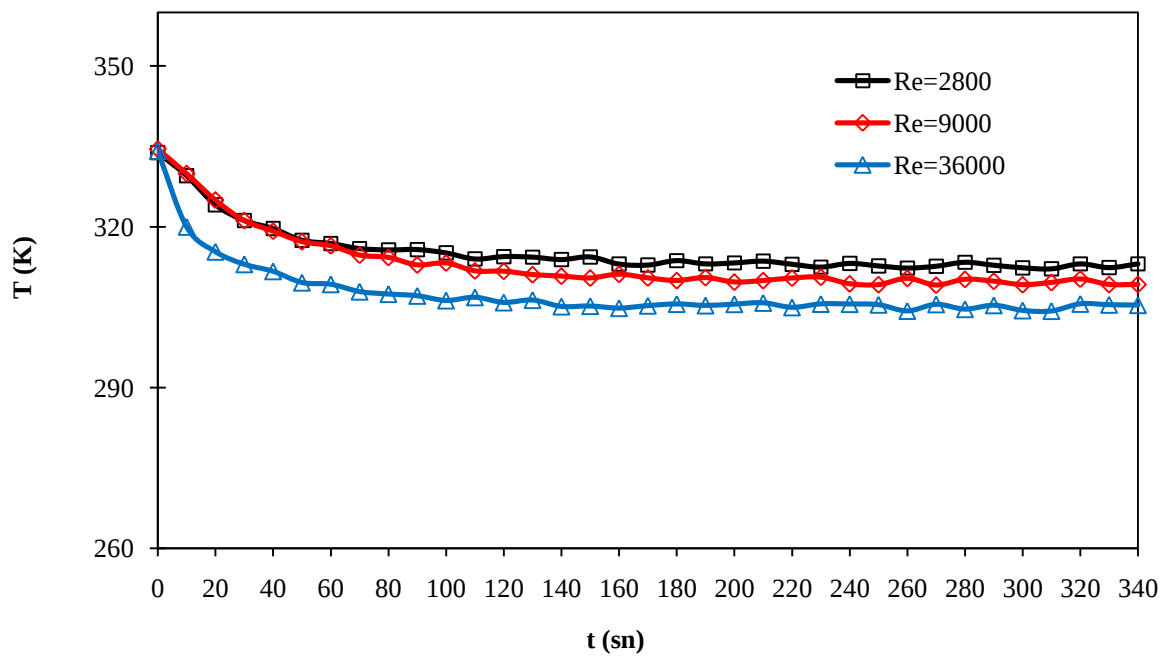
Şekil 3.7. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, altılı jet, $\phi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.1.8. Altılı jet 120 derece grafikleri

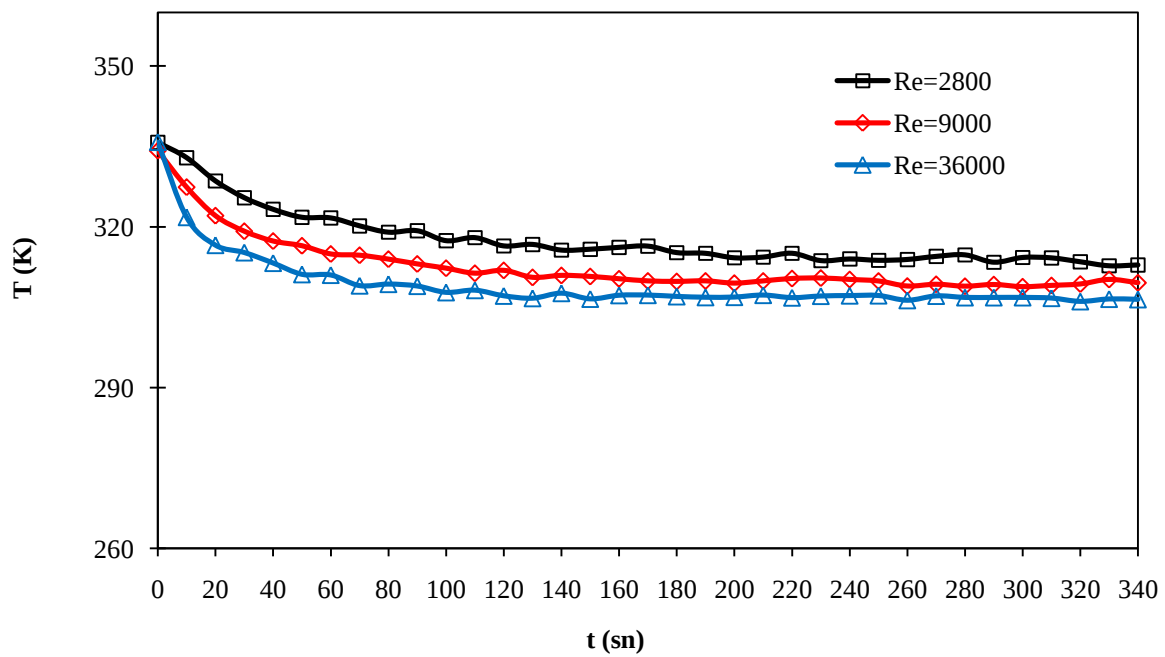
120° yüzey açısı için tekrarlanan çalışmada elde edilen grafikler Şekil 3.8 (a-d)'de verilmektedir. Yüzey açısı etkisiyle, jet akımı etkisi düşmektedir. Artan H/D_h oranlarında jet etkisi düşmektedir. Yüzey açısı hem 120° hem de 150° açılarda jet merkezinin yayılması ve daha büyük alanı etkilemesi sebebiyle soğutma etkisi düşmektedir. 150° derece yüzey açısı grafikleri Şekil 3.9 (a-d) de görülmektedir.



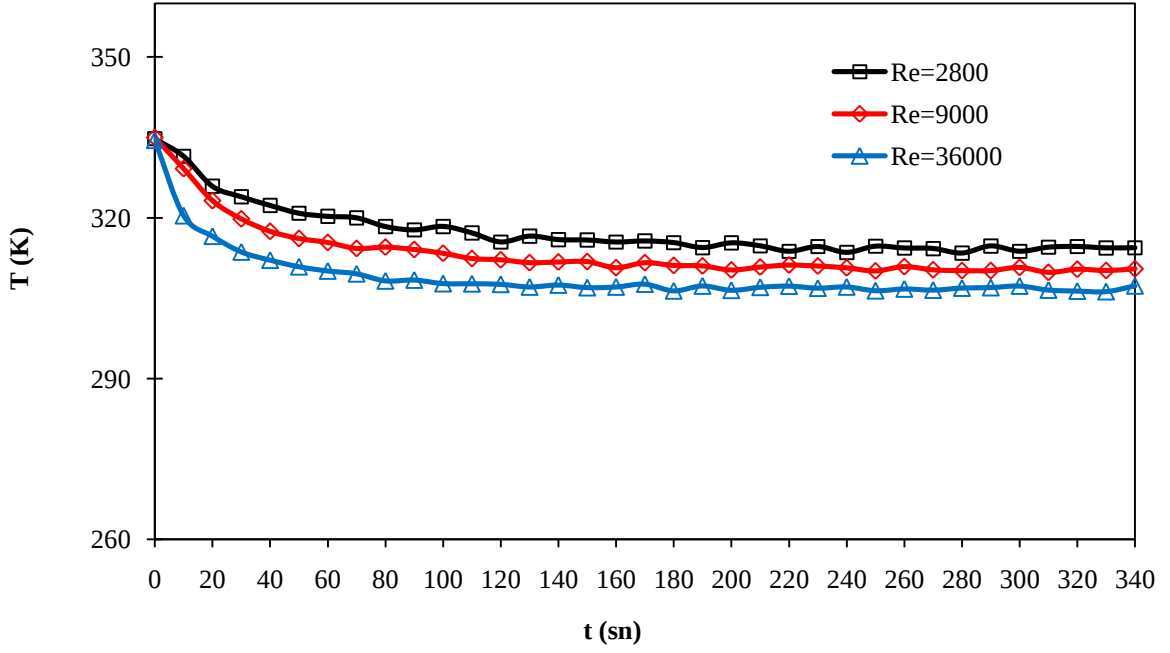
a)



b)



c)

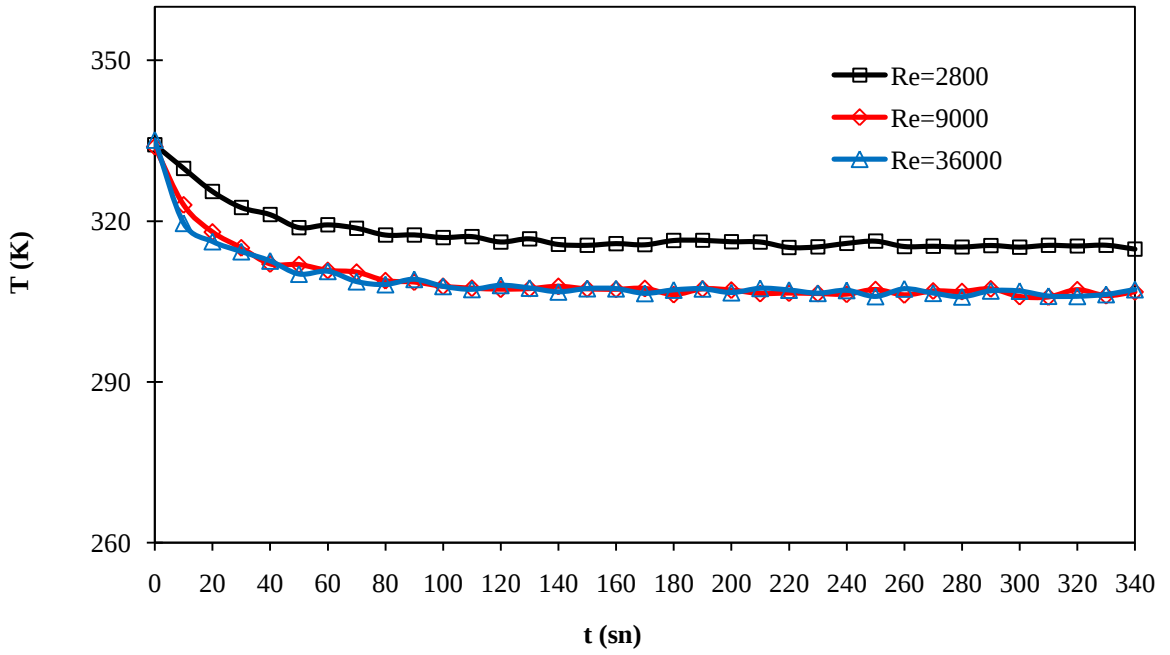


d)

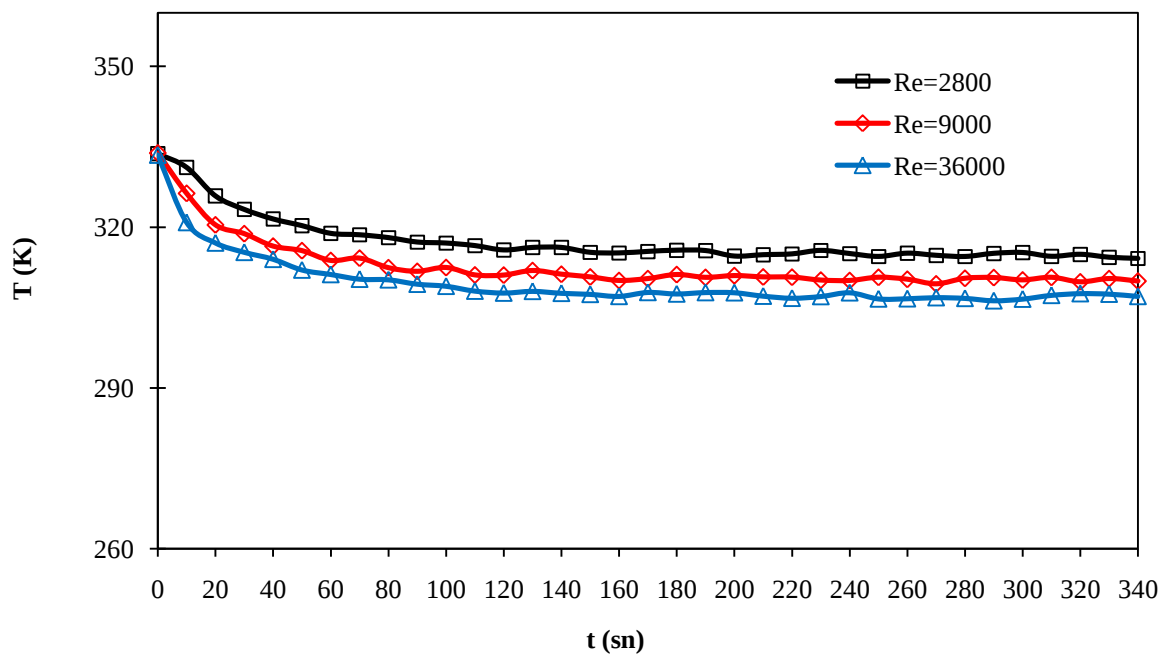
Şekil 3.8. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, altılı jet, $\phi = 120^\circ$,

a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

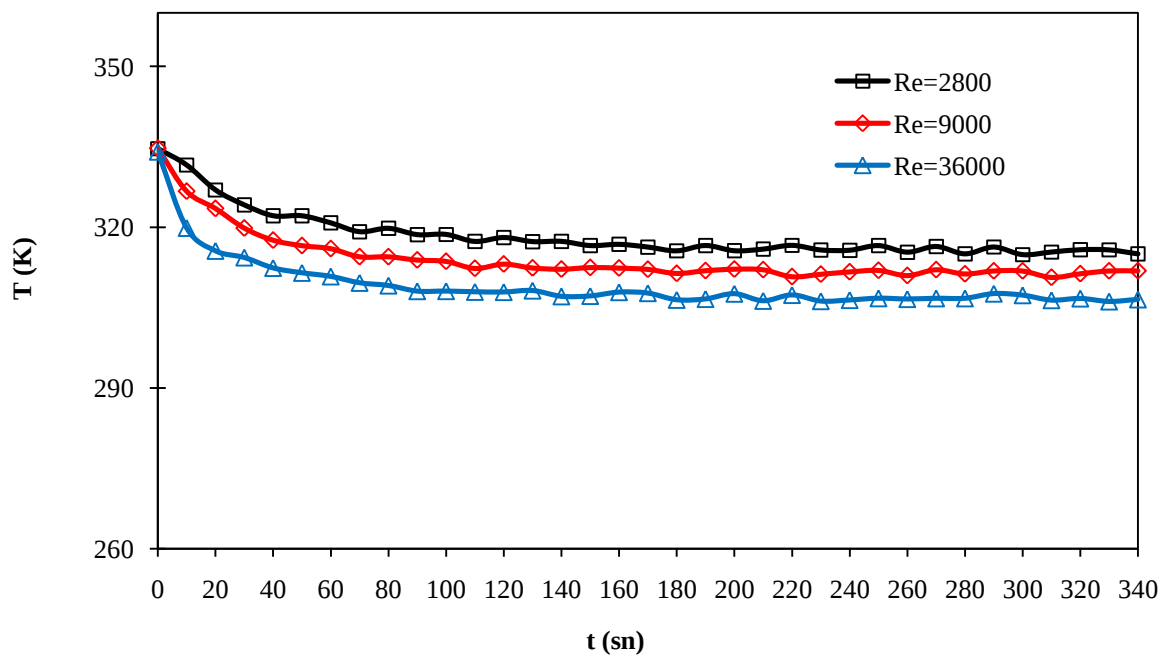
3.1.9. Altılı jet 150 derece grafikleri



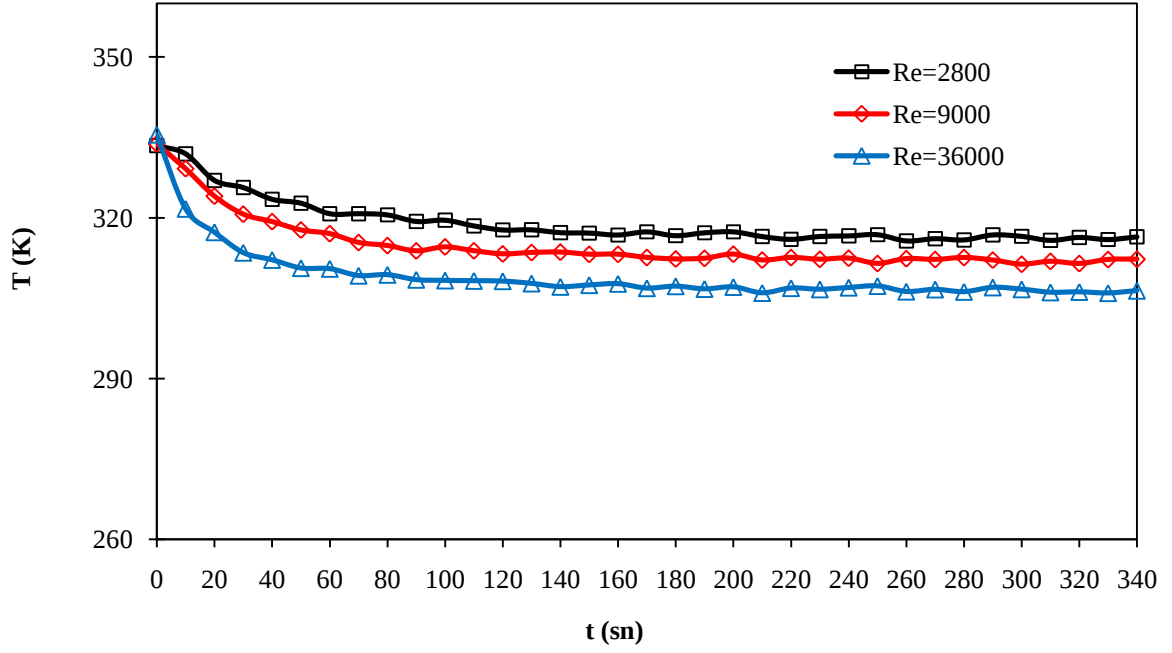
a)



b)



c)

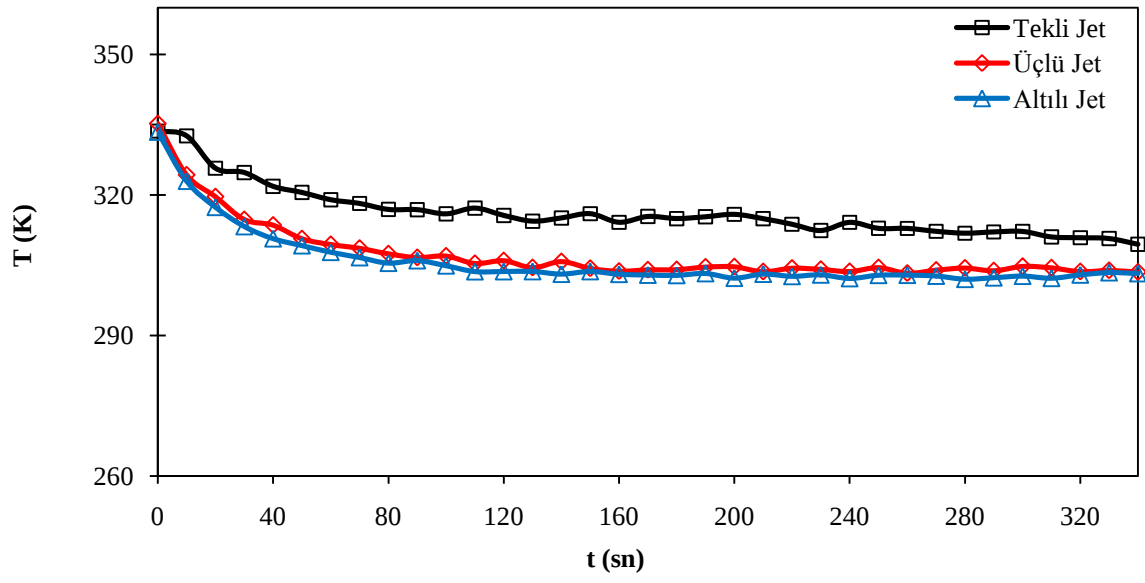


d)

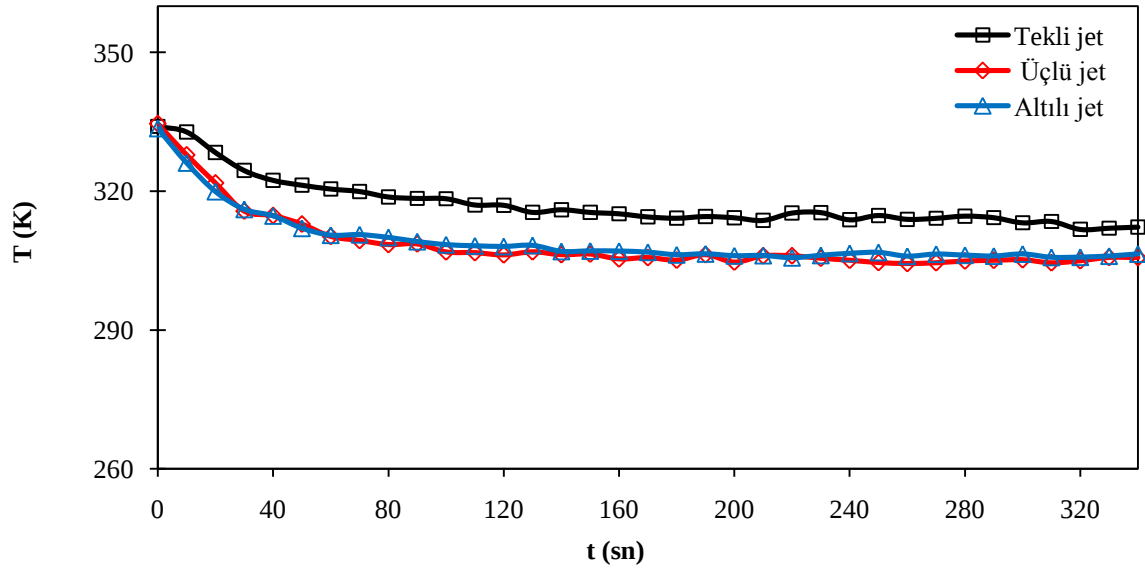
Şekil 3.9. Daire merkezinde sıcaklığın zamanla değişimi, altılı jet, $\phi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.1.10. Zamana bağlı sıcaklık değişimlerinde sıralı jetin etkisi

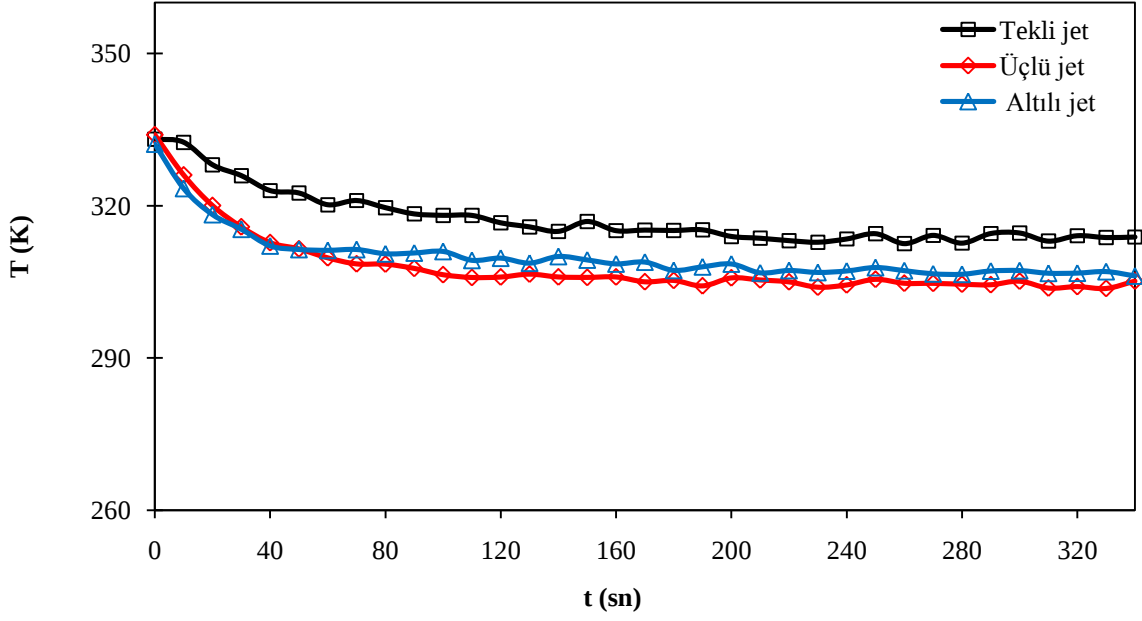
Şekil 3.10 (a-d) 'de farklı jet sıralamaları için jet merkezindeki sıcaklığın zamana bağlı değişimi $\phi = 90^\circ$ ve $Re=9000$ değerleri için görülmektedir. En düşük sıcaklıklar düşük H/D_h değerleri için altılı jet durumunda elde edilmiştir. Yüksek H/D_h değerlerinde ise, üçlü jet daha iyi sonuç vermektedir.



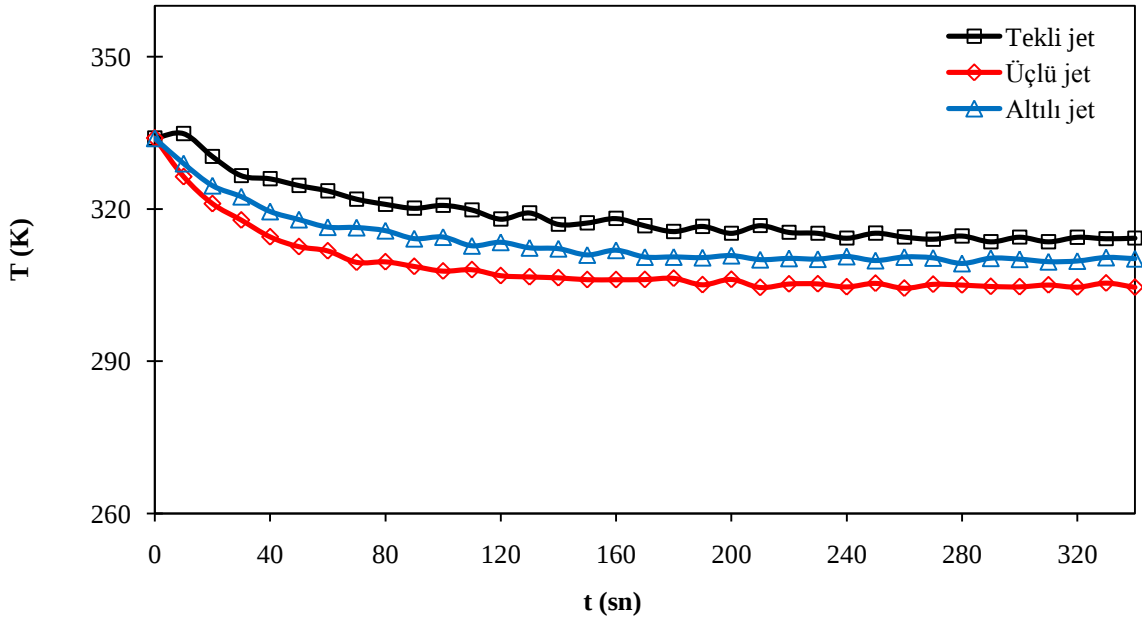
a)



b)



c)



d)

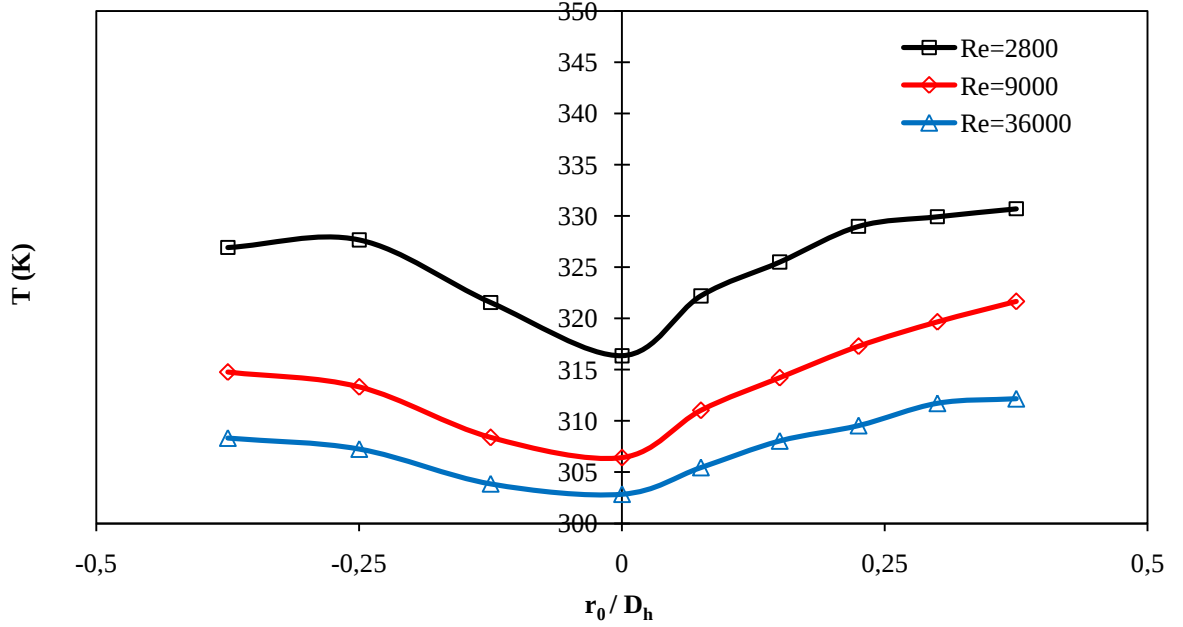
Şekil 3.10. Zamana bağlı sıcaklık değişimlerinde sıralı jetin etkisi $\phi = 90^\circ$, $Re=9000$
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.2. Sıcaklığın yerel olarak değişimi

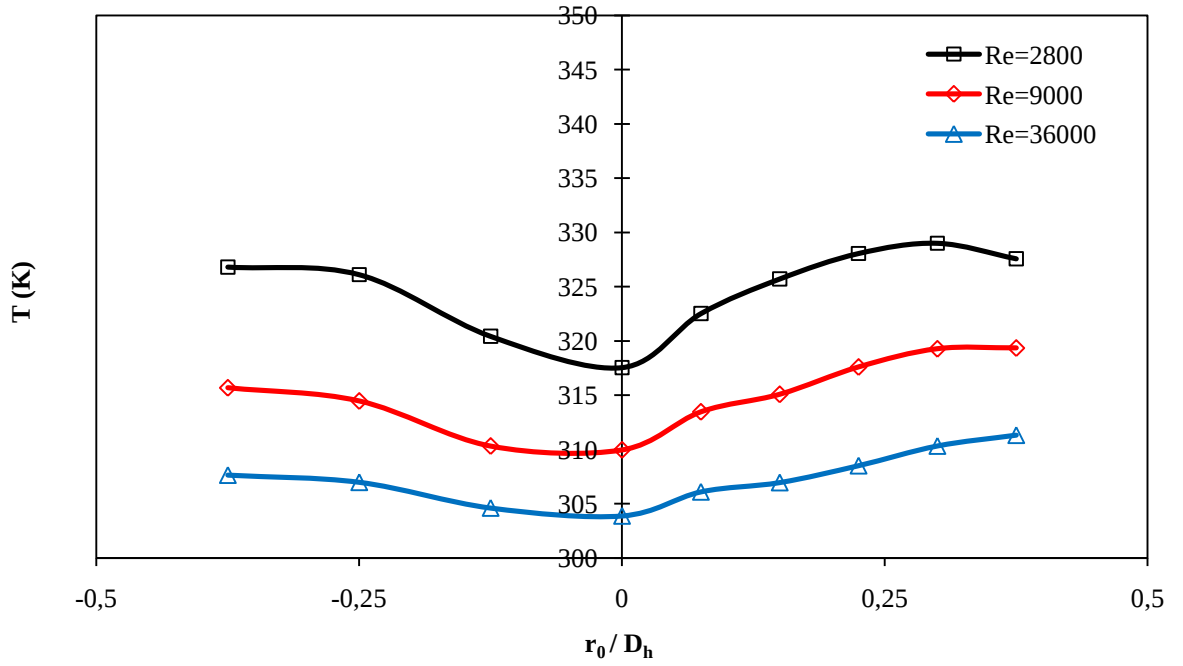
3.2.1. Tekli jet 90 derece grafikleri

Bu bölümde, sıcaklığın $+r$ ve $-r$ eksenı boyunca olan değişimi verilmiştir. Şekil 2.11' de görüldüğü üzere, dairesel cisim z eksenı etrafında belli bir açiya sahip olduğu için, sıcaklıktaki değişim en fazla r ekseninde olacaktır. Bu nedenle bu ekseninde 10 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Şekil 3.11 (a-d) 'de, farklı H/D_h değerleri için alınan 90° ısıtıcı-jet açısı için, $T-r_o/D_h$ grafikleri verilmektedir. Jet çarpma noktasında (durma noktası, stagnation point), maksimum hız gerçekleştiği için, en düşük sıcaklık elde edilmiştir. Genel olarak tüm grafiklerde sıcaklık dağılımı V şeklinde olmaktadır ve $-r$ ve $+r$ eksenlerinde sıcaklıklar simetrik dağılım göstermektedir. Reynolds sayısının artışı ile birlikte, sisteme daha fazla enerji verildiği için, ısı transferi daha iyi olmakta ve maksimum Reynolds sayısında, maksimum soğuma elde edilmektedir. Benzer bir değişim, dikdörtgen levhaya çarpan jetlerde de görülmektedir [22]. $Re = 2800$ değerinde H/D_h oranı, özellikle jet çarpma bölgesinde sıcaklık değerini çok fazla etkilememektedir. Şekil 3.12 ' de verilen tekli jet grafiklerine bakıldığında, özellikle büyük H/D_h değerlerinde, sıcaklık dağılımı 90° 'lık konuma göre değişimler göstermektedir. Bu değişim, eğim açısı verilen dairesel diskin, $+r$ tarafında, akışkanın daha fazla sıkışması, $-r$ tarafında ise, çarpma etkisinin daha az olmasından kaynaklanmaktadır. En fazla soğuma, en yüksek Reynolds sayısında ve $\phi = 120^\circ$ de gerçekleşmektedir. Açının yerel sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi, $\phi = 150^\circ$ ' de daha belirgin olmaktadır. Çünkü bu durumda, $+r$ ve $-r$ yönlerinde, akışkan dağılımı simetrik durumundan daha fazla sapmaktadır. 90° konumda üçlü jet grafiklerine bakıldığında, Reynolds sayısındaki artışın sıcaklık dağılımını belli bir seviyeden sonra etkilemediği görülmektedir (Şekil 3. 14). Yüksek H/D_h oranlarında soğutmanın daha kötüleştiği görülür. Çünkü bu durumda, dairesel diske çarpan akışkanın bir kısmı cismin dışına taşmaktadır. 120° açıda, düşük H/D_h değerlerinde $Re = 9000$ ve 36000 arasındaki fark artarken, yine yüksek H/D_h oranlarında bu fark azalmaktadır. Bu durum Şekil 3.15' de görülmektedir. 150° lik konumda ise, özellikle $H/D_h = 5$ için ilginç bir sonuç elde edilmiş ve $Re = 9000$ ve 36000 değerlerinde sıcaklıklar tamamen aynı çıkmıştır. Bu durumda açının etkisi de son derece belirgindir. Ancak yüksek H/D_h değerlerinde ise, sıcaklıklar eksen boyunca hemen hemen aynı kalırken $H/D_h = 20$ değerinde $-r$ yönünden $+r$ yönüne doğru artan bir eğim mevcuttur (Şekil 3.16).

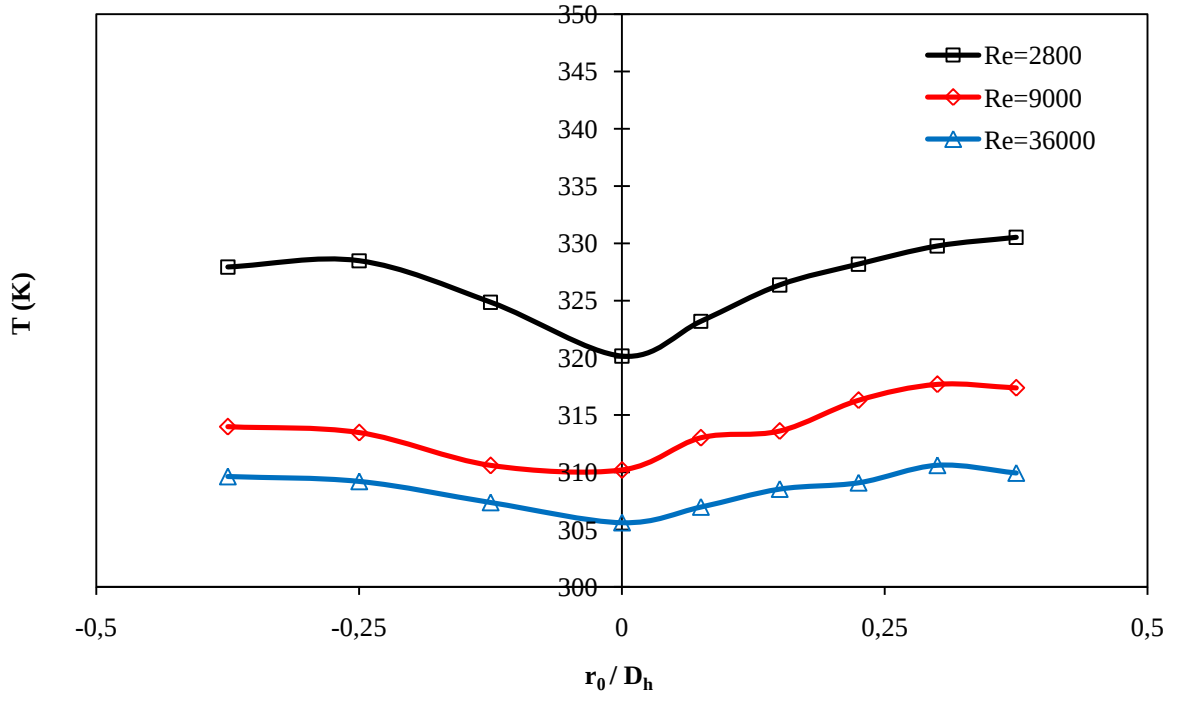
Altılı jet durumunda grafikler 90° , 120° ve 150° konumları için sıcaklık dağılımları sırasıyla Şekil 3.17, 3. 18 ve 3. 19 da verilmiştir. Diğer durumlarla kıyaslama yapıldığında, jetlerin sıralamasının sıcaklık dağılımı üzerinde son derece etkili olduğu görülmektedir.



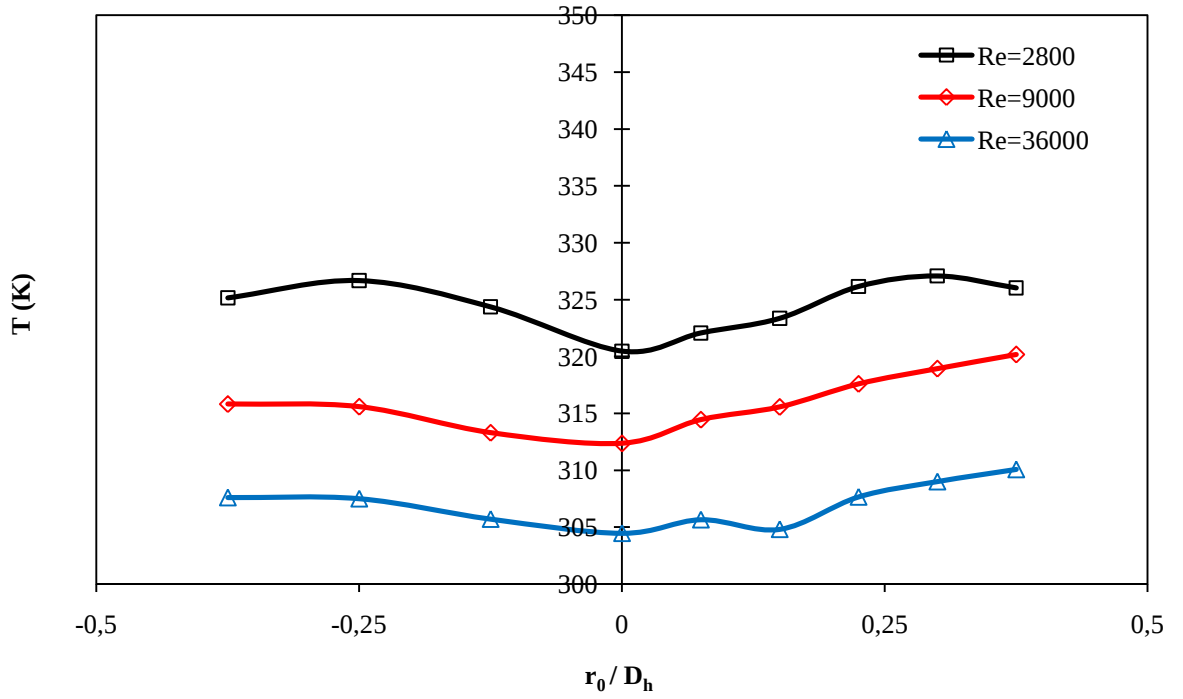
a)



b)



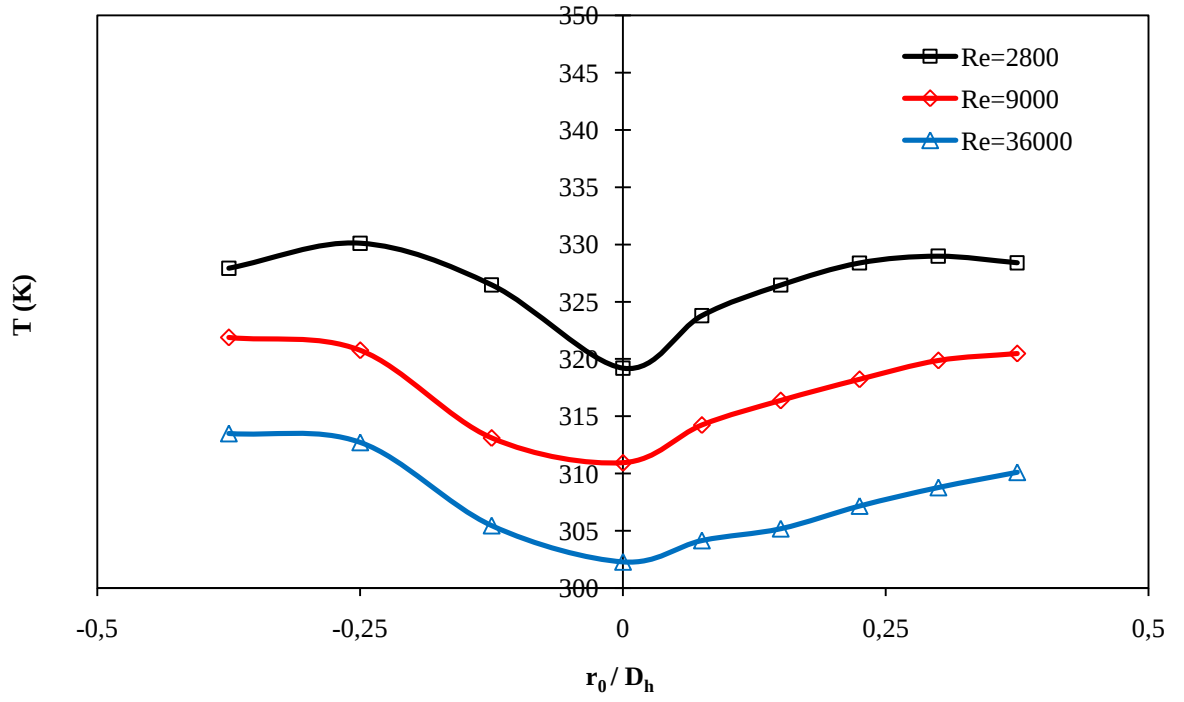
c)



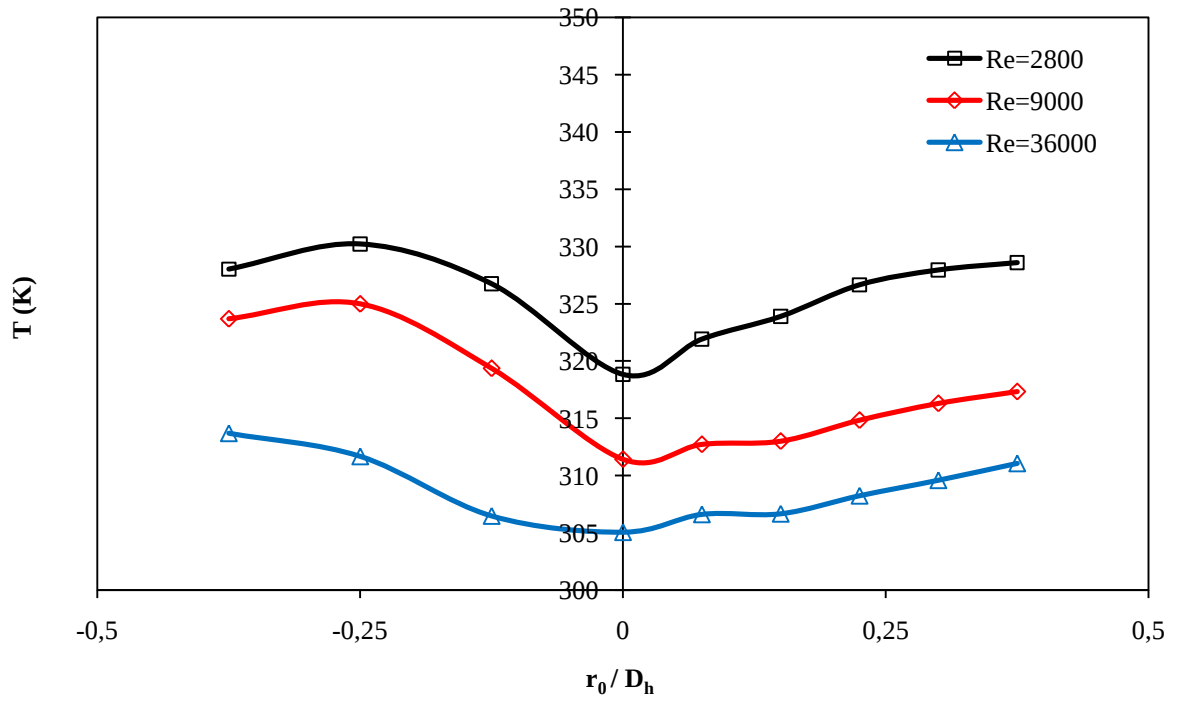
d)

Şekil 3.11. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, tekli jet, $\varphi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

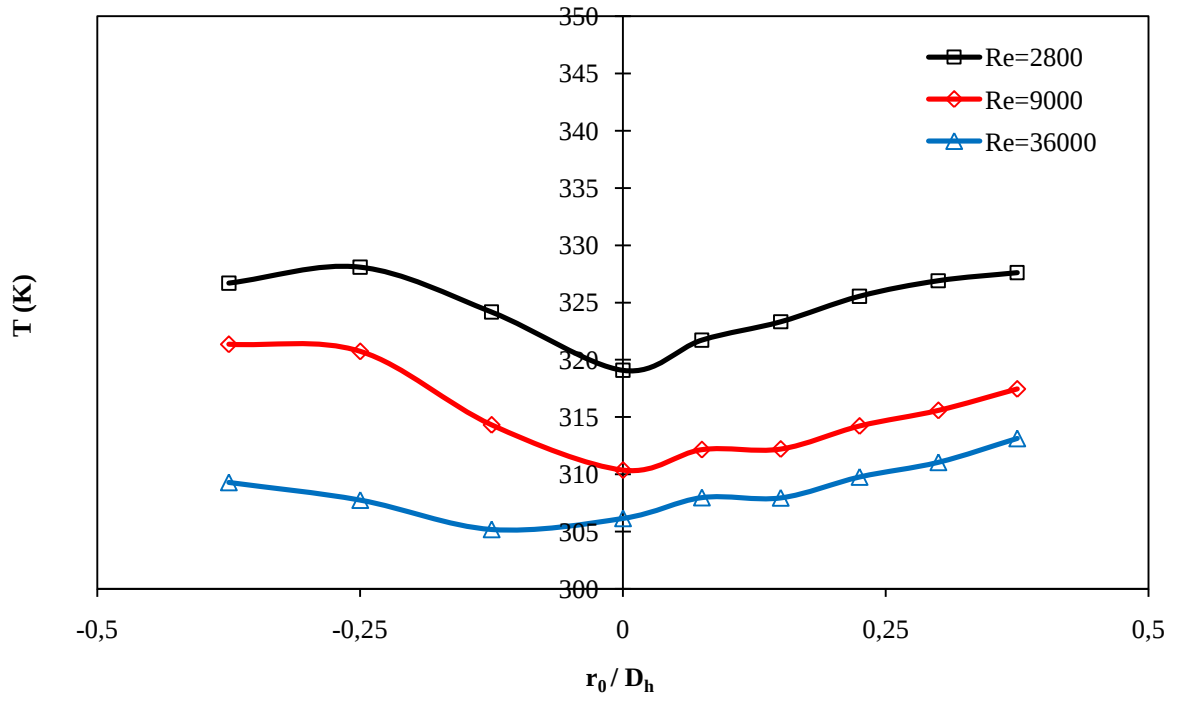
3.2.2. Tekli jet 120 derece grafikleri



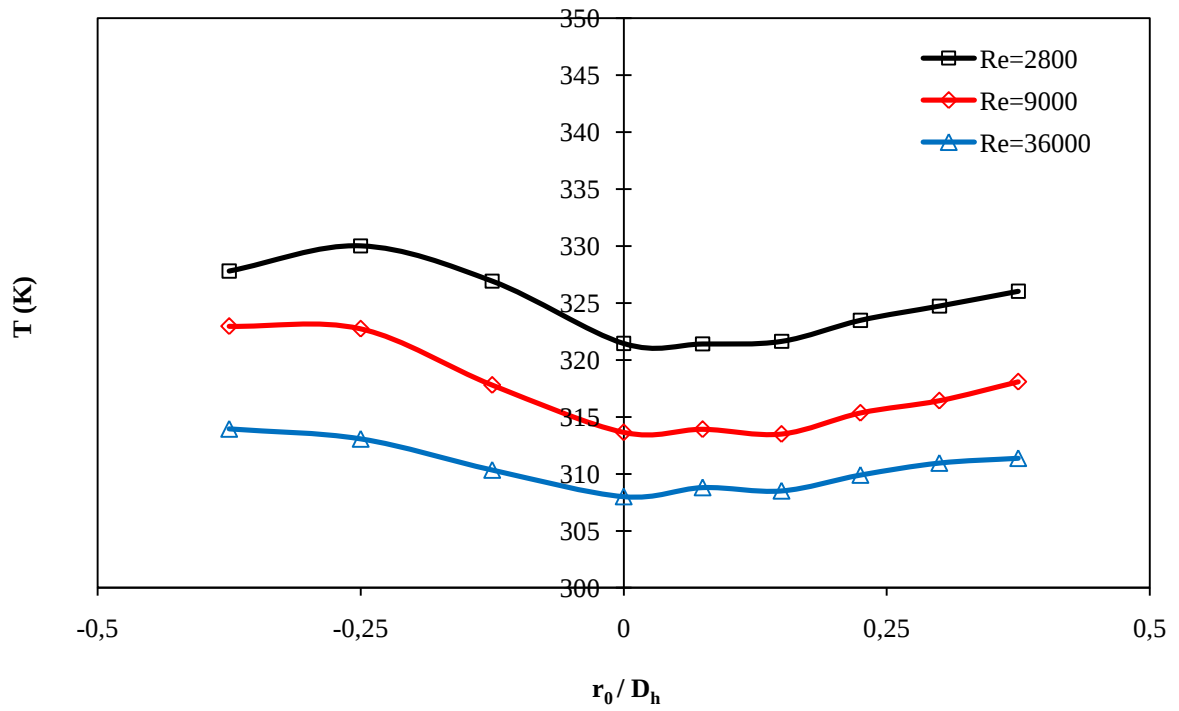
a)



b)



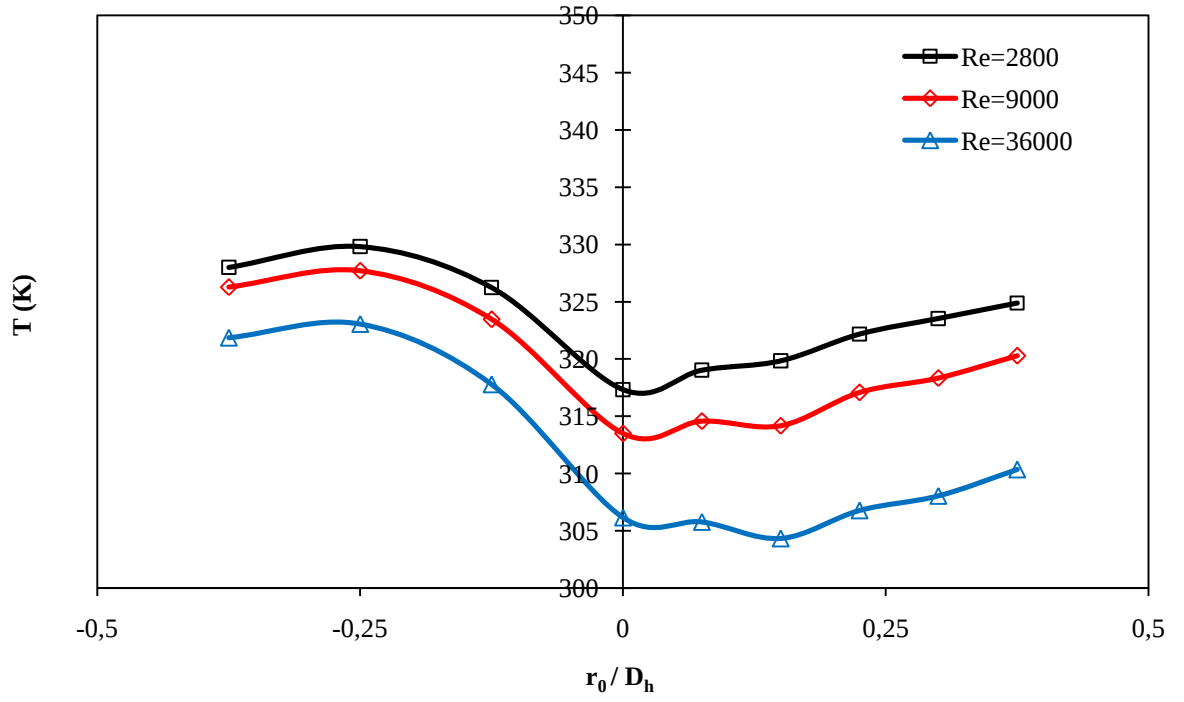
c)



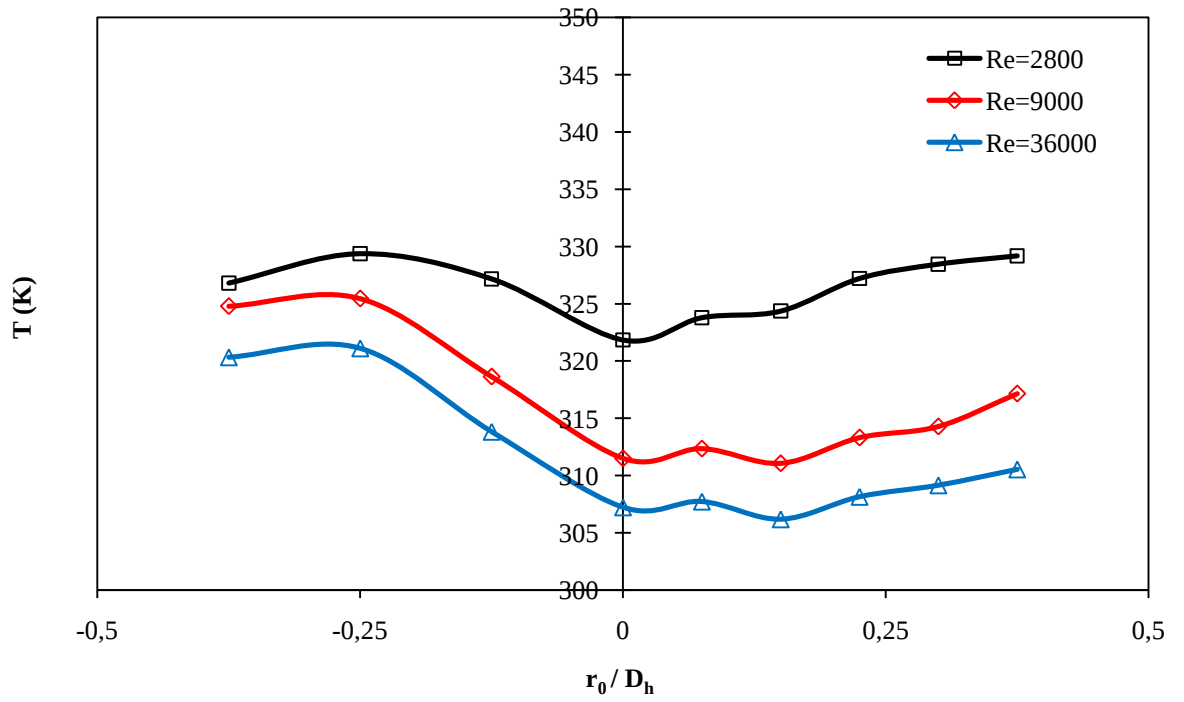
d)

Şekil 3.12. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, tekli jet, $\varphi = 120^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

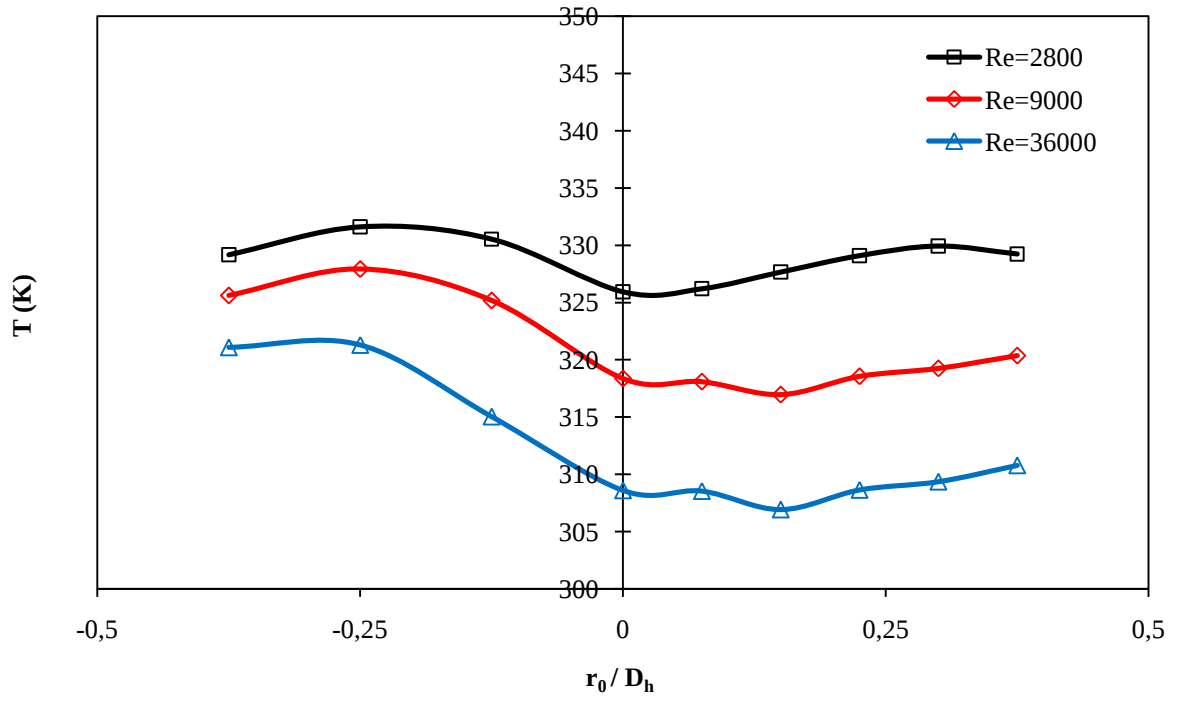
3.2.3. Tekli jet 150 derece grafikleri



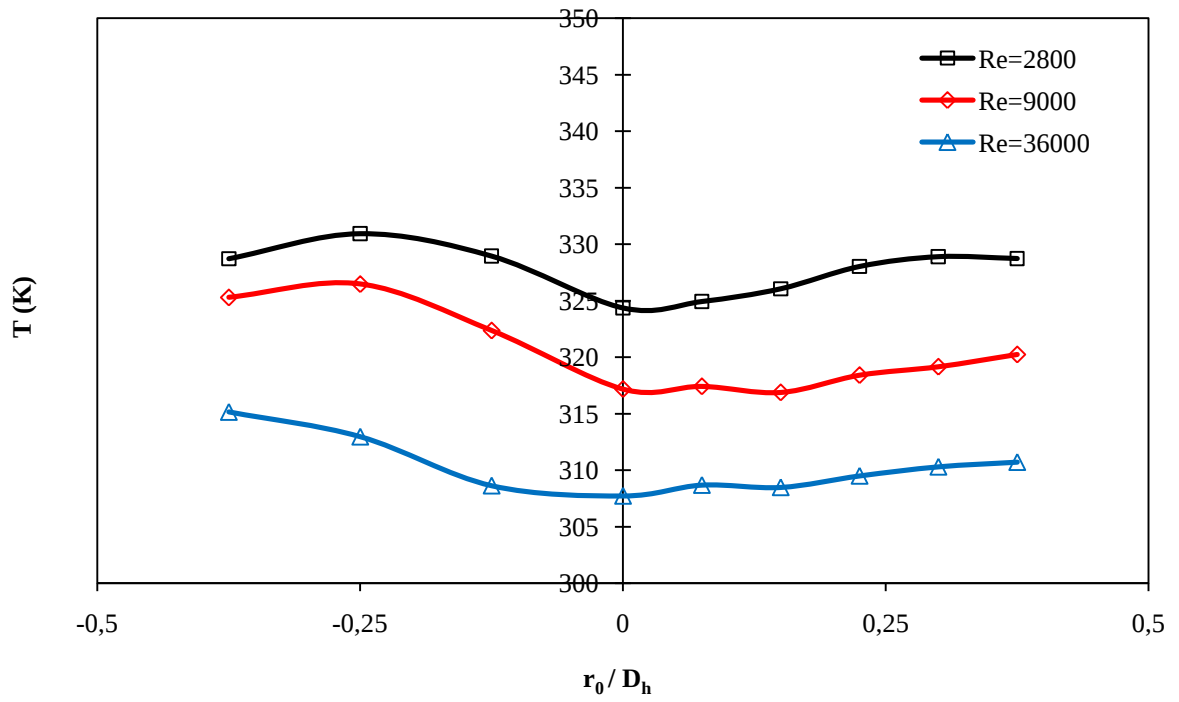
a)



b)



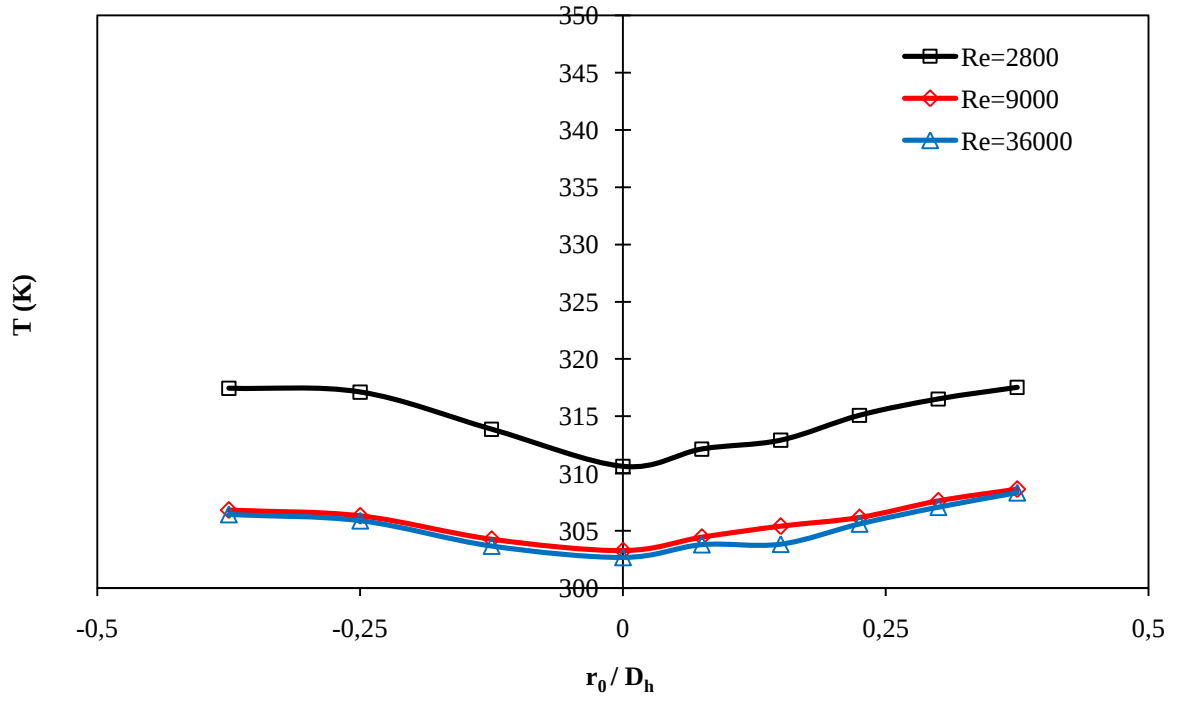
c)



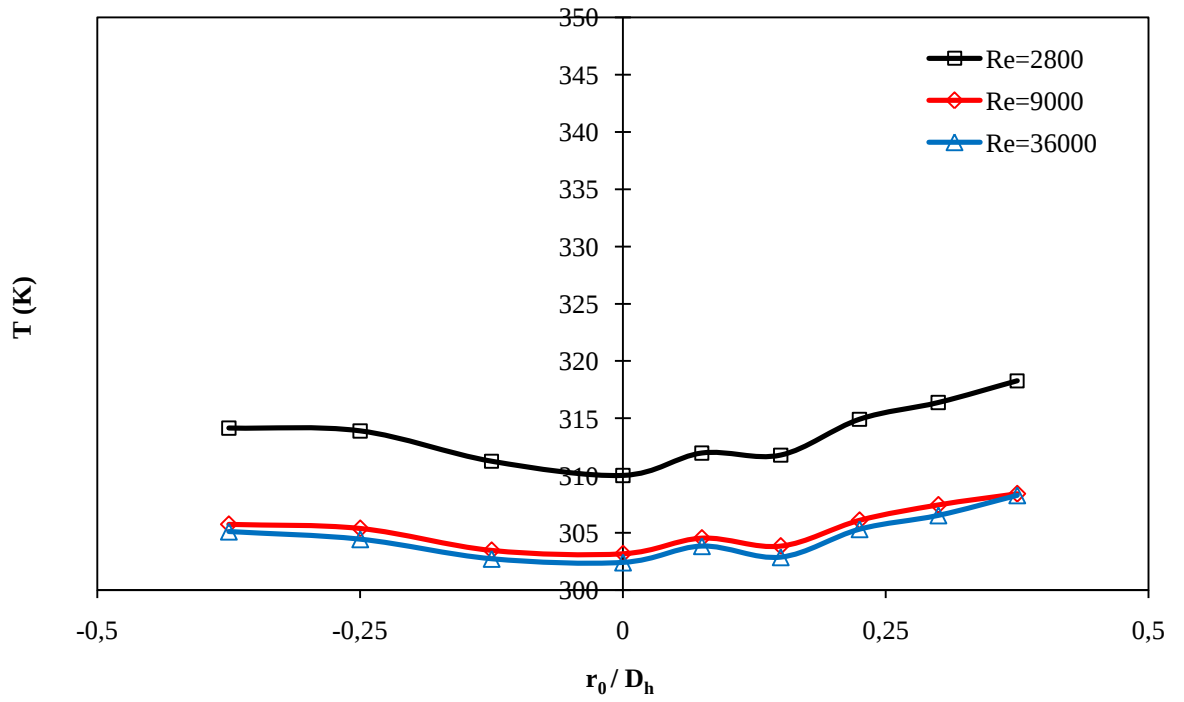
d)

Şekil 3.13. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, tekli jet, $\varphi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

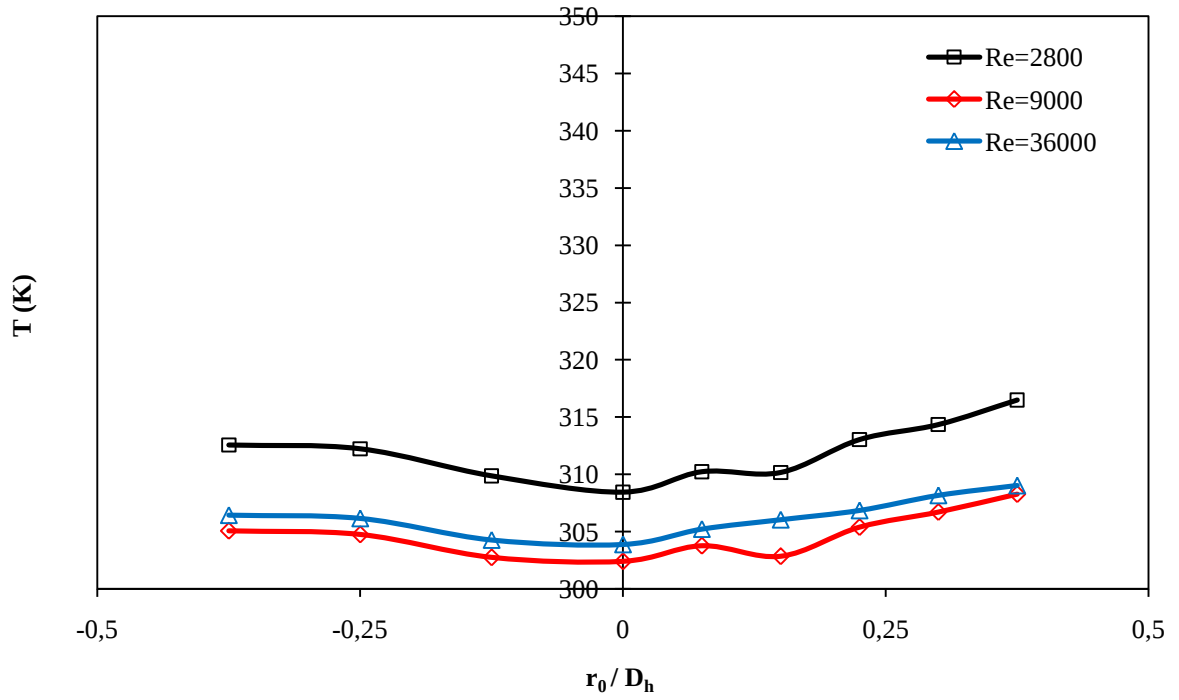
3.2.4. Üçlü jet 90 derece grafikleri



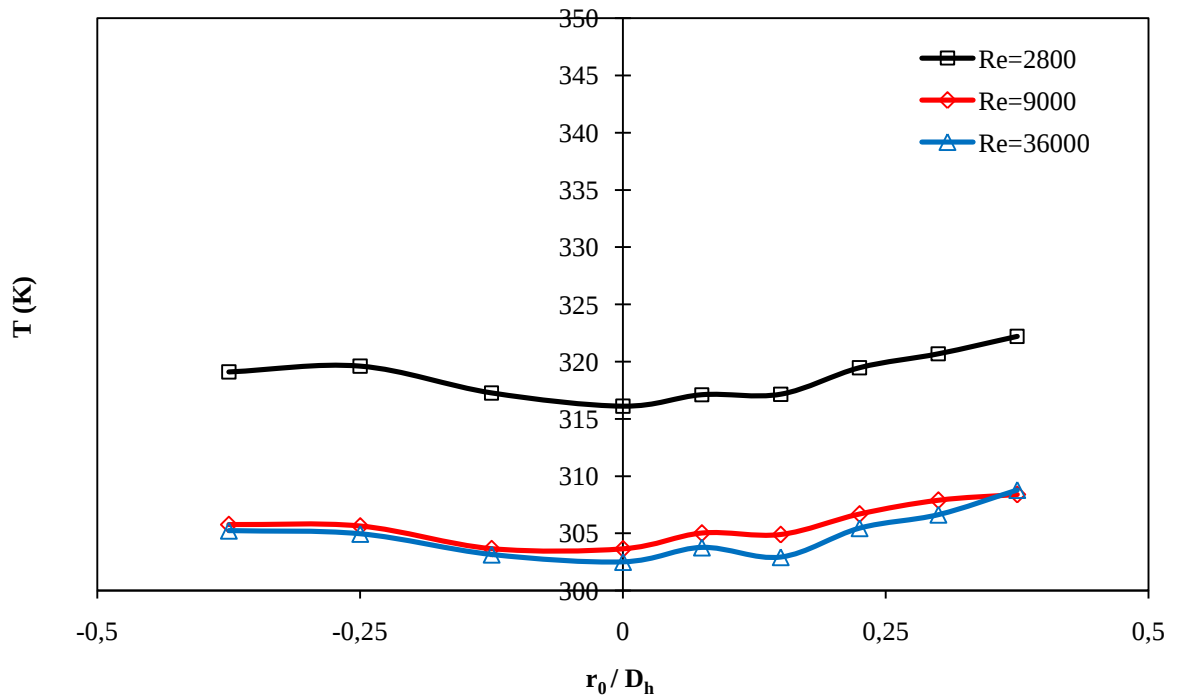
a)



b)



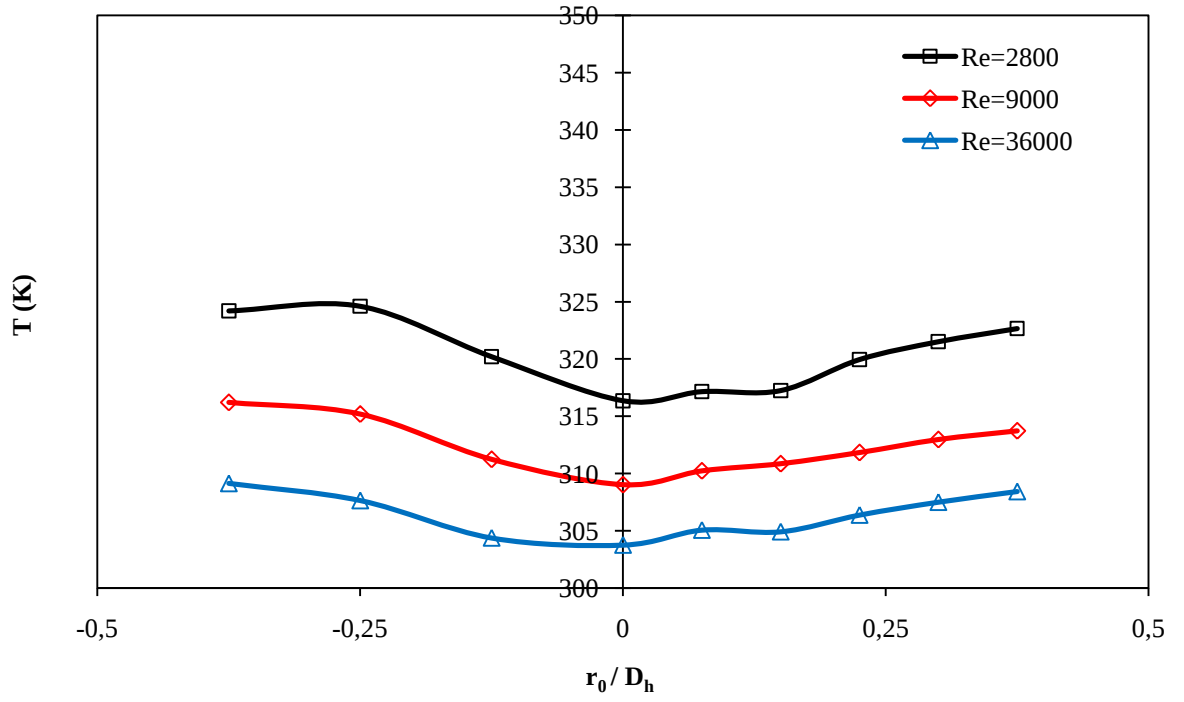
c)



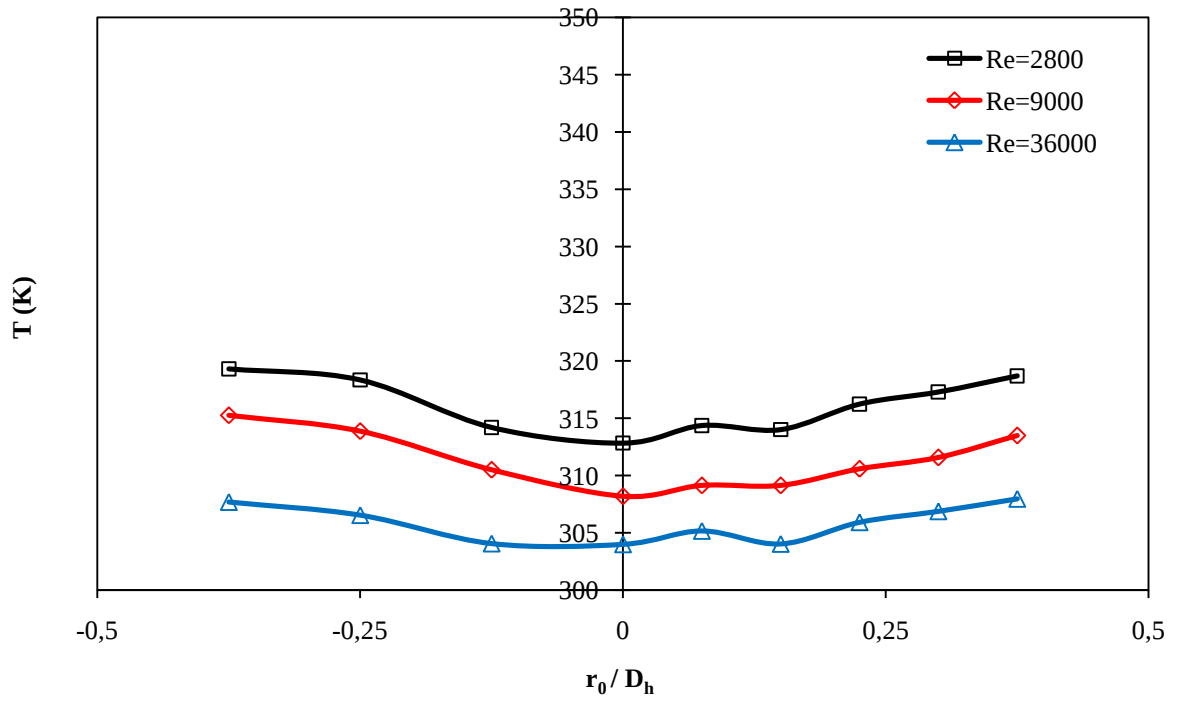
d)

Şekil 3.14. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, üçlü jet, $\varphi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

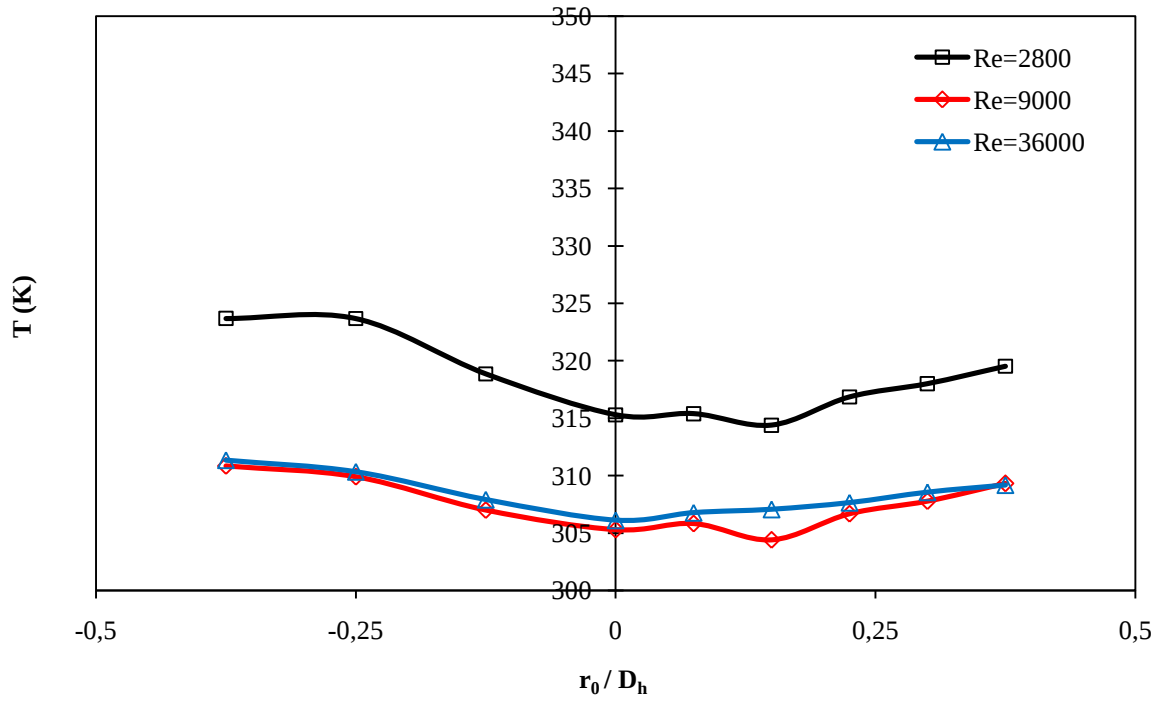
3.2.5. Üçlü jet 120 derece grafikleri



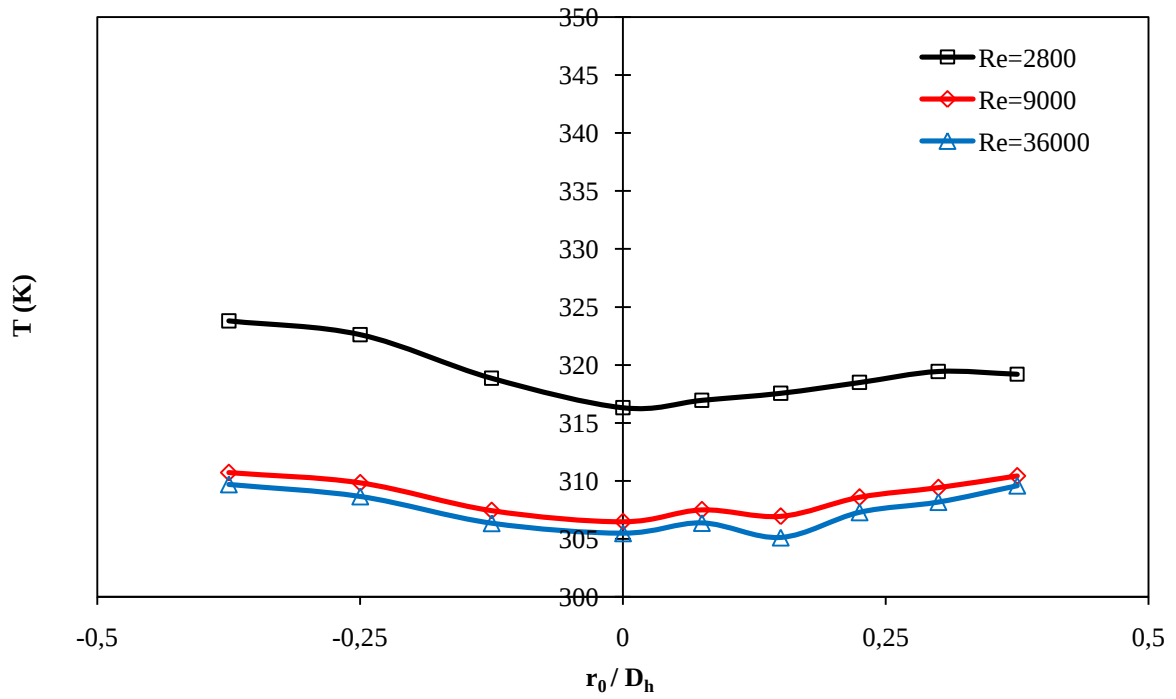
a)



b)



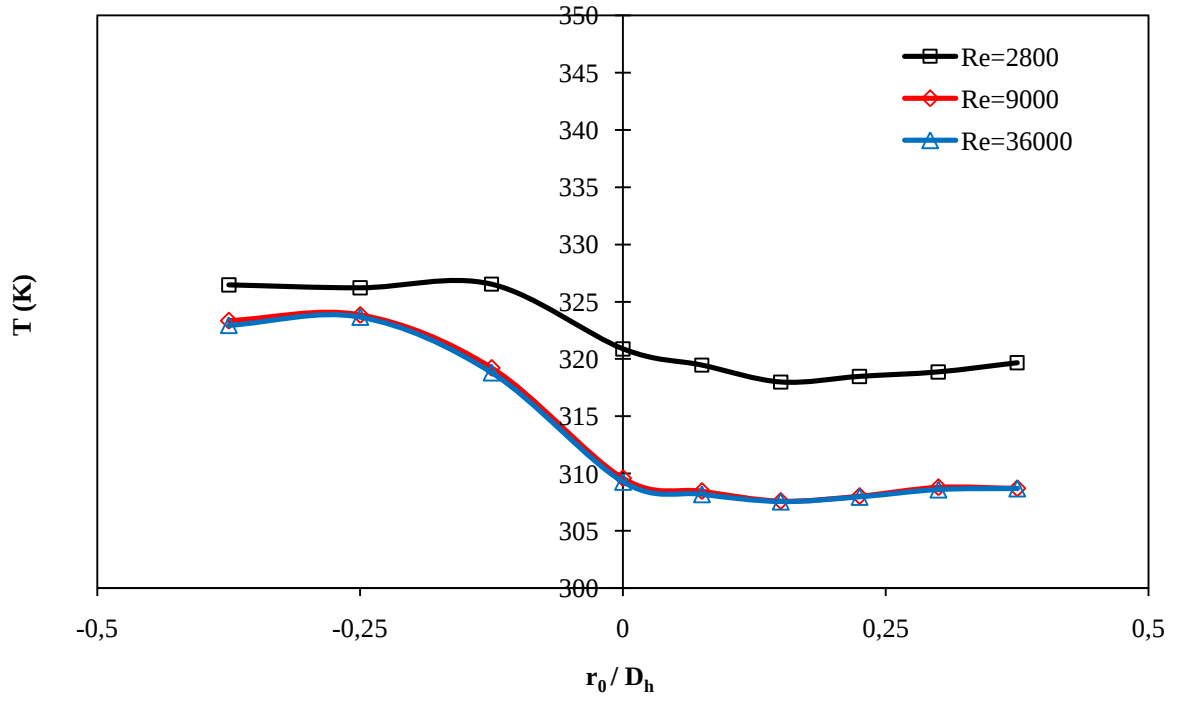
c)



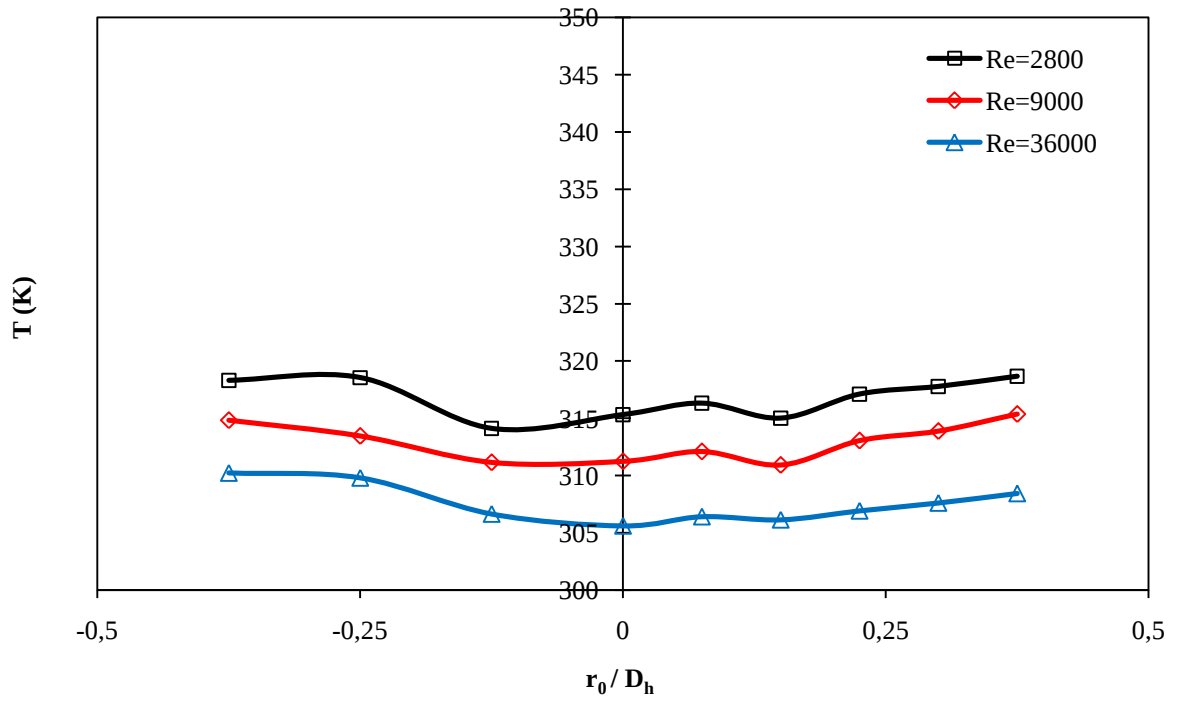
d)

Şekil 3.15. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, üçlü jet, $\varphi = 120^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

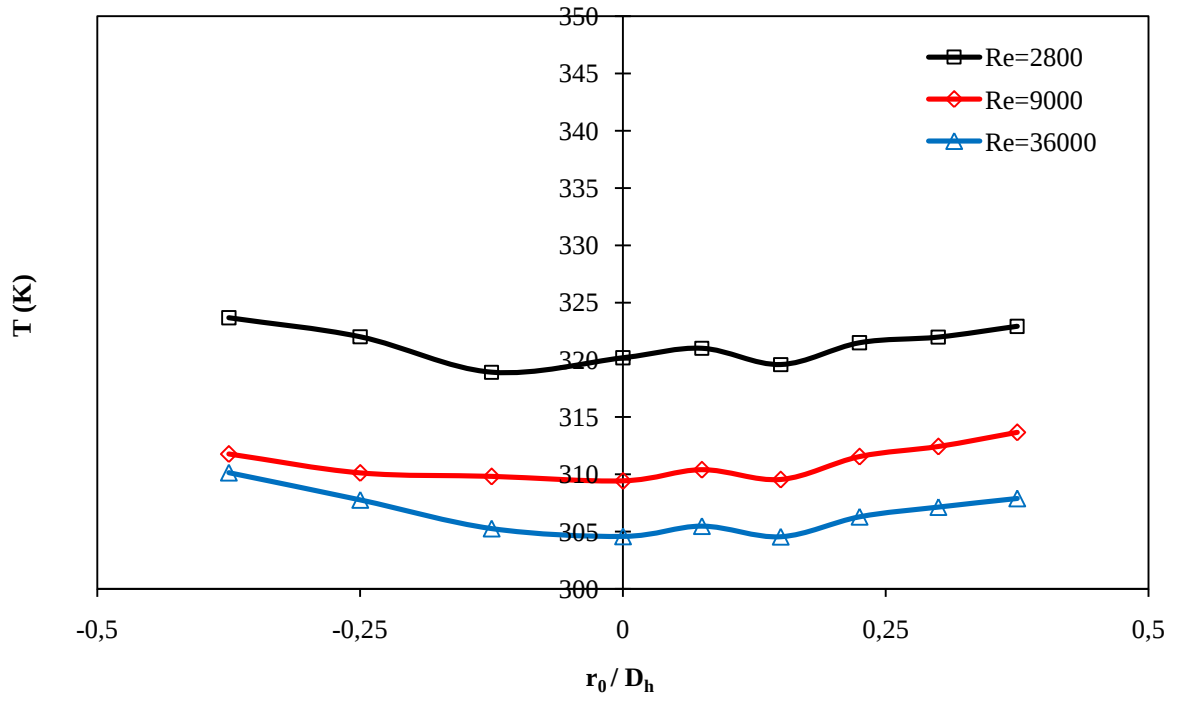
3.2.6. Üçlü jet 150 derece grafikleri



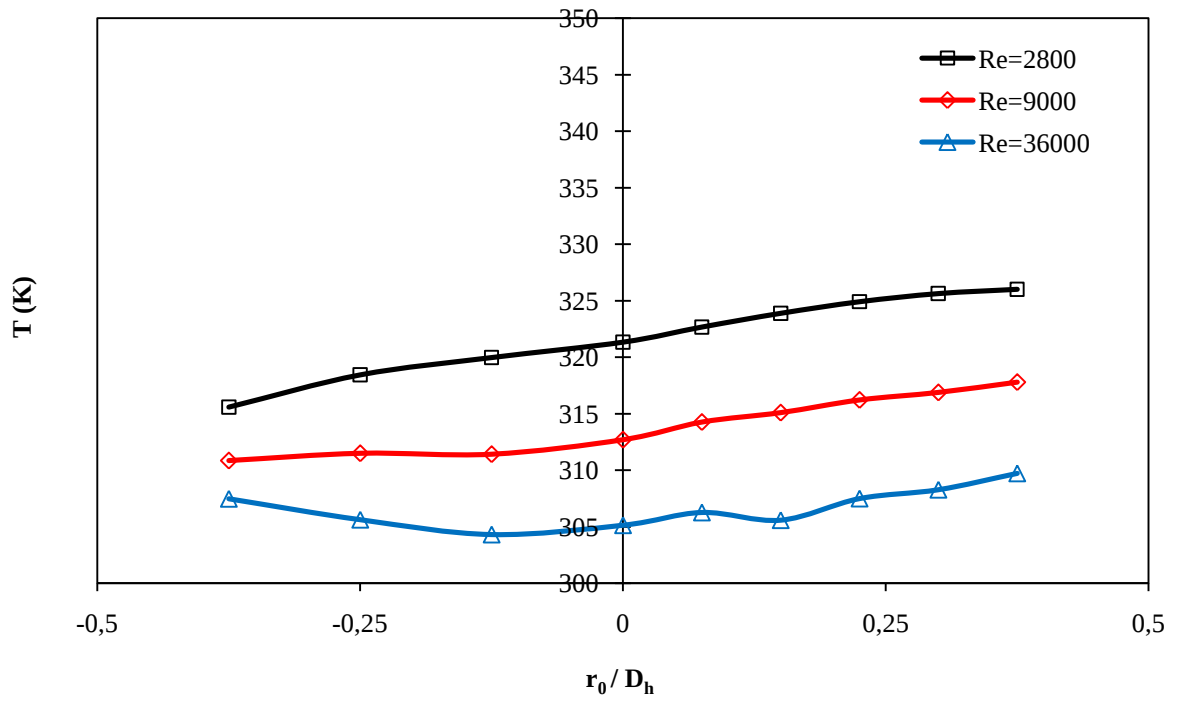
a)



b)



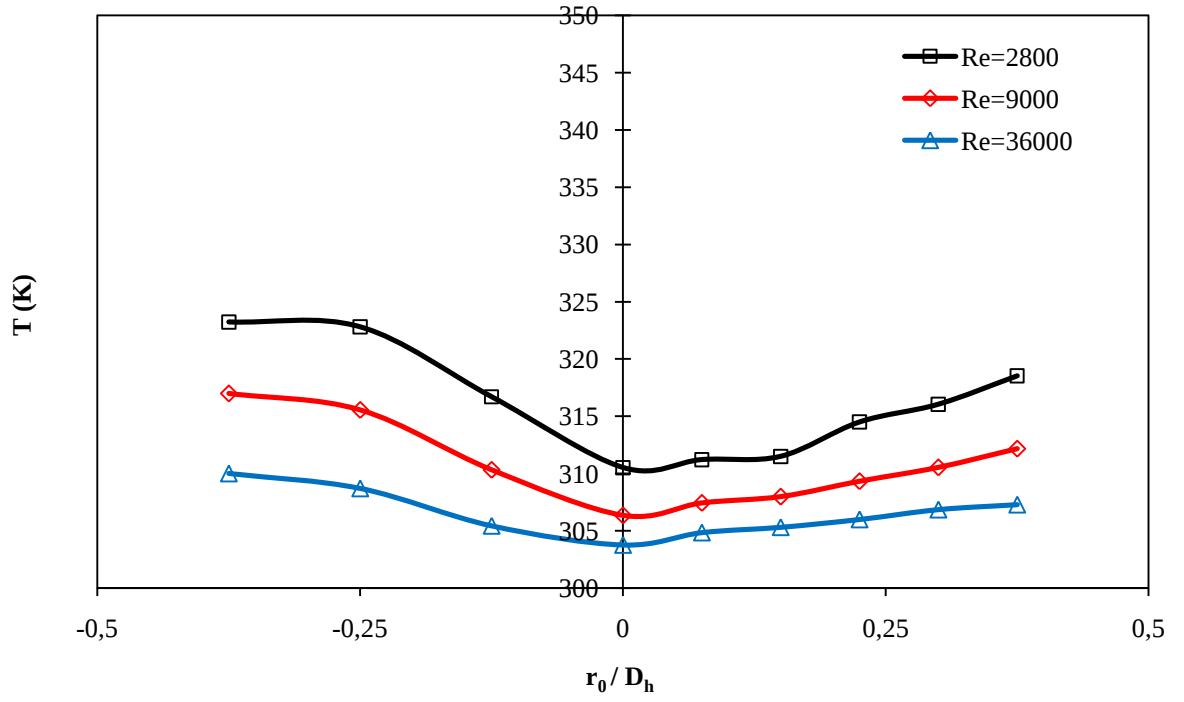
c)



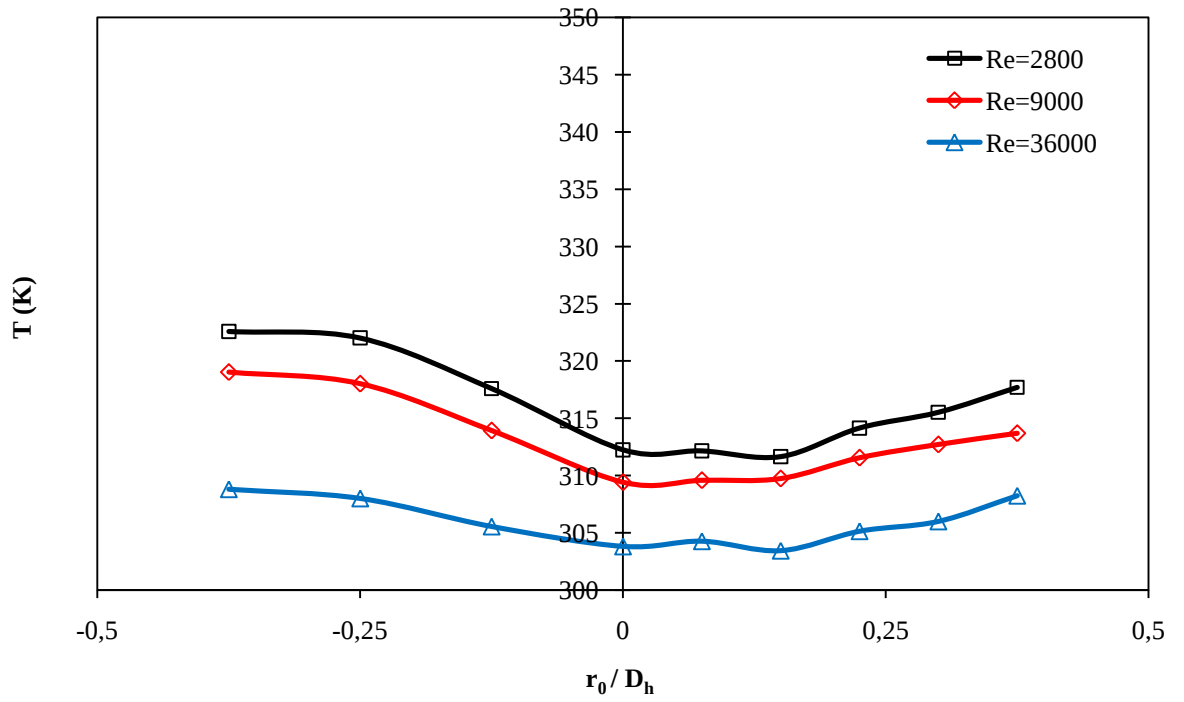
d)

Şekil 3.16. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, üçlü jet, $\varphi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

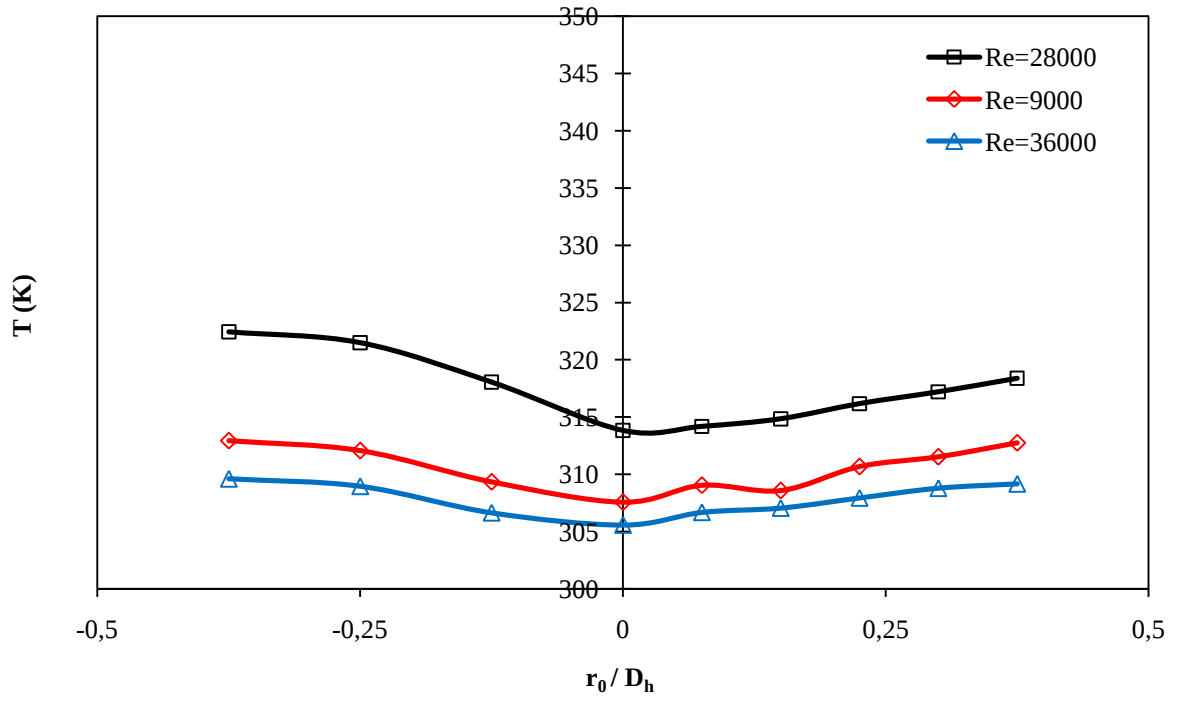
3.2.7. Altılı jet 90 derece grafikleri



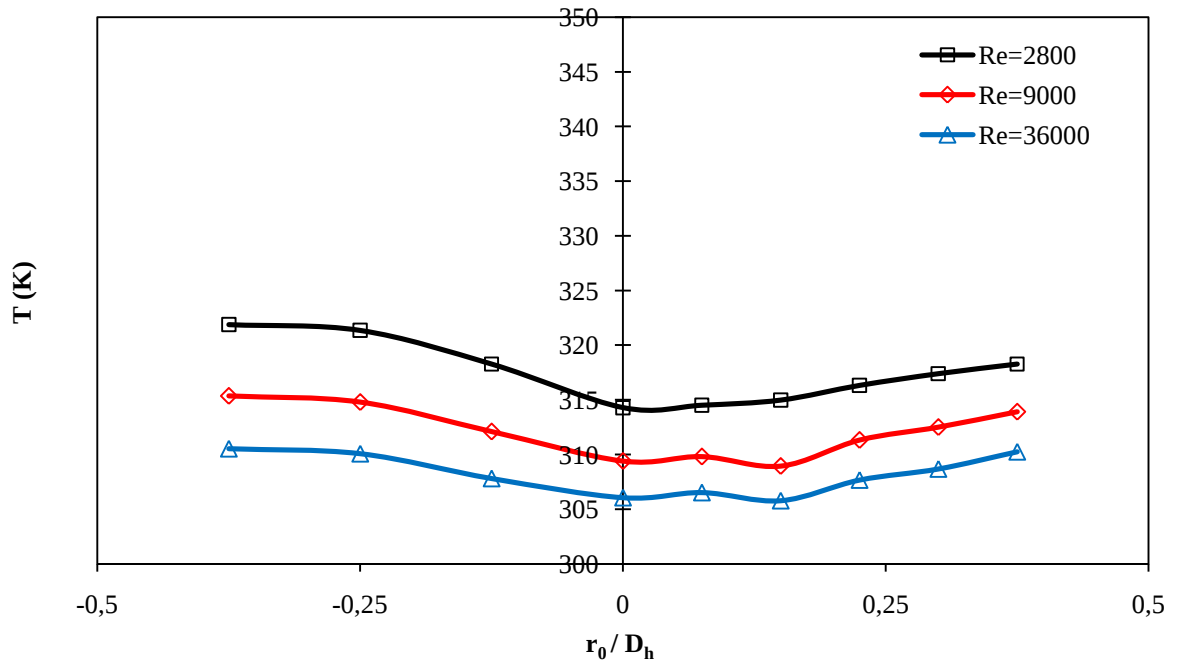
a)



b)



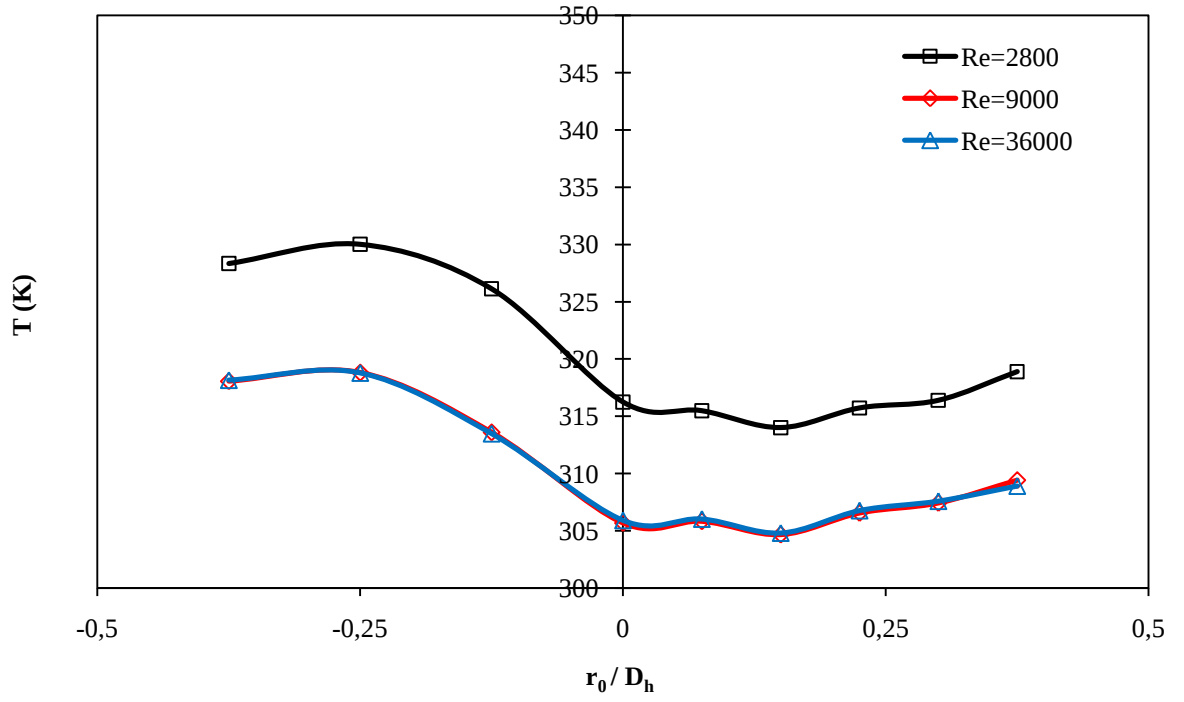
c)



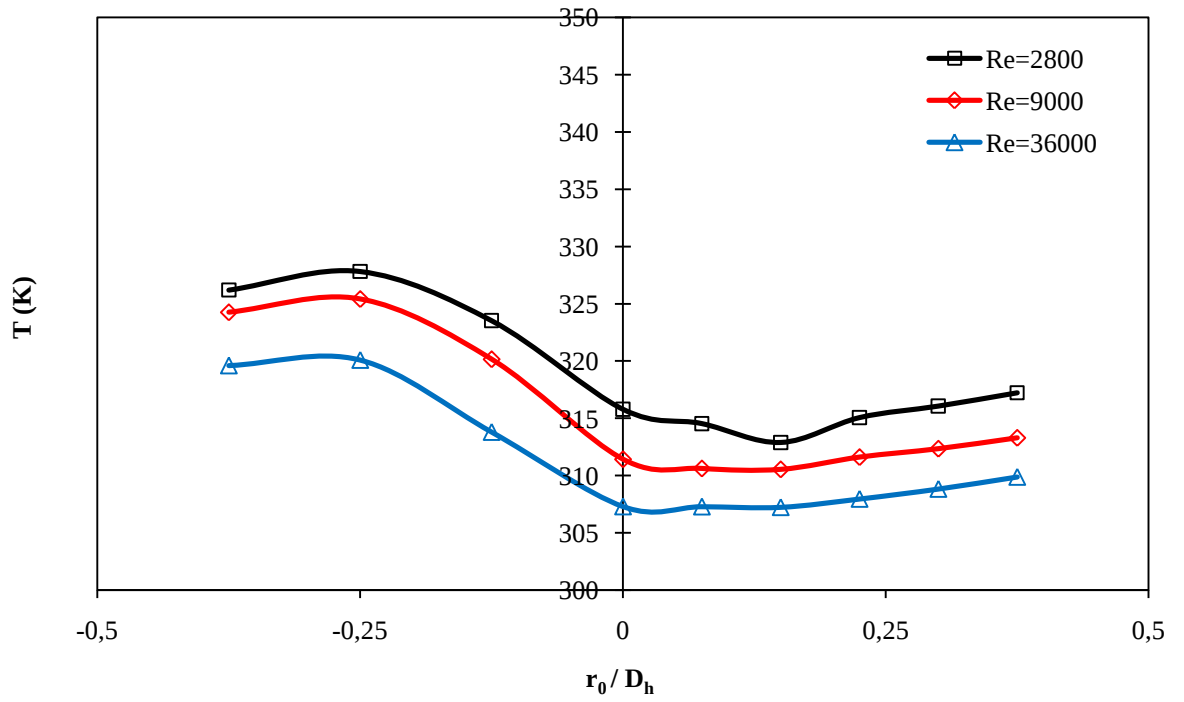
d)

Şekil 3.17. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, altılı jet, $\varphi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

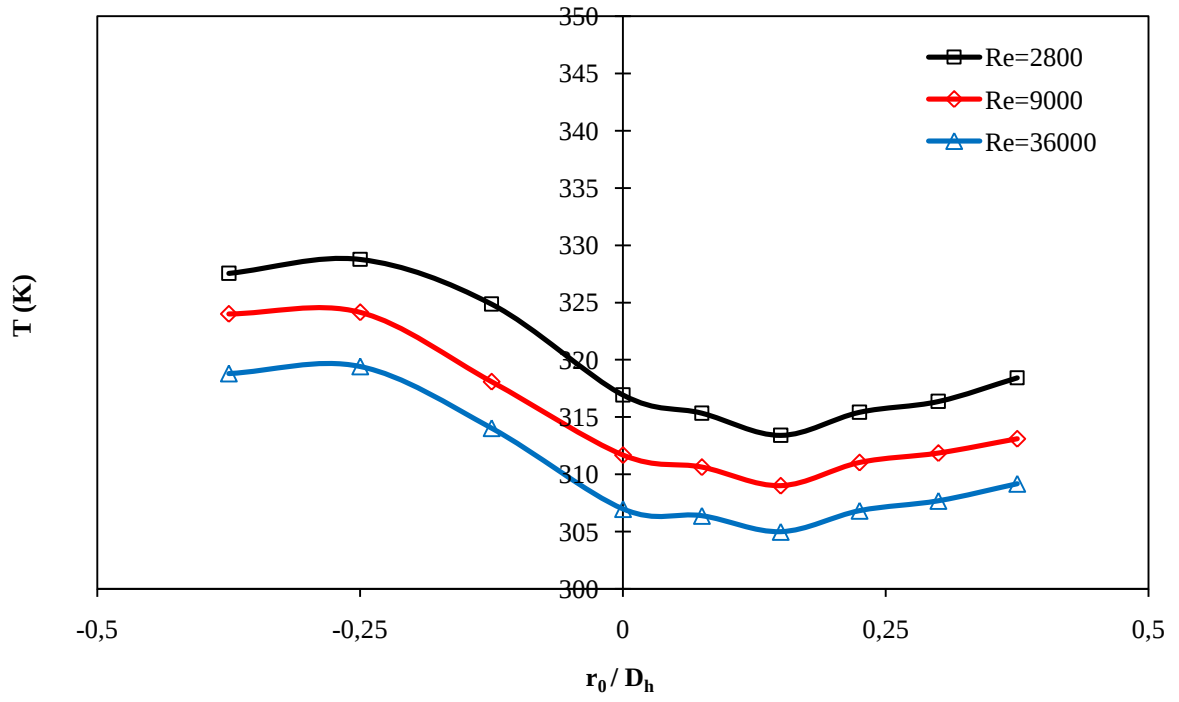
3.2.8. Altılı jet 120 derece grafikleri



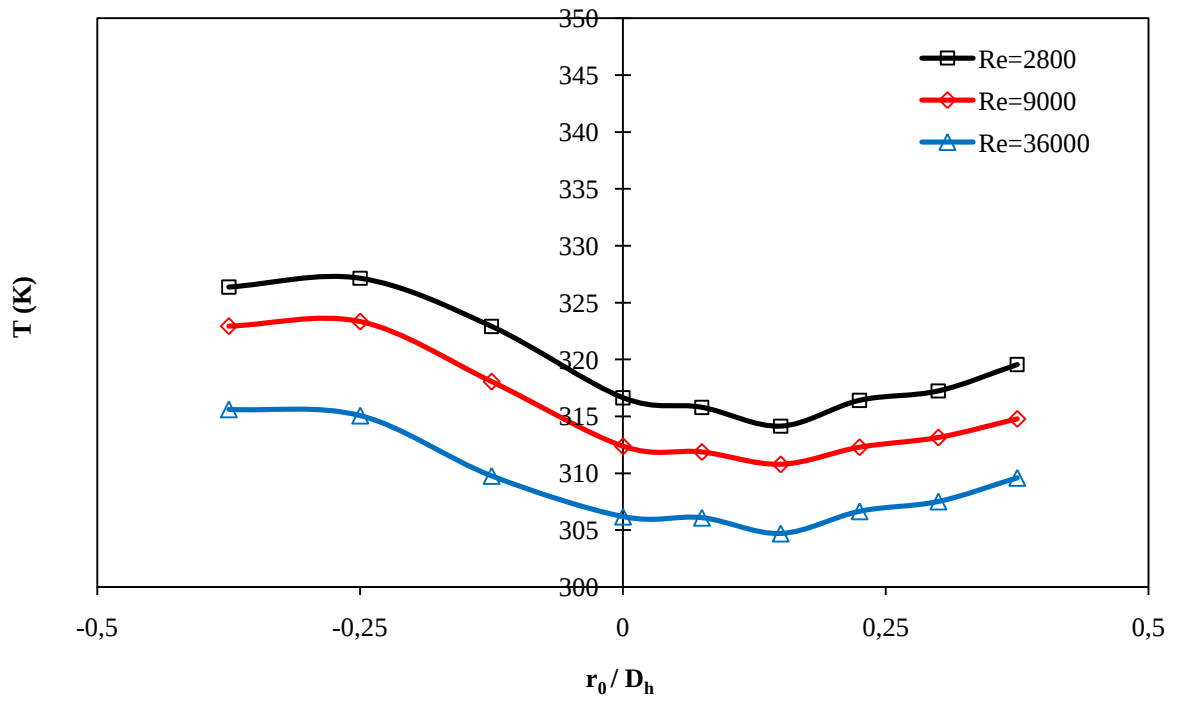
a)



b)



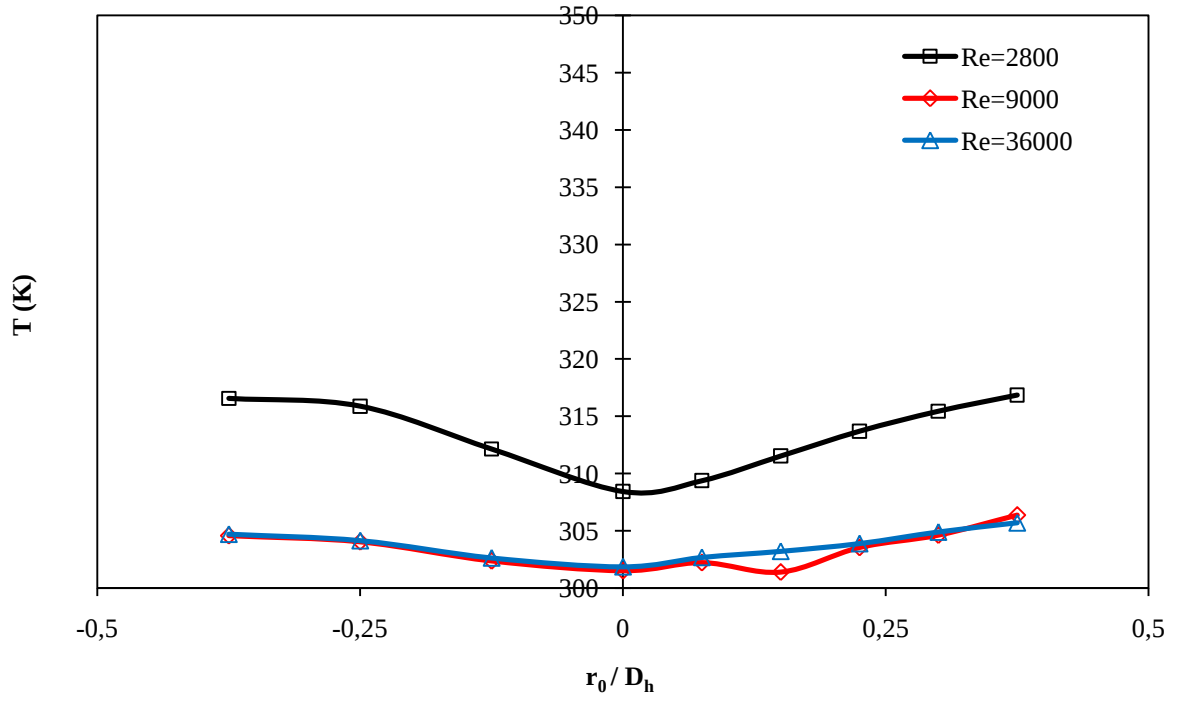
c)



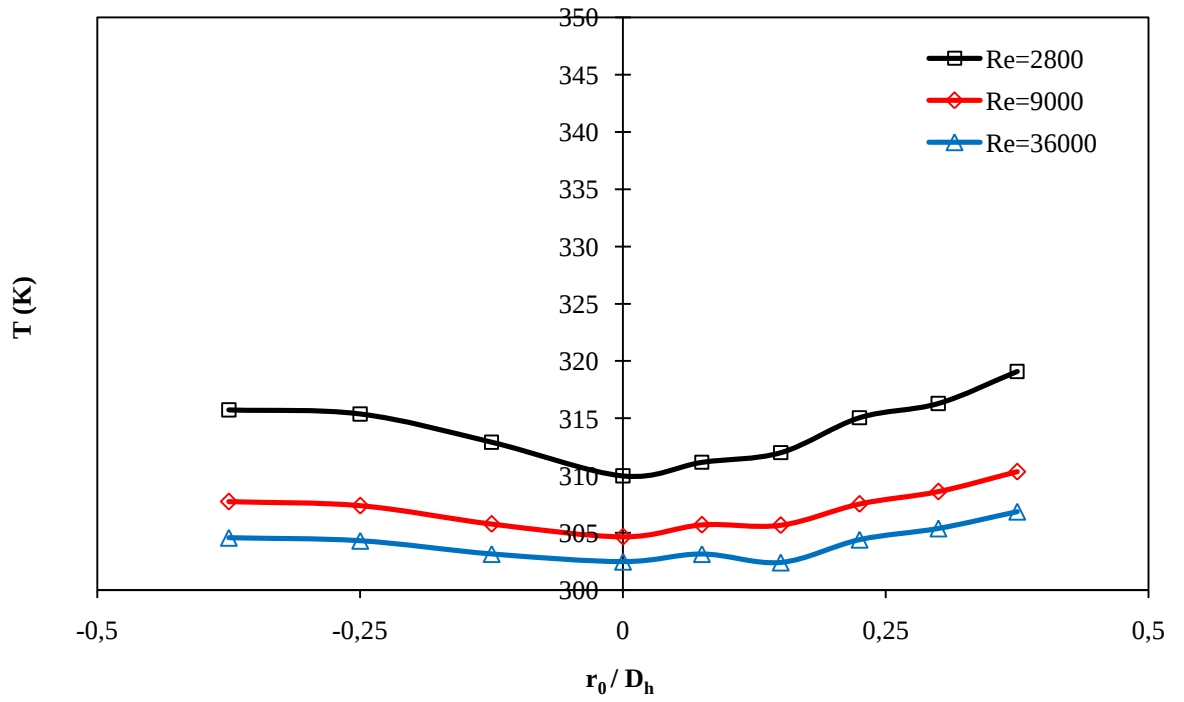
d)

Şekil 3.18. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, altılı jet, $\phi = 120^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

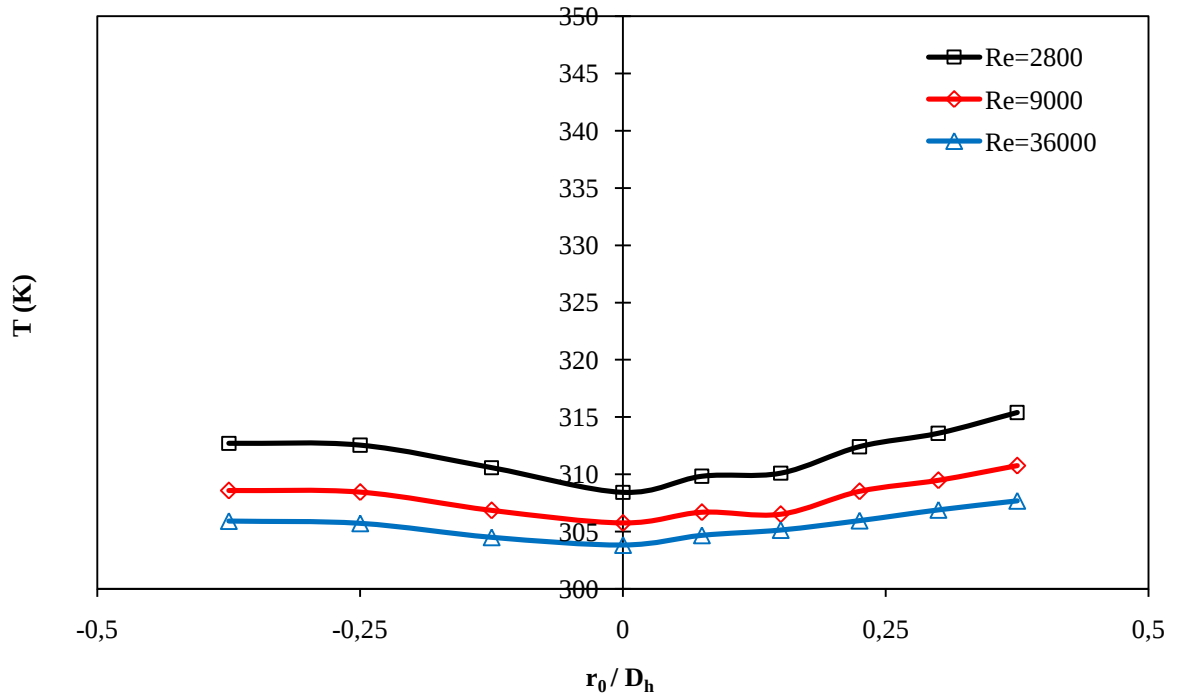
3.2.9. Altılı jet 150 derece grafikleri



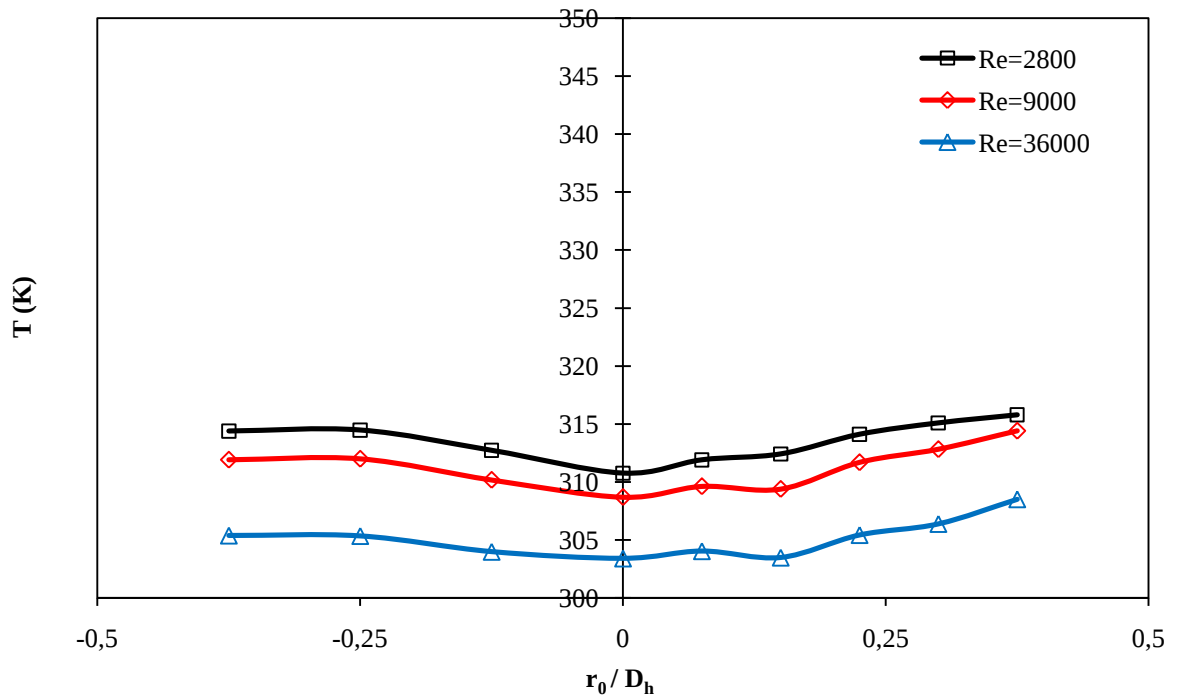
a)



b)



c)

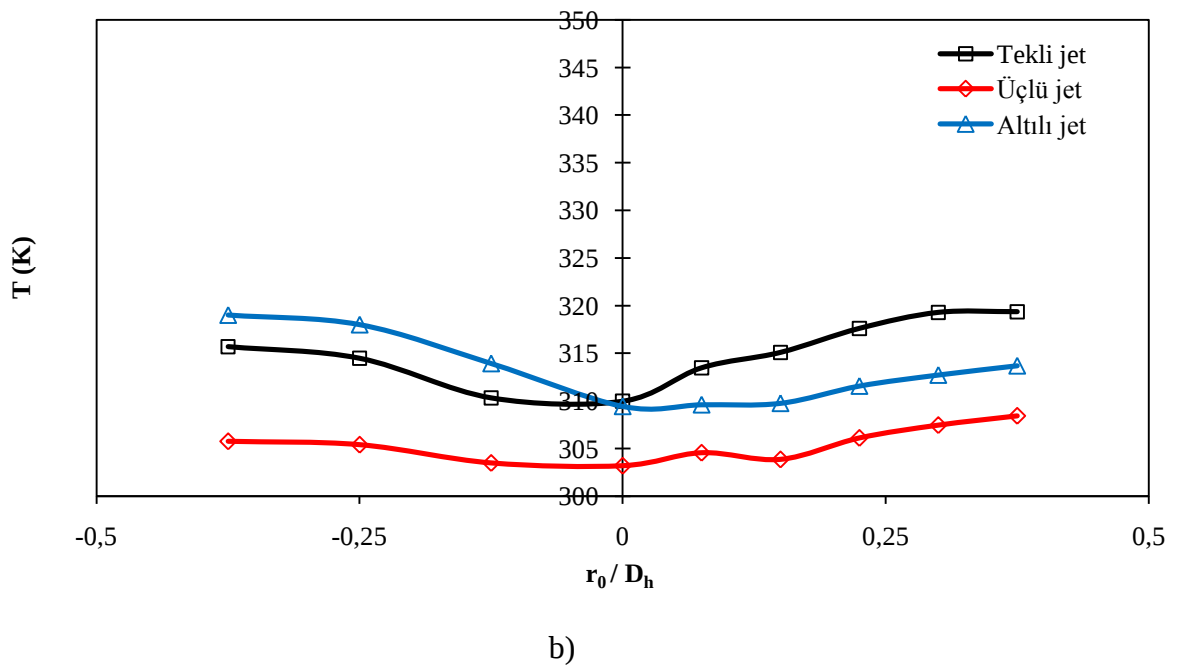
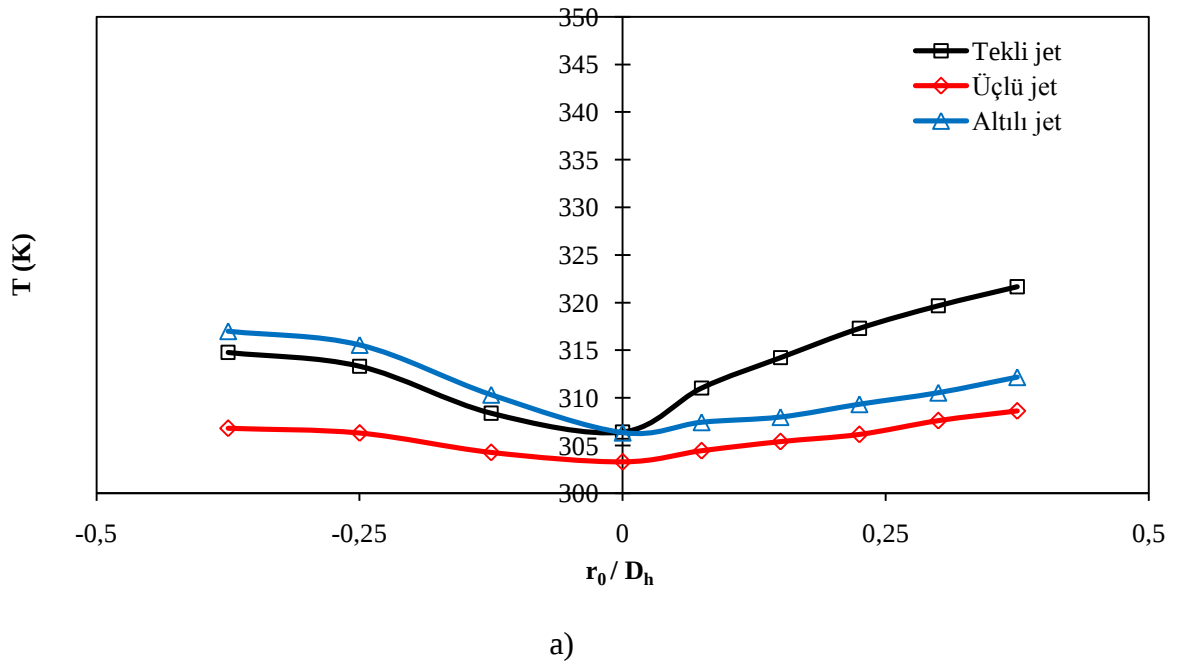


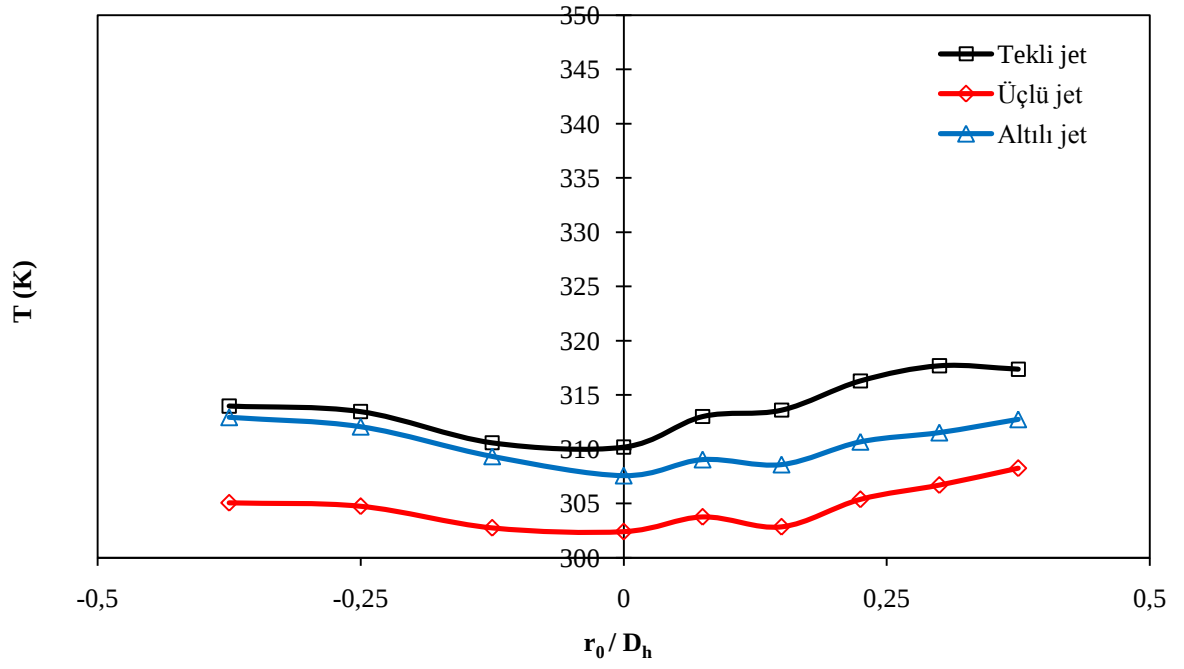
d)

Şekil 3.19. Daire merkezinde sıcaklığın yerel olarak değişimi, altılı jet, $\phi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

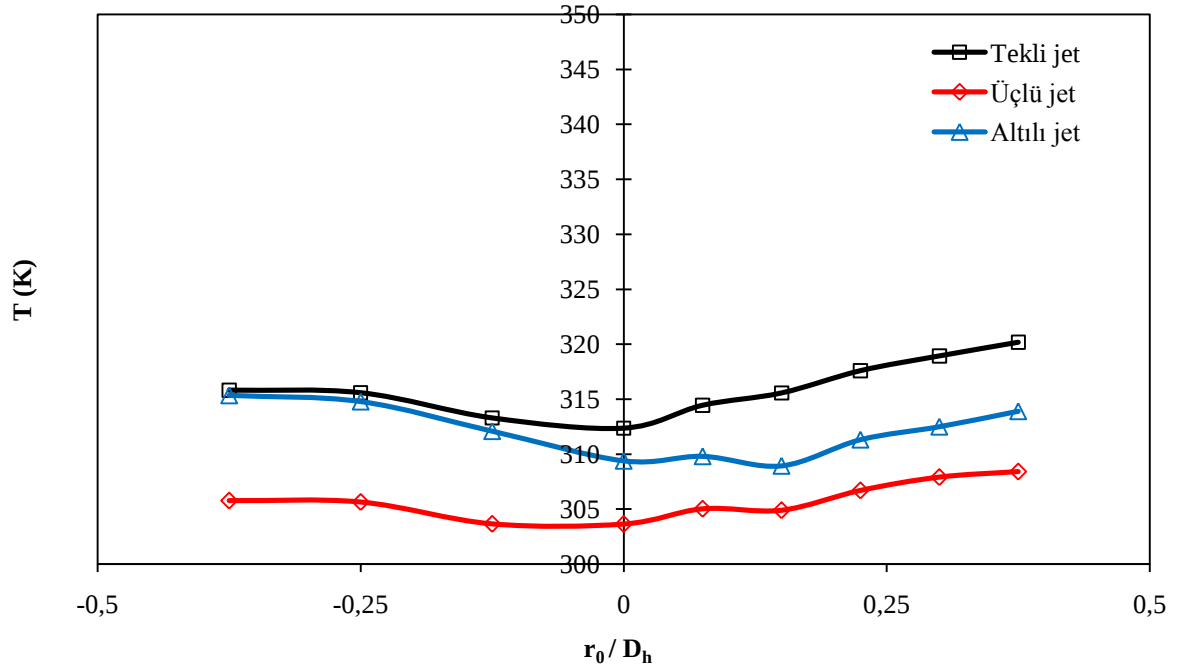
3.2.10. Sıcaklığın yerel olarak değişiminde sıralı jetin etkisi

Şekil 3.20 'de tekli, üçlü ve altılı jet dizilimleri için sıcaklığın r eksenı boyunca değişimi görülmektedir. Sıcaklık değerleri $\phi = 90^\circ$ ve $Re=9000$ için farklı H/D_h oranlarında verilmektedir. $H/D_h = 5$ ve 10 değerlerinde sıcaklıklar jet diziliminde çok fazla etkilenmektedir. Ancak, her durumda en iyi ısı transferi üçlü jet için sağlanmaktadır.





c)



d)

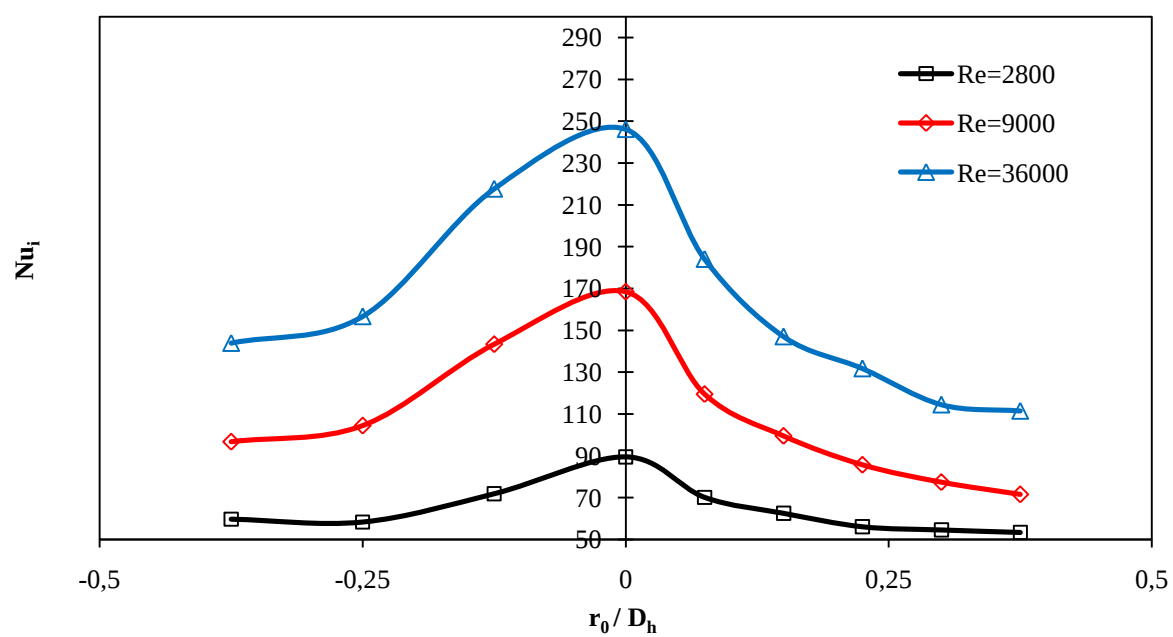
Şekil 3.20. Sıcaklığın yerel olarak değişiminde sıralı jetin etkisi, $\varphi = 90^\circ$, $Re=9000$
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3. Yerel Nusselt sayılarının değişimi

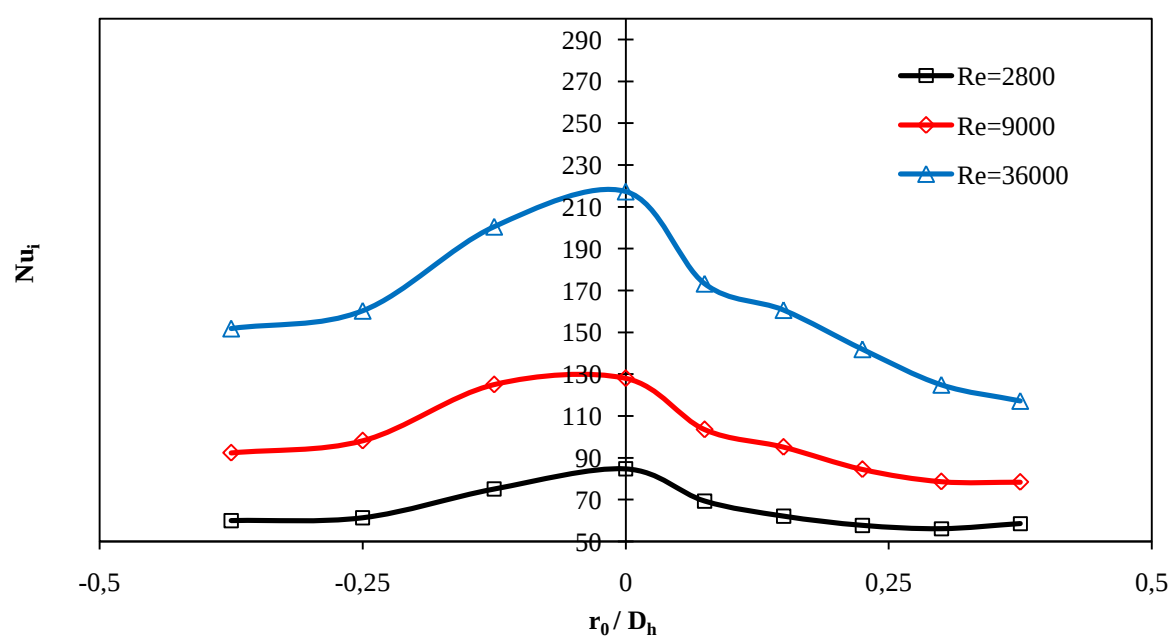
Bu bölümde, H/D_h oranının dairesel kesitli yüzey boyunca ısı transferine etkisi incelenmiştir. Tek ve sıralı jet akımları için, 5, 10, 15 ve 20 olmak üzere dört farklı H/D_h oranında yerel ve ortalama Nusselt değişimleri Şekil 3.21 – 3.36 arasındaki grafiklerde gösterilmiştir. Grafikler 2800, 9000 ve 36000 olmak üzere üç farklı Reynolds sayısında ve $\phi = 90^\circ$, 120° ve 150° yüzey açıları için çizilmiştir. Bu şekilde jet akımının ısı transferine etkisi yerel ve ortalama olarak gösterilmiştir. Çalışmada ısı transferi zorlanmış taşınım ile gerçekleşmiş olup doğal taşınım ve radyasyon ısı transferi ihmal edilmiştir.

3.3.1. Tekli jet 90 derece grafikleri

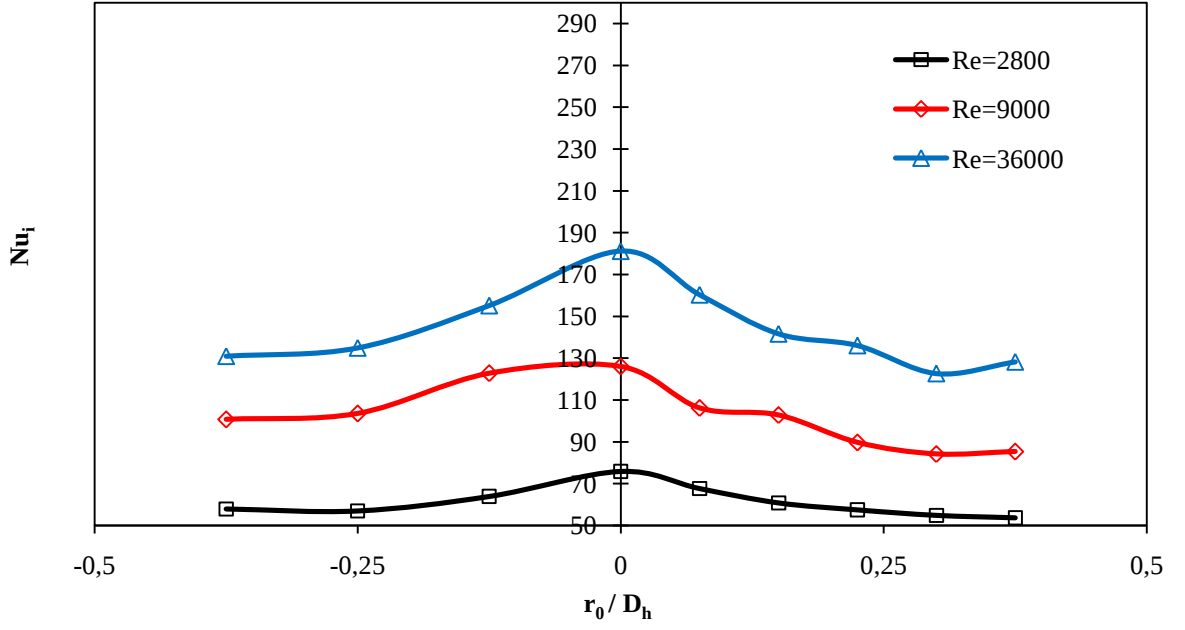
Sabit ısı akısıyla ısıtılan dairesel kesitli yüzey serbest jet akımının etkisiyle soğutulmaktadır. H/D_h , (Jet çarpma Uzaklığı / Jetin hidrolik çapı) oranının ısı transferine etkisi ilk olarak tek jet durumu için incelenmiştir. Farklı Reynolds sayıları ve H/D_h oranlarında Nusselt sayılarının değişim grafikleri bu bölümde verilmiştir. Yerel Nusselt sayıları, Şekil 2.11’ de verilen ısı çiftleriyle r-ekseni boyunca ölçülen 10 farklı sıcaklık değerlerinden hesaplanmıştır. Şekil 3.21 (a-d)’ de tek jet durumu ve 90° yüzey açısı için yerel Nusselt sayısı grafikleri görülmektedir. Grafikler incelendiğinde, jet merkezinin çarpma noktasında maksimum ısı transferinin meydana geldiği görülmektedir ki bu sonuç jet teorisine uygun bir sonuçtur. Reynolds sayısının artışı ile birlikte ısı transferinde de artış görülmektedir. Özellikle, düşük H/D_h değerlerinde ($H/D_h = 5$ ve 10) dairesel yüzeyin merkezinde maksimum ısı transferi görülmüş ve bu noktadaki yerel Nusselt sayıları yüzey boyunca diğer noktalara göre çok yüksek çıkmıştır. H/D_h oranı arttıkça Nusselt sayıları ve dolayısıyla ısı transferi azalmaktadır ki bu beklenen bir sonuçtur. Yüksek H/D_h oranlarında ($H/D_h = 15$ ve 20 gibi) dairesel yüzeyin merkezinde ki ısı transferinde büyük oranda azalma görülmektedir. Bunun yanında yüzey boyunca diğer noktalardaki ısı transferi ise büyük oranda değişmemiştir. Böylece, artan H/D_h oranlarında Reynolds sayısının ısı transferine etkisi ve yüzey boyunca yerel Nusselt sayısı azalmaktadır. Buna göre, H/D_h oranı akış ve ısı transferi için önemli bir kontrol parametresidir. Jet akımının yüzeye dik çarptığı ($\phi = 90^\circ$) durumunda, en fazla ısı transferi jet merkezinin çarptığı noktada maksimum değerine ulaşmış ve her iki yarıçap yönünde ısı transferi yaklaşık simetrik olarak azalmıştır.



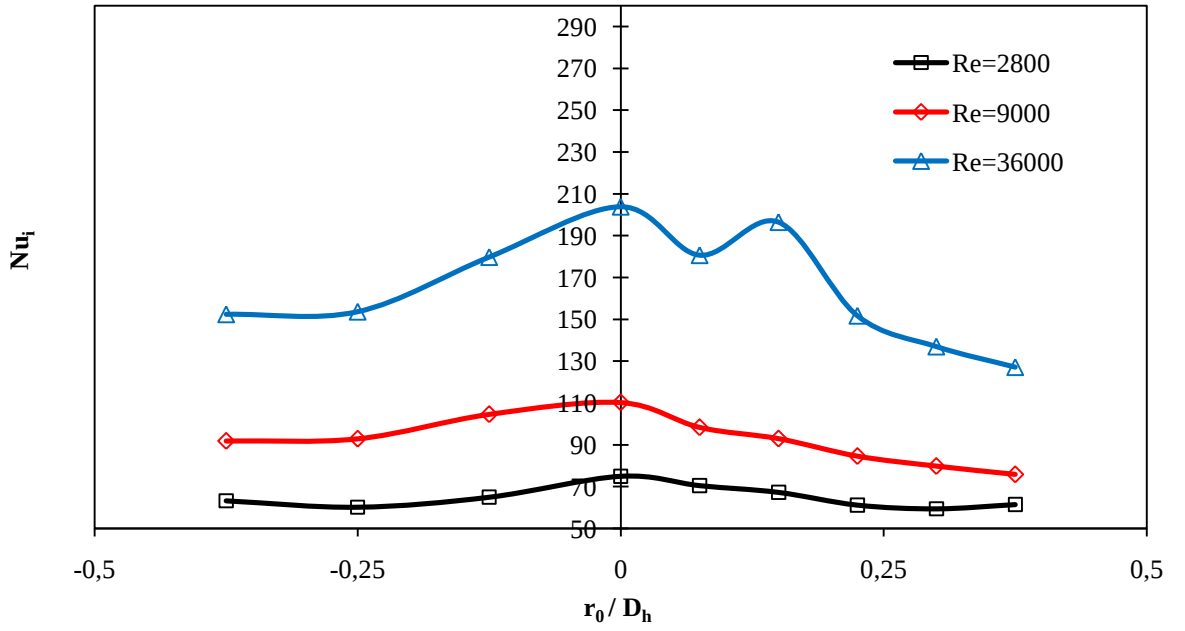
a)



b)



c)

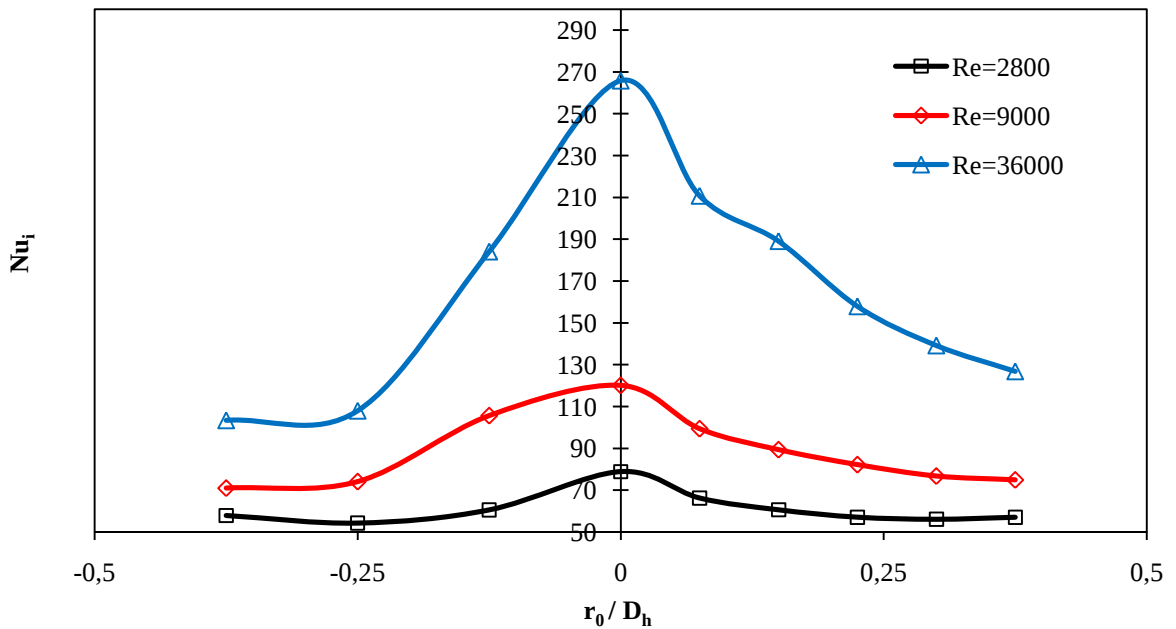


d)

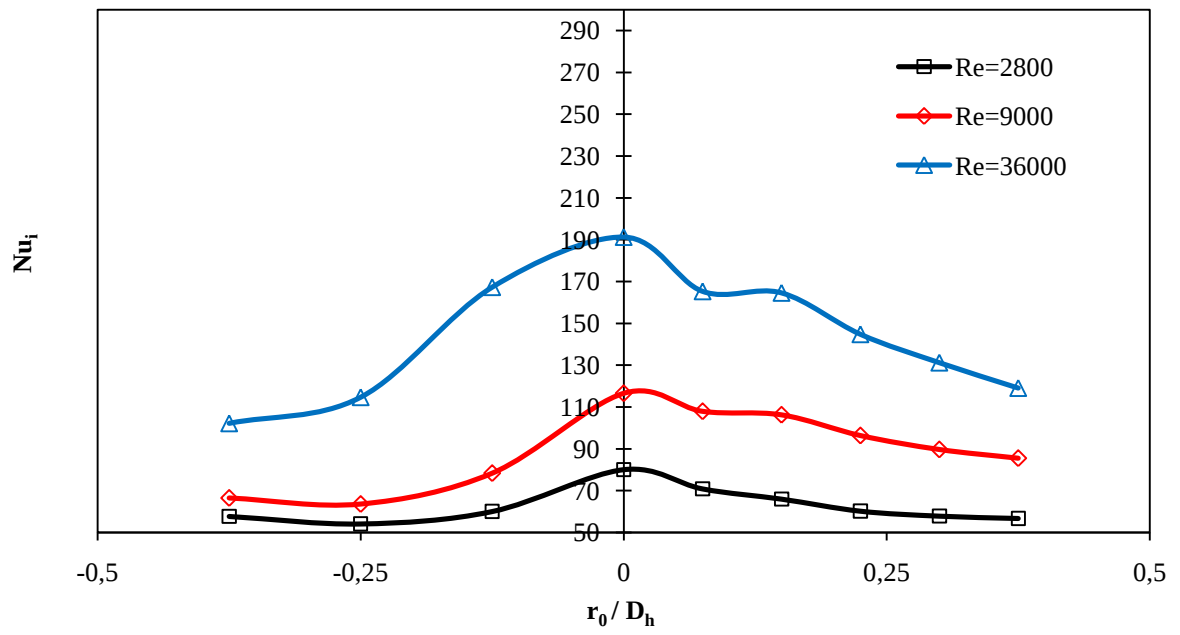
Şekil 3.21. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, tekli jet, $\varphi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.2. Tekli jet 120°'lik grafikleri

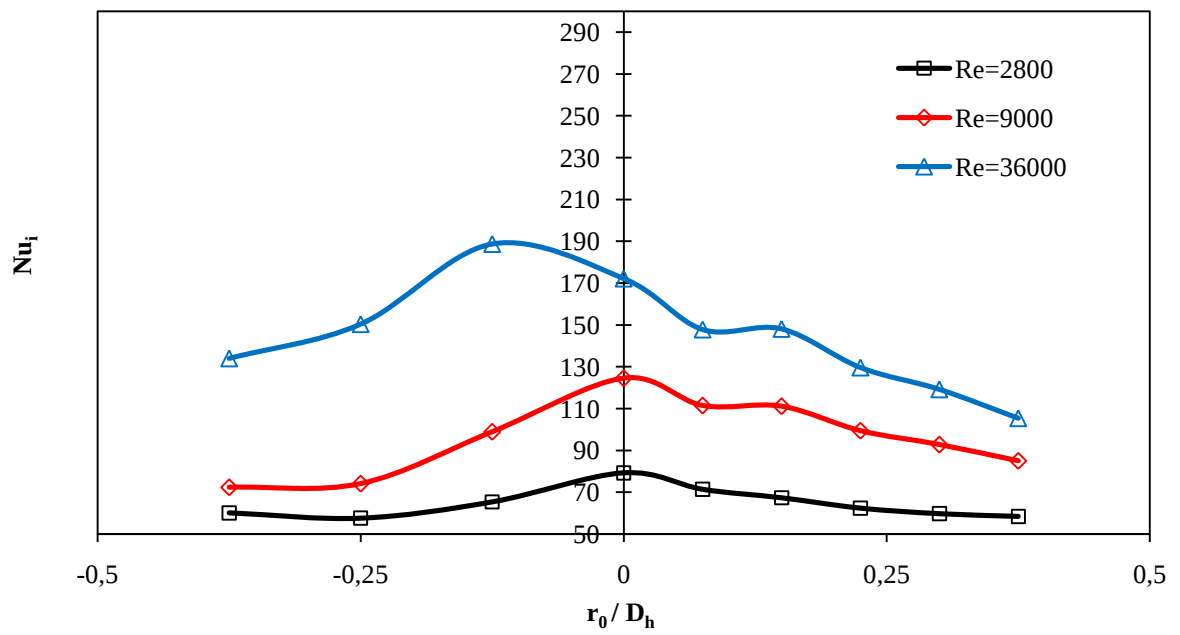
Jet akımının yüzeye 120°'lik açıyla çarptığı tek jet durumu için elde edilen ısı transferi sonuçları, Şekil 3.22 (a-d)'de görülmektedir. Bu çalışmada açının etkisiyle grafiklerde -r yönünde, ısı transferinin artmaya başladığı ve jet merkezinin çarptığı noktadaki ısı transferine yaklaştığı görülmektedir. 90°'lik yüzey açısında, yüzeyin merkezine göre simetrik olarak görülen yerel Nusselt sayılarının, açı etkisiyle değiştiği ve grafiklerde +r olarak gösterilen yarıçap yönünde arttığı görülmüştür. Bu artışın sebebinin, jet akımının, -r yarıçap yüzeyini tam olarak etkilemesi olduğu düşünülmüştür. Yine, Reynolds sayısının artışı ile ısı transferi de artmaktadır. Açının yerel Nusselt sayıları üzerindeki etkisi grafiklerde H/D_h oranına bağlı olarak da verilmektedir. H/D_h oranı arttıkça jet akımı tüm dairesel yüzeyi etkilemektedir. Dolayısıyla, H/D_h oranı yükseldikçe dairesel yüzeyin merkezindeki yerel Nusselt sayıları düşüş göstermiş ve yüzey boyunca hesaplanan Nusselt sayıları ise birbirine yaklaşmıştır.



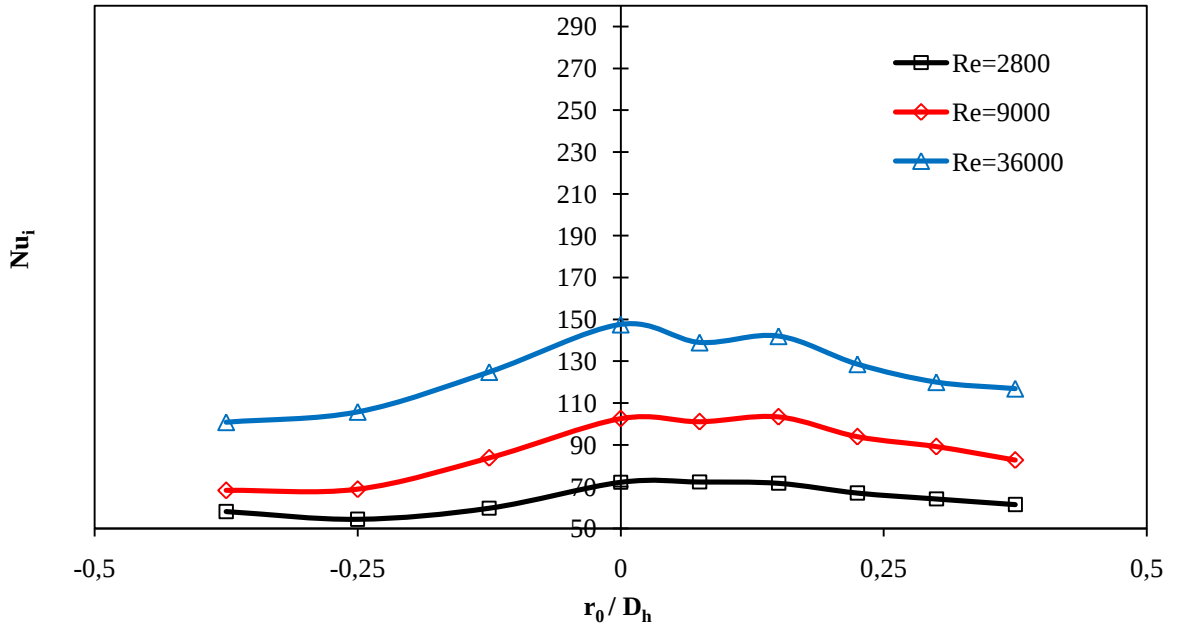
a)



b)



c)

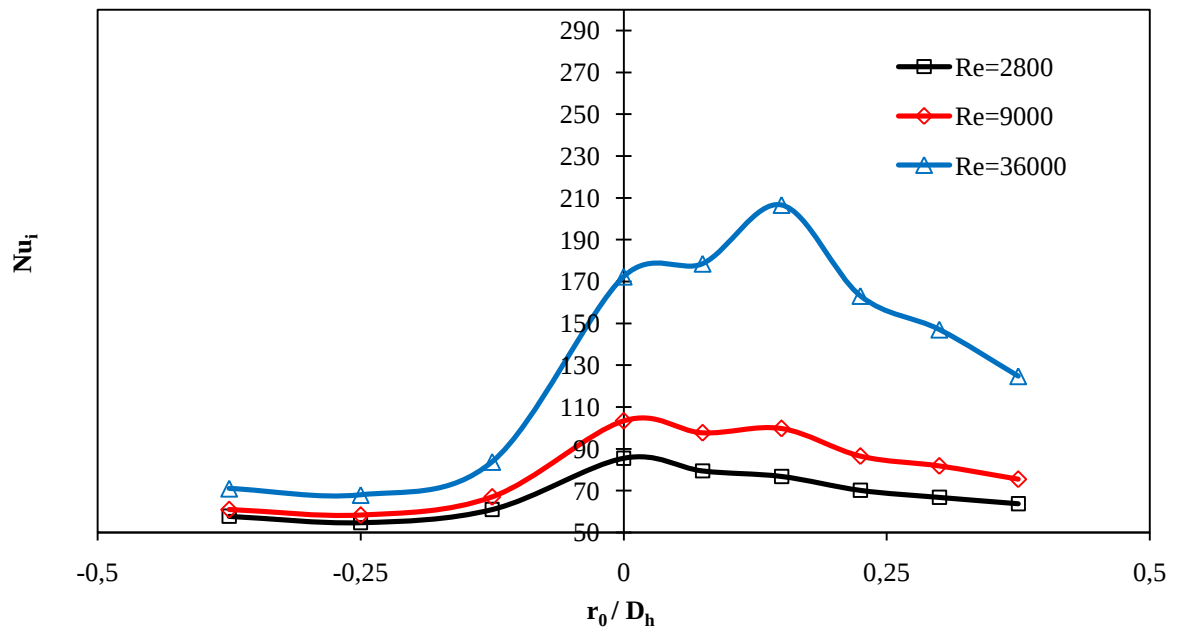


d)

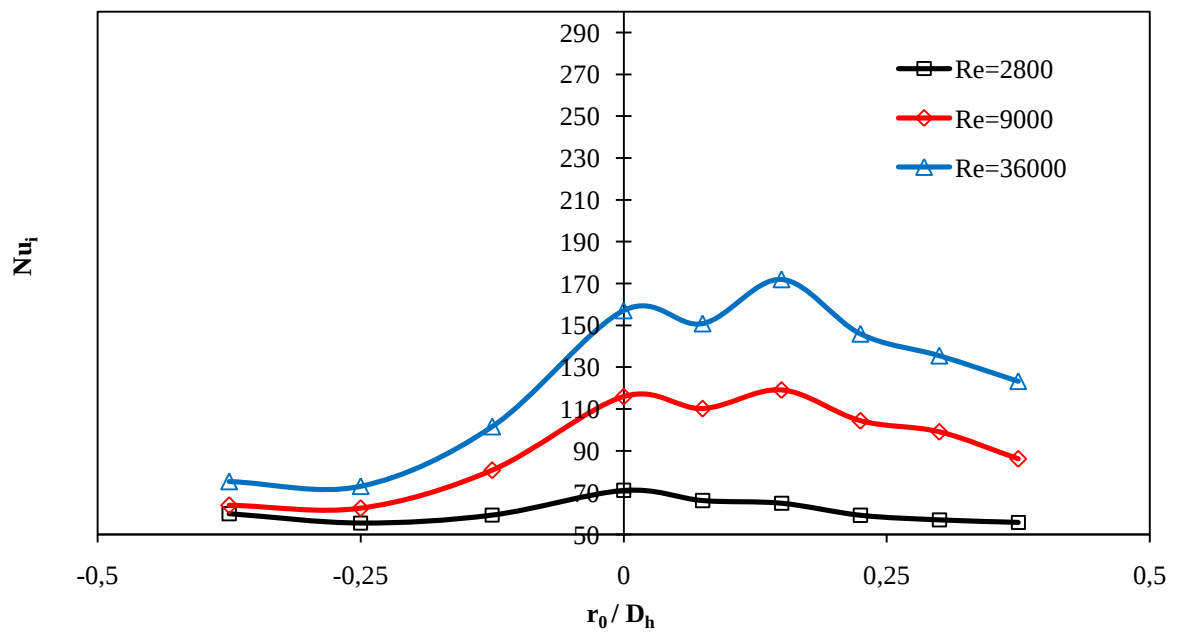
Şekil 3.22. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, tekli jet, $\phi = 120^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.3. Tekli jet 150 derece grafikleri

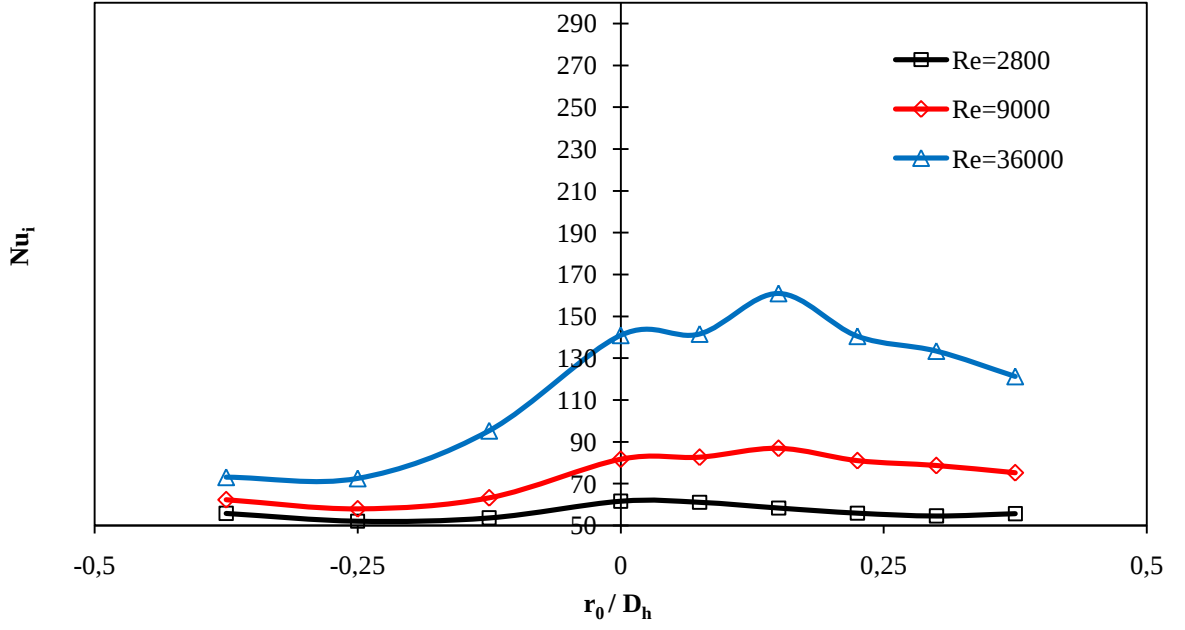
Tek jet kullanılan ve 150° 'lik yüzey açısında elde edilen sonuçlar Şekil 3.23' de H/D_h oranlarına ve Reynolds sayılarına bağlı olarak verilmiştir. 150° 'lik yüzey açısında, yüzey açısının ısı transferine etkisi belirgin olarak görülmüştür. Bu durum için elde edilen Nusselt değerleri dairesel yüzeyin $-r$ bölgesinde artmaya başlamakta ve $+r$ bölgesi boyunca hesaplanan yerel Nusselt sayıları yaklaşık olarak eşit kalmaktadır. Bu durum, jet akımının $+r$ bölgesini yüzey boyunca etkilediğini göstermektedir. Artan H/D_h oranlarında, jet akımının etki alanı büyümüş ve jet akımının merkez çapı büyümektedir. Böylece, Nusselt sayılarının tüm dairesel yüzey boyunca yaklaşık değerlerde kaldığı görülmektedir.



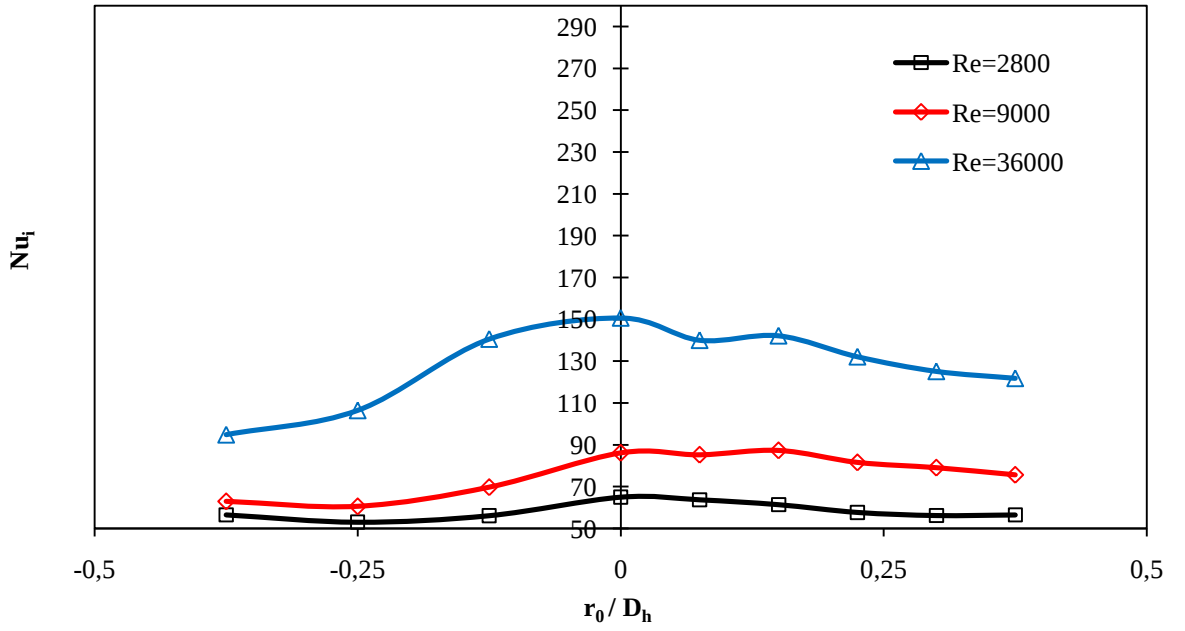
a)



b)



c)

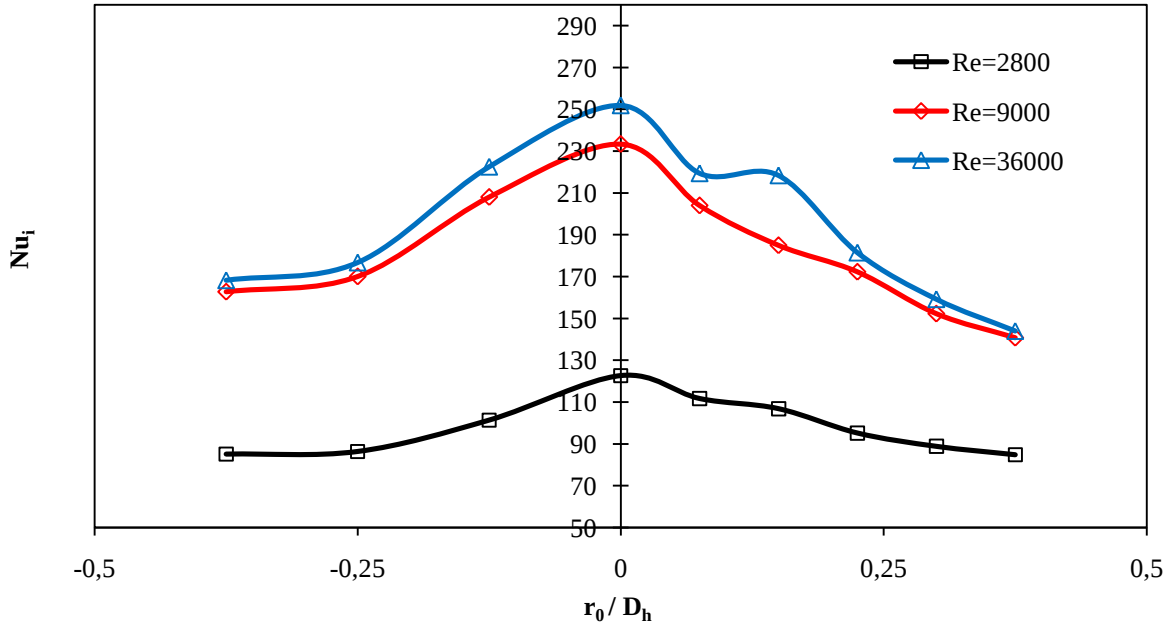


d)

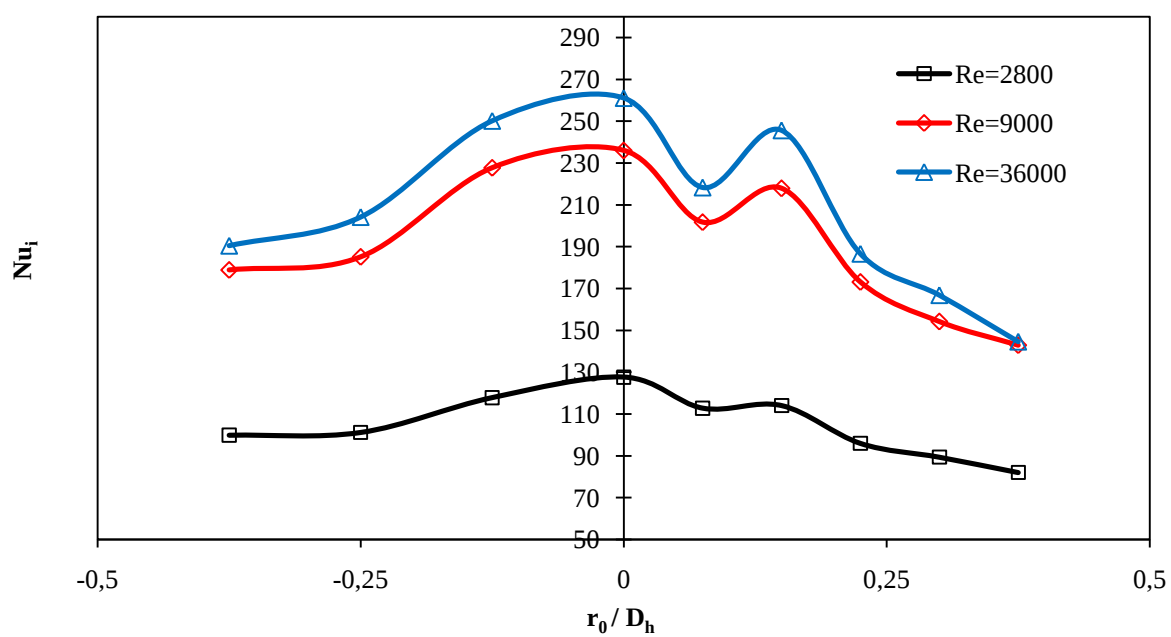
Şekil 3.23. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, tekli jet, $\phi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.4. Üçlü jet 90 derece grafikleri

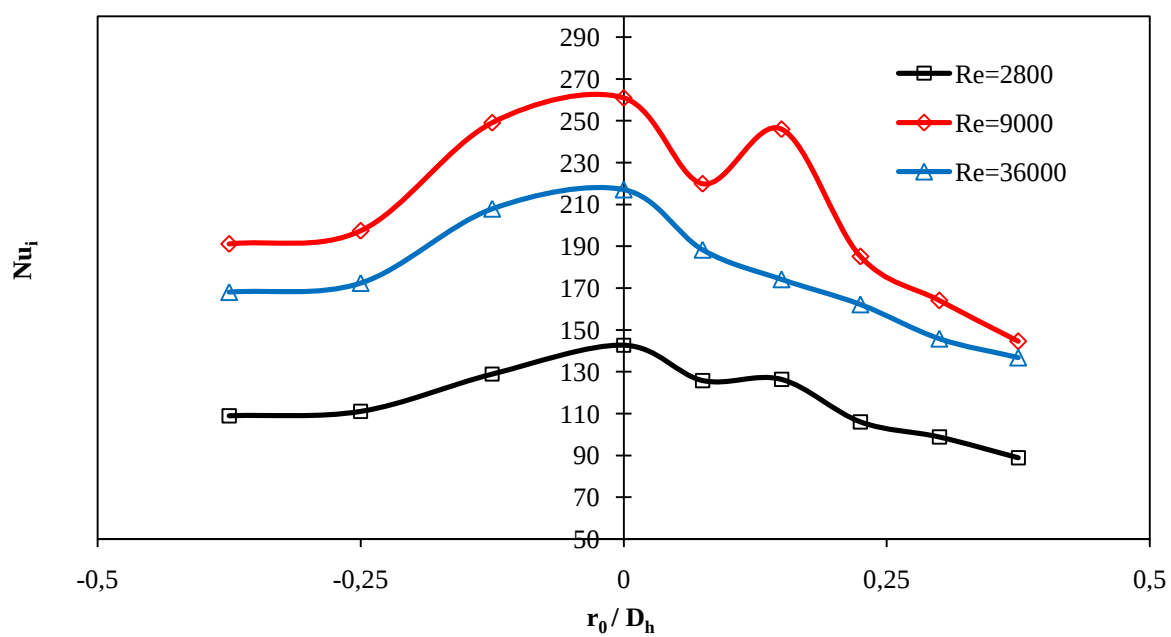
Bu durumda, aynı dairesel yüzeyi soğutmak için üçlü jet kullanılmıştır. Çalışma, üç farklı Reynolds sayısı ve dört farklı H/D_h için tekrarlanmıştır. Üçlü jet ve $\phi = 90^\circ$ için elde edilen sonuçlar Şekil 3.24 (a-d)' de görülmektedir. Tek jet ile üçlü jet durumları karşılaştırıldığında, üçlü jet durumu için ısı transferinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Jet akımının dairesel yüzeye dik olarak çarpması sonucu, dairesel yüzeyin merkezinde yerel Nusselt sayıları oldukça yüksektir. Merkezden her iki yarıçap yönüne doğru ilerledikçe, Nusselt sayılarının yaklaşık simetrik bir şekilde azaldığı görülmektedir. Üçlü jet için yerel Nusselt sayısı grafikleri incelendiğinde $+r$ bölgesinde eğrilerin dalgalandığı görülmektedir. Bu dalgalanmanın, jet merkezlerinin, dairesel yüzeyin $+r$ bölgesindeki farklı yerlere etki etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, düşük Reynolds sayısında ($Re = 2800$) elde edilen Nusselt değerleri tek jet durumundakine göre yüksek olmasına rağmen, yüksek Reynolds sayılarındaki ($Re= 9000, 36000$) Nusselt sayılarından oldukça düşüktür.



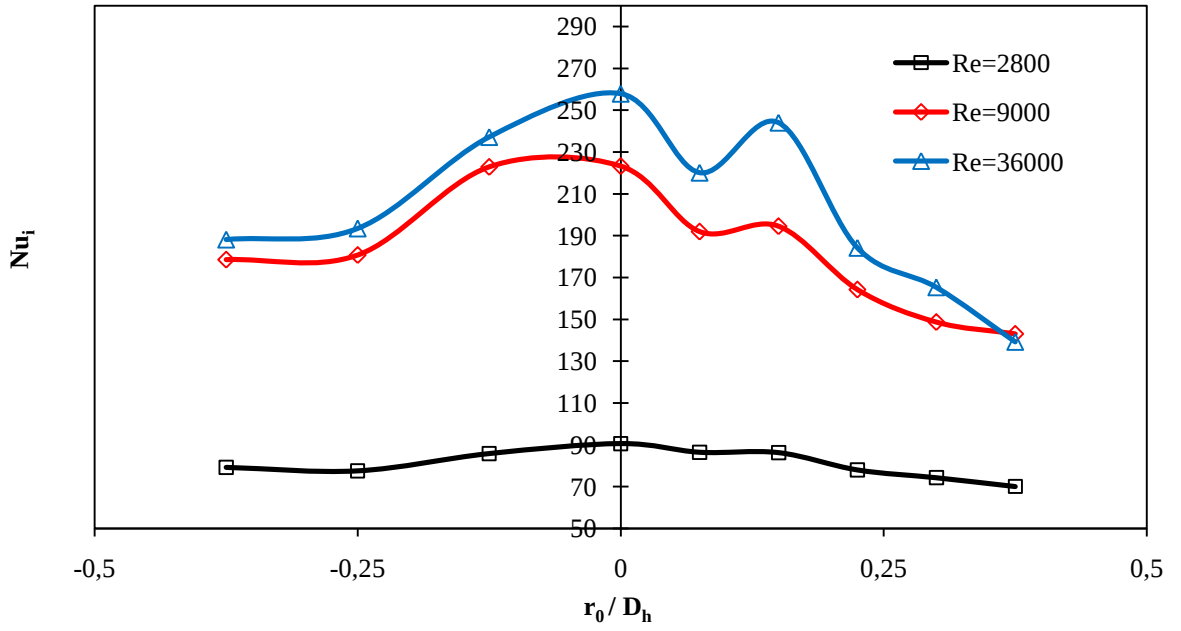
a)



b)



c)

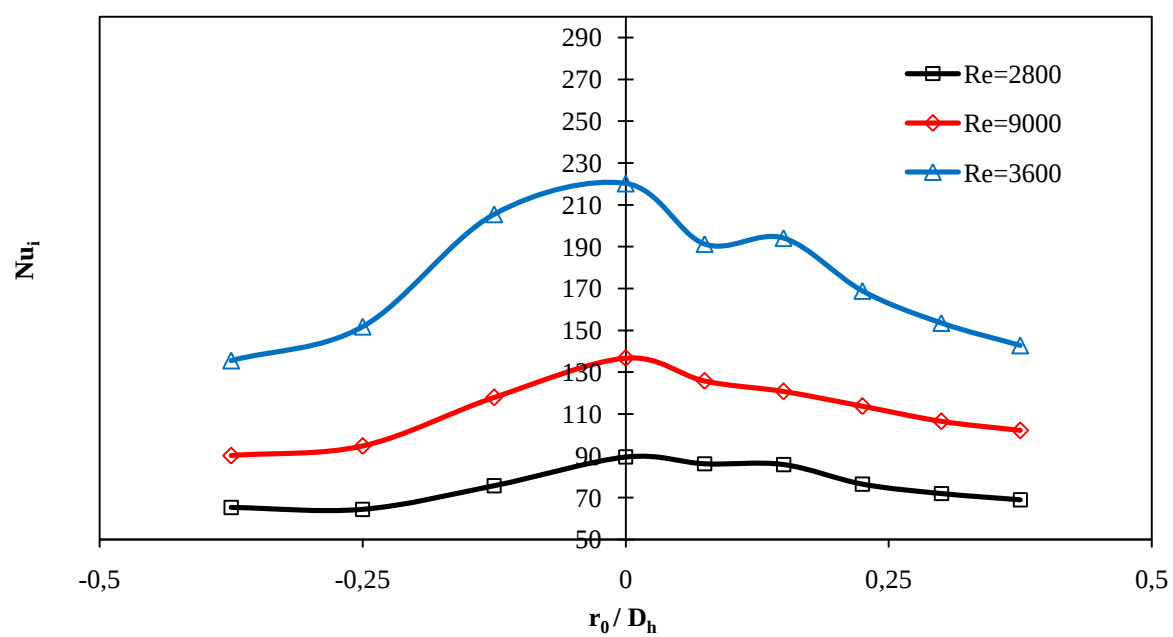


d)

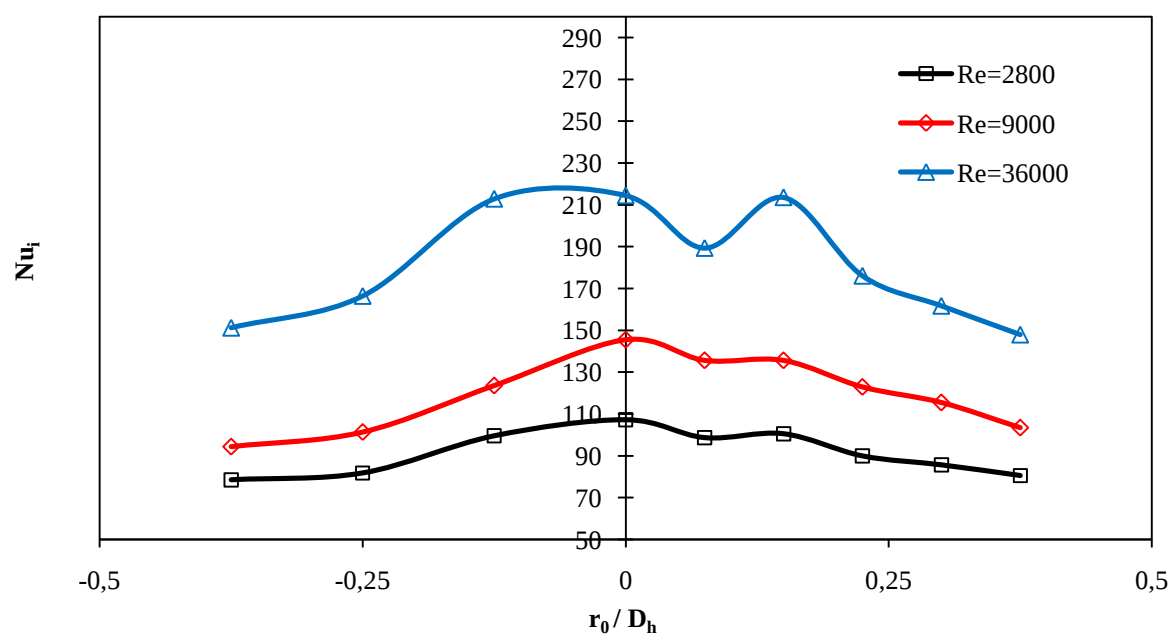
Şekil 3.24. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, üçlü jet, $\phi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.5. Üçlü jet 120 derece grafikleri

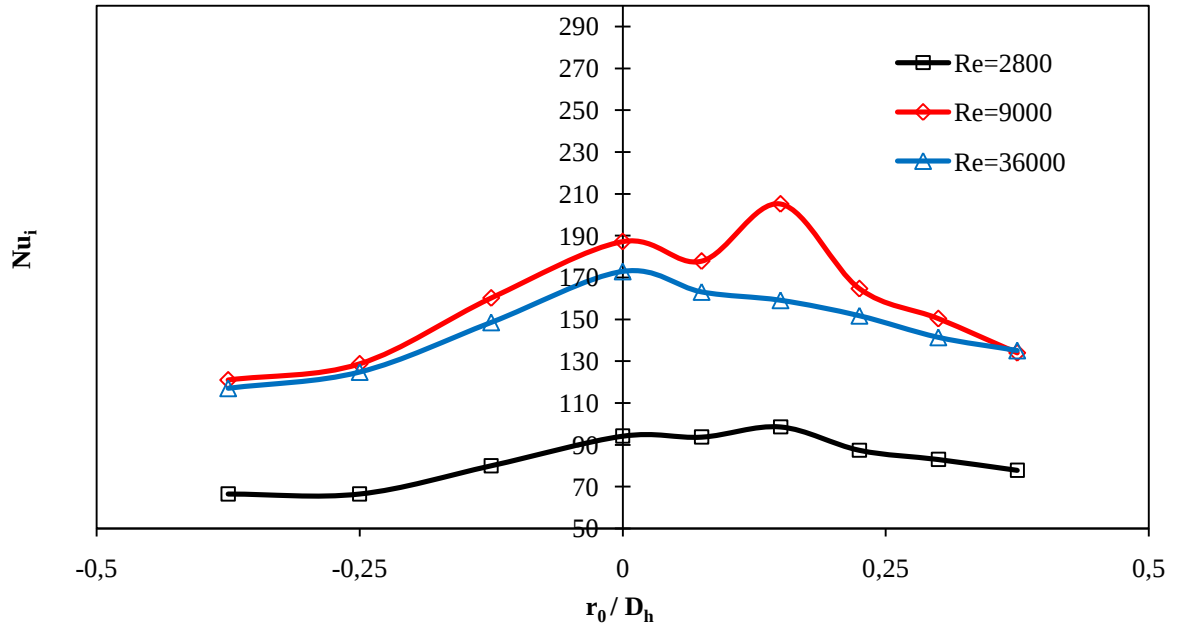
Üçlü jet durumu için yüzey açısının 120° olduğu sonuçlar Şekil 3.25 (a-d)' de görülmektedir. Yüzey açısıyla birlikte, jet merkezlerinin çarptığı bölgeler ve çarpma açıları değişmektedir. Böylece, yerel Nusselt sayıları $-r$ bölgesinden artmaya başlamıştır ve her bir Reynolds sayısı için yüzey boyunca elde edilen yerel Nusselt sayıları arasındaki fark azalmıştır. Ayrıca, yüzey açısının etkisiyle, $+r$ bölgesindeki ölçüm noktaları için, hesaplanan yerel Nusselt sayıları arasındaki fark azalmıştır. Farklı jet merkezlerinin etkisi ile meydana gelen dalgalanma açılı durumda da devam etmektedir.



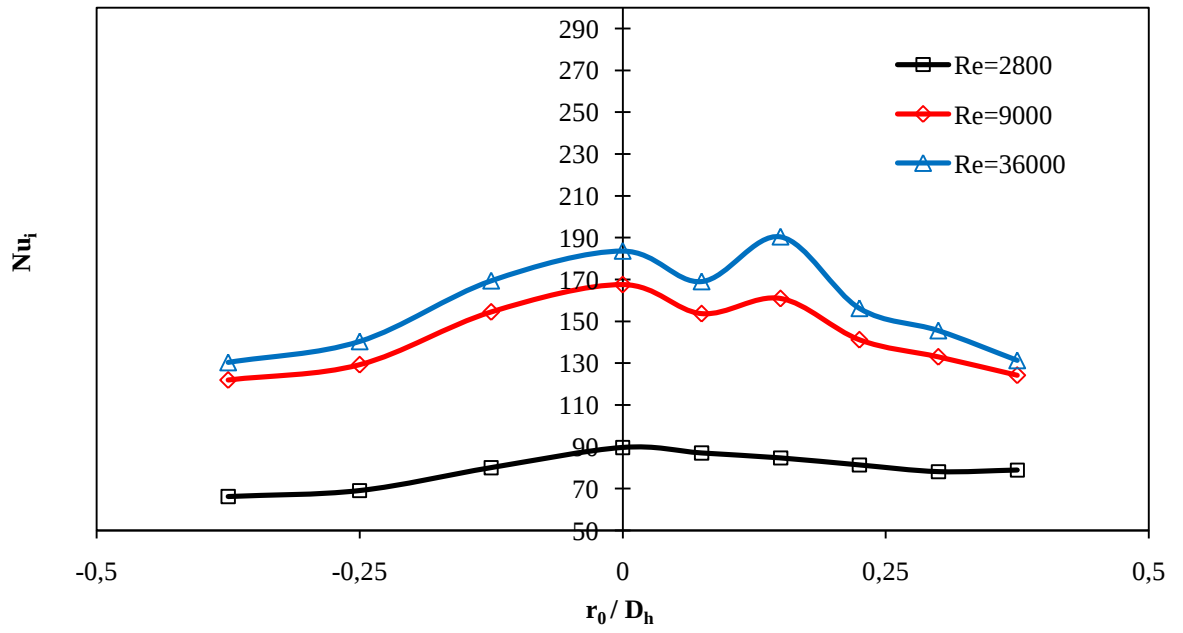
a)



b)



c)

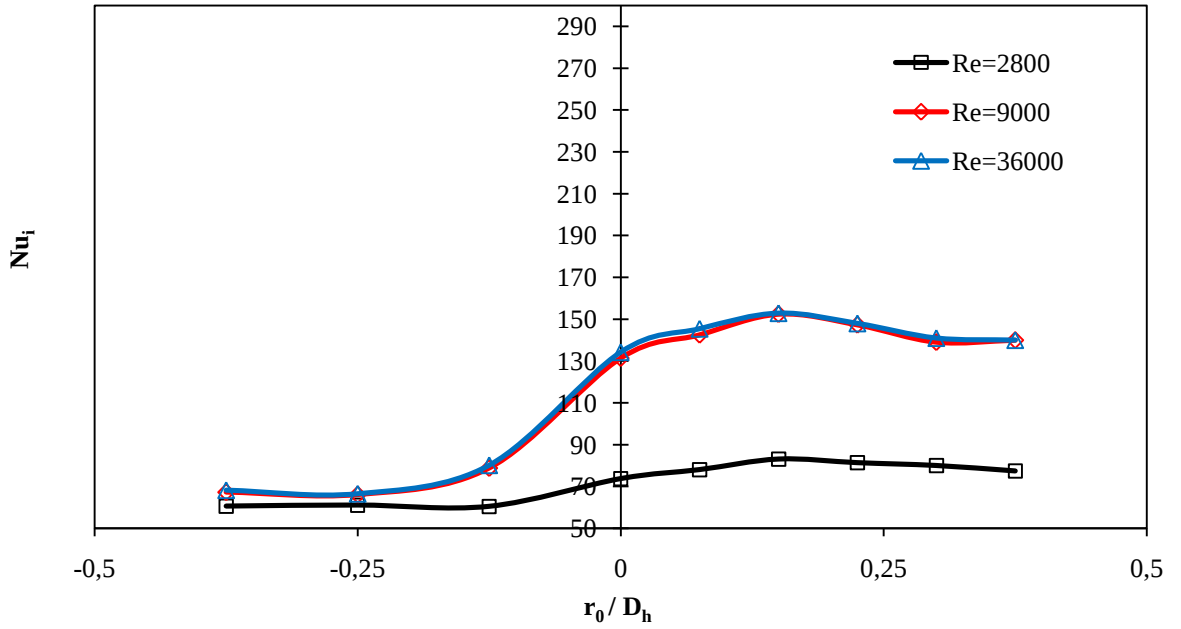


d)

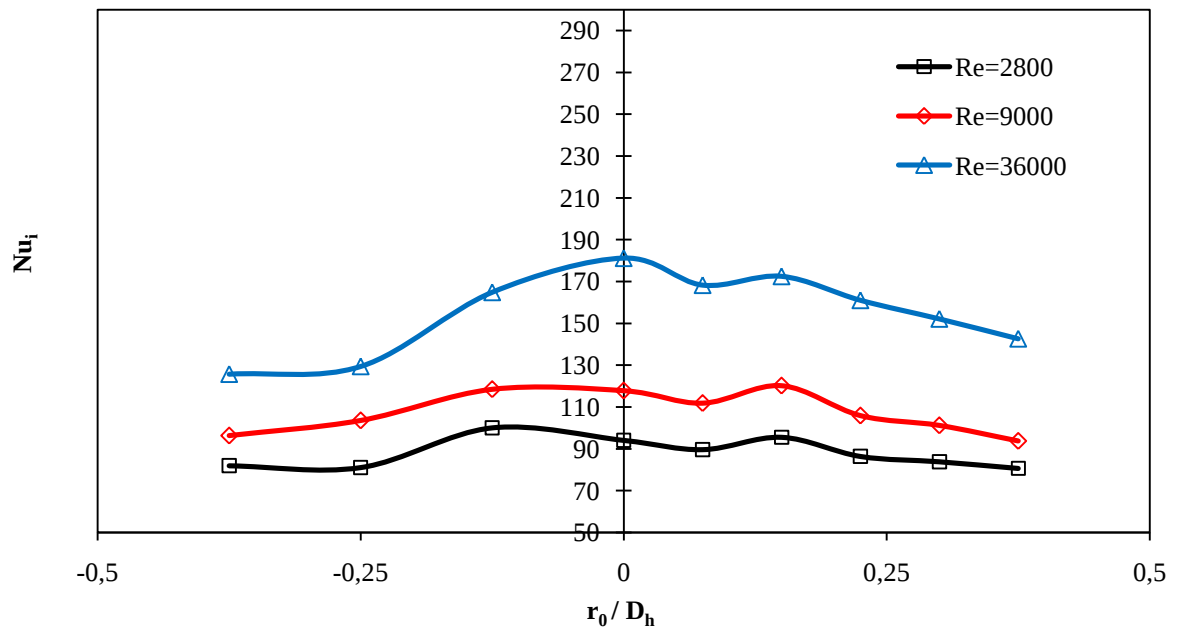
Şekil 3.25. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, üçlü jet, $\phi = 120^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.6. Üçlü jet 150 derece grafikleri

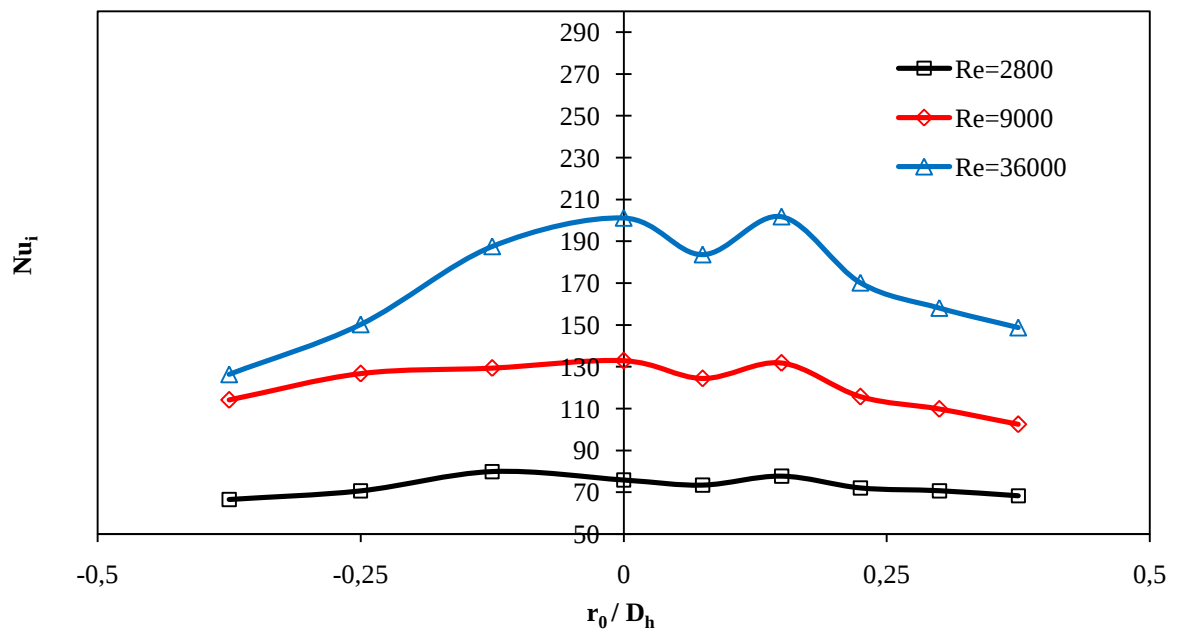
Üçlü jet ve 150° yüzey açısında elde edilen sonuçlara göre hesaplanan yerel Nusselt sayıları Şekil 3.26 (a-d)' de görülmektedir. Yüzey açısı arttıkça, +r bölgesinde yerel Nusselt sayıları arasındaki fark azalmıştır. Farklı jet merkezlerinin etki ettiği alanlar, yüzey açısının artmasıyla eğrilerde belirgin değişimlere ve dalgalanmalara neden olmuştur. H/D_h oranı arttıkça jet merkezleri soğutulan yüzeyi daha fazla etkilemekte ve ısı transferi yüzey boyunca yaklaşık stabil kalmaktadır.



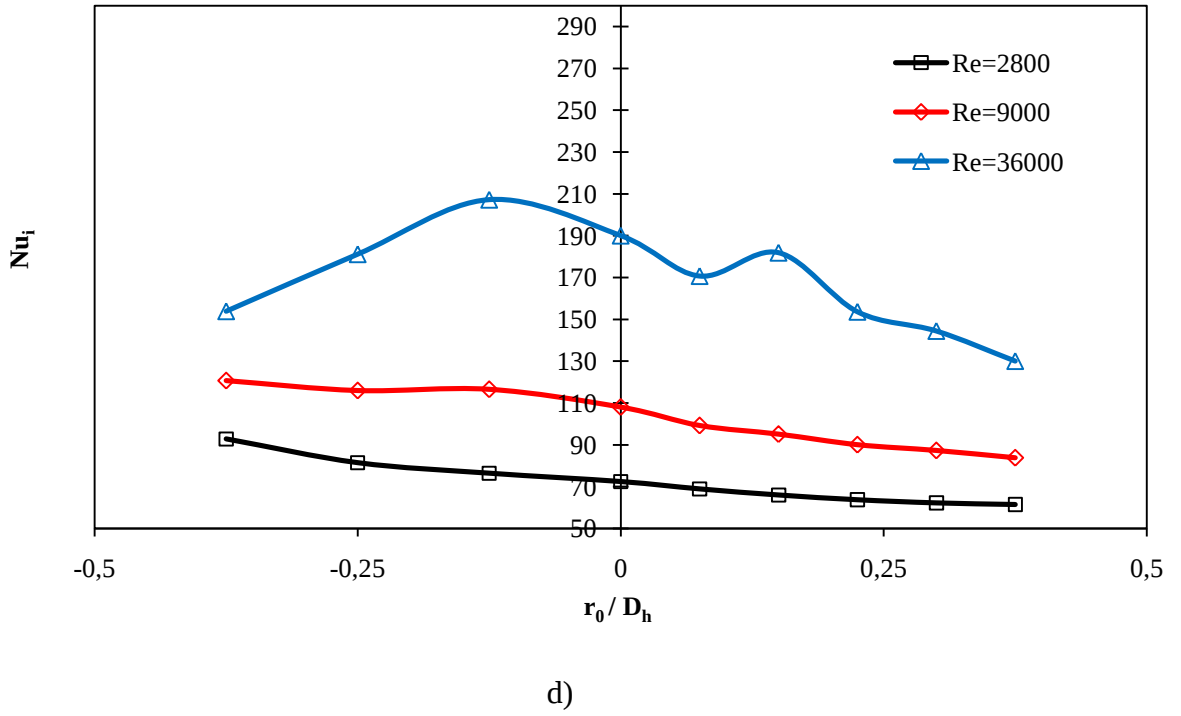
a)



b)



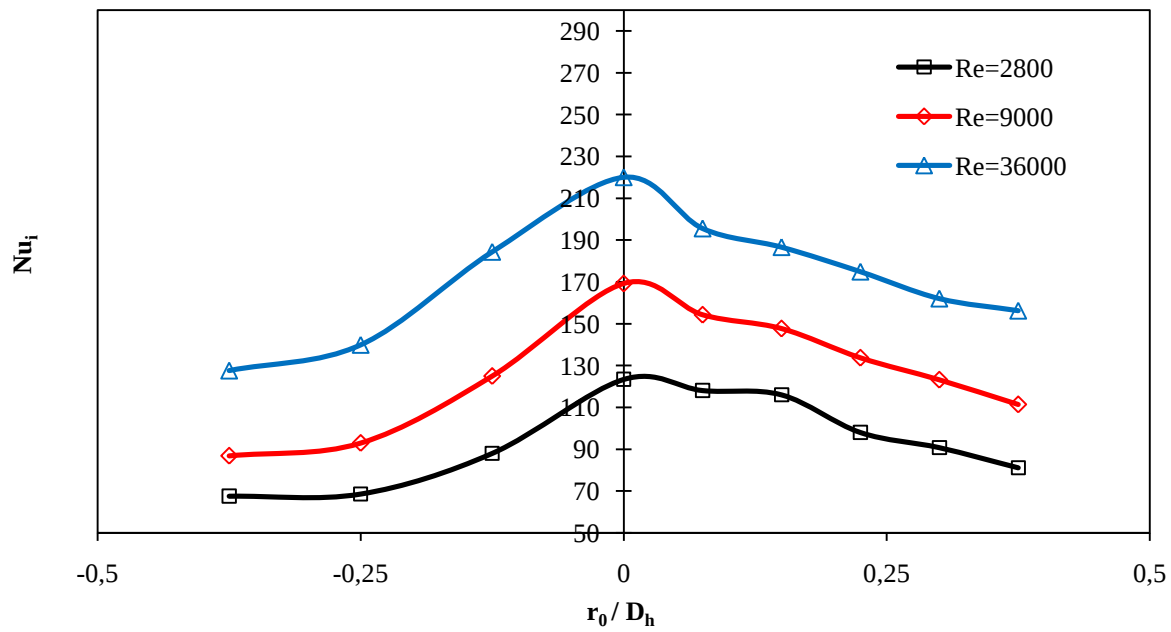
c)



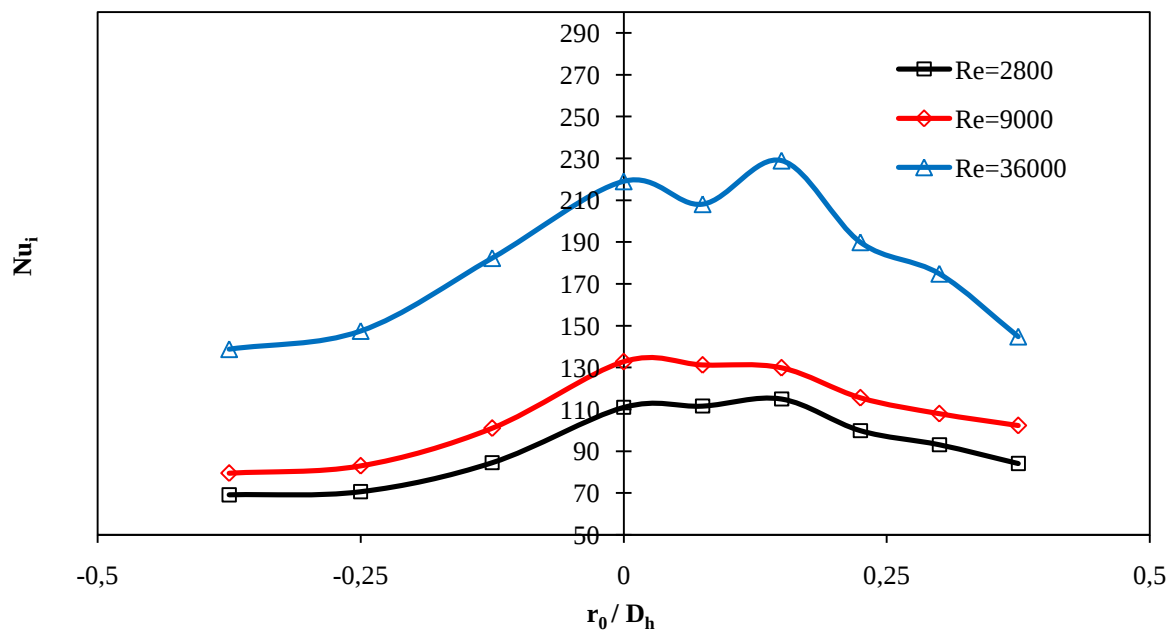
Şekil 3.26. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, üçlü jet, $\phi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.7. Altılı jet 90 derece grafikleri

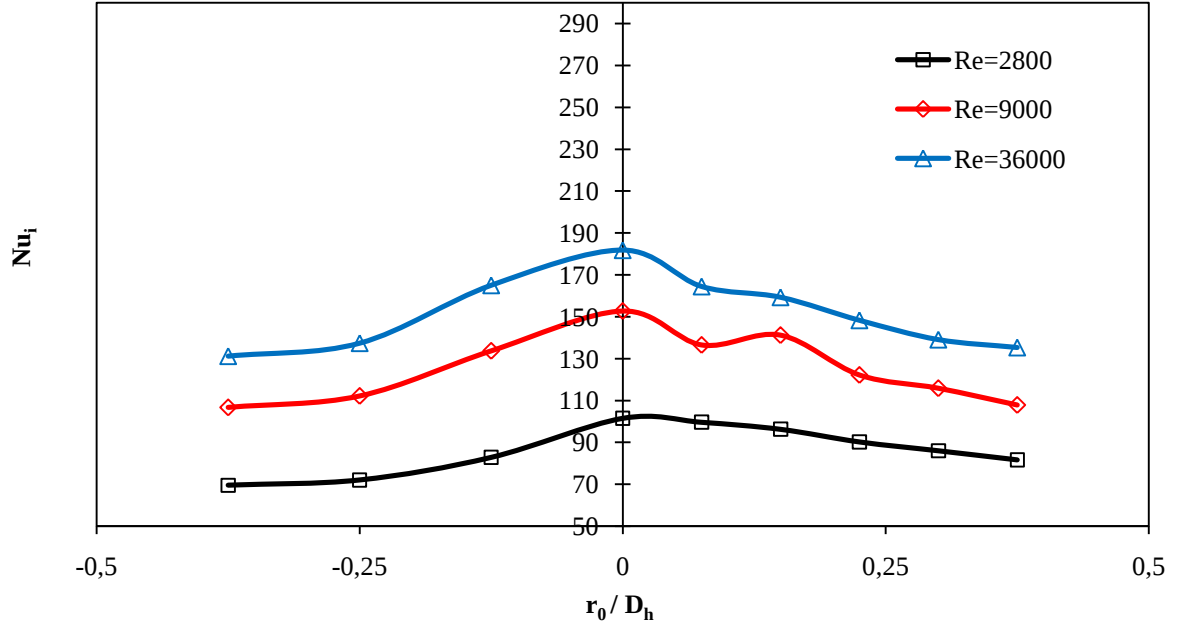
Bu durumda, jet akımı altılı jet kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma, 90° , 120° ve 150° yüzey açılarında, 2800, 9000 ve 36000 Reynolds sayılarında ve 5,10,15 ve 25 olmak üzere dört farklı H/D_h oranında tekrarlanmıştır. Altılı jet $\phi = 90^\circ$ için elde edilen sonuçlar Şekil 3.27 (a-d)' de görülmektedir. Altı jet durumunda maksimum yerel Nusselt sayıları tekli jet durumuna göre daha düşük kalmaktadır. Fakat, hesaplanan minimum yerel Nusselt sayılarının, tekli jet durumuna göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, altılı jet durumunda yüzey boyunca meydana gelen ısı transferi yükselirken, dairesel yüzeyin merkezindeki maksimum ısı transferi düşmektedir. $\phi = 90^\circ$ için elde edilen yerel Nusselt sayıları, altılı jet durumunda da merkeze göre yaklaşık simetrik dağılmaktadır. Eğrilerde, $+r$ bölgesinde oluşan dalgalanmaların jet merkezlerinin farklı noktalara çarpmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



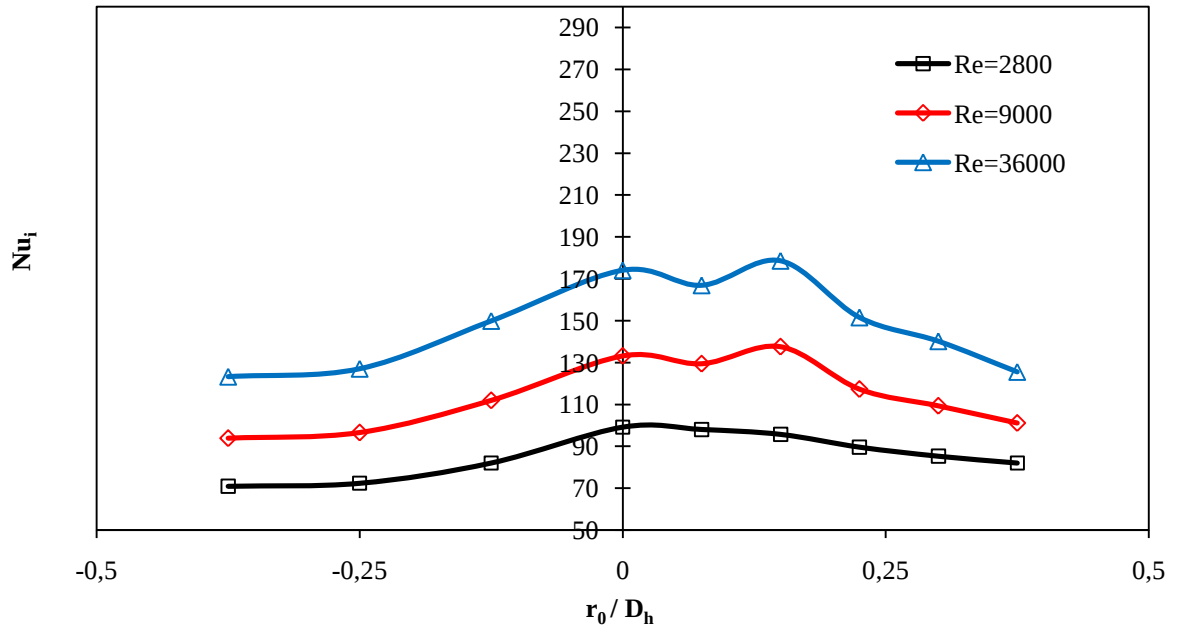
a)



b)



c)

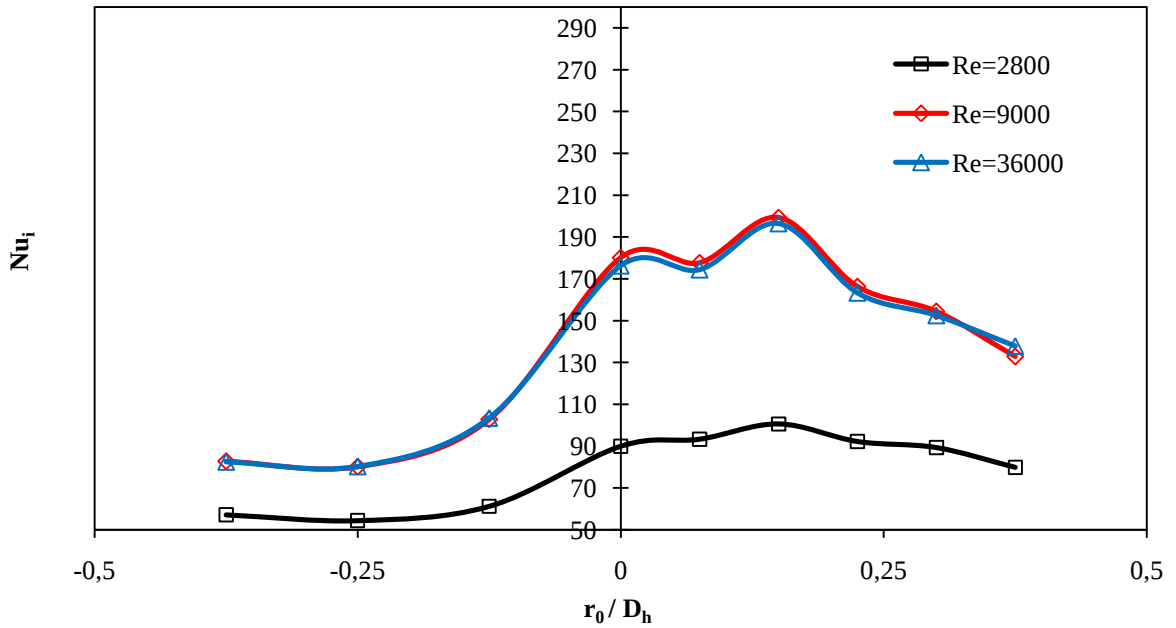


d)

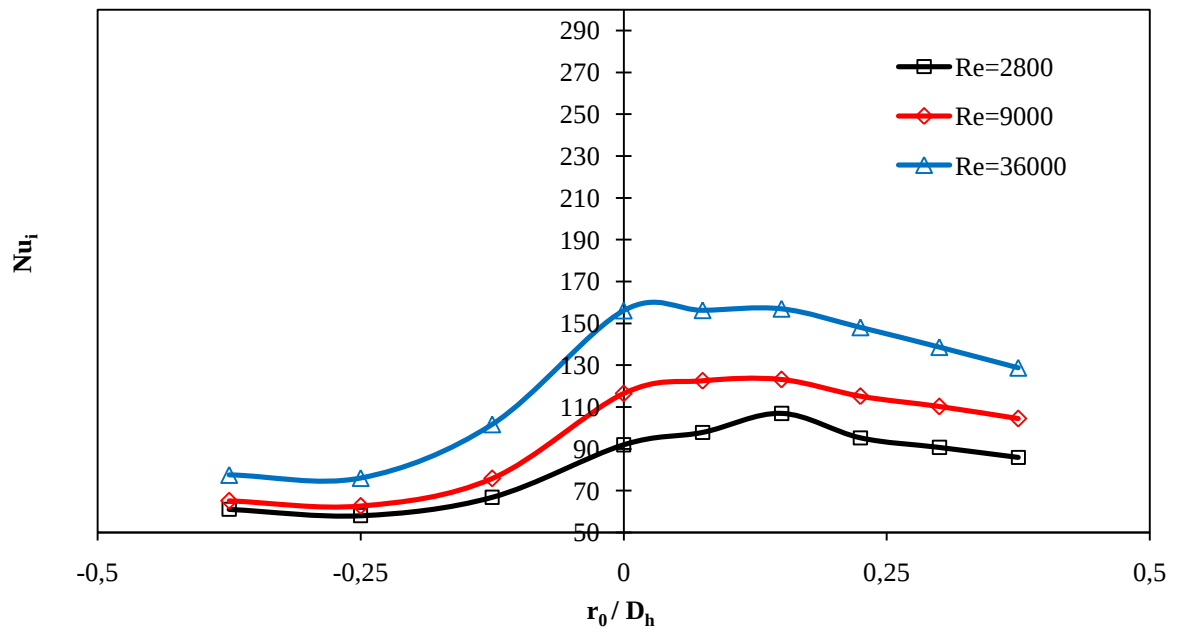
Şekil 3.27. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, altılı jet, $\phi = 90^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.8. Altılı jet 120 derece grafikleri

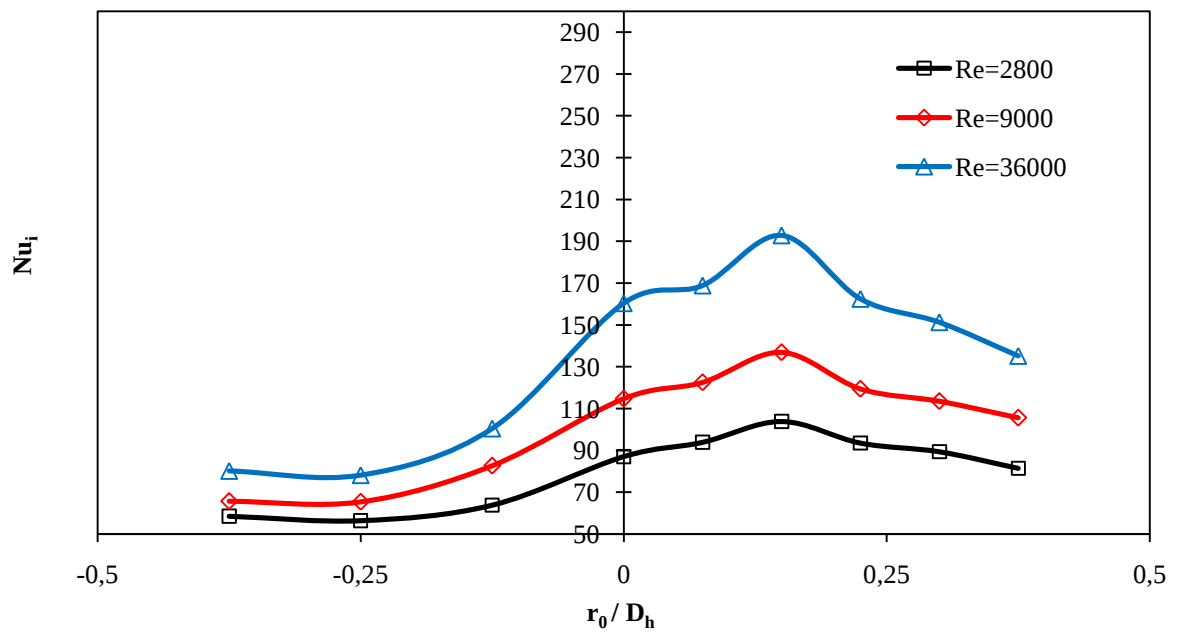
Altılı jet durumunda yüzey açısı $\phi = 120^\circ$ için elde edilen yerel Nusselt sayıları Şekil 3.28 (a-d)' de görülmektedir. Yüzey açısının etkisi grafiklerde, +r bölgesinde ısı transferi artışı ve bu bölgede hesaplanan yerel Nusselt değerlerinin birbirine yakın olması olarak görülmektedir. Aynı zamanda -r bölgesinde ve dairesel yüzeyin kenarına yakın bölgelerde, jet akımının arkasında kalması ve akımdan az etkilenmesi sebebiyle yerel Nusselt sayılarında düşme görülmüştür. Jet merkezlerinin çarpma noktalarının farklı olmasına bağlı olarak dalgalanmalar 120° yüzey açısında da devam etmektedir. Reynolds sayıları arttıkça ısı transferi artmakta ve artan H/D_h oranlarında yüzey boyunca hesaplanan yerel Nusselt sayıları birbirine yaklaşmaktadır.



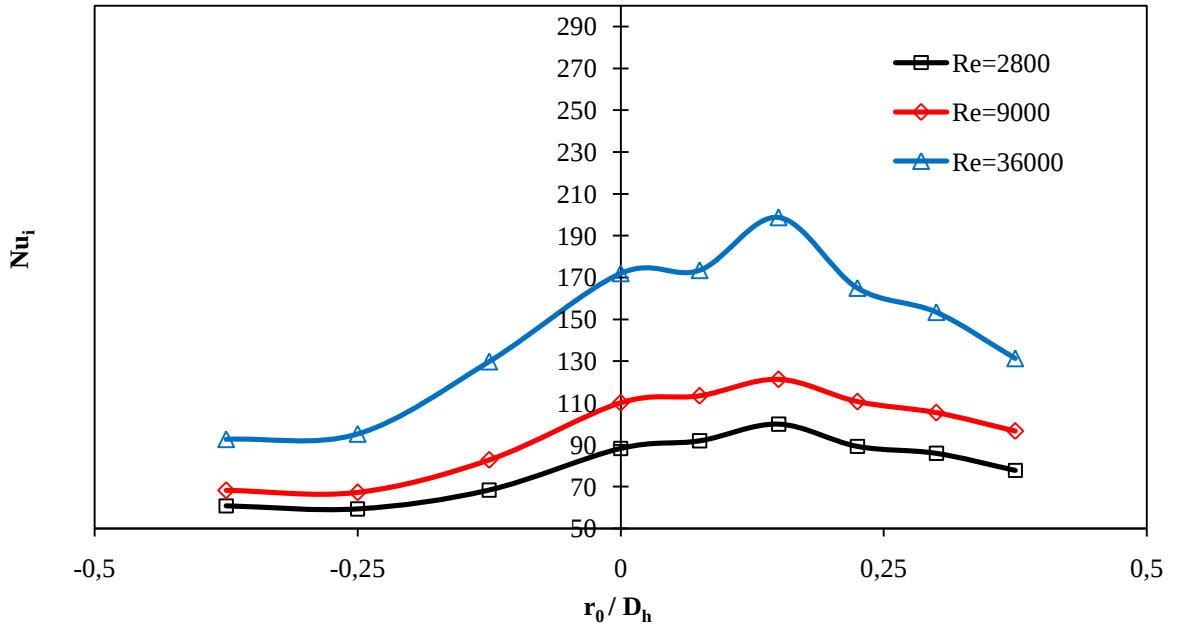
a)



b)



c)

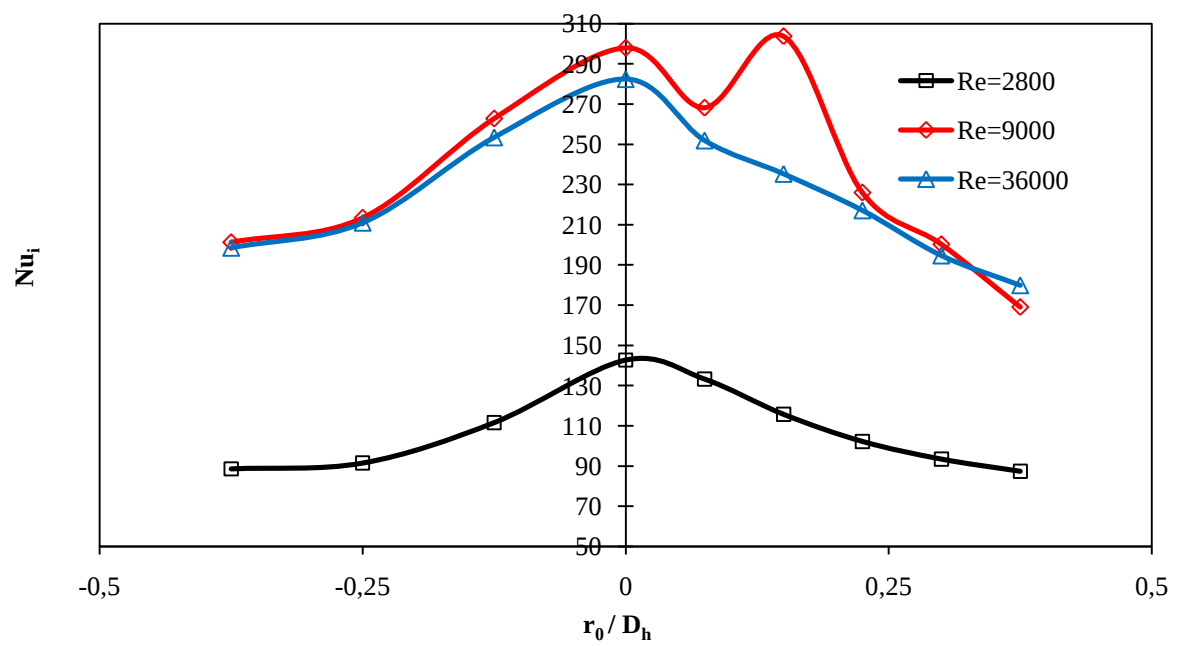


d)

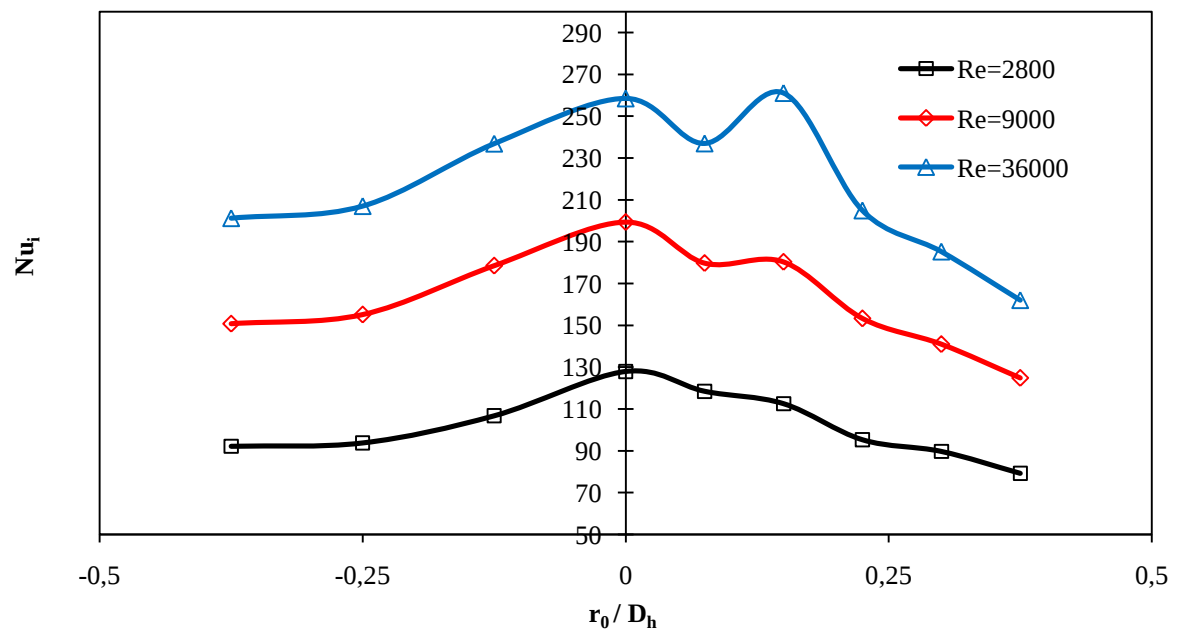
Şekil 3.28. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, altılı jet, $\phi = 120^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.9. Altılı jet 150 derece grafikleri

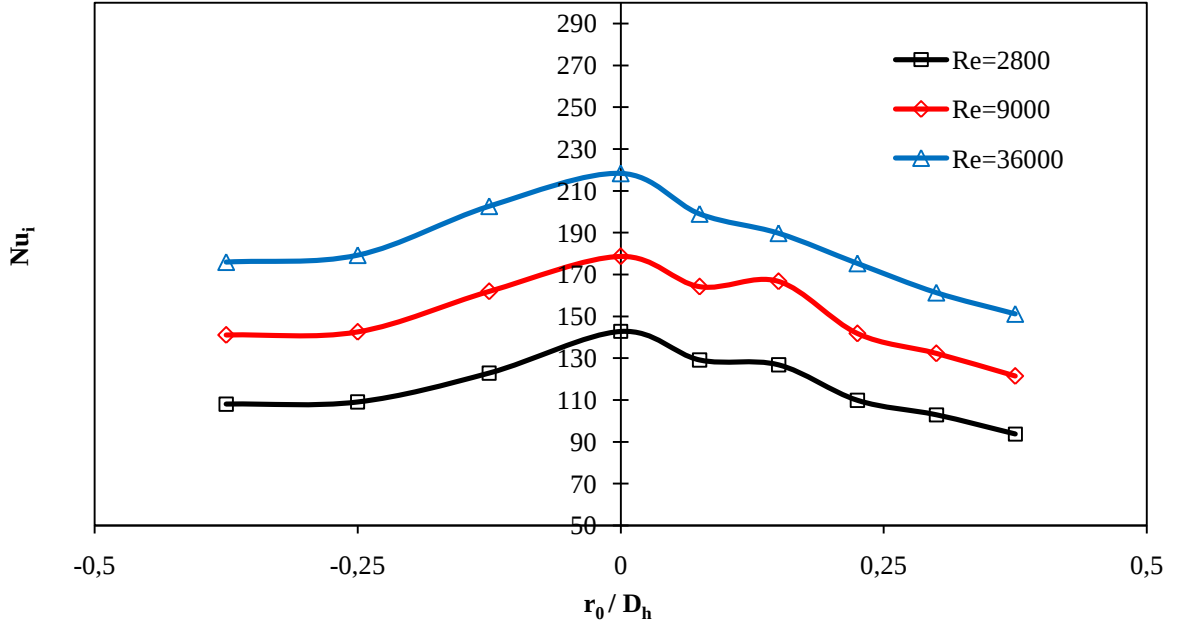
Altılı jet ve $\phi = 150^\circ$ durumu için yerel Nusselt sayısı değişimleri Şekil 3.29 (a-d)'de görülmektedir. Altılı jet durumunda $\phi = 150^\circ$ iken yerel Nusselt sayılarında belirgin bir artış görülmektedir. Özellikle düşük H/D_h oranlarında ($H/D_h = 5, 10$) ve dairesel kesitli yüzeyin merkez noktasından başlamak üzere, tüm yüzey boyunca yerel Nusselt sayıları artmaktadır. Artan H/D_h oranlarında ısı transferi de düşmekte ve jet akımı tüm yüzeyi etkilemektedir. Böylece, yüzey boyunca hesaplanan yerel Nusselt sayıları arasındaki fark azalmaktadır. Eğrilerdeki dalgalanma düşük H/D_h oranlarında daha belirgin olmakla birlikte devam etmektedir.



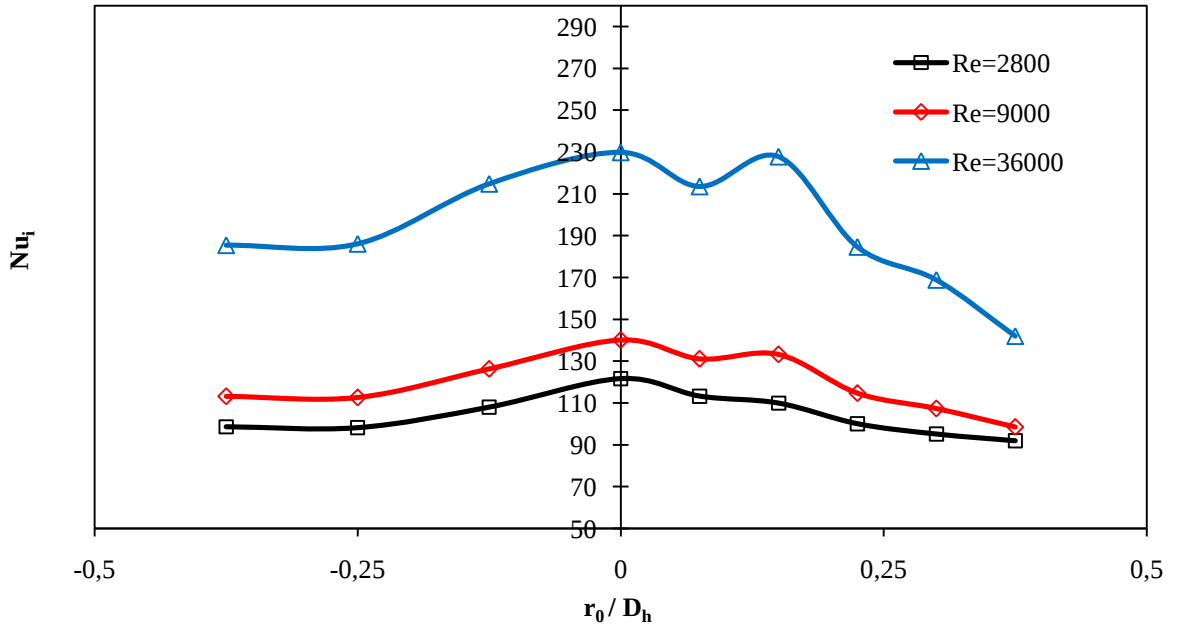
a)



b)



c)

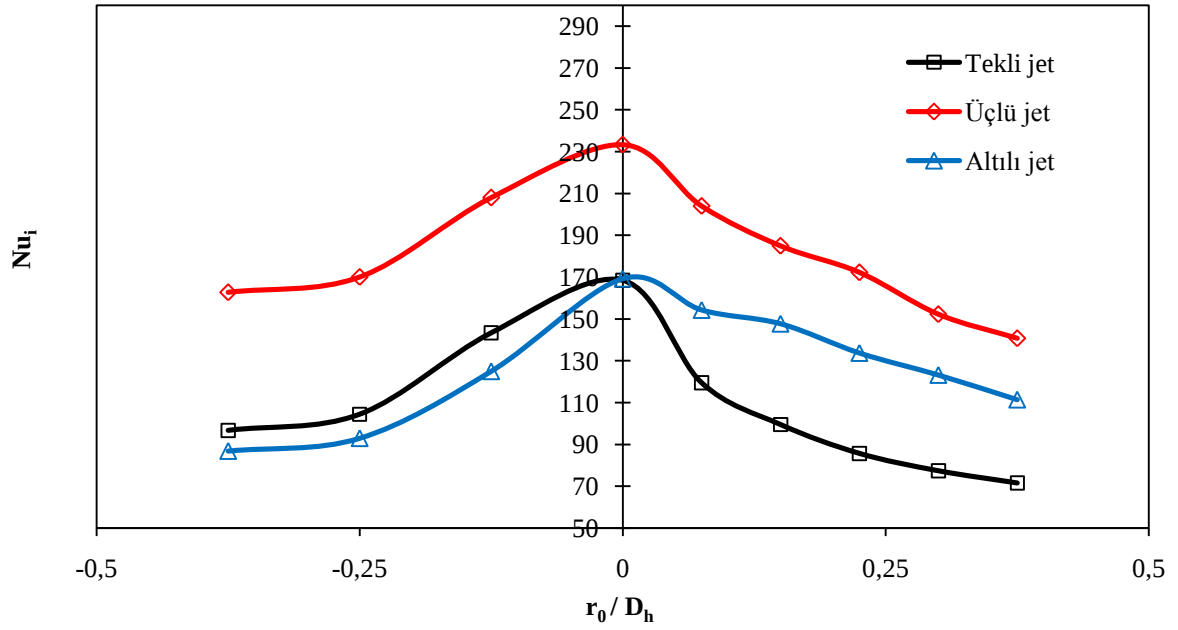


d)

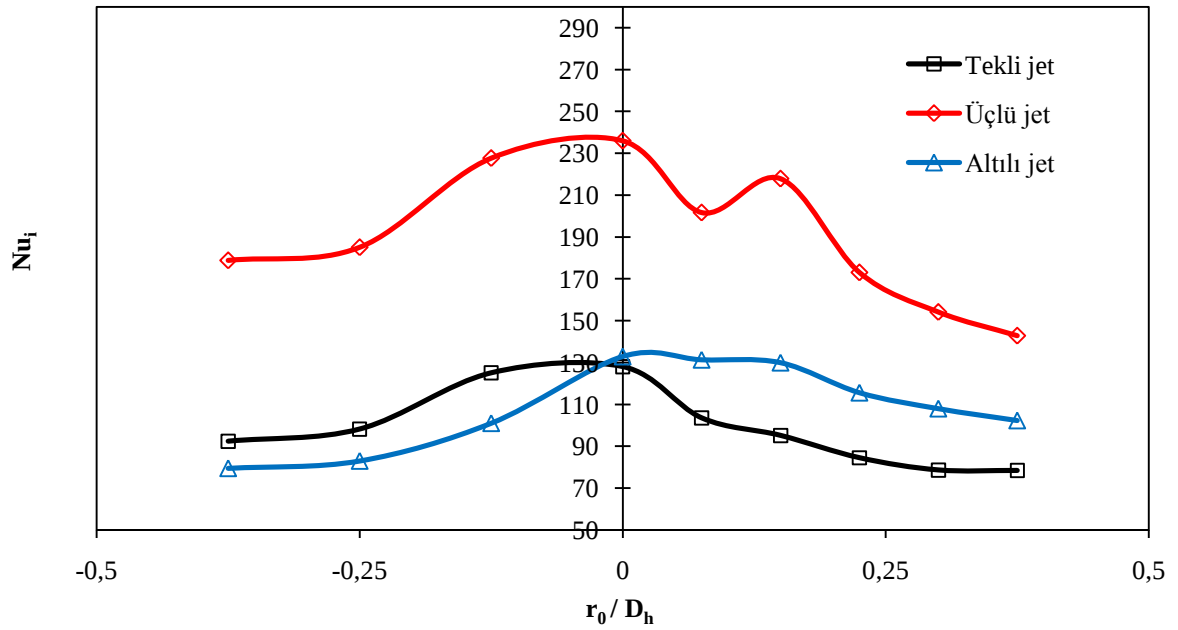
Şekil 3.29. Daire merkezinde yerel Nusselt sayılarının değişimi, altılı jet, $\phi = 150^\circ$,
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

3.3.10. Yerel Nusselt sayılarının değişiminde sıralı jetin etkisi

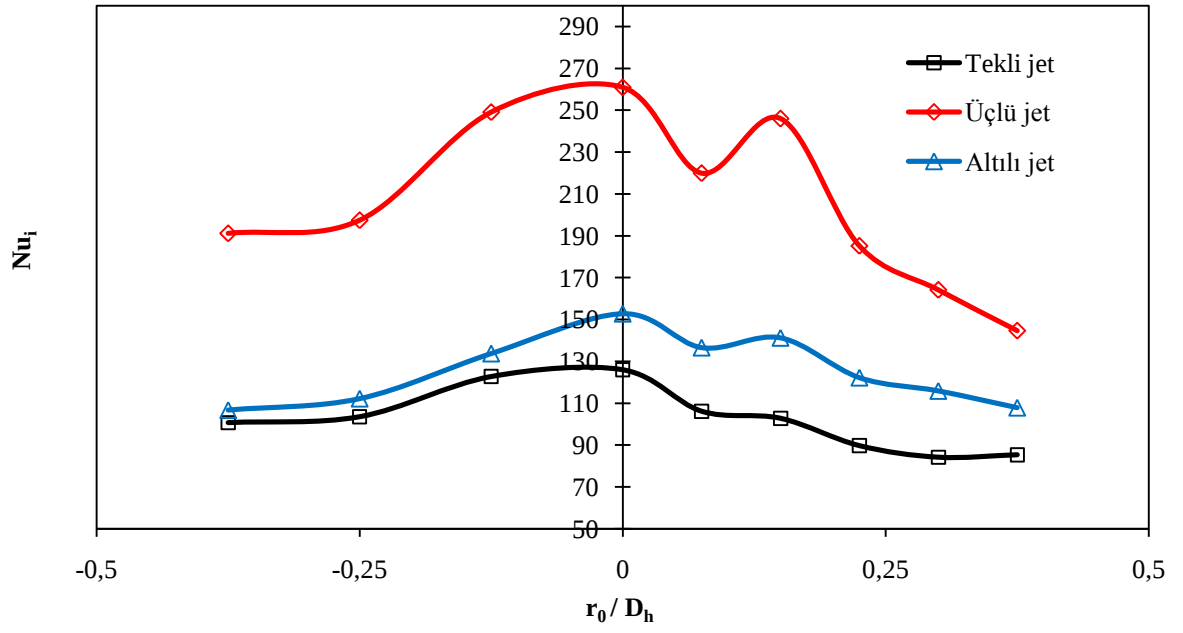
Yerel Nusselt sayılarının sıralı jet üzerindeki etkileri Şekil 3.30 (a-d) 'de görülmektedir. Bu durumda yine farklı H/D_h değerleri için verilmiştir. En iyi ısı transferi H/D_h değerlerinden bağımsız olarak üçlü jet durumu için elde edilmektedir.



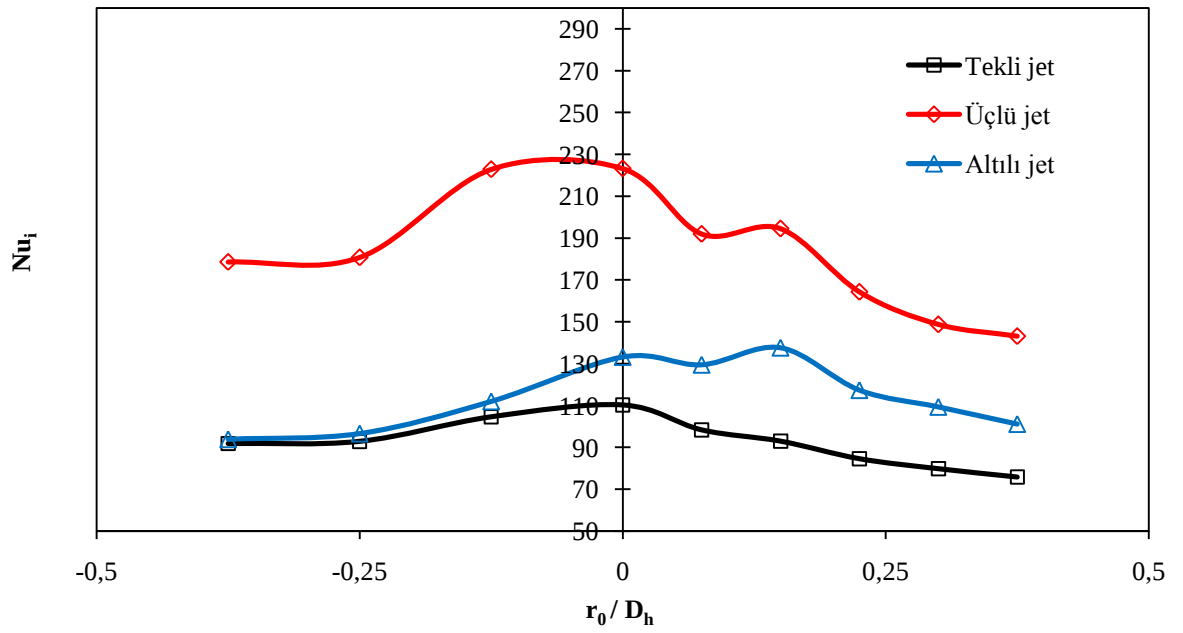
a)



b)



c)



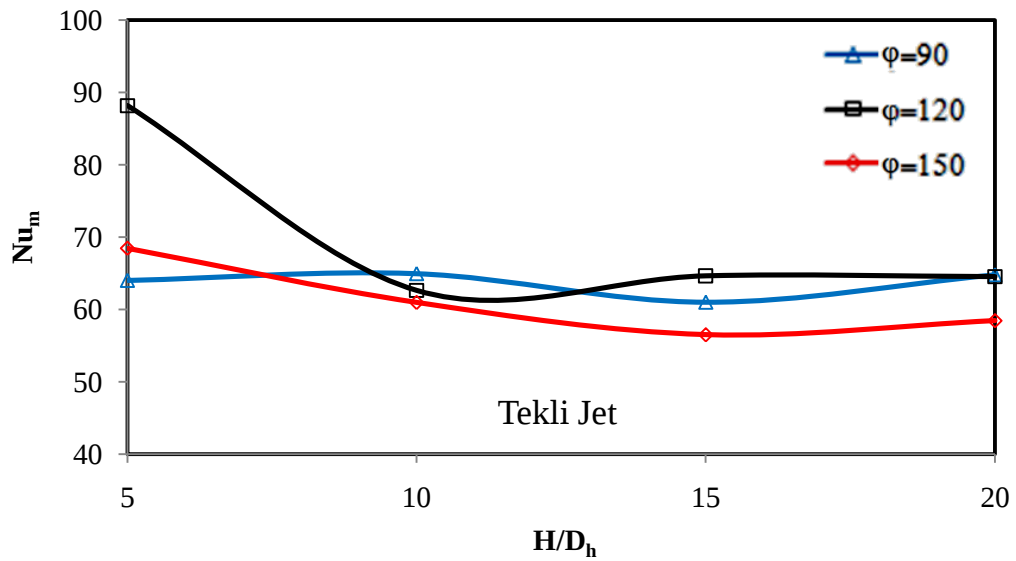
d)

Şekil 3.30. Yerel Nusselt sayılarının değişiminde sıralı jetin etkisi, $\phi = 90^\circ$, $Re=9000$
a) $H/D_h = 5$, b) $H/D_h = 10$, c) $H/D_h = 15$, d) $H/D_h = 20$

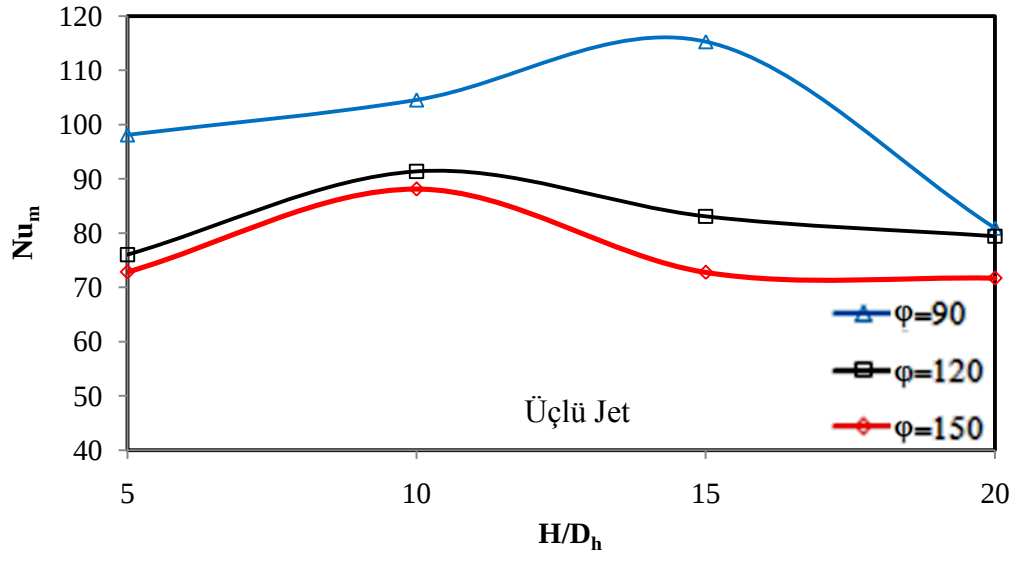
3.4. Ortalama Nusselt sayılarının değişimi

3.4.1. $Re=2800$ için ortalama Nusselt sayısı değişimleri

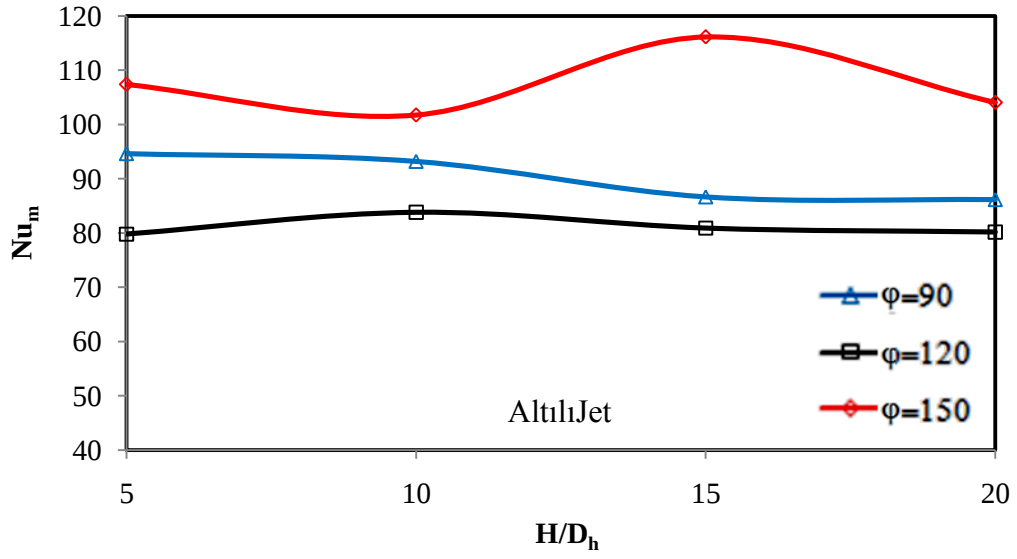
Çalışmada, dairesel kesitli yüzeydeki ısı transferi, Reynolds sayılarının ve H/D_h oranlarının bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Yüzey boyunca elde edilen ortalama Nusselt sayıları, üç farklı yüzey açısı ve farklı jet durumları için Şekil 3.31de görülmektedir. Reynolds sayısı 2800 için elde edilen sonuçlarda, düşük H/D_h oranlarında yüzey açısının ısı transferine çok fazla etki ettiği görülmektedir. H/D_h oranı artıkça ortalama Nusselt satıları birbirine yaklaşmış ve yaklaşık olarak stabil kalmıştır. Düşük H/D_h oranlarında en yüksek ortalama Nusselt sayıları her jet durumu için farklı açılarda meydana gelmiştir.



a)



b)

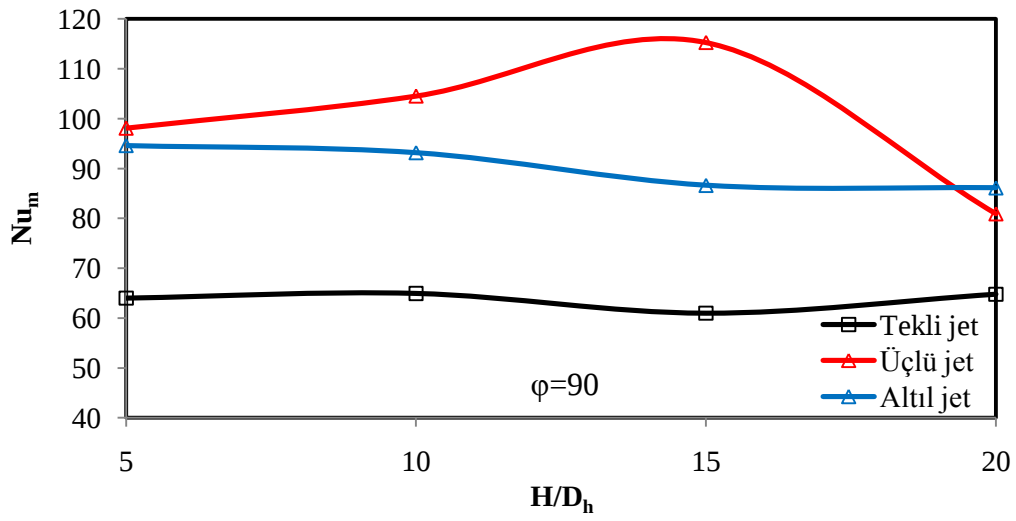


c)

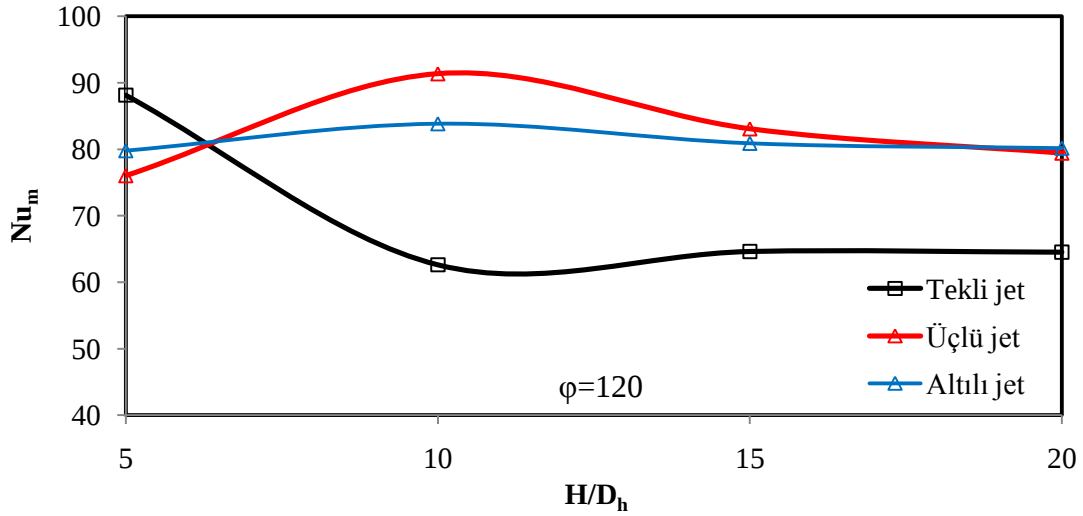
Şekil 3.31. Re=2800 için ortalama Nusselt sayısı değişimleri,
a) Tekli Jet, b) Üçlü Jet, c) Altılı Jet

3.4.2. Re=2800 için Ortalama Nusselt sayısı değişimlerine sıralı jetin etkisi

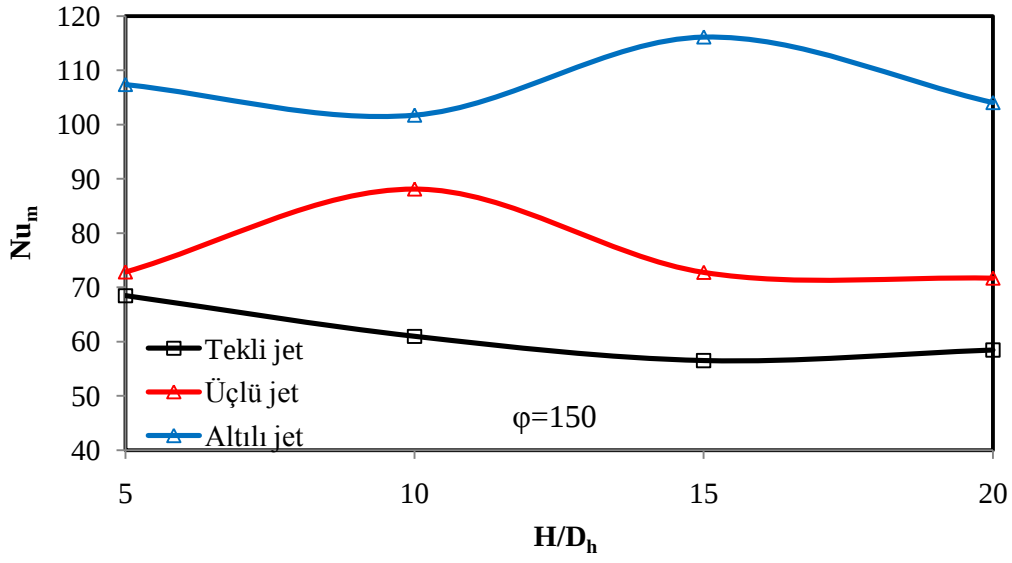
Farklı yüzey açıları ve farklı jet durumları için elde edilen ortalama Nusselt sayısı değişimleri Şekil 3.32' de verilmektedir. Grafiklerde sıralı jet kullanımının ısı transferine etkisi görülmektedir. Sıralı jetlerin, tekli jete göre daha yüksek ısı transferi sağladıkları, hesaplanan ortalama Nusselt sayılarından elde edilen önemli bir sonuçtur. Ayrıca, artan H/D_h oranlarında ortalama Nusselt sayıları arasındaki fark düşmektedir.



a)



b)

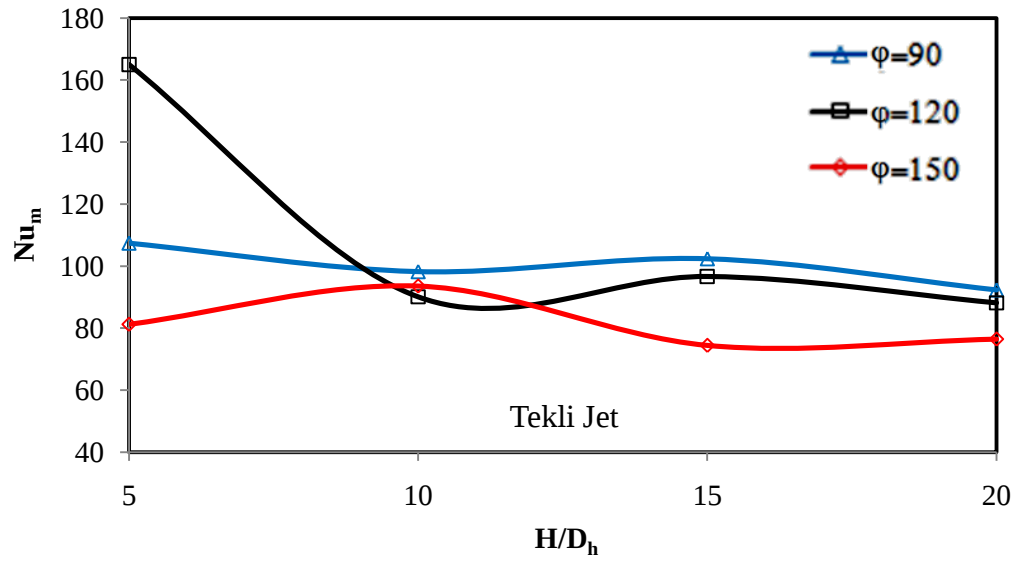


c)

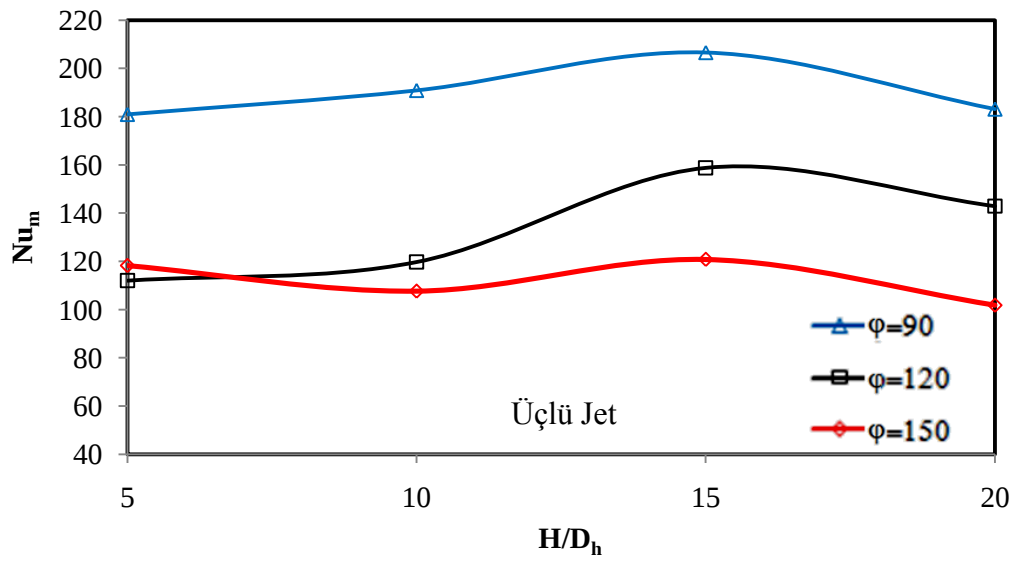
Şekil 3.32. Re=2800 için ortalama Nusselt sayısı değişimleri,
a) $\phi=90^\circ$, b) $\phi=120^\circ$, c) $\phi=150^\circ$

3.4.3. Re=9000 için ortalama Nusselt sayısı değişimleri

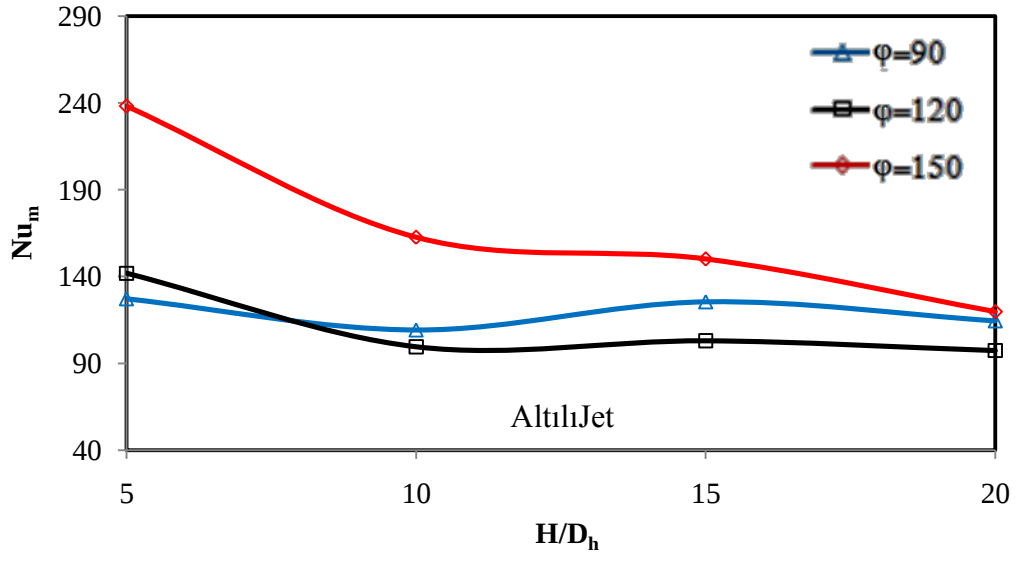
Reynolds sayısı yükseldikçe ortalama Nusselt sayıları da artış göstermektedir. Re = 9000 için farklı jet durumlarında ve farklı yüzey açılarında elde edilen ortalama Nusselt sayıları Şekil 3.33’ de verilmektedir. Her jet durumu için maksimum ısı transferinin meydana geldiği yüzey açısı değişim göstermektedir. Düşük H/D_h oranlarında, her bir yüzey açısı için hesaplanan ortalama Nusselt sayıları arasındaki fark yüksekken, artan H/D_h oranlarında hesaplanan ortalama Nusselt sayıları birbirine yaklaşmıştır.



a)



b)

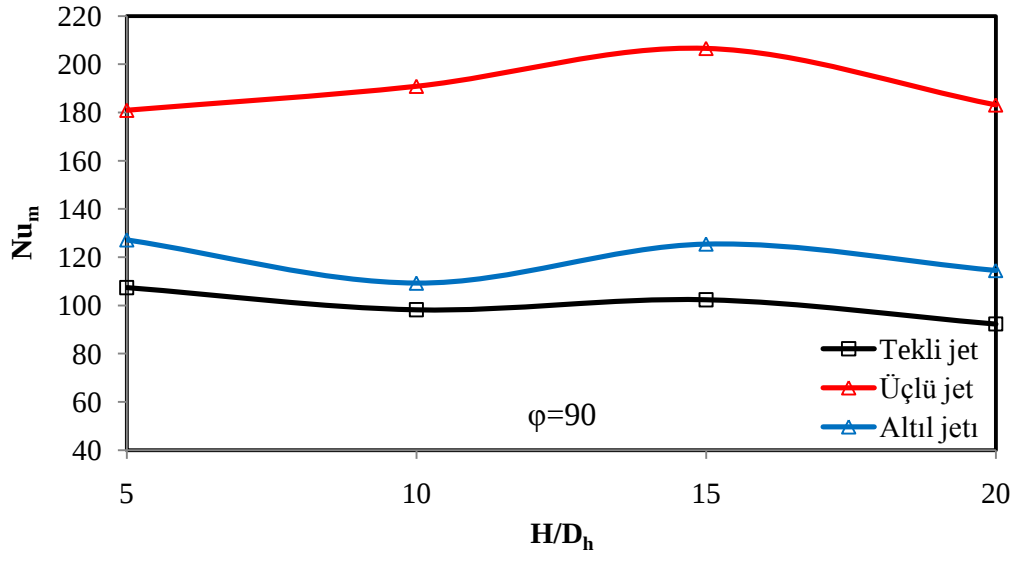


c)

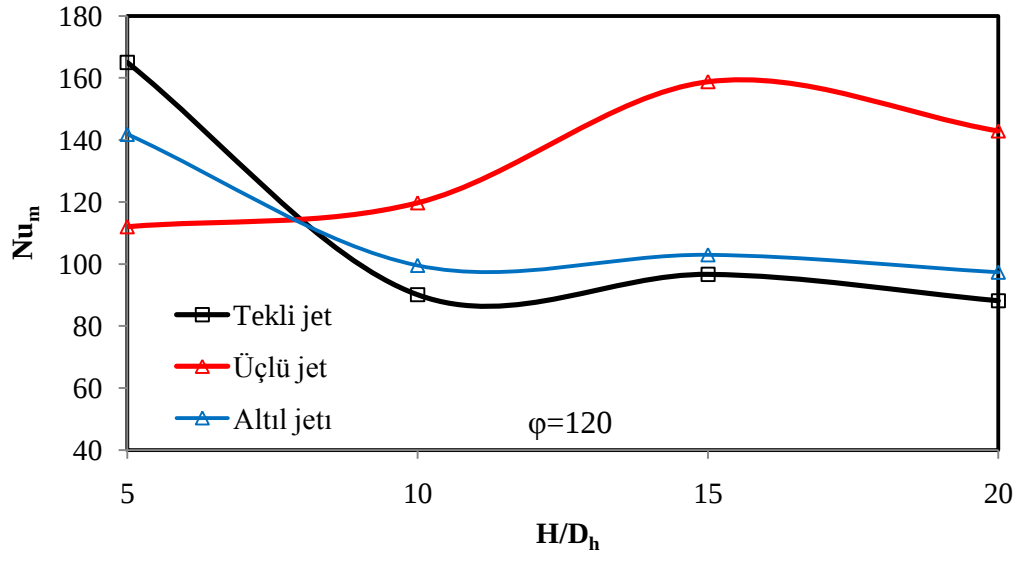
Şekil 3.33. Re=9000 için ortalama Nusselt sayısı değişimleri,
a) Tekli Jet, b) Üçlü Jet, c) Altılı Jet

3.4.4. Re=9000 için ortalama Nusselt sayısı değişimlerine sıralı jetin etkisi

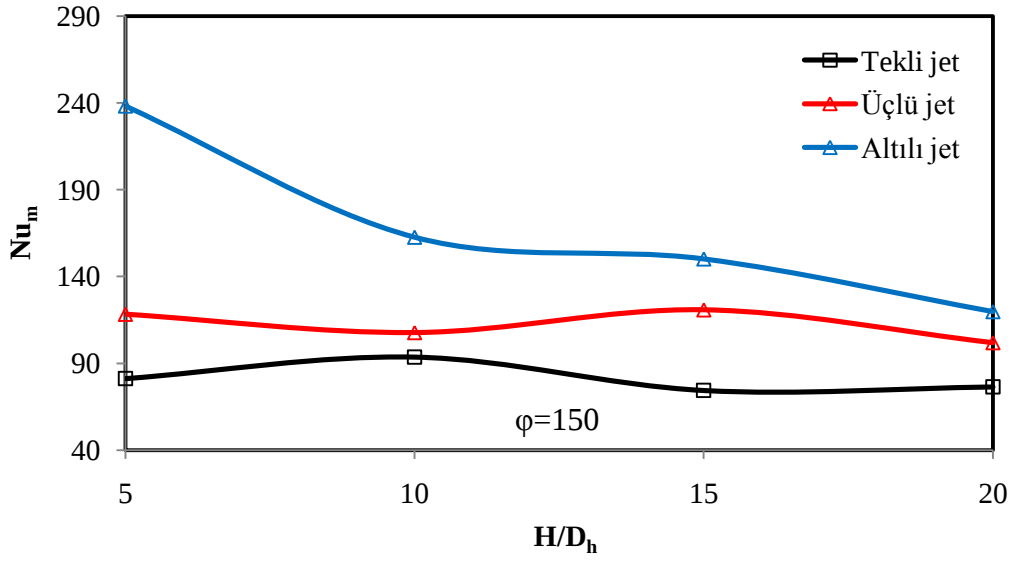
Reynolds sayısı arttıkça ısı transferi artmış ve yüzey açısının ısı transferine etkisi değişmiştir. Re = 9000 için farklı jet durumlarının ortalama Nusselt sayısına etkisi Şekil 3.34' de verilmektedir. Grafiklerde sıralı jetin ısı transferini oldukça artırdığı ve farklı yüzey açılarında sıralı jetlerin etkisinin değiştiği görülmüştür. Artan H/D_h oranlarında ortalama Nusselt sayıları her bir jet durumu için yaklaşık değerlerde hesaplanmıştır.



a)



b)

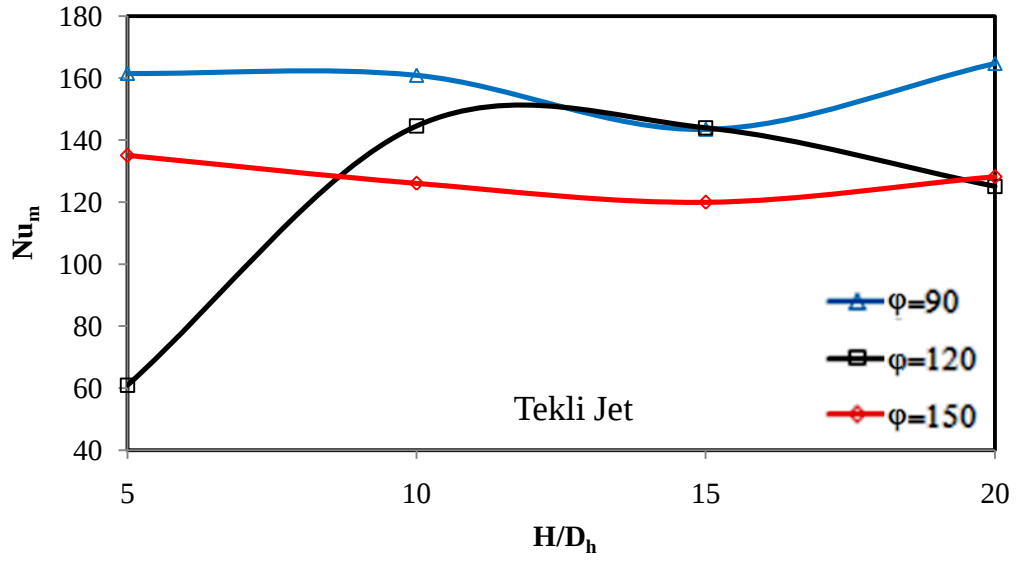


c)

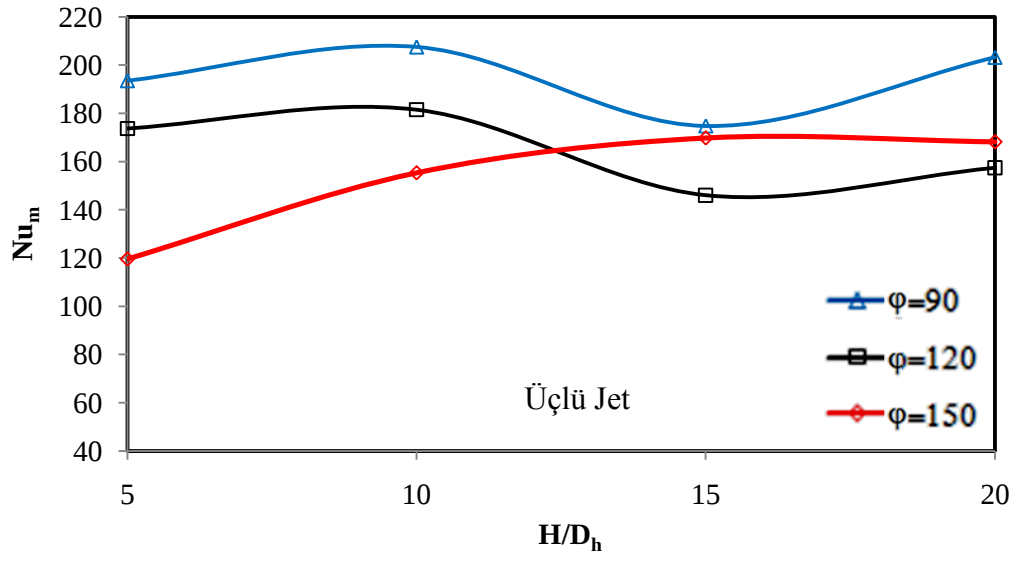
Şekil 3.34. Re=9000 için ortalama Nusselt sayısı değişimleri,
a) $\phi=90^\circ$, b) $\phi=120^\circ$, c) $\phi=150^\circ$

3.4.5. Re=36000 için ortalama Nusselt sayısı değişimleri

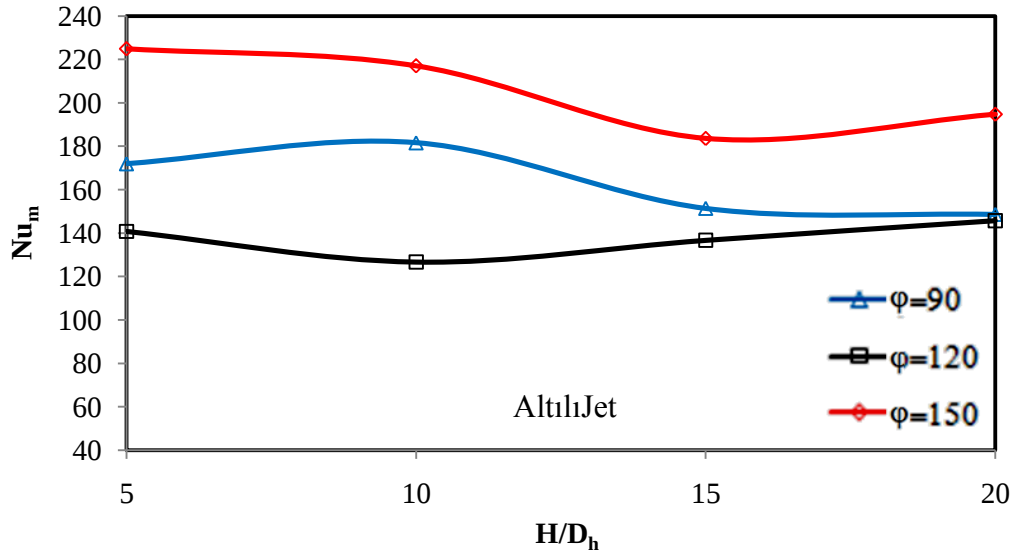
Re = 36000 için elde edilen ortalama Nusselt sayısı değişimleri Şekil 3.35’de verilmektedir. Grafiklerde farklı jet durumları için yüzey açısının etkisi incelenmiştir. Farklı jet durumları için maksimum ısı transferinin meydana geldiği yüzey açısı değişmiştir. Artan H/D_h oranlarında ve farklı yüzey açılarında hesaplanan, ortalama Nusselt sayıları birbirine yaklaşmıştır.



a)



b)

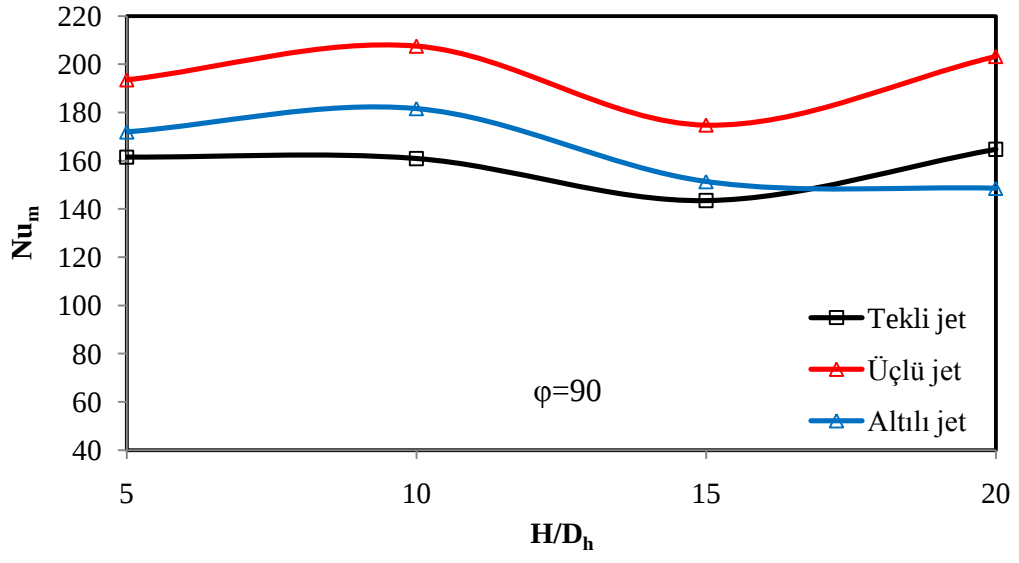


c)

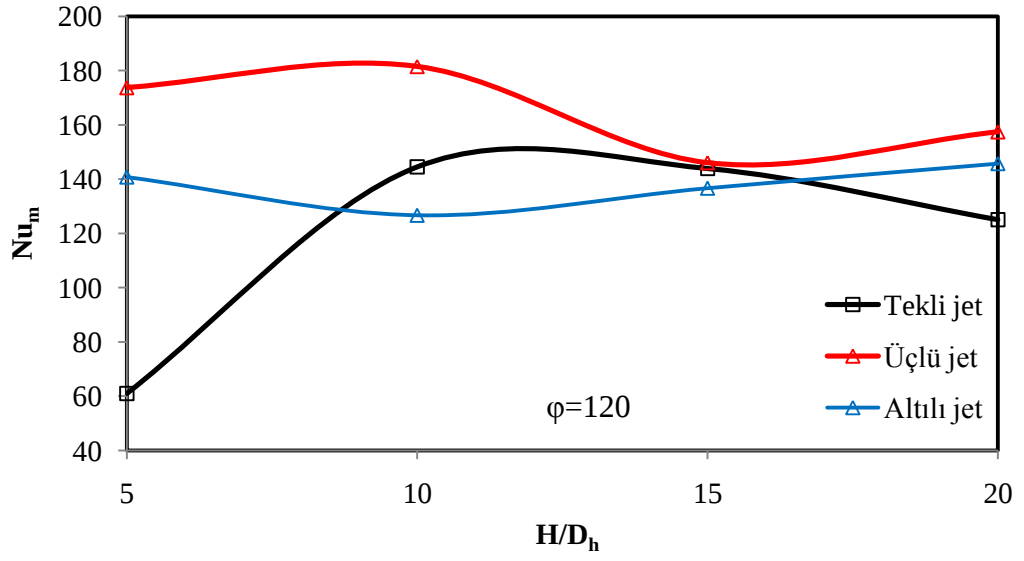
Şekil 3.35. Re=36000 için ortalama Nusselt sayısı değişimleri,
a) Tekli Jet, b) Üçlü Jet, c) Altılı Jet

3.4.6. Re=36000 için ortalama Nusselt sayısı değişimlerine sıralı jetin etkisi

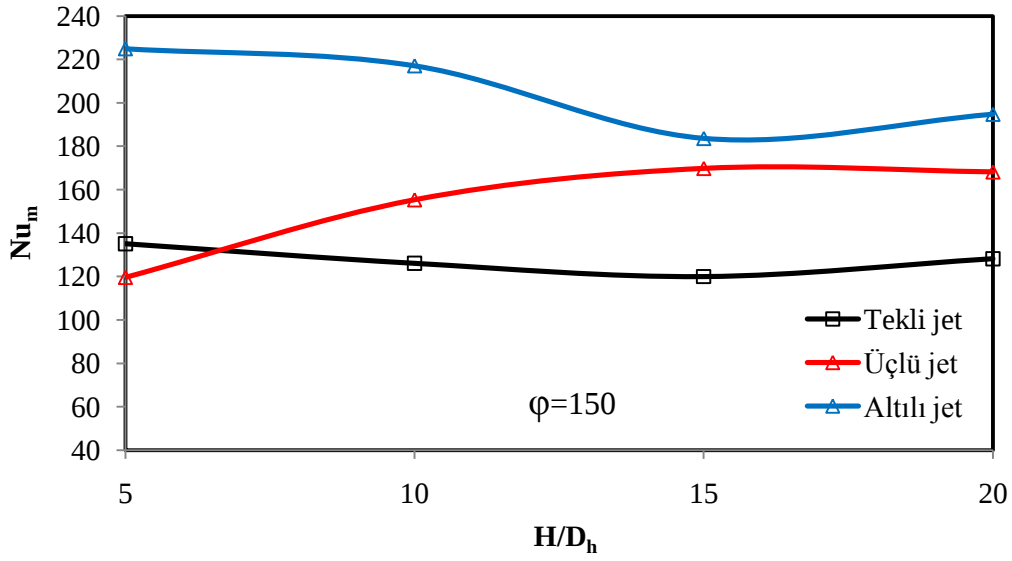
Re = 36000 için ortalama Nusselt sayıları farklı jet durumları için incelenmiştir. Şekil 3.36'da tek ve sıralı jetlerin ortalama Nusselt sayısına etkisi verilmektedir. Grafiklerde yüzey açısına göre, maksimum ısı transferini sağlayan jet değişmektedir. Artan H/D_h oranlarında her üç jet içinde hesaplana ortalama Nusselt sayıları birbirine yaklaşmaktadır. Reynolds sayısına bağlı olarak ortalama Nusselt sayılarının belirgin olarak arttığı da elde edilen önemli bir sonuçtur.



a)



b)



c)

Şekil 3.36. Re=36000 için ortalama Nusselt sayısı değişimleri,
a) $\phi=90^\circ$, b) $\phi=120^\circ$, c) $\phi=150^\circ$

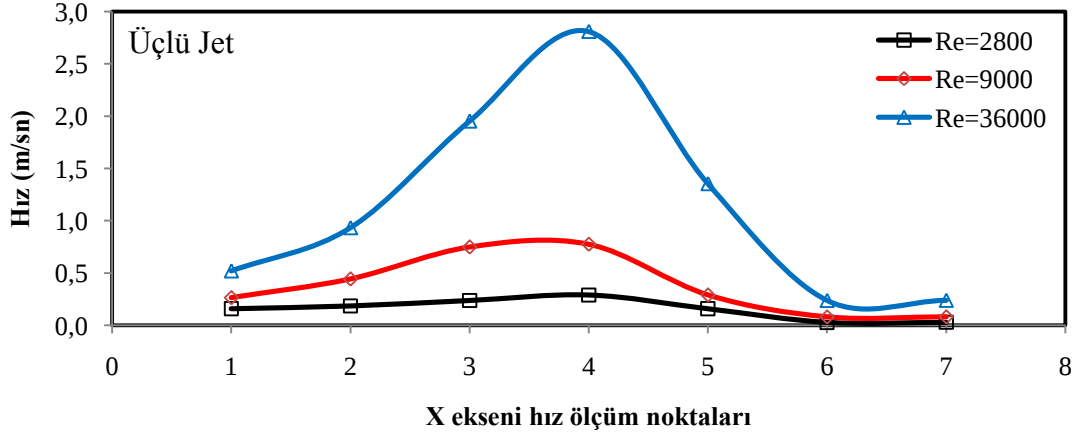
3.5. Hız Grafikleri

Hız ölçümleri yapılırken, Şekil 4' te gösterilen ısıtıcı üzerinde; X ekseninde 1,2,3,4,6,8, ve 10 olmak üzere 7 nokta, Y ekseninde 4,11,12,13,14 ve 15 olmak üzere 6 nokta belirlenmiş ve sıralı jetler kullanılarak hızlar m/sn olarak ölçülerek veriler kaydedilmiştir. 4 noktası ısıtıcının merkezi olup hem X, hem de Y eksenlerindeki ölçümlerde kullanılmıştır.

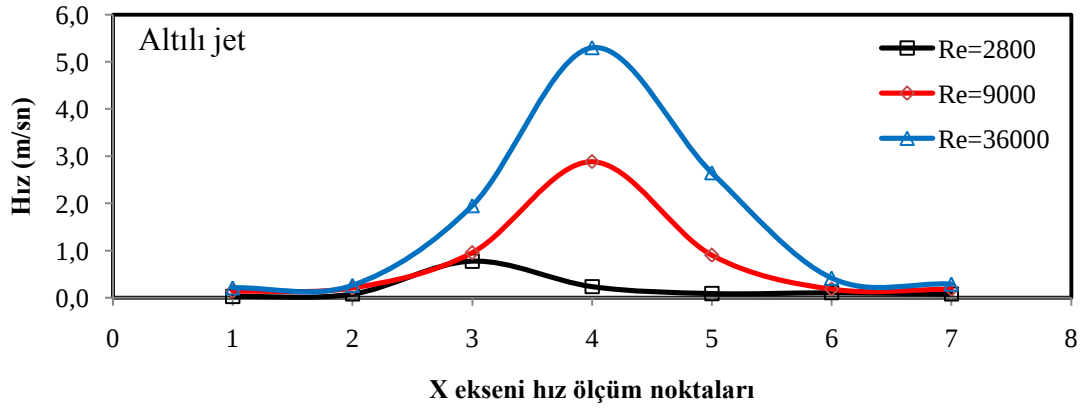
3.5.1. X ekseninde oluşan hız dağılımları

Sıralı jetler için dairesel kesitli yüzeyde elde edilen noktasal hız değerleri ve bu değerlerin yüzey boyunca değişimi Şekil 3.37' de görülmektedir. Çalışmada, jet akımı dairesel yüzeye dik olarak ($\phi = 90^\circ$) çarpmakta ve bu sırada çarpma noktalarındaki hız değişimleri ölçülmektedir. Hız grafikleri incelendiğinde, dairesel yüzeyin merkezine jet merkezinin çarptığı ve bu noktada maksimum hız değerinin ölçüldüğü görülmektedir. Bu sonuç, dairesel yüzeyin merkezinde maksimum ısı transferinin meydana gelmesini doğrulamaktadır. Dairesel yüzeyin merkezinde maksimum olarak belirlenen hız, X eksenine göre her iki yarıçap yönünde simetrik olarak azalmaktadır.

Ölçülen hız değerlerine sıralı jetin etkisi Şekil 3.37 deki a ve b grafikleri karşılaştırılarak belirlenmektedir. Üçlü jet kullanılarak elde edilen hız ölçümlerinde, yüzey merkezinde, maksimum 3 m/s yakınlarında hız değerlerine ulaşılırken, altılı jette bu değer yaklaşık 6 m/sn' ye kadar çıkmaktadır.



a)

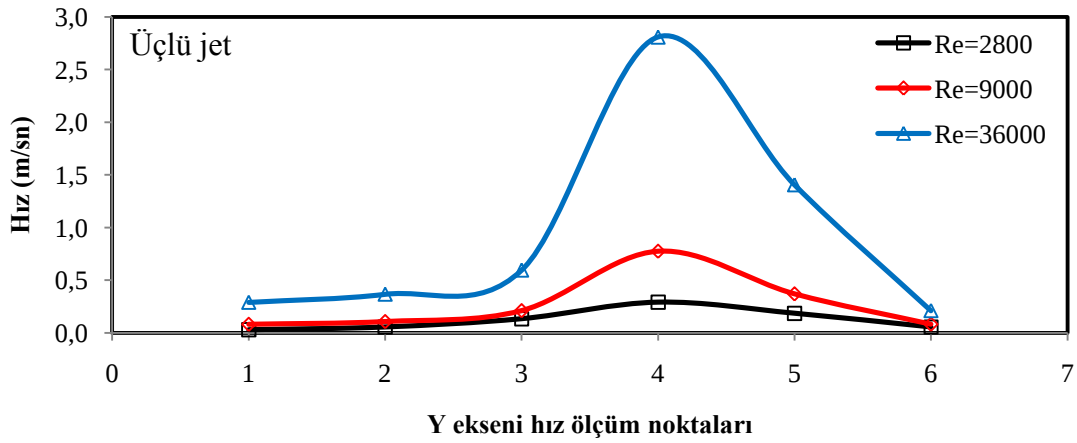


b)

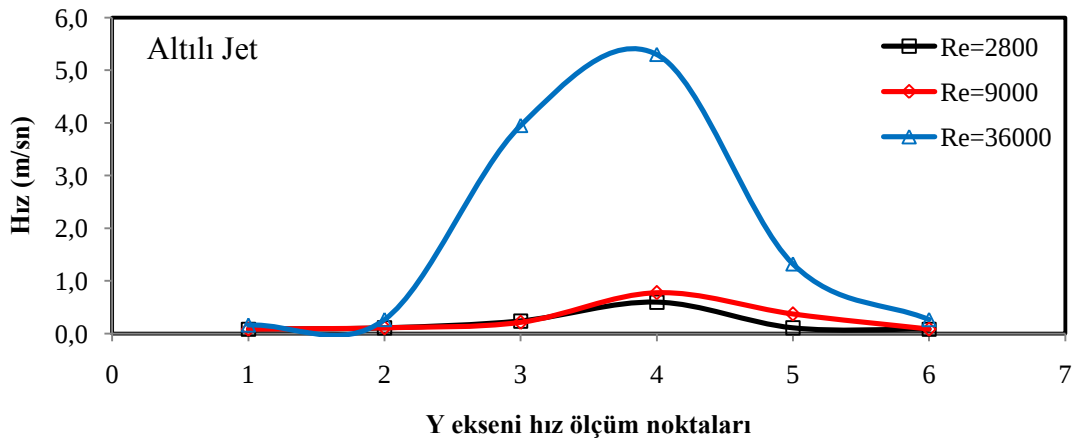
Şekil 3.37. Isıtıcı X eksenli üzerinde oluşan hız dağılımları a) Üçlü Jet, b) Altılı Jet

3.5.1. Y ekseninde oluşan hız dağılımları

Y ekseninde hız grafikleri Şekil 3.38 de verilmektedir. Y ekseninde yapılan hız ölçümleri, X eksenindekilere benzer sonuçlar vermiş ve dairesel kesitli yüzeyin merkezinde maksimum hız değeri görülmüştür. Üçlü ve altılı jet ölçümlerinde, altılı jet kullanılarak daha yüksek hız değerlerine ulaşılabileceği belirlenmiştir. Merkez noktası her iki eksen içinde orta nokta olarak kullanılmış ve bu noktada eşit hız değerleri elde edilmiştir. Hız artmasıyla zorlanmış taşınım etkisi artmış ve yüzeyden ısı transferi artış göstermiştir. Dolayısıyla, hız ölçümlerinde elde edilen sonuçlar, yerel ve ortalama Nusselt sayılarını doğrulamaktadır.



a)



b)

Şekil 3.38. Isıtıcı Y ekseninde oluşan hız dağılımları a) Üçlü Jet, b) Altılı Jet

3.6. Belirsizlik Analizi

Yapılan deneylerde, ölçülen büyüklükler (R)ve bu büyüklüklere etki eden n tane bağımsız değişken ($x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$) olarak ifade edilir, her bir bağımsız değişkenin ve hesaplanan büyüklüğün hata oranı aşağıdaki gibi hesaplanır.

Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ ve R büyüklüğünün hata oranı W_R ,

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} W_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.1)$$

Deneyler sonucunda elde edilen Nusselt sayısının hata oranını bulmak için Nusselt sayısına etki eden bağımsız değişkenlerin hata oranları bulunmuş, sonuç olarak Nusselt sayısının hata oranı hesaplanmıştır. Ölçümlerin alınmasında kullanılan ölçüm aletlerinin hassasiyetleri aşağıdaki gibidir;

Veri derleyici (Dataloger) = ± 0.001

Isı kontrol cihazı (Varyak) = ± 0.02

Ampermetre ve voltmetre = ± 0.025

Sıcaklık farkının hata oranı;

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (3.2)$$

$$\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} = \left[\left(\frac{W_{T_1}}{T_1} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_2}}{T_2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.3)$$

$$W_{\Delta T} = 0.051558$$

Isı akımının hata oranı;

$$Q = V.I \quad (3.4)$$

$$\frac{W_Q}{Q} = \left[\left(\frac{W_V}{V} \right)^2 + \left(\frac{W_I}{I} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

$$W_Q = 0.095194$$

Isı taşınım katsayısının hesaplanmasında yapılan hata oranı;

$$h = \frac{Q}{A.\Delta T} \quad (3.6)$$

$$\frac{W_h}{h} = \left[\left(\frac{W_Q}{Q} \right)^2 + \left(\frac{W_A}{A} \right)^2 + \left(\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.7)$$

$$W_h = 0.02843$$

Nusselt Sayısının hesaplanmasında yapılan hata oranı;

$$Nu = \frac{h.D_h}{k} \quad (3.8)$$

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \left[\left(\frac{W_h}{h} \right)^2 + \left(\frac{W_{D_h}}{D_h} \right)^2 + \left(\frac{W_k}{k} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.9)$$

$$W_k = 0, W_A = 0$$

$$W_{Nu} = 0.0284358$$

Yüzde olarak ifade edilirse;

$$W_{Nu} = \%2.84$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışma ile; jetlerle genel olarak şimdiye kadar yapılan tek sıralı jet ve düz çarpma yüzeyi araştırmalarından farklı olarak, dairesel bir yüzey ve çoklu sıralı jetler kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda birçok parametreye bağlı olarak değişimler izlenmiş ve grafik olarak sunulmuştur.

Zamana bağlı sıcaklık değişimlerinde; sıralı jetlerle daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, ısıtıcıya dik olarak jet akımı verildiğinde, H/D_h mesafesi arttıkça çoklu jetlerde soğutma performansında düşüş gözlemlenmiştir. Düşük H/D_h mesafelerinde, altılı jet daha iyi soğutma sağlarken, H/D_h mesafesi arttıkça üçlü jet daha iyi sonuçlar vermiştir.

Yerel sıcaklık değişimlerinde; ısıtıcıya dik olarak jet akımı verildiğinde, tekli ve üçlü jetlerde soğutma performansı düzenli olarak düşerken; altılı jet kullanıldığında, düşük H/D_h mesafelerinde ısıtıcının bazı noktalarında ani sıcaklık düşmeleri gözlemlenmiştir. Ayrıca yerel sıcaklık değişimlerinde en iyi soğutma performansı üçlü jet kullanıldığında elde edilmiştir.

Yerel Nusselt sayısı; ısıtıcıya dik olarak jet akımı verildiğinde, üçlü jet kullanılan deneylerde en yüksek değerlerde çıkmıştır. Üçlü jet'le yapılan deneylerde, H/D_h mesafesi arttıkça Yerel Nusselt sayısının düzenli olarak arttığı, $H/D_h=20$ mesafesinde ise tekrar düştüğü gözlemlenmiştir.

Ortalama Nuselt sayısı; ısıtıcıya dik olarak ve 120° açıyla jet akımı verildiğinde, genel olarak üçlü jetle yapılan deneylerde en yüksek değerde çıkarken, açı 150° olduğunda ortalama Nuselt sayıları altılı jet'te daha yüksek değerlerde gözlemlenmiştir.

Jet hızlarını ölçmek için yapılan deneylerde; jet hızının ısıtıcının merkezinde maksimum olduğu ve diğer noktalarda düzenli olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca jet sayısı arttıkça ölçülen hız değerlerinin de arttığı görülmüştür.

5. ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda, elde edilen veriler değerlendirildiğinde, çalışmanın geliştirilmesi ve daha sonra yapılacak çalışmalara fikir vermesi için aşağıdaki öneriler yapılabilir.

- Çalışma farklı sıcaklıklarda ve farklı jet tiplerinde tekrarlanabilir.
- Sıralı jetlerde, jetlerin diziliminin soğutmaya etkisi incelenebilir.
- Farklı tip ısıtıcılar kullanılabilir.
- Sıralı jet sayısı değiştirilebilir.
- Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Metotları kullanılarak sayısal hesaplamalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Martin, H.**, 1977. Heat and mass transfer between impinging gas jets and solid surfaces, *Advances in Heat Mass Transfer*, 7, Academic Press.
- [2] **Nosseir, N.S. and Behart, S.**, 1986. Characteristics of jet impingement in a side-dump combustor, *AIAA journal*, 24 1752-1757.
- [3] **Liou, T. M. and Wu, Y.Y.**, 1993. Turbulent flows in a model SDR combustor, *ASME J. Fluids Eng.*, 115 486-473.
- [4] **Berman, Y. and Tamir, A.**, 1996. Experimental investigation of phosphate dust collection in impingement streams (IS), *C. J. Chem. Eng.*, 74 817-821.
- [5] **Berman, Y., Tanklevskyi, A., Oren, Y. and Tamir, A.**, 2000. Modeling and experimental studies of SO₂ absorption in coaxial cylinders with impingement streams: part I, *Chem. Eng. Sci.*, 55 1009-1021.
- [6] **Berman, Y., Tanklevsky, A., Oren, Y. and Tamir, A.**, 2000. Modeling and experimental studies of SO₂ absorption in coaxial cylinders with impingement streams: part II, *Chem. Eng. Sci.*, 55 1021-1032.
- [7] **Walker, P.G., Oweis, G.F. and Watterson, K.G.**, 2001. Distribution of hepatic venous blood in the total cavo pulmonary connection: an in vitro study into the effects of connection geometry, *ASME J. Biomechanical Eng.* 123 558-564.
- [8] **Hosseinalipour, S.M. and Mujumdar, A.S.**, 1995. Flow, heat transfer and particle drying characteristics in confined opposing turbulence jets: a numerical study, *Drying technology*, 13 753-781.
- [9] **Dehkordi, A.M.**, 2002. Application of a novel opposed jets contacting device in liquid-liquid extraction, *Chem. Eng. Proc.*, 41 251-258.
- [10] **Borquez, R., Wolf, W., Koller, W.D. and Spieb, W.E. L.**, 1999. Impinging jet drying of pressed fish cake, *J. Food Engineering*, 40 113-120.
- [11] **Topuzoğlu, S.**, 2005. İç ve Dışbükey Yüzeylere Çarpan Dikdörtgen Kesitli Bir hava jetinin termik ve kinetik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [12] **Çelik, N.**, 2000. Değişik Geometrilili Sıcak cisimlere çarpan jetin iki boyutlu etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [13] **Lee, D.H., Chung, Y.S. and Kim, D.S.,** 1997. Turbulent flow and heat transfer measurements on a curved surface with a fully developed round impinging jet, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 18, 160-169.
- [14] **Choi, M., Yoo, H.S., Yang, G., Lee, J.S. and Sohn, D.K.,** 2000. Measurements of impinging jet flow and heat transfer on a semi-circular concave surface, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43 1811-1822.
- [15] **Sparrow, E.M. and Lowell, B.J.,** 1980. Heat transfer characteristics of an obliquely impinging circular jet, *J. Heat Transfer*, 102, 202-209.
- [16] **Attalla, M. and Specht, E.,** Heat transfer characteristics from in-line arrays of free impinging jets, *Heat Mass Transfer*, DOI 10.1007/s00231-008-0452-y.
- [17] **Kok, B.,** 2009. Jetlerde akış ve ısı transfer karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Semineri, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [18] **Eren, H., Yeşilata, B. and Çelik, N.,** 2007. Nonlinear flow and heat transfer dynamics of impinging jets onto slightly-curved surfaces, *Appl. Therm. Eng.* 27 2600–2608.
- [19] **Ergen, H.,** 2007. Düşük lüle plaka mesafelerinde çarpan hava jetinin oluşturduğu ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [20] **Whelan, B. P. and Robinson, A. J.,** 2008. Nozzle geometry effects in liquid jet array impingement, *Appl. Thermal Eng.*, doi:10.1016/j.Appl. Thermal Eng.
- [21] **Robinson, A.J. and Schnitzler E.,** 2007. An experimental investigation of free and submerged miniature liquid jet array impingement heat transfer, *Exp. Therm Fluid Sci.* 32 1–13.
- [22] **Çelik, N. ve Eren, H.,** 2002. Dikdörtgenler prizması şeklindeki bir cismin jet akımı ile soğutulması, Balıkesir Üniversitesi 4. Mühendislik Sempozyumu bildiriler kitabı.
- [23] **Atmaca, M., İnan, A.T. ve Gül, M. Z.,** 2006. Jet Akışlarının farklı durumlar için incelenmesi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma*, 24-31.
- [24] **Gori, F. and Bossi, L.,** 2003. Optimal slot height in the jet cooling of a circular cylinder, *Applied Thermal Engineering* 23 (17) 859–870.
- [25] **Gori, F. and Bossi, L.,** 2002. Cooling of two cylinders in a row by a slot jet of air, *International Journal of Transport Phenomena* 4, 245–256.

- [26] **Gori, F., Petracci, I. and Tedesco, V.,** 2007. Cooling of two smooth cylinders in row by a slot jet of air with low turbulence, *Applied Thermal Engineering* 27, 2415–2425.
- [27] **Eren, H. and Çelik, N.,** 2006. Cooling of a heated flat plate by an obliquely impinging slot jet, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 33, 372-380.
- [28] **Bilen K.,** 1994. Isıtılmış düzlem plakaya çarpan dik ve açılı hava jetinin ısı transferi karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [29] **Nada S.A.,** Buoyancy and cross flow effects on heat transfer of multiple impinging slot air jets cooling a flat plate at different orientations, *Heat Mass Transfer*, DOI 10.1007/s00231-009-0480-2.
- [30] **Sezai, I. and Aldabbagh, L.B.Y.,** 2004 A three dimensional numerical investigation of flow and heat transfer characteristics of inline jet arrays. *Numr Heat Transfer* 45 271–288.
- [31] **Can, M., Etemoğlu, A.B. ve Avcı, A.,** 2002. Experimental study of convective heat transfer under arrays of impinging air jets from slots and circular holes, *Heat and Mass Transfer*, 38 251-259.
- [32] **Köseoğlu, M. F.,** 2007. Çarpan akışkan jetleri kullanılarak elektronik elemanların soğutulmasının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [33] **Telişik, Ç. B.,** 2007. Lüle – hedef yüzey arası uzaklığın çarpan jet akış ve ısı transferi karakteristiklerine etkisinin sayısal olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [34] **Dağtekin, İ. and Öztop, H.F.,** 2008. Heat transfer due to double laminar slot jets impingement onto an isothermal wall within one side closed long duct, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 35, 65-75.
- [35] **İşman, M. K., Pulat, E., Etemoğlu, A. B. ve Can, M.,** 2005. Çarpan dikdörtgen hava jetlerinde akış ve ısı transferi karakteristiklerinin sayısal analizi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 25, 1, 17-24.
- [36] **Perry, K. P.,** 1954. Heat transfer by convection from a hot gas jet to a plane surface, *Institution of Mechanical Engineers Proceedings*, 168,775-784.
- [37] **Huang, G. C.,** 1963. Investigations of heat-transfer coefficients for air flow through round jets impinging normal to a heat transfer surface, *Journal of Heat Transfer*, 85, 237-245.
- [38] **Gardon, J. and Akfirat, J. C.,** 1966. Heat transfer characteristics of impinging two dimensional air jets, *Journal of Heat Transfer*, 88, 101-108.

- [39] **Kercher, D. M. and Tabakoff, W.**, 1970. Heat transfer by a square array of round air jets impinging perpendicular to a flat surface including the effect of spent air”, *Journal of Engineering for Power*, 92, 73-82.
- [40] **Florschuetz, L. W., Berry, R. A. and Metzger, D. E.**, 1980. Periodic streamwise variations of heat transfer coefficients for inline and staggered arrays of circular jets with crossflow of spent air”, *Journal of Heat Transfer*, 102, 132-137.
- [41] **Goldstein, R. and J., Behbahani, A. I.**, 1982. Impingement of a circular jet with and without cross flow”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 25(9), 1377-1382.
- [42] **Garimella, S. and V., Rice, R. A.**, 1995. Confined and submerged liquid jet impingement heat transfer, *Journal of Heat Transfer*, 117, 871-877.
- [43] **Yan, X. and Saniei, N.**, 1997. Heat transfer from an obliquely impinging circular air jet to a flat plate, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 18(6), 591-599.
- [44] **Alawadhi, E.M.**, 2005. Electronic chips cooling using a jet impingement: a numerical study, 4. uluslararası ısı ve kütle transferi konferansı bildiriler kitabı, s. 128.
- [45] **Cornaro, C., Fleischer, A.S., Rounds, M., and Goldstein, R.J.**, 2001. Jet impingement cooling of a convex semi-cylindrical surface, *Int. J. Thermal Sci.*, 40,890-898.
- [46] **Atmaca, M., İnan, A.T., Gül, M.Z.**, 2006. Investigation of jet flows for different situations, *J. Eng. Natural Sci.*, 4, 24-31.

ÖZGEÇMİŞ

25.08.1975 yılında Malatya’da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Malatya’da tamamladı. Lisans eğitimini 1994–1998 yılları arasında Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Makine Öğretmenliği bölümünde tamamladı. 1999–2007 yılları arasında Batman Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi’nde Makine Öğretmeni olarak, 2007–2009 yılları arasında Batman İl Milli Eğitim Müdürlüğünde Bilgisayar ve Ağ Sistemleri Yöneticisi olarak görev yaptı. Halen Adana ilinde Türk Tekstil Vakfı Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi ve Anadolu Meslek Lisesi Tekstil Mekatroniği Bölümü’nde görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri:

Türk Tekstil Vakfı METEM ve Anadolu Meslek Lisesi

Tekstil Mekatroniği Bölümü

Sarıçam – ADANA

<http://ttvadanametem.meb.k12.tr/>

e-mail: ilhanmetin@gmail.com