

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



**HAREKET HALİNDEKİ ISITILMIŞ BİR KÜT CİSME
ÇARPAN NANOJET AKIŞININ SAYISAL ANALİZİ**

Hakan COŞANAY

Yüksek Lisans Tezi

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı

Termodinamik ve Isı Tekniği Bilim Dalı

AĞUSTOS 2020

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

HAREKET HALİNDEKİ ISITILMIŞ BİR KÜT CİSME ÇARPAN NANOJET AKIŞININ SAYISAL ANALİZİ

Tez Yazarı

Hakan COŞANAY

Danışman

Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP

AĞUSTOS 2020

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	HAREKET HALİNDEKİ ISITILMIŞ BİR KÜT CİSME ÇARPAN NANOJET AKIŞININ SAYISAL ANALİZİ
Yazarı:	Hakan COŞANAY
İlk Teslim Tarihi:	28.07.2020
Savunma Tarihi:	28.08.2020

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Ahmet KOCA Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “HAREKET HALİNDEKİ ISITILMIŞ BİR KÜT CİSME ÇARPAN NANOJET AKIŞININ SAYISAL ANALİZİ ” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

28.08.2020

Hakan COŞANAY



ÖNSÖZ

Nanoakışkanlar, temel olarak kullanılan klasik akışkanlar yerine bu akışkanlar ile ısı transfer katsayısı yüksek malzemelerin nano/mikro ölçekte karıştırılmasıyla oluşturulan karışımlardır. Isı transferi, temel akışkanlardan yüksek olmasından dolayı ısı transferi amaçlanan birçok alanda kullanılması mümkündür.

Jet akışlarının da endüstriyel ve sanayi uygulamalarında kullanımı çok geniş bir yer tutmaktadır. Bu kullanımlara ısı transferi amaçlı veya sadece akışkana hız kazandırarak kinetik enerjisinden yararlanmak gibi uygulamalara örnekler gıda, tıp, ilaç sanayi gibi alanlarda verilebilir.

Nanoakışkanlarda deneysel olarak çalışmalar yapılması maliyetli ve zaman alıcı işlemlerdir. Aynı durumdan jet akışları için yapılacak deneysel çalışmalar için de bahsedilebilir. Deneysel süreçler yerine bilgisayar ortamında simülasyon programları yardımıyla istenilen sonuçlara ulaşmak her geçen gün daha çok tercih edilmektedir. Bu çalışmada, klasik yaklaşımlara ek olarak konveyör gibi yürütücü bir bant üzerinde ısıtılmış bir cismin hareketinden kaynaklı ısı transfer durumlarını, jet akışları yardımıyla sistemde kullanılan nanoakışkanların etkileriyle irdelenebileceği varsayılmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında, gerek çalışmalar ile ilgili sorularımı gerek çalışma dışında kalan sorularımı zaman ayırt etmeksizin cevaplayan, desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan Fehmi ÖZTOP'a çok teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde elde edilen bulguları yorumlayıp fikir veren, yardımlarını, arkadaşlıklarını ve desteklerini esirgemeyen, gerektiğinde hoca olarak yardımcı olan Enerji Laboratuvar'da beraber çalıştığımız Sayın Arş. Gör. Halil İbrahim YAMAÇ'a, Muhammed GÜR'e, Rıdvan ÖZGÜL'e ve Ömer BAYKARA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından **FF.20.01** protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

Hakan COŞANAY

ELAZIĞ, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
EKLER LİSTESİ	xii
SİMGELER.....	xiii
KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE METOT	10
2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Tanımı	10
2.2. Jet Tanımı	11
2.3. Birleşik Isı Transferi Tanımı	12
2.4. Nanoakışkan Tanımı.....	14
2.5. Sayısal Çalışma	15
2.5.1. Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Hesaplanması	15
2.5.2. Sayısal Modelde Tanımlanan Sınır Şartları.....	17
2.5.3. Modellerde Kullanılan Ağ Yapısı	18
2.5.4. Genel Denklemler	20
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	22
3.1. $\Delta\tau = 0.8$ için Reynolds Sayısı, Nanoakışkan-Parçacık Oranı ve Yükseklik Etkisi	23
3.2. $\Delta\tau = 52$ için Reynolds Sayısı, Nanoakışkan-Parçacık Oranı ve Yükseklik Etkisi	29
3.3. $\Delta\tau = 108$ için Reynolds Sayısı, Nanoakışkan-Parçacık Oranı ve Yükseklik Etkisi	35
3.4. Reynolds Sayısı, Akışkan Türü ve Kanal Yüksekliği için Zamana Bağlı Değişimler	41
3.5. Nusselt Sayılarının Zamana Bağlı Değişimleri.....	57
3.6. Sayısal Çalışmanın Literatür ile Karşılaştırılması	73
4. SONUÇLAR	74
ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	76
EKLER	77
ÖZGEÇMİŞ	A

ÖZET

HAREKET HALİNDEKİ ISITILMIŞ BİR KÜT CİSME ÇARPAN NANOJET AKIŞININ SAYISAL ANALİZİ

Hakan COŞANAY

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı
Ağustos 2020, Sayfa: xiv + 78

Günümüzde dünya nüfusunun artmasına bağlı olarak insan ihtiyaçları hızlı bir yükseliş göstermektedir. İhtiyaçların karşılanması, günlük yaşantımızın büyük bir kısmını oluşturan enerjinin de tüketimini hızlı bir şekilde arttırmaktadır. İhtiyaçların ve enerji tüketiminin artmasına karşın dünya kaynakları azalmaktadır. Bu noktada, ihtiyaç ve tüketimlere bağlı olarak enerjinin verimli, tasarruflu ve zaman yönünden doğru kullanımı gibi terimler önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan işlemlerden birisi olan önceden ısıtılmış veya ısıl işleminden geçmiş belirli sıcaklıktaki bir cismin jetler yardımıyla soğutulması sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği paket programında modellenmiş ve sonuçları incelenmiştir. Çalışma üç farklı Reynolds sayısı üzerinden yürütülmüştür. Ayrıca her Reynolds sayısı için iki farklı kanal yüksekliğinde ayrı ayrı incelemeler yapılmıştır.

Benzetimde sıcak cisim, soğuk jet akışına dik yönde hareket ettirilmiştir. Cismin sıcaklık değişimleri ve akışkan davranışları incelenmiştir. Analizlerde akışkan olarak iki farklı derişim oranına sahip nanoakışkan kullanılmıştır. Reynolds sayısı değerlerinin 30, 60 ve 120 olması durumları incelenmiştir. Böylece farklı Reynolds sayıları, farklı yükseklik değerleri ve farklı akışkan tiplerinin soğutma işleminin üzerine etkisi incelenmiştir.

Sonuçlar, 0.02 hacimsel derişim oranına sahip nanoakışkanın kullanılması durumunda, benzetimi yapılan hareketli cismin sıcaklık değerindeki azalmanın zamana bağlı olarak arttığını göstermiştir. Ayrıca kanal yükseklik değerinin azaltılmasının, zamanla cisim ile akışkan arasındaki sıcaklık farkının azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: enerji, birleşik ısı transferi (CHT), hareketli ağ örgüsü, ısı transferi, jet akışı, nanoakışkan

ABSTRACT

NUMERICAL ANALYSIS OF NANOJET FLOW IMPINGING ON A HEATED OBJECT IN MOTION

Hakan COŞANAY

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Mechanical Engineering Technologies

August 2020, Pages: xiv + 78

Today, human needs are increasing rapidly due to the increase in the world population. Meeting the needs rapidly increases the consumption of energy, which constitutes a large part of our daily life. Despite the increasing needs and energy consumption, world resources are decreasing. At this point, depending on the needs and consumption, terms such as efficient, economical and time-efficient use of energy gain importance.

In this study, cooling of a preheated or heat treated object, which is one of the processes commonly used in industrial applications, was investigated numerically with the help of jets. The study was modeled in commercial Computational Fluid Dynamics program and its results were examined. The study was carried out over three different Reynolds numbers. In addition, two different channel heights were investigated separately for each Reynolds number.

In simulation, the hot body was moved perpendicular to the cold jet flow. The body's temperature changes and fluid behavior are investigated. Nanofluid with two different concentration ratios was used as fluid in the analysis. Reynolds number values 30, 60 and 120 have been examined situations. Thus, the effect of different Reynolds numbers, different height values and different fluid types on the cooling process was investigated.

The results showed that in the case of using nanofluid with a 0.02 volumetric concentration ratio, the decrease in the temperature value of the simulated moving body increases with time. In addition, it has been determined that decreasing the channel height value causes the temperature difference between the body and the fluid to decrease over time.

Keywords: energy, conjugate heat transfer (CHT), dynamic mesh, heat transfer, jet flow, nanofluid

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Çarpan jetin akış bölgeleri.....	11
Şekil 2. 2. Serbest jetin akış bölgeleri	12
Şekil 2. 3. Temel akışkana eklenen nanoparçacıklarının mikroparçacıklarla karşılaştırılması.....	15
Şekil 2. 4. Sayısal çalışmanın geometrik gösterimi.....	17
Şekil 2. 5. I. Geometride kullanılan ağ yapısının görünümü	19
Şekil 2. 6. II. Geometride kullanılan ağ yapısının görünümü.....	20
Şekil 3.1. $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için hız vektörleri.	24
Şekil 3.2. $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için hız vektörleri.	24
Şekil 3.3. $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için hız vektörleri.	24
Şekil 3.4. $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için akım çizgileri.....	26
Şekil 3.5. $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için akım çizgileri.....	26
Şekil 3. 6. $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için akım çizgileri.....	26
Şekil 3.7. $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için eş sıcaklık eğrileri	28
Şekil 3.8. $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için eş sıcaklık eğrileri	28
Şekil 3.9. $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için eş sıcaklık eğrileri.....	28
Şekil 3. 10. $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri.	30
Şekil 3. 11. $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri.	30
Şekil 3. 12. $Re = 120$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri	30
Şekil 3.13. $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için akım çizgileri.....	32
Şekil 3. 14. $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için akım çizgileri.....	32
Şekil 3. 15. $Re = 120$ ve $\tau = 52$ için akım çizgileri.....	32
Şekil 3. 16. $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri.....	34
Şekil 3. 17. $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri.....	34
Şekil 3. 18. $Re = 120$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri.....	34
Şekil 3. 19. $Re = 30$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri	36
Şekil 3. 20. $Re = 60$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri.	36
Şekil 3. 21. $Re = 120$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri	36
Şekil 3. 22. $Re = 30$ ve $\tau = 104$ için akım çizgileri.....	38
Şekil 3. 23. $Re = 60$ ve $\tau = 104$ için akım çizgileri.....	38
Şekil 3. 24. $Re = 120$ ve $\tau = 104$ için akım çizgileri.....	38

Şekil 3. 25. $Re = 30$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri.....	40
Şekil 3. 26. $Re = 60$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri.....	40
Şekil 3. 27. $Re = 120$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri.....	40
Şekil 3. 28. Ortalama hız değerinin $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds sayısına göre değişimi.....	41
Şekil 3. 29. Yüzey ısı transfer katsayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	42
Şekil 3. 30. Küt cisim sıcaklığının $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	43
Şekil 3.31. Sürtünme katsayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	44
Şekil 3. 32. Ortalama hız değerinin $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	45
Şekil 3. 33. Yüzey ısı transfer katsayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds sayısına göre değişimi.....	46
Şekil 3. 34. Küt cisim sıcaklığının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi.....	47
Şekil 3. 35. Sürtünme katsayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	48
Şekil 3. 36. Ortalama hız değerinin $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	49
Şekil 3. 37. Yüzey ısı transfer katsayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds sayısına göre değişimi.....	50
Şekil 3. 38. Küt cisim sıcaklığının $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi.....	51
Şekil 3. 39. Sürtünme katsayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	52
Şekil 3. 40. Ortalama hız değerinin $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds sayısına göre değişimi.....	53
Şekil 3. 41. Yüzey ısı transfer katsayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	54
Şekil 3. 42. Küt cisim sıcaklığının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi.....	55
Şekil 3. 43. Sürtünme katsayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi	56
Şekil 3. 44. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre AB duvarı üzerindeki değişimi.....	57
Şekil 3. 45. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre BC duvarı üzerindeki değişimi	58
Şekil 3. 46. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre BC duvarı üzerindeki değişimi	59
Şekil 3. 47. Ortalama Nusselt Sayısının $Re = 30$ için H ve ϕ parametrelerine göre değişimi	60
Şekil 3. 48. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre AB duvarı üzerindeki değişimi.....	61
Şekil 3. 49. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre BC duvarı üzerindeki değişimi.....	62
Şekil 3. 50. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre CD duvarı üzerindeki değişimi.....	63
Şekil 3. 51. Ortalama Nusselt Sayısının $Re = 60$ için H ve ϕ parametrelerine göre değişimi	64
Şekil 3. 52. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre AB duvarı üzerindeki değişimi.....	65
Şekil 3. 53. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre BC duvarı üzerindeki değişimi	66
Şekil 3. 54. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre CD duvarı üzerindeki değişimi.....	67
Şekil 3. 55. Ortalama Nusselt Sayısının $Re = 120$ için H ve ϕ parametrelerine göre değişimi	68
Şekil 3. 56. Ortalama Nusselt Sayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına bağlı değişimi	69
Şekil 3. 57. Ortalama Nusselt Sayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına bağlı değişimi	70
Şekil 3. 58. Ortalama Nusselt Sayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına bağlı değişimi	71

Şekil 3. 59. Ortalama Nusselt Sayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına bağlı değişimi	72
Şekil 3. 60. Akım çizgilerinin literatür ile karşılaştırılması.....	73
Şekil E1. 1. $Re = 30$ ve $\tau = 65$ için eş sıcaklık eğrileri	77



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri	16
Tablo 2.2. Skewness değerinin yorumlanması.....	18
Tablo 2.3. Ağ yapısı modellenen geometriler	19
Tablo 2.4. Oluşturulan ağ yapısına ilişkin Orthogonal Quality ve Skewness değerleri	19
Tablo 2.5. Fiziksel modellerde kullanılan akışkan tipleri	19
Tablo 3.1. Nusselt sayısının literatür ile karşılaştırılması	73

EKLER LİSTESİ

Sayfa

Ek- 1:	Akışkan sıcaklığının küt cismin sıcaklığından yüksek olduğu zaman adımı	77
--------	---	----



SİMGELER

a	: Jet genişliği
$C_{p\,nf}$	: Nanoakışkan özgül ısı
$C_{p\,f}$	: Akışkan özgül ısı
$C_{p\,s}$	: Küt cismin özgül ısı
Gr	: Grashof sayısı
H	: Kanal yüksekliği
h_l	: Katı entalpisi
h	: Yüzey ısı transfer katsayısı
h	: Küt cisim yüksekliği
h_l	: Akışkan entalpisi
k_f	: Akışkan ısı iletkenlik katsayısı
k_s	: Küt cisim ısı iletkenlik katsayısı
k_{nf}	: Nanoakışkan ısı iletkenlik katsayısı
L	: Kanal genişliği
L	: Karakteristik uzunluk
Nu	: Nusselt sayısı
p	: Basınç
Pr	: Prandtl sayısı
Re	: Reynolds sayısı
T	: Sıcaklık
T_h	: Küt cisim sıcaklığı
T_c	: Jet giriş sıcaklığı
t	: Zaman
u	: x yönündeki hız bileşeni
V	: Jet akışkan giriş hızı
v	: y yönündeki hız bileşeni
v_s	: Küt cisim hareket hızı
w	: Küt cisim genişliği
ϕ	: Hacimsel derişim oranı
θ	: Boyutsuz sıcaklık
τ	: Boyutsuz zaman
ρ_f	: Akışkan yoğunluğu
ρ_s	: Katı yoğunluğu
ρ_{nf}	: Nanoakışkan yoğunluğu
μ_{nf}	: Nanoakışkan viskozitesi
ν	: Kinematik viskozite

KISALTMALAR

CHT : Birleşik ısı transferi
HAD : Hesaplamalı akışkanlar dinamiği



1. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan insan nüfusu ile beraber teknolojik gelişmelerinde artması ve değişimi, günlük yaşantımızın önemli bir yerini kapsayan enerji ve enerjiye duyulan ihtiyacında paralel olarak artış göstermesi kaçınılmazdır. Bu sebeple, azalmaya başlayan enerji kaynaklarının tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Enerjinin fazla kullanılması nedeniyle ortaya çıkan çevre bilimi ilgili sorunların geleceği tehlikeye atması da bizi enerjiyi dikkatli ve verimli kullanmaya mecbur bırakmaktadır. Gelişmiş ülkelerin az enerji ile hem doğayı korumaya hem de yüksek verimlilik elde etme çalışmalarına verdiği değer de gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde de bu yönde çalışmalar gün geçtikçe önem kazanmakta ve her geçen gün yeni projelere adım atılmaktadır.

Kare bir geometriye sahip cismin, kanal içerisinde hareketinden kaynaklı meydana gelen akış hareketi ve ısı transfer durumlarını sayısal bir çalışma ile Fu vd. [1] incelemiştir. Cismin farklı hareket hızlarında, farklı Reynolds sayısındaki değişime bağlı Galerkin sonlu eleman yöntemi ile ısı transferini incelemiştir. Sonuç olarak cismin hızı azaldıkça, ısı transfer oranının, harekete bağlı olarak artış gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Akış içerisinde iki boyutlu dairesel bir geometrinin salınım hareketini Fu vd. [2] sayısal olarak incelemiştir. Sınır şartları ile belirlenen ve simülasyon süresinde, problemde meydana gelen ısı transferi ile oluşan akış rejimi, salınım hareketine bağlı olarak incelenmiştir. Çalışmada, Galerkin sonlu eleman yöntemi kullanarak Langrangian-Eulerian denklemleri yardımı ile analiz çalıştırılmıştır. Farklı parametrelere bağlı olarak elde ettikleri sonuçlar ise ısı transferinden kaynaklı Nu sayılarını ve akış profillerinin sonuçları sunulmuş ve karşılaştırılmıştır.

Derouich vd. [3] farklı eğimlerde salınan kare silindirden, sıcaklık farklılığından kaynaklı ısı transfer karakteristiklerini ve akışta meydana gelen fiziksel ve termofiziksel davranışları incelemek için sayısal bir inceleme yapmışlardır. Salınım açısı 0 ile $\pi/2$ arasında değiştirilmiştir. Hesaplamalar sonlu hacim tekniği kullanılarak çözdürülmüştür. Akış ve ısı transfer özellikleri, farklı açılarda salınımlar için analiz edilir. Silindirin yan uzunluğu ile kanal yüksekliği arasındaki oranın etkileri, Reynolds sayısı (Re), salınım genliği, salınım frekansı ve ısı geçiş karakteristikleri incelenmiştir. Sonuçlarda, çalışılan değerler arttırıldığı zaman ısı transfer oranlarının önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Ayrıca, salınım açısı $\pi/2$ 'ye geldiğinde silindirin ısı aktarım hızının arttığını saptanmıştır.

Lo vd. [4] bir çift dairesel rijit silindiri, akış hacmi içerisinde belirli yönlerde hareket ettirerek, akış hacmi içerisinde meydana gelen ısı transferini ve akış olaylarını sayısal yöntemler kullanarak incelemiştir. Re sayısı, $1 \leq Re \leq 5000$ aralığında altı farklı değerde tutulmuş ve Prandtl sayıyı (Pr) 0.7 olarak alınmıştır. Belirlenen parametrelerde, her bir düzlemde silindir yüzeye ait duvarlarda, yerel ve ortalama Nusselt sayısı (Nu), silindirler arasında oluşan akış rejimlerini ve

aralıkların mesafeye bağlı olarak ısı transferi üzerinde etkisini araştırmışlardır. Silindirler arasındaki mesafenin azalması ile meydana gelen ısı transfer oranının ve akışta meydana gelen türbülansın arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Gradeck vd. [5] sıcak dönen bir silindirin problemini simetri eksenine paralel bir hat üzerinde düzlemsel bir su jeti ile soğutulması problemini deneysel olarak incelemişlerdir. Zamana bağlı duvar sıcaklığı, ısı çift (termokupl) yardımıyla ölçülmüş ve meydana gelen ısı akısının sonuçları karşılaştırılmıştır. Soğutma yüzeyinde, suyun buharlaşmasından oluşan kaynama rejimine ait filmin silindirin hızına bağlı olarak azaldığını ifade etmişlerdir.

Dhinakaran [6] hareketli bir duvarın yakınına yerleştirilmiş 2B kare silindir için sabit Re sayısında simülasyonlar gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, silindir ile duvar arasındaki mesafe için farklı değerler kabul edilerek, bu değerlere denk gelen mesafelerde ki akış durumları ile ısı transferi incelenmiştir. Sayısal simülasyonlar için sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır. Silindir ile duvar arasındaki mesafenin azalmasıyla sonuçlarda sıcaklık kontörlerinde ve hız vektörlerinin değerlerinde azalmalar olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Lomholt vd. [7] yaptıkları çalışmada, bir akış hacmi içerisinde kürenin ilerleme ve dönme etkilerinden kaynaklı, akışta meydana gelen sonuçları sayısal olarak incelemişlerdir. Hem ilerleme hareketi hem de dönme hareketi için sonuçlar elde edilmiştir.

Gangawane vd. [8] dikdörtgen şeklindeki hava hacmi içerisinde bulunan sıcak eliptik bir geometri için sayısal çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, hava hacminin duvarlardan birini hareketli ve eliptik geometrinin en boy oranını üç farklı değer olarak kabul etmiştir. Parametre olarak Re, Pr ve Grashof sayısı (Gr) ile çalışmışlardır ve bu boyutsuz sayıları $1 \leq Re \leq 5000$, $1 \leq Pr \leq 100$ ve $0 \leq Gr \leq 10^5$ aralığında farklı değerlerini seçmişlerdir. Çözüm metodu olarak sonlu hacim metodu ve SIMPLE algoritması kullanmışlardır. Isı transferinin eliptik silindirin en boy oranı ve hareketli duvarın yönünden, hareketsiz duvar bölgesine kıyasla daha büyük oranda etkilendiği tespit edilmiştir.

Lallemand vd. [9] bir sıvı içinde hareket eden katı nesneler için hareketli sınır problemlerinin çözümü için Lattice Boltzman yöntemi kullanarak sayısal çalışma yürütmüşlerdir. Problemden iki boyutlu olarak incelenen akış hareketi birinci durumda duvar sabit olarak kabul edilip cismin etrafındaki akış hareketi incelenmiştir. İkinci durumda ise duvar hareketli olarak kabul edilip sonuçlar alınmıştır. Simülasyon sonuçları üzerinden elde edilen grafik ve değerler karşılaştırılmıştır.

Kok [10] kanal içerisinde ısı karışımının özelliklerini sıcaklık değerini değiştirerek gözlemlemiştir. Su jeti tasarımını, paralel ve eş merkezli olmak üzere iki farklı şekilde kullanmışlardır. Test kanalında farklı boyutlarda kare ve dikdörtgen kesitler yerleştirilmiştir. Ayrıca kanal içerisine gözenekli ve gözeneksiz engeller yerleştirilerek ısı karışım üzerindeki etkisi

incelenmiştir. Pasif engel genel olarak ısıl karışımın iyileşmesini sağlamıştır. Gözenekli engellerde, engelin geçirgenliği arttıkça ısıl karışımında iyileşme görülmüştür.

Xia vd. [11] hareketli cismin, akış ortamındaki ısı transferi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bunun için yüksek dereceli ghost-cell tabanlı daldırılmış sınır metodu kullanılmıştır. Çalışmada, harmonik olarak sıcak salınım yapan bir küre kullanılmıştır. Yer çekimi etkisi altında cismin hareketinden kaynaklı akışkanda oluşan hareketleri ile sıcaklık değişimlerini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Nu sayısının genellikle yer çekim etkisi olmayan durumlarda, yer çekimi olan durumlara göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Gyls vd. [12] çalışmalarında, bakır, paslanmaz çelik ve alüminyum malzeme özelliklerine sahip kürelerin soğutulması için su kanalı kullanmışlardır. Farklı özelliklere sahip küreler farklı su sıcaklığındaki su kanallarına bırakılmıştır. Çelikten yapılan kürenin düşme hızı, bakırdan yapılmış kürenin düşme hızı ile yakın olduğunu belirtilmiştir. Fakat düşük kütleyle sahip alüminyum kürenin düşme hızının daha az olduğu tespit edilmiştir. Düşme hızının artması, doğrudan katı sıcaklığının artışına etki etmediğini ifade etmişlerdir.

Alnak vd. [13] silindirik hacimli, nemli bir cismi kurutmak için sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sıvı akışı, ısı ve kütle transferi için yapılan çalışmada, nemli silindirik objeye çarpan sıcak hava gözlenmiştir. Sonuçlar farklı Re sayıları ve farklı geometrik oranlarında alınmıştır. $Pr = 0.71$ olarak kabul edilmiştir. Sıcak havanın gönderildiği jet nozul ve silindirik objenin çapı, çarpan jet verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Geometrik oranının artmasıyla, silindirin yakınında oluşan durma noktasındaki havanın hızının azalmasına bağlı olarak toplam basınç artmıştır. Kanala etrafındaki kurutma için gönderilen sıcak havanın kuru ve nemli bir silindirin jet denemesi sürecinin sayısal analizi yapılmıştır. Ayrıca hesaplamalar, $100 \leq Re \leq 300$ aralığında üç farklı değer için gerçekleştirilmiştir. Isı ve kütle transferinin, jet ve silindir arasındaki mesafenin azalmasıyla artmıştır. Yerel olarak, jet kurutmanın silindirin ön tarafındaki durgunluk noktasının yakınında en etkili olduğu gözlenmiştir.

Lam vd. [14] farklı Re sayısı, hız oranı ve kanal yüksekliği için hava jeti ile soğutma sisteminde akışkan olayları, ısı transferi ve entropi üretimi incelemiştir. Re sayısı, hız oranı ve kanal yüksekliğinin artışıyla ortalama Nu sayısı ve küresel toplam entropi oluşumunun arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca yine aynı parametrelerin farklı varyasyonları kullanılarak sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Re sayısının artışı ile hız, toplam entropi ve basıncın arttığı bulunmuştur.

Parmananda vd. [15] sıkıştırılamaz akış ve düşük Mach sayısı arasındaki farklılıkları araştırmak için HAD analizini kullanmışlardır. Çalışmada düşük Mach sayısı, sıkıştırılamaz akış ve ısı transferi özellikleri ile ilgili fiziksel farklılıkları ölçmek ve kütle taşınımı için inceleme yapılmıştır. Problemden aynı zamanda çözüm alanına ısıtılmış üç farklı geometri (dairesel, kare ve üçgen) yerleştirilmiş ve meydana gelen akış ile ısı transfer olayları incelenmiştir. Farklı Re sayılarında, kanal yüksekliğinde ve hız oranlarında, Nu dağılımı ve entropi üretimi tartışılmıştır.

Analiz sonuçlarında, kare geometrinin maksimum ısı transferi ve minimum entropi ürettiği görülmüştür.

Chatterjee vd. [16] yürüttükleri sayısal çalışmada, laminar akışta, sabit sıcaklıkta bir kare silindirin arkasındaki girdap bölgelerinin oluşumunu bir HAD programı yardımıyla anlaşılması için iki boyutlu simülasyon gerçekleştirilmiştir. Problemden, Re sayısı $5 \leq Re \leq 40$ aralığında tutulmuştur. Bu aralıkta, akış ve termal alanlar sabit olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kaldırma kuvveti gibi parametrelerin artması ile akış kararsız hale geldiğini ve Richardson sayısının bazı kritik değerlerinde, girdap bölgeleri gözlemlendiğini söylemişlerdir.

Gür [17] bir kanal içerisindeki dönmeli jet akışın termofiziksel özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Yapılan sayısal çalışmada Large Eddy Simulation türbülans modeli kullanmışlardır. Akışkan olarak, su ile farklı derişim oranına sahip nanoakışkan analizlerde dönmeli paralel jet modeli ile kullanılmıştır. Sonuçlarda, dönmeli jetler arası sıcaklık farkının artmasıyla ısı karışımını iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca dönme aparatının açısı arttıkça ısı karışımının verimliliğinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Roy vd. [18] çalışmalarında, çeşitli termal sınır koşullarını içeren gözenekli üçgen boşluklar içindeki akışkan ve ısı transferini incelemiştir. Problemden iki durum baz alınmıştır. Birinci durumda, sıcak yatay duvarlar ve soğuk eğimli duvarlar, ikinci durumda soğuk yatay duvarlar ve sıcak eğimli duvarlar incelenmiştir. Sonuçlarda Nu sayısı, Pr sayısı, Darcy sayısı ve Re sayısı ile değişen eş sıcaklık eğrileri ile diyagramları karşılaştırılmıştır.

Gao vd. [19] çalışmalarında, su jetinden çıkan akışkan ile soğutulan ince ısıtılmış bir levhanın etrafındaki akış hareketi incelemiştir. Çalışmada, jet ile levha arasında akışkanın düşme hareketini, kızılötesi kamera kullanarak gözlemlenmiştir. Levha üzerinde yerel sıcaklık değerindeki değişimler incelenmiştir. Yüzey sıcaklığının değeri, kararlı durumdan düşük olmasına rağmen, ısı transfer katsayısının üç adımda değiştiği belirlenmiştir. Başlangıçta konveksiyondan kaynaklı çarpma alanı boyunca ısı transfer katsayısının attığını ifade etmişlerdir. Jet akışkan giriş hızının artırılması ile akışkan parçacığının düşme hızının arttığı ve düşme hızı ile akışkan giriş hızı arasında bir denklem önermişlerdir.

Aparna vd. [20] yamuk şeklinde bir gözenekli yapıya ait duvarların üzerinde, farklı sıcaklık değerleri için sonlu elemanlar hesaplama programı kullanarak sayısal çalışma yapmışlardır. Geometri içinde farklı duvar sıcaklıklarından kaynaklı doğal konveksiyon meydana gelmiştir. Çalışmada, soğuk üst duvar ve adyabatik yan duvarlar ile alt duvar üniform/liner olarak değişen sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Sonuçlarda, akım çizgileri, izotermiler, yerel ve ortalama Nu sayıları verilmiştir. Ayrıca sonuçlarda, alt duvara ait sıcaklık değeri için doğrusal değişimin sinüzoidal değişime oranla daha yüksek Nu sayısına ulaşıldığı tespit edilmiştir. Alt duvar ve üst duvarlar için ortalama Nu sayısı ile Rayleigh sayısının düzenli olarak arttığı saptanmıştır.

Chen vd. [21] yaptıkları çalışmada, elektronik soğutma devresindeki ısı transferini arttırmak üzere güç ünitelerinin yerleşiminin yeri optimizasyonunda incelemelerde bulunmuşlardır. Simülasyon, iki boyutlu olarak ısı kaynağını farklı noktalara konumlandırarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, benzetimle tavlama yöntemi, rastgele dağılım ve biyotik optimizasyon ile karşılaştırılmıştır. Isı iletimindeki ısı kaynağı düzeni problemini optimize etmek için benzetimle tavlama yönteminin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Songa vd. [22] akışta meydana gelen girdapların ısı transferine etkisi sayısal çalışma olarak ele almışlardır. Çalışmada girdap şiddetlerinin, sürtünme katsayısı, Nu sayısı üzerinde etkileri incelenmiştir. Akışkan hacminde girdap bölgelerinin etkisiyle hız kazanan yerel akışkanlar, girdap bölgelerinin yatay mesafesinde daha az etkilendiğini tespit etmişlerdir. En iyi ısı transfer performansı için girdap bölgelerinin optimal enine mesafesinin oranı incelenmiştir. Çalışma sonucunda, optimal ısı transferi durumunu akışkan giriş hızı ile sağlandığını sonucuna ulaşmışlardır.

Tüplü ısı değiştiricideki delikli yüzeylerde çok fazla girdap oluştuğu için ısı transferi miktarı fazladır. Isı transferi performansını girdapların arasındaki dikey mesafe önemli ölçüde etkilemektedir. Sheikholeslami vd. [23] çalışmalarında girdapların arasındaki mesafenin ısı transferi miktarını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Girdapların enine mesafesi, aynı tüpün çevresindeki bölgedeki birlikte dönen boyuna girdapların etkileşimi üzerinde hafif bir etkiye sahiptir. Aynı tüp tarafındaki birlikte dönen uzunlamasına girdaplar birbirleriyle etkileşime girer ve daha büyük bir alanda yeni bir girdaba dönüşür. Darcy sayısı, Hartmann sayısı ve $Al_2O_3-H_2O$ nano-akışkan üzerindeki Rayleigh sayısı etkilerinin sonuçları incelenmiştir. Sonuçlarda, Lorentz kuvvetlerinin sıcaklık derecesini düşürdüğünü göstermiştir. Termal sınır tabakası, Hartmann sayısının artmasıyla daha çok kalınlaştığı ancak Darcy sürtünme faktörünün artışıyla termal sınır tabakasının incelendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Ligrani vd. [24] yaptığı çalışmada yüzey üzerindeki Nu sayısı ve akış rejimini araştırmıştır. Dört farklı en boy oranına sahip kanallara engeller yerleştirilerek deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Engeller ise akış hacmine birbirine paralel akış hacminin yatay yüzeyine ise 45° açı ve engellerin kendi içerisinde 90° açı yapacak şekilde iki konfigürasyon olmak üzere yerleştirmişlerdir. Çalışmada, Re sayısı $480 \leq Re \leq 18300$ aralığında değişken olarak alınmıştır. Karşılaştırmalarda akış karakteristiklerinde önemli farklılıklar görülmüştür ve özellikle engellerin sınırlarındaki akışkan hareketinden dolayı Nu sayısında artış yaşandığını göstermişlerdir.

Saeid vd. [25] hareketli bir ısıtılmış plakayı, bir jetin karışık konveksiyon ısı transferi ile laminar akış koşulları altında sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmaları için geçerli parametreleri Re sayısı, Gr sayısı, ısıtılmalı plakanın hızı, jet genişliği olarak belirlemiş ve bu etkenleri yer çekimi kuvveti ile birlikte incelemişlerdir. Sonuçlarında, parametrelere ve sabit değerlere bağlı olarak akışın davranışlarını ve yerel Nu değerlerini vermişlerdir. Yer çekimi etkilerinin, Re sayısı ve plaka

hızının düşük değerlerinde daha belirgin olduğunu ifade etmişlerdir. Yüksek Re sayılarında ve yüksek plaka hızlarında, zorlanmış taşınımın etkin olduğu görülmektedir. Bununla birlikte plaka hızının artması, jet akışının ve ısıtılmış plakanın hareket hızının artması ile birlikte ısı transferinin arttığı saptanmıştır.

Issac vd. [26] yaptıkları çalışmada, sabit ısı akısı uygulanan düz bir plaka üzerinde jet akışını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneylerde, Re sayıları $10.000 \leq Re \leq 25.000$ aralığında, nozul genişlik oranları ise dört farklı değerde tutulmuştur. Deneysel sonuçlarla sayısal sonuçları doğrulamak için k- ω SST, realizable k- ϵ , RNG k- ϵ ve v^2f gibi farklı türbülans modelleri kullanılmıştır. Farklı türbülans modellerinin sonuçları çeşitli giriş türbülans yoğunlukları ve Eddy viskozite oranları açısından analiz edilmiştir. Giriş türbülans yoğunluğu ve Eddy viskozite oranının sonuçlarını Nu sayısının hesaplanmasında karşılaştırılmış ve bu parametrelerin sonuçlarının doğruluğunda önemli olduğu gözlenmiştir. Çalışmalarında v^2f metodu ile deneysel Nusselt sayısına diğer metotlardan daha az sapma ile yaklaşıldığı belirlenmiştir.

Mehryan vd. [27] Cu- Al_2O_3 /su hibrid nanoakışkan ve Al_2O_3 /su nanoakışkanın sıcak salınım hareketine sahip bir silindirin, taşınım üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Nanoparçacık hacimsel derişimi, Rayleigh sayısı, salınımın genliği ve silindirin salınım süresi gibi çeşitli parametrelerin etkileri sayısal olarak araştırılmıştır. Sonuçlarda, salınan silindirin üst ve alt duvarlara doğru salınım hareketinin genliği arttıkça Nu sayısının arttığını saptamışlardır. Ayrıca, Al_2O_3 ve Cu- Al_2O_3 nanoparçacıklarının eklenmesi ile Nu sayısında bir artışa yol açtığı bulunmuştur. Nanoakışkanlarının ısı transfer oranı için Al_2O_3 /su nanoakışkanının, Cu- Al_2O_3 /su nanoakışkanına kıyasla daha verimli olduğu sonucunu belirtmişlerdir.

Muzychka vd. [28] çalışmalarında, dairesel ve farklı giriş şekillerine sahip girişler üzerinden Nu sayısının hesaplanması için yeni bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, Nu sayısının hesaplamasında, giriş bölgelerini yalıtımlı ve ısı akısı sınır şartında kabul etmişlerdir. Dairesel olmayan girişlerde, çeşitli Pr sayılarında asimptotik sonuçlar kullanılmıştır. Dairesel ve paralel girişler için mevcut birkaç modelle ve birkaç dairesel olmayan giriş için sayısal verilerle karşılaştırmalar yaparak yöntemlerinin $\pm\%15$ sonucunda iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Mansour vd. [29] nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin hesaplamasında literatürde standart olarak kullanılan eşitliklerin karşılaştırılması için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu karşılaştırmayı yaparken, iki farklı nanoakışkan malzeme seçilmiş ve sonuçlarda, eşitliklerden elde edilen değerleri hacimsel derişim oranları üzerinden kıyaslama yapmışlardır. Çalışmada, elde edilen verileri hem laminar hem de türbülanslı akış için değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak nanoakışkanın termofiziksel özelliklerin tam belirlenebilmesi için daha fazla deneysel veriye ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir.

Abdullah vd. [30] dikdörtgen şeklindeki bir katının üzerine soğutma delikleri yerleştirerek ısı transferini incelemişlerdir. Çalışmada parametre olarak soğutma deliklerinin çapı ile yüzeyle

sahip olduğu açđ değeri, parça kalınlığı ve akışkan giriş hızını kullanmışlardır. Deneylerde, yzey sıcaklığı verilerini yakalamak için kızılztesi kamerayı, aerodinamik deneylerde ise hız zlzmleri için z boyutlu laser doppler velocimeter cihazını kullanmışlardır. Isı transferi sonuçlarını, eş sıcaklık eğrisinin grafikleriyle verilmişlerdir. Sonuçlarda, delik açılarının azalması ile zellikle soğutma deliğinin çıkışında, yaygın olarak kullanılan delik açısı olan 35° kıyasla daha iyi film soğutma etkinliği sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Nanoakışkan, zelliklerini XRD, HRTEM, EDS ve SAED ile ele alarak Grupta vd. [31] deneysel bir çalışma yzrztmışlerdir. Yaptıkları çalışmada, nanoakışkanlardaki parçacık boyutunu belirlerken, ortamdaki parçacıkların ortalama çapının nano zlzekte gsteren parçacık boyutu analizzr z kullanılarak belirlemişlerdir. Yzrzttikleri araştırmada, nanoakışkanların sentezi için kullanılan deneysel yzntemlerin yzkssek derecede saflığa ve iyi kristal yapısına sahip olduğu sonucuna varmışlardır. XRD verileri, HRTEM ve EDS sonuçlarını desteklemiştir.

Mukherjee vd. [32] çalışmalarında Al₂O₃/su nanoakışkanının termofiziksel karakterizasyonu, soğutma kapasitesi ve ekonomik performansı zzerine deneysel bir araştırmayı ele almışlardır. İlk aşama olarak, 20 nm – 30 nm parçacık boyutunda Al₂O₃'i szfaktan uygulaması olmadan iki aşamalı yzntemle su içinde dağıtmışlardır. Al₂O₃/su nanoakışkanların termal iletkenliği ve viskozitesi, 25° C - 60°C sıcaklık aralığında her 5°C'de ve 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01 farklı hacimsel derişim oranlarında zlz zlmzştir. Sonuçlarda, derişim ve sıcaklık değerlerinin artmasıyla nanoakışkana ait termal iletkenlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Ayrıca, nanoakışkanının viskozite değerindeki artış, sadece hacimsel derişim oranından etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Isı transfer uygulamalarında, nanoakışkanların zelliklerinin tespiti için Chaudhari vd. [33] deneysel çalışma yzrztmışlerdir. Farklı hacimsel derişim oranına sahip (% 0.05, % 0.15, % 0.3, % 0.5 ve % 1) su bazlı Al₂O₃ve CuO nanoakışkanlar deneysel çalışmada kullanılmıştır. Sonuçlarda, termal iletkenlik değerinin %1'lik hacimsel derişim oranında Al₂O₃ve CuO nanoakışkanları için sırasıyla % 19.74 ve % 36.21 arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Benzer şekilde viskozite oranı yine sırası ile % 29.77 ve % 48.71 oranında arttığını yaptıkları çalışma ile gstermişlerdir. Daha iyi termofiziksel zelliklere sahip nanoakışkan için, uygun karışım değerlerini % 0.30 hacim fraksiyonuna sahip Al₂O₃ ve % 0.15 hacim fraksiyonuna sahip CuO karışımı ile elde ettikleri sonucuna ulaşılmıştır. Nanoakışkan MQL işleminin performanslarını değerlendirirken makine performanslarını da gz gznznde bulundurmuşlardır.

Mashayekhi vd. [34] iki fazlı karışım modeli kullanılarak oval bir kanalda, su-Al₂O₃ nanoakışkanın ısı transfer performansı için sayısal olarak çalışma gerçekleştirmişlerdir. Konik hacme sahip iki adet geometrinin, dzn zř yznu zzerinden z farklı analiz gerçekleştirmişlerdir. Birinci analizde konik geometriler saat yznunde, ikinci analizde konik geometriler saat yznuunun tersine dzndzr zlmzştir. zznc z analizde ise birinci konik geometri saat yznuunun tersine ikinci

konik geometri saat yönünde döndürülmüştür. Sonuçlarda, birinci analiz durumunda % 17 daha fazla ısı transferi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Re sayısının daha yüksek değerlerinde ve artan nanoakışkan derişim oranında, sıcaklık düşüşü için daha önemli olduğu bulunmuştur.

Konsantre güneş enerji santrallerinde, termal enerji depolama uygulaması için kullanılan erimiş tuzların termofiziksel özelliklerini arttırmak için Al_2O_3 bazlı iki nanoakışkan Nithiyanantham vd. [35] tarafından üretilmiştir. Çalışmada, fiziksel çalkalama tekniği kullanılarak yeni bir basit kuru hazırlama yöntemi anlatılmıştır. Baz ötektik tuz karışımında, ağırlıkça % 1 Al_2O_3 nanomalzemelerinin on beş dakikalık bir çalkalama süresi ile elde edilmiştir. Nanoakışkanları hazırlamak için iki farklı şekilli Al_2O_3 nanopartikülleri kullanılmıştır. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri TGA, DSC, LFA, Reometri ve Dilatometri ile incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, nanoparçacık şeklinin baz inorganik tuzun termofiziksel özelliklerinin artırılması üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Nanoakışkanların ısı kapasitesinde katı ve sıvı halde % 3 ile % 6 artış gözlemlenmiştir.

Bharadwaj vd. [36] nanoakışkan alüminyum oksit ile kullanılan faz değıştirci malzemenin enerjisini, şarj ve deşarj süresi üzerinden incelemek için deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, ilk temel akışkan olarak su kullanılmış ve sonra bu temel akışkana Al_2O_3 eklenerek hazırlanan nanoakışkan, faz değıştiren malzemeye eklemiş ve oluşan karışım üzerinden deneylerde karşılaştırma yapmışlardır. Faz değıştirci malzeme olarak parafin-wax kullanılmıştır. Sonuçlarda, enerji depolama olarak nanoakışkan ile karışan faz değıştiren malzemenin; nanoakışkan kullanılarak, şarj süresinin %25 arttığı ve deşarj süresinin ise %20 düştüğü gözlenmiştir.

Aparna vd. [37] sulu Al_2O_3/Ag hibrit nanoakışkanların ısı transfer karakteristikleri üzerine deneysel bir araştırma yapmışlardır. Hibrit nanoakışkanların üretilmesindeki amaç, nanoakışkanlara kıyasla daha iyi ısı transfer oranı elde etmektir. Nanopartiküllerin yüzey özelliklerini, X-ışını kırınımı ve transmisyon elektron mikroskopisi ile belirlemişlerdir. Al_2O_3/Ag nanopartikülleri su içinde stabilize etmek için polivinilpirolidon kullanılmıştır. Nanoakışkan, Al_2O_3/Ag 'nin damıtılmış su içinde dağıtılmasıyla hazırlanmıştır ve termal iletkenlik ölçümleri, geçici sıcak tel yöntemi kullanılarak hacimce % 0.005 ile % 0.1 arasında değışen partikül oranlarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, Al_2O_3/Ag hibrit nanoakışkanlarının tek başına Al_2O_3 nanoakışkanlara kıyasla daha yüksek termal iletkenlik artışı sergilediğini göstermektedir. Deneysel verilere dayanarak, hazırlanan hibrit nanoakışkanın termal iletkenliğinin ölçümü için yeni bir korelasyon önerilmiştir.

Nanoakışkanlar, ortalama parçacık boyutu 100 nm'nin altında olan nanomalzemelerin süspansiyonu ile hazırlanan yeni bir akışkan sınıfıdır. Nanometre boyutunda malzemeler için nanopartiküller, nanofiberler, nanotüpler, nanoteller, nanorodlar, nanosheet veya damlacıklar söylenebilir. Bu araştırma çalışmasında, Amalraj vd. [38] CuO ve Al_2O_3 'ün oksit seramikleri, organik yakıt olarak glisin ve ardından ısı işlem kullanılarak iki aşamalı yanma yolu ile

sentezlemişlerdir. Elde edilen nanopartiküller, toz X-ışını difraktometresi ile karakterize edilmiştir. Morfolojik çalışmalar, mikron altı aralıklı parçacıklarda CuO ve yaprak şeklindeki Al₂O₃'in küresel şekil nanoparçacıklarını gösteren scanning elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Güneş paneli uygulamaları için baz sıvıları olan soğutma sıvısı malzemelerinin seçimindeki önem, I-V ve P-V spektrumu çizilerek kısaca tartışılmaktadır. Sonuçlarda, hem CuO hem de Al₂O₃ 'in soğutma verimliliği, geleneksel verimlerden, % 18.2 artışı bulunmuştur.

Tek partikül nanoakışkanlara göre gelişmiş termal ve akış özellikleri ile bilinen yeni bir nanoakışkan sınıfı hibrit nanoakışkanlardır. Giva vd. [39] yaptıkları deneysel çalışmada, kare bir hacimde temel akışkan olarak kullanılan su ile Al₂O₃ ve çok duvarlı karbon nanotüp nanopartiküllerinin karışımı ile hazırlanan bir hibrit nanoakışkan üretmişlerdir. Parametre olarak bu karışımda farklı hacimsel derişim oranları, farklı sıcak duvar sınır şartları kullanmışlardır. Bu parametleri doğal taşınım üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sıcaklıkları 20°C ile 50°C aralığında, Rayleigh sayısını 1.65×10^8 ile 3.80×10^8 aralığında tutmuşlardır. Sonuçlarda, Rayleigh ve Nu sayıları arasında doğrudan bir ilişki tespit etmişlerdir. Nanoakışkanlardaki sıcaklık gradyanı ve bi-nanopartiküllerin ağırlık yüzdesi ile birlikte Nu sayısı, ısı transfer katsıyı ve ısı transferinin arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca hazırlanan hibrit nanoakışkanının, kare bir hacme dahil edilmesi ile doğal konveksiyon performansında artış meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlarda, hibrit nanoakışkanların tek parçacık nanoakışkanlara göre daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Li vd. [40] parçacık boyutu dağılımı ve hız oranını kullanarak Al₂O₃ - etilen glikol karışımı ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite, ısıl iletkenlik katsayısı gibi termofiziksel özelliklerin belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı modelinde kullanılması için deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Isıl iletkenlik ve viskozite ölçümleri için Al₂O₃ - etilen glikol karışımının ağırlıkça oranlarını % 0.5, % 1 ve % 2.0 olarak 25 °C ile 60 °C sıcaklık aralığında uygulamışlardır. Karışımın Yapay Sinir Ağı modelinde kullanılması için yeni korelasyonlar önermiş ve Yapay Sinir Ağı modeli ile viskozite ve termal iletkenlik değerlerini bulmaya çalışmışlardır. Sonuçlarda, sıcaklık ve ağırlıkça oranların artışıyla ısıl iletkenliğin arttığını ve viskozitenin düştüğümü göstermektedir. Ayrıca çalışmalarında, Yapay Sinir Ağı modeliyle elde edilen sonuçların, çalışmada önerilen diğer korelasyonların sonuçlarına göre daha doğru sonuçlara ulaşıldığını ifade etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında ise, jet akışları yardımıyla sıcak bir cisminde sıcaklık kontrolü gerçekleştirilecektir. Meydana gelen ısı transferinin ve akış davranışlarının incelenmesi için diferansiyel denklemler yardımıyla sayısal çözümleme yapan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımlarından biri olan ANSYS 18.2 kullanılmıştır. Ele alınan bu çalışmada, nanoakışkanın hacimsel derişim oranı ve kanal yüksekliğinin etkisi farklı Reynolds sayılarında incelenmiştir. Elde edilen veriler sonuçlar bölümünde açıklanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, başlangıçta sabit sıcaklığa sahip bir küt cisim, kanal içerisine yerleştirilmiştir. Çalışmada, küt cisim hareketli bir duvar üzerine bırakılmış ve parçanın hareketi bu duvarla aynı hızda olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca tüm simülasyonlarda küt cisme ve hareketli duvara, aynı zaman adımıyla eşit mesafeler aldırılarak harekete bağlı ilerlemeler sabit tutulmuştur. Küt cisim duvar üzerinde hareket ederken, duvarın üst tarafına yerleştirilen üç adet slot jet akışı yardımı ile sisteme farklı Re sayılarında, farklı termofiziksel özelliklere sahip küt cisme göre daha düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkanın sisteme girişi sağlanmıştır. Akışkan $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ hacimsel derişim oranına sahiptir ve bu akışkanları elde etmek için H_2O ile Al_2O_3 karışımı kullanılmıştır. Sayısal çalışma iki boyutlu olarak ANSYS FLUENT paket programında gerçekleştirilmiş ve akışkan hareketleri, birleşik ısı transferi sonuçları ile Nu sayılarının değişimleri şekiller yardımı ile bulgular kısmında açıklanmıştır.

2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Tanımı

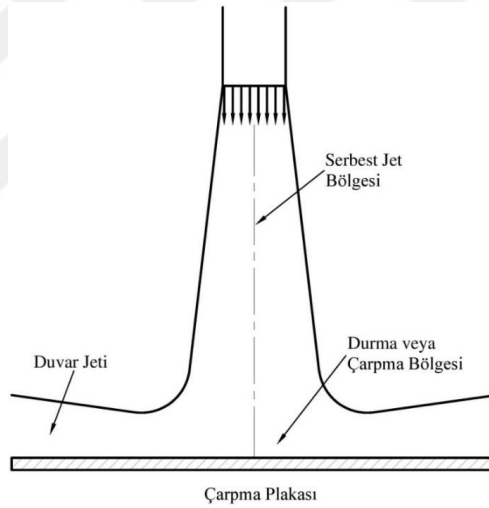
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), teknolojik gelişmelere bağlı olarak gelişen bilgisayar sistemlerinin artması ile HAD'a rağbetin artmasına neden olmuştur. Çünkü HAD yazılımları; zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Daha önceleri bu amaçla çalışan programların yerine analitik hesaplamalar ve deney düzeneği kullanılırken, bu yazılımlarda basit bir şekilde geometri oluşumu ve bu geometriye bağlı simülasyon çalıştırılarak sonuçları alınabilmektedir. Bu yazılımlar da kurulacak deney düzeneği ve prototiple yapılan çalışmaların yerini alarak, sonuçların işlenmesine ve karşılaştırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu da gerek akademik gerek ise sanayi uygulamalarında bu programların tercih edilme payını arttırmaktadır [10].

Genel olarak HAD yazılımlarında, modellenen bir akışın çözümü için süreklilik denklemi, momentum denklemleri ve çözümü istenen probleme bağlı olarak birçok yardımcı denklemin aynı zamanda paralel olarak çözümü, zamandan bağımsız ve zamana bağlı olarak yapılabilmektedir. Probleme bağlı olarak bu çözümler 2-boyutlu (2B) ve 3-boyutlu (3B) olarak gerçekleştirilebilmektedir. 2B problemlerde denklemler basitleştirilerek sonuçlar elde edilir. 3B problemlerde ise çözülecek denklem sayısı daha fazladır. HAD amaçlı çalışan paket programlarda diğer önemli konu olarak ağ örgüsünden bahsedilebilir. Ağ örgüsünün sık olarak atanması durumunda, bilgisayardan çözüm esnasında tüketilen kaynaklar artmakta buna bağlı olarak donanım gereksinimleri artmaktadır. Çözüm süresi tayini için paket program üzerinde, çözülecek problemin karmaşıklık derecesi, tayin edilen ağ yapısı ve bilgisayar donanımları bütün olarak değerlendirilebilir.

2.2. Jet Tanımı

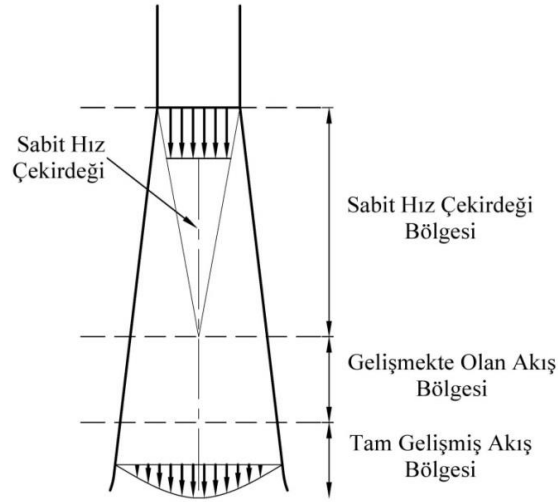
Mühendislikte karşılaşılan problemlerin büyük bir kısmının çözümü jet akışlarını içermektedir ve bu problemlerin çözümleri belirli kısıtlar ve koşullar gerektirmektedir. Kullanım alanları yaygın olan jet akışları endüstriyel alanlarda, sanayi alanında, savunma sanayi ve uzay sistemleri gibi birçok günlük yaşamın parçası haline gelmiş sistemlerde entegre olarak kullanılmaktadır. Bu problemlerin çözümünde, bilgisayar destekli HAD yöntemlerinden faydalanılmaktadır.

Jet akışlarında akışkan laminar veya türbülanslı olabilir. Çarpan jet problemlerinde, akış ve ısı transferi özellikleri; akışkanın giriş sıcaklık ve hız değerlerine, jet girişi ile plaka arasında ki mesafeye, jetin geometrik yapısına, plaka hareketine ve sıcaklığına bağlı farklılık gösterir. Bir yüzeye çarpan jet, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi serbest jet bölgesi, durma veya çarpma bölgesi ile duvar jeti olmak üzere birbirinden farklı üç bölgeye ayrılabilir [10].



Şekil 2. 1. Çarpan jetin akış bölgeleri [10]

Bir engele çarpmayan jet profilinde ise oluşan bölümler ise Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Sabit hız çekirdeği bölgesinde hız, jetten ayrılan akışkan için aynıdır. Akış ilerledikçe jet hız profili, çıkışta yer alan geometrisi ve akışın türbülans yoğunluğu jetten sonra oluşan akışın uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca momentumda meydana gelen taşınım nedeniyle jetin merkezindeki hızda düşüş görülmektedir. Bu bölge gelişmekte olan akış bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgede ilerledikçe hız profili tam gelişim göstermektedir. [10]



Şekil 2. 2. Serbest jetin akış bölgeleri [10]

2.3. Birleşik Isı Transferi Tanımı

Isı transferi iki farklı fiziksel durum arasındaki ısı değişimi içerir. Aktarılan ısı miktarı cisimler arasındaki sıcaklık farkı ile orantılıdır ve her zaman yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğrudur. Örnek olarak katı bir cismin farklı sıcaklıktaki havanın içerisine bırakılarak, ısıtılıp soğutulması verilebilir. Isı transferi iletim, taşınım ve ışıınım ile veya bunların kombinasyonu ile gerçekleşebilir. Bunlardan iletim; parçacıklar arası etkileşim olarak yüksek enerjili parçacıklardan düşük enerjili parçacıklara bu enerjinin aktarılmasıdır. Katılarda iletim, moleküllerin titreşimi şeklinde, sıvılarda ve gazlarda moleküllerin rastgele çarpışması ile gerçekleşir. Taşınım; bir katı yüzey ile yüzeye bitişik hareket halindeki akışkanlar (sıvı veya gaz) arasında enerji aktarımıdır. Fan veya pompa gibi dış etkiler ile akışkan hareketi meydana geliyorsa zorlanmış taşınım, akışkan hareketi sadece yoğunluk farkından kaynaklanan kaldırma kuvveti olarak gerçekleşiyorsa doğal taşınım olarak adlandırılır. Zorlanmış taşınım, yüksek ısı transfer hızı elde etmenin en yaygın yoludur çünkü akışkan hızı artırılarak taşınım ile meydana gelen ısı transferi de arttırılmış olur. Işıınım ise enerjinin elektromanyetik dalgalar yayılmasıdır [42].

Birleşik ısı transferi (CHT) terimi, katılar ve sıvılar arasındaki ısı etkileşim nedeniyle, katı ve sıvılar içindeki sıcaklık değişimlerini içeren işlemleri tanımlamak için kullanılır. Başka bir deyişle CHT, katı ve sıvılardaki ısı transferinin kombinasyonuna karşılık gelir. Soğutma, ısıtma ve ısı değiştiricileri tasarımlarında, sıvı ve katıların birlikte düşünülmesi oldukça önemlidir. Bunun nedeni sıvıların, katıların etrafında veya katı duvarlar arasında akması ve katıların genellikle bir akışkan hacminin içerisinde yer almasından kaynaklanmaktadır. Böylece CHT ile akış rejimlerinin, sıcaklık dağılımlarının, ısı transferinin ve geometrik tasarımların doğru bir şekilde oluşturulması için bir uygulama sağlar.

Yukarıda bahsedilen bilgiler ışığında CHT metodu için HAD çözücüsü olan Fluent yazılımı tarafından bir dizi denklem takımı çözülür. Bu çalışma için Fluent programı tarafından kullanılan denklemler aşağıda sunulmuştur. Denklem 2.1’de verilen ifade genel enerji eşitliği, Denklem 2.4’de verilen ifade ise katı hacimsel için çözülür [41].

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(\rho_f E)}_{\text{I.}} + \underbrace{\nabla(\vec{v}(\rho_f E + p))}_{\text{II.}} = \nabla \left(\underbrace{k_{eff} \nabla T}_{\text{III.}} - \underbrace{\sum_j h_j \vec{J}_j}_{\text{IV.}} + \underbrace{(\vec{\tau}_{eff} \vec{v})}_{\text{V.}} \right) + \underbrace{S_h}_{\text{VI.}} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de

- I. ifade zamana bağlı olarak toplam enerjide miktarındaki değişimi
- II. ifade taşınım terimini,
- III. ifade iletim terimini,
- IV. ifade kimyasal reaksiyon gibi tepkimelerde oluşan enerji terimini temsil eder. j adet türden her biri için ayrı olarak ifade edilir. J ise tepkimeye giren türlerin difüzyon akı değeridir (‘Species Model’ kullanıldığı zaman geçerlidir).
- V. ifade viskoz yayılım kaynaklı enerji transferini temsil eder. Bu ifade sıkıştırılmaz akışlardan ziyade yüksek hızlarda sıkışabilir akışlarda önemli bir yer tutmaktadır. (‘Viscous Heating’ kullanıldığı zaman geçerlidir).
- VI. ifade ise çözülmesi istenen problemde hacimsel olarak ısı kaynağı ve kimyasal reaksiyonlardan kaynaklı ısı oluşumunu temsil etmektedir. (‘Source Terms’ kullanıldığı zaman geçerlidir)

I. ifadede E ifadesi toplam enerji değişiminin hesaplanması için Denklem 2.2 ile hesaplanır.

$$E = h - \frac{p}{\rho_f} + \frac{v^2}{2} \quad (2.2)$$

Denklem 2.1’de yer alan III. ifadede k_{eff} efektif iletkenliği olarak adlandırılmaktadır. Bu ifadenin çözümü için Fluent tarafından Denklem 2.3’ten çözülür.

$$k_{eff} = k_l + k_{lt} \quad (2.3)$$

k_{lt} ise türbülanslı termal iletkenlik olarak adlandırılır ve problemlerde kullanılan türbülans modeline göre tanımlanır.

Katı hacimler için tanımlanan iletim denklemi Fluent tarafından aşağıdaki denklem 2.4’ten çözülür.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_s h_s) + \nabla(\vec{v}_s \rho_s h_s) = \nabla(k_s \nabla T) + S_h \quad (2.4)$$

Burada ρ_s yoğunluk, k_s ısı iletkenlik katsayısı, T sıcaklık, S_h sistemde tanımlanan ısı kaynağını temsil eder. $\vec{v}_s$ katı hacimlerin dönme veya öteleme hareketlerinden hesaplanan vektörel hız bileşenleri, h_s ise duyulur entalpi Denklem 2.5'ten;

$$h_s = \int_{T_{ref}}^T C_p dT \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmaktadır. Denklem 2.6'da yüzey ısı transfer katsayısını (h) Fluent tarafından

$$m_p C_p \frac{dT_p}{dt} = h A_p (T_c - T_h) + \varepsilon_p A_p \sigma (\theta_R^4 - T_c^4) \quad (2.6)$$

şeklinde hesaplamaktadır [41]. Burada m_p parçacık kütlesi, C_p parçacık ısı kapasitesi, A_p parçacık alanı, T_c düşük sıcaklık, T_h yüksek sıcaklık, h ısı transfer katsayısı, ε_p parçacık yayınımlı, σ Stefan-Boltzmann sabiti ve θ_R ise radyasyon sıcaklığıdır. Son ifade radyasyon ifadeleri olup çalışmada tanımlanmamıştır.

2.4. Nanoakışkan Tanımı

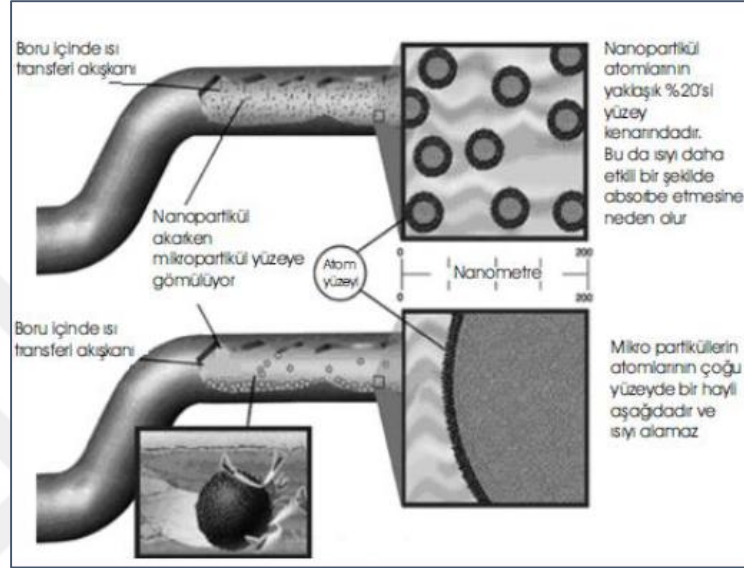
Nanoakışkanlar, gelişen teknoloji sayesinde mikro boyutlu parçacıklarının yerine kullanılmaya başlanılan nano boyuttaki parçacıkların, termofiziksel özellikleri düşük olan temel akışkan içerisine eklenmesi ile hazırlanan karışımlardır. Mühendislik uygulamalarında önemli bir yer tutmakla beraber kullanım alanları geniştir. Nanoakışkanlar temel akışkanlar ve nanoparçacıklar olarak iki fazdan oluşmaktadır. Isı transferinin artırmak için, akışkanlar içerisine mikro boyutta parçacık eklenmesi fikri ilk olarak Maxwell (1891) tarafından ortaya atılmış olsa da nanoakışkan kavramı ilk olarak, Choi ve Eastman (1995) tarafından kullanılmıştır [43].

Nanoparçacıklar, metaller (Cu, Ni, Al vb.), metal oksitler (Al_2O_3 , TiO_2 , CuO , SiO_2 , Fe_2O_3 , FeO_4 vd.) ve diğer bileşiklerden (AlN, SiC, $CaCO_3$, grafen, karbon nanotüpler vd.) oluşurken temel akışkan olarak ise su, etilen glikol, propilen glikol, motor yağı vb. bileşimlerinden oluşmaktadır. Nanoakışkanlar katı-sıvı fazdan oluşan süspansiyonlar olmasına rağmen çok küçük boyutlarda parçacıklar (1-100 nm) temel akışkanla çok iyi karıştırıldığı için bu süspansiyon tek fazlı akışkan gibi davranmaktadır [44].

Isı transferinde, yüzey alanının artmasıyla ısı transferinin artırılması mümkündür. Aynı hacimsel yoğunluğa sahip süspansiyonlarda nanoparçacıklar mikroparçacıklar ile karşılaştırıldığında nanoparçacıkların yüzey alanı daha fazladır ve bu durum ısı transferini

artırmaktadır. Ayrıca temel akışkan içerisindeki nanoparçacıkların büyük çoğunluğu cidarlara yakın durarak cidarlarla akışkan arasındaki ısı transferini artırır [45].

Şekil 2.3’de görüldüğü üzere temel akışkan içerisine mikro veya daha büyük partiküller yerine nanoparçacıkların eklenmesi ile yüzey alanı, ısı transferi ile birlikte artmakta ve buda sonuç olarak nanoparçacıkları daha avantajlı yapmaktadır [43].



Şekil 2. 3. Temel akışkana eklenen nanoparçacıklarının mikroparçacıklarla karşılaştırılması [43]

2.5. Sayısal Çalışma

2.5.1. Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Hesaplanması

Nanoakışkanların yoğunluğu ρ_{nf} için aşağıdaki formül yazılır, [34]

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_s \quad (2.7)$$

ϕ işareti katı nanoparçacıklara ait hacimsel yüzde yoğunluğudur.

Nanoakışkanın ısı kapasitesi Denklem 2.8’de tanımlandığı gibidir, [34]

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_s \quad (2.8)$$

Denklem 2.9’da nanoakışkanın ısı iletkenlik katsayısı k_{nf} Maxwell’e göre aşağıdaki formülden hesaplanır: [17]

$$k_{nf} = k_f \left[\frac{(k_s + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_s)}{(k_s + 2k_f) + \phi(k_f - k_s)} \right] \quad (2.9)$$

Nanoakışkana ait dinamik viskozite ise, Brinkman [29] tarafından verilen formüle göre Denklem 2.10'da ki halini almaktadır;

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad (2.10)$$

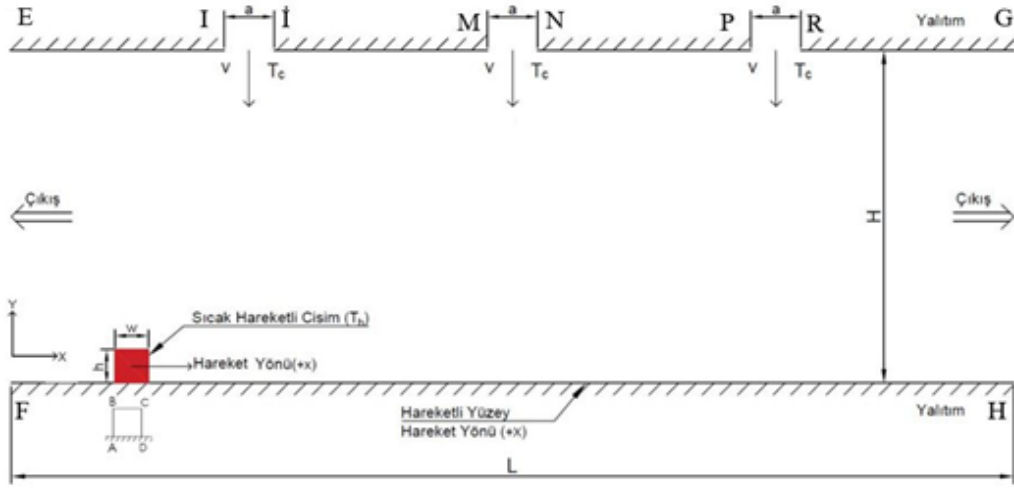
Tablo 2.1'de görüldüğü gibi $\phi = 0.02$ hacimsel derişim oranına ait Al_2O_3 'ün termofiziksel özellikleri verilmiştir. Bu değerler, Denklem 2.7 ile Denklem 2.10 arasında belirten formülasyonlar yardımı ile hesaplanıp, HAD çözücü programı olan Fluent programına tanımlanmıştır. Tabloda verilen ρ_{nf} , $C_{p\,nf}$, k_{nf} ve μ_{nf} terimleri sırasıyla yoğunluk, özgül ısı, ısıl iletkenlik katsayısı ve dinamik viskoziteyi ifade etmektedir.

Tablo 2.1. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri [17]

ρ_{nf} (kg/m ³)	$C_{p\,nf}$ (J/kg.K)	k_{nf} (W/m.K)	μ_{nf} (kg/m.s)	T (°C)	T (K)
1053.8922	3979.009548	0.60586859	0.001729797	1	274.15
1054.012	3971.438684	0.611765057	0.001580651	4	277.15
1053.7746	3959.146056	0.623039547	0.001332005	10	283.15
1053.2062	3953.364448	0.631904265	0.001165399	15	288.15
1052.3242	3949.490029	0.640324728	0.001027823	20	293.15
1051.1874	3941.923828	0.648290448	0.000913387	25	298.15
1049.7958	3946.655378	0.655812061	0.000817599	30	303.15
1048.1984	3944.857538	0.662921326	0.000736862	35	308.15
1044.8272	3950.678773	0.66960774	0.000668358	40	313.15
1044.4156	3945.32215	0.675892484	0.000609804	45	318.15
1042.2596	3946.551742	0.681775609	0.000559402	50	323.15
1039.937	3945.402366	0.687278285	0.000515699	55	328.15
1037.4674	3948.748558	0.692400557	0.00047754	60	333.15
1034.841	3952.701971	0.697153022	0.000443966	65	338.15
1032.0774	3953.190053	0.701535717	0.000414232	70	343.15
1029.1864	3955.429296	0.705580356	0.000387705	75	348.15
1029.1864	3958.214049	0.709265845	0.000363914	80	353.15

Problemin şematik gösterimi Şekil 2.4'e verilmiştir. Jet slot girişleri üç adet olmak üzere a genişliğine, T_c sıcaklığına ve V giriş hızına sahiptir. Alt hareketli duvar üzerine yerleştirilen ve hareketini bu duvar vasıtasıyla kazanan küt cismin hareket hızı ve yönü (+x) hareketli duvara eşittir.

EF ve GH arasında kalan yerler çıkış sınır şartı olarak tanımlanmıştır. Bu kısımlar dışında kalan duvarlar yalıtım sınır şartına sahiptir.



Şekil 2. 4. Sayısal çalışmanın geometrik gösterimi

2.5.2. Sayısal Modelde Tanımlanan Sınır Şartları

Şekil 2.4 da verilen geometri için $\tau = 0$ anında sınır şartları aşağıdaki gibidir;

Üst duvar EI, İM, NP ve RG sınırlarında

$$u = 0, \quad v = 0, \quad \partial T / \partial x = 0, \quad (2.11)$$

Alt duvar FH sınırında

$$u = 0, \quad v = V_s, \quad \partial T / \partial x = 0, \quad (2.12)$$

Giriş İI, MN, PR sınırlarında (I, İ, M, N, P ve R noktaları hariç)

$$u = 0, \quad v = -1, \quad T = 288.15 \text{ K}, \quad (2.13)$$

Çıkış EF ve GH sınırlarında (E, F, G ve H hariç)

$$\partial u / \partial x = 0, \quad \partial v / \partial x = 0, \quad \partial T / \partial x = 0, \quad (2.14)$$

Küt cisim ile akışkan arasında AB, BC ve CD ara yüzlerinde

$$u = 0, \quad v = V_s, \quad T = T_h \quad (2.15)$$

Kanalda bulunan akışkan şartı için

$$u=0, \quad v=0, \quad T_{\infty} = 273.15 \text{ K}, \quad (2.16)$$

Bu $\tau = 0$ 'da belirtilen sıcaklık değerleri tüm Re sayılarında ve tüm hacimsel derişim oranlarında sabit tutulmuştur. T_h ise küt cismin $\tau = 0$ anında sahip olduğu sıcaklık değerini belirtmektedir. Re sayısı, $30 \leq Re \leq 120$ aralığında üç farklı değer almaktadır. Ayrıca tüm analizlerde küt cismin malzemesi olarak alüminyum kullanılmıştır.

2.5.3. Modellerde Kullanılan Ağ Yapısı

Sayısal çalışmada kullanılan fiziksel modeller için, geometrilerin ağ yapısı ANSYS Meshing yazılımı aracılığı ile hazırlanmıştır. Hareketli ağ örgüsü içeren problemlerde çözüm sırasında ağ yapısında deformasyonlar meydana gelerek ağ örgüsünün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Ağ yapısının yeterli kalitede olmaması durumunda, denklemlerin çözümü düşük kaliteli ağ örgülerin bozulması ile devam edememekte ve böylece Fluent programında çözüm gerçekleşmeden çökmelere neden olmaktadır. Hareket kaynaklı deformasyonların karşılanması ve çözüm hassasiyetinin sağlanması için kare tabanlı ağ örgüsü küçük yapılar olarak özellikle bu bölgelere tayin edilmiştir. Ayrıca kalan bölgeler için yine kare tabanlı ağ örgüsü atanmıştır. Bu sayede çözümün karmaşadan uzaklaşması sağlanmıştır [17]. Fakat elemanların çok küçük olduğu durumlarda ise hesaplama sürelerinde artışlar meydana gelmektedir. Bu nedenle çözüme uygun olarak Tablo 2.4'de verilen değerler uygun görülmüştür.

ANSYS Meshing User's Guide belgesinde anlatıldığı gibi yapılan çalışmanın ağ örgüsünün değerlendirilmesi için, bir dizi ölçme tekniği kullanılmaktadır. Bu ölçme kriterlerinden en önemlileri Orthogonal Quality ve Skewness değerleridir. Bu ölçme kriterlerinden olan Skewness değeri Tablo 2.2'de görüldüğü üzere değer sıfıra yaklaşıncı ağ yapısına ait hücre kalitelerinin yükseldiği görülmektedir. Fakat hareketli ağ örgüsü problemlerinde bu değerlerin iyileştirilmesi biraz daha karmaşık bir hal olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna ek olarak, Orthogonal Quality değeri ise 1'e yaklaştıkça hücrenin kalitesinin artmasını sağlamaktadır [17].

Tablo 2.2. Skewness değerinin yorumlanması [10]

Skewness Değeri	Hücre Kalitesi
1	Bozulmuş
0.9 – <1	Kötü
0.75 – 0.9	Zayıf
0.5 – 0.75	Uygun
0.25 – 0.5	İyi
>0 – 0.25	Mükemmel
0	Eşkenar

Bu çalışmada tayin edilen ağ örgülerine ait geometriler Tablo 2.3’de sunulmuştur. Bir önceki paragrafta açıklanan Skewness ve Orthogonal Quality ifadelerinin ağ örgüsünde ki değerleri Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.3. Ağ yapısı modellenen geometriler

I. Geometri	Kanal yüksekliği H=1
II. Geometri	Kanal yüksekliği H=0.5

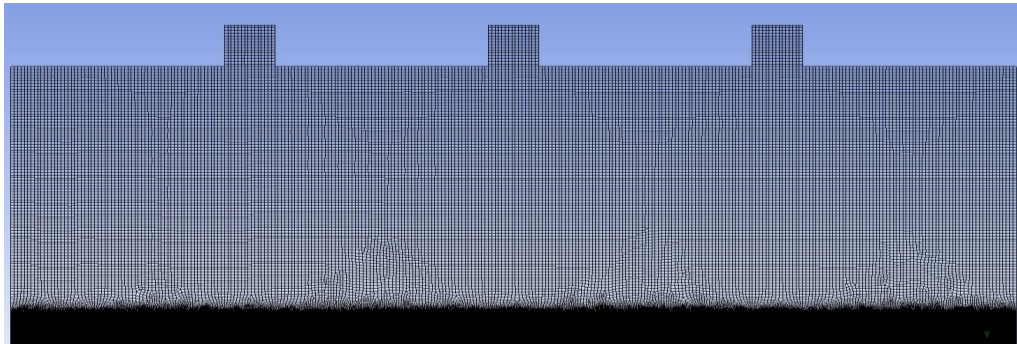
Tablo 2.4. Oluşturulan ağ yapısına ilişkin Orthogonal Quality ve Skewness değerleri

	Eleman Sayısı	Orthogonal Quality				Skewness			
		Min.	Maks.	Ort.	Standart Sapma	Min.	Maks.	Ort.	Standart Sapma
I. Geometri	124275	0.552	1	0.996	0.016	1.3e-10	0.73	0.020	0.061
II. Geometri	105774	0.513	1	0.995	0.019	1.3e-10	0.69	0.026	0.065

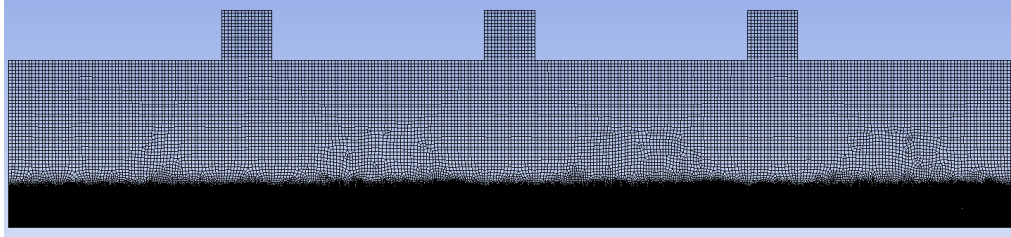
Çalışmada kullanılan geometrilerin ağ yapıları yukarıda bahsedilen kriterlere göre belirlenmiştir. Bu parametrelere uygun olarak, tayin edilmiş ağ yapılarının ilgili şekilleri aşağıda verilen Şekil 2.5 ile Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Tablo 2.5’de kullanılan akışkan tipleri ve Tablo 2.6’da ise çalışmada kabul edilen parametreler sunulmuştur.

Tablo 2.5. Fiziksel modellerde kullanılan akışkan tipleri

I. Akışkan	ϕ 0.0
II. Akışkan	ϕ 0.0 + ϕ 0.02 Al ₂ O ₃



Şekil 2. 5. I. Geometride kullanılan ağ yapısının görünümü



Şekil 2. 6. II. Geometride kullanılan ağ yapısının görünümü

2.5.4. Genel Denklemler

Bu çalışmada süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıdaki haliyle yazılır

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{1}{\text{RePr}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \quad (2.20)$$

Bu denklemlerde u , v ve p sırasıyla, x yönündeki hız bileşeni, y yönündeki hız bileşeni ve basınçtır. Denklem 2.15’de verilen θ boyutsuz sıcaklıktır ve

$$\theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c} \quad (2.21)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada T yerel sıcaklık değerini, T_c akışkan giriş sıcaklığı ve T_h ise başlangıç anında küt cisim sıcaklığını temsil etmektedir.

Denklem 2.11 ile Denklem 2.14 arasında τ boyutsuz zamanı temsil etmektedir ve

$$\tau = \frac{v_s \cdot t}{a} \quad (2.22)$$

şeklinde gösterilir. Burada t saniye olarak zamanı, a jet genişliği ve v_s ise küt cismin saniyede kat ettiği metre cinsinden değeri ifade etmektedir. [14].

Reynolds sayısı bir jet için aşağıdaki Denklem 2.17 yardımıyla hesaplanır:

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (2.23)$$

Burada, V akışkanın jetten giriş hızı, L karakteristik uzunluk, ν ise akışkanın kinematik viskozitesidir [1].

Çalışmada hesaplanan yerel ve ortalama Nusselt sayısı için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$Nu_x = \frac{h_x L}{k} \quad (2.24)$$

$$Nu_{ort} = \frac{1}{3} (Nu_{yAB} + Nu_{xBC} + Nu_{yCD}) \quad (2.25)$$

Denklem 2.18’de yerel Nusselt sayısı denkleminde; h_x belirli bir x koordinat noktasındaki ısı transfer katsayısını, L ise karakteristik uzunluğunu ve k termal iletkenlik katsayısını temsil etmektedir. Nusselt sayısı taşınım iletime oranını temsil etmektedir ve $Nu=1$ olduğu zaman taşınım iletime eşittir.

Akış sırasında önemli bir diğer parametrede akışın sürtünme katsayısıdır. Bu katsayı akışkan tarafından akış doğrultusunda cismin duvarlarına uygulanan kuvvet hakkında bilgi vermektedir. Sürtünme katsayısı C_f ile gösterilmiştir ve Denklem 2.20 ‘de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho_f V_b^2} \quad (2.26)$$

Burada τ_w akış tarafından uygulanan basıncı, ρ_f akışkanın yoğunluğunu ve V_b ise akışkanın duvardan yeteri kadar uzaklıktaki hızıdır [41].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, başlangıçta akışkana göre yüksek ve sabit sıcaklıkta olan bir küt cisim farklı Re sayılarında, farklı soğutucu akışkanlar içerisinde belirli bir mesafe kadar doğrusal olarak hareket ettirilmiştir. Bu hareketten kaynaklanan ve kanal içerisinde meydana gelen akış ile ısı karışım davranışları sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan analizlerde ifade edildiği gibi iki farklı kanal yüksekliği kullanılmıştır. Kullanılan bu yüksekliklerin her bir tanesi için üç adet farklı akışkan giriş hızları simülasyonlar için öngörülmüş ve her bir akışkan giriş hızı için iki farklı akışkan parametre olarak kullanılmıştır. Bahsedilen parametrelere uygun olarak analizler çalıştırılmıştır.

Jet akışları ile ilgili olarak belirlenen başlangıç sınır koşullarında, düşük akışkan giriş hızları kullanıldığından dolayı akış rejimi laminerdir. Elde edilen sayısal veriler yardımı ile kanal içerisindeki akışta ve katı cisimdeki zamana bağlı sıcaklık dağılımlarını veren eş sıcaklık eğrileri, akım çizgileri ile hız vektörleri çıkarılmıştır. Sonuçlardan hız vektörü, akım çizgileri ile eş sıcaklık kontörleri üç farklı zaman adımı (0.8, 52, 104) için verilmiştir. Bu zaman adımları toplam analiz süresinin ilk, orta ve son zaman adımına karşılık gelen zaman adımlarıdır. Yine sonuçlar kısmında verilen hız, yüzey ısı transfer katsayısı, akışa ait sürtünme katsayısı ve akışkan hızındaki ortalama değişimler ile yerel ve ortalama Nu sayıları, tüm analiz süresi boyunca değişen boyutsuz zaman adımlarında değerlendirilmiştir.

Eş sıcaklık eğrilerinde, katı cisim ve akışkanda meydana sıcaklık değişimleri için kanal yüksekliği, Re sayısı ve akışkan türü gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Yüzey ısı transfer katsayısı, küt cisim duvarları üzerinden birim yüzey alanından birim sıcaklık farkında ve birim sürede taşınan ısı miktarı olarak tüm parametreler için değerlendirilmiştir. Küt cisim ve akışkan hareketinden kaynaklı duvarlara uygulanan basınç yine geçerli parametreler üzerinden incelenmiştir.

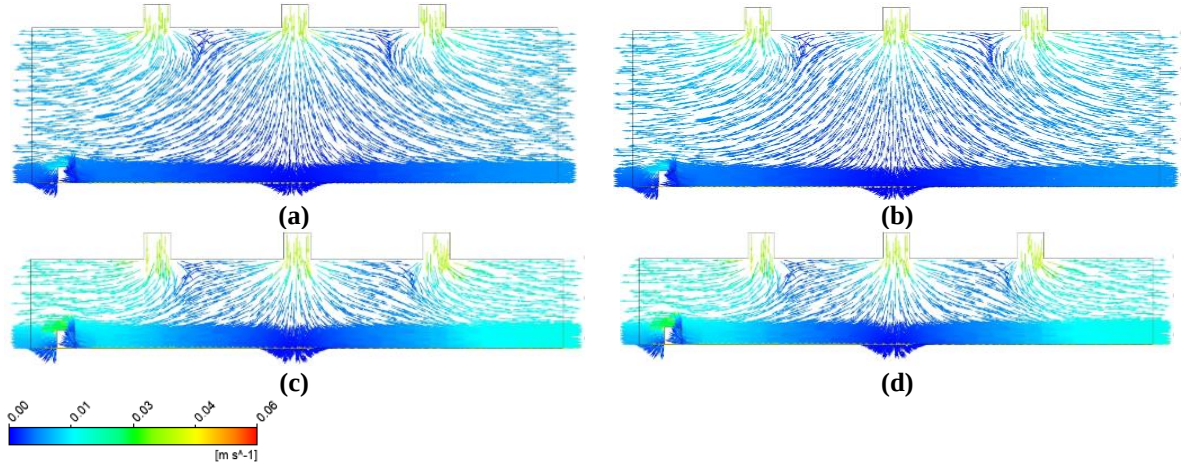
3.1. $\Delta\tau=0.8$ için Reynolds Sayısı, Nanoakışkan-Parçacık Oranı ve Yükseklik Etkisi

Bu çalışmanın temel amacı, yükseklik ve Re sayısının değişimini, farklı hacimsel derişim oranına sahip nanoakışkanlar ile sıcaklık değişimlerinin etkilerini incelemektir. Bunun için, küt cisim ile akışkan giriş sıcaklığının farkı tüm analizlerde sabit tutulmuştur. Kanal yüksekliği $H = 1$ ile $H = 0.5$ için $Re = 30$, $Re = 60$ ve $Re = 120$ ile hacimsel derişim oranı $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ olan nanoakışkanlar ile ilgili sınır şartları kullanılmıştır.

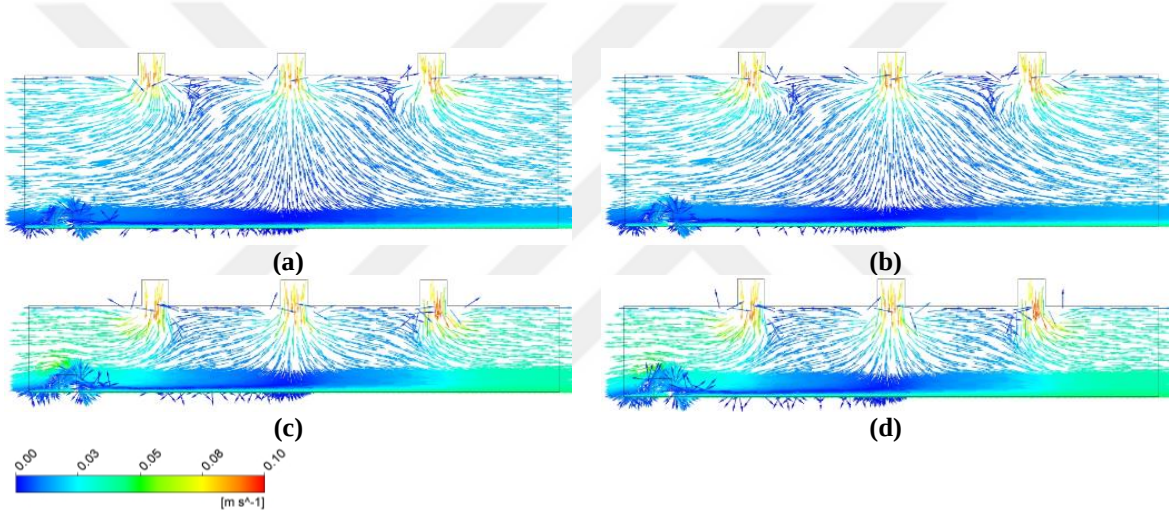
Akış hacminde, jet akışından kaynaklı akışkanda meydana gelen hız değişimleri Şekil 3.1’de $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için gösterilmiştir. Şekilde akışkanın hız değeri olarak yaklaşık 0.05 m/s olarak jet giriş bölgelerinde görülmektedir. $Re = 30$ için akışkan özellikle $H=1$ yüksekliği için küt cisimi etkileyemeden çıkışlardan ayrılmaktadır. $H = 1$ ’e kıyasla, $H = 0.5$ kanal yüksekliği için jet akışının etkisi ve cisim hareketinden kaynaklı cisim etrafında görülen hız değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca, $H = 1$ yüksekliği için cismin hareketinden kaynaklı olarak, küt cismin sağ üst bölgesinde akışkan hızı yaklaşık 0.025 m/s hızına ulaşmıştır.

Şekil 3.2’de $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için hız vektörleri verilmiştir. Bu sonuçta, $H = 0.5$ yükseklik değerinde akışkan giriş hızına ve cismin hareketine bağlı olarak cisim çevresinde akışkan hızının $H = 1$ ’e göre daha fazla olduğu ve bu bölgelerdeki hız değerlerinin 0.08 m/s değerlerine ulaştığı görülmektedir. Akış hacminde maksimum hız değeri ise 0.11 m/s’dir. Ayrıca, $H = 0.5$ ve $Re = 60$ için $Re = 30$ ’a göre ısı transferinin artması, küt cisim etrafında görülen akışkan hızının artmasından dolayı gerçekleşeceği beklenir.

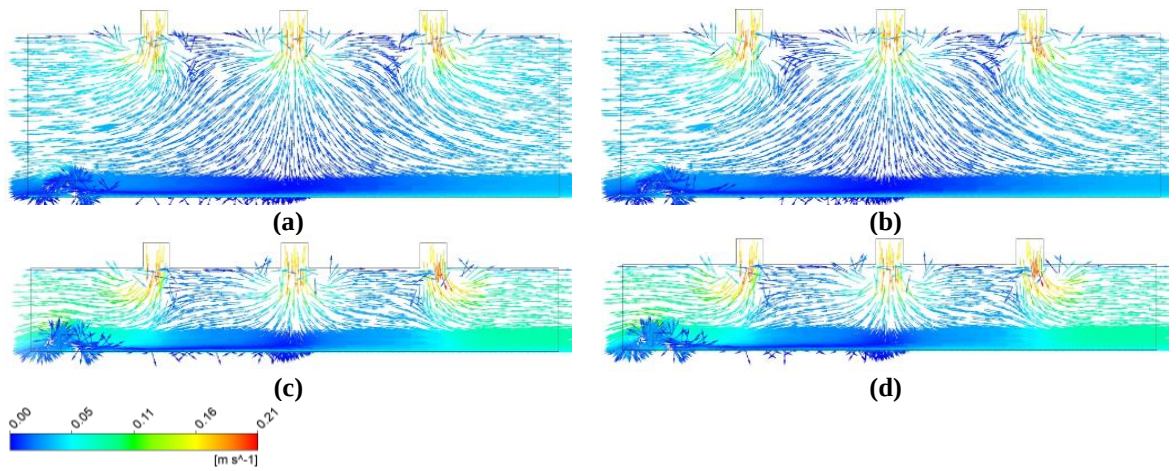
Şekil 3.3’de ise hız vektörleri $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için sunulmuştur. $Re = 120$ için akışkanın hızı maksimum olarak jet giriş bölgelerinde çıkmıştır. Şekil 3.3a ve Şekil 3.3.b’de kanal yüksekliğinden dolayı akışkan kanalın alt tarafını etkileyemeden çıktığı görülmektedir. Şekil 3.3c ve Şekil 3.3.d’de ki sonuçlarda, kanal yüksekliğinin azalması ile küt cisim etrafında ve kanal çıkışlarına doğru akışkan hızının artmakta olduğu ve akış alanında daha çok akışkanın etkilendiği ilgili şekillerden anlaşılmaktadır. $Re = 120$ için, $H = 0.5$ kanal yüksekliğinde akış hacminde, küt cismin önünde ki akış yığılmalarında, $Re = 30$ ve $Re = 60$ ’a göre artış meydana geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.1. $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için hız vektörleri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3.2. $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için hız vektörleri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

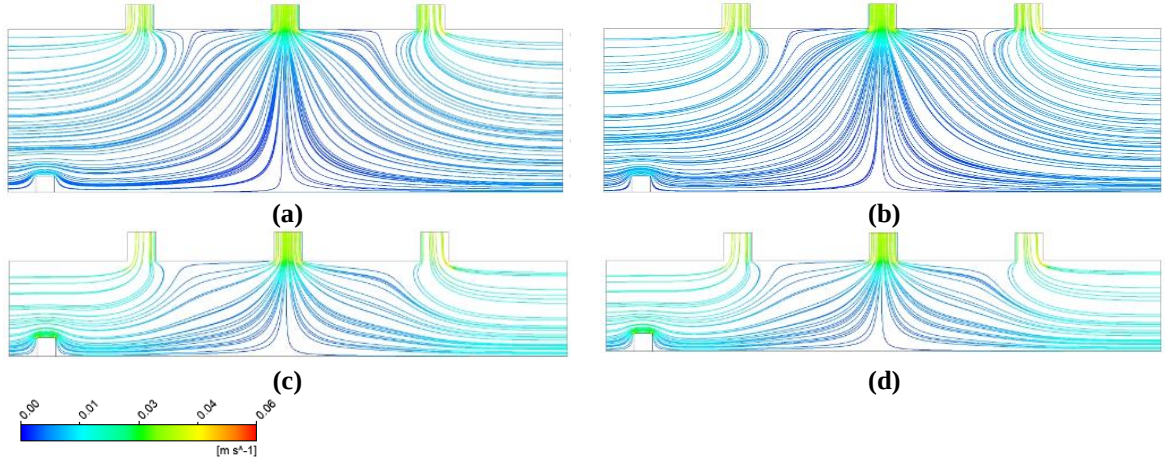


Şekil 3.3. $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için hız vektörleri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

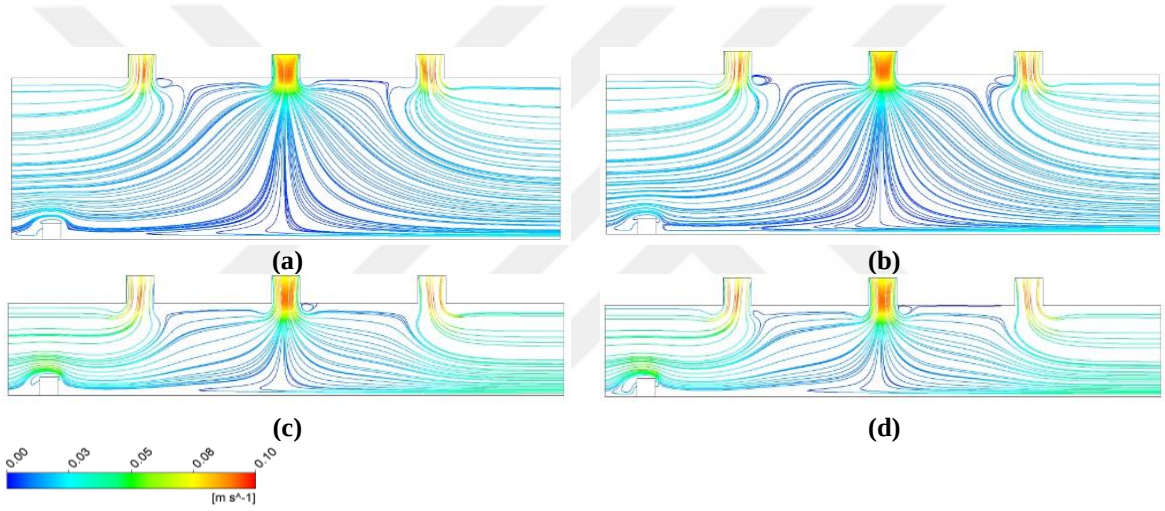
Şekil 3.4’de akım çizgileri $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için verilmiştir. $Re = 30$ için, $H=1$ ve $H=0.5$ kanal yüksekliklerinde akışın daha düzenli olarak hareketine devam ettiği görülmektedir ve küt cismin hareketi ile duvar hareketi, akış rejimini değiştirememiştir. $H=0.5$ için verilen sonuçlarda, Re sayısının aynı olmasına rağmen çıkış bölgeleri ve küt cismin üst bölgelerinde akışkan hızında artışlar görülmektedir. Bunun sebebi olarak kanal yüksekliğinin azalmasının, akışkan hızı üzerinde ki etkisinden bahsedilir. Akışkanın hareketine devam ettiği alanın küçülmesi ile akışkan hız kazanmıştır. Akışkan hızının artması, küt cismin sahip olduğu sıcaklık nedeniyle ısınan akışkanın bu bölgeden daha kısa sürede tahliye edilmesi anlamına gelmektedir. Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b’de görülen sonuçlarda, bu durum nedeniyle çıkış ve küt cisim etrafında ki bölgelerde, akışkan hızının Şekil 3.4c ve Şekil 3.4d’ye göre düşük çıktığı görülmektedir.

Şekil 3.5’de $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için akım çizgileri gösterilmiştir. Maksimum hız değeri 0.10 m/s olarak sadece jet girişlerinde meydana gelmiştir. Bu zaman adımı hareketli duvarın akış rejimini etkilediği ve hareketinden kaynaklı olarak, alt duvara yakın bölgelerdeki akışkanları sağ kısımda yer alan çıkış bölgesine doğru hız kazanmasına neden olduğu görülebilmektedir. $Re = 60$ ’da küt cismin harekinden kaynaklı, cismin üst ve arka kısımlarında kalan bölgelerde, akışkan dönmelerinden kaynaklı girdap bölgelerinin oluştuğu sonuçtan anlaşılabilmektedir. Kanal yüksekliğinin azalmasıyla küt cisim üst bölgesinde oluşan girdap bölgesinin $H = 0.5$ için sonuçlarda oluşumuna rastlanmamıştır.

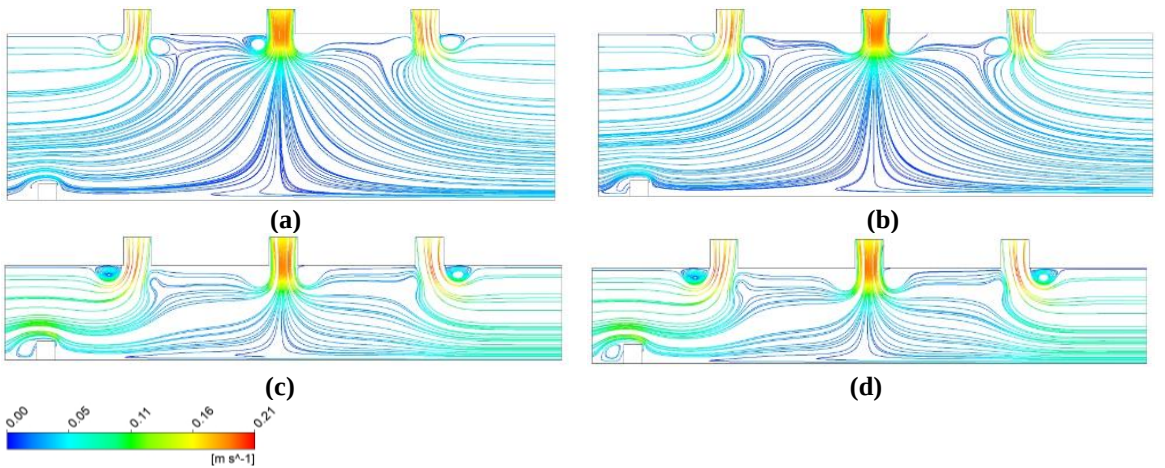
Şekil 3.6’da ise, akım çizgileri $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için sunulmuştur. $Re = 120$ için maksimum hız değerinin 0.21 m/s olduğu görülmektedir. Şekil 3.6a ve Şekil 3.6b’de verilen $H = 1$ için çıkış sınırlarına yakın olan jet girişlerinden giriş yapan akışkanın, alt duvara etki edmeden çıkış sınırlarına doğru yöneldiği anlaşılabilmektedir. Bu durumun ısı transferi üzerinde olumsuz etki yapacağı beklenebilir. Şekil 3.6c ve Şekil 3.6d’de verilen $Re = 120$ ve $H = 0.5$ için sonuçlarda, jet akış profilinin alt sınırda oluşan etkisinin daha fazla meydana geldiği ve cismin üst duvarında hız kazanmasına kanal yüksekliği neden olmuştur. Fakat $Re = 120$ ’de, oluşan girdap bölgelerinde yer alan akışkanın hızlarında artışlar görülmekte ve bu durumun girdap bölgelerinin etkinliğinin artmasına neden olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 3.4. $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3.5. $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

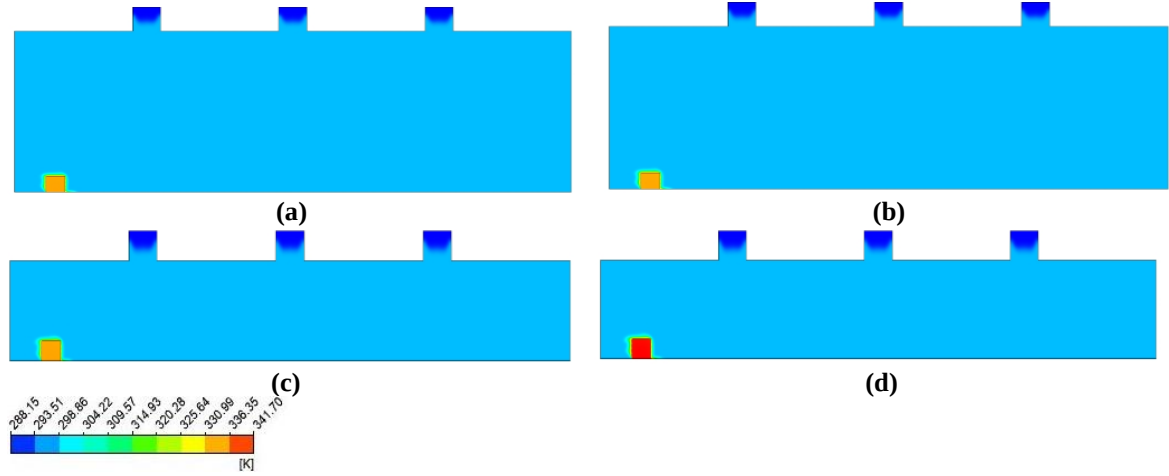


Şekil 3. 6. $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

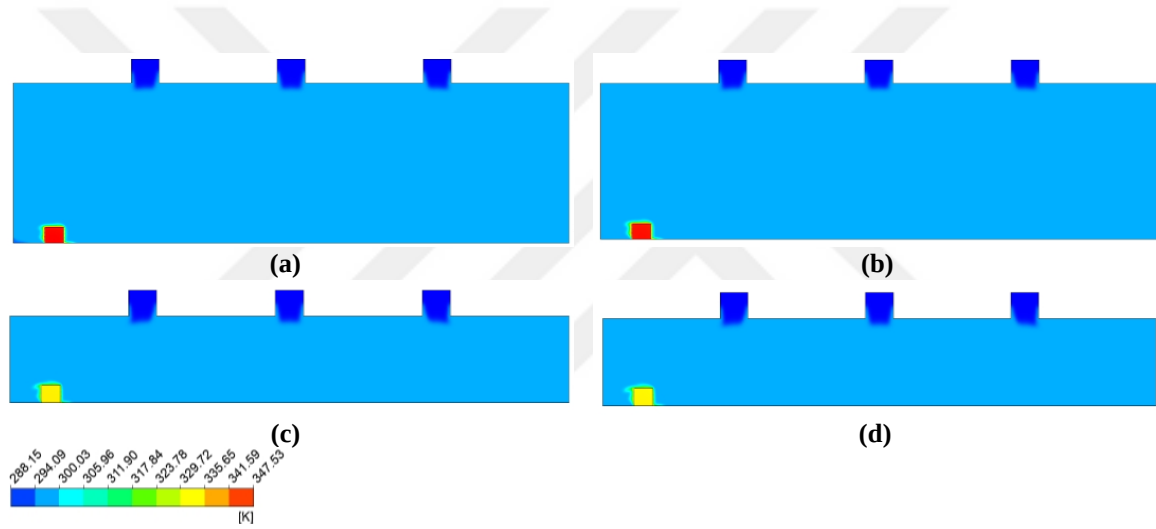
Şekil 3.7’de gösterilen eş sıcaklık eğrileri $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için verilmiştir. İlk zaman adımına kadar geçen süreçte, jetlerden gelen düşük sıcaklığa sahip akışkan belirtilen zaman aralığında akış hacmi içerisinde bulunun ortam sıcaklığında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Bu sebeple cismin sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasında fark olduğu için cisim ve ortam arasında ısı denge sağlanabilmesi amacıyla cismin sıcaklığı düşmektedir. $H = 0.5$ yüksekliği için Şekil 3.7c ve Şekil 3.7d’den anlaşılacağı gibi bu zaman adımında nanoakışkanın verimliliğinin daha etkin olduğu söylenebilir.

Şekil 3.8’de eş sıcaklık eğrilerinin $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için sunulmuştur. Bu sonuçlarda $H = 0.5$ kanal yüksekliğine ait sonuçlardaki sıcaklık düşüşü, $H = 1$ kanal yüksekliğinden fazla olduğu görülmektedir. Kanal yüksekliğinin azalması ve akışkan giriş hızının artması ile ısı transferini artmasında etkili olmuştur. Ayrıca $Re = 30$ ile karşılaştırıldığında akışkan hızının artması sonucunda, cisim etrafında oluşan sıcaklık konturlarının, Şekil 3.7’de verilen sonuçlara göre daha büyük bir alana yayıldığı görülmektedir. Bu da cisim etrafında sıcaklığın akışkan hareketlerinden etkilendiğini göstermektedir.

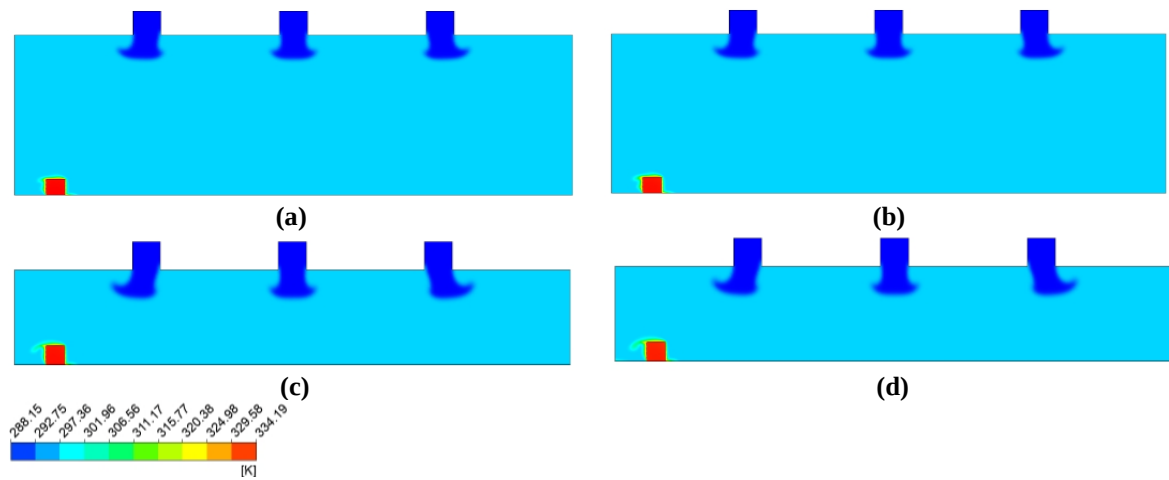
Şekil 3.9’da verilen $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde maksimum sıcaklıkların tüm durumlar için yaklaşık 334.19 K görülmektedir. Şekil 3.7 – Şekil 3.9’da verilen sonuçlarda, $Re = 120$ değerinde küt cismin $\tau = 0$ anında sahip olduğu sıcaklık (350 K) değeri, akışkan giriş hızının artması sonucu azalmıştır. Ayrıca aynı zaman adımı için $Re = 30$ ve $Re = 60$ ’a göre eş sıcaklık eğrileri kıyaslandığında ortam sıcaklığında düşüş daha fazladır. T_c sıcaklığına sahip akışkan jet giriş bölgesinde Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’e göre daha fazla kısmı etkilediği görülmektedir. Bunun sebebi olarak akışkanın giriş hızından kaynaklı olarak $\Delta\tau$ ’ya kadar geçen sürede, kat ettiği yol söylenebilmektedir.



Şekil 3.7. $Re = 30$ ve $\tau = 0.8$ için eş sıcaklık eğrileri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3.8. $Re = 60$ ve $\tau = 0.8$ için eş sıcaklık eğrileri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



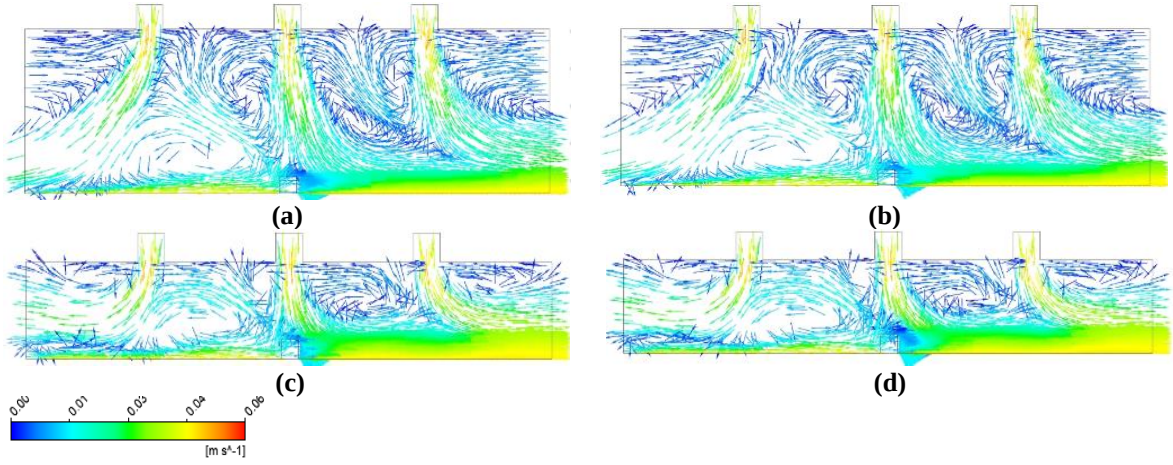
Şekil 3.9. $Re = 120$ ve $\tau = 0.8$ için eş sıcaklık eğrileri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

3.2. $\Delta\tau = 52$ için Reynolds Sayısı, Nanoakışkan-Parçacık Oranı ve Yükseklik Etkisi

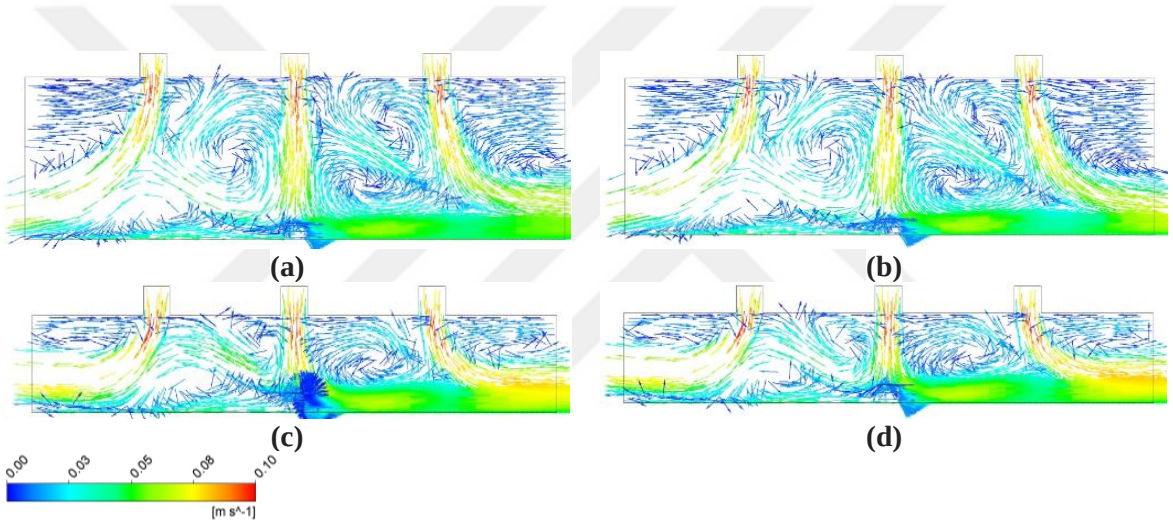
Şekil 3.10'da $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri verilmiştir. Bu zaman adımında küt cisim toplam yolun yarısına gelmiştir. Küt cisim etrafında görülen akışkanlarda, ortanca jete ait akış profilinin cisimle temas etmesi sonucu, bu bölgedeki akışkanlarda çıkış bölgesine doğru hız kazandığı görülmektedir. Fakat ortanca jete ait akış profilinin, cismin arka bölgesinde kalan kısımda oluşan girdaplardan etkilendiği ve küt cisme jet profilinin kısmi olarak etkilendiği Şekil 3.10a ve Şekil.10b'den anlaşılmaktadır. Şekil 3.10c ve Şekil 3.10d'de $H = 0.5$ için verilen sonuçta, $H=1$ 'e göre, küt cismin etkilendiği jet profilinin daha baskın olduğu söylenebilir. Bunun nedeni, jet ile alt duvar arasındaki mesafenin azalmasıdır. Ayrıca kanal yüksekliğinin azalması, küt cisim önünde akışkan yığılmasının artışına neden olduğu Şekil 3.10c ve Şekil 3.10d'den yorumlanabilmektedir.

Şekil 3.11'de $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri sunulmuştur. $Re = 60$ için akışkan alanında ki düzensizlerde artışlar görülmektedir. Küt cisme çarpan soğutucu akışkan için Şekil 3.10'da verilen hız vektörlerine göre, jet profili daha üniform yapıdadır ancak cisim duvarları çevresinde ani yön ve hız değişiklikleri meydana gelmiştir. Bu zaman adımı için Şekil 3.11c ve Şekil 3.11d'den anlaşılabileceği gibi cisim jet akışı etkisi altında hareketine devam ederken, kanal yüksekliğinin azalması ile cisim etrafında akışkanın hızlarında yerel artışlar görülmüştür. $H = 0.5$ için sonuçlarda akış alanında bulunan girdap bölgelerinin varlığını koruduğunu fakat bu girdap akımlarının etki alanını kanal yüksekliği ile kaybettiği anlaşılabilmektedir.

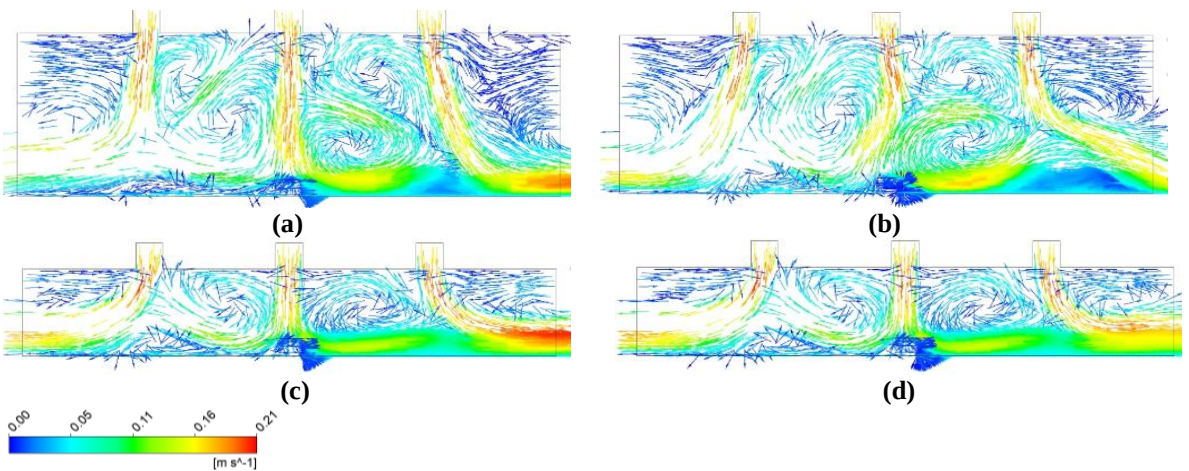
$Re = 120$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Sonuçlarda, hız değerinin 0.21 m/s değerine ulaştığı bölgeler jet girişleri ve çıkış bölgeleri olarak görülebilmektedir. Sonuçlarda, $Re = 30$ ve $Re = 60$ 'a göre $Re = 120$ sayısı için girdap bölgelerindeki akışkan hız değerlerinde de artışlar görülmektedir. Şekil 3.12b'de $\phi = 0.02$ derişim oranına sahip nanoakışkanın bu zaman adımıdaki sonucunda, cismin üzerinde yer alan jet profili ile cisim etkileşime girmeden akış alanında ki girdap bölgesi sebebiyle, orta kısımda yer alan jet profili cismin arka kısımlarına doğru yönelmiştir. Şekil 3.12b'de elde edilen bu sonuç için aynı kanal yüksekliğine sahip, Şekil 3.12a'da elde edilen sonuçtan farklı çıkmasının nedeni sıcaklığa bağlı değişen nanoakışkanın termofiziksel özellikleridir.



Şekil 3. 10. $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3. 11. $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

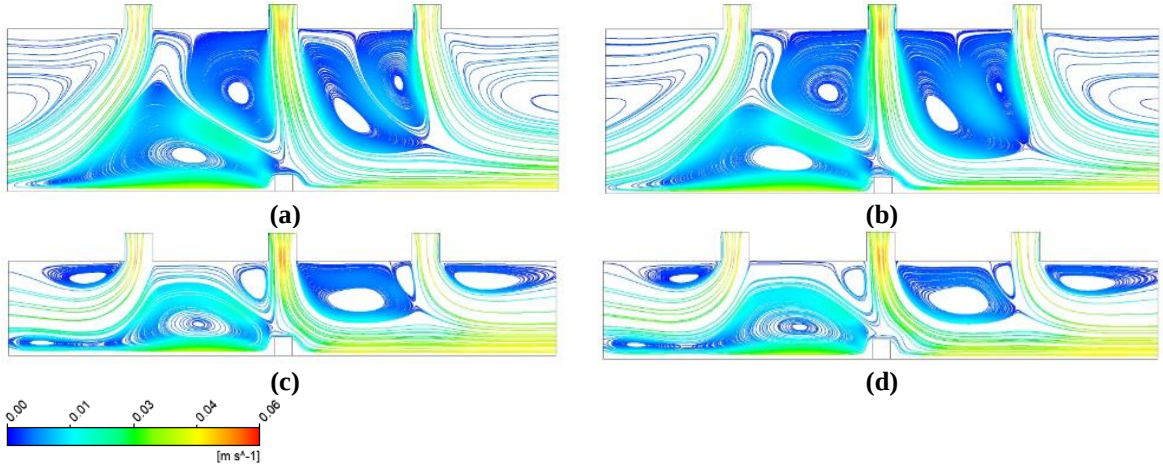


Şekil 3. 12. $Re = 120$ ve $\tau = 52$ için hız vektörleri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

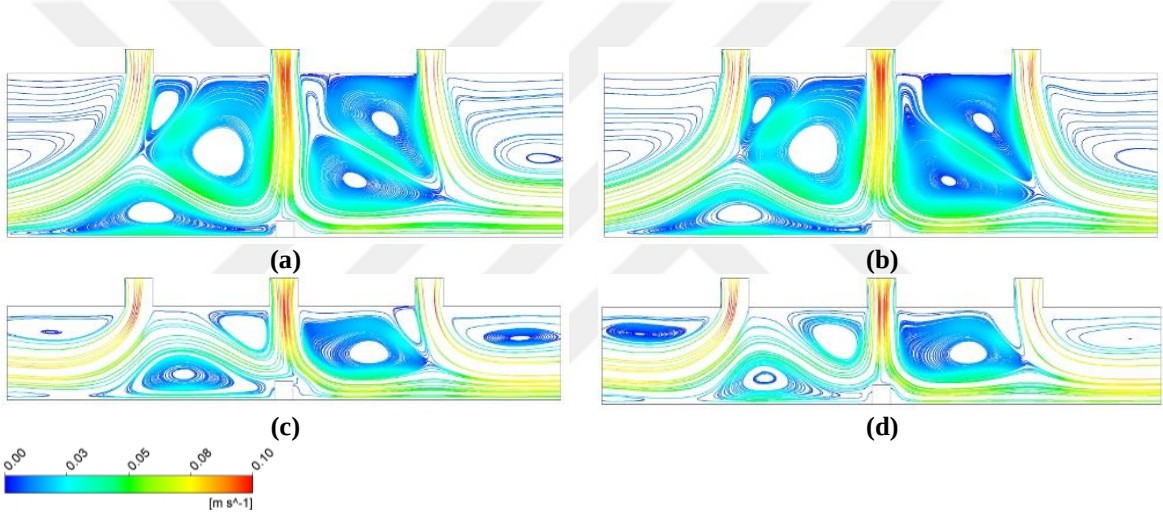
Şekil 3.13 için akım çizgileri $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için göre verilmiştir. Bu sonuçlarda, maksimum hız 0.06 m/s değerinde olup jet girişlerinde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ayrıca küt cismin arka bölgelerinde oluşan girdap akımlarının, $Re = 30$ ve $H = 0.5$ için etki alanlarının küçülmesine rağmen sonuçlarda jet akış profillerinin alt duvara etki etmediği görülmektedir. Bu durum ısı transferi üzerinde, sıcaklığı artan akışkanın sistemden ayrılamamasına neden olmakta ve böylece ısı transferinde istenmeyen bir durum olmaktadır.

Şekil 3.14’de ise $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için verilen akım çizgilerinde sonuçların Şekil 3.13’te verilen sonuçlara yakın olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 3.13’ten farklı olarak bu Re sayısında Şekil 3.14c ve Şekil 3.14d belirtilen $H = 0.5$ yükseklik değerleri için jetlerden giriş yapan akışkanın, bu hız değerinde cismin arka bölümdeki girdap akımlarını etkileyerek girdap yüksekliğini ve genişliğini azaltmıştır. Ayrıca bu zaman adımı küt cisim etrafındaki hızların 0.05 m/s değerine ulaştığı şekilden görülmektedir. Ayrıca, Şekil 3.14’te verilen tüm durumlar için jet akış profillerinin jetler arası oluşan girdap akımlarından etkilenmeden, küt cismin üst bölgesine ulaştığı bu zaman adımı görülmektedir.

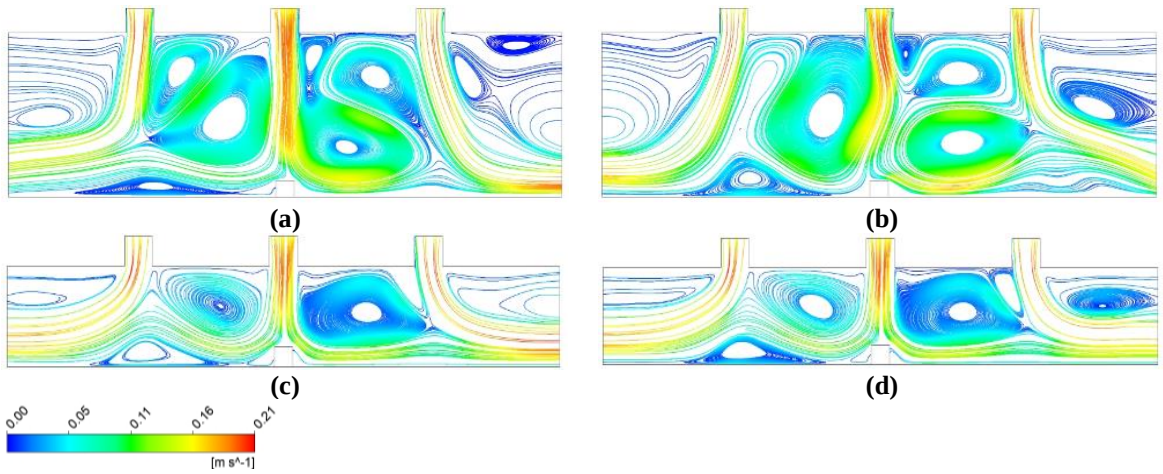
Şekil 3.15’te ise $Re = 120$ ve $\tau = 52$ için akım çizgileri verilmiştir. Maksimum akışkan hızının 0.21 m/s değerine ulaştığı şekillerden görülmektedir. Bu sonuçlarda jetler arasında oluşan girdap akımlarının etki alanlarının, $Re = 60$ ’a göre azaldığı fakat bu bölgelerdeki akışkan hızında artış meydana geldiği yorumlanabilmektedir. Ayrıca, akım çizgileri sonuçlarında görülen bir diğer durum ise jetten giriş yapan akışkan hızının artmasıyla, jet girişleri ile çıkış bölgeleri arasında oluşan akış profilinde alan olarak küçülme gerçekleşmesidir. Başka bir ifadeyle jetten giren akışkan, akış hacmi içerisindeki hareket hızından dolayı çevresinde yer alan durgun akışkanları etkileyemeden sistemden hızlıca uzaklaşmaktadır.



Şekil 3.13. $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3. 14. $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

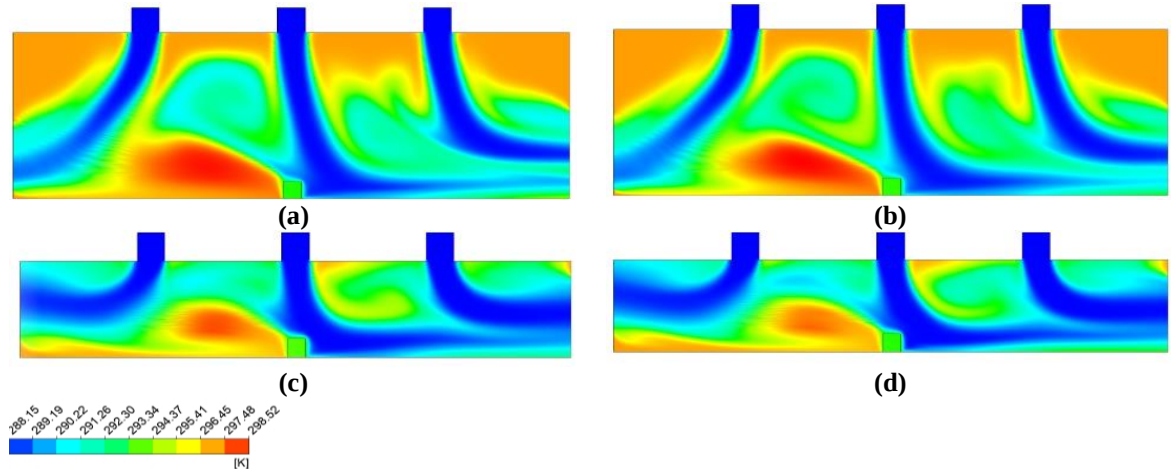


Şekil 3. 15. $Re = 120$ ve $\tau = 52$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

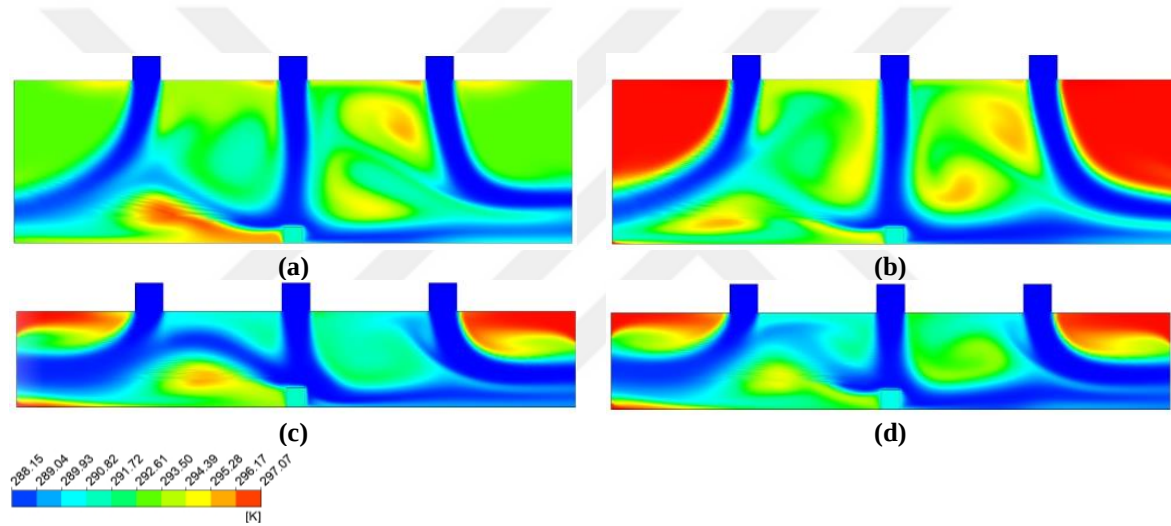
Şekil 3.16'da $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri verilmiştir. Sonuçlarda maksimum yerel sıcaklığın genel olarak cismin arka bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir ve bu bölgelerde sıcaklık değerleri 297.48 K - 298.52 K arasında kalmaktadır. Sıcaklık değerinin bu zaman adımında bahsedilen bölgede yoğunlaşmasının sebebi olarak ortanca jet profilinin, akış hacminde oluşan girdap akımlarının etkisinden kaynaklı olarak bozulması, akışkanın cismin ön tarafına doğru yönelmesi söylenebilmektedir. Ayrıca sıcaklığın bu bölgede kalmasının diğer nedeni ise, hız vektörleri ve akım çizgilerinde de görülen girdap akımlarının bu kısımlarda ölü bölgeler oluşturmaları ve sıcaklığı artan akışkanın bölgeden ayrılamamasına neden olmasıdır. Kanal yüksekliğinin yarıya düşürülmesiyle akış hacminin üst bölgelerindeki girdapların azalmasından dolayı bu bölgedeki sıcaklık değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Şekil 3.16'da sonuçları verilen tüm durumlar için küt cismin sıcaklığı yaklaşık 293 K'e düşmüştür.

Şekil 3.17'de $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Bu Re sayısında, küt cismin sahip olduğu sıcaklık değerleri tüm durumlar için yakın olmasına rağmen, küt cismin arka bölgeleri ve akış hacminin üst kısımlarına doğru sıcaklık değerleri farklılık göstermektedir. Hacimsel derişim oranı $\phi = 0.0$ olan nanoakışkan sonuçlarında, küt cisim arkasında sıcaklık değerinin, $\phi = 0.02$ olan nanoakışkana göre korunduğu söylenebilmektedir. Bu durumun sebebi $\phi = 0.02$ olan nanoakışkanın termofiziksel özelliklerinin daha iyi olmasıdır. Şekil 3.17b ve Şekil 3.17d'de çıkış sınırlarına yakın ve akış hacminin üst kısımlarında kalan bölgelerde, sıcaklık değerinin Şekil 3.17a'ya göre daha yüksek olduğu anlaşılabilmektedir. Bu durum için, $\phi = 0.02$ hacimsel derişim oranına sahip nanoakışkanın, küt cisimden aldığı ısıyı bu zaman adımına kadar kendi içerisinde daha iyi taşıdığı yorumlanabilmektedir. Çıkış sınırlarına yakın bu bölgede Şekil 3.17c'deki durum için sıcaklıklarda benzer sonucun elde edilmesi ile ilgili kanal yüksekliğinin yarıya düşmesinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.17'de yer alan sonuçlarda, küt cisim sıcaklığı 290 K'e yakın olduğu görülmektedir.

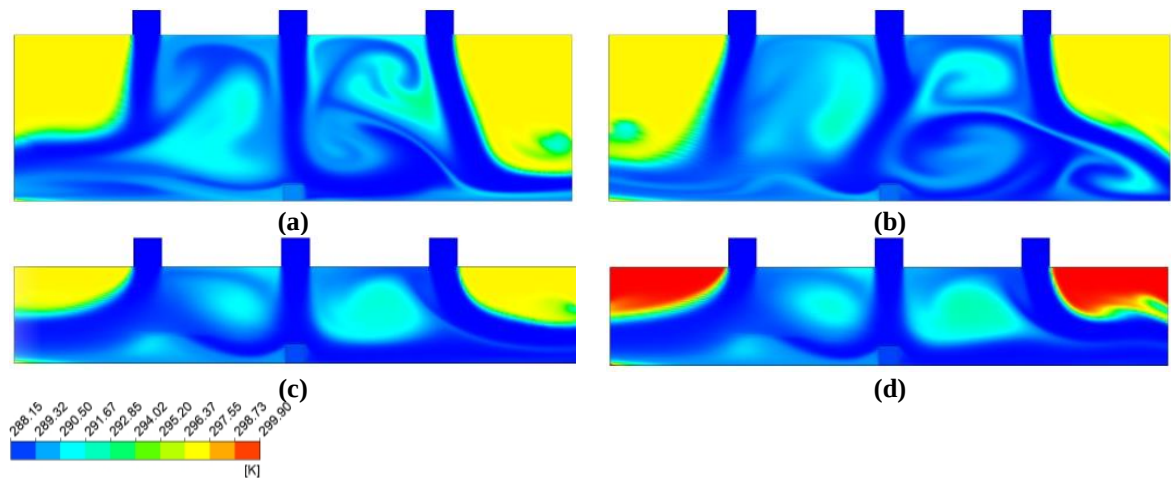
Şekil 3.18'de $Re = 120$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde, $Re = 30$ ve $Re = 60$ 'a göre, küt cisimde maksimum sıcaklık düşüşü gerçekleştiği görülmektedir. Bu sonuçlarda özellikle Şekil 3.18c ve Şekil 3.18d'de küt cisim sıcaklığının, kanal yüksekliğinin azalması ile akışkan giriş sıcaklığı olan 288.15 K değerine yaklaştığı görülmektedir. Şekil 3.18d'de $\phi = 0.02$ 'lik derişime sahip olan nanoakışkana ait eş sıcaklık eğrisinde, küt cisim üzerinden alınan ısının kanal çıkışlarına doğru Şekil 3.18c'ye göre daha iyi taşındığı bu farkın nedeni olarak yorumlanabilmektedir.



Şekil 3. 16. $Re = 30$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3. 17. $Re = 60$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



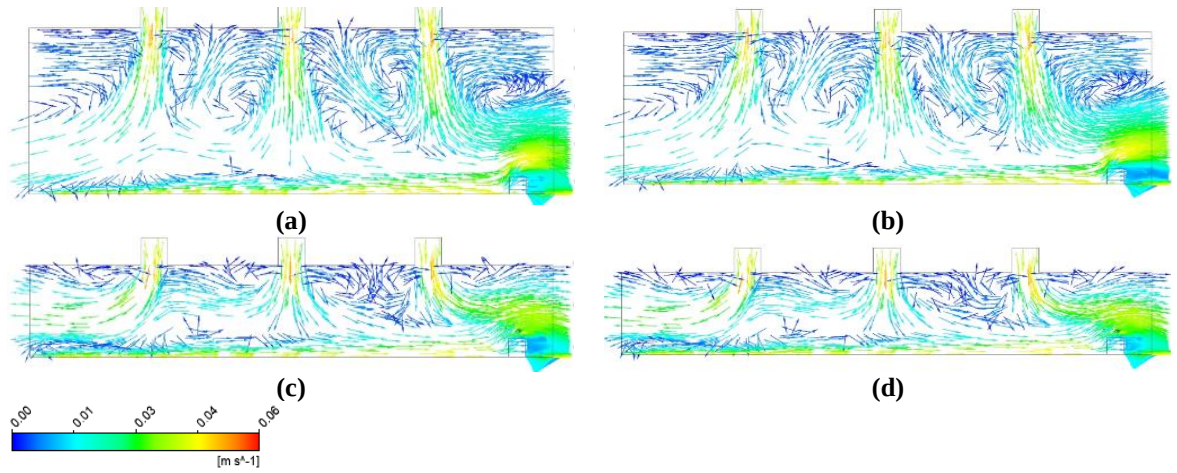
Şekil 3. 18. $Re = 120$ ve $\tau = 52$ için eş sıcaklık eğrileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

3.3. $\Delta\tau=108$ için Reynolds Sayısı, Nanoakışkan-Parçacık Oranı ve Yükseklik Etkisi

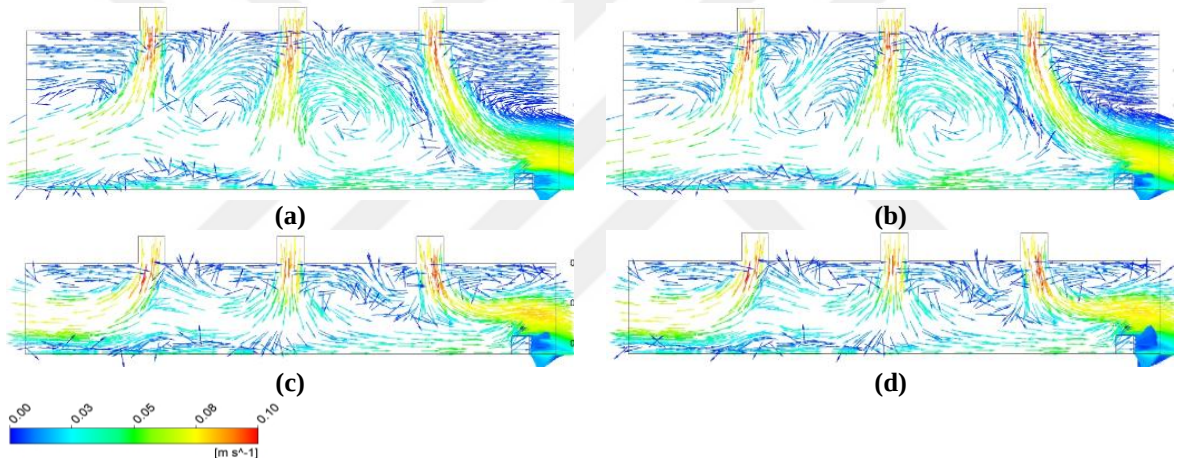
Akışta meydana gelen hız değişimleri $Re = 30$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri ile Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Bu zaman adımı cisim hareketini tamamlamıştır. Bu zaman adımı, cisim hareketinden dolayı çıkışa yakın bölgedeki akışın profilini etkilemiş ve akışkan çıkış bölgesinde yukarı yönleneşine neden olmuştur. Cisim hareketinden oluşan bu akışkan profili, $H = 0.5$ için çıkış bölgesinin tamamına yakın bir kısmını etkilediği görülmektedir. Bunun sonucu olarak cisim çevresinde akışkan yığılmalarında ve akışkan hızlarında artış meydana gelmiştir. Ayrıca $H = 0.5$ için, $H = 1$ ’e göre sonuçlarda girdap akımlarının etki alanlarının kanal yüksekliğiyle azaldığı anlaşılabilmektedir.

Şekil 3.20’de $Re = 60$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri verilmiştir. Sonuçlarda, Şekil 3.20a ve Şekil 3.20b durumları için verilen $H = 1$ kanal yüksekliklerinde, kanal çıkışı bölgelerinde $Re = 60$ için cismin bulunduğu çıkış bölgesinin üst kısımlarında yer alan ölü bölgenin profilinde, Şekil 3.19’daki sonuçlara göre artış yaşandığı görülmektedir. Bunun durumun sebebi jet girişinden gelen akışkanın $Re = 60$ ’da cismin hareketinden etkilenmemesi ve hareketine yön değiştirmeden devam etmesidir. Ayrıca bu Re sayısında, jetlerden giriş yapan akışkan hareketli alt duvara oluşan hız profillerini etkileyerek bu bölgelerdeki akışı bozduğu görülmektedir.

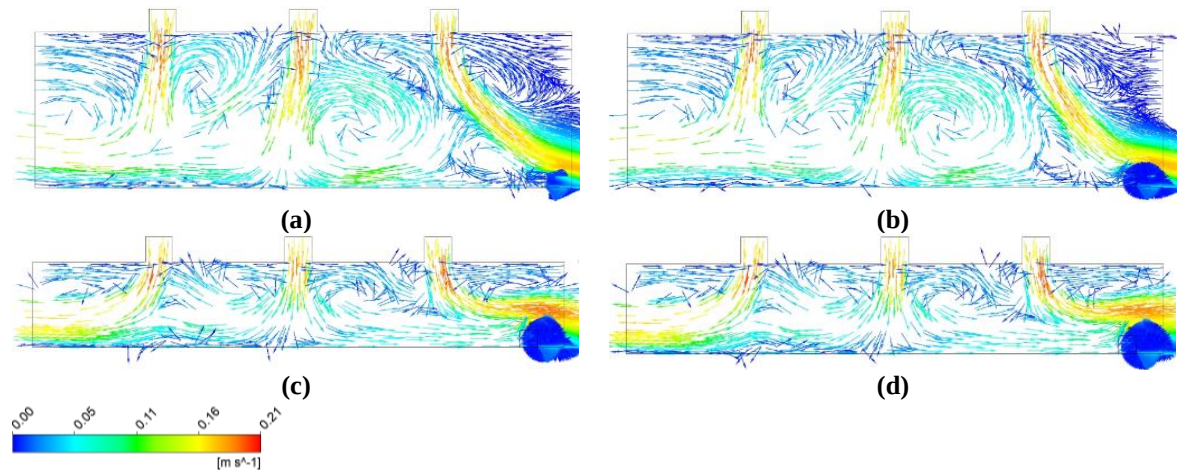
Şekil 3.21’de $Re = 120$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri sunulmuştur. Sonuçlarda, kanal yüksekliğinin yarıya inmesiyle, çıkış bölgesine yakın olan küt cismin etrafında, akışkanın hareket hızının arttığı görülmektedir. Bu durum nedeni cismin hareketinden etkilenerek cisim yönünde hareket eden akışkanın jet profili ile karşılaşarak bu bölgede sıkışmasına neden olduğu söylenebilmektedir. Kanal yüksekliği $H = 0.5$ için verilen Şekil 3.21c ve Şekil 3.21d sonuçlarında $H = 1$ kanal yükseklik için verilen sonuçlara göre oluşan girdap bölgelerinin, etki alanlarında azalma olduğu görülmektedir. Ayrıca $H = 0.5$ için cismin bulunduğu çıkış bölgesi tarafında jet akış profilinin cismin hareketinde etkilendiği görülmektedir.



Şekil 3. 19. $Re = 30$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3. 20. $Re = 60$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

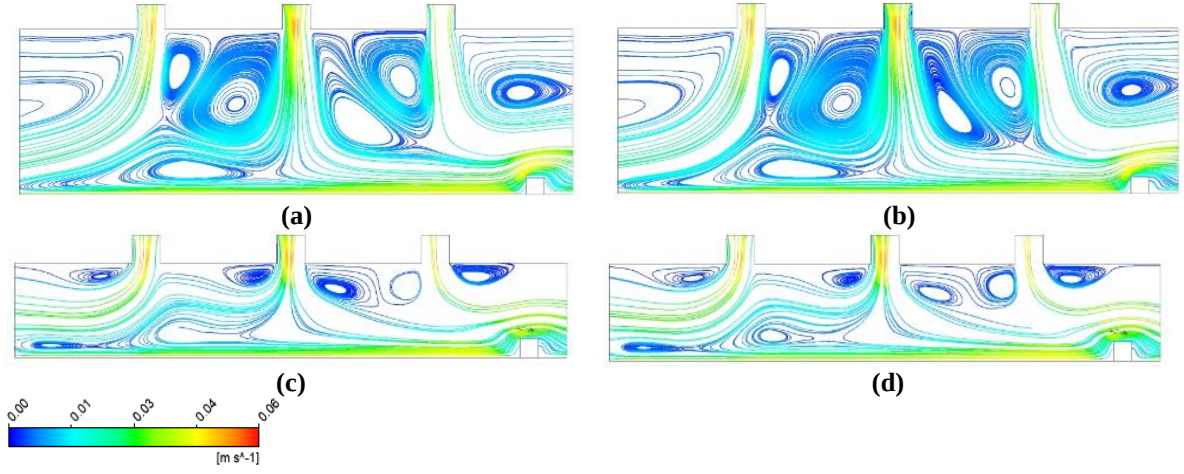


Şekil 3. 21. $Re = 120$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

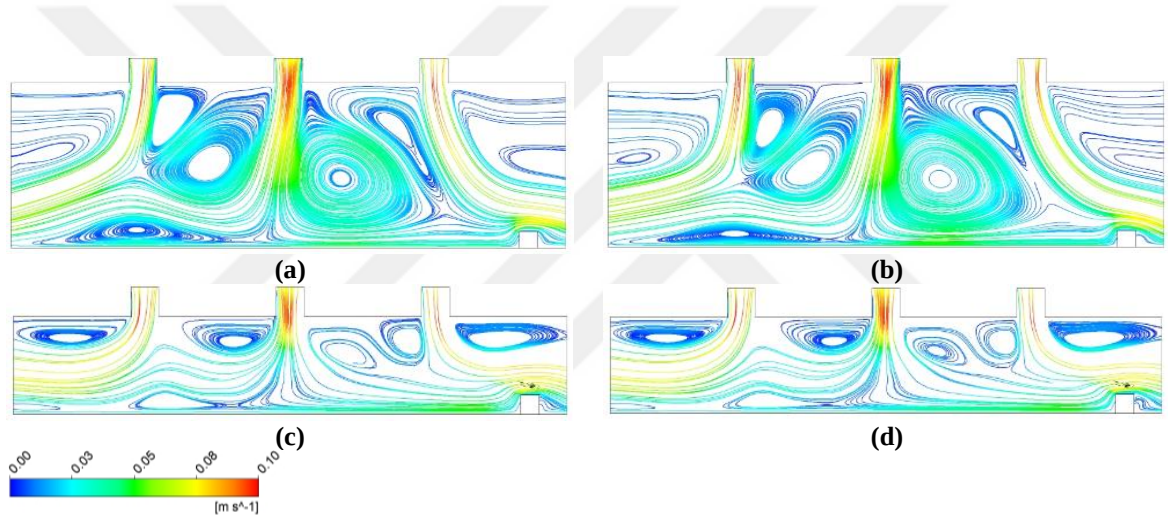
$Re = 30$ ve $\tau = 104$ akım çizgileri Şekil 3.22’de verilmiştir. Şekil 3.22a ve 3.22b’de verilen sonuçlarda, cisim çevresindeki akışkanın hızı, alt duvar ile cismin hareketinden kaynaklandığı oluşan akış profilinin, cisme yakın olarak bulunan jet profilinden etkilenecek kazandığı yorumlanabilmektedir. Şekil 3.22c ve 3.22d’de $H = 0.5$ için, kanal yüksekliğinin azalmasıyla akış alanında girdap bölgelerinin azaldığı görülebilmektedir. Ayrıca, $Re = 30$ için bu zaman adımıyla oluşan jet profillerinde akışkanın, alt duvar hareketinden kaynaklı oluşan profili etkileyemediği yorumlanabilmektedir.

Şekil 3.23’de $Re = 60$ ve $\tau = 104$ için akım çizgileri gösterilmiştir. $H = 1$ için sonuçlarda, girdap akımlarına ait hız değerlerinde, $Re = 60$ için artışlar görülmektedir. Alt hareketli duvara yakın bölgelerde oluşan hız profilinin $Re = 60$ ’da etkilendiği söylenebilmektedir. Cismin bulunduğu konumda, orta kısımda yer alan jet profili ile cisme yakın olan jetin profilinden etkilendiği ifade edilebilmektedir. Ayrıca bu zaman adımı ve Re sayısı için cisme etkiyen girdap akımı olmadığı için bu durumun ısı transferi üzerinde olumlu bir etki gösterecektir.

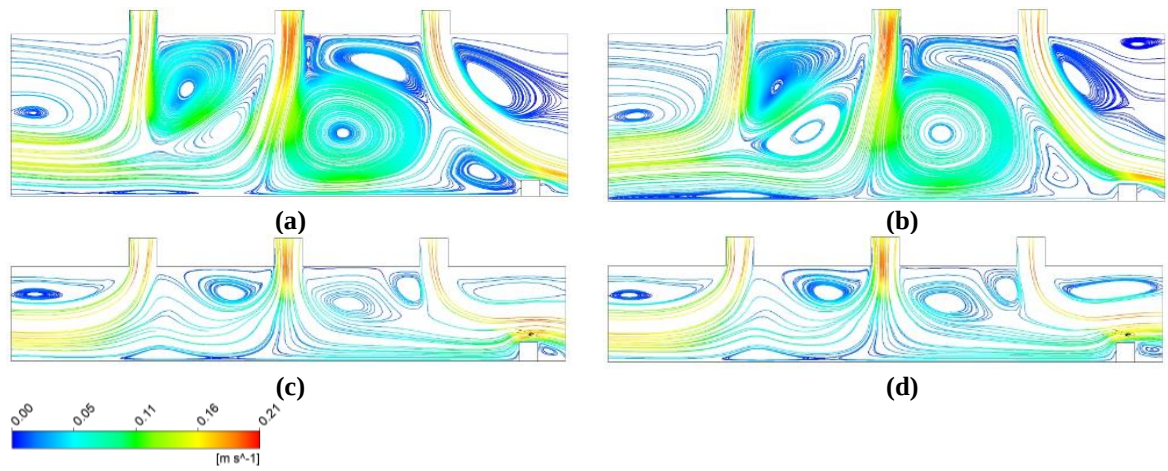
$Re = 120$ ve $\tau = 104$ için hız vektörleri Şekil 3.24’te sunulmuştur. Bu Re sayısında jetlerden gelen akışkan, geometrinin alt kısmında yer alan sınıra çarptığı için bu bölümde Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de verilen sonuçlara kıyasla sınıra yakın oluşan hız profillerinin bozulmasına neden olduğu Şekil 3.24a ve Şekil 3.24b’den anlaşılabilmektedir. $Re = 120$ ve $H = 1$ yüksekliği için cismin arka bölgesinde girdap akımları olduğu görülmektedir. Bu girdap akımlarına, $H = 0.5$ için kanal yükseklik sonuçlarında görülmediği Şekil 3.24a ve Şekil 3.24b’den bakılarak yorumlanabilir. Küt cisim çevresinde akışkan hızının artması $Re = 120$ sayısında, kanal yüksekliğine bağlı olduğu ve kanal yüksekliğinin düşürülmesiyle oluşan akış profilinden etkilenecek hızının arttığı yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 3. 22. $Re = 30$ ve $\tau = 104$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3. 23. $Re = 60$ ve $\tau = 104$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

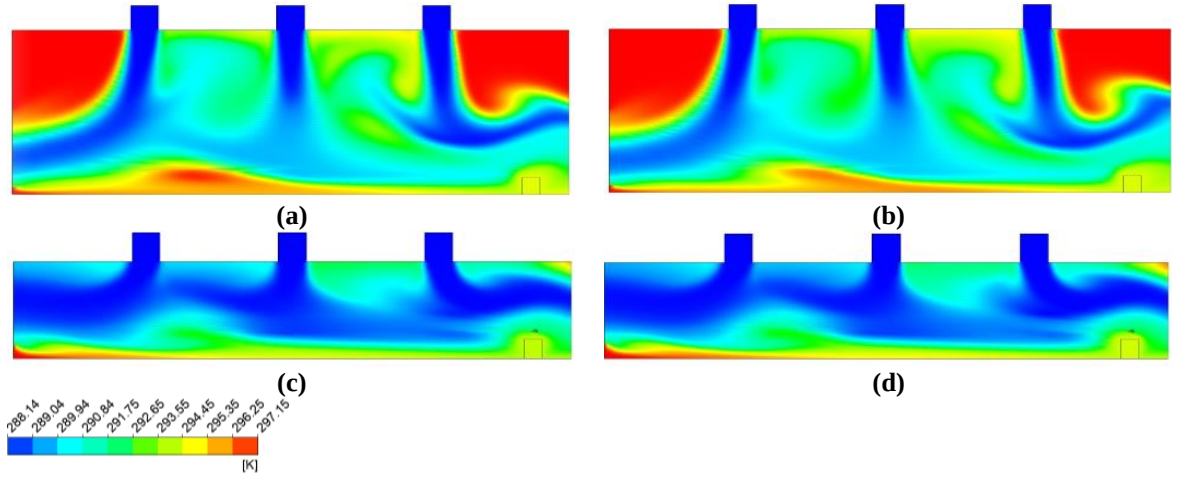


Şekil 3. 24. $Re = 120$ ve $\tau = 104$ için akım çizgileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

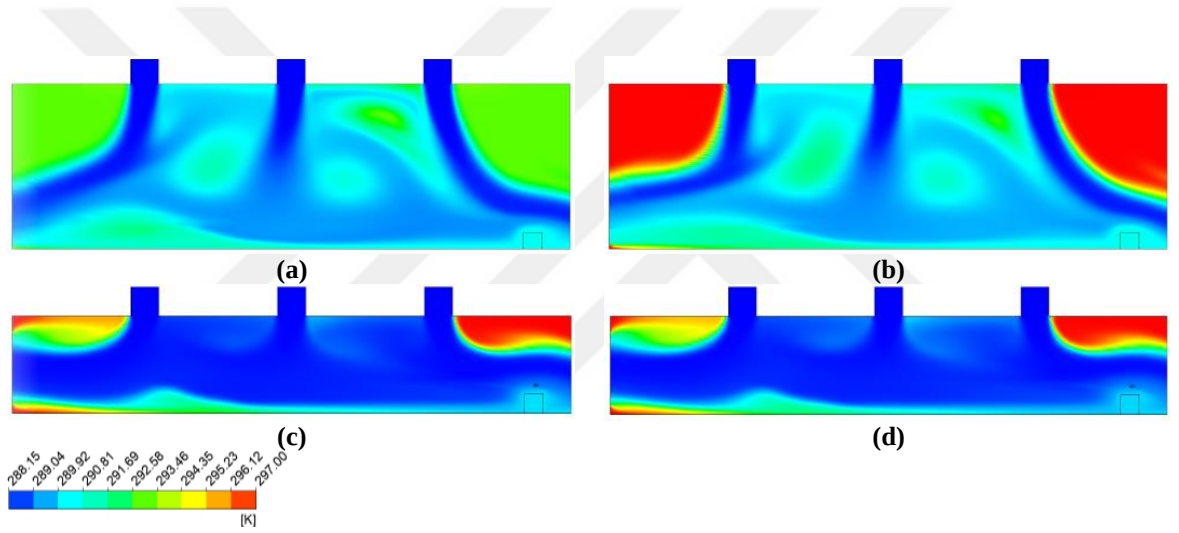
$Re = 30$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri Şekil 3.25’de verilmiştir. Sıcaklık dağılımının Şekil 3.25a ve Şekil 3.25b için verilen durumlarında, $Re = 30$ için küt cisim ve jetler arasında kalan alanlarda, akışkan üzerinde yer alan sıcaklıkların sistemden atılamadığı görülmektedir. Sonuçlarda, alt duvar sınırına yakın yerlerde sıcaklık değerlerinin, yaklaşık 296.25 K ’e denk gelen kısımlarında, akış alanında bu bölgelerde oluşan girdapların, akışkan içerisinde taşınan sıcaklığı bu bölgelerde tutulmasına yani girdap akımlarının soğuk akışkan ile temas etmesini engellediğinden bu bölgelerde yerel sıcaklık değerlerinin yüksek kalmasına sebep olduğu anlaşılabilmektedir. Şekil 3.25c ve Şekil 3.26d’de verilen sonuçlarda, kanal yüksekliğinin azalması girdap bölgelerinde sıcaklık değerlerinde düşüşe neden olduğunu göstermektedir. Ayrıca kanal yüksekliğinin azalması ile çıkış bölgelerinde yer alan ölü bölgelerinin sıcaklığında da azalma olmuştur.

$Re = 60$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri Şekil 3.26’da sunulmuştur. $H=1$ için sonuçlardaki sıcaklık değerlerinde, kısmi olarak yüksek sıcaklık değerleri elde edilen bölgeler için girdap akımlarının bu bölgeleri etkilediği söylenebilmektedir. $H = 0.5$ için kanal içerisinde oluşan girdap akımlarına ait etkinlik bölgelerinde $Re = 60$ için azalma meydana gelmiştir. Bu Re sayısında, alt sınır bölgesinde oluşan akış profiline, jet akış profilleri etki edemediği için bu bölgelerde yerel sıcaklık değerleri korunmuştur. Şekil 3.25’de verilen $Re = 30$ için sıcaklık sonuçlarına göre $Re = 60$ ’da küt cismin sahip olduğu sıcaklık değerinde azalma görülmüştür.

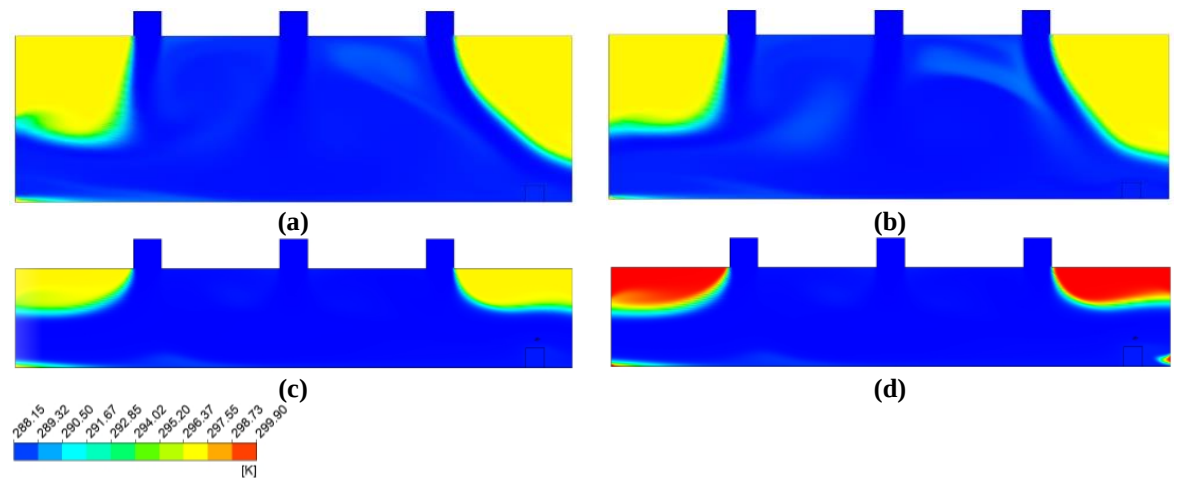
$Re = 120$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri Şekil 3.27’de verilmiştir. Burada verilen tüm durumlarda ölü bölgeler dışında, akışkan hacmi ile cisim sıcaklığının aynı değere sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.27a ve Şekil 3.27b’de $H = 1$ için akış hacminin orta kısımlarında meydana gelen girdap bölgelerinin etkisiyle yerel sıcaklık değerlerinde kısmi artış yaşanmıştır. Şekil 3.27c ve Şekil 3.27d’de verilen kanal yüksekliği $H = 0.5$ için akışkan sıcaklığının, çıkış bölgesine yakın kısımlarında bulunan ölü bölgeler nedeniyle sıcaklık değerlerinin korunduğu görülmektedir. Şekil 3.27c ve Şekil 3.27d kıyaslandığında hacimsel derişim oranı $\phi = 0.02$ olan nanoakışkanın, Şekil 3.27c’de verilen ve derişim oranı $\phi = 0.0$ olan akışkana göre sıcaklığı cisimden, kanal içerisinde bulunan akışkana daha iyi taşıdığı görülmektedir.



Şekil 3. 25. $Re = 30$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



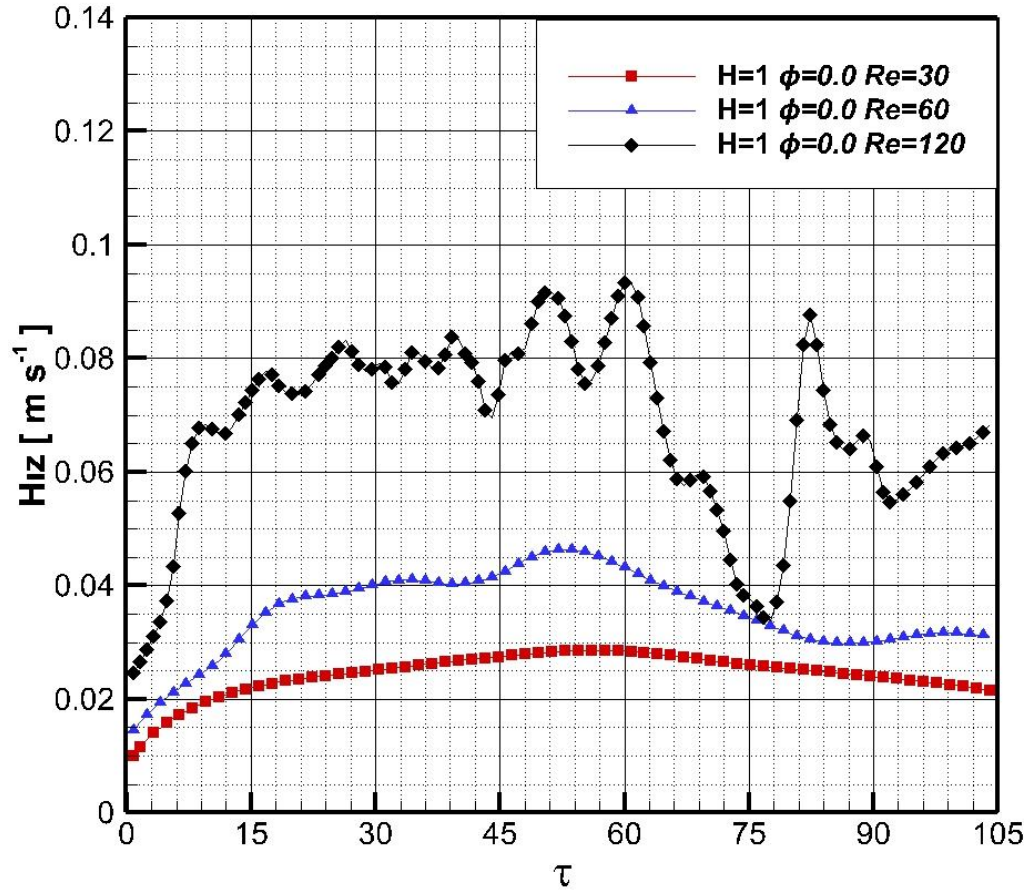
Şekil 3. 26. $Re = 60$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$



Şekil 3. 27. $Re = 120$ ve $\tau = 104$ için eş sıcaklık eğrileri. **(a)** $H = 1$ için $\phi = 0.0$, **(b)** $H = 1$ için $\phi = 0.02$, **(c)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve **(d)** $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

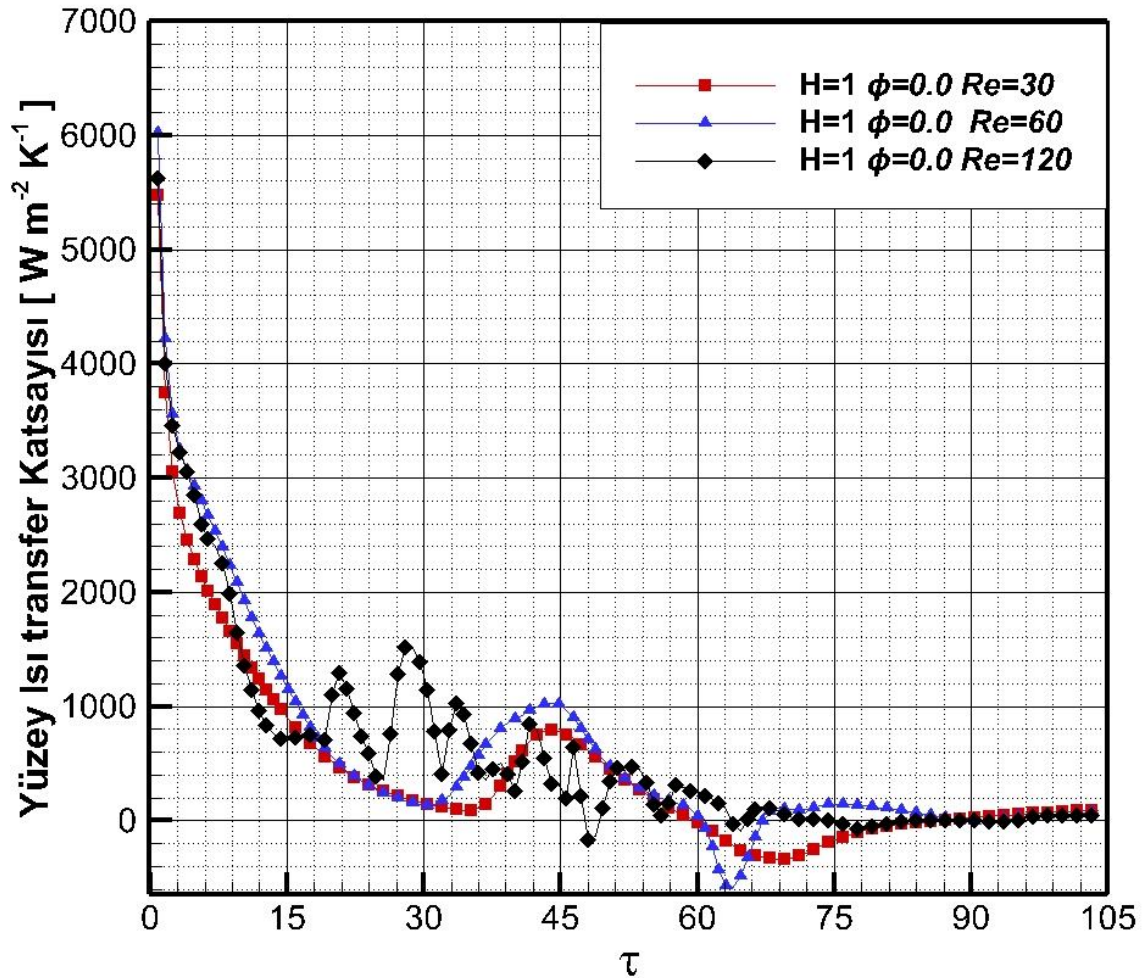
3.4. Reynolds Sayısı, Akışkan Türü ve Kanal Yüksekliği için Zamana Bağlı Değişimler

Şekil 3.28’de ise $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için, küt cisim ile beraber duvar hareketinden kaynaklı, akış hacminde meydana gelen ortalama hızların zamana göre değişimi verilmiş ve bu hızların Re sayılarına göre değişimleri karşılaştırılmıştır. Burada hızlar, tüm akış alanında yer alan hızların ortalamasını ifade etmektedir. Zaman adımlarından 75 ve 82 aralığında, $Re = 120$ değeri için ortalama hız değerinde düşüş meydana geldiği görülmektedir. Bu durumun sebebi olarak, cisim jet profilleri altında hareketine devam ederken, jet profillerinin cisim üzerine etki edemediği ve akış hacminde bulunan girdap akımlarının ortalama hız değerini düşmesine neden olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca, bu aralıkta akışkanın kanal içerisinde ani yön ve hız değiştirmedeği ve bu durumun hız değerini düşürdüğü söylenebilmektedir.



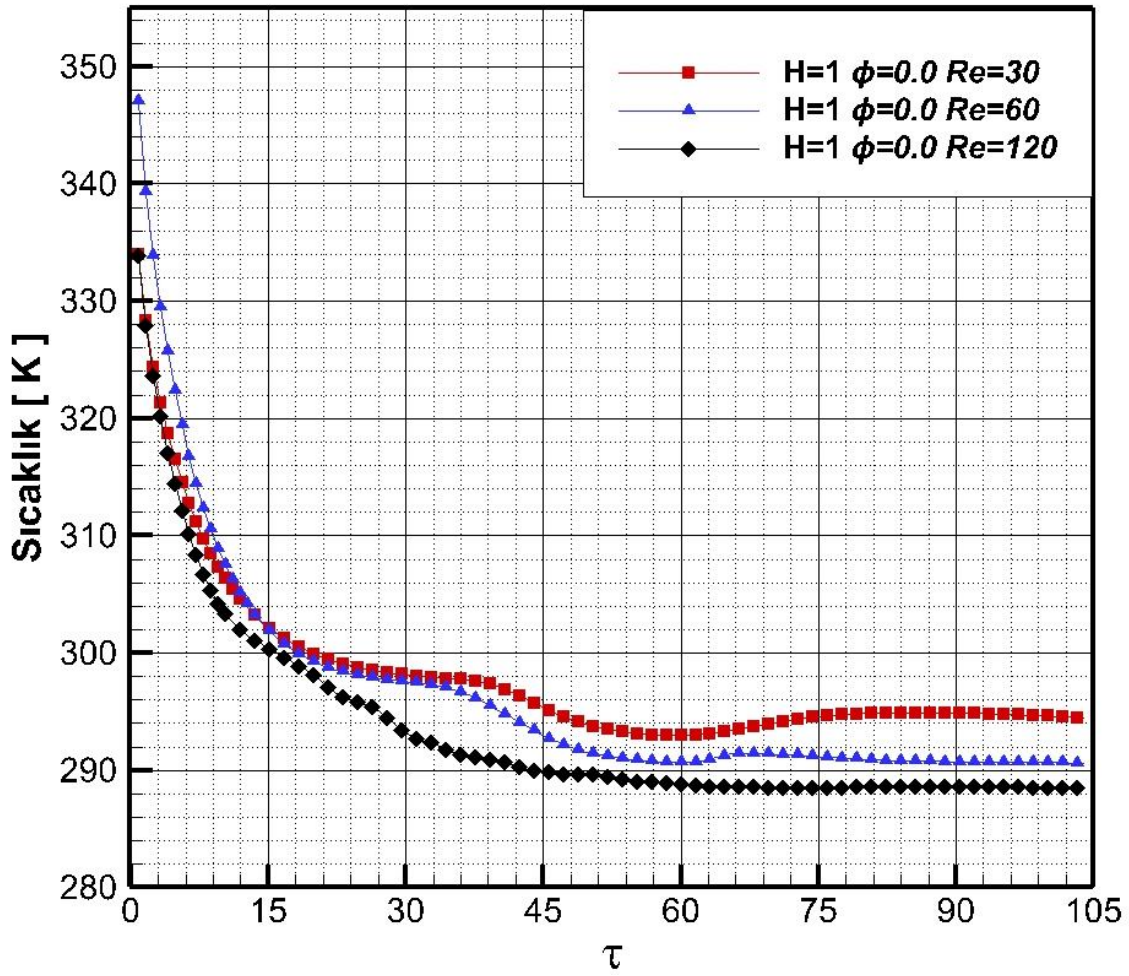
Şekil 3. 28. Ortalama hız değerinin $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds sayısına göre değişimi

Küt cisim duvarlarının akışkan sınırında meydana gelen ortalama h değerinin, zamana göre değişimi Şekil 3.29’da verilmiştir. Küt cismin hareketinden kaynaklı h değerindeki ani değişimler özellikle $Re = 120$ için görülmektedir. Küt cisim, I. jet gölgesinden geçene kadar h değerinin düşmeye devam ettiği görülmüş ve II. ile III. jet gölgesinden geçerken h değerinde dalgalanmalar yaşanmıştır. Bunun nedeni olarak, akışkan giriş hızına bağlı olarak akışkan giriş hızında meydana gelen artışın, ortamda bulunan ve taşınım nedeniyle sıcaklığı yükselen nanoakışkan ile kısa sürede yer değiştirmesi olduğu söylenir. Ayrıca, akışkan hacminde oluşan ölü bölgeler nedeniyle akışkan sıcaklığı, cisim sıcaklığından büyük değere sahip olduğu ve bu bölgelerde h negatif değere düşmesine sebep olduğu yorumu yapılır. $\tau = 90-104$ aralığında ise artık akışkan ile cisim arasındaki sıcaklık farkının düşmesiyle üç farklı Reynolds sayısı içinde h değerlerinin sıfır bölgesine yaklaştığı ifade edilebilir. (İlgili eş sıcaklık eğrisi Ek-1’de sunulmuştur.)



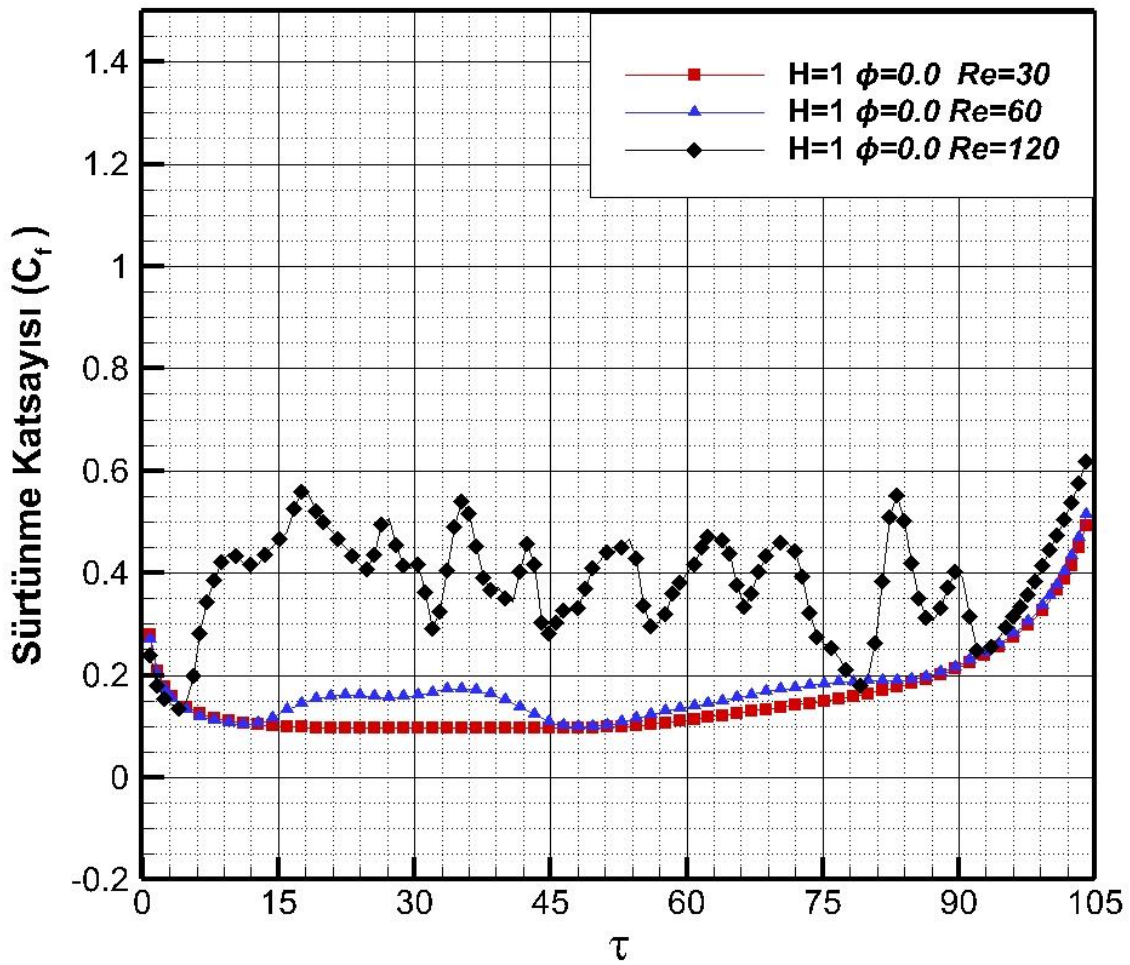
Şekil 3. 29. Yüzey ısı transfer katsayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.30’de küt cismin sıcaklığının zamana göre değişimi $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için verilmiştir. Şekilden anlaşılabacağı gibi 15. zaman adımına kadar geçen süreçte cisim üzerinde hızlı bir sıcaklık düşmesi görülmektedir. Bunun sebebi olarak, bu zaman adımına kadar cisim ile akışkan sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı yüksek olduğundan, ısı transferi oranının da yüksek olmasıdır. Zaman adımı 45 ile 60 aralığında ise cismin sıcaklık değerindeki azalış eğiliminin nedeni cisim II. jet akışına maruz kalmasıdır. $Re = 120$ için bu zaman adımına kadar küt cisim ile akışkan arasındaki sıcaklık farkı azaldığı için bu zaman aralığında azalış eğilimi görülemediği söylenebilir.



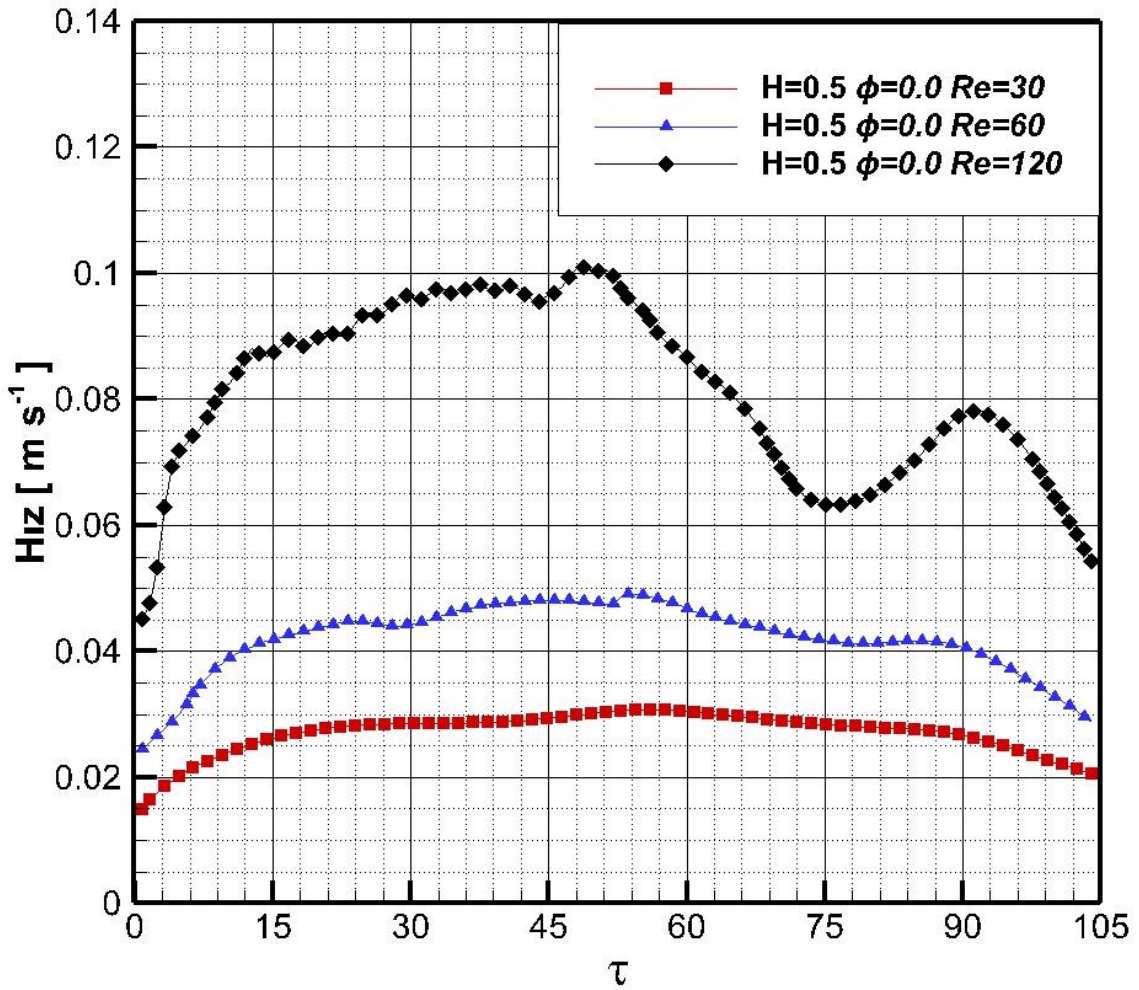
Şekil 3. 30. Küt cisim sıcaklığının $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.31 yorumlanacak olursa akışın katı yüzeyler ile sürtünme katsayısının boyutsuz zamana bağlı değişimi aşağıda sunulmuştur. $Re = 120$ değerinde meydana gelen dalgalanmalarla ilgili cisim hareketinden akışta meydana gelen düzensizliklerin neden olmuştur. Akışkan hacmi için bu Re sayısında cıdarlarda ani değişen yön ve hız etkilerinden kaynaklandığı ifade edilmektedir. Sürtünme katsayı değerlerinin, $Re = 30$ ve $Re = 60$ için daha düzenli bir profil izlediği görülmektedir. Analiz süresinin sonlarına doğru sürtünme katsayılarında, yükseldiği görülmektedir ve bu zaman aralıklarında, cisim çevresinde meydana gelen akış yığılmaları ile jet akışına maruz kalan cisim etrafında ki akışın, bu yükselmenin sebebi olduğu düşünülebilir.



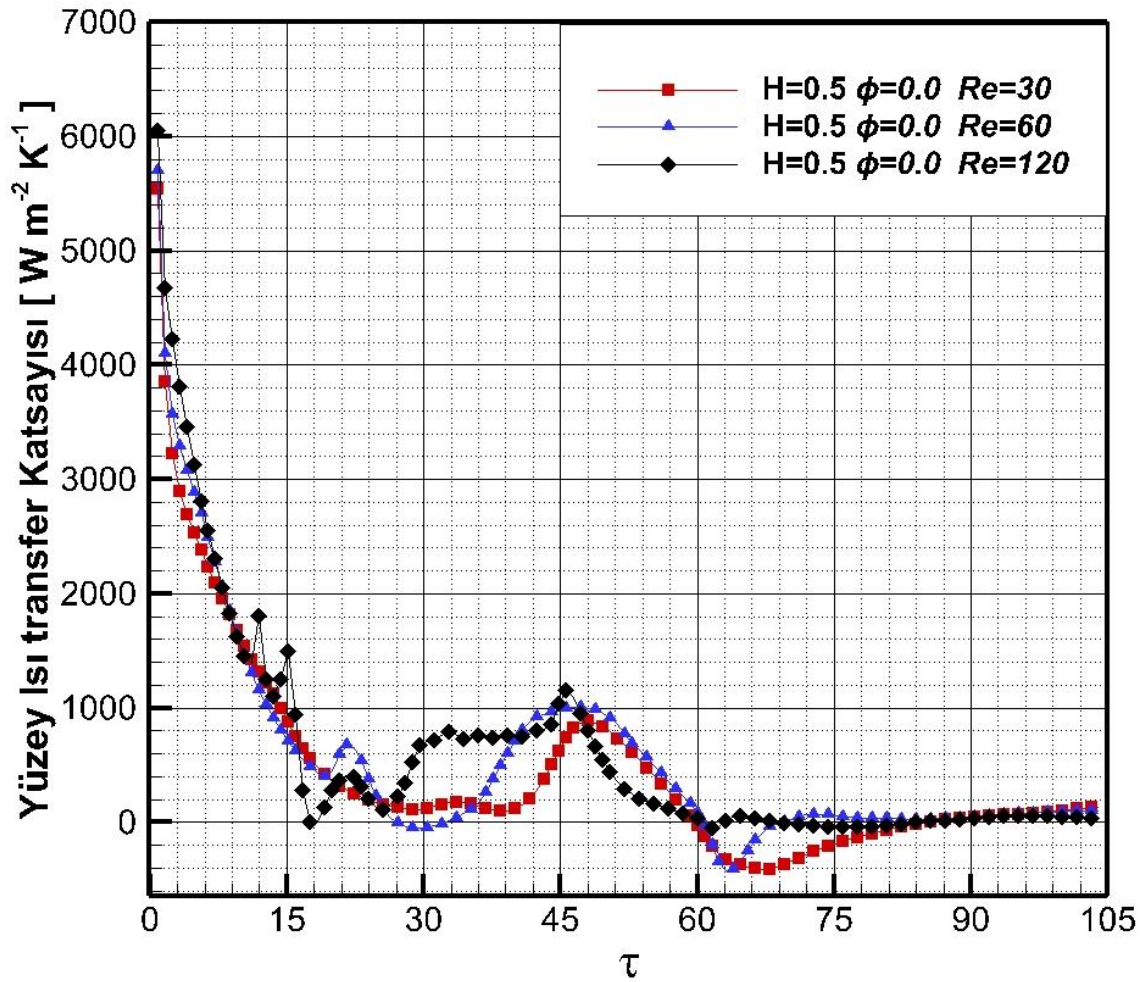
Şekil 3.31. Sürtünme katsayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.32’de ortalama akışkan hızlarının değişimi $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için zamana göre verilmiştir. Eğriler incelendiğinde $Re = 120$ değerinde, girdap akımlarına maruz kalan küt cismin geçişi esnasında, jet profillerinin küt cisim ile direk temas etmemesinden dolayı akış hacmi içerisinde yerel ortalama hız değerinin düşmesine neden olduğu şeklinde yorumlanır. $Re = 30$ ve $Re = 60$ değerleri için elde edilen sonuçlarda ise cismin duvarlarına etki eden akışkan hız değerleri sonucunda, bu Re değerlerine ait eğrilerin daha düzenli olduğu gözlemlenmiştir. $Re = 30$ ve $Re = 60$ değerlerine ait eğrilerde dalgalanmaların görülmediği sonucuna varılmıştır.



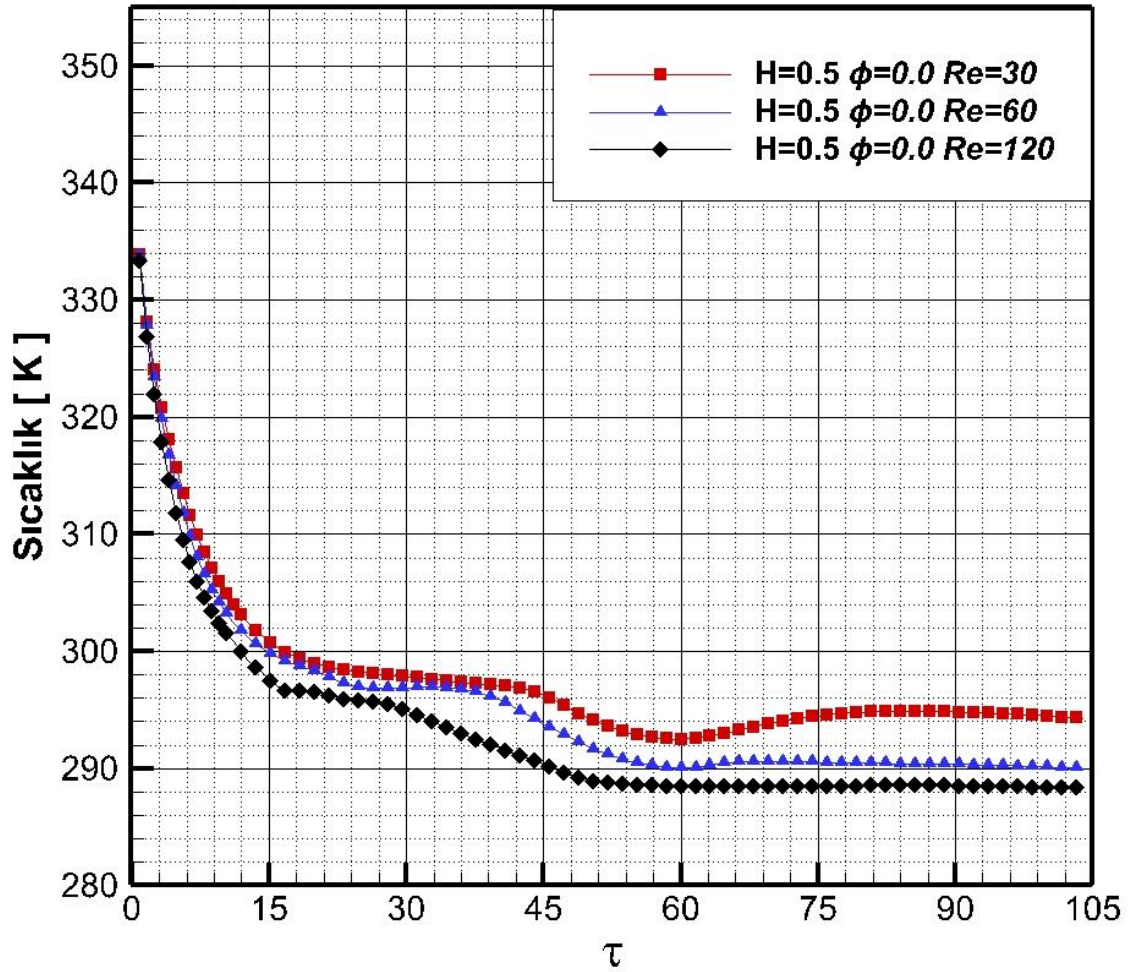
Şekil 3. 32. Ortalama hız değerinin $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.33’de $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için h ’ın zamana bağlı olarak değişimi $Re = 30$, $Re = 60$ ve $Re = 120$ değerleri için verilmiştir. Re sayısının üç farklı değerinde de $\Delta\tau = 0$ ile $\Delta\tau = 30$ arasındayken h değerinde ani düşüşler görülmektedir. Bu aralıkta, sıcaklık farkının düşmesine bağlı olarak, ısı transfer oranında azalma meydana geldiği söylenmektedir. Zaman adımı 30 ile 60 arasındayken h değerinde artışlar görülmüştür. Bunun nedeni olarak, küt cismin hareketi esnasında jet akışına maruz kalarak ısı transfer oranını arttırdığı yorumlanmaktadır. Bu zaman adımından sonra, jetler arasında akış alanında oluşan ölü bölgelere ait sıcaklık değeri, cismin sıcaklık değerinden fazla olduğu için 60-75 zaman aralığında h katsayısında negatif değerler tespit edilmiştir. Zaman adımı 75’ten sonra ise eğrilerin sifıra yaklaştığı ve bu bölgede devam ettiği görülmektedir.



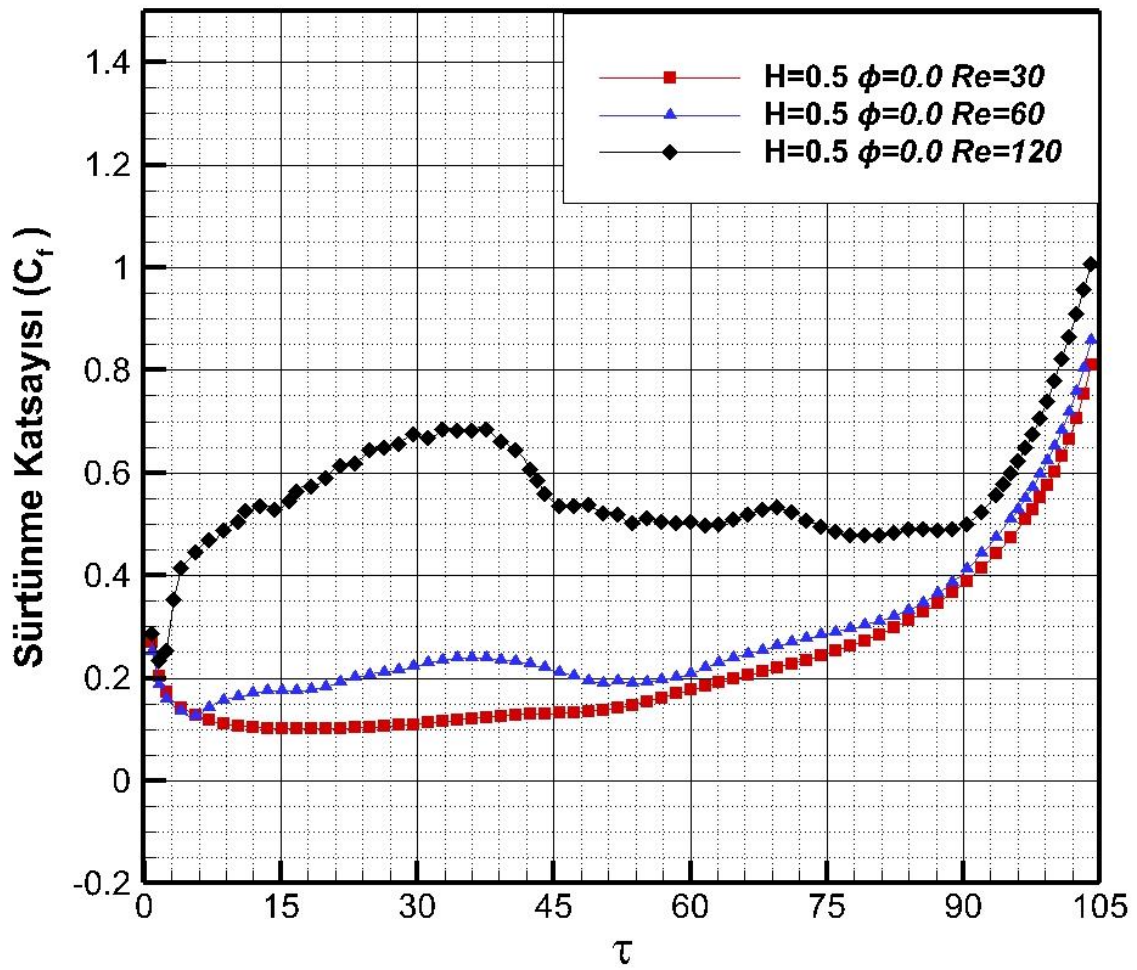
Şekil 3. 33. Yüzey ısı transfer katsayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 3.34’de $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için küt cismin sıcaklığının zamana göre değişimi verilmiştir. Başlangıçtan 15. zaman adımına kadar geçen sürede sıcaklık değerlerinin farkı sebebiyle küt cisim üzerinde hızlı bir sıcaklık düşüşü olduğu görülmüştür. Sıcaklık eğrilerinin yatay olarak ilerlediği kısımlarda ise küt cisim jet etkisine maruz kalmadan, jetler arasında oluşmuş ölü bölgelerden cismin geçişi sırasında sıcaklığın değişmediği görülmüştür. $Re = 30$ ve $Re = 60$ için 45 ile 75 zaman aralıklarında, jet profilinden etkilenen küt cismin sıcaklık değerinde düşüş görüldüğü, sıcaklığın akışkana aktarıldığı gözlemlenmiştir. $Re = 120$ değeri için başlangıçtan 45. zaman adımına kadar geçen sürede, küt cisim ile akışkan arasındaki sıcaklık farkının azaldığı ve bu zaman adımından sonra sıcaklık değerinde değişme görülmediği tespit edilmiştir. Ayrıca Re değerlerine göre küt cisim ile akışkan arasındaki sıcaklık farkı değerleri karşılaştırıldığında, sıcaklık farkının en fazla olduğu sonuç $Re = 120$ ’de gerçekleştiği ve küt cismin sahip olduğu sıcaklığın 288 K değerine kadar indiği gözlemlenmiştir.



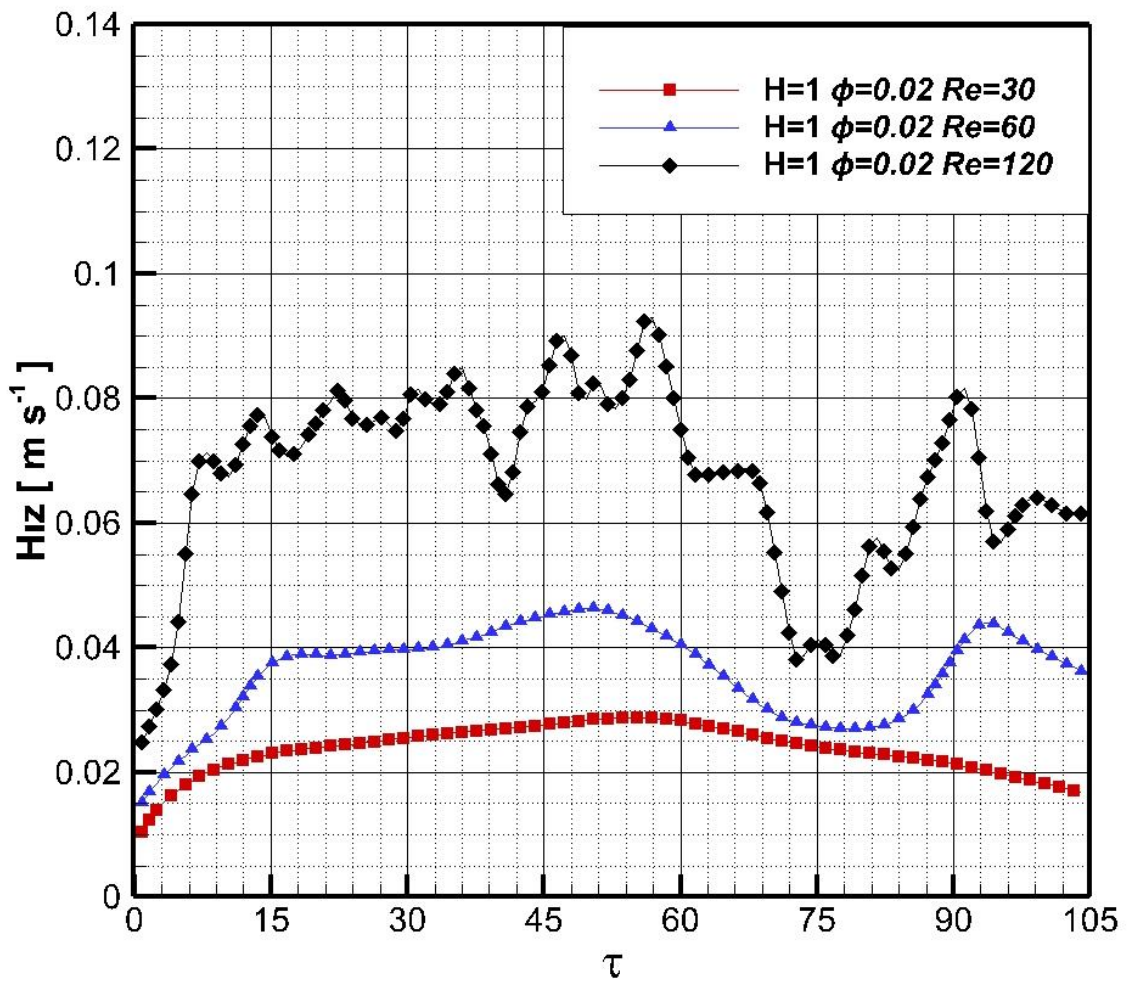
Şekil 3. 34. Küt cisim sıcaklığının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.35’de $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için farklı Re değerlerinde sürtünme katsayılarının zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. $Re = 30$ ve $Re = 60$ değerlerinde eğrilerinin birbirine paralel olarak ilerlediği görülmektedir. $Re = 120$ sayısı için küt cismin duvarlarına çarpan akışkanın, cisim hareketi ile birlikte ani yön ve hız değişimlerinden dolayı sürtünme katsayısına ait eğrinin düzensiz ilerlediği görülmektedir. Zaman adımı 90’dan sonra ise tüm Re sayılarına ait sürtünme katsayısı için elde edilen sonuçların, birbirine paralel ve artış gösterdiği görülmektedir. Değerlerin artış göstermesinin sebebi ise jet profillerinden kaynaklı olarak küt cismin etrafında biriken akışkandan kaynaklanmaktadır.



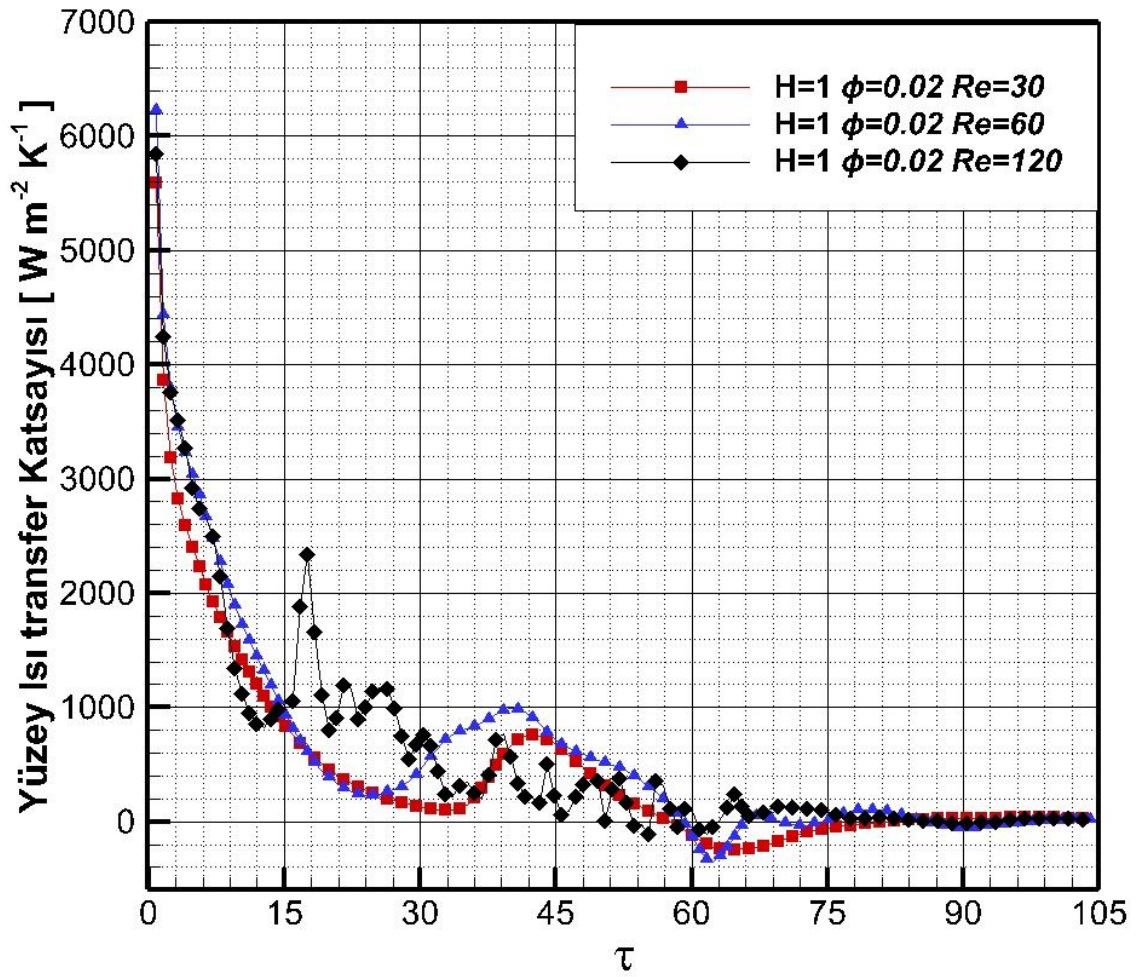
Şekil 3. 35. Sürtünme katsayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.36’de $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için ortalama akışkan hızlarının değişimi zamana göre verilmiştir. Eğrilerde $Re = 120$ ait sonuç incelendiğinde, girdap akımlarına maruz kalan küt cismin jet bölgelerinden geçişi esnasında, jetlere ait profillerin küt cisim ile direk temas etmemesinden dolayı akış hacmi içerisinde ortalama hız değerinin düşmesine neden olduğu şeklinde yorumlanır ve bu etki 60 ile 90 zaman adımları arasında görülebilmektedir. $Re = 60$ için sonuçlarda da bahsedilen etkinin 60 ile 90 zaman aralığında görülmüştür. $Re = 30$ sayısına ait sonuçta, akışkan hacminde ani yön ve hız görülmediğinden, değerlerde düzenli ilerlemeler görüldüğü söylenebilmektedir.



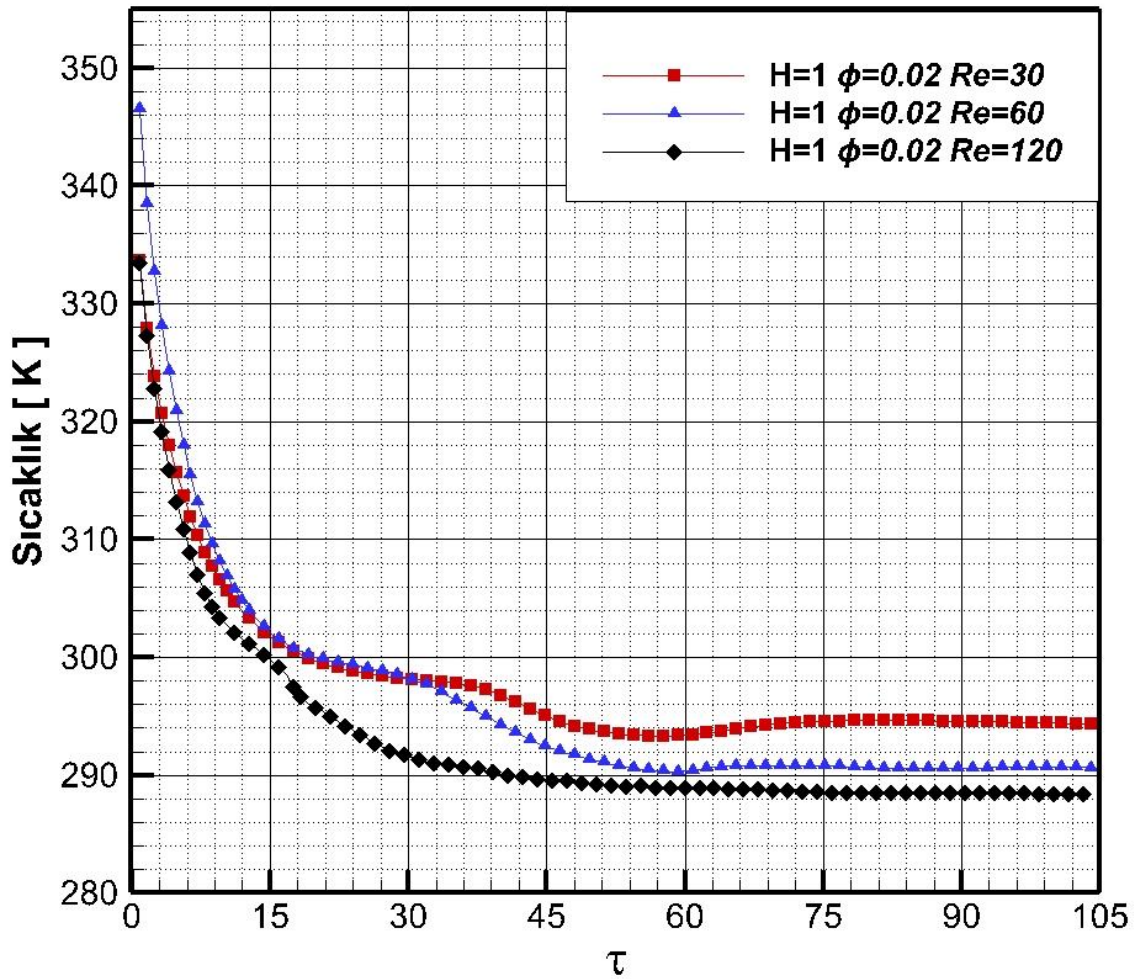
Şekil 3. 36. Ortalama hız değerinin $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.37’de $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için h değerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Şekil 3.37 elde edilen sonuçlar, Şekil 3.29’da verilen $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için verilen sonuçlara benzer şekilde eğriler elde edildiği, ilgili şekil incelendiği zaman söylenebilmektedir. Bu şekiller arasında ki fark olarak nanoakışkanın, hacimsel derişim oranındaki artışa bağlı olarak termofiziksel özelliklerinde artış meydana geldiği yorumlanabilmektedir. Bu durumun sonucunda, h değerlerinin, ulaştığı maksimum noktalar, sonuçlarda artış göstermiştir. $Re = 120$ değerindeki dalgalanmalar için, sistemde meydana gelen hızlı akış sirkülasyonları nedeniyle oluştuğu söylenebilmektedir.



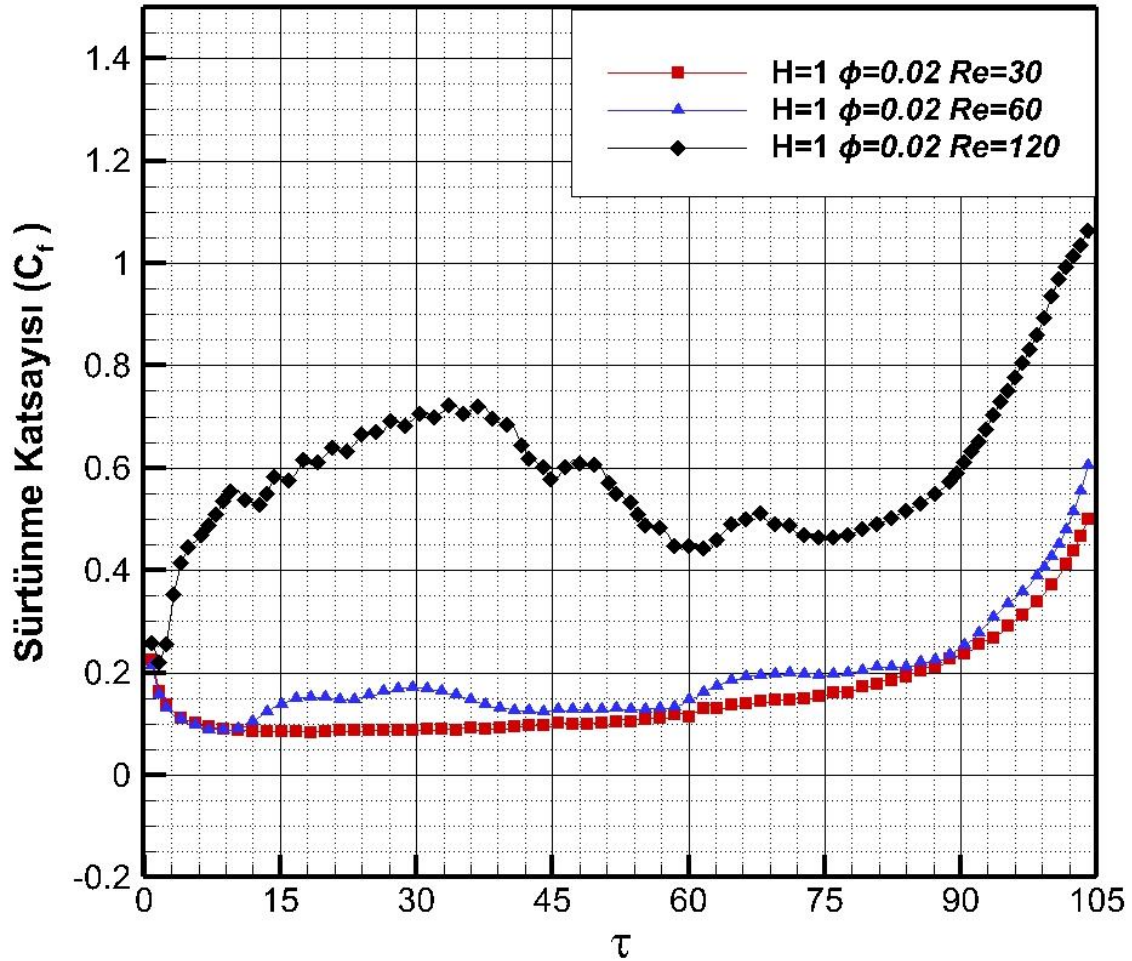
Şekil 3. 37. Yüzey ısı transfer katsayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 3.38’de $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için küt cismin sıcaklığının zamana göre değişimi verilmiştir. $Re = 60$ için sıcaklık eğrileri, 33. zaman adımına kadar geçen sürede $Re = 30$ eğrisinin üzerinde kaldığı görülmektedir. Bu durum için $Re = 60$ ’da akış hacminde meydana gelen girdap akımlarının küt cismin sıcaklık düşüşünü etkilediği yorumu yapılabilir. $Re = 30$ ve $Re = 60$ için sonuçlarda 15 ile 45 zaman adımı aralığında, küt cisim ile akışkan sıcaklık farkının aynı kalmasından kaynaklanmaktadır. $Re = 120$ için sonuçlarda, 45. zaman adımına kadar sıcaklık düşüşü, diğer Re sayılarına göre daha kısa zaman aralığında gerçekleştiği söylenebilir ve bu zaman adımından sonra 288 K değerine yakın kaldığı görülmektedir. Ayrıca sıcaklık düşüşleri için en iyi Re değerinin, $Re = 120$ sayısında ulaşıldığı anlaşılmaktadır.



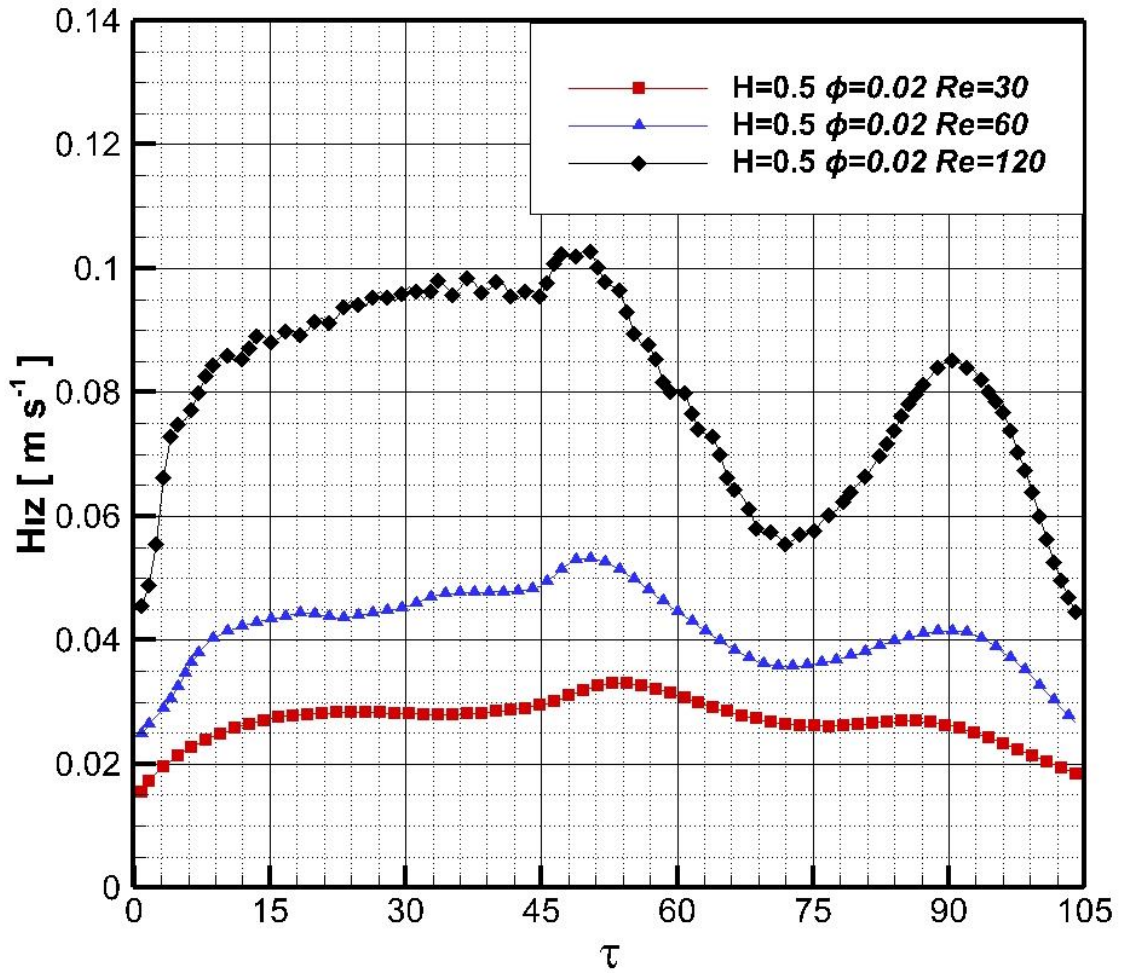
Şekil 3. 38. Küt cisim sıcaklığının $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.39’de $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için farklı Re değerlerinde sürtünme katsayılarının zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. $Re = 30$ ve $Re = 60$ değerlerinde eğrilerinin birbirine yakın ilerlediği söylenebilir fakat 15-45 ile 60-90 zaman aralıklarında sonuçlar farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. Bu farklılıkların sebebi, küt cismin hareketine devam ederken, jet akışı profilinin $Re = 60$ ’ da daha etkili olduğu için kaynaklanmaktadır. $Re = 120$ sayısına ait eğrilerde, jet akışkan profili daha etkili olduğu için küt cisimle akışkan arasında ve cidarlarla akışkan arasında akış sürtünmelerinde artış görülmüştür. Zaman adımı 90’dan sonra ise tüm Re sayılarına ait sürtünme katsayısı için elde edilen sonuçların, birbirine paralel ve artış gösterdiği görülmektedir. Jet profilinden kaynaklı olarak 90. zaman adımından sonra değerlerde meydana gelen artışın sebebi, jet profillerinden kaynaklı olarak küt cismin etrafında biriken akışkandan kaynaklanmaktadır.



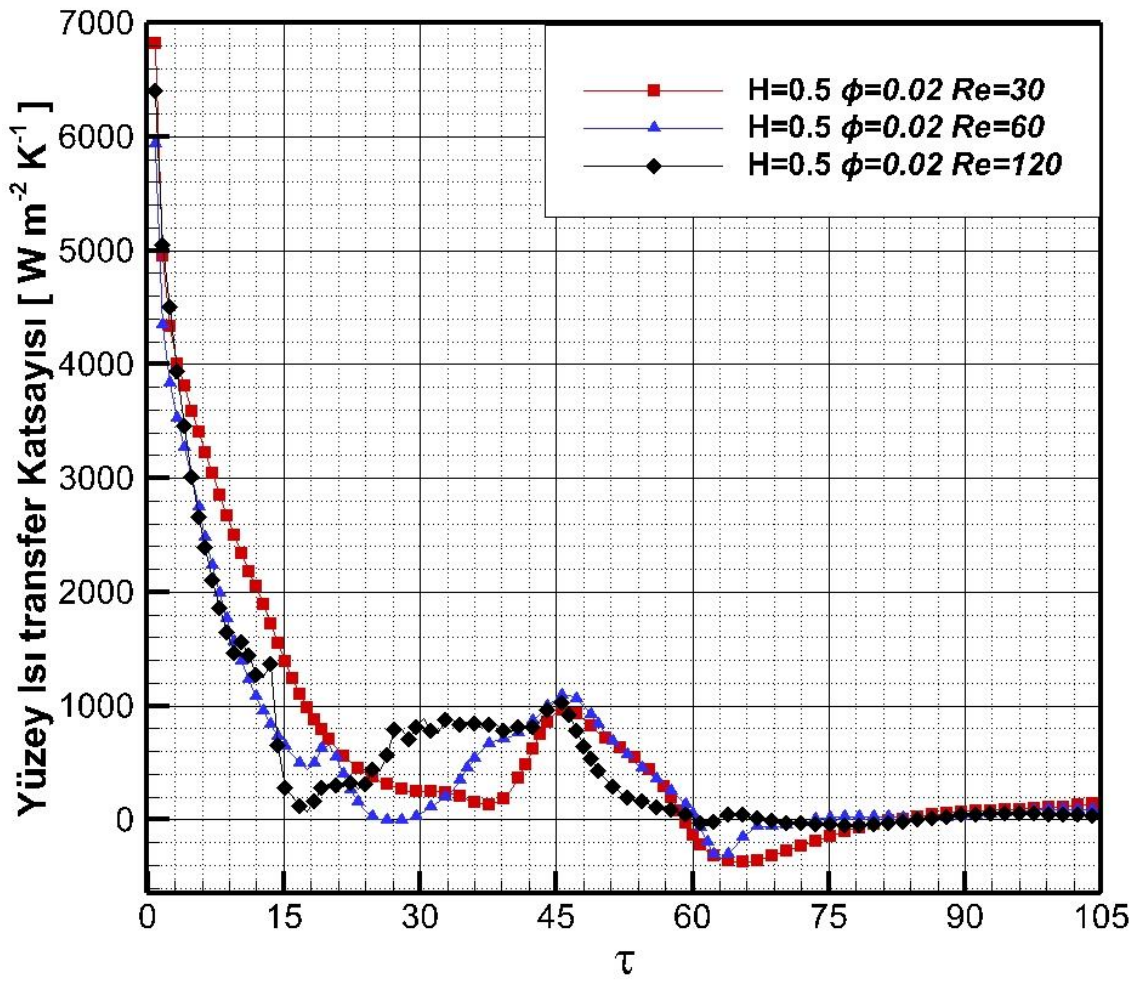
Şekil 3. 39. Sürtünme katsayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.40’da $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için ortalama akışkan hızlarının değişimi zamana göre verilmiştir. Eğrilerde $Re = 120$ ait sonuçta, küt cismin girdap akımlarına maruz kaldığı ve küt cisim jet bölgelerinden geçişi sırasında, jetlere ait profillerin küt cisim ile direk temas etmemesinden dolayı akış hacminde ortalama hız değerinin düşmesine, 60 ile 90 zaman adımları arasında karşılaşılmaktadır. Aynı durumun $Re = 30$ ve $Re = 60$ için geçerli olduğu görülmektedir. $Re = 30$ değerinde, 60 ile 90 zaman aralığında ortalama hız eğrisinde görülen dalgalanmanın sebebi kanal yüksekliğinin yarıya indirilmesidir.



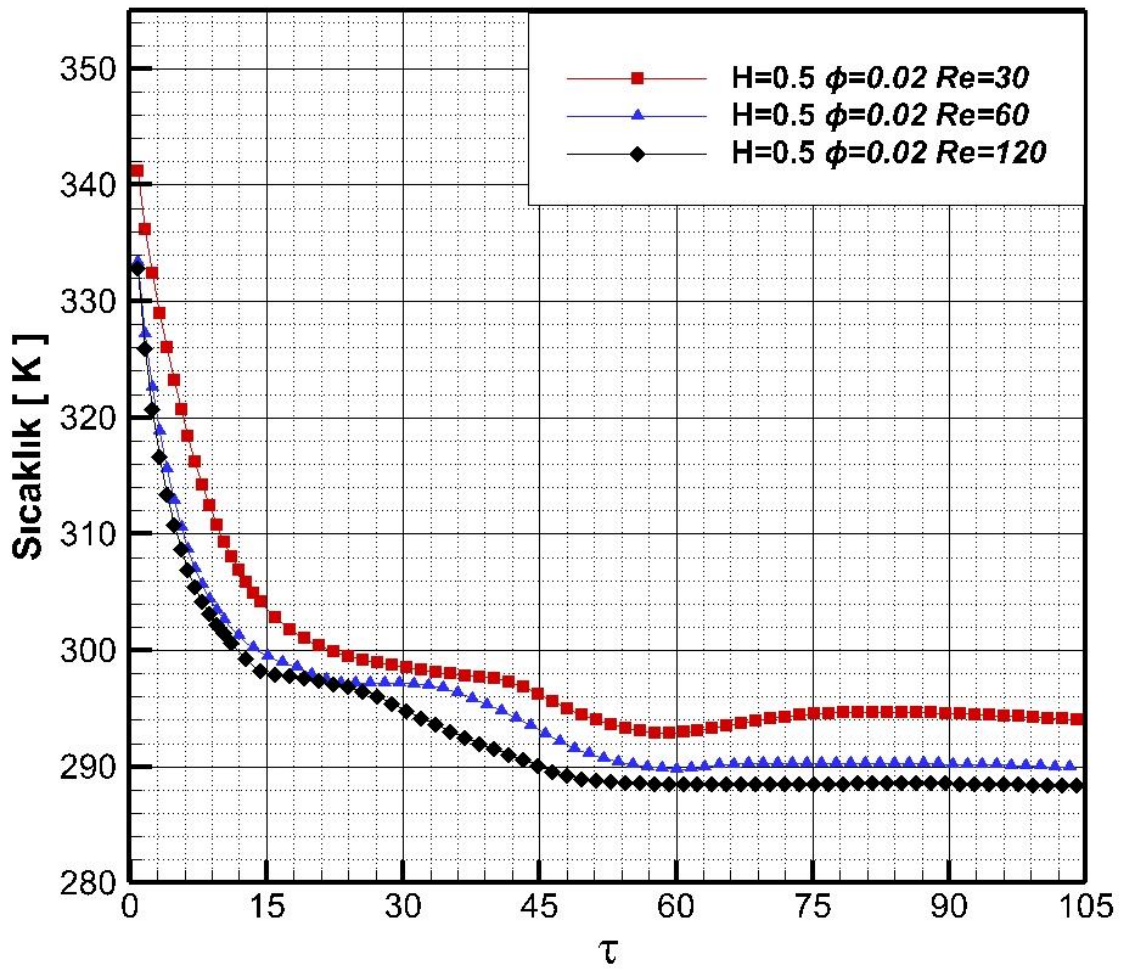
Şekil 3. 40. Ortalama hız değerinin $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 3.41’de $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için h değerine ait sonuçların zamana göre değişimi verilmiştir. Başlangıçta akışkan ile küt cisim arasında bulunan sıcaklık farkından dolayı h değerinde 21. zaman adımına kadar hızlı bir düşüş yaşandığı şekilde verilen sonuçta görülebilmektedir. Bu durum için küt cisim ile akışkan arasında sıcaklık farkının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. $Re = 120$ ’ye ait sonuçta, $Re = 30$ ve $Re = 60$ ’a göre, sıcaklık farkının daha kısa sürede azalmasına bağlı olarak h değerinin de sıfır değerine kısa sürede ulaştığı yorumu yapılabilmektedir. Sonuçlarda negatif değerlere düşen bölgelerin açıklaması olarak cismi çevreleyen akışkanın yerel sıcaklığının, küt cisim sıcaklığından fazla olması nedeniyle gerçekleştiği söylenebilmektedir.



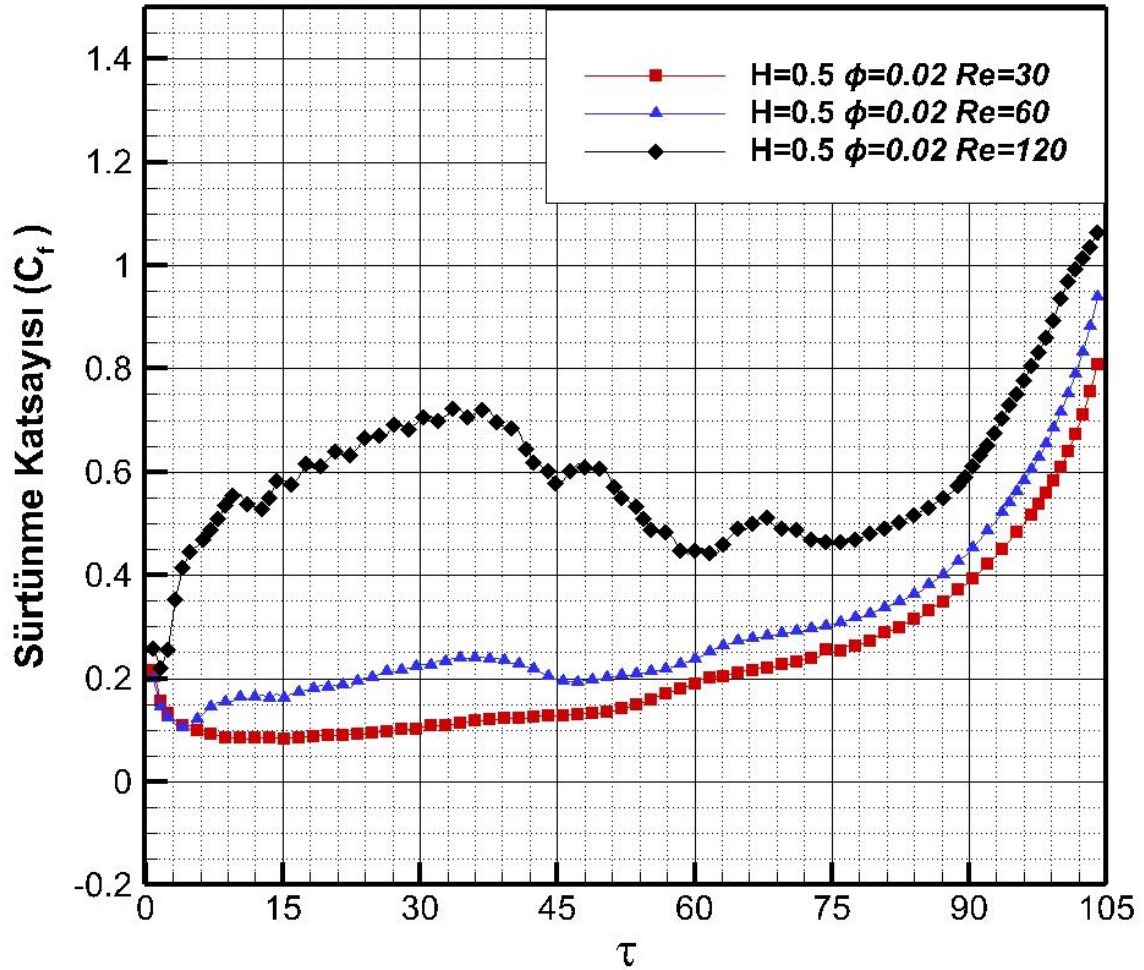
Şekil 3. 41. Yüzey ısı transfer katsayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

Şekil 3.42’de $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için küt cismin sıcaklığının zamana bağlı değişimleri verilmiştir. $Re = 30$ için sonuçlarda, sonuçlardaki diğer Re sayılarına göre daha az sıcaklık düşüşü meydana gelmiştir. Bu kanal yüksekliğinde, 27. zaman adımına kadar $Re = 60$ ve $Re = 120$ değerleri yakın olarak çıktığı görülmektedir. Bunun sebebinin kanal yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Tüm Re değerlerine ait sonuçlarda, 45 ile 60 zaman aralıklarında küt cismin sıcaklığının düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum için küt cisim sıcaklığı bu zaman aralığında akışkana iletiliyordur. Eğrilerde yatay olarak ilerleyen kısımlar için cisim ile akışkan sıcaklığının dengede kalmasından kaynaklandığı yorumlanabilmektedir.



Şekil 3. 42. Küt cisim sıcaklığının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değişimi

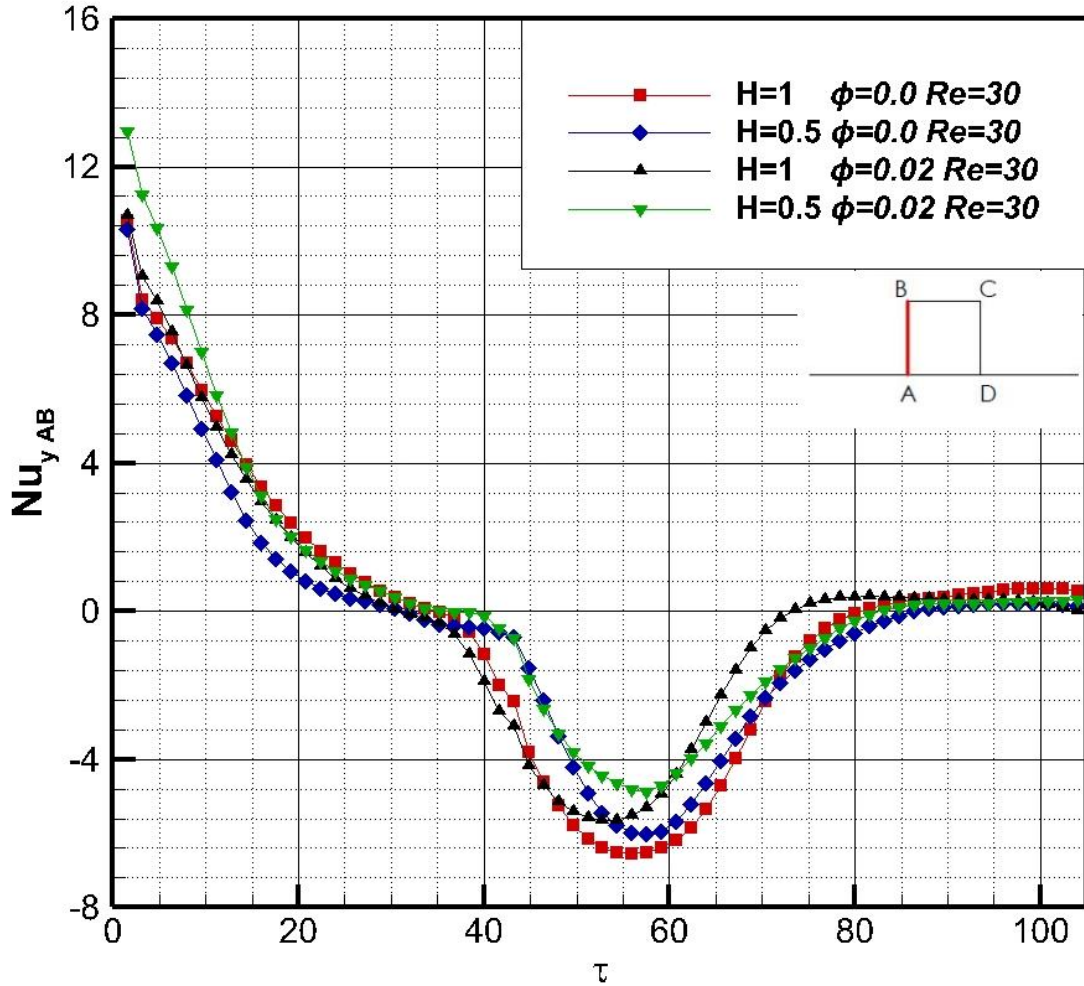
Şekil 3.43’de $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için hacimsel derişimi değeriine sahip akışkanın sürtünme katsayısının değışimi zamana göre verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.35’de $H = 0.5$ kanal yüksekliğı ve $\phi = 0.0$ için verilen sonuçlar ile kıyaslandığı zaman, elde edilen iki sonuç eğrilerinin benzer değeri ve eğimlerle ilerlediğı görölür. Benzerlik değeri için nanoakışkanın hacimsel yüzdece değışimlerinin sürtünme katsayısı sonuçlarında, bu kanal yükseklik değeri için önemli bir değışime sebep olmadığı söylenebilmektedir. Analizin 75. zaman adımından sonra sürtünme katsayılarında görölün artışın nedeni cismin bulunduğı konumda hareketi ile birlikte çevresinde toplanan akışkanın, jet profiline maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca jet giriş hızının yükselmesi ile sürtünme katsayısının da yükseldiğı yorumlanabilmektedir.



Şekil 3. 43. Sürtünme katsayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına göre değışimi

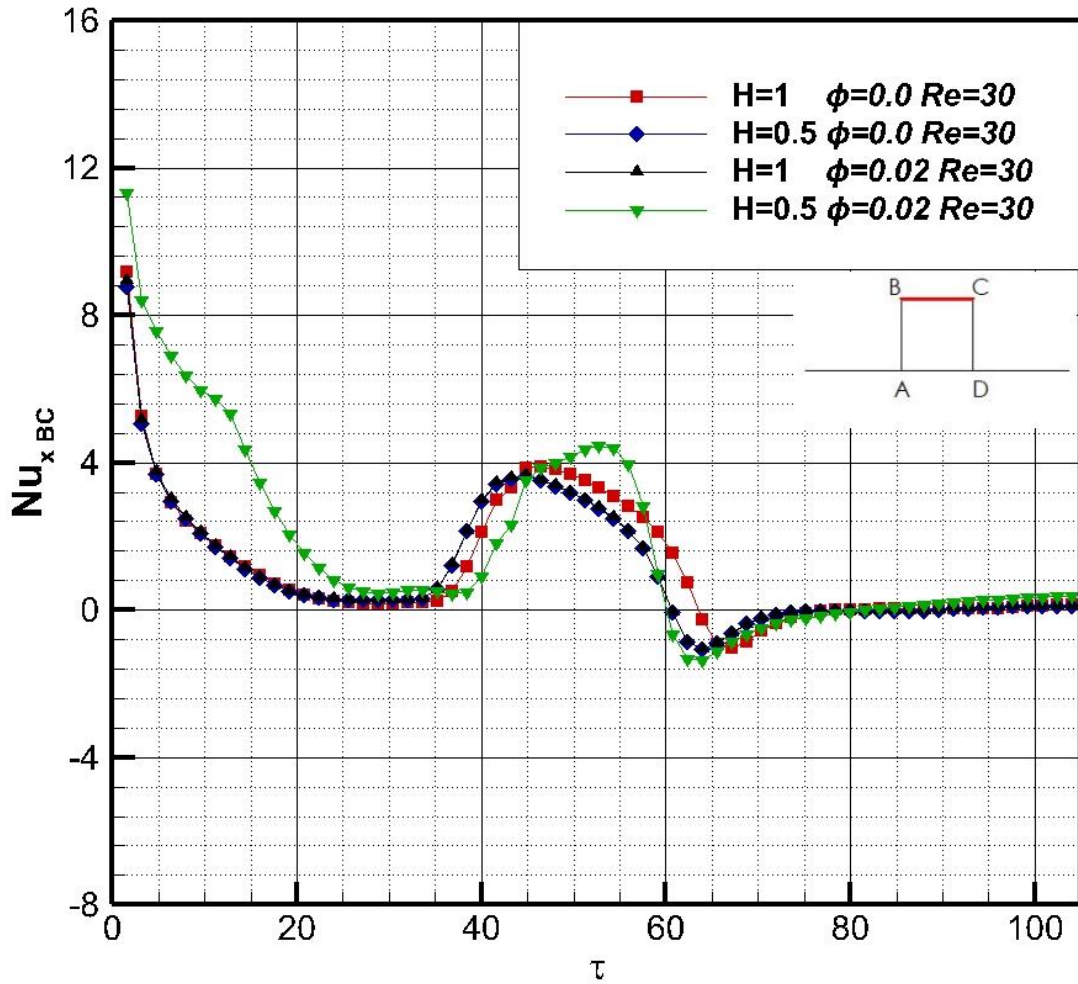
3.5. Nusselt Sayılarının Zamana Bağlı Değişimleri

Şekil 3.44’de $Re = 30$ şartı için, AB duvarı üzerinde yerel Nu_y sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimi zamana bağlı olarak verilmiştir. Bu duvar için elde edilen sonuçların yakın olarak devam ettiği tüm parametreler için görülmektedir. Yerel Nusselt sayısı, Şekil 2.4’de belirtildiği gibi A, B, C ve D noktalarına sahip küt cismin AB duvarı üzerinden hesaplanmıştır. Denklem 2.6’da yer alan $(T_\infty - T_h)$ ifadesi, yerel akışkan sıcaklığının küt cisim AB duvarı üzerindeki sıcaklık değerinin üzerinde olması durumunda ($T_\infty > T_h$), h değerinin sonuçları negatif değer alabildiği önceki sonuçlarda da ifade edilmiştir. h değerine bağlı olan Nusselt sayısının hesaplandığı Denklem 2.6’da sonuçlar bu eşitliğe bağlı olarak negatif çıkmaktadır. Zaman 40 ile 80 aralığında Nu sayısı negatif bulunduğundan bu bölgede yerel akışkan sıcaklığı, küt cismin sıcaklığından büyüktür yorumu yapılabilmektedir.



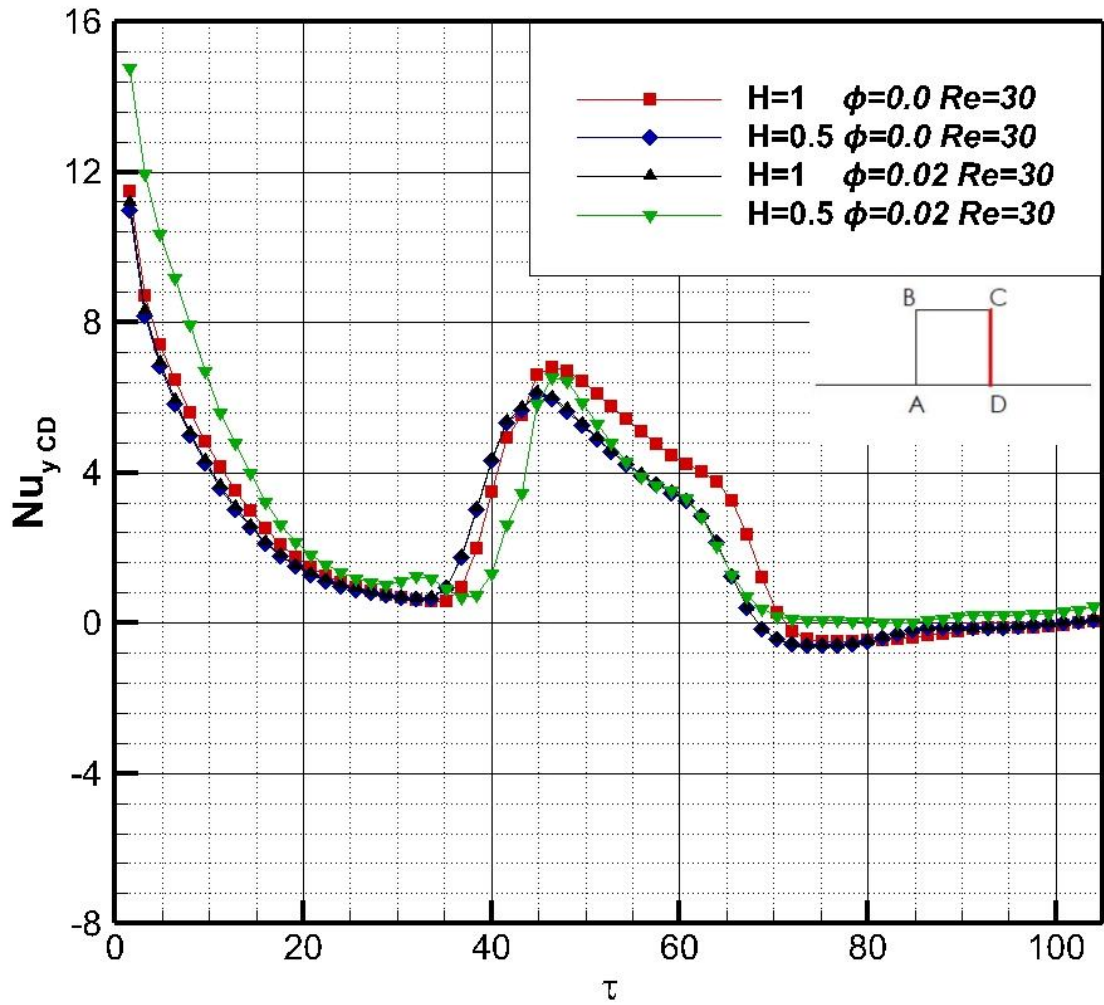
Şekil 3. 44. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre AB duvarı üzerindeki değişimi

BC duvarı üzerinde, yerel Nu_x sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ parametrelerine göre zamana bağlı değişimi Şekil 3.45’de verilmiştir. Burada 40 ile 60 zaman aralığında taşınımın iletimden fazla olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.44’e kıyasla Nu sayısının daha kısa sürede sıfır değerine yaklaşmıştır. Bunun nedeni BC duvar çevresinde yerel akışkanın yükselen sıcaklığının, cismin hareketi ve jet profilinin etkisiyle bölgeden hızlıca tahliye edilmesidir. BC duvarı üzerinde 40 ile 60 zaman aralığında yerel Nu sayısında BC duvarının yerel sıcaklığının akışan sıcaklığından daha büyük olduğu gözlemlenebilmektedir. $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için eğri incelenirse 30. zaman adımına kadar nanonaşkanın termofiziksel özelliklerinden kaynaklı olarak, bu zaman adımına kadar cismin BC duvarından akışkana sıcaklık değerinin daha iyi taşındığı ifade edilebilir.



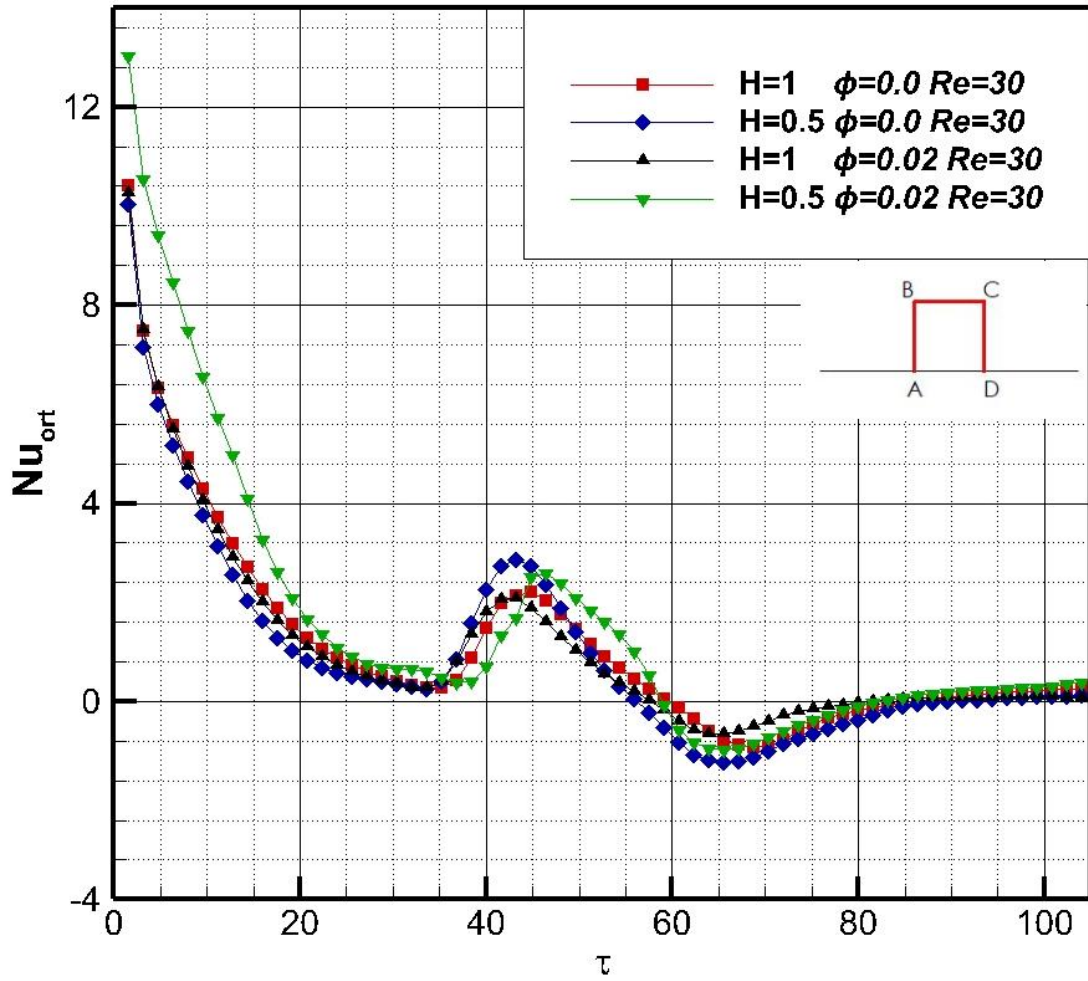
Şekil 3. 45. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre BC duvarı üzerindeki değişimi

Şekil 3.46'da $Re = 30$ için $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ parametrelerine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının CD duvarı üzerinde zamana göre değişimi görülmektedir. CD duvarı için 35. ile 70. zaman aralığında yerel Nu sayısında artış görülmüştür ve bu aralıkta taşınım ile ısı transferinin yükseldiği anlaşılabilmektedir. Bu zaman aralığında cisim jet etkisine maruz kalarak akışkanda sıcaklık düşmelerine neden olduğu ve cismin duvarı ile akışkan arasında gerçekleşen ısı transfer miktarının artmasına sebep olmuştur. Duvar sıcaklığının akışkan sıcaklığından yüksek olduğu bu zaman adımı için görülmektedir.



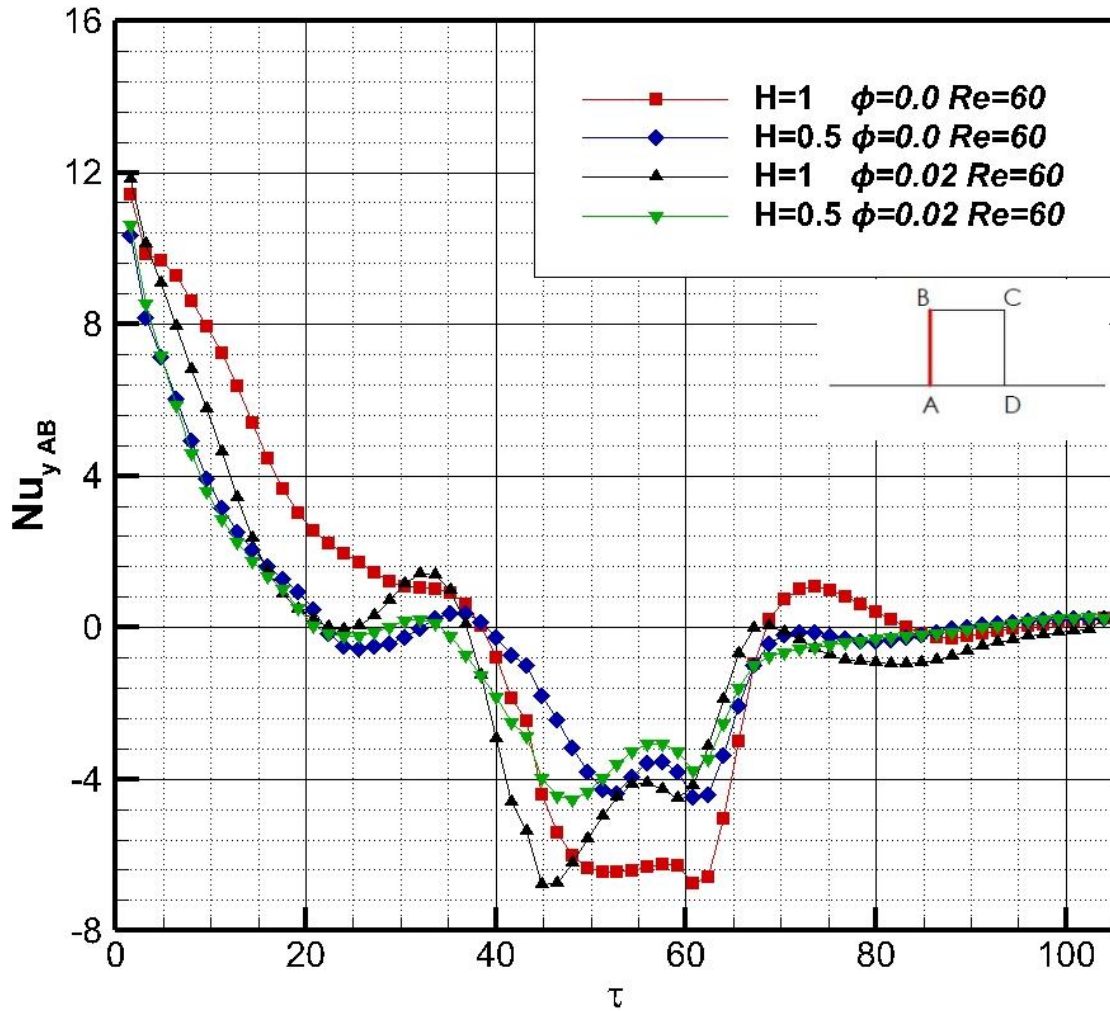
Şekil 3. 46. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre BC duvarı üzerindeki değişimi

Şekil 3.47 yorumlanacak olursa, $Re = 30$ için AB, BC, CD duvarları üzerinden alınan ortalama Nu_{ort} sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimi verilmiştir. Denklem 2.19’da verilen ortalama Nusselt ifadesine göre 35 ile 60 zaman aralığında, Nu sayısının arttığı ve ısı transfer oranının bölgede sağlanan sıcaklık farkından dolayı yükseldiği söylenir. Bu aralıkta, küt cisim duvar sıcaklıkları akışkan sıcaklığından fazla olduğu ve 65. zaman adımından sonra tüm parametrelerde eğrilerin $\Delta\tau = 20$ sürelik bir zaman adımında akıştaki girdap akımlarının etkisiyle ortalama Nu sayılarının, negatif değerlere düştüğü görülür.



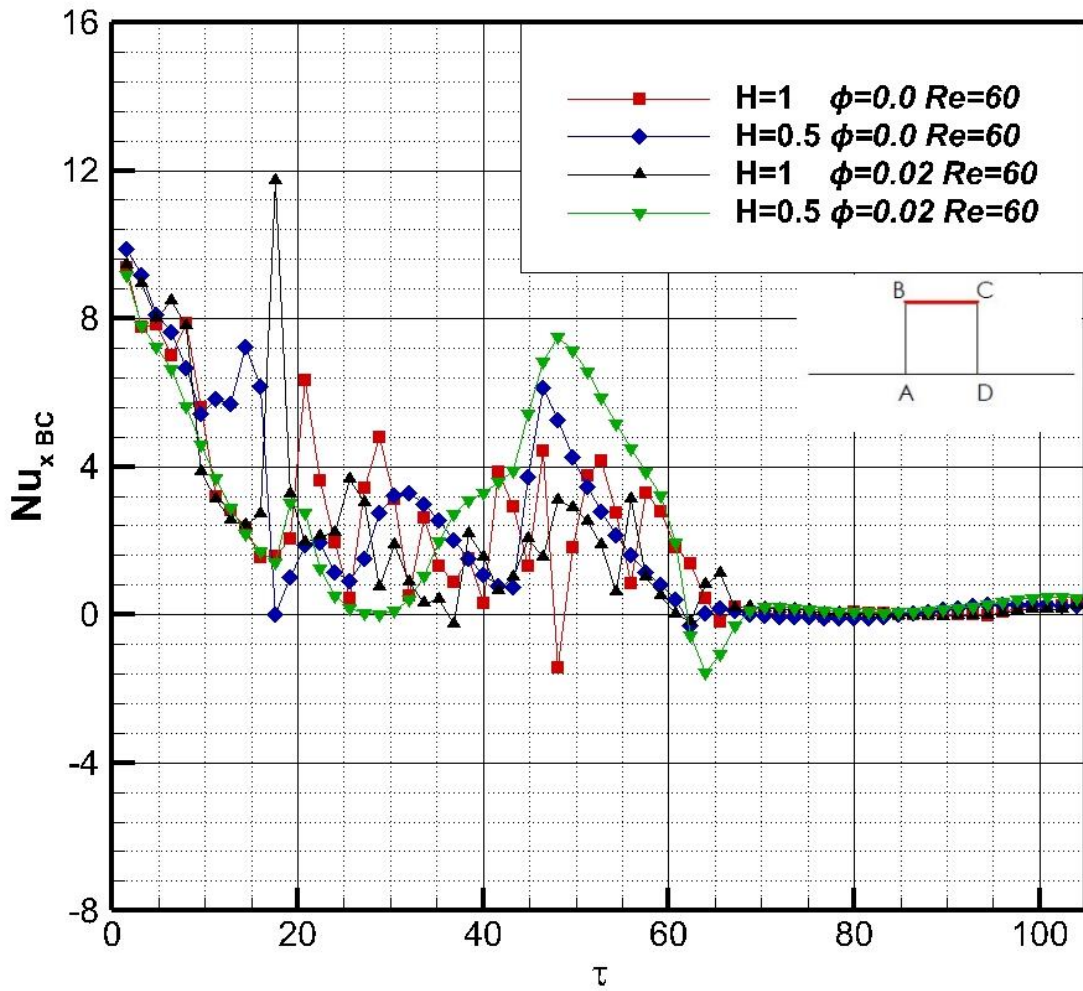
Şekil 3. 47. Ortalama Nusselt Sayısının $Re = 30$ için H ve ϕ parametrelerine göre değişimi

Şekil 3.48’de $Re = 60$ için AB duvarı üzerinde yerel Nu_y sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimi grafikte gösterilmektedir. Yaklaşık olarak benzer yerel Nu_y sayıları ile başlayan grafik, zaman adımının ilerlemesiyle farklı değerler göstermeye başlamıştır. $Re = 60$ sayısında, 35 ile 70 zaman aralığında, AB duvarı üzerinde negatif yerel Nu_y sayıları görülmektedir. Bunun sebebi, $Re = 60$ için akışa alanında oluşan girdap akımlarının etkilerinden dolayı, AB duvarının etrafında kalan sıcaklığı yükselen akışkanın bu bölgeden uzaklaştırılamamasıdır. Bunun sonucu olarak bu bölgelerde ki akışkan sıcaklığının, cisim duvarının sıcaklığının üzerinde kalmasından kaynaklı Nu değerlerinin negatif değerlere ulaşabildiği görülmektedir. Ayrıca yine bu aralık için yerel akışkan sıcaklığı küt cisme ait AB duvar sıcaklığından büyük olmuştur.



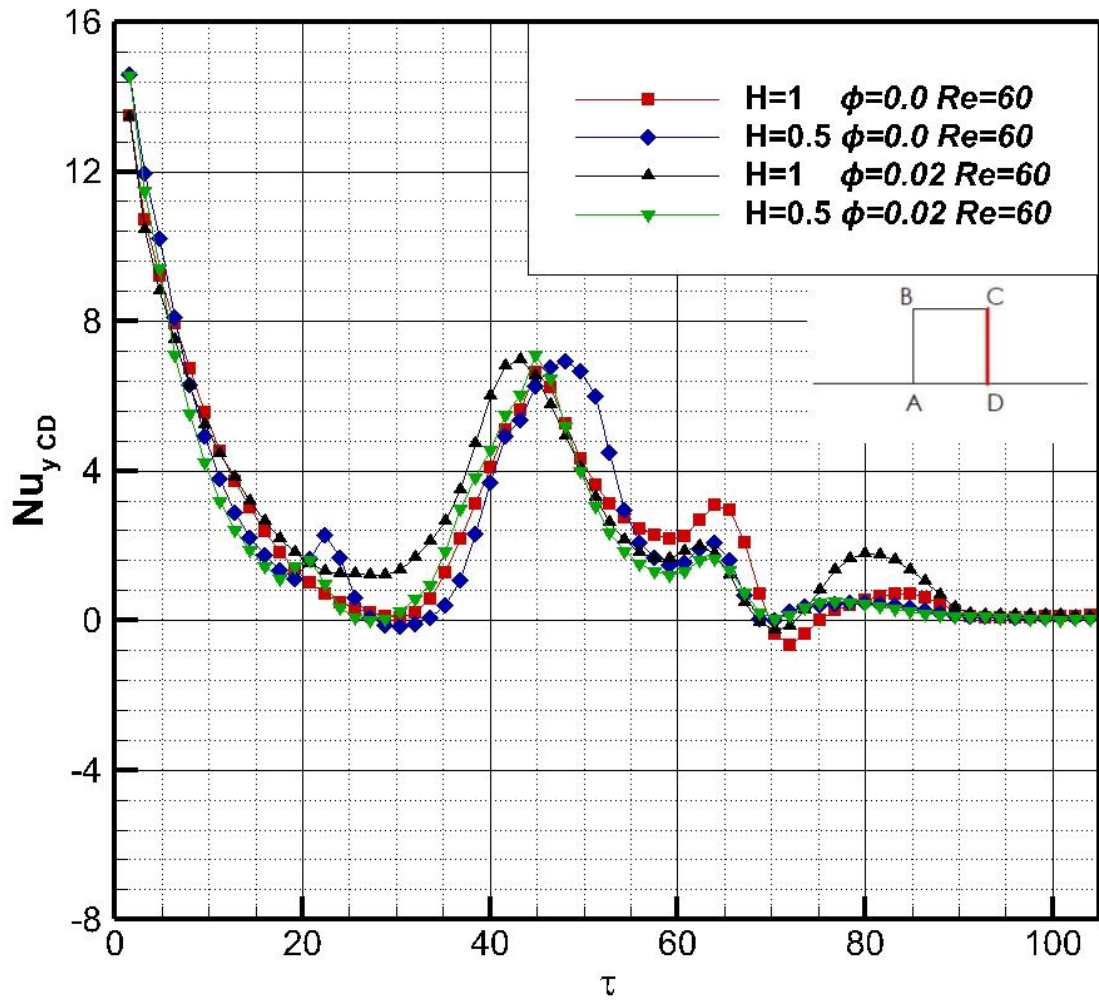
Şekil 3. 48. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre AB duvarı üzerindeki değişimi

$Re = 60$ sayısı için BC duvarı üzerinde, yerel Nu_x sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ parametrelerine bağlı değişimi Şekil 3.49'deki gibidir. Bu duvar üzerinde, jetlerden giriş yapan akışkanın hızının artışıyla BC duvarının çevresinde akışkan hareketliliğinin arttığı söylenebilir. Bunun sonucu olarak sıcaklığı yükselen akışkan bu bölgeden hemen uzaklaşabilmekte ve akışkan ile cisim arasında sıcaklık farkı bitene kadar devamlı olarak bu tekrarlı akışkan hareketleri devam etmektedir. Bu durum 75. zaman adımına kadar eğrilerdeki sonuçların dalgalı şekilde devam etmesine neden olmuştur. Zaman adımı, $\Delta\tau = 70$ değerinden sonra bu parametreler için sonuçların sifıra yaklaştığı ve benzer olarak analiz süresince aynı değerde devam ettiği görülmektedir.



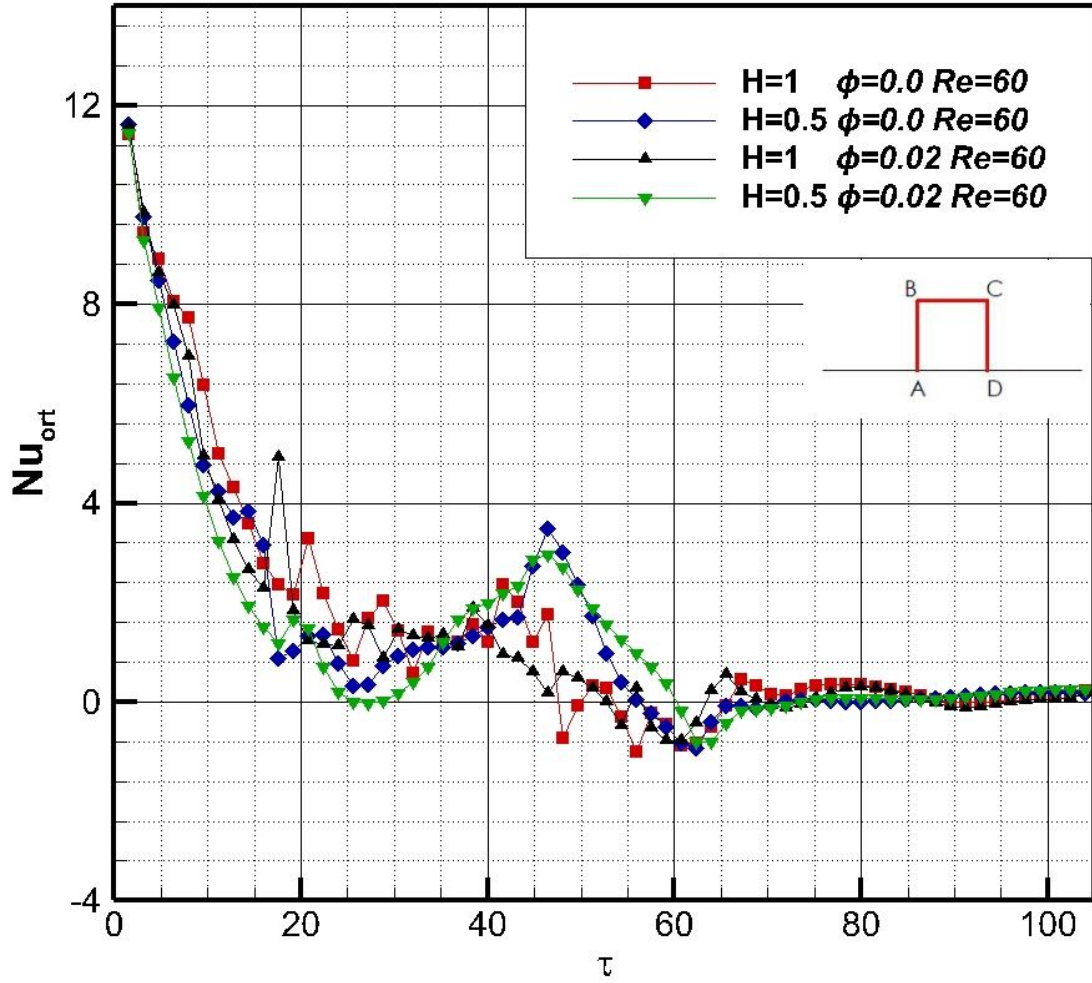
Şekil 3. 49. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre BC duvarı üzerindeki değişimi

Şekil 3.50’de $Re = 60$ için CD duvarı üzerinde yerel Nu_y sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimini gösteren sonuçlar görülmektedir. CD duvarı tüm durumlar için yerel Nu sayısının benzer olduğu görülmektedir. Burada 55-65 zaman aralıklarında, kanalda girdap akımları sebebiyle cisim ile akışkan sıcaklığı belirli bir süre dengede kaldığı ve bunun sonucu olarak Nu değerinin bu zaman aralıklarında aynı değerde kaldığı görülmektedir. Ayrıca sonuçlarda, kanal yüksekliğinin azalması ortalama Nu değerinin artışına sebep olmuştur. Bunun nedeni, $H = 0.5$ için verilen sonuçlarda, $H=1$ ’e göre akış hacminde sıcaklığı yükselen akışkanın sistemde kalma süresinin kanal yüksekliğinin azalmasıyla birlikte azaldığı görülmektedir.



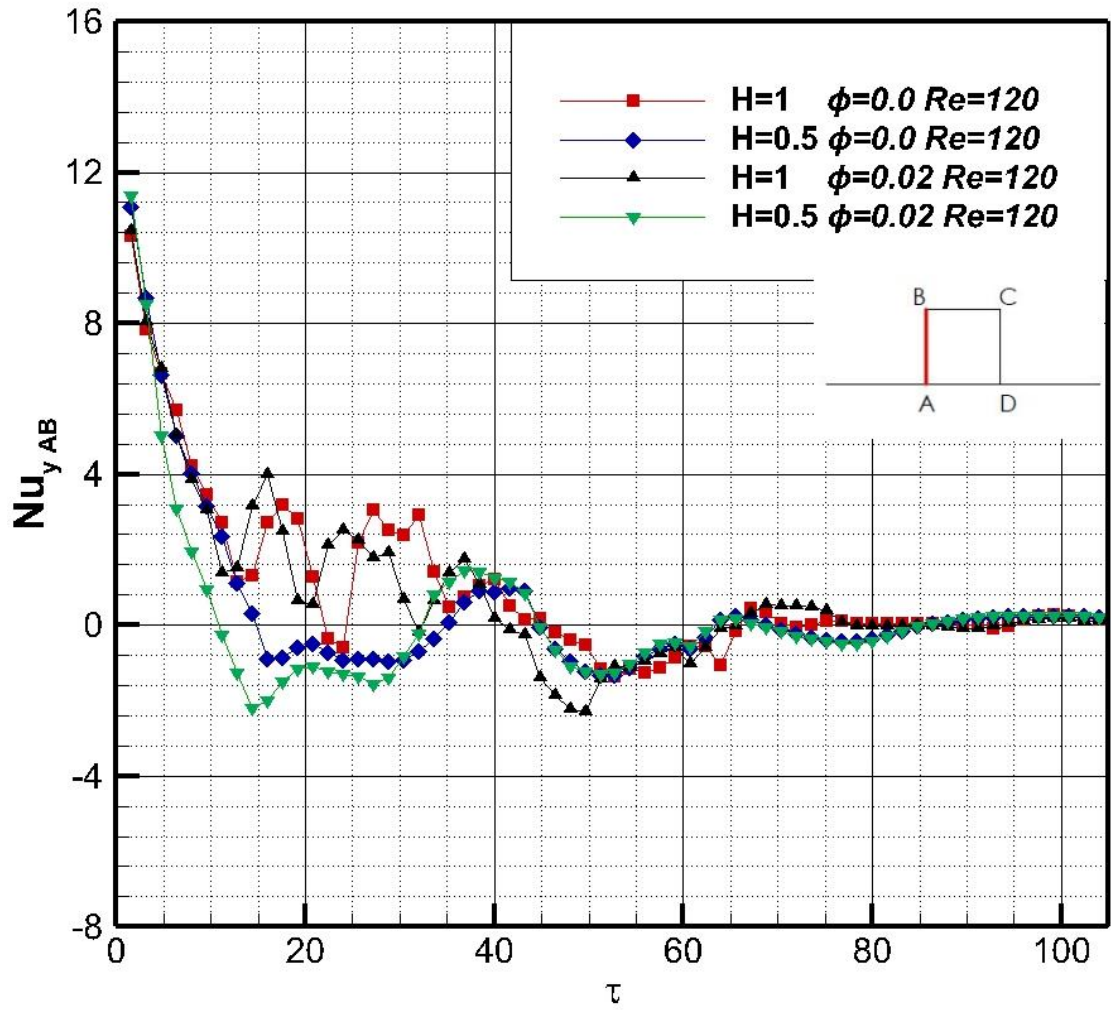
Şekil 3. 50. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre CD duvarı üzerindeki değişimi

AB, BC, CD duvarları üzerinde ortalama Nu_{ort} değerlerin $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimi $Re = 60$ için Şekil 3.51’de gösterilmektedir. Zaman adımı 25 ile 60 aralığında $H = 0.5$ için elde edilen maksimum Nu_{ort} değeri, $H = 1$ ’e göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi kanal yüksekliğinin azalmasıdır. Jet akış profilinin etkisiyle $Re = 60$ sayısında kanal yüksekliği $H=0.5$ için 70. zaman adımından sonra değişmediği görülmektedir.



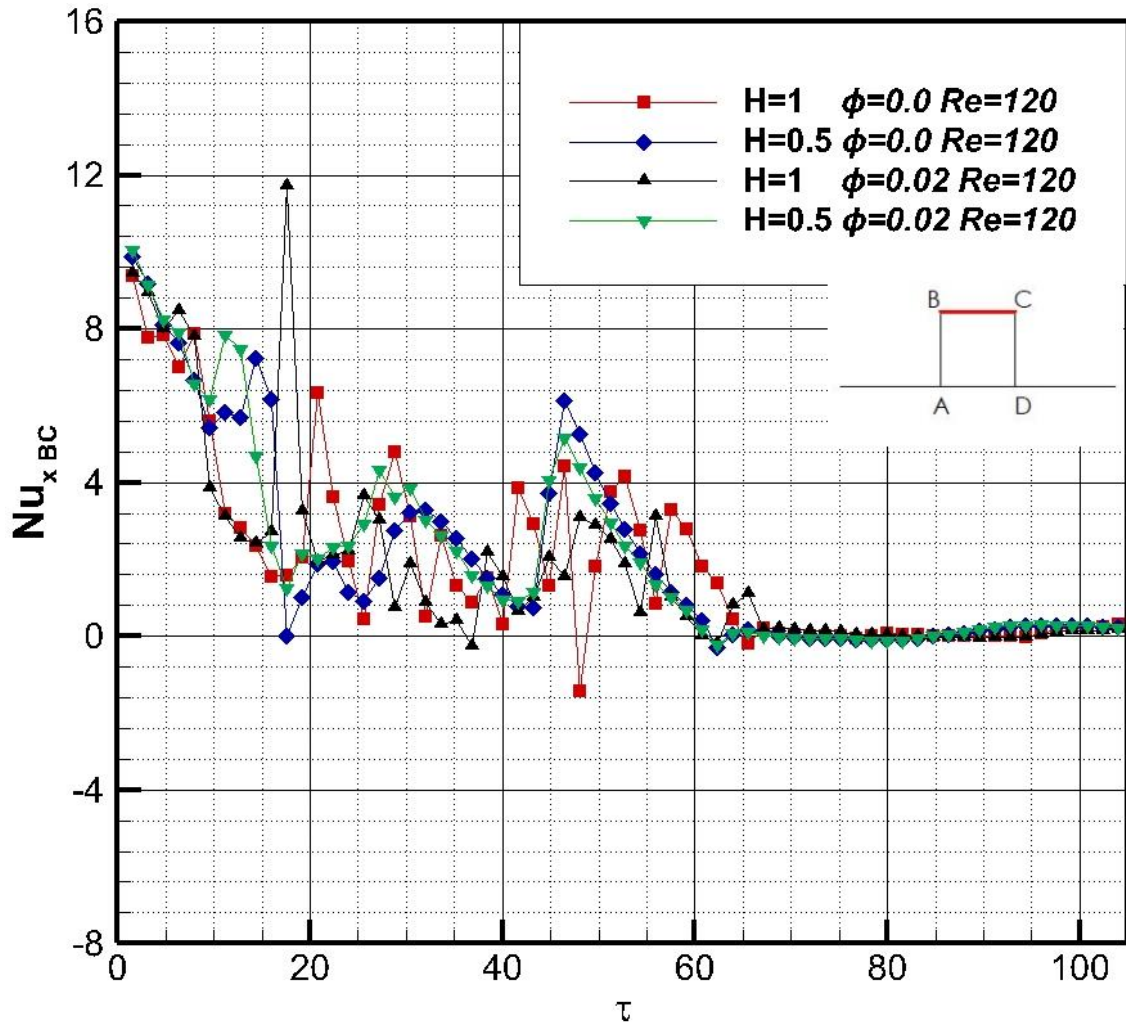
Şekil 3. 51. Ortalama Nusselt Sayısının $Re = 60$ için H ve ϕ parametrelerine göre değişimi

$Re = 120$ için AB duvarı üzerinde yerel Nu_y sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimi Şekil 3.52’de gösterilmektedir. Başlangıçta yerel Nu_y sayıları yakın değerlerde olduğu görülebilmektedir. $H = 0.5$ parametrelerine sahip eğrilerin 10 ile 35 ve 45 ile 65 zaman aralıklarında negatif değere ulaştığını ve bu bölgelerde cismin AD duvarının sıcaklık değerinin, yerel akışkan sıcaklığının altında kalması sebebiyle gerçekleştiği söylenebilmektedir. Kanal yüksekliği $H = 1$ ’e ait eğrilerde dalgalanmalar görülmektedir. Bunun sebebi $Re = 120$ için akış alanında ve cismin AB duvar çevresini etkileyen girdap akımlarının etkinliğinin artmasıdır.



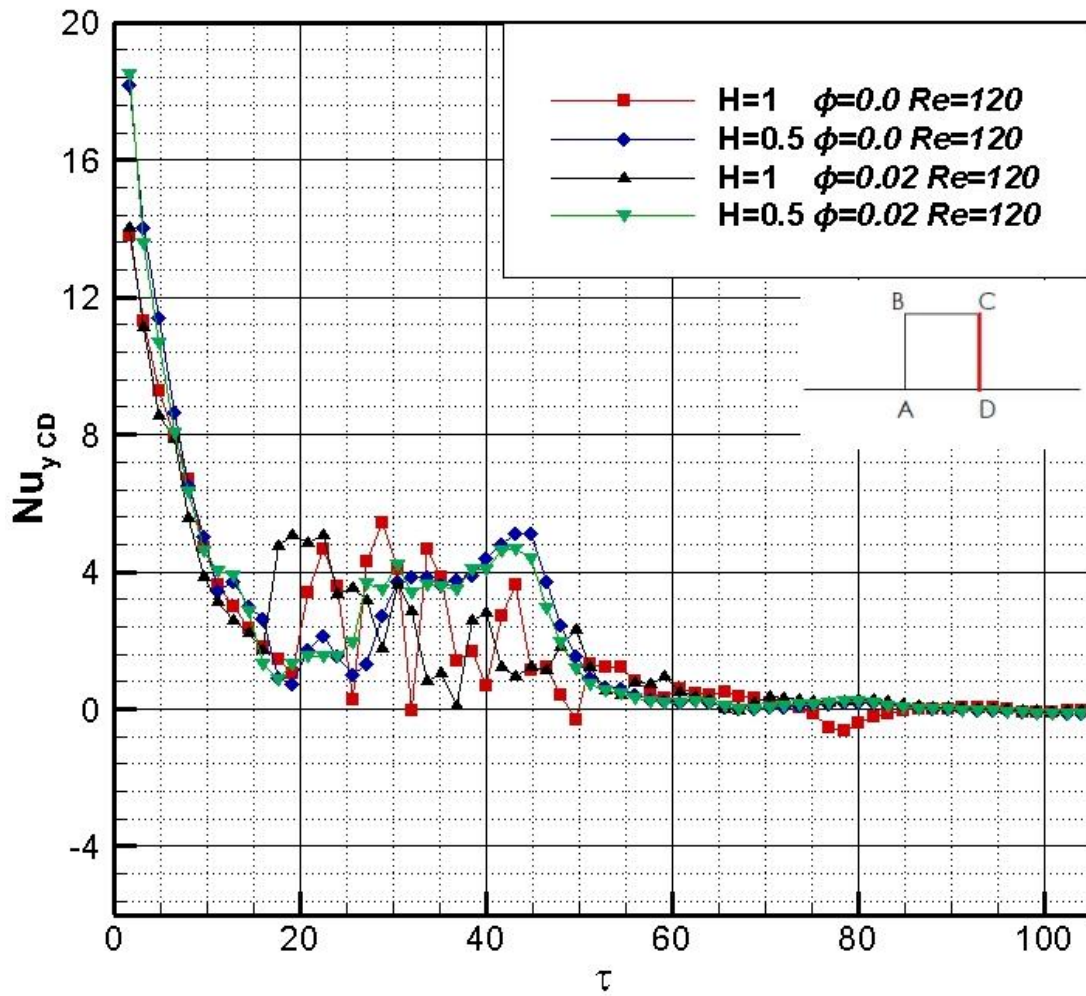
Şekil 3. 52. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre AB duvarı üzerindeki değişimi

Şekil 3.53’de $Re = 120$ için BC duvarında yerel Nu_x sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimini göstermektedir. Yerel Nu_x sayısında ki kısa sürede meydana gelen değerlerde ki değişimin sebebi BC duvarı tarafından sıcaklığı yükselen akışkanın, jetlerden giriş yapan T_c sıcaklığına sahip akışkan ile ani olarak sürekli yer değişmesinden kaynaklanır. Bu durumda eğrilerde dalgalanmalar oluşmaktadır. Ayrıca tüm durumlar için BC duvarındaki Nu sayısı, 65. zaman adımında sıfır değerine yakın olduğu ve analizin sonuna kadar bu değere yakın olarak devam ettiği görülmektedir.



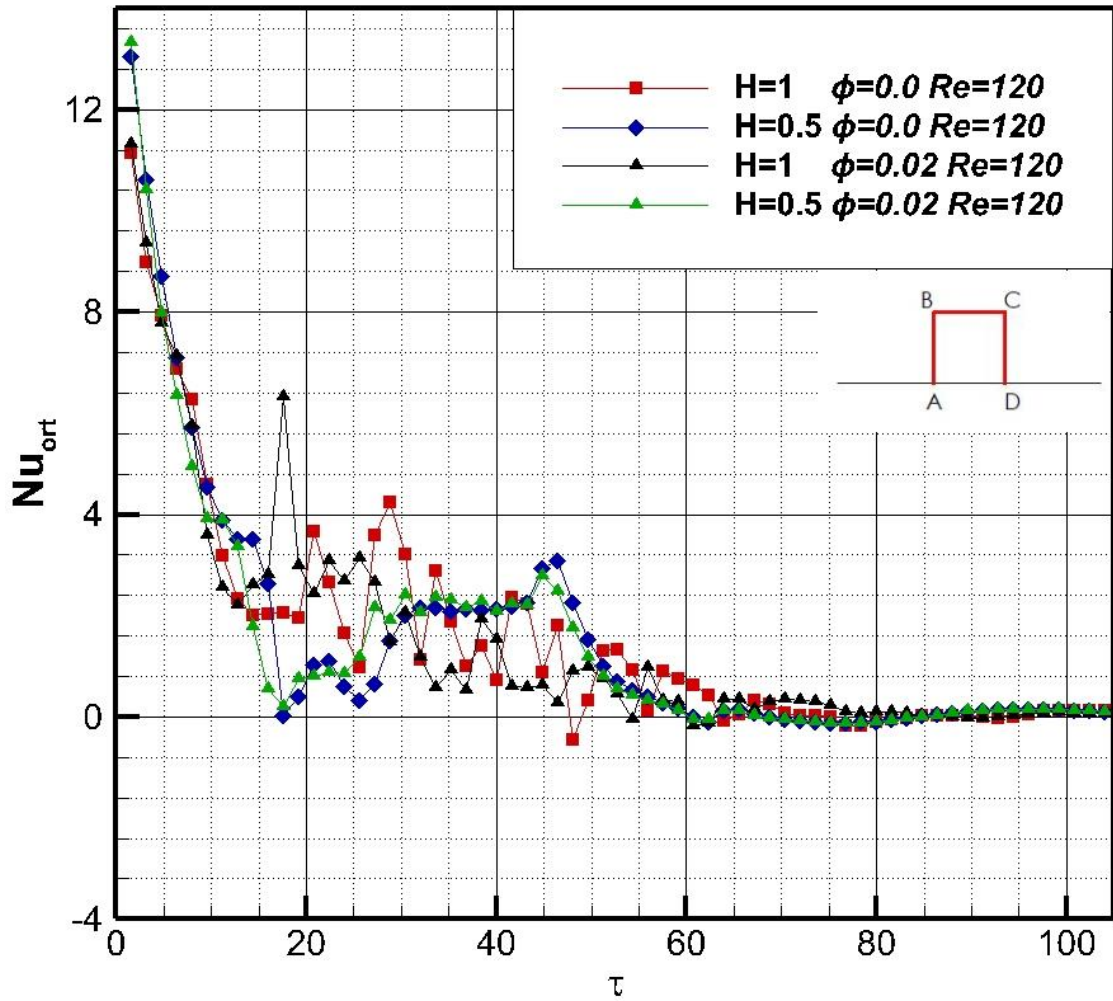
Şekil 3. 53. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre BC duvarı üzerindeki değişimi

$Re = 120$ için CD duvarı üzerinde yerel Nu_y sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimi Şekil 3.54’de görülmektedir. $Re = 120$ sayısında CD duvarı üzerinde elde edilen yerel Nu sonuçlarında, $H = 1$ için dalgalanmaların olduğu söylenebilmektedir. Bu durumun sebebi, küt cismin CD duvarı önünde meydana gelen girdap akımlarından ve CD duvarı önünde yer alan akışkanın jet profillerinden etkilenmesidir. Ayrıca genel olarak küt cismin CD duvar sıcaklığının, akışkan sıcaklığından büyük olduğunu taşıyım ile iletim oranı olan Nu sonuçlarına bakarak yorumlanabilir. Kanal yüksekliklerinden $H = 0.5$ için elde edilen sonuçlar $H = 1$ kanal yüksekliğine sahip sonuçlara göre daha kısa sürede sıfır değerine ulaştığı sonucu görülmektedir.



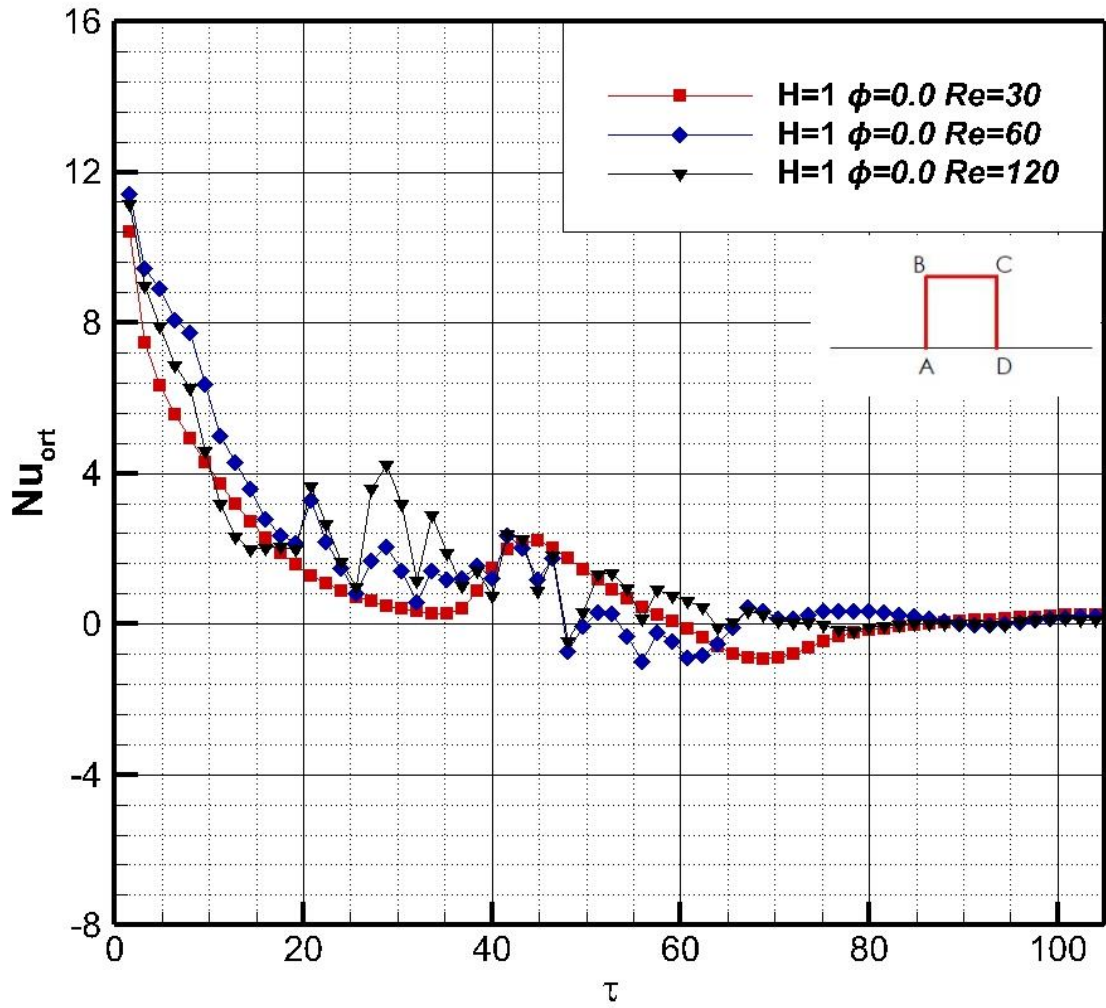
Şekil 3. 54. Yerel Nusselt Sayısının H ve ϕ parametrelerine göre CD duvarı üzerindeki değişimi

Şekil 3.55’de $Re = 120$ için AB, BC, CD duvarları üzerinde ortalama Nu sayısının $H = 1$ ve $H = 0.5$ ile $\phi = 0.0$ ve $\phi = 0.02$ üzerinde değişimi gösterilmektedir. Ortalama Nu sayısının genel olarak pozitif sonuçlarla kalması ile ilgili olarak, ortalama duvar sıcaklıklarının akışkan sıcaklığından fazla olması söylenir. Zaman adımı 20 ile 60 aralığında tüm durumlarda, Nu değerindeki dalgalanmaların sebebi, cismin jet slotları altında hareketine devam ederken girdap akımlarından etkilenen sıcaklık değerlerinin, jet giriş ile sisteme giriş yapan ve küt cisme göre düşük sıcaklığa sahip nanoakışkanla karşılaşmasıdır.



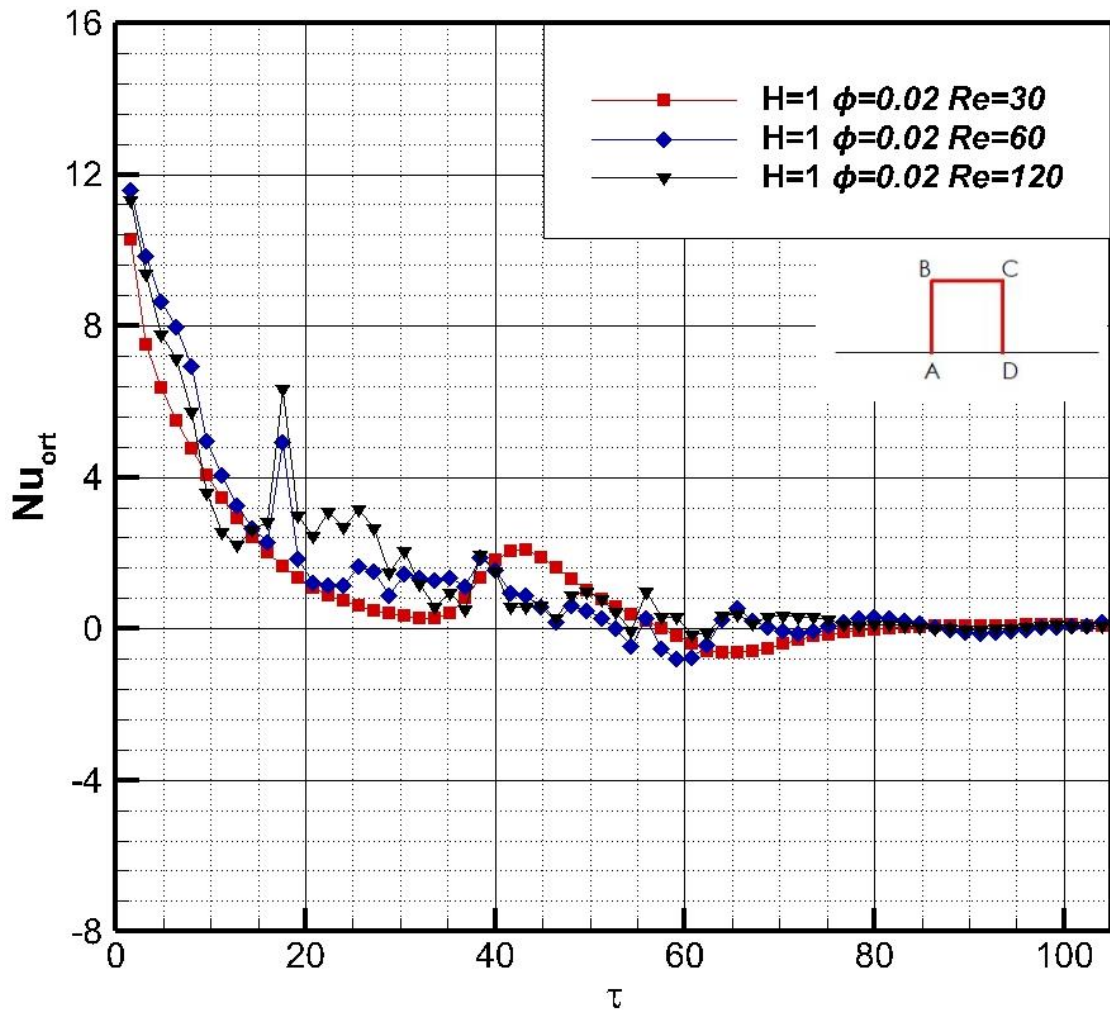
Şekil 3. 55. Ortalama Nusselt Sayısının $Re = 120$ için H ve ϕ parametrelerine göre değişimi

Şekil 3.56 yorumlanacak olursa, küt cismin AB, BC, CD duvarlarında ortalama Nu sayılarının analiz süresince $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ zamana göre değişimi verilmiştir. Bu eğriler hacimsel derişim değerleri için elde edilmiştir. Sonuçlara ait eğrilerde, 30. zaman adımına kadar geçen sürede Re sayılarında akış alanında oluşan girdap akımlarının sebep olduğu çalkantılar, ortalama Nusselt değerlerinde görülebilmektedir. Bu etkenlerin $Re = 30$ için akışkanın daha kararlı rejim ile hareketine devam ettiği, oluşan girdap akımlarının etkisinin çok görülememesi, bu durumun sebebi olarak söylenebilmektedir.



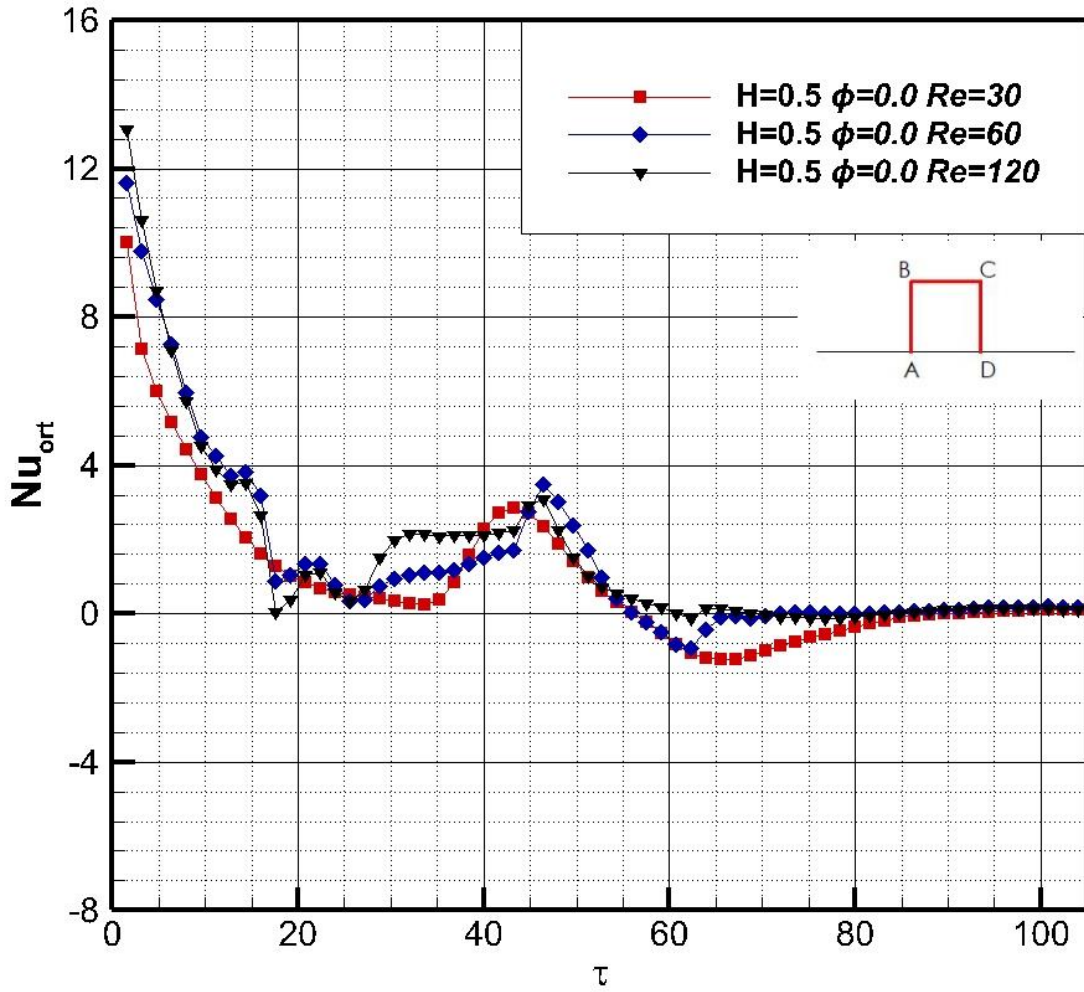
Şekil 3. 56. Ortalama Nusselt Sayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına bağlı değişimi

Şekil 3.57’de ise $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için ortalama Nu sayısının analiz süresince değişimi verilmiştir. Bu eğrilerde ani değer değişikliklerinin, $Re = 60$ ve $Re = 120$ değerlerinde daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu şekil için sonuçlar Şekil 3.56 ile benzerlik gösterdiği ifade edilebilir. Şekiller arasında sonuçların ulaşabildiği maksimum ve minimum noktalar farklılık göstermektedir. Bu durumun sebebi, nanoakışkanın hacimsel derişim değerinin artması ve nanoakışkanın sıcaklıkla iyileşme gösteren termofiziksel özellikleridir. Ayrıca Şekil 3.56’da eğrilerin sıfıra değerlerine ulaşması için geçen süreye göre hacimsel derişim oranı $\phi = 0.02$ için sonuçların sıfır değerine ulaşması için geçen sürenin daha kısa olduğu söylenebilmektedir.



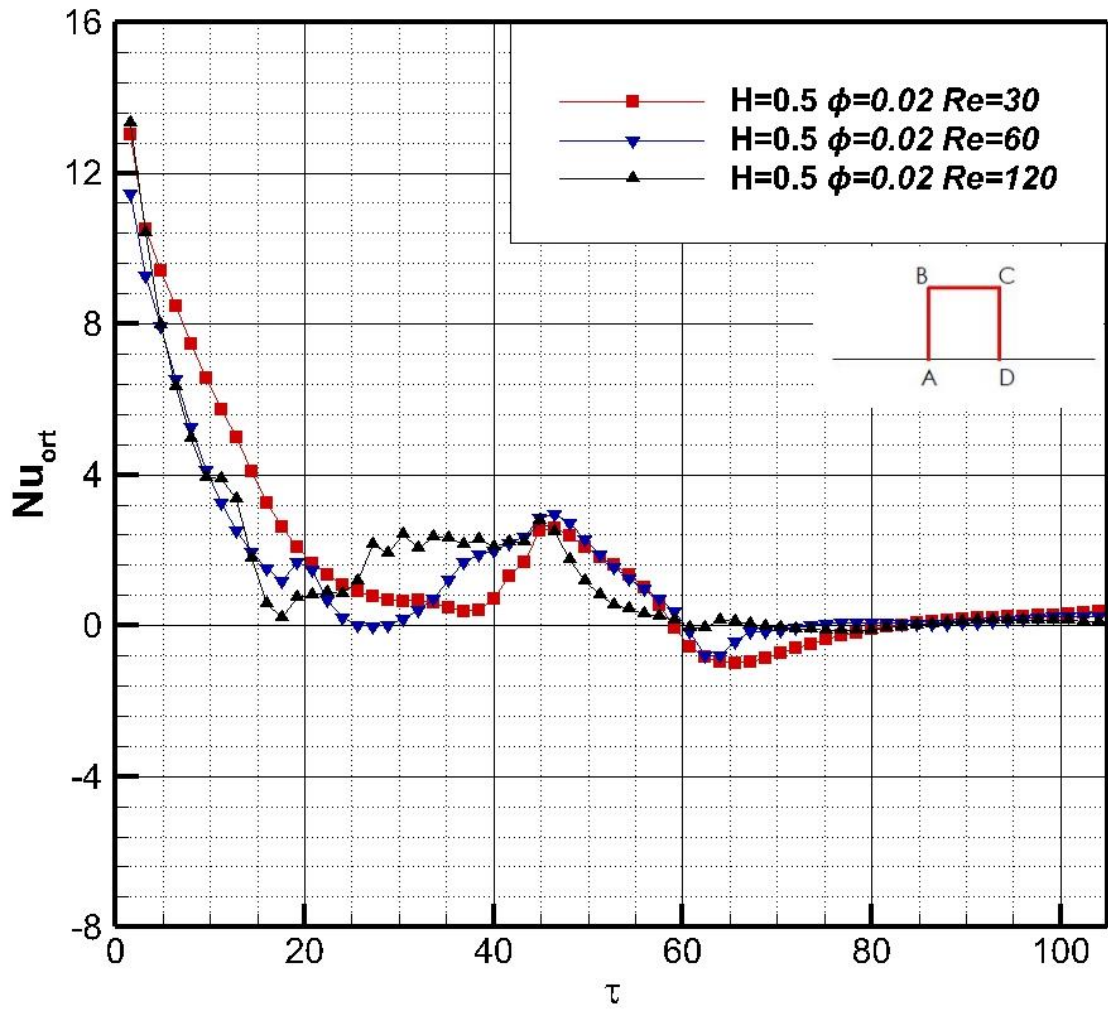
Şekil 3. 57. Ortalama Nusselt Sayısının $H = 1$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına bağlı değişimi

Şekil 3.58’de $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi verilmiştir. Sonuçlarda eğrilerin benzerlik gösterdiği görülmektedir. $Re = 30$ için sonuçlarda, küt cisim ile akışkan arasındaki sıcaklık farkının azalması için geçen süre diğer Re sayılarına göre daha uzun sürmüştür. Bu duruma $Re = 30$ sayısında, jet profillerinin küt cisim üzerindeki sıcaklık değişimine etkisi gözlenir. $Re = 60$ ve $Re = 120$ için akış alanında görülen sıcaklık değişimlerinin arttığı ve $Re = 60$ ve $Re = 120$ için 65. zaman adımımdan sonra sıcaklık farkının jet giriş sıcaklığına yaklaştığı için ortalama Nu değerleri sıfır değerine yakın olmuştur. $Re = 30$ değeri ortalama Nu sayısı değişiminin diğer durumlara kıyasla daha farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 58. Ortalama Nusselt Sayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.0$ için Reynolds Sayısına bağlı değişimi

Şekil 3.59’da $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için ortalama Nu değerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Bu sonuçlarda, $Re = 120$ değerine ait eğri incelendiğinde, $Re = 30$ ve $Re = 60$ sonuçlarına göre Nu_{ort} değerinin sıfıra inmesi $\tau = 60$ zamanında gerçekleştiği görülmektedir. Bu Re sayısında görülen akışkan giriş hızında, sistemde meydana gelen sirkülasyonlar nedeniyle küt cisim ile akışkan arasındaki sıcaklık farkının azalması kısa sürede gerçekleşmiştir. Nu sayısında görülen dalgalanmaların görülmemesi, yükseklik değeri $H = 0.5$ için kanal yüksekliğinin azalması ile akış alanında görülen girdap akımlarının etkisinin azalması sonucu gerçekleşmiştir.



Şekil 3. 59. Ortalama Nusselt Sayısının $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ için Reynolds Sayısına bağlı değişimi

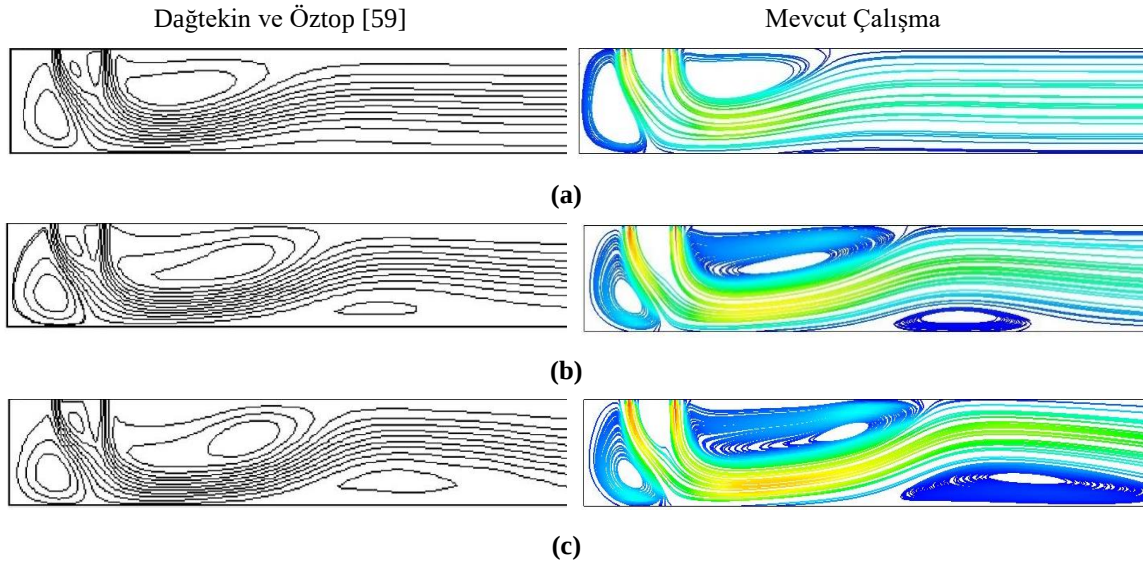
3.6. Sayısal Çalışmanın Literatür ile Karşılaştırılması

Gerçekleştirilen sayısal çalışmanın geçerliliği için mevcut programdan elde edilen sonuçlar, farklı Re değerlerine sahip jet akışları için çözülmüş ve literatürden temin edilmiş sonuçlar ile aşağıda verilmiştir. Mevcut çalışma ile literatürdeki sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın elde edildiği ve mevcut çalışma için hazırlanan ve yürütülen çalışmaların doğru sonuç verdiği kanaatine varılmıştır.

Şekil 3.60'da Dağtekin ve Öztıp [46] tarafından yapılan çalışmada bir kanal içerisinde akışkan olarak kullanılan hava ile farklı Re sayılarında ve farklı geometrik oranlarda, akışkan hacminde meydana gelen akış rejimleri ile mevcut çalışma için karşılaştırılmıştır. Tablo 3.1'de ise Dağtekin ve Öztıp tarafından hesaplanan Nu değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 3.1. Nusselt sayısının literatür ile karşılaştırılması

X	Y	Dağtekin ve Öztıp [46]	Mevcut Çalışma	Hata Oranı (%)
50	20	8.21	8.10	0.013
100	20	8.50	8.28	0.026
100	30	8.44	8.05	0.048
140	20	8.57	8.32	0.030
140	40	8.58	8.19	0.047



Şekil 3. 60. Akım çizgilerinin literatür ile karşılaştırılması. (a) Re = 250, (b) Re = 500 ve (c) Re = 750

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kare kesitli bir küt cismin hareketinden kaynaklı akışkan ile cisim arasında meydana gelen ısı transferi oranları farklı Re sayılarında ve farklı kanal yüksekliklerinde, farklı akışkan türlerine göre sayısal olarak incelenmiştir. Jet girişlerinden üç farklı akışkan hızına göre Re sayıları belirlenmiş ve analizler çalıştırılmıştır. Akışkan türü ve kanal yüksekliği olarak iki adet farklı parametre üzerinde yukarıdaki bölümlerde izah edildiği gibi analizler koşturulmuştur. Sayısal çalışmada, küt cismin ve FH duvarının ilerleme hızı sabit tutulmuştur. Diğer bir değişken olarak tanımlanabilecek, jetlerden giriş yapan soğutucu akışkanın sıcaklığı, başlangıç zamanında, oda sıcaklığında kabul edilmiş ve tüm analizlerde sabit tutulmuştur. Bu değişkenlere bağlı olarak tüm göz önüne alındığında on iki temel parametre için çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca yapılan tüm analizlerde, laminar akış rejimi olup, yerçekimi etkisi olmadan analizler çalıştırılmıştır. Her bir parametre için sonuçlar alınarak karşılaştırmalar yapılmış ve ilgili Nu sayıları yerel ve ortalama olarak yine çeşitli parametreler üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçların yorumlanması ise ilk olarak hız vektör gösterimleri, akım çizgeleri ve eş sıcaklık eğrileri üzerinden değerlendirilmiştir. Yorumlamalara ortalama hız, yüzey ısı transfer katsayısı, sıcaklık ve sürtünme katsayısının zamana göre değişimlerini veren ilgili şekiller açıklanarak devam edilmiş ve son olarak Nu sayılarının değişimleri yerel ve ortalama sonuçlar olarak cisim duvarları üzerinden yine zamana bağlı olarak çıkartılmış ve ilgili şekillerde yorumlanmıştır.

Analizlerde kullanılan küt cismin hareketinin etkilerinden kaynaklı, nanoakışkanların termofiziksel tepkilerini incelemek için iki farklı kanal yüksekliği kullanılmıştır. Bunlardan $H=1$ kanal yüksekliği için iki farklı hacimsel derişim oranına sahip nanoakışkan için sonuçlar alınmış ve aynı akışkanlar $H = 0.5$ kanal yüksekliği içinde sonuçları irdelenmiştir. Bu sonuçlarda kanal yüksekliğinin azalması ile ısı transfer oranının arttığı görülmüştür.

Burada küt cismin sıcaklık değerindeki değişimleri irdelemek için sonuçlar karşılaştırılırsa, tüm Re sayılarından $Re = 120$ değeri için maksimum sıcaklık farkına ulaşıldığını göstermektedir. Yine bu Re değeri için cismin hareketi için gerekli mesafenin yeterli olduğu öngörülmektedir. Analiz sonucunda küt cismin sıcaklığı, jetlerden giren akışkanın sıcaklığına ulaştığı ve cisme aldırılan mesafenin yeterli olduğunu göstermektedir.

Sayısal çalışmalarda kullanılan iki farklı akışkan su ve $\phi = 0.02$ hacimsel derişim oranına sahip Al_2O_3 olmak üzere elde edilen sonuçlarda, $\phi = 0.02$ hacimsel derişim oranına sahip Al_2O_3 nanoakışkanın sıcaklık farkı üzerinde daha etkin olduğu ve olumlu sonuçlar verdiği ilgili sıcaklık-zaman şekilleri ile Nu sonuçları üzerinden görülmektedir.

Yukarıda da açıklanan sonuçlarda, sıcaklık zaman eğrileri ve ortalama Nu sonuçlarına göre de en iyi sıcaklık farkına sahip durum için parametre; $H = 0.5$ ve $\phi = 0.02$ olduğu görülmüştür.

ÖNERİLER

Bu tezde dinamik cisim hareketlerinin jet akışlarıyla beraber birleşik ısı transferi üzerinde etkileri farklı parametrelere bağlı olarak sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmayı daha ileriye taşıyabilmek veya genişletebilmek isteyen araştırmacılara, aşağıdaki çalışmaları yapmaları tavsiye edilmektedir.

- Bu çalışmada elde edilecek sonuç boyutlarından dolayı küt cisim sıcaklığı ile akışkan giriş sıcaklığının farkı 62 K olarak tutulmuştur. Ancak elde edilen sonuçlar değerlendirilirse, sıcaklık farkı değerlerine göre sıcaklık ile Nu sonuçları değişeceğinden farklı sıcaklık farkı değerlerinde daha iyi sonuçlar almak mümkündür.
- Aynı analizler farklı nanoakışkan çeşitleri ile farklı hacimsel derişim oranlarında değerlendirmeler yapılabilir.
- Cisim ile duvarın hareket hızları analizlerde önemli bir parametre olup bu hızların farklı değerlerinde alınacak sonuçlar, sonuçları önemli ölçüde etkileyebilir.
- Cismin şekli üzerinde kare geometri yerine farklı şekillere sahip geometriler ile farklı ısı iletkenlik değerlerinde sonuçlar alınabilir.
- Jet girişlerinin sayısı, yeri ve cisim ile olan açısı üzerinde değişiklikler yapılarak farklı sonuçlar alınabilir.
- Kanal yükseklikleri için farklı yükseklik değeri için yine sonuçlar alınarak araştırmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

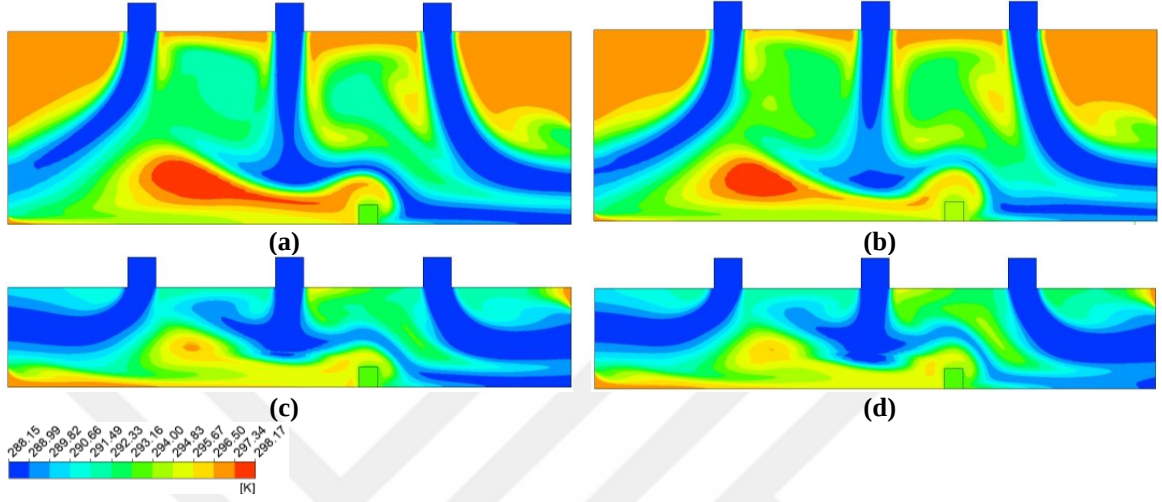
- [1] Fu, W.S., Yang, S.J. (2001). Heat transfer induced by a body moving in opposition to a flowing fluid, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (44), ss. 89-98.
- [2] Fu, W.S., Tong, B.H. (2002). Numerical investigation of heat transfer from a heated oscillating cylinder in a cross flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt(45), ss. 3033-3043.
- [3] Derouich, Y., Nasri, Z., Abide, S., Laatar, A.H. (2018). Inclination effects on heat transfer by an oscillating square cylinder in channel flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (125), ss. 1105–1120.
- [4] Lo, D.C., Lee, C.P., Lin, I.F. (2018). An efficient immersed boundary method for fluid flow simulations with moving boundaries, *Applied Mathematics and Computation*, cilt (328), ss. 312-337.
- [5] Gradeck, M., Kouachi, A., Borean, J.L., Gardin, P., Lebouché, M. (2011). Heat transfer from a hot moving cylinder impinged by a planar subcooled water jet, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (54), ss. 5527-5539.
- [6] Dhinakaran, S. (2011). Heat transport from a bluff body near a moving wall at Re=100, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (54), ss. 5444-5458.
- [7] Lomholt, S., Maxey, M.R. (2003). Force-coupling method for particulate two-phase flow: Stokes flow, *Journal of Computational Physics*, cilt (184), ss. 381-405.
- [8] Gangawane, K.M., Gupta, S. (2018). Mixed convection characteristics in rectangular enclosure containing heated elliptical block: Effect of direction of moving Wall, *International Journal of Thermal Sciences*, cilt (130), ss. 100-115.
- [9] Lallemand, P., Luo, L.S. (2003). Lattice Boltzmann method for moving boundaries, *Journal of Computational Physics*, cilt (184), ss. 406-421.
- [10] Kok, B. (2016). *Farklı Sıcaklıklardaki Jetlerin Akış ve Isıl Karakteristiklerinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] Xia, J., Luo, K., Fan, J. (2015). Simulating heat transfer from moving rigid bodies using high-order ghost-cell based immersed-boundary method, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (89), ss. 856-865.
- [12] Gylys, J., Skvircinskienė, R., Paukstaitis, L., Gylys, M., Adomavicius, A. (2015). Water temperature influence on the spherical body's falling velocity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (89) ss. 913-919.
- [13] Alnak, D.E., Varol Y., Oztop H.F., Salem, K.A.S. (2012). Simulation of Jet Drying of a Moist Cylinder at Low Reynolds Number, *Drying Technology*, cilt (30) ss. 631-64.
- [14] Lam, P.A.K., Prakash, K.A. (2017). A numerical investigation and design optimization of impingement cooling system with an array of air jets, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (108) ss. 880-900.
- [15] Parmananda, M., Khan, S., Dalal, A., Natarajan, G. (2017). Critical assessment of numerical algorithms for convective-radiative heat transfer in enclosures with different geometries, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (108) ss. 627-644.

- [16] Chatterjee, D., Mondal, B. (2011). Effect of thermal buoyancy on vortex shedding behind a square cylinder in cross flow at low Reynolds numbers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (54) ss. 5262-5274.
- [17] Gür, M. (2018). *Farklı Sıcaklıklardaki Paralel Jet Akışlarında Nanoakışkan Ve Dönel Akışın Akış Ve Isıl Karışım Davranışlarının Sayısal Ve Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] Roy, M., Biswal, P., Roy, S., Basak, T. (2017). Heat flow visualization during mixed convection within entrapped porous triangular cavities with moving horizontal walls via heatline analysis, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (108), ss. 468-489.
- [19] Gao, X., Kong, L., Li, R., Han, J. (2017). Heat transfer of single drop impact on a film flow cooling a hot surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (108) ss. 1068-1077.
- [20] Aparna, K., Seetharamu, K.N. (2016). Investigations on the effect of non-uniform temperature on fluid flow and heat transfer in a trapezoidal cavity filled with porous media, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (108), ss. 63-78.
- [21] Chen, K., Xing, J., Wang, S., Song, M. (2017). Heat source layout optimization in two-dimensional heat conduction using simulated annealing method, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (108), ss. 210-219.
- [22] Songa, K., Tagawa, T. (2018). The optimal arrangement of vortex generators for best heat transfer enhancement in flat-tube-fin heat exchanger, *International Journal of Thermal Sciences*, cilt (132), ss. 355-367.
- [23] Sheikholeslami, M., Shehzad, S.A., Li, Z. (2018). Water based nanofluid free convection heat transfer in a three dimensional porous cavity with hot sphere obstacle in existence of Lorenz forces, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (125), ss. 375-386.
- [24] Ligrani, P.M., Won, S.Y. (2004). Comparisons of flow structure and local Nusselt numbers in channels with parallel- and crossed-rib turbulators, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (47), ss. 1573-1586.
- [25] Saeid, N.H., Busahmin, B.S., Khalid, A.A. (2019). Mixed convection jet impingement cooling of a moving plate, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, cilt (13), ss. 5528-5541.
- [26] Issac, J., Singh, D., Kango, S. (2019). Experimental and numerical investigation of heat transfer characteristics of jet impingement on a flat plate, *Heat and Mass Transfer*, cilt (56), ss. 531-546.
- [27] Mehryan, S.A.M., Izadpanahi, E., Ghalambaz, M., Chamkha, A.J. (2019). Mixed convection flow caused by an oscillating cylinder in a square cavity filled with Cu–Al₂O₃/water hybrid nanofluid, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, cilt (137), ss. 965-982.
- [28] Muzychka, Y.S., Yovanovich, M.M. (2004). Laminar Forced Convection Heat Transfer in the Combined Entry Region of Non-Circular Ducts, *Journal of Heat Transfer*, cilt (126), ss. 54-61.
- [29] Mansour, R.B., Galanis, N., Nguyen, C.T. (2007). Effect of uncertainties in physical properties on forced convection heat transfer with nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, cilt (27) ss. 240-249.
- [30] Abdullah, K., Hisato, O., Ken-ichi, F., Takeomi, I. (2012). Heat Transfer and Aerodynamics Studies of Multiple Cooling Holes, *Propulsion and Power Systems*, cilt (4), ss. 19-26.
- [31] Gupta, M., Singh, V., Katyal, P. (2018). Synthesis and Structural Characterization of Al₂O₃ nanofluids, *Materials Today: Proceedings*, cilt (5), ss. 27989-27997.

- [32] Mukherjee, S., Mishra, P.C., Chaudhuri, P. (2020). Thermo-economic performance analysis of Al_2O_3 -water nanofluids-An experimental investigation, *Journal of Molecular Liquids*, cilt (299), ss. 1-51.
- [33] Chaudhari, S.S., Chakule, R.R., Talmale, P.S. (2019). Experimental Study of Heat Transfer Characteristics of Al_2O_3 and CuO Nanofluids for Machining Application, *Materials Today: Proceedings*, cilt (18), ss. 788-797.
- [34] Mashayekhi, R., Arasteh, H., Toghraie, D., Motaharpour, S.H., Keshmiri, A., Afrand, M. (2020). Heat transfer enhancement of Water- Al_2O_3 nanofluid in an oval channel equipped with two rows of twisted conical strip inserts in various directions: A two-phase approach, *Computers and Mathematics with Applications*, cilt (79) ss. 2203-2215.
- [35] Nithiyanantham, U., Fernández, L.G., Grosu, Y., Zaki, A., Igartua, J.M., Faik, A. (2020). Shape effect of Al_2O_3 nanoparticles on the thermophysical properties and viscosity of molten salt nanofluids for TES application at CSP plants, *Applied Thermal Engineering*, cilt (169), ss. 1-36.
- [36] Bharadwaj, G., Sharma, A., Rawat, M., Singhal, P., 2019, Analysis of energy storage system by using Aluminum oxide nanofluid (Al_2O_3) with paraffin wax, *Materials Today: Proceedings*, cilt (26), ss. 501-505.
- [37] Aparna, Z., Michael, M., Pabi, S.K., Ghosh, S. (2019). Thermal conductivity of aqueous $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ag}$ hybrid nanofluid at different temperatures and volume concentrations: An experimental investigation and development of new correlation function, *Powder Technology*, cilt (343), ss. 714-722.
- [38] Amalraj, S., Michael, P.A. (2019). Synthesis and characterization of Al_2O_3 and CuO nanoparticles into nanofluids for solar panel applications, *Results in Physics*, cilt (15), ss. 1-19.
- [39] Giwa, S.O., Sharifpur, M., Meyer, J.P. (2020). Experimental study of thermo-convection performance of hybrid nanofluids of Al_2O_3 -MWCNT/water in a differentially heated square cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt (148), ss. 119072-119083.
- [40] Li, L., Zhai, Y., Jin, Y., Wang, J., Wang, H., Ma, M. (2020). Stability, thermal performance and artificial neural network modeling of viscosity and thermal conductivity of Al_2O_3 -ethylene glycol nanofluids, *Powder Technology*, cilt (363), ss. 360-368.
- [41] Ansys Teori Gudie 18.2, Heat transfer equations, Chapter 5.
- [42] <https://www.depusa.com/solutions/services/cae-services/conjugate-heat-transfer>, Erişim:5-3-2020
- [43] Teymur, B. (2015). *İzotermal Olmayan Kanal Akışında Nanoakışkanların Sayısal Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44] Duangthongsuk, W., Wongwises, S. (2009). Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO_2 -water nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, cilt (33), ss. 706-714.
- [45] Murshed, S.M.S., Leong, K.C., Yang, C. (2008). Thermophysical and elektrokinetic properties of nanofluids-A critical review, *Applied Thermal Engineering*, cilt (28), ss. 2109-2125.
- [46] Dagtekin, I., Oztop, H.F. (2008). Heat transfer due to double laminar slot jets impingement onto an isothermal wall within one side closed long duct, *Heat and Mass Transfer*, cilt (35), ss. 65-75.

EKLER

EK- 1: AKIŞKAN SICAKLIĞININ KÜT CİSMİN SICAKLIĞINDAN YÜKSEK OLDUĞU ZAMAN ADIMI



Şekil E1. 1. $Re = 30$ ve $\tau = 65$ için eş sıcaklık eğrileri. (a) $H = 1$ için $\phi = 0.0$, (b) $H = 1$ için $\phi = 0.02$, (c) $H = 0.5$ için $\phi = 0.0$ ve (d) $H = 0.5$ için $\phi = 0.02$

ÖZGEÇMİŞ

Hakan COŞANAY

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : Elazığ
Doğum Yılı : 1992
Uyruğu : T.C.
Adres : Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elazığ
E-posta : hakan.cosanay@gmail.com
Yabancı Diller : İngilizce (Düzey: Orta)

ARAŞTIRMACI BİLGİLERİ

Öğrenci Orcid ID : 0000-0002-5299-2078
Danışman Orcid ID : 0000-0002-2161-0639

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2014
Lise : Mehmet Akif Ersoy Lisesi, Elazığ, 2010

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

- ✓ CAD/CAM programları (AUTOCAD, SOLİDWORKS, SOLİDCAM, CATİA)
- ✓ Simülasyon programları (ANSYS, COMSOL)
- ✓ Programlama Dilleri (C/C++)

İŞ DENEYİMİ

2019- :TÜBİTAK 1001 Proje Bursiyeri
2017 – 2019 :AYK Teknik Muayene Hizmetleri A.Ş.
2015 – 2017 :TSE Avrupa Yakası Gözetim ve Muayene Müdürlüğü
2013 – 2014 : Mimsan Endüstri Kazanları Sanayi ve Ticaret A.Ş.

AKADEMİK FAALİYETLER

Projeler:

1. TÜBİTAK 1001, Konveyörlü Bir Kurutucuda Farklı Geometrik Şekillere Sahip Gözenekli Yapıların Kurutma Kinetiğinin Üç Boyutlu Olarak Sayısal Analizi, Bursiyer, 2019.
2. Fırat Üniversitesi BAP (FÜBAP) FF.20.01 numaralı Yüksek Lisans tezi projesi, Araştırmacı, 2020.