ÇARPAN JETLERDE ÜÇGEN JET YÖNLERİNİN FARKLI HEDEF MALZEMELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN NÜMERİK İNCELEMESİ

Mücahit Türker UYSAL

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇARPAN JETLERDE ÜÇGEN JET YÖNLERİNİN FARKLI HEDEF MALZEMELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN NÜMERİK İNCELEMESİ

Mücahit Türker UYSAL
501910119

Prof. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇARPAN JETLERDE ÜÇGEN JET YÖNLERİNİN FARKLI HEDEF MALZEMELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN NÜMERİK İNCELEMESİ

Mücahit Türker UYSAL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU

Bu çalışmada, çarpan jetlerin üçgen jet deliklerinin farklı açılarda ve farklı hedef plaka malzemelerindeki ısı geçişi performansına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Bu sayısal analizler Ansys Fluent versiyon 19.2 kullanılarak yapılmıştır ve analizlerde kullanılan türbülans modeli SST k-ω türbülans modelidir.

Bu tezde ilk olarak çarpan jetlerle ilgili genel bilgiler verilmiştir. Daha sonrasında literatürde var olan çalımalar ele alınarak yapılan çalışmanın literatüre katkısı incelenmiştir

Çalışmanın üçüncü bölümünde sayısal analizlerde kullanılan matematiksel hesaplamalar, analizlerde kullanılan türbülans model, ağ bağımsızlığı, analizlerin doğrulanması ve çözüm adımları verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde analiz bulguları, farklı Re sayılarına göre, farklı jet plaka tiplerine göre ve farklı hedef plaka malzemelerine göre belirtilmiştir.

Son bölümde bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar incelenmiştir. Üçgen jet açılarının hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayısı üzerinde bir değişime neden olmadığı fakat yerel Nu sayıları üzerinde hatırı sayılır miktarda bir değişime neden olduğu görülmüştür ve bakır ve alüminyum hedef plaka malzemelerinde en yüksek Nu sayıları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: HAD, Çarpan Jet, Taşınımla Isı Geçişi, Üçgen Yönü

2022, x + 67 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TRIANGULAR JET ORIENTATIONS IN IMPINGEING JETS ON DIFFERENT TARGET MATERIALS

Mücahit Türker UYSAL

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU

In this study, the effects of impinging jet's triangular jet holes orientations on different target plate material's heat transfer performance are numerically investigated. These numerical analyses were performed using Ansys Fluent version 19.2 and the turbulence model used in the analyses is the SST k-ω turbulence model.

In this thesis, firstly, general information about the impinging jets is given. Afterwards, the studies in the literature are discussed and the contribution of this study to the literature is examined.

In the third part of the study, mathematical calculations used in numerical analysis, turbulence model used in analysis, mesh independence, verification of analysis and solution steps are given.

In the fourth part of the thesis, the analysis findings are stated according to different Re numbers, different jet plate types and different target plate materials.

In the last section, the conclusions drawn from this study are examined. It was observed that the triangular jet angles did not cause a change on the average Nu number on the target plate, but caused a considerable change on the local Nu numbers, and the highest Nu numbers were obtained in the copper and aluminium target plate materials.

Key words: CFD, Impinging jet, Convective heat transfer, Triangular jet

2022, x + 67 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında tecrübelerini ve bilgilerini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Akın Burak ETEMOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışmasının sayısal hesaplamalarında bilgi birikimini benimle paylaşan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ümit TEPE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Ünal UYSAL'a, annem Nevin UYSAL'a, abim Alp Harun UYSAL'a ve ablam Betül UYSAL'a çok teşekkür ederim.

Manevi desteği ve sabrıyla her zaman yanımda bulunan sevgili eşim Sümeyye UYSAL'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Mücahit Türker UYSAL
26/07/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ x
1. GİRİŞ 1
2. KURUMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 2
2.1. Çarpan Jet 2
2.2. Kaynak Araştırması 5
3. MATERYAL VE YÖNTEM 13
3.1. Fiziksel Model 13
3.2. Sayısal Analiz 15
3.3. *SST k-w* Türbülans Modeli 25
3.4. Çözüm Prosedürü 26
3.4.1. Sınır şartları 26
3.4.2. Ağ yapısı 27
3.4.3. Doğrulama çalışması 28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 29
4.1. Üçgen Jet Açılarının Ortalama Nu Sayısına Etkisi 29
4.1.1. Pleksiglas hedef plaka 29
4.1.1. Bakır hedef plaka 30
4.1.1. Alüminyum hedef plaka 30
4.2. Hedef Plaka Malzemesinin Ortalama Nu Sayısına Etkisi 31
4.2.1. A0 jet plaka tipi 31
4.2.2. A90 jet plaka tipi 32
4.2.3. A180 jet plaka tipi 33
4.3. Üçgen Jet Açılarının Yerel Nu Sayılarına Etkisi 33
4.3.1. Re=16250 34
4.3.2. Re=21700 36
4.3.3. Re=27100 38
4.3.4. Re=32500 41
4.4. Hedef Plaka Malzemesinin Yerel Nu Sayılarına Etkisi 43
4.4.1. Re=16250 43
4.4.2. Re=21700 45
4.4.3. Re=27100 47
4.4.4. Re=32500 49
4.5. Hedef Plaka Üzerindeki Nu Sayılarının Re Sayısına Göre Değişimleri 51
4.5.1. A0 jet plakası 51
4.5.2. A90 jet plakası 53
4.5.3. A180 jet plakası 55
4.6. Yerel Nu Sayısı Dağılımı 57
4.7. Hız Profili Dağılımı 57

5. SONUÇLAR 59
KAYNAKLAR 61
EKLER 65
EK 1 66
ÖZGEÇMİŞ 67

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
B	Hedef plaka genişliği
D_h	Hidrolik çap
H	Hedef plaka ile jet plaka arası uzunluk
h	Isı taşınım katsayısı
k	Isı iletim katsayısı
Nu	Nusselt sayısı
Re	Reynolds sayısı
S	Jetler arasındaki mesafe
X	Hedef plaka uzunluğu

Kısaltmalar	**Açıklama**
A0	Jet açısı 0^o döndürülmüş
A90	Jet açısı 90^o döndürülmüş
A180	Jet açısı 180^o döndürülmüş
Al	Alüminyum
ASM	Algebraik Stress Models
Cu	Bakır
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LES	Large Eddy Simulation
Pl	Pleksiglas
Q1	Re=16250
Q2	Re=21700
Q3	Re=27100
Q4	Re=32500
RANS	Reynolds-Average Navier-Stokes
RSM	Reynolds Stress Model
SST	Shear Stress Transport
TLC	Kararsız Hal Sıvı Kristal

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1	Çarpan jet (Al-aqal 2003'ten değiştirilerek alınmıştır) …….....	2
Şekil 2.2	**A)** Batık jet; **B)** Serbest jet (Al-aqal 2003'ten değiştirilerek alınmıştır) ……..….	3
Şekil 2.3	**A)** Düzgün sıralı, **B)** Tek sıralı, **C)** Çoklu sıralı ……..……	3
Şekil 2.4	Çarpan jetlerde karakteristik bölgeler (Al-aqal 2003'ten değiştirilerek alınmıştır)…….……	4
Şekil 3.1	Fiziksel model ve kesit ölçüleri …….….....	13
Şekil 3.2	Jet plakalar **A)** Açısı değiştirilmemiş (A0) **B)** 90 derece döndürülmüş (A90) **C)** 180 derece döndürülmüş (A180) ……..…..	15
Şekil 3.3	Sayısal çözümlemede kullanılan geometri……..…	26
Şekil 3.4	Sayısal çözümlemede kullanılan örnek bir geometri kesitinin ağ yapısı…….……	27
Şekil 3.5	Ağdan bağımsızlık eğrisi…….……....	28
Şekil 3.6	Doğrulama ve deneysel çalışmadaki hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayısının Re sayısına bağlı değişimleri……..….	28
Şekil 4.1	Üçgen jet açılarının, pleksiglas hedef plaka üzerindeki ortamla Nu sayısına etkisi ……....	29
Şekil 4.2	Üçgen jet açılarının, bakır hedef plaka üzerindeki ortamla Nu sayısına etkisi ……..……...…	30
Şekil 4.3	Üçgen jet açılarının, alüminyum hedef plaka üzerindeki ortamla Nu sayısına etkisi ……....	31
Şekil 4.4	A0 jet plaka tipinde, hedef plaka malzemesindeki değişikliğin ortalama Nu sayısına etkisi…….	32
Şekil 4.5	A90 jet plaka tipinde, hedef plaka malzemesindeki değişikliğin ortalama Nu sayısına etkisi…….	32
Şekil 4.6	A180 jet plaka tipinde, hedef plaka malzemesindeki değişikliğin ortalama Nu sayısına etkisi…….	33
Şekil 4.7	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının pleksiglas hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=16250)……	34
Şekil 4.8	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının bakır hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=16250)…….	35
Şekil 4.9	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının alüminyum hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=16250)……	36
Şekil 4.10	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının pleksiglas hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=21700)……	36
Şekil 4.11	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının bakır hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=21700)…….	37
Şekil 4.12	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının alüminyum hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=21700)……	38
Şekil 4.13	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının pleksiglas hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=27100)……	39
Şekil 4.14	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının bakır hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=27100)…….	39
Şekil 4.15	Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının alüminyum hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=27100)……	40

Şekil 4.16 Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının pleksiglas hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=32500)…… 41
Şekil 4.17 Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının bakır hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=32500)……. 42
Şekil 4.18 Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının alüminyum hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=32500)…… 43
Şekil 4.19 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A0 jet plakası)……... 44
Şekil 4.20 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A90 jet plakası)……. 44
Şekil 4.21 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A180 jet plakası)……... 45
Şekil 4.22 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A0 jet plakası)……... 46
Şekil 4.23 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A90 jet plakası)……. 46
Şekil 4.24 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A180 jet plakası)……... 47
Şekil 4.25 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A0 jet plakası)……... 48
Şekil 4.26 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A90 jet plakası)……. 48
Şekil 4.27 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A180 jet plakası)……... 49
Şekil 4.28 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A0 jet plakası)……... 50
Şekil 4.29 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A90 jet plakası)……. 50
Şekil 4.30 Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A180 jet plakası)……... 51
Şekil 4.31 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (pleksiglas hedef plaka)…… 52
Şekil 4.32 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (bakır hedef plaka)…… 52
Şekil 4.33 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (alüminyum hedef plaka)…… 53
Şekil 4.34 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (pleksiglas hedef plaka)…… 53
Şekil 4.35 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (bakır hedef plaka)…… 54
Şekil 4.36 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (alüminyum hedef plaka)…….. 54
Şekil 4.37 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (pleksiglas hedef plaka)…… 55
Şekil 4.38 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (bakır hedef plaka)…… 56
Şekil 4.39 Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (alüminyum hedef plaka)…….. 56

Şekil 4.40 Hedef plaka üzerindeki yerel Nu sayısı dağılımı **A)** A0, **B)** A90, **C)** A180, **D)** Renk skalası……... 57
Şekil 4.41 Jet açısının hız profiline etkisi **A)** A0, **B)** A90, **C)** A180, **D)** Renk skalası……. 58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Analiz parametreleri……..... 14

1. GİRİŞ

Çarpan jetler, modern gaz türbinlerinin çeşitli bölgelerinin soğutulmasında ve özellikle yüksek basınçlı türbinlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çarpan jetlerin soğutma etkinliği çok yüksek olduğu için, bu soğutma yöntemi, parçaların ısıl yüklerinin kontrolünde verimli bir araç olmakla beraber, sağladığı kullanılabilir basınç yüksekliği ve kapladığı alan sayesinde uygulanabilirliği oldukça yüksektir. Türbin kanat profilleri ve uç duvarları gibi oldukça açık iç yüzey bölgelerinin nispeten düzgün ve kontrollü bir şekilde soğutulmasını sağlamak için normal sıralı çarpan jetler kullanılır. Bu tür normal sıralı çarpan jetler genellikle hedef yüzeye göre konumlarda sabitlenmiş sac levhadan bölme plakaları, ekler veya kapaklar kullanılarak hedef yüzeye doğrultulur. Bu düzenlemeler, sıralı, kademeli veya rastgele jet desenleri dahil olmak üzere çeşitli çarpan jet geometrilerinin tasarımına yol açar. Hücum veya kuyruk kenarı gibi kanat profillerinin daha sınırlı bölgelerinde, soğutmayı, ısıl yükün yoğun bulunduğu bölgelere odaklamak için uzunluk boyunca sıralı çarpan jetler kullanılır. Bu durumlarda, çarpan jetler, kanadın iç yapısında, döküm ya da talaş kaldırarak açılan delikler sayesinde yapılır.

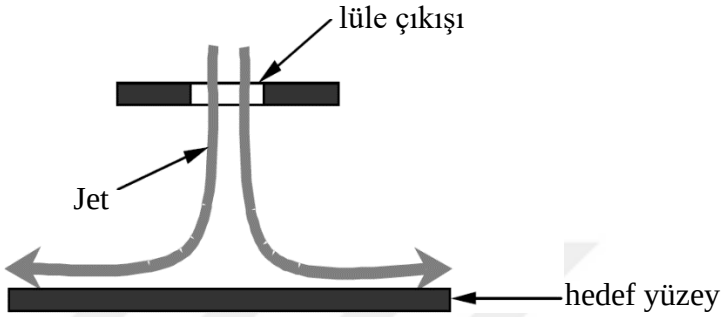
Çarpan jetlerin kullanım alanı türbin elemanlarının soğutması ile sınırlı değildir. Isıl işlemlerde, elektronik devre elemanlarının soğutmasında, kurutmada vs. kullanılmaktadır.

Bireysel ve sıralı çarpan jetlerde ısı transferinin temel durumları hakkında çok sayıda bilgi mevcuttur. Bu bilgi, uygulanabilir çarpan jet konfigürasyonları ve akış parametreleri için gaz türbini tasarım topluluğu içinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatüre bakıldığında çarpan jetlerde, üçgen lüleler de dahil olmak üzere, birçok farklı lüle geometrilerini inceleyen çalışmalar mevcuttur ancak üçgen lülelerin açılarındaki değişikliklerin ısı geçişine etkisi ile ilgili bir eksiklik görülmektedir. Bu çalışmada, eşkenar üçgen geometrisine sahip tek sıra lüle dizilişli çarpan jet modelinde, eşkenar üçgenlerin açılarındaki ve hedef plaka malzemesindeki değişimin ısı geçişini nasıl etkilediği sayısal olarak incelenmiştir. Üç farklı hedef plaka malzemesi ve üçgen lüle açısı 4 farklı Reynolds sayısı için ele alınmıştır.

2. KURUMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Çarpan Jet

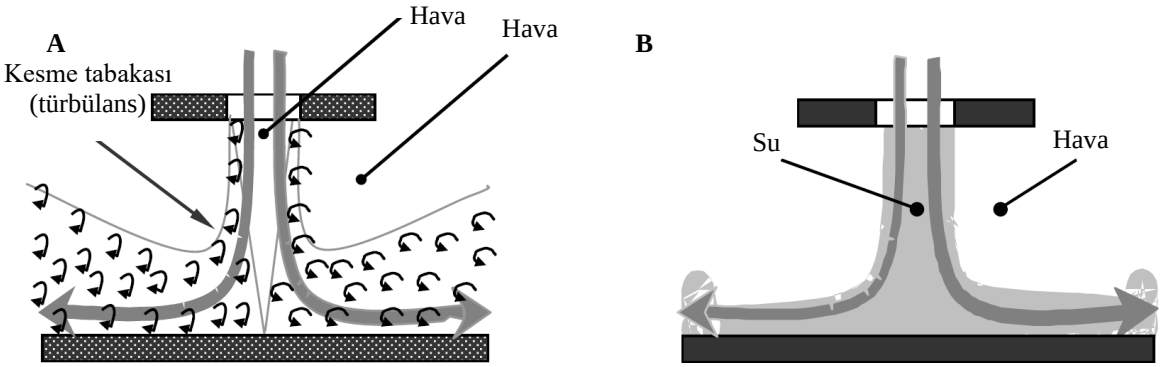
Çarpan jet, bir delikten veya aralıktan çıkan yüksek hızlı akışkanın ısı transfer yüzeyine çarpması olarak tanımlanabilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çarpan jet (Al-aqal 2003'ten değiştirilerek alınmıştır)

Bu akış düzenlemesinin karakteristik bir özelliği, duvar ile akışkan arasındaki yoğun ısı transfer hızıdır. Yoğun ısı transfer ihtiyacı duyulan, türbin kantlarının, lazer aynaların ve elektronik bileşenlerin soğutulması, kurutma vb. endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

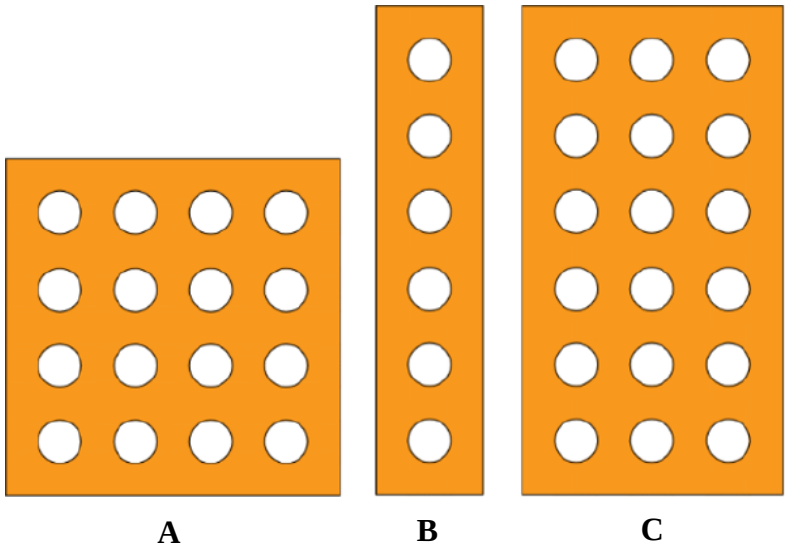
Niteliksel olarak farklı iki akış konfigürasyonunu ayırt edebiliriz: batık çarpan jetler ve serbest çarpan jetler (Şekil 2.2). İlk durumda, lüleden çıkan sıvı, çevredeki ile aynı haldedir. İkinci durumda, sıvılar farklı hallere sahiptir (örneğin, havada ortamında bir su jeti). Her iki olayın yapısı farklıdır. Batık jetlerde, jet ve çevreleyen sıvı arasındaki ara yüzde bir kesme tabakası oluşur. Kesme tabakası kararsızdır ve türbülans oluşturur. Serbest jetlerde bu kararsızlık genellikle önemli değildir ve kesme tabakasındaki türbülanslı hareketin akış üzerinde önemli bir etkisi yoktur.



Şekil 2.2. A) Batık jet; **B)** Serbest jet (Al-aqal 2003'ten değiştirilerek alınmıştır)

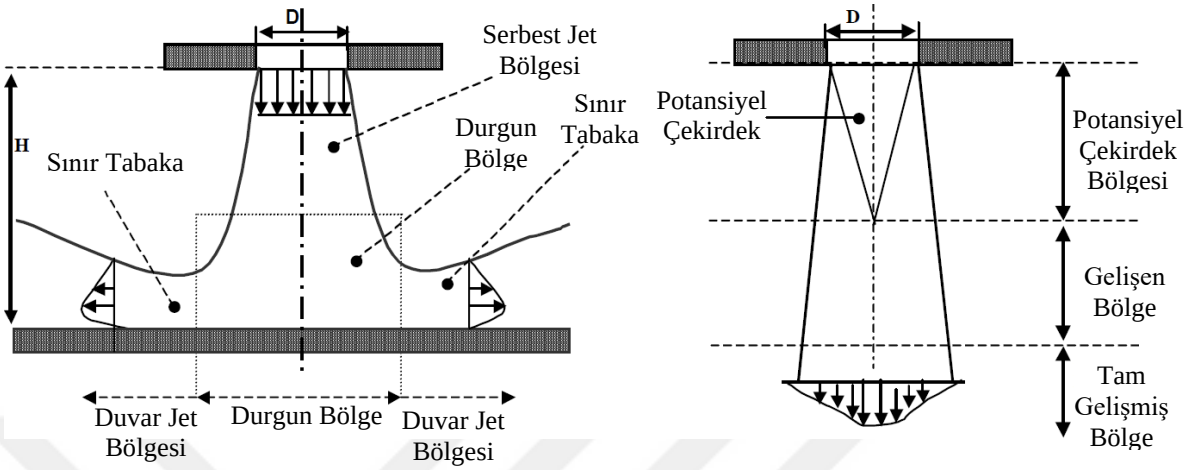
Geometrik açıdan, iki durum vardır: bir yarıktan çıkan jetlere sahip düzlemsel durum ve yuvarlak lüleli eksenel simetrik durum. Her iki durumun yapısı farklıdır. Yuvarlak jetler, duvar boyunca taşınımları sırasında genişleyen eksenel simetrik girdap halkalarının oluşumunu sergiler. Düzlem jetlerde girdaplar, yarığa paralel filamentler olarak oluşur. Simetrik veya asimetrik halde jetin her iki tarafında oluşurlar. Bu girdap filamentleri genişlemez. Diğer birçok geometri de mümkündür: kare, dikdörtgen, eliptik veya bu çalışmadaki gibi üçgen lülelerden çıkan jetler.

Çarpan jetlerde lüle dizilişine göre de bir ayrım yapılabilir. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi düzgün sıralı, tek sıralı ve çok sıralı olarak incelenebilir. Kurutma ve elektronik bileşenlerin soğutmasında düzgün sıralı, türbin kanatlarının baş bölgesinde tek sıralı ve kanatların orta ve baş bölgelerinde çoklu sıralı diziliş tercih edilir.



Şekil 2.3. A) Düzgün sıralı, **B)** Tek sıralı, **C)** Çoklu sıralı

Çarpan jetlerde akış alanları üç bölgeye ayrılabilir: jet bölgesi, durgun bölge ve duvar jet bölgesi (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Çarpan jetlerde karakteristik bölgeler (Al-aqal 2003'ten değiştirilerek alınmıştır)

Jet bölgesi doğrudan lülenin altında yer alır. Lüleden çıkan sıvı, hareketsiz çevreleyen sıvı ile karışır ve duvardan belirli bir mesafeye kadar olan bir akış alanı oluşturur, bu da batık çarpmayan bir jetin akış alanıyla aynıdır. Jet akışı, lüle çıkışından altı veya yedi lüle çapına kadar az gelişmiştir. Sonuç olarak, çoğu uygulamada, lüle-plaka mesafesi, tam gelişmiş jet akış koşulunu sağlamak için çok küçüktür. Jetin etrafında bir kesme tabakası oluşur. Özellikleri büyük ölçüde meme tipine bağlıdır. Çoğu durumda, kesme tabakası başlangıçta lüle çapına kıyasla nispeten incedir ve bu nedenle dinamik davranışı düzlem kesme katmanınınkine benzer. Akış yönünde ilerledikçe kesme tabakası kalınlığı, jet çapı ile karşılaştırılabilir hale gelir ve tabakanın davranışı önemli ölçüde değişir.

Lüleden çıkan akış, lüle tipine ve Reynolds sayısına bağlı olarak laminer ya da türbülanslı olabilir. Başlangıçtaki laminer akış türbülanslı bir geçişe uğrar. Geçiş, kararsız olan keme tabakasında başlar. Reynolds sayısı orta düzeydeyse, girdapların oluşumu bu geçişin ilk aşamasıdır. Girdaplar akış yönünde taşınırlar ve büyürler, birleşirler, simetrilerini kaybederler ve son olarak dağılarak eddiler oluştururlar. Son olarak türbülanslı akış oluşur. Birçok pratik durumda, lüle-plaka aralığı küçüktür ve jet duvara çarptığında hala geçiş durumundadır.

Lüle çıkışındaki hız profili yeterince düz ise, jetin merkezinde potansiyel çekirdek vardır. Potansiyel çekirdek, ortalama hızın hala lüle çıkışındaki ile aynı olduğu düşük bölgedir. Bu noktada çekirdeğin içindeki sıvı henüz momentumunu çevreye aktarmamıştır. Ancak

çekirdekte anlık hız sabit değildir. Kesme tabakasından geçen girdaplardan kaynaklanan hız indüksiyonu nedeniyle akış titreşimlidir. Potansiyel çekirdek akışı, viskoz olmayan bir karaktere sahiptir.

Durgun noktanın yakınında durgun bölge bulunmaktadır. Eksenel yönde akışı durduran ve radyal olarak dışa doğru çeviren basınç gradyanı ile karakterize edilir. Basınç gradyanı aynı zamanda durgun bölgeye vardığında akışı yeniden laminer hale getirir. Durgun noktasının etrafındaki sınır tabakası, uygun basınç gradyanı nedeniyle laminerdir. Duvar boyunca hızın artması sınır tabakayı ince tutar ve buna bağlı olarak ısı transfer hızları yüksektir.

Duvar jet bölgesi, ortalama basınç gradyanlarından arındırılmıştır. Akış burada yavaşlar ve yayılır. Başlangıçta laminer sınır tabakası, jet kesme tabakasında oluşturulan büyük girdapların çarpmasının neden olduğu türbülanslı bir dönüşüme uğrar. Bu türbülanslı geçişin yerel olarak arttığına ve ısı transfer hızının giderek azaldığına inanılmaktadır.

2.2. Kaynak Araştırması

Çalışmanın bu bölümünde, çarpan hava jetleri ile ilgili gerçekleştirilen sayısal ve deneysel çalışmalar ele alınmıştır.

Gardon ve Akfirat (1965), çarpan jetler tarafından üretilen yerel ısı transfer katsayılarının değişimine ilişkin verileri, türbülansın ısı transferi üzerindeki etkisine ilişkin diğer çalışmalar bağlamında yeniden incelemiştir. Görünüşte anormal olan bazı ısı transferi fenomenlerinin, jetlerde var olan yoğun ve bölgesel olarak değişen türbülansın etkileri olarak açıklanabileceğini gösterilmişlerdir. Yanı sıra, ısı geçişinin jet hızıyla ve jet çapıyla ters orantılı olduğunu tespit etmişlerdir.

Goldtein ve Behbahani (1982), çapraz hava akışı olan ve olmayan, çarpan bir hava jetine yerel ısı transferi için ölçümler raporlamıştır. Büyük jet-hedef plaka aralığında çapraz akışın, maksimum ısı transfer katsayısını azalttığını ve daha küçük jet-hedef plaka aralıklarında, çapraz akışın ısı geçiş katsayısını arttırdığını tespit etmişlerdir. Çapraz akış olmadığında ortalama ısı geçişi için bir korelasyon elde etmişlerdir.

Lee vd. (1993), 2.14 en-boy oranına sahip eliptik bir lüleden türbülanslı bir hava jeti için yerel ısı transferi ölçümlerini raporlamışlardır. Reynolds sayılarını 5000, 10000 ve 20000 olarak ve boyutsuz jet-hedef plaka mesafeleri 2, 4 6 ve 10 olarak almışlardır. Deneysel çalışmalarını TLC yöntemiyle yapmışlarıdır.

Lytle ve Webb (1994), bir lüle çapından daha küçük lüle-hedef plaka aralıklarında çarpan hava jetinin yerel ısı transfer özelliklerini, bir kızılötesi termal görüntüleme tekniği kullanılarak deneysel olarak incelemiştir. Çalışmalarında tam gelişmiş lüleler kullanmışlardır. Akış yapısını, lazer-Doppler hız ölçümü ve duvar basıncı ölçümleri kullanılarak incelemişlerdir. Lüle-hedef plaka arasındaki hızlanan akışkanın etkilerinin yanı sıra, yerel türbülansta önemli bir artış, azalmış lüle-hedef plaka mesafesi ile büyük ölçüde artan yerel ısı transferine yol açtığını tespit etmişlerdir.

Yan ve Saniei (1997), düz bir plakaya eğik olarak çarpan dairesel bir hava jetinin yerel ısı taşınım katsayılarının ölçümü için bir dizi deney yapmıştır. Deneyde çarpma açılarını 90^o, 75^o, 60^o ve 45^o olarak, Reynolds sayılarını 10000 ve 23000 olarak ve boyutsuz jet-hedef plaka mesafesini 2, 4, 7 ve 10 olarak almışlardır. Deneylerin yapılışı için Geçici rejim sıvı kristal tekniğini kullanmışlardır. Deneylerin sonuçlarında, belirli bir akış durumu için, maksimum ısı transfer noktasının geometrik çarpma noktasından simetri ekseni üzerinde duvar jetinin sıkıştırma tarafına doğru kaydığını göstermişlerdir.

Behnia ve Parneix (1998), yaptıkları sayısal çalışmada izotermal çarpan jeti v^2-f türbülans modeliyle modellemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları k-ε türbülans modeliyle ve deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda v^2-f türbülans modelinin gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Lee ve Lee (1999), düz bir plaka üzerinde, eliptik bir çarpan jetin yerel ısı transfer özelliklerini, çeşitli lüle en boy oranları için deneysel olarak araştırmışlardır. Eş değer bir hidrolik çapa sahip olacak şekilde 5 farklı lüle en boy oran (1, 1,5, 2, 3 ve 4) için 10000 Reynolds sayısında deneyler yaparak lüle en boy oranının duran bölgedeki ısı geçişine etkisini ele almışlardır. Deneylerinde TLC metodunu kullanılmışlardır. Deney sonuçlarına göre, boyutsuz jet-hedef plaka değeri 4'ten küçük olduğu durumlarda, lüle en

boy oranı arttığında durgun bölgedeki ısı geçişi dairesel lülelere göre daha yüksek olduğunu ve boyutsuz jet-hedef plaka değerinin 6'dan büyük olduğu durumlarda tam tersi olduğunu tespit etmişlerdir.

Li ve Garimella (2001), akışkan termofiziksel özelliklerinin, sınırlı ve batık çarpan jetler için ısı transferi üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Düşük ve yüksek Prandtl sayıları için daha önce yapmış oldukları çalışmaları orta seviyedeki Prandtl sayısı ile desteklemişlerdir. Bu sonuçlara dayalı olarak ısı transfer hızları için genelleştirilmiş korelasyonlar önermişlerdir.

San ve Lai (2001), düz bir hedef plakaya dik olarak çarpan dairesel jetlerdeki jetler arasındaki mesafenin yerel Nusselt sayısına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Jetlerin çaplarını 3 mm olarak alınmış. 3 farlı Reynolds sayısı (10000, 20000, 30000) için deneyler gerçekleştirmişleridir. Deney sonuçlarına göre, jetler arasındaki mesafe azaldıkça yerel Nusselt sayısının azaldığını tespit etmişlerdir.

Yan vd. (2004) çarpan eliptik geometrili jet dizileri altında düz bir yüzey üzerindeki ayrıntılı ısı transfer özelliklerini, TLC yöntemiyle deneysel olarak incelemişlerdir. Eliptik jetlerde 5 farklı en boy oranı (4, 2, 1, 0,25 ve 0,5), 3 farklı Reynolds sayısı (1500, 3000 ve 4500) ve 3 farklı çıkış şartı için ısı geçiş performansı ve akış karakteristiklerini incelemişlerdir. Çıkış akışının iki yönde olduğu durumda en yüksek ısı geçiş oranına ulaşıldığını tespit etmişlerdir. Lüle en boy oranı 0,5 ve Reynolds sayısı 3000 ve 4500 olduğu durumda maksimum ısı geçiş miktarına ulaşılırken, en boy oranı 1,0 ve 2,0 iken en düşük Reynolds sayısında en yüksek ısı geçiş oranını elde etmişlerdir.

El-Gabry ve Kaminski (2005), yaptıkları deneysel çalışmada kanatçıkla hedef plakanın, Reynolds sayılarının ve jet açılarının çarpan jetlerdeki soğutma performansına etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda hedef plaka yüzeyine yerleştirilen kanatçıkların ısı geçişi arttırıldığını ve daha düzenli bir hale soktuğunu tespit etmişlerdir.

Zuckerman ve Lior (2006), yaptıkları sayısal çalışmada çarpan jetlerin ısı geçişine etkisini v^2-f, SST, ASM, RSM, k-ω ve k-ε türbülans modellerini kullanarak modellemişlerdir.

Çalışmaları sonucunda ASM, RSM, k-ω ve k-ε türbülans modelleriyle elde ettikleri sonuçların ince ağ yapısına rağmen deneysel verilerle örtüşmediğini belirlemişlerdir. Fakat SST ve v^2-f türbülans modellerinde deneysel verilerle örtüşen sonuçlar elde etmişlerdir.

Hofmann vd. (2007), yaptıkları sayısal çalışmada, on üç farklı yaygın olarak kullanılan türbülans modellerini farklı Reynolds sayıları için ısı geçiş ve akış karakteristiklerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda gerçeğe en yakın sonuçları SST k-ω türbülans modeli ile elde etmişlerdir.

Sharif ve Mothe (2009), yaptıkları sayısal çalışmada iç bükey ve düz hedef plakalar üzerindeki ısı geçişini LLR Reynolds stress transport, SST k-ω, realizable k-ε, RNG k-ε ve standart k- ε türbülans modellerini kullanarak modellemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, türbülans modellerinin hepsinde potansiyel çekirdek alanının dışında olan durumlarda kabul edilebilir sonuçların elde edildiğini belirlemişlerdir. SST k-ω ve RNG k- ε türbülans modellerinde yerel Nusselt sayıları için en doğru sonuçların elde edildiğini belirtmişlerdir. İç bükey hedef plaka geometrisinde sadece RNG k- ε türbülans modelinin gerçekçi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Sharif ve Banerjee (2009), yaptıkları sayısal çalışmada çarpan jetle soğutmayı hareketli hedef plaka için incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları türbülans modeli k-ε türbülans modelidir. Çalışmalarının sonucunda akışkan hızının ve hedef plaka hızının Nusselt sayısına etki ettiğini belirlemişlerdir.

Rhea vd. (2009), yaptıkları sayısal çalışmada RANS ve LES modellerini kullanarak çarpan jetleri incelemişlerdir. LES modelinin deneysel verilerle daha tutarlı olduğunu belirlemişlerdir.

Rao vd. (2009, yaptıkları sayısal ve deneysel çalışmada çok fazla sayıdaki jetten oluşan çarpan jetteki ısı geçişini incelemişlerdir. Sayısal çalışmalarında tercih ettikleri türbülans modeli k-ω türbülans modelidir. Çalışmaları sonucunda elde ettikleri verilere göre

çapraz akışın akış doğrultusunda ilerledikçe hedef plaka üzerindeki ısı geçişini git gide daha çok etkilediğini tespit etmişlerdir.

Xing vd. (2010), yaptıkları sayısal ve deneysel çalışmada Reynolds sayısının çapraz akışa etkisini ele almışlardır. Deneysel çalışmalarında TLC yöntemini kullanmışlardır ve elde ettikleri sayısal sonuçların da deneysel verilerle tutarlı olduğunu belirleyerek çarpan hava jetlerinin HAD yöntemiyle modellenebileceğini tespit etmişlerdir.

Yang vd. (2011), yaptıkları sayısal çalışmada, çarpan jetle soğutmanın, yarım daire geometrisine sahip hedef plaka üzerindeki ısı geçişine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında k-ε türbülans modelini kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda elde ettikleri sonuçların %15'lik bir tutarsızlığa sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Xing vd. (2011), çarpan jetle soğutmada mikro kanatçıkların ısı geçişine etkisini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında TLC yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlara göre kanatçıklı durumda en yüksek ısı geçişinin meydana geldiği ve sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Duttan vd. (2013), yaptıkları sayısal çalışmada v^2-f, SST k-ω, standart k-ω, Chang-Hsieh-Chen low Re k-ε, Launder and Sharma low Re k-ε, realizable k-ε, RNG k-ε ve Standart k-ε türbülans modellerini kullanarak çarpan hava jetini incelemişlerdir. En doğru sonuçların SST k-ω türbülans modelinin verdiğini belirlemişlerdir.

Wan vd. (2015), yaptıkları sayısal çalışmada hem pin türbülatörlü hem de pin türbülatörsüz hedef plakası için ısı geçişini araştırmışlardır. Üç farklı Reynolds sayısı (15000, 25000 ve 35000) için analizler yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda pin türbülatörlerin ısı transferini hatırı sayılır miktarda etkilediğini tespit etmişlerdir. Türbülatörler hedef yüzey üzerindeki ortalama Nusselt sayısını %34,5 oranında arttırmıştır.

Qiu vd. (2015), yaptıkları sayısal çalışmada, çarpan hava jetlerinde hedef plaka yüzeyinde kanatçıklar yerleştirerek ısı geçişine ve akış karakteristiğine etkisin incelemişlerdir. Hedef plaka üzerine yerleştirilen kanatçıkların ısı geçişini hatırı sayılır miktarda arttırdığını gözlemlemişleridir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kanatçıkların eklemesi ısı geçişinde %50'ye varan bir artışa neden olabileceğini belirlemişlerdir.

Kannan ve Sundararaj (2015), yaptıkları sayısal çalışmada, hedef plaka üzerinde dikdörtgen oyuklar varken ve hedef plaka üzerinde oyuklar yokken çarpan hava jetiyle soğutmanın ısı geçişine etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda SST k-ω, Standart k-ε ve RNG k-ε türbülans modellerinde en gerçekçi sonuçlar elde etmişlerdir ve hedef plakaya açılan dikdörtgen oyukların ısı geçişini kötü etkilediğini tespit etmişlerdir.

Uysal vd. (2016), farklı jet geometrileri (kare, dikdörtgen ve üçgen) kullanarak çarpan jetlerdeki ısı geçişine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerinde TLC yöntemini kullanmışlardır. 3 farklı Reynolds sayısı (1,6x104, 2,06x104 ve 2,47x104) için deneylerini yapmışlardır. Deney sonuçlarında en yüksek hıza sahip jet geometrisinin dairesel olduğunu fakat en düşük ısı geçiş katsayısına sahip jet geometrisi de olduğunu belirlenmiştir.

Elwekeel ve Abdala (2016), farklı Reynolds sayışlarında çeyrek daire, yarı daire ve tam daire geometriye sahip jetlerin ısı geçişine etkisini sayısal olarak araştırmışlardır. Farklı akışkanlar kullanmışlardır (nemli hava ve kuru hava). Çalışmalarının sonuçlarına göre kuru havada ısı geçişinin daha düşük olduğunu tespit edilmiştir. Yarım daire geometrisinin hem nemli hem de kuru havada tam daire jet geometrisine göre %100 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Xu vd. (2016), yaptıkları sayısal çalışmada, çift delikli çarpan jetlerde, sinüs dalgası geometrisine ve düz geometriye sahip hedef plaka üzerindeki ısı geçişini ve akış karakteristiklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda çift jetin tek jete göre daha kötü olduğunu tespit etmişleridir.

Zhou vd. (2016), yaptıkları sayısal çalışmada çarpan jetlerle soğutmada ısıl özelliklerin, akışkanın yoğunluğunun ve sıcaklık farkının ısı geçişine etkisini v^2-f türbülans modelini kullanarak modellemişlerdir. Çalışmaları sonucunda ısıl özelliklerin azalması ısı geçişini azaltırken akışkanın yoğunluğunun artmasının ısı geçişini arttırdığını tespit etmişlerdir. Bunlara ek olarak Nusselt sayısının sıcaklık farkından bağımsız olduğunu tespit etmişlerdir.

Taie ve Abd (2017), yaptıkları sayısal ve deneysel çalışmada hedef yüzey üzerine yerleştirilen kare kanatçıkların ısı geçişine etkisini incelemişlerdir. Sayısal çalışmalarında kullandıkları türbülans modeli standart k-ε türbülans modelidir. Çalışmaları sonucunda kanatçıklı hedef yüzeyde kanatçıksız hedef yüzeye göre daha yüksek bir ısı geçişi olduğunu tespit etmişlerdir.

Kadiyala ve Chattopadhyay (2017), yaptıkları sayısal çalışmada çarpan jetleri hareketli hedef plakalar üzerindeki ısı geçişine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları türbülans modeli SST türbülans modelidir. Çalışmaları sonucunda hareketli hedef plakada hareketsiz hedef plakaya göre daha yüksek ısı geçişinin meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Bhagwat ve Sridharan (2017), yaptıkları sayısal çalışmada farklı hedef plaka açıları, jet plaka ve hedef plaka arasındaki mesafe ve Reynolds sayıları için çarpan jetle soğutmayı incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları türbülans modeli, v^2-f türbülans modelidir. Çalışmaları sonucuna v^2-f türbülans modeliyle hassas sonuçlar ortaya çıkarmışlardır ve yatay hedef plaka açısında en yüksek ısı geçişi durgun bölgede oluşurken açılı hedef plakalarda çarpa noktasının dışında gerçekleştiğini belirlemişlerdir.

Penumadu ve Rao (2017), yaptıkları sayısal çalışmada, çarpan jetlerde düşük Reynolds sayılarının ısı geçişine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları sayısal çalışmada kullandıkları türbülans modelleri RANS, URANS ve LES türbülans modelleridir. Çalışmaları sonucunda elde ettikleri sayısal değerlerin kabul edilebilir bir aralıkta olduğunu tespit etmişlerdir.

Chen vd. (2017), yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmada, hedef plaka yüzeyine yerleştirilen V şeklindeki kanatçıkların ısı geçişine etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarında TLC metodunu kullanmışlardır. Sayısal çalışmalarında ise kullandıkları türbülans modeli SST ve RANS türbülans modelleridir. Elde ettikleri sayısal ve deneysel sonuçlar kıyaslandığında %15'lik bir hata payının meydana geldiğini ve hedef plaka üzerindeki V kanatçıklarının Nusselt sayısını 1,16 kat arttırdığını tespit etmişlerdir.

Rao vd. (2018), hedef plaka üzerine farklı pin türbülatörleri ve efizyon delikleri yerleştirerek ısı geçişindeki değişimi sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarında TLC yöntemini kullanmışlardır. 2 farklı Reynolds sayısı (15000 ve 30000) kullanmışlardır. Deney sonuçalrına göre efizzyon deliklerinin ve pin türbülatörlerin çapraz akışı azaltarak hedef plaka üzerinde daha homojen bir ısı geçişine neden olduğunu tespit etmişlerdir. Sayısal çalışmaları sonucunda da efizyon deliklerinin ve pin türbülatörlerinin ısı geçişini %51 oranında iyileştirdiğini tespit etmişleridir.

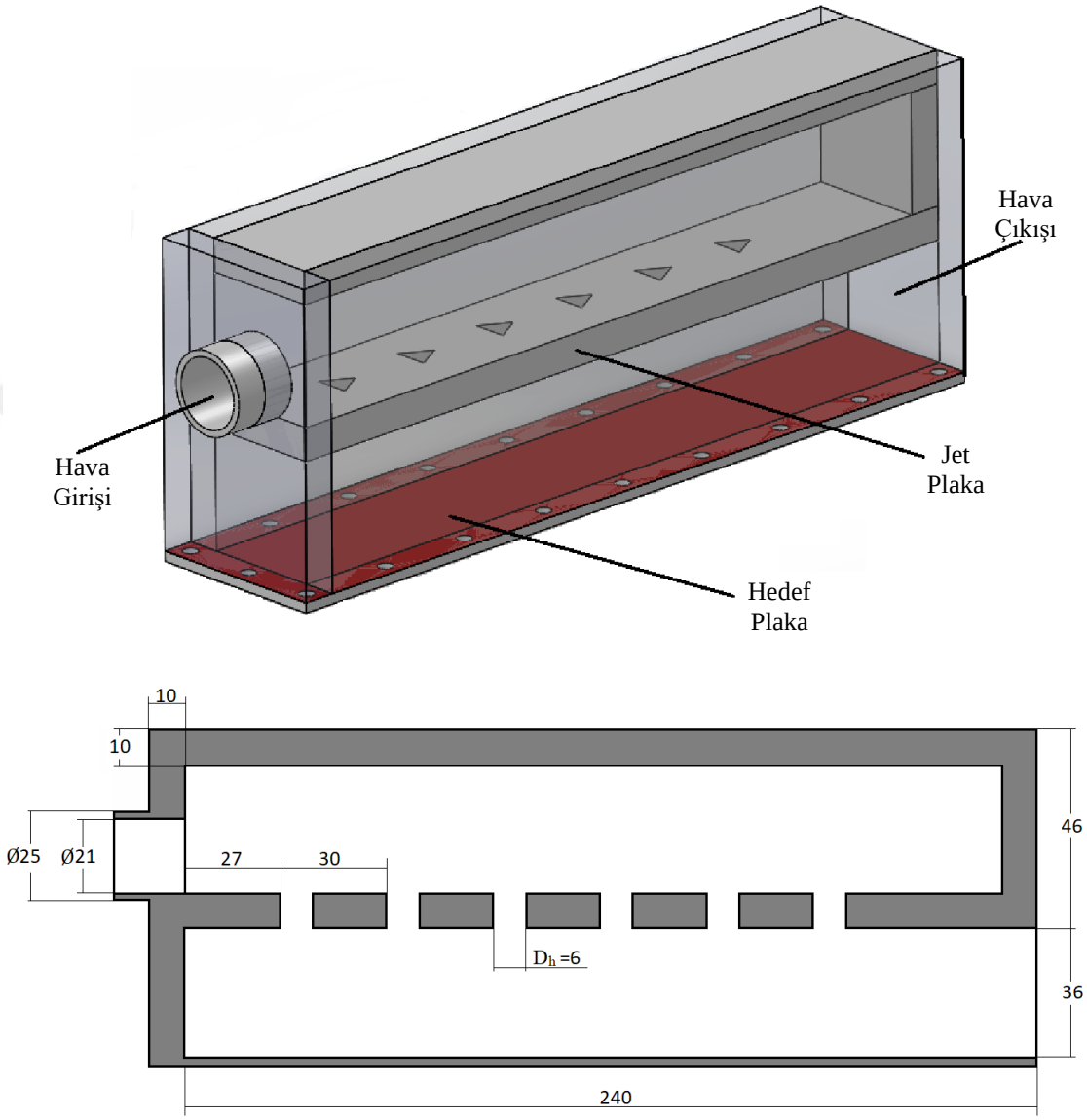
Baghel vd. (2019), yaptıkları sayısal çalışmada çarpan hava jetlerinde düz hedef plakada oluşan ısı geçişini incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları türbülans modelleri v^2-f, k-ω, ve k-ε türbülans modelleridir. Elde ettikleri sayısal sonuçlara göre v^2-f türbülans modeli diğer türbülans modellerine göre daha doğru sonuçlar vermiştir.

Ekiciler vd. (2019), yaptıkları sayısal çalışmalarında dikdörtgen geometriye sahip jetlerle, üçgen ve dikdörtgen oyuklar olan hedef plaka yüzeyi üzerine etki eden çarpan jetle soğutmayı incelemişlerdir. Çalışmalarında sonlu hacimler yöntemini kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda oyuklu hedef plakalarında oyuksu hedef plakalarına göre %50 kadar daha yüksek Nusslet sayıları elde edildiğini belirlemişlerdir.

Kaynak araştırmasında da görüldüğü üzere sıralı çarpan jetler ısı geçişinin temelleri hakkında çok sayıda araştırma mevcuttur. Fakat üçgen geometriye sahip jetlerin açısı değiştirildiğinde çarpan jetin ısı geçiş performansına etkisi konusunda herhangi bir çalışma mevcut değildir. Bu tez çalışmasının amacı da bu eksikliği gidermektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Fiziksel Model



Şekil 3.1. Fiziksel model ve kesit ölçüleri

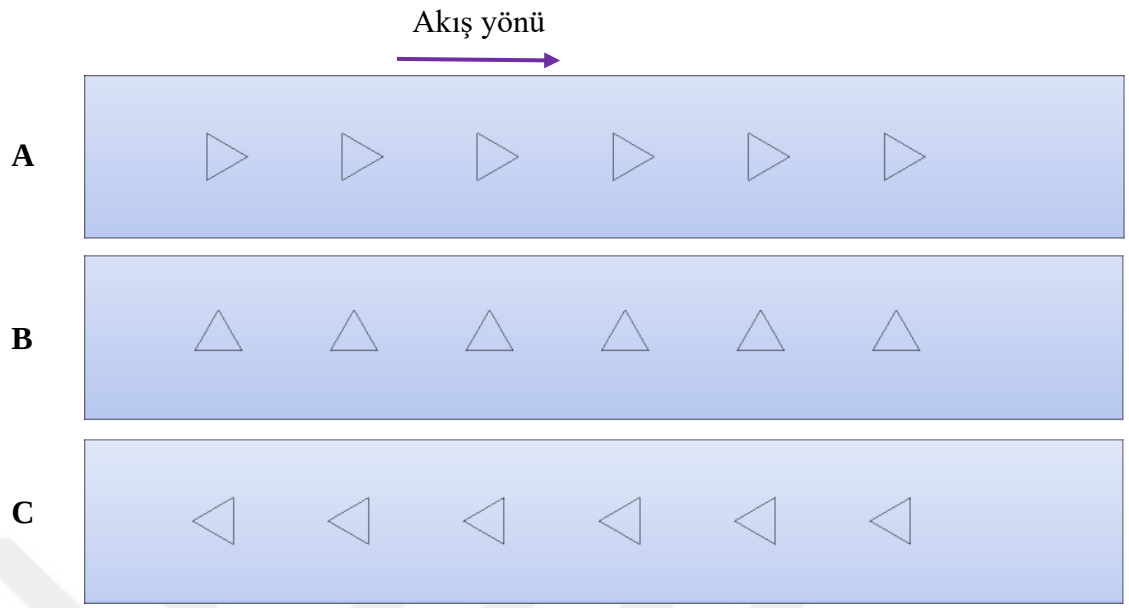
Şekil 3.1'de, sayısal analizlerde kullanılan standart fiziksel model ve bu modelin kesit ölçüleri görülmektedir. Fiziksel model Solid Works üçboyutlu modelleme programı ile yapılmıştır. Şekilde de görüldüğü üzere, jet plaka üzerindeki jet delikleri tek sıralı ve 6 adet olarak yer almaktadır. Modellerin hepsinde deliklerin hidrolik çapları 6 mm olarak alınmıştır. Hedef plaka ile jet plaka arasındaki mesafenin jet hidrolik çapına oranı olan

$H/D_h = 6$, hedef plaka uzunluğunun jet hidrolik çapına oranı olan $X/D_h = 40$, hedef plaka genişliğinin jet hidrolik çapına oranı olan $B/D_h = 6$ ve jetler arasındaki mesafenin jet hidrolik çapına oranı olan $S/D_h = 5$ olarak alınmıştır. Jet plakasının altındaki ve üstündeki kanalların ölçüleri birbirine eşittir. Hava, 21 mm çapındaki açıklıktan girer ve 36 mm hidrolik çapa sahip kare kesitten çıkar.

Sayısal çözümlemede 3 farklı jet plak ele alınmıştır (Şekil 3.2). Hedef plaka malzemesi olarak ise 3 farklı malzeme kullanılmıştır ve 4 farklı Reynolds sayısı için sayısal çözümlemeler yapılmıştır. Analiz parametrelerinin detayları Çizelge 3.1'de görülebilir.

Çizelge 3.1. Analiz parametreleri

Sıra No.	Model kodu	Lüle Açısı	Hedef Plaka Malzemesi	Re Sayısı	Sıra No.	Model kodu	Lüle Açısı	Hedef Plaka Malzemesi	Re Sayısı
1	A0PlQ1	0	Pleksiglas	16250	**19**	A90AlQ3	90	Alüminyum	27100
2	A0PlQ2	0	Pleksiglas	21700	**20**	A90AlQ4	90	Alüminyum	32500
3	A0PlQ3	0	Pleksiglas	27100	**21**	A180AlQ1	180	Alüminyum	16250
4	A0PlQ4	0	Pleksiglas	32500	**22**	A180AlQ2	180	Alüminyum	21700
5	A90PlQ1	90	Pleksiglas	16250	**23**	A180AlQ3	180	Alüminyum	27100
6	A90PlQ2	90	Pleksiglas	21700	**24**	A180AlQ4	180	Alüminyum	32500
7	A90PlQ3	90	Pleksiglas	27100	**25**	A0CuQ1	0	Bakır	16250
8	A90PlQ4	90	Pleksiglas	32500	**26**	A0CuQ2	0	Bakır	21700
9	A180PlQ1	180	Pleksiglas	16250	**27**	A0CuQ3	0	Bakır	27100
10	A180PlQ2	180	Pleksiglas	21700	**28**	A0CuQ4	0	Bakır	32500
11	A180PlQ3	180	Pleksiglas	27100	**29**	A90CuQ1	90	Bakır	16250
12	A180PlQ4	180	Pleksiglas	32500	**30**	A90CuQ2	90	Bakır	21700
13	A0AlQ1	0	Alüminyum	16250	**31**	A90CuQ3	90	Bakır	27100
14	A0AlQ2	0	Alüminyum	21700	**32**	A90CuQ4	90	Bakır	32500
15	A0AlQ3	0	Alüminyum	27100	**33**	A180CuQ1	180	Bakır	16250
16	A0AlQ4	0	Alüminyum	32500	**34**	A180CuQ2	180	Bakır	21700
17	A90AlQ1	90	Alüminyum	16250	**35**	A180CuQ3	180	Bakır	27100
18	A90AlQ2	90	Alüminyum	21700	**36**	A180CuQ4	180	Bakır	32500



Şekil 3.2. Jet plakalar **A)** Açısı değiştirilmemiş (A0) **B)** 90 derece döndürülmüş (A90) **C)** 180 derece döndürülmüş (A180)

3.2. Sayısal Analiz

Bu bölümde, ele alınan problemin tanımı, problemin çözümünde kullanılan denklemler, ağ yapısı ve analizlerin doğrulanması hakkında bahsedilmiştir.

Bir yüzey üzerinde meydana gelen akışkan hareketleri ve ısı geçişi sayısal çözümleme yöntemiyle ele alınabilir. Bu yöntem hem zamandan hem de maliyetten sağladığı tasarruf nedeniyle oldukça avantajlıdır. Sayısal çözümlemede, meydana gelen akışkan ve ısıl olaylar matematiksel denklemlerle ele alınabilir.

Bir yüzeyin üzerindeki akışkan hızını yükseltmek, o yüzeydeki ısı geçiş miktarını arttırma yöntemlerindendir. Yüzey üzerindeki akışkan hızını arttırmanın en iyi yönetmelerden biri çarpan jetlerdir. Çarpan jetlerde, bir delikten yüksek hızda çıkan akışkan, açılı ya da dik bir şekilde hedef yüzeye çarparak sınır tabaka kalınlığını azaltır ve yüzeydeki akışanın hızını arttırarak ısı geçişini arttırır.
Bir kanal içerisinde, akan akışkanın hızına, viskozitesine, yoğunluğuna ve kanalın hidrolik çapına göre, o kanal içerisinde gerçekleşen akışın tipi (türbülanslı, laminer akış)

belirlenir. Laminer akış çok düzenli ve çalkantısızdır. Bu akış tipinde akış katmaları birbiri ile karışmadan, paralel şekilde akar. Türbülanslı akışta ise düzensiz ve çalkantılıdır. Bu akış tipinde, laminer akışın aksine, akışkan katmanları birbirine karışır ve bu karışma girdapların oluşmasına neden olur. Enerji, kütle ve momentum geçişini arttıran bu girdaplar sayesinde, gerçekleşen ısı geçişi miktarı türbülanslı akış tipinde, laminer akış tipine göre daha yüksektir. Yüksek ısı geçişi nedeniyle uygulamaların büyük bir bölümünde türbülanslı akış tipi tercih edilir.

Akış tipinin belirlenmesi, viskoz kuvvetlerin atalet kuvvetlerine oranı olan boyutsuz Reynolds sayısı sayesinde belirlenir.

$$Re = \frac{\rho . D_h . V}{\mu} \tag{3.1}$$

Denklem 3.1'de ρ akışkanın yoğunluğunu $[kg/m^3]$, D_h akışkanın geçtiği kanalın hidrolik çapını [m], V akışkanın kanal içerisindeki ortalama hızını [m/s] ve μ akışkanın dinamik viskozitesini $[kg/m.s]$ temsil eder. Kanal içi akışta Reynolds sayısı 2300'den küçük olduğu durumda akış tipi laminerdir. Reynolds sayısının 4000'den büyük olması halinde akış tipi türbülanslıdır. Reynolds sayısının 2300 ile 4000 arasında olduğu durumda ise laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş akışı olur.

Çarpan jetlerde, yüzey üzerindeki ortalama ısı taşınım katsayısı Denklem 3.2 ile hesaplanır.

$$\bar{h} = \frac{q''}{T_w - T_b} \tag{3.2}$$

Denklem 3.2'de q'' ısı akısını $[W/m^2]$, T_w duvar sıcaklığını $[K]$ ve T_b akışkan sıcaklığını $[K]$ temsil etmektedir. Çarpan jetlerde, hedef yüzeydeki akışkanın hızını arttırılarak ısı taşınım katsayısını ve ısı geçiş miktarını arttırmak hedeflenmektedir.

Çarpan jetlerde yerel ısı taşım katsayısı Denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$h_x = \frac{-k \left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0}}{(T_w - T_b)_x} \tag{3.3}$$

Taşınımla gerçekleşen ısı geçişinin iletimle gerçekleşen ısı geçiş miktarına oranı, boyutsuz Nu sayısı ile ifade edilir. Bir yüzey üzerindeki ortalama Nu sayısı Denklem 3.4 ile hesaplanır.

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h} D_h}{k} \tag{3.4}$$

Denklem 3.4'te akışkanın ısı iletim katsayısı k ile ifade edilir. Eğer Nu sayısı 1'e eşit ise, bu sistemde sadece iletim ile ısı geçişi gerçeklemektedir. Isı geçiş miktarının büyüklüğünü ifade etmek için Nu sayısı sıklıkla kullanılan boyutsuz sayıdır.

$$Nu = \frac{h_x D_h}{k} \tag{3.5}$$

Yüzey üzerindeki yerel Nu sayıları Denklem 3.5 ile hesaplanır.

Türbülanslı tipteki bir akışın sahip olduğu ortalama özeliklerinin, o akış içindeki çalkantılardan etkilenmelerini ele almak için ve türbülanslı akışın zamana bağlı denklemlerini incelemek için herhangi bir değişken olan (sıcaklı, basınç, hız vs.) λ'nın ortalamasının hesaplanışı Denklem 4.6'da gösterilmiştir.

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \lambda(t) dt \tag{3.6}$$

λ değişkeni, zamana bağlı olarak değişir ve $\bar{\lambda}$ (kararlı ortalama bileşen) ile λ''nın (ortalama zamana bağlı dalgalı bileşen) toplamı olarak da ifade edilebilir (Denklem 3.7)

$$\lambda(t) = \bar{\lambda} + \lambda'(t) \tag{3.7}$$

Denklem 3.7 aynı zamanda $\lambda = \bar{\lambda} + \lambda'$ olarak ifade edilebilir. λ'nın, akış içerisindeki hız bileşeni için yazılması durumunda Denklemler 3.8a-Denklem 3.8c elde edilir.

$$u = \bar{u} + u' \tag{3.8a}$$

$$v = \bar{v} + v' \tag{3.8b}$$

$$w = \bar{w} + w' \tag{3.8c}$$

λ'nın, basınç için ya da sıcaklık için yazılması durumunda Denklemler 3.9a ve denklem 3.9b elde edilir.

$$p = \bar{p} + p' \tag{3.9a}$$

$$T = \bar{T} + T' \tag{3.9b}$$

Dalgalanma bileşeninin zamana göre ortalaması, tanımdan da anlaşılacağı üzere sıfıra eşittir (Denklem 3.10).

$$\bar{\lambda}' = \frac{1}{\Delta t}\int_0^{\Delta t} \lambda' dt = 0 \tag{3.10}$$

Dalgalanmaların ortalama kare kökü, akıştaki dalgalanmalar hakkında bilgi edinmemizi sağlar (Denklem 3.11).

$$\lambda_{okk} = \sqrt{\overline{(\lambda')^2}} = \left[\frac{1}{\Delta t}\int_0^{\Delta t} (\lambda')^2 dt\right]^{1/2} \tag{3.11}$$

Türbülans tipi akışlarda, enerji, momentum ve süreklilik denklemlerini ifade edebilmek için herhangi iki farklı dalgalanma özeliğinin (λ, ψ)integrasyon ve türevini içeren denklemler bütünü Denklem 3.12a-Denklem 3.12h'de görülmektedir.

$$\bar{\lambda}' = \bar{\psi}' = 0 \tag{3.12a}$$

$$\bar{\bar{\lambda}} = \bar{\lambda} \tag{3.12b}$$

$$\overline{\lambda + \psi} = \bar{\lambda} + \bar{\psi} \tag{3.12c}$$

$$\overline{\lambda\psi} = \bar{\lambda}\bar{\psi} + \overline{\lambda'\psi'} \tag{3.12d}$$

$$\overline{\lambda\bar{\psi}} = \bar{\lambda}\bar{\psi} + \overline{\lambda'\psi'} \tag{3.12e}$$

$$\overline{\lambda'\bar{\psi}} = 0 \tag{3.12f}$$

$$\overline{\frac{\partial\lambda}{\partial s}} = \frac{\partial\bar{\lambda}}{\partial s} \tag{3.12g}$$

$$\overline{\int \lambda ds} = \int \bar{\lambda} ds \tag{3.12h}$$

Kararlı reji şartında, sıkıştırılamaz Newton tipi laminer akışın süreklilik ifadeleri Denklem 3.13'te verilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{3.13}$$

Denklem 3.8'deki ifadeler Denklem 3.13'te yazılırsa, Denklem 3.14 elde edilir.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \tag{3.14}$$

Denklem 3.14, Δt birim zamanına göre ortalaması alındığında Denklem 3.10'da da görüldüğü üzere dalgalanma terimleri sıfır olur. Sonuç olarak Denklem 3.14, Denklem 3.15a halini alır ve dalgalanma terimleri Denklem 3.15b ile ifade edilir.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \tag{3.15a}$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial w'}{\partial z} = 0 \tag{3.15b}$$

Bu şekilde, çalkantılı ve ortalama hız bileşenleri süreklilik denklemini doğrular.

Kararlı reji şartında, sıkıştırılamaz Newton tipi laminer akışın momentum ifadeleri;

x doğrultusunda:

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+\mathrm{v}\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=f_x-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \qquad (3.16a)$$

y doğrultusunda:

$$u\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial x}+\mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial y}+w\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial z}=f_y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+v\left(\frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \mathrm{v}}{\partial z^2}\right) \qquad (3.16b)$$

z doğrultusunda:

$$u\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial x}+\mathrm{v}\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial y}+w\frac{\partial \mathrm{w}}{\partial z}=f_z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+v\left(\frac{\partial^2 \mathrm{w}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \mathrm{w}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \mathrm{w}}{\partial z^2}\right) \qquad (3.16c)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem 4.8 ve Denklem 4.9'daki ifadeler, Denklem 4.16'da yerlerine yazılırsa, x doğrultusundaki momentum ifadesini veren Denklem 3.17 elde edilir.

$$\begin{aligned}(\bar{u}+u')\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u}+u')+(\bar{\mathrm{v}}+\mathrm{v}')\frac{\partial}{\partial y}(\bar{u}+u')+(\bar{w}+w')\frac{\partial}{\partial z}(\bar{u}+u') \qquad (3.17)\\ =f_x-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial x}+\frac{\partial p'}{\partial x}\right)+v\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}+\frac{\partial^2 u'}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u'}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u'}{\partial z^2}\right)\end{aligned}$$

Denklem 3.12'deki terimlerin her birinin zamana bağlı ortalamasının alınmasıyla Denklem 3.17'nin Δt birim zamanı içindeki ortalaması elde edilebilir. Bu ifadeler Denklem 3.18a-Denklem 3.18k'yle açıklanabilir.

$$\overline{\bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}}=\bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \qquad (3.18a)$$

$$\overline{\bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}} = \bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad (3.18b)$$

$$\overline{\bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}} = \bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad (3.18c)$$

$$\overline{\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2}} = \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} \quad (3.18d)$$

$$\overline{\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2}} = \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \quad (3.18e)$$

$$\overline{\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}} = \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \quad (3.18f)$$

$$\frac{1}{\rho}\overline{\frac{\partial \bar{p}}{\partial x}} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} \quad (3.18g)$$

$$\frac{1}{\rho}\overline{\frac{\partial p'}{\partial x}} = 0 \quad (3.18h)$$

$$\overline{\frac{\partial^2 u'}{\partial x^2}} = \overline{\frac{\partial^2 u'}{\partial y^2}} = \overline{\frac{\partial^2 u'}{\partial z^2}} \quad (3.18i)$$

$$\overline{u'\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}} = \overline{v'\frac{\partial \bar{u}}{\partial y}} = \overline{w'\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}} = 0 \quad (3.18j)$$

$$\overline{\bar{u}\frac{\partial u'}{\partial x}} = \bar{v}\frac{\partial u'}{\partial y} = \bar{w}\frac{\partial u'}{\partial z} = 0 \quad (3.18k)$$

Türbülans tipli akışta, momentum eşitliğinin x yönündeki bileşenini elde etmek için Denklem 3.18a-Denklem 3.18k'deki ifadelerin, Denklem 3.17'de yazılması yeterli olur (Denklem 3.19).

$$\bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \overline{u'\frac{\partial u'}{\partial x}} + \overline{v'\frac{\partial u'}{\partial y}} + \overline{w'\frac{\partial u'}{\partial z}}$$
$$= f_x - \frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + v\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}\right) \quad (3.19)$$

Denklem 3.19'daki hız dalgaları:

$$u'\frac{\partial u'}{\partial x} = \frac{\partial (u')^2}{\partial x} - u'\frac{\partial u'}{\partial x} \tag{3.20a}$$

$$\mathrm{v}'\frac{\partial u'}{\partial y} = \frac{\partial (u'\mathrm{v}')}{\partial y} - u'\frac{\partial \mathrm{v}'}{\partial y} \tag{3.20b}$$

$$\mathrm{w}'\frac{\partial u'}{\partial z} = \frac{\partial (u'w')}{\partial z} - u'\frac{\partial \mathrm{w}'}{\partial z} \tag{3.20c}$$

şeklinde de ifade edilebilir ve Denklem 3.19'da yazılıp düzenlenirse, türbülans tipli akış için x doğrultusundaki momentum eşitliğini veren Denklem 21 elde edilir.

$$\begin{aligned}\bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{\mathrm{v}}\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} &= f_x - \frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} \\ &+ \frac{1}{\rho}\left[\mu\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}\right) - \frac{\partial}{\partial x}\left(\overline{\rho u'^2}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(\overline{\rho u'\mathrm{v}'}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\overline{\rho u'\mathrm{w}'}\right)\right]\end{aligned} \tag{3.21}$$

Aynı adımlar y ve z doğrultuları için yapılırsa, y ve z doğrultularındaki momentum denklemleri elde edilir (Denklem 3.22, Denklem 3.23).

$$\begin{aligned}\bar{u}\frac{\partial \bar{\mathrm{v}}}{\partial x} + \bar{\mathrm{v}}\frac{\partial \bar{\mathrm{v}}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{\mathrm{v}}}{\partial z} &= f_y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} \\ &+ \frac{1}{\rho}\left[\mu\left(\frac{\partial^2 \bar{\mathrm{v}}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\mathrm{v}}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{\mathrm{v}}}{\partial z^2}\right) - \frac{\partial}{\partial x}\left(\overline{\rho u'\mathrm{v}'}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(\overline{\rho \mathrm{v}'^2}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\overline{\rho v'\mathrm{w}'}\right)\right]\end{aligned} \tag{3.22}$$

$$\begin{aligned}\bar{u}\frac{\partial \bar{\mathrm{w}}}{\partial x} + \bar{\mathrm{v}}\frac{\partial \bar{\mathrm{w}}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{\mathrm{w}}}{\partial z} &= f_z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial z} \\ &+ \frac{1}{\rho}\left[\mu\left(\frac{\partial^2 \bar{\mathrm{w}}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\mathrm{w}}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{\mathrm{w}}}{\partial z^2}\right) - \frac{\partial}{\partial x}\left(\overline{\rho u'\mathrm{w}'}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(\overline{\rho v'\mathrm{w}'}\right)\right. \\ &\left. - \frac{\partial}{\partial z}\left(\overline{\rho \mathrm{w}'^2}\right)\right]\end{aligned} \tag{3.23}$$

Kararlı reji şartında, sıkıştırılamaz Newton tipi laminer akışın momentum ifadesinin bir başka gösterimi Denklem 3.24'te görülebilir.

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{u}_i\bar{u}_j\right) = f_i - \frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{\mu}{\rho}\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i}\right)\right] + \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho\overline{u_i'u_j'}\right) \qquad (3.24)$$

Kararlı rejim şartında, sıkıştırılamaz Newton tipi laminer akışın enerji ifadesi Denklem 3.25'te görülebilir.

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + \mathrm{v}\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \frac{v}{c_p}\phi_{\mathrm{v}} + \frac{u'''}{\rho c_p} \qquad (3.25)$$

Denklem 3.25'teki u''' ifadesi sistemin enerji üretimini, α ifadesi ısı yayınım katsayısını $\left(\alpha = k/\left(\rho.c_p\right)\right)$ ve ϕ_{v} ifadesi dağılma fonksiyonunu temsil etmektedir ve ϕ_{v} ifadesi Denklem 3.26'daki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}\phi_{\mathrm{v}} = 2\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \mathrm{v}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial \mathrm{v}}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial \mathrm{v}}{\partial z}\right)^2 \\ + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial \mathrm{u}}{\partial z}\right)^2 \qquad (3.26)\end{aligned}$$

Enerji denkleminde de momentum denklemindeki gibi gerekli düzletmeler yapıldıktan sonra türbülanslı tipteki akış için zamana göre ortalaması alının enerji denklemi elde edilir (Denklem 3.27).

$$\begin{aligned}\bar{u}\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \bar{\mathrm{v}}\frac{\partial \bar{T}}{\partial y} + \bar{\mathrm{w}}\frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \\ = \alpha\left(\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial z^2}\right) \qquad (3.27) \\ - \frac{1}{\rho c_p}\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho c_p\overline{u'T'}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\rho c_p\overline{\mathrm{v}'T'}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\rho c_p\overline{w'T'}\right)\right) + \frac{v}{c_p}\bar{\phi}_{\mathrm{v}} + \frac{u'''}{\rho c_p}\end{aligned}$$

Kararlı reji şartında, sıkıştırılamaz Newton tipi laminer akışın enerji ifadesinin farklı bir gösterilişi de Denklem 3.28'de görülmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{u}_j\bar{T}\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\alpha\left(\frac{\partial\bar{T}}{\partial x_j}\right)\right] + \frac{1}{\rho c_p}\frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho c_p\overline{u_j'T'}\right) + \frac{v}{c_p}\bar{\phi}_{\mathrm{v}} + \frac{u'''}{\rho c_p} \qquad (3.28)$$

Denklem 3.28'deki $\bar{\phi}_{\mathrm{v}}$ ifadesinin bir başka gösteriliş şekli Denklem 3.29'da görülebilir.

$$\bar{\phi}_{\mathrm{v}} = \left(\frac{\partial\bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial\bar{u}_j}{\partial x_i} + \delta_{ij}\right)\frac{\partial\bar{u}_i}{\partial x_j} + \left(\frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} + \delta_{ij}\right)\frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \qquad (3.29)$$

Denklem 3.29'daki δ_{ij} ifadesi Kronecker delta olarak isimlendirilir. İ ve birbirine eşit ise terim 1'e eşit, eğer i ve j birbirine eşit değil ise terim 0'a eşittir.

Bu çalışmada, sayısal çözümlemede kullanılan türbülans modeli, literatürdeki yaygın kullanımı ve akış şartlarını ifade edişinden dolayı, *SST k-w* türbülans modelidir.

Türbülans tipli akışta, akışın sahip olduğu özelikler değişkendir. Bu değişkenlik, zamana bağlı ortalaması alınmış denklemlerin kullanımı ile bulunabilir. Viskoz gerilmelerin akışkandaki deformasyonla orantılı olduğu, Newton'un viskozite yasasında anlatılmaktadır ve viskoz gerilmeler sıkıştırılamaz akış koşulu için Denklem 3.30'daki gibi ifade edilebilir.

$$\tau_{ij} = \mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \qquad (3.30)$$

Boussinesq yöntemi sayesinde, türbülans tipli akıştaki zamana bağlı akış denklemleri çözülebilir. Bu yaklaşımda kullanılan Reynolds gerilmeleri Denklem 3.31'deki gibi ifade edilebilir.

$$\tau_{ij} = -\rho\overline{u_i'u_j'} = \mu_t\left(\frac{\partial\bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial\bar{u}_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\rho k\delta_{ij} \qquad (3.31)$$

Denklem 3.31'deki μ_t türbülans viskozitesini ve k da özgül türbülans kinetik enerjisini temsil etmektedir. Bu yaklaşıma göre herhangi bir değişken olan λ'nin türbülans taşınımı Denklem 3.32'de görülmektedir.

$$-\rho\overline{u_i'\lambda'} = \Gamma_t = \left(\frac{\partial\bar{\lambda}}{\partial x_i}\right) \tag{3.32}$$

Denklem 3.32'deki Γ_t ifadesi türbülans difüzyon katsayısını temsil etmektedir ve Denklem 3.33'teki gibi ifade edilebilir.

$$\Gamma_t = \frac{\mu_t}{\sigma_t} \tag{3.33}$$

Denklem 3.33'teki σ_t ifadesi Prandtl sayısının Schmidt sayısına oranını temsil etmektedir.

3.3. *SST k-w* Türbülans Modeli

k ile gösterilen türbülans kinetik enerjisi ve *w* ile gösterilen özgül yayınım hızı, taşınım denklemleri olan Denklem 3.34 ve Denklem 3.35 ile hesaplanır.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + G_k - Y_k + S_k \tag{3.34}$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_w \frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + G_w - Y_w + S_w \tag{3.35}$$

Denklem 3.34'teki G_k terimi hız gradyanı ortalamasının türbülans kinetik enerjisini, Denklem 3.35'teki G_w terimi *w*'nın üretimini, Γ_k ve Γ_w terimleri k ve w için etkili yayınımı, Y_k ve Y_w k ve w için türbülans kaynaklı yayınımı, $S_k$ve S_w terimleri kullanıcı tanımlı kaynağı ve D_w terimi çapraz yayınımı temsil etmektedir.

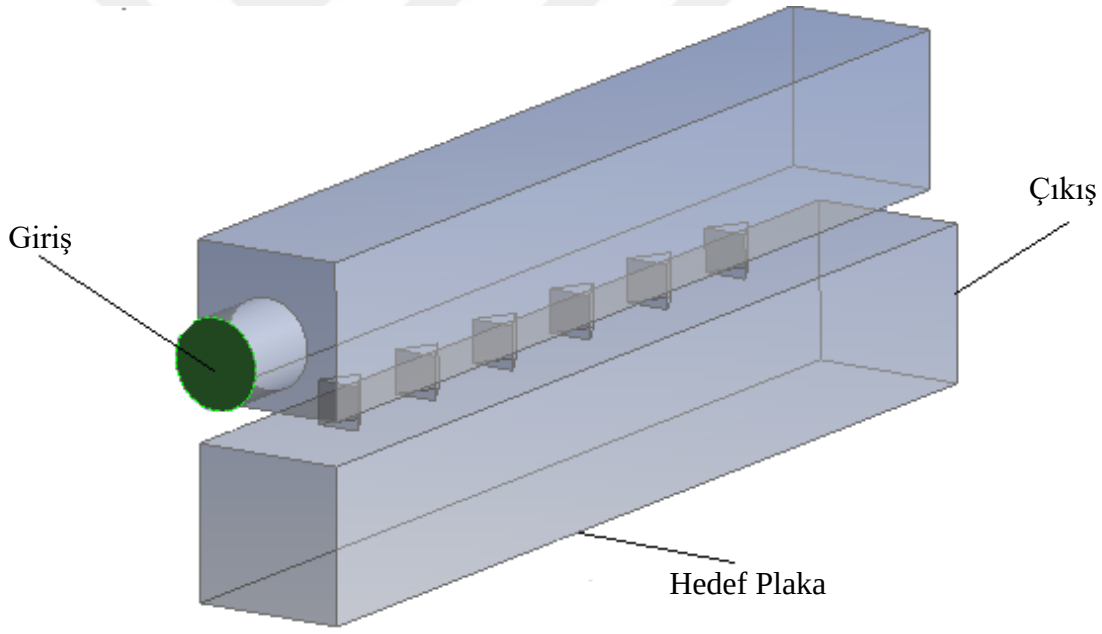
3.4. Çözüm Prosedürü

Çalışmanın bu bölümünde yapılan sayısal çözümleme adımları hakkında bilgi verilecektir. Çözümlemede kullanılan sınır şartları, ağ yapısı ve doğrulama çalışmalarından bahsedilecektir.

Sayısal çözümleme yaparken bazı kabullerin yapılması gereklidir. Bunlar:

1. Sürekli rejim şartı kabul edilmiştir.
2. Akışkan özelikleri değişken değildir.
3. Işınımla gerçekleşen ısı geçişi ihmal edilmiştir.

3.4.1. Sınır şartları



Şekil 3.3. Sayısal çözümlemede kullanılan geometri

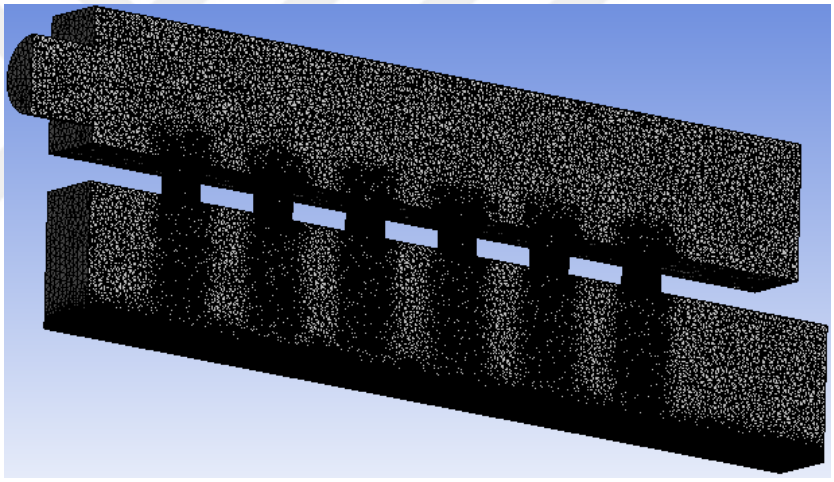
Şekil 3.3'te sayısal çözümlemede kullanılan geometri görülmektedir. Analizde kullanılan akışkan havadır. Hava, girişten üniform 323 K sıcaklığında ve sabit hızda girmektedir. Girişin hidrolik çapı 0,021 mm'dir ve girişteki türbülans yoğunluğu Denklem 3.36 ile hesaplanmıştır.

$$I = 0{,}16Re^{-1/8} \tag{3.36}$$

Duvarlarda kaymama sınır şartı kullanılmıştır ve hedef plaka yüzeyinin sıcaklığı, sabit 294 K olarak alınmıştır, diğer yüzeyler adyabatik olarak alınmıştır. Çıkışta, basınç çıkışı şartı kullanılmıştır. Çıkıştaki hidrolik çap 0,036 mm olarak alınmıştır ve türbülans yoğunluğu Denklem 3.36 ile hesaplanmıştır.

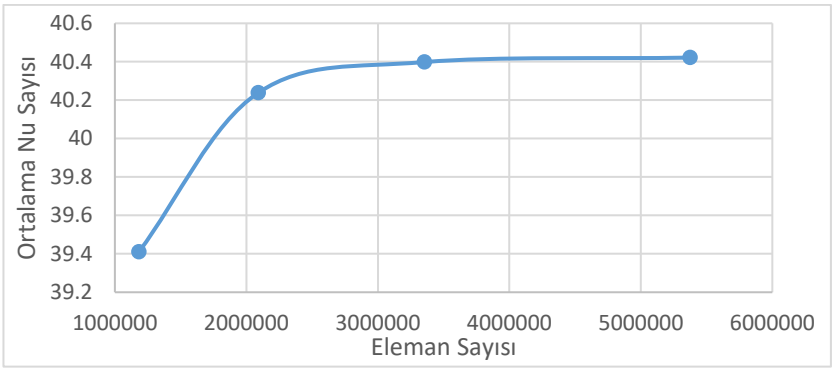
3.4.2. Ağ yapısı

Sayısal problemlerin çözümünde, ağ yapısının doğru seçimi hem sonuçların doğruluğu açısından hem de çözümlemenin tutacağı zaman açısından önemli bir rol oynar. Bu nedenle, akışkan hızının daha yüksek olduğu bölgelerde (jetler ve hedef plaka yüzeyi) daha yoğun bir ağ yapısı oluşturulmuştur (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Sayısal çözümlemede kullanılan örnek bir geometri kesitinin ağ yapısı

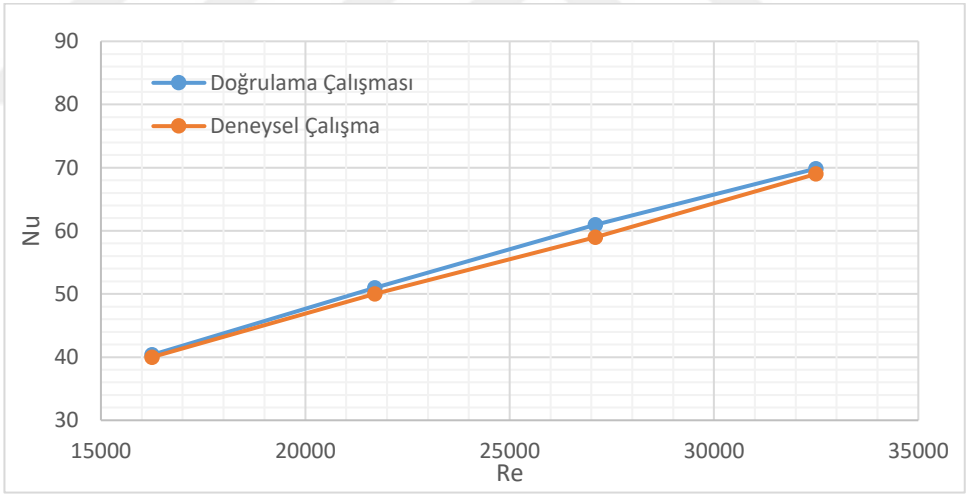
Sayısal analizlerde, yapılan çözümlemenin doğruluk kriterlerinden biri ağdan bağımsızlıktır. Bu çalışmada 4 farklı ağ yapısı ele alınmıştır (Şekil 3.5) ve üçüncü ağ yapısından dördüncü ağ yapısına geçerken hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayısındaki değişim oldukça düşük olduğu için üçüncü ağ yapısı tercih edilmiştir.



Şekil 3.5 Ağdan bağımsızlık eğrisi

3.4.3. Doğrulama çalışması

Bu çalışmada kullanılan sayısal çözümle metodunun doğruluğu, Tepe'nin 2020 yılında yaptığı deneysel ve sayısal verileri içeren çalışmasındaki uzatılmamış jet delikli modeli sayısal olarak çözülmüştür.



Şekil 3.6. Doğrulama ve deneysel çalışmadaki hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayısının Re sayısına bağlı değişimleri

Şekil 3.6'da da görüldüğü üzere, deneysel çalışmadaki ortalama Nu sayısı değerlerinin, doğrulama çalışmasındaki ortalama Nu sayısı değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Doğrulama çalışmasında kullanılan ağ yapısı ve sınır şartları çalışmanın diğer çözümlemeleri için kullanılmıştır.

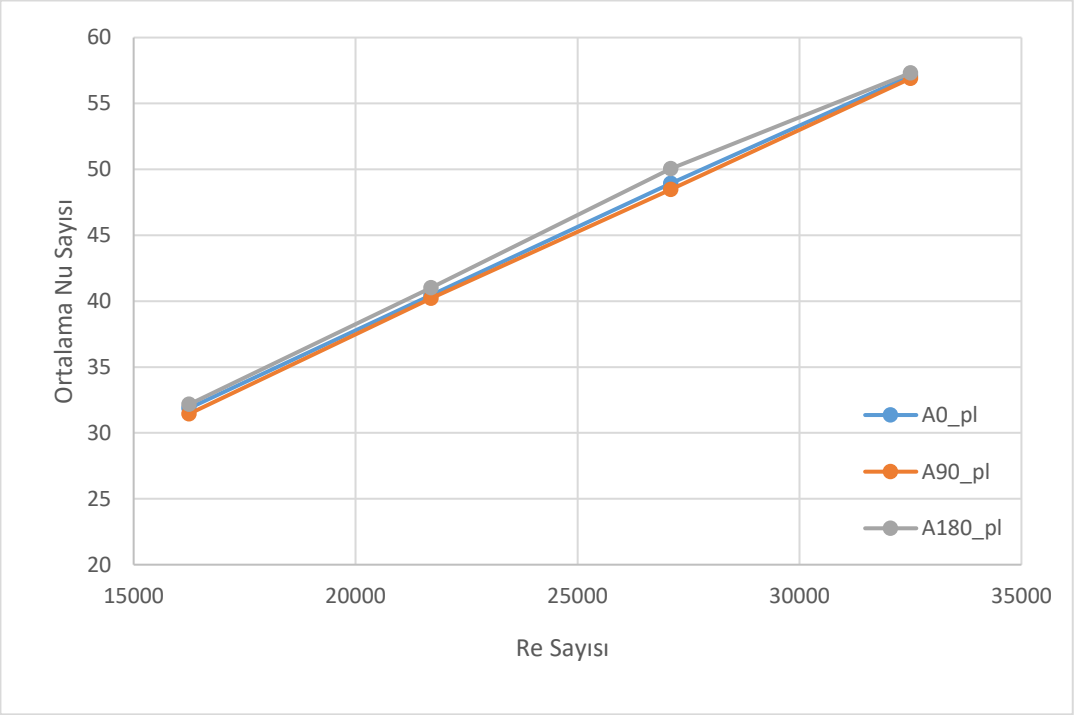
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Ansys Fluent versiyon 19.2 kullanılarak elde edilen bulgular incelenmiştir. Re sayısındaki, üçgen jetlerin açıları ve hedef plaka malzemelerinin değişiminin hedef plaka üzerindeki ortalama ve yerel Nu sayılarına etkisi ele alınmıştır.

4.1. Üçgen Jet Açılarının Ortalama Nu Sayısına Etkisi

Nu bölümde üçgen jetlerin açılarındaki değişikliklerin hedef plaka yüzeyi üzerindeki ortalama Nu sayısına etkisi ele alınmıştır.

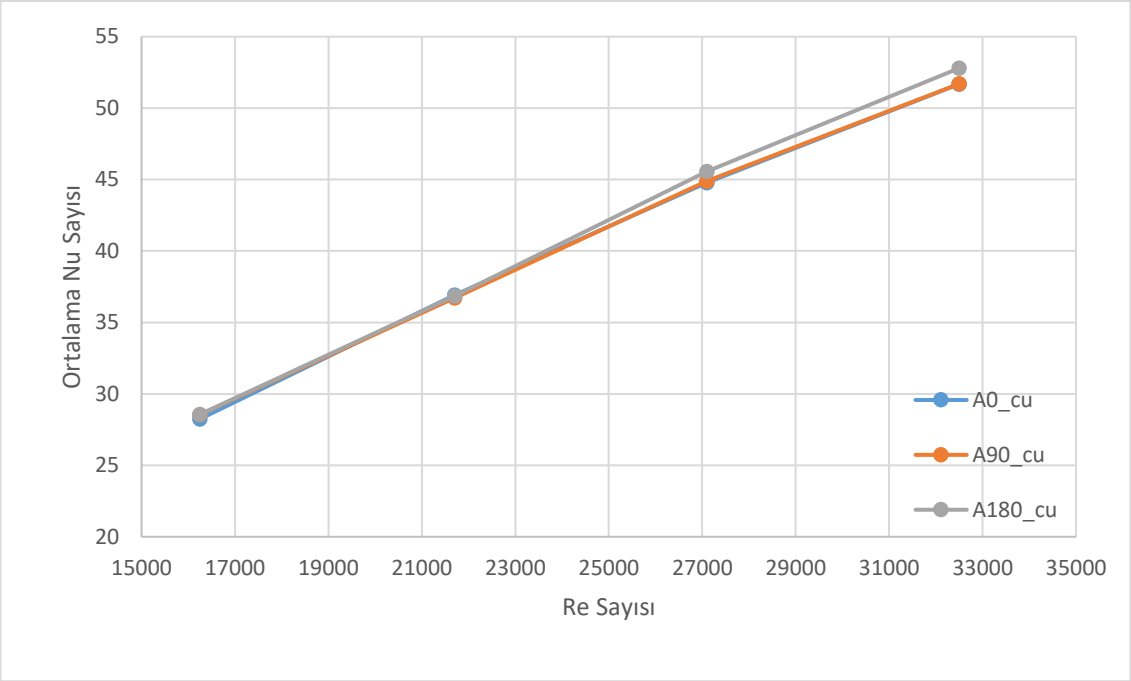
4.1.1. Pleksiglas hedef plaka



Şekil 4.1. Üçgen jet açılarının, pleksiglas hedef plaka üzerindeki ortamla Nu sayısına etkisi

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, üçgen jet açılarındaki değişim, pleksiglastan yapılmış hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayılarında dikkate alınabilecek ölçüde değişiklikte bulunmamıştır. Re sayısı arttıkça hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayıları artmıştır.

4.1.1. Bakır hedef plaka

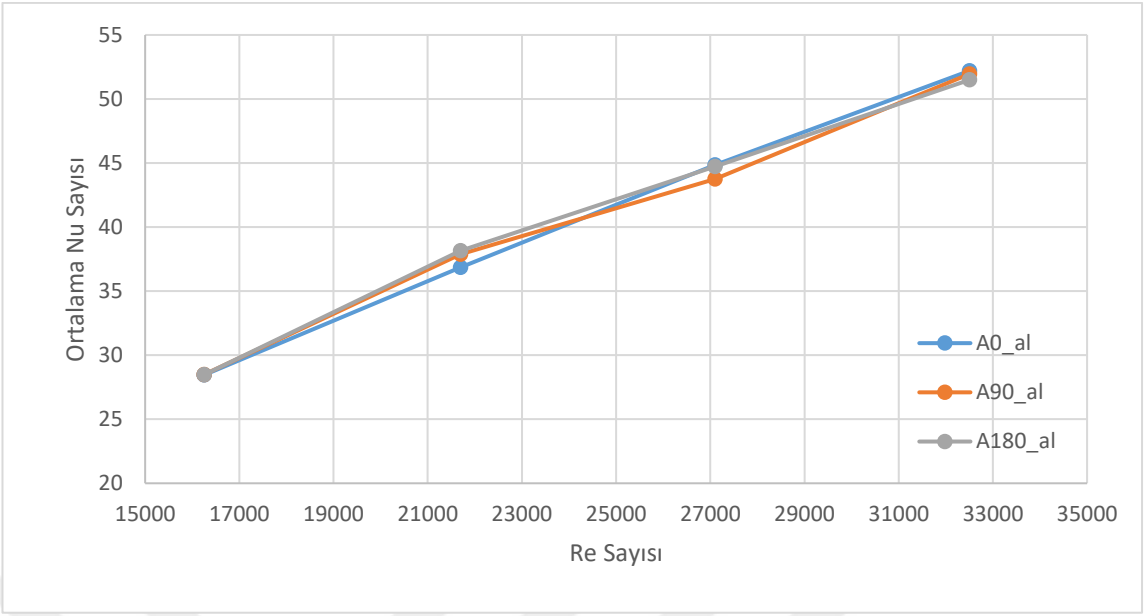


Şekil 4.2. Üçgen jet açılarının, bakır hedef plaka üzerindeki ortamla Nu sayısına etkisi

Bakırdan yapılmış hedef plaka için üçgen jetlerin açılarındaki değişiklikler, hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayılarına etkisi, büyük bir etkiye neden olmamıştır. Re sayısındaki artış ortalama Nu sayısında artışa neden olmuştur (Şekil 4.2).

4.1.1. Alüminyum hedef plaka

Alüminyumdan yapılmış hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayısı, üçgen jetlerin açılarındaki değişikliklerden etkilenmediği Şekil 4.3'e bakılarak görülebilir. Re sayısı arttıkça hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayısı artmıştır.



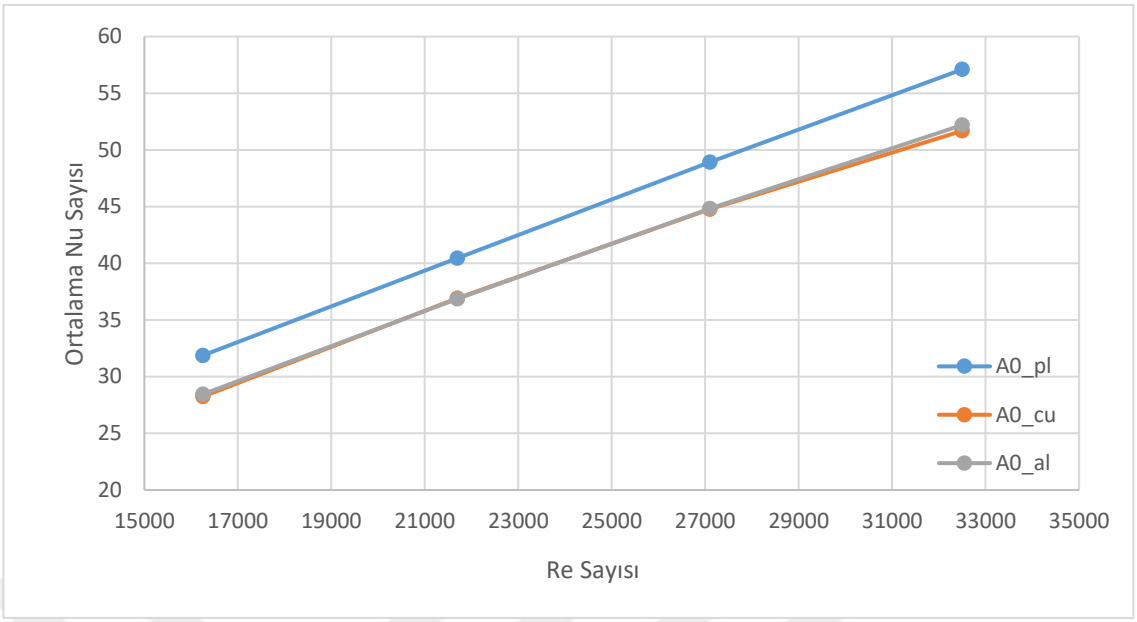
Şekil 4.3. Üçgen jet açılarının, alüminyum hedef plaka üzerindeki ortamla Nu sayısına etkisi

4.2. Hedef Plaka Malzemesinin Ortalama Nu Sayısına Etkisi

Bu bölümde, hedef plakanın yapıldığı malzemedeki değişimin, hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayısındaki değişime etkisi ele alınmıştır.

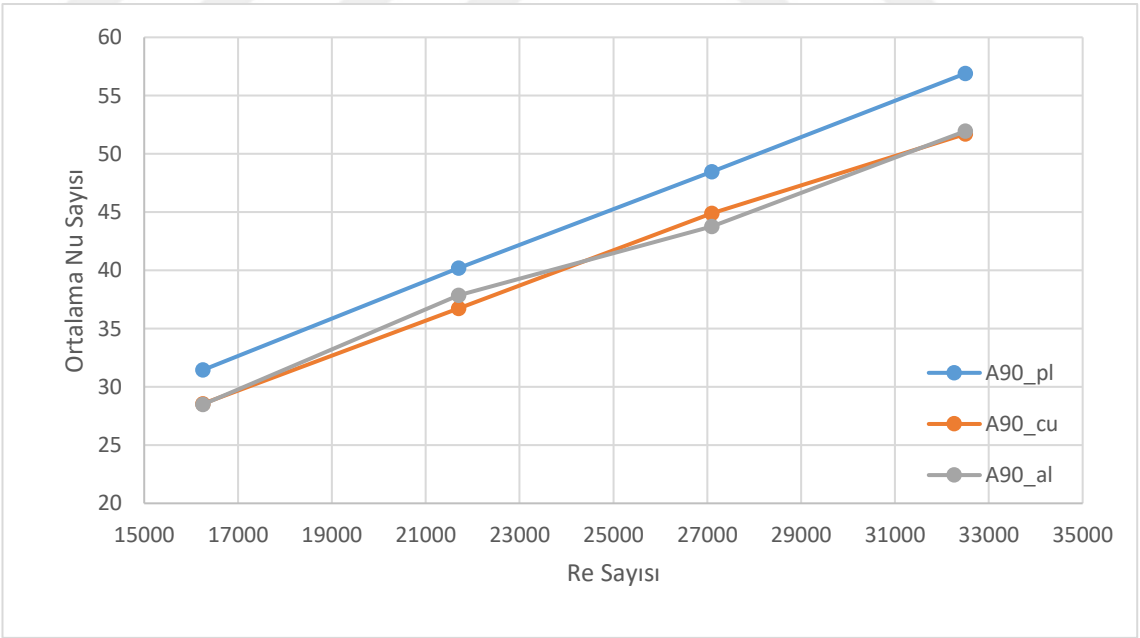
4.2.1. A0 jet plaka tipi

Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, alüminyum ve bakır hedef plakalarının ortalama Nu sayıları birbirine eşitken, pleksiglas hedef plakasının ortalama Nu sayısı diğer ikisinden %10 daha fazladır. Ayrıca Re sayısı arttıkça Ortalama Nu sayışları artmıştır.



Şekil 4.4. A0 jet plaka tipinde, hedef plaka malzemesindeki değişikliğin ortalama Nu sayısına etkisi

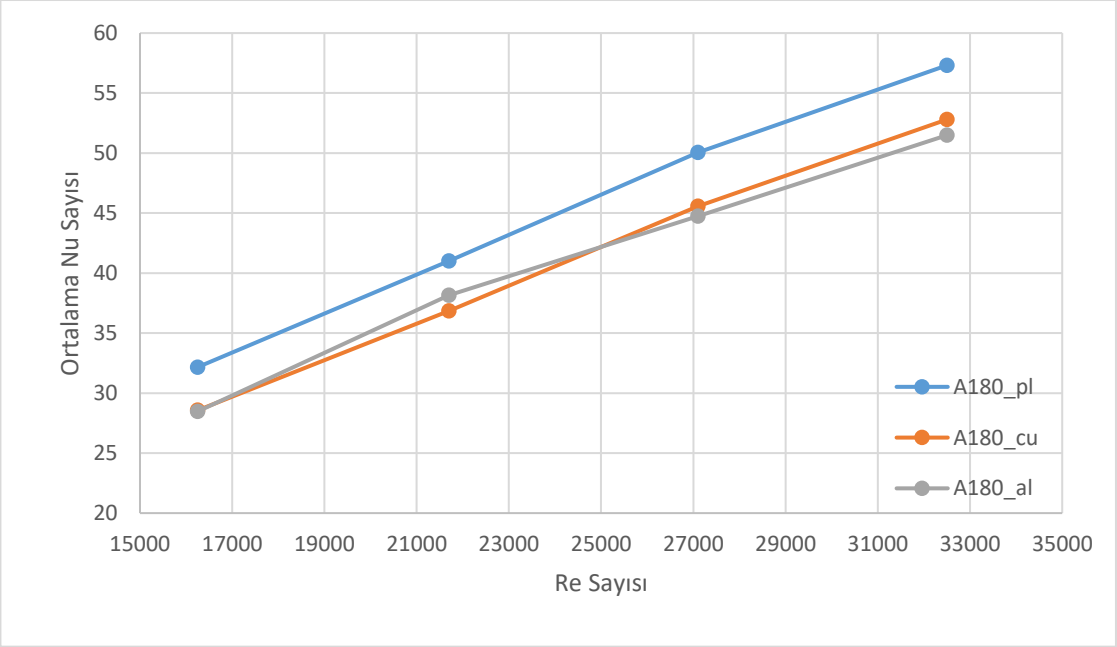
4.2.2. A90 jet plaka tipi



Şekil 4.5. A90 jet plaka tipinde, hedef plaka malzemesindeki değişikliğin ortalama Nu sayısına etkisi

Şekil 4.5'e bakıldığında alüminyum ve bakır hedef plakaların ortalama Nu sayıları birbirine yaklaşık olarak eşitken, pleksiglas hedef plakanın ortalama Nu sayısının, diğer ikisinden yaklaşık olarak %10 daha yüksek olduğu görülebilir ve Re sayısı arttıkça ortalama Nu sayısı değerleri artmaktadır.

4.2.3. A180 jet plaka tipi



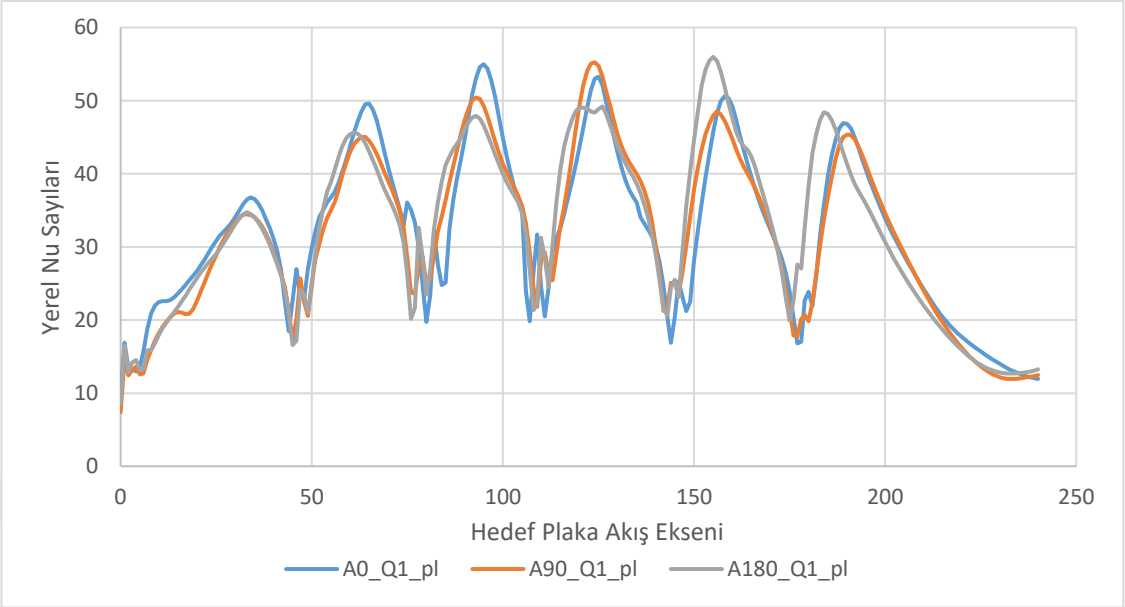
Şekil 4.6. A180 jet plaka tipinde, hedef plaka malzemesindeki değişikliğin ortalama Nu sayısına etkisi

Şekil 4.6'ya bakıldığında, bakır ve alüminyum hedef plakalarının ortalama Nu sayıları yaklaşık olarak birbirine eşitken, Pleksiglas hedef plakanın ortalama Nu sayısının diğerlerine göre yaklaşık olarak %10 daha yüksek olduğu görülmektedir ve Re sayısı arttıkça ortalama Nu sayısı artmaktadır.

4.3. Üçgen Jet Açılarının Yerel Nu Sayılarına Etkisi

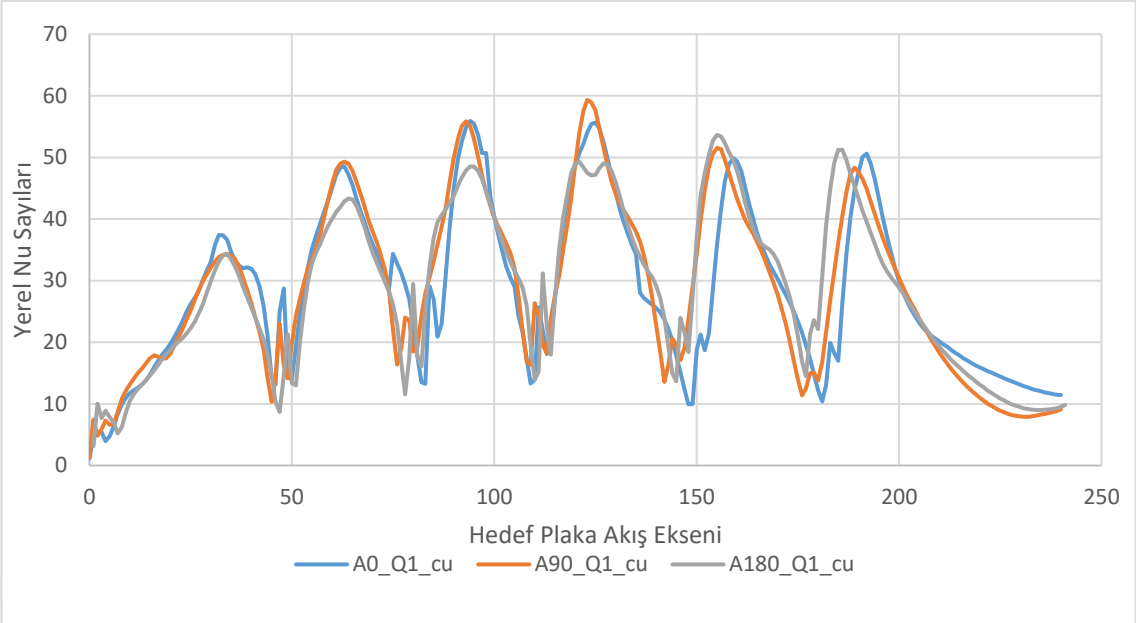
Bu bölümde, üçgen jet açılarındaki değişikliklerin hedef plaka üzerindeki yerel Nu sayılarına etkisi ele alınmıştır.

4.3.1. Re=16250



Şekil 4.7. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının pleksiglas hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=16250)

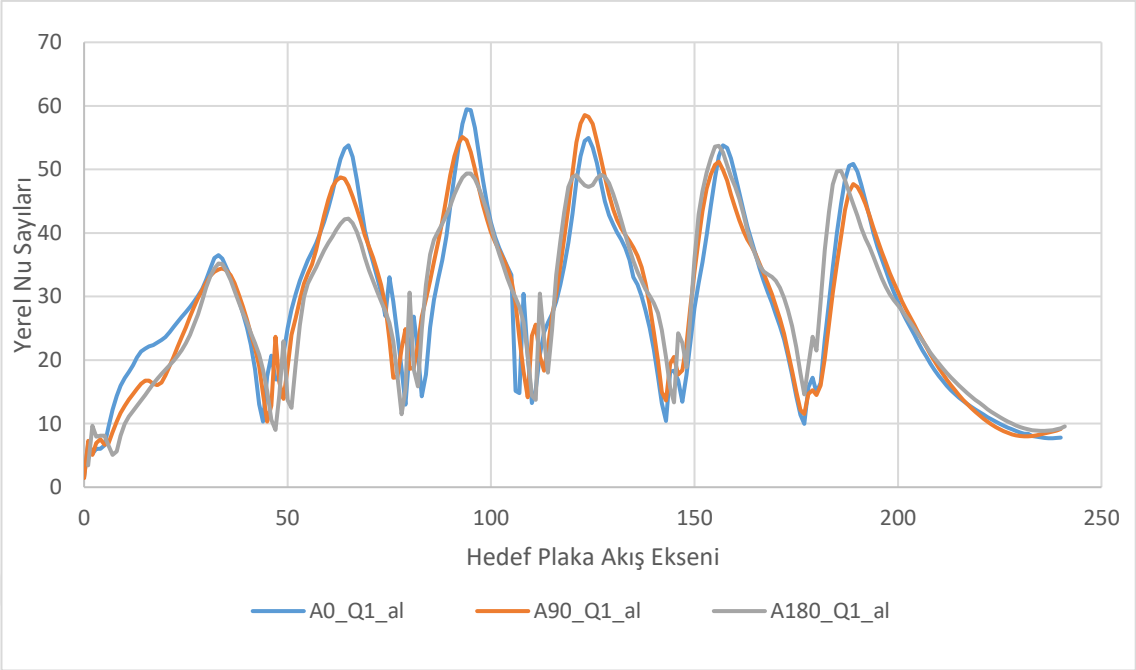
Şekil 4.7'de pleksiglas hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A180 olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.8. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının bakır hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=16250)

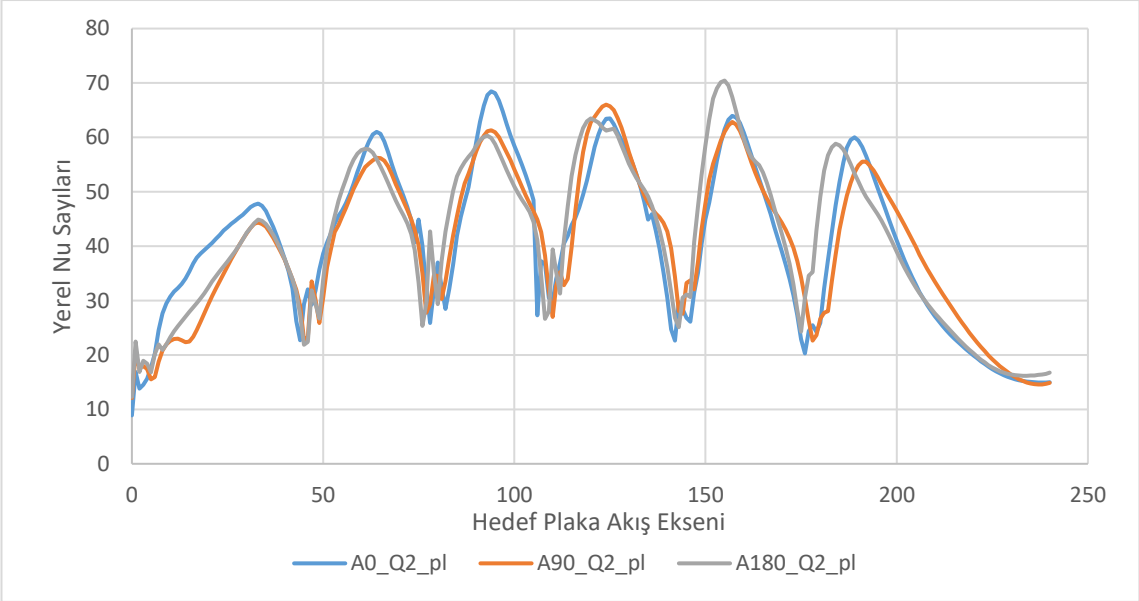
Şekil 4.8'de bakır hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A90 olduğu da görülmektedir.

Şekil 4.9'da alüminyum hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A0 olduğu da görülmektedir.



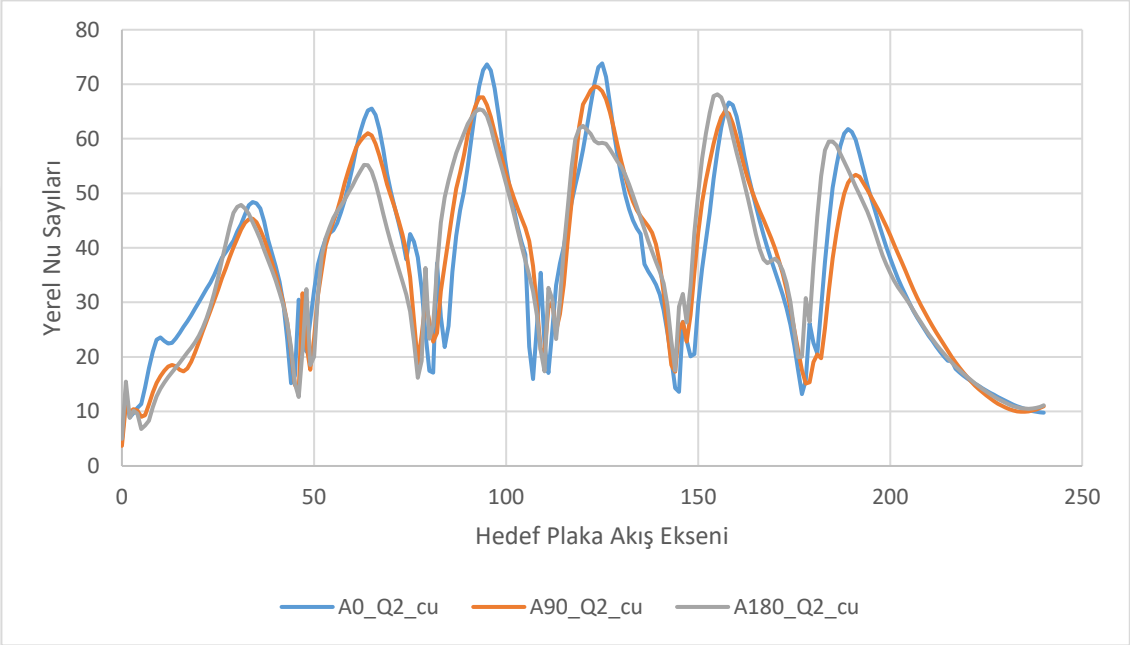
Şekil 4.9. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının alüminyum hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=16250)

4.3.2. Re=21700



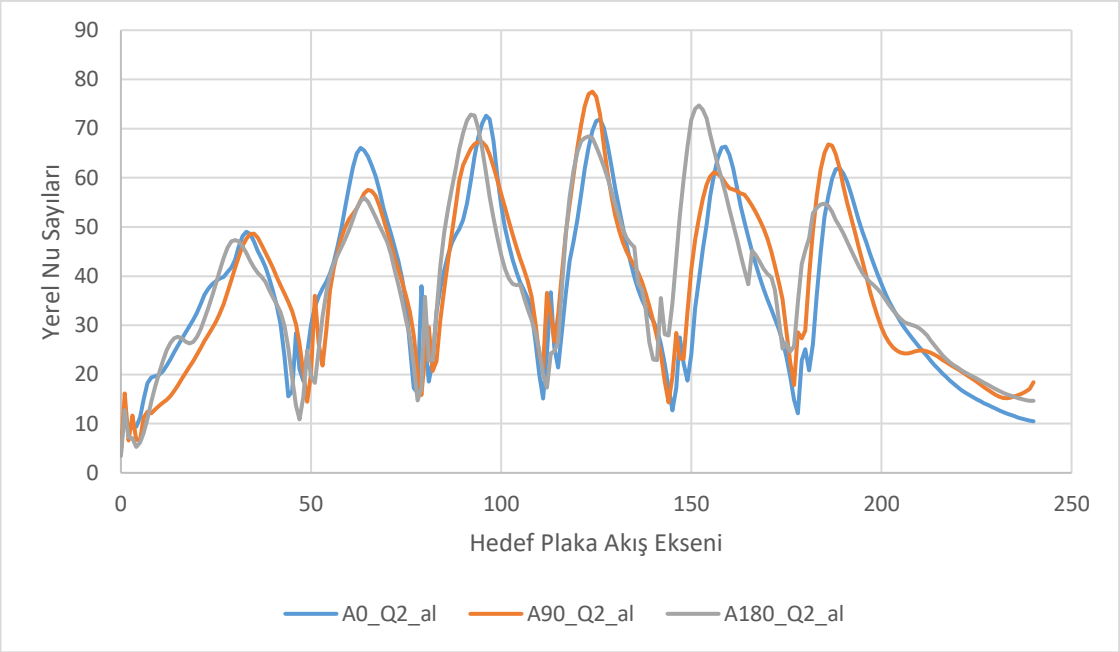
Şekil 4.10. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının pleksiglas hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=21700)

Şekil 4.10'da pleksiglas hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A180 olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.11. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının bakır hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=21700)

Şekil 4.11'da bakır hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A0 olduğu da görülmektedir.

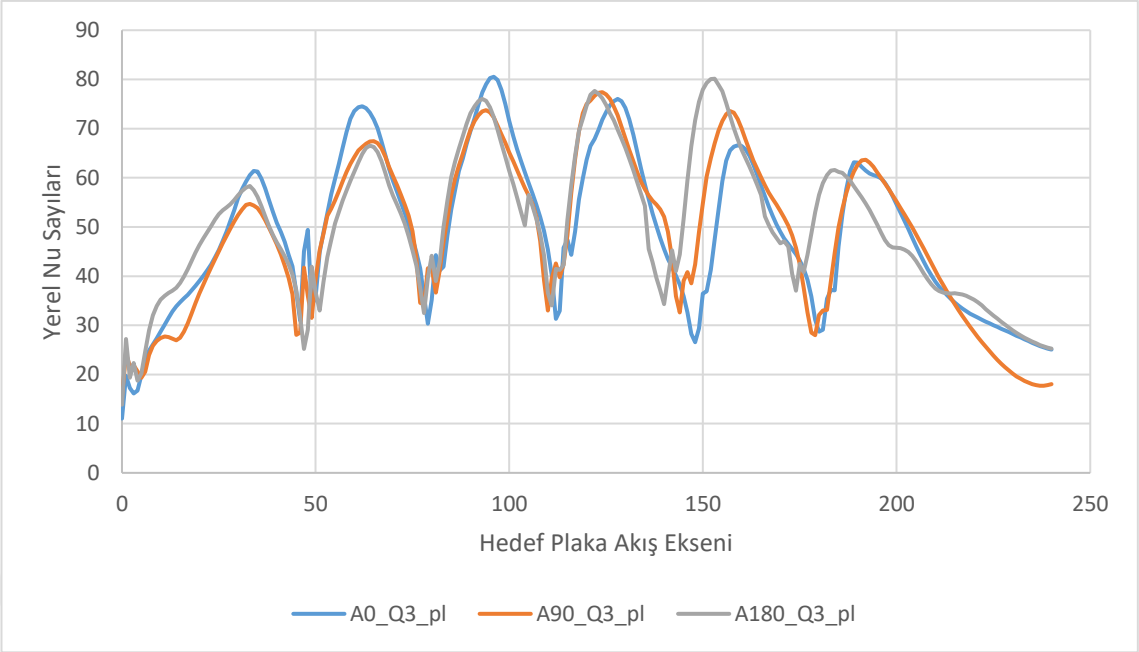


Şekil 4.12. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının alüminyum hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=21700)

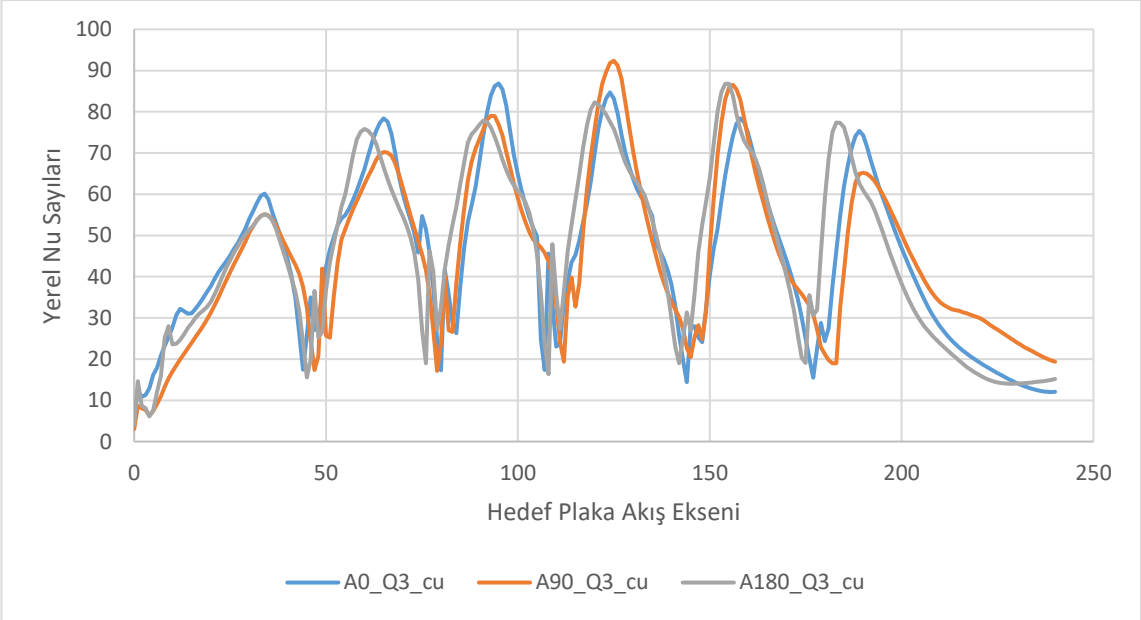
Şekil 4.12'da alüminyum hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A90 olduğu da görülmektedir.

4.3.3. Re=27100

Şekil 4.13'te pleksiglas hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için 3. jette, A90 jet plakası için 4. Jette ve A180 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A180 olduğu da görülmektedir.

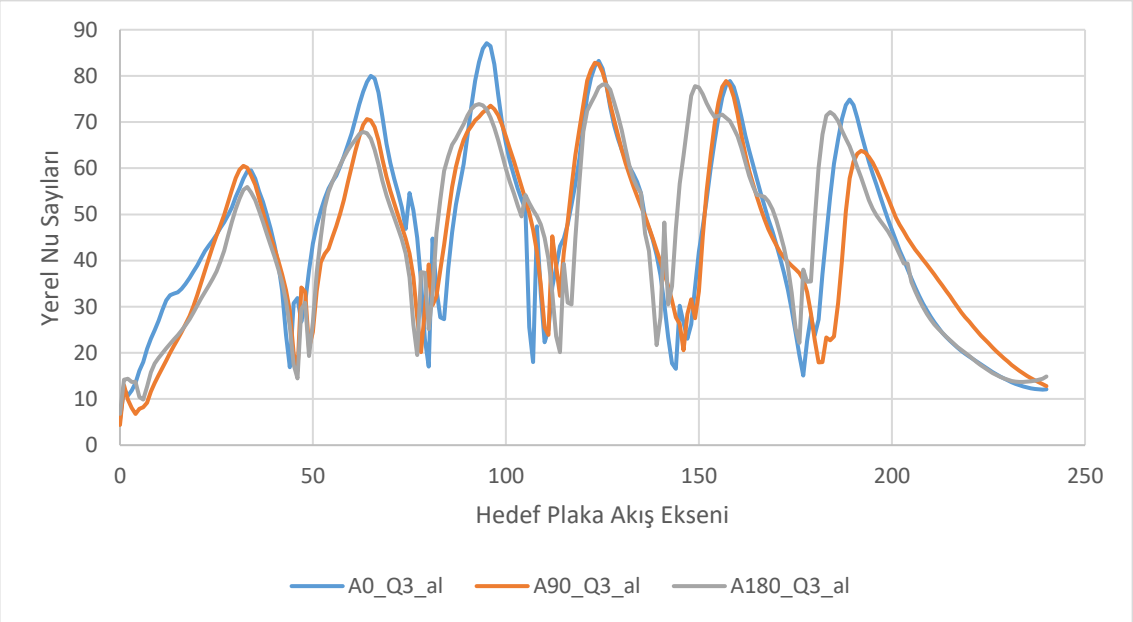


Şekil 4.13. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının pleksiglas hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=27100)



Şekil 4.14. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının bakır hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=27100)

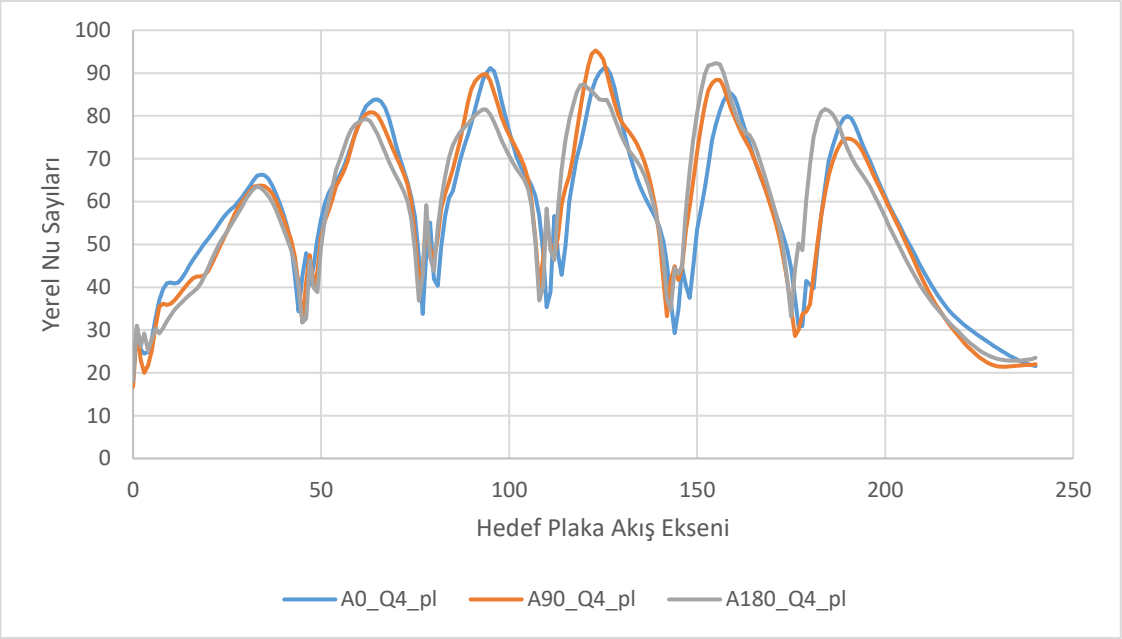
Şekil 4.14'te bakır hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için 3. jette, A90 jet plakası için 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A90 olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.15. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının alüminyum hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=27100)

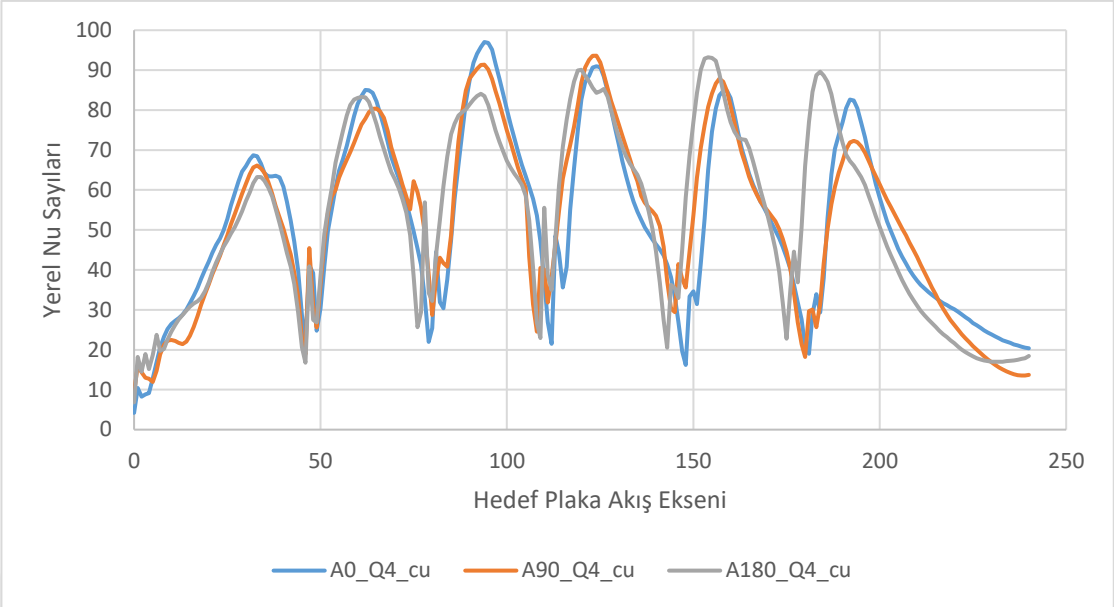
Şekil 4.15'te alüminyum hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için 3. jette, A90 jet plakası için 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A0 olduğu da görülmektedir.

4.3.4. Re=32500



Şekil 4.16. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının pleksiglas hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=32500)

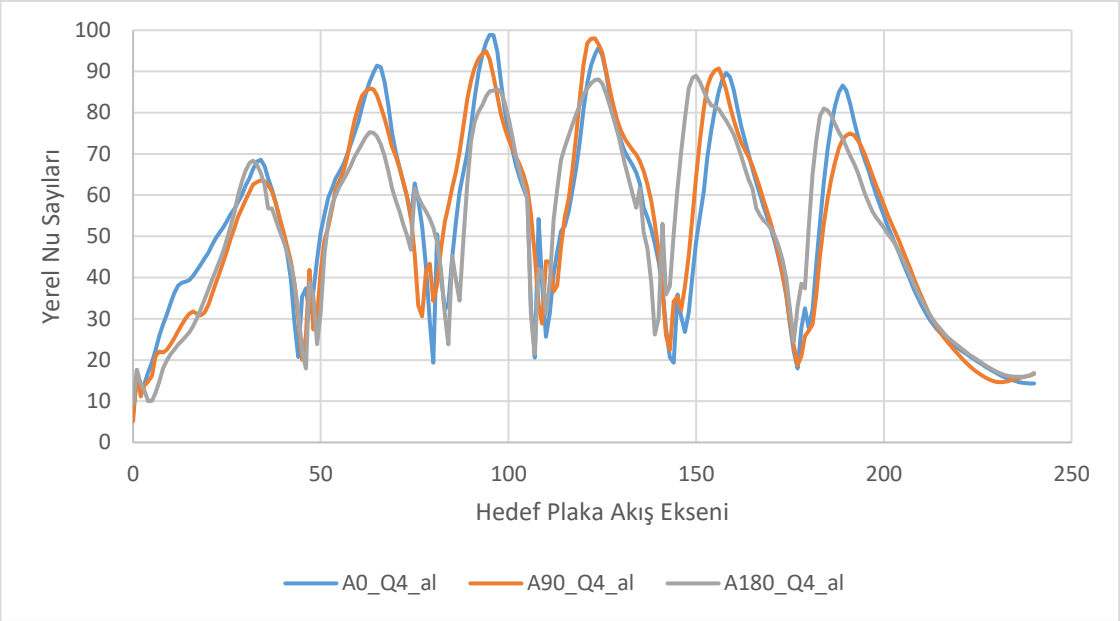
Şekil 4.16'da pleksiglas hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A90 olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.17. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının bakır hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=32500)

Şekil 4.17'da bakır hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A0 olduğu da görülmektedir.

Şekil 4.18'de alüminyum hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı üçgen jet açıları için dağılımı görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette, A90 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 4. jette ve A180 jet plakası için en yüksek değer 5. jette görülmektedir. A180 jet plakasında son jetlere doğru gidildikçe çarpma notasının akış doğrultusuna ters yönde kaymaya başladığı görülmektedir. Jet plaka tipleri arasındaki en yüksek Nu sayısına sahip olanın A0 olduğu da görülmektedir.



Şekil 4.18. Farklı üçgen jet açıları için yerel Nu sayılarının alüminyum hedef plaka üzerindeki dağılımı (Re=32500)

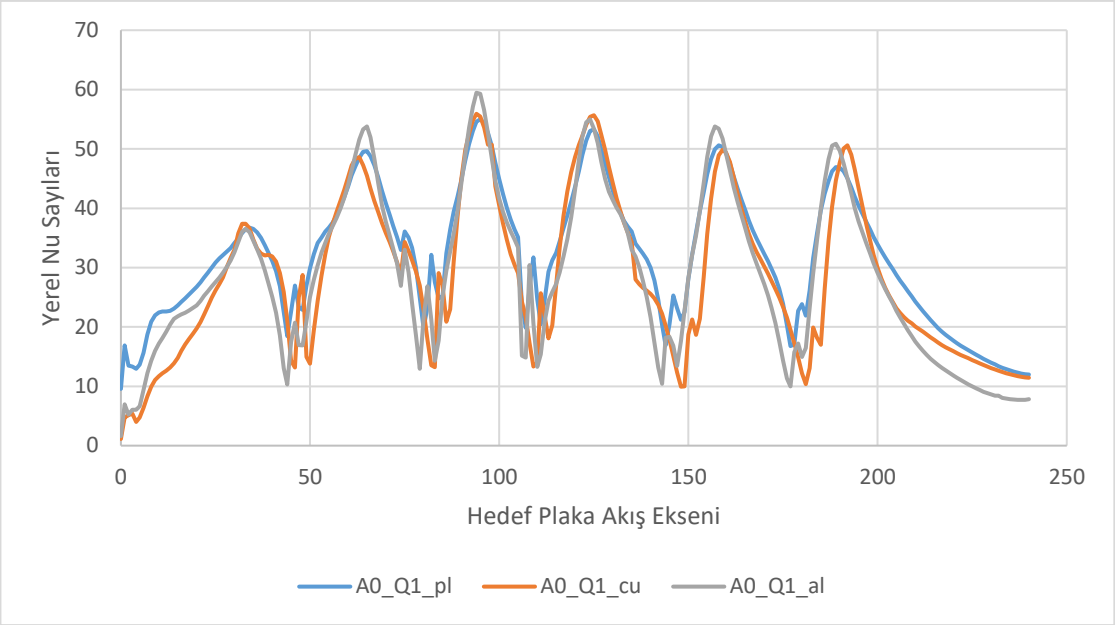
4.4. Hedef Plaka Malzemesinin Yerel Nu Sayılarına Etkisi

Bu bölümde, hedef plaka malzemesindeki değişikliklerin hedef plaka üzerindeki yerel Nu sayılarına etkisi ele alınmıştır.

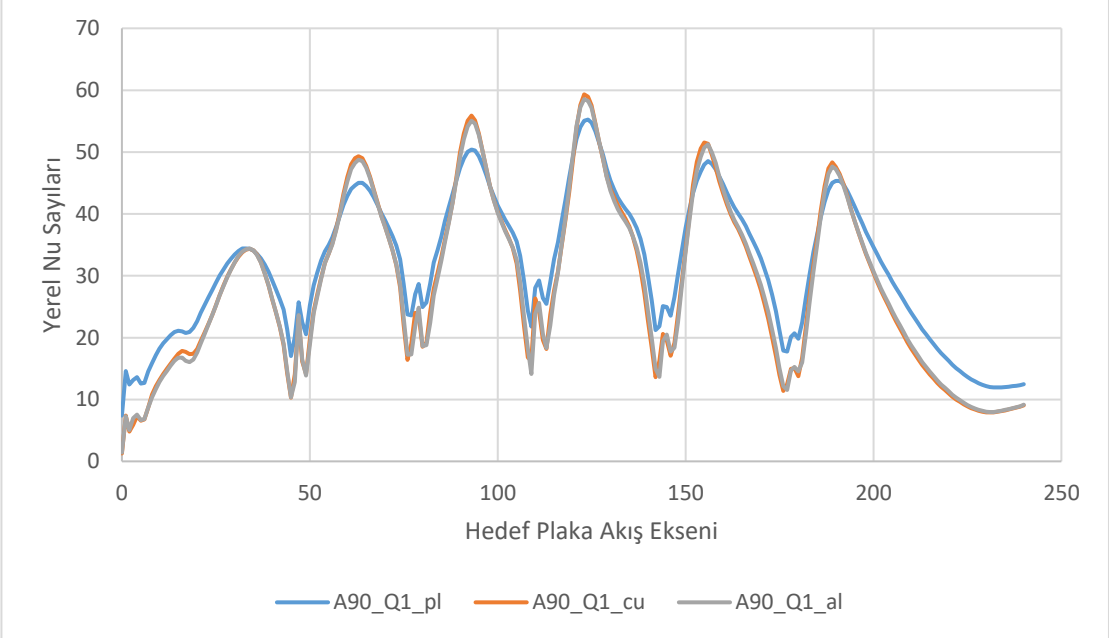
4.4.1. Re=16250

Şekil 4.19'de hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 3. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı alüminyumda görülmektedir.

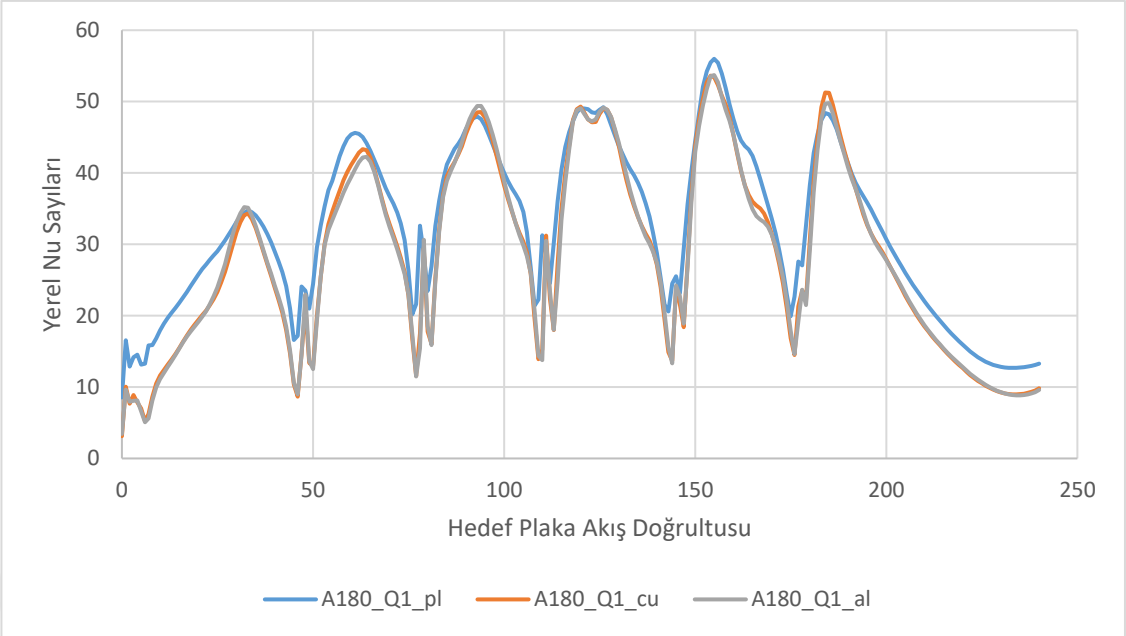
Şekil 4.20'de hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 4. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı bakır ve alüminyumda görülmektedir.



Şekil 4.19. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A0 jet plakası)



Şekil 4.20. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A90 jet plakası)



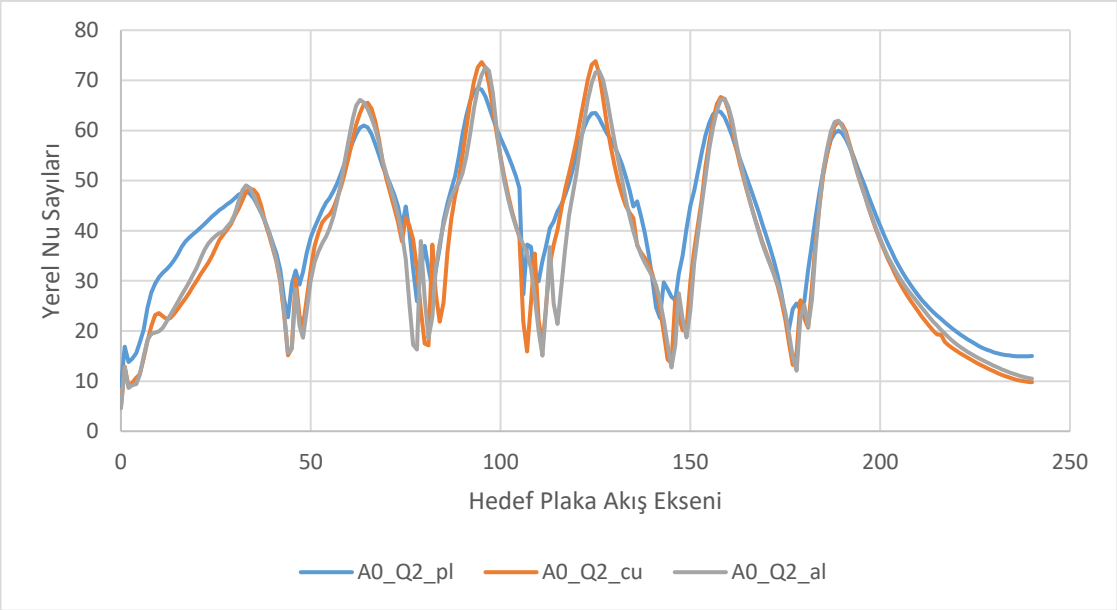
Şekil 4.21. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A180 jet plakası)

Şekil 4.21'de hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 5. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı pleksiglasta görülmektedir.

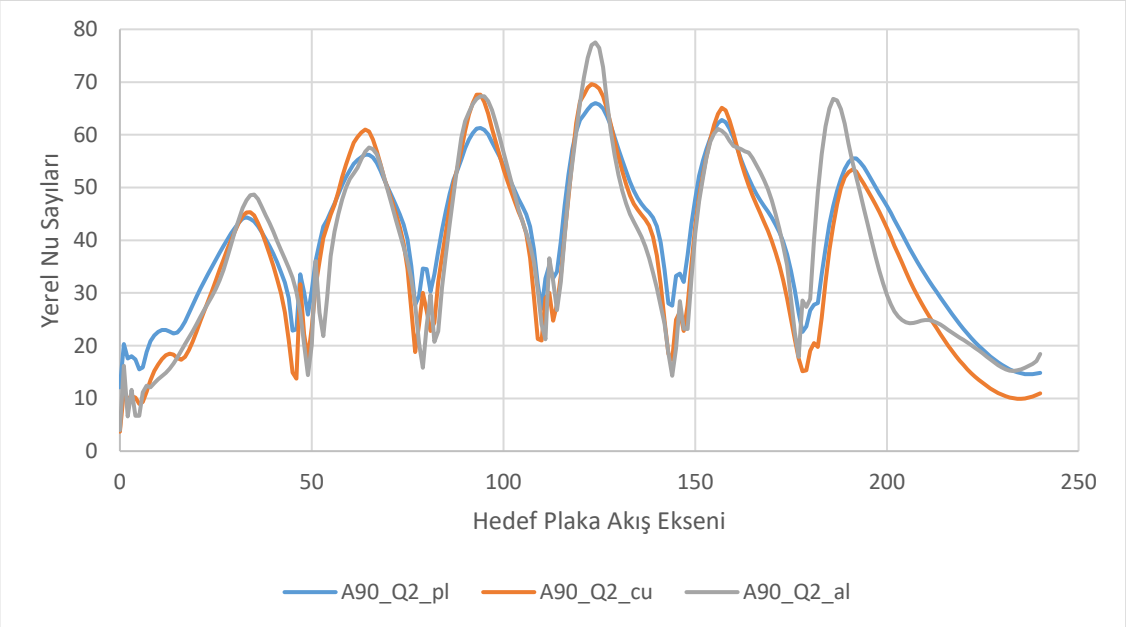
4.4.2. Re=21700

Şekil 4.22'de hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 3. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı bakır ve alüminyumda görülmektedir.

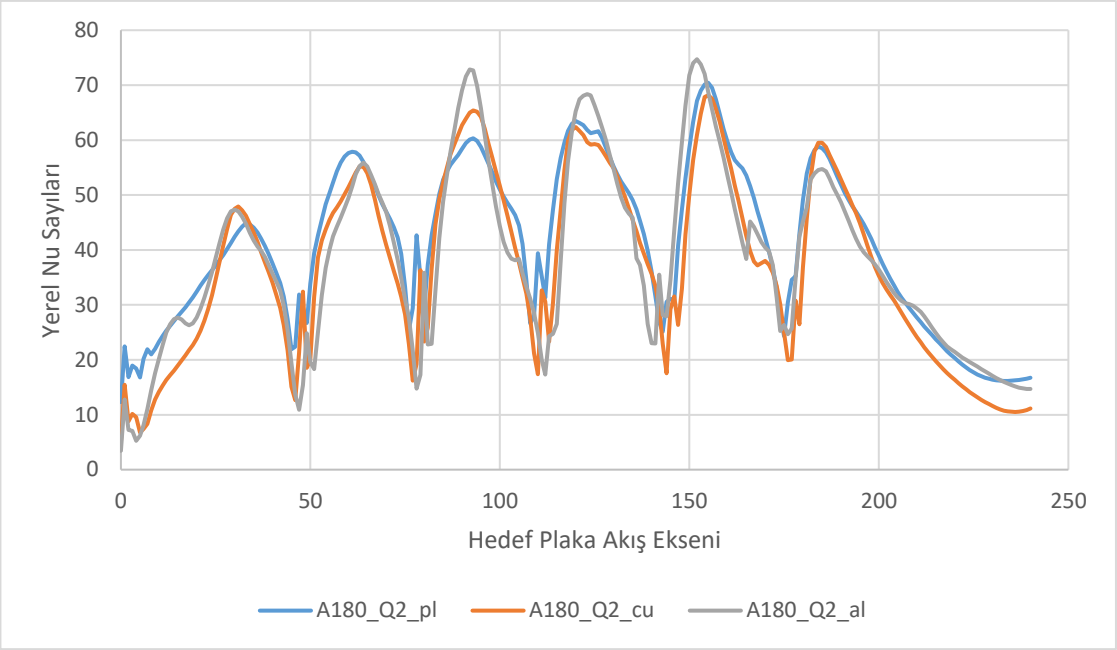
Şekil 4.23'te hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 4. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı alüminyumda görülmektedir.



Şekil 4.22. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A0 jet plakası)



Şekil 4.23. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A90 jet plakası)



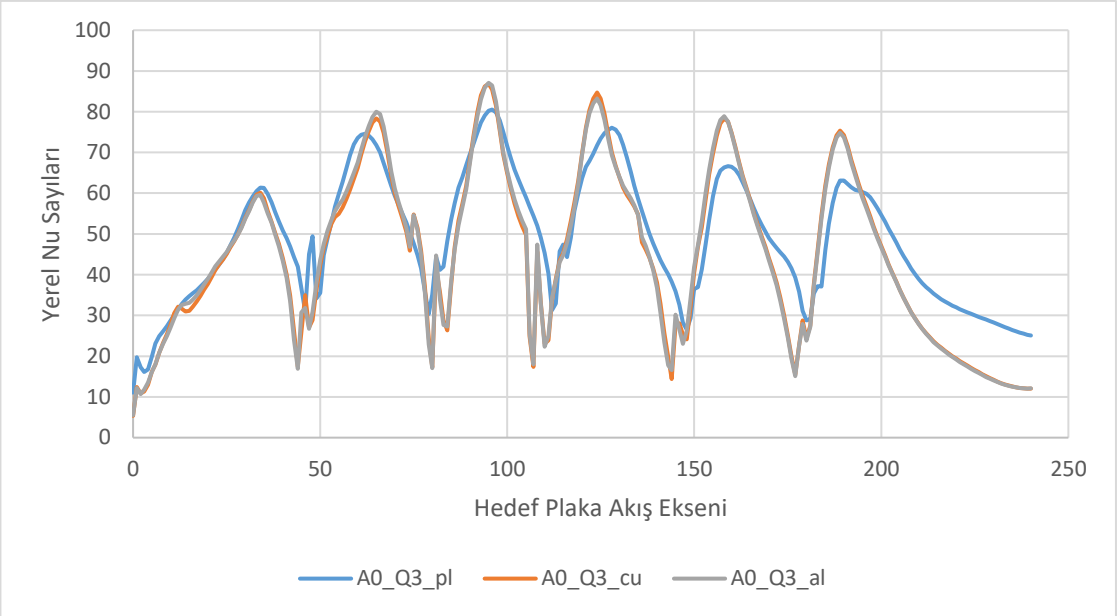
Şekil 4.24. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A180 jet plakası)

Şekil 4.24'te hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 5. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı alüminyumda görülmektedir.

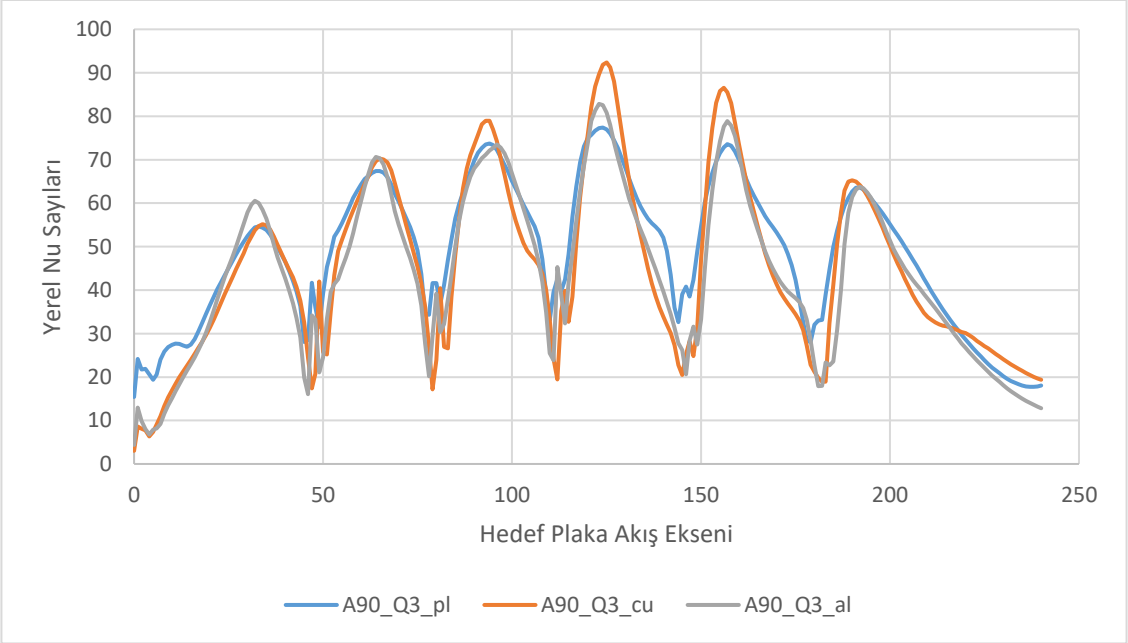
4.4.3. Re=27100

Şekil 4.25'te hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 3. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı bakır ve alüminyumda görülmektedir.

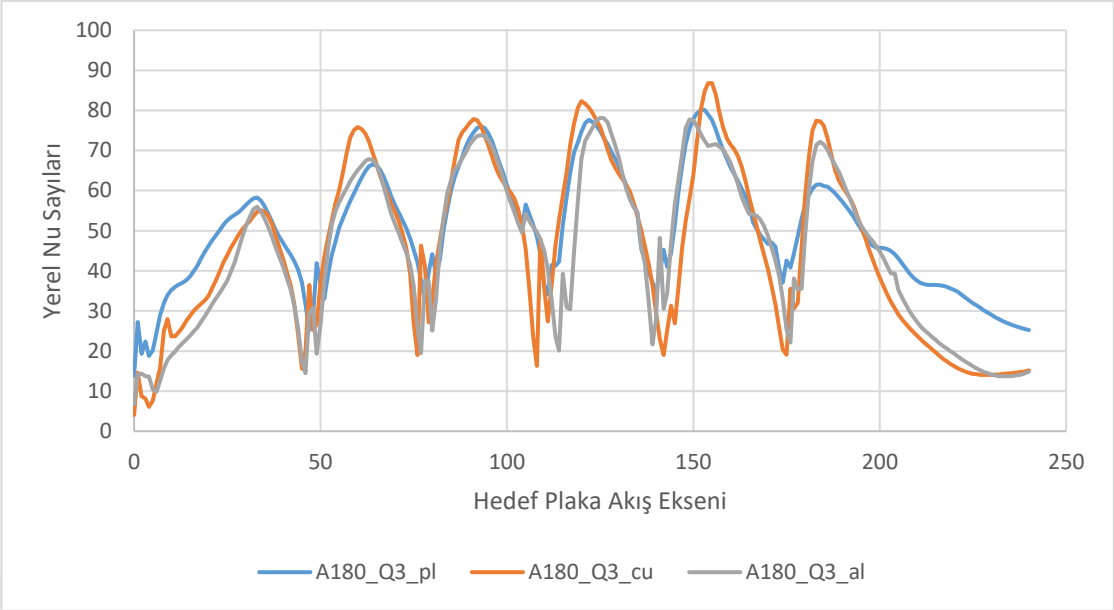
Şekil 4.26'da hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 4. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı bakırda görülmektedir.



Şekil 4.25. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A0 jet plakası)



Şekil 4.26. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A90 jet plakası)



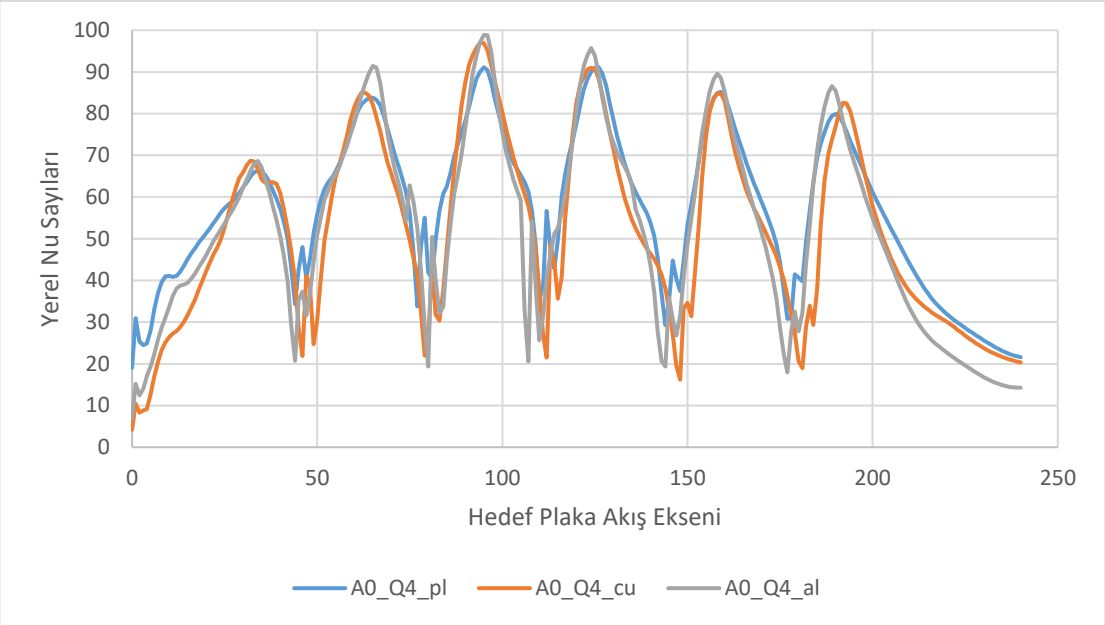
Şekil 4.27. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A180 jet plakası)

Şekil 4.27'de hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 5. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı bakırda görülmektedir.

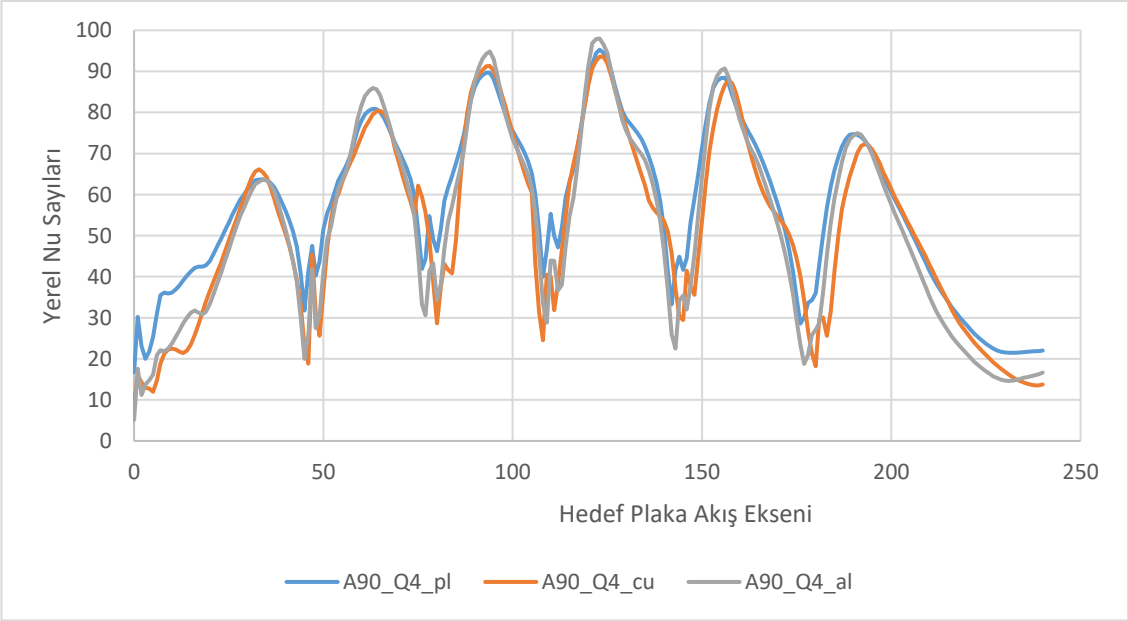
4.4.4. Re=32500

Şekil 4.28'de hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 3. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı alüminyumda görülmektedir.

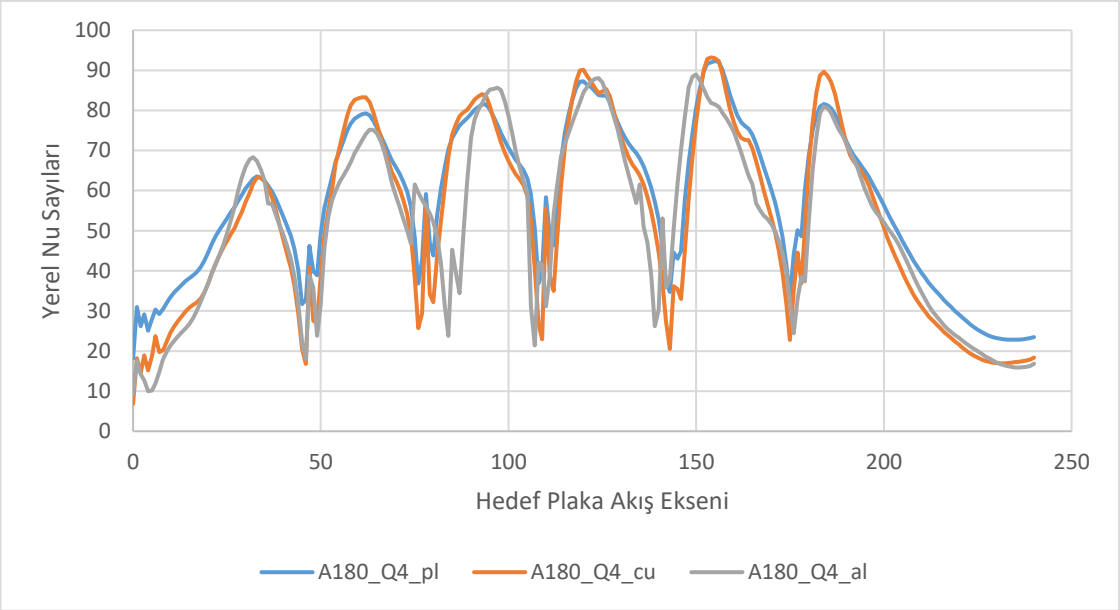
Şekil 4.29'da hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 4. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı alüminyumda görülmektedir.



Şekil 4.28. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A0 jet plakası)



Şekil 4.29. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A90 jet plakası)



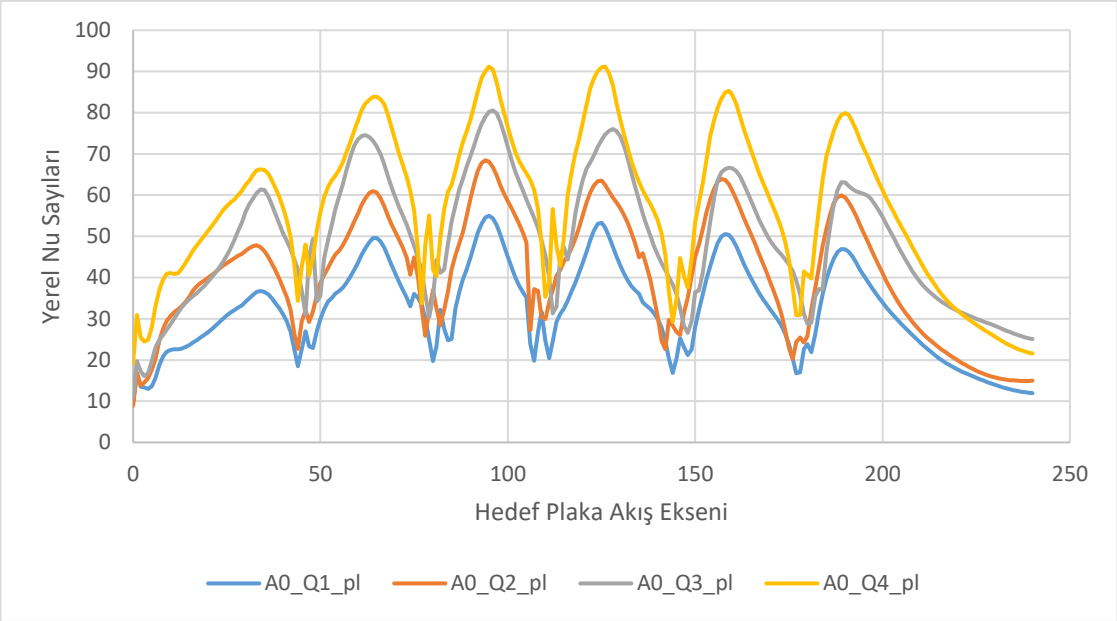
Şekil 4.30. Farklı hedef plaka malzemeleri için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (A180 jet plakası)

Şekil 4.30'da hedef plakanın üzerindeki yerel Nu sayılarının farklı hedef plaka malzemeleri için dağılımı görülmektedir. 3 hedef plaka malzemesi için de en yüksek Nu sayısı 5. jette olmaktadır ve en yüksek Nu sayısı bakırda görülmektedir.

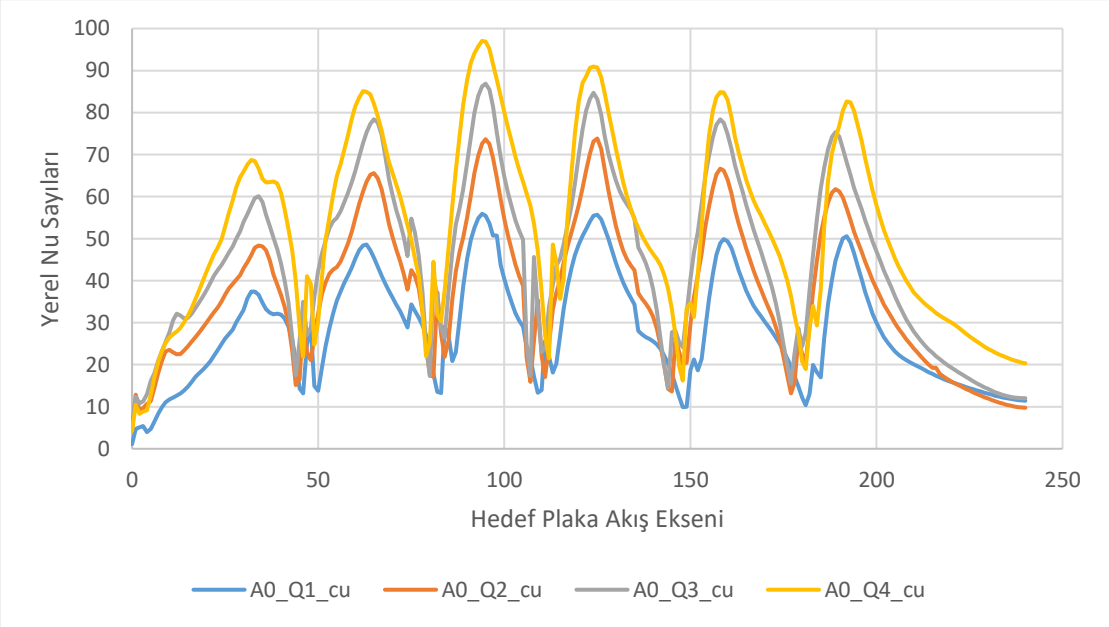
4.5. Hedef Plaka Üzerindeki Nu Sayılarının Re Sayısına Göre Değişimleri

4.5.1. A0 jet plakası

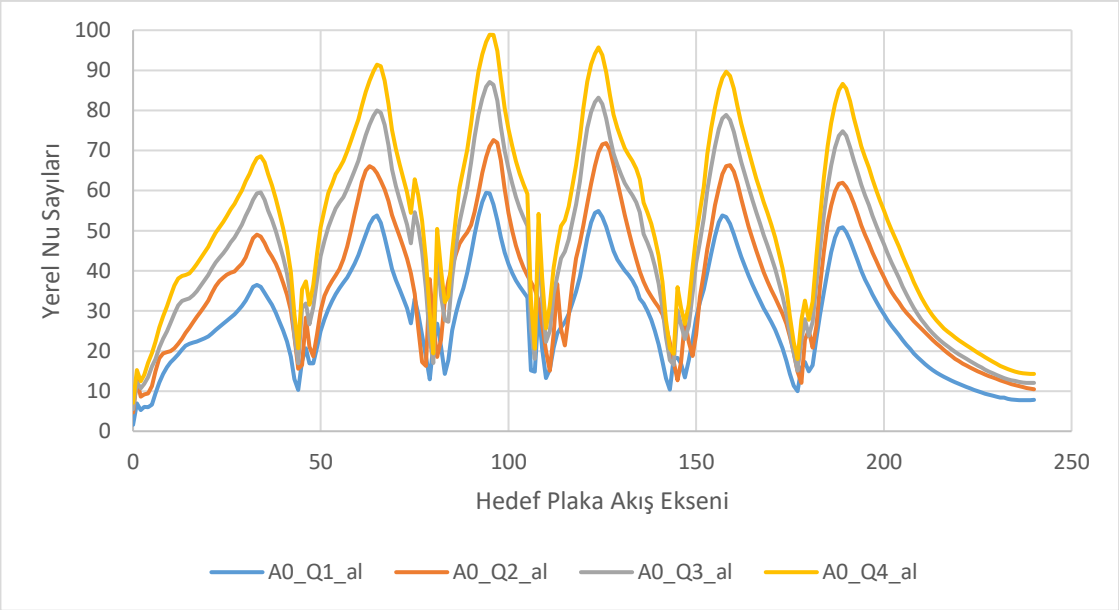
Şekil 4.31-Şekil 4.33'te A0 jet plakasında farklı Re sayıları için hedef plaka üzerindeki yerel Nu sayılarının dağılımı görülmektedir. Re sayısı arttıkça yerel Nu sayı değerlerinin arttığı ve en yüksek Nu sayı değerinin 3. jette olduğu görülmektedir.



Şekil 4.31. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (pleksiglas hedef plaka)

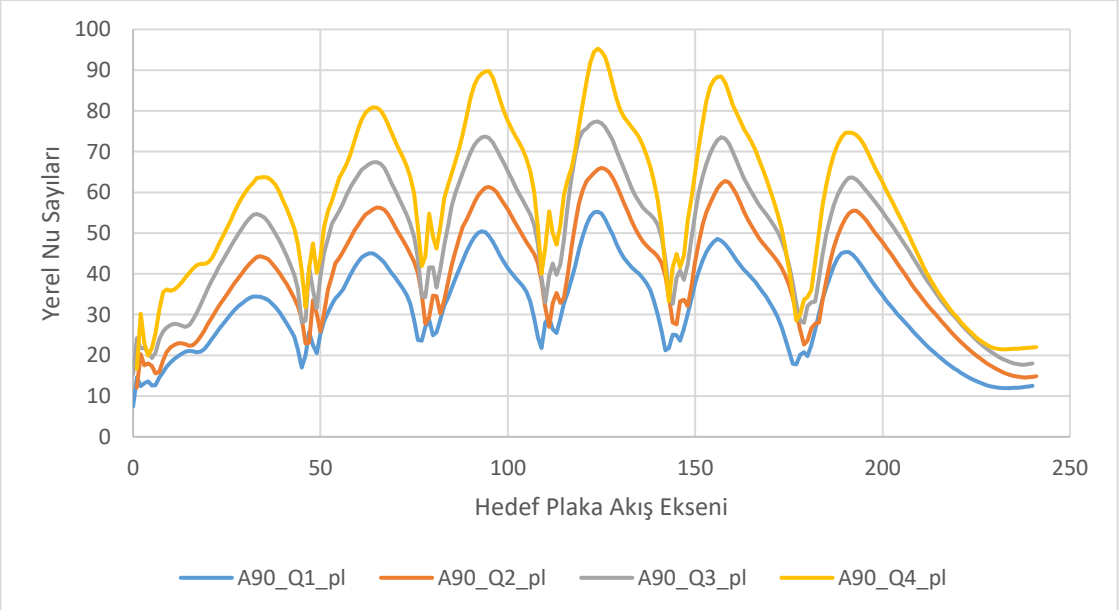


Şekil 4.32. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (bakır hedef plaka)

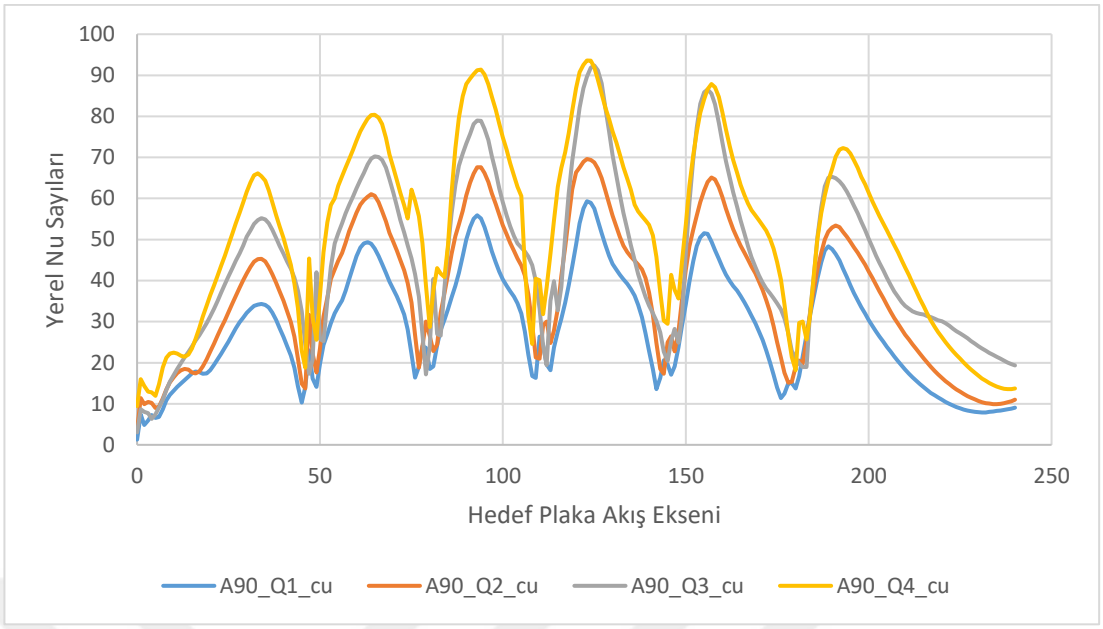


Şekil 4.33. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (alüminyum hedef plaka)

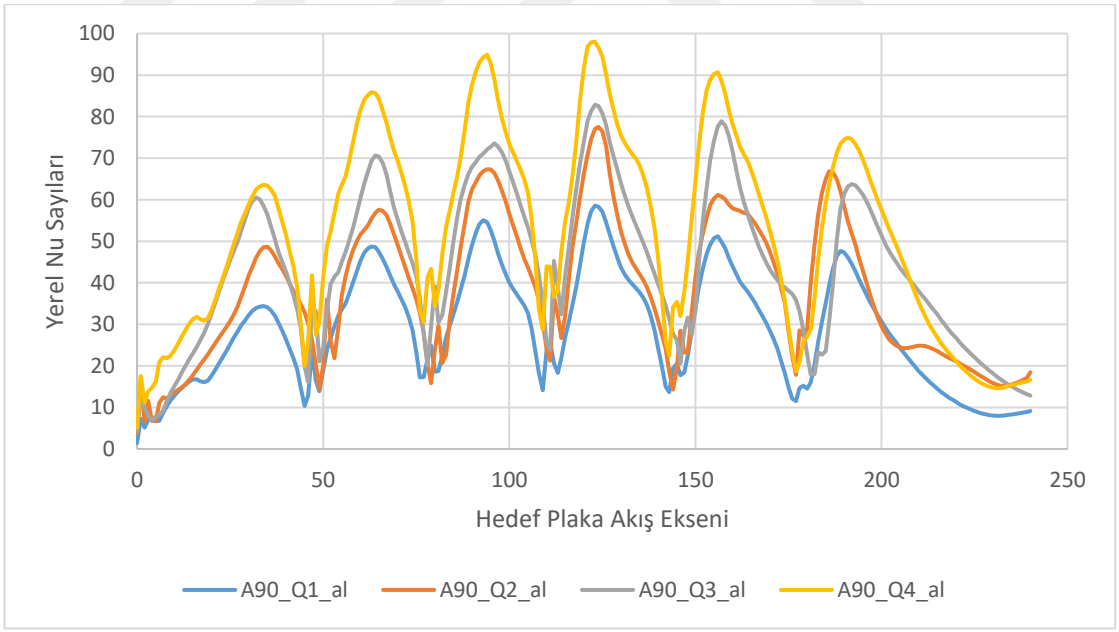
4.5.2. A90 jet plakası



Şekil 4.34. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (pleksiglas hedef plaka)



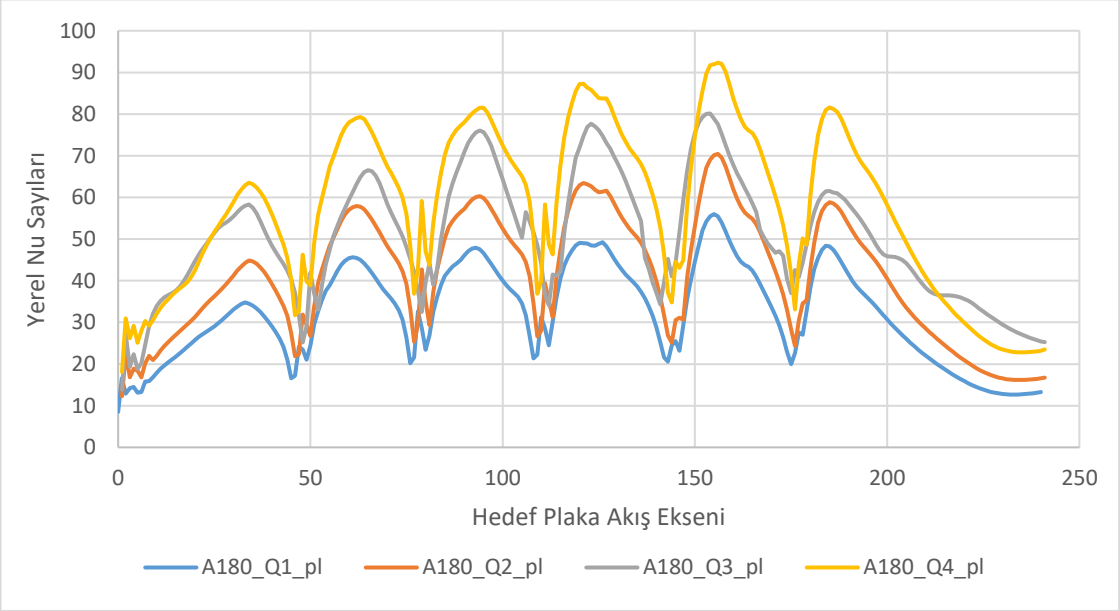
Şekil 4.35. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (bakır hedef plaka)



Şekil 4.36. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (alüminyum hedef plaka)

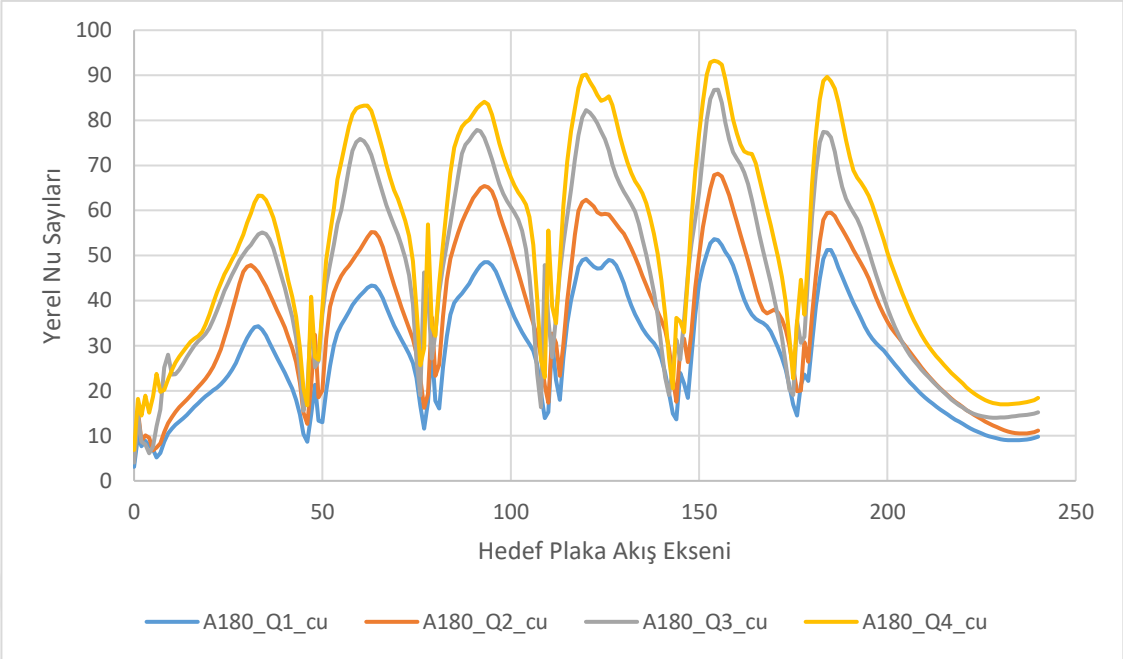
Şekil 4.34-Şekil 4.36'da A90 jet plakasında farklı Re sayıları için hedef plaka üzerindeki yerel Nu sayılarının dağılımı görülmektedir. Re sayısı arttıkça yerel Nu sayı değerlerinin arttığı ve en yüksek Nu sayı değerinin 4. jette olduğu görülmektedir.

4.5.3. A180 jet plakası

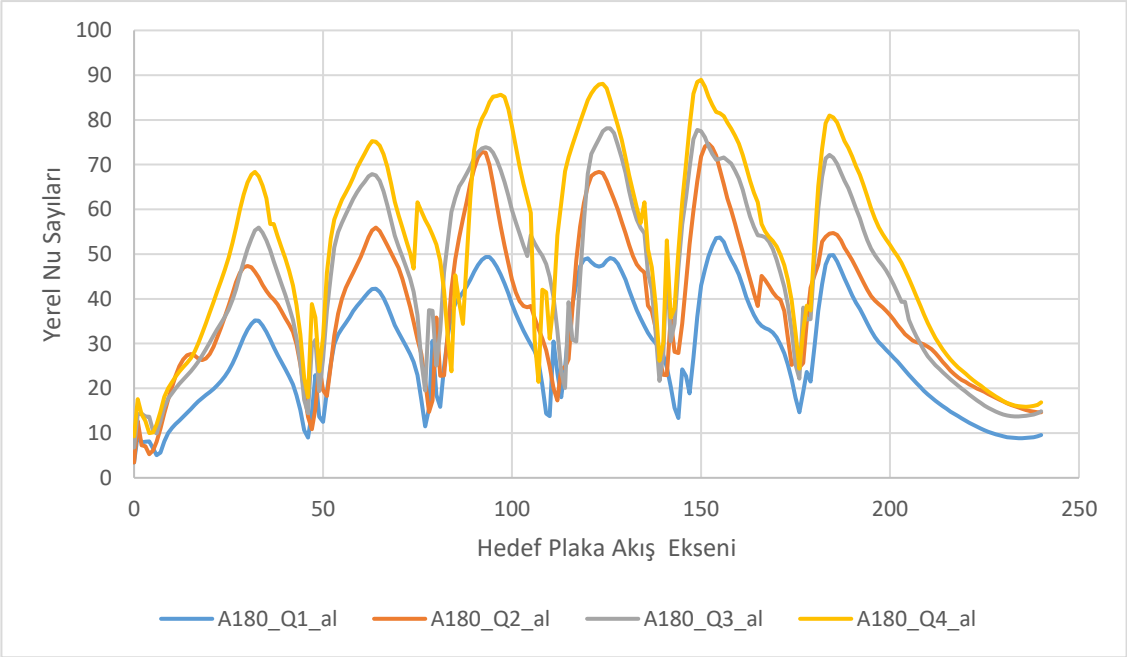


Şekil 4.37. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (pleksiglas hedef plaka)

Şekil 4.37-Şekil 4.39'da A180 jet plakasında farklı Re sayıları için hedef plaka üzerindeki yerel Nu sayılarının dağılımı görülmektedir. Re sayısı arttıkça yerel Nu sayı değerlerinin arttığı ve en yüksek Nu sayı değerinin 5. jette olduğu görülmektedir.

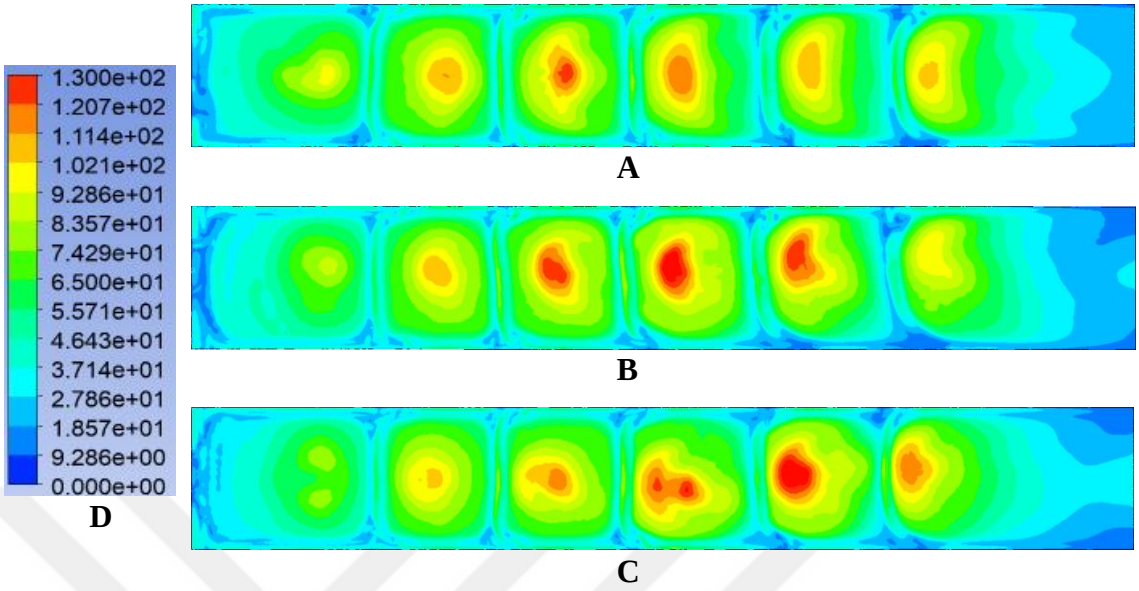


Şekil 4.38. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (bakır hedef plaka)



Şekil 4.39. Farklı Re sayıları için yerel Nu sayılarının hedef plaka üzerindeki dağılımı (alüminyum hedef plaka)

4.6. Yerel Nu Sayısı Dağılımı



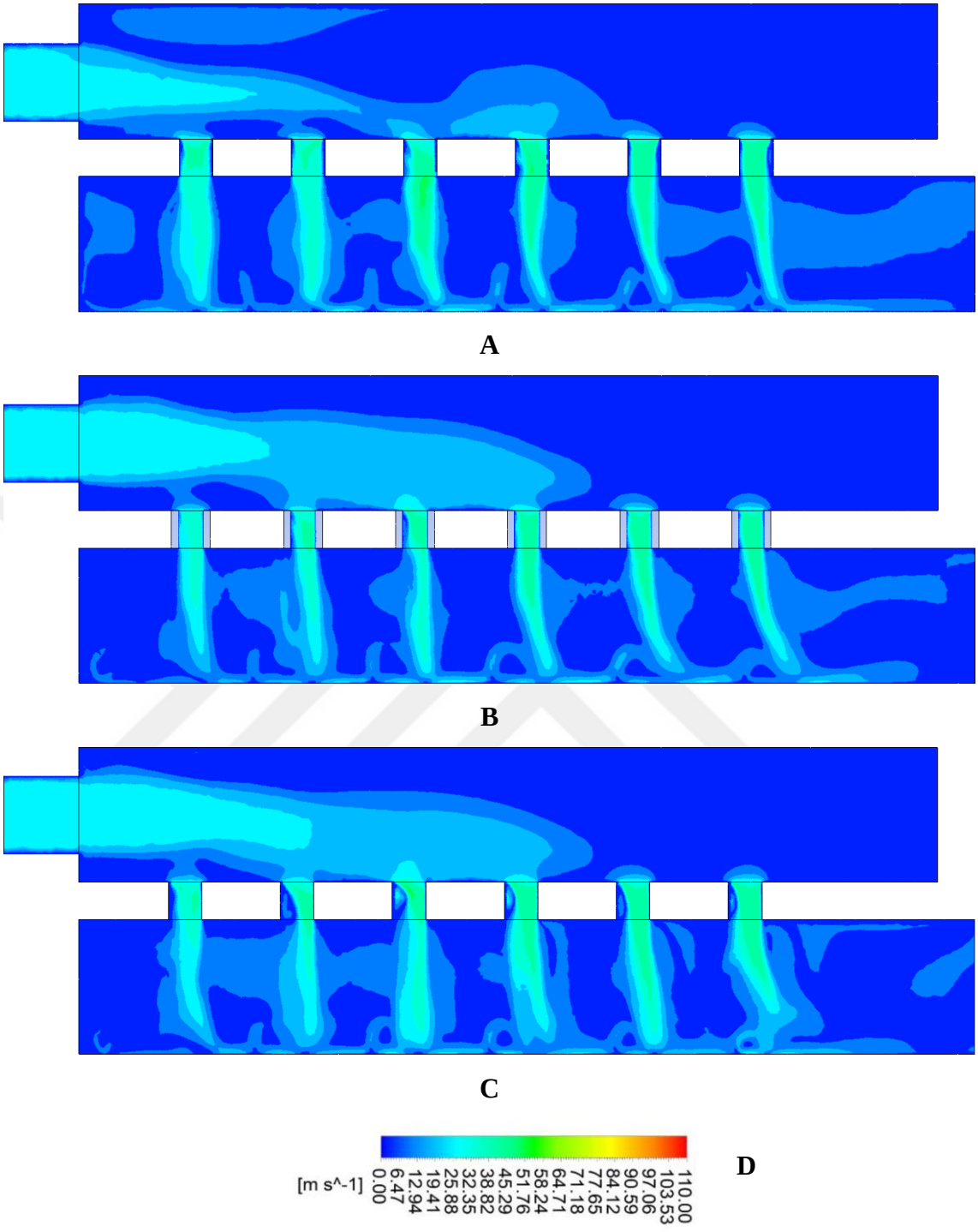
Şekil 4.40. Hedef plaka üzerindeki yerel Nu sayısı dağılımı **A)** A0, **B)** A90, **C)** A180, **D)** Renk skalası

Şekil 4.40'ta üçgen jet doğrultuları değiştiğinde yerel Nu sayısı üzerinde de değişiklik olduğu görülmektedir. A0 ve A90 jet doğrultularında, jet çarpma noktalarının, hedef plaka yüzeyini ortalarken, A90 jet doğrultusunda, çıkışa yaklaştıkça, jet çarpma noktasının kaymaya başladığı görülmektedir.

4.7. Hız Profili Dağılımı

Şekil 4.41'de analiz modelinin merkezinden geçen ve XY koordinatlarına paralel olan yüzeyde farklı jet açıları için hız profilleri görülmektedir.

Şekil 4.41'de de görüldüğü üzere A0 jet plakasında en yüksek hız üçüncü jette, A90 jet plakasında en yüksek hız dördüncü jette ve A180 jet plakasında en yüksek hız dördüncü jette görülmektedir.



Şekil 4.41. Jet açısının hız profiline etkisi **A)** A0, **B)** A90, **C)** A180, **D)** Renk skalası

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gaz türbinlerinin kanatlarının soğutulmasın için kullanılan çarpan jetle soğutma yöntemi sayısal olarak ele alınmıştır.

Bu konu ile ilgili literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, üçgen jet deliklerinin açıları ve hedef plaka malzemesi değiştirilirmiştir. Bu şekilde, hedef plaka yüzeyi üzerindeki yerel ve ortalama ısı transfer katsayıları incelenerek üçgen jet açılarındaki değişimin soğutma üzerindeki etkisi incelenebilmiştir.

Bu sayısal çalışmada, dört faklı Re sayısı (16250, 21700, 27100 ve 32500), üç farklı hedef plaka malzemesi (pleksiglas, bakır ve alüminyum) ve üç farklı üçgen jet açısı (A0, A90 ve A180) olmak üzere, toplamda 36 parametre incelenmiştir.

Sayısal çözümlemede kullanılan fiziksel model Solid Works üçboyutlu modelleme programı ile yapılmıştır. Jet plaka üzerindeki jet delikleri tek sıralı ve 6 adet olarak yer almaktadır. Modellerin hepsinde deliklerin hidrolik çapları 6 mm olarak alınmıştır. Hedef plaka ile jet plaka arasındaki mesafenin jet hidrolik çapına oranı olan $H/D_h = 6$, hedef plaka uzunluğunun jet hidrolik çapına oranı olan $X/D_h = 40$, hedef plaka genişliğinin jet hidrolik çapına oranı olan $B/D_h = 6$ ve jetler arasındaki mesafenin jet hidrolik çapına oranı olan $S/D_h = 5$ olarak alınmıştır. Jet plakasının altındaki ve üstündeki kanalların ölçüleri birbirine eşittir. Hava, 21 mm çapındaki açıklıktan girer ve 36 mm hidrolik çapa sahip kare kesitten çıkar.

Sayısal çözümleme için Ansys FLUENT 19.2 programı kullanılmıştır. Çözümlemede kullanılan türbülans modeli *SST-k-w* türbülans modelidir. Sayısal çözümlemelerin sonuçlarının ağ yağısından bağımsızlığı sağlanmıştır. Sayısal çözümleme sonucunda elde edilen sonuç Tepe'nin 2020 yılında yaptığı çalışmanın sonuçlarıyla uyuştuğu belirlendikten sonra tüm parametreler bu model ile çözümlenmiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda; üçgen jet açılarının değiştirilmesi, hedef plaka üzerindeki ortalama Nu sayısı üzerinde bir değişikliğe neden olmadığı fakat yerel Nu sayıları

incelendiğinde değişim görülmektedir. A0 jet plakası için en yüksek Nu sayısı 3. jette oluşurken, A90 jet plakası için 4. jette ve A180 jet plakası için 5. jette oluşmaktadır ve jet hızlarına bakıldığında da aynı şekilde A0 için üçüncü jette, A90 için dördüncü jette ve A180 için beşinci jette en yüksek hızlar görülmektedir. A0 ve A180 jet plakalarında çarpma noktaları hedef plakasının ortasındayken, A90 jet plakasında, hedef plaka üzerindeki çarpma noktaları akış doğrultusunda ilerledikçe yukarı doğru kaydığı görülmektedir.

Re sayısı arttırıldıkça hedef plaka üzerindeki Nu sayılarında da artış görülmektedir.

Hedef plaka malzemelerine göre bakıldığında, en yüksek Nu sayıları bakırdan ve alüminyumdan yapılmış hedef plakalarda görülmektedir.

Bu çalışma sayesinde, üçgen jetlerin açısı değiştirildiğinde hedef plaka üzerindeki ortalama ısı geçişi üzerinde değişime olmazken, yerel ısı geçişinde hatırı sayılır miktarda bir değişikliğin meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler sayesinde gelecekteki çalışmalara yol göstereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Al-aqal, O.M.A. 2003. Heat Transfer distributions on the walls of a narrow channel with jet impingement and cross flow [Doctoral dissertation, University of Pittsburgh]

Arvind Rao, G., Levy, Y., and Kitron-belinkov, M. 2009, Heat transfer characteristics of a multiple jet impingement system, Heat Transfer Characteristics of a Multiple Jet Impingement System, Tel-Aviv, 1–15, (2009)

Baghel, K., Sridharan, A., and Murallidharan, J. S. 2019, Numerical study of free surface jet impingement on orthogonal surface, International Journal of Multiphase Flow, 113 (1): 89–106

Behniat, M., Parneix, S., and Durbin, P. A. 1998, Prediction of heat transfer in an axisymmetric turbulent jet impinging on a flat plate, Pergamonl Im. J. Hear Mass Transfer, 41 (12): 1845–1855

Bhagwat, A. B. and Sridharan, A. 2017, Numerical simulation of oblique air jet impingement on a heated flat plate, Journal of Thermal Science and Engineering Applications, 9 (1): 11010–11017

Chen, L., Brakmann, R. G. A., Weigand, B., Rodriguez, J., Crawford, M., and Poser, R. 2017, Experimental and numerical heat transfer investigation of an impingement jet array with V-ribs on the target plate and on the impingement plate, International Journal of Heat and Fluid Flow, 68 (1): 126–138

Dutta, R., Dewan, A., and Srinivasan, B. 2013, Comparison of various integration to wall (ITW) RANS models for predicting turbulent slot jet impingement heat transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, 65 (1): 750–764

Ekiciler, R., Çetinkaya, M. S. A., and Arslan, K. 2019, Convective heat transfer investigation of a confined air slot-jet impingement cooling on corrugated surfaces with different wave shapes, Journal of Heat Transfer, 141 (2)

El-Gabry, L. A. and Kaminski, D. A. 2005, Experimental investigation of local heat transfer distribution on smooth and roughened surfaces under an array of angled impinging jets, Journal of Turbomachinery, 127 (3): 532

Elwekeel, F. N. M. and Abdala, A. M. M. 2016, Effects of mist and jet cross-section on heat transfer for a confined air jet impinging on a flat plate, International Journal of Thermal Sciences, 108 (1): 174–184

Gardon, R. and Akfirat, J.C. 1965, The role of turbulence in determining the heat-transfer characteristics of impinging jets, International Journal of Heat and Mass Transfer, 8 (10): 1261–1272

Goldstein, R. J. and Behbahani, A. I. 1982, Impingement of a circular jet with and without cross flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, 25 (9): 1377–1382

Hofmann, H. M., Kaiser, R., Kind, M., and Martin, H. 2007, Calculations of steady and pulsating impinging jets - An assessment of 13 widely used turbulence models, Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals, 51 (6): 565–583

Jung-Yang, S., Mao-De, L. 2001, Optimum jet-to-jet spacing of heat transfer for staggered arrays of impinging air jets, International Journal of Heat and Mass Transfer, 44 (21): 3997–4007

Kannan, B. T. and Sundararaj, S. 2015, Steady state jet impingement heat transfer from axisymmetric plates with and without grooves, Procedia Engineering, 127 (1): 25–32

Kadiyala, P. K. and Chattopadhyay, H. 2017, Numerical analysis of heat transfer from a moving surface due to impingement of slot jets, Heat Transfer Engineering, 39 (2): 98–106

Lee, J. and Lee, S. J. 1999, The effect of nozzle aspect ratio on stagnation region heat transfer characteristics of elliptic impinging jet, International Journal of Heat and Mass Transfer, 43 (4): 555–575

Li, C. Y. and Garimella, S. V. 2001, Prandtl-number effects and generalized correlations for confined and submerged jet impingement, International Journal of Heat and Mass Transfer, 44 (18): 3471–3480

Lytle, D. and Webb, B. W. 1994, Air jet impingement heat transfer at low nozzle-plate spacings, International Journal of Heat and Mass Transfer, 37 (12): 1687– 1697

Penumadu, P. S. and Rao, A. G. 2017, Numerical investigations of heat transfer and pressure drop characteristics in multiple jet impingement system, Applied Thermal Engineering, 110 (1): 1511–1524

Qiu, S., Xu, P., Geng, L., Mujumdar, A., Jiang, Z., and Yang, J. 2015, Enhanced heat transfer characteristics of conjugated air jet impingement on a finned heat sink, Thermal Science, 21 (1 Part A): 279–288

Rao, Y., Liu, Y., and Wan, C. 2018, Multiple-jet impingement heat transfer in doublewall cooling structures with pin fins and effusion holes, International Journal of Thermal Sciences, 133 (1): 106–119

Rhea, S., Bini, M., Fairweather, M., and Jones, W. P. 2009, RANS modelling and LES of a single-phase, impinging plane jet, Computers and Chemical Engineering, 33 (8): 1344–1353

Sang-Joon, L., Jung-Ho, L., and Dae-Hee, L. 1993, Local heat transfer measurements from an elliptic jet impinging on a flat plate using liquid crystal, International Journal of Heat and Mass Transfer, 37 (6): 967–976

Sharif, M. A. R. and Banerjee, A. 2009, Numerical analysis of heat transfer due to confined slot-jet impingement on a moving plate, Applied Thermal Engineering, 29 (2–3): 532–540

Sharif, M. A. R. and Mothe, K. K. 2009, Evaluation of turbulence models in the prediction of heat transfer due to slot jet impingement on plane and concave surfaces, Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals, 55 (4): 273–294

Taie, A. Al and Abd, H. S. 2017, Experimental and numerical investigation of impingement cooling of gas turbine combustion chamber liner, Journal of Basic and Applied Scientific Research, 7 (1): 17–35

Tepe, A.Ü., Yetişken, Y., & Uysal, Ü. 2020, Experimental and numerical investigation of jet impingement cooling using extended jet holes, International Journal of Heat and Mass Transfer, 158 119945

Uysal, U., Korkmaz, Y., and Chyu, M. K. 2016, Effect of jet shape on the heat transfer in trailing edge model, Proceeding of First Thermal and Fluids Engineering Summer Conference, New York,1233–1244

Wan, C., Rao, Y., and Chen, P. 2015, Numerical predictions of jet impingement heat transfer on square pin-fin roughened plates, Applied Thermal Engineering, 80 (1): 301–309

Xing, Y., Spring, S., and Weigand, B. 2010, Experimental and numerical investigation of heat transfer characteristics of inline and staggered arrays of impinging jets, Journal of Heat Transfer, 132 (9): 092201

Xing, Y., Spring, S., and Weigand, B. 2011, Experimental and numerical investigation of impingement heat transfer on a flat and micro-rib roughened plate with different crossflow schemes, International Journal of Thermal Sciences, 50 (7): 1293– 1307

Xu, P., Sasmito, A. P., and Mujumdar, A. S. 2016, A computational study of heat transfer under twin turbulent slot jets impinging on planar smooth and rough surfaces, Thermal Science, 20 (1): 47–57

Yang, Y. T., Wei, T. C., and Wang, Y. H. 2011, Numerical study of turbulent slot jet impingement cooling on a semi-circular concave surface, International Journal of Heat and Mass Transfer, 54 (1–3): 482–489

Yan, W. M., Mei, S. C., Liu, H. C., Soong, C. Y., and Yang, W. J. 2004, Measurement of detailed heat transfer on a surface under arrays of impinging elliptic jets by a transient liquid crystal technique, International Journal of Heat and Mass Transfer, 47 (24): 5235–5245

Yan, X. and Saniei, N. 1997, Heat transfer from an obliquely impinging circular air jet to a flat plate, International Journal of Heat and Fluid Flow, 18 (6): 591–599

Zhou, T., Xu, D., Chen, J., Cao, C., and Ye, T. 2016, Numerical analysis of turbulent round jet impingement heat transfer at high temperature difference, Applied Thermal Engineering, 100 (1): 55–61

Zuckerman, N. and Lior, N. 2006, Jet impingement heat transfer: Correlations, and numerical modeling, Journal of Heat Transfer, 127 (C): 544–552

EKLER

EK 1 Analiz modelinin ölçülü çizimi

EK 1

