



ÇARPAN DAİRESEL BİR JETTE ÇARPMA BÖLGESİ TÜRBÜLANS ŞİDDETİNİN ISI TRANSFERİNE ETKİSİ

Nevin ÇELİK *, Haydar EREN **

* Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü
23119 Elazığ nevincelik23@gmail.com

** Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
23119 Elazığ haydar@firat.edu.tr

(Geliş Tarihi: 08. 01. 2008, Kabul Tarihi: 11. 09. 2009)

Özet: Bu çalışmada çarpan bir jetin ısı transferi etkisi ve akış dinamiği deneysel olarak incelenmiştir. Literatürde gerçekleştirilen birçok çalışmanın aksine, lüle olarak büyük çaplı bir boru kullanılarak jet çapını büyük tutmanın ısı transferi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Jet, 23.1 mm iç çapında, 25 mm dış çapında, düz, dikışsüz, pürüzsüz alüminyum bir borudan çıkmaktadır. Dik konumda duran, arkasından film yoğuşması ile ısıtılan düz bir plakanın jetle soğutulması Nusselt sayısı cinsinden hesaplanmıştır. Soğumada etkili olan iki faktör; lüle-levha arası mesafe ($h/d = 4-12$) ve Reynolds sayısı (5000-25000) değişken parametre olarak seçilmiştir. Ayrıca, jetin levhaya çarpması esnasında, levhaya yakın bölgede oluşan türbülans şiddeti yüksek hassasiyetli hız dönüştürücü ile ölçülerek, Nu sayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çarpan jetler, Isı transferi, Türbülans şiddeti.

EFFECTS OF STAGNATION REGION TURBULENCE OF AN IMPINGING JET ON HEAT TRANSFER

Abstract: In the present study, heat transfer and flow dynamics effects of an impinging jet are experimentally investigated. Contrary to many performed work in literature, a pipe having a large diameter is used as a nozzle, to show the large diameters' effect on heat transfer. The jet used in this study is a smooth aluminum pipe of 23.1 mm inner pipe and 25 mm outer pipe diameter. Jet impingement cooling of the flat plate, which is vertically placed and heated on its rear side by film condensation, is investigated by the terms of Nusselt number. Two effective factors on cooling; such as nozzle-plate distance ($h/d = 4-12$) and Reynolds number (5000-25000), are chosen as variable parameters. Additionally, the turbulent intensity on the near field region of the impingement plate, which occurred when the jet is subjected to the plate, is measured by using a high sensitive air velocity transducer.

Keywords: Impinging jets, Heat Transfer, Turbulent intensity.

SEMBOLLER

A	Alan, (m ²)	Nu _{ort}	Ortalama Nu sayısı, (-)
C _{p,L}	Suyun özgül ısısı, (J/kg°C)	Pr	Prandtl sayısı, (-)
d	Lüle çapı, (m)	Q _y	Yoğuşmayla elde edilen toplam ısı, (W)
g	Yerçekimi ivmesi, (m/s ²)	Q _{net}	Net ısı miktarı, (W)
Gr	Grashof sayısı, (-)	Q _{rad}	Radyasyonla kaybedilen ısı miktarı, (W)
h	Lüle levha arası mesafe, (m)	Ra	Rayleigh sayısı, (-)
h _y	Yoğuşma ısı transfer katsayısı, (W/m ² °C)	Re	Reynolds sayısı, (-)
h _{yereel}	Taşınım ısı transfer katsayısı, (W/m ² °C)	T _f	Film sıcaklığı, (°C)
h _{fg}	buharlaştırma gizli ısısı, (J/kg)	T _{jet}	Jet çıkış sıcaklığı, (°C)
Ja	Jacob sayısı, (-)	T _s	Yüzeyde ölçülen sabit sıcaklık, (°C)
k _{hava}	Havanın ısı iletim katsayısı, (W/m°C)	T _{sat}	Doymuş buhar sıcaklığı (1 atm'de), (°C)
k _L	Suyun ısı iletim katsayısı, (W/m°C)	T _w	Yüzeyde ölçülen yerel sıcaklıklar, (°C)
L	Levha yüksekliği, (m)	T _∞	Ortam sıcaklığı, (°C)
Nu _{yereel}	Yerel Nu sayısı, (-)	u	Zaman ortalamalı hız, (m/s)
Nu _d	Doğal taşınım ısı elde edilen Nu sayısı, (-)	u _a	Anlık olarak ölçülen hız, (m/s)
Nu ₀	Durma noktası Nu sayısı, (-)	u'	Çalkantı hızı, (u _a -u) (m/s)

U_j	Jet çıkış hızı, (m/s)
Tu	Türbülans şiddeti (%)
\dot{V}	Hacimsel debi, (m ³ /s)
w	Levha genişliği, (m)
X^*, Y^*	Yatayda ve düşeyde her bir hız ölçüm noktasının durma noktasına uzaklığının lüle çapına oranı, (x/d), (y/d)
α	Isıl difüzyon katsayısı, (m ² /s)

β	Isıl genleşme katsayısı, (1/K)
ε	Isı yayma katsayısı, (-)
μ_L	Suyun dinamik viskozitesi, (kg/ms)
ν	Havanın kinematik viskozitesi, (m ² /s)
ρ_L	Suyun yoğunluğu, (kg/m ³)
ρ_v	Buharın yoğunluğu, (kg/m ³)
σ	Stefan-Boltzman sabiti (W/m ² K ⁴)

GİRİŞ

Çarpan jet, bir lüleden çıkan akışkanın yüzeye çarptırılması ile elde edilir ve ısı/kütle transferinin artırılması için genellikle türbülanslı jet çarpmaları kullanılır. Konuyla alakalı yapılan çalışmalarda çarpan jetlerde laminar akışta durma noktasında ısı transferi için Nusselt sayısı ile merkez hattı hızı arasında bir bağıntı ($Nu \propto U_m^{1/2}$) olduğu görülmüştür (Jambunathan v.d., 1992). Bu bağıntı, birçok araştırmacıya ısı transferi ile akış karakteristiğini aynı anda ele almaları gerektiği şeklinde yön göstermiştir. Bu eksende yapılan ilk çalışmalarda, Gordon ve Akfırat (1965) slot jetin sınırlandırılmamış bir ortama yayılması durumunda hızın eksenel değişimini ve türbülans şiddetini araştırmışlardır. Sonuçlar serbest jette lüleden 8d mesafe uzaklıkta türbülans şiddetinin lüle çıkış değerinin %30 una ulaşabildiğini göstermiştir. Dairesel lüleler kullanılarak yapılan ölçümlerde de benzer sonuçlar görülmüştür. Schlunder ve Gnielinski (1967) maksimum türbülansın ve maksimum ısı transferinin $h/d=7.5$ 'de oluştuğunu göstermişlerdir. Mohanty ve Tawfek (1993) jet çapını değiştirmenin çarpma üzerindeki etkisini küçük çaplı jetler için denemişlerdir.

Yakın zamanda gerçekleştirilen çalışmalarda ise lüle boyutu veya geometrisi değiştirilerek çarpan jetin ısı transferi ve akış karakteristiği özelliklerini en verimli şekilde kullanmak amaçlanmıştır. Bilen (2002), dairesele jetin çeşitli çarpma durumlarını deneysel olarak incelemiştir. Lee ve arkadaşları (2004) türbülanslı dairesele bir jetin ısı transferi ve akış karakteristiklerini farklı lüle çaplarını kıyaslayarak incelemiştir. Re sayısının sabit bir değerinde ($Re = 23000$) lüle levha aralığını $h/d = 4-12$ arasında değiştirerek 1.36 cm ile 3.40 cm aralığındaki boru çapları için deneyler yapmışlardır. Durma noktasına yakın bölgede yerel Nusselt sayısının artan lüle çapıyla birlikte arttığı görülmüştür. Bu artış büyük çaplı lülelerde jet momentumunda ve türbülans şiddetindeki artışla ilişkilendirilebilir. Duvar jeti bölgesinde ise jet çapının ihmal edilebilir seviyede bir etkisi olduğu görülmüştür.

Whelan ve Robinson (2007, 2009) lüle geometrisinin sıralı jet çarpmasındaki etkisini incelerken, Gulati ve arkadaşları (2009) üç farklı jet

en kesitini inceleyerek lüle etkisini araştırmışlardır. Eşit hidrolik çapa sahip dairesele, kare ve dörtgen kesitli lüleler kullanılarak yerel ve ortalama ısı transferi incelenmiştir.

Bu çalışmada $d = 23.1$ mm iç çapında düz dairesele borudan çıkan jet kullanılarak, jetin ısıtılmış bir yüzeye çarptırılmasıyla oluşan ısı transferi incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney Düzenegi

Deney düzenegi Şekil 1'deki gibidir. Jet akımını sağlamak üzere 12 bar basınca kadar hava depolayabilen 500 lt kapasiteli tanka sahip kompresör kullanılmıştır. Kompresöre manometre, çıkış vanası ve bir şartlandırıcı bağlanmaktadır. Şartlandırıcı üzerindeki basınç regülâtörü yardımıyla rotametrelere istenen basınçta hava akımı gönderilebilmiştir. Şartlandırıcı sıkıştırılan havanın nem, toz ve kirini tutan filtreye sahiptir. Jet çıkış debisi iki rotametre ile (0-20 ve 10-100 m³/h) ölçülmüştür. Lüle olarak düz dairesele boru tipi jet kullanılmıştır. Lüle dikişsiz, pürüzsüz alüminyum borudur. Lüle, rotametre çıkışından itibaren 2 metre uzunluğunda düz hortuma bağlanmıştır. Lüle uzunluğu dairesele kesitli boru akışında tam gelişmiş akış koşulunun sağlanması için 32d alınmıştır.

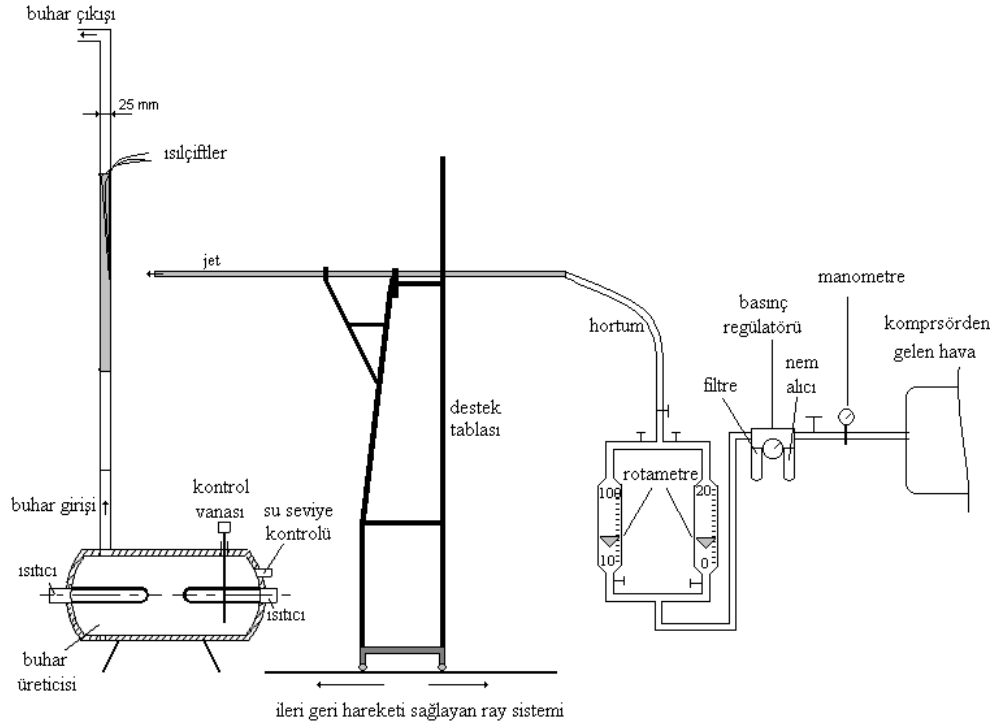
Çarpma levhası olarak; 0.5 mm kalınlığında Cr-Ni paslanmaz sacdan 53 cm genişliğinde 59 cm yüksekliğinde, 2.5 cm kalınlığında düşey konumda ayakta duran bir kanal imal edilmiştir. Kanalın ön yüzeyi çarpma yüzeyi olarak teste tabii tutulmuştur. Bir buhar kazanından elde edilen doymuş su buharı kanala aşağıdan yukarıya doğru geçerken kanal yüzeyinde sabit sıcaklık şartı oluşturmuştur. Tüm deneylerde yüzeyde 96 °C sabit sıcaklık ölçülmüştür. Sacın yüzeylerini yalayarak geçen buhar bir bacayla ortama atılmıştır. Sacın yan ve arka yüzeyleri yalıtılmıştır.

Ölçme Tekniği

Yazarlara ait daha önce yayınlanmış eserlerde ölçüm tekniğinin detayları verilmiştir (Çelik ve Eren 2009, Çelik ve ark. 2009). Sıcaklık ve hız ölçümleri kişisel bir bilgisayara bağlı CAMPBELL CR10X model veri toplama cihazıyla

kaydedilmiştir. Hız ölçümü için sıcak tel anemometre prensibiyle çalışan ölçüm aralığı

0.125-50 ve 0.05-2.5 m/s olan üç ayrı hız ölçme probu kullanılmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterilişi

Hesaplama Yöntemi ve Belirsizlik

Sıcaklık ölçümü sürekli rejimde gerçekleştirilmiştir. Jet çarptırıldığı esnada çarpma yüzeyi üzerinde ısı çiftler akışı bozacağından dolayı kanalın buhar geçen arka yüzeyinde sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ancak bu durumda levhanın kalınlığı boyunca olan ısı iletiminin niceliği sonuçları etkileyeceğinden bir takım ön deneyler yapılmıştır. Deneme testlerinde jet çarptırılmadan önce jetin çarptırılacağı kanalın ön yüzeyinde ve arka yüzeyinde buhar kazanı çalışır durumdayken sıcaklık ölçümleri yapılmış, levha kalınlığı boyunca iletimle olan ısı hesaplanmıştır. Hesaplanan değer toplam ısının %0.5'i mertebesindedir. Bu nedenle levhanın iletimle ısı transferinin ihmal edilebileceği kabulü yapılarak, gerçek ölçümler levhanın arka yüzeyindeki ölçümler esas alınarak yapılmıştır.

Toplam ısının tespitinde ise yoğuşmayla oluşan ısı transferi hesaplanmıştır. Hesaplamalar ile ilgili detaylar yazarın başka bir çalışmasında detaylı bir şekilde sunulmuştur (Çelik ve Eren, 2009) toplam ısı transferinin hesaplamasında düşey konumdaki levhadan yoğuşmayla elde edilen ısı miktarı için aşağıdaki ampirik bağıntı kullanılır:

$$h_y = 0.943 \left[\frac{g \rho_L (\rho_L - \rho_v) k_L^3 h_{fg}'}{\mu_L (T_{sat} - T_s) L} \right]^{1/4} \quad (1)$$

burada gizli buharlaşma ısısı (h_{fg}) yerine Rohsenow tarafından geliştirilen Jakob sayısı cinsinden h_{fg} ifadesi kullanılır (Çengel, 1988):

$$h_{fg}' = h_{fg} (1 + 0.68Ja) \quad (2)$$

$$Ja = C_{pL} \frac{\Delta T}{h_{fg}} = C_{pL} \frac{(T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \quad (3)$$

Jacob (Ja) sayısı yoğuşmayla ısı transferinde kullanılan boyutsuz bir sayıdır. Denklem (1)-(3) de geçen terimlerde L alt indisi suya v alt indisi ise buhara ait özellikleri gösterir (açıklamalar için Simgelere bakınız). Denklem (1)'de geçen termo fiziksel özellikler film sıcaklığına (T_f) bağlı olarak seçilmiştir (ancak gizli buharlaşma ısısı h_{fg} ve buhar yoğunluğu ρ_v , doyma sıcaklığına T_{sat} bağlı seçilir). Böylece toplam ısı bulunur:

$$Q_y = h_y \cdot A \cdot (T_{sat} - T_s) \quad (4)$$

yoğuşmada ısı transferini hesaplamada kullanılan (1) nolu bağıntının geçerliliği bilim adamları tarafından irdelenmiştir. Düşey bir levha üzerinde film yoğuşması için denklem (1)'den yola çıkılarak daha ayrıntılı bir sınır tabaka çözümlemesi Sparrow ve Gregg (1959) tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Chen tarafından (1961) doğrulanan bu sonuç, denklem (1)'nin kullanılmasından doğan

hataların $Ja \leq 0.1$ ve $1 \leq Pr \leq 100$ için %3'den az olduğunu göstermektedir. (1) nolu ampirik bağıntının deneysel verilerle uyuşması bu çalışmada da ayrıca test edilmiş (Çelik, 2006), sonuçta deneysel sonuçlarla $\pm\%4.3$ civarında uyum sağladığı gözlenmiştir.

Yoğuşmayla oluşan ısı miktarı sistemdeki toplam ısı miktarıdır. Sistemin doğal taşınım ve radyasyonla kaybettiği ısılar toplam ısıdan çıkarıldığında kalan değer net ısı miktarıdır. Doğal taşınım olan ısı miktarına ampirik bağıntı yardımıyla ulaşılır (Churchill ve Chu, 1975):

$$Nu_d = 0.68 + \left[\frac{0.67 Ra_l^{1/4}}{1 + (0.492 / Pr)^{9/16}} \right]^{4/9} \quad (5)$$

$$Nu_d = \frac{h_d L}{k_{hava}} \quad (6)$$

$$Q_d = h_d A (T_s - T_\infty) \quad (7)$$

Radyasyonla kaybedilen ısı miktarı:

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (8)$$

ifadesinden hesaplanır. Böylece net ısı ve akabinde taşınım ısı transfer katsayısı bulunur:

$$Q_{net} = Q_y - (Q_d + Q_{rad}) \quad (9)$$

$$Q_{net} = Q_{conv} = h_{yere} \cdot A \cdot (T_w - T_{jet}) \quad (10)$$

$$h_{yere} = \frac{Q_{net}}{A(T_w - T_j)} \quad (11)$$

$$Nu = \frac{h_{yere} d}{k} \quad (12)$$

Ortalama Nu sayısı tüm değerlerin ortalamasından bulunur: Son olarak Reynolds sayısının hesaplanmasında hava debisi ve karakteristik uzunluk olarak lüle çapı alınmıştır.

Deneysel her bir referans ölçüm noktasında anlık olarak ölçülen her bir hız u_a , bu anlık hızların zaman ortalaması u ise; çalkantı değeri bu iki değer farkı olacaktır. Böylece türbülans şiddeti çalkantı değerlerinin kareleri toplamının karekökü alınarak bulunur ve jet çıkış hızına bölünerek boyutsuzlaştırma işlemi yapılır.

$$u' = u_a - u \quad (13)$$

$$Tu = \sqrt{u'^2} / U_j \quad (14)$$

Bu çalışmada ana hatlarıyla, sıcaklık, hız ve debi ölçümleri yapılmış, bu ölçümlerden elde edilen değerlerle; Nusselt sayısı, Reynolds sayısı ve türbülans şiddeti hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin belirsizliği Kline ve McClintock (1953) tarafından geliştirilen %95 güvenilirlik mertebesine sahip metod kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre Nusselt sayısında hesaplanan en yüksek belirsizlik $\pm\%4.97$, Reynolds sayısında $\pm\%2.89$ ve türbülans şiddetinde $\pm\%2.84$ civarındadır.

DENEY SONUÇLARI

Isı Transferi

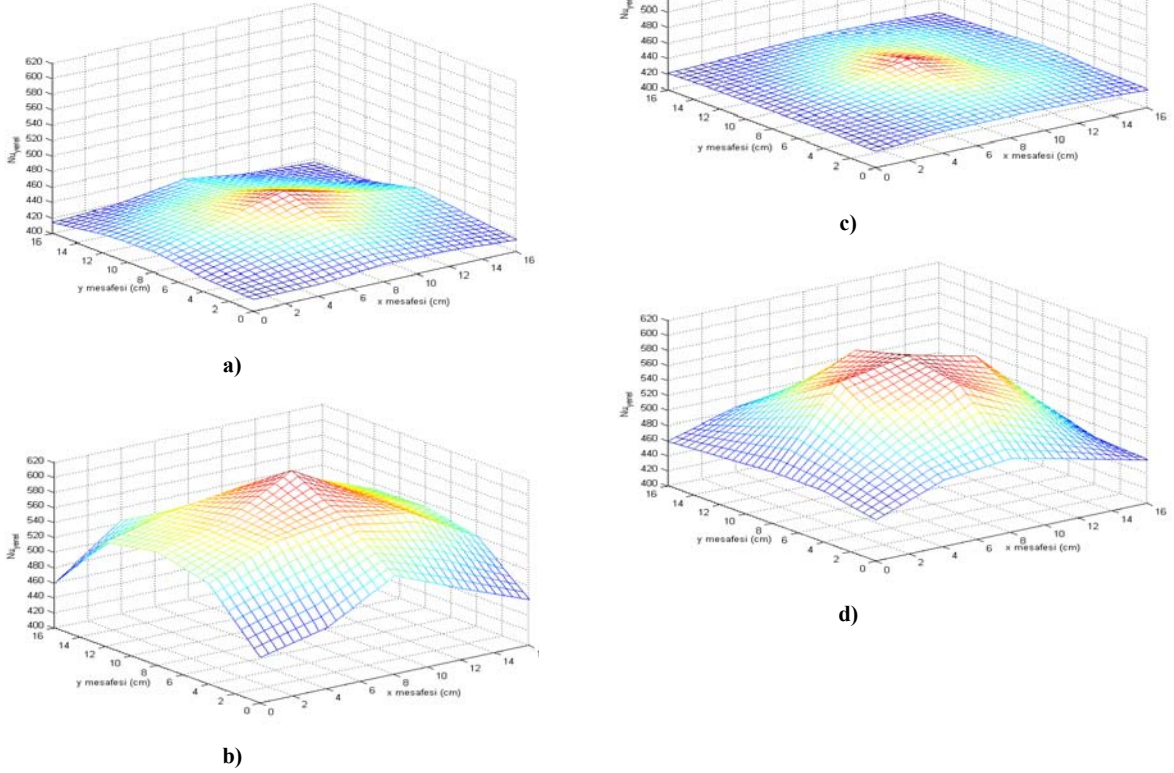
Lüle-levha arasındaki ayrı mesafelerde ($h/d=4, 12$) Re sayısının 5000 ve 25000 değerleri için, levha üzerinde yerel (Nu_{yere}), durma noktası (Nu_0) ve ortalama Nusselt sayıları (Nu_{ort}) grafiklerle verilmiştir. Yerel sıcaklıkların ölçülmesinde kullanılan veri toplayıcının sınırlı sıcaklık ölçme girişi olması hasebiyle levha üzerinde çok sık aralıklarda ölçüm alınmamıştır.

Şekil 2(a) ve 2(b)'deki Nu grafikleri, $h/d=4$ değerinde, $Re=5000, 25000$ arasındaki değerlerde yerel dağılımı vermektedir. Re sayısı 5000'den 25000'e yükselirken momentum transferi arttığından ısı transferinde de artış görülmüştür. Levha üzerinde en yüksek Nu sayısı tüm deneylerde durma noktasında oluşmuştur. Re sayısını arttırmak durma noktası Nu sayısını arttırmıştır. $Re=5000$ 'de $Nu_0=466.6$ iken; $Re=10000$ 'de $Re=5000$ 'e nazaran %7.17'lik bir artışla $Nu_0=500$ değerine çıkmıştır. Re sayısının 15000'e yükseltilmesiyle yine $Re=5000$ 'e göre %18.4'lük artışla $Nu_0=552.5$ değerine, $Re=20000$ 'de %26'lık artışla $Nu_0=588.5$ ve son olarak $Re=25000$ 'de %32.9' luk artışla $Nu_0=620$ değerine ulaşmıştır. Deneysel tüm Nu sayıları durma noktasından uzaklaştıkça levha üzerinde radyal yönde azalmaktadır. $Re=5000$ 'de durma noktasında hesaplanan Nu sayısı ile durma noktasına en uzak noktada ölçülen Nu sayısı arasında yaklaşık %11 azalma görülmektedir. Artan Reynolds sayısı durma noktası ile en uç nokta arasındaki Nusselt sayısı arasındaki farkı arttırmaktadır. Şöyle ki fark: $Re=10000$ 'de %14.71, $Re=15000$ 'de %19.29, $Re=20000$ 'de %22.32 ve son olarak $Re=25000$ 'de %25.71 oranındadır.

$h/d=4$ boyutsuz mesafesinde, ortalama Nu sayısının değeri de önemlidir. Ortalama Nu sayısı (Nu_{ort}) $Re=5000-25000$ için sırasıyla $Nu_{ort}=433, 455.3, 483.1, 501.4$ ve 531.6 çıkmıştır. Görüldüğü gibi Re sayısının artması ortalama Nu sayılarını arttırmıştır.

Şekil 2(c)-(d)'de lüle-levha mesafesi $h/d = 12$ için $Re = 5000$ ve 25000 için yerel Nu sayısı değişimleri sunulmuştur. Görüldüğü gibi jetin levhadan uzaklaşması, ortalama ve durma noktası Nu sayıları

üzerinde azalmaya sebep olmuştur. Örneğin durma noktası Nu sayısı $h/d=12$ 'de $h/d=4$ 'e göre $Re=5000$ 'de %3.4, 3 ve 25000 'de %6.4 azalmıştır. Ortalama Nu sayıları ise $Re=5000$ ve 25000 için sırasıyla %1.42, ve 5.5 oranlarında azalmıştır.



Şekil 2. Yerel Nu sayısı dağılımı

a) $h/d = 4$, $Re = 5000$, b) $h/d = 4$, $Re = 25000$, c) $h/d = 12$, $Re = 5000$, d) $h/d = 12$, $Re = 25000$.

Çarpma Bölgesi Akım Karakteri

Bu bölümde jet çarpması gerçekleştiği esnada prob levha üzerine yakın mesafede bulundurulmuş duvar jeti bölgesi ve çarpma bölgesi incelenmiştir. Ölçümler düşey ve yatay doğrultuda (X^* , Y^*) farklı lüle-levha mesafelerinde alınmıştır. Gerçekleştirilen 100 deneyin 92'sinde X^* ve Y^* eksenlerinde durma noktasının alt-üst ve sağ-sol kısımlarında ölçülen değerlerin birbirlerine olan farklılıkları binde birlik oranlarla ifade edilecek kadar düşüktür.

Re sayısının test edilen herhangi bir değeri üzerinde değerlendirme yapılacak olursa hız profillerinin karakteri daha açık anlaşılacaktır. Örneğin $Re=10000$ için, $h/d=4$ iken merkezde ($X^*=0$, $Y^*=0$) ölçülen hız jet çıkış hızına eşittir ($u/U_j=1$). $h/d=6$ 'da u/U_j değeri $h/d=4$ 'e göre %3'lük bir azalmayla $u/U_j=0.97$ değerine düşmüştür. Potansiyel çekirdeğin hız sınırının $u/U_j=0.95$ olduğu düşünülecek olursa, bu mesafenin potansiyel çekirdek bölgesi içerisinde kaldığı görülecektir.

$h/d=8$ 'de jet çıkış hızı $h/d=4$ 'e nazaran %17'lik bir azalma ile $u/U_j=0.83$ 'lere düşerken, $h/d=10$ 'da %50'lik azalmayla $u/U_j=0.5$ 'e düşmüştür. Son olarak $h/d=12$ 'de $h/d=4$ 'e göre %75'lik azalmayla $u/U_j=0.25$ 'e düşmüştür.

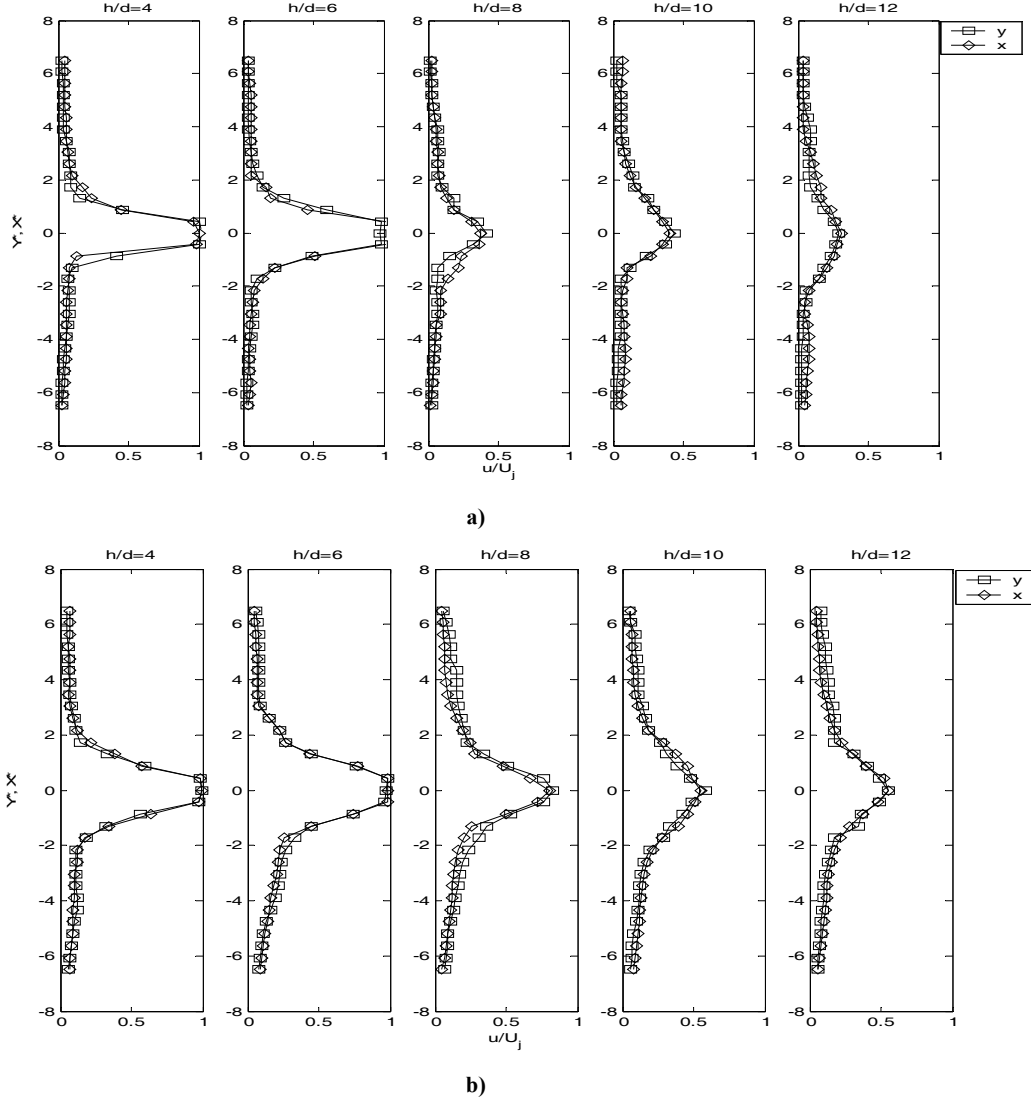
$h/d=4$ ve $h/d=6$ değerinde tüm Re sayılarında $u/U_j=1$ 'dir. Prob levhaya 3.2 mm uzaklıkta iken levhaya çarptırılan hava jetinin hızı lüle ile levha arasındaki mesafe 6d oluncaya kadar eşit olarak ölçülmüştür. Lüle-levha arası mesafe arttırıldıkça (8d, 10d ve 12d) durma noktası yakınında ölçülen hız da düşüş göstermiştir.

Şekil 3'de görüldüğü gibi boyutsuz hız profilleri Re sayısı artışıyla önemli bir değişiklik göstermez. Hız dağılımı (u/U_j) daha ziyade jetin nasıl yayıldığını göstermektedir. Ayrıca merkezden itibaren X^* ve Y^* eksenlerinin artış doğrultusunda hız değerinde bir düşüş söz konusudur.

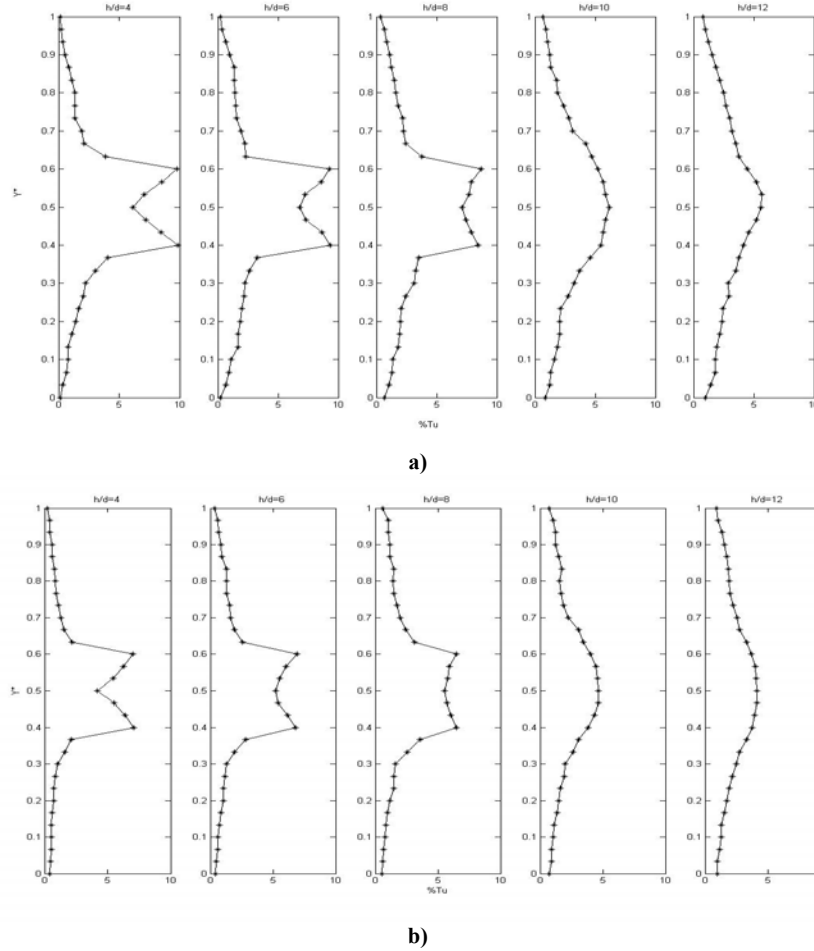
Şekil 4'de boyutsuz türbülans şiddeti değişimleri gösterilmiştir. Lüle-levha arası mesafenin kısa

olduğu durumlarda ($4d-6d$) türbülans şiddetinin durma noktasının dışında ikinci pikler yaptığı görülmektedir. Bu sıçramaların oluşma nedeni literatürde üç sebeple açıklanmıştır; (i) durma noktasından uzaklaştıkça radyal hız dağılımı jetin bozulma bölgesinde ivme kazanmış olabilir; (ii)

akım laminar sınır tabakadan türbülanslı sınır tabakaya geçmiş olabilir; (iii) “toroidal girdap” denilen girdapların oluşması olabilir (Jambunathan, 1992).



Şekil 3. Boyutsuz ortalama hız değerleri; a) $Re = 5000$, b) $Re = 25000$.



Şekil 4. Boyutsuz türbülans şiddeti; a) Re = 5000, b) Re=25000.

Bu çalışmada tüm Re sayısı değerlerinde h/d mesafesinin artmasının, merkezdeki türbülans şiddetini belli bir orana kadar arttırdığı, sonra düşürdüğü gözlenmiştir. Örneğin Re=5000 için $X^*=0$ 'da h/d=4'den h/d=6'ya çıktığında türbülans değeri %25.7 oranında artış göstermiş. h/d=4 ile 8 arasında ise %37.8 civarında bir artış oluşmuştur. h/d=4 ile h/d=10 arasında %57 oranında bir artış kaydedilmiştir. Oysa h/d=4 ile 12 arasında $X^*=0$ 'da ölçülen türbülans şiddeti yalnızca %51 oranında artmıştır. Bu durumda lüle-levha arasındaki mesafenin artması levha üzerindeki türbülans şiddeti değerini h/d=10'a kadar arttırabiliyor. Bu durum, Lee v.d.'nin (1977) serbest jet halinde ve çarpma halinde türbülans değerlerinde buldukları "8-10d mesafesine kadar türbülansın artacağı, ilerleyen mesafelerde azalacağı" ifadesine uyum gösteriyor.

SONUÇLAR

Çalışmada levhanın ısıtılma şekli olarak yoğuşma mekanizması kullanılması sabit sıcaklığın tespitinde kolaylık sağlamıştır. Bu açıdan ileride yapılacak jet

çarpması çalışmalarında deneysel yöntem olarak referans teşkil etmesi umulmaktadır.

Bu çalışmanın ısı transferi deneylerinde görülmüştür ki; ortalama Nu sayısı ile durma noktası Nu sayısı arasındaki fark düşüktür. Ortalama değerler ile durma noktası değerleri arasındaki farkın büyük olması, özellikle noktasal soğumanın etkin olmasının arzu edildiği yerlerde önem taşır. Bu tarz uygulamalarda çok daha düşük çaplı lüleler tercih edilir. Oysa bu çalışmada gösterilmiştir ki d=23.1 mm çaplı lüleyle tüm yüzeyi kapsayan daha etkin bir soğuma sağlanabilir.

Türbülans şiddeti literatürde genellikle ileri teknolojiye sahip sıcak tel anemometrelerle ölçülür. Bu anemometrelerin en gelişmiş modelleri ile hızın üç bileşenini ölçmek mümkündür. Bu çalışmada kullanılan anemometre ile istenilen noktada yüksek hassasiyette hız ölçümü alınmakla beraber ne yazık ki hızın bileşenleri tespit edilememektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Birimi FÜBAP'a teşekkür ederiz (Proje No:961)

KAYNAKLAR

Bilen, K., Bakırcı, K., Yapıcı, S., Yavuz, T. Heat transfer from a plate impinging swirl jet, *International Journal of Energy Research*, 26 (4), 305-320, 2002

Chen, M.M., An Analytical Study of Laminar Film Condensation Part I, *J. Heat Transfer*, 83, 48, 1961

Çelik, N., *Optimum Lüle Tipinin Çarpan Jet Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen. Bil. Ens. Elazığ, 2006

Çelik N and Eren H, Heat transfer due to impinging co-axial jets and the jets' fluid flow characteristics, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33, 715–727, 2009

Çelik N., Kurtbaş İ., Yumuşak N., Eren H. Statistical Regression and Artificial Neural Network Analyses of Impinging Jet Experiments, *Heat&Mass Transfer (Springer)*, 45, 599-611, 2009

Çengel, A. Y., *Heat Transfer-A Practical Approach*, McGraw Hill Comp., New York, 1988

Gordon, R., Akfırat, J.C., The Role of Turbulence in Determining the Heat Transfer Characteristics of Impinging Jets, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 8, 1261-1272, 1965.

Gulati, P., Katti, V., Prabhu, S.V., Influence of the shape of the nozzle on local heat transfer distribution between smooth flat surface and

impinging air jet, *Int. J. Thermal Sciences* 48 (3), 602-617, 2009

Jambunathan, K., Lai, E., Moss, M.A. and Button, B.L., A Review of Heat Transfer Data for Single Circular Jet Impingement, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 13 (2), 106-115, 1992

Kline, S.J., McClintock, F.A., Describing uncertainties in single-sample experiments, *Mechanical Engineering* 75, 3–8, 1953

Lee, D.H., Chung, Y.S. and Kim, D.S., Turbulent Flow and Heat Transfer Measurements on a curved surface with a Fully Developed Round Impinging Jet, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 18, 160-169, 1997

Lee D.H., Song, J. Jo, M.C., The effects of nozzle diameter on impinging jet heat transfer and fluid flow, *J. of Heat Transfer, (Transactions of ASME)* 126, 554–557, 2004

Mohanty, A.K., & Tawfek A.A., Heat Transfer to a Round Jet Impinging Normal to a Flat Surface, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 36, 1639-1647, 1993

Schlunder, E.U., and Gnielinski, V., Heat and Mass Transfer between Surfaces and Impinging Jets, *Chemie. Ingr. Tech.*, 39, 578-584, 1967

Sparrow, E.M., and Gregg, J.L., A Boundary Layer Treatment of Laminar Film Condensation, *J. Heat Transfer*, 81, 13, 1959

Whelan, B.P., Robinson, A.J., The effect of nozzle geometry on pressure drop and heat transfer to free surface liquid jet arrays, *Proc. ASME/JSME Thermal Eng. Summer Heat Transfer Conf. - HT 2007* 2, 747-756, 2007

Whelan, B.P., Robinson, A.J. Nozzle geometry effects in liquid jet array impingement *Applied Thermal Engineering* 29 (11-12), 2211-2221, 2009