

makale

TEK KANALLI, ÇOK KANALLI ve DÖNEN JETLERİN ISI
TRANSFERİNE
ETKİLERİ

*Kadir BAKIRCI * Kadir BİLEN*

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

Bu çalışmada dairesel kesitli bir lüleden çıkan tek kanallı, çok kanallı (4) ve dönen çok kanallı hava jetlerin ısı transferine etkileri deneysel karşılaştırılmıştır. Deneyler tek kanallı, çok kanallı ($\theta=0^\circ$) ve dönen ($\theta=22,5^\circ$, 41° ve 50°) jetler için, sabit Reynolds sayısı $Re=20\ 000$ değerinde $H/D=6$, 8 ve 10 , lüle-levha mesafelerinde yapılmış ve lüle çapı 15 mm alınmıştır. Deneylerde levha üzerindeki sıcaklıklar, sıvı kristal metodu ile ölçülmüştür. Sonuçta tek kanallı, çok kanallı ($\theta=0^\circ$) ve dönen jetlerin Nusselt sayılarının, durma noktasından radyal yöndeki değişimleri elde edilmiştir. Bunlar için maksimum Nusselt sayısı tek kanallı, çok kanallı ve $\theta=22,5^\circ$ açılı dönen jetlerde durma noktasında ve $\theta=41^\circ$ ile 50° açılı dönen jetlerde ise durma noktasından yaklaşık $X/D=2,5$ değerinde meydana geldiği gözlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Çarpan jet, dönen jet, ısı transferi artırımı.

In the present study, the heat transfer effects of conventional (single-channel), multi-channel (four-channel) and multi-channel swirling air jets issuing from a cylindrical nozzle were compared experimentally. Experiments were performed for the conventional, multi-channel ($\theta=0^\circ$) and swirling ($\theta=22,5^\circ$, 41° and 50°) jets at constant Reynolds number of $Re=20\ 000$ and nozzle-to-plate distance of $H/D=6$, 8 and 10 with a nozzle diameter of 15 mm. In the experiments, the surface temperature of the plate was measured by liquid crystal method. Consequently, the changes of Nusselt numbers in radial directions from stagnation point were obtained for the conventional, multi-channel and swirling jets. It was observed that the maximum Nusselt number occurred at the stagnation point for the conventional, multi-channel and swirling jets of $\theta=22,5^\circ$, and occurred at approximately $X/D=2,5$ for swirling jets of $\theta=41^\circ$ and 50° .

Key words: Impinging jet, swirling jet, heat transfer enhancement.

GİRİŞ

Jetler ısı ve kütle transferini

artırmak için bir çok endüstriyel

uygulamalarda kullanılmaktadır.

Hava jetleri, yüksek sıcaklıkta

çalışan gaz türbinlerinde, kağıt,

tekstil ve cam sanayisinde,
metallerin ısıtılma işlemlerinde,
elektriksel ve elektronik
devrelerde sıkça kullanılmaktadır.

Çarpma jet, lüleden çıkan akışkanın
düz bir yüzeye çarpması sonucu
elde edilmektedir [1,2]. Pamadi B.

N. ve arkadaşları yaptıkları
çalışmada, küçük lüle-levha aralığı

($H/D=2$ ve 4) için, ısı akısının yüzeyde radyal yönde iki tane pik yaptığını, bunlardan dıştakinin laminar akıştan türbülansa geçişte, diğerinin ise jette üniform olmayan türbülانstan dolayı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca türbülانslı akış için bir de teorik hesaplama yapmışlardır [3].

Shoukri M. ve arkadaşı düz bir levhanın çevresinin yuvarlak olarak kapalı ve üstten açık olmasına göre, çarpan jet ve ısı transfer karakteristiklerini deneysel incelemişlerdir. Deneysel çalışmada, ısı transferinin Reynolds sayısıyla arttığını, durma noktasından uzaklaştıkça

düştüğünü belirtmişler ve deneysel veriler için uygun bir de korelasyon vermişlerdir. Ayrıca çevresi kapalı levha üzerine çarpan jetin, aynı şartlarda çevresi kapalı olmayan serbest jete nazaran, düz bir yüzeyden daha az ısı transferi meydana getirdiğini ifade etmişlerdir. Bu durumu oluşturan akım

alanı ile açıklamışlardır [4].

Sparrow E. M. ve arkadaşı

çalışmalarında, dairesel bir hava

jetini, dik ve eğik açılarda naftalin

bir yüzeye çarptırarak, yüzeyde

kütle transferini ölçmüşler ve

uygun bir analogi ile ısı transfer

oranına geçmişlerdir. Jet eğim

açısının değişmesiyle, durma

noktasının yerinin değiştiğini ve maksimum ısı ve kütle transfer oranının jet eğim açısına büyük oranda duyarlı olmadığını açıklamışlardır [5]. Popiel C. O. ve arkadaşları bir fırın ısıtıcı ile elde ettikleri sıcak hava jetini, izotermal düz bir yüzeye çarptırarak yüzeydeki radyal

yöndeki ısı transfer katsayıları dağılımını bulmuşlardır. Reynolds sayısı 1860 ve 1050, lüle-levha aralığı $H/D=2-20$ arasında alınmıştır [6]. Aralow A. D. türbülanslı dik çarpan jetin, durma noktası civarında ısı transferini hesaplamış ve bu değeri, laminar duruma göre yorumlamıştır [7].

Boughn J. W. ve arkadaşı, çarpan bir jeti ve üniform ısıtılan bir yüzeyden olan ısı transferini deneysel incelemişlerdir. Jet yüzeye oldukça yakın olduğu zaman birçok ilginç dağılımların oluştuğunu, bu durumda maksimum ısı transferinin durma noktasında olduğunu, daha sonra ısı

transferinin yaklaşık olarak
 $X/D=1,3$ 'de bir minimuma ve
 $X/D=1,8$ 'de ise bir maksimuma
sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Diğer araştırmacılar tarafından da
bulunduğu gibi maksimum durma
noktası ısı transferinin yaklaşık
olarak $H/D=6$ 'da meydana geldiğini
ifade etmişlerdir [8]. Huang L. ve

arkadaşı aynı şartlarda ve aynı çapa sahip tek kanallı çarpan jet (CIJ), helisel dönen (SIJ) ve çok kanallı (MCIJ) çarpan jetlerin performansını incelemek ve karşılaştırmak için ısı transferi ve akış gözleme deneylerini yapmışlardır. Isı transferi deneylerini, jet mesafesi $H=12,7-$

76,2 mm'de dönme açısı $\theta=15^\circ, 30^\circ$
ve 45° 'de, Reynolds sayısı $Re=$
3 620- 17 600 ve durma
noktasından radyal mesafe $X=0-65$
mm'de yapmışlar ve bu değerlerin
ısı transferine etkilerini
araştırmışlardır. Isı transferi
deneylerinde SIJ'lerin belirgin bir
şekilde çok yüksek lokal ve yüzey

ortalama Nusselt sayısı

değerlerine sahip olduğunu ve aynı

şartlarda aynı çapa sahip bir CIJ

ile mukayese edildiğinde, jet

çarpma yüzeyindeki ısı

transferinin radyal yönde

düzensizliğini iyileştirdiğini

açıklamışlardır [9]. Ward J. ve

arkadaşı düz bir düzlem üzerine

dik olarak çarpan, dönen hava jetlerinin kütle ve ısı transfer oranlarını incelemişlerdir. Çarpma yüzeyinde ince bir naftalin film tabakası üzerinde buharlaşma tekniği kullanarak kütle transfer verilerini elde etmişlerdir. Jet dönme sayısını $S=0-0,48$ ve lüle-levha mesafesini $H/D=2-12$

aralığında almışlardır. Ayrıca dönmenin olmadığı durumda jet Reynolds sayısını 32 000-60 000 aralığında almışlardır. Durma noktasındaki ısı transfer katsayısının, dönme sayısı S' 'e son derece bağlı olduğunu ve dönme derecesi artırıldığında bu ısı transfer katsayılarındaki

azalmanın, jetin çarpma düzlemine geliş hızındaki azalma ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Dönmeyen akış için durma noktasındaki maksimum ısı transferinin yaklaşık $H/D=4$ mesafesinde meydana geldiğini, en büyük dönme sayısında ise maksimum ısı transferinin, en

yakın lüle-levha mesafesi

$H/D=2$ 'de meydana geldiğini

belirtmişlerdir. En yüksek dönme

sayısında ($S=0,48$) maksimum ısı

transfer yerinin, jetin merkez

ekseninden sapma yaptığını

gözlemlemişlerdir [10].

Bu çalışmada, yuvarlak bir lüleden

çıkan tek kanallı, çok kanallı (4) ve dönen hava jeti ($\theta=22,5^\circ$, $\theta=41^\circ$, $\theta=50^\circ$), Reynolds sayısı $Re=20\ 000$ ve lüle-plaka mesafesi $6 \leq H/D \leq 10$ değerlerinde, ısıtılmış düz bir levha üzerine dik çarptırılarak, yüzeyde konvektif ısı transfer katsayıları dağılımı incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu

çalışmadaki hava jetine dönme

açısını veren dönme

jeneratörlerinin kanal geometrisi

ve helis açıları, literatür

çalışmalarından farklıdır. Ayrıca

dönme jeneratörü içerisinde

havanın aldığı yol sabit

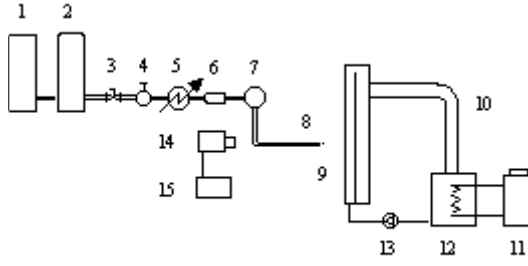
tutulmuştur. Literatürde havanın

alacağı yol sabit tutularak henüz
bir çalışma yapılmamıştır.

DENEY DÜZENEGİ

Jeti oluşturan hava akımı bir kompresörle sağlanmıştır. Kompresörün bastığı hava basınç tankına gelir. Buradan yaklaşık 10 atm. basınçta alınan hava, bir basınç ayar valfindan geçirilerek sabit basınç ve akım debisinde elde edilir. Basınç ayar valfi ayarlanarak değişik debilerde hava akımı elde etmek mümkündür.

Hava akım debisini ölçmek için ayar valfindan sonra debi ölçer yerleştirilmiştir, böylece elde edilen ve debisi ölçülen hava, 2 m uzunluğunda lastik hortumun ucuna bağlı lüleden (uzun düz bir borudan) geçirilerek plaka üzerine çarptırılmıştır. Jet hava sıcaklığının yaklaşık evre hava sıcaklığıyla eşit ($T_J=T_\infty$) olması için basınçlı



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

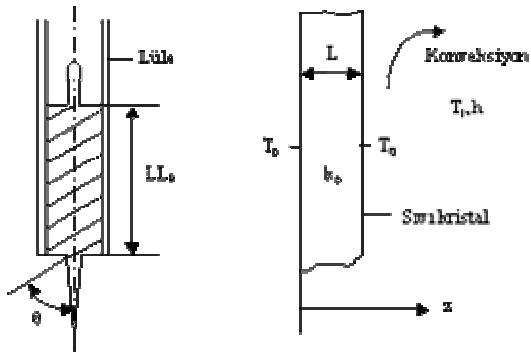
hava tankı ile basınç ayar vanası arasında bir ısı değiştiricisi yerleştirilmiştir. Kompresörden hava tankına basılan havanın akımı etkileyen bir takım bozucu etkilerden (yağ, kir vb.) arınarak çarpma yüzeyine ulaşabilmesi için ısı değiştiricisi ile debi ölçer arasında bir hava filtresi yerleştirilmiştir. Lüleden fışkıran hava jeti, üzeri sıvı kristal kaplı arkası sabit su sıcaklığında bulunan cam levhaya çarptırılmıştır. Cam levha arka yüzeyindeki sabit sıcaklık şartı, bir su tankının suyunun, sabit sıcaklık banyosu ile sabit bir değerde ısıtılıp pompa

vasıtasıyla cam levhanın arkasına pompalanması ile sağlanmıştır. Deneylerde belli lüle-levha aralığında çarpan hava jetinin yüzeyde meydana getirdiği renk ilerleyişi bir video kameraya çekilerek, elde edilen değerler daha sonra ısı transfer katsayılarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Deney düzeneği şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Lüle, $D=15$ mm iç çapında ve $LL=50.D$ uzunluğunda yuvarlak bir borudan yapılmıştır ve lüle çıkışında akım tamamen gelişmiştir. Jete dönme etkisini verebilmesi içinde lüle içerisine normal çelikten imal edilmiş ve üzeri vernik kaplanmış dört kanallı dönme jeneratörü (sonsuz vida) eklenmiştir. Lüle malzemesi düzgün yüzeyli, dikişsiz düz bir alüminyum borudur. Lülenin basınç tankına bağlantısı, 2 m uzunluğunda lastik bir hortumla yapılmıştır.

Jete dönme etkisini verebilmek için Şekil 2 (a)'da görüldüğü gibi dönme jeneratörleri imal edilmiştir. Ayrıca $\theta=0^\circ$ jeneratör imal edilerek, aynı şartlarda hava jetine sıfır ve sıfırdan farklı dönme etkisi verilerek dönen jetlerin ısı transfer karakteristikleri incelenmiştir. Dönen jetin, dönme (helis) açısı dönme jeneratörünün normaliyle kanadının yaptığı açıdır ve θ ile gösterilmiştir. Helis açısı en küçük olan ($\theta=22,5^\circ$) dönme jeneratörü, 15 mm çaplı çelik çubuk etrafında bir tur attırılmıştır. Bu dönme jeneratörünün kanat uzunluğu ölçülmüş (yaklaşık 123 mm) ve $\theta=0^\circ$ olan jeneratörün boyu buna bağlı olarak 123 mm alınmıştır.

Dönme jeneratörlerinin ($\theta=0^\circ$ $\theta=22,5^\circ$ $\theta=41^\circ$ $\theta=50^\circ$) hepsinde helis uzunluğu, yani havanın kanal içinde alacağı yol sabit tutulmak şartıyla her bir açıdaki jeneratör yüksekliği tespit edilmiştir. Helis yüksekliği ise $LL_0=123.\cos\theta$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.



(a)

(b)

Şekil 2. a) Dönme jeneratörlü jet.

b) Levha kalınlığında sınır şartları.

ISI TRANSFER KATSAYISININ HESAPLANMASI

Jet yüzeye çarptığı zaman kararlı durumda levha kalınlığında (z yönünde) arkadan

öne doğru iletilen ısı (Q_{kond}), levha yan yönünde iletilen ısı (Q_{yan}) ile levha yüzeyinde jet havasının konveksiyonla uzaklaştırdığı ısı ve radyasyonla atılan ısıların toplamına eşittir. Bu durumda enerji balans denklemi yazılırsa,

$$Q_{kond} = Q_{konv} + Q_{rad} + Q_{yan} \quad (1)$$

denklemi elde edilir. Levha yan kenarlarına doğru $Q_{yan} \approx 0$ ve radyasyonla atılan ısı $Q_{rad} \approx 0$ olduğu kabul edilirse, levha kalınlığında yani arka ve ön yüzü arasında kondüksiyonla ısı transferi bir boyutlu olur ve şu şekilde yazılır,

$$Q_{kond} = A \frac{k_p}{L} (T_p - T_q) \quad (2)$$

ön yüzeyde konveksiyonla ısı transferi,

$$Q_{konv} = Ah(T_q - T_j) \quad (3)$$

ve 1 denklemi yeniden düzenlenirse,

$$Q_{kond} = Q_{konv} \quad (4)$$

şeklinde olur. Denklem 2-4 den ısı taşınım katsayısı (h) bulunarak Nusselt sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$Nu = \frac{hD}{k_a} \quad (5)$$

buradaki k_a havanın iletim katsayısıdır ve film sıcaklığı $T_f=(T_q+T_j)/2$ 'de dikkate alınmıştır. Reynolds sayısı ise jet çapına göre şöyle tanımlanmıştır:

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (6)$$

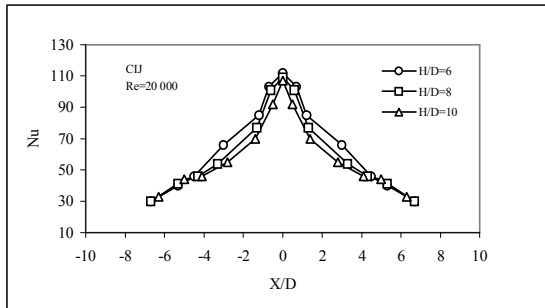
DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Deneyler, tek kanallı (CIJ) yani lüle boşken ve helis açıları $\theta=0^\circ$, $\theta=22,5^\circ$, $\theta=41^\circ$ ve $\theta=50^\circ$ olan 4 kanallı dönen jetler için $Re=20\ 000$ ve $6 \leq H/D \leq 10$ aralıklarında yapılmış ve Nusselt sayısının değişimi incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

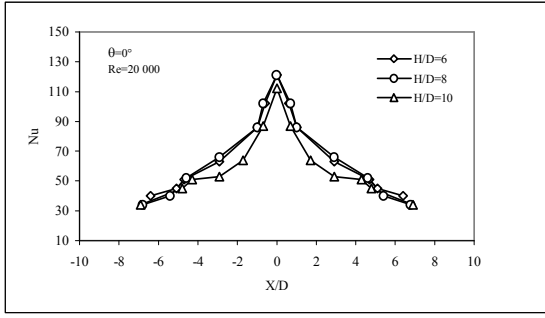
Deneylerden elde edilen verilere göre, Şekil 3, 4, 5, 6, 7'de sırasıyla tek kanallı (CIJ), çok (4)

kanallı ($\theta=0^\circ$) ile $\theta=22,5^\circ$, $\theta=41^\circ$ ve $\theta=50^\circ$ açılı dönen jetlerin, $H/D=6$, 8 ve 10 değerleri için, Nusselt sayısının durma noktası uzaklığı ile değişimleri verilmiştir. Deneysel verilerden maksimum Nusselt sayısının $H/D=6$ 'da meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca bu grafikler karşılaştırıldığında, CIJ, çok (4) kanallı ($\theta=0^\circ$) ve $\theta=22,5^\circ$ jetlerde maksimum Nusselt sayısının durma noktasında, $\theta=41^\circ$ ve $\theta=50^\circ$ jetlerde ise durma noktasından yaklaşık $X/D=2,5$ mesafesinde meydana geldiği görülmüştür. Şekil 8'de CIJ, çok (4) kanallı ($\theta=0^\circ$) ve dönen jetler için $H/D=6$, 8 ve 10 değerlerinde çarpma noktasındaki Nusselt sayıları verilmiştir. Bu grafikte maksimum Nusselt sayısı tüm jetler için $H/D=6$ 'da meydana gelmiştir. Ancak daha belirgin olması nedeniyle $H/D=8$ değerinde maksimum Nusselt sayıları, sırasıyla çok (4) kanallı ($\theta=0^\circ$), CIJ, $\theta=22,5^\circ$, $\theta=41^\circ$ ve $\theta=50^\circ$ jetlerinde meydana geldiği görülmektedir. Şekil 9 ve 10'da ise sırasıyla, $\theta=41^\circ$ dönme jeneratörlü jet için çarpma yüzeyindeki eş Nusselt sayısı çizgileri ile $\theta=50^\circ$ dönme jeneratörlü jet için çarpma yüzeyindeki sıvı kristalin renk bandı ve eş sıcaklık çizgileri gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi yüzeyde 4 farklı noktada maksimum Nusselt sayısı meydana gelmektedir.

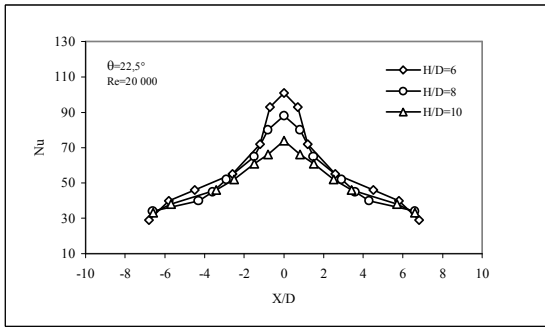
Çarpma levhası üzerinde eş Nusselt sayısı çizgileri tek kanallı (CIJ) ve $\theta=0^\circ$ jet için iç içe daireler, $\theta=22,5^\circ$ jeneratörlü jetler için iç içe kenarları yuvarlak biçimli kare şeklinde, $\theta=41^\circ$ ve $\theta=50^\circ$ dönme jeneratörlü jetler için ise yüzeyde 4 ayrı daire merkezi meydana getirmiştir.



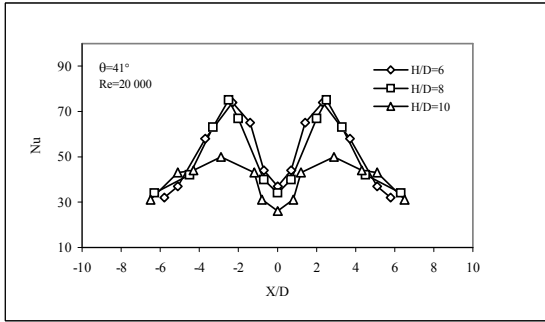
Şekil 3. Tek kanallı (CIJ) jet için Nusselt sayısının durma noktası mesafesi ile değişimi.



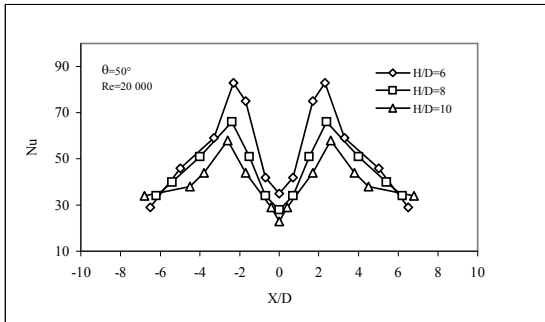
Şekil 4. Çok kanallı ($\theta=0^\circ$) jet için Nusselt sayısının durma noktası mesafesi ile değişimi.



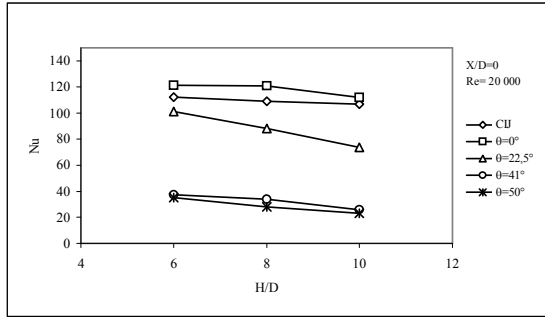
Şekil 5. Dönen ($\theta=22,5^\circ$) jet için Nusselt sayısının durma noktası mesafesi ile değişimi.



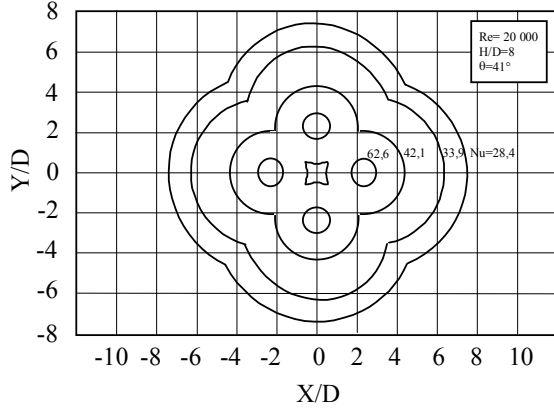
Şekil 6. Dönen ($\theta=41^\circ$) jet için Nusselt sayısının durma noktası mesafesi ile değişimi.



Şekil 7. Dönen ($\theta=50^\circ$) jet için Nusselt sayısının durma noktası mesafesi ile değişimi.



Şekil 8. $Re=20000$ 'de CIJ, $\theta=0^\circ$, 22.5° , 41° ve 50° jetler için durma noktasındaki Nusselt sayısının H/D ile değişimi.



Şekil 9. $Re=20\ 000$, $H/D=8$ 'de $\theta=41^\circ$ dönen jet için çarpma yüzeyindeki eş Nusselt sayısı çizgileri.

*Şekil 10. $Re= 20\ 000$, $H/D=6$ 'da
 $\theta=50^\circ$ dönen jetin çarpma
yüzeyindeki sıvı kristal renk bandı
ve eş sıcaklık çizgileri.*

SONUÇ

Tek kanallı, çok (4) kanallı ($\theta=0^\circ$), $\theta=22,5^\circ$ açılı dönen jetlerin lüle-plaka mesafesi oranı $H/D=6, 8, 10$ değerleri için maksimum Nusselt sayısı durma (geometrik çarpma) noktasında meydana gelirken, $\theta=41^\circ$ ve $\theta=50^\circ$ dönen jetlerde ise yaklaşık $X/D=2,5$ mesafesinde meydana gelmiştir. Ancak $\theta=41^\circ$ ve $\theta=50^\circ$ dönen jetlerin $X/D=2,5$ mesafesindeki Nusselt sayıları diğer jetlerin aynı noktadaki Nusselt sayılarından daha büyük olduğu görülmüştür. Tek kanallı, çok (4) kanallı ($\theta=0^\circ$) ve dönen jetlerde lüle-plaka mesafesi $H/D=6$ 'da durma noktasında maksimum ısı transferi meydana gelmiştir.

Deneyler sonucunda durma noktasındaki maksimum Nusselt sayısı, $H/D=6$ için sırasıyla çok (4) kanallı ($\theta=0^\circ$), tek kanallı ve $\theta=22,5^\circ$ açılı dönen jette meydana gelirken, $H/D=8$ için ise yaklaşık $X/D=2,5$ mesafesinde sırasıyla $\theta=41^\circ$ ve $\theta=50^\circ$ açılı dönen jetlerde meydana gelmiştir. Sonuç olarak eğer noktasal bir soğutma amaçlanıyorsa tek kanallı veya çok (4) kanallı ($\theta=0^\circ$) jetler, tüm yüzeyde bölgesel bir soğutma amaçlanıyorsa dönen ($\theta=50^\circ$ ve $\theta=41^\circ$) jetler kullanılabilir.

SEMBOLLER

D Lüle çapı (m)

H/D Boyutsuz lüle-plaka mesafesi

X/D Boyutsuz durma (çarpma) noktası mesafesi

C_{IJ} Tek kanallı jet

θ θ Jeneratör açısı ($^\circ$)

L Levha kalınlığı (m)

LL	Lüle uzunluğu (m)
LL _θ	Dönme jeneratörü uzunluğu (mm)
k	İletim katsayısı (Wm ⁻¹ K ⁻¹)
Q	Isı transferi (W)
h	Lokal ısı taşınım katsayısı (Wm ⁻² K ⁻¹)
A	Isı transfer alanı (m ²)
U	Lüle içinde ortalama hava hızı (ms ⁻¹)
Re	Reynolds sayısı
Nu	Nusselt sayısı
v	Kinematik viskozite (m ² s ⁻¹)
T _p	Sabit levha arka sıcaklığı (°C)
T _q	Sıvı kristalin yeşil renk sıcaklığı (°C)
T _j	Jet hava sıcaklığı (°C)
T _∞	Ortam hava sıcaklığı (°C)

Alt	indisler
Kond	Kondüksiyon
Konv	Konveksiyon
rad	Radyasyon
yan	Yanal
p	Plaka
a	Hava
q	Sıvı kristal
f	Film

KAYNAKÇA

1. 1. **Bakırcı, aK.**, Dönen Çarpan Jetin Isı Transfer Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksel Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 1998, Erzurum.
2. 2. **Bilen, .K.**, Isıtılan Düzlem Bir Plakaya Dik ve Eğik Hava jeti Çarpmasında Isı Transferinin Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1994, Trabzon.
3. 3. **Pamadi, B. N. and Below, I. A.**, A Note on The Heat Transfer Charecteristics of Circular Impinging Jet, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 23, 1979, pp. 783-787.
4. 4. **Shoukri, M. and Calka, A.**, On the Heat Transfer Charecteristics of a Constrained Air Jets Impinging on a Flat Surface, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 30, 1, 1987, pp. 203-205.
5. 5. **Sparrow, E. M. and Lowell, B. J.**, Heat Transfer Charecteristics of an Obliquely Impinging Circular Jet, *Journal of Heat Transfer*, 102, 1980, pp. 202-209.
6. 6. **Popiel, C. O., Meer, T. H. V. D. and Hoogendoorn, C. J.**, Convective Heat Transfer on a Plate in an Impinging Round Hot Gas Jet of Low Reynolds Number, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 23, 1979, pp. 1055-1068.
7. 7. **Aralow, A. D.**, Heat Transfer Coefficients in The Accelerating Flow Zone of An Axisymmetric Impinging Jet, *Heat Transfer-Soviet Reseach*, 19, 4, 1987, pp. 102-109.
8. 8. **Boughn, J. W. and Shimizu, S.**, Heat Transfer Measurements from a Surface with Uniform Heat Flux and an Impinging Jet, *Journal of Heat Transfer* , Vol. 111, November 1989, pp. 1096-1098.
9. 9. **Huang L. and El-Genk, M. S.**, "Heat Transfer and flow Visualization Experiments of Swirling, Multi- Channel, and Conventional Impinging Jets", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 47, No.3, 1998, pp. 583-600.

10. 10. **Ward, J. and Mahmood, M.**, Heat Transfer from a Turbulent, Swirling Impinging Jet, Proceedings of the Seventh International Heat Transfer Conference, Vol.3, Hemisphere, Washington, DC 1982, pp. 401-407.