

# Konvansiyonel ve swirl çarpan jetlerle kütle transferi

M. Emin ARZUTUĞ<sup>1,8</sup>, Sinan YAPICI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü  
25240 Erzurum, Türkiye

## Özet

Bu çalışma, bir hücre içinde, daldırılmış tek kanallı konvansiyonel çarpan jet (KÇJ) ve swirl çarpan jetler (SÇJ) ile düzgün bir çarpma yüzeyi arasında meydana gelen kütle transferi olayını kapsamaktadır. Deneylede kullanılan SÇJ'ler, KÇJ'in elde edildiği dairesel geometrili nozul içerisine, farklı açılara sahip dört kanallı swirl jeneratörlerin yerleştirilmesi ile elde edilmiştir. Jet çarpma yüzeyinde ölçülen lokal kütle transfer katsayıları (LTK), elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı tekniği (ESDAT) kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler,  $Re=19300$ ,  $2 \leq (H/d) \leq 10$  aralığında ve  $Sc=1692$ 'de yapılmıştır. Sonuçta, KÇJ ve SÇJ'ler için jet durgunluk noktasından itibaren radyal yönde  $Sh$  sayılarının dağılımı üzerine, boyutsuz jet-çarpma yüzeyi mesafesinin ( $H/d$ ) etkisi belirlenmiştir. Her iki jet için sonuçların karşılaştırılması sonucu, aynı hidrodinamik şartlarda KÇJ'e ait LTK dağılımının, SÇJ'lerin dağılımından daha yüksek olduğu ve jet durgunluk noktası verilerinin de daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, SÇJ'lerin özellikle yüksek swirl şideti ( $S$ ) ve ( $H/d$ ) değerlerinde, çarpma yüzeyinde  $0 \leq (r/d) \leq 15$  aralığında daha uniform bir LTK dağılımı sergilediği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Swirl çarpan jet, tek kanallı jet, konvektif taşınım, kütle transfer katsayısı, swirl şideti, elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım tekniği

## Mass transfer with conventional and swirl impinging jets

### Abstract

This study involves the phenomena of mass transfer taking place between submerged conventional impinging jet (CIJ) with single channel and a flat plate, and between swirl impinging jet (SIJ) and a flat plate. SIJs used in experiments are provided by fitting swirl generator with four-channels in the circular nozzle which is used for CIJ. Local mass transfer coefficients obtained on jet impingement surface are measured by using electrochemical limiting current diffusion technique (ELCDT). Measurements are carried about at  $Re=19300$ ,  $Sc=1692$ , in the range of  $2 \leq (H/d) \leq 10$ . As a result, the effect of dimensionless distance of jet-impingement surface on the  $Sh$  number distribution in radial axis from the jet stagnation point for the CIJ and SIJs. In comparing data for both jets, LMTC distribution for CIJ at the same hydrodynamic conditions is higher than those for SIJ and LMTC value of stagnation point for CIJ are also higher than those for SIJ. However, it is determined that LMTC distribution of SIJs, in particular at higher swirl intensity ( $S$ ) and ( $H/d$ ) values, in the range of  $0 \leq (r/d) \leq 15$  on the impingement surface shows a more uniform distribution than those for CIJ.

**Keyword:** Impinging swirl jets, single-channel jet, convective transport, mass transfer coefficient, swirl intensity, electrochemical limiting current technique.

<sup>8</sup>M. Emin ARZUTUĞ, e-Posta: arzutug@atauni.edu.tr

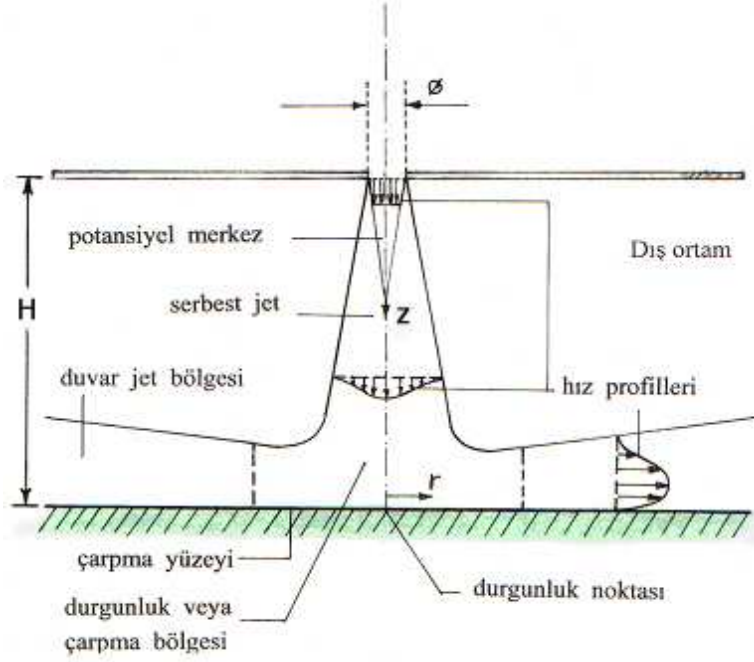
## 1. Giriş

Endüstriyel sistemler, genellikle konvektif ısı ve kütle aktarımı mekanizmalarına dayanmaktadır. Konvektif ısı ve kütle transferi hızlarını geliştirmede bir çok teknik bilinmekte ve uygulanmaktadır. Bunlar aktif ve pasif teknikler olarak iki ana başlık altında toplanabilirler. Aktif teknik kullanılan sistemlerde, sisteme dışarıdan ilave bir güç verilerek ısı ve kütle transferi iyileştirme yoluna gidilir. Pasif tekniklerin kullanımı durumunda, sisteme dışarıdan ilave bir güç verilmez. Sistem mekanizması içinde bazı şekil değişiklikleri ile ısı ve kütle transferi iyileştirilmektedir. Bunun için, sistem içerisine helisel yay, pervane, çeşitli geometrilerde türbülötörler yerleştirilmesi transfer olayını hızlandıran pasif teknikler olarak bilinirler.

Bir dış güç gerektiren aktif tekniklerin kullanımı, pasif tekniklere göre ekonomik açıdan daha fazla ek yük getirecektir. Endüstriyel uygulamalarda da genellikle pasif teknikler tercih edilmektedir [1]. Pasif tekniklerden olan çarpan jetler, çarpma yüzeyi ile jet akışı arasında yüksek transfer hızı elde edilmesi nedeniyle, ısı ve kütle transfer hızlarını artırmak için bir çok proseste ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tekniğin kullanıldığı bir çok ısı, kütle ve hidrodinamik çalışma mevcuttur [2].

Çarpan jetler; kağıt, cam, tekstil sanayisinde, metal ısı işlemlerinde, boyama sanayisinde, elektriksel ve elektronik ekipmanlarda, mürekkep püskürtmeli yazıcılarda, özellikle yüksek ısı akısıyla soğutma gerektiren nükleer santrallerdeki bazı sistemlerde, gaz-sıvı kontaktörlerinde, jet motorları ve sıvı yakıt brülörlerinin kullanıldığı yanma sistemleri gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 1.'de akışkan içine daldırılmış bir nozuldan çıkan ve nozul çıkış yeri ile çarpma yüzeyi arasında oluşan çarpan sıvı jetin profili ve hidrodinamik yapısı görülmektedir. Nozul ekseninin yüzey ile çakıştığı nokta durgunluk noktasıdır ki bu noktada akışkan hızı sıfırdır ve dik jetlerde maksimum ısı aktarımı bu yerde meydana gelir [3].

Kataoka ve Mizushina [4], elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı tekniğini kullanarak bir çarpan dairesel jette, lokal ısı transfer hızı üzerine serbest akım türbülans etkisini araştırmışlardır. Vallis, Patrick ve Wragg [5], akışa dik yerleştirilmiş düzgün bir yüzey ile bir asimetric türbülent jet arasındaki ısı transfer katsayısının radyal dağılımı üzerinde (H/d) oranı, Re sayısı, nozul çapının etkisini sınırlayıcı difüzyon akımı tekniği kullanarak incelemişlerdir. Duvar jet bölgesi üzerine yoğunlaşan Deshpande ve Vaishnav [6], bir düz yüzeye dik olarak çarpan daldırılmış asimetric laminer jet durumunda bir akışkan içinde büyüyen akış alanı detaylarını, kararlı hal Navier Stokes eşitliklerini kullanarak bilgisayar destekli ve nümerik olarak incelemişlerdir.



Şekil 1. Düz bir yüzey üzerine çarpan dairesel tek nozullu serbest jet akışının hidrodinamik yapısı (3)

Jambunathan vd. [7], tek nozullu dairesel çarpan jet kullanarak yapılan ısı transfer çalışmalarının sonuçlarına göre, deneysel verilerdeki farklılıkların nedenlerinin; nozul çıkışındaki hız profilini etkileyen nozul geometrisi, küçük ölçekte oluşan türbülans etkisi ve akışın sınırlandırılması olduğunu ifade ederek, bu etkinin ısı transferini azalttığını belirlemiştir. Huang ve El-Genk [8], uniform olarak ısıtılmış düzgün bir yüzey üzerine düşük ( $H/d$ ) ve  $Re$  sayılarında, çarpan hava jeti kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada, ortalama ve lokal  $Nu$  sayıları üzerine,  $Re$ ,  $(r/d)$  ve  $(H/d)$ 'nin etkisini belirlemiştir. Maksimum durgunluk  $Nu$  sayısının  $(H/d)=4.7$ 'de meydana geldiği, ayrıca hem ortalama  $Nu$  hem de maksimum  $Nu$  sayısının  $(H/d)$  ve  $(r/d)$  ile oldukça çok değiştiği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Fitzgerald ve Garimella [9], düz bir yüzey üzerine asimetrik, sınırlanmış ve daldırılmış bir türbülent jet içinde laser dopler metodu kullanarak meydana gelen sirkülasyon bölgesi merkezinin,  $Re$  ve  $(H/d)$ 'nin artışıyla birlikte radyal yönde hareket ettiğini ifade etmişlerdir.

Ward ve Mahmood [10], bir türbülent swirl jetin düz bir yüzeye çarptırılması ile ısı ve kütle transferi karakteristiklerini belirlemek için, ince film naftalin süblimasyon tekniği ile elde ettikleri kütle transfer verilerini, Chilton-Colburn analogisini kullanarak ısı transfer katsayılarına dönüştürmüşlerdir. Araştırmacılar, swirlün ısı transferi üzerinde hem lokal hem de ortalama değerlere göre negatif bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Huang ve El-Genk [11], aynı nozul çapında ve aynı şartlarda swirl ve çok kanallı çarpan jetler ile konvansiyonel çarpan jetin performansını kıyaslamak ve araştırmak üzere, ısı transferi ve akış görüntüleme deneyleri yapmışlardır. SÇJ, KÇJ'e kıyasla hem  $Nu$  sayılarında büyük artışlar göstermiş hem de radyal yönde daha uniform  $Nu$  dağılımı vermiştir, ayrıca en iyi sonuçlar swirl açısı  $\theta=15^\circ$  olan durumda meydana gelmiştir. Araştırmacılara göre; çarpma yüzeyine yaklaştıkça swirl jet, akış alanı etrafındaki havanın yayılmasıyla birlikte radyal olarak yayılır ve genişler. Aynı şartlar altında bir SÇJ'e ait çarpma alanı, aynı nozul çapındaki KÇJ'e ait olandan önemli ölçüde büyüktür [11].

Yapıcı vd. [12], elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım tekniği kullanarak, düz bir yüzey üzerinde daldırılmış çarpan dairesel jet ile yüzey lokal kesme gerilimi değerlerini ölçmüşlerdir. Kesme geriliminin radyal yöndeki dağılımı göz önüne alındığında en yüksek pik  $(H/d)=4$  için elde edilmiştir. Hava kullanılarak elde edilen SÇJ'lerin performansını araştırmak ve aynı şartlardaki KÇJ sonuçları ile karşılaştırmak amacıyla, ısı transferi ve akış görüntüleme deneyleri Bilen vd.[13] tarafından yapılmıştır. SÇJ'lerin KÇJ ile kıyaslandığında radyal yönde çok daha fazla uniform ısı transferi meydana getirdiği araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Lee vd. [14], kanatçık tipi swirl jeneratörü ile elde edilen bir SÇJ ile bir düz yüzey arasında oluşan türbülent ısı transferi prosesinde, sıvı kristal tekniğini kullanarak yüzeyde lokal Nu dağılımını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, swirl jet etkisinin çoğunlukla durgunluk bölgesinde ve maksimum Nu sayısının ise  $S=0.11$  ve  $(H/d)=2$  şartlarında görüldüğünü bildirmişlerdir. Küçük nozul çarpma yüzeyi mesafelerinde swirl jet akışlarında elde edilen ortalama Nu sayısının, KÇJ durumunda elde edilen ortalama Nu sayısından daha büyük olduğu, fakat  $(H/d)>10$  gibi büyük nozul yüksekliği mesafelerinde, swirl jet akışı etkisinin nadir olduğunu tespit etmişlerdir.

Çarpan jet ısı ve kütle transferini etkileyen en önemli parametrelerden birisi, nozul çıkışındaki akış şartlarıdır. Nozul çıkışındaki swirl akış, jet yayılma hızını ve türbülans karakteristiklerini çarpma yüzeyinden önce değiştirir. Swirl jetlerde, jet gelişiminin derecesi, jetin yayılması ve jetin sönümlenmesi swirl derecesiyle etkilenir [14]. Türbülent jetlerde, akışkan orifis üst akımında dönmeye zorlanarak orifisten çıkar. Orifisten çıkan bu akım, swirl kullanılmayan jetlerde karşılaşılan eksenel ve radyal hız bileşenlerine ek olarak, bir tanjantsal bileşeninin hız dağılımına da sahiptir [15]. Bir jette swirl oluşturucu kullanımının esas amacı, genişleme açısını ve eksenel hızın sönümlenme oranını artırmak içindir. Swirl sayısı 0.4 olan jet, swirl kullanılmamış olan muadilinin jet genişliği itibariyle hemen hemen 2 katı kadardır. Bu özellik mühendislik uygulamalarında çok faydalı ve kayda değer bir özelliktir [16].

Sıvı akışkanlı jetlerin kullanıldığı bu çalışmada, dairesel kesitli bir nozuldan çıkan tek kanallı jet (KÇJ) ile 4 kanallı SÇJ'ler ( $\theta=19,8^\circ$ ,  $30,4^\circ$  ve  $45^\circ$ ), Reynolds sayısı  $Re=19300$  ve nozul-çarpma yüzeyi mesafesi  $(H/d)=2$ , 6 ve 10 değerlerinde, düz bir levha üzerine dik çarptırılarak, yüzeyde konvektif LKTK'ları belirlenmiştir. Bu LKTK'larından hesaplanan Sh sayısı radyal dağılımı kullanılarak jetlerin kütle transferi üzerindeki performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, swirl jeti üretmek için kullanılan swirl jeneratörlerinin kanal geometrisi, Lee vd.[14] ve Bilen vd.[13] tarafından kullanılanlarla benzerdir. Fakat kanatçık (helis) açıları, kanat boyları literatür çalışmalarından farklıdır ve ayrıca tüm swirl jeneratörlerinin kanat uzunlukları, dolayısı ile sıvının jeneratör içinde aldığı yol sabit tutulmuştur.

## 2. Yöntem

Özellikle sıvıların kullanıldığı kimya mühendisliği alanındaki uygulamalarda, difüzyon kontrollü şartlar altında uygulanan elektrokimyasal reaksiyon metodu (ESDAT) yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü bu metot, bir katı-sıvı ara yüzeyindeki kütle transferi hızının ve kesme geriliminin hem ortalama değerlerini hem de lokal değerlerini ölçmek için kullanılabilir. Katotta ölçülen sınırlayıcı akım yoğunluğundan kütle ve

momentum transfer hızı hesaplanabilmektedir [17]. Difüzyon kontrollü proseslerde sınırlayıcı elektroliz akımı ölçümü, kütle (ısı) transferi hızlarının belirlenmesi ve belirli hidrodinamik olayların araştırılması için çok kullanışlı ve doğru sonuç veren bir tekniktir [18]. ESDAT kullanılmasındaki amaç, elektrik alanı içindeki kütle aktarım değerlerinin verilen akış şartlarında bulunmasıdır. Bu metod, yüksek Schmidt sayısına sahip akışkanlarda, duvar akılarının belirlenmesinde de geniş bir uygulama alanına sahiptir. Ayrıca oldukça memnun edici sonuçların elde edilmesi sebebi ile özellikle tercih edilmektedir [5]. Katı yüzeyler ve akışkanlar arasındaki kütle transfer hızlarının ölçümü için yaklaşık yarım asırdır kullanılan ESDAT bir çok araştırmacı [12,17,18,19] tarafından kullanılmıştır.

Katotta potasyum ferrisiyanürün ferrosiyanüre indirgenmesi (1) ve anotta potasyumferrosiyanürün ferrisiyanüre oksidasyonunun (2) gerçekleştiği reaksiyonlar aşağıda görülmektedir. Kullanılan tekniğin detaylarına [17, 20]'den ulaşılabilir.



Mevcut çalışmadaki ve Kerr ile Frazer [21] ile Lee vd.[14] tarafından kullanılan kanatçık tipi swirl jeneratörleri arasındaki geometrik benzerlikten dolayı, swirl sayısı kanatçık açısının fonksiyonu olarak Kerr and Frazer tarafından verilen (3) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S = \frac{2}{3} \left[ 1 - \left( \frac{r_1}{R} \right)^3 / \left( 1 - \left( \frac{r_1}{R} \right)^2 \right) \right] \tan \theta \quad (3)$$

$\theta$  : swirl eksenine ve kanatçık arasındaki açı

R : swirl jeneratörünün dış çapı

$r_1$  : swirl jeneratörün göbek mili çapı

Swirl jeneratörleri kanat açısı ( $\theta$ ) büyüdükçe swirl şiddeti de büyümektedir. Elektrolitin korrozif tesirinden etkilenmemesi için pirinçten yapılan swirl jeneratörlerinin yüzeyi elektrolitik olarak Ni kaplanmıştır (şekil2.).



$$S=0.26$$

$$\theta=19.8^\circ$$

$$S=0.43$$

$$\theta=30.4^\circ$$

$$S=0.73$$

$$\theta=45^\circ$$

Şekil 2. Nikel kaplanmış swirl jeneratörleri [2].

Dikey silindirik bir elektrokimyasal hücrenin tabanına yerleştirilen, çarpma yüzeyi üzerinde LKTK'larını ölçmek amacıyla nikelden yapılmış 2mm çapındaki lokal elektrotlar (katotlar), yine nikelden yapılmış ve ana katot görevi yapan bir disk üzerine tek sıra halinde yerleştirilmiştir. Aktif elektrot yüzey alanının belirlenmesi için her bir deneyden önce Cottrel eşitliği [22] kullanılarak bu lokal elektrotlar kalibre edilmiş ve [18]'de belirtilen tüm tedbirler alınmıştır. Bu temizleme prosedürü ile lokal elektrotlardan  $\pm \%3.4$ 'lük bir sapmayla okuma yapılmıştır. Bir D.C. güç kaynağı ile anot-katot arasına sınırlayıcı akım voltajını veren gerilim uygulanmış ve bilgisayar destekli bir data okuma kartı ile Genie paket programı kullanılarak, her bir lokal elektrottan aynı anda okunan akım değerleri kaydedilmiştir. Her bir lokal elektrottan 40 s sürede okunan 20 verinin ortalaması, lokal kütle transfer katsayılarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Deneyler  $20\pm 0.5^\circ\text{C}$ 'de ve  $Sc=1692$ 'de gerçekleştirilmiştir.

LKTK'ları, elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım şartlarında (4) eşitliğinden hesaplanmıştır.

$$k = \frac{I_{\text{lim}}}{nFA(C_\infty - C_s)} \quad (4)$$

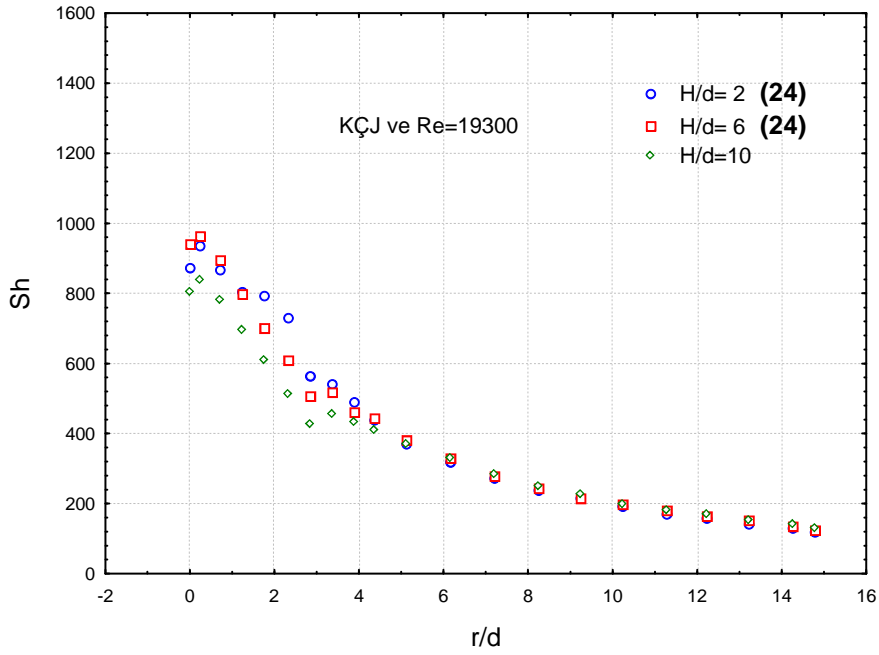
Elde edilen LKTK'larından (5) eşitliği kullanılarak, boyutsuz Sherwood sayıları elde edilmiştir.

$$Sh = \frac{kd_j}{D_{AB}} \quad (5)$$

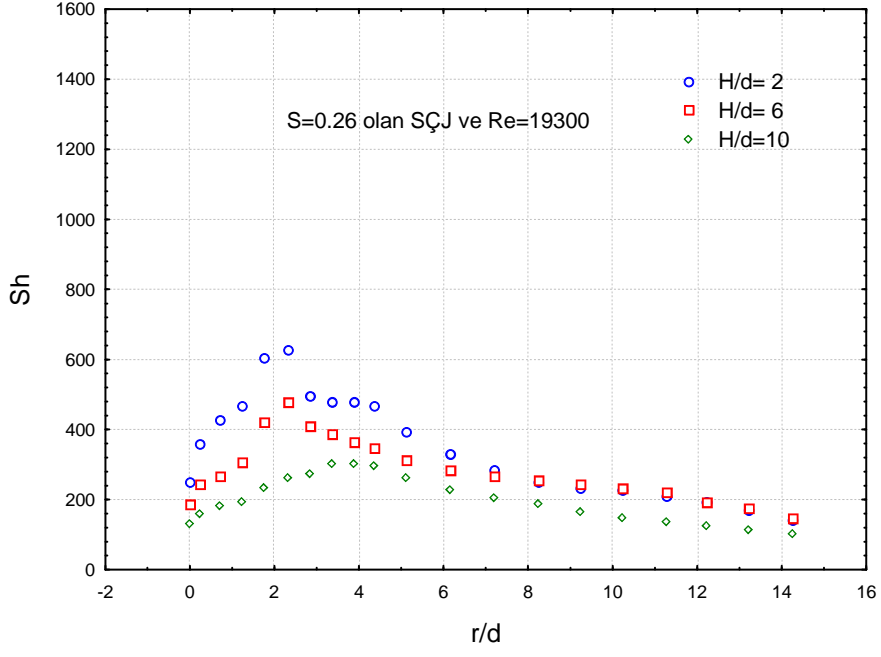
Holman [23] tarafından verilen bir metoda göre yapılan bir hata analizi sonucunda; Sh, Re ve k daki belirsizliklerin sırası ile  $\pm 15.32\%$ ,  $\pm 12.65\%$  ve  $\pm 13.79\%$  olduğu belirlenmiştir.

### 3. Bulgular

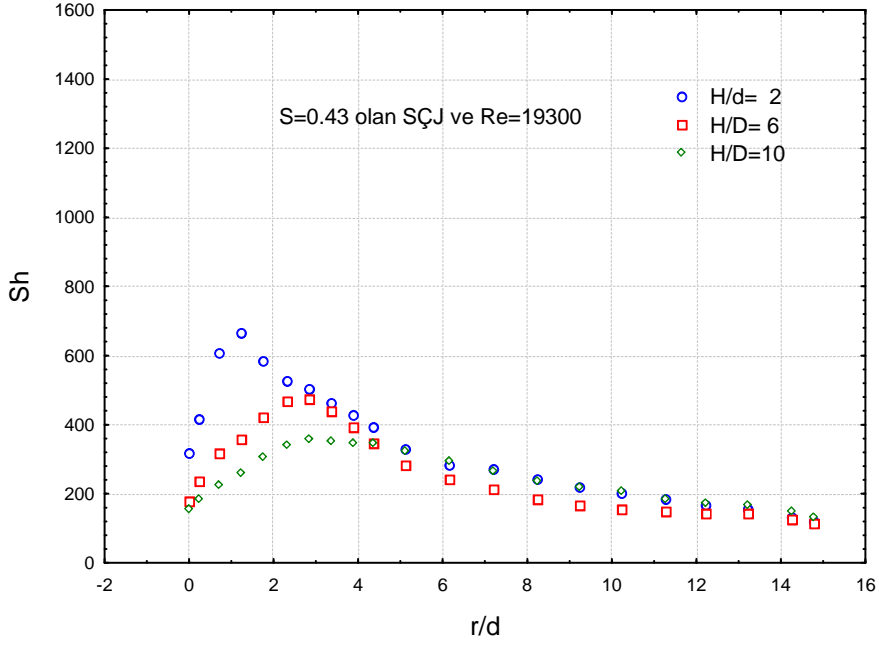
Deneyleerde, tek kanallı KÇJ ve swirl çarpan jetler (SÇJ) için, Sh sayısı radyal dağılımı üzerine boyutsuz nozul-çarpma yüzeyi mesafesi olan ( $H/d$ )'nin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyleer, 19300 jet Re sayısında, ( $H/d$ )'nin 2, 6 ve 10 değerlerinde, 0.26-0.73 arasında değişen swirl şiddetlerinde ve 0-15 aralığındaki boyutsuz radyal mesafe ( $r/d$ ) değerlerinde yapılmıştır. Elde edilen verilerden, şekil 3., 4, 5 ve 6'da sırasıyla tek kanallı KÇJ,  $\theta=19.8^\circ$ ,  $30.4^\circ$  ve  $45^\circ$  açılı swirl çarpan jetler için Sh sayısının jet durgunluk noktası olan ( $r/d$ )=0 noktasından itibaren radyal yöndeki değişimleri görülmektedir.



Şekil 3.  $Re=19300$ 'de farklı ( $H/d$ ) değerlerinde, KÇJ için lokal Sh sayısı radyal dağılımı

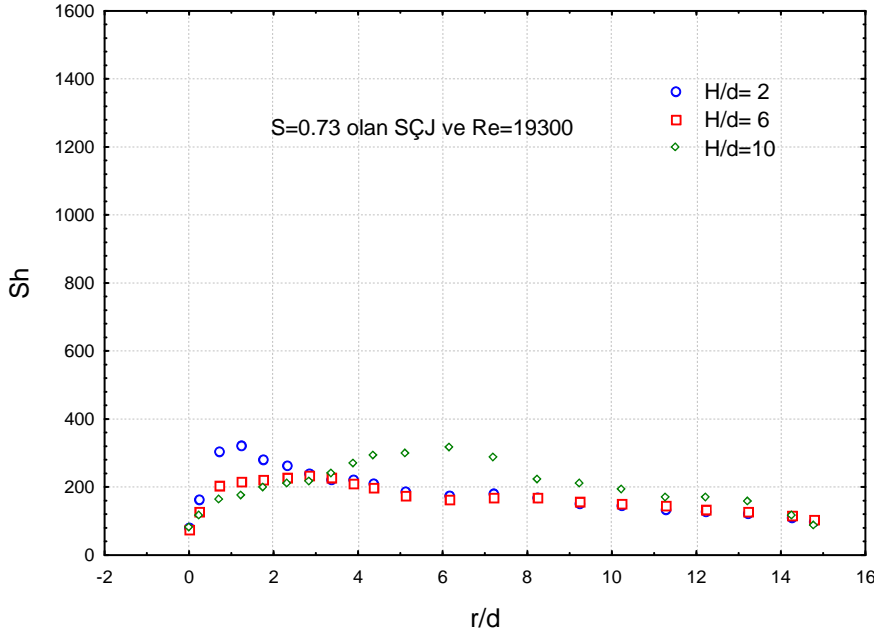


Şekil 4. Re=19300’de farklı (H/d) değerlerinde, S=0.26 olan SÇJ için lokal Sh sayısı radyal dağılımı



Şekil 5. Re=19300’de farklı (H/d) değerlerinde, S=0.43 olan SÇJ için lokal Sh sayısı radyal dağılımı





Şekil 6.  $Re=19300$ 'de farklı  $(H/d)$  değerlerinde,  $S=0.73$  olan SÇJ için lokal Sh sayısı radyal dağılımı

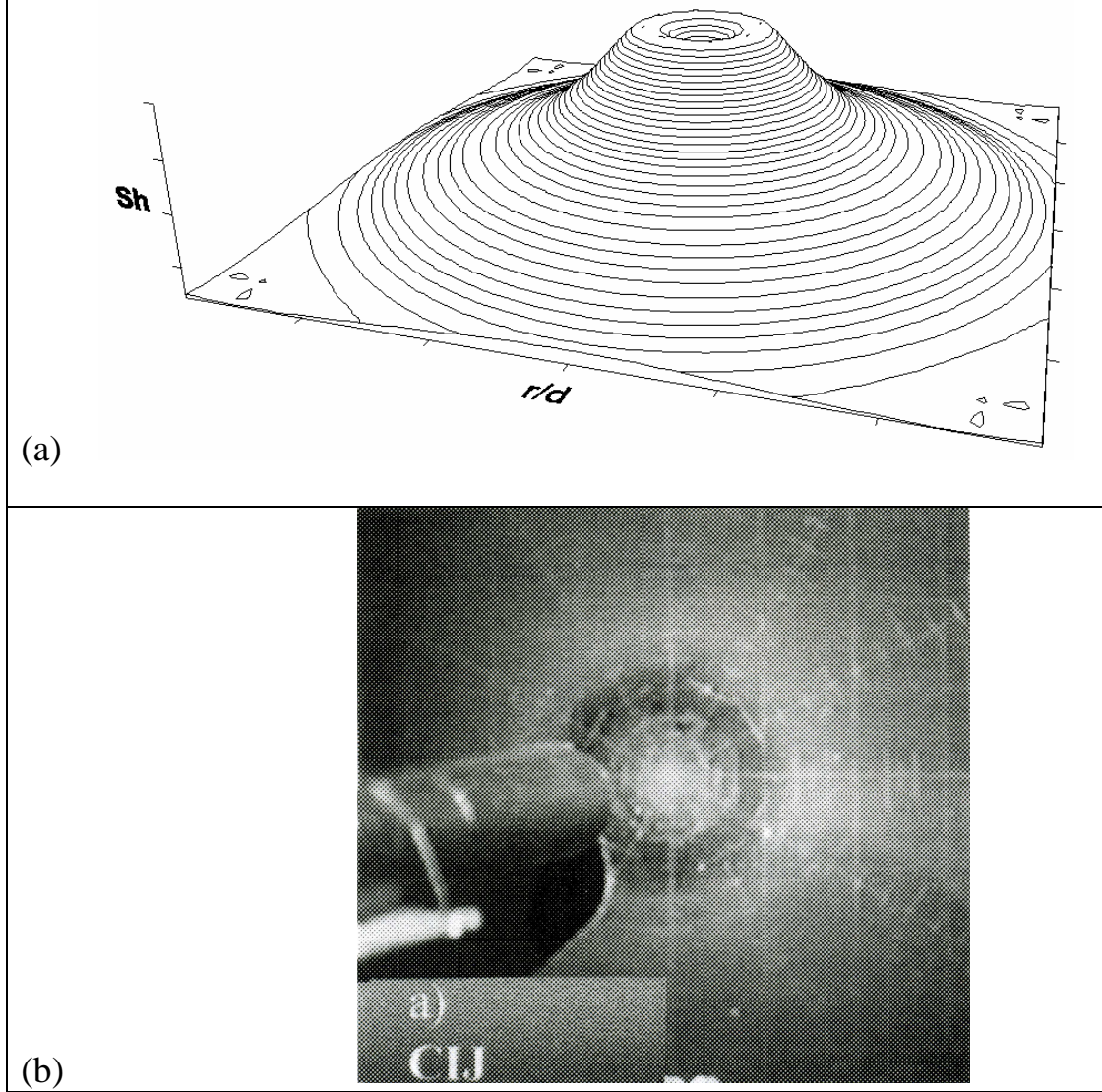
KÇJ durumunda, jet durgunluk noktası yakınında  $(r/d)=0.24$ 'te bir maksimum vererek azalan bir Sh dağılımı gözlenmektedir (şekil 3.). Aynı jet için maksimum Sh sayısının  $(H/d)=6$ 'da meydana geldiği ve diğer  $(H/d)$  değerlerinin de aynı  $(r/d)$  değerinde maksimum verdiği görülmektedir. SÇJ'lere bakıldığında maksimum Sh sayısının  $(H/d)=2$ 'de meydana geldiği görülmektedir. Fakat SÇJ'lere ait grafiklerde her bir  $(H/d)$  için maksimum Sh sayısının radyal yöndeki yeri, artan  $(H/d)$ 'ye bağlı olarak jet durgunluk noktası olan  $(r/d)=0$ 'dan uzaklaşmıştır. Bu durum, artan  $(H/d)$ 'ye ve büyüyen swirl şiddetine bağlı olarak swirl jetin, aksel yöne kıyasla radyal yönde daha fazla akış üretmesi ve buna bağlı olarak oluşturduğu 4 çarpma bölgesinin arasındaki mesafenin büyümesiyle açıklanabilir [13,14]. Tek kanallı KÇJ durumunda ise, maksimum Sh sayısının jet durgunluk noktasında  $(r/d)=0$  meydana gelmemesinin sebebi, nozul eksenini ile çarpma yüzeyindeki merkez lokal elektrot ekseninin (şekil 3.) tam çakışmamış olmasından kaynaklanmış olabileceği şeklinde açıklanabilir.

#### 4. Tartışma ve sonuç

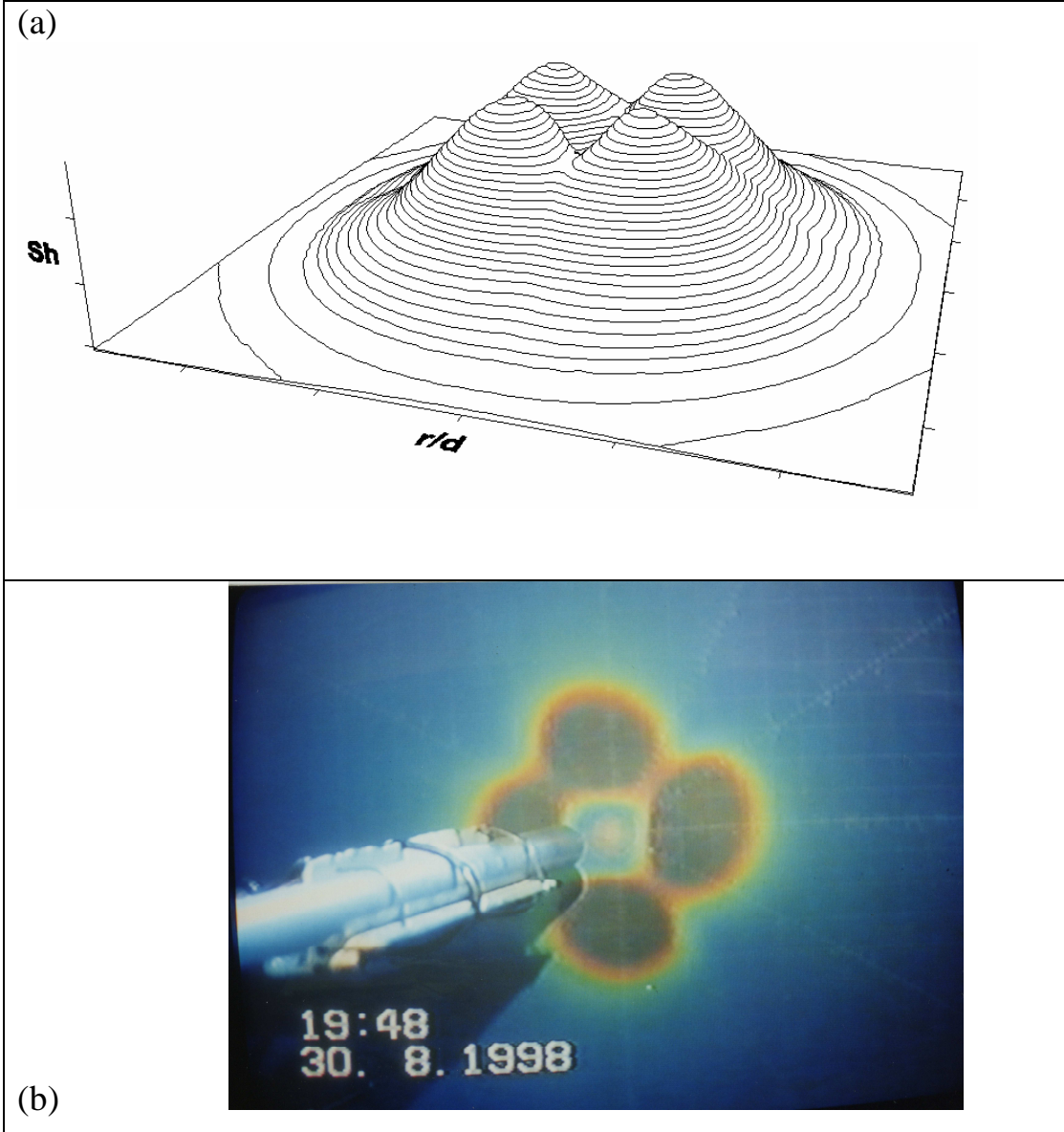
Bu çalışmada, ESDAT kullanılarak daldırılmış KÇJ ve SÇJ'lere ait kütle transferi sonuçlarının kıyaslanmasıyla ortaya çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

İzotermal şartlarda çalışılan sistemde,  $(H/d)$  oranı ve swirl şiddeti parametrelerinin, çarpma yüzeyinde maksimum kütle transferi meydana gelen noktanın, radyal yöndeki konumu üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Şekil 7b.'de fotoğrafı görülen [13] KÇJ'in, mevcut çalışma verileri ile çizilmiş üç boyutlu Sh dağılımı grafiği Şekil 7a.'da görülmektedir. Bilen vd. [13] tarafından SÇJ'ler durumunda jet çarpma yüzeyi üzerinde

oluştugu belirlenen dört jet çarpma bölgesi (şekil 8b.), mevcut çalışmadaki bir SÇJ'e ait Sh verileri kullanılarak şekil 8a.'da üç boyutlu olarak grafik edilmiştir. Bu sonuçlara göre, oluşan dört ayrı çarpma bölgesi, SÇJ'e ait her bir kanalın ayrı bir KÇJ gibi davrandığını göstermektedir.



Şekil 7. (a) Konvansiyonel çarpan jet için boyutsuz radyal mesafe ( $r/d$ )'ye karşı  $Sh$  değerlerinin üç boyutlu grafiği (mevcut çalışma). (b) Sıvı kristal çarpma yüzeyine konvansiyonel jetin çarpmasıyla oluşan bölgenin fotoğrafı [13].

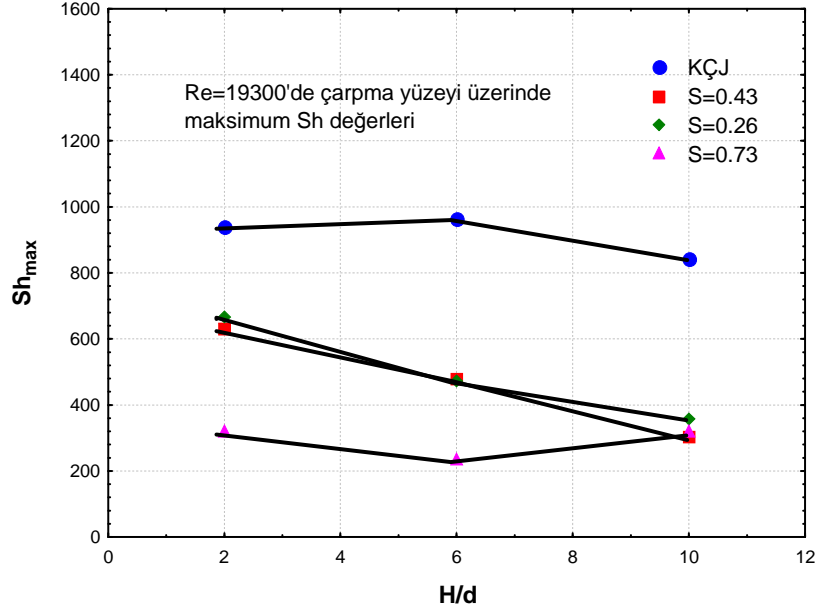


Şekil 8. (a) Dört kanallı swirl çarpan jet için boyutsuz radyal mesafe ( $r/d$ )'ye karşı  $Sh$  değerlerinin üç boyutlu grafiği (mevcut çalışma). (b) Sıvı kristal çarpma yüzeyine swirl jetin çarpmasıyla oluşan 4 ayrı bölgenin fotoğrafı [13].

Tek kanallı KÇJ durumunda,  $(r/d) \geq 5$  olan bölgede  $(H/d)$ 'nin etkili olmadığı,  $S=0.26$  olan SÇJ için  $(r/d) > 6$  olan bölgede  $(H/d)$ 'nin etkisinin azaldığı,  $S=0.43$ 'te  $(r/d) \geq 5$  olan bölgede ve  $S=0.73$  şiddetine sahip SÇJ'te ise  $(r/d) \geq 8$  olan bölgede  $(H/d)$ 'nin etkisinin hemen hemen kaybolduğu belirlenmiştir (Şekil 3., 4, 5, 6).

Aynı hidrodinamik şartlarda, konvansiyonel çarpan jete kıyasla swirl çarpan jetlerde meydana gelen kütle transferi üzerinde  $(H/d)$  daha çok etkili bir parametredir.

Maksimum  $Sh$  sayısının radyal yöndeki yeri, KÇJ'de sabit olmasına karşın, SÇJ'lerde artan swirl sayısı ( $S$ ) ve  $(H/d)$ 'ye bağlı olarak jet durgunluk noktasından uzaklaşmıştır.



Şekil 9.  $Re=19300$ 'de KÇJ ve  $S=0.26, 0.43, 0.73$  swirl sayısına sahip SÇJ'ler için maksimum  $Sh$  sayısının  $(H/d)$  ile değişimi

Tüm SÇJ'lerde en yüksek  $Sh$  sayısı  $(H/d)=2$ 'de, KÇJ'de ise  $(H/d)=6$ 'da meydana gelmiştir (Şekil 9.).

Konvansiyonel çarpan jet, çarpma yüzeyi üzerinde  $(r/d) \leq 6$  olan bölgede, SÇJ'lere kıyasla daha yüksek  $Sh$  değerleri vermesine karşın, SÇJ'lerde ise swirl şiddetindeki artışla birlikte daha uniform  $Sh$  dağılımı elde edilmiştir.

Tüm çarpma yüzeyinde hem uniform hem de yüksek kütle-ısı transferi istenirse, SÇJ'lerden  $(H/d)=6$ 'da  $S=0.26$  ve  $0.43$  swirl sayısına sahip jetlerin,  $(H/d)=10$ 'da ise  $S=0.73$  olan jetin kullanılması daha uygundur. Fakat sadece  $(r/d) \leq 6$  olan bölge içinde yüksek kütle-ısı transferi amaçlanıyorsa KÇJ kullanılması uygundur.

### Semboller

- $A$  aktif elektrot yüzey alanı ( $m^2$ )
- $C_{\infty}$  reaksiyon veren türler için sıvı yığın konsantrasyonu ( $mol/m^3$ )
- $C_S$  reaksiyon veren türler için yüzey konsantrasyonu ( $mol/m^3$ )
- $D$  difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ )
- $d_j$  jet çapı (m)
- $d$  ana katot disk çapı(m)
- $F$  Faraday sabiti ( $96485 C/mol$ )
- $H$  jet çıkışı ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafe (m)
- $I_{lim}$  electrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı (A)
- $k$  kütle transfer katsayısı ( $m/s$ )
- $n$  electrokimyasal reaksiyon için elektron sayısı
- $R$  ana katot yarıçapı (m)
- $r$  disk yüzeyi üzerinde radyal yöndeki mesafe (m)
- $V$  nozuldaki akış hızı ( $m/s$ )
- $\theta$  swirl jeneratörü eksenine ve kanat arasındaki açı (derece)

**Boyutsuz Gruplar**

$S$	swirl sayısı (şiddeti)
$Re$	jet Reynolds sayısı ( $d_j u_m \rho / \mu$ )
$Sc$	Schmidt sayısı ( $\mu / \rho D$ )
$Sh$	Sherwood sayısı ( $kd_j / D$ )
$Nu$	Nusselt sayısı ( $hd_j / k_f$ )
$H/d$	Boyutsuz nozul-jet çarpma yüzeyi mesafesi
$r/d$	Boyutsuz çarpma yüzeyi mesafesi

**Kaynaklar**

- [1] Bergles, A.E. and Webb, R.L., “A guide to the literature on convective heat transfer augmentation” **Advances in Enhanced Heat Transfer**, HTD43:81-89, (1985).
- [2] Arzutug, M.E. “Mass Transfer in impinging swirl jets”, **Yayınlanmış Doktora tezi**, Atatürk Üniversitesi, Erzurum (2003).
- [3] Incropera, F.P. and DeWitt, D. P., “**Fundamentals of Heat and Mass Transfer**”, New York. John Wiley & Sons. s:387-393 (1996).
- [4] Kataoka, K. and Mizushina, T., “Local enhancement of the rate of heat transfer in an impinging round jet by free-stream turbulence” **5th Int. Heat transfer Conference**, Tokyo, 305 (1974).
- [5] Vallis, E.A., Patrick, M.A. and Wragg, A.A., “Radial distribution of convective heat transfer coefficient between an axisymmetric turbulent jet and a flat plate held normal to the flow” **Proc. Int. Heat Transfer Conference**, Toronto (1978).
- [6] Deshpande, M. D. and Vaishnav, R.N., “Submerged laminar jet impingement on a plane” **J. Fluid Mech.** 114: 213-236 (1982).
- [7] 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).
- [8] Huang, L. and El-Genk, M.S., “Heat transfer an impinging jet on a flat surface” **Int. J. Heat Mass Transfer**, 37(13): 1915-1924 (1994.).
- [9] Fitzgerald, J.A. and Garimella, S.V., “A study of the flow field of a confined and submerged impinging jet” **Int. J. Heat Mass Transfer**, 41 (8-9): 1025-1034 (1998).
- [10] Ward, J. and Mahmood, M., “Heat transfer from a turbulent, swirling, impinging jet” Proceedings of the seventh international heat transfer conference. Hemisphere, Washington, 3:401-407 (1982)
- [11] Huang, L. and El-Genk, M.S., “Heat transfer and flow visualition experiments of swirling, multi-channel, and conventional impinging jets” **Int. J. Heat Mass Transfer**, 41 (3): 583-600 (1998).
- [12] Yapıcı, S., Kuslu, S., Özmetin, C., Erşahan, H. and Pekdemir, T., “Surface shear stress for submerged jet impingement using electrochemical technique” **Int. J. of Applied Chemistry**, 29: 185-190 (1999).
- [13] Bilen, K., Bakırcı, K., Yapıcı, S., Yavuz, T., “Heat transfer from a plate

- impinging swirl jet” *Int. J. of Energy Research*, 26: 305-320 (2002).
- [14] Lee, D. H., Won, S.Y., Kim, T.T., Chung, Y.S., “Turbulent heat transfer from a flat surface to a swirling round impinging jet” *Int. J. Heat Mass Transfer*, 45: 223-227 (2002).
- [15] Chigier, N.A. and Chervinsky, A., “Experimental investigation of swirling vortex in jets” *Trans. ASME*, 443-451 (1967).
- [16] Gupta, A.K., Lilley, D.G. and Syred, N. “Swirl Flows”, Ohu-Hong Hong. Abacus Pres. s:475 (1984).
- [17] Mizushima, T., “The electrochemical method in transport phenomena” *Advanced Heat Transfer*, 7: 87-161 (1971).
- [18] Berger, F.P. and Ziai, A., “Optimisation of experimental conditions for electrochemical mass transfer measurements” *Chem. Eng. Res. & Des.* 61: 377-382 (1983).
- [19] Bourne, J.R., Dell’Ava, P., Dossenbach, O., Post, T., *Journal of Chemical Engineering Data*, 30:160 (1985).
- [20] Landau, U., “Determination of laminar and turbulent mass transport rates in flow cells by the limiting current technique” *AIChE Symposium Series 204 (77)*: 75-87 (1981).
- [21] Kerr, N.M. and Fraser, D., “Swirl Part I: Effect on axisymmetrical turbulent jet” *Int. J. of the Institute of Fuel*, 38: 519-526 (1965).
- [22] Rieger, P.H. “Electrochemistry”, New York. Chapman & Hall. s:155-156 (1994).
- [23] Holman, J.C. “Experimentals Methods for Engineers”, New York. fifth ed. McGraww-Hill, s:41-49 (1989).
- [24] Arzutuğ, M.E., Yapıcı, S. and Kocakerim, M.M., “A comparison of mass transfer between a plate and submerged conventional and multichannel impinging jets” *Int. Comm. Heat and Mass Transfer*, 321: 842-854 (2005).