

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ ARAŞTIRMA FONU
ARAŞTIRMA PROJESİ SONUÇ RAPORU

**PROJE ADI: ELEKTROKİMYASAL METODLAR KULLANARAK DALDIRILMIŞ
ÇARPMALI SWİRL JETLERDE KÜTLE TRANSFERİNİN İNCELENMESİ VE
EKONOMİK KULLANIM ALANLARININ ARAŞTIRILMASI**

PROJE NO: 1997 / 45

PROJE SORUMLUSU: M.MUHTAR KOCAKERİM

**YARDIMCI ARAŞTIRMACILAR: SİNAN YAPICI
M. EMİN ARZUTUĞ
CENGİZ ÖZMETİN**

**EKİM 2002
ERZURUM**

ÖNSÖZ

Bu proje 01.09.1997 tarihinde 4.305.600.000 TL tutarla hazırlanmıştır. Atatürk Üniversitesi Araştırma Fonu 01-04.07.1997/ 1-2 oturum tarihli toplantısında 1997/45 nolu proje ve 30.3.1998/1 oturum tarihli toplantısında 1998/106 nolu ek proje ile toplam 2.468.000.000TL ile desteklenmiştir. Proje Eylül 1997 de başlamış ve Ekim 2002 de tamamlanmıştır.

ÖZET

Çalışma Konusunun Önemi

Çarpan jetler çarpma bölgesinde oluşturdukları yüksek ısı ve kütle aktarımı nedeni ile aktarım olaylarının artırılması ve özellikle hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi için, ısı transferi ve kütle transferi uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, ısı-kütle aktarımında önemli derecede artışlar elde edildiğinden enerji tasarrufu da sağlamaktadırlar [1]. Genellikle hava akışkanlı çarpan jetler, yüksek sıcaklık gaz

türbinlerinin, kağıt ve cam imalat tesislerinin, metal ısıtma işlemlerinin, cam ve levha temperlemesinin, tekstil ve kağıt sanayisinin, elektriksel ve elektronik ekipmanların yer aldığı pek çok endüstriyel sistemlerde, yüzey kurutma-ısıtma ve soğutma (sıcak çelik plakaların soğutulması, camın temperlenmesi, film ve kağıtların kurutulması türbin kanatları ve yüksek ısı akısıyla soğutma gerektiren mikroelektronik devrelerin soğutulması vb.) amacıyla, havacılık sanayiinde, dikine havalanabilen helikopterlerin ve roketlerin büyük miktardaki soğutma ve ısıtma ile kullanılmaktadır. Sıvı akışkanlı jetler, gaz-sıvı arasındaki aktarım olaylarını daha verimli hale getirmek için gaz-sıvı kontaktörlerinde, elektronik devre basım endüstrisinde kimyasal çözünme işlemlerinde, elektrolitik polisajda, iyi bir pulverizasyon, hızlı kuruma ve az boya kullanımı sebebi ile boyama sanayiinde, iyi bir hava-yakıt karışımı hazırlamak için yakıt hazırlama sistemlerinde (jet motorları, sıvı yakıt brülörleri) yaygın bir şekilde kullanılır[2,3,4,14].

Bu çalışmada konvektif kütle aktarım hızının artırılmasına yönelik olarak, elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım şartlarında sıvı bir akışkan içine daldırılmış swirl jetin, üzerinde mikro elektrotlar taşıyan düzgün bir yüzeye çarptırılması ile ortaya çıkan kütle aktarımının karakteristik değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

SUMMARY

The purpose of this study was to investigate the radial distribution of the mass transfer coefficients to a point electrodes at the target surface for a decaying swirl flow generated by short axial helical type swirl generators in cylinder cell. The experiments were carried out, at a Schnidt number of 1692 and in the Reynolds number range of 10 000 – 50 000, by using five generators with vane angles between 0° – 60° to the nozzle axis.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
ÖZET	II
SUMMARY	III
İÇİNDEKİLER	IV
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Adı	1
1.2 Çalışma Konusunun Önemi ,Amacı ve Literatür özeti	1
1.3 Jet Çarpması	2
1.4 Çarpan jetin Hidrodinamik ve Geometrik Şekli	5
1.5 Elektrokimyasal Metod	6
2. MATERYAL VE METOD	8
2.1 Çalışmalarda kullanılan kimyasal Maddeler	8

2.2 Deneylerde Kullanılan parametreler

3. DENELKISIM	10
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	11
5. İLERİDE ÇALIŞILACAK KONULAR İÇİN TEKLİFLER	15
6. KAYNAKLAR	15

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Adı: Elektrokimyasal Metodlar Kullanarak Daldırılmış Çarpmalı Swirl Jetlerde Kütle Transferinin İncelenmesi ve Ekonomik Kullanım Alanlarının Araştırılması

1.2 Çalışma konusunun önemi, amacı ve literatür özeti:

Mevcut mühendislik uygulamalarının hem daha etkin hem de madde ve enerji açısından daha ekonomik kullanımının ön plana çıktığı günümüz teknolojisi için, proses ekipmanlarında konvektif ısı, kütle ve momentum transferinin geliştirilmesine katkıda bulunmak her açıdan önemli bir adım olacaktır. Özellikle kimya, metalurji, petrol, makine vb. endüstri dallarında yaygın bir kullanım alanı bulan konvektif ısı ve kütle transferinin bilimsel olarak ele alınması pratik uygulamalara ışık tutması açısından büyük öneme sahiptir.

Konvektif transfer hızlarını geliştirmede bir çok teknikler bilinmektedir; Bunlar pasif ve aktif teknikler olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilirler.

Çarpan jetler çarpma bölgesinde oluşturdukları yüksek ısı ve kütle aktarımı nedeni ile aktarım olaylarının artırılması ve özellikle hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi için, ısı transferi ve kütle transferi uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, ısı-kütle aktarımında önemli derecede artışlar elde edildiğinden enerji tasarrufu da sağlamaktadırlar[1]. Genellikle hava akışkanlı çarpan jetler, yüksek sıcaklık gaz türbinlerinin, kağıt ve cam imalat tesislerinin,

metal ısıtma işlemlerinin, cam ve levha temperlemesinin, tekstil ve kağıt sanayisinin, elektriksel ve elektronik ekipmanların yer aldığı pek çok endüstriyel sistemlerde, yüzey kurutma-ısıtma ve soğutma (sıcak çelik plakaların soğutulması, camın temperlenmesi, film ve kağıtların kurutulması türbin kanatları ve yüksek ısı akısıyla soğutma gerektiren mikroelektronik devrelerin soğutulması vb.) amacıyla, havacılık sanayiinde, dikine havalanabilen helikopterlerin ve roketlerin büyük miktardaki soğutma ve ısıtma ile kullanılmaktadır. Sıvı akışkanlı jetler, gaz-sıvı arasındaki aktarım olaylarını daha verimli hale getirmek için gaz-sıvı kontaktörlerinde, elektronik devre basım endüstrisinde kimyasal çözünme işlemlerinde, elektrolitik polimerde, iyi bir pulverizasyon, hızlı kuruma ve az boya kullanımı sebebi ile boyama sanayiinde, iyi bir hava-yakıt karışımı hazırlamak için yakıt hazırlama sistemlerinde (jet motorları, sıvı yakıt brülörleri) yaygın bir şekilde kullanılır[2,3,4,14].

Deneyisel çalışmalar göstermiştir ki swirl, akış alanı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Jetin gelişmesi, yayılması ve sönmesi swirl'ün derecesi ile etkilenir. Swirl sayısı, genellikle S olarak ifade edilir ki bu sayı boyutsuz bir sayıdır. Bu sayı açıl momentum akısı G_θ 'nın aksel momentum akısı G_x 'e oranı şeklinde gösterilir[15].

$$S = G_\theta / [G_x (d/2)] \quad d, \text{ eşdeğer nozul çapı}$$

Birçok uygulaması olmasına rağmen, swirl akışlardaki ısı transferinin temelleri hakkında çok az şey bilinmektedir. Swirl'ün etkilerinin gözlenmesine rağmen, deneyel verilerin sentezini doğrulamak zordur.

1.3 jet Çarpması

Bir yüzeye dik olarak çarptırılan tek bir gaz jeti veya jet dizisi, konvektif ısıtma, soğutma veya kurutma işlemlerinde aktarım katsayısını artırmak için kullanılırlar. Serbest bir jet kolaylıkla yüksek oranda türbülans jet meydana getirebilir. Maksimum ısı ve kütle transferi için yüzeyin jet çıkışından hangi mesafede tutulması gerektiği önemli bir parametredir[5].

Nozul herhangi bir şekilde olabilir, fakat genellikle yaygın olan tek ve çok sıralı uzun, dar yarık (iki boyutlu) veya yuvarlak deliklerdir. Bazı uygulamalarda noktasal püskürtme tek bir jet ile elde edilirken, diğerlerinde (endüstriyel kurutma gibi) basınçlı hava deposundan gelen

yüksek basınçlı hava ve bir dizi nozul ile elde edilebilir[6]. Göz önüne alınması gereken çok sayıdaki parametre nedeni ile çok nozullu donatım oldukça komplikedir[23].

Chin ve Agarwal, daldırılmış eğik çarpmalı slot jet kullanarak 15, 30, 45, 60 ve 90°'lik jet açılarında lokal kütle transfer hızlarını belirlemişler ve çarpma yüzeyi üzerindeki basınç dağılımını ölçmüşlerdir. Sonuçta çarpma yüzeyi üzerinde durgunluk noktasının, jet açısının 90°'den 15°'ye azaltılması ile, negatif x yönüne doğru kaydığını tesbit etmişlerdir. Ayrıca jet açısının azaltılması ile durgunluk noktasındaki kütle transfer hızının da azaldığını tespit etmişlerdir[7].

Owsensk ve arkadaşları, düzgün bir yüzeye çarpan radyal ve dik laminer jetlerin ısı transferi üzerinde swirlün etkini Navier-Stokes ve enerji eşitliklerinin çözümü vasıtasıyla nümerik olarak araştırmışlar. Dik jetlerde ısı transferi, üst üste yerleştirilen swirl durumunda esas itibarıyla azalmıştır. Üst üste yerleştirilen swirl ile radyal jet durumunda ısı transferinde önemli artış gözlenmiştir. Bir birim swirl sayısı başına ısı transferi % 77 civarında artırılmıştır. Sonuç olarak kütle akışı sınırlı sistemlerde swirl indüklemeli taşınım artışlarından doğrudan faydalanılacağını tespit etmişlerdir[8].

Hsueh ve Chin, silindirik bir yüzey üzerine daldırılmış çarpmalı bir jetin çarptırılması sonucu kütle transfer hızı ve kesme gerilimini incelemişler. Hem lokal kütle transfer hızı hem de duvar kesme geriliminin boyutsuz nozul yüksekliği ile güçlü bir değişim gösterdiğini ve ölçülen kütle transfer katsayısı ile sürtünme katsayısının da nozul yüksekliğinin azaltılması ile arttığını tespit etmişlerdir[9].

Vallis, Patrick ve Wragg, akışa dik yerleştirilmiş düzgün bir yüzey ile bir asimetric türbülent jet arasındaki ısı transfer katsayısının radyal dağılımını, elektrolitik kütle transferi tekniği kullanarak incelemişlerdir. Deneylerde H/d oranı, Re sayısı, nozul çapı parametre olarak seçilmiştir. Çarpmalı jet durumundaki kütle transferi modellemesinin, mevcut soğuk jet ısı transferi sonuçlarının makul bir aralığı içine düşen ısı transferi verilerini verdiği sonucuna varmıştır. Buna karşın her iki kaynaktan elde edilen verilerin detaylı bir kıyaslaması sonucu durgunluk noktası ve çarpma bölgesi için verilerden elde edilen korelasyonlardaki özellikle Reynolds sayılarının üslerinde büyük bir fark görülmüştür[10].

Ward ve Mahmood bir türbülent swirl jetin düz bir yüzeye çarptırılması üzerinde çalışmışlardır. Kütle transfer verilerini ince film naftalin süblimasyon tekniği kullanarak elde etmiş ve Chilton-Colburn analojisini kullanılarak ısı transfer katsayılarına dönüştürmüşlerdir. Onlar test ettikleri parametrelerin hem lokal hem de ortalama değerlere göre ısı transferi üzerinde umulmayan bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlar. Swirl'in uygulanmasının ısı transfer hızlarını önemli ölçüde artırdığı tespit etmişlerdir. [11].

Huang ve El-Genk aynı şartlarda aynı nozul çapına sahip düz bir çarpmalı jet ile Swirl ve çok kanallı çarpmalı jetlerin performanslarını kıyaslamak ve araştırmak için, ısı transferi ve akış deseni görüntüleme denemeleri yapmışlardır. Swirl jet için kullanılan swirl açıları; 15, 30, 45° olarak seçilmiştir. Akış alanını görüntülenmesini üç farklı teknikte incelemişlerdir; Duman akışı, Duman çizgiler ve Su jeti tekniği. Duman akış tekniği jet çıkışı ve çarpma yüzeyi arasındaki alandaki akışı göstermiştir. Duman çizgileri tekniği ise çarpma yüzeyine yakı bölgelerin ve akış alanının detaylı ve belirgin bir görünümünü vermiştir. Su jeti tekniği ise swirl'un çarpma yüzeyi üzerinde oluşan karışmayı ve akış alanını nasıl etkilediğini açık bir şekilde göstermiştir. Tekli ve çok nozullu hava jetlerine swirl akış sağlamak için nozul içine bitişik dört kanallı silindirik vidadan oluşan bir swirl jeneratörü yerleştirmişlerdir. Tekli swirl jeti için radyal ısı transferi dağılımlarının daha yüksek swirl

dereceleri ve daha geniş nozul-çarpma yüzeyi mesafeleri ile daha uniform hale geldiğini bildirmişler. [12].

Huang ve arkadaşları swirl laminar jetlerle kısmen sınırlanan bir parametrik nümerik çalışma yapmışlardır. Ayrıca swirl'ün sirkülasyonu artırdığını ve bu suretlede taşınım katsayılarının azaldığını tespit etmişlerdir. $S < 0.2$ altındaki swirlün, taşınım hızı veya akış alanı üzerine çok az bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir[13].

Davidson, bir swirl gaz jetinin daldırılmış enjeksiyonu esnasında durgunluk bölgesindeki akışı incelemiştir. Bunun için bir dizi özel swirl jet hız verisi kullanarak değişik akış hızları ve swirl sayıları için gaz jetinin penetrasyon derinliğini ve durgunluk noktasındaki ara yüzeyin eğriliğini analitik olarak tahmin etmeye çalışmıştır. Yüksek swirl sayılarında tahmin edilen ara yüzeyin konkav şeklinde aşağı doğru yönlendiğini ve maksimum jet eksenel hızının merkez hattı üzerinde yer değiştirdiği zaman meydana geldiğini tespit etmiştir. Düşük swirl sayılarında ($S < 0.1$), jet penetrasyon derinliğini, akış hızı yeterince büyük olduğu zaman lineerleşen akış hızına bağlı ilk quadratik değer olarak almak tahmin etmiştir. Orta derecede yüksek swirl sayılarında ($0.2 < S < 0.6$), yalnızca bir lineer ilişkinin varlığını tahmin etmiştir[15].

Çarpmalı jet akışları nozul şekli, çarpma yüzeyi ile ilgili olarak jetin yönü gibi onların genel özelliklerine göre gruplara ayrılabilir. Pekdemir, jetleri ; (i)akış tipine göre, daldırılmış ve serbest jetler, (ii) yönelme durumuna göre, (iii) nozul şekline göre, yuvarlak, yarı, eliptikjetler, (iv) çarpma yüzeyine göre, düz ve işlenmiş yüzeyler, (v) jet çıkışında jete uygulanan sınırlamalara göre sınırlı, kısmen sınırlı ve sınırlandırılmamış jetler ve (vi) jet sayısına göre, tekli ve çoklu jetler olarak sınıflandırmıştır[16].

Swirl jetler, bir çarpan jet sisteminde swirl jeneratörünün nozul içine yerleştirilmesi veya akışkanın nozuldan tanjant olarak püskürtülmesi gibi farklı tekniklerle oluşturulur. Swirl bir çok tabii ve teknolojik akış olaylarında ısı ve kütle transferini önemli ölçüde etkilemektedir. Swirl vorteks yakıcılar ve kimyasal reaktörlerde alev cephesini kontrol etmek, ısı ve kütle transferinin meydana geldiği yüzey alanını artırmak için kullanılır. Vorteks yakıcılar santrifujal hızlanma yerçekiminin 1.10^4 katı kadar yükselebilir ve buda çok faydalı olan sıcaklık ve yoğunluk katmanlaşmasını verir[17].

İç sirkülasyonun olduğu (kabarcıklanma gibi) proseslerde tipik swirl akışları, termel geri besleme ve yakıtın ön ısıtmaya tabi tutulması şartı ile stabil yanma için çok caziptir[18].

Swirl yakıt jetleri, ani daralan jet motorlarında iyi bir yakıt hava karışmasını temin etmek için de kullanılır[19].

Kasırga veya yangın fırtınaları gibi tabii akış olaylarında,swirl, soğuk ve sıcak hava ince tabaka ayırıcısında olduğu gibi bir sıcaklık cephesi üretir. Swirlün özellikle çarpıcı bir sonucu Ranque etkisidir[20,21].

Shtern ve arkadaşları swirl jetlerde sıcaklık dağılımını belirlemek için bir çalışma planlamışlar. Swirlün ısı değişiminde önemli ölçüdeki etkisini, bir duvarda ısı izolasyonu oluşumunu, sıcaklık cephe oluşumunu ve vorteks yakıcılar alev kararlılığı gibi swirl akışın güçlü etkilerini göz önüne alarak enerji eşitliğinin analitik çözümünü elde etmişlerdir[22].

Çarpmalı jetlerin en çok bilinen özelliği, durgunluk bölgesinde ısı transferinde artış meydana gelmesi ve hedef yüzey üzerinde sınır tabakanın oluşup gelişmeye başlaması sebebiyleduvar jet bölgesinde ısı transferinde hızlı bir düşüşün meydana gelmesidir.

Çarpan jetlerde ısı transferini etkileyen en önemli parametrelerden birisi nozul çıkışındaki akış şartlarıdır. Nozul çıkışındaki swirl akış yüzeye çarpmadan önce, jet püskürtme hızını, akış dağılımını ve türbülent karakteristikleri değiştirir. Swirl akışlar,bir swirl oluşturucu vida-

pervane veya ana eksenel akışa hem eksenel hem de tanjant olarak giren bir akış içindeaçağa çıkan bir spiral hareketin etkisinden doğar.

Swirl jetlerde jet gelişiminin derecesi, jet dışındaki çevre havasının yayılması ve düşüşü swirl derecesi ile değişir.

Lee ve arkadaşları ise bir swirl round türbülent jetinin düz bir yüzeye çarptırılması durumu için lokal Nu sayılarını ölçmüşlerdir. Denemelerde jet re sayısı 23 000, nozul-çarpma yüzeyi mesafesi $L/d=2-10$ ve swirl sayısı $S=0 - 0,77$ parametre olarak seçilmiştir. Çalışmalar sonucunda swirl jet akışı etkisinin çoğunlukla durgunluk noktası yakınındaki bölgede yüksek olduğu ve en yüksek Nu_{max} değerinin $S=0,21$ ve $L/d=2$ değerinde elde edildiğini bildirmişlerdir. Küçük nozul-yüzey mesafesi ($L/d=2$) için, swirl jet akışlarının Nu sayıları, tüm swirl sayısı değerleri için swirl olmayan akışta elde edilen değerlerden daha büyük olduğu sonucuna varmışlardır[24].

1.4 Çarpan Jetin Hidrodinamik ve Geometrik Şekli

Incropera ve DeWitt, bir nozuldan çıkan ve sabit düz bir yüzeye çarpan sıvı jetin oluşturduğu hız profilini incelemişler ve bu profilde serbest jet , çarpma ve duvar jet bölgelerinin yerlerini belirlemişlerdir[1]. Çarpan jetin hidrodinamik şekli, bir akışkan içine daldırılmış bir nozuldan çıkan ve nozul çıkış yeri ile hedef yüzey arasında oluşan çarpan sıvı jetin profilini göstermektedir. Burada 3 bölge oluşmaktadır.

- Serbest jet bölgesi
- Durgunluk veya çarpma bölgesi
- Duvar veya yan jet bölgesi

* Serbest jet bölgesi akışkanın nozuldan durgun (çevre) akışkan içine boşalmasıyla meydana gelir. Lüle çıkışındaki hız profili uniformdur. Bu bölgenin özellikleri çarpma bölgesinden etkilenmez. Jet ile çevre arasında oluşan momentum, nozuldan uzaklaştıkça serbest jet sınırını genişletir ve eksen üzerinde potansiyel özü meydana getirir. Potansiyel jet uzunluğu yaklaşık olarak nozul çapının 6-8 katı kadardır ve üzerinde maksimum ısı-kütle aktarımı elde etmek için levhanın potansiyel özün olduğu mesafe dışına yerleştirilmesi gerekmektedir. Aşağı doğru inildikçe potansiyel öz içindeki hız profili uniform durumdan sapar ve maksimum hız nozul çıkışından itibaren artan mesafe ile azalır.

* Çarpma bölgesini radyal yönde terk eden akışkan artık yüzeye paralel akar ki bu bölge duvar jet bölgesidir. Bu bölge düz pürüzsüz bir levha üzerindeki akış karakteristiğini yansıtır. Nozul ekseninin levha ile çakıştığı nokta durgunluk noktasıdır ki bu noktada akışkan hızı sıfırdır ve dik jetlerde maksimum ısı aktarımı durgunluk ve çarpma noktası denilen bu yerde meydana gelir[10]

* Akışkan levhaya çarpınca hızı aniden düşer ve radyal yönde hızlanır. Hızlanan akım, çarpma bölgesinden sonra gittikçe genişleyen duvar jete dönüşür.

1.5 Elektrokimyasal Metod (Sınırlayıcı Akım Tekniği)

Kütle aktarım çalışmalarında akım ve konsantrasyon alanının belirlenmesi için elektrokimyasal tekniklere geniş ölçüde başvurulmaktadır. Bu teknik, lokal ve ortalama kütle aktarım katsayıları, hız ve momentum, momentum ve kütle türbülans sıçramaları ölçümlerinin çok kolay ve hızlı bir şekilde yapılmasına imkan verir. Sınırlayıcı akım tekniğinin 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 ve oldukça memnun edici sonuçların elde edilmesinin kolaylığı sebebi ile özellikle caziptir[10].

Sınırlayıcı akım tekniği taşınım olayı ölçümlerine uygulandığı zaman, genellikle anot alanı katod alanından büyük alınarak hücre dizayn edilir. Elektrot alanlarının bu şekilde

seçilmesiyle anottaki akım yoğunluğunun katottakinden daha küçük olmasını sağlar. Böylece anottaki prosesin akım-gerilim eğrisinin şekli üzerinde hiçbir etkisi olmaz. Bununla birlikte daha doğru veriler elde etmek için sıvı potansiyelini ölçmede bir standart elektrodun kullanılması tavsiye edilir. İyon göçünü ortadan kaldırmak için çözeltiye reaksiyon vermeyen bir elektrolitin eklenmesi pratik uygulamalarda bir avantaj sağlar. Eklenen bu elektrolit yüksek iletkenliği sebebi ile çözeltinin ohmik direncini ihmal edilebilecek kadar küçük bir değere indirir.

Ferro-ferrisiyanür redoks çifti en iyi elektrolittir. Çünkü alkali çözeltilerde stabildir ve katod üzerindeki kimyasal polarizasyonu o kadar küçüktür ki kritik akış hızı çok yüksektir. Bir diğer avantajı ise Kato ve anotta zıt yönlerde aynı reaksiyon meydana geldiği için çözeltinin bileşimi sabittir[13].

Aktif iyon bulunduran bir elektrolit çözeltisine daldırılan iki elektrot arasına bir gerilim uygulanıp bu gerilim zamanla artırıldığı zaman üç bölgeden oluşan gerilim-akım eğrisi elde edilir.

- I. **BÖLGE** : Uygulanan gerilim düşük olduğu zaman elektrot yüzeyi üzerindeki reaksiyon hızı, reaktanların yüzeye aktarım hızından (reaktanın film tabaksından difüzyon hızı) daha yavaş veya bu hıza eşittir.
- II. **BÖLGE** : Belirli bir gerilimden sonra reaksiyon hızı, reaktanın film tabakasından elektrot yüzeyine aktarım hızından daha hızlı olur. Böylece akımın sabit kaldığı bir plato bölgesi elde edilir. Bu durumda elektrot yüzeyine ulaşan reaktan reaksiyonla hemen tüketilir ve elektrot yüzeyi üzerinde reaktan konsantrasyonu sıfır olur. Bu halde proses iyonların film tabasından difüzyonu ile kontrol edilir. Bu bölgede elde edilen akıma “Sınırlayıcı Difüzyon Akımı” adı verilir.
- III. **BÖLGE** : Sistemde ikinci bir reaksiyon başlamıştır. Bu durumda çözücü ayrışması, yani katotta H₂ gazı oluşumu meydana gelir.

Sistem içerisinde geçen elektrik akımı difüzyon, migrasyon ve yığın akışı için harcanır.

$$I_{\text{toplam}} = I_{\text{difüzyon}} + I_{\text{migrasyon}} + I_{\text{yığın}}$$

Sistemin tamamen difüzyon kontrollü olması istenir. Bu nedenle migrasyon etkisi yok edilir. Sınır tabaka içinde yığın akış katkısı da difüzyon hızı yanında ihmal edilebilecek seviyede olduğundan

$$I_{\text{toplam}} = I_{\text{difüzyon}}$$

olur. Bir elektrot için tek yönlü, tek boyutlu kütle aktarımı Nerst-Planck Eşitliği ile verilir.

$$N_i = -D_i(\partial C_i / \partial x) + (z_i F / RT) D_i C_i (\partial \theta / \partial x) + C_i V_x$$

(Difüzyon) (Migrasyon) (Yığın Akışı)

Migrasyonla aktarım, pasif elektrolit ilavesiyle bertaraf edilir ve konveksiyonla iyon aktarımı durgun film içinde ihmal edilirse bu eşitlik aşağıdaki hale gelir.

$$N_i = -D_i(\partial C_i / \partial x)$$

$$-D_i / \partial x = k \quad \text{ve} \quad \partial C_i = C_{i\infty} - C_{ie} \quad \text{olarak alınırsa,}$$

$$Ni = k(C_{i\infty} - C_{ie}) \quad \text{yazılır.}$$

Sınırlayıcı akım şartları elde edildiği anda aktif iyon konsantrasyonu yüzeyde sıfır olacağından

$$** Ni = kC_{i\infty} \quad \text{elde edilecektir.}$$

Faraday Kanununa göre reaksiyon veren iyonların yüzeye aktarımı, sınırlayıcı akım miktarıyla doğru orantılı olup aşağıdaki şekilde verilir.

$$** N = I_L / zFA$$

Her iki denklem birleştirilince

$$k = I_L / zFA C_{i\infty} \quad \text{denklemini elde edilir.}$$

Sistemde meydana gelen elektrokimyasal reaksiyon aşağıdaki gibidir.



2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada 8.5 mm iç çapındaki yuvarlak düz bir nozuldan dönerek çıkan sıvı jeti, 370 mm çapında ve 180 mm yüksekliğindeki dikey silindirik bir hücrenin tabanında akış karakteristiğine uygun bir geometride yerleştirilmiş 60 adet mikro elektrodun yerleştirildiği nikel levhaya dik çarptırılarak, nikel levha üzerindeki kütle transferi karakteristikleri incelenecektir. Nozul içerisine dönme hareketi vermesi için dört kanallı swirl adı verilen vidalar yerleştirilecektir. Deneyler normal (boş), çok kanallı ($\theta=0^\circ$) ve dönen ($\theta=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) jetler için çeşitli Reynolds sayılarında (N_{RE}), nozul-levha (H/D) mesafelerinde yapılacaktır. Nozul-çarpma yüzeyi mesafesi, nozul ayarlanabilecek şekilde dizayn edilerek sağlanmıştır. Böylece deneylerde H/D oranı parametresi incelenebilecektir. Deneylerde akışkan sıcaklığı sabit tutulacaktır. Deneylerde sınırlayıcı akım tekniği kullanılarak jet çarpma bölgesine yerleştirilen mikro elektrotlardan alınan μA seviyesindeki akım yükseltilerek bir data kartı vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılacak gerekli boyutsuz sayıların hesaplamaları ve değerlendirmesi yapılacaktır. Navier Stokes eşitlikleri kullanılarak teorik olarak elde edilecek sonuçlar deneysel sonuçlarla kıyaslanacaktır.

Çarpma yüzeyi en az %99,00 saflıkta nikel levhadan yapılmış olup, çarpma yüzeyine yerleştirilen mikro elektrotlar 1mm. ve 2mm. çaplarında %99,98 saflıktaki nikel ve 0.4 mm çapındaki %99,99 saflıktaki platin tellerden yapılmıştır. Tek bir merkezi elektrot çevresinde

radyal yönde akış karakteristiğine uygun olarak yerleştirilen elektrotlar, yüzey üzerinde herhangi bir pürüz oluşturmayacak şekilde zımparalanarak parlatılmıştır.

2.1 Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Maddeler

Çalışmalarda Merc marka Potasyumferri siyanür, potasyumferrosiyanür ve sodyum hidroksit yanında saf azot gazı kullanılmıştır

2.2 Deneylerde Kullanılan Parametreler:

Deneylerde kullanılan parametreler ve parametre değerleri Tabloda verilmektedir.

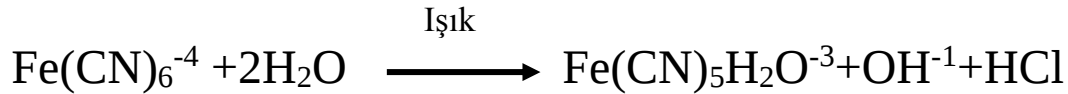
Parametre	Parametrenin Değeri
H/D Oranı	2-4-6-8-10
r/D	20 adet elektrot için aşağıda verilmiştir.
Debi (GPM)	1,25-2,20-3,40-4,60-5,80
Reynold sayısı	10 000-20 000-30 000-40 000-50 000
Swirl Açısı(Derece)	0-15-30-45-60

****Difüzyon katsayısının sıcaklıkla güçlü bir ilişkisi olduğundan dolayı sistemdeki çözelti sıcaklığı su soğutmalı bir serpantin vasıtası ile sabit tutulacaktır.**

****Farklı akış hızlarındaki bölgeler yerleştirilen flowmetrelerle sağlanacaktır.**

****Elektrolitik çözelti çözeltisi hazırlanırken, aktif iyonların ilavesinden önce azot gazı geçirilerek çözünmüş oksijenin etkisi bertaraf edilir, aksi takdirde ferrisiyanür iyonları oksitlenir ve çözünmüş oksijen katodda indirgenir.**

****Elektrolit, ışıkla bozulduğu için tank, borular ışığa karşı yalıtılacaktır. Çünkü potasyum ferrisiyanür ışık ile HCN oluşturarak bozunur.**



3.DENEL KISIM

BuradaNikel levha üzerindeki kütle transferi karakteristikleri incelenmiştir. Deneyler normal (boş), çok kanallı ($\theta=0^\circ$) ve dönen ($\theta=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) jetler için istenen akım hızını veren çeşitli Reynolds sayılarında (N_{RE}), nozul-levha (H/D) mesafelerinde yapılmıştır. Deneylerde sınırlayıcı akım tekniği kullanılarak jet çarpma bölgesine yerleştirilen mikro elektrotlardan alınan μA seviyesindeki akım yükseltilerek bir data kartı vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılarak gerekli boyutsuz sayıların hesaplamaları ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Deney düzeneğinde bulunan mikroelettrot alnları zaman-akım ölçümü yapılarak Coffrel Eşitliğine göre hesaplanmıştır.

$$A = \frac{I_o}{nFC_o} \sqrt{\pi t / D_{AB}} \quad (\text{Coffrel Eşitliği})$$

φ1mm Mikroelettrotların Alan Ölçümleri

Sıra No	9. sn Akım	9. sn Alanlar	11. sn Akım	11. sn Alanlar	15. sn Akım	15. sn Alanlar
B2	8,55	4,002E-06	6,925	3,96987E-06	6,05	4,0048E-06
B3	10,667	4,9929E-06	8,4	4,81544E-06	7,35	4,86534E-06
B4	8,025	3,75626E-06	6,566	3,76407E-06	5,825	3,85586E-06
B5	8,7	4,07221E-06	7,15	4,09885E-06	6,25	4,13719E-06
B6	8,75	4,09561E-06	7,15	4,09885E-06	6,275	4,15374E-06
B7	10	4,6807E-06	8,366	4,79595E-06	7,4	4,89844E-06
B8	8,75	4,09561E-06	7,3	4,18484E-06	6,2	4,10409E-06
B9	8,63	4,03944E-06	6,85	3,92687E-06	6,125	4,05445E-06
B10	8,65	4,0488E-06	7,175	4,11318E-06	6,1	4,0379E-06
B11	8,75	4,09561E-06	7,025	4,0272E-06	6,275	4,15374E-06
B12	8,85	4,14242E-06	7,1	4,07019E-06	6,25	4,13719E-06
B13	8,73	4,08625E-06	7,35	4,21351E-06	6,5	4,30268E-06
B14	8,65	4,0488E-06	6,933	3,97445E-06	6	3,9717E-06
B15	8,7	4,07221E-06	7,35	4,21351E-06	6,4	4,23649E-06
B16	8,75	4,09561E-06	7	4,01286E-06	6,1	4,0379E-06
B17	8,75	4,09561E-06	7,1	4,07019E-06	6,05	4,0048E-06
B18	8,75	4,09561E-06	7,05	4,04153E-06	6,05	4,0048E-06
B19	9,55	4,47007E-06	7,8	4,47148E-06	6,7	4,43507E-06
B20	--	--	--	--	--	--

Deneylerde kullanılan elektrolitin özellikleri sürekli olarak spektrofotometrede ölçülerek kontrol altında tutulmuştur.(C=0,005M ferrisiyanür)

Alanölçümü yaparken kullanılan şartlar ;

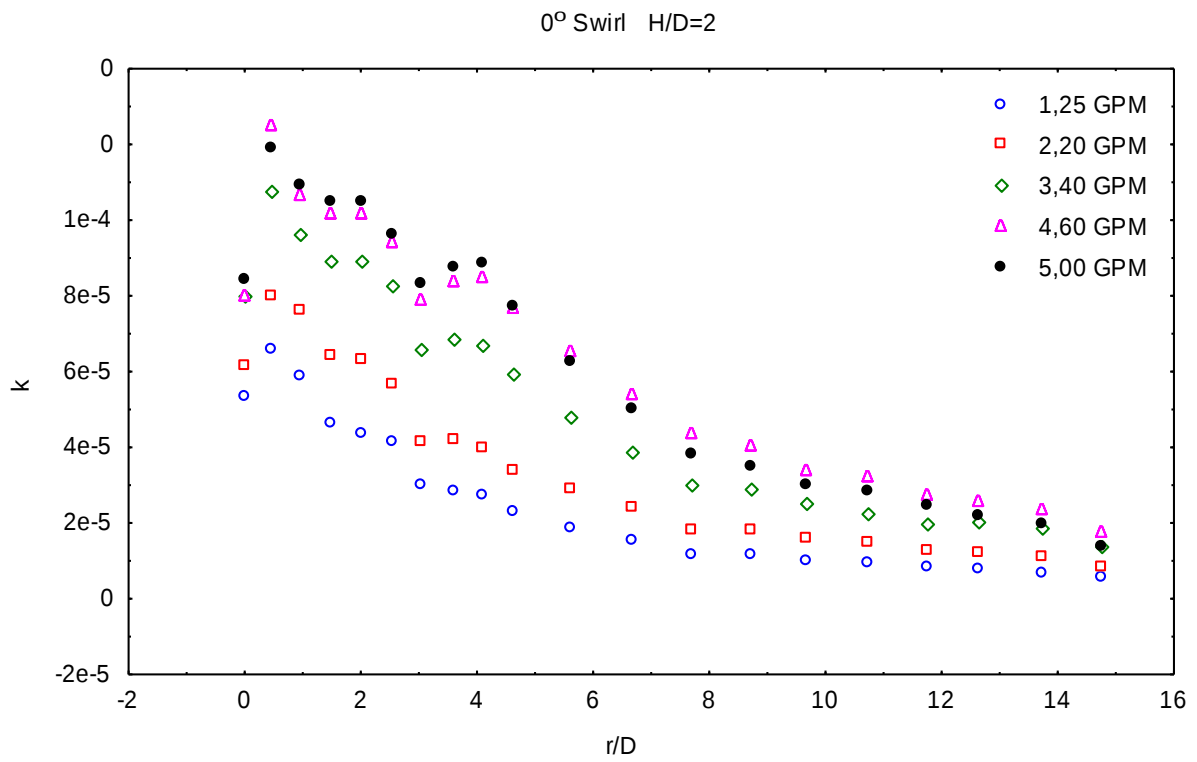
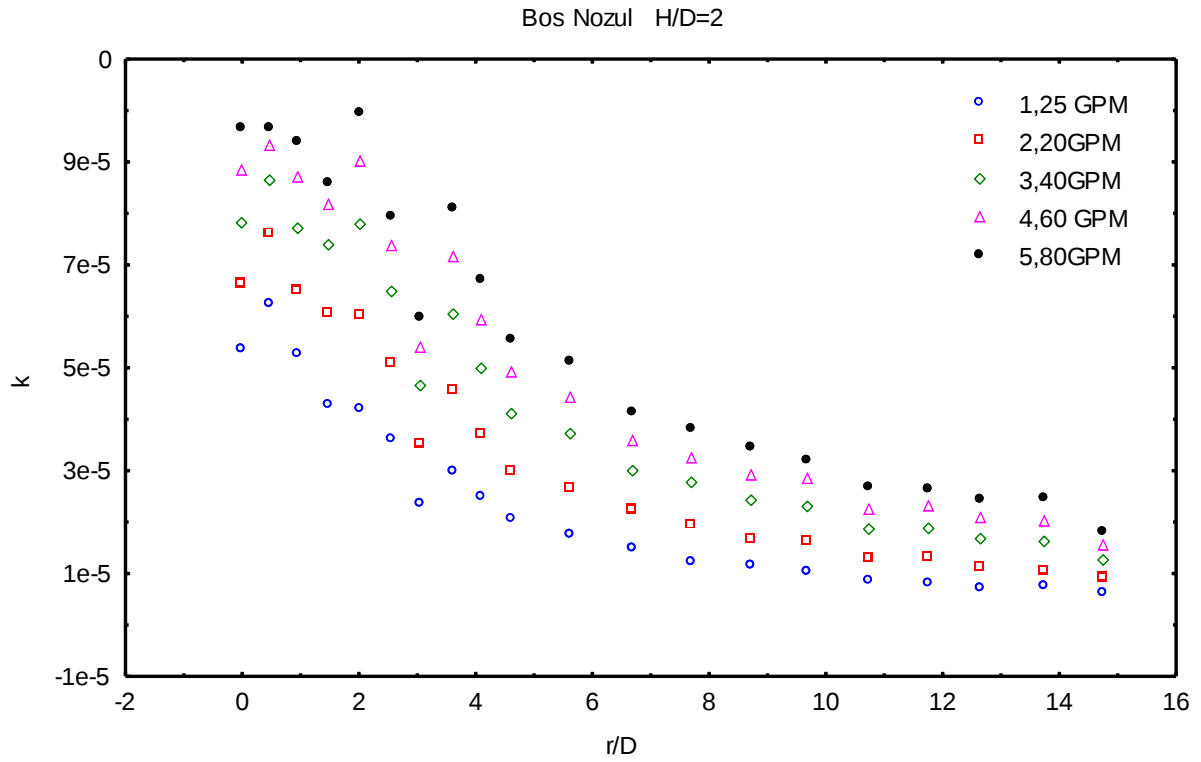
C_{Ferri} = 4,925E-3 M C_{NaOH} = 0,49357776 M V_{limCur}=1,0 V T=20°C

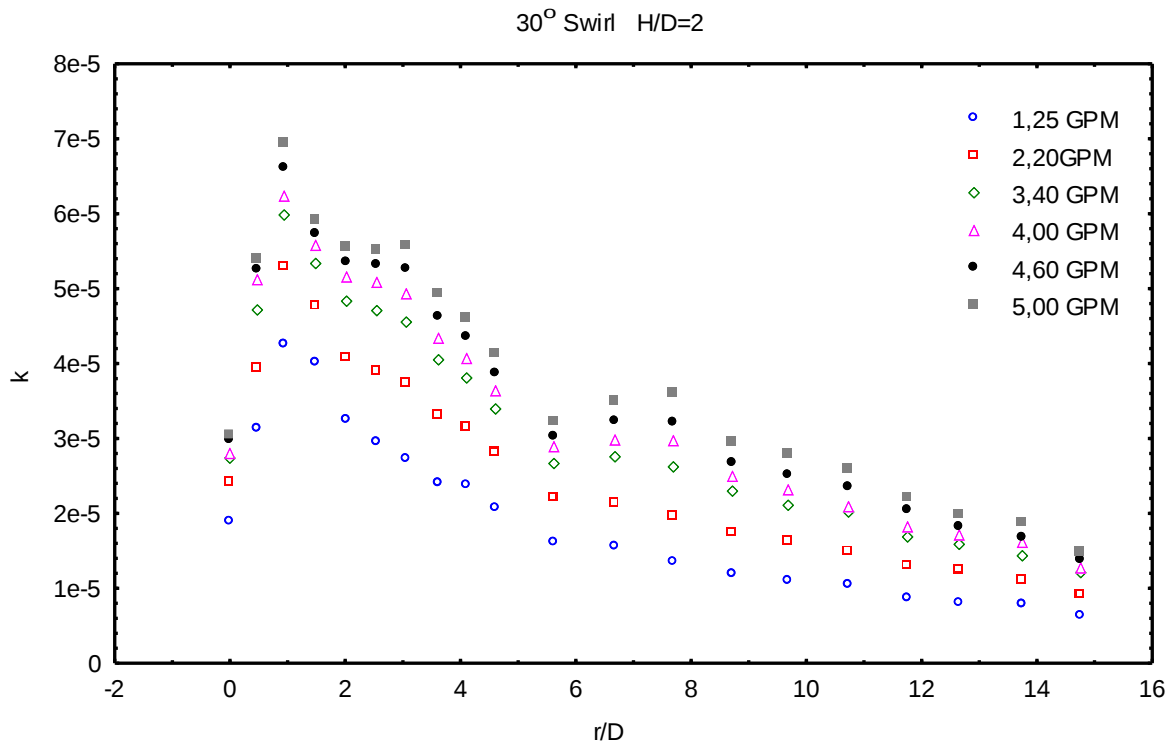
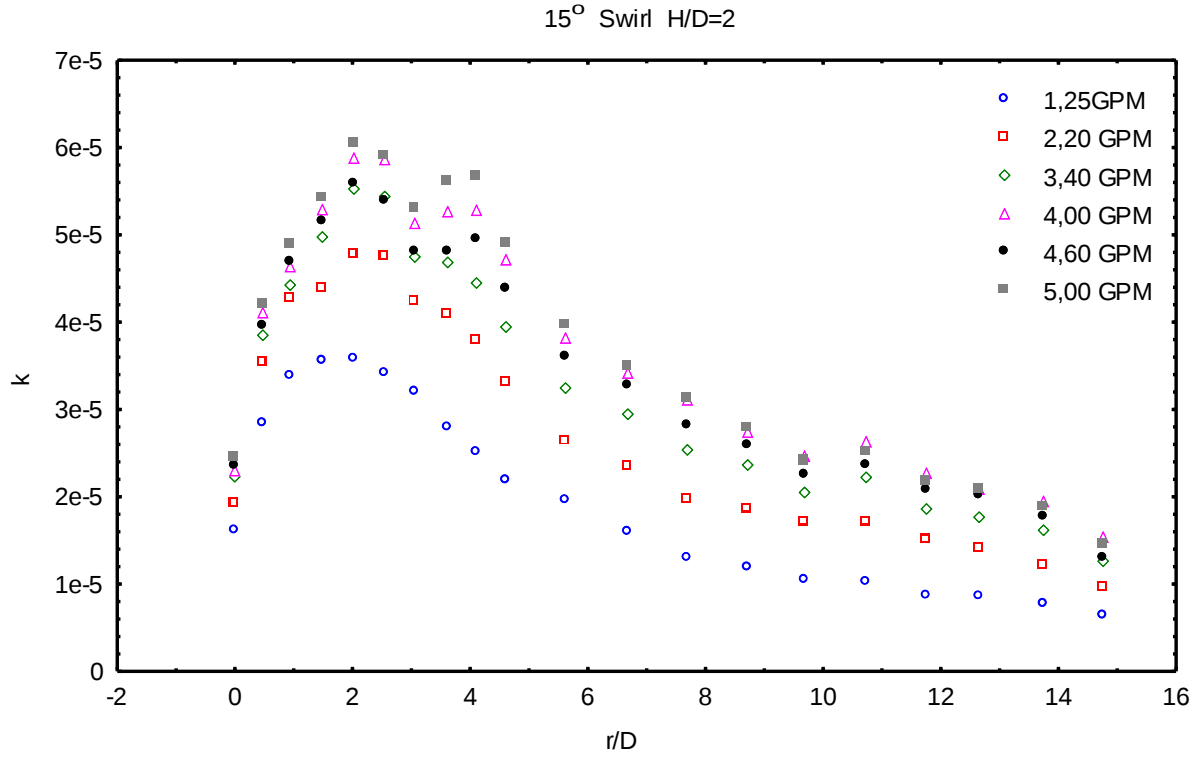
(φ2 mm Ni) MİKROELEKTROTLARına karşı gelen r/D oranları

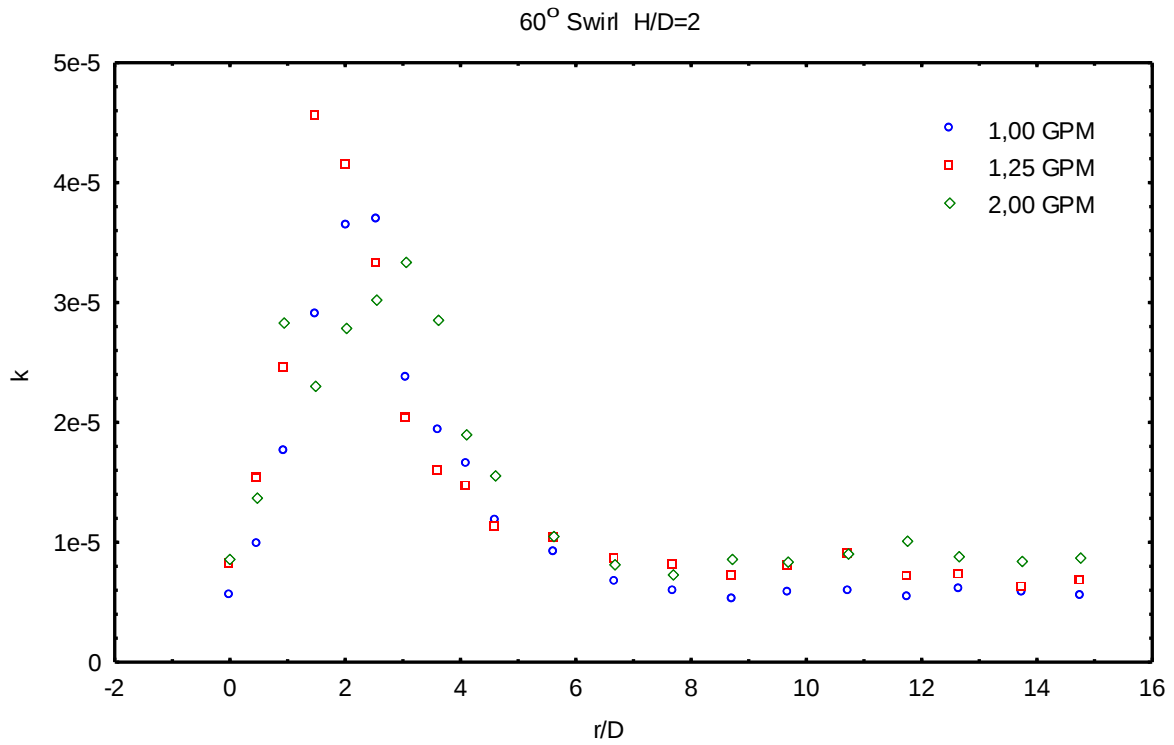
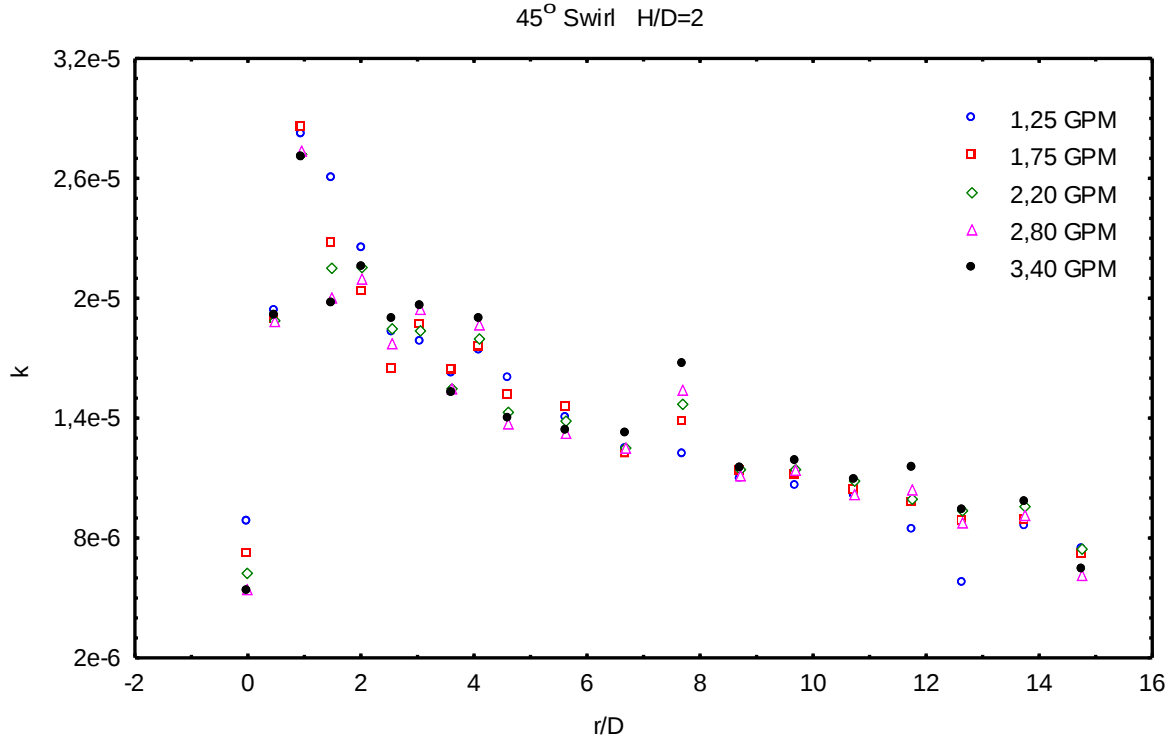
MikroElekt.Alanı, A m ²	r/D
1,30794E-06	0,00000
3,51700E-06	0,47619
5,62614E-06	0,95238
3,61029E-06	1,48810
3,84205E-06	2,02381
3,75798E-06	2,55952
4,77455E-06	3,05952
1,24662E-05	3,61905
3,77469E-06	4,10714
3,88912E-06	4,61905
3,76121E-06	5,63095
3,79140E-06	6,69048
3,81730E-06	7,70238
3,68971E-06	8,72619
3,76770E-06	9,69048
3,79329E-06	10,73810
3,71810E-06	11,76190
3,79760E-06	12,65476
3,70165E-06	13,75000
3,64370E-06	14,76190

4. Tartışma ve Sonuç

Deneyler normal (boş), çok kanallı ($\theta=0^\circ$) ve dönen ($\theta=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) jetler için çeşitli Reynolds sayılarında (N_{RE}), nozul-levha (H/D) mesafelerinde yapılmıştır. Deneylerde sınırlayıcı akım tekniği kullanılarak jet çarpma bölgesine yerleştirilen mikro elektrotlardan alınan μA seviyesindeki akım yükseltilerek bir data kartı vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktararak gerekli hesaplamalar yapılmış ve bu hesaplamalar sonucunda elde edilen verilerden (r/D)'ye karşı k (ütle transfer katsayısı) grafik edilmiştir. Burada sadece $H/D=2$ değerinde boş nozul ve tüm swirller için elde edilen grafikler sunulmuştur.







Bu araştırmanın sonuçları çalışmanın deneysel koşulları için aşağıda verildiği şekilde özetlenebilir.

1. Her bir swirl için genel olarak, Reynolds sayısının ve swirl açısının artmasıyla kütle transfer katsayısı artmaktadır.
2. Lokal akım açısının eksenel sönüm hızı Reynolds sayısının artmasıyla artar.
3. Türbülent sıçramaların; yüksek Re sayılarında, yüksek swirl sayılarında ve yüksek h/d oranlarında olduğu gözlenmiştir.
4. Reynolds sayısının artışı ile kütle transfer katsayısındaki azalma özellikle yüksek swirl sayılarında daha fazladır.

5. İLERİDE ÇALIŞILACAK KONULAR İÇİN TEKLİFLER

1. Burada kullanılan swirl çarpmalıjet sistemindeki çarpma yüzeyinin değişik açılarda konumlandırılmasıyla kütle transferinde ne gibi bir değişim gözlemlendiği araştırılmalıdır.
2. lazer doppler tekniği kullanılarak çeşitli swirl oluşturma metodları için akım özelliklerinin saptanması.
3. Akım özelliklerinin yanısıra aynı geometride lokal ısı ve kütle transferi ölçümlerinin yapılması ve aralarındaki analojinin incelenmesi.
4. türbülans yapısını daha iyi anlamak için hız ve kütle transfer sıçramalarının analizinin yapılması.

6. KAYNAKLAR

1. Incropera, Frank P. , De Witt, David P. ,Fundamentals of Heat and Mass Transfer 3rd Edition, John Wiley and Sons, 1990.
2. Deshpande, By Mohan D. and Vaishnav, Ramesh N., Submerged Laminer Jet Impingement on a Plane, J. Fluid Mech., 114, 213-236, 1982.
3. Nanzer, J., Donizeau, A., Coeuret, F., Overall Mass Transfer Between Electrodes and Normal Impinging Submerged Multijets of Electrolyte, J. Of Applied Electrochemistry, 14, 51-62, 1984.
4. Shin, H. D. and Park, S. H., Measurement of Entrainment Characteristics of Swirling Jet, Int. J. Heat and Mass Transfer, 36,16, 4009-4018, 1993.
5. Hardisty, H., Int. Conf. On market trends and technical dev. In Gravure. Gravure 80, 1-18, 1980.
6. Hsueh, K.L., Chin, D.T., Mass transfer of a submerged jet impinging on a cylindrical surface, J. Electrochem Soc., 133, 9,1845-1850,1986.
7. Chin-D-T; Agarwal, M., Mass Transfer from an Oblique Impinging Slot Jet, J. Electrochem. Soc., 138, 9, 2643-2650, 1991.
8. Owsensk, B.L.,Cziesla, T., Mitra, N.K. and Bıswas, G., Numerical investigation of heat transfer in impinging axial and radial jets with superimposed swirl, Int. J. Heat Mass Transfer,40, 1, 141-147, 1997.
9. Hsueh, K.L., Chin, D.T., Mass transfer of a submerged jet impinging on a cylindrical surface, J. Electrochem Soc., 133, 9,1845-1850,1986.
10. Vallis, E. A., Patrick, M. A., Wragg, A. A., Radial distribution of convective heat transfer coefficient between an axisymetric turbulent jet and a flat plate held normal to the flow, Proc. Int., Heat Transfer Conference, Toronto, September1978.
11. Ward, J. and Mahmood, M., Heat transfer from a turbulent, swirling impinging jet, Proccedings of the Seventh International Heat transfer Conference, Hemisphere, Washington, 3, 401-407, 1982.
12. Huang, L ve El-Genk, M.S., Heat Transfer and Flow Visualization Experiments of Swirling, Multi-channel, and Conventional Impinging Jet, Int. J. Heat Mass

- Transfer, 41, 3, 583-600, 1998.
13. Huang, B., Douglas, W.J.M. and Mujumdar, A.S., Heat Transfer under a Laminar, Swirling impinging Jet-a Numerical study, Proceeding of the Six international Heat Transfer Conference, 5, 311-316, Hemisphere, Washington DC, 1978.
 14. Mizushima, T., The Elektrochemical Method in Transport Phenomena, 87-160.
 15. Davidson, Malcolm R., Flow in The Stagnation Zone During The Submerged Injection of a Swirling Gas Jet, Chemical Engineering Science, 1990, 45, 3, 687-694.
 16. T. Pekdemir, 'Convective Mass Transfer from Stationary and Rotating Cylinders in Jet Flow', Ph.D. thesis, University of Exeter, UK. (1994), p 24.
 17. Hussain, F., Goldshtik, M. And Yao, R.J., The Vortex Liquid Piston Engine and Some Other vortex Technologies. Proceeding of Seminar on Fluid Mechanics Research. Dhaka Bangladesh, 1995, pp. K75-K108.
 18. Cheng, R.K., Velocity and scalar Characteristics of Premixed Turbulent flames. Combustion and Flame, 1995, 101. 1-14.
 19. Cutler, A.D., Levey, B.S., and Kraus, D.K., Near-Field Flow of Supersonic Swirling Jet. AIAA Journal, 1995, 33, 876-881.
 20. Fulton, C.D., Ranque's Tube. Refr. Eng., 1950, 58, 473-479.
 21. Borissov, A.A., Kuibin, P.A. and Okulov, V.L., Calculation and the Ranque Effect in the Vortex Tube. Acta Mechanica, Suppl., 1994, 4, 289-295.
 22. Shtern, V., Borissov, A. and Hussain, F., 'Temperature Distribution in a swirling Jet', Int. J. Heat and Mass Transfer, 1998, 41, 16, 2455-2467.
 23. Bilen, K., 1994, Isıtılan Düzlem bir Plakaya Dik ve Eğik Hava Jeti Çarpmasında Isı Transfer Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ, Trabzon.
 24. Lee, D.H., Won, S.Y., Kim, Y.T. and Chung, Y.S., Turbulent Heat Transfer from a Flat Surface to a swirling round Impinging Jet, Int. J. of Heat and Mass Transfer, 2002, 45, 223-227.

1. Elektroliz hücresi
2. Nozul ve hücre çıkışları
3. Storage tankı
4. Dijital sıcaklık göstergesi ve termokupl
5. Sıcaksu sirkulatörü
6. Flowmetreler
7. Çözelti pompası

