

بررسی تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی سیال توسط سرعت خوردگی یکنواخت فلز مس در آب

چنگیز دهقانپان

دانشیار دانشکده مهندسی شیمی - دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت ۸۰/۴/۲، تاریخ تصویب ۸۱/۱/۳۱)

چکیده

تعیین ضریب انتقال جرم، عدد رینولدز، عدد استانتون و سایر پارامترهای مربوط به هیدرودینامیک سیال در انتقال حرارت و سیالات از اهمیت خاصی برخوردار است. اندازه‌گیری پارامترهای فوق نیاز به ابزار و وسایل دقیق و گران قیمت دارد. لذا در این تحقیق سعی شده است با استفاده از تئوریهای علم الکتروشیمی و تعیین سرعت خوردگی یکنواخت فلز مس در آب و برقرار ساختن رابطه بین سرعت خوردگی یکنواخت فلز مس در آب با ضریب انتقال جرم امکان تعیین بعضی از پارامترهای هیدرودینامیکی سیال را بررسی گردد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که ارتباط بین پارامترهای بدست آمده از این روش با نتایج محققین دیگر که از روشهای تجربی متفاوتی این پارامترها را بدست آورده‌اند در موافقت خوبی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ضریب انتقال حرارت، عدد استانتون، سرعت خوردگی، سرعت سیال، روشهای الکتروشیمیایی، عدد اشمیت، عدد شرود، پلاریزاسیون، پارامترهای هیدرودینامیکی

مقدمه

روشهای الکتروشیمیایی بطور گسترده، برای بررسی حالت‌های مختلف خوردگی استفاده میشود و نتایج حاصل از آن سریع و دقیق میباشد [۱-۳]. اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی در محلولهای متحرک میتوانند علاوه بر آنکه اطلاعاتی مربوط به خوردگی یکنواخت و سایر شکلهای دیگر حمله به فلز ارائه دهند اطلاعاتی مربوط به پارامترهای هیدرودینامیکی نظیر سرعت انتقال جرم، درجه ناآرامی سیال و غیره را فراهم می‌سازند. انتقال جریان از آرام به ناآرام در محدوده‌ای از سرعت اتفاق می‌افتد که بستگی به شکل هندسی، سرعت سیال و زبری سطح دارد. برای تخمین چنین انتقالی از رابطه زیر استفاده میگردد.

$$Re = \frac{V.d}{\nu} \quad (1)$$

که V سرعت سیال، d قطر نمونه و ν ویسکوزیته سینماتیک سیال میباشد. انتقال یک ماده به سطح فلز شامل جابجایی ظاهری و جابجایی در اثر ناآرامی میباشد. در حالت‌هایی که واکنش بوسیله نفوذپذیری کنترل شود سرعت واکنش متناسب با اختلاف

غلظت (ΔC) و ضریب انتقال جرم (m) میگردد. روابط بین ضریب انتقال جرم (m) و بعضی از پارامترهای هیدرودینامیکی سیال بصورت زیر ارائه میشوند:

$$m \Delta C = \frac{i}{nFA} = \text{سرعت واکنش یا سرعت خوردگی یکنواخت فلز} \quad (2)$$

$$Sh = \frac{m.d}{D} = \text{عدد شرود} \quad (3)$$

که d قطر دیسک فلزی و D ضریب نفوذپذیری ماده یونی شرکت کننده در واکنش که معمولاً در محلولها مساوی 1×10^{-5} سانتی متر مربع به ثانیه میباشد [۴].

$$St = \frac{m}{V} = \frac{Sh}{Re.Sc} \quad (4)$$

که V سرعت سیال و Sc عدد اشمیت میباشد. عدد اشمیت طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Sc = \frac{\gamma}{D} \quad (5)$$

بطور آزمایشی تعیین شده است که رابطه زیر نیز برقرار است [۵]:

بوسیله دستگاه پتانسیواستات، جریان تنها بداخل میله مسی و از آن به دیسک دایره‌ای وارد شود. شکل (۱) تصویری از نمونه تهیه شده و روش قرارگرفتن آن در محلول را نشان میدهد. برای اندازه‌گیری پتانسیل دیسک مسی از الکتروود مرجع کالومل اشباع استفاده شد. برای اعمال جریان الکتریسیته بداخل میله مسی در حال دوران از یک حلقه مسی که بدور میله مسی اتصال داده شده بود استفاده گردید بطوریکه میله مسی ضمن اینکه به حلقه اتصال داشت میتوانست آزادانه بداخل آن بچرخد. حلقه به یک سیم مسی اتصال داده شد تا توسط آن بتوان جریان را بداخل حلقه اعمال نمود. پس از مرتب نمودن پیل و مدار مورد نظر برای اندازه‌گیری سرعت خوردگی یکنواخت و جریان خوردگی فلز مس قبل از اعمال جریان آندی در هر دوران از روش پلاریزاسیون خطی استفاده شد. در این روش پتانسیل دیسک مسی از ۱۰- تا ۱۰+ میلی‌ولت نسبت به پتانسیل مبدأ با سرعت اسکن ۰/۵ میلی‌ولت بر ثانیه توسط دستگاه پتانسیواستات پلاریزه گردید. غلظت یون مس در محلول از طریق نقصان وزن دیسک مسی در هر آزمایش با اعمال جریان آندی به مدت ۳۰ دقیقه و در هر سرعت دوران تعیین گردید. بدین طریق که وزن اولیه دیسک مسی بوسیله ترازوی دقیق تا چهار رقم اعشاری قبل از هر آزمایش تعیین و در انتهای هر آزمایش پس از تمیز و خشک کردن آن مجدداً وزن می‌گردید و اختلاف بین این دو وزن معادل با نقصان وزن مس یا غلظت یون مس موجود در محلول بود. در هر آزمایش از آب مقطر استفاده میشد تا مقدار دقیق یون مس موجود در آب کاملاً تعیین گردد.

$$\frac{i}{nFA} = m \cdot C_{Cu^{2+}}(x=0) \quad (7)$$

با فرض آنکه غلظت اولیه مس در محلول ناچیز است مقدار ضریب انتقال جرم m تعیین گردید. در رابطه (۷)، i جریان آندی اعمال شده در هر دوران بر حسب آمپر، n تعداد الکترونهاي شرکت کننده در واکنش، F عدد فارده بر حسب کولن بر مول، A مساحت الکتروود بر حسب سانتی متر مربع، m ضریب انتقال جرم بر حسب سانتی متر بر ثانیه و $C_{Cu^{2+}}(x=0)$ ، غلظت یون مس در سطح الکتروود بر حسب مول بر سانتی متر مکعب.

پس از تعیین m سایر پارامترهای هیدرودینامیکی سیال از معادلات توصیف شده در بخش مقدمه محاسبه گردید و سپس معادله توصیف کننده عدد Sh (عدد شرود) بر حسب عدد

$$Sh = C_1 Re^x \cdot Sc^{-1/3} \quad (6)$$

که x معمولاً بین ۰/۳ و ۱ میباشد.

ضریب انتقال جرم معمولاً بطور آزمایشی بوسیله روشهای متعددی تعیین میگردد که از آن جمله، می‌توان از دانسیته جریان محدود (LCD) [۶-۷] و روش حل دیوار [۸] نام برد.

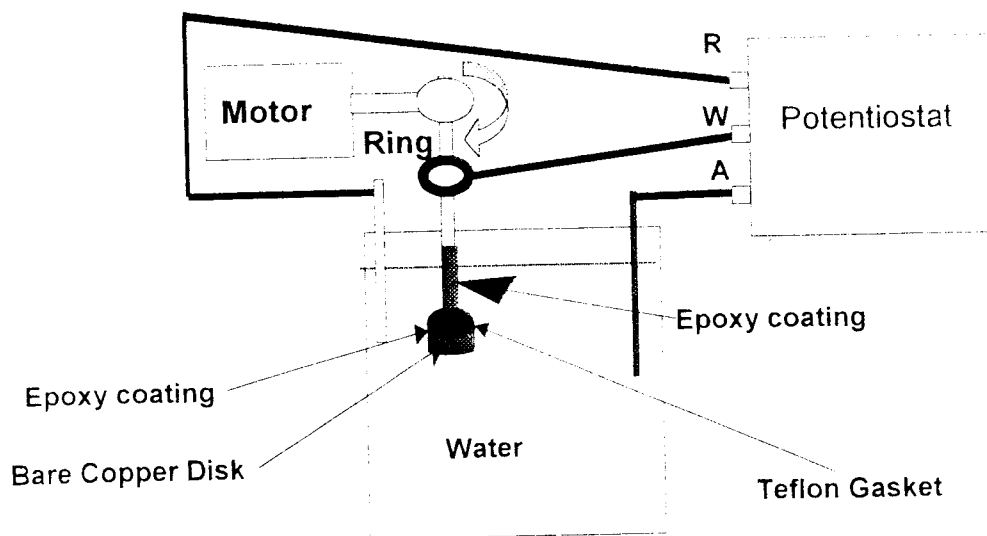
ضریب انتقال جرم را همچنین میتوان از داده‌های انتقال حرارت با استفاده از تشابه بین انتقال حرارت و جرم بدست آورد [۹]. اما این روشها دارای مشکلات مربوط به خود میباشند. در بسیاری از مواقع سرعت خوردگی یکنواخت فلزات تنها بوسیله نفوذپذیری کنترل میشود که یا بصورت کاتدی است که مربوط به نفوذ محصول کاتدی به سطح الکتروود میباشد و یا بصورت آندی است که مربوط به دور شدن محصول آندی از سطح الکتروود میباشد.

بعضی از محققین نشان داده‌اند که در چنین حالتی می‌توان سرعت خوردگی یکنواخت را از شرایط انتقال جرم ساده پیش بینی کرد و یا بالعکس پارامترهای هیدرودینامیکی اندازه‌گیری شده از دیسک یا استوانه دورانی را می‌توان بکار برد تا سرعت خوردگی در لوله‌ها را پیش‌بینی نمود [۱۰].

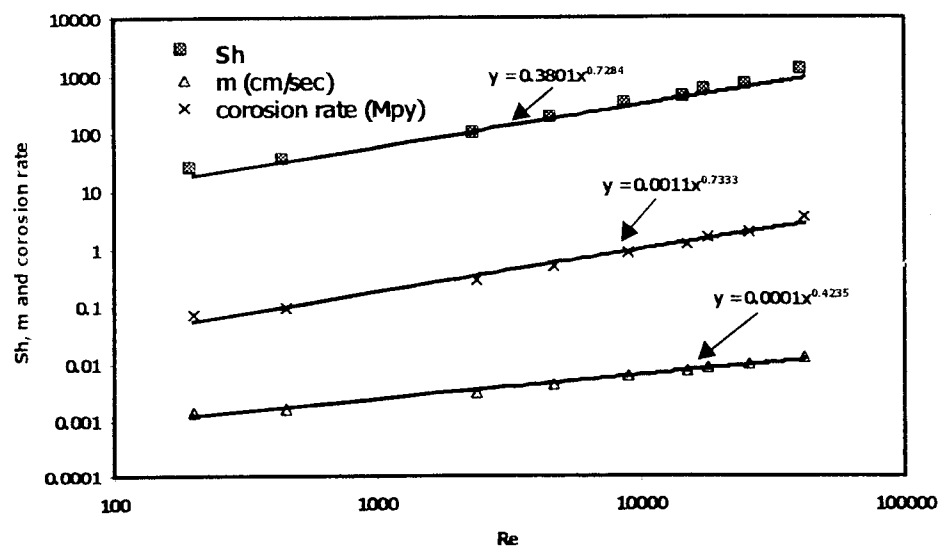
در این تحقیق سعی شده است تا امکان تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی سیال از طریق اندازه‌گیری سرعت خوردگی یکنواخت فلز مس در آب در سرعت‌های مختلف دوران بررسی گردد.

روش تحقیق

نمونه‌های مسی بصورت دیسک دایره‌ای با سطح مقطع یک سانتی‌متر مربع و به ضخامت ۵ میلی‌متر از مفتول مسی تهیه گردید. در یک طرف دیسکها سوراخی به قطر و عمق ۳ میلی‌متر ایجاد گردید و یک میله مسی استوانه‌ای شکل در آن به وسیله واشر تفلونی پیچ شد. میله مسی توسط موتور که قبلاً دورهای چرخشی آن کالیبره شده بود جاسازی شد تا بتوان میله و دیسک مسی متصل به آن را در دورهای مختلف بدوران در آورد. قسمتی از میله مسی که ممکن است در تماس با محلول قرار گیرد و همچنین یک طرف دیسک مسی که به میله مسی اتصال داده شده بود و همچنین ضخامت دیسک بوسیله چسب اپوکسی کاملاً پوشش داده شد. همچنین در محل اتصال میله مسی به موتور از پوشش تفلون استفاده شد تا در زمان اعمال جریان الکتریسیته



شکل ۱: تصویری از نمونه و روش قرار گرفتن آن در محلول برای آزمایش.



شکل ۲: منحنی ضریب انتقال جرم، عدد شرود و سرعت خوردگی بصورت تابعی از عدد رینولدز.

می‌باشد که از طریق آزمایش تعیین گردیده‌اند. بر اساس داده‌های بدست آمده در جدول (۱) ضریب انتقال جرم، عدد رینولدز، عدد شرود (Sh)، عدد استانتون (St) و عدد اشمیت (Sc) از معادلات داده شده در بخش مقدمه محاسبه شده‌اند.

شکل (۲) منحنی‌های مربوط به ضریب انتقال جرم، عدد شرود و سرعت خوردگی یکنواخت مس در آب را که متوسط پنج آزمایش یکسان می‌باشد به عنوان تابعی از عدد رینولدز نشان میدهد. همانطوریکه نتایج نشان میدهند لگاریتم این پارامترها

رینولدز و عدد اشمیت (Sc) تعیین گردید. آزمایشهای ارائه شده در این بخش پنج بار در شرایط یکسان تکرار شدند تا تکرار پذیری آنها بررسی گردد. در محاسبات از داده‌های متوسط پنج آزمایش استفاده شد.

نتایج آزمایش و بحث

جدول (۱) ارائه دهنده جریان خوردگی، سرعت خوردگی یکنواخت و غلظت یون مس در آب در سرعت‌های دورانی متفاوت

هیدرودینامیکی سیال از این روش با روشهای دیگر محققین [۱۱-۱۲]، نتایج بدست آمده در این تحقیق و نتایج بدست آمده توسط بعضی از محققین دیگر در شکلهای (۵) و (۶) ارائه شده‌اند. همانطوریکه مشاهده میشود نتایج بدست آمده از این روش که با علامت Δ در روی شکلهای (۵) و (۶) نشان داده شده و بنام تحقیق نویسنده بیان شده است با سایر نتایج موافقت خوبی دارند و تنها در نواحی از عدد رینولدز که جریان آرام است اندکی اختلاف مشاهده میشود. در ضمن نتایج حاصل متوسط از پنج آزمایش یکسان است که در این تحقیق انجام شده است و نتایج حاصل از هر پنج آزمایش در توافق خوبی با یکدیگر بودند که نشان دهنده اعتبار این روش می‌باشد.

بنابراین با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و موافقت آن با نتایج بدست آمده توسط بعضی محققین دیگر می‌توان پیشنهاد نمود که روش بکار رفته در این تحقیق میتواند برای بدست آوردن پارامترهای هیدرودینامیکی سیال امیدوارکننده باشد. البته باید تحت شرایط محیطی متفاوت تحقیق بیشتری انجام شود و در صورت موافقت نتایج با روشهای دیگران می‌توان از این روش به عنوان روش مناسب و ساده و بدون استفاده از دستگاههای گران قیمت برای تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی سیال در یک خط لوله استفاده نمود. بالعکس در صورت در دست داشتن پارامترهای هیدرودینامیک سیال می‌توان سرعت خوردگی یکنواخت لوله را تحت هر سرعتی از حرکت سیال بدون اندازه‌گیری سرعت خوردگی یکنواخت آن پیش‌بینی نمود.

نتیجه‌گیری

۱ - با اندازه‌گیری سرعت خوردگی یکنواخت فلز مس در آب و تعیین غلظت یون مس در آن می‌توان پارامترهای هیدرودینامیکی سیال را تحت شرایط سرعتی مختلف جریان سیال تعیین نمود.

۲ - پارامترهای هیدرودینامیکی بدست آمده از این روش با مقادیر بدست آمده از روشهای مختلف دیگر توسط بعضی از محققین در توافق خوبی با یکدیگر می‌باشند.

۳ - یکی از امتیازهای این روش در آن است که با انجام آزمایشهای الکتروشیمیائی ساده می‌توان پارامترهای هیدرودینامیکی سیال را با دقت نسبتاً خوبی تعیین نمود در حالیکه در روشهای دیگر نیاز به دستگاههای گران قیمت

نسبت به لگاریتم عدد رینولدز یک رابطه خطی است. با توجه به اینکه مشخص شده است [۵] که رابطه بین عدد شرد (Sh) و عدد رینولدز (Re) و عدد اشمیت (Sc) بصورت زیر وجود دارد:

$$Sh = C_1 Re^x \cdot Sc^{-0.33}$$

(۸)

جدول ۱: پارامترهای اندازه‌گیری شده.

تعداد دور در دقیقه rpm	غلظت یون مس	$i\left(\frac{\mu A}{cm^2}\right)$	سرعت خوردگی میل در سال (Mpy)
4	0.0810	0.15	0.07
6	0.0205	0.2	0.094
20	0.0329	0.6	0.296
40	0.0398	1	0.472
80	0.0517	1.9	0.866
120	0.0574	2.6	1.18
160	0.0616	3.4	1.57
200	0.0742	4.3	1.97
400	0.0984	7.7	3.54

و همچنین عدد اشمیت برای یک محلول یکسان ثابت است. می‌توان توان عدد رینولدز و ثابت C_1 در معادله (۸) را از مقادیر Sh و Re و Sc که قبلاً از روی سرعت خوردگی یکنواخت مس در آب محاسبه شده‌اند تعیین نمود. برای این عمل می‌توان لگاریتم عدد Sh نسبت به لگاریتم عدد Re را رسم کرد. منحنی حاصل از آن یک خط است که شیب آن مقدار x یعنی توان Re در معادله (۶) میباشد. این شیب در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۴) مقدار $\frac{Sh}{Sc^{-0.33}}$ نسبت به عدد Re رسم شده است و از روی تقاطع خط حاصل با محور $\frac{Sh}{Sc^{-0.33}}$ مقدار ثابت C_1 تعیین گردیده است.

بنابراین با توضیحات و محاسبات فوق معادله (۸) بصورت زیر ارائه می‌شود.

$$Sh = 4 Re^{-0.7284} Sc^{-0.33}$$

(۹)

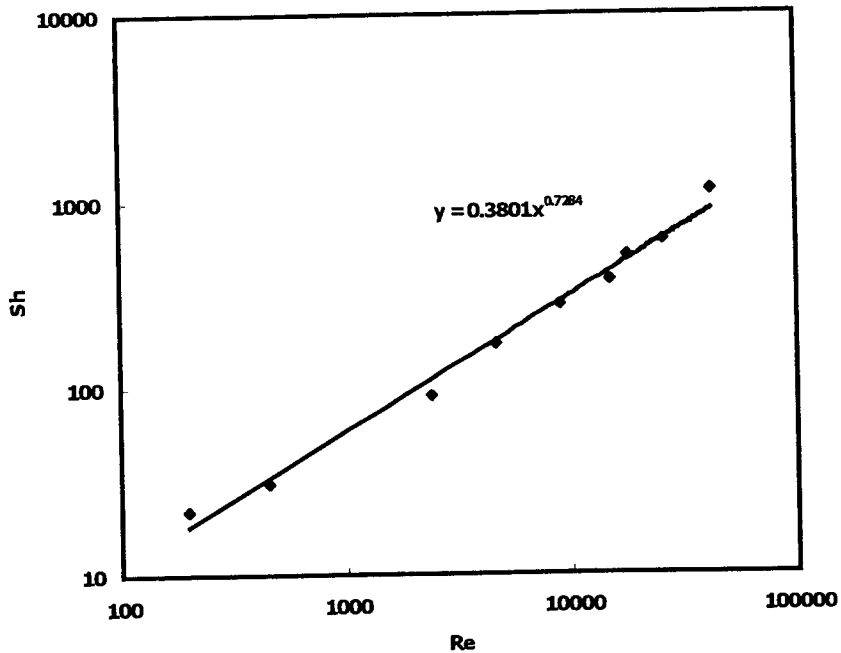
برای تعیین صحت روابط بدست آمده برای پارامترهای

قدردانی و تشکر

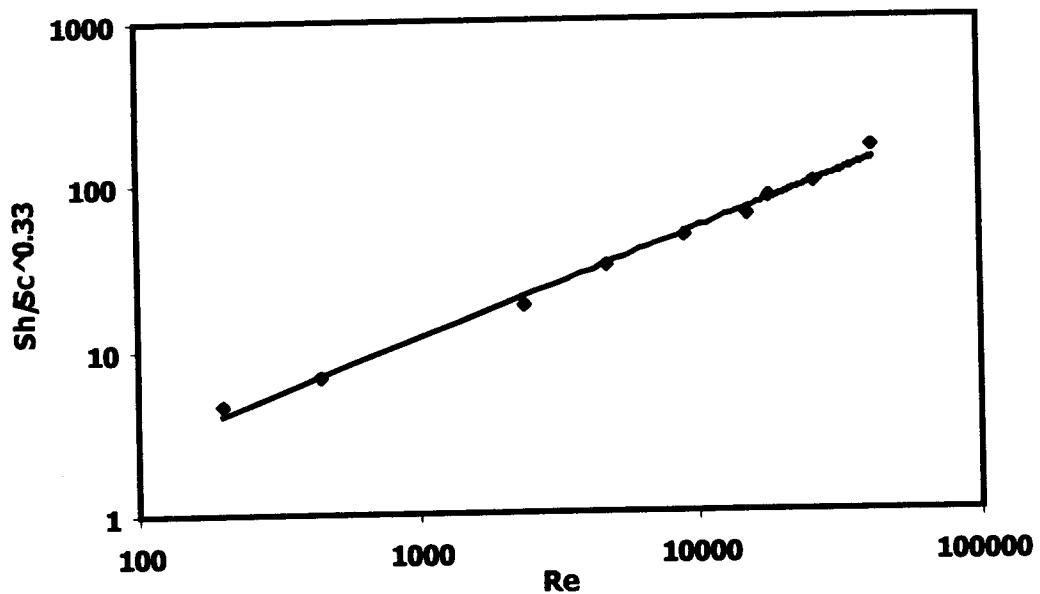
میباشد.

از مسئولین محترم دانشگاه صنعتی اصفهان بخاطر تأمین بودجه این پروژه قدردانی می‌گردد. همچنین از آقای اصغر فعلی بخاطر همکاری در این پروژه تشکر می‌گردد.

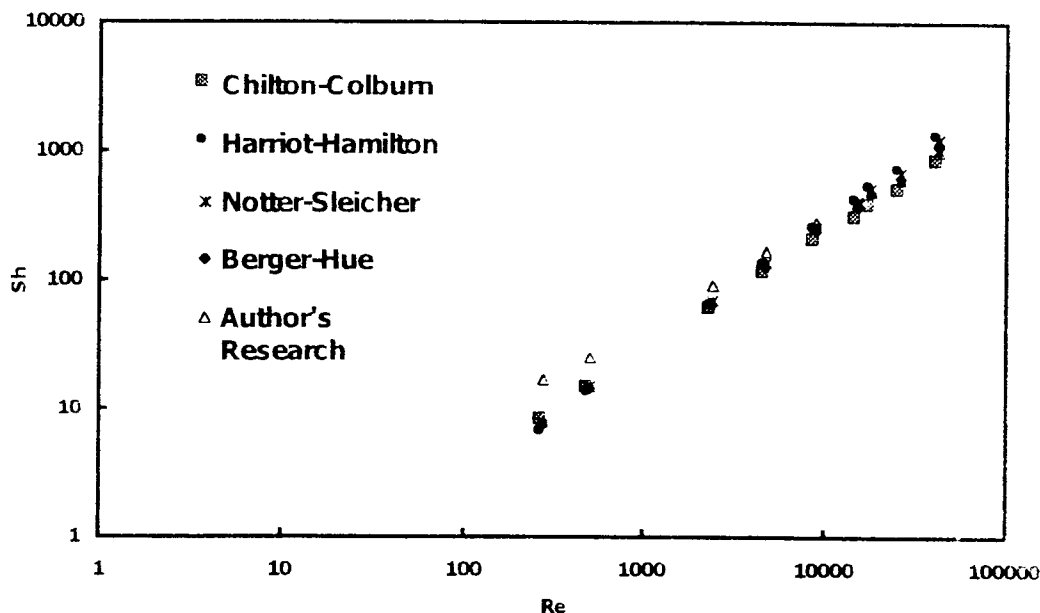
۴ - امتیاز دیگر این روش در آنست که با داشتن پارامترهای هیدرودینامیکی سیال در یک خط لوله می‌توان به طور عکس سرعت خوردگی یکنواخت لوله را تحت شرایط مختلف سرعت سیال بدون اندازه‌گیری سرعت خوردگی فلز پیش بینی نمود.



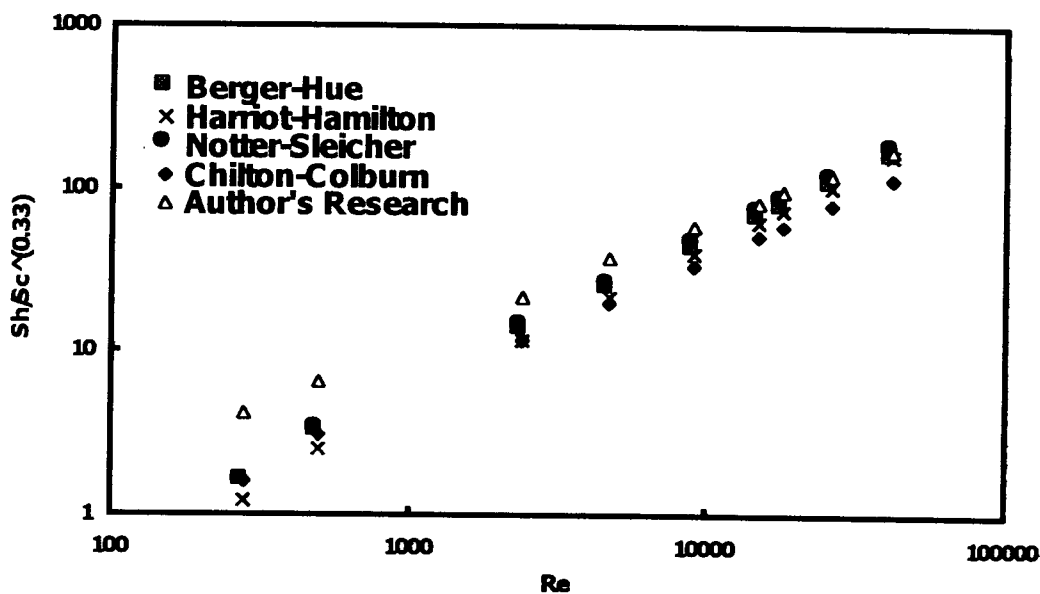
شکل ۳: منحنی عدد شروود بر حسب عدد رینولدز.



شکل ۴: منحنی $Sh/Sc^{0.33}$ بر حسب عدد رینولدز.



شکل ۵: منحنی عدد شرود بر حسب عدد رینولدز برای مقایسه نتایج دیگران با نتایج کار نویسنده.



شکل ۶: منحنی $Sh/Sc^{0.33}$ بر حسب عدد رینولدز برای مقایسه نتایج دیگران با نتایج کار نویسنده.

مراجع

- 1 - Mansfeld, F. and little, B. (1991). "A technical review of electrochemical techniques applied to microbiologically influenced corrosion." *Corrosion Science*, Vol. 32, PP. 247-272.
- 2 - Van Der Weijde, D. H. and Van Westing, E. P. M. (1994). "Electrochemical techniques for delamination studies." *Corrosion Science*, Vol.36, PP. 643-652.
- 3 - Cao, C. (1996). "On electrochemical techniques for interface inhibitor research." *Corrosion Science*, Vol. 38, PP. 2073-2082.
- 4 - Uhlig, H. (1971). *Corrosion and corrosion control*, second edition, John Wiley & Sons Inc., P.44.

-
- 5 - Levich, V. (1992). *Physiochemical hydrodynamics*, Prentice Hall, New Jersey.
 - 6 - Wragg, A. A. (1977). *The Chemical Engineer*, Vol. 39.
 - 7 - Mizushima, T. (1971). *Advanced Heat Transfer*, Vol. 7, Academic Press, NewYork.
 - 8 - Harriott, P. and Hamilton, R. M. (1985). *Chemical Engineering Science*, Vol. 20, P. 1023.
 - 9 - Chilton, T. H. and Colburn, A. P. (1984). *Industrial Engineering Chem.*, Vol. 26, P. 1183.
 - 10 - Wranglen, G. and Berendson, J. (1977). *In physio chemical hydrodynamics*, Advance Publishers, London.
 - 11 - Berger, F. P. and Hue, K. F. F. (1977). *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 20, P. 1185.
 - 12 - Notter, R. H. and Sleicher, C. A. (1981). *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 26, P. 161.
-

