

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان  
مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## The effect of brine salinity on CO<sub>2</sub> corrosion of low carbon API N80 steel using Tafel polarization and electrochemical impedance spectroscopy methods

### Abstract

Corrosion of carbon steel in CO<sub>2</sub> containing solutions has been an important problem in oil and gas industries for decades. CO<sub>2</sub> corrosion of casings and tubings in oil and gas industries is affected by numerous factors such as brine salinity, CO<sub>2</sub> partial pressure, temperature and etc.. Most of the researches performed in CO<sub>2</sub> corrosion field were conducted in 3.5% NaCl solution. However, formation water produced from oil fields contains different kinds of salts. Therefore, in order to consider varieties in brine composition and concentrations, usage of electrolytes with different concentrations is necessary. In this study, the effect of brine concentration on CO<sub>2</sub> corrosion of API N80 carbon steel in 3 different salinities (low salinity, medium salinity and high salinity) was investigated. Tafel polarization and electrochemical impedance spectroscopy tests were used in order to obtain useful information. All of the tests were conducted at room temperature (25°C) and in 2 liter cell filled with electrolyte. According to tests results, increase in brine salinity resulted in decrease in corrosion rate and retarded charge transfer, mass transfer and chemical reactions.

**Keywords:** carbon dioxide corrosion, brine salinity, API N80 carbon steel.

## بررسی تاثیر غلظت نمک محلول بر خوردگی دی اکسید کربن در فولاد N۸۰ با استفاده از آزمون های پلاریزاسیون تافل و امپدانس الکتروشیمیایی

### چکیده

خوردگی فولاد در محلول های حاوی دی اکسید کربن، همواره یکی از مشکلات موجود در صنایع نفت و گاز بوده است. خوردگی لوله های مغزی و جداری در صنایع نفت و گاز تحت تاثیر عوامل متعددی نظیر غلظت نمک محلول، فشار کربن دی اکسید، دما و ... قرار دارد. در اکثر مقالات به بررسی خوردگی در محلول ۳/۵ درصد NaCl پرداخته شده است؛ این در حالی است که آب سازندی تولید شده از میدان نفتی دارای مقادیر زیادی از سایر نمک ها می باشد؛ بنابراین، به علت تنوع در ترکیب شیمیایی و درصد نمک های موجود در آب سازندی چاه های مختلف، بررسی خوردگی دی اکسید کربن در الکترولیت هایی با غلظت متفاوت ضروری است. در این مقاله تاثیر غلظت نمک موجود در محلول بر خوردگی دی اکسید کربن فولاد N۸۰ در ۳ نوع الکترولیت با درصدهای متفاوت از نمک (غلظت زیاد، متوسط و کم) مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات مورد نیاز از طریق تست های برون یابی تافل و امپدانس استخراج گردیده است. هر یک از آزمایش ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد) و در محفظه هایی دارای ۲ لیتر الکترولیت صورت گرفته اند. براساس نتایج به دست آمده، با افزایش غلظت نمک محلول، نرخ خوردگی یکنواخت کاهش یافته و واکنش های انتقال بار، انتقال جرم و واکنش های شیمیایی به تعویق می افتند.

کلمات کلیدی: خوردگی دی اکسید کربن ، غلظت نمک، فولاد کربنی N۸۰.

### مقدمه

هرساله مقادیر زیادی نفت و گاز، جهت برآورده کردن نیاز جهانی، استخراج می گردد. علاوه بر این سیالات، ترکیباتی همچون دی اکسید کربن، آب و سولفید هیدروژن نیز در مخازن نفت و گاز موجود می باشد. دی اکسید کربن به غیر از حضور طبیعی در میادین، جهت ازدیاد برداشت از مخازن نیز به درون چاه های نفت و گاز تزریق می شود. ترکیبات مذکور در آب سازندی حل شده و تحت شرایط محیطی مختلف مانند دما، فشار، pH و غلظت نمک، محیطی خورنده ایجاد می نمایند [۱،۲،۳،۴].

در طی سه دهه اخیر تحقیقات زیادی پیرامون خوردگی در محیط های شیرین صورت گرفته است. اولین مدل از خوردگی دی اکسید کربن، در سال ۱۹۷۵ توسط دی وارد (deWaard) و میلیام (Milliams) ارائه گردید. بر اساس مطالعات آنها، فشار جزئی دی اکسید کربن و دما تاثیر قابل توجهی بر نرخ خوردگی دی اکسید کربن دارند [۵،۶]. از آن زمان تاکنون عوامل بسیاری از جمله سرعت سیال، pH و غیره به عنوان پارامترهای موثر بر خوردگی دی اکسید کربن شناخته شده اند. گرچه، خوردگی دی اکسید کربن در محلول های با غلظت بالای نمک، یعنی محلول های دارای شدت یونی بالا، و یا محلول های غیر ایده آل، تاکنون مورد بررسی جامع قرار نگرفته است. نمونه ای از آنالیز آب سازندی یک مخزن گازی در تگزاس در جدول ۱ نشان داده شده است [۵]. میزان نمک موجود ۲۳ درصد وزنی می باشد. بر اساس گزارشات اعلام شده از این مخزن، همواره مقداری کریستال های نمک در لوله های مغزی تولید گاز مشاهده گردیده است. دلیل این امر، اشباع بودن آب سازندی از نمک می باشد.

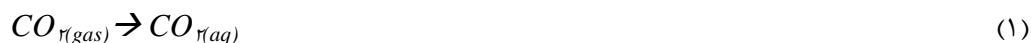
جدول ۱) خلاصه آنالیز آب سازند چاه گاز در تگزاس [۳]

ترکیبات	ترکیبات	غلظت
	(mg/l)	wt. %
NaCl	۱۳۱۰۸۰	۱۳.۱
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	۱۱۱۵۱۰	۸.۳۶
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	۵۰۸۱۰	۲.۳۹
کل	۲۹۳۴۰۰	۲۳.۸۵

اکثر مطالعات انجام شده در مورد خوردگی دی اکسید کربن، در غلظت های کم، ۱ تا ۳ درصد وزنی NaCl، صورت پذیرفته اند. در این محدوده، غلظت نمک تاثیر چشم گیری بر خوردگی دی اکسید کربن نخواهد داشت. از این رو در اکثر موارد چنین نتیجه گیری می شود که خوردگی دی اکسید کربن تحت تاثیر غلظت نمک قرار ندارد. بنابراین در این تحقیق سعی بر آن است که مقایسه ای میان غلظت های نمک کم، متوسط و زیاد صورت گیرد.

### مبانی نظری پژوهش

مکانیزم خوردگی دی اکسید کربن، در چند دهه اخیر توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. در خوردگی شیرین، دی اکسید کربن در آب حل شده (رابطه ۱)، هیدراته می شود (رابطه ۲) و تولید اسید کربنیک ( $H_2CO_3$ ) می نماید [۷،۸]:



این اسید سپس در دو مرحله طبق روابط (۳) و (۴) به بی کربنات، کربنات و یون های هیدروژن تجزیه می شود:



رابطه کلی خوردگی ناشی از دی اکسید کربن، به صورت زیر می باشد [۷،۸،۹]:



بنابراین، یکی از محصولات خوردگی، کربنات آهن ( $FeCO_3$ ) است که با توجه به شرایط محیطی، می تواند فیلمی محافظ و یا غیرمحافظ تشکیل دهد.

واکنش انحلال آندی آهن در سطح فولاد مطابق رابطه (۶) رخ می دهد [۸،۹،۱۰،۱۱]:



واکنش های کاتدی شامل واکنش احیای پروتون و احیای مستقیم کربنیک اسید به صورت زیر انجام می پذیرند:



با وجود مطالعات بسیاری که طی چند دهه اخیر در این زمینه به انجام رسیده است، تاکنون مشخص نگردیده که کدام یک از واکنش های ۷ و ۸ در سطح فلز رخ می دهد. بنابراین چنین فرض می شود که جریان کاتدی کلی، حاصل جمع جریان های هر دو واکنش های کاتدی می باشد.

### پیشینه تحقیق

در طی چهار دهه اخیر، تحقیقات زیادی بر روی مکانیزم خوردگی دی اکسیدکربن در فولاد و عوامل موثر بر آن، صورت گرفته است. اولین مطالعه در سال ۱۹۸۳ انجام شد و در سال ۱۹۸۴ توسط بورک (Burk) و اشمیت (Schmitt) خلاصه گردید [۱۲،۱۳].

در سال ۲۰۰۲، کریو (Carew) و الهاشم (Al-Hashem) با شبیه سازی شرایط مخازن نفت به بررسی خوردگی دی اکسید کربن فولاد L۸۰ پرداختند [۱۴].

آن ها آزمایش های خود را در فشارهای بالا (۵۰۰-۱۰۰۰ psi) و در محدوده دمایی ۹۰-۶۰ درجه سانتی گراد به انجام رساندند.

در سال ۲۰۰۳، عوامل کلیدی موثر بر میزان خوردگی دی اکسید کربن توسط کرمانی (Kermani) و همکارانش، معرفی گردید [۱۵].

در همان سال، لویز (pezLo) و همکارانش [۱۶] تحقیقاتی در زمینه تاثیر ریز ساختار و ترکیب شیمیایی فولاد بر خوردگی شیرین، بر اساس تاثیر این عوامل بر بازده ممانعت کننده های خوردگی، انجام دادند.

در سال ۲۰۰۶، داگ استاد (Dugstad) مطالعاتی در زمینه تاثیر دی اکسید کربن بر شیمی آب، واکنش های الکتروشیمیایی صورت گرفته در سطح فلز و جوانه زنی و رشد فیلم محافظ از محصولات خوردگی به انجام رساند [۹].

در همان سال، اشمیت (Schmitt) و هورستمیر (Horstemeier)، تاثیر پارامترهای مختلف همانند دما، جریان سیال، ترکیب شیمیایی آلیاژ و چندین عامل دیگر را بر خوردگی دی اکسید کربن مورد مطالعه قرار دادند [۱۷]. فنگ (Fang)، در سال ۲۰۰۶ به بررسی تاثیر دمای کم و آب نمک غلیظ بر خوردگی یکنواخت دی اکسید کربن فولاد کربنی پرداخت. وی دریافت که در دماهای کمتر از ۲۰ درجه سانتی گراد، نرخ خوردگی با کاهش دما به طور چشم گیر کاهش می یابد و به جریان سیال و pH وابسته نمی باشد. همچنین با افزایش غلظت نمک، نرخ خوردگی یکنواخت کاهش یافته و واکنش های انتقال بار، انتقال جرم و واکنش های شیمیایی به تعویق می افتند [۲]. در سال ۲۰۰۹، شوفان ونگ (Shufan Wang) تاثیر اکسیژن بر خوردگی شیرین را مورد بررسی قرار داد [۱۸]. در سال ۲۰۱۰، نسیک (Nesic) و همکارانش به بررسی تاثیر محلول های دارای غلظت بالای نمک بر نرخ خوردگی کربن دی اکسید پرداختند [۱۹].

## نحوه انجام آزمایش

### سلول شیشه ای

در این آزمایش از یک سیستم سه الکترودی شامل الکترود کمی پلاتینی، الکترود مرجع نقره/کلرور نقره و یک الکترود کار با سطح مقطع مربعی شکل از جنس فولاد کم آلیاژ N۸۰ استفاده شده است. دمش گاز دی اکسید کربن با استفاده از لوله ای شیشه ای به درون محلول انجام گرفته است. دمش این گاز سبب ایجاد یک فشار مثبت از دی اکسید کربن درون سلول آزمایش و در نتیجه کاهش آلودگی توسط اکسیژن می شود.

### آماده سازی نمونه

نمونه ای از فولاد کربنی N۸۰ با سطح مقطع  $1\text{cm}^2$  جهت انجام آزمایش های برون یابی تافل و امپدانس مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیب شیمیایی فولاد کربنی مطابق جدول شماره ۲ می باشد.

جدول (۲) ترکیب شیمیایی آلیاژ

C	Si	Mn	Cr	P	S	Mo	Al
۰.۱۶۲	۰.۲۳۹	۱.۳	۰.۲۰۱	۰.۰۲۱	۰.۰۰۳>	۰.۰۶۱	۰.۰۲۲
W	Ti	Cu	Co	V	Nb	Ni	Fe
۰.۰۱۵	۰.۰۳۱	۰.۰۲۳	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲>	۰.۰۰۲>	۰.۰۰۵	عنصر پایه

نمونه ها توسط سمباده های کاربید سیلیسیوم از شماره ۸۰ تا ۲۰۰۰ پولیش شده و سپس توسط الکل و آب دوبار تقطیر، شستشو و چربی زدایی گردیدند. به منظور بررسی اثر غلظت نمک، سه آزمایش در سه الکترولیت با درصد شوری متفاوت (غلظت کم، متوسط، زیاد (جدول ۳، ۴، ۵)) انجام گردیده است. جهت اطمینان از صحت نتایج، هر یک از آزمایش ها ۳ بار تکرار شده اند.

جدول (۳) ترکیب شیمیایی الکترولیت با غلظت نمک کم [۲۰]

نمک	wt.%	Mg/l	یون ها	Mg/l
NaCl	۵۸.۵	۲۲۸۰	Total Na <sup>+</sup>	۹۰۶
KCl	۷۴.۵	۳۰	Ca <sup>2+</sup>	۳۸
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	۱۴۲.۰	۳۰	Mg <sup>2+</sup>	۵
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	۱۴۷.۰	۱۴۰	K <sup>+</sup>	۱۶
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	۲۰۳.۳	۴۰	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۲۰
			Total Cl <sup>-</sup>	۱۴۶۵
			TDS	۲۴۵۰

جدول ۴) ترکیب شیمیایی الکترولیت با غلظت نمک متوسط [۲۰]

نمک	wt. %	Mg/l	یون ها	Mg/l
NaCl	۵۸.۵	۲۴۰۰۰	Total Na <sup>+</sup>	۱۰۷۳۶
KCl	۷۴.۵	۷۴۰	Ca <sup>2+</sup>	۴۱۴
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	۱۴۲.۰	۴۰۱۰	Mg <sup>2+</sup>	۱۳۰۳
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	۱۴۷.۰	۱۵۲۰	K <sup>+</sup>	۳۸۷
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	۲۰۳.۳	۱۰۹۰۰	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۲۷۱۱
			Total Cl <sup>-</sup>	۱۹۱۰۵
			TDS	۳۴۶۵۵

جدول ۵) ترکیب شیمیایی الکترولیت با غلظت نمک زیاد [۲۰]

نمک	wt. %	Mg/l	یون ها	Mg/l
NaCl	۵۸.۵	۱۲۶۵۰۰	Total Na <sup>+</sup>	۴۹۸۴۸
KCl	۷۴.۵	.	Ca <sup>2+</sup>	۱۴۵۵۸
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	۱۴۲.۰	۳۵۰	Mg <sup>2+</sup>	۳۲۵۳
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	۱۴۷.۰	۵۳۵۰۰	K <sup>+</sup>	.
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	۲۰۳.۳	۲۷۲۰۰	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	۲۷۳
			Total Cl <sup>-</sup>	۱۱۲۱۰۴
			TDS	۱۸۰۰۰۰

### اندازه گیری pH

pH الکترولیت به طور مرتب در حین دمش و در طول آزمایش اندازه گیری گردید. دمش دی اکسید کربن تقریباً به مدت ۳۰ دقیقه و تا زمان اشباع شدن محلول (ثابت شدن pH) ادامه یافته، سپس فشار ورودی گاز به میزان قابل توجهی کاهش داده شده و ادامه تست با دمش کم صورت پذیرفته است. دمای الکترولیت در ۲۵ درجه سانتی گراد تنظیم گردید؛ چراکه تغییر دما به شدت بر میزان انحلال دی اکسید کربن تأثیرگذار می باشد. با افزایش شوری الکترولیت، pH محلول (شوری کم: ۳/۹۲، شوری متوسط: ۴/۲، شوری زیاد: ۴/۵۴) افزایش می یابد؛ چراکه نمک بیشتری در الکترولیت حل شده و این بدین معنی است که دی اکسید کربن کمتری قادر به انحلال در الکترولیت می باشد، در نتیجه اسید کربنیک کمتری تشکیل خواهد شد.



## اندازه گیری میزان خوردگی

آزمایش ها در سلولی شیشه ای محتوی ۲ لیتر الکترولیت با غلظت نمک مورد نظر انجام گردیده اند. دمای سیستم توسط یک دماسنج بررسی شده و پس از ثابت شدن دما در ۲۵ درجه سانتی گراد، دمش دی اکسید کربن تا رسیدن به میزان اشباع (ثابت شدن pH) ادامه یافت. سپس فشار گاز به مقدار زیادی کاهش پیدا کرده و دمش به میزانی که

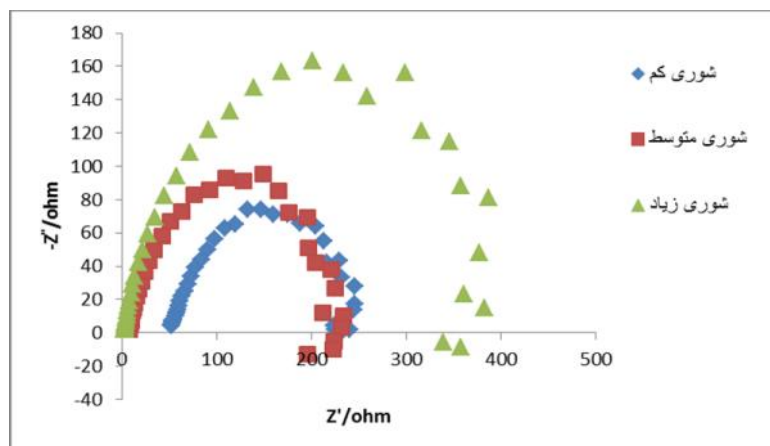
در سیستم ایجاد تلاطم نکند، ادامه پیدا کرد. پس از آن، نمونه در محل تعبیه شده در سلول جاگذاری شده و اتصالات الکتریکی مورد نیاز برقرار گردید.

ابتدا آزمایش پتانسیل مدار باز انجام شده و پس از آن به ترتیب آزمایش های برون یابی تافل و امپدانس صورت گرفته اند.

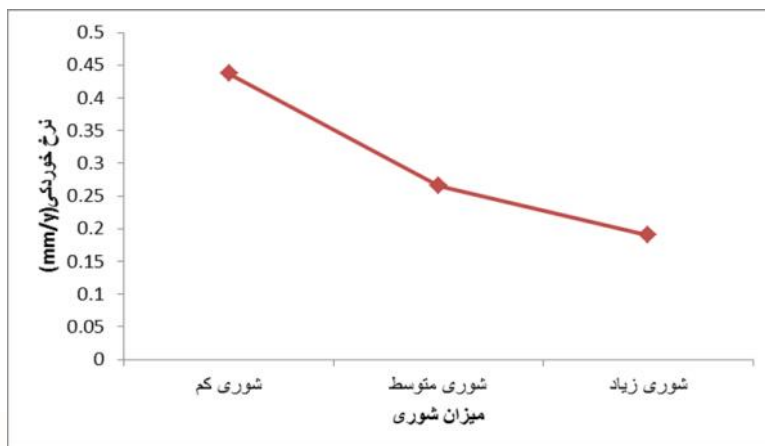
## تجزیه و تحلیل داده ها

تاثیر غلظت نمک بر خوردگی دی اکسید کربن، توسط نمودار نایکویست در تصویر ۱ نشان داده شده است. این نمودار نیم دایره ای، نشان دهنده خوردگی تحت کنترل انتقال بار می باشد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش شوری الکترولیت، مقاومت جبران ناپذیر محلول ( $R_s$ ) کاهش می یابد؛ در حالی که نرخ خوردگی نیز کاهش پیدا کرده است. با توجه به تصویر ۲، نرخ خوردگی در الکترولیت با شوری بالا در مقایسه با الکترولیت با شوری کم، به یک سوم کاهش یافته است. چراکه با افزایش غلظت نمک، واکنش های انتقال بار، انتقال جرم و واکنش های شیمیایی به تعویق افتاده و نرخ خوردگی یکنواخت کاهش می یابد. به عبارت دیگر مقاومت خوردگی ( $R_p$ ) محلول در اثر بالا رفتن شوری الکترولیت، افزایش پیدا می کند.

شکل ۲) نمودار نایکویست در سه الکترولیت با شوری کم، متوسط و زیاد



شکل ۳) تغییرات نرخ خوردگی به عنوان تابعی از شوری الکترولیت

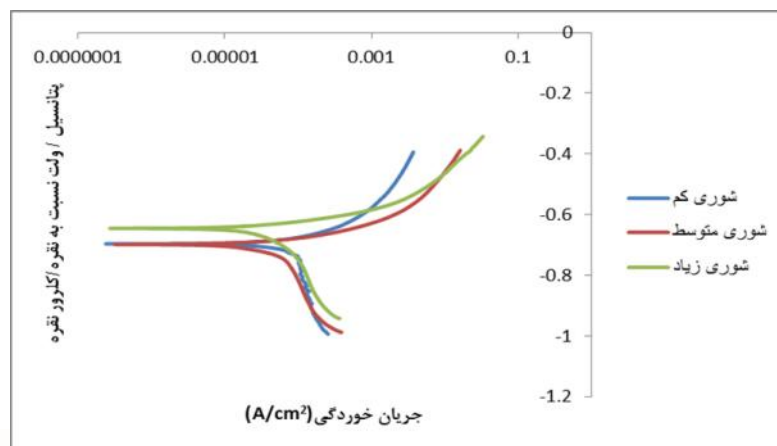


از طرفی کاتیون هایی همچون  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$  نیز، با کربنیک اسید موجود واکنش داده و به صورت کربنات کلسیم و کربنات منیزیم رسوب می نمایند. رسوب گذاری هم زمان کربنات آهن و کربنات این عناصر سبب بهبود تشکیل لایه محافظ و در نتیجه کاهش نرخ خوردگی می شود. بنابراین نه تنها pH بلکه ترکیب شیمیایی محلول نیز بر قدرت حفاظت فیلم تولیدی اثرگذار است.

علاوه بر این، در فرکانس های کم می توان اثر پدیده القا را نیز مشاهده نمود. این پدیده ناشی از واکنش های الکتروشیمیایی چند مرحله ای و یا واکنش های دارای چند مرحله میانی مانند انحلال آهن می باشد. در این واکنش های پی در پی معمولاً یکی از واکنش ها دارای سرعت کمتری است. سرعت کم این واکنش باعث محدود شدن تغییر ترکیب شیمیایی لایه دوگانه الکتریکی با تغییر پتانسیل می شود. محدود کردن تغییر ترکیب شیمیایی لایه دوگانه الکتریکی باعث وقوع پدیده القا می گردد. پدیده القا سبب ایجاد مقادیر امپدانس منفی در فرکانس های کم گردیده است.

با توجه به نمودار تافل نشان داده شده در شکل ۳، با افزایش شوری الکترولیت، پتانسیل خوردگی به میزان قابل ملاحظه ای در جهت مثبت افزایش یافته و دانسیته جریان محدود کننده خوردگی (corrosion current density Limiting) کاهش می یابد (قسمتی از شاخه کاتدی که به خط عمود نزدیک است).

شکل ۳) نمودار تافل در سه غلظت متفاوت



### نتیجه گیری

- نرخ خوردگی دی اکسید کربن فولاد کربنی در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی گراد)، با افزایش شوری محلول کاهش می یابد.
- با افزایش غلظت نمک، واکنش های انتقال بار، انتقال جرم و واکنش های شیمیایی به تعویق افتاده و نرخ خوردگی یکنواخت کاهش می یابد. به عبارت دیگر مقاومت خوردگی ( $R_p$ ) محلول در اثر بالا رفتن شوری الکترولیت، افزایش پیدا می کند.

### منابع

۱. Sridharan, V., (2009), "Measurement of carbon dioxide corrosion on carbon steel using electrochemical frequency modulation", master's thesis in department of Chemical Engineering University of Saskatchewan.
۲. Fang, H., (2006), "Low temperature and high salt concentration effects on general CO<sub>2</sub> corrosion for carbon steel", master's thesis in the faculty of Russ College of Engineering And Technology Of Ohio University.
۳. De Waard, C., Lotz, U., Milliams, D.E., (1991), "predictive model for CO<sub>2</sub> corrosion engineering in wet natural gas pipelines", NACE international, vol. 47, No. 12, Pp. 976-985.

۴. Netic, S., (2007), "Key issues related to modeling of internal corrosion of oil and gas pipelines-a review", NACE international, vol. 49, No. 12, Pp. 4308-4338.
۵. Fang, F., Netic, S., Bruce, B., (2006). "General CO<sub>2</sub> corrosion in high salinity brines", NACE international, No. 06372.
۶. De Waard, C., Lotz, U., (1993), "Prediction of CO<sub>2</sub> corrosion of carbon steel", NACE international, No. 69.
۷. Abelev, E., Selberg, J., Ramanarayanan, T.A., Bernasek, S.L., (2009), "Effect of H<sub>2</sub>S on Fe corrosion in CO<sub>2</sub>-saturated brine", Journal of Materials Science (JMS), vol. 44, No. 22, Pp. 6167-6181.
۸. Koteleswaran, M., (2010), "CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S corrosion in oil pipelines", master's thesis in the faculty of science and technology in Stavanger University.
۹. Dugstad, D., (2006), "Fundamental aspects of CO<sub>2</sub> metal loss-part i: Mechanism", NACE international, No. 06111.
۱۰. Wang, S., George, K., and Netic, S., (2004), "High pressure CO<sub>2</sub> corrosion electrochemistry and the effect of acetic acid", NACE international, No. 04375.
۱۱. Ueda, M. and Takabe, H., (1999), "Effect of environmental factor and microstructure on morphology of corrosion products in CO<sub>2</sub> environments", NACE international, No. 13.
۱۲. Schmitt, G., (1984), "Fundamental aspects of CO<sub>2</sub> corrosion", NACE international, vol. 1, Pp. 10-19.
۱۳. Burke, P.A., (1984), "Synopsis: recent progress in understanding of CO<sub>2</sub> corrosion advances in CO<sub>2</sub> corrosion", NACE international, vol. 1, Pp. 3-9.
۱۴. Carew, J. and Al-Hashem, A., (2002), "CO<sub>2</sub> corrosion of L-80 steel in simulated oil well conditions", NACE international, No. 02299.
۱۵. Kermani, M.B and Morshed, A., (2003), "Carbon dioxide corrosion in oil and gas production-a compendium", NACE international, vol. 59, No. 8, Pp. 659-683.
۱۶. Lopez, D.A., Perez, T., Simmon, S.N., (2003), "The influence of microstructure and chemical composition of carbon and low alloy steels in CO<sub>2</sub> corrosion", materials and design, Elsevier, vol.24, Pp. 561-575.

۱۷. Schmitt, G. and Hörstemeier, M., (2006), "Fundamental aspects of CO<sub>2</sub> metal loss corrosion-part ii: Influence of different parameters on CO<sub>2</sub> corrosion mechanism", NACE international, No. 06112.

۱۸. Wang, S., (2009), "Effect of oxygen on CO<sub>2</sub> corrosion of mild steel", a master thesis presented to the faculty of the Russ College of Engineering and Technology of Ohio University.

۱۹. Fang, F., Bruce, B., Nescic, S., (2010), "High salt concentration effects on CO<sub>2</sub> corrosion and H<sub>2</sub>S corrosion", NACE international, No. 10276.

۲۰. Wu, Y., Wang, K., Hu, Z., Bai, B., Shuler, P., Tang, Y., (2009), "a new method for fast screening of long-term thermal stability of water soluble polymers for reservoir conformance control", Society of Petroleum Engineering (SPE), No. 124257.

**iMat**  
Conference 2014