

بررسی اثرات سختی آب بر خوردگی و تخریب فولادهای زنگ نزن

رضا بازرگان لاری*^۱ و محمد رضا بازرگان لاری^۲

تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۲۰

چکیده

خوردگی شیمیایی یکی از عوامل تخریب فولاد های زنگ نزن است . سختی آب یکی از عامل های اصلی تخریب و خوردگی لوله ها در نواحی گرده جوش می باشد. پژوهش های آزمایشگاهی نشان دادند که در بیشتر آب های طبیعی با pH بین ۶/۵ تا ۸/۰ ، خوردگی شیباری فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴L و ۳۰۴ در غلظت های کلر کمتر از ۲۰۰ mg/lit بسیار کمیاب است . همچنین ، خوردگی شیباری فولادهای زنگ نزن نوع ۳۱۶L و ۳۱۶ در همان pH، و در غلظت های کمتر از ۱۰۰۰ mg/lit نیز به ندرت رخ می دهد. تجزیه ی شیمیایی نشان داد که آب شهرک سلطان آباد حاوی ۲۰۸/۱ mg/lit کلر است ، لذا لوله های فولادی زنگ نزن نوع ۳۰۴ در کارخانه ی لبنیات دایتی از آنها استفاده شده بود، هیچ گونه مقاومتی در برابر خوردگی شیباری بروز نداد و خیلی سریع از نقاطی که مستعدترند ، نظیر گرده ی جوش ، خورده شده بودند . از سوی دیگر، از آنجا که خوردگی لوله ها در نواحی اطراف گرده جوش صورت گرفته بود ، لذا بررسی های فلزنگاری در نواحی گرده جوش و مناطق تحت تاثیر جوش نیز صورت گرفت. دستاوردها حاکی از آنند که جوش ها از کیفیت بالایی برخوردار نبوده و حاوی حفره هایی در گرده جوش و عیوبی نظیر عدم نفوذ کامل و یا نقص در نفوذ هستند . راههای جلوگیری از خوردگی لوله ها در پایان مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: خوردگی ، فولاد زنگ نزن ، گرده جوش.

^۱ - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

^۲ - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق.

* نویسنده ی مسوول مقاله. email: rbazargan@miau.ac.ir

پیشگفتار

جوش بوجود می‌آیند، ممکن است سهمیم باشند (کین و همکاران ۱۹۸۴). در جاهایی که احتمال خوردگی شیلی وجود دارد، نخستین موضوعی که به وسیله ی مهندسان مورد بررسی قرار می‌گیرد، مقدار کلر موجود در آب است، زیرا این مقدار نقش موثری در میزان مقاومت فولاد زنگ نزن در برابر خوردگی شیلی دارد و به سهولت نیز قابل اندازه گیری است. گفتنی است که عوامل دیگری نظیر pH، هندسه ی شیار و مقدار اکسیدان های موجود نیز در خوردگی شیلی نقش موثر دارند (فنتانا ۱۹۷۸).

مواد و روش ها

پس از بازدیدهای انجام گرفته از کارخانه، داده های اولیه در مورد جنس و نوع لوله‌ها و مخازن خورده شده، درجه حرارت و نوع سیال درون آنها و روش و نوع جوشکاری آنها بدست آمد. سپس برای اطمینان از جنس لوله‌ها و مخازن، نمونه‌هایی جهت تجزیه و مقدار سنجی تهیه و پس از تجزیه نمونه‌ها مشخص گردید که جنس و نوع لوله‌ها و مخازن بکار گرفته شده در کارخانه، فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴ است. مشاهده گردید که لوله‌ها و مخازنی که سیال موجود در آنها آب بود فقط دچار خوردگی و پوسیدگی شده بودند و مابقی لوله‌ها و مخازن که حاوی سیالی غیر از آب بودند سالم مانده و دچار خوردگی نشده بودند. لذا اطلاعاتی درباره ی مسیر و سرعت، دما و مدت زمانی که آب در لوله‌ها در جریان است، جمع آوری شد. چگونگی توزیع آب در مخازن و لوله های کارخانه به این صورت بود که ابتدا آب شهرک از یک صافی شنی عبور و وارد مخزن اول شده و پس از مخزن اول، آب از دستگاه سختی گیر اول و دوم عبور کرده و وارد مخزن دوم می‌شد. جهت تجزیه و تعیین نوع و میزان عناصر موجود در آب، از آب ورودی به کارخانه، آب دستگاه میعان گر و آب خروجی از سختی گیر نمونه برداری صورت گرفت که نتایج آن در جداول ۱ و ۲ آورده شده اند. از سوی دیگر، با توجه به این که خوردگی لوله‌ها و مخازن تماماً پیرامون گرده جوش به وجود آمده بود (شکل ۲)، نمونه هایی جهت بررسی فلز نگاری گرده جوش و منطقه ی متأثر از جوش تهیه شد که تصاویر فلز نگاری آن در شکل ۳ آورده شده است.

یکی از دلایل اصلی استفاده از لوله‌های فولادی زنگ نزن در صنایع غذایی، مقاومت آن‌ها در برابر ورود یون‌ها به آب و دیگر مواد غذایی به عنوان آلودگی است. فولادهای زنگ نزن از سال ۱۹۶۵ به گونه ای بسیار وسیع در صنایع غذایی بکارگرفته شده اند. از فولادهای زنگ نزن نوع ۳۰۴ و ۳۱۶ در مکان‌هایی نظیر تلمبه‌ها، سوپاپ‌ها و محور‌ها که به جوشکاری نیاز نباشد، استفاده می‌شود. در سازه‌هایی که نیاز به جوش باشد از فولادهای زنگ نزن نوع L نظیر ۳۰۴L و ۳۱۶L استفاده می‌شود که حرف L معرف مقدار کربن کمتر از ۰/۰۳ درصد می‌باشد. فولاد زنگ نزن نوع ۳۱۶L با ۲ تا ۳ درصد مولیبدن بیشتر نسبت به فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴L، مقاومت بیشتری در مقابل خوردگی های حفره ای و شیلی دارد، لذا در جاهایی که احتمال این دو نوع خوردگی وجود دارد، فولاد زنگ نزن نوع ۳۱۶L نسبت به ۳۰۴L ترجیح داده می‌شود (فنتانا ۱۹۷۸). یکی از شیارهای بارز و بسیار خطرناک که به وسیله ی انسان ایجاد می‌شود، شیارهایی است که در هنگام جوشکاری و به دلیل عدم نفوذ کامل گرده جوش با فلز مادر به وجود می‌آید. این شیارها می‌توانند محل‌هایی مناسب برای به دام افتادن رسوبات باشند. همچنین در این شیارها غلظت کلر به شدت افزایش یافته و باعث بالا رفتن احتمال خوردگی از نوع خوردگی زیر رسوبی می‌شود. برای جلوگیری از این موضوع باید پس از جوشکاری، سطح جوش کاملاً صاف شده و نفوذ کامل گرده جوش با فلز مادر نیز صورت گرفته باشد. شیارهایی را که در اثر رسوبات و ته‌نشین شدن بوجود می‌آیند می‌توان با افزایش سرعت سیال کم نمود. اگر طراحی و یا شرایط کار به گونه ای باشد که همواره تشکیل رسوب در سامانه شکل گیرد، بهترین کار شستشوی این رسوبات به وسیله ی بخار آب و با فشار زیاد می‌باشد (توشیل ۱۹۹۴)، به گونه ی معمول از اکسیدان‌هایی نظیر کلر و پرمنگنات پتاسیم برای خارج کردن آهن و منیزیم از آب خام استفاده می‌شود که در چنین مواقعی یک رسوب سیاه رنگ از Fe-Mn بر روی دیواره ی لوله‌ها ایجاد می‌شود. البته این رسوبات Fe-Mn برای فولادهای زنگ نزن نوع ۳۰۴L بی‌خطر هستند، اما همین رسوبات Fe-Mn در خوردگی زیر رسوبی اکسیدهایی که در ناحیه ی متأثر از

جدول ۱- نتایج آزمایش شیمیایی آب.

نام عامل	برحسب	ورودی	پس از سختی گیر اول	پس از سختی گیر دوم
		ppm	ppm	ppm
فلوراید	F^-	۰/۴	۰/۳	۰/۳
کلراید	Cl^-	۱۹۸/۷	۲۰۸/۱	۲۰۳/۸
سولفات	SO_4^{2-}	۶۰/۷	۴۴/۵	۱۴۳/۲
کربنات	CO_3^{2-}	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
بیکربنات	HCO_3^-	۲۲۷/۷	۲۱۳/۵	۲۱۵/۸
نیتريت	NO_2^-	۰/۰	۰/۰	۰/۰
نیترات	NO_3^-	۱۴/۸	۱۵/۱	۲۵/۷
فسفات	PO_4^{3-}	---	---	---
آمونیاک	NH_3	---	---	---
کلسیم	Ca^{2+}	۶۴/۷	۰/۰۰	۰/۰۰
منیزیم	Mg^{2+}	۳۴/۴	۰/۰۰	۰/۰۰
سدیم	Na^+	۸۱/۵	۸۸/۲	۸۵/۰
مس	Cu^{2+}	---	---	---
آهن	Fe^{2+}	---	---	---
باریم	Ba^{2+}	---	---	---
پتاسیم	K^+	۲/۱	۲/۴	۱/۸



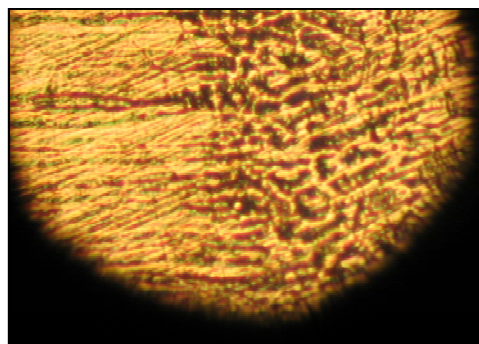
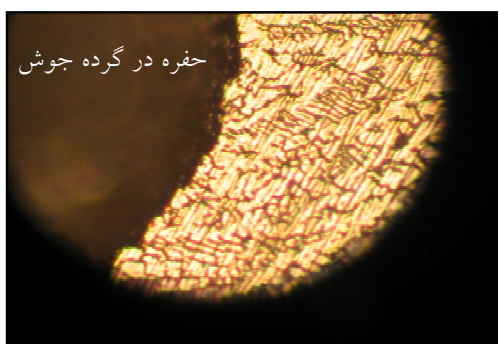
شکل ۱- خوردگی مخازن پیرامون گرده جوش.

جدول ۲- نتایج آزمایش شیمیایی آب.

نام عامل	برحسب	ورودی	پس از سختی گیر اول	پس از سختی گیر دوم
		ppm	ppm	ppm
سختی کل	$CaCO_3$	۳۰۳/۳	۰/۰۰	۰/۰۰
سختی دائم	$CaCO_3$	۱۱۶/۷	۰/۰۰	۰/۰۰
سختی موقت	$CaCO_3$	۱۸۶/۶	۰/۰۰	۰/۰۰
سختی کلسیم	$CaCO_3$	۱۶۱/۶	۰/۰۰	۰/۰۰
سختی منیزیم	$CaCO_3$	۱۴۱/۷	۰/۰۰	۰/۰۰
قلیانیت متیل اورانژ	$CaCO_3$	۱۸۶/۶	۱۷۵/۰	۱۷۶/۹
قلیانیت فنل فتالین	$CaCO_3$	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
قلیانیت کل	$CaCO_3$	۱۸۶/۶	۱۷۵/۰	۱۷۶/۹
SiO_2		۰/۷۵	۰/۷	۰/۸
کل جامدات محلول		۷۱۸	۷۲۷	۶۸۸
pH		۷/۲	۸/۰۱	۸/۰۲
C.O.D.	O_2	---	---	---
B.O.D.	O_2	---	---	---
کدورت	NTU	۰/۰۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰
هدایت الکتریکی	$\mu mho/cm$	۱۲۴۶	۱۲۵۴	۱۲۶۷
دما	$^{\circ}C$	۲۶/۲	۲۶/۳	۲۶/۳



شکل ۲- خوردگی لوله ها پیرامون گرده جوش.



شکل ۳- تصویر فلز نگاری گرده جوش به وسیله ی میکروسکوپ نوری (بزرگنمایی 100x).

نتایج و بحث

همان گونه که گفته شد ، فولادهای زنگ نزن نوع L دارای مقدار کربن کمتر از ۰/۰۳ درصد هستند در حالی که فولادهای زنگ نزن معمولی دارای درصد کربنی نزدیک به ۰/۰۸ درصد می باشند. در سازه هایی که نیاز به جوشکاری دارند ، حتماً باید از فولادهای زنگ نزن نوع L که دارای درصد کربن کمتری هستند ، استفاده شود (کین و همکاران ۱۹۸۴). متأسفانه در این کارخانه با توجه به حجم زیاد جوشکاری توجهی به این موضوع نشده و به جای استفاده از فولادهای زنگ نزن نوع L، از فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴ استفاده شده است. بهترین کارآیی فولادهای زنگ نزن در آب های تمیز و جاری با سرعت های بیشتر از ۱/۵-۲ ft/s (۰/۵-۰/۶ m/s) می باشد. در جاهایی که سختی آب بالاست و همچنین برای آب های تصفیه نشده توصیه می شود که کمترین سرعت آب ۳ ft/s (۱ m/s) باشد تا از ایجاد رسوب و ته نشین شدن جلوگیری شود (توشیل و همکاران ۱۹۹۸). بر اساس پژوهش های انجام شده در کارخانه، سرعت حرکت آب درون لوله های فولادی ۱۲-۱۰ m/s بود که این موضوع تا زمانی که آب درون لوله ها مرتب در جریان است و به حالت ساکن در نیامده بهینه می باشد. بیشترین سرعت و تلاطمی که آب می تواند داشته باشد به جنس ماده ای که در سازه به کار رفته (نظیر فولاد کربنی یا فولاد ضدزنگ و یا آلیاژهای مس) بستگی دارد. در جدول (۳) سرعت های مناسب با توجه به محل های گوناگون نشان داده شده است (کین و همکاران ۱۹۸۴).

جدول ۳- سرعت های مناسب آب با توجه به محل های گوناگون (تودیل و همکاران ۱۹۹۸).

Table III Velocity/Flow for Potable Water Systems	
<i>Velocity -Avoid stagnant conditions</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Up to 100 ft/s (30 m/s) - OK • > 3 ft/s (1 m/s) preferred for raw water with sediment • 1.5 to 2 ft/s (0.5 to 0.6 m/s) for finished water 	
<i>Flow</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Reduces opportunity for bacteria and slime to form growth sites • Reduces the possibility for microbiologically influenced corrosion 	

پژوهش های آزمایشگاهی نشان داده اند که در بیشتر آب های طبیعی با pH نزدیک به ۶/۵ تا ۸/۰ و غلظت های کلر کمتر از ۲۰۰ mg/lit خوردگی شیاری فولادهای زنگ نزن نوع ۳۰۴L و ۳۰۴ بسیار نادر و کمیاب است. همچنین خوردگی شیاری فولادهای زنگ نزن نوع ۳۱۶L و ۳۱۶ نیز در آب های طبیعی با pH نزدیک به ۶/۵ تا ۸، در غلظت های کمتر از ۱۰۰۰ mg/lit بسیار نادر و کمیاب است (کبرین و همکاران ۱۹۹۷). برای این که بسیار محافظه کارانه عمل کنیم و هیچ گونه نگرانی از نظر خوردگی شیاری نداشته باشیم ، بهتر است در جاهایی که میزان کلر کمتر از ۳۰۴ mg/lit است ، از فولادهای زنگ نزن نوع ۳۰۴ و ۳۰۴L و در غلظت های کلر کمتر از ۲۵۰ mg/lit از فولادهای زنگ نزن نوع ۳۱۶L و ۳۱۶ استفاده کنیم. در مواقعی که مقدار کلر موجود در آب بالاتر از ۱۰۰۰ mg/lit می باشد ، بهتر است که از فولادهای زنگ نرنی که دارای مقادیر بالاتری مولیبدن هستند و یا از فولادهای زنگ نزن مرکب استفاده کنیم (کبرین و همکاران ۱۹۹۷). معمولاً آبی که از لوله ها عبور می کند ، آب آشامیدنی است که به گونه ی طبیعی دارای مقداری اکسیژن است . اگر این آب اکسیژن زدایی شود، فولاد زنگ نزن می تواند مقادیر زیادی از کلر موجود در آب را تحمل کند و دچار خوردگی شیاری نشود (فنتانان ۱۹۷۸). تمام فولادهای زنگ نزن در برابر خوردگی شیاری آب هایی که اکسیژن زدایی شده اند مقاوم هستند. حتی اگر آب دریا را که دارای ۱۸۰۰۰ mg/lit کلر است را اکسیژن زدایی کنیم ، فولادهای زنگ نزن به راحتی در مقابل خوردگی شیاری مقاومت از خود نشان خواهند داد. این داده ها نشان می دهد که فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴L در محیطی که مقدار کلر باقیمانده نزدیک به ۳ تا ۵ میلی گرم بر لیتر است ، در مقابل خوردگی شیاری بسیار آسیب پذیر است و این در حالی است که انتظار می رود فولاد زنگ نزن نوع ۳۱۶L در این مقدار کلر باقیمانده مقاومت بیشتری در مقابل خوردگی شیاری از خود نشان دهد (کبرین و همکاران ۱۹۹۷). بنابراین در آب هایی که مقدار کلر باقیمانده نزدیک به ۱/۸ mg/lit می باشد ، فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴ بهترین ماده برای استفاده است (فنتانان ۱۹۷۸). متأسفانه با بررسی نتایج آزمایش شیمیایی آب که در جداول ۱ و ۲ آورده شده است، مشخص گردید

منطقه متأثر از جوش ایجاد نشوند (تودیل و آوری ۱۹۹۲). این اکسیدهای ناشی از گرما در منطقه ی متأثر از جوش نقش مهمی در ایجاد خوردگی زیر رسوبی دارند. این اکسیدهای ناشی از گرما در منطقه متأثر از جوش در رنگ ها و اندازه های متفاوتی وجود دارند و هرچه این اکسیدها زیادتر و سنگین تر باشند ، نقش مهم تری در جوانه زنی خوردگی موضعی خواهند داشت . البته این اکسید ها به تنهایی نمی توانند باعث جوانه زنی خوردگی در آب های آشامیدنی بشوند و نیاز به شرایط محیطی ویژه ای دارند (تودیل و آوری ۱۹۹۲). راکد ماندن آب به مدت ۳۰ روز و یا بیشتر می تواند باعث جوانه زنی خوردگی میکروبی در کناره های جوش شود. همان گونه که پیشتر نیز گفته شد ، رسوبات Fe-Mn که بر اثر زدن اکسیدان هایی نظیر کلر و پرمنگنات پتاسیم بوجود می آیند نیز می توانند محل هایی مناسب برای جوانه زنی خوردگی موضعی در اطراف جوش باشند (توشیل و آوری ۱۹۹۲) . البته روش های عملی متفاوتی نظیر اسید شویی سطح مرزی جوش ، سمباده زدن و الکتروپالایش برای حذف و تمیز کردن جوش از اکسیدهای ناشی از گرمای منطقه متأثر از جوش نیز وجود دارد. با توجه به مطالب یاد شده روش هایی متفاوت جهت جلوگیری از ادامه ی خوردگی لوله ها و مخازن کارخانه می توان ارایه کرد. چنانچه شرایط استفاده آب آسبی به تولیدات غذایی کارخانه وارد نکند و صرفاً آب جهت شستشو باشد ، می توان از بازدارنده های خوردگی استفاده نمود . البته استفاده از فولاد گالوانیزه در مواقعی که آب مصرف غذایی ندارد و صرفاً جهت شستشو است ، هم از نظر اقتصادی و هم از نظر میزان مقاومت به خوردگی بسیار مناسب تر از فولاد زنگ نزن می باشد. همچنین می توان از بازدارنده های خوردگی، در صورتی که آسبی به تولیدات غذایی کارخانه وارد نکند استفاده نمود. در غیر این صورت بهتر است که میزان کلر موجود در آب با ایجاد اصلاحاتی در واحد سختی گیر مهار شود و یا تمامی آب های ورودی به لوله ها و مخازن ، اکسیژن زدایی شوند تا از خوردگی موضعی جلوگیری گردد.

که آب ورودی به مخزن اول کارخانه که همان آب شهرک می باشد ، دارای کلری به میزان $198/7 \text{ mg/lit}$ است . بنابراین با توجه به مطالب فوق و نتایج بدست آمده بدیهی است که مخازن و همچنین لوله های فولادی که همگی از جنس فولاد زنگ نوع ۳۰۴ بودند، هیچ گونه مقاومتی در برابر خوردگی شیری در چنین محیطی نداشته و خیلی سریع از نقاطی که مستعد ترند، نظیر گرده جوش ، خورده می شوند . این موضوع در آب های خروجی از سختی گیرها نیز به چشم می خورد. مقدار کلر موجود در آب خروجی از سختی گیر اول و دوم با توجه به نتایج آزمایش شیمیایی آب به ترتیب برابر $208/1 \text{ mg/lit}$ معادل $203/8 \text{ mg/lit}$ می باشد. بنابراین آبی که وارد مخزن دوم می شود نیز دارای مقدار کلر زیادی است. لذا با توجه به مطالب یاد شده نباید از فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴ برای این میزان کلر استفاده شود، بلکه با توجه به میزان کلر موجود در آب باید از فولاد زنگ نزن نوع $316L$ استفاده شود. لازم به ذکر است که فولاد زنگ نزن نوع $316L$ در غلظت های کلر کمتر از 1000 mg/lit به ندرت دچار خوردگی می شود ، اما برای اطمینان از عدم خوردگی بهتر است که از فولادهای زنگ نزن نوع $316L$ در غلظت های کلر کمتر از 250 mg/lit استفاده کنیم (توشیل و همکاران ۱۹۹۸) . لذا برای جلوگیری از خوردگی تجهیزات کارخانه لازم است که یا میزان کلر موجود در آب از راه تغییر نحوه سختی گیر کاهش یابد و یا از فولادهای زنگ نزن نوع $316L$ استفاده شود . همچنین ، در مواقعی که آب حاوی مقدار کلر زیادی بوده و فقط جهت شستشو استفاده می شود توصیه می گردد که از فولاد گالوانیزه به جای فولاد زنگ نزن استفاده شود (کبرین و همکاران ۱۹۹۷). بررسی های فلز شناسی از گرده و منطقه ی متأثر از جوش نشان داد که جوش ها از کیفیت بالایی برخوردار نبوده و حاوی عیوبی نظیر عدم نفوذ کامل گرده جوش با فلز مادر و حفره هایی در گرده جوش می باشند که این موضوع به وضوح در تصاویر فلز نگاری که در شکل های ۳ و ۴ آورده شده اند مشاهده می شود. اتصال لوله ها به یکدیگر باید به وسیله ی جوشکاری قوسی تنگستن-گاز و یا جوشکاری تنگستن-گاز خنثی صورت گیرد که نقش این گاز خنثی و تصفیه شده (نظیر آرگون) معدوم کردن اکسیژن از حوضه ی جوش می باشد تا اکسیدهای ناشی از گرما در

نتیجه گیری

- ۱- در این کارخانه به جای استفاده از فولادهای زنگ نزن نوع L، از فولاد زنگ نزن نوع ۳۰۴ استفاده شده است که با توجه به حجم بالای جوشکاری اصلاً مناسب نمی باشد.
- ۲- با توجه به میزان کلر موجود در آب نیز مشاهده گردید که این نوع فولاد زنگ نزن مناسب نبوده و باید میزان کلر موجود در آب با ایجاد تغییراتی در واحد سختی گیر به محدوده ی قابل قبول کاهش یابد.
- ۳- با توجه به بررسی های فلز شناسی از گرده و منطقه ی متأثر از جوش، مشخص گردید که جوش ها از کیفیت بالایی برخوردار نبوده و حاوی عیوبی نظیر عدم نفوذ کامل گرده جوش با فلز مادر و حفره هایی در گرده جوش می باشند که این نیز یکی از دلایل تخریب و خوردگی لوله ها و مخازن است.

منابع:

- Fontana M. 1978. Corrosion Engineering, Third Edition, McGraw-Hill, New York.
- Kain RM, Tuthill AH, Hoxie EC. 1984. The Resistance of types 304 and 316 stainless steel to crevice corrosion in natural water, "Journal of Materials for Energy Systems. 5(4): 205-211.
- Kobrin G, Lamb S, Tuthill AH, Avery RE, Selby KA. 1997. Microbiologically Influenced corrosion of stainless steel by water used for cooling and hydrostatic testing . International Water Conference (Pittsburgh, PA), NiDI Technical Series No. 10 085.
- Tuthill AH. 1994. Stainless steel piping, Journal AWWA, July. 67-63.
- Tuthill AH, Avery RE. 1992. Specifying stainless steel surface treatments . Reprinted from Advances Materials & Processes. Vol. 142 (6). NiDI Technical Series No. 10 068.
- Tuthill AH, Avery RE, Lamb S, Kobrin G. 1998. Effect of chlorine on common materials in fresh water, corrosion/98, Paper No. 708, NACE International. (San Diego, CA).