مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۶- شماره ۲- سال ۱۴۰۰

www.ElitesJournal.ir

مطالعه مروری روی علل تاول زدگی درون خطوط لوله آتش نشانی و روش های رفع آن

علی مصطفی پور*[۱]، سید محمد جواد یوسفی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج فلزات، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران ، ایران

۲- کارشناسی ارشد خوردگی و حفاظت مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز ، ایران

*ali.mostafapour110@gmail.com

ارسال: فروردین ۱۴۰۰ پذیرش: خرداد ۱۴۰۰

چکیده

امروزه اطمینان از کارآیی مناسب خطوط آتش‌نشانی که به منظور ایمنی سیستم در برابر حریق‌های احتمالی به کار می‌روند بسیار حائز اهمیت است. از جمله مشکلاتی که باعث کاهش عملکرد مناسب این خطوط می گردد تاول زدگی محصولات خوردگی درون این لوله ها می‌باشد. این پدیده عموما داخل لوله‌های فولادی که سیال درون آن‌ها ساکن است ایجاد می گردد. در این مطالعه پدیده تاول زدن و خوردگی درون لوله‌های آتش‌نشانی مورد مطالعه قرار گرفت و عوامل ایجاد کننده، مکانیزم‌ها و راهکارهای حل این موضوع به تفضیل بیان شد.

کلمات کلیدی: آب آتش‌نشانی، تاول زدگی، خوردگی، زنگ‌زدگی.

۱- مقدمه

لوله های آب سیستم آتش نشانی به دلیل آن که در تماس طولانی مدت با آب ساکن قرار دارند می‌توانند به سرعت تخریب و دچار نشتی گردند. از جمله پدیده‌های اصلی که سوراخ شدن این لوله ها را در پی دارد پدیده تاول‌زدگی[۱] می باشد که این تاول‌ها هم در سطوح داخلی و هم خارجی لوله‌ها مشاهده می گرند. این پدیده عمدتا روی سطوح داخلی و خارجی لوله‌های فولادی و چدنی که فاقد عملیات های سطحی و در معرض آب اکسیژن دار هستند مشاهده شده است. تشکیل این تاول‌ها ناشی از پدیده خوردگی است که منجر به مسدود شدن لوله‌ها، افزایش هزینه های پمپ کردن و به طور کلی کاهش بازده فرآیند می گردد و در حالت‌های شدید، سوراخ شدن لوله‌ها را به دنبال خواهد داشت که نتیجه آن قطع مکرر آب در تمامی شبکه و یا قسمت‌هایی از آن می گردد[۱].

در این پژوهش مروری بر پدیده تاول زدگی، عوامل ایجاد کننده آن و راهکارهای رفع آن صورت خواهد گرفت و این موضوع به تفضیل مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

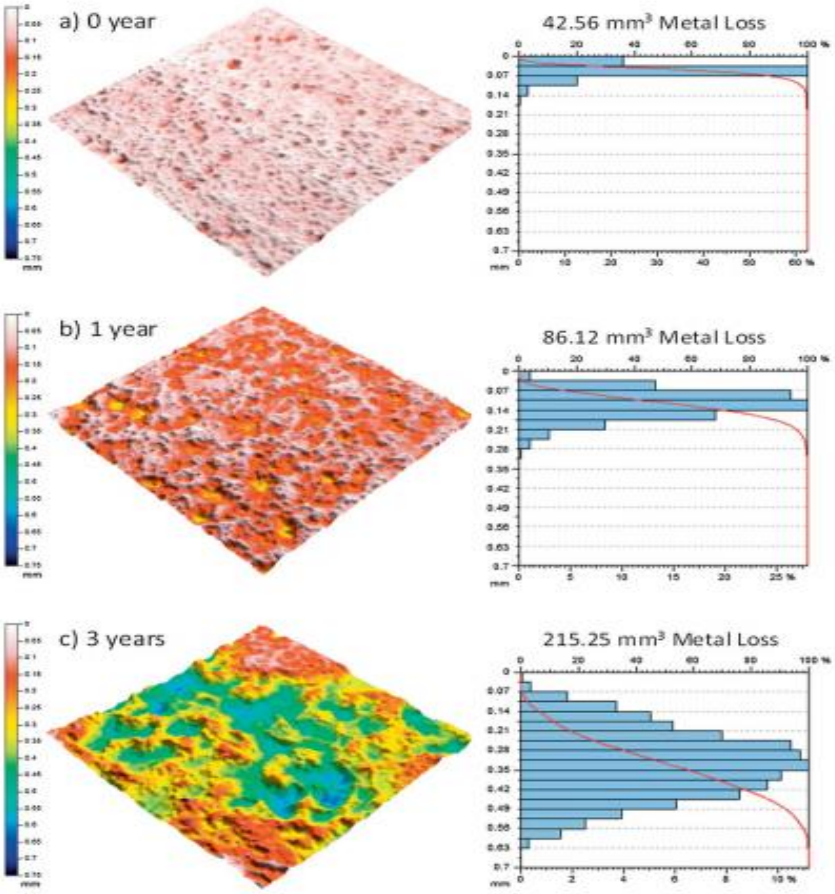
[1] tubercles

۲- تاول زدگی

اصطلاح تاول زدگی به تجمع محصولات خوردگی در گذر زمان و در درون لوله‌های آهنی گفته می‌شود اندازه این رسوبات متفاوت بوده و رنگ آن‌ها قرمز متمایل به قهوه‌ای است. این پدیده عموما داخل لوله های فولادی که سیال درون آن‌ها ساکن است اتفاق می افتد معمولا این لوله‌ها برای پاشش آب بکار می روند. گاهی پدیده تاول زدگی بر روی سطوح خارجی نیز دیده می‌شود نمونه‌ای از این نوع تاول زدگی در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱- تاول‌زدگی برروی سطوح خارجی قطعات[۱]

در اثر این پدیده سطح داخلی لوله‌ها زبر می‌شود میزان زبری سطح داخلی لوله‌ها و میزان فلز خورده شده در این فرایندها را می‌توان با روش‌های مختلف آنالیز مورد بررسی قرارداد به عنوان مثال در شکل ۲ زبری سطح داخلی لوله هایی که در زمان‌های مختلف دچار تاول زدگی شده‌اند با میکروسکوپ نیروی اتمی[1] مورد بررسی قرارگرفته است[۱].



شکل۲-زبری سطح لوله‌ها در اثر تاول زدگی در زمان‌های متفاوت[۲]

[1] Atomic Force Micriscop(AFM)

تاول زدگی سطح داخلی لوله‌ها باعث مسدود شدن لوله، افزایش هزینه‌های پمپ کردن و کاهش بازده این فرایند می‌شود و در بعضی موارد باعث نشتی لوله می‌شود. زمانی که تاول‌ها در حالت خشک قرار دارند به راحتی با فشار انگشت از روی سطح قابل جدایش هستند[۲].

۳- مکان‌های مستعد ایجاد تاول

تاول بر روی سطوح فولادی ،چدنی و فولادهای حساس شده که در معرض آب حاوی اکسیژن قرار گرفته‌اند تشکیل می‌شود. به طور کلی سطوح فولادی و چدنی بدون پوششی که تحت عملیات‌های سطحی قرار نگرفته‌اند و در معرض آب حاوی اکسیژن قرار دارن مستعد به این نوع تخریب می‌باشند. آب‌های نرم که حاوی قلیائیت بی‌کربنات بالایی هستند همانند حالتی که غلظت سولفات، کلراید و دیگر آنیون‌های مهاجم در حد بالایی است، به وجود می آید. جدول ۱ نمونه‌های از تخریب واقعی در اثر تاول زدگی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نمونه‌ای از تخریب‌های صورت گرفته در اثر تاول[۱]

Structure	Year	Material	Exposure conditions	Electrolyte	Morphology	Mineralogy	Microbiology
RMS Titanic	1912	Carbon steel	North Atlantic 3,800 m	Seawater	Rusticles	Goethite, lepidocrocite	*Leptothrix ochracea*
SS Central America	1857	Carbon steel	Atlantic > 2,000 m	Seawater	Rusticles		*Leptothrix ochracea*
USS Monitor	1862	Iron clad	Atlantic 67 m	Seawater	Rusticles	Siderite, lepidocrocite, goethite, magnetite	
Edmund Fitzgerald	1975	Carbon steel	Lake Superior 160 m	Freshwater	Tubercles		
Comet	1875	Carbon steel	Lake Superior 70 m	Freshwater	Tubercles		

اجزای شیمیایی متداول موجود در سیستم‌های انتقات آب که دچار تاول‌زدگی می‌شوند عبارتند از[۳]:

- لوله‌های آب سرویس
- محفظه‌های آب در مبدل‌های حرارتی
- مخازن ذخیره‌سازی آب
- پیچ‌ها، اتصالات و ورقه‌های فلزی برج خنک‌کننده
- شبکه‌های توزیع آب آتش‌نشانی
- سیستم‌های خنک کننده
- بویلرها زمانی که آب داخل آن‌ها دارای اکسیژن حل شده، دما و فشار بالا باشد.
- مخازن اسید سولفوریک
- لوله‌های فولادی مبدل‌های حراراتی
- تجهیزات ساخته شده از آلیاژهای نیکل- کروم

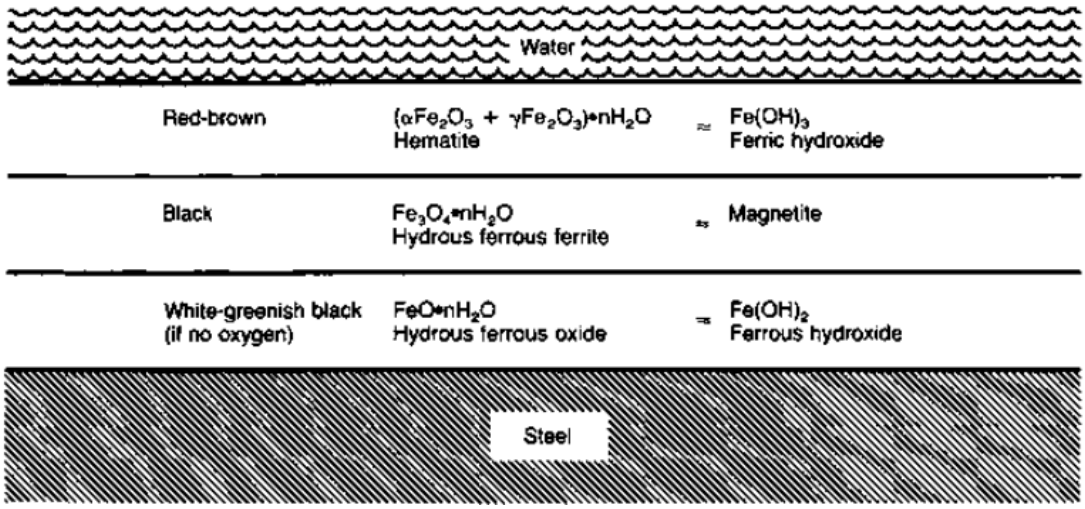
رسوبات تشکیل تاول را تشدید می‌کنند. مناطقی با شدت جریان کم یا در تماس با سیال راکد، نیز رشد تاول را تسریع می‌کنند. رابطه بین شدت جریان حجمی و رشد تاول دو گانه است، شدت جریان کم می‌تواند رشد تاول را تسریع کند، اما تند شدن جریان، باعث از جا کنده شدن تاول‌های در حال تشکیل می‌شود، بنابراین پروانه پمپ‌ها که در حال سرویس باشند و دیگر دستگاه‌هایی که تلاطم در آنها زیاد است تقریباً هرگز در معرض رشد تاولی قرار نمی‌گیرند. شکل ۳ نمونه‌ای از پدیده تاول زدگی در سیستم‌های آتش نشانی را که سیال درون آن‌ها ساکن است نشان می‌دهد[۴].

شکل ۳- سیستم لوله آتش‌نشانی که تحت تاول‌زدگی شدید قرار گرفتند[۵]

۴- نحوه تشکیل و رشد تاول‌ها

با تشکیل محصولات خوردگی درون لوله زیر مکان‌های تجمع رسوب به عنوان مناطق آندی بوده در حالی که نواحی مجاور آن‌ها مناطق کاتدی خواهد شد. مشخص شده است که این فرایند با عمل هم زمان واکنش‌های آندی و کاتدی اتفاق می‌افتد. به بیانی دیگه در نتیجه واکنش آندی فلز ترکیبات آهنی فریک و فروس در محل تاول تجمع می کنند در حالی که در خارج این مکان در اثر انجام واکنش‌های کاتدی pH به حدی خواهد رسید که رسوب کربنات‌ها و سایر رسوبات را خواهیم داشت.[۳]

درآب‌های حاوی اکسیژن، در pH نزدیک خنثی و در دمای اتاق یا دمای کمی بالاتر اکسید آهن (III) آبدار، $Fe(OH)_3$، بر روی سطوح فولادی و چدنی تشکیل می‌شود. محصولات خوردگی بصورت نارنجی، قرمز یا قهوه‌ای بوده و جزء اصلی تشکیل‌دهنده زنگ روی سطح هستند. این لایه محصولات خوردگی مانع نفوذ اکسیژن به سطح زیرین خود می‌شود. بنابراین غلظت اکسیژن در آنجا کاهش می‌یابد. در سطح فلز اکسید آبدار آهن (II)، $Fe(OH)_2$، وجود دارد. در بین اکسیدهای آهن (II) و (III) یک لایه سیاه رنگ مگنیتت آبدار که ترکیبی از اکسیدهای آهن (II) و (III) است تشکیل می‌شود. این لایه‌ها به طور ساده در شکل ۴ نشان داده شده است. لایه بالایی معمولا نارنجی و قهوه‌ای رنگ بوده در حالی که لایه هایی پایینی سیاه رنگ هستند[۳].



شکل ۴- رشد ابتدایی لایه زنگ روی فولاد در آب شامل اکسیژن[۳]

با تجمع زنگار، مهاجرت اکسیژن از میان لایه محصولات خوردگی کاهش می‌یابد، مناطق زیر لایه رسوب دچار کمبود اکسیژن می‌شود، در نتیجه یک پیل غلظتی اکسیژن بوجود می‌آید، خوردگی به طور طبیعی در مناطق کوچکی در زیر رسوب متمرکز می‌شود و تاول‌ها متولد می گردد[۳].

جدول ۲ ترکیب شیمیایی موضعی سه نوع تاول متفاوت را که در سیستم‌ها با ترکیب شیمیایی متفاوت ایجاد شده است را نشان می‌دهد

همانطور که مشخص است درون کف هر تاول غلظت کلراید و سولفور بالاتر از غلظت آن‌ها درون زنگ ها است همچنین همانطور که مشخص است درون کف غلظت تمام عناصر زنگ به جز آهن کاهش می‌یابد. همچنین حفرات دارای عناصری مثل روی، فسفر و سیلیکون می باشند.

جدول ۲- آنالیز شیمیایی سه نوع تاول مختلف در محیط‌های شیمیایی مختلف[۶]

(Tubercle compositions were measured using energy dispersive x-ray analysis)*

	Tubercle 1 (phosphate treatment)		Tubercle 2 (silicate treatment)		Tubercle 3 (phosphate zinc treatment)	
Element	Crust	Floor	Crust	Floor	Crust	Floor
Fe	30	86	90	95	66	70
Al	14	—	4	1	—	—
Si	40	—	5	1	6	2
S	1	2	1	3	5	19
Cl	—	11	—	—	—	2
Mg	1	—	—	—	3	—
Ca	3	—	—	—	4	—
P	2	—	—	—	7	2
Zn	—	—	—	—	5	—
Ti	1	—	—	—	—	—
Mn	4	1	—	—	3	<1
K	4	—	—	—	—	—
Cu	—	—	—	—	1	2
Na	—	—	—	—	—	2

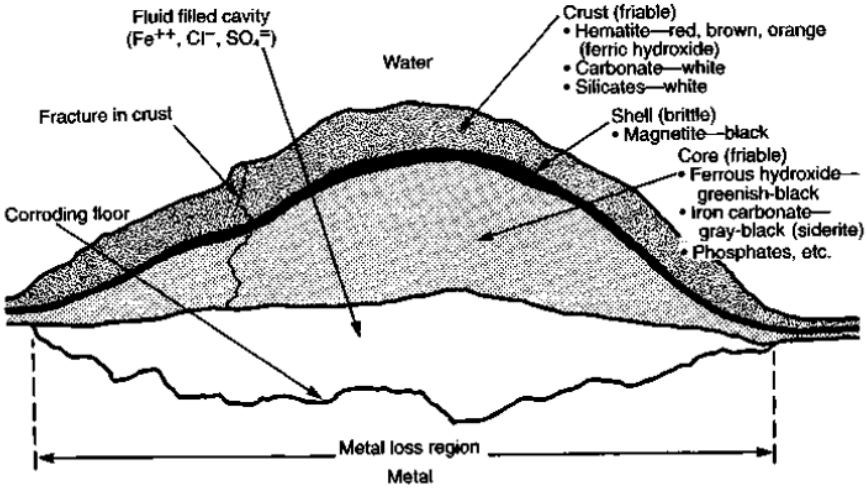
* All concentrations are expressed as percent element.

۵- ساختمان تاول‌ها

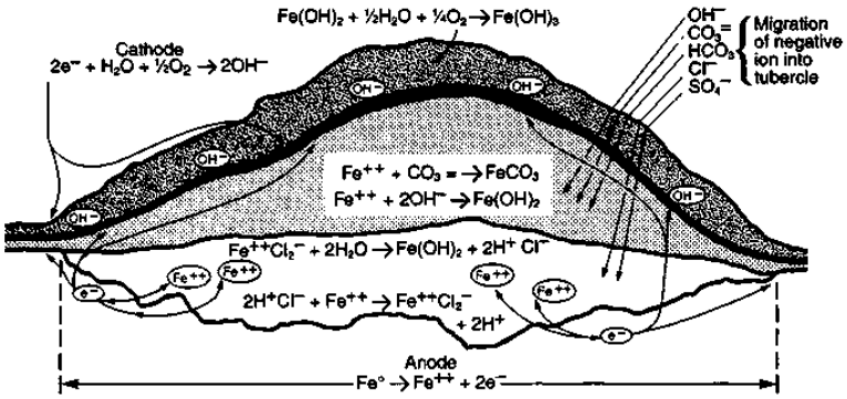
تمامی تاول‌ها دارای پنج ویژگی ساختمانی به طور مشترک هستند.

- پوسته محافظ خارجی
- لایه داخلی
- مدار موجود در ناحیه داخلی
- حفره‌های حاوی سیال
- سطح فلزی خورده شده در زیر تاول

این ویژگی‌ها و ترکیبات مربوط به آنها در شکل ۵ نشان داده شده است. واکنش‌های متداول و محل وقوع آنها در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵- شماتیک ترکیبات و رشد تاول[۲]

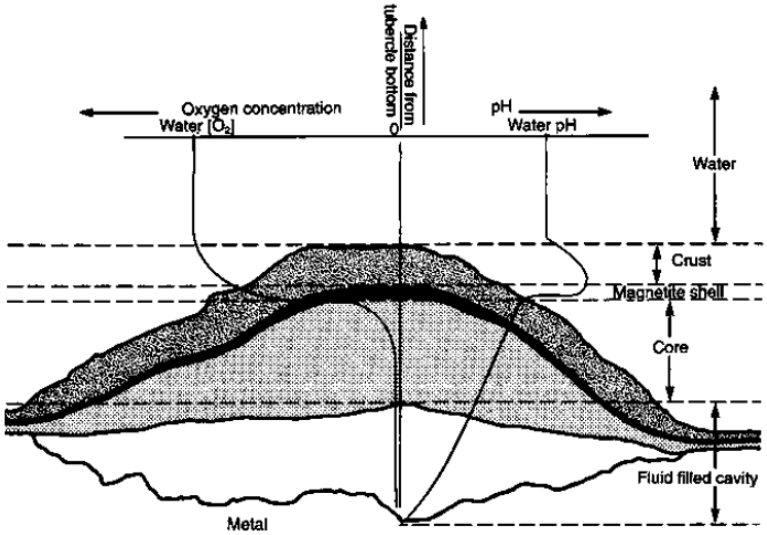


شکل ۶- واکنش‌های شیمیایی در تاول[۲]

پوسته محافظ خارجی: بر روی تاول‌ها یک پوسته بسیار شکننده تشکیل می‌شود این پوسته، ترکیبی از هیدروکسید آهن (III) (هماتیت)، کربنات‌ها، سیلیکات‌ها و ذرات ته‌نشین شده دیگر می‌باشد. یون‌های فروس و هیدروکسید فروس که در درون تاول تولید شده‌اند از طریق شکاف‌های موجود به بیرون مهاجرت می‌کنند و هنگامی که با اکسیژن حل شده در تماس قرار می‌گیرند واکنش هیدروکسید فریک به در پوسته به صورت زیر اتفاق می‌افتد[۶]:

$$Fe(OH)_2 + 1/2H_2O + 1/4O_2 \rightarrow Fe(OH)_3$$

لایه داخلی: درست در زیر پوسته خارجی یک لایه سیاه و شکننده مگنتیت بوجود می‌آید، با ایجاد این لایه نواحی خارجی که دارای غلظت بالای اکسیژن هستند از نواحی زیر این لایه که دارای غلظت اکسیژن پایین هستند جدا شده و یک پیل اختلاف دمش ایجاد می‌شود شکل ۷ این موضوع را نشان می‌دهد[۷].



شکل ۷- ایجاد پیل اخلاف دمش در اثر تشکیل لایه داخلی.[۲]

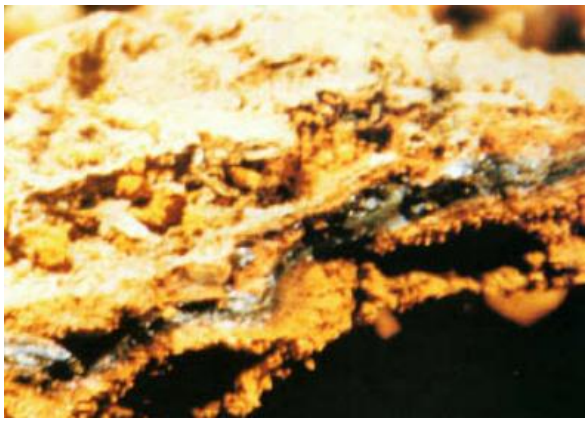
این لایه چون از جنس مگنتیت است بنابراین هدایت الکتریکی بالایی دارد. الکترون‌های تولید شده در سطح فلزی در حال خورده شدن به مناطقی در اطراف تاول‌ها و لایه‌ها منتقل می‌شوند و در آنجا در اثر واکنش‌های کاتدی یون هیدروکسیل تولید می‌گردد و به طور موضعی بر طبق واکنش pH افزایش می‌یابد.

$$e + H_2O + 1/2O_2 \rightarrow 2OH^-$$

ناحیه داخلی: مواد ترد و شکننده موجود در بخش داخلی در زیر لایه مگنتیت وجود دارند، این منطقه بیشتر شامل هیدروکسید آهن (II) خواهد بود که بوسیله واکنش زیر تولید می‌شود:

$$Fe^{+2} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$$

پروفایل غلظتی اکسیژن و pH در شکل ۷ نشان داده شده است همچنین سطح مقطعی از لایه خارجی، لایه مگنتیت داخلی و حفره داخلی در شکل ۸ نشان داده شده است.

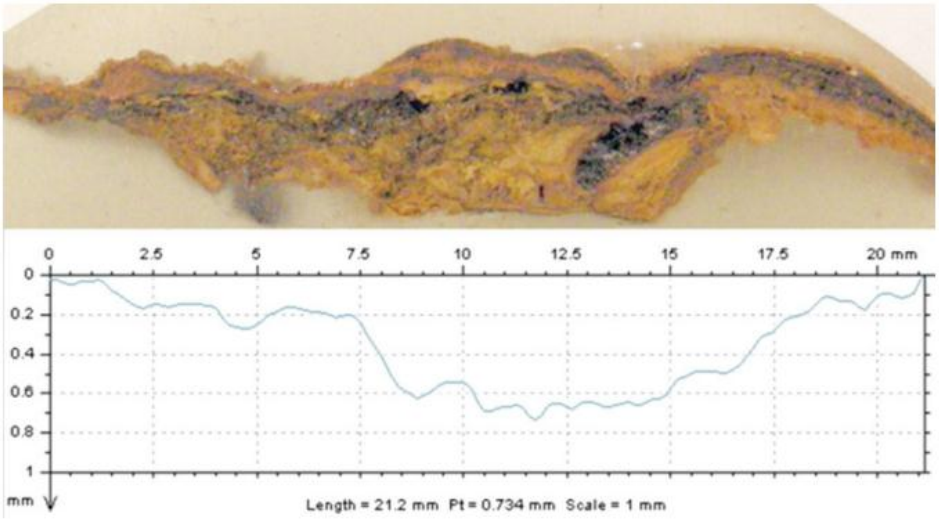


شکل ۸- سطح مقطع نواحی مختلف یک تاول: لایه خارجی، لایه مگنتیت (سیاه رنگ) و حفره داخلی(بزرگنمایی .×7.5)[۶]

استحکام فیزیکی تاول‌ها بشدت تحت تاثیر ضخامت لایه مگنتیت می باشد. به طور کلی هرچه که تاول متراکم‌تر و ضخیم‌تر باشد ساختاری با استحکام بیشتر خواهد داشت. گاهی در اثر ترک برداشتن متوالی این لایه مگنتیت های چند لایه ایجاد می شود نمونه‌ای از ساختار مگنتیت چند لایه در شکل ۹ نشانداه شده است[۶].

شکل ۹- ساختار مگنتیت چند لایه(بزرگنمایی2×0)[۶]

حفره: بعضی مواقع در زیر ناحیه داخلی، حفره‌های حاوی مایع وجود دارد، این حفره‌ها ممکن است بزرگ یا کوچک باشند. حفره ممکن است به علت شرایط اسیدی در داخل آن بوجود آید. شکل۱۰ نمونه‌ای پروفایل حفرات درون تاولی که در مدت سه سال ایجاد شده است را نشان می‌دهد[۶].



شکل ۱۰- پروفایل حفرات ایجاد شده درون تاول ایجاد شده بعد از سه سال[۲]

حفرات ایجاد شده معمولا غنی از هیدروکسید فروس می باشند که این ترکیب بر اساس واکش زیر درون حفره‌ها ایجاد می‌شود:

$$Fe^{++} + 2OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_2$$

همچنین با نفوذ یون‌های هیدروکسیل به درون حفره بارهای مثبتی که در نزدیک نواحی خورده شده ایجاد شده‌اند این بارها یون‌ها را جذب می کنند. کربنات‌ها کلرایدها و سولفات‌های نیز می‌توانند با یون‌های فروس موجود واکنش دهند به عنوان مثال با واکش کربنات با یون فروس سیدریت[۱] ($FeCO_3$) بر اساس واکنش زیر ایجاد خواهد شد:

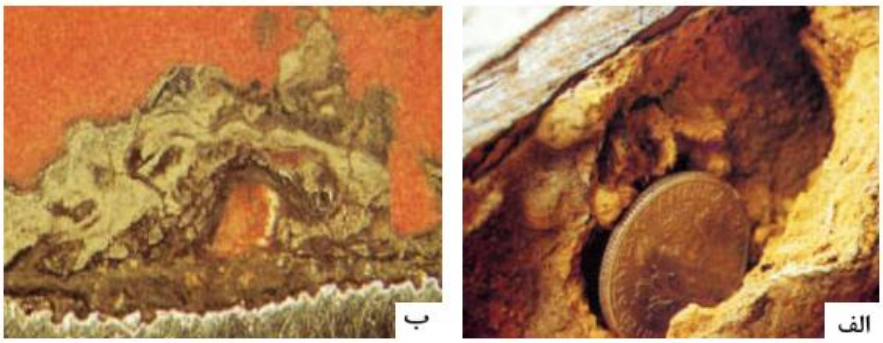
$$Fe^{++} + CO_3^{-} \rightarrow FeCO_3$$

علاوه بر ترکیبات موجود ترکیبات فسفاتی نیز گاها درون حفره‌ها یافت می شوند. شکل ۱۱ ترکیبات سیدریت موجود در درون حفره را بعد از جدایش دیواره بیرونی نشان می دهد.

[1] siderite

شکل۱۱- ترکیبات سیدریت موجود در حفره‌ها بعد از جدایش لایه خارجی[۶]

معمولا درون حفرات شکاف‌هایی با عمق کم یا زیاد به وجود می آید که رشد آن‌ها می تواند باعث تخریب قطعه و نشتی آن شود در شکل ۱۲ نمونه‌ای از شکاف‌های بزرگ(الف) و کوچک(ب) مشخص شده است.



شکل۱۲- شکاف‌های بزرگ(الف) و کوچک(ب) درون حفره[۶]

کف: همیشه در زیر توده تاولی منطقه‌ای که به طور موضعی خورده شده، وجود دارد. معمولاً پهنای منطقه فرورفتگی از عمق آن بیشتر است و در نتیجه یک فرورفتگی بشقابی شکل کم عمق بوجود می‌آید. این موضوع در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

شکل ۱۳- برش عرضی خوردگی تاولی[۶]

در کف تاول فلز آهن طبق واکنش زیر حل شده و یون‌های آهن (II) را بوجود می‌آورند.

$$Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e^{-}$$

اگر یون کلراید در محیط داشته باشیم، در اثر هیدرولیز موجب افزایش اسیدیته در زیر تاول و ناحیه داخلی می‌شود. در مرز بین ناحیه داخلی و سطح زیر تاول (نزدیک سطح زیر تاول) واکنش زیر اتفاق می‌افتد[۲]:

$$Fe^{+2} + 2H^{+}Cl^{-} \rightarrow Fe^{+2}\,2(Cl^{-}) + 2H^{-}$$

همچنین یون سولفات هم با همین مکانیسم می‌تواند موجب کاهش اسیدیته شود.

۶- عوامل تاثیرگذار بر ایجاد تاول‌ها

نشان داده شده است که مورفولوژی تاول‌ها در این نوع تخریب به: شیمی آب، غلظت اکسیژن حل شده در آب، دما، میزان جریان آب، وجود باکتری‌ها و نرخ خوردگی وابسته است. همچنین کیفیت آب از عوامل بسیار تاثیر گذار بر این فرایند است. به عنوان مثال تاول‌ها بر روی فولاد کربنی مورد استفاده در بندر دالاس آمریکا بعد از یکسال به صورت شکل ۱۴ است.

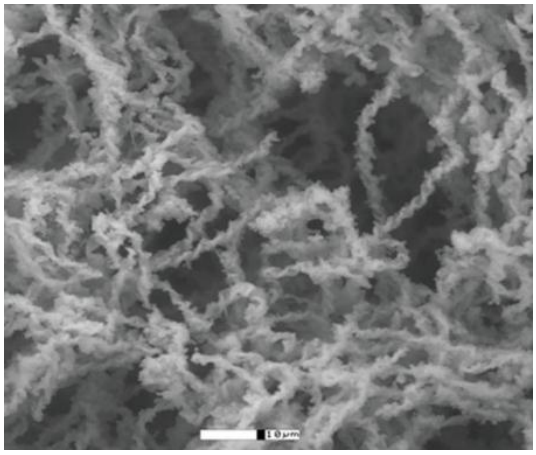
شکل۱۴- مورفولوژی تاول‌های ایجاد شده بر روی فولاد کربنی مورد استفاده در بندر دالاس آمریکا[۶]

اکسیژن محلول: مهم‌ترین عامل کنترل کننده رشد تاول غلظت اکسیژن محلول است، اگر غلظت اکسیژن محلول خیلی کم باشد، از رشد تاول به شدت جلوگیری می‌شود، اما برای تاول لازم نیست که آب از اکسیژن اشباع شده باشد. زیرا سیستم‌های راکد با شدت بیشتری مورد حمله تاول قرار می‌گیرند. در آب‌هایی که شامل اکسیژن محلول نیستند، رشد تاول که در اثر پیل غلظتی اکسیژن به وجود می‌آید متوقف می‌شود زیرا نیرو محرکه برای رشد تاول به اختلاف غلظت اکسیژن در مناطق مختلف بستگی دارد.
شدت جریان: تاول‌ها در شرایط شدت جریان کم و زیاد تشکیل می‌شوند. شدت جریان به طور مستقیم بر مرفولوژی تاول تأثیر می‌گذارد، هنگامی که شدت جریان زیاد است، طول تاول‌ها در جهت جریان سیال افزایش می‌یابد. شکل ۱۵ تاول‌های رشد کرده در جهت جریان سیال را در یک خط لوله آب نشان می‌دهد.

شکل۱۵- تاول‌های رشد یافته در جهت جریان سیال در یک خط لوله آب[۶]

شدت جریان به وسیله تکرار شرایط از نظر اکسیژن محلول، آنیون‌های مهاجم، بازدارنده‌های خوردگی و ذرات معلق بر رشد تاول تأثیر می‌گذارد. اگر شدت جریان خیلی زیاد باشد آشفتگی جریان باعث از جا کنده شدن ساختمان تاولی می‌شود.
برهم‌کنش‌های بیولوژیکی: باکتری‌های تولید کننده اسید و احیاکننده سولفات حمله را تسریع می‌کنند

وجود باکتری‌ها نیز از عوامل موثر در تشکیل رسوبات است. مطالعات زیادی باکتری‌ها و وجود ساقه‌های باکتریایی[1] را در محل تاول‌ها نشان داده است.شکل ۱۶ نمونه‌ای از غلاف‌های باکتریایی[2] را نشان می‌دهد.



شکل۱۶- غلاف‌های باکتریایی در مکان تاول‌ها

همچنین نشان داده شده است که در درن تاول‌ها کربن آلی و مواد مغذی مورد نیاز برای رشد باکتری‌ها وجود داشته است. از عوامل ایجاد کننده رسوب در لوله‌های آب باکتری‌های آهن[3] می باشد که می توانند فرایند رشد تاول‌ها را بسیار تسریع کنند. معمولا در جایی که باکتری‌ها وجود دارن علاوه بر تاول‌هایی که در درون لوله‌ها ایجاد می شود. خوردگی میکروبی هم دیده می-شود(توضیحات بیشتر در بخش میکروبی)[۱].

آنیون‌های مهاجم: آب‌های حاوی غلظت‌های بالای کلراید، سولفات و دیگر آنیون‌های مهاجم رشد تاول را تشدید می‌کنند. غلظت-های بسیار زیاد کلراید و سولفات در داخل تعداد زیادی از تاول‌هایی که به سرعت رشد می‌کنند وجود دارند. هیدرولیز این آنیون‌ها در داخل تاول شرایط اسیدی بوجود می‌آورد و موجب تشدید رشد تاول می‌شود. از عوامل بسیار اثرگذار بر رسوب ترکیبات pH سیال می باشد که افزایش آن رسوب‌گذاری را تشدید خواهد کرد[۱].

۷- تاثیر هوا بر تغییر نگ تاول‌ها

شکل ۱۷ تاولی جدا شده از سطحی را نشان می‌دهد که به مدت چند دقیقه در معرض هوا قرار گرفته است.

شکل۱۷- تاولی جدا شده از سطحی که چند دقیقه در معرض هوا بوده است[۱]

با قرارگیری تاول به مدت زمان بیشتری در هوا بیشتر هیدروکسیدهای فروس به هیدروکسیدهای فریک تبدیل می‌شوند در نتیجه این امر رنگ زیر تاول شفاف‌تر شده و اسیدیته وضعی افزایش می‌یابد. شکل ۱۸ تاول جدا شده از سطحی را نشان می‌دهد که چندین ساعت در معرض هوا بوده است.

[1] bacterial stalks
[2] bacterial sheaths
[3] iron bacteria

شکل۱۸- تاول جدا شده از سطحی که چندین ساعت در معرض هوا بوده است[۶]

۸– مشکلات تاول زدگی در سیستم‌های توزیع آب

قرمزی آب، یکی از مشکلات بهره برداران تصفیه خانه حتی وقتی کنترل خوردگی در آن به خوبی اجرا می شود ،آب قرمز در شبکه می باشد. این امر می تواند به دلایلی از قبیل سرعت کم جریان آب در لوله ، وجود برجستگی های ریز روی سطح داخلی لوله و یا حضور باکتریهای آهن رخ دهد[۲].

سرعت جریان :سرعت جریان در شبکه‌های انتقال آب نقش مهمی در کنترل خوردگی ایفا می کند .سرعت آب باید در حدی باشد که مواد شیمیایی داخل لوله را با خود حمل کند. در سرعت های کم در نقاط مرده و در نواحی که آب کمتر است ، مواد شیمیایی تثبیت کننده پوشش محافظ تشکیل نخواهد داد یا با سطوح خورده شده واکنش خواهند داد و پس از افزایش سرعت این مواد با آب حمل خواهد شد[۲].

برجستگی روی سطح داخلی لوله: اگر زبری ، سطح ناهموار یا زوائدی هایی در شبکه از قبل وجود داشته باشد ؛ از ایجاد پوشش حفاظتی یکنواخت جلوگیری خواهد کرد. هر گونه تغییر در سرعت و فشار می تواند این ناهمواریها را بشکند و همچنین لایه محافظ را تخریب کند.

باکتریهای آهن : باکتریهای آهن ممکن است در تثبیت تداخل کنند. پوشش لزجی که این باکتریها ایجاد می کنند می تواند از نشستن مواد تثبیت کننده روی سطح لوله جلوگیری کند .تمیز کردن لوله ها برای حذف لایه لزج و گندزدایی شبکه از جمله اقدامات مفید می باشد[۲].

۹– راهکار جلوگیری از رسوب‌گذاری در سیستم‌های آبی

اندیس لانژلیه[1] و اندیس پایداری[2] رایزنر ابزاری ساده جهت پایداری از لحاظ رسوب‌گذاری و خورندگی آب فراهم می‌آورد. اندیس های فوق به صورت زیر تعریف می‌شوند[۶]:

SI or LI=pH-pHs
RI=2pHs-pH

که در این روابط pHs همان pH اشباع بوده و از رابطه زیر به دست می آید:

pHs=ضریب دما + ضریب TDS – ضریب قلیایت – ضریب کلسیم

کلیه ضرایب ازجدول استاندارد (WHO,Upgrading Water Treatment Plants,2001,Chapter4.7) که ضرایب معادل با مقادیر پارامترهای مذکور را ارائه می دهد به دست می آیند. بررسی‌ها نشان داده است که کاهش غلظت کلرید کلسیم تا ۲۳ppm می تواند باعث کاهش نرخ خوردگی شود

[1] Langelier Index
[2] Stability Index(Ryzner)

۱۰- روش‌های حذف تاول‌ها

سه روش وجود دارد که به وسیله آن‌ها می‌توان از تشکیل و یا در صورت تشکیل از رشد تاول‌ها جلوگیری کرد. این سه روش عبارتند از: بهسازی شیمیایی، تغییر نحوه بهره‌برداری سیستم و جایگزین کردن مواد.

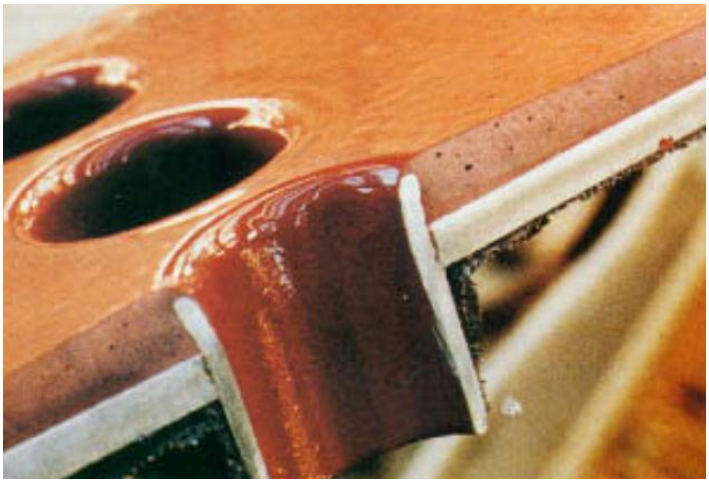
بهسازی شیمیایی: هر روش بهسازی که سرعت خوردگی عمومی در اثر خوردگی ناشی از اکسیژن را کاهش دهد، تاول‌زدگی را نیز کاهش خواهد داد. بهترین روش بهسازی بستگی به نوع سیستم دارد. شیمی آب و نحوه اجرای بهسازی حتی در بین صنایع مشابه که تجهیزات یکسان دارند، به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت است. در روش‌های بهسازی بازدارنده‌های خوردگی و پراکنده کننده-هایی که به طور معمول در سیستم‌های آب خنک کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند به کار گرفته می‌شوند. بازدارنده‌های خوردگی هنگامی‌که به سیستم اضافه می‌شوند با تأثیر بر فرآیندهای کاتدی و یا آندی خوردگی را کاهش می‌دهند. امکان استفاده از طیف گسترده‌ای از بازدارنده‌ها وجود دارد که شامل هیدروکسیدهای محلول، کرومات‌ها، فسفات‌ها، سیلیکات‌ها، کربنات‌ها، نمک‌های روی، مولیبدات‌ها، نیترات‌ها و نمک‌های منیزیم خواهند بود. مقدار دقیق بازدارنده‌هایی هم که مصرف می‌شود نیز بستگی به فاکتورهایی مانند دما، دبی، شیمی آب، و ترکیب شیمیایی فلز دارد. به این دلایل بر اساس اطلاعات افراد با تجربه در زمینه تصفیه آب، هر سیستم بهسازی خاص و روش دقیق مختص به خود را دارد. صرفن ظر از روش بهسازی به کارگر گرفته شده از نظر مقایسه تقریباً همیشه بهسازی بر روی یک سطح فلزی تمیز بهتر انجام می‌شود[۶].

تاول‌ها وقتی جوان‌تر هستند رشد بیشتری دارند تا زمانی که پیر شوند، تاول‌ها وقتی خیلی کهنه‌می‌شوند از سرعت رشدشان کاسته می‌شود. با این وجود تجربه نشان داده است که حذف پوشش تاولی درزمانی که یک سیستم بصورت شیمیایی بهسازی می‌شود مفید خواهد بود. روش‌های تمیز کردن شاملجریان یافتن آب با سرعت زیاد، سایش مکانیکی، دمیدن هوا با سرعت زیاد و موثرترین آن‌ها شستشوی شیمیایی است[۶].

تغییر روش بهره‌برداری: به دلیل تنوع موجود در سیستم‌های مختلف فقط می‌توان دستوراتی کلی برای تغییر روش بهره برداری سیستم ارائه کرد.

شدت جریان حجمی در کنترل تاول‌زدگی بسیار مهم است. اگر شدت جریان آب صفر باشد غلظت اکسیژن محلول در نهایت به صفر کاهش می‌یابد و فعالیت‌های غلظتی اکسیژن متوقف می‌شود اما این امر فعالیت بیولوژیکی باکتری‌های بی هوازی را به قدری زیاد می‌کند که مشکلات تاول‌زدگی در مقایسه با آن ممکن است ناچیز باشد. شدت جریان کمتر از $۱ m/s$ می‌تواند باعث شدید شدن رشد تاولی در کوتاه مدت شود. حفاظت کاتدی با سیستم آند فداشونده نیز می‌تواند تخریب ناشی از تاول زدگی را کاهش دهد اما این روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست از طرفی پوشش‌دهی سطح فلزات هم می‌تواند تخریب‌ها را بسیار کاهش دهد[۲].

جایگزینی مواد: در گاهی موار می‌توان از مواد جایگزین با مقاومت بیشتر استفاده نمود اما این موضوع از نظر اقتصادی محدودیت دارد. به عنوان مثال فولادهای زنگ نزن در حالتی که حساس نباشند مقاومت بسیار بالایی در برابر تاول‌زدگی خواهند داشت. همچنین پوشش‌دهی با موادی مثل اپوکسی‌ها میتواند مقاومت در برابر تاول‌زدگی را افزایش دهد شکل ۱۹ پوشش اپوکسی اعمالی بر سطح یک قطعه مستعد به تاول را نشان می‌دهد[۶].



شکل۱۹- پوشش اپوکسی اعمالی بر سطح قطعه مستعد به تاول زدگی[۶]

۱۱- نتیجه گیری

نتایج کلی که از این مطالعه‌ی مروری به به دست آمد شامل موار زیر می‌باشد:

۱- پدیده‌ی تاول زدگی عمدتا روی سطوح لوله‌های فولادی و چدنی فاقد عملیات‌های سطحی و در آب های اکسیزن دار با pH های خنثی ایجاد می‌شود.

۲- برای ایجاد پدیده‌ی تاول زدگی باید آب ساکن موجود در تماس با سطح دارای قلیاییت بی کربناتی بالایی باشد.

۳- در تجهیزاتی مثل پمپ ها که شدت جریان آب و تلاطم محیطی بالا می باشد تاول ها پایدار نبوده و به سرعت از جای خود کنده می‌شوند.

۴- درون محیط تاول ها غلظت عناصری مثل کلراید و سولفور بالا بوده در حالی که غلظت آهن کم می‌باشد.

۵- مورفولوژی تاول ها به عوامل متعددی از جمله: شیمی آب، غلظت اکسیژن حل شده در آب، دما، میزان جریان آب و وجود باکتری ها در آب وابسته است.

۶- هوا عامل مهمی در میزان تخریب تاول‌ها و رنگ آن ها می‌باشد.

۷- راهکارهای عمده برای حذف تاول‌ها و جلوگیری از ایجاد آن‌ها شامل: بهسازی شیمیایی، تغییر روش‌های بهره برداری و جایگزینی مواد می‌باشد.

۱۲- مراجع

1. AC08508522, Biofouling: the journal of bioadhesion and biofilm research. Taylor & Francis, 1988.

2. R. I. Ray, J. S. Lee, B. J. Little, and T. Gerke, "The anatomy of tubercles: A corrosion study in a fresh water estuary," Materials and Corrosion ,vol. 61, no. 12, pp. 993-999, 2010.

3. H. Knudsen, "Corrosion and tuberculation," Journal (American Water Works Association), vol. 32, no. 3, pp. 387-393, 1940.

4. H. L. Kahler and C. George, "A New Method for the Protection of Metals Against Pitting, Tuberculation and General Corrosion," Corrosion, vol. 6, no. 10, pp. 331-340, 1950.

5. E. W. Barbee, "Tuberculation Measurement as an Index of Corrosion and Corrosion Control," Journal (American Water Works Association), vol. 39, no. 3, pp. 220-230, 1947.

6. R. D. Port and H. M. Herro, The NALCO guide to boiler failure analysis. McGraw-Hill New York, 1991.

7. K. Usher, A. Kaksonen, and I. MacLeod, "Marine rust tubercles harbour iron corroding archaea and sulphate reducing bacteria," Corrosion Science, vol. 83, pp. 189-197, 2014.