

## بررسی راهکارهای بهسازی و علل خوردگی در مخازن ذخیره و نگهداری آب

کاوه استاد علی عسکری<sup>\*</sup>، سید هاشم نوربخش

تویسنده مسئول [Kaveh\\_oaa2001@yahoo.com](mailto:Kaveh_oaa2001@yahoo.com)

### چکیده

با توجه به نقش و اهمیت جایگاه نامین آب شرب و بهداشتی مورد مصرف افشار مختلف مردم در شهرها و روستاهای کشور و بالا بردن میزان بهره‌بری از منابع آب قابل استحصال از یک سو و از سوی دیگر کاهش مشکلات فراروی تاسیسات و ابنیه آبی و افزایش عمر کاربری تاسیسات تهیه، انتقال، توزیع، تصفیه، و ذخیره سازی آب شرب از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. یکی از دغدغه‌های اساسی صنعتگران و کاربران کشور حفظ و نگهداری تاسیسات و زیر ساختهای آبی می‌باشد که هزینه‌های سنگینی صرف ساخت و بهره‌برداری از آنها شده است و در مرحله بهره‌برداری، نگهداری بهینه از آنها از اهمیت خاصی برخوردار است.

در این مقاله سعی بر این است که با توجه به سوابق موجود و تجربیات گذشته نیم‌نگاهی به بحث خوردگی مخازن ذخیره و نگهداری آب شرب بتنی و فلزی و یا مصالح مرکب صورت پذیرد. خوردگی مخازن بیشتر به صورت محیطی می‌باشد. ترکیبات موجود در آب مانند ترکیب‌های گوگرد، هیدروژن، دی‌اکسید کربن و سایر ناخالصی‌های موجود در عمل تسریع خوردگی بسیار موثر است.

**واژگان کلیدی:** بهسازی، مقاوم سازی، خوردگی، خوردگی توام، خوردگی مخازن

### ۱- مقدمه

شرایط‌های حیاتی و ملزومات آن امروزه کلیدهای توسعه و رشد بشری می‌باشند ولی بروز مشکلات عدیده‌ای مثل بلایای طبیعی، آسیب‌های محیطی نظیر خوردگی باعث کاستی‌ها و نقصان در بهره‌برداری آنها گردیده است. در این مقاله سعی شده با تجربیات شرکت آبفای بر روی معضل خوردگی کنکاشی دیگر صورت پذیرد و کارآمدی

روشهای موجود حفاظتی بررسی گردد.

### ۲- مخازن نگهداری و ذخیره آب شرب

مخازن ذخیره سازی که بدلیل شرایط کاری مختلف مخازن، بایستی با ضریب ایمنی متفاوتی طراحی و ساخته شوند با توجه به نوع کاربری از ساختارهای متفاوتی برخوردار هستند. در صنعت آب کشور شاهد بکارگیری وسیع مخازن بتنی و

فلزی و یا مصالح مرکب می باشیم که در اینجا به تشریح خوردگی های رخ داده در این نوع مخازن خواهیم پرداخت. اینگونه مخازن از مواد فلزی و یا غیر فلزی (کامپوزیت ها) و یا ترکیب آنها ساخته می شوند که بایستی حتی الامکان طراحی آنها براساس حداقل هزینه و مصالح بکار گرفته شده صورت پذیرد و ساخت آنها گاه دارای مراحل ساخت و طراحی پیچیده ای دارا می باشد. مخازن باید توانایی تحمل بارهای استاتیکی، دینامیکی و خستگی در شرایط محیطی مختلف در مواقعی که دارای آسیب وارده هستند را داشته باشند.

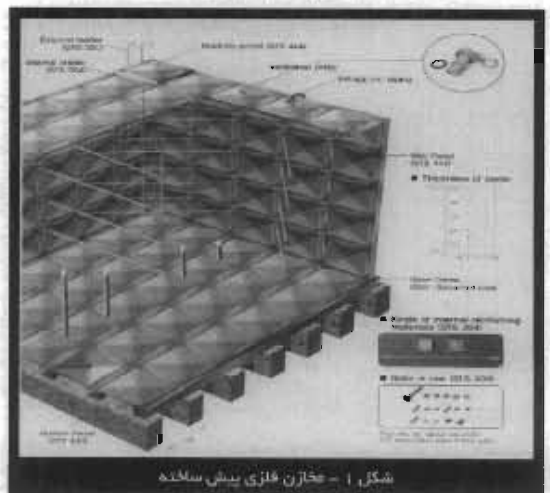
## ۲-۱- مخازن فلزی (All metal)

گرچه نوع آلیاژ مورد استفاده و همچنین تنش های طراحی این گونه مخازن در استاندارد مشخص نشده است و لیکن این گونه مخازن فولادی، آلومینیومی و یا مرکب بتنی باید تست های کارایی را بگذرانند. این تست ها برای اطمینان از مقاومت کافی این مخازن در مقابل خستگی و خوردگی لازم است. ایمنی این مخازن با انواع آزمایش های مخرب و غیر مخرب از قبیل سختی، تست فشار هیدرواستاتیک و ... تعیین  $CrMo$  می باشد.

## ۲-۲- مخازن (Hoop Wrapped)

این مخازن از فولاد، آلومینیوم و یا بتن مرکب ساخته شده اند که با الیاف کامپوزیت و FRP یا انواع ژئوممبران ها دو کف در جهت شعاعی تقویت شده اند. به جز دو قسمت ابتدائی و انتهایی مخزن که عموماً از الیاف شیشه، کربن یا آرمید با رزین می باشند، کامپوزیت های مورد استفاده در مخازن بیشتر اپوکسی و یا رزین ایزو فتالیک پلی استر می باشند.

## ۲-۳- مخازن (Fully Wrapped)



این مخازن از فولاد یا آلومینیوم یا مرکب بتنی ساخته شده اند که با الیاف کامپوزیت در جهت شعاعی و محوری تقویت شده اند. تقویت این مخازن با الیاف کامپوزیت در دو جهت، قابلیت تحمل بار فشار بیشتری را نسبت به مخازن نوع دوم دارند و همچنین این مخازن سبک تر از مخازن نوع دوم می باشند. البته در نوع مرکب به دلیل بارگذاری های متنوعی که در نظر گرفته شده، اثر پذیری بیشتری در نظر گرفته می شود.

## ۲-۴- مخازن All composite

این مخازن مشابه مخازن نوع سوم با الیاف کامپوزیت در جهت شعاعی و محوری تقویت شده اند، با این تفاوت که دیواره (لایتر) مورد استفاده در این مخازن از مواد پلیمری پلی اتیلن می باشد. باربری این مخازن متناسب با تقویت صورت گرفته می باشد و در مقاطع عرضی تحمل بیشتری نسبت به مخازن فلزی و بتنی تنها و تقویت نشده دارند.

## ۲-۵- مخازن بتن مسلح

این مخازن از جنس بتن کامل با پوشش داخلی دوگانه فلزی و کاورینگ می باشند. عمر این مخازن بیشتر از سایر مخازن می باشد. و در مناطق جنوبی کشور بخوبی جواب می دهند. البته به دلیل مشکلات اجرا در مناطق سردسیر غیر قابل اجرا می باشند.

## ۲-۶- مخازن سنگی

این مخازن سابقاً در مناطقی که مصالح مناسبی در دسترس نبود ساخته می شد و سنگ موجود در محل مبنای مصلح بسیار مناسب می توانست باشد. خوردگی و تخریب در این مخازن وابستگی شدیدی به کیفیت نوع سنگ مصرفی و مصالح و ملات بکار گرفته شده داشت.

## ۳- شرایط بهره برداری مخازن

شرایط بهره برداری از مخازن بسیار متنوع بوده و با توجه به منطقه، اقلیم، کیفیت آب، نحوه ساخت، موقعیت بکارگیری و شرایط پر و خالی شدن متغیر است.

## ۳-۱- مشکلات بوجود آمده از کیفیت آب

انتقال و ذخیره سازی آب یا هر مایع دیگر به کنترل ترکیب و کیفیت آن می باشد. در حالت کلی اگر ترکیب آب طبق ضوابط خاصی در خطوط لوله جریان یابد ذخیره سازی آن با مشکلی مواجه نخواهد داشت. دی اکسید کربن، اکسیژن و سولفور ( $H_2S$ ) از عوامل تاثیر گذار در خوردگی و آسیب

مخازن مخصوصا مخازن بتنی بدون پوشش می باشند. در مورد مقدار سولفید هیدروژن محدودده ها مشخص شده است و هرچه مقدار آن بیشتر باشد مقدار بروز خوردگی بیشتر می باشد. تاثیر کیفیت آب و دیگر شاخصه ها در خطوط انتقال و ذخیره سازی به طور جداگانه بررسی می گردد.

**۳-۱-۱-۱-آب:** هنگامی که آب در مجاور بدنه مخزن قرار می گیرد، بجز موادی که آب باعث تخریب آنها نمی شود برای برای سایر موارد مشکل ایجاد می کند. در فصل زمستان خوردگی کاهش می یابد. ماندن آب در خط لوله و مخازن احتمال وقوع این مشکل را افزایش می دهد. وجود آب می تواند باعث خوردگی و بوجود آمدن ترکیبات بازی شود.

**۳-۱-۲-دی اکسید کربن:** در آب داخل مخازن فولاد بتنی که در معرض آب نیز باشند باعث بروز تشدید خوردگی می گردد.

سرعت خوردگی بسته به فشار، دما، مقدار کربنات آهن، غلظت و مقاومت مواد تشکیل دهنده بدنه و دیواره مخزن متغیر و انعطاف پذیر می باشد. خوردگی می تواند صرفا محدود به نقاطی شود که آیمانگی رخ داده اس. و سطح بسالای مخزن آسیب نبیند ولی به دلیل بروز پدیده شبنم و تبخیر آب گاهها خوردگی در بالادست به دلیل وجود هوا حتی بیشتر می باشد.

**۳-۱-۳-ترکیبات هیدراته:** با افزایش فشار درون مخازن هیدرات ها می توانند در دماهای بالاتر از صفر درجه تشکیل شوند (یعنی در مناطق سردسیر این پدیده کمتر رخ می دهد). این امر می تواند باعث مسدود شدن لوله ها، شیرها، رگولاتورهای فشار، حوضچه های تخلیه، شیرهای آتش نشانی و شیرهای ایمنی شود. به همین دلیل عموما یک محدوده مجاز برای مقدار آب موجود در مخازن تعریف می کنند غلظت ترکیبات خوردنده آب باید به قدری کم باشد که نقطه انجماد در فشار ۵ درجه سانتیگراد کمتر از حداقل دمای محلی باشد. در عمل این به معنی مجاز بودن مقدار ۱۰ تا ۵۰ میلی گرم بر متر مکعب می باشد.

**۳-۱-۴-سولفید هیدروژن:** در صورت وجود سولفید هیدروژن در آب می تواند بصورت ترکیبات سولفید هیدروژن اسیدی ظاهر شده و باعث افزایش خوردگی و تردی فلز شود. آزمایشها نشان می دهد مقدار خوردگی به میزان هیدروژن محیط بستگی دارد.

**۳-۱-۵-سولفور:** سولفور بدلیل قابلیت انحلال پایین در آب، خوردگی زیادی در این مورد بوجود نمی آورد.

**۳-۱-۶-مرکاپتان:** این ماده بودار، به مقدار کم در آب حل می شود و باعث خوردگی زیاد نخواهد شد.

#### ۴- بروز خوردگی

خوردگی در علم مهندسی یکی از مهمترین مسائلی می باشد که علاوه بر پدید آوردن مشکلات اقتصادی، زیست محیطی، فنی، ایمنی و... بخش قابل ملاحظه ای از تحقیقات و پژوهش های صنعتی را به خود اختصاص داده است. افزایش قیمت انرژی، نیروی انسانی، فشارها و دماهای بالا و محیط های خوردنده تر و پیچیده تر در فرآیندهای صنعتی باعث می شوند که زیان های اقتصادی ناشی از خوردگی در سالهای آتی بطور تصاعدی افزایش یابد. اهمیت خوردگی در صنایع هنگامی فزونی پیدا می کند که اثرات سوء آن بطور مستقیم امنیت کاربران را تهدید کند. در تاسیسات خدماتی نظیر خطوط انتقال و مخازن آب، خوردگی باعث کاهش عمر بهره برداری و صرف هزینه های سنگین نگهداری می شود.

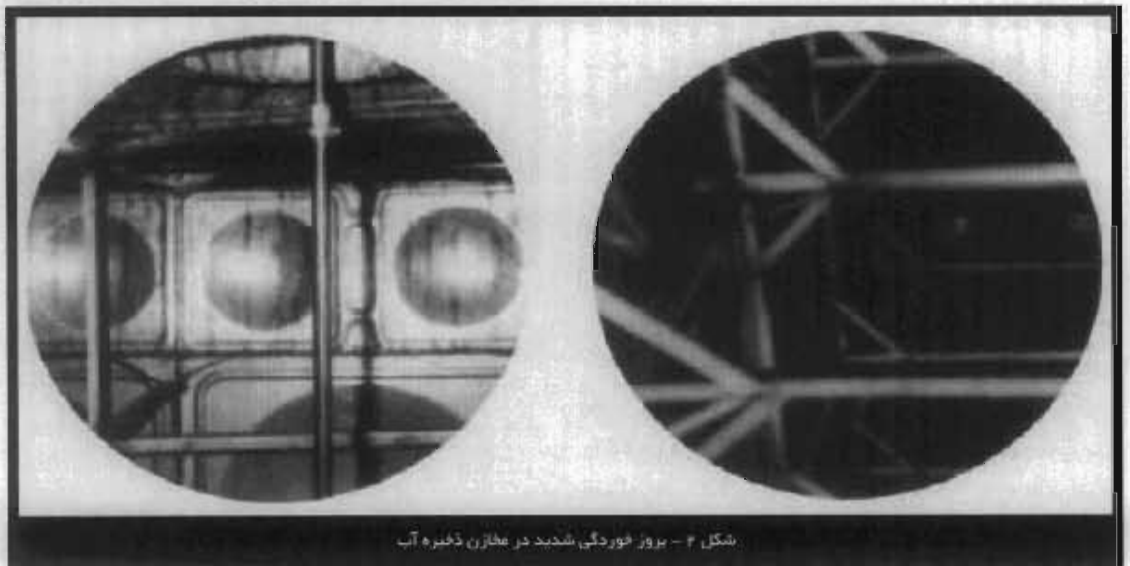
#### ۴-۱- خوردگی شیاری: (Crevice Corrosion)

شایعترین نوع خوردگی در مخازن آب خوردگی شیاری است. این حالت در شیازها و نواحی روی سطح مخزن که محلول های خوردنده در این قسمت ها ساکن شده اند رخ می دهد. خوردگی شیاری در محل تماس لاستیک و فلز شروع شده و پیشروی می کند. در تسمه های نگهدارنده مخزن نایستی در زیر تسمه ها واشر بکارگیری شود تا از گیرافتادگی مایعات در زیر آن جلوگیری شود.

#### ۴-۲- حفره دار شدن: (Pitting)

در خوردگی حفره ای سطح کوچکی از فلز در اثر عیوب خاصی مانند نقص در پوشش دهی در مجاورت محیط خوردنده قرار می گیرد و با شدت زیادی خورده می شود. این نوع خوردگی شدیداً موضعی و متمرکز است که باعث سوراخ شدن فلز یا کامپوزیت می شود.

حفره ها معمولاً در جهت نیروی جاذبه رشد می کنند. حفره دار شدن در اثر یک واکنش آندی اتوکاتالیتیکی می باشد. مخازن مورد استفاده بایستی از عوامل خوردنده محافظت گردند که این عمل با پوشش مناسب (کاورینگ رزین یا زولیت های دو لایه مرکب همراه با سیمنت دریایی) انجام می گیرد.



شکل ۲ - بروز خوردگی شدید در مخازن ذخیره آب

### ۳-۴- خوردگی بین دانه ای: (Intergranular Corrosion)

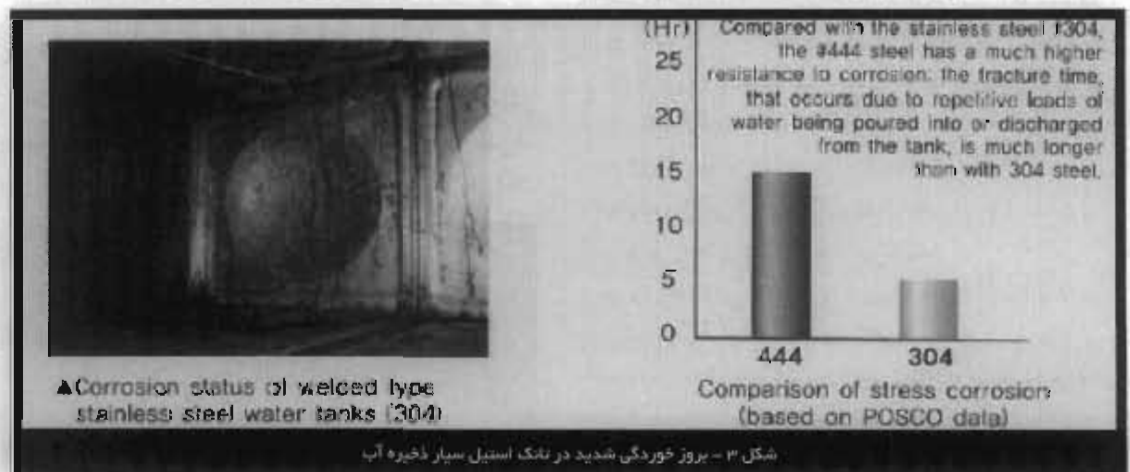
مرز دانه ها نواحی پر انرژی بوده و از نظر شیمیائی فعال تر می باشند. بدین علت موقعی که سطح یک فلز یا مواد سازند مصالح مرکب در معرض یک ماده خورنده قرار می گیرد، مرز دانه ها اندکی سریعتر از سطح دانه ها خورده می شوند. همانطور که می دانیم آلیاژها به دو حالت همگن و ناهمگن وجود دارند آلیاژهای همگن در برابر خوردگی مقاوم ترند زیرا در این نوع آلیاژها حالت گالوانیکی وجود ندارد. بنابراین برای تشکیل یک آلیاژ همگن در ساخت مخازن باید عناصر تشکیل دهنده این محلول جامد کنترل گردد.

با توجه به ترکیب شیمیائی فولادهای فوق بعنوان مواد مصرفی جهت ساخت مخازن به تشریح در این مکانیزم مقاومت در برابر خوردگی در این نوع فولادهای آلیاژی می پردازیم. کسروم (Cr) به عنوان فلز پایه بازی برای محافظت از آهن

نقش قربانی را در خوردگی ایفا می کند. به این ترتیب که در اثر هجوم اکسیژن به سطح فلز مورد نظر مقدار زیادی اکسید آهن ایجاد می شود اما به علت میل ترکیبی بیشتر کروم با اکسیژن، میزان کم اکسید کرم جایگزین آهن شده و لایه چسبنده کروم در سطح، لایه مقاومی ایجاد می نماید و کروم در برابر نفوذ اکسیژن در سطح ترکیب اکسید آهن سدی ایجاد می نماید. و به این صورت از فلز محافظت می کند.

### ۴-۴- خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی: (Galvanic or two metal Corrosion)

اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو فلز غیر همجنس که در تماس با یکدیگر می باشند سبب برقراری جریان الکترون بین آنها شده و عامل ایجاد خوردگی گالوانیکی می گردد. در این خوردگی اثرات محیطی مانند دما، رطوبت و اثر سطح، نسبت سطح آند و کاتد نقش مهمی در سرعت خوردگی



▲Corrosion status of welded type stainless steel water tanks (304)

شکل ۳ - بروز خوردگی شدید در تانک استیل سیار ذخیره آب



شکل ۴ - تخریب موضعی بدنه داخلی در اثر خوردگی مخزن

دارند.

با محافظت بدنه فولادی مخازن فلزی در تماس مستقیم با آلومینیوم کمتر دچار خوردگی شده و عمر مخازن افزایش می‌یابد. این ترفند در مخازن بتنی نیز قابل استفاده است. باید به این نکته توجه داشت که در هنگام انتخاب قطعات و اتصالات سیستم آب به نوع جنس مورد استفاده دقت نمود. در اتصالات سعی شود بجای واشر و متعلقات فلزی از مواد ترکیبی، پلاستیکی و پلی اتیلن استفاده شود تا خوردگی در مخازن کاهش یابد.

#### ۴-۵- خوردگی توام با تنش درجه حرارت SCC (Stress Corrosion)

نتیجه اعمال همزمان تنش های کششی، ترکیب شیمیایی محلول، SCC محیط خورنده روی فلز می باشد. فاکتورهای مهم در ترکیب شیمیایی فلز با کامپوزیت مورد استفاده در مخزن، تنش و ساختمان فلز می باشد. یک مثال از این تنشها می توانند باعث ایجاد فشردگی در یک نقطه و عدم فشردگی در نقطه دیگر شوند این عمل سبب تشکیل یک پیل می گردد و در آن نقاط دارای فشردگی کم به عنوان آند مساعد جهت خوردگی توسط محیط می شوند حال آنکه نقاط دارای فشردگی اتمی به عنوان کاتد محافظت در نتیجه باران های اسیدی نمی توانند ایجاد شود چرا که این اسیدها قدرت کافی جهت فرایند SCC را ندارند.

#### ۴-۶- راه حل

مخازنی که با الیاف شیشه پوشانده شده اند نیابستی در تماس با اسید باشند. باتری ها نیابستی نزدیک مخازن قرار داده شوند. این باتری ها براحتی می توانند کج شده و اسید سولفوریک



شکل ۵ - حفاظت در برابر خوردگی با انتخاب مصالح مناسب

از آنها ریزش کند. در ضمن باتری ها بخار اسید سولفوریک ساطع می نمایند که بر روی مخازن می نشیند. مطمئن شوید که باتری وسیله نقلیه در فاصله مطمئن از مخازن کامپوزیت پوشیده شده با الیاف شیشه قرار دارند.

#### ۵- مخازن پیش ساخته آب و کاربردهای آن

با توجه به محدودیتهای ذاتی آب در کشور، عدم توازن بارندگی، پدیده های طبیعی خشکسالی، کاهش کیفیت منابع آب موجود، روند افزایش جمعیت و مصرف، رشد صنایع و بخش وسیع کشاورزی، که سهم عظیمی از آبهای با کیفیت را به خود اختصاص داده اند، نیاز به برنامه ریزی و مدیریت اصولی در کاهش تبعات و اثرات آن و توجه به موضوع ذخیره سازی صحیح آب دارد.

#### ۵-۱- قابلیت های مخازن پیش ساخته آب

مخازن پیش ساخته نسبت به مخازن درجا مزایا و توانمندی های متفاوتی دارند.

- می توان آنها را متفاوت با نوع ماده در برابر خوردگی مقاوم نمود.

- در برابر اثرات محیطی قابل مقاوم می باشند.

- مخازن پیش ساخته آب کاملاً بیچ و مهره ای بوده و براحتی مونتاژ، ديمونتاژ و جابجا می شوند.

- دارای طراحی دقیق از لحاظ شکل و استحکام مکانیکی بوده، تحت استاندارد ISO می باشند.

- در ابعاد و حجمهای مختلف از ۲۵ الی ۱۷۷۵ متر مکعب ارائه شده و با حداقل نفرات و در زمانی کوتاه در محل مورد نظر و براحتی نصب می گردند.

- جلوگیری از تبخیر آب به میزان ۹۰ الی ۹۵ درصد و جلوگیری از رویش جلبک، بعلت وجود پوششهای شناور داخل مخازن (Airfloat floating sheets) و یا پوششهای روی مخزن (Genarroof or Airtop sileroof) که علاوه بر آن، مانع ورود گرد و غبار حاصل از باد و حشرات به داخل مخزن می گردد.

- دارای استحکام کششی فوق العاده ای هستند.

- مقاومت بالایی در برابر تغییر طول ناشی از حرارت دارند.

- در برابر بادهای شدید مقاوم می باشند.

- در برابر هوادهی مصنوعی در پروژه های تصفیه فاضلاب و پرورش ماهی و میگو مقاومت کافی دارند.

- استفاده از حداقل فضای ممکن جهت ذخیره آب در حجم های متفاوت، حتی داخل سائل های سر پوشیده.

- کمیت و کیفیت آب در این مخازن بطور روزانه و براحتی



شکل ۶- مخازن بتنی قابل پدیده سازی سریع و مقاوم در برابر خوردگی و بعضی عوامل محیطی

۷- مخازن بتنی بر خلاف مخازن پیش ساخته فلزی آب دارای محدودیتهای زمانی (فصلی) و مکانی در ساخت و نصب می باشند.

۸- اگر چه بتن یک ماده محبوب و پر استفاده در مصالح ساختمانی است، اما دارای نقطه ضعف هایی همانند مقاومت کششی و شکل پذیری پایین، جذب کم انرژی، انقباض و جمع شدگی بتن و در پی آن ترک خوردگی ناشی از آن و در نهایت، ترکهای ناشی از عمل آوری نامناسب و سخت شدگی بتن می باشد.

### ۶- نتیجه گیری

یکی از بحث انگیزترین مسائلی که در بررسی مخازن مورد توجه است انواع خوردگی و روشهای مقابله با آن است. در این مقاله پس از بررسی انواع خوردگی برای جلوگیری از این پدیده نامطلوب مباحثی مخازنی که با الیاف شیشه پوشانده شده اند در مجاورت مواد و ترکیبات اسیدی نباشند.

آزمایش های مختلفی مانند آزمایش در محیط اسیدی، آزمایش مخزن تحت شرایط آب شور بر تدوین شده اند ولی اکثر آنها توسط استانداردهای معتبر دیگری ISO مبنای استاندارد ۱۱۴۳۹ نیز ارائه شده اند. با بررسی آزمایش ها ملاحظه می گردد که مخازن پیش ساخته بایستی شرایط ویژه ای را در مقایسه با مخازن تحت فشار معمولی سپری نمایند.

### منابع

- ۱- بررسی انواع خوردگی و علل آن در مخازن نگهداری آب و فاضلاب، علی مومنی، مجید لطفی حقیقت، شرکت توسعه منابع آب، ۱۳۸۵
- ۲- آنالیز آب و هزینه های نگهداری، شرکت مهندسی آبفا کشور، آبان ماه ۱۳۸۰

(ادامه در صفحه ۱۵)

قابل اندازه گیری و کنترل می باشد.

- جهت ذخیره آب در مناطق با درجه فرسایش بالا ورقه های تانکر در هر دو طرف توسط کوتینگ شده اند، لذا در مقابل فرسایش حتی در مناطق شوره زار تا ۳۰ سال مقاومند.

- انواع مختلفی از پوششهای Aquatex با توجه به شرایط آب و هوایی از مناطق سردسیر تا گرمسیر با درجه UV بالا و برای مصارف گوناگون کشاورزی و باغبانی و صنعتی و ... بطور تخصصی پیش بینی شده است.

### ۵-۲- کاربرد مخازن پیش ساخته آب

- مناسب برای ذخیره آب آشامیدنی در نقاط مختلف کشور، تحت استاندارد بین المللی ISO 9001, KIWA, ATA.

- مناسب برای ذخیره سیالات مختلف صنعتی با ایمنی کامل جهت جلوگیری از نشت روغن یا سوخت و یا مواد شیمیایی به محیط بیرون از مخزن و حفاظت از محیط زیست.

- مناسب برای پرورش صنعتی ماهی و میگو در توسعه طرحها.

- مناسب برای ذخیره آب باران و سایر آب ها جهت استفاده در کشاورزی و باغبانی و آبخیزداری در نقاط مختلف کشور.

- مناسب برای ذخیره آب، در پارکها و زمینهای ورزشی و میادین شهری.

- مناسب جهت ذخیره موقت نفت.

- گروه های مصرف: ساختمانی، صنعت، محیط و ...

### ۵-۳- معایب مخازن بتنی نسبت به مخازن

#### پیش ساخته آب

۱- مخازن بتنی نسبت به مخازن پیش ساخته گالوانیزه بسیار گرانترند.

۲- نصب مخازن بتنی به زمان بیشتری نیاز دارد و بعد از ساخت نیز بلافاصله قابل استفاده نیستند چرا که بتون باید سفت شود، در صورتی که مخازن پیش ساخته آب اینطور نیستند.

۳- مخازن پیش ساخته آب، قابل دمونتاژ شدن و جابجایی هستند اما مخازن بتنی اینگونه نیستند بنابراین مخازن گالوانیزه انعطاف پذیرند.

۴- مخازن بتنی به فونداسیون سنگین تری در مقایسه با مخازن گالوانیزه نیاز دارند.

۵- به علت وجود سولفید هیدروژن در آبهای فاضلاب شهری و روستایی که موجب خرد شدن بتن می گردد، استفاده از مخازن بتنی در این خصوص، به هیچ وجه مناسب نیست.

۶- ترکیدگی بتون بخصوص در زمستان در سازه بتنی مخازن ذخیره، تصفیه خانه های فاضلاب، خطوط انتقال و شبکه های توزیع آب، بسیار حائز اهمیت است.