

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



معیارهای انتخاب مواد برای مخازنی که در دمای محیط به کار می روند

کامران خدایپرستی

kkhodaparasti@yahoo.com

این مقاله پیش از این در "نشریه مشائیر، شماره ۳۵، سال ۱۳۸۶" به چاپ رسیده است.

پیشگفتار

در هر شرکت بزرگ مهندسی، واحدی به نام تجهیزات ثابت وجود دارد که یکی از فعالیتهای اصلی این واحد، طراحی و مرور طراحی مخازن است. در شرکت مشائیر نیز از گذشته فعالیتهای مختلفی در این زمینه صورت گرفته است که پس از آغاز مراحل اولیه پروژه توسعه مخازن سوخت، این فعالیتها گسترش روزافزونی یافته است. از این روی و با هدف آشنایی خوانندگان گرامی و دست اندرکاران مرتبط در بخشهای طراحی، نظارت و اجرا با معیارها و چگونگی انتخاب مواد برای مخازن اتمسفری که در دمای محیط مورد استفاده قرار می گیرند، این نوشتار تهیه گردیده است. کوشش نگارنده بر این است تا با مقایسه تحلیلی استانداردهای مختلف و نیز بازگو نمودن برخی از تجارب بدست آمده در این مورد، قدمی کوچک در نشان دادن اهمیت این موضوع بردارد و لزوم بررسی علمی چنین مسئله مهمی را روشن نماید.

تاریخچه

پیشرفت معیارهای انتخاب مواد برای مخازنی که در دمای محیط به کار می روند داستان جالبی دارد. تغییر ورقهای پرچ شده به ورقهای جوشکاری شده، باعث مطرح شدن موضوع شکست ترد گردید. همزمان با این موضوع به دلیل استفاده از روش جوشکاری در صنایع کشتی سازی و تخریب کشتی های نوع **Liberty** در جنگ جهانی دوم، توجه صنایع کشتی سازی نیز به بحث شکست ترد جلب شد.

اولین کد در مورد قوانین مربوط به مخازن جوشکاری شده، **API 12C** بود که برای نخستین بار در سال ۱۹۳۵ میلادی منتشر گردید و استاندارد مرجع صنایع تا اواسط دهه ۵۰ میلادی بود. این کد اساس و پایه استانداردهای **API 650** و **BS 2654** را تشکیل داد که امروزه کدهای طراحی برای بیشتر مخازنی هستند که در دمای محیط به کار می روند. کد اروپایی که بعدها بوجود آمد از هر دو کد فوق تاثیر پذیرفته است اما می توان گفت در پیش نویس نهایی آن یعنی **prEN 14015** (pr) از واژه انگلیسی **preliminary** (پیش از نهایی) که در اکتبر سال ۲۰۰۰ میلادی منتشر شد، تاثیر **BS** بیشتر از **API** بوده است.^۱ استانداردهای دیگری نیز در طراحی اینگونه مخازن در کشورهای مختلف به کار می روند که از جمله می توان به **JIS B8501** و **DIN 4119** اشاره کرد.

بخش عمده مخازن از فولادهای کربنی و فولادهای کربنی منگنز دار ساخته می شوند بنابراین کدها تمرکز خود را روی این فولادها گذاشته اند. **API 650** که باید بخاطر داشت درباره مخازن ذخیره فرآورده های نفتی نوشته شده است، قواعدی برای طراحی، انتخاب مواد، ساخت و نصب مخازن ذخیره از جنس فولاد زنگ نزن نیز دارد که در ضمیمه **S** این کد آمده است و اندکی جلوتر به آن خواهیم پرداخت. **BS 2654** نیز اگر چه محدود به فرآورده های نفتی است اما گاهی برای ذخیره مواد دیگری نظیر آب و سایر مایعات و نوشیدنیهای مشابه که تمیزی و عدم آلودگی محصول مهم است، به کار می رود ولی جای تعجب است که قواعدی برای

مخازن از جنس فولاد زنگ نزن در این استاندارد وجود ندارد. البته این مسئله باعث نمی گردد تا شروط و قوانین این استاندارد برای چنین محدوده فعالیتی تطبیق داده نشده و استفاده نگردد.

prEN 14015 قواعد مربوط به فولادهای کربنی، کربنی منگن دار و نیز فولادهای زنگ نزن را دربر می گیرد. ابتدا قرار بود این استاندارد در دو بخش منتشر گردد بطوریکه بخش اول به مخازن فولادی بپردازد و بخش دوم مخازن ساخته شده از آلیاژهای آلومینیوم را شامل گردد اما بخش دوم به دلیل عدم علاقه عمومی به مباحث مربوطه، منتشر نگردید. اصولاً تا کنون در این زمینه از ساخت مخزن، فعالیتهای اندکی صورت گرفته است و امکان تشکیل کمیته ای با دانش و علاقه کافی برای تدوین استاندارد وجود نداشته است. تنها دستور العمل موجود در مورد طراحی مخازن ذخیره از جنس آلومینیوم آلیاژی برای کاربرد در دمای محیط در **USAS B96.1** موجودند که هم اکنون در استاندارد **ASME B96.1:1999** وجود دارند. البته راهنمایی های ارائه شده در ضمیمه **Q** استاندارد **API 620** برای دمای کاری کمتر از ۵۱- درجه سانتیگراد نیز می توانند به کار روند.

ملاحظات مربوط به شکست ترد

زمانی که **API 12C** تدوین می شد، اطلاعات بسیار اندکی در مورد پدیده شکست ترد و عوامل موثر بر آن وجود داشت. در آن زمان رشد بیش از پیش تقاضا برای مخازن بزرگتر وجود داشت اما **API 12C** در تصمیمی درست، حداکثر ضخامت ورق بدنه را به ۴۰ میلیمتر محدود کرد. این عدد تا به امروز نیز در **BS 2654** و **prEN 14015** و برای بیشتر فولادها در **API 650** حفظ شده است (در برخی موارد در **API 650** حد بالاتر تا ۴۵ میلیمتر نیز مجاز شمرده شده است). ضخامت ورق پارامتر مهمی در موضوع پیچیده جلوگیری از شکست ترد در سازه های فولادی جوشکاری شده به شمار می رود. مخازن ذخیره اولیه در ابعاد متوسط و از فولادهای کم استحکام ساخته می شدند. از سالهای اولیه دهه ۶۰ میلادی به اینسو به تدریج درخواست برای ساخت مخازن با گنجایش بیشتر رو به افزایش نهاد که این تقاضا خود به دنبال افزایش حجم جهانی حمل و ذخیره سازی فرآورده های نفتی ایجاد گردیده بود. مخازن بزرگتر نیاز به زمین و فضای بیشتری برای نصب داشتند اما از سوی دیگر بیشتر پالایشگاه ها و پایانه های نفتی در این مورد در تنگنا بودند. این روند صنایع را به این سوی سوق داد تا مخازن ذخیره کوچک آشنا و ایمن با ورقهای نازک ساخته شده از فولادهای کم استحکام را کنار بگذارند. ظهور استاندارد **BS 2654-3** که با عنوان **higher design stresses** در سال ۱۹۶۸ میلادی منتشر شد، نشانه ای از این تغییر بود.

برای ساخت مخازن بزرگتر، از فولادهای مستحکم تر و ضخیم تر استفاده شد اما بروز تخریبهای ناگهانی در بعضی از این مخازن، نشان دهنده آگاهی و دانش ناکافی نسبت به پدیده شکست ترد بود که می بایست بررسی می شد. در انگلستان، بررسی های مربوط به موضوع شکست ترد شامل آزمون ورق عریض ولز^۲، آزمون وزنه افتادنی پلینی^۳، مقدمات آزمون **CTOD**^۴ و مطالعات مرتبط با این آزمونها می شد و در ضمن به آزمون مناسب و کم هزینه ضربه نمونه شیاردار شارپی (با شیار **V**) نیز پرداخته شد^۵. بسیاری از این فعالیتهای توسط شرکتهایی نظیر **ICI**, **SHELL** و **BP** به همراه انجمن جوشکاری انگلستان مورد حمایت قرار گرفت. متخصصین این شرکتها با تشکیل یک کمیته فنی، وظیفه تدوین مجدد الزاماتی را به منظور جلوگیری از شکست ترد به عهده گرفتند و توصیه های خود را به موسسه استاندارد انگلستان^۶ ارائه نمودند. این فعالیت به الزاماتی منتهی شد که در حال حاضر در **BS 2654** موجود است و در آن دمای آزمون ضربه نمونه شیاردار شارپی با دمای طراحی تفاوت دارد. این موضوع باعث ایجاد تفاوت اساسی در روند انتخاب مواد بین **BS** و **API** می شود.

دمای طراحی فلز^۷

در این قسمت می خواهیم نحوه برخورد سه کد **API**, **BS** و **prEN** را با موضوع حداقل دمای طراحی فلز و حداکثر دمای طراحی فلز بررسی کنیم. نخست به حداقل دمای طراحی فلز می پردازیم. باید یادآور شد که هر سه کد طراحی، ذخیره سازی فرآورده هایی که باید پایین تر از دمای محیط نگهداری شوند را از دامنه کاربرد خود مستثنی نموده اند. بسیاری از مخازن عایق می شوند و فرآورده هایی را در دمایی بالاتر از دمای محیط نگهداری می کنند. بنابراین در دمای مکان نصب، تحت تنش کامل قرار نمی گیرند.

با در نظر گرفتن اینرسی حرارتی مخزن و محتویاتش، دمای طراحی فلز بر اساس حداقل دمای مطلق آماری مورد انتظار در سایت انتخاب نمی شود بلکه بر اساس شرایط حداقل متوسط دماهای روزانه مورد انتظار و با لحاظ کردن مقادیری برای اینرسی حرارتی فرآورده ذخیره شده، انتخاب می گردد. مخزن خالی به سرعت به حداقل واقعی دماها عکس العمل نشان می دهد اما در این حالت مقدار تنش نا چیز است و به اندازه ای نیست که شکست ترد احتمالی را ایجاد کند.

کدهای مختلف حداقل دماهای طراحی فلز را به شرح زیر تعریف می کنند:

API 650 - دمای طراحی فلز باید ۸ درجه سانتیگراد بالاتر از کمترین دمای متوسط روزانه محل نصب مخزن در نظر گرفته شود.
BS 2654 - دمای طراحی فلز باید توسط خریدار^۸ و براساس گزارشهای رسمی هواشناسی ۳۰ سال گذشته مشخص شود. دمای طراحی فلز باید پایین ترین دمای متوسط روزانه (نصف مجموع حداکثر دمای روزانه بعلاوه حداقل دمای روزانه) بعلاوه ۱۰ درجه سانتیگراد یا حداقل دمای محتویات مخزن باشد. برای مخازن ذخیره که در انگلستان ساخته می شوند و دمای بدنه بوسیله شرایط محیطی کنترل می گردد، حداقل دمای طراحی فلز نباید از صفر درجه سانتیگراد تجاوز نماید. برای مخازن جهت استفاده در خارج از انگلستان و جایی که گزارش هواشناسی در طولانی مدت وجود ندارد، دمای طراحی فلز باید کمتر از حداقل دمای متوسط روزانه بعلاوه ۵ درجه سانتیگراد و یا حداقل دمای محتویات مخزن باشد. در تعیین حداقل دمای طراحی نباید تاثیرات مثبت مخزن عایق شده و یا مخزن مجهز به سیستم گرمایشی را در نظر گرفت.

prEN 14015 - حداقل دمای طراحی فلز باید حداقل دمای محتویات مخزن یا دماهای داده شده در جدول ۱ باشد. حداقل دمای طراحی فلز نباید کمتر از ۴۰- درجه سانتیگراد باشد.

Lowest one day mean ambient temperature (LODMAT)	Minimum design metal temperature	
	10 years data	30 years data
Warmer than or equal to -10 °C	LODMAT +5 °C	LODMAT -10 °C
Warmer than or equal to -25 °C and below -10 °C	LODMAT	LODMAT +5 °C
Below -25 °C	LODMAT -5 °C	LODMAT
NOTE 1 LODMAT is the lowest recorded average temperature based over any 24 hour period. The average temperature is half (maximum temperature plus minimum temperature).		
NOTE 2 The minimum design metal temperature for the tank shall not take into account the beneficial effect of heating or insulation for design metal temperatures warmer than or equal to 0 °C.		
NOTE 3 For minimum design metal temperatures below 0 °C, then the beneficial effect of insulation or heating shall be agreed but the design metal temperature should not be warmer than 0 °C.		

جدول ۱

در این قسمت به حداکثر دماهای طراحی می پردازیم. کدها اجازه می دهند تا حداکثر دماهای طراحی به شرح زیر باشند:

API 650 - قواعد انتخاب مواد در این کد برای دماهای کاری تا ۹۰ درجه سانتیگراد بدون هیچ گونه تجدید نظر یا مناسب سازی قابل کاربرد است. ضمیمه **M** جزئیات قواعد مرتبط با انتخاب مواد و طراحی مخزن را در دماهای بالا تا حداکثر ۲۶۰ درجه سانتیگراد ارائه می دهد.

BS 2654 - در دماهای کاری بیش از ۱۵۰ درجه سانتیگراد، باید به تاثیر دما بر استحکام تسلیم (مربوط به فولاد انتخاب شده برای بدنه مخزن) توجه نمود.

prEN 14015 - حداکثر دمای طراحی فلز نباید از ۳۰۰ درجه سانتیگراد تجاوز کند. برای دمای طراحی فلز بیش از ۱۰۰ درجه سانتیگراد، تنش تسلیم دمای بالای فولاد باید توسط فروشنده ورق گواهی گردد. به عنوان انتخاب دیگر باید از فولادهایی که در جدول ۲ آمده اند، استفاده کرد.

Standard	Designation	Steel type as given in Figure 6.1.1	Maximum thickness ^a mm
EN 10028-2 1993	P235 GH	Type II	30
	P265 GH	Type II	30
	P295 GH	Type VI	40
	P355 GH	Type VI	40
EN 10028-3 1993	P275 N	Type IV	40
	P275 NH	Type IV	40
	P275 NL1	Type IV	40
	P275 NL2	Type IV	40
	P355 N	Type VIII	40
	P355 NH	Type VIII	40
	P355 NL1	Type IX	40
	P355 NL2	Type IX	40

^a The maximum thickness shall be the lower of that specified in this table and that derived from Figure 6.1.1.

NOTE: CEV from ladle analysis ≤ 0.42 for plates thicker than 20 mm.

جدول ۲

برای ورقهای کف، سقف و ورقهای بدنه با ضخامت نامی (افزایش ضخامت طراحی به میزان ۲۰٪) لزومی ندارد تا مقادیر تنش تسلیم در دمای بالا توسط فروشنده گواهی گردد. وقتی حداکثر دمای طراحی فلز از ۲۵۰ درجه سانتیگراد بیشتر می شود، باید از فولادهایی استفاده شود که پدیده پیر شدن^۹ بر آنها تاثیری ندارد. روش اثبات این موضوع با توافق بین پیمانکار مخزن و فروشنده فولاد تعیین می گردد.

الزامات کدهای طراحی مخزن

در تمام کدهای طراحی مخزن قواعد کاملاً مشخصی برای انتخاب مواد وجود دارد. برخی از این کدها بویژه **API 650** در این باره اطلاعات و الزامات تکمیلی فراوانی ارائه کرده اند که باید توسط کسانی که قصد استفاده از این قواعد برای شرایط خاص را دارند، دقیقاً مطالعه شوند. آنچه در ادامه می آید فقط به برخی الزامات و نکات مهم موجود در آنها اشاره می کند. باید به خاطر داشت کاری که باید انجام شود بسیار بیشتر از صرفاً انتخاب فولاد مناسب برای قسمتهای مختلف مخزن است. جوشکاری در سایت غالباً با شرایط ایده آل فاصله زیادی دارد. مسائلی نظیر جوشکاری در ارتفاع و در مکانهای بدون حفاظ یا جوشکاری در شرایط جوی نامناسب تنها گوشه ای از مشکلاتی هستند که در عمل ظاهر می شوند. قابلیت جوشکاری فلز، فرایندهای جوشکاری، نیاز به پیش گرم کردن و تاثیر آزمون هیدرواستاتیک، مواردی هستند که باید به آنها توجه نمود.

در اینجا با اندکی انحراف از بحث اصلی، جا دارد اشاره گردد که **API 650** هنوز هم به دلیل کمبود آب در برخی مناطق، اجازه می دهد آزمایش هیدرواستاتیک با ارتفاع کامل انجام نشود. البته لازم به ذکر است که انجام ندادن همین آزمون باعث انهدام چند مخزن گردیده است. حوادثی که در آنها صرفه جویی در هزینه به دلیل عدم انجام آزمون هیدرواستاتیک در برابر سایر هزینه های پیمانکار و کارفرما ناچیز بوده است.

با توجه به مزایای آزمون هیدرواستاتیک در اطمینان یافتن از عملکرد صحیح سازه مخزن، اکیدا توصیه می گردد که هیچ گاه اجازه عدم انجام آن داده نشود(این مورد در دستورالعمل های شرکتهای نفتی داخلی نیز رعایت شده است) اما اگر در شرایط خاص پروژه یا به عنوان مثال ساخت مخزن در بیابانی که در آن آب نایاب است و از طرفی در آنجا تغییرات دما به گونه ای است که احتمال شکست ترد وجود ندارد(باید توجه داشت که همه بیابانها داغ نیستند) توصیه می گردد که با اعلام عدم انجام آزمون هیدرواستاتیک از سوی کارفرما از همان ابتدای طراحی، انتخاب مواد توسط اشخاص متخصص و خبره انجام شود تا عدم انجام آزمایش هیدرواستاتیک کامل به نحوی جبران گردد.

زیرنویس ها:

- ۱- این پیش نویس هم اکنون به صورت استاندارد درآمده است و با شماره **EN 14015** در سال ۲۰۰۴ میلادی منتشر گردیده است. به دلیل دسترسی نداشتن نگارنده به این استاندارد، اجباراً" به مفاد **prEN 14015-1:2000** پرداخته شده است.
- ۲- این آزمون در اوایل دهه ۶۰ میلادی توسط **Alan Wels** در انجمن تحقیقات جوشکاری انگلستان ابداع شد. برای دانستن اطلاعات بیشتر به **www.twi.co.uk** مراجعه نمایید.
- ۳- پس از غرق شدن و تخریب تعداد نسبتاً زیادی از کشتیهای نفتکش نوع **Liberty**، پژوهشهای گسترده ای در آزمایشگاه های نیروی دریایی آمریکا (**NRL**) انجام شد که در نهایت **W.S. Pellini** آزمونی را برای پیشگیری از این حوادث ابداع کرد. این آزمون توسط **ASTM** در سال ۱۹۶۳ میلادی تحت شماره **ASTM E 208** استاندارد گردید.
- ۴- **CTOD** کوتاه شده **crack tip opening displacement** (جابجایی نوک ترک) است که مطابق استانداردهای **BS 3518** و **ASTM E 1290** قابل انجام است.
- ۵- استانداردهای انجام این آزمون **ASTM E 23** و **BS 131-2** هستند.
- ۶- موسسه استاندارد انگلستان با **BSI** شناخته می شود.
- ۷- این معادل برای **design metal temperature** در نظر گرفته شده است که البته چندان رسا نیست.
- ۸- معادل واژه **purchaser**
- ۹- معادل واژه **ageing**

مراجع

- 1- Bob Long and Bob Garner, Guide to Storage Tanks and Equipment, Professional Engineering Publishing, 2004
- 2- Internet Document, www.twi.co.uk
- 3- API Standard 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, Tenth Edition, Nov.1998
- 4- BS 2654, Specification for Manufacture of Vertical Steel Welded Non-refrigerated Storage Tanks with Butt-welded Shells for the Petroleum Industry, 1989
- 5- prEN 14015-1, Specification for the Design and Manufacture of Site Built, Vertical, Cylindrical, Flat-bottomed, Above Ground, Welded, Steel Tanks for the Storage of Liquids at Ambient Temperature and Above, Part 1- Steel Tanks, Oct. 2000