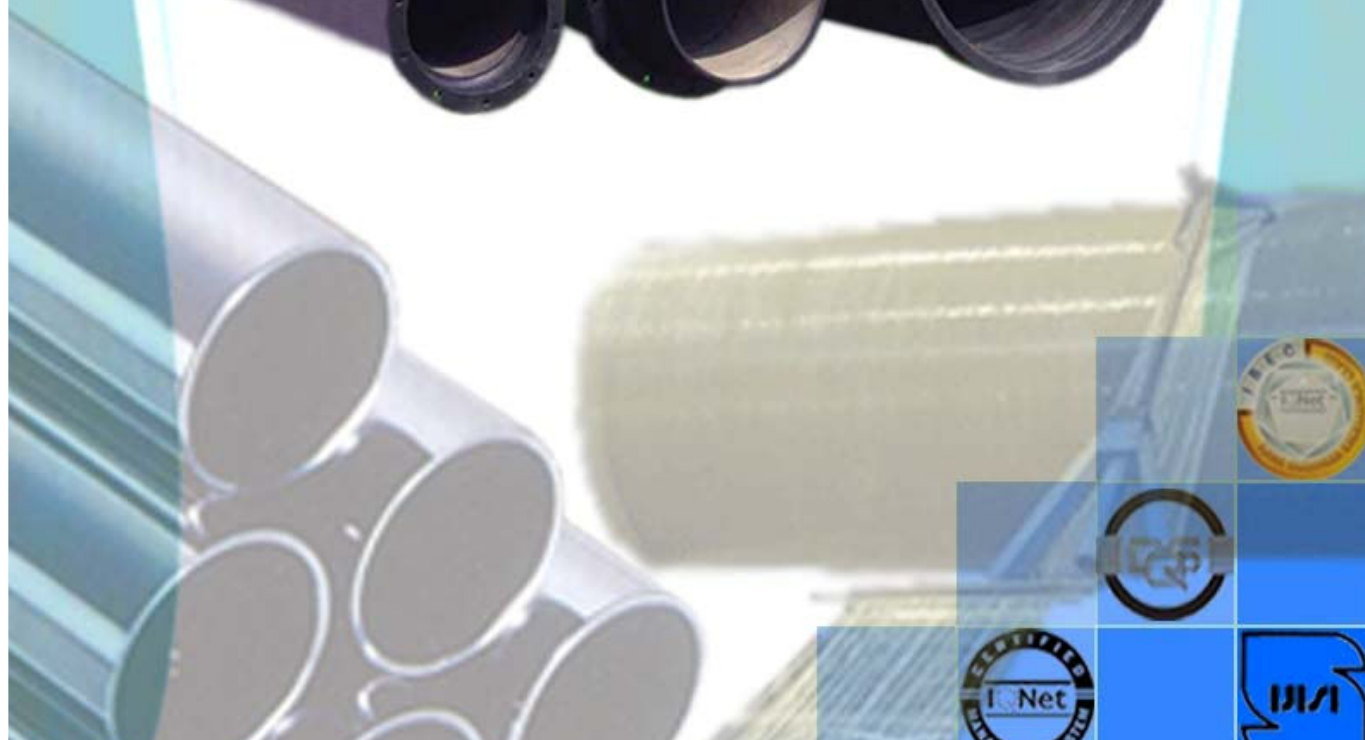




شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران (سهامی عام)

مقایسه فنی لوله‌های چدنی، کامپوزیتی و فولادی

(گزیده گزارش‌ها)



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه:

بیش از دوسوم سطح کره زمین را آب فرا گرفته است. بر اساس برآوردهای موجود تنها ۲/۵ درصد از منابع آبی جهان، آب شیرین است و در مجموع کمتر از یک درصد از کل منابع آب جهان در اختیار جوامع بشری قرار دارد و مابقی آبهای شیرین به صورت یخچالهای قطبی و یا منابع آبی بسیار عمیق هستند که دستیابی به آنها اقتصادی نیست. در حال حاضر سرانه آبی برای مردم جهان رو به کاهش است و از طرفی آلاینده ها اعم از پسابهای صنعتی، زه آبهای کشاورزی و فاضلابهای شهری و روستایی، منابع آبی را آلوده و از کیفیت ساقط می کند. متوسط بارندگی در ایران سالانه حدود ۲۵۰ میلی متر بوده و افزایش جمعیت در ۴۰ سال گذشته سبب کاهش سرانه منابع آبی تجدیدپذیر کشور از ۷ هزار مترمکعب به ۲ هزار مترمکعب در سالهای اخیر گردیده است. علیرغم معضلات دهه گذشته در بخش آب کشور، اقدامات گسترده و تحولات چشمگیری در این خصوص صورت پذیرفته است.

سالانه حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب منابع آب تجدید پذیر در اختیار کشور قرار دارد که با اجرای طرحها و تأسیسات تنظیم ذخیره سازی و بهره برداری از منابع آب حدود ۹۵ میلیارد مترمکعب از منابع آبی کشور قابل استحصال شده است. همگام با تحولات صورت گرفته در استحصال منابع آبی کشور، انتقال و توزیع آب اهمیت بیشتری می یابد و یکی از نکات مهم از این منظر، مطالعه دقیق در انتخاب لوله های مورد استفاده است. در حال حاضر در طرح های آبرسانی کشور از انواع مختلف لوله ها با توجه به شرایط مختلف محیطی و اقتصادی استفاده می شود. لوله های چدنی و فولادی که از زمانهای گذشته در خطوط انتقال و شبکه های توزیع مورد استفاده قرار می گرفته اند و لوله های مختلف کامپوزیتی و پلاستیکی (GRP, PE, PVC,...) که به عنوان نسل جدیدتری از لوله ها معرفی شده و در حال حاضر نیز در برخی پروژه ها مورد استفاده قرار می گیرند. کسب شناخت صحیح از انواع لوله ها و در نظر گرفتن کلیه مشخصات فنی و عملکردی و توجه به میزان پایداری و دوام واقعی آنها، می تواند نقش ارزنده ای در حفظ منافع و سرمایه های ملی کشور عزیزمان ایفا کند.

شرکت لوله و ماشین سازی ایران

آذرماه ۱۳۸۸

بخش اول:

مقایسه لوله‌های چدنی و کامپوزیتی (GRP)

۱-۱- مقایسه فنی لوله‌های چدن و GRP: برای مقایسه لوله های چدن و فایبر گلاس مهمترین ویژگیهای آنها به طور خلاصه بررسی می گردند.

استحکام کششی: این مشخصه به عنوان مهمترین ویژگی در لوله ها قابل بررسی است. استحکام کششی که میزان مقاومت لوله در مقابل نیروهای وارد شده است در لوله چدن ۲/۶ برابر لوله های GRP است. با توجه به ویژگی کامپوزیتی مواد G.R.P که نوعی عدم یکنواختی و هموزن بودن را در پی دارد، استحکام کششی نهائی در جهت محوری (axial) کمتر از نصف همین استحکام در جهت شعاعی (hoop) لوله می باشد. این امر باعث می گردد که تحمل بارهای خارجی و ممانهای ناشی از surge و جریان سیال به مراتب کمتر از لوله های هموزن چدنی باشد. استحکام کششی لوله های چدنی در حدود ۶۰۰۰۰ psi و برای لوله های GRP در حدود ۲۳۰۰۰ psi است.

مقاومت در برابر اشعه UV: در این مورد مقاومت لوله های چدن بسیار بیشتر از لوله های GRP است. در لوله های GRP برای بهبود مقاومت لازم است تا از رزین خالص به عنوان روکش یا ژل کت بر روی لایه خارجی استفاده شود و این موضوع در شرایط خاص که لوله مدت زیادی در معرض اشعه آفتاب، خاک بسیار متراکم و یا محیط بسیار خورنده قرار دارد ضروری می باشد. به طور کلی این لوله ها در معرض نور آفتاب دچار رنگ پریدگی تدریجی سطح خارجی و همچنین از دست دادن استحکام و مقاومت در برابر خوردگی می شوند. در صورتی که به هر دلیلی روکش محافظ حذف یا ضعیف شود، لوله GRP نسبت به اشعه آفتاب بسیار آسیب پذیر می شود و استفاده از آن توصیه نمی گردد.

وزن: یکی از نقاط قوت لوله های فایبرگلاس و پلاستیکی نسبت به لوله های چدنی وزن پایین تر این لوله هاست. وزن لوله های چدنی حدود ۵ برابر لوله های GRP است و شاید از این حیث حمل و نقل مشکل تری داشته باشند. اما همین پایین بودن وزن در برخی شرایط سبب بروز مشکل و تحمیل هزینه اضافی می گردد. به عنوان مثال در مناطقی که سطح آبهای زیرزمینی بالا می باشد، سبب بالا آمدن لوله ها و از آبنند خارج شدن اتصالات می گردد و لازم است در این موارد اقدام به زه کشی کانال و فشرده سازی بستر نمود که خود مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است.

همچنین پائین بودن تنش کششی مجاز در لوله های فایبرگلاس به همراه پائین بودن وزن این لوله ها در هنگام وقوع بلایای طبیعی همچون زلزله که رانش خاک را در پی دارد، می تواند آثار مخربی ایجاد نماید.

ضریب انبساط حرارتی و دمای کارکرد: لوله های GRP نسبت به تغییرات دمایی بسیار حساس ترند. در واقع ضریب انبساط حرارتی آنها ۱/۵ تا ۲ برابر لوله های فلزی است. جهت کاهش این محدودیت لازم است تا نخست تدابیر خاصی در طراحی خطوط GRP در نظر گرفته شود و از حلقه های قابل انبساط و مهارهای اتصالات برای کنترل طول لوله و از آبنند خارج نشدن اتصالات استفاده کرد. همچنین مدفون سازی لوله بلافاصله پس از اتصال انجام پذیرد. چرا که در غیر اینصورت انبساط و انقباض حرارتی لوله می تواند باعث ایجاد حرکت در لوله گردیده و ممکن است چندین کاهش طول لوله، در یکی از کویلینگها (که از لحاظ اتصال کمتر از دیگر

کوپلینگها استحکام دارد) جمع شده و باعث درآمدن لوله از آن شود و این امر سبب ایجاد اشکال اساسی و افزایش هزینه در زمان نصب گردد.

این موضوع در دماهای کارکرد بالای ۴۰ درجه سانتیگراد اهمیت بیشتری می‌یابد بطوریکه سازندگان آن از مشتریان می‌خواهند که در این موارد حتما با آنها مشورت نمایند. عموماً دمای مجاز استفاده از این لوله‌ها (که در آنها از رزین با ترکیب متداول و استاندارد استفاده شده است) حداکثر ۳۵ درجه سانتیگراد عنوان می‌شود و در دماهای بالاتر لازم است رده فشاری یک مرتبه بالاتر در نظر گرفته شود. همچنین لوله‌های GRP مانند سایر مواد پلاستیکی قابل اشتعالند و نمی‌توان از آنها در مکانهایی که مجاور آتش، گرمای شدید، جرقه‌های جوشکاری و شعله هوا برش هستند، استفاده کرد. شایان ذکر است که لوله‌های GRP تولید شده به روش رشته پیچی نسبت به دما حساسیت بالاتری دارند و در دماهای بالاتر از بقیه انواع خود، آسیب پذیرترند.

-مقاومت خوردگی: در حالت مطلوب، مقاومت به خوردگی لوله‌های GRP بهتر از چدن است، اما این در صورتی است که در تولید این لوله از رزین با کیفیت مطلوب، ترکیب مناسب و لایه محافظ استفاده شود که با توجه به محدودیت‌های واردات و جنبه‌های اقتصادی رعایت نمی‌گردد. امروزه در لوله‌های چدنی نیز انواع پوشش‌های درونی و بیرونی استفاده می‌شود که تا حد مطلوبی مقاومت به خوردگی را افزایش داده است. همچنین در محیط‌های خوردنده‌تر می‌توان از پوشش‌های مضاعف که به شکل غلاف روی لوله را می‌پوشانند (Polyethylene sleeving) استفاده کرد.

-ضریب زبری (هیزن ویلامز): با توجه به مواد سازنده لوله‌های GRP، این لوله‌ها ضریب زبری مناسب تری دارند. در لوله‌های چدنی نیز وجود لایه سیمان داخلی تا حد زیادی سبب بهبود ضریب زبری شده است و در صورت استفاده از روش سیمان زنی گریز از مرکز و دوغاب سیمان مناسب، ضریب زبری با لوله‌های فایبرگلاس قابل مقایسه می‌شود.

-حساسیت در حمل و نقل: از این منظر لوله‌های GRP آسیب پذیرتر بوده و بر اثر ضربات و برخوردها ممکن است دچار ترک و شکستگی شوند.

-قابلیت آسیب‌پذیری و تخریب از عوامل مختلف محیطی: دسترسی راحت انسانها به لوله کارگذاشته در مناطقی که با کمبود جدی آب مواجه هستند، می‌تواند علاوه بر تحمیل هزینه‌های گزاف، آسیب‌های جدی را بر این خطوط وارد سازد و عملکرد خطوط آبرسانی را در شهرهای مقصد (به‌علت لزوم ترمیم مداوم این لوله‌ها بر اثر تخریب انسانی) مختل سازد. از سوئی پیشروی ریشه‌های گیاهان در اعماق زمین و نفوذ آنها در لوله‌های GRP، مشکل اساسی استفاده از این لوله‌هاست. همچنین خطوط لوله GRP نسبت به بار ترافیکی و متحرک بالای آن بسیار حساس و آسیب‌پذیر است و معمولاً در خیابانهای شهری و محل‌هایی که امکان تردد وسائط نقلیه وجود دارد، توصیه نمی‌شود. میزان این آسیب‌پذیری با نوع لوله و کیفیت آماده‌سازی ترانشه خط ارتباط مستقیم دارد. همه این‌ها مواردی هستند که در خطوط لوله‌های چدنی حل شده‌اند و نیازی به تأمل و چاره‌جویی ندارند.

-نصب و مونتاژ: به دلیل لزوم رعایت مسائل خاص در آماده‌سازی بستر و ترانشه لوله‌های GRP و

حساسیت‌های ویژه در مونتاژ اتصالات آن، نصب لوله‌های GRP نسبت به چدن دارای محدودیت زیادی است. کارآئی مناسب لوله‌های GRP تنها در صورت نصب مناسب این لوله حاصل می‌شود. ذکر این نکته از اهمیت فراوانی برخوردار است که لوله‌های GRP آنگونه طراحی و ساخته شده که بخشی از استحکام لازم را از خاک اطراف خود کسب نماید، متخصصین امر بصورت تجربی دریافته‌اند که نصب موفق این نوع لوله‌ها و ایجاد بستر مناسب نیازمند تمهیدات ویژه‌ای است. این نکات در بروشورها و کاتالوگهای شرکت‌های تولیدکننده نیز مورد تأکید قرار گرفته است. اهم این نکات به شرح ذیل می‌باشد:

- انتخاب مصالح خاکی مناسب جهت مدفون سازی لوله و متراکم سازی آن (خاک با دانه‌بندی مشخص و تعریف شده).

- عاری بودن ترانشه از تخته سنگ، کلوخه‌های خاکی بزرگ، نخاله، ضایعات و مواد آلی.

- استفاده از مصالح جانشین (backfill) در جائیکه نتوان از خاکهای بومی استفاده کرد.

شش ردیف خاک و مصالح جانشین در این موارد توصیه شده‌اند که از لحاظ مقدار پلاستیسیته و ریزدانه‌گی طبقه‌بندی خاصی دارند و قبل از استفاده نیاز به بررسی زمین شناسی محل پروژه می‌باشد. انجام این کار و تامین این مصالح در کارگاه نصب و نحوه استفاده از آنها از محدودیتهای جدی نصب لوله‌های GRP است. همچنین بدلیل نیاز به متراکم سازی خاک اطراف لوله، ویژگی ترانشه و دقت به جزئیات آن از اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجمله عرض ترانشه است که بایستی $1/75$ تا 2 برابر قطر اسمی لوله باشد تا امکان تقویت دیوار ترانشه و شمع زنی در برخی نقاط میسر شود. این مطلب بویژه در لوله با سایز بزرگ مشهودتر و پرهزینه‌تر است. سپرکوبی، تثبیت خاک توسط سیمان، ملسح کردن خاک با استفاده از الیاف شیشه در برخی نقاط از دیگر موارد مورد توجه در زمینه آماده سازی ترانشه می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱، لزوم تقویت دیواره‌ها و حفر ترانشه عریض در نصب لوله‌های GRP

- انتخاب ضخامت و تراکم پوشش لازم، همچنین درصد رطوبت خاک روی لوله نیز بسیار حساس است، چرا که در صورت کم بودن، نیروهای بار ترافیکی را مستقیم به لوله انتقال می‌دهد و در صورت زیاد بودن و یا تراکم بیش از اندازه، سبب فرورفتگی سطح بالای لوله و وارد نمودن آسیب جدی بدان می‌گردد.

- عدم استفاده از میله و وسائل نوک تیز در هنگام متراکم ساختن خاک جهت جلوگیری از آسیب بدنه لوله.

- **سفتی (stiffness)**: مدول الاستیسیته خاصیتی از ماده است که با سفتی یا چقرمگی ارتباط مستقیم دارد. در مورد لوله های چدن نشکن، آزمایش تعیین استحکام کششی، تکیه بر مشخصه های اصلی مکانیکی نظیر مدول الاستیسیته، حد تناسب و استحکام تسلیم دارد. این تناسب بصورت کامل در مواد پلاستیکی و فایبرگلاس برقرار نمی‌باشد. ارتباط بین تنش و تغییر بعد نسبی بمقدار زیادی تحت تاثیر دوره بارگذاری، درجه حرارت و شرایط دیگر محیطی است.

چقرمگی رینگ لوله های چدنی نشکن قطر کم در کلاس فشاری 350 psi چندین برابر سفتی لوله های GRP می‌باشد. بنابر این بدیهی است که سختی بدست آمده خاک اطراف لوله، شرایط بستر لوله و نظارت حین نصب برای لوله های GRP بسیار حساستر و بحرانی تر است.

۱-۲- تحقیقات میدانی:

در این بخش، خلاصه نتایج مصاحبه‌های صورت گرفته با برخی از مسئولین و مشاوران صنعت آبرسانی در مورد مشکلات استفاده از لوله‌های GRP در طرح‌های انتقال آب و همچنین نتیجه آنالیز ترکیب یک نمونه لوله GRP تولید داخل کشور آورده شده است.

۱-۲-۱- بازخورهای دریافتی از خطوطی که در آن لوله GRP استفاده شده است:

- امکان ایجاد انشعاب‌های غیر مجاز در طول مسیر خط انتقال و بروز مشکلات مکرر برای استفاده‌کنندگان نهایی در شهرها به دلیل لزوم انجام عملیات ترمیم خط.

- کیفیت متغیر لوله‌های GRP و شسته شدن رزین داخل آن که علاوه بر تحمیل هزینه، مخاطرات بهداشتی و افت کیفیت آب شرب را به دنبال دارد. این مورد در یکی از خطوط آبرسانی در استان سیستان و بلوچستان اتفاق افتاده و متأسفانه به دلیل نبود مرجع ذیصلاح جهت پیگیری دقیق، تنها با تعویض قسمتی از خط توسط شرکت تولید کننده لوله خاتمه یافته است. مشابه این امر در بندر لنگه نیز حادث شده است. عدم سهولت در تست ترکیب اولیه محصولات GRP باعث می‌شود که تغییر در ترکیب مواد اولیه این لوله‌ها و در نتیجه تغییر خصوصیات نهایی آن به راحتی قابل شناسایی نباشد. لازم به ذکر است قیمت انواع مختلف رزینها و الیاف شیشه مصرفی متفاوت بوده و در صورت استفاده از رزین نامناسب یا الیاف نامرغوب (الیاف با طول کوتاه) که قیمت پایین تری دارد یا درصد ترکیب نامناسب مواد اولیه، افت کیفیت لوله و خواص مورد انتظار آن به شدت محسوس خواهد بود.

- مشکل تأمین، ضعف اتصالات GRP، مسائل مختلف مونتاژ و آب‌بند نکردن، از مواردی است که مجریان خطوط GRP بصورت مکرر با آن دست به گریبانند. در پروژه آبرسانی بندر خمیر در جنوب کشور که طی سال ۸۶ اجرا شد، مشکلات فراوان اتصالات سبب شد تا حین نصب، کلیه اتصالات GRP کنار گذاشته و به جای

آن از اتصالات فلزی استفاده شود. در قسمتهایی از مسیر که سطح آبهای زیرزمینی بالا بود و همچنین در انتهای مسیر که در داخل شهر قرار می‌گرفت، به جای لوله GRP از لوله‌های فلزی استفاده شد. در حین اجرای این پروژه ابتدا زمان زیادی صرف شد تا برخی از اتصالات GRP از جمله اتصال ۷۰۰ به ۱۵۰ میلیمتر آماده و تولید گردد، اما چون این امر میسر نشد و با توجه به مشکلات دیگر اتصالات موجود، اتصالات فلزی ترجیح داده شد. اشکالات مربوط به اتصالات GRP از مواردی است که اکثر مصاحبه‌شوندگان به آن اشاره کردند.

- در برخی از خطوط GRP حین آبگیری اول، حرکت شن و ماسه موجود در لوله‌ها و همچنین فشار بار مرده بستر، سبب ایجاد ترک و شکستگی در قسمتهایی از مسیر شده، این اشکالات از خطوط انتقال آب به استان‌های بوشهر و هرمزگان گزارش شده است.

- با توجه به اینکه تولید همه انواع اتصالات GRP از قبل برای کارخانه مقدور نمی‌باشد و اکثر مواقع لازم است بر حسب شرایط خط ابعاد و زوایای اتصالات تغییر کند، تحویل به موقع اتصالات عموماً با مشکل مواجه است و سبب ایجاد تأخیر در اجرای پروژه می‌گردد. این درحالی است که به دلیل سرعت بالای تولید لوله‌های GRP، زمان تحویل لوله‌ها مناسب و در حدود یکماه می‌باشد.

- همان‌گونه که پیشتر نیز اشاره شد، به دلیل جنس خاص فایبرگلاس، امکان نفوذ ریشه‌های گیاهان در این لوله‌ها وجود دارد. حتی در برخی مکان‌ها، از فواصل دور که تصور آن نمی‌رود، ریشه‌های درختان در اعماق زمین پیش‌روی کرده و به لوله‌ها آسیب می‌رسانند.

۱-۲-۲- آنالیز ترکیب یک نمونه لوله GRP تولید داخل کشور:

آزمایش تعیین درصد میزان اجزاء تشکیل دهنده لوله و بررسی امکان تفکیک آنها مطابق استاندارد ASTM D2584 (Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins) انجام گرفت. بر این اساس، نمونه‌ای از لوله تهیه و به دقت توزین گردید. سپس در دمای ۵۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۶ ساعت حرارت داده شده و ماده باقیمانده نیز توزین شد. اختلاف وزن ایجاد شده، بیانگر میزان رزین خارج شده از نمونه می‌باشد. پس از حرارت دادن نمونه، الیاف و ماسه باقیمانده به صورت کاملاً تفکیک شده و مجزا در ظرف باقی مانده که پس از انجام آزمون مقادیر ماسه، الیاف شیشه و رزین ثبت گردید (تصویر ۲).



تصویر ۲. الیاف و ماسه باقی مانده از آزمایش تعیین ترکیب نمونه GRP

جهت بررسی حداقل مقدار قابل قبول برای اجزاء به دست آمده و مقایسه آن با مشخصات لوله‌های دیگر و یا استاندارد مرجع، مشخصات اجزاء تشکیل دهنده نمونه استاندارد لوله GRP که توسط شرکت Flowtite برای انجام آزمون مکانیکی در گزارش آزمایشات این شرکت اعلام شده بود نیز تهیه شد.

(Flowtite Test Report ,Report Number : T-91-101-R)

درصد اجزاء تشکیل دهنده نمونه لوله تولید داخل بر اساس آزمون صورت گرفته و ترکیب لوله Flowtite بر اساس گزارش آزمایشات این شرکت در جدول ۱ آورده شده است. البته لازم به ذکر است که نمونه شرکت Flowtite برای انجام آزمایش و بررسی عملکرد در محیط‌هایی با PH های مختلف در نظر گرفته شده و ترکیب نمونه با حداقل کیفیت تهیه شده است. به همین علت میزان ماسه موجود در آن حداکثر است.

جدول ۱: ترکیب اجزاء نمونه لوله GRP تولید داخل کشور و نمونه Flowtite

مشخصات	درصد وزنی رزین	درصد وزنی الیاف	درصد وزنی ماسه
نمونه لوله GRP تولید داخل کشور	۵۸٫۵٪	۸٫۵٪	۳۳٪
نمونه Flowtite	۳۴٪	۱۴٪	۵۲٪

لازم به ذکر است درصد وزنی الیاف شیشه در ترکیب لوله شرکت Flowtite شامل ۶ درصد الیاف پیوسته و ۸ درصد الیاف خردشده است که امکان تفکیک این دو نوع الیاف در نمونه لوله داخلی وجود نداشت. طبق جدول ۱، درصد وزنی الیاف لوله تولید داخل کشور نسبت به نمونه شرکت Flowtite بسیار کمتر بوده و نسبت مصرف رزین بسیار بیشتر از این نمونه می باشد. در مورد نوع رزین مصرفی در نمونه تولید داخل و ترکیب اعلامی از سوی Flowtite نمی توان اظهار نظر قطعی نمود اما به نظر می رسد علت اصلی این تفاوت ارزیابی و در دسترس بودن رزین مصرفی و به عکس قیمت بالا و دشواری تأمین الیاف شیشه در ایران باشد. همانطور که پیشتر اشاره شد، تغییر درصد ترکیب مواد اولیه یا نوع آن ها به شدت بر کیفیت محصول نهایی مؤثر است.

۱-۳- برخی از عیوب رایج در لوله های GRP

در این قسمت به عیوبی که بیشتر در لوله های GRP بروز می کند اشاره می شود. عیوبی که در لوله های GRP ایجاد می شود ممکن است به دلیل عدم انتخاب صحیح مواد اولیه، کیفیت نامناسب و یا متغیر مواد اولیه، شرایط مربوط به تشکیل شبکه بین الیاف و رزین، نسبت اختلاط الیاف و رزین، نوع پرکننده مصرفی و موارد مشابه باشد که در نهایت همه موارد ذکر شده به ضعف شبکه کامپوزیت منجر می شود. نمونه هایی از عیب های بوجود آمده در لوله های GRP در ذیل آورده شده است.

۱-۳-۱- لایه لایه شدن (Delimitation) :

این عیب در واقع جدا شدن لایه های الیاف از لوله GRP است که ممکن است به صورت لکه هایی که کمی از سطح لوله جدا شده و رنگ آنها با سطح لوله تفاوت دارد، دیده شوند. اگر جدایش لایه ها به صورت خطی صورت گیرد ممکن است به صورت لکه هایی تغییر رنگ یافته نسبت به سطح لوله ظاهر شوند ولی ذاتاً این عیب شبیه تاول (blister) در طول خط است. این عیب ممکن است تحت تاثیر محیط های شیمیایی، تنش های مکانیکی، چسبندگی ضعیف لایه ها به دلیل فرآیند ساخت نامناسب یا ترکیب نامناسب مواد اولیه ایجاد شود.



تصویر ۳

۱-۳-۲- تغییر رنگ (Discoloration) :

تغییر رنگ یا رنگ پریدگی، یکی دیگر از عیب‌هایی است که با ایجاد لکه‌هایی با رنگ متفاوت از سطح لوله بر روی لوله تشکیل می‌شود. علت اصلی این عیب می‌تواند ناشی از عیب لایه‌لایه شدن کامپوزیت باشد. در تصویر ۴ لکه‌هایی با رنگ متفاوت از سطح اتصال که به دلیل جدایش خطی ایجاد شده‌اند مشاهده می‌شود.



تصویر ۴

۱-۳-۳- تخریب بر اثر اشعه ماوراء بنفش (UV Degradation) :

در صورتی که لوله GRP به طور مستقیم در معرض نور خورشید قرار گیرد احتمال بروز این عیب وجود دارد. برای جلوگیری از بروز این عیب باید هنگام ساخت لوله مواد بازدارنده مناسب به رزین افزوده شود که البته در بعضی موارد این مواد موثر نبوده و یا بعد از چند سال تاثیر خود را از دست می‌دهند. این مورد برای لوله‌هایی که دفنی نبوده و روی زمین نصب می‌شوند بسیار حائز اهمیت است. این عیب ممکن است به صورت تغییر رنگ یا ورقه‌ورقه شدن سطح لوله ظاهر شود (تصویر ۵). در برخی از پروژه‌های خطوط آبرسانی که بین زمان خریداری و مونتاژ و نصب لوله‌های GRP فاصله افتاده است، این عیب دیده می‌شود. در صورت فقدان، ناکافی بودن یا نامناسب بودن لایه حفاظت در مقابل UV این عیب سریعتر بروز می‌کند.



تصویر ۵

۱-۳-۴- شکست خطی (Liner failure):

این عیب در مراحل اول در سطح داخلی لوله یا اتصال و در محل‌هایی که تمرکز تنش بالا وجود دارد، ایجاد می‌شود. در صورتی که این عیب در یک لوله GRP ایجاد شود باعث از بین رفتن و تخریب لوله خواهد شد. در تصویر ۶ نمونه‌ای از این عیب دیده می‌شود.



تصویر ۶

۱-۳-۵- نشتی یا تورم (Leaking, Weeping or Swelling):

نشتی در واقع ترجمه کلمات leak و weep است که این عیب هم می‌تواند به صورت قطرات ریز مایع و هم می‌تواند به صورت لکه‌های نمودار روی سطح لوله ایجاد شود. تورم یا باد کردگی سطح نیز از عیوبی است که در لوله‌های GRP دیده می‌شود و ممکن است با تغییر رنگ نیز همراه باشد. در تصویر ۷ نمونه‌ای از نشتی در یک زانویی GRP دیده می‌شود که به دلیل نوع سیال موجود در آن حالت نمکی به خود گرفته است. نشتی از محل اتصال از شایع‌ترین عیوب لوله‌های GRP است که در خطوط آبرسانی با این لوله اتفاق می‌افتد و در قسمت قبل به آن اشاره شد.



تصویر ۷

۱-۳-۶- ضایعات مکانیکی (Mechanical Damage) :

با توجه به ترد بودن کامپوزیتها، تنشهای بیش از حد مجاز، تنشهای متناوب و سیکلی و ضربات مکانیکی می‌تواند باعث شکست ترد در این قطعات گردد. تنش بیش از حد مجاز می‌تواند به دلیل طراحی نامناسب، نصب نادرست و یا بکارگیری در شرایطی خارج از شرایط تعریف شده به لوله یا اتصال وارد شده و در نهایت باعث شکست گردد. ضربات مکانیکی چه در حالتی که ابزاری کوچک بر روی لوله می‌افتد و چه در حالتی که ضربه شدیدی به لوله وارد می‌شود، عامل ایجاد میکروترک و یا ترک در لوله هستند. در این موارد علاوه بر اینکه ترک در لوله ایجاد می‌شود، امکان تشخیص سریع ترک نیز بسیار مشکل است. بروز این ترک‌ها در برخی از خطوط آبرسانی حین

نخستین بکارگیری خط بر اثر عبور شن و ماسه اولیه درون لوله اتفاق افتاده که در قسمت قبل به آن اشاره شده است. در تصویر ۸ پلیتی مشاهده می شود که با چکش به آن ضربه زده شده است و تصویر ۹ سطح بیرونی و مخالف پلیت را نشان می دهد.



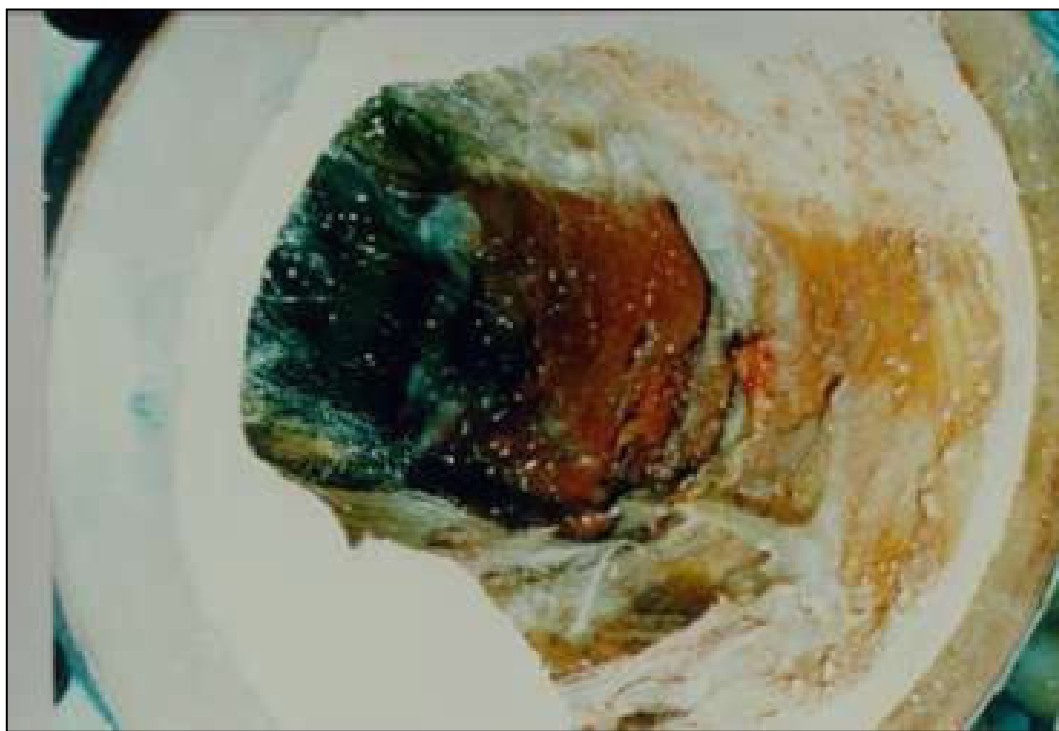
تصویر ۸



تصویر ۹

۱-۳-۷-تأثیر خوردگی :

یکی از مواردی که در لوله‌های GRP خیلی بر آن تکیه می‌شود مقاومت در برابر خوردگی این لوله‌ها و مزیت نسبی این لوله‌ها به لوله‌های فلزی در این مورد است. واقعیت این است که در لوله‌های GRP نیز خوردگی اتفاق می‌افتد ولی نوع این واکنش با پدیده خوردگی در لوله‌های فلزی تفاوت دارد. در این حالت بر اثر عبور سیال، رزین به مرور در داخل لوله از بین رفته و پس از مدتی تنها الیاف باقی می‌ماند که به تنهایی هیچ‌گونه استحکامی ندارد. اثر خوردگی و تخریب داخل لوله GRP بر اثر خوردگی ناشی از عبور سیال زمانی قابل مشاهده است که لوله جدا شده و سطح داخلی آن مورد بررسی قرار گیرد. وقتی که در داخل یک لوله GRP بر اثر عبور سیال، خوردگی اتفاق می‌افتد مانند این است که داخل لوله پر از تار عنکبوت شده باشد (تصویر ۱۰). این مورد در برخی از خطوط لوله GRP که در مناطق جنوب و جنوب شرقی کشور کار شده و در قسمت قبل نیز به آن اشاره شد، دیده شده و علت آن می‌تواند خوردگی آب منطقه و پیوند ضعیف شبکه رزین و الیاف لوله مصرفی باشد.



تصویر ۱۰

بخش دوم:

مقایسه لوله‌های چدنی و فولادی

۲- مقایسه فنی لوله‌های چدنی و فولادی

۱-۲- مشخصات فیزیکی

الف- استحکام کششی

استحکام کششی در نقطه تسلیم برای لوله های فولادی (ST37) برابر 37000 psi و همین مشخصه برای لوله‌های چدنی نشکن (GGG40) برابر 42000 psi می‌باشد و عملاً در یک کلاس کاری بوده و قابل مقایسه با یکدیگر می‌باشند. لذا توجه به این مشخصه برای انتخاب جنس، ترجیح معنی داری را بین این دو لوله ایجاد نمی‌نماید.

هر دو نوع لوله از مقاومت بالایی در خصوص شکنندگی برخوردارند و تا فشار کاری ۴۰ بار را به راحتی تحمل کرده و با قطعیت می‌توان گفت که تا ۷۰درجه سانتیگراد تغییرات چشمگیری در فشار انتقال سیال ایجاد نخواهد کرد.

ب- مقاومت خوردگی

فولاد برعکس چدن بسیار مستعد خوردگی است. از همین رو استفاده از پوشش‌های چسبنده برای لوله‌های فولادی از اهمیت بالایی برخوردار است. پوشش‌های توصیه شده برای لوله های فولادی متناسب با شرایط محیطی اجرای پروژه و نوع سیال قابل عبور از درون لوله، متفاوت است. برای این لوله ها می‌توان از سیمان، لعاب های قیر قطران، اپوکسی های مایع و یا پیوند جوشی، نوارهای پیچشی پلی اتیلن و یا پلی اولوفینهای اکستروود شده بعنوان پوشش استفاده نمود. خاک‌های سولفاته و یا خاک‌های با کلراید بالا برای سیمان مضر هستند. همچنین این نوع پوشش‌ها قابلیت انعطاف لوله را تقلیل می‌دهند، در نتیجه لوله تحت بارهای خارجی چندان نمی‌تواند مجاز به خمش باشد و از میزان مجاز انبساط تحت فشار داخلی لوله نیز کاسته و موجب ترک خوردن پوشش می‌گردد. پوشش‌های نواری هرچند انعطاف‌پذیرتر از سیمان بوده و در برخی محیط‌ها مانند خاک‌های سولفاته مقاومتر از سیمان هستند، لیکن از آنجا که ممکن است براحتی در حین حمل و نقل یا نصب آسیب ببینند نیاز به حفاظت کاتودیک پرهزینه دارند که هزینه‌های مراقبت و نگهداری بیشماری نیز بدنبال دارد. همچنین حفاظت محل جوش به‌ویژه داخل لوله از محدودیت‌های لوله‌های فولادی است. این امر در سایزهای کوچکتر از ۸۰۰ میلی‌متر به‌دلیل عدم امکان دسترسی به موضع جوش داخل لوله تشدید می‌شود.

لوله چدن نشکن مقاومت ذاتی مناسبی در برابر اکسیداسیون دارد و این امر بدلیل حضور سیلیسیم بالا در ترکیب چدن و ایجاد اکسیدهای ترکیبی سیلیسیم و آهن می‌باشد که بسیار مقاوم بوده و بصورت فیلم نازکی در سطح لوله ایجاد شده و بعنوان پوششی قوی از پیشرفت خوردگی سطحی چدن ممانعت می‌نماید. لذا نیاز به اجرای پوشش‌های گرانقیمت و حفاظت کاتودیک پرهزینه ندارد. همچنین پوشش‌های مورد استفاده در لوله‌های چدنی نیاز به آماده‌سازی سطح ندارد و انجام تعمیرات آن در هنگام نصب بسیار ساده و کم هزینه می‌باشد. معمولاً یک لایه پوشش روی و رنگ قیری جهت پوشش به‌کار می‌رود. در خاک‌های بسیار خورنده می‌توان از یک پوشش پلی‌اتیلن نیز استفاده کرد.

الف- شرایط نصب

بزرگترین مزیت عملی لوله نشکن در مقایسه با لوله فولادی آنست که نصب آن بسیار آسانتر است. حمل و نقل، اتصال بهم، ایجاد پشت بند و تطبیق آن با شرایط محوطه، همه زمینه‌هایی است که در آن لوله چدن نشکن برتر است. در حمل و نقل بدلیل ضخامت کمتر لوله فولادی نیاز به قرار دادن چوب‌های ضربداری در داخل لوله می‌باشد که بایستی تا زمانیکه پشت بند آن در خاکریزی اجرا شود در داخل لوله حفظ شود. در حالیکه لوله چدن نشکن نیازی به این مهار کردن ندارد. سرعت بالای عملیات نصب یکی دیگر از مزایای قابل توجه در لوله های داکتیل نسبت به لوله های فولادی می‌باشد. این امر بویژه برای لوله های داکتیل با سرکاسه تایتون که به روش فشاری (push on joint) مونتاژ می‌گردند، حائز اهمیت می‌باشد. عملیات نصب لوله های داکتیل از شرایط گوناگون جوی، تاثیری نمی پذیرد. این در حالیست که انجام عملیات جوشکاری برای لوله های فولادی به دلایل زیر از اهمیت بالائی برخوردار است:

- نوع جوشکاری بسیار تخصصی بوده و نیازمند نیروهای مجرب در این زمینه باشند.
- نیازمندی به برق برای عملیات مونتاژ، هزینه های بالائی را از باب تهیه ژنراتور، سوخت رسانی و انجام سرویس و نگهداری در پی دارد.
- بدلیل انجام عملیات جوشکاری برای چندین لوله در خارج ترانشه در یک مرحله و سپس حمل و قراردادن آنها در ترانشه (ریسه کردن لوله‌ها)، نیاز به ماشین آلات سنگین از جمله SIDE BOOM می‌باشد که این امر نیز سبب افزایش هزینه های نصب می‌گردد.
- شرایط جوی مجاز برای عملیات جوشکاری نیز از دقت بالائی برخوردار است. استانداردها، عملیات جوشکاری را در زمانی که سرعت باد بیش از ۵ متر بر ثانیه باشد و یا دمای هوا کمتر از ۵ درجه سانتیگراد باشد، مجاز نمی‌داند. همچنین برای دمای بین ۵ تا ۱۵ درجه سانتیگراد، عملیات پیشگرم لوله ها در منطقه جوش ضروری است. در هوای بارانی نیز، عملیات جوشکاری توصیه نمی‌گردد. بروز هر یک از موارد فوق می‌تواند سبب توقف کارگاه و تحمیل هزینه های ناشی از این توقف گردد.
- انجام تست های غیرمخرب برای منطقه جوش بویژه تست اولتراسونیک برای لوله های آب ضروری است.
- انجام عملیات سندبلاست در منطقه جوش و تأمین پوشش مجدد لوله در این منطقه نیازمند تجهیزات خاص می‌باشد و این در حالیست که امکان پوشش داخلی در منطقه جوش برای لوله های فولادی با قطر کمتر از ۴۰۰ میلیمتر عملاً وجود ندارد.

ب- شرایط بستر

سفتی **Stiffness** لوله‌ها تابعی از مدول الاستیسیته، جنس لوله و ممان اینرسی لوله می‌باشد. از آنجاکه در مورد چدن نشکن این ضرایب در یک ضخامت بیشتری منظور می‌شود، لوله چدن نشکن سفت‌تر از لوله فولادی می‌باشد.

علاوه بر آن، در مورد سفتی لوله فولادی، در صورتیکه پوشش سیمانی داشته باشد، سفتی سیمان در طراحی در نظر گرفته می‌شود، درحالیکه ملات سیمان داخلی لوله چدن نشکن بعنوان جزئی از ساختار تولید آن منظور نمی‌شود و در محاسبات نمی‌آید. در نتیجه از آنجاکه لوله نشکن محصول سفت‌تری است، به خاک‌های پرشده کناری که به تحمل بارهای خارجی کمک می‌کند، کمتر متکی می‌باشد. این بدان معنا است که در لوله‌گذاری‌های معمول، به انتخاب و یا مواد با تراکم بالا جهت آماده‌سازی تکیه‌گاه مناسب نیازی وجود ندارد درحالیکه برای لوله فولادی به مواد با دانه‌بندی متراکم نیاز است. پوشش خاص مورد نیاز لوله‌های فولادی و امکان آسیب دیدگی آن از مصالح مورد استفاده در ترانشه، بویزه دانه‌های سخت و نوک تیز خاک مورد استفاده، توجه به استفاده از خاک نرم و متراکم را دوچندان می‌نماید.

پ- اتصال فشاری، توصیه استاندارد برای کاربردهای زیر زمینی

اتصال فشاری و مکانیکی برای چدن نشکن تحت شماره **AWWA C111** استاندارد شده در حالیکه برای لوله فولادی استاندارد قابل قیاسی در این زمینه وجود ندارد. اتصال **fastite** و **tyton** دو نوع اتصال رایج در لوله چدن نشکن می‌باشد که از لحاظ شکل ظاهری کمی متفاوت می‌باشند لیکن هر دو نوع از یک واشر برای آببندی در داخل سرکاسه استفاده می‌کنند که در اثر فشار دادن انتهای لوله به داخل سرکاسه لوله قبلی، متراکم شده و سختی معادل با دو برابر سختی استاندارد برای واشر ایجاد می‌کنند. نتیجه آنکه یک اتصال قابل انعطاف حاصل می‌شود که مونتاژ آن آسان ولی خارج کردن آن بسیار مشکل است. درحالیکه لوله‌های فولادی معمولاً برای اتصال بایستی جوشکاری شوند که نیاز به تجهیزات و تخصص پرهزینه دارد و انعطاف‌پذیری اتصال چدنی را نیز ندارد و امکان تغییر جهت که به تعیین مسیر لوله‌گذاری کمک فراوانی می‌کند ناممکن است، این عدم انعطاف به دلیل طول لوله‌های فولادی که معمولاً شاخه‌های ۱۲ متری است، تشدید می‌شود. در لوله‌های چدنی که معمولاً با شاخه‌های ۶ متری عرضه می‌گردد، انعطاف‌پذیری بیشتری در مونتاژ حاصل می‌شود. به همین جهت برای لوله‌گذاری فولادی تهیه نقشه‌های مسیر و برنامه‌های قرار دادن لوله ضروری می‌باشد. درحالیکه لوله‌های چدنی قابلیت تغییر جهت را با توجه به نوع اتصال خود دارا بوده که این امر به تغییر مسیر لوله در امتداد انحنایها و یا اطراف موانع موجود در زیر زمین کمک شایان می‌نماید. جدول شماره ۲، حداکثر میزان انحراف‌پذیری لوله نشکن و فولادی را در اقطار مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۲) حداکثر میزان انحراف در محل اتصالات لوله‌های چدنی و فولادی

ردیف	قطر لوله (mm)	حداکثر میزان انحراف اتصال در لوله چدنی (درجه)	حداکثر میزان انحراف اتصال در لوله فولادی (درجه)
۱	۳۰۰	۵	۳/۴۹
۲	۴۰۰	۴	۲/۶۴
۳	۵۰۰	۳	۲/۸
۴	۶۰۰	۳	۲/۳۴
۵	۷۵۰	۳	۱/۸۸
۶	۹۰۰	۳	۱/۵۷
۷	۱۰۰۰	۳	۱/۳۵
۸	۱۲۰۰	۲	۱/۱۸
۹	۱۳۰۰	۲	۱/۰۵
۱۰	۱۵۰۰ به بالا	۱	۰/۹۴

طبق جدول ۲، میزان امکان ایجاد انحراف در محل اتصال لوله‌های چدنی نسبت به لوله‌های فولادی به مراتب بیشتر است و این تمایز در اقطار بالاتر به خوبی مشهود می‌باشد.

ت- هزینه نگهداری

خطوط لوله چدنی به نگهداری چندانی نیاز ندارند. ولی در مورد لوله فولادی چنین نیست. برای لوله‌های فولادی حفاظت کاتودیک در اغلب موارد اجباری است. روش‌های حفاظت کاتودیک مستلزم هزینه‌های طراحی، نصب، نگهداری و نظارت در طی طول عمر خط لوله می‌باشد و نیاز به سرکشی‌های منظم و تعویض آنودهای فداشونده دارد.

در پایان شایان ذکر است که در مقایسه و انتخاب لوله‌ها جهت طرح‌های آبرسانی، لازم است تا علاوه بر قیمت لوله که معمولاً در مرحله نخست مدنظر قرار می‌گیرد، کلیه هزینه‌ها و ملاحظات حمل و نقل، انبارش، آماده‌سازی ترانشه، مونتاژ لوله، پایداری و دوام واقعی، تعمیر و نگهداری خطوط و ... را منظور کرد و با نگرش جامع و بلند مدت، در جهت حفظ منافع و سرمایه‌های ملی کشور عزیزمان اقدام نمود.

منابع و مراجع:

- وب سایت و کاتالوگ شرکت فراسان
- وب سایت، کاتالوگ و لوح فشرده شرکت مشهد صدرا
- تحقیقات میدانی و مصاحبه با گروهی از مشاوران و مسئولین صنعت آب و فاضلاب کشور
- وب سایت انجمن تحقیقات لوله چدن نشکن DIPRA
- وب سایت شرکت‌های Flowtite , Hobas ,Subor
- Wastewater Technology Fast Sheet, Pipe construction and materials, office of water, Washington D.C., Sep 2000
- مجموعه مقالات مقایسه لوله‌های چدنی نشکن با سایر لوله‌ها، شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران