کاربرد لوله های پلی اتیلن با قطرهای زیاد در پروژه های دریایی

۱-مقدمه

از ابتدای دهه۱۹۶۰ و در زمان کوتاهی پس از اولین معرفی، لوله‌های پلی اتیلنی به طور فزاینده‌ای جهت کاربردهای دریایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تخلیه سیال، انتقال سیال از زیر رودخانه یا دریاچه و گرفتن آب شیرین و شور عمده‌ترین کاربردهای لوله‌های پلی اتیلنی در دریا می‌باشند. علاوه بر کاربردهای اصلی ذکر شده، در دریا ممکن است از آنها در مواردی همچون خطوط لوله موقت شناور روی سطح آب، نصب روی زمین‌های باتلاقی و استفاده در عملیات لایروبی استفاده شود.

در این مقاله ضمن معرفی پلی اتیلن و لوله های پلی اتیلنی توان داخلی در تولید این محصولات نیز معرفی شده و اقدامات انجام گرفته در صنایع مرتبط و موسسات وابسته به قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء در جهت استفاده از آنها در پروژه های عظیم ملی معرفی گردیده است که امیدواریم گامی هرچند کوچک در جهت ارتقاء صنعت و قدرت اجرایی پروژه های بزرگ با استفاده از محصولات جدید برداشته شود.

۲-ساختار پلی اتیلن

پلی اتیلن یک نوع پلاستیک Semi Crystalline است که دارای مقاومتهای مکانیکی مناسب می‌باشد. پلیمریزاسیون گاز اتیلن در فشار بالا باعث تولید پلی اتیلن با دانسیته پائین با زنجیره انشعابی زیاد میشود (PELD[1]). همچنین پلیمریزاسیون اتیلن در فشار پائین باعث تولید پلی اتیلن با دانسیته بالا و زنجیره صاف می شود (HDPE PE-63,PE-80,PE-100). با بالا رفتن چگالی، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و مقاومت شیمیایی بهتر می گردند.

ماده اولیه لوله های پلی اتیلن توسط عدد MRS[2] از هم متمایز می گردند. این عدد نشاندهنده مقاومت فشار داخلی درازمدت در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد و مدت ۵۰ سال در محیط آب است. مواد اولیه به ترتیب زیر درجه بندی می شوند:

PE 63	$MRS \geq 6.3 \, N/mm^2$
PE 80	$MRS \geq 8.0 \, N/mm^2$
PE 100	$MRS \geq 10.0 \, N/mm^2$

پلی اتیلن PE 100 و PE 80 از زنجیره های کوتاه خطی و همچنین زنجیره های طولانی با زنجیره های انشعابی کوتاه تشکیل شده اند، بهمین جهت این نوع را پلی اتیلن Bimodal می نامند. زنجیره های کوتاه تشکیل دهنده بخش کریستال می باشد که سختی زیاد و خزش کم را به همراه دارند. زنجیره های کوتاه تشکیل دهنده بخش کریستال می باشد که سختی زیاد و خزش کم را همراه دارند. زنجیره های دراز قسمت آمورف را تشکیل می دهند که مقاومت در مقابل ضربه، الاستیسیته و ترک تنشی[3] را این بخش بعهده دارد.

۳-مقاومت شیمیایی پلی اتیلن

[1] Low Density Poly Ethylene

[2] Minimum Required Strength

[3] Stress crack

۳-۱-عناصر غیر موثر روی پلی اتیلن

- انواع حلالهای آلی و معدنی
- انواع عناصر شیمیایی معدنی
- انواع باکتریها

۳-۲-عناصر موثر بصورت محدود روی پلی اتیلن

- انواع روغن، چربی و هیدروکربورهای آروماتیک

۳-۳-عناصر موثر روی پلی اتیلن

- اسیدهای قوی اکسید کننده برای مثال اسید سولفوریک
- هالوژنهای آزاد (کلر، فلئور، یود، بروم)

۴-انواع لوله های پلی اتیلن

تقسیم بندی لوله های پلی اتیلن با توجه به روش تولید و کاربری آنها انجام می گیرد.

۴-۱-لوله تک جداره

لوله تک جداره همانگونه که از اسمش پیداست بصورت یک لایه و یکپارچه بوده و در یک مرحله تولید می شود. روش تولید اکستروژن بوده و لوله توسط یک دستگاه خطی اکستروژن تولید می شود.

مزایای این لوله ها مقاومت داخلی بالا و مقاومت خمشی زیاد می باشد و با توجه به نوع اتصال لب به لب که در آنها انجام می گیرد، از نظر اتصال نیز مزیت دارد. عیب اساسی آنها عدم امکان تولید در سایزهای بالا می باشد.

۴-۲-لوله دوجداره اسپیرال

این لوله از اتصال کنار هم پروفیل های قوطی شکل پلی اتیلن که قبلا با روش اکستروژن تولید شده‌اند با استفاده از جوش اکستروژن تولید می‌شود. این نوع لوله دارای مقاومت خارجی زیاد و امکان تولید در قطر های بالا می باشد. همچنین وزن کمتری داشته ولی مقاومت خمشی خوبی نداشته و اتصال آن مشکل تر است.

۴-۳-لوله دوجداره پروفیلدار

این لوله از اتصال کنارهم ورقهای پلی اتیلن به همراه یک لوله پلی اتیلن روی آن که روی یک قالب مرکزی قرار می گیرد، تولید می شود. این لوله نیز خصوصیات لوله های پلی اتیلنی دوجداره اسپیرال را دارا است.

۵-مزایای لوله های پلی اتیلن

۵-۱-مقاومت در برابر خوردگی گالوانیکی

این خصوصیت در واقع مهمترین عامل استفاده از این لوله‌ها در دریا می‌باشد چرا که ترکیب هوا و آب، خصوصا آب دریا، برای لوله‌های فلزی متعارف بسیار خورنده است. شایان ذکر است خوردگی گالوانیکی لوله‌های پلی‌اتیلن تقریبا صفر است.

۵-۲-مقاومت در برابر پوسیدگی، سایش و ضربه

این خاصیت به همراه خصوصیت قبلی عامل افزایش قابل توجه عمر مفید این لوله‌ها نسبت به لوله‌های دیگر می‌باشد. به عنوان نمونه می‌توان به طرحی اشاره کرد که در سال ۱۹۹۶ در کشور عمان و برای گروهShell و PDO اجرا شده است. با اجرای این پروژه ۱۹ کیلومتر خط لوله کربن-استیل PN-10 که در اثر خوردندگی شدید ناشی از جریان نفت خام (Water/ Crude Oil 80:20) از بین رفته بود، با لوله‌های پلی‌اتیلن از گرید PE-100 تعویض گردید. در این طرح با توجه به شرایط محیطی ($T=80^oC$)، عمر کاری لوله‌های پلی‌اتیلنی، حداقل ۱۵ سال در نظر گرفته شده است (از سال ۱۹۹۶ تاکنون هیچگونه نقیصه و نشتی در این لوله‌ها گزارش نشده است) در حالیکه دوره کارکرد مفید لوله‌های فولادی در همان شرایط، حداکثر ۲ سال بوده است.

۵-۳-خاصیت انعطاف‌پذیری مناسب

این خاصیت باعث سهولت نصب این لوله‌ها و نیاز به کاربرد اتصالات کمتر می‌گردد (شعاع مجاز خمش لوله پلی‌اتیلن به طور متوسط ۲۰ برابر قطر خارجی آن می‌باشد).

۵-۴-خاصیت جمع‌شوندگی (Collapsibility) بسیار بالا در راستای لوله

۵-۵-سبکی وزن

این لوله‌ها نسبت به لوله‌های فولادی دارای وزن بسیار کمتری بوده، در نتیجه حمل و نقل و انبار نمودن آنها آسانتر بوده و با هزینه کمتری انجام می‌شود.

۵-۶-مقاومت عالی در برابر زمین لرزه و رانش زمین

با توجه به میزان ضریب کشش بالا در مواد پلی‌اتیلن و استحکام کافی در برابر فشار ضربه‌ای، لوله‌های پلی-اتیلن بهترین مقاومت را در برابر ارتعاشات زمین لرزه و جابجایی لایه‌های خاک نشان می‌دهند. جدول زیر خسارات وارد بر لوله پلی‌اتیلنی و دیگر لوله‌ها را در اثر زلزله KOBE ژاپن با هم مقایسه می‌کند:

جدول شماره ۱-خسارات ناشی از زلزله KOBE در ژاپن در سیستم‌های انتقال آب آشامیدنی

نوع لوله	میزان آسیب (قطعه/کیلومتر)
چدن داکتایل	۰/۴۴۸
چدن خاکستری	۱۵۰۸
پی وی سی	۱۴۳۰
فولاد	۰/۴۳۷
آزبست	۱/۷۸۲
پلی‌اتیلن	۰

۵-۷-قابلیت اتصال بسیار محکم، بدون نشتی و در عین حال انعطاف‌پذیر

این اتصال قوی به وسیله جوشکاری (لب به لب یا الکتروفیوژن) یا اتصال از طریق فلنج و Stub end حاصل می‌گردد.

۵-۸-مقاومت بالا در برابر اشعه فرا بنفش خورشید

۵-۹-دارا بودن خصوصیات هیدرولیکی بسیار مناسب

به علت سطح داخلی کاملا صاف و صیقلی، این لوله‌ها در مقایسه با لوله‌های دیگر از افت اصطحکاکی بسیار کمتری برخوردار بوده، در نتیجه در بسیاری اوقات برای عبوردادن دبی مشخصی از سیال، در مقایسه با سایر انواع لوله‌ها، قطر کمتری خواهند داشت (خصوصا وقتی طول خط لوله زیاد است). موضوع فوق در مقایسه با لوله‌های

فولادی بسیار برجسته می‌باشد، چرا که در لوله‌های فولادی جهت پوشش داخلی معمولا از یک لایه سیمانی استفاده می‌شود که این لایه علاوه بر کاهش سطح مقطع موثر لوله باعث افزایش زبری گشته، افت بالاتری ایجاد می‌گردد. تامین لوله‌های فولادی با قطر بالاتر به تنهایی می‌تواند بسیاری از اختلاف هزینه‌ها خرید لوله را پوشش دهد.

۵-۱۰- هزینه پایین تعمیر و نگهداری

به دلیل خصوصیات مناسب لوله‌های پلی‌اتیلنی، معمولا این لوله‌ها در یک بازه زمانی طولانی نیاز به تعمیر ندارند و در صورت نیاز به تعمیر، این کار با هزینه پایین امکان‌پذیر خواهد بود. این در حالی است که تعمیر لوله-های فولادی با مشکلاتی همراه بوده (از جمله عدم امکان تعمیر پوشش لوله در بستر دریا) و بالطبع با هزینه بالایی انجام می‌شود.

۶-معایب لوله های پلی اتیلن

در هنگام کار برد لوله های پلی اتیلن در دریا برای آنها مسائلی همچون امکان تحت فشار بودن، جرم گرفتگی لوله، تخلیه هوا، در معرض امواج و جریانات دریایی بودن مطرح می‌باشد که در هنگام طراحی و نصب باید مدنظر قرار گیرند. همچنین این لوله به تمرکز تنش بسیار حساس است. بنابراین باید در نصب آنها دقت کافی صورت گیرد.

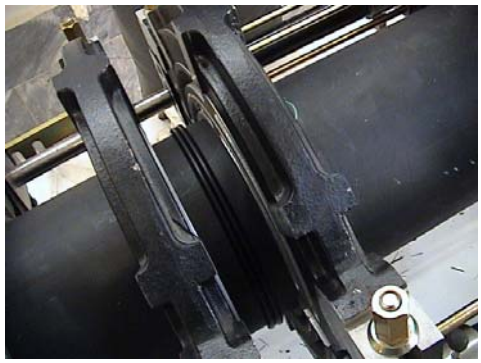
۷-اتصالات در لوله های پلی اتیلن

اتصالات در پلی اتیلن مبتنی بر اصل ترمو پلاست می باشد. یعنی با ایجاد حرارت پلی اتیلن بصورت سیال درآمده و با امتزاج سیال ها، اتصال انجام می گیرد. بنابراین با توجه به انواع مختلف لوله اتصالات مختلفی وجود دارد که شامل موارد زیر می باشد:

۷-۱-جوش لب به لب (Butt welding)

این اتصال با حرارتی که توسط یک صفحه داغ که پلی اتیلن را بصورت سیال در می آورد ایجاد می شود.

اتصال فوق بیشتر در مورد لوله های تک جداره کاربرد داشته و مورد تایید مراجع استاندارد مختلف جهانی می باشد.



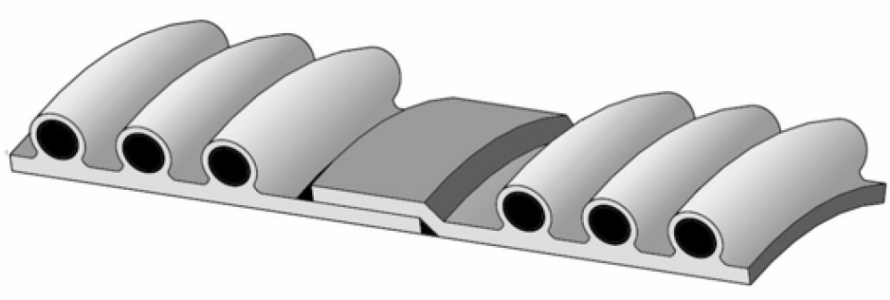
شکل شماره ۱-جوش لب به لب

۷-۲-جوش الکتروفیوژن

در این اتصال حرارت لازم برای سیال کردن پلی اتیلن توسط المنت هایی که با عبور جریان الکتریسیته تولید گرما می کنند، ایجاد می شود. المنت پس از انجام اتصال در محل باقی می ماند. این اتصال برای لوله های با قطر کمتر از ۵۰۰mm مناسب است و برای لوله های با قطر زیاد، هزینه و مشکلات زیادی به همراه دارد.

۷-۳-جوش اکستروژن

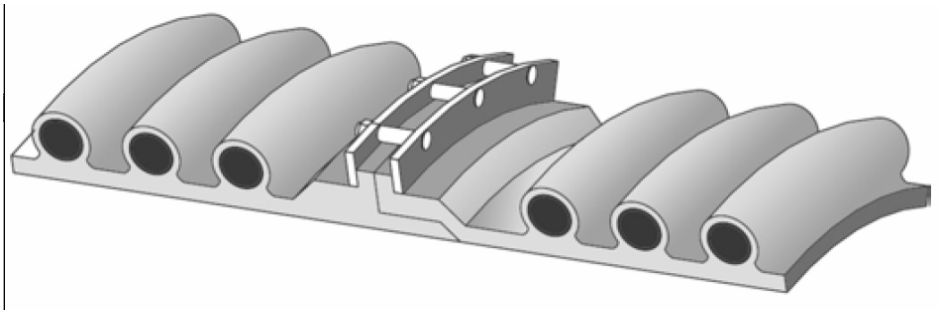
در این اتصال در مابین دو قطعه بوسیله سیال پلی اتیلن که توسط دستگاه مخصوص تولید می گردد، پر می شود. البته همزمان محل درز نیز باید گرم گردد و این اتصال در مورد لوله های با قطر زیاد کاربرد خوبی دارد.



شکل شماره ۲-جوش اکستروژن

۷-۴-اتصال توسط فلنج

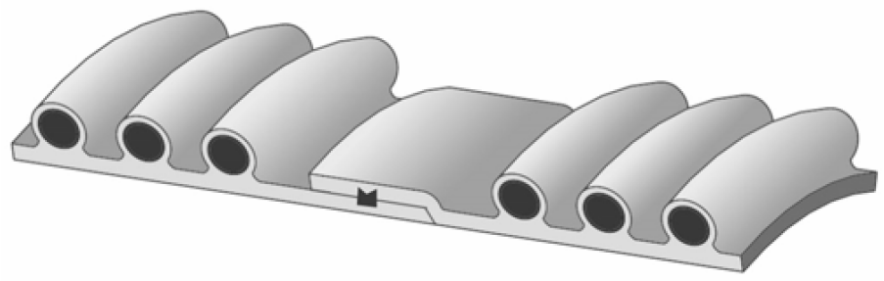
در این روش دو انتهای لوله توسط فلنجهای استیل و گسکت به یکدیگر متصل می شوند. بسته به نوع لوله مورد استفاده فلنجهای آماده جهت اتصال لوله های با سایز های متفاوت وجود دارد. این نوع اتصال بیشتر در موارد تخلیه در دریا و ارتباط مخازن با یکدیگر به کار میرود. بزرگترین مزیت این روش، قابلیت جداسازی قطعات می باشد.



شکل شماره ۳-اتصال توسط فلنج

۷-۵-اتصال گسکت[1]

در این اتصال از اتصال نروماده با استفاده از یک لاستیک مخصوص آببند در انتهای لوله استفاده می شود. این روش نیز قابل جداسازی می باشد.



شکل شماره ۴-اتصال گسکت

۸-نصب خط لوله پلی‌اتیلنی در دریا

پر کاربردترین روش نصب خطوط لوله پلی اتیلنی در بستر دریا موسوم به شناورسازی و فروبردن[2] می باشد. این روش در بیشتر پروژه‌های نصب در دریا استفاده شده و شامل ۷ مرحله زیر می‌باشد:

[1] Gasket

[2] Float and Sink Method

أ- انتخاب محل مناسب برای مراحل ساخت، اتصال و به آب اندازی لوله؛

ب- تدارک منطقه‌ای جهت انتقال لوله از زمین به دریا و در صورت لزوم بستر سازی برای لوله زیر دریا؛

ت- اتصال قطعات لوله به هم و تبدیل آنها به یک طول پیوسته؛

ث- نصب وزنه‌های تعادل (این مرحله ممکن است همراه مرحله بعدی انجام شود)؛

ج- به آب اندازی خط لوله؛

ح- غوطه‌ور ساختن لوله در محل مشخص شده؛

خ- اتمام انتقال از زمین به بستر دریا.

علاوه براین روش روشهای دیگری همچون نصب به طریقه اسپول گذاری وجود دارد که پرداختن به آنها در این مقاله نمی گنجد.

۶- مطالعه موردی – یک پروژه واقعی در نروژ

در این قسمت نمونه‌ای از نصب یک خط لوله پلی‌اتیلنی در آبهای کشور نروژ ارائه می‌گردد. خط لوله مزبور جهت تخلیه سیال استفاده شده و مشخصات کلی آن به شرح زیر می‌باشد:

مصالح لوله: SDR= ۲۶ و PE100 with D_0 =۱۲۰۰mm

طول خط لوله: ۴۴۰۰ متر

حداکثر عمق: ۶۱ متر

۶-۱- نصب لوله

لوله‌ها توسط قایق یدک‌کش از کارخانه تولیدکننده به محل نصب منتقل شدند. این لوله ها در مقاطع ۶۰۰m- ۴۰۰m تهیه شده و در مکانی برروی سطح آب مطابق شکل شماره ۹ انبار شدند.

شکل شماره ۵- انبار نمودن مقاطع لوله روی سطح آب

تمام مقاطع پر از هوا باقی مانده و هر دو انتها به Stub end و فلنج‌های کور مجهز شدند. در فاز بعدی وزنه‌های بتنی در فواصل مشخص و به صورت ثابت روی لوله نصب شدند. به طور کلی این فاصله می‌تواند بسته به نیروهای عامل در یک عمق خاص تغییر نماید. شکل ۱۰ لوله‌ها همراه با وزنه های بتنی نصب شده بر روی ساحل را نشان می‌دهد که با استفاده از جرثقیل و یا اکسکواتور به صورت شناور روی آب قرار دارند.

موقعی که تمام قطعه لوله‌ها با وزنه سنگین شد، توسط بارج و جرثقیل روی دریا توسط فلنج یا غلاف‌های نگهدارنده[1] به هم متصل شدند (شکل ۶). با توجه به پیش‌بینی‌های هوای منطقه و در نظرگرفتن شرایطی که باد و موج کمی وجود داشت لوله‌ها آماده غوطه‌ور شدن در مسیری که قبلا توسط بویه‌های شناور مشخص شده بود، گردیدند. پیش از اتصال فلنج، به دلیل جلوگیری از خارج شدن خط لوله از مسیر[2]، فشار هوای داخل خط لوله مطابق فشار در عمق اتصال (مثلاً چنانچه عمق شروع ۳ متر باشد ۰/۳ بار) تنظیم شد. این کار با کمک یک کمپرسور انجام شد. همچنین پیش از شروع عملیات یک نیروی کششی به انتهای لوله غوطه‌ور اعمال شد. به طور کلی این نیرو در طول عملیات غوطه‌ور نمودن می‌تواند تغییر نماید و می‌تواند برای هر مورد خاص، از قبل محاسبه شود. محاسبات مقدماتی برای این پروژه نشان دادند که نیروی کششی حداکثر در حدود ۴۰ تن لازم است.

---

[1] Support Sleeves

[2] Pipeline Run away

شکل شماره ۶-وزنه‌های بتنی روی لوله ثابت شده، کل خط لوله در سطح آب شناور می‌گردد

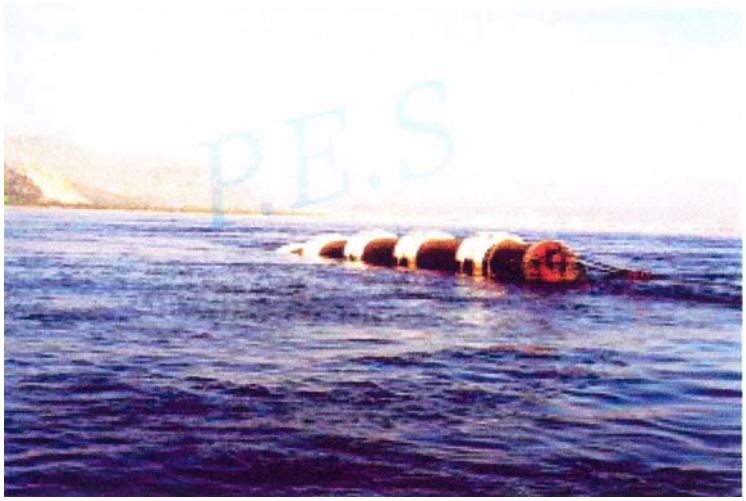
عملیات غوطه‌ور نمودن با باز نمودن محتاطانه شیر هوا در قسمت انتهائی و کنترل فشار توسط یک مانومتر و در صورت نیاز پر نمودن با هوای فشرده، انجام شد. برای حصول به غوطه‌وری کنترل شده با سرعت تقریباً ثابت (همانطور که ذکر شد سرعت ۰/۳ m/s مطلوب است)، در این پروژه فشار داخلی مطابق منحنی از پیش تهیه شده‌ای که رابطه بین فشار هوای مورد نیاز و عمق غرق کردن را نشان می‌دهد، تنظیم شد.

جهت جلوگیری از خطر کمانش با در نظرگرفتن ضریب اطمینان ۲، در طول نصب شعاع انحنا در سطح دریا همواره بیشتر از ۵۰ متر بوده است. همانطور که قبلا ذکر شد، عملیات غوطه‌وری لوله باید به صورت یک فرآیند پیوسته انجام شود. چنانچه فرآیند غوطه‌وری متوقف شود، مدول الاستیسیته پلی اتیلن با زمان کاهش می‌یابد و به تبع آن، شعاع حداقل انحناء کاهش یافته، می‌تواند باعث کمانش لوله گردد.

در این پروژه اگر به هر دلیل لازم می‌شد که نصب دچار وقفه شود، کمپرسور شروع به کار کرده و پروسه غوطه‌ور نمودن در جهت عکس انجام می‌شد. اصولا زمان مجاز برای این عمل ۱۵ دقیقه بوده و کمپرسور مربوطه باید قابلیت کار در ۷ بار را داشته باشد.

اشکال ۷ و ۸ خط لوله مزبور را در طول پروسه غوطه‌وری نشان می‌دهند. در شکل ۱۱ قایق کمکی و در شکل ۱۲ سیم کششی در انتهای لوله قابل مشاهده می‌باشد.

شکل شماره ۷-پروسه غوطه‌وری هنگام شروع



شکل شماره ۸- اندکی پیش از فرورفتن انتهای خط لوله

۷- خلاصه و نتیجه‌گیری

لوله‌های پلی‌اتیلنی با چگالی بالا انتخاب مناسبی برای کاربردهای دریایی می‌باشند. به طورکلی دوام و مقاومت بالا به همراه روش‌های ابداعی و مقرون به صرفه نصب، که عملیات را تسهیل کرده‌اند، دلایل قانع کننده‌ای جهت استفاده از این لوله‌ها برای سیستم‌های تخلیه سیال، ساختارهای آبگیری از دریا، عبور دادن آب‌های آشامیدنی و بهداشتی از بستر و کاربردهای موقت دیگر در دریا می‌باشند.

سیستم جوشکاری قابل اعتماد لب به لب برای اتصال قطعه لوله‌های پلی‌اتیلنی به هم، که با دسترسی به دامنه

وسیعی از اتصالات مکانیکی تکمیل می‌گردد، دست مهندس طراح را برای انتخاب یک سیستم اتصال بدون نشت باز می‌گذارد. این سیستم اتصال همچنین امکان نصب مقرون به صرفه طول‌های بلندی از خط لوله با روش شناورسازی و فروبری را می‌دهد.

در این مقاله روش نصب شناورسازی و فروبری، که در اغلب اوقات برای نصب لوله‌های پلی‌اتیلنی در دریا استفاده می‌شود، شرح داده شد. بر اساس شرایط هر پروژه، ممکن است نیاز به بررسی‌های دقیقتر و کاربرد روش‌های مناسب آن پروژه شود. لیکن در هر صورت اصول کلی نصب که برای روش شناورسازی و فروبری در این گزارش ذکر شد، برای هر روش دیگری صادق است.

۹-منابع و مراجع:

1-Booth,S.(2005) “Pipeline: Plasticliningtechnology”, Boreas Consultants Ltd Company Magazine, June2005, (7). [Online] Available: http://www.boreasconsultants.com/pdf/pipelines/pipelines7.pdf[Accessed2006,May21]

2-Buried Plastic Pipe Technology, Astm Special Technical Publication, Dave Eckstein (Editor) Astm Intl (June 1994)

3-Pipeline Design for Installation by Horizontal Directional Drilling: ASCE Manual of Practice , (Asce Manual and Reports on Engineering Practice No.108)

4-Plastic Piping Systems, David Chasis, Industrial Press, Inc.; 2th edition (January 1, 1988)

5-PPI Handbook of polyethylene pipe, http://www.plasticpipe.org/general/ppi_handbook.php

6-Techniques for Monitoring Structural Behaviour of Pipeline Systems, American Water Works Research Foundation (February 24, 2006), Christopher Reed (Author), Alastair J. Robinson (Author), David Smart (Author)

7- Ayche N. "The effect of high density polyethylene (HDPE) pipe profile geometry on its structural performance", Msc thesis, august 2005