



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۱۴۳۸۷

چاپ اول

ISIRI

14387

1st. Edition

پلاستیک ها - سامانه های لوله گذاری برای شبکه های جمع آوری و انتقال فاضلاب و زهکشی ثقلی مدفون در خاک - پی وی سی سخت (PVC-U)، پلی پروپیلن (PP)، پلی پروپیلن اصلاح شده با مواد معدنی (PPMD) و پلی اتیلن (PE) - الزامات طراحی آدم رو در مناطق ترافیکی و تأسیسات زیرزمینی

Plastics - Piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage - Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP), polypropylene with mineral modifiers (PPMD) and polyethylene (PE) - Design requirements for manholes in traffic areas and underground installations

ICS:83.080.20

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

» پلاستیک ها- سامانه های لوله گذاری برای شبکه های جمع آوری و انتقال فاضلاب و زهکشی ثقلی مدفون در خاک - پی وی سی سخت (PVC-U)، پلی پروپیلن (PP)، پلی پروپیلن اصلاح شده با مواد معدنی (PPMD) و پلی اتیلن (PE) - الزامات طراحی آدم رو در مناطق ترافیکی و تأسیسات زیرزمینی «

رئیس:

سمت و/ یا نمایندگی

رئیس کمیته فنی متناظر ISIRI TC 138

معصومی، محسن
(دکترای مهندسی پلیمر)

دبیر:

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی
استان تهران

کریمی، علیرضا
(لیسانس مهندسی شیمی)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس

احمد قنطاق ساز، فرهاد
(لیسانس مهندسی عمران)

وزارت نیرو دفتر مهندسی و معیارهای فنی
آب و آبفا

ایمان زاده، سایه
(فوق لیسانس آب و فاضلاب)

شرکت پارس پلیمر

بارانی، مصطفی
(لیسانس مهندسی شیمی)

شرکت دنا صنعت

باقری، افسر
(لیسانس مهندسی کشاورزی)

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	پور ابراهیم، علیرضا (فوق لیسانس مهندسی عمران)
شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	پهلوان یلی، احمد (فوق لیسانس مهندسی عمران)
شرکت فاضلاب تهران	ثامنی، مسعود رضا (فوق لیسانس مهندسی عمران)
شرکت کیان صنعت پاسارگاد	رحمانیان، رضا (لیسانس مهندسی مکانیک)
شرکت روداب پلاست	رشیدی مؤخر، مسعود (لیسانس مهندسی عمران)
شرکت مهندسی مشاور ری آب	سعیدی کندری، آرش (لیسانس مهندسی عمران)
دانشگاه صنعتی سهند تبریز	سلامی حسینی، مهدی (دکترای مهندسی پلیمر)
شرکت مهندسی مشاور طوس آب	سلیمی، محمد رضا (فوق لیسانس مهندسی عمران)
شرکت تدبیر نوین سازان	شاپسته خو، محمدرضا (لیسانس مهندسی صنایع)
مشاور صنایع پلیمری	شفیعی، سعید (دکترای مهندسی پلیمر)
شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان	شمسایی، سعید (فوق لیسانس مهندسی عمران)
انجمن صنفی لوله و اتصالات پلی اتیلن	کبیری، محمد اقبال (فوق لیسانس مهندسی صنایع)

شرکت پتروشیمی جم

مسعودی، رضا
(لیسانس مهندسی عمران)

شرکت کاوشیار پژوهان

مطلوب، خشایار
(لیسانس مهندسی مواد)

itechpolymer.com

فهرست مندرجات

صفحه

عنوان

ب	آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ز	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۴	۴ فرضیات طراحی
۴	۵ مواد
۴	۶ بارگذاری زیر سطحی روی میله ورودی آدم رو
۹	۷ روش طراحی برای آدم روه‌ای ترموپلاستیک
۱۹	پیوست الف (اطلاعاتی) مقادیر احتمالی برای مدول یانگ و نسبت پوسون خاک
۲۰	پیوست ب (اطلاعاتی) ضمایم آدم رو
۲۲	پیوست پ (اطلاعاتی) نمونه ای از محاسبات
۲۸	پیوست ت (اطلاعاتی) کتاب نامه

پیش گفتار

استاندارد "پلاستیک ها- سامانه های لوله گذاری برای شبکه های جمع آوری و انتقال فاضلاب و زهکشی ثقیلی مدفون در خاک - پی وی سی سخت (PVC-U)، پلی پروپیلن (PP)، پلی پروپیلن اصلاح شده با مواد معدنی (PPMD) و پلی اتیلن (PE) - الزامات طراحی آدم رو در مناطق ترافیکی و تأسیسات زیرزمینی " که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط به طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبغای وزارت نیرو تهیه و تدوین شده و در هشتاد و هشتاد و یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد شیمیایی و پلیمر مورخ ۱۳۹۰/۱۱/۲۹ مورد تصویب قرار گرفته است ، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت . بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

1) ASTM F1759:2010, Standard Practice for Design of High-Density Polyethylene (HDPE) Manholes for Subsurface Applications

پلاستیک ها- سامانه های لوله گذاری برای شبکه های جمع آوری و انتقال فاضلاب و زهکشی ثقلی مدفون در خاک - پی وی سی سخت (PVC-U)، پلی پروپیلن (PP)، پلی پروپیلن اصلاح شده با مواد معدنی (PPMD) و پلی اتیلن (PE) - الزامات طراحی آدم رو در مناطق ترافیکی و تأسیسات زیرزمینی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارائه ی الزامات طراحی آدم روها و اجزاء تولید شده از پی وی سی سخت (PVC-U)، پلی پروپیلن (PP)، پلی پروپیلن اصلاح شده با مواد معدنی (PPMD) و پلی اتیلن (PE) به منظور استفاده در مناطق ترافیکی و تأسیسات زیرزمینی است. این استاندارد شامل مواد، روشهای کلی و پایه مربوط به طراحی میله آدم رو، کف (ته)، دریچه، و محل های اتصال بین مقاطع میله ورودی است. این استاندارد حداقل الزامات برای طراحی مناسب آدم رو از جنس پی وی سی سخت (PVC-U)، پلی پروپیلن (PP)، پلی پروپیلن اصلاح شده با مواد معدنی (PPMD) و پلی اتیلن (PE) را ارائه می دهد. بدلیل متغیر بودن ارتفاع و قطر آدم رو و خاک، هر آدم رو باید بصورت جداگانه طراحی شود. در صورت پیاده سازی و استفاده مناسب، این استاندارد می تواند سازه ای مناسب و قابل اطمینان را برای صنعت تضمین کند. فرض می شود که آدم روها فقط در معرض جریان ثقلی هستند.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن ها ارجاع شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می شود. در صورتی که به مدرکی باذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ آن ها ارجاع شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه های بعدی آن ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۱۴۸: پلاستیک ها- سامانه های لوله گذاری برای شبکه های جمع آوری و انتقال فاضلاب و زهکشی ثقلی مدفون در خاک - پی وی سی سخت (PVC-U)، پلی پروپیلن (PP)، پلی پروپیلن اصلاح شده با مواد معدنی (PPMD) و پلی اتیلن (PE) - ویژگی های آدم روها و اتاقت های بازدید در مناطق ترافیکی و تأسیسات زیرزمینی

- 2-2** ASTM D 653, Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids
- 2-3** ASTM D 1600, Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics
- 2-4** ASTM D 2321, Practice for Underground Installation of Thermoplastic Pipe for Sewers and Other Gravity-Flow Applications
- 2-5** ASTM D 2657, Practice for Heat Fusion Joining of Polyolefin Pipe and Fittings
- 2-6** ASTM D 2837, Test Method for Obtaining Hydrostatic Design Basis for Thermoplastic Pipe Materials or Pressure Design Basis for Thermoplastic Pipe Products
- 2-7** ASTM D 3035, Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (DR-PR) Based on Controlled Outside Diameter
- 2-8** ASTM D 3212, Specification for Joints for Drain and Sewer Plastic Pipes Using Flexible Elastomeric Seals
- 2-9** ASTM D 3350, Specification for Polyethylene Plastics Pipe and Fittings Materials
- 2-10** ASTM F 412, Terminology Relating to Plastic Piping Systems
- 2-11** ASTM F 477, Specification for Elastomeric Seals (Gaskets) for Joining Plastic Pipe
- 2-12** ASTM F 714, Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (SDR-PR) Based on Outside Diameter
- 2-13** ASTM F 894, Specification for Polyethylene (PE) Large Diameter Profile Wall Sewer and Drain Pipe

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ملی ۱۴۱۴۸، از تعاریف و اصطلاحات زیر استفاده می شود.

۱-۳

کنش قوسی^۱

انتقال مقاومت برشی داخلی توده ای از خاک، که منجر به تغییر در فشار خاک وارد بر سازه زیرزمینی می شود.

1- arching

۲-۳

نیم رخ بسته^۱

نوعی سازه ی مورد استفاده در میله ورودی که دارای سطح داخلی صاف همراه با برآمدگی ها یا دندانها بوده که به یک سطح بیرونی صاف متصل می شوند (دیواره ی ساختمند از نوع اسپیرال یا کرتیوب با سطح بیرونی صاف).

ساختار تک جداره حالت خاصی از نیم رخ بسته در نظر گرفته می شود.

۳-۳

نیم رخ باز^۲

نوعی سازه مورد استفاده در میله ورودی که دارای سطح داخلی صاف همراه با سطح بیرونی موج دار یا دندانها دار (دیواره ساختمند از نوع کروگیت و کرتیوب) است. سازه های از نوع نیم رخ باز معمولا برای آدم روها استفاده نمی شوند.

۴-۳

دراگ رو به پایین^۳

نیروی برشی رو به پایین وارد بر سطح بیرونی میله ورودی که ناشی از تحکیم و نشست مصالح پرکننده اطراف آدم رو است.

۵-۳

حدود کارایی^۴

مکانیسم هایی که از طریق آن کارکرد یک سازه دچار نقص می شود.

۶-۳

ترموپلاستیک

در این استاندارد، واژه ترموپلاستیک برای آدم ریا اجزاء ساخته شده از جنس پی وی سی سخت (-PVC)، پلی پروپیلن (PP)، پلی پروپیلن اصلاح شده با مواد معدنی (PPMD) و پلی اتیلن (PE) به کار می رود.

-
- 1- closed profile
 - 2- Open profile
 - 3- Downdrag
 - 4- Performance limits

۴ فرضیات طراحی

روش طراحی در این استاندارد فقط برای آدم روهایی کاربرد دارد که مصالح پرکننده اطراف آن ها مطابق با رده ۱، رده ۲، یا رده ۳ منطبق بر تعریف استاندارد ASTM D2321 بوده و تا حداقل ۹۰ درصد تراکم آزمایش پراکتور استاندارد^۱ متراکم می شوند. در این استاندارد، طراحی بر این مبنا است که مصالح پرکننده اطراف آدم رو تا فاصله حداقل یک متر از جدار بیرونی آدم رو برای ارتفاع کامل آدم رو و بصورت جانبی نیز تا خاک موجود دست نخورده ادامه می یابد. علاوه بر این، در این استاندارد فرض می شود که آدم روهایی روی سطحی محکم و پایدار حاوی حداقل ۳۰ سانتی متر از مصالح رده ۱ با تراکم حداقل ۹۵ درصد آزمایش تراکم آزمایش پراکتور استاندارد یا روی صفحه ای بتنی قرار می گیرند. خاک های پی در زیر سطح پایه یا صفحه بتنی باید مقاومت کافی به منظور تحمل بارهای دراگ رو به پایین را فراهم کنند.

یادآوری ۱ - آدم روهایی نصب شده در مکان هایی که خاک آن ها مستعد نشست زیاد است نیاز به طراحی خاصی فراتر از اهداف این استاندارد دارند.

یادآوری ۲ - چنانچه فاصله مصالح پرکننده اطراف آدم رو از جدار بیرونی آن کمتر از یک متر یا مصالح مورد استفاده متفاوت با مصالح ذکر شده در این استاندارد باشد، از استانداردهایی دیگر نظیر ATV A 127E (بند ۱ کتاب نامه) می توان استفاده کرد.

۵ مواد

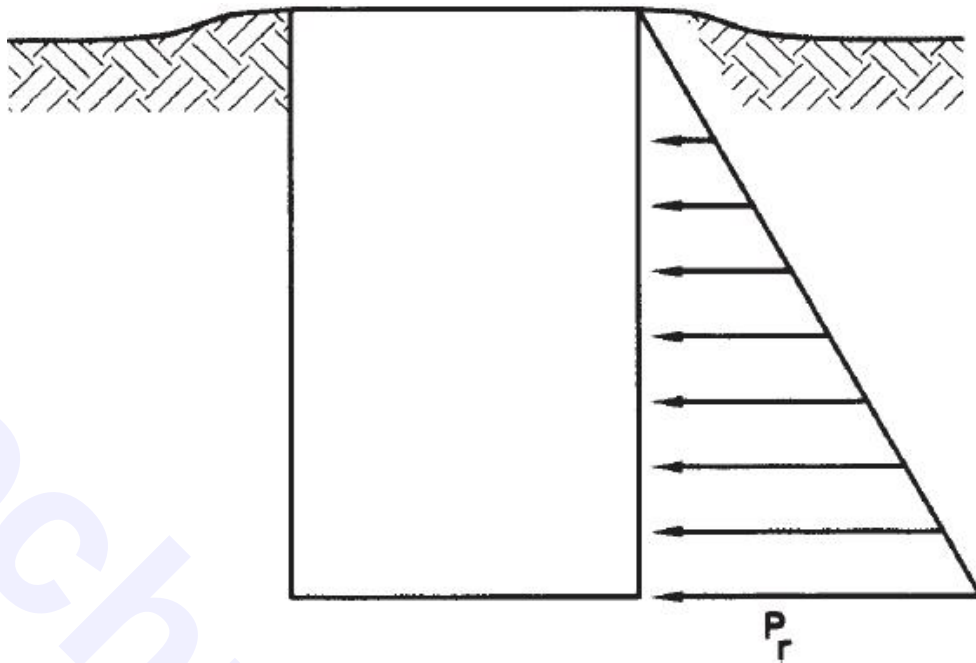
مواد سازنده اجزاء آدم رو باید مطابق با استاندارد ملی ۱۴۱۴۸ باشد.

۶ بارگذاری زیرسطحی روی میله ورودی آدم رو

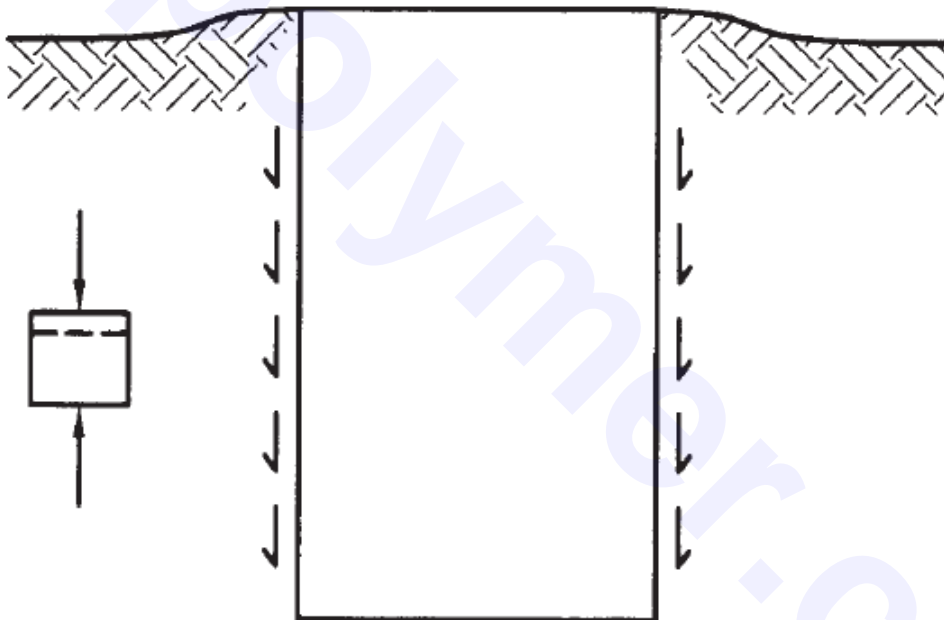
۱-۶ حدود کارایی

حدود کارایی در میله ورودی آدم رو شامل تغییرشکل حلقه ای، تنش یا کرنش محوری و حلقه ای (محیطی)، و کمانش محوری و حلقه ای است. بارهای وارد بر آدم رو در جهت شعاعی، منجر به تغییرشکل حلقه ای و تنش های خمشی حلقه ای می شود. بارهای شعاعی در امتداد طول آدم رو تغییر می کند (مشابه شکل ۱). علاوه بر تنش های شعاعی، تنش محوری قابل ملاحظه ای نیز می تواند در دیواره آدم رو وجود داشته باشد؛ که ناشی از "دراگ رو به پایین" است. دراگ رو به پایین درحین تحکیم و نشست مصالح پرکننده اطراف آدم رو رخ می دهد. بار محوری از طریق مقاومت اصطکاکی آدم رو در مقابل نشست مصالح پرکننده اطراف آن ایجاد می شود (مشابه شکل ۲). همچنین، آدم رو از نظر تنش فشاری محوری و کمانش محوری ناشی از نیروهای دراگ رو به پایین باید بررسی شود.

1- Standard proctor density



شکل ۱- فشار شعاعی وارد بر آدم رو (توزیع فرضی برای طراحی)



شکل ۲- نیروی دراگ رو به پایین وارد بر آدم رو (فرض شده برای طراحی)

۲-۶ فشار خاک وارد بر میله ورودی آدم رو

۱-۲-۶ فشار شعاعی

فشار شعاعی در امتداد طول میله ورودی آدم رو را می توان با استفاده از روش های اجزاء محدود، اندازه گیری های میدانی، یا سایر روش های مناسب محاسبه کرد (بند ۲ کتاب نامه). همچنین بجای استفاده از روش های فوق، می توان از روابط اصلاح شده مربوط به فشار محرک خاک برای خاک های با تراکم نایکنواخت حول محیط میله ورودی، استفاده کرد.

یادآوری ۱- استفاده از فشار محرک در محاسبات بر مبنای اندازه گیری های انجام شده (بند ۳ کتاب نامه) و توانایی مصالح اطراف آدم رو در پذیرش تنش های مماسی و در نتیجه کاهش مقداری از فشار جانبی است. بدلیل رخ دادن آسودگی از تنش در آدم رو از جنس ترموپلاستیک، می توان بار وارد بر آدم رو را کمتر در نظر گرفت (بند ۴ کتاب نامه). آسودگی از تنش، امکان انتقال کنش قوسی افقی را فراهم می سازد، و در نتیجه فشار محرک خاک را می توان برای مقاصد طراحی در نظر گرفت.

اگر فشار محرک خاک طوری اصلاح شود که تراکم نایکنواخت اطراف محیط لوله مطابق با (بند ۵ کتاب نامه) باشد، فشار طراحی در جهت شعاعی از معادله (۱) بدست می آید:

$$P_R = 1.21K_A \gamma H \quad (1)$$

که در آن:

P_R فشار شعاعی وارده بر حسب kPa؛

γ وزن واحد حجم خاک بر حسب kN/m^3 ؛

H ارتفاع خاک پرکننده بر حسب m؛

K_A ضریب فشار محرک خاک که از معادله (۲) بدست می آید.

$$K_A = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

که در آن:

ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک اطراف آدم رو، بر حسب درجه است.

۶-۲-۲ درآگ رو به پایین (تنش برشی محوری)

نشست مصالح پرکننده اطراف میله ورودی آدم رو، منجر به ایجاد تنشی برشی بین آدم رو و مصالح پرکننده شده که به صورت درآگ رو به پایین در روی سطح بیرونی آدم رو عمل می کند. فرآیند نشست با اولین خاکریزی مصالح پرکننده اطراف آدم رو شروع شده و سپس تا انتهای مرحله خاکریزی و تحکیم ادامه می یابد. پس از خاکریزی، نیروی محوری کوپل شده با آدم رو از طریق برش درآگ روبه پایین، افزایش خواهد یافت؛ تا زمانی که در تعادل با نیروی اصطکاکی بین خاک و آدم رو قرار گیرد. در این هنگام، لغزش مصالح پرکننده ای که مستقیماً در تماس با آدم رو می باشند، رخ می دهد. بنابراین، نیروی محوری به مقدار نیروی اصطکاکی محدود می شود.

بارهای درآگ رو به پایین را می توان با استفاده از روش های اجزاء محدود، اندازه گیری های میدانی، یا سایر روش های مناسب محاسبه کرد. همچنین بجای استفاده از روش های فوق، می توان از روش زیر استفاده کرد. برای توزیع فشار محرک خاک نشان داده شده در شکل ۲، میانگین تنش برشی از طریق معادله (۳) بدست می آید.

$$T_A = \mu \left[\frac{P_{R1} + P_{R2}}{2} \right] \quad (3)$$

که در آن:

T_A میانگین تنش برشی (اصطکاکی) بر حسب kPa؛

P_{R1} فشار شعاعی خاک در بخش فوقانی آدم رو برحسب kPa؛

P_{R2} فشار شعاعی خاک در ته آدم رو برحسب kPa؛

μ ضریب اصطکاک بین آدم رو و خاک است.

ضریب اصطکاک بین آدم رو از جنس ترموپلاستیک با سطح بیرونی صاف و خاک دانه ای^۱ و خاک دانه ای-چسبنده را می توان ۰/۴ در نظر گرفت (بندهای ۶ و ۷ کتاب نامه). در برخی از کاربردها، از طریق پوشش دهی سطح بیرونی آدم رو با بنتونیت یا برخی از روانسازهای دیگر، می توان ضریب اصطکاک را کاهش داد.

یادآوری ۲- استفاده از روانسازهایی که با پلیمر سازنده ی آدم رو برهمکنش داشته باشد، مجاز نیست.

یادآوری ۳- استفاده از سخت کننده^۲ های بیرونی یا نیم رخ های باز به منظور سخت کردن میله ورودی، به دلیل بازدارنده بودن آن ها در مقابل نشست خاک کنار آدم رو، به میزان زیادی بار دراگ رو به پایین را افزایش داده و در نتیجه منجر به افزایش میانگین تنش برشی در معادله (۳) می شود. در صورت استفاده از نیم رخ های باز، ضریب اصطکاک را باید برابر یا بزرگتر از یک در نظر گرفت.

دراگ روبه پایین منجر به ایجاد بار محوری (بار دراگ رو به پایین) در دیواره آدم رو شده که با عمق افزایش می یابد. نیروی محوری ایجاد شده در دیواره آدم رو را می توان از طریق انتگرال گیری از تنش برشی (یا تنش اصطکاکی) بین آدم رو و خاک سرتاسر ارتفاع مصالح پرکننده، بدست آورد. این انتگرال گیری برابر با حاصل ضرب مساحت سطح جانبی آدم رو در میانگین تنش برشی وارد بر سطح است. حداکثر نیروی دراگ رو به پایین را می توان با استفاده از معادله (۴) بدست آورد. وارد کردن بارهای ترافیکی سطحی به این معادله، به طراحی درپچه آدم رو بستگی دارد. بند ۷-۳ مشاهده شود.

$$P_D = T_A \pi D_o H \quad (4)$$

که در آن:

P_D بار دراگ روبه پایین برحسب kN؛

D_o قطر خارجی آدم رو برحسب m؛

T_A میانگین تنش برشی (اصطکاکی) برحسب kPa؛

H ارتفاع مصالح پرکننده برحسب m است.

یادآوری ۴- این معادله می تواند برای آدم روهایی از جنس ترموپلاستیک، با این فرض که رفتار جنس آدم رو به صورت چقرمه (دارای ناحیه تسلیم) باشد، استفاده شود. تغییر شکل محوری آدم روهای ترموپلاستیک، بار دراگ روبه پایین را کاهش خواهد داد. بار واقعی به سفتی نسبی بین آدم رو و خاک و نیز به اثر خواص آسودگی از تنش روی سفتی نسبی بستگی دارد.

۳-۶ اثرات آب های زیرزمینی

- 1- Granular
- 2- Stiffener

حضور آب زیرزمینی اطراف یک آدم رو، علاوه بر اعمال نیروی شناوری رو به بالا^۱ به ته آدم رو، فشار هیدرواستاتیک خارجی نیز به میله ورودی آدم رو وارد می کند. هنگامی که خاک در زیر تراز آب زیرزمینی غوطه ور می شود، فشار شعاعی خاک وارد بر اطراف قطر خارجی میله ورودی کاهش می یابد؛ زیرا نیروی شناوری آب، وزن مؤثر خاک را کاهش می دهد. به منظور محاسبه فشار شعاعی وارد بر آدم رو، فشار آب زیرزمینی به فشار شعاعی خاک ایجاد شده توسط وزن شناور خاک، اضافه می شود. برای محاسبه حدود کارایی حلقه ای، از فشار شعاعی بدست آمده، استفاده می شود. برای حدود کارایی محوری که توسط نیروهای دراگ روبه پایین کنترل می شود، فشار شعاعی باید در حالت بدون آب زیرزمینی محاسبه شود؛ زیرا نیروهای دراگ روبه پایین در حین ساخت یا قبل از غوطه ور شدن رخ می دهند.

فشار شعاعی وارده در یک خاک اشباع را می توان با استفاده از روش های اجزاء محدود، اندازه گیری های میدانی، یا سایر روش ها محاسبه کرد. همچنین بجای استفاده از این روش ها، می توان از معادله (۵) برای محاسبه فشار شعاعی در مصالح پرکننده ی کاملاً اشباع شده اطراف آدم رو، استفاده کرد. منظور از کاملاً اشباع این است که تراز آب زیرزمینی در سطح زمین است و بالای سطح زمین ناست.

$$P'_R = \gamma_w H + 1.21K_A(\gamma_s - \gamma_w)H \quad (5)$$

که در آن:

P'_R فشار شعاعی وارده بر حسب kN؛

K_A ضریب فشار محرک خاک؛

H ارتفاع مصالح پرکننده بر حسب m.

γ_w وزن واحد حجم آب بر حسب kN/m^3 ؛

γ_s وزن واحد حجم خاک اشباع بر حسب kN/m^3 است.

در صورتی که اشباع خاک جزئی باشد (یعنی تراز آب زیرزمینی زیر سطح زمین ولی بالای فاضلابرو آدم رو باشد) فشار شعاعی را می توان از طریق ترکیب فشار ناشی از خاک بالای تراز آب زیرزمینی و فشار ناشی از آب زیرزمینی و خاک غوطه ور (معادله ۵) بدست آورد. در این حالت، H' ارائه شده در معادله (۶) باید جایگزین H در معادله (۵) شود. پیوست "ب" مشاهده شود.

$$H' = H - Z \quad (6)$$

که در آن:

H ارتفاع مصالح پرکننده بر حسب m ؛

Z فاصله تراز آب از سطح زمین بر حسب متر است.

فشار شعاعی بدست آمده از معادله (۵) نباید برای محاسبه فشار دراگ رو به پایین استفاده شود؛ زیرا آب زیرزمینی برش تحمل نمی کند و لذا در دراگ روبه پایین سهیم نیست. نیروهای دراگ روبه پایین با فرض نصب در شرایط خشک با استفاده از معادله (۱) برای فشار شعاعی مطابق با بند ۶-۲-۱ محاسبه می شوند.

برای محاسبه می توان از وزن خشک یا وزن اشباع خاک استفاده کرد. در صورتی وزن اشباع استفاده می شود، که سطح آب زیرزمینی به سرعت پایین رود.

در صورتی که آدم روها در زیر تراز آب زیرزمینی قرار گیرند، ملاحظات مربوط به مهار آدم رو به منظور جلوگیری از شناوری باید در نظر گرفته شود. آب زیرزمینی نیرویی بر آدم رو وارد می کند که برابر با وزن آبی است که جابجا می شود. مهار از طریق نیروهای مقاوم روبه پایین، که شامل وزن آدم رو و بار دراگ روبه پایین است، فراهم می شود. با اینحال، بار دراگ روبه پایین به صورت کامل مطابق با معادله (۴) نمی تواند ایجاد شود، زیرا این نیرو می تواند به دلیل نیروی شناوری کاهش یابد. بنابراین، ممکن است که برای مهار کردن آدم رو، به یک پایه یا حلقه بتنی نیاز باشد. هنگامی که از حلقه مهاری استفاده می شود، وزن شناوری ستون خاک بالای حلقه به نیروی مقاوم اضافه و از دراگ روبه پایین صرفنظر می شود. با نزدیک نگه داشتن حلقه مهاری به بخش پایه آدم رو، بارهای محوری در میله ورودی آدم رو به حداقل می رسند.

۷ روش طراحی برای آدم روهای ترموپلاستیک

یک آدم رو حداقل شامل میله ورودی، کف، دریچه، و خروجی ها است. هریک از این اجزاء، الزامات طراحی ویژه ای دارند. میله ورودی باید در مقابل فشار آب زیرزمینی، فشار شعاعی خاک، و نیروهای برشی ناشی از دراگ روبه پایین (که از طریق نشست خاک اطراف ایجاد می شوند) مقاومت کند. همچنین باید بارهای زنده و مرده را نیز تحمل کند. کف اصولاً باید در مقابل فشار آب زیرزمینی مقاومت کند. دریچه باید بار زنده را به میله ورودی انتقال دهد. برای آدم روهای در معرض بار ترافیکی، ملاحظات خاص باید در نظر گرفته شود (بند ۷-۳ مشاهده شود). اتصال خروجی ها در بالای فاضلابروی آدم رو باید طوری باشد که آن ها ممان های خمشی یا تنش های برشی بیش از حد بزرگ در دیواره میله ورودی ایجاد نکنند. بار وارد بر خروجی ها به دلیل نشست مصالح پرکننده، با فاصله ی قرارگیری خروجی ها نسبت به بخش پایه آدم رو افزایش می یابد. میله ورودی، کف (ته) و مخروطی آدم رو را می توان با استفاده از روش اجزاء محدود، آزمون های تجربی، یا سایر روش ها طراحی کرد. همچنین به جای این روش ها، می توان از روش ارائه شده در بندهای ۷-۱ الی ۷-۳ استفاده کرد. این روش بر مبنای تجربیات عملی و مشاهدات میدانی بوده و به صورت تجربی پاسخگوی اثرات کنش قوسی و ویسکوالاستیک است. اصلاح بیشتر این روش را می توان به شیوه های زیر انجام داد:

الف) در نظر گرفتن مستقیم کاهش بار خاک ناشی از تغییر شکل های شعاعی و محوری در سازه ی آدم رو در نتیجه ی ویسکوالاستیسیته ی ترموپلاستیک ها و خاک اطراف،

ب) در نظر گرفتن مستقیم آسودگی از تنش در ترموپلاستیک ها،

پ) ملاحظه ی برهم کنش بین کمانش محوری و حلقه ای،

ت) تعیین مستقیم افزایش مقاومت کمانش محوری میله ورودی توسط خاک.

۷-۱ طراحی میله ورودی آدم رو

طراحی میله ورودی آدم رو شامل فرض مقطعی آزمایشی از دیواره و سپس بررسی حدود کارایی آن برای بارهای شعاعی و دراگ رو به پایین است. معمولاً حداکثر بارها، نزدیک عمیق ترین قسمت مدفون آدم رو رخ

می دهد. چون بارها نزدیک سطح کمتر هستند، ضخامت دیواره میله ورودی می تواند از ته به سمت بالا کاهش یابد.

۷-۱-۱ بارهای شعاعی

حدود کارایی تحت بارهای شعاعی شامل رانش فشاری حلقه ای^۱، خمش حلقه ای، و کمانش حلقه ای است. فشار حلقه ای و خمش حلقه ای منجر به ایجاد کرنشی ترکیبی در دیواره آدم رو می شود که باید در محدوده مقادیر حدی کرنش باشد.

۷-۱-۱-۱ رانش فشاری حلقه ای

بارهای شعاعی وارد بر آدم رو منجر به ایجاد رانش محیطی فشاری می شوند. برای یک میله ورودی عمودی، حداکثر رانش در عمیق ترین قسمت رخ می دهد (در عمل، به دلیل وجود کف آدم رو، حداکثر رانش اندکی بالاتر از کف رخ می دهد). رانش حلقه ای از معادله (۷)، تعیین می شود.

$$N_T = P_R R_M \quad (7)$$

که در آن:

N_T رانش حلقه ای برحسب N/cm؛

P_R فشار شعاعی وارد شده برحسب N/cm^2 ($1 N/cm^2 = 10 kPa$)؛

R_M میانگین شعاع آدم رو برحسب cm است.

مقدار فشار شعاعی، در صورت وجود آب زیرزمینی از معادله (۵) و در غیر اینصورت از معادله (۱) تعیین می شود.

کرنش فشاری حلقه ای ناشی از رانش حلقه ای از معادله (۸) بدست می آید. به منظور محاسبه کرنش فشاری حلقه ای، فرض مقطعی از دیواره ضروری است.

$$\varepsilon_T = \frac{N_T}{EA_S} \quad (8)$$

که در آن:

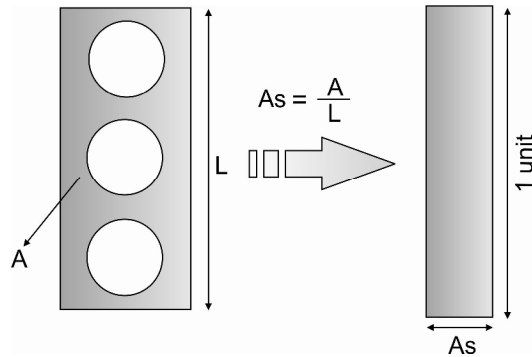
ε_T کرنش فشاری حلقه ای برحسب cm/cm؛

N_T رانش حلقه ای برحسب N/cm؛

E مدول آسودگی از تنش ترموپلاستیک برحسب N/cm^2 ؛

A_S مساحت سطح مقطع آدم رو برحسب cm^2/cm است (برای میله های ورودی تک جداره، A_S برابر با

ضخامت دیواره است). شکل ۳ مشاهده شود.



شکل ۳- طرحی از مساحت سطح مقطع آدم رو (A_s) بر حسب cm^2/cm

۲-۱-۱-۷ خمش حلقه ای

به منظور اطمینان از کافی بودن طراحی مقطع پیشنهادی از دیواره، کرنش حلقه ای محاسبه شده از معادله (۸) با کرنش خمشی ترکیب می شود.

به دلیل تغییر پذیری مصالح پرکننده و نحوه قرار گیری آن ها در اطراف آدم رو، فشارهای شعاعی وارد بر آدم رو حول محیط تغییر می کند؛ که این نایکنواختی در تراکم توسط ضریب $1/21$ در معادله (۱) نشان داده شده و منجر به ناهم مرکزی^۱ و در نتیجه ایجاد کرنش خمشی در دیواره میله ورودی می شود. کرنش خمشی می تواند از معادله ای که تغییر شکل میله ورودی را به کرنش مربوط می سازد (مانند معادله Molin) یا از طریق روش زیر محاسبه شود. این روش بر مبنای ممان خمشی ناشی از ناهم مرکزی بار رانشی است. ضریب ناهم مرکزی (e) از معادله (۹) محاسبه می شود. می توان فرض کرد که تغییر شکل های خمشی حلقه ای کوچک بوده و معمولاً از نظر مرتبه بزرگی برابر با یک یا دو درصد قطر آدم رو هستند.

$$e = C_0 \left(\frac{D_M}{2} \right) \quad (9)$$

که در آن:

e ناهم مرکزی بر حسب cm ؛

C_0 ضریب تصحیح دوپهنی برای حداکثر دو درصد تغییر شکل؛

D_M میانگین قطر آدم رو بر حسب cm است.

ممان خمشی ناشی از رانش حلقه ای وارد بر ناهم مرکزی از معادله (۱۰) محاسبه می شود.

$$M_E = 0.5eN_T \quad (10)$$

که در آن:

M_E بار خمشی^۲ بر حسب N-cm/cm ؛

e ناهم مرکزی بر حسب cm ؛

N_T رانش حلقه ای بر حسب N/cm است.

کرنش خمشی (ϵ_B) برای یک مقطع مشخص از معادله (۱۱) تعیین می شود.

1- Eccentricity
2- Bending load

$$\varepsilon_B = \frac{M_E}{ES_X} \quad (11)$$

که در آن:

ε_B کرنش خمشی^۱ برحسب cm/cm؛
 S_X مدول مقطع برحسب cm^3/cm برابر با (I/c) ؛
 I ممان اینرسی دیواره آدم رو برحسب cm^4/cm ؛
 c فاصله از مرکز سطح میله ورودی برحسب cm؛
 E مدول آسودگی از تنش ترموپلاستیک برحسب N/cm^2 است.

یادآوری ۱- اگر مدول آسودگی از تنش برای خمش متفاوت از مدول آسودگی از تنش برای فشار باشد، مقادیر مربوط به هریک باید در معادله (۸) و معادله (۱۱) جاگذاری شود. مقادیر آسودگی از تنش باید از تولید کننده آدم ریا تولید کننده رزین ترموپلاستیک درخواست شود.

۳-۱-۱-۷ کرنش ترکیبی حاصل از فشار حلقه ای و خمش حلقه ای
 کرنش حلقه ای کل در دیواره میله ورودی آدم رو از معادله (۱۲) تعیین می شود.

$$\varepsilon_C = \varepsilon_T + \varepsilon_B \quad (12)$$

که در آن:

ε_C کرنش حلقه ای ترکیبی برحسب cm/cm؛
 ε_T کرنش رانشی فشاری برحسب cm/cm؛
 ε_B کرنش خمشی برحسب cm/cm است.

ضخامت دیواره باید طوری طراحی شود که کرنش حلقه ای کل در معادله (۱۲) کمتر از حد (ظرفیت) کرنشی مجاز ماده ی ترموپلاستیک شود. ظرفیت کرنشی ماده ی ترموپلاستیک تابع نوع رزین، وزن ملکولی آن و توزیع وزن ملکولی است. به دلیل تغییرات در رزین های ترموپلاستیک، حد کرنش برای هر ماده خاص و داده های آزمون برای کاربر نهایی باید توسط تولید کننده اعلام شود. روش دیگر، طراحی بر مبنای تنش بجای کرنش و استفاده از یک مقدار تنش فشاری مجاز است. در معادله (۱۲) با تبدیل کرنش به مقدار تنش ترکیبی، می توان از این روش استفاده کرد.

یادآوری ۲- رویکرد تنش حدی معمولا برای لوله های تحت فشار استفاده می شود؛ که لوله در معرض تنش محیطی بلند مدت قرار می گیرد و در مدت عمر طراحی خود باید زیر آستانه ی رشد آهسته ترک حفظ شود. برای طراحی لوله های ترموپلاستیک بدون فشار، استفاده از تنش فشاری مجاز تقریبا برابر با تنش طراحی هیدرواستاتیک، سال ها مرسوم بوده است. با اینحال، اخیرا نشان داده شده است که تنش طراحی فشاری بزرگتر از تنش طراحی هیدرواستاتیک است، که علت آن عمدتا ناشی از تفاوت در مکانیسم های ایجاد نقیصه است.

۴-۱-۱-۷ کمانش حلقه ای

اگر تنش رانشی فشاری حلقه ای از مقدار بحرانی فراتر رود، آدم رو توانایی تحمل تغییر شکل خمشی^۱ را از دست داده و متحمل کمانش حلقه ای می شود. Moore و Selig از تئوری محیط پیوسته برای بدست آوردن معادلات مربوط به کمانش استفاده کرده اند (بند ۸ کتاب نامه). تئوری محیط پیوسته، کمانش سازه های استوانه ای شکل احاطه شده با خاک را در نظر می گیرد. وجود آب زیرزمینی، مقدار بحرانی کمانش را کاهش می دهد، زیرا فشار سیال با تغییر شکل های کوچکی که کنش قوسی را در خاک ترویج می دهند، کاهش نمی یابد. برای اثرات فشار هیدرواستاتیک، تاکنون هیچ راه حلی با استفاده از تئوری محیط پیوسته منتشر نشده است. در حال حاضر، متداول ترین راه حل برای اثرات آب زیرزمینی، استفاده از معادله Luscher ارائه شده در استاندارد AWWA C-950 است (بند ۹ کتاب نامه).

۵-۱-۱-۷ مقطع آدم رو بالای تراز آب زیرزمینی

رانش حلقه ای بحرانی که در آن کمانش رخ می دهد از معادله (۱۳) بدست می آید (بند ۱۰ کتاب نامه).

$$N_{CR} = 0.7R_H (EI)^{1/3} (E_S)^{2/3} \quad (13)$$

که در آن:

N_{CR} رانش حلقه ای بحرانی (بدون آب زیرزمینی) برحسب N/cm؛

R_H ضریب تصحیح هندسه؛

E مدول آسودگی از تنش ترموپلاستیک برحسب N/cm^2 ؛

I ممان اینرسی دیواره آدم رو برحسب cm^4/cm ؛

E_S مدول یانگ خاک برحسب N/cm^2 است.

ضریب تصحیح هندسه، به عمق دفن و سفتی نسبی بین خاک جایگزین و خاک محل بستگی دارد. در صورتی که عرض ناحیه ی دایره ای مصالح پرکننده برابر با شعاع میله ورودی آدم رو باشد، مقدار R_H به سمت یک و سفتی نسبی بین آدم رو و خاک به سمت ۰/۰۰۵ میل می کند. سفتی نسبی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{سفتی نسبی} = \frac{2.6EI}{E_S r^3} \quad (14)$$

که در آن:

r شعاع میله ورودی آدم رو برحسب cm است.

برای تقریباً تمام آدم روهای ترموپلاستیک نصب شده در خاک جایگزین دانه ای یا دانه ای-چسبنده ی متراکم، سفتی نسبی کمتر از ۰/۰۰۵ و R_H برابر با ۱/۰ است. Moore (بند ۱۰ کتاب نامه) نشان داده است که برای دفن عمیق در مصالح پرکننده یکنواخت نیز R_H برابر با ۱/۰ است.

به عنوان معیار طراحی، رانش حلقه ای که از معادله (۷) بدست می آید نباید از نصف رانش حلقه ای بحرانی (N_{CR}) فراتر رود.

۶-۱-۱-۷ مقطع آدم رو زیر تراز آب زیرزمینی

رانش حلقه ای برای کمانش در زیر تراز آب زیر زمینی با استفاده از معادله (۱۵) تعیین می شود (بند ۹ کتاب نامه).

$$N_{CRW} = 2.825 \sqrt{\frac{RB'E'EI}{D_M}} \quad (15)$$

که در آن:

N_{CRW} رانش حلقه ای بحرانی (همراه با آب زیرزمینی) برحسب N/cm؛

D_M میانگین قطر برحسب cm؛

R ضریب تصحیح (کاهنده) شناوری برابر با $(1 - 0.33 \frac{H'}{H})$ ؛

H' ارتفاع آب زیرزمینی بالای فاضلابرو برحسب m؛

H ارتفاع مصالح پرکننده برحسب m؛

E' مدول واکنش خاک برحسب N/cm^2 ؛

E مدول آسودگی از تنش ترموپلاستیک برحسب N/cm^2 ؛

I ممان اینرسی دیواره آدم رو برحسب cm^4/cm

و

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{(-0.213H)}} \quad (16)$$

است.

به عنوان معیار طراحی، رانش حلقه ای که از معادله (۷) بدست می آید نباید از نصف رانش حلقه ای بحرانی (N_{CRW}) فراتر رود.

در صورتی که سخت کننده های شعاعی در دیواره آدم رو به کار رود، میانگین ممان اینرسی دیواره می تواند در معادلات بالا استفاده شود؛ مشروط بر آنکه فاصله بین سخت کننده ها کمانش موضعی را امکان پذیر نسازد.

۲-۱-۷ حدود کارایی بار محوری

در بند ۶ در بخش مربوط به بار خاک، بار محوری ناشی از دراگ روبه پایین ارائه شد. علاوه بر دراگ رو به پایین، سایر بارهای محوری شامل وزن آدم رو و ضمایم آن و وزن هرنوع بار ترافیکی از قبیل خودرو و تجهیزات است. این بارها منجر به ایجاد کرنش فشاری محوری در دیواره آدم رو می شوند. کرنش، به ظرفیت کرنش فشاری ماده ترموپلاستیک و حد کرنشی در کمانش محوری، محدود می شود. هر دو حد، باید محاسبه شده و کوچک ترین کرنش مجاز، کنترل کننده ی طراحی است.

۱-۲-۱-۷ کرنش محوری

حداکثر کرنش محوری ایجاد شده توسط دراگ رو به پایین در پایین ترین نقطه میله ورودی رخ می دهد. با فرض دراگ روبه پایین یکنواخت، کرنش در میله ورودی تک جداره حول محیط میله ورودی ثابت است.

برای دیواره های ساختمند، کرنش محوری در امتداد طول نیم رخ و احتمالا حول محیط تغییر کرده و به ضخامت دیواره در مقطع داده شده بستگی دارد. ضخامت دیواره در نازک ترین نقطه معمولا به عنوان "مقطع خالص"^۱ شناخته شده و برابر با ضخامت دیواره آدم رو منهای ارتفاع هر هسته ی هندسی توخالی است. برای میله های ورودی تک جداره، ضخامت خالص برابر با ضخامت دیواره ی میله ورودی است. حداکثر کرنش محوری در مقطع خالص رخ می دهد. حداکثر کرنش فشاری محوری (ϵ_A) ناشی از نیروی دراگ روبه پایین وارد بر مقطع خالص دیواره میله ورودی از معادله (۱۷) بدست می آید.

$$\epsilon_A = \frac{P_D + P_I + P_W}{E\pi D_M t_n} \quad (17)$$

که در آن:

ϵ_A کرنش فشاری محوری^۲ برحسب cm/cm؛

P_D نیروی دراگ رو به پایین از معادله (۴) برحسب N؛

P_I بار زنده برحسب N؛

P_W بار مرده شامل وزن میله ورودی برحسب N؛

E مدول آسودگی از تنش ترموپلاستیک برحسب N/cm²؛

D_M میانگین قطر برحسب cm؛

I ممان اینرسی دیواره آدم رو برحسب cm⁴/cm

ϵ_n ضخامت خالص دیواره برحسب cm است.

برای طراحی، حداکثر کرنش محوری باید کمتر از کرنش مجاز مربوط به جنس ترموپلاستیک باشد.

۷-۲-۱-۲ کمانش محوری

هنگامی که کرنش محوری در یک لوله استوانه ای مهار شده در خاک افزایش می یابد، احتمال بروز کمانش محلی در لوله بیشتر از کمانش ستونی است. در پایین ترین مودهای کمانشی (محلی)، لوله به سمت بیرون دچار اندکی تغییرشکل و به سمت داخل دچار گودی می شود. برای یک آدم روی مدفون، مقاومت در مقابل کمانش از طریق خاک اطراف افزایش می یابد؛ زیرا باعث مهار تغییرشکل به سمت بیرون می شود. معادلات کمانش برای یک لوله استوانه ای بدون مهار خاک در مقالات ارائه شده است. این معادلات می توانند برای طراحی آدم رو استفاده شوند ولی در مقایسه با حالت هایی که خاک اطراف، مصالحی دانه ای با تراکم خوب و پایدار است، مقداری محافظه کارانه ارائه می دهند.

یکی از این معادلات توسط Timoshenko و Gere مطابق با بند ۱۱ کتاب نامه ارائه شده است. این معادله در قالب کرنش بحرانی به صورت زیر بازنویسی می شود:

$$\epsilon_{CR} = \frac{2S_E}{D_M \sqrt{3(1-\mu^2)}} \quad (18)$$

که در آن:

1- Net section

2- Axial compressive strain

ε_{CR} کرنش محوری بحرانی برحسب cm/cm؛

D_M میانگین قطر برحسب cm؛

μ نسبت پواسون ماده ی ترموپلاستیک؛

S_E ضخامت دیواره معادل تک جداره برحسب cm است.

$$S_E = \sqrt[3]{12I} \quad (19)$$

که در آن:

I ممان اینرسی دیواره آدم رو برحسب cm^4/cm است.

برای طراحی آدم رو های مدفون، این معادله می تواند بدون ضریب ایمنی به کار رود؛ زیرا مهار توسط خاک به اندازه کافی ضریب ایمنی فراهم خواهد کرد، و بارهای محوری وارد بر آدم روی ویسکوالاستیک نیز به میزان قابل ملاحظه ای کمتر از مقادیر پیش بینی شده توسط روش ارائه شده در این قسمت است (در مواردی که مهار توسط خاک حداقل است، از قبیل مصالح دانه ای سست اشباع یا ریز اشباع، باید از یک ضریب ایمنی مناسب در معادله ۱۸ استفاده شود).

کمانش دیواره ناشی از دراگ روبه پایین محوری، معمولاً در طول زیادی از دیواره رخ می دهد. در میله های ورودی با دیواره ساختمند، شکل نیم رخ تعیین کننده ی این است که کمانش از طریق میانگین کرنش دیواره یا از طریق حداکثر کرنش خالص شروع می شود. برای نیم رخ هایی با هسته های دایره ای شکل، میانگین کرنش دیواره معمولاً کنترل کننده ی کمانش است. میانگین کرنش دیواره از طریق جایگزینی مساحت سطح مقطع دیواره ساختمند بجای مقدار کرنش خالص دیواره در معادله (۱۷)، بدست می آید.

روش های مورد استفاده در محاسبه مقاومت کمانشی استوانه های افقی مدفون در معرض بارهای محوری، می تواند برای میله های ورودی عمودی آدم رو استفاده شود (بندهای ۱۲ و ۱۳ کتاب نامه).

تجربیات عملی نشان داده است که استقرار نایکناوخت مصالح پرکننده اطراف آدم رو و نشست نایکناوخت آن ها می تواند باعث ایجاد خمش در میله ورودی آدم رو شده و در نتیجه منجر به وقوع کرنش های کششی در جهت محوری آدم رو شود. برای کمی کردن این کرنش ها، اطلاعات زیادی وجود ندارد؛ ولی تجربیات میدانی نشان داده است که آدم رو های ساخته شده از جنس ترموپلاستیک با مقاومت زیاد در مقابل رشد آهسته ترک، می توانند این کرنش ها را تحمل کنند.

۷-۲-۳ برهم کنش کمانش محوری و شعاعی

تنش بحرانی که در آن کمانش شعاعی رخ می دهد، از طریق بار محوری کاهش می یابد. معمولاً از این برهم کنش صرف نظر شده که توسط روش های پایداری الاستیک (بند ۱۱ کتاب نامه) نیز تأیید می شود. با اینحال، Chau و همکارانش معادله کمانش دو محوری را ارائه داده اند (بند ۱۳ کتاب نامه).

۷-۲ ملاحظات طراحی کف (ته) آدم رو

برای آدم رو های نصب شده دارای بخش های پایه ی منطبق با الزامات بند ۴، بار دراگ رو به پایین متحمل شده توسط میله ورودی آدم رو، در سطح تماس بین دیواره آدم رو و خاک، بدون دخالت ته مستقیماً به بخش پایه انتقال می یابد. در صورتی که آدم رو زیر تراز آب زیرزمینی قرار گرفته و ته آدم رو وجود داشته

باشد، بار بحرانی وارد بر ته، فشار آب زیرزمینی است. برای مواردی که ته بالای تراز آب زیرزمینی قرار گرفته یا جریان نفوذی آب نمی تواند ترانشه ی آدم رو را اشباع کند، ضخامت ته می تواند اسمی باشد؛ ولی در صورتی که فشارهای شناوری از طرف آب بر ته آدم رو وارد شود، اندازه ی ته باید طوری باشد که بتواند تنش و تغییرشکل خمشی را محدود کند. تغییرشکل کف آدم رو معمولا برای قطرهای ۱۵۰ سانتی متر و کوچک تر، کمتر از دو درصد و برای قطرهای بزرگ تر کمتر از یک درصد است.

به جای استفاده از روش اجزاء محدود، نتایج تجربی، یا معادلات تحلیلی، از معادلات زیر می توان استفاده کرد (بند ۱۴ کتاب نامه). معمولا فرض می شود که رفتار تسلیم حول محیط بیرونی رخ داده و حداکثر تنش ها در مرکز قسمت ته است.

$$\sigma = \frac{3}{4} p \frac{r^2}{t^2} \quad (20)$$

که در آن:

σ حداکثر تنش برحسب N/cm^2 ؛

p فشار آب زیرزمینی برحسب N/cm^2 ؛

r شعاع قسمت ته برحسب cm ؛

t ضخامت صفحه برحسب cm است.

$$\delta = \frac{3}{16} (1 - \mu^2) \frac{pr^4}{Et^3} \quad (21)$$

که در آن:

δ حداکثر تغییرشکل برحسب cm ؛

μ نسبت پواسون ماده ی ترموپلاستیک؛

p فشار آب زیرزمینی برحسب N/cm^2 ؛

r شعاع قسمت ته برحسب cm ؛

t ضخامت صفحه برحسب cm ؛

E مدول آسودگی از تنش ترموپلاستیک برحسب N/cm^2 است.

به منظور کاهش تنش و تغییرشکل، می توان ورق (پروفیل، نبشی، ...) سخت کننده به ته آدم رو اضافه کرد. انجام تحلیلی به منظور تأیید کافی بودن این سخت کننده ها و قابل پذیرش بودن تنش برشی در جوش بین سخت کننده ها و قسمت ته، ضروری است.

در مواردی که ته آدم رو به شکل صفحات تخت نیست (مانند مجرای فاضلابرو و سکو)، آزمون های فیزیکی و تحلیل های پیچیده تر لازم است. به دلیل اینکه معمولا مصالح پرکننده نمی تواند بطور کامل این اجزاء را در بر گیرد، باید برای یک مقاومت کمانشی بدون مهار، با قابلیت تحمل فشار طراحی آب زیرزمینی طراحی شوند.

۳-۷ ملاحظات طراحی مخروطی / دریچه آدم رو

مخروطی ها و دریچه های ترموپلاستیک به شکل صفحه طوری طراحی می شوند که بتوانند بارهای زنده ی سبک، مانند انسان و تجهیزات سبک، را تحمل کنند. کافی بودن طراحی دریچه باید از طریق آزمایش یا محاسبات تأیید شود.

برای کاربردهای در معرض بار ترافیکی، به منظور عدم انتقال مستقیم نیروی بار زنده (شامل بار ترافیکی) به استوانه ی آدم رو، دریچه روی دال بتنی مستقر روی مصالح پرکننده اطراف آدم رو قرار می گیرد.

یادآوری ۱- در صورت استفاده از دریچه های ترموپلاستیک، این نوع دریچه ها برای بارهای رده A15 و B125 طراحی شده اند و بارهای ترافیکی مکرر می توانند منجر به تغییرشکلی قابل توجه در دریچه شوند. تغییرشکل ممکن است به ترموپلاستیک آسیب نزنند، ولی می تواند منجر به ترک زایی شدید در روسازی معابر شود. قبل از پذیرش دریچه ی ترموپلاستیکی برای نصب تحت بار ترافیکی بدون درپوش بتنی یا محفظه، طراح باید داده هایی را که نشانگر قابل پذیرش بودن دریچه برای بارگذاری ترافیکی است، از تولید کننده بخواهد.

هنگام طراحی آدم رو برای بارهای ترافیکی، باید به انتقال یا عدم انتقال نیروی بار زنده به استوانه ی آدم رو توجه کرد. در صورتی که دال بتنی روی خاک طوری قرار داده شود که هیچگونه انتقال مستقیم بار به میله ورودی آدم رو وجود نداشته باشد، مقدار نیروی بار زنده ی منتقل شده به میله ورودی به فشار شعاعی در بخش فوقانی آدم رو بستگی دارد. بجای تعیین مستقیم این مقدار، از روشی تقریبی به منظور تبدیل بار چرخ به بار اضافی معادل وارد بر سطح کل صفحه ی بتنی، استفاده می شود. سپس این مقدار در K_A ضرب می شود تا فشار شعاعی در بخش فوقانی آدم رو (P_{RI}) بدست آید. معمولاً این مقدار برای آدم روهای با عمق بیش از ۳ متر قابل چشم پوشی است و در نتیجه از نیروی بار زنده صرف نظر می شود.

یادآوری ۲- در صورت درخواست کاربر نهایی، دریچه می تواند مستقیماً روی میله ورودی آدم رو قرار گیرد. در این صورت نیروی بار زنده به میله ورودی منتقل خواهد شد و در نتیجه برای طراحی، این نیرو باید مستقیماً به P_D در معادله ی (۴) اضافه شود.

فشار حلقه ای در استوانه ی آدم رو، که نتیجه ی فشار شعاعی ناشی از بار ترافیکی زنده وارد بر آدم رو است، باید در نظر گرفته شود. علاوه بر این، باید تحلیلی به منظور تعیین کافی بودن سفتی استوانه ی آدم رو برای مقاومت در مقابل این فشار شعاعی، انجام شود.

رده بندی و ویژگی های دریچه های آدم رو در استاندارد EN 124 ارائه شده است.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

مقادیر احتمالی برای مدول یانگ و نسبت پواسون خاک

مقادیر احتمالی برای مدول یانگ و نسبت پواسون خاک به منظور استفاده در معادله (۱۳)، در جداول الف-۱ و الف-۲ ارائه شده است.

جدول الف-۱- نمونه ای از محدوده ی مقادیر برای مدول یانگ خاک (E_s)^۱

MPa	نوع خاک
	خاک رس
۲ تا ۱۵	خیلی نرم
۵ تا ۲۵	نرم
۱۵ تا ۵۰	متوسط
۵۰ تا ۱۰۰	سخت
	ماسه
۷ تا ۲۱	- لای دار
۱۰ تا ۲۴	- سست
۴۸ تا ۸۱	- متراکم
	شن و ماسه
۴۸ تا ۱۴۴	- سست
۹۶ تا ۱۹۲	- متراکم

(۱) اعداد از بند ۱۴ کتاب نامه گرفته شده اند.

جدول الف-۲- نمونه ای از محدوده ی مقادیر برای نسبت پواسون (μ)^۱

μ	نوع خاک
۰/۴ تا ۰/۵	خاک رس، اشباع
۰/۱ تا ۰/۳	خاک رس، غیر اشباع
۰/۲ تا ۰/۴	ماسه (متراکم)

(۱) اعداد از بند ۱۴ کتاب نامه گرفته شده اند.

پیوست ب (اطلاعاتی) ضمایم آدم رو

ب-۱ پله های آدم رو

پله های مورد استفاده در آدم رو باید از جنس ترموپلاستیک یا سایر مواد ضد خوردگی بوده و الزامات مکانیکی و کارایی آن ها مطابق با استاندارد ملی ۱۲۰۲۷ یا استاندارد EN 14396 باشند. برای ورود به آدم رو، فقط افراد آموزش دیده ی مجهز به تجهیزات ایمنی مناسب شامل دستگاه ردیابی گاز، کابل و کمر بند ایمنی یا وسایلی مشابه برای جلوگیری از سقوط، مجاز هستند.

ب-۲ گوشواره های حمل آدم رو

هنگامی که از گوشواره های حمل یا سایر وسایل به منظور حمل و استقرار آدم رو استفاده می شود، طراحی آن ها باید از طریق محاسبات یا آزمایش تأیید شود. توصیه می شود که کاربر نهایی تمام اطلاعات لازم در مورد حمل و نقل آدم رو را بطور کامل از تولید کننده دریافت کند.

ب-۳ وسایل ضد شناور سازی

هنگامی که میله ی ورودی آدم رو تا زیر تراز آب زیرزمینی ادامه می یابد، نیروی شناوری قابل توجهی می تواند به ته آدم رو وارد شود. این نیرو می تواند آنقدر بزرگ باشد که بر مقاومت اصطکاکی بین آدم رو و خاک غلبه کرده و باعث حرکت رو به بالای آدم رو و نا تراز آن شود. چندین روش به منظور مهار آدم رو در مقابل این شناور شدن استفاده شده است. به منظور برآورد نیاز یا عدم نیاز به مهار سازی، طراح باید تحلیل انجام دهد. این تحلیل باید شامل تعیین نیروی شناورسازی و مقایسه آن با مقاومت اصطکاکی خاک باشد. برای اطمینان بیشتر، ضریب اصطکاک بین خاک و میله ورودی کم در نظر گرفته می شود. در صورت استفاده از تجهیزات ضد شناورسازی، طراح باید محاسبات را طوری انجام دهد که آدم رو شناور نشده و به تجهیزات نیز بیش از حد تنش وارد نشود. راهکارهای اطمینان از عدم شناوری شامل حالت های زیر هستند:

- ۱) مهار آدم رو به صفحه پایه ی بتنی،
- ۲) افزایش عرض صفحه پایه ی آدم رو به نحوی که از قطر خارجی میله ورودی بیشتر شود و سپس اجرای یک حلقه مهاری بتنی روی آن،
- ۳) جوش دادن یک حلقه دایره ای شکل از جنس آدم رو به میله ورودی و سپس اجرای یک حلقه مهاری بتنی روی آن.

در حالت سوم، تنش برشی بین حلقه ی ترموپلاستیک و استوانه آدم رو باید کمتر از حد مجاز باشد. در حالت های دوم و سوم، حلقه مهاری بتنی از وزن خاک به منظور مقاومت استفاده می کند. حلقه های ترموپلاستیک به تنهایی ممکن است بتوانند مقاومت کافی را فراهم کنند؛ ولی طراح باید آن ها را طوری طراحی کند که متحمل بار خمشی اضافی نشده و امکان حرکت های رو به بالای بزرگ را فراهم نسازند. حلقه های مهاری ترموپلاستیک باید نزدیک به بخش پایه آدم رو نصب شوند، وگرنه بار دراگ روبه پایین قابل توجهی اضافه می شود که می تواند بار بیش از حدی به میله ورودی وارد کند.

پیوست پ
(اطلاعاتی)
نمونه ای از محاسبات

پ-۱ اطلاعات ارائه شده

پ-۱-۱ حداقل ابعاد و مشخصات هندسی آدم رو

در این مثال، دیواره میله ورودی آدم رو از نوع نیم رخ بسته با تک لایه ای از هسته های توخالی دایره ای (گر تیوب) متمرکز در گرانیگاه دیواره آدم رو بوده و ابعاد و مشخصات هندسی آن به شرح زیر است:

جدول پ-۱-۱ ابعاد و ویژگی های هندسی آدم رو

۱۲۲	قطر داخلی آدم رو (D)، بر حسب cm
۶/۰۱	ممان اینرسی (I)، بر حسب cm^4 /cm
۱/۹۱	مساحت سطح مقطع (A)، بر حسب cm^2 /cm
۲/۳۲	گرانیگاه (Z_C)، بر حسب cm
۴/۶۵	ارتفاع دیواره (h)، بر حسب cm
۰/۹۷	ضخامت خالص دیواره (t_n)، بر حسب cm
۵/۰۸	ضخامت صفحه پایه آدم رو (t_p)، بر حسب cm

پ-۱-۲ خواص مواد برای ترموپلاستیک انتخاب شده

در این مثال، ترموپلاستیک مورد استفاده از نوع پلی اتیلن سنگین بوده و خواص آن به شرح زیر است:

جدول پ-۲-۲ خواص پلی اتیلن مورد استفاده

۱۹۴۷۸	مدول آسودگی از تنش بلند مدت (E) در 23°C ، بر حسب N/cm^2
۰/۴۸	نسبت پواسون بلند مدت (μ)
۶۸۹	تنش فشاری بلند مدت مجاز ^(۱) (C_S) در 23°C ، بر حسب N/cm^2
۰/۰۳۵	کرنش فشاری محوری ^(۲) (ϵ_{cal}) در 23°C ، بر حسب cm/cm
۰/۰۵	کرنش خمشی حلقه ای بلند مدت مجاز ^(۳) (ϵ_{bal}) در 23°C ، بر حسب cm/cm
۵۵۰	تنش کششی بلند مدت مجاز ^(۴) (σ_{tal}) در 23°C ، بر حسب N/cm^2
<p>(۱) مقدار تنش فشاری مجازی که الزامات موادی بند ۵-۱ را برآورده ساخته و دارای HDB برابر با 1100 N/cm^2 باشد، 689 N/cm^2 می شود.</p> <p>(۲) مقدار کرنش خمشی حلقه ای مجازی که الزامات موادی بند ۵-۱ را برآورده سازد، برابر با ۵ درصد است.</p> <p>(۳) به منظور جلوگیری از تنش بلند مدت بزرگتر از 689 N/cm^2، حد کرنش فشاری محوری ۳/۵ درصد است.</p> <p>(۴) مقدار تنش کششی بلند مدت مجازی که الزامات موادی بند ۵-۱ را برآورده ساخته و دارای HDB برابر با 1100 N/cm^2 باشد، 550 N/cm^2 است.</p>	

پ-۱-۳ اطلاعات مربوط به خاک و نصب

در این مثال، اطلاعات مربوط به خاک و نصب به شرح زیر است:

جدول پ-۳- اطلاعات مربوط به خاک و نصب

۵/۴۹	عمق آدم رو (H)، بر حسب m
۳/۰۵	عمق از سطح تا تراز آب زیرزمینی (Z)، بر حسب m
۲۱/۲۱	وزن خاک اشباع (S_w)، بر حسب kN/m^3
۱۸/۸۵	وزن خاک خشک (D_w)، بر حسب kN/m^3
۳۰°	زاویه اصطکاک داخلی (θ)
۶۸۹	مدول واکنش خاک (E')، بر حسب N/cm^2
۲۳	دمای طراحی آدم رو (T)، بر حسب °C
۰/۴	ضریب اصطکاک پلی اتیلن سنگین (HDPE) نسبت به خاک (μ_f)
۴۸۲۶	مدول یانگ خاک (E_s)، بر حسب N/cm^2
۱	ضریب تصحیح هندسی معادله Moore (R_H)، بر حسب cm

پ-۲ محاسبات

پ-۲-۱ فشار خاک شعاعی (بندهای ۱-۲-۶ و ۱-۳-۶)

در بند ۱-۲-۶، معادله مربوط به فشار شعاعی وارد بر آدم رو در خاک خشک ارائه شده است (معادله ۱). این معادله در بند ۳-۶ برای آدم روی در معرض فشار آب بیرونی اصلاح شده است (معادله ۵). در نمونه محاسبات، فرض می شود که تراز آب زیرزمینی ۳/۰۵ متر زیر سطح است. بنابراین، فشار شعاعی در فاضلابروی آدم رو دارای دو مؤلفه است:

(۱) فشار ناشی از خاک جایگزین بالای تراز آب زیرزمینی،

(۲) فشار ناشی از خاک جایگزین زیر تراز آب زیرزمینی.

فشار شعاعی وارد بر آدم رو از جمع معادله ۱ (برای صفر تا ۳ متر) و معادله ۵ (برای ۳ تا ۵/۵ متر) بدست می آید.

به منظور محاسبه فشار شعاعی در معادله ۱ و معادله ۵، باید ضریب فشار محرک خاک (K_a) تعیین شود (معادله ۲ بند ۱-۲-۶):

$$K_A = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right), \quad K_A = 0.333 \quad (\text{پ-۱})$$

مؤلفه فشار شعاعی ناشی از خاک بالای تراز آب زیرزمینی با استفاده از معادله ۱ (بند ۱-۲-۶) تعیین می شود:

$$H_d = Z, \quad H_d = 3.05 \text{ m} \quad (\text{پ-۲})$$

$$P_{rd} = 1.21K_a D_W H_d, \quad P_{rd} = 23.2 \text{ kPa} \quad (\text{پ-۳})$$

مؤلفه فشار شعاعی ناشی از ترکیب فشار خاک و فشار آب در زیر تراز آب زیرزمینی با استفاده از معادله ۵ (بند ۳-۶) تعیین می شود:

$$H_{sat} = H - Z, \quad \gamma_W = 9.8 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{پ-۴})$$

$$P_{sat} = \gamma_W H_{sat} + 1.21K_a (S_W - \gamma_W) H_{sat}, \quad P_{sat} = 35.1 \text{ kPa} \quad (\text{پ-۵})$$

فشار شعاعی وارد بر فاضلابروی آدم رو برابر است با:

$$P_r = P_{rd} + P_{sat}, \quad P_r = 58.3 \text{ kPa} \quad (\text{پ-۶})$$

پ-۲-۲ بار دراگ رو به پایین (بند ۲-۲-۶)

بار دراگ رو به پایین از جمع تنش برشی میانگین روی مساحت سطح آدم رو بدست می آید. تنش برشی برابر با حاصل ضرب فشار شعاعی میانگین در ضریب اصطکاک است (معادله ۳ بند ۲-۲-۶). فشار شعاعی مورد استفاده در معادله ۳، فشار ناشی از وزن واحد حجم خشک یا اشباع (ولی غیر شناور) خاک جایگزین، که عمق کامل آدم رو اشغال کرده، است؛ صرفنظر از اینکه آدم رو زیر تراز آب زیر زمینی باشد یا نباشد و از معادله ۱ بدست می آید:

$$P_{rd} = 1.21K_a D_W H_d, \quad P_{rd} = 46.9 \text{ kPa} \quad (\text{پ-۷})$$

تنش برشی میانگین از معادله ۳ تعیین می شود (بند ۲-۲-۶):

$$P_{r1} = 0.0 \text{ kPa}, \quad P_{r2} = P_{rd} \quad (\text{پ-۸})$$

$$T_A = \mu \left[\frac{P_{r1} + P_{r2}}{2} \right], \quad T_A = 9.4 \text{ kPa} \quad (\text{پ-۹})$$

بار دراگ رو به پایین از معادله ۴ بدست می آید (بند ۲-۲-۶):

$$D_{od} = D + 2h, \quad D_{od} = 1.31 \text{ m} \quad (\text{پ-۱۰})$$

$$P_D = T_A \pi D_{od} H, \quad P_D = 212.4 \text{ kN} \quad (\text{پ-۱۱})$$

پ-۲-۳ طراحی میله ورودی آدم رو - بارهای شعاعی

حدود کارایی تحت بارهای شعاعی شامل فشار حلقه ای، خمش حلقه ای، و کمانش حلقه ای می شود. رانش فشاری حلقه ای با استفاده از معادله ۷ (بند ۱-۱-۷) تعیین می شود؛ که اگر مقدار P_r بر حسب kPa بر ۱۰ تقسیم شود، P_r بر حسب N/cm^2 بدست می آید.

$$R_m = \frac{D + 2Z_C}{2}, \quad P_r = 5.83 \text{ N/cm}^2, \quad (\text{پ-۱۲})$$

$$N_t = P_r R_m \quad , \quad N_t = 369 \text{ N/cm} \quad (\text{پ-۱۳})$$

کرنش فشاری حلقه ای با استفاده از معادله ۸ بدست می آید:

$$\varepsilon_t = \frac{N_t}{EA} \quad , \quad \varepsilon_t = 0.01 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \quad (\text{پ-۱۴})$$

کرنش فشاری حلقه ای باید کمتر از کرنش فشاری مجاز باشد.

$$\varepsilon_t = 0.01 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} < \varepsilon_{cal} = 0.035 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \quad (\text{پ-۱۵})$$

کرنش خمشی از نا هم مرکزی آدم رو تعیین می شود. فرض می شود که مقداری از نا هم مرکزی به دلیل نیروهای نصب و حمل رخ می دهد. برای میله های ورودی آدم رو، مقدار این نوع نا هم مرکزی معمولاً ۲ درصد قطر است ($C_o = 0.02$). با اینحال، به دلیل اینکه میله ورودی از طریق ته آدم رو در مقابل تغییر شکل حلقه ای تقویت می شود، حداکثر نا هم مرکزی در نقطه ی حداکثر فشار شعاعی رخ نمی دهد. نا هم مرکزی از معادله ۹ بدست می آید:

$$e = C_o R_m \quad , \quad e = 1.27 \text{ cm} \quad (\text{پ-۱۶})$$

ممان خمشی حاصل از رانش حلقه ای از معادله ۱۰ تعیین می شود:

$$M_E = 0.5eN_t \quad , \quad M_E = 233.7 \frac{\text{N} \cdot \text{cm}}{\text{cm}} \quad (\text{پ-۱۷})$$

کرنش خمشی از معادله ۱۱ تعیین میشود:

$$S_x = \frac{1}{Z_c} \quad (\text{پ-۱۸})$$

$$\varepsilon_b = \frac{M_E}{ES_x} \quad , \quad \varepsilon_b = 0.005 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \quad (\text{پ-۱۹})$$

ترکیب کرنش خمشی و فشاری از معادله ۱۲ بدست می آید:

$$\varepsilon_C = \varepsilon_t + \varepsilon_b \quad , \quad \varepsilon_C = 0.015 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} < \varepsilon_{bal} = 0.05 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \quad (\text{پ-۲۰})$$

هر دو معیار کرنش فشاری حلقه ای مجاز (معادله پ-۱۵) و کرنش ترکیبی مجاز (معادله پ-۲۰) باید برآورده شود.

در این استاندارد، دو معادله برای بررسی کمانش ارائه شده است. معادله ۱۳ برای استفاده در کاربردهای خاک خشک یا بالای تراز آب زیرزمینی و معادله ۱۵ برای میله های ورودی قرار گرفته در زیر تراز آب زیرزمینی استفاده می شود. هر دو قسمت "خشک" و "خیس" میله ورودی در این مثال بررسی می شود.

معادله ۱۳ برای بررسی کمانشی شعاعی میله ورودی بالای تراز آب زیرزمینی استفاده می شود و در این مثال برای ۳ متر بالای آدم رو به کار می رود:

$$N_{cr} = 0.7R_H (EI)^{1/3} E_S^{2/3} \quad , \quad N_{cr} = 9779 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \quad (\text{پ-۲۱})$$

بار شعاعی وارد بر ۳ متر بالای میله ورودی آدم رو ($H_d = 3 \text{ m}$) برابر است با:

$$P_{rd} = 1.21K_a D_W H_d \quad , \quad P_{rd} = 23.2 \text{ kPa} \quad (\text{پ-۲۲})$$

$$N_{td} = P_{rd} R_m, \quad N_{td} = 146.8 \text{ N/cm} \quad (\text{پ-۲۳})$$

$$SF = \frac{N_{cr}}{N_{td}}, \quad SF = 66.7 > 2.0 \quad (\text{پ-۲۴})$$

کمانش شعاعی قسمت غوطه ور میله ورودی آدم رو در زیر تراز آب زیرزمینی از معادله ۱۵ تعیین می شود:

$$R_W = 1 - 0.33 \frac{H - Z}{H}, \quad R_W = 0.853, \quad (\text{پ-۲۵})$$

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{(-0.213H)}} \quad (\text{پ-۲۶})$$

که عدد پایه لگاریتم طبیعی بوده و برابر با ۲/۷۱۸۲۸ است.

$$D_m = D + 2Z_C \quad (\text{پ-۲۷})$$

$$N_{crw} = 2.825 \left[\frac{R_W B' E' EI}{D_m} \right]^{1/2}, \quad N_{crw} = 139 \text{ N/cm}, \quad (\text{پ-۲۸})$$

با استفاده از N_t بدست آمده از معادله پ-۱۳، S_F تعیین می شود:

$$SF = \frac{N_{crw}}{N_t}, \quad SF = 3.77 > 2.0 \quad (\text{پ-۲۹})$$

پ-۲-۴ طراحی میله ورودی آدم رو - بارهای محوری

نیروی دراگ روبه پایین (P_D)، بار زنده (P_I) و وزن میله ورودی آدم رو (P_W) به ترتیب برابر با ۲۱۲۴۰۰ N، ۰ N و ۴۰۰۰ N است. کرنش محوری در مقطع خالص دیواره با استفاده از معادله ۱۷ محاسبه می شود:

$$\varepsilon_a = \frac{P_D + P_I + P_W}{E \pi D_m t_n}, \quad \varepsilon_a = 0.029 \frac{\text{cm}}{\text{cm}}, \quad (\text{پ-۳۰})$$

کرنش محوری خالص دیواره باید کمتر از کرنش فشاری محوری مجاز بر مبنای رده بندی استحکام بلند مدت مواد باشد (بند پ-۱).

$$\varepsilon_a = 0.029 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} < \varepsilon_{cal} = 0.035 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \quad (\text{پ-۳۱})$$

کرنش بحرانی در کمانش محوری میله ورودی از معادله ۱۸ تعیین می شود:

$$S_E = (12I)^{1/3}, \quad S_E = 4.16 \text{ cm}, \quad (\text{پ-۳۲})$$

$$\varepsilon_{cr} = \frac{2S_E}{D_m [3(1 - \mu^2)]^{1/2}}, \quad \varepsilon_{cr} = 0.043 \frac{\text{cm}}{\text{cm}}, \quad (\text{پ-۳۳})$$

برای شکل های از نوع نیم رخ بسته در استاندارد ASTM F894، بجای کرنش خالص دیواره محاسبه شده از معادله پ-۳۱، میانگین کرنش دیواره کنترل کننده ی کمانش محوری است. با جاگذاری مساحت سطح مقطع بجای ضخامت خالص دیواره در معادله ۱۷، میانگین کرنش فشاری محوری بدست می آید:

$$\varepsilon_a = \frac{P_D + P_l + P_W}{E\pi D_m t_n} \quad \varepsilon_a = 0.015 \frac{\text{cm}}{\text{cm}}, \quad (\text{پ-۳۴})$$

$$SF = \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_a} \quad , \quad SF = 2.87 \quad (\text{پ-۳۵})$$

مقدار SF برابر با یک کافی در نظر گرفته می شود، زیرا مهار فراهم شده توسط خاک در جلوگیری از کمانش محوری در معادله ۱۸ لحاظ نشده است.

پ-۲-۵ طراحی کف (ته) آدم رو

بار اصلی وارد بر ته آدم رو ناشی از آب زیرزمینی است.

$$P_{gw} = WH_{sat} \frac{100 \text{ cm}}{m} \quad , \quad P_{gw} = 2.39 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \quad (\text{پ-۳۶})$$

در صورتی که پایه آدم رو از یک صفحه تخت با ضخامت t_p و بدون ورق (پروفیل، نبشی و ...) ساخته شده باشد، حداکثر تنش صفحه پایه از معادله ۲۰ تعیین می شود:

$$\sigma_{bp} = \frac{3}{4} P_{gw} \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2}{t_p^2} \quad , \quad \sigma_{bp} = 258 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \quad (\text{پ-۳۷})$$

حداکثر تنش در صفحه پایه باید کمتر از تنش مجاز برای ماده ی سازنده صفحه پایه باشد.

$$\sigma_{bp} = 258 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} < \sigma_{tal} = 550 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \quad (\text{پ-۳۸})$$

تغییر شکل رو به بالا که در صفحه پایه (کف آدم رو) رخ می دهد، باید کمتر از ۲ درصد قطر آدم رو باشد.

$$\delta_{bp} = \frac{3}{16} (1 - \mu^2) P_{gw} \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^4}{Et_p^3} \quad , \quad \delta_{bp} = 1.87 \text{ cm} \quad (\text{پ-۳۹})$$

$$\Delta \% = \frac{\delta_{bp}}{D} 100 \quad \Delta \% = 1.53 < 2 \% , \quad (\text{پ-۴۰})$$

پیوست ت
(اطلاعاتی)
کتاب نامه

[2] ATV-A 127E, Static calculation of drains and sewers

[2] Hossain, M. K. and Lytton, R. L., "Analysis of Large Diameter High-Density Polyethylene Plastic Pipes as Vertical Shafts in Landfills," *Journal of Testing and Evaluation*, ASTM, Vol 19, No. 6, Nov. 1991, pp. 475–484.

[3] Gartung, E., Prühs, H., and Hoch, A., "Design of Vertical Shafts in Landfills," *Second International Landfill Symposium*, Sardinia, 1989.

[4] Hossain, M. K., "Finite Element Analysis and Design of Large Diameter Flexible Vertical Pipes Subjected to Incremental Compacted Backfill Loads and Creep Effects," Master Thesis, Texas A&M University, 1990.

[5] Report to Bauku, Wiehl, Germany from Grundbauingeniure Steinfeld und Partner, Erobaulaboratium Hamburg, 1991.

[6] Swan, R. H., Jr., Bonaparte, R., Bachus, R. C., Rivette, C. A., and Spikula, D. R., "Effect of Soil Compaction Conditions on Geomembrane-Soil Interface Strength," *Geotextiles and Geomembranes*, 10, 1991, pp. 523–529.

[7] Martin, J. P., Koerner, R. M., and Whitty, J. E., "Experimental Friction Evaluation of Slippage Between Geomembranes, Geotextiles and Soils," *International Conference on Geomembranes*, Denver.

[8] Moore, I. D. and Selig, E. T., "Use of Continuum Buckling Theory for Evaluation of Buried Plastic Pipe Stability," *Buried Plastic Pipe Technology*, ASTM STP 1093, ASTM, Philadelphia, 1990.

[9] Cagle, L. L. and Glassock, B., "Recommendations for Elastic Buckling Design Requirements for Buried Flexible Pipe," *Proceedings: Better Water for the Americas, Part 1*, AWWA, 1982.

[10] Moore, I. D., Selig, E. T., and Haggag, A., "Elastic Buckling Strength of Buried Flexible Culverts," *TRB Session 143*, Transportation Research Board, Washington, 1988.

[11] Timoshenko, S. P. and Gere, J. M., *Theory of Elastic Stability*, McGraw-Hill Company, 1961.

[12] Chau, M. T., Chua, K. M., and Lytton, R. L., "Stability Analysis of Flexible Pipes: A Simplified Biaxial Buckling Equation," 68th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1989.

[13] Chau, M. T., "Stability Analysis of Buried Flexible Pipes: A Biaxial Buckling Equation," Master Thesis, Texas A&M University, 1990.

[14] Sealy, F. B. and Smith, J. O., *Advanced Mechanics of Materials*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1952.

[15] Bowles, J. E., *Foundation Analysis and Design, 3rd Ed.*, McGraw- Hill Book Company, New York, 1982.