

طراحی و ساخت لوله‌های فاضلاب انعطاف پذیر

انواع مختلفی از لوله‌های انعطاف پذیر، از جمله لوله‌های چدنی منعطف، لوله‌های کامپوزیتی آکریلونیتریل بوتادین استایرن، لوله جدار صلب ABS، لوله‌ی پلی وینیل کلرید، لوله‌ی پلی اتیلن، پلاستیک تقویت شده با فایبرگلاس و لوله‌ی فلزی موج دار روکش دار، در سیستم فاضلاب استفاده می‌شوند.

در این مقاله یک روش کلی برای طراحی سیستم فاضلاب انعطاف پذیر مطرح شده است.



طراحی لوله‌ی فاضلاب انعطاف پذیر

ظرفیت لوله‌ی انعطاف پذیر برای انتقال بار اعمال شده تحت تأثیر مقاومت لوله و مقامت غیرفعال خاک هنگامی که لوله به‌طور عمودی و به‌طور جانبی در برابر مواد پرکننده تغییر شکل می‌دهد، قرار دارد.

بنابراین تراکم مواد پرکننده در دو طرف لوله می‌تواند بر عملکرد لوله در آینده تأثیر بگذارد. لوله‌های انعطاف پذیر به علت انحراف، فروریختگی، کمانش، تورق و ترک خوردگی قابل توجه؛ گسیخته می‌شوند.

معمولاً انحراف لوله‌ی انعطاف پذیر عملکرد لوله را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به‌عنوان مبنایی برای طراحی استفاده می‌شود. انحراف مجاز لوله نه تنها بر اساس محدودیت‌های پروژه بلکه بر اساس خواص مصالح لوله هم تعیین می‌شود.

تولیدکنندگان لوله معمولاً داده‌های تجربی مربوط به انحراف درازمدت لوله را برای شرایط مختلف کاربرد ارائه می‌دهند.

اگر چنین داده‌هایی وجود نداشته باشد، انحراف درازمدت لوله‌ی فاضلاب انعطاف پذیر را می‌توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\Delta X = \frac{D_L K_b W_c r^5}{EI + 0.061 E' r^3} \quad \text{معادله ۱-}$$

که:

ΔX انحراف افقی لوله، mm

D_L : ضریب تأخیر انحراف

K_b : ضریب بستر

W_c : بار، N/m

r : شعاع میانگین لوله‌ی انعطاف‌پذیر، mm

E : مدول الاستیسیته کششی، N/m^2

a : ممان اینرسی در واحد طول، mm^2/mm

E' : مدول عکس‌العمل خاک، N/mm^2

اگر انحراف لوله‌ی انعطاف‌پذیر کمتر باشد، انحراف افقی برآورد شده با استفاده از معادله-۱ تقریباً برابر با انحراف عمودی خواهد بود. هر چند، اگر نسبت سختی لوله به سختی خاک کم باشد این موضوع برقرار نیست.

در شرایطی که لوله‌ی انعطاف‌پذیر با بتن پوشانده می‌شود، باید توصیه‌ی تولیدکنندگان مورد توجه قرار گیرد و پوشش بتنی به‌گونه‌ای طراحی شود که تمام بار عمودی را منتقل کند و در غیر این نباید از پوشش بتنی استفاده شود.

مقاومت غیرفعال خاک که تأثیر زیادی بر انحراف لوله دارد، تحت عنوان مدول واکنش خاک بیان می‌شود. این مقدار به نوع خاک و درجه‌ی تراکم آن بستگی دارد.

اداره‌ی بازسازی ایالات متحده رابطه‌ای بین مدول واکنش خاک، نوع مواد بستر و درجه‌ی تراکم بستر مقرر کرده است. مقادیری برای مدول واکنش خاکی که می‌توان در معادله-۱ استفاده کرد، معرفی شده و در جدول-۱ ارائه شده است. طبقه‌بندی خاک به همراه اسامی معمول خاک و علائم آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- مقادیر میانگین مدول واکنش خاک (E') برای نقص اولیه‌ی لوله‌ی انعطاف‌پذیر

مدول واکنش خاک برای درجه‌ی تراکم بستر، Pa				نوع خاک ماده‌ی بستر لوله
زیاد، پروکتور < ۹۵٪، چگالی نسبی < ۷۰٪	متوسط، پروکتور ۸۵٪-۹۵٪، چگالی نسبی ۴۰٪-۷۰٪	کم، پروکتور > ۸۵٪، چگالی نسبی ۴۰٪	توده شده (ریخته شده، اشغال)	
$E'=0$ یا طبق توصیه‌ی مهندس خاک شایسته				خاک‌های ریزدانه (LL 50) خاک‌های باحالت خمیری متوسط به بالا، CH، MH، CH-MH
۶۶۸۹۰	۲۷۶۰	۱۳۸۰	۳۴۰	خاک‌های ریزدانه (LL 50) خاک‌های باحالت خمیری متوسط یا بدون حالت خمیری، CL، ML، ML-CL، با ذرات درشت‌دانه‌ی کم‌تر از ۲۵٪
				خاک‌های ریزدانه (LL 50) خاک‌های باحالت خمیری متوسط یا بدون حالت خمیری، CL، ML، ML-CL، با ذرات درشت‌دانه‌ی بیشتر از ۲۵٪
۱۳۷۹۰	۶۸۹۰	۲۷۶۰	۶۹۰	خاک‌های درشت‌دانه با ریزدانه، GM، GC، SM، SC، با بیشتر از ۱۲٪ ریزدانه
۱۳۷۹۰	۶۸۹۰	۶۸۹۰	۱۳۸۰	خاک‌های درشت‌دانه با ریزدانه‌های کم یا بدون ریزدانه، GW، GP، SW، SPC (حاوی کمتر از ۱۲٪ ریزدانه)
۲۰۶۸۰	۲۰۶۸۰	۲۰۶۸۰	۶۸۹۰	سنگ شکسته

جدول ۲: طبقه‌بندی خاک

نوع خاک	اسامی معمول	علامت گروه	توضیحات
I	سنگ خردشده		گوشه‌دار، ۶-۴۰ میلی‌متر
II	شن با دانه‌بندی خوب شن با دانه‌بندی ضعیف ماسه‌ی با دانه‌بندی خوب ماسه‌ی با دانه‌بندی ضعیف	GW GP SW SP	
III	شن لای دار شن رسی ماسه‌ی لای دار ماسه‌ی رسی	GM GC SM SC	
IV	لای غیر آلی رس غیر آلی	ML, MH CL, CH	برای بستر، ماهیچه یا خاک‌ریز اولیه توصیه نمی‌شود
V	رس و لای آلی خاک آلی	OH, OL PT	

هرچه درجه‌ی تراکم کم‌تر باشد ضریب تأخیر انحراف بزرگ‌تر است. اگر مصالح خاک‌ریز در هر دو طرف لوله به‌اندازه‌ی کافی متراکم شود، انقباض اولیه کم خواهد شد و ضریب تأخیر انحراف هم بزرگ‌تر خواهد شد. ضریب تأخیر انحراف پیشنهاد شده از ۱,۲۵ تا ۱,۵ متغیر است.

شرایط بستر برای نصب لوله‌ی فاضلاب انعطاف‌پذیر به عرض بستر لوله‌ی فاضلاب بستگی دارد. مقادیر پیشنهادی را می‌توانید در جدول ۳- مشاهده کنید.

جدول ۳: مقادیر ضریب بستر

ضریب بستر	زاویه‌ی بستر، درجه
0.11	0
0.108	30
0.105	45
0.102	60
0.096	90
0.090	120
0.083	180

ضریب سختی (EI) در معادله-۱ تأثیر سختی ذاتی لوله‌ی فاضلاب بر انحراف را نشان می‌دهد. اثر فشار غیرفعال بر اطراف لوله‌ی فاضلاب در معادله-۱ با عبارت $0.061E'$ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که مقادیر مدول واکنش خاک که در جدول-۱ آمده میانگین هستند و از این رو ۵۰ درصد احتمال دارد که انحراف محاسبه‌شده کوچک‌تر از انحراف واقعی باشد؛ بنابراین، توصیه می‌شود که از ۷۵٪ مقادیر ارائه‌شده در جدول-۱ برای محاسبه‌ی انحراف حداکثر استفاده شود.

هنگام بسترسازی و خاکریزی اولیه باید توجه زیادی بکنیم زیرا قابلیت لوله برای حفظ شکل اصلی و یکپارچگی آن به تعیین، خاکریزی و تراکم خاک اطراف لوله‌ی فاضلاب وابسته است.

پیشنهاد می‌شود که مصالح غیر چسبنده یا دانه‌ای برای خاکریز انتخاب شود زیرا خواص برشی رضایت بخشی دارند. در مقابل، از مصالح چسبنده نباید استفاده شود زیرا به علت محدودیت‌های فضا امکان تراکم مناسب آن وجود نخواهد داشت.

از وقوع تغییرات در سطح آب‌های زیرزمینی در اطراف لوله باید جلوگیری شود، زیرا منجر به حرکت خاک ریزدانه به داخل مصالح دانه‌ای شده و احتمالاً تکیه‌گاه‌های دیواره در معرض خطر قرار گرفته و از بین می‌روند.

بارهای روی لوله‌ی پلاستیکی انعطاف پذیر

بار روی لوله‌های انعطاف پذیر را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه کرد:

$$W_d = HwB_c$$

روش طراحی فوق برای لوله‌ی فاضلاب یک روش معمول است. لوله‌های انعطاف پذیر مختلف دارای خواص ویژه‌ی متفاوتی هستند؛ بنابراین، هر نوع لوله‌ی انعطاف پذیر ممکن است نیاز به جزئیات بیشتری در طراحی داشته باشد که باید برای آن در نظر گرفته شود.

بنابراین، روش طراحی هر نوع لوله‌ی فاضلاب به‌طور خلاصه در بخش‌های زیر ارائه خواهد شد:

طراحی لوله‌های فاضلاب انعطاف پذیر ترموپلاستیک

سه نوع لوله‌ی ترموپلاستیک به نام‌های ABS، PE و PVC وجود دارند که همه‌ی آن‌ها تحت تأثیر دما قرار می‌گیرند. دمای پایین، سختی و هم‌چنین تردی لوله‌ی ترموپلاستیک را افزایش و دمای بالا، صلبیت لوله را کاهش و مقاومت در برابر ضربه را افزایش می‌دهد.

عامل دیگری که باید در نظر گرفته شود ترک زایی ناشی از تنش در لوله است که خود ناشی از مواد اکسیدکننده‌ی غلیظ، مواد شیمیایی آلی و روغن‌ها، چربی‌ها و موم‌ها است.

بنابراین، لوله‌های ترموپلاستیک باید در دمای پایین محیط استفاده شود. کاربرد آن برای محیط‌هایی با غلظت مواد شیمیایی بالا نیاز به بررسی دارد.

سختی لوله‌های ترموپلاستیک

سختی لوله را می‌توان با آزمایش بارگذاری صفحه‌ی موازی برآورد کرد. معادله‌ی زیر برای محاسبه‌ی سختی لوله استفاده می‌شود:

$$PS = \frac{F}{\Delta\gamma} = \frac{EI}{0.149r^3} \quad \text{معادله ۳}$$

که:

F: نیرو در واحد طول

Δy انحراف لوله

E: مدول الاستیسیته

r شعاع میانگین لوله

$$I = t^3 \cdot 12$$

معادله-۴

که در این رابطه t ضخامت لوله است.

ضریب سختی (SF) لوله که در معادله-۱ برای محاسبه‌ی انحراف میدانی تحت بار زمین استفاده شده است را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه کرد:

$$SF = EI = \frac{F}{\Delta y} 0.149r^3 = PS * 0.149r^3$$

معادله-۵

روش‌های تجزیه و تحلیل لوله‌ی ترموپلاستیک

در تجزیه و تحلیل لوله‌های ترموپلاستیک باید مقادیر مربوط به انحراف لوله، سختی لوله، کمانش هیدرو استاتیک جداره، مقاومت جداره در برابر خردشدگی، ترک خوردگی ناشی از کرنش جداره و مقاومت کمانش حلقه، آزمایش و بررسی شود.

رزین حرارتی تقویت شده یا لوله‌ی فایبرگلاس

این لوله مطابق نظر موسسه‌ی استانداردهای ملی آمریکا طراحی شده است. مبنای طراحی این لوله رفتار انعطاف پذیر مجرای لوله تحت فشار داخلی و بارگذاری خارجی است.

شرایط خاصی وجود دارد که قبل از محاسبات طراحی سازه‌ای باید مشخص شوند.

این شرایط شامل اندازه‌ی لوله، فشار عملیات، شرایط خاک، شرایط قرارگیری لوله، عمق پوشش، بار ترافیک وسایل نقلیه هستند.

مترجم: پوریا نخعی

منبع:

<https://theconstructor.org/construction/design-construction-flexible-sewer-pipes/18123/>