

آیا مدول الاستیسیته بالا الزاما به معنی بهتر بودن کارایی یک لوله پلیمری می باشد ؟

قسمت اول : بررسی در کاربرد انتقال فاضلاب (مدفون در خاک)

در این بررسی تمامی جداول ، آمار و اعداد اعلامی با ذکر منبع و صفحه آن انجام تا تردیدی به بررسی علمی این موضوع وارد نگردد. در بخش اول این بررسی ، ابتدا به بررسی اثر مدول الاستیسیته دو نوع لوله در کاربرد انتقال فاضلاب و در بخشهای بعدی به مقایسه این لوله ها در کاربرد تحت فشار پرداخته می شود .

مهمترین رابطه ای که در طراحی لوله های پلیمری فاضلابی (مدفون در خاک) توسط طراحان و مشاورین مورد استفاده قرار می گیرد ، رابطه ارتقا یافته آیوا می باشد که در آن مقدار تغییر شکل عمودی لوله محاسبه و حد بالایی آن کنترل می گردد . در صفحه ۵۷ کتاب AWWA M55:2006 این رابطه به شکل زیر آمده است :

$$\% \frac{\Delta Y}{D_M} = \frac{K(T_L P_E + P_L + P_{ES})}{\frac{2E}{3(DR - 1)^3} + 0.061E'} (100)$$

با ساده سازی این رابطه درصد تغییر شکل عمودی لوله بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$\text{درصد تغییر شکل عمودی لوله} = \frac{\text{بار خاک}}{\text{مدول خاک} + \text{مدول لوله}}$$

معمولا درصد مجاز تغییر شکل عمودی بسته به جنس لوله متفاوت است و مقدار آن بسته به نوع اتصالات و انعطاف پذیر بودن جنس لوله ها دارد .

برای بررسی دقیق مقدار تغییر شکل عمودی، مقدار این تغییر شکل برای دو نوع لوله پلی اتیلن با SDR 26 (استاندارد EN 12666-1:2005 جدول ۳) و برای لوله های پی وی سی SDR 41 (استاندارد EN1401-1:2009 جدول ۴) هر دو معادل SN4 محاسبه گردیده است. در این محاسبه مقدار مدول الاستیسیته لوله پلی اتیلن ۸۰۰ و لوله پی وی سی ۲۵۰۰ مگاپاسگال در نظر گرفته شده است . همچنین با توجه به اینکه برای نصب لوله های پلیمری مطابق با استاندارد EN 1046 حداقل تراکم متوسط و خوب توصیه می گردد و استفاده خاک بدون تراکم بعلت عدم کنترل تغییر شکل توصیه نمی شود بنابراین نوع خاک انتخاب شده مطابق با ستون سوم جدول ۷-۵ صفحه ۵۹ کتاب AWWA M55 : 2006 و برای سه نوع خاک با تراکم متوسط ۸۵ الی ۹۵ درصد با مدول E' برابر با ۴۰۰ ، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ lb/inch² به نام گزینه ۱ ، ۲ و ۳ در جدول مشخص گردیده است که با تبدیل واحد با واحد پاسکال در جدول آمده است .

محاسبه تغییر شکل عمودی لوله های پلی اتیلنی و پی وی سی فاضلابی بر اساس نشریه AWWA M55

پارامتر	شرح پارامتر	فرمول	واحد	مقدار گزینه ۱	مقدار گزینه ۲	مقدار گزینه ۳
k	ثابت بستر			۰,۱	۰,۱	۰,۱
T _L	فاکتور زمان			۱,۵	۱,۵	۱,۵
γ	وزن مخصوص خاک اشباع		نیوتون بر متر مکعب	۲۱۰۰۰	۲۱۰۰۰	۲۱۰۰۰
H	ارتفاع خاک تا روی تاج لوله		متر	۱,۲	۱,۲	۱,۲
P _E	فشار خاک(بار مرده)	$P_E = \gamma * H$	پاسکال	۲۵۲۰۰	۲۵۲۰۰	۲۵۲۰۰
W	وزن زیر یک چرخ		نیوتون	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰
a	طول بارگذاری زیر چرخ		متر	۰,۵	۰,۵	۰,۵
b	عرض بارگذاری زیر چرخ		متر	۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۲۵
I _F	ضریب ضربه از جدول ۱-۵ صفحه ۵۲ نشریه M55 به دست می آید			۱,۳	۱,۳	۱,۳
P _L	فشار بار زنده	$P_L = \frac{I_F * WL}{(a + H) * (b + H)}$	پاسکال	۴۲۱۹۱	۴۲۱۹۱	۴۲۱۹۱
P _E s	فشار سرپار		پاسکال	۰	۰	۰
E	مدول الاستیسیته لوله پلی اتیلن		پاسکال	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰
E	مدول الاستیسیته لوله پی وی سی		پاسکال	۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
DR	رده SDR مناسب لوله پلی اتیلن مطابق با SN۴ بر اساس جدول ۳ استاندارد ۱۲۶۶۶ EN			۲۶	۲۶	۲۶
DR	رده SDR مناسب لوله PVC مطابق با SN۴ بر اساس جدول ۴ استاندارد ۱۴۰۱ EN			۴۱	۴۱	۴۱
E'	مدول الاستیسیته خاک از جدول صفحه ۵۹ نشریه M55 به دست می آید.		پاسکال	۲,۷۵۶,۰۰۰	۶,۸۹۰,۰۰۰	۱۳,۷۸۰,۰۰۰
Δy/DM	نسبت دو پهنی براساس فرمول آیوا اصلاح شده برای لوله های پلی اتیلن	$\frac{\Delta y}{D_M} = \frac{k(T_L * P_E + P_L + P_{E_S})}{\frac{2E}{3(DR - 1)^3} + 0.06E'}$	درصد تغییر شکل	۴۰۱	۱۰۷۹	۰۰۹۳
Δy/DM	نسبت دو پهنی براساس فرمول آیوا اصلاح شده برای لوله های پی وی سی	$\frac{\Delta y}{D_M} = \frac{k(T_L * P_E + P_L + P_{E_S})}{\frac{2E}{3(DR - 1)^3} + 0.06E'}$	درصد تغییر شکل	۴۰۱۸	۱۸۲	۰۰۹۴
	بررسی مخرج کسر نسبت مدول خاک به مدول لوله در پلی اتیلن			۴۸۴	۱۲۰۱	۲۴۰۲
	بررسی مخرج کسر نسبت مدول خاک به مدول لوله در پی وی سی			۶۳۵	۱۵۸۷	۳۱۰۵

گزینه ۱ خاک با تراکم متوسط ۸۵ تا ۹۵ درصد با مدول الاستیسیته ۲۷۵۶۰۰۰ پاسکال-گزینه ۲ خاک با تراکم متوسط ۸۵ تا ۹۵ درصد با مدول الاستیسیته ۶۸۹۰۰۰۰ پاسکال و گزینه ۳ خاک با تراکم متوسط ۸۵ تا ۹۵ درصد با مدول الاستیسیته ۱۳۷۸۰۰۰۰ پاسکال

تمامی واحدها بر اساس سیستم متریک انتخاب شده اند.

همانطور که از مقدار محاسبات مشخص می باشد . مقدار تغییر شکل عمودی در لوله های پی وی سی علیرغم بالاتر بودن مدول الاستیسیته بیشتر از لوله های پلی اتیلنی می باشد و مقدار در خاک گزینه ۱، برابر با ۴/۱۸ درصد در برابر ۴/۰۱ درصد برای لوله های پلی اتیلن، در خاک گزینه ۲ برابر با ۱/۸۲ درصد در برابر ۱/۷۹ درصد برای لوله های پلی اتیلن و در خاک گزینه ۳ برابر با ۰/۹۴ در برابر ۰/۹۳ برای لوله های پلی اتیلنی می باشد که نشان دهنده عدم تاثیر مدول در محاسبات تغییر شکل عمودی می باشد . علت تاثیر ناچیز مدول الاستیسیته در محاسبات تغییر شکل عمودی ، اثر ناچیز مدول لوله (E) در مخرج کسر رابطه ارتقا یافته آیوا می بوده و عملا مقدار مدول لوله در مخرج کسر رابطه مذکور در برابر مدول خاک مقداری ناچیز می باشد . همانطور که در انتهای جدول محاسبات مقایسه این دو عدد و نسبت آنها آمده است .

در محاسبات بعدی رده SDR لوله یکسان در نظر گرفته شده است و مجددا این محاسبه تکرار گشته است .

محاسبه تغییر شکل عمودی لوله های پلی اتیلنی و پی وی سی فاضلابی بر اساس نشریه AWWA M55						
مقدار گزینه ۳	مقدار گزینه ۲	مقدار گزینه ۱	واحد	فرمول	شرح پارامتر	پارامتر
۰,۱	۰,۱	۰,۱			ثابت بستر	k
۱,۵	۱,۵	۱,۵			فاکتور زمان	T _L
۲۱۰۰۰	۲۱۰۰۰	۲۱۰۰۰	نیوتون بر متر مکعب		وزن مخصوص خاک اشباع	γ
۱,۲	۱,۲	۱,۲	متر		ارتفاع خاک تا روی تاج لوله	H
۲۵۲۰۰	۲۵۲۰۰	۲۵۲۰۰	پاسکال	$P_E = \gamma \cdot H$	فشار خاک (بار مرده)	P _E
۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	نیوتون		وزن زیر یک چرخ	W
۰,۵	۰,۵	۰,۵	متر		طول بارگذاری زیر چرخ	a
۰,۲۵	۰,۲۵	۰,۲۵	متر		عرض بارگذاری زیر چرخ	b
۱,۳	۱,۳	۱,۳			ضریب ضربه از جدول ۱-۵ صفحه ۵۲ نشریه M55 به دست می آید	I _F
۴۲۱۹۱	۴۲۱۹۱	۴۲۱۹۱	پاسکال	$P_L = \frac{I_F * WL}{(a + H) * (b + H)}$	فشار بار زنده	P _L
۰	۰	۰	پاسکال		فشار سربار	P _{ES}
۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	پاسکال		مدول الاستیسیته لوله پلی اتیلن	E
۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	پاسکال		مدول الاستیسیته لوله پی وی سی	E
۲۶	۲۶	۲۶			رده SDR مناسب لوله پلی اتیلن مطابق با SN۴ بر اساس جدول ۳ استاندارد ۱۲۶۶۶ EN	DR
۲۶	۲۶	۲۶			رده SDR مناسب لوله PVC مطابق با SN۴ بر اساس جدول ۴ استاندارد ۱۴۰۱ EN	DR
۱۳,۷۸۰,۰۰۰	۶,۸۹۰,۰۰۰	۲,۷۵۶,۰۰۰	پاسکال		مدول الاستیسیته خاک از جدول صفحه ۵۹ نشریه M55 به دست می آید.	E'
۰,۹۳	۱,۷۹	۴,۰۱	درصد تغییر شکل	$\frac{\Delta y}{D_M} = \frac{k(T_L \cdot P_E + P_L + P_{ES})}{\frac{2E}{3(DR - 1)^3} + 0,06E'}$	نسبت دو پهنی براساس فرمول آیوا اصلاح شده برای لوله های پلی اتیلن	Δy/DM
۰,۸۶	۱,۵۴	۲,۹۴	درصد تغییر شکل	$\frac{\Delta y}{D_M} = \frac{k(T_L \cdot P_E + P_L + P_{ES})}{\frac{2E}{3(DR - 1)^3} + 0,06E'}$	نسبت دو پهنی براساس فرمول آیوا اصلاح شده برای لوله های پی وی سی	Δy/DM
۲۴,۲۲	۱۲,۱۱	۴,۸۴			بررسی مخرج کسر نسبت مدول خاک به مدول لوله در پلی اتیلن	
۷,۷۵	۳,۸۸	۱,۵۵			بررسی مخرج کسر نسبت مدول خاک به مدول لوله در پی وی سی	
گزینه ۱ خاک با تراکم متوسط ۸۵ تا ۹۵ درصد با مدول الاستیسیته ۲۷۵۶۰۰۰ پاسکال-گزینه ۲ خاک با تراکم متوسط ۸۵ تا ۹۵ درصد با مدول الاستیسیته ۶۸۹۰۰۰۰ پاسکال و گزینه ۳ خاک با تراکم متوسط ۸۵ تا ۹۵ درصد با مدول الاستیسیته ۱۳۷۸۰۰۰۰ پاسکال						
تمامی واحدها بر اساس سیستم متریک انتخاب شده اند.						

در صورتیکه رده SDR دو نوع لوله یکسان فرض شود و تنها مدول لوله متفاوت باشد مقدار تغییر شکل عمودی در لوله های پی وی سی کمی کمتر از لوله های پلی اتیلنی می باشد و مقدار در خاک گزینه ۱، برابر با ۲/۹۴ درصد در برابر ۴/۰۱ درصد برای لوله های پلی اتیلن، در خاک گزینه ۲ برابر با ۱/۵۴ درصد در برابر با ۱/۷۹ درصد برای لوله های پلی اتیلن و در خاک گزینه ۳ برابر با ۰/۸۶ در برابر ۰/۹۳ برای لوله های پلی اتیلنی می باشد.

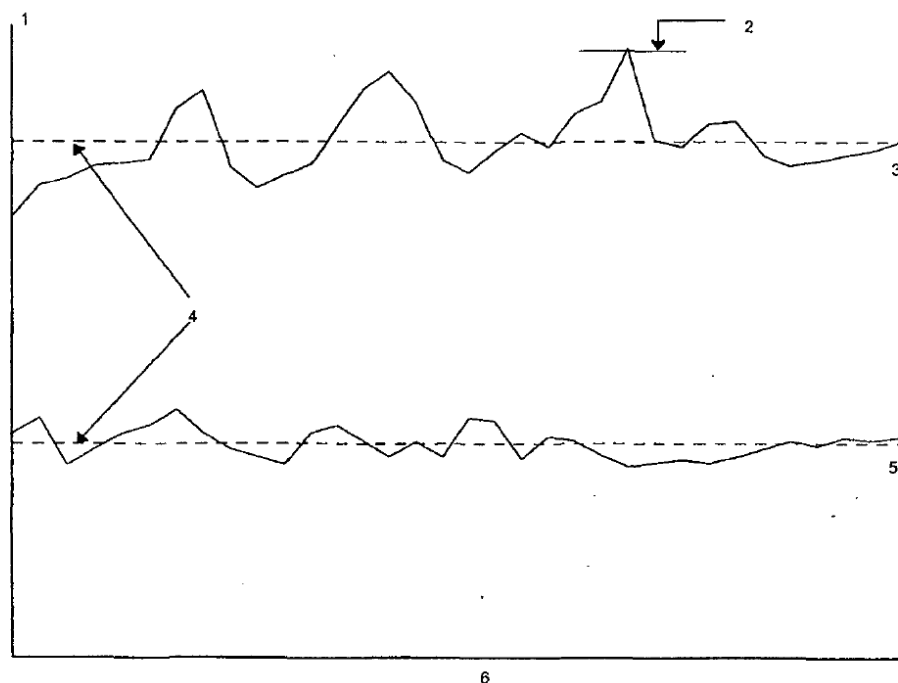
چنانچه در ادامه توضیح داده خواهد شد لوله های پلی اتیلن حداقل ۲ درصد توانایی بهتر در تحمل تغییر شکل عمودی و دو برابر تحمل بهتر کرنش را در مقابل لوله های پی وی سی دارا می باشند و عملاً این تفاوت در مقدار تغییر شکل عمودی هیچ نوع برتری برای لوله های پی وی سی نمی باشد .

جهت مقایسه تحمل هر دو لوله در برابر کرنش مطابق با جدول ۳ استاندارد CEN-TS-15223:2015 توانایی لوله های پلی اتیلنی در تحمل کرنش (Strainability) دو برابر لوله های پی وی سی می باشد .

Material	ϵ %
PVC-U	2,5
PE	5,0
PP	5,0

و این به این معنی هست که لوله های پلی اتیلنی تا ۵ درصد میزان کرنش هیچ تاثیرپذیری از لحاظ مقاومت فیزیکی و شیمیایی نخواهند داشت و تا دو برابر لوله های پی وی سی بعلت ساختار ویسکوالاستیک خود دارای برتری از این لحاظ می باشند .

همچنین در مورد رفتار لوله های پلیمری از لحاظ تغییر شکل عمودی لوله ها بعد از نصب و در طول لوله ، منحنی زیر در شکل C.1 استاندارد بین المللی ENV-1406:2001 آمده است .



۱: تغییر شکل عمودی لوله – Pipe Deflection

۲: حداکثر تغییر شکل عمودی بعد از نصب

۳: نصب لوله با تراکم متوسط خاک (کیفیت نصب معمولی)

۴: متوسط تغییر شکل عمودی بعد از نصب

۵: نصب لوله با تراکم عالی خاک (کیفیت نصب ممتاز)

۶: طول خط لوله

همانطور که در شکل فوق دیده می شود ، کیفیت نصب بهتر باعث کاهش تغییر شکل عمودی لوله بطور کلی می گردد همچنین قبلا نیز ذکر گردید با کاهش تراکم خاک دور لوله مقایسه خط چین ۳ در مقایسه با خط چین ۵ ، کنترل پذیری تغییر شکل طولی سخت تر می گردد و همانطور که دیده می شود این مقدار دارای تغییرات بیشتری در حالت تراکم متوسط خاک می باشد و به دلیل استفاده از خاک بدون تراکم به هیچ وجه در مورد نصب لوله های پلیمری توصیه نمی گردد چون میزان تغییر شکل عمودی لوله غیر قابل کنترل می باشد . همچنین در مورد میزان مجاز تغییر شکل عمودی لوله های پلیمری مطابق با جدول ۱ استاندارد CEN/TR 1046:2013 این میزان در حالت متوسط و بعد از نصب (خط ۴) حداکثر ۸ درصد توصیه می گردد و میزان تغییر شکل اولیه بعد از نصب (حد بالای شماره ۲) برای لوله های پی وی سی حداکثر ۱۰ درصد و برای پلی اتیلن حداکثر ۱۲ درصد توصیه می گردد . که نشان دهنده توانایی بیشتر لوله های پلی اتیلنی در تحمل تغییر شکل عمودی می باشد .

در پایان اعلام می دارد کلیه استانداردها و محاسبات موجود می باشد و شرکتهای مشاور و تولید کنندگان در صورت نیاز می توانند با روابط عمومی انجمن جهت دریافت این مطالب تماس حاصل فرمایند . در قسمت بعدی به مقایسه در لوله های تحت فشار پرداخته می شود .