

## مشخصات طراحی سیستم لوله رانی به روش نقبی (تونلی) Tunnel Condition

بیمان زندیه مدیر مهندسی و پشتیبانی تولید شرکت پارس اتیلن کیش

مهندسی مکانیک حرارت و سیالات، دانشگاه آزاد تهران جنوب، Pe.zandiyeh@gmail.com

### مقدمه

در این روش با ایجاد کوره و تونل در زمین و نگهداری آن با کمک داربست و یا سایر روشهای موجود لوله ی فاضلاب را در آن کار گذاشته و فضای بین لوله و دیواره ی تونل را پر می کنند. نیروهای موثر وارد بر لوله در تونل عبارتند از :  
الف- وزن منشور خاکی به پهنای تونل و ارتفاعی معادل فاصله ی تاج تونل تا سطح زمین  
ب- نیروهای اصطحاکاکی یا برشی بین منشور خاکی نامبرده و زمین مجاور  
ج - نیروهای چسبندگی بین ذرات منشور خاکی نامبرده با جدار زمین مجاور

### چکیده

با توجه به گسترش روش لوله رانی در چند سال اخیر و تبادل دانش در زمینه طراحی این روش برای اجرای خطوط مختلف آب و فاضلاب لازم می نماید طراحان و مجریان این روش با اصول طراحی اولیه روش نقبی آشنائی داشته باشند. در مباحث زیر که از منابع مختلف جمع آوری و عینا نقل شده است، سعی شده است اطلاعات کلی محاسباتی مربوط به این روش با فرمول های ساده مورد توجه قرار گیرد .

**کلمات کلیدی :** آب و فاضلاب، منهول ، لوله رانی ، نقبی ، تونلی

### روش های لوله رانی

می گردد نیز کاربرد زیاد دارد. همچنین در مناطقی که به واسطه ریزشی بودن خاک و یا بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی، عملیات اجرایی و نصب لوله به روش ترانشه باز، بسیار پرهزینه و طولانی می شود، استفاده از روش لوله رانی، از نظر کوتاه تر نمودن زمان اجرا و کاهش هزینه ها، مفید می باشد.

### مهمترین مزایای استفاده از روش لوله رانی در مقایسه با ترانشه باز عبارت است از :

الف : آسیب کمتر به محیط زیست، جریان عبور و مرور، تأسیسات زیربنایی و عمومی

ب : سرعت بیشتر اجرا در مناطق پرتراکم و یا دارای صعوبت اجرا

پ : آسیب کمتر به فعالیتهای اقتصادی و خدماتی در مناطق پرتراکم و حفاظت بهتر ابنیه مجاور

ت : صدمه کمتر به جاده و مسیر لوله گذاری، آسفالت، روسازی ها و بافت طبیعی زمین

مجموعه عوامل بالا باعث می شود که استفاده از روش لوله رانی در برخی مواقع کم هزینه تر از نصب لوله با روش ترانشه باز باشد.

### مراحل اجرای روش لوله گذاری تونلی

#### - روش اول

در روش اول و با کمک دستگاه حفاری، ابتدا مسیر لوله به صورت تونل حفاری شده و متوالیا غلاف گذاری می گردد. سپس لوله در داخل غلاف نصب و پس از استقرار لوله، غلافها خارج می شوند. در این روش لوله گذاری، فشار زیادی به لوله وارد نشده و می توان از لوله های پلی اتیلن استفاده نمود. با توجه به محدودیت های قطر غلاف، حداکثر قطر لوله رانی در این روش ۴۰۰ میلیمتر می باشد .

#### - روش دوم

در روش دوم و با کمک دستگاههای حفاری و جک، همزمان با عملیات حفاری، لوله نیز با جک زنی به جلو رانده می شود. در این روش محدودیت قطر وجود ندارد ولی لوله های مصرفی در این روش خاص هستند .

### مزایا و کاربردهای روش لوله رانی ( نقبی )

نصب لوله به روش لوله رانی، در مواردی از قبیل عبور از زیر جاده ها و بزرگ راه ها، راه آهن، کانال ها، رودخانه ها و ابنیه تاریخی، به صورت موضعی مورد استفاده قرار می گیرد . علاوه بر این، روش لوله رانی در طول های زیادتر در مناطقی از شهرها که به واسطه تراکم ساختمانها، تأسیسات زیربنایی، ترافیک و نظایر آن ، امکان حفر ترانشه وجود نداشته و یا لوله گذاری به روش ترانشه باز، باعث اختلال در فعالیتهای شهری

در حال حاضر اشکال مختلفی از شفت با دیواره های متفاوت، از قبیل شفت مستطیل، دایره و یا چند وجهی با دیواره های بتن درجا، بتن پیش ساخته، سپر و چوب بست، با ابعاد متفاوت اجرا گردیده است.

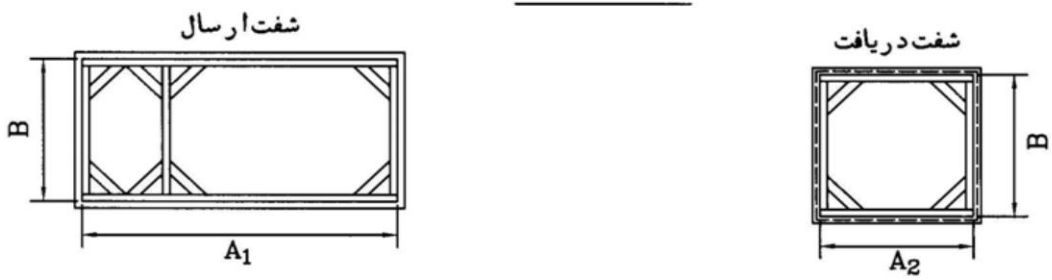
ابعاد، شکل و نحوه حفاظت دیواره شفت کاملاً به شرایط محلی، مانند جنس زمین، سطح آبهای زیرزمینی، وضعیت ترافیکی و تراکم منطقه و نظایر آن و همچنین امکانات اجرایی بستگی دارد.

در شکل زیر و صرفاً به عنوان یک دیدگاه اولیه، شکل و ابعاد شفتهای مستطیل شکل ارسال و دریافت نشان داده شده است. ابعاد نهایی باید با توجه به جمیع شرایط توسط پیمانکار تعیین و پس از تأیید مهندس مشاور، اجرا گردد.

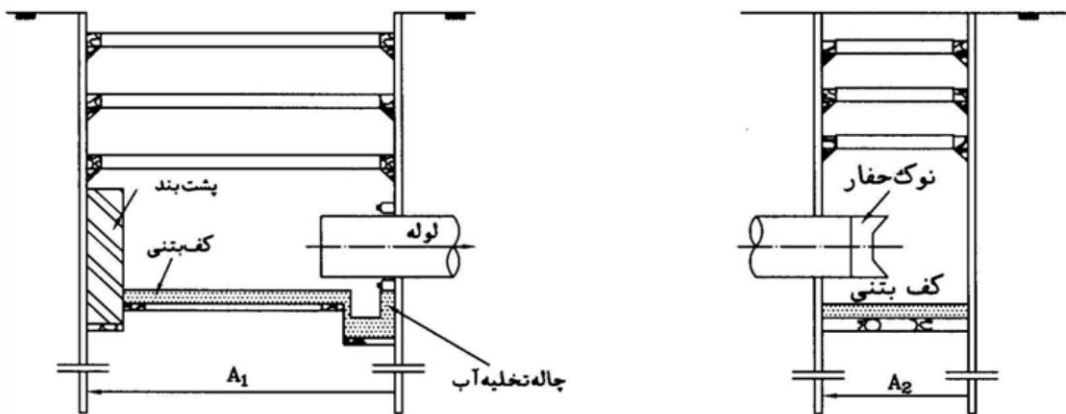
هر قطعه از عملیات لوله رانی، از یک شفت، که به عنوان شفت ارسال (Launcher Shaft) نامیده می شود، شروع و به شفت بعدی، که به عنوان شفت دریافت (Receiving Shaft) است، ختم می گردد. لوله رانی از محل شفت ارسال به دو طرف انجام می پذیرد. بدین ترتیب، شفت های ارسال و دریافت در مسیر لوله رانی به صورت یک در میان قرار می گیرند. شفت های ارسال و دریافت، در مراحل بعدی تبدیل به آدم رو (منهول) می شوند.

طول هر قطعه از لوله رانی، و یا به عبارت دیگر، فاصله شفتهای دریافت و ارسال، با توجه به امکانات اجرایی و جنس زمین و لوله و سایر عوامل مؤثر، متغیر می باشد. در کشورهای صنعتی، قطعات لوله رانی تا نزدیک به 500 متر نیز اجرا گردیده است. در ایران و با توجه به محدودیت های ذکر شده، حداکثر طول لوله رانی حدود 100 متر می باشد که طول حدود 80 متر، کاملاً معمول است.

پلان

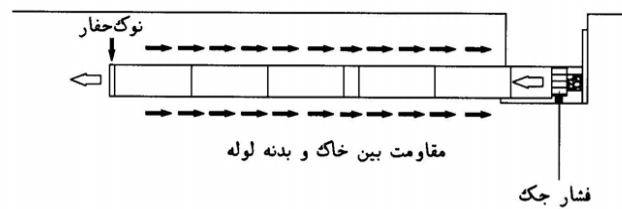
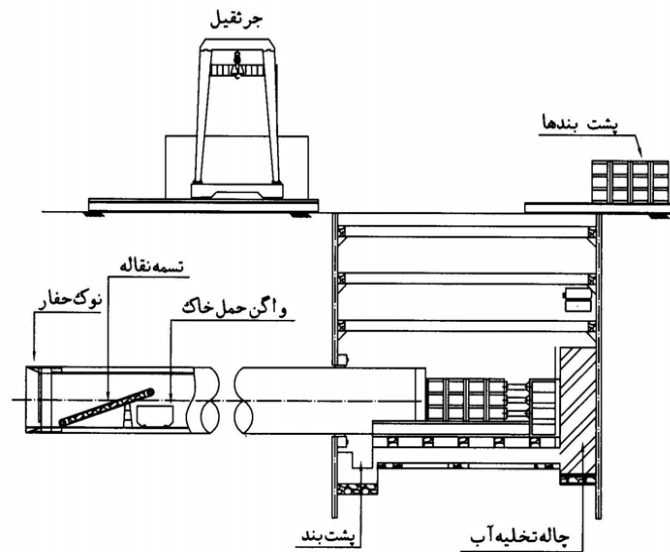


برش



ابعاد شفت (متر)			قطر لوله (میلیمتر)
B	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	DN
۳٫۰۰	۳٫۰۰	۸٫۰۰	۷۰۰
۳٫۰۰	۳٫۰۰	۸٫۰۰	۸۰۰
۳٫۰۰	۳٫۰۰	۸٫۰۰	۹۰۰
۳٫۰۰	۳٫۰۰	۸٫۰۰	۱۰۰۰
۳٫۱۰	۳٫۰۰	۸٫۰۰	۱۱۰۰
۳٫۲۰	۳٫۵۰	۸٫۰۰	۱۲۰۰
۳٫۴۰	۳٫۵۰	۸٫۰۰	۱۳۵۰
۳٫۵۰	۳٫۵۰	۸٫۰۰	۱۵۰۰
۳٫۶۰	۴٫۰۰	۸٫۰۰	۱۶۰۰
۳٫۸۰	۴٫۰۰	۸٫۰۰	۱۸۰۰
۴٫۰۰	۴٫۰۰	۸٫۰۰	۲۰۰۰
۴٫۲۰	۴٫۰۰	۸٫۰۰	۲۲۰۰
۴٫۴۰	۴٫۰۰	۸٫۰۰	۲۴۰۰
۴٫۶۰	۴٫۰۰	۸٫۰۰	۲۶۰۰

در شکل ذیل شمای کلی عملیات لوله رانی نشان داده شده است.



- چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت برشی خاک،  
آزمایش نفوذ استاندارد و سایر موارد مربوط به مقاومت خاک

- ضریب تحکیم، تغییر شکل پذیری و حد روانی و خمیری  
(حدود آتربرگ)

- ضریب نفوذپذیری، نسبت تخلخل و موارد مرتبط با  
نفوذپذیری

- سطح آبهای زیرزمینی و نوسانات آن

- وضعیت زلزله خیزی منطقه

به منظور افزایش موفقیت و تسریع در عملیات، توصیه می  
شود که در مجاورت هر یک از شفتهای ارسال و دریافت، یک  
گمانه حفر شود. در صورتی که فاصله شفتهای زیادتر از معمول  
باشد، به تعداد لازم گمانه در مسیر نیز باید حفر گردد. با  
دریافت و جمع آوری اطلاعات پایه فوق، موقعیت شفتهای و  
مسیر لوله رانی به صورت نهایی تعیین می شود.

برای اجرای موفق لوله رانی، مطالعات پایه قبل از اجرا ضروری  
است. برای این منظور مهندس مشاور باید ضمن بررسی و  
تعیین موقعیت تأسیسات زیرزمینی، نحوه حمل و دفع خاک،  
دوغاب، آبهای زیرزمینی و موقعیت تأسیسات و ابنیه حساس و  
همچنین نحوه تأمین انرژی را دقیقاً بررسی نموده و موقعیت  
تقریبی شفتهای را مشخص نماید.

پس از بررسی و تعیین مسیر و موقعیت تقریبی شفتهای، باید  
مطالعات مکانیک خاک کامل و یا تکمیلی، که نقش تعیین  
کننده ای در اجرای کار دارد، انجام پذیرد. ارائه اطلاعات زیر  
در مطالعات مکانیک خاک برای تعیین نیروی لازم جک،  
مشخصات پشتبندها، اثرات زیست محیطی، تجهیزات لازم  
تخلیه آب و دوغاب، نحوه روا سازی، مشخصات نوک لوله جلو  
رونده و ماشین آلات حفار مورد لزوم ضروری است.

- ترکیب و دانه بندی و وزن مخصوص خاک و رطوبت خاک،  
قطر دانه ها و سایر نکات مربوط به نوع خاک

### لوله های مصرفی

با توجه به امکانات محدود و مشکلات فراوان تعویض لوله های صدمه دیده در حین اجرای لوله رانی، انتخاب لوله های مناسب لوله رانی از نظر جنس، کلاس و سایر مشخصات مرتبط از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

جنس لوله های مصرفی برای لوله رانی در کشورهای غربی عمدتاً لوله های سفالی لعاب دار مخصوص لوله رانی می باشد. این نوع لوله فعلاً در ایران تولید نمی شود.

صرف نظر از امکانات تولید داخل کشور، جنس لوله هایی که می توانند برای لوله رانی مورد استفاده قرار گیرند به شرح زیر است.

✓ لوله های بتنی

✓ G.R.P لوله های فایبرگلاس

✓ لوله های سفالی لعاب دار

✓ لوله های چدن نشکن

✓ لوله های پلی اتیلن با روش ذکر شده استفاده از غلاف

✓ لوله های پلی اتیلن در طول های کوتاه

قابل توجه است که لوله های مصرفی برای لوله رانی به روش جک زنی، باید خاص این عملیات تولید شوند و لوله های معمولی از جنس های نام برده شده، برای این کار مناسب نیست.

### محاسبه نیروی جک برای لوله رانی

محاسبه نیروی مورد نیاز جک در لوله رانی برای پیش بینی و تهیه تجهیزات لازم و احداث شفت های ارسال و دریافت در فواصل مناسب و همچنین، مقاومت پشت بندها و دیواره ها در شفت ارسال کاملاً ضروری است. نیروی مورد نیاز جک زنی از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$P = P1 + P2 + P3$$

که در آن:

$P =$  نیروی جک زنی تن

نیروی مقاوم در برابر حرکت به جلوی لوله Intrusive

$$P1 = \text{تن (Resistance Force)}$$

نیروی مقاوم در اثر اصطکاک بین لوله و خاک تن  $P2 =$

$$P3 = \text{نیروی مقاوم ناشی از وزن لوله تن}$$

نیروی مقاوم در برابر نفوذ و حرکت به جلوی لوله، از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$P1 = \pi \cdot D \cdot t \cdot \gamma \left( H + \frac{D}{2} \right) \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right)$$

که در آن:

$D =$  قطر خارجی نوک حفار یا لوله جلو رونده اولیه (Lead Pipe) به متر

$t =$  ضخامت جداره لوله جلو رونده به متر

$\gamma =$  (وزن مخصوص خاک) تن در مترمکعب

$H =$  ارتفاع خاک روی لوله (متر)

$\Phi =$  زاویه اصطکاک داخلی خاک درجه

نیروی مقاوم ناشی از اصطکاک بین لوله و خاک از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$P2 = 0.5 \cdot \pi \cdot D \cdot \mu \cdot L [ W + 0.5 (W1 + W2) ]$$

که در آن:

$\mu =$  ضریب اصطکاک بین لوله و خاک

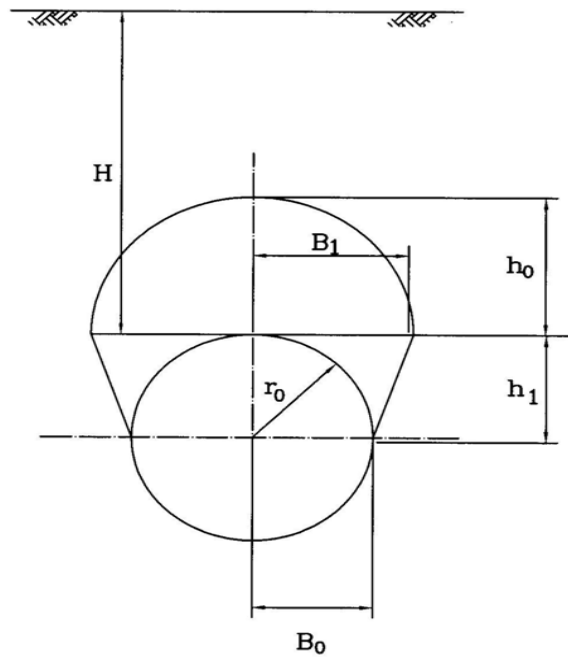
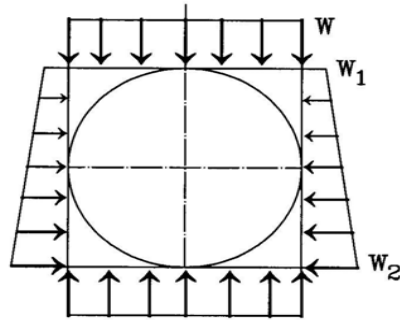
$L =$  (طول جک زنی) متر

$W =$  (فشار خاک عمودی) تن بر مترمربع

$W1 + W2 =$  فشار جانبی خاک در بالا و پائین لوله تن بر

مترمربع

$D =$  (قطر خارجی لوله) متر



### فشارهای وارد بر لوله در حین جک زنی

که در اینجا با توجه به شکل

$h$  = ارتفاع خاک آزاد قوسی بالای لوله

$K$  = (ضریب ترزاقی) معادل یک

$$P_3 = \frac{\pi}{4} (W_p \cdot \mu \cdot L)$$

نیروی مقاوم ناشی از وزن لوله از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$W = \gamma \cdot h_0$$

$$h_0 = \frac{B_1}{K \cdot \tan \Phi} \left( 1 + e^{-k \tan \Phi \frac{H}{B_1}} \right)$$

$$W_1 = C_e \cdot \gamma \cdot h_0$$

$$W_2 = C_e \cdot \gamma \cdot (h_0 + D)$$

$$B_0 = r_0 \cos(45^\circ - \frac{\Phi}{2})$$

$$h_1 = r_0 [1 + \sin(45^\circ - \frac{\Phi}{2})]$$

$$B_1 = B_0 + h_1 \tan(45^\circ - \frac{\Phi}{2})$$

$$C_e = \tan^2(45^\circ - \frac{\Phi}{2})$$

که در آن  $W_p =$  (وزن یک متر لوله) تن

### محاسبه بار مرده خاک و مصالح بنائی بروی لوله در سیستم لوله گذاری تونلی

با توجه به شناسائی نیروهای موثر بر تونل و طبق رابطه مارستون مقدار نیروی وارد به لوله می شود.

بارهای زنده یا بارهای متحرک وارد به لوله های فاضلاب عبارتند از نیروهائی که در اثر حرکت وسائل نقلیه به زمین و در نتیجه به لوله وارد می آیند. این نیروها به دو صورت زیر به لوله تاثیر می گذارند :

الف - نیروهای استاتیکی ناشی از وزن وسیله ی نقلیه

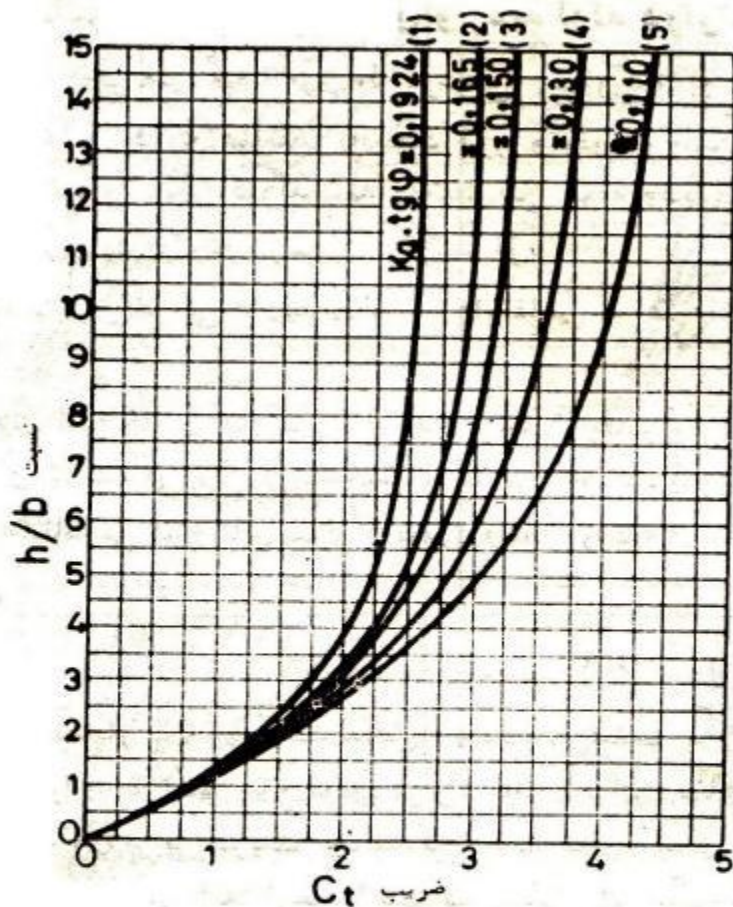
ب- نیروهای دینامیکی ناشی از حرکت وسیله نقلیه به صورت ارتعاش و ضربه

عواملی که در مقدار این نیروها موثرند به ترتیب اهمیت عبارتند از :

- ۱- وزن وسیله نقلیه
- ۲- عمق لوله در زمین
- ۳- سرعت وسیله نقلیه
- ۴- نوع راه سازی راه
- ۵- پهنای گو
- ۶- نوع وسیله نقلیه از نظر ساختمان فنرهای آن
- ۷- شکل کارگذاری لوله در زمین و میزان کوبیدگی خاک در روی آن .
- ۸- تعداد تکرار بارگذاری یا تعداد وسایل نقلیه ای که از روی لوله می گذرد.

در این رابطه مقدار  $C_e$  از جدول شماره (۱) بدست می آید، در صورتیکه بجای عوق تاج لوله مقدار  $h$  را برابر عمق تاج تونل قرار دهند،  $b$  برابر پهنای تونل،  $\gamma$  وزن مخصوص زمین روی تونل و مقدار  $C$  برابر ضریب چسبندگی است که از جدول شماره ۲ برابر زمینهای گوناگون بدست می آید. باید توجه داشت که مقادیر  $C$  در جدول نامبرده تقریبی و تنها در صورتی تقریب نامبرده کافی است که زمین روی تونل کاملا همگن باشد.

### محاسبه بارهای زنده بروی لوله در سیستم لوله گذاری تونلی



- (1) می نیم برای مواد دانه‌ای بدون چسبندگی
- (2) ماکزیمم برای شن و ماسه
- (3) ماکزیمم برای خاک اشباع شده
- (4) ماکزیمم برای خاک رس
- (5) ماکزیمم برای خاک رس اشباع شده

شکل (1) تعیین ضریب  $C_t$  در محاسبه ی نیروی وارد بر لوله در تونل

درصد کمی از نیروهای نامبرده بر لوله تاثیر می کند. لذا در اینجا ساده ترین روش محاسبه تقریبی اثر نیروهای نامبرده بر لوله طبق استاندارد دین آلمان بیان شده است.

با توجه به عوامل نامبرده ملاحظه می شود که دستیابی به نتایج دقیق و کاملی امکان پذیر نمی باشد. هرچه عمق لوله بیشتر گردد درصد تاثیر نیرو بر آن کاسته می شود بطوریکه عملاً برای عمق های بیشتر از دو متر تنها



جدول ۳ اعداد پیشنهادی برای مدول الاستیسیته  $E_p$ ، وزن مخصوص  $\gamma$  و ضریب چسبندگی  $C$  برای زمینهای گوناگون

نوع زمین	$E_p$ برحسب کیلوگرم برمترمربع	$\gamma$ خشک برحسب کیلوگرم برمترمکعب	$C$ برحسب کیلوگرم برمترمربع
زمین شن و ماسه متراکم	$1.0^7$ تا $2 \times 1.0^7$	۱۸۶۰ تا ۲۰۰۰	
زمین ماسه ای متراکم	$0.5 \times 1.0^7$ تا $8 \times 1.0^7$	۱۷۵۰ تا ۱۸۶۰	۱۴۶۰
زمین ماسه ای خشک و سست	$1.0^7$ تا $2 \times 1.0^7$	۱۴۳۰ تا ۱۵۹۰	۰
زمین از خاک معمولی اشباع شده	—	۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰	۴۹۰
زمین رسی سخت	$1/5 \times 1.0^8$ تا $8 \times 1.0^8$	۲۰۰۰ تا ۲۳۰۰	۴۸۸۰
زمین رسی متوسط (نیمه سخت)	$4 \times 1.0^8$ تا $8 \times 1.0^8$	۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰	۱۳۲۰
زمین رسی نرم	$3 \times 1.0^8$ تا $5 \times 1.0^8$	۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰	۱۹۵

الف- برای روسازی های آسفالتی و یا بتنی

$$C_v = 1.5$$

ب- برای روسازی های سنگ فرش شده

$$C_v = 1.7$$

ج- برای روسازی های قلوه سنگی و شنی

$$C_v = 2.0$$

مقدار  $P_v$  از جدول شماره (۳) بر حسب تن بر متر مربع از تصویر افقی لوله بدست می آید. وزن سنگین ترین وسیله نقلیه داده در جدول نامبرده برای هر محور ۲۰ تن (وزن هر دو چرخ بهم چسبیده برابر ۱۰ تن) و سبکترین آنها کامیونهای هستند که وزن هر چرخ جلو برابر ۰.۵ تن و هر چرخ عقب یک تن است.

طبق مشخصات وزارت راه و ترابری ایران وزن هر جفت چرخ سنگین ترین کامیونها در ایران برابر ۹ تن می باشد (هر محور ۱۸ تن).

برای عمقهای کم (حدود یک متر) ممکن است مقدار حاصلضرب  $p_v \cdot da$  بزرگتر از وزن چرخ یعنی نصف وزن محور گردد. در اینصورت باید وزن چرخ در محاسبه دخالت داده شود.

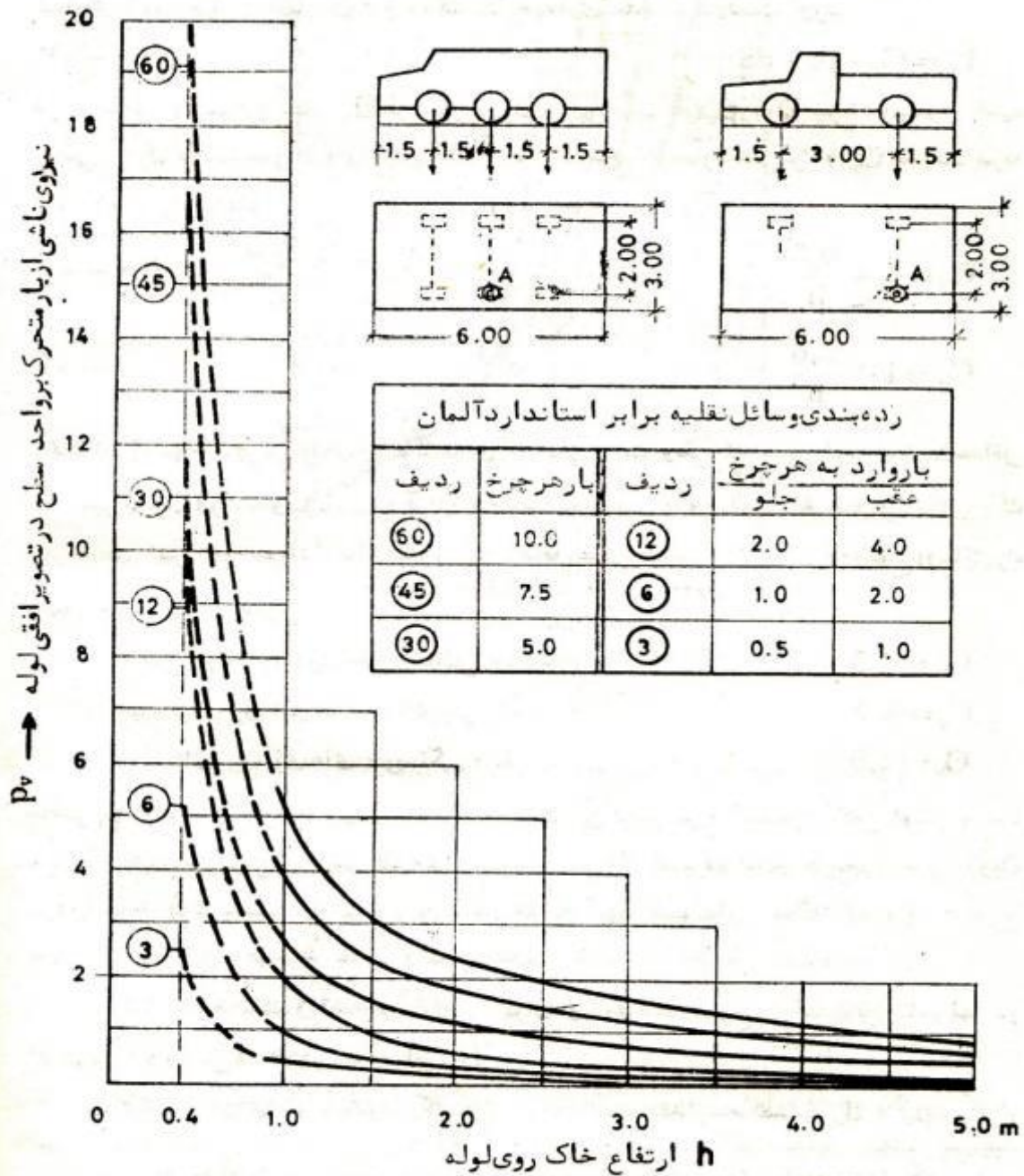
طبق استاندارد دین آلمان مقدار ماکزیمم نیروی وارد بر لوله را می توان از رابطه زیر که بر تئوری بوزینسک پایه گذاری شده است بدست آورد:

در رابطه فوق مقدار  $da$  قطر خارجی لوله بر حسب متر،  $P_v$  وزن چرخ وسیله نقلیه (نیمی از وزن یک محور آن) بر حسب کیلوگرم بر متر مربع از تصویر افقی لوله و  $C_v$  ضریب ضربه است که از رابطه های ذیل بدست می آید:

$$C_v = 1 + \frac{0.3}{h} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$C_v = 1 + \frac{0.6}{h} \quad (\text{رابطه ۲})$$

رابطه ۱ برای راهها و گذرگاههای معمولی است وقتی که عمق لوله یعنی  $h$  حداقل ۰.۵ متر باشد. و رابطه ۲ برای فرودگاهها و زیر راه آهن است که عمق  $h$  حداقل یک متر باشد. کهر ووتسورک برای مقدار  $C_v$  حداقل هائی پیشنهاد کرده اند که با نوع روسازی راه بصورت زیر بستگی دارد:



شکل (۳) وزن موثر وسائل نقلیه بر روی لوله ها بر حسب تن در عمق h بر حسب متر

منابع:

- ۱- جمع آوری فاضلاب نگارش م.ت. منزوی انتشارات دانشگاه تهران
- ۲- مشخصات فنی خطوط لوله آب و فاضلاب انتشارات سازمان برنامه و بودجه