عموماً پلهای عبوری راهها (ازنوع بتن‌فولادی) که در تلاقی هاروی خطوط آهن‌وسایرجاده‌ها ساخته میشوند مطابق تصویر (۱) از دالّهای ماسیوی‌که دوطرف آنهاتوسط مفصل‌به تکیه‌گاه ها مربوط شده تشکیل میگردند.

طبق روش‌محاسباتی آلمان (Din 1075/6.2) میتوان‌تکیه‌گاههای پلهای مذکوررااگربدالها بحد کافی مهار شده باشند (یعنی مفصل یا لولای کامل) و فاصله محوری دوتکیه گاه (پایه ها) از 15[m] تجاوز نکند اینطور در نظر گرفت که در مقابل هرنیروی وارده از خود عکس‌العمل نشان‌میدهند ($V\neq 0$, $H\neq 0$) ولی درناحیه مفاصل‌دارای چرخش‌آزاد میباشند ($M = 0$) وفند اسیون پایه ها (ستونها) رابه صورت گیردار ($H\neq 0, V\neq 0, M\neq 0$) درنظر میگیرد ونقطه گیررامعمولا درقسمت تحتانی‌فند اسیون قرارمیدهند.

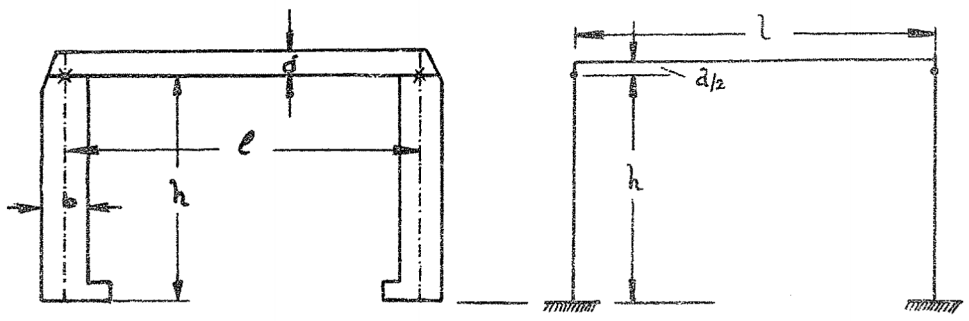
برای محاسبهٔ استاتیکی این‌گونه پلها اثرات جمع شدن و تغییر طول آنها رابازاءتغییرات درجه حرارت مخصوصا نقصان‌درجه حرارت نادیده میگیرند.

آیافرض اخیراصولاً صحیح است ویاتا چه حدی وتحت چه شرائطی میتواند باحقیقت وفق دهد، مطلبی است که بحث این‌مقاله راتشکیل میدهد.

نقصان‌طول دالّ در اثر "جمع‌شدن" وکم شدن درجه حرارت برابراست با Δl

$$\Delta l = l(\alpha_t \cdot t + \varepsilon_s)$$

اگر $\alpha_t = 0{,}0001$ ، $t = \pm 15^\circ C$ و $\varepsilon_s = 20.10^{-5}$ باشد باد رنظرگرفتن اثرات منفی‌خزش (کمتقریباً 15[mm/m] است) وبا $15^\circ C$ نقصان درجه‌حرارت



تصویر (۱) برش عرضی و سیستم استاتیکی

مطابقت دارد .

$$\Delta l = 1.0,00001(15+15) = 1.0,00030$$

واگرجهت محاسبهٔ تقریبی، پایه ها را صلب (چیزی که فقط در بتن غیرمسلح وتحت شرائط خاصی با ابعاد معینی امکان پذیراست) فرض کنیم" نیروهای وارد بمفاصل ودیاگرام نیروهای افقی دال مطابق تصویر (۲) بترتیب زیر بدست می آید :

اگر Z بارمحوری بود $\Delta l_Z = \frac{\sigma}{E}.l = \frac{Z}{EF}.l$ وچون خارج ازمحور دال (تحت فاصلهٔ $d/2$) اثر میکند $\sigma = \frac{M}{W}$ و :

$$\Delta l_M = \frac{M}{W.E}.l = \frac{Z \cdot \frac{d}{2}}{j/\frac{d}{2}.E}.l = \frac{Z(\frac{d}{2})^2}{1.\frac{d^3}{12}.E} .$$

$$l = \frac{Z(\frac{d}{2})^2}{F.E.\frac{d^2}{12}} . l ,$$

نیزبآن اضافه میشود، درنتیجه :

$$\Delta l = \Delta l_Z + \Delta l_M = \frac{Z}{EF}.l + \frac{Z(\frac{d}{2})^2}{EF.\frac{d^2}{12}} l = 0,00031$$

ویا : $Z = \frac{1}{4}.EF \cdot 0,0003 = 0,000075\,EF$

درمحاسبهٔ بالا همانگونه که مشاهده میگردد گذشته از نیروی افقی، غیرمحوری بودن آن نیز درنظرگرفته شده است.

حال اگرفاصله محورهای دوپایه را ازهم 13,55[m] وضخامت دال را 80[Cm] وبتونی ازنوع B300 (دانه بندی درناحیه خیلی خوب منحنی غربال وتقریباً $300-350\left[Kg/m^3\right]$ سیمان) انتخاب کنیم خواهیم داشت:

$$Z = 0,000075EF = 0,000075 . 300000 . 8000 = 180000\ [KP/m\ \text{عرض دال}]$$

کمبرابراست با $180\left[MP/m\right.$ عرض دال$]$ نیروی کششی Z پایه ها را بطرف جلومتمایل میکند ونه تنها تکیه گاههاکیفیت اصلی خود را زدست میدهند بلکه این نیروکه درحقیقت بمنزله فشارخاک آکتیو درپشت پایه ها میباشد، خیلی بزرگتر ازآنست که پایه ها میتوانند تحمل کنند" برای مقایسه اگردرمثال بالا ارتفاع ستونها را $h=8$[m] فرض کنیم مطابق (Din 1075) نیروئی که جهت مفاصل بدست میآید (عرض دال $4\ MP/m$) خواهد بود باین دلیل برای بدست آوردن Z (نیروی ناشی ازجمع شدن ونقصان درجهٔ حرارت) الزاماً باید درجستجوی فاکتورها وعواملی بود که قدرمطلق بدست آمده درتقریب اول (عرض دال $180\ MP/m$) راتقلیل دهد .

این عوامل عبارتند از :

۱ــ تغییرفرم الاستیکی پایه ها.

۲ــ تأثیرات منفی خزش روی مقدار بدست آمده (اگربرای حالات معمولی $\varepsilon_s = 20.10^{-5}$ انتخاب شود)

۳ــ تغییرفرم پلاستیکی زمین تحت فشار فنداسیون پایه ها.

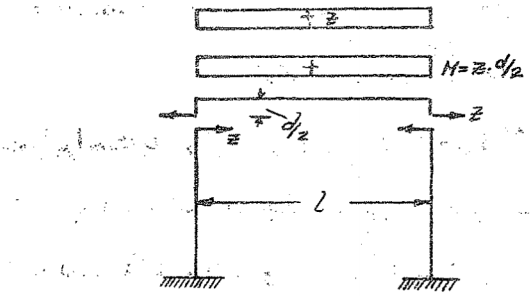
● ۱ــ درمورد تغییرفرم الاستیکی پایه ها :

اگریکبار دیگرازمثال ذکرشده دربالا با مشخصات زیر استفاده نمائیم :

$l=13,55$[m] , $h=8,0$[m] , $d=80$[Cm]

$b=165$ Cm $B=210$ Cm

پهنای پایه ها = b عرض فنداسیون = B



تصویر (۲) نیروهای داخلی بازاء z

وقطاعی بعرض 1[m] (برشی عرضی روی دال و پایه ها) رابادرنظرگرفتن تصویر (۳) انتخاب کنیم خواهیم داشت :

$$\varphi_{ao} = \Delta 1 = 1(\alpha_t . t + \varepsilon_s) = -1355(0,00001.15 + 20.10^{-5}) = -1355.10^{-5}.35 = -0,475\,[Cm]$$

$$\varphi_{aa} = \underbrace{\frac{1}{E.F_d}.1 + \frac{(\frac{d}{2})^2}{E.J_d}.1}_{\text{قسمت مربوط به دال}} + \underbrace{2\,\frac{h^3}{3E\,J_5}}_{\text{قسمت مربوط به پایه ها}}$$

یا گشتاوریانس دال $J_d = \frac{1.d^3}{12}$ خواهیم داشت :

$$\varphi_{aa} = \frac{4.1}{E.F_d} + \frac{2.h^3}{3E.J_z} = \frac{1355.4}{300000.80.100} + \frac{2.800^3.12}{3.300000.100.165^3} + \frac{980}{3.10^7}$$

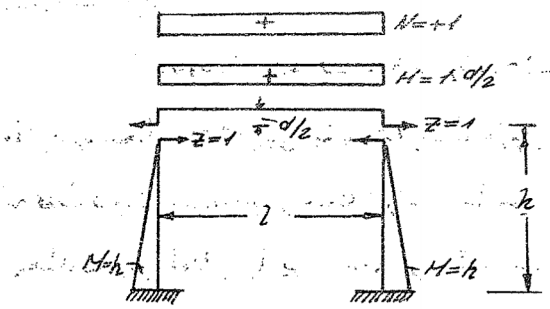
ودرنتیجه : $z = \frac{-\varphi_{ao}}{\varphi_{aa}} = \frac{0,475.3.10^7}{980} =$ 14500 [Kp/m عرض‌پل]

یعنی : $z = 14,5$ [Mp/m]

با همان جهتی که درتصویر (۳) نمایش داده شده است ،که ازاین مقدار :

$^{20}/_{35}.14,5 = 8,3$ [Mp/m]

آن بازاء جمع شدن درحرارت 20^0 و بقیه 14.5-8,3=6,2[Mp/m] بخاطر نیروئی است که



تصویر (۳) نیروهای داخلی بازاء z = 1

بازاء نقصان درجه حرارت بوجود میآید .

قدرمطلق z گواینکه باین ترتیب به کمتراز 10 % (ده درصد) تقریب اول تقلیل یافته ولی هنوزخیلی بزرگتراز مقدار 4 (Mp/m) است که محاسبات جهت مفاصل بدست میدهند .

● ۲ــ درمورد تاثیرات خزش :

اثرات خزش رابطورکلی بدین ترتیب درنظر میگیریم که نیروی مفصل هابازاء "جمع شدن" دال باتغییرات خزش و "جمع شدن" بصورت خطی تغییرکند ، دراینصورت دریک زمان دلخواه ویک فاصله زمانی دیگر باحل معادلات دیفرانسیل مربوط خواهیم داشت :

$$z = -\frac{\varepsilon_{\infty} . 1}{(1+\frac{\varphi_{\infty}}{2})V_{aa}}$$

یعنی قدرمطلق z دراینحالت به فقط $\frac{1}{(1+\frac{\varphi_{\infty}}{2})}$ برابرمقدار باری که در اثر "جمع شدن" دال و بازاء الاستیک بودن پایه ها بدست آمده بود تنزل می کند . حال اگر عدد خزش را دریک زمان دلخواه $\varphi_{\infty} = 2$ فرض کنیم خواهیم داشت :

$$\frac{1}{(1+\frac{\varphi_{\infty}}{2})} = \frac{1}{(1+\frac{2}{2})} = 1/2$$

وباتوجه باینکه نقصان طول در دست است ε_s باید منفی درنظرگرفته شود

در نتیجه :

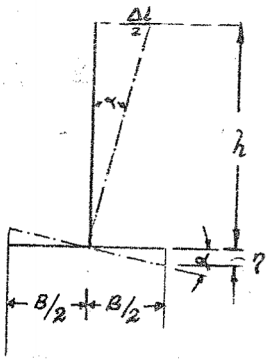
$Z = 6,2 + \frac{1}{2} . 8,3 = 10,35$ [عرض پل Mp/m]

همانطور که مشاهده میشود این مقدار هنوز بیش از 150% (صد وپنجاه درصد) بزرگتر از نیروئی است که در روشهای محاسباتی مختلف جهت مفصل‌ها بدست میآید .

● ۳ــ در مورد تعیین فرم پلاستیکی زمین :

چون خاصیت الاستیکی پایه ها را قبلاً بررسی کردیم ، حال فرض میکنیم که اولاً در فورماسیون زمین تحت فشار فند اسیونهای هرد و پایه مشابه هم باشند ثانیاً خود ستونها را تغییرفرم ناپذیر یا صلب در نظر میگیریم .

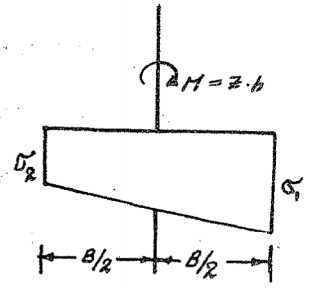
چون ارتفاع پایه ها در مقایسه با پهنای فند اسیونهای مربوطه بزرگ اند یک دوران جزئی در ناحیهٔ فند اسیون کافیست مفصلی را که در قسمت فوقانی ستون قرار دارد باندازه‌ای دوران دهد که تغییر طول دال در اثر "جمع شدن" ونقصان درجهٔ حرارت بدان احتیاج دارد .



تصویر (٤) تغییرفرم فند اسیون

از تصویر (٤) $\hat{\alpha} = tg\,\alpha = \frac{\eta . 2}{B} = \frac{\Delta 1}{2h}$

α از تغییر فرم پذیری زمین که خود تابعی از درجه صلبیت آنست تبعیت میکند.



تصویر (٥)

تنش موجود در قسمت تحتانی فند اسیون

باتوجه به تصویر (٥) دوران فند اسیون برابر خواهد بود با :

$tg\alpha = \hat{\alpha} = \frac{\Delta 1}{2h} = \frac{2\eta}{B} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{S \cdot B} . t$

و :

$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{2M}{J_F} . B/2 = \frac{M . B}{J_F}$

واگر :

$J_F = \frac{100 . B^3}{12}$ $[Cm^4]$

گشتاور ماند فند اسیون باشد، خواهیم داشت :

$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{12M}{100 . B^2} = \frac{12 . Z . h}{100 . B^2}$

در نتیجه :

$tg\alpha = \hat{\alpha} = \frac{\Delta 1}{2h} = \frac{12 . Z . h . t}{S . B . 100 . B^2} = \frac{12 . Z . h . t}{100 . S . B^3}$

(واحد ها به Kp و Cm)

وبالاخره : $Z = \frac{100 . \Delta 1 . B^3 . S}{24 . h^2 . t}$ [عرض دال Kp/m]

و[Cm] عمق زمین مؤثر = t و [Cm] ارتفاع پایه ها = h

[عرض دال Kp/m] نیروی وارد بمفصل = Z ،

[Cm] فاصلهٔ محوری دو پایه = l

و

[Cm] پهنای فند اسیون = B

و

[Kg/Cm²] درجهٔ صلبیت زمین = S

درضمن فرض شد که فشار روی زمین تاعمق t ثابت است یا بعبارت دیگر فشار فند اسیون روی زمین یا از دیاد عمق تغییر نمیکند (← سطح

ثابت ــ فشار ثابت) ۰ واگر توزیع جانبی فشار روی زمین راتحت زاویه ۰ (45°) (تصویر ٦) درنظربگیریم برای یك برش عرض یك متری در عمق t زیر فنداسیون خواهیم داشت:

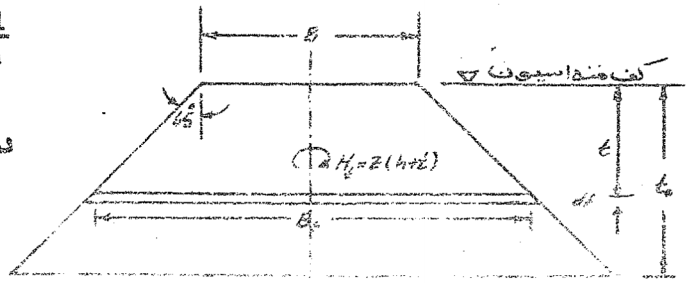
$B_t = B + 2t$ و $J_t = \frac{B_t^3 \cdot 100}{12} = \frac{(B+12t)^3 \cdot 100}{12}$

$M_t = Z(h+t)$

ودیفرانسیل دوران

$d\hat{\alpha} = \frac{12Z(h+t)}{100.(B+2t)^3.S}.dt \quad \frac{12.Z.h.dt}{100.S(B+2t)^3}$

$+ \frac{12.Z.t.dt}{100.S(B+2t)^3}$ (dt سهم قشر)



تصویر (۱) توزیع فشارهای فنداسیون درزمین

کسر اول فقط موقعی است که ، ازدیاد موهان بااضافه شدن عمق امکان‌پذیر نباشد یااگر نیروهای برشی درحد فاصل بین دو قشر همسایه ازیکی بدیگری منتقل نشوند ۰ و تمامی رابطه فوق موقعی صادق است که همه نیروهای افقی در محدوده ۰ بالا فقط توسط تنشهای برشی منتقل گردند ۰

اما چون حتما قسمتی ازآن توسط نیروهای فشاری افقی قشرهای زمین جذب میگردد نسبت های حقیقی مابین دوحد ۰ و t_0 قرار خواهند گرفت۰

اگر از ۰ تاعمق t_0 ازرابطه بالاانتگرال بگیریم.

$$\hat{\alpha} = \int_0^{t_0} d\alpha = \frac{12.Z.h}{100.S} \cdot \int_0^{t_0} \frac{dt}{(B+2t)^3} + \frac{12.Z}{100.S} \cdot \int_0^{t_0} \frac{t.dt}{(B+2t)^3}$$

با $\int_0^{t_0} \frac{dt}{(B+2t)^3} = \frac{1}{4.B^2} - \frac{1}{4(B+2t_0)^2}$

و $\int_0^{t_0} \frac{tdt}{(B+2t)^3} = -\frac{t_0}{4(B+2t_0)^2} - \frac{1}{8(B+2t_0)} + \frac{1}{8.B}$

بالاخره خواهیم داشت:

$$\hat{\alpha} = \frac{12Z}{100.S}\left[\frac{2h+B}{8.B^2} + \frac{2h+B+4t_0}{8(B+2t_0)^2}\right] = \frac{\Delta l}{2h}$$

در نتیجه:

$$Z = \frac{100.S.\Delta L}{24.h\left[\frac{2h+B}{8B^2} - \frac{2h+B+4t_0}{8(B+2t_0)^2}\right]}$$

چون خزش فقط روی "جمع شدن" اثرمیگذارد باید دوقسمت مربوط به نقصان درجه حرارت و جمع شدن را ازهم جدا کنیم۰

با $\Delta l_s = -\varepsilon_s.l$ (تغییرطول بازاء جمع شدن) خواهیم داشت:

$$-\varepsilon_s.l = Z\left[\underbrace{\frac{24h}{100S}\left(\frac{2h+B}{8B^2} - \frac{2h+B+4t_0}{8(B+2t_0)^2}\right)}_{\text{سهم تغییرفرم زمین}} + \underbrace{\left(\frac{4L}{E F_d} + \frac{2h^2}{3E J_s}\right)\left(1+\frac{\varphi}{2}\right)}_{\text{سهم تغییرفرم الاستیکی وخزش}}\right]$$

وبعد:

$$\Delta l_T = -\alpha_t.T.l = Z\left[\frac{24h}{100S}\left(\frac{2h+B}{8B^2} - \frac{2h+B+4t_0}{8(B+2t_0)^2}\right) + \underbrace{\left(\frac{4l}{E F_d} + \frac{2h^3}{3E J_s}\right)}_{\varphi_{aa}}\right.$$

تغییرطول بازاء نقصان درجه حرارت ε_s و τ باید منفی درفرمول منظور گردند .

اگر در مثال بالا نامناسب ترین حالت را در نظر بگیریم $t_o = 100[Cm]$ یعنی فقط یك قشر نازك تغییرفرم پذیر و $S=1000\left[\frac{Kp}{Cm^2}\right]$ (حد بالای درجه صلبیت زمینی ازنوع ماسه باتو پری طبیعی) باشد ، خواهیم داشت :

$$\varepsilon_s .1=20.10^{-5}.1355=z_s\left[\frac{24.800}{100.1000}\left(\frac{1600+210}{8.210^2}\right)-.....\right)+.....\right] \longrightarrow z_s = 370\left[Kp/m\right]$$

z_s = نیروی کشش بازاء جمع شدن

و $15.10^{-5}.1355 = \frac{z_T}{1000}\left(0,670 + \frac{0,0655}{2}\right)$

$= \frac{z_T}{1000} .0,7078$

$\longrightarrow z_T=287\left[\text{عرض پل } Kp/m\right]$

ودرنتیجه : $z=z_s+z_T=370+287=657$

واین بدان معنی است که نیروی تکیه گاهها (مفصل ها) که مطابق (Din 1075) واغلب روشهای مشابه بگیرابرابر (عرض پل $400\frac{kg}{m}$) محاسبه میشود درحدود 16,5% (شانزده ونیم درصد) کوچکتر میگردد .

درفرمولهای بالا (سهم تغییرفرم زمین) اولین کسر یعنی $\frac{2h+B}{8B^2}$ از ضخامت قشر تغییرفرم پذیرزمین تبعیت نمیکند ولی کسر دوم $\frac{2h+B+4t_o}{8(B+2t_o)^2}$ هرچه عمق زمین یا ضخامت قشر تغییرفرم پذیر بزرگتر شود کوچکتر میگردد و در حد $t_o=\infty$ هردو کسر مساوی هم میشوند یعنی زمین هیچگونه تاثیری در قدرمطلق z نداشته ونیروی مذکور مقدار نهایت بزرگی را بدست خواهد داد .

نتایجی که بطور کلی میتوان از بررسیهای فوق گرفت درچند نکته زیرخلاصه میشود .

۱ــ اگر درجه صلبیت زمین کوچك و ضخامت قشرتغییر فرم پذیر زمین نیز کوچك باشد در نتیجه اثریکه در دوران فنداسیون پایه ها در زمین روی z خواهند گذاشت ناچیزبوده وتاثیری که خزش وتغییرفرم پذیری الاستیکی پایه ها در مورد نقصان قدرمطلق z خواهند داشت کافی نیست تابتوان اینگونه پلها را مطابق (Din1075) وسایر روشهای مشابه محاسبه کرد .

باین دلیل الزاما یکی از دو تکیه گاه را باید بصورت لغزان یا مفصل ناقص (N=o,H=o,V=o) درنظرگرفت .

۲ــ اگر درجه صلبیت زمین کوچك وضخامت قشر تغییرفرم پذیرزمین بالنسبه بزرگ باشد اثرات تغییر فرم پذیری زمین تغییر فرم پذیری پایه ها وتأثیر متزشرروی نیروی ایجاد شده در مفاصل بازاء تغییرطول پل در اثر جمع شدن و نقصان درجه حرارت بمیزان قابل ملاحظه ای است تاجائیکه میتوان ازطرق محاسباتی معمولی در هرصورت استفاده نمود .

منابعی که جهت تنظیم این نوشته مورد استفاده نویسنده قرارگرفته عبارتند از :

۱ــ " جمع شدن " در بتن فولادی از دیپلم مهندسی ماکس وایزر Max Waiser

۲ــ روش محاسباتی نرم شدهٔ آلمان (Din 1075) مستخرج از BK 1966

۳ــ بتن وبتن مسلح از پروفسور دکتر مهندس فرانس Dr. Ing. Franz