

مدلسازی و آنالیز زیرسازه آبرو یک دهانه ۷ متری همسطح راه آهن

5

داده های ورودی :

N	1		تعداد دهانه
L_{net}	7	m	طول دهانه مفید
L1	0.6	m	طول نشیمنگاه
L_{cal}	7.6	m	طول دهانه محاسباتی
b_{dck}	5.6	m	عرض کل پل
t_s	0.7	m	ضخامت دال
f_y	4000	kg/cm ²	مقاومت مشخصه فولاد
f_c	160	kg/cm ²	مقاومت مشخصه استوانه ای بتن غیر مسلح
γ_{conc}	2.4	ton/m ³	وزن مخصوص بتن غیر مسلح
γ_{blst}	1.9	ton/m ³	وزن مخصوص بالاست
t_{blst}	0.35	m	ضخامت بالاست زیر تراورس

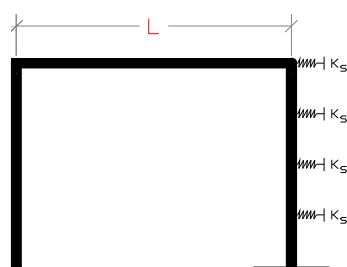
شرح مدل کامپیوتری :

1 5

شکل مدل کامپیوتری برای تحلیل زیرسازه در زیر آورده شده است.

برای تحلیل کامپیوتری، سازه پل با استفاده از نرم افزار *SAP2000* به صورت سه بعدی مدل می شود. در این مدل از المان های *frame* برای اعضا استفاده شده است. فرضیات مدل:

- با توجه به عدم اتصال گیردار دیوار روی پی، ابعاد پی در کنترل پایداری لحاظ نشده است. و ارتفاع پایه ها از روی پی منظور شده است.
- در پشت کوله در یک سمت خاک بوسیله فنرهایی مدل شده است. و نیروهای جانبی خاک در کوله سمت مقابل اعمال می شود.
- سختی فنرهای پشت کوله با روش باولز برای تعیین سختی جانبی خاک محاسبه شده است. (مطابق محاسبات صفحه بعد).



$$L = 8.2 \quad m$$

$$H = 4.3 \quad m$$



محاسبه KS برای خاک پشت کوله:
مطابق روش بولز:

2 5

$K_s = A_s + B_s \cdot Z^n$		Z	A_s	$B_s \cdot Z^n$	F_s	$K_s (t/m)$
ϕ	30	0	604	0	1	604
c	0	1.07	604	1,523	1	2,127
γ	2	2.14	604	2,153	1	2,757
B	1	3.21	604	2,637	1	3,241
n	0.5	4.3	604	3,052	1	3,656
Cm	1					
C	40					
Fw1	1					
Fw2	1					
Nc	30.13					
N_γ	15.1					
N_q	18.4					

$$A_s = C_m \cdot C \cdot (c N_c + 0.5 \gamma B \cdot N_\gamma)$$

$$B_s \cdot Z^n = C_m \cdot C \cdot (\gamma \cdot N_q \cdot Z^n)$$

محاسبه فشار جانبی خاک پشت کوله :

3 5

برای محاسبه فشار جانبی خاک در پشت کوله از تئوری فشار رانکین استفاده می شود.
در حالت بهره برداری فشار خاک پشت کوله، فشار حالت سکون در نظر گرفته می شود. و برای حالت زلزله فشار اکتیو خاک به همراه اضافه فشار خاک حین زلزله با روش مونونوبه- اوکابه اعمال می شود.

$$H = 4.3 \quad m$$

$$C = 0$$

$$\phi = 30 \quad \text{deg.}$$

$$\gamma = 2 \quad t/m^3$$

$$K_0 = 1 - \sin 30 = 0.5$$

$$K_a = (1 - \sin 30) / (1 + \sin 30) = 0.33$$

$$P_0 = \gamma \cdot H \cdot K_0 = 4.30$$

$$P_a = \gamma \cdot H \cdot K_a = 2.84$$

$$P_{sur} = 3.2 \quad t/m^2$$

فشار سربار زنده پشت کوله مطابق نشریه ۱۳۹:

$$P_{sur} \times K_0 = 1.6 \quad t/m^2$$

مفروضات محاسبه اضافه فشار خاک در حین زلزله (مطابق با نشریه ۴۶۳):

$$K_h = 0.5 A$$

$$A = 0.35g$$

$$K_{ae} = 0.43$$

$$\Delta k_{ae} = K_{ae} - K_a = 0.10$$

$$P_{ae} = \gamma \cdot H \cdot \Delta k_{ae} = 0.86 \quad t/m^2$$

شتاب مبنای طرح :

ضریب فشار جانبی خاک حین زلزله:

ضریب اضافه فشار جانبی خاک حین زلزله:

بارگذاری :	4	5
بار مرده :	1	4 5

برای بارگذاری مرده دال بتنی از گزینه Selfweight نرم افزار استفاده شده است.

بار مرده بالاست:

با توجه به پر شدن فاصله بین تراورسها با بالاست، فرض می شود که بالاست در مقطع مستطیلی بعرض ۴.۵ متر و ضخامت ۵۵ سانتیمتر خواهد بود.

$$\text{وزن مخصوص مصالح بالاست} = 1.9 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{بار مرده بالاست} = \gamma \times 0.55 \times 4.50 = 4.7 \text{ ton/m}$$

$$\text{بار مرده ریل و تراورس} = 0.7 \text{ ton/m}$$

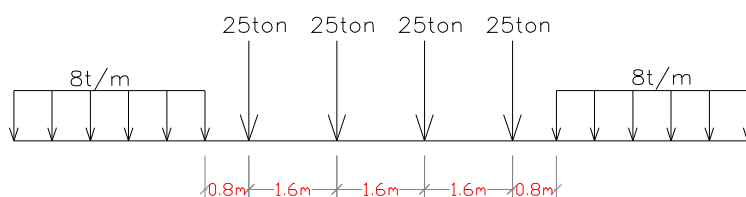
$$\text{بار مرده نرده پیاده رو} = 0.075 \text{ ton/m}$$

$$\text{جمع کل بار مرده} = 5.48 \text{ ton/m}$$

$$\text{بار مرده هر متر عرض پل} = 0.98 \text{ ton/m}$$

بار زنده :	2	4 5
------------	---	-----

بارگذاری زنده، شامل یک قطار در عرض پل می باشد که بار آن مطابق شکل زیر می باشد:



بدلیل امکان عبور بارهای سنگین مطابق بند ۳-۱-۲ آیین نامه ۱۳۹، بار فوق در ۱.۲ ضرب می گردد.

$$2.60 + 0.35 = 2.95 \text{ m}$$

توزیع بار در عرض خط:

$$1 \div 2.95 = 0.34$$

بارگذاری زلزله:	3	4 5
-----------------	---	-----

مطابق توضیحات فصل ۴ گزارش شماره ۲، نیروی زلزله برای پلهای دالی همسطح به شرح زیر محاسبه شده است.

ضریب زلزله برای محاسبه نیروی افقی زلزله بدنه کوله ها و پایه ها و نیز وزن دال مطابق بند (ت) ماده ۲-۱۴ استاندارد ۲۸۰۰ به شرح زیر محاسبه می کنیم.

با لحاظ سازه بعنوان سازه صلب مقدار B/R برابر ۰.۵۰ در نظر گرفته می شود.

$$A = 0.35$$

$$I = 1.2$$

$$B/R = 0.5$$

$$C = A \cdot B / R = A \cdot 0.50 \cdot 1.20 = 0.60 A = 0.21$$

ضریب ۰/۲۱ به عنوان ضریب زلزله به نرم افزار معرفی شده و بصورت خودکار به جرم سازه اعمال می گردد.



محاسبه نیروی ترمز و شتاب ناشی از بار قطار

مطابق آیین نامه بارگذاری پلها، نشریه ۱۳۹، نیروی افقی ترمز ناشی از بار قطار برابر ۱/۷ وزن بار زنده واقع روی پل اعمال می شود

$$F_{br}(total) = (1 \div 7) W_L = 163.43 \text{ KN} \rightarrow 16.34 \text{ ton}$$

$$L = 8.2 \text{ m}$$

با توجه به اینکه طول پل (یک خطه) برابر ۵.۶ متر لحاظ می شود. لذا نیروی ترمز وارده به هر متر طول برابر است با:

$$F_{br} = F_{br}(total) \div 5.6 = 2.92 \text{ ton/m}$$

برای پل راه آهن دوخطه عرض برابر ۱۰.۶ متر و نیروی ترمز برابر است با:

$$F_{br} = 3.08 \text{ ton/m}$$

بنابراین در جهت اطمینان نیروی ترمز و شتاب در مسیر ۲ خطه در طراحی لحاظ می شود.

ترکیب بارهای طراحی زیرسازه:

مطابق نشریه ۱۳۹:

درصد افزایش تنش مجاز	شرح ترکیب بار	نامگذاری ترکیب بار
100	DL+E0	C1 گروه یک
100	DL+E0+LL+Psur	C21 گروه دو
125	DL+E0+LL+Psur+Fbr	C22 گروه دو
133	DL+Ea+E(ae)+EQb	C5 گروه پنج

DEAD LOAD	DL	بار مرده
LIVE LOAD	LL	بار زنده
Surcharge	Psur	فشار سربار زنده پشت کوله
Breake	Fbr	نیروی ترمز
Earth Pressure	Ea	فشار خاک در حالت اکتیو
Earth Pressure	E0	فشار خاک در حالت سکون
Earthquake	Eae	اضافه فشار خاک در حین زلزله
Earthquake	EQb	نیروی زلزله جرم بدنه

کنترل تنش در مقاطع کوله و پایه:

بعد از تحلیل مدل در نرم افزار SAP2000 مقادیر حداکثر نیروهای داخلی در جدول زیر خلاصه شده است (تن - متر)

الف: خلاصه نیروهای داخلی با اعمال ضریب زلزله ۰/۲۱ واحد: ton-m

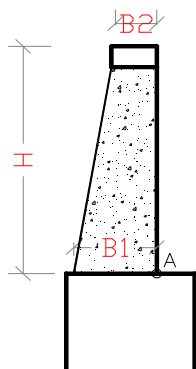
المان	ترکیب بار	عرض پای دیوار	نتایج از تحلیل مدل		وزن و لنگر مقاوم خاک پشت کوله		جمع نتایج		کنترل تنش (پایداری داخلی)			کنترل پایداری خارجی		
			P	M	P	M	P	M	f1	f2		e	B/4	B/3
کوله	C1	2.50	29.94	9.32	8.5	-6.9	38.41	2.41	13.1	17.7		0.06	0.63	
کوله	C21	2.50	60.14	16.18	8.5	-6.9	68.61	9.27	18.5	36.3		0.14	0.63	
کوله	C22	2.50	60.14	23.2	8.5	-6.9	68.61	16.29	11.8	43.1		0.24	0.63	
کوله	C5	2.50	29.94	35.85	8.5	-6.9	38.41	28.94	-12.4	43.1		0.75		0.83



8 5

کنترل پایداری دیوار کوله برای زمان ساخت:

قبل از اجرای دال و تشکیل قاب، بایستی دیوار کوله به تنهایی در برابر بارهای وارده پایدار باشد. با توجه به اینکه برای دسترسی به دال و انجام بتن ریزی آن، عموماً پشت کوله را خاکریزی می کنند. لذا دیوار کوله بایستی در برابر واژگونی ناشی از فشار خاک پایدار باشد. فرض می شود خاکریزی برای دسترسی به دال در طول ۵.۶ متر (از ۵.۶ متر طول کل کوله) صورت گیرد. کنترل واژگونی:



$$\begin{aligned} H &= 4.3 \text{ m} \\ B1 &= 2.5 \text{ m} \\ B2 &= 0.9 \text{ m} \\ B_{av} &= 1.7 \\ K_a &= (1 - \sin 30) / (1 + \sin 30) = 0.33 \\ p &= (g \cdot H \cdot K_a) = 2.8 \end{aligned}$$

محاسبه لنگر واژگونی حول نقطه A:

$$\begin{aligned} P_a &= 0.5 \cdot p \cdot H \cdot 1 = 6.1 \\ M_o &= 8.7 \text{ t.m/m} \end{aligned}$$

محاسبه لنگر مقاوم حول نقطه A:

$$\begin{aligned} M_r &= 22.8 \text{ t.m/m} \\ F.S. &= M_r / M_o = 2.6 > 1.5 \text{ OK.} \end{aligned}$$

کنترل لغزش دیوار روی پی:

زاویه اصطکاک دیوار بنایی روی پی بتنی برابر ۳۰ درجه فرض می شود.

$$\psi = \tan(30) = 0.60$$

ضریب اصطکاک:

$$W = 18.3 \text{ ton}$$

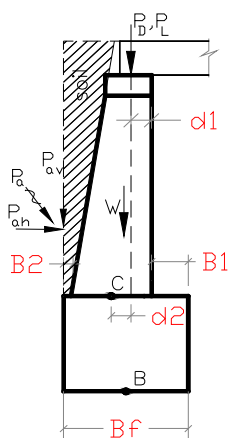
وزن دیوار:

$$W \cdot \psi \cdot A = 11.0 > P_a = 6.1 \text{ O.K.}$$

تعیین عرض پی کوله:

9 5

عرض فونداسیون مطابق بند (۳-۵) فصل سوم گزارش شماره (۲) به شرح زیر محاسبه می شود:



$$\begin{aligned} B1 &= 1.5 \text{ m} \\ Bf &= 4.0 \text{ m} \\ t_f &= 1.70 \text{ m} \end{aligned}$$

کنترل تنش زیر پی:

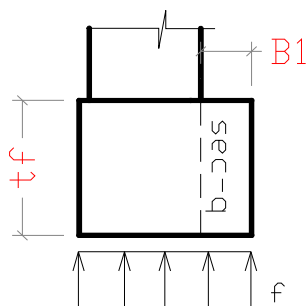
$$\begin{aligned} \text{بار اعمالی: } P &= 60.1 \text{ ton} \\ \text{sum} &= 60.1 \text{ ton} \\ \text{تنش خاک: } f &= 15.0 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$



10 5

کنترل ضخامت پی بتنی کوله:

مبنای طراحی ضخامت پی، کنترل تنش کششی و برشی ایجاد شده در کف پنجه پی می باشد.



$t_f = 1.70$	m		
$M_a = f \cdot B1 \cdot B1 / 2 =$	17.04	t.m	لنگر در مقطع پنجه:
$\sigma = M_a \cdot 6 / (t_f)^2 =$	35.377	t/m ²	تنش کششی پنجه: ok
$V_a = f \cdot B1 =$	22.62	ton	برش در مقطع پنجه:
$\sigma = V_a / (1 \cdot t_f) =$	13.30	t/m ²	تنش برشی پنجه: ok

11 5

کنترل لغزش شناژ کوله برای بارهای دوره بهره برداری

با توجه به اعمال نیروی ترمز و نیروهای جانبی (زلزله)، و انتقال آنها از طریق شناژ به دیوار کوله لغزش شناژ روی دیوار کنترل می شود:

V=	6.08	ton
عکس العمل وزن دال	6.65	ton
عکس العمل بار مرده روی دال	3.72	ton
<hr/>		
Ptotal=	10.37	ton

حداکثر برش در بالای کوله در ترکیب بار گروه ۵ با ضریب زلزله ۰.۲۱:

بار مرده دال:

با فرض حداقل روسازی با بالاست:

$$P_{total} \cdot \psi \cdot A = 6.2 > V = 6.08 \quad O.K$$

