



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



## خسارت پل ها در زلزله



Concrete crusher of pier.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



## Damage of support.

آسیب وارده به تکیه گاه ها، از قبیل تکیه گاه های شیب دار، برش، بیرون آمدن انکربولت، غلطیدن تکیه گاه های غلطکی، ویرانی تکیه گاه هایش و غیره.





# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



**Damage of main beam**

آسیب تیرهای اصلی که معمولترین آن شکست تیر می باشد.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



**Damage of abutment.**





# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



## 4. Abutment







# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران







# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران





# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران







# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران





# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



**The bridge was in parallel to the fault.**





## Lessons Learned

- ✓ Skewed bridges should be avoided in high seismic zones or the skew angle of bridges must be limited to a small value.
- ✓ Near-field ground motions should be taken into account in bridge designs
- ✓ Shear failures in substructures must be avoided.
- ✓ Shear keys must be properly designed to prevent superstructure from dropping off yet to limit the earthquake force transmitted to the substructure.
- ✓ Inadequate details of bridge construction need to be retrofitted to avoid the collapse of bridges during future earthquakes.



## آیین نامه طرح پل‌های راه و راه آهن در برابر زلزله

کلیات نشریه شماره ۴۶۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی

### ۱-۱ هدف

هدف از تهیه این آیین نامه تعیین حداقل ضوابط و مقررات با بهره گیری از آیین نامه آشتو و حداکثر انطباق با ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، جهت طرح و اجرای پل ها، اعم از پل های راه و راه آهن، در مقابل اثرهای ناشی از زلزله میباشد. با رعایت این آیین نامه انتظار می رود پل های با اهمیت زیاد بند (۱-۴-۱) در برابر زلزله های خفیف\* و متوسط\*، با قابلیت بهره برداری بدون وقفه و در برابر زلزله های شدید\*، بدون آسیب عمده سازه ای قابل استفاده باشند و پل های با اهمیت متوسط (بند ۱-۴-۲) در برابر زلزله های خفیف و متوسط با حداقل خسارت سازه ای، قابل بهره برداری آتی بوده و در برابر زلزله های شدید بدون فرو ریختن، ایستایی خود را حفظ نمایند.

\*زلزله خفیف و متوسط یا زلزله سطح بهره برداری، زلزله ای است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال بیشتر از ۹۹/۵ درصد باشد و زلزله شدید یا همان زلزله طرح، زلزله ای است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال کمتر از ۱۰ درصد باشد.





## ۱-۲ حدود کاربرد

این آیین نامه برای طرح و اجرای پل های فولادی، بتن مسلح، مختلط و بتن پیش تنیده به کار میرود.

۱-۲-۱ پل هایی که پایه های آنها با بتن بدون آرماتور یا با مصالح بنایی ساخته می شوند، مشمول این آیین نامه نمی شوند.

۱-۲-۲ پل های آبرو مدفون\* در خاک معمولاً نیاز به محاسبه خاصی برای زلزله ندارند.

\* پلهای آبرو مدفون به پلهای آبرویی اطلاق میشود که حداقل ۶۰ سانتیمتر خاک روی آنها وجود دارد.



## ۳-۱ ضوابط کلی

۱-۳-۱ پل ها باید در دو امتداد عمود بر هم قادر به تحمل نیروهای افقی ناشی از زلزله باشند و در هر یک از این دو امتداد بایستی نیروهای جانبی را به نحوی مناسب به شالوده ها انتقال دهند . این دو امتداد معمولاً محور طولی پل و محور عمود بر آن انتخاب می شوند. در مورد پل ها یی که در پلان قوسی شکل اند ، یکی از محورها را می توان راستای خطی که کوله ها را به هم متصل میکند، در نظر گرفت.

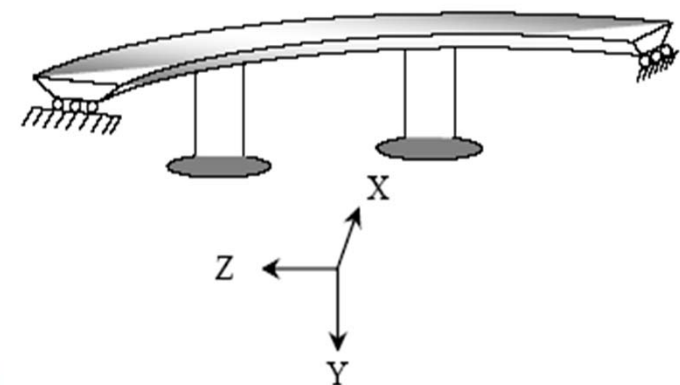
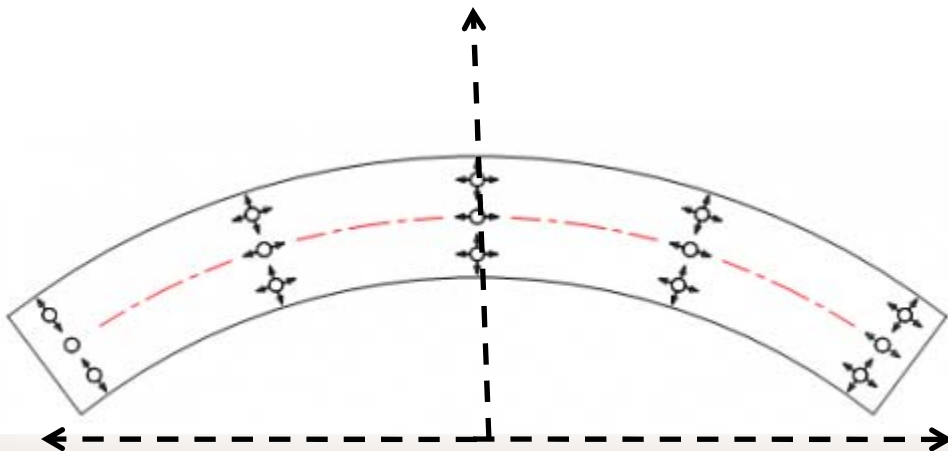


Figure 8. Structural pattern of curved bridge.



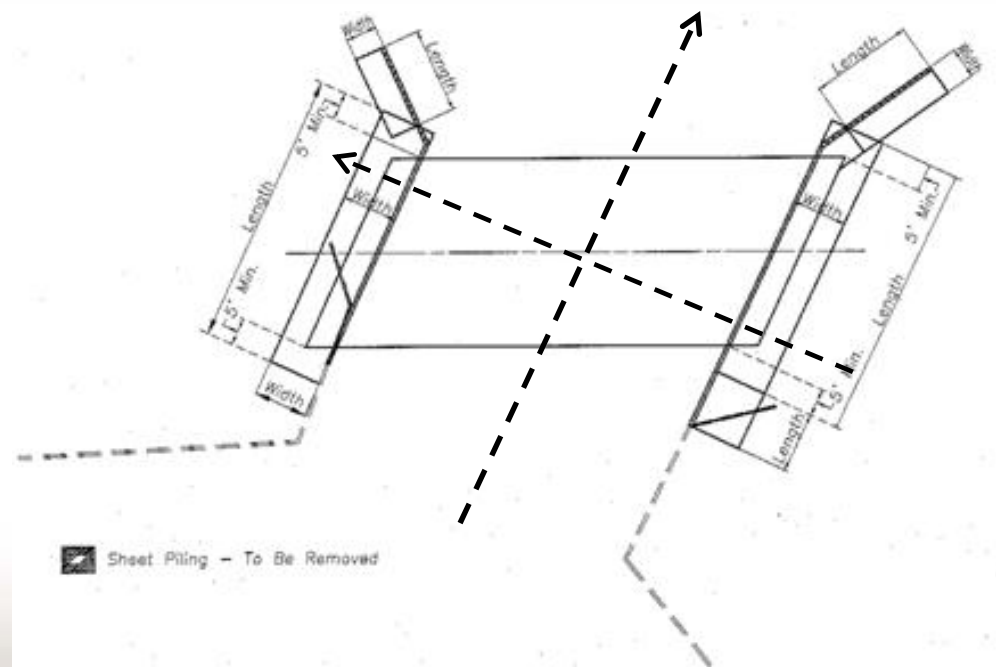
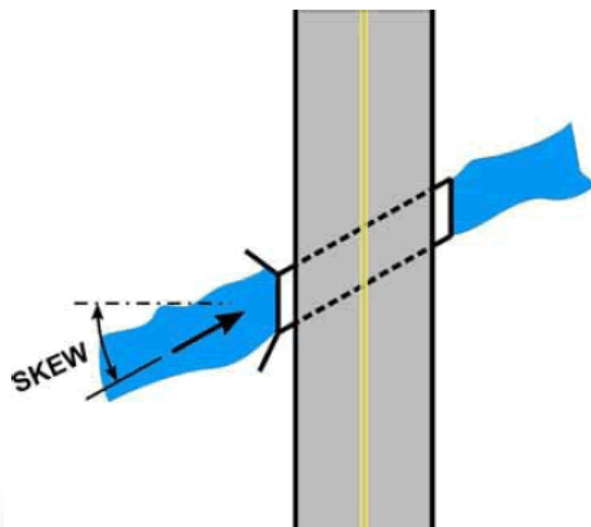


# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



۱-۳-۲ در پل هایی که پایه های آنها در پلان نسبت به محور طولی مورب اند، دو امتداد عمود بر هم گفته شده در بند (۱-۳-۱) را می توان در راستای محور پایه ها و عمود بر آن راستا در نظر گرفت.





۳-۳-۱ عرشه پل های راه و راه آهن معمولاً از مقاومت و صلبیت کافی برخوردارند، اما به عنوان دیافراگم باید بتوانند نیروهای ناشی از زلزله را به نحوی مطلوب به تکیه گاهها منتقل نمایند . ضوابط اتصال عرشه به پایه ها و کوله ها و نیز تکیه گاهها براساس ضوابط خاص طراحی فصل سوم انجام می گیرد.

۳-۳-۱ کوله های پل ها و دیوارهای حایل باید بتوانند فشار خاک اضافی ناشی از زلزله را بر طبق بند ( ۳-۵ ) تحمل نمایند.

۳-۳-۵ در صورت لزوم طراحی پل در مجاورت گسل های فعال، زمینهای متشکل از خاک رس حساس و نیز زمینهایی که در اثر زلزله دچار روانگرایی، نشست زیاد، زمین لغزش و یا سنگ ریزش گردد ، مطالعات ژئوتکنیکی خاص و تمهیدات فنی ویژه الزامی می باشد.





# آیین نامه طرح پل‌های راه و راه آهن در برابر زلزله

## نشریه شماره ۴۶۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی

### ۴-۱ گروه بندی پل ها بر حسب اهمیت

در این آیین نامه، پل ها از نظر اهمیت به دو گروه تقسیم می شوند:

#### ۴-۱-۱ پل های با اهمیت زیاد

این گروه شامل پل های زیر است :

الف) پل های آزادراهها ، بزرگراهها، راههای اصلی و فرعی درجه یک و پل های شبکه اصلی و فرعی راه آهن کشور

ب) پل های راههای اتصالی به صنایع حیاتی کشور و تأسیسات مهم نظامی

#### ۴-۱-۲ پل های با اهمیت متوسط

این گروه شامل کلیه پل ها به جز موارد بند ( ۴-۱ - ۱ )، از قبیل پل های راههای فرعی درجه دو و درجه سه (روستایی) میباشد.



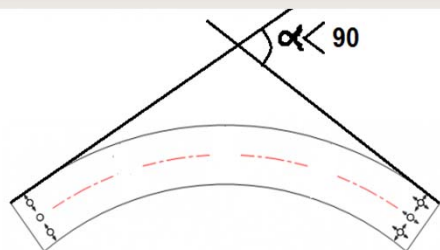
# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



## ۱-۵ گروه بندی پل ها بر حسب شکل

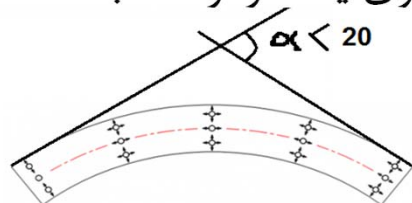
در این آیین نامه، پل ها به لحاظ شکل به دو گروه زیر تقسیم می شوند :



### ۱-۵-۱ پل های منظم

این گروه شامل پل هایی است که کلیه شرایط زیر را برآورده نمایند:

- ۱- تعداد دهانه ها ۶ و یا کمتر باشد.
- ۲- زاویه قوس پل در پلان مساوی یا کمتر از  $90^\circ$  باشد.
- ۳- در پل های متشکل از دهانه های ساده متوالی، زاویه قوس پل در پلان مساوی یا کمتر از  $20^\circ$  باشد.
- ۴- نسبت طول دهانه های متوالی کمتر از ۲ باشد.
- ۵- نسبت سختی پایه های متوالی میانی کمتر از ۳ باشد.



### ۱-۵-۲ پل های نامنظم

این گروه شامل کلیه پل ها به جز مواردی که در بند (۱-۵-۱) ذکر شده اند، می باشد.





## محاسبه نیروها و ترکیب بارها

### ۱-۲ کلیات

۱-۱-۲ کلیه پل های موضوع این آیین نامه، بجز موارد گفته شده در بندهای ( ۲-۲-۱ ) و ( ۳-۲-۱ ) باید طبق ضوابط این فصل محاسبه شوند.

۲-۱-۲ در محاسبات فقط مؤلفه افقی نیروی زلزله در نظر گرفته می شود و از اثر مؤلفه قائم صرفنظر می گردد. نیروی عمودی تکیه گاهی ناشی از زلزله افقی در بند ( ۲-۲-۳-۳ ) ارائه شده است.

۳-۱-۲ پل در دو امتداد عمود بر هم مطابق بندهای ( ۱-۳-۱ ) و ( ۲-۳-۱ ) محاسبه می شود. در محاسبه اثر مؤلفه افقی نیروی زلزله در هر امتداد، ۳۰٪ اثر نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن بطور همزمان بایستی اعمال گردد.

۴-۱-۲ نیروی زلزله باید در هر یک از امتدادهای پل به صورت رفت و برگشت در نظر گرفته شود.

۵-۱-۲ محاسبه پل ها در برابر نیروهای زلزله و باد به تفکیک انجام می شود.



## ۲-۲ بار زنده

۱-۲-۲ در محاسبه نیروی افقی زلزله، در پل های شهری، اعم از راه و راه آهن، حداقل نصف بار زنده عادی منظور می شود.

۲-۲-۲ در محاسبه نیروی افقی زلزله به استثنای موارد موضوع بند (۱-۲-۲)، در صورتی که مقدار بار زنده کمتر از نصف بار مرده عرشه باشد، بار زنده منظور نمی گردد. در غیر این صورت، دو سوم مجموع بار مرده و زنده عرشه در محاسبات منظور می شود.

$$W_{total} = W_D + 0.5W_L \quad \leftarrow \text{در پلهای شهری}$$

$$W_{total} = W_D \quad \text{اگر } 0.5W_D > W_L \quad \leftarrow \text{در پلهای خارج شهر}$$

$$W_{total} = \frac{2}{3}(W_D + W_L) \quad \text{اگر } 0.5W_D$$

$$< W_L$$





## ۲-۳ روش محاسبه در برابر زلزله

۲-۳-۱ محاسبه پل ها در برابر نیروی زلزله، با یکی از دو روش زیر انجام می گیرد :

الف) روش تحلیل استاتیکی معادل  
ب ) روش تحلیل دینامیکی

موارد کاربرد هر یک از این روشها برای پل های منظم و غیر منظم در بندهای (۲-۳-۲) و (۲-۳-۳) مشخص شده اند.

۲-۳-۲ در پل های منظم موضوع بند ( ۱-۵-۱) که طول کل پل کمتر از ۳۰۰ متر و دارای دهانه های با طول کمتر از ۱۰۰ متر و پایه های با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر باشند، می توانند با استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل محاسبه شوند . در غیر اینصورت این پل ها باید به روش دینامیکی تحلیل شوند.

۲-۳-۳ در پل های از نوع معلق، ترکه ای، باسکولی و کلیه پل های نامنظم تحلیل دینامیکی اجباری است.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



نامنظم	منظم				روش تحلیل لرزه ای
	طول کل پل بیشتر از ۳۰۰ متر	طول کل پل کمتر از ۳۰۰ متر			
		طول هر دهانه بیشتر از ۱۰۰ متر	طول هر دهانه کمتر از ۱۰۰ متر		
			ارتفاع پایه کمتر از ۳۰ متر	ارتفاع پایه کمتر از ۳۰ متر	
-	-	-	-	X	استاتیکی
X	X	X	X	X	دینامیکی





## ۲-۴ روش تحلیل استاتیکی معادل

۲-۴-۱ در این روش نیروی جانبی زلزله، بر مبنای زمان تناوب اصلی نوسان پل و با استفاده از طیف بازتاب طرح تعیین می گردد. این نیرو با توجه به شکل نوسان پل در مد اصلی و بر اساس یکی از دو روش ارائه شده در پیوست شماره ۲ در طول پل توزیع می گردد.

۲-۴-۲ نیروی جانبی زلزله مؤثر بر عرشه پل در هر یک از دو امتداد از رابطه ( ۲-۱ ) بدست می آید :

$$F = C.W \quad (1-2)$$

در این رابطه :

نیروی مؤثر بر عرشه پل :  $F$

وزن مرده عرشه پل به اضافه مقداری از بار زنده روی پل که در بخش ( ۲-۲ ) مشخص شده است. :  $W$



ضریب زلزله که از رابطه (۲-۲) به دست می آید : C

$$C=ABI/R \quad (2-2)$$

در این رابطه :

A : ضریب شتاب مبنای طرح (نسبت شتاب طراحی به شتاب ثقل g)

B : ضریب بازتاب پل که با استفاده از طیف بازتاب طرح به دست می آید :

I : ضریب اهمیت پل،

R : ضریب رفتار پل،

۲-۴-۳- شتاب مبنای طرح (A) در مناطق مختلف کشور به شرح زیر تعیین می شود :

منطقه	خطر نسبی پهنه	مقدار شتاب مبنای طرح (A)
۱	خیلی زیاد	۰/۳۵
۲	زیاد	۰/۳۰
۳	متوسط	۰/۲۵
۴	کم	۰/۲۰





پهنه بندی مناطق چهار گانه فوق در پیوست شماره ( ۱ ) مشخص شده اند.

## ۲-۴-۴ ضریب بازتاب پل B،

ضریب بازتاب پل بیانگر نحوه پاسخ پل به حرکت زمین است . این ضریب با استفاده از روابط زیر و یا از روی شکل های (۱- الف و ۱- ب) تعیین میشود.

$$B = 1 + S (T / T_0) \quad 0 < T < T_0$$

$$B = S + 1 \quad T_0 < T < T_s$$

$$B = (S + 1) (T_s / T)^{2/3} \quad T > T_s$$

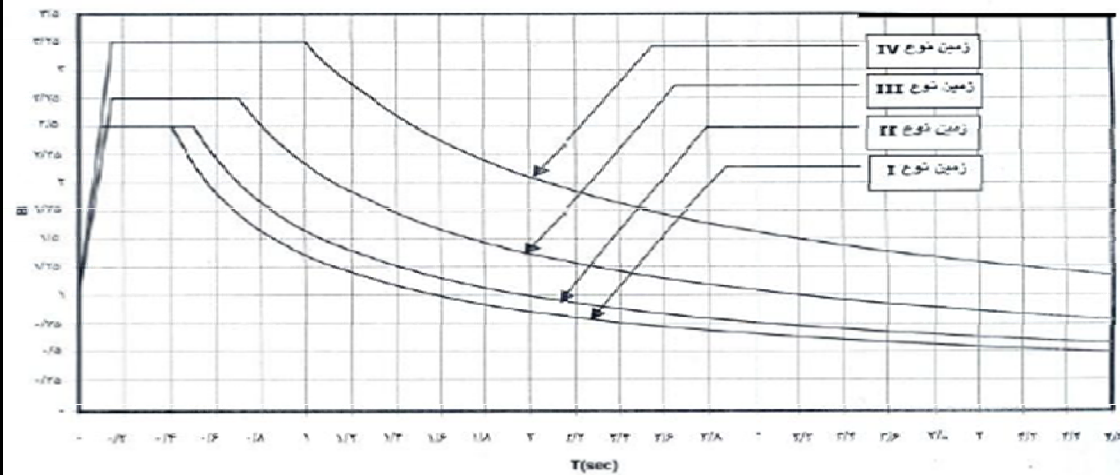
در این روابط:

زمان تناوب اصلی نوسان پل به ثانیه که طبق بند ۲-۴-۶ تعیین می شود.  $T$   
 $T_0$ ,  $T_s$ ,  $S_0$  پارامترهایی هستند که به نوع زمین ساختگاه و میزان خطر لرزه خیزی منطقه وابسته اند.  
مقادیر این پارامترها در جدول ( ۱ ) مشخص شده اند.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



شکل ۹-الف- ضریب بازتاب پل برای انواع زمینهای متدرج در بند (۲-۳-۴) با خطر نسبی کم و متوسط

جدول ۱: پارامترهای مربوط به روابط (۲-۳)

نوع زمین	$T_0$	$T_s$	خطر نسبی کم و متوسط	خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد
I	۰/۱	۰/۴	S	S
II	۰/۱	۰/۵	۱/۵	۱/۵
III	۰/۱	۰/۷	۱/۷۵	۱/۷۵
IV	۰/۱۵	۱/۰	۲/۲۵	۱/۷۵



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



۲-۴-۶ زمان تناوب اصلی نوسان پل ( $T$ ) را می توان از رابطه (۲-۴) بر اساس روش باریکنواخت و یا رابطه مشابه در روش توزیع بر اساس مد اصلی ارتعاش (پیوست شماره ۲) محاسبه نمود.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{Kg}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \quad (۲-۴)$$

در این رابطه:

$K$ : سختی جانبی پل در جهت مورد نظر است و از تقسیم نیروی جانبی فرضی وارده به عرشه پل به تغییر مکان حداکثر که در عرشه پل ایجاد می گردد، به دست می آید.

$M$ : جرم موثر لرزه های پل

$g$ : شتاب ثقل





# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



۷-۴-۲ ضریب اهمیت پل با توجه به گروه بندی پل ها در بخش (۱-۴)، به شرح زیر تعیین می گردد

ضریب اهمیت پل (I)	گروه پل
۱/۲	گروه با اهمیت زیاد
۱/۰	گروه با اهمیت متوسط

۸-۴-۲ ضریب رفتار (R) عواملی از قبیل شکل پذیری، سیستم سازه ای پل، درجه نامعینیت و اضافه مقاومت موجود در پایه های پل را مشخص می کند و برحسب آنکه پایه ها از نوع چه سیستم سازه ای ساخته شوند، با رعایت تبصره ذیل جدول (۳) تعیین می گردد.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



جدول ۳: ضریب رفتار

R	اتصالات	R	زیرسازه	R	زیرسازه
۰/۸	- اتصال روسازه به کوله	که در $R$ نصف مقدار محاسبه پایه ها به کاربرده شده است	- شالوده ها، سرشمعها و شمعها	۲	پایه های دیواری
۰/۸	- درز انبساط واقع در دهانه روسازه			۵	قاب چند ستونی
۱	- اتصال ستونها یا پایه ها به شالوده			۳	- تک ستونها
۱	- اتصال ستونها، پایه ها یا قاب شمعها به تیر سرستون، تیر سرشمع یا روسازه			(a) فقط شمعهای قائم $R=۳$ (b) دارای حداقل یک شمع مایل $R=۳$	- شمع ستون بتن آرمه (قاب هایی که ستونهای آنها را شمع تشکیل می دهد)
				(c) فقط شمعهای قائم $R=۵$ (d) دارای حداقل یک شمع مایل $R=۳$	- قاب شمعهای فولادی یا مرکب (فولاد و بتن آرمه)



تبصره : در طراحی پایه ها و کلیه اعضای بتن مسلح که در تحمل بارهای جانبی زلزله شرکت دارند باید « ضوابط خاص طراحی »، مندرج در فصل سوم این آیین نامه رعایت گردد.

۹-۴-۲ پایه های پل علاوه بر نیروی زلزله ناشی از وزن عرشه (بندهای ۲-۴-۱ و ۲-۴-۲)، باید نیروی زلزله ناشی از وزن خود را نیز تحمل کنند. نیروی اخیر، از حاصل ضرب ضریب زلزله (که در محاسبه نیروی زلزله روسازه یا عرشه به کاررفته است) در وزن پایه ها به دست می آید.

۱۰-۴-۲ در توزیع نیروی جانبی زلزله به پایه ها، در صورت صلب بودن عرشه نیروی جانبی زلزله وارد به عرشه باید بین پایه های مقاوم در برابر نیروی جانبی به تناسب سختی آنها توزیع گردد. در صورت عدم صلبیت عرشه در توزیع نیروی جانبی باید اثر تغییر شکلهای ایجاد شده در عرشه نیز منظور گردد.

۱۱-۴-۲ در پایه هایی که تغییر مکان جانبی قابل ملاحظه ای (موجب لنگرهای خمشی ثانویه بیش از ده درصد لنگرهای خمشی اولیه) در آنها اتفاق میافتد، اثر  $P-\Delta$  در نظر گرفته شود.





## پیوست ۲- ضوابط تکمیلی روشهای تحلیل پل در برابر زلزله

### ۲- روش بار یکنواخت

روش بار یکنواخت برای حرکات زلزله در دو جهت طولی و عرضی استفاده می شود. این روش جهت تخمین اثرات بارهای زلزله پل های منظم که عمدتاً در مد اصلی ارتعاش پاسخ می دهند، مناسب است. علیرغم اینکه تغییر مکانها و نیروی اعضا در این روش با دقت کافی محاسبه می گردند ولی نیروی برشی در کوله ها معمولاً بیشتر تخمین زده میشود. مراحل انجام محاسبه به شرح ذیل اختیار میشود:

گام اول ( تغییر مکانهای استاتیکی  $(x) v_s$  در اثر بار فرضی یکنواخت  $p_0$  طبق شکلهای ۱ و ۲ محاسبه می شود. باریکنواخت  $w(x)$  در سراسر پل تأثیر داده می شود. واحد آن نیرو بر طول می باشد که آن را میتوان برابر با یک در نظر گرفت.

$$K = \frac{p_0 L}{v_{smax}}$$

$$W = \int w(x) dx$$

گام دوم) سختی جانبی پل  $K$  و وزن کل  $W$  از روابط زیر بدست میآید:

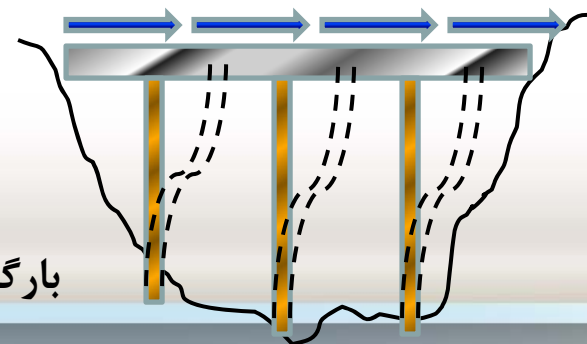
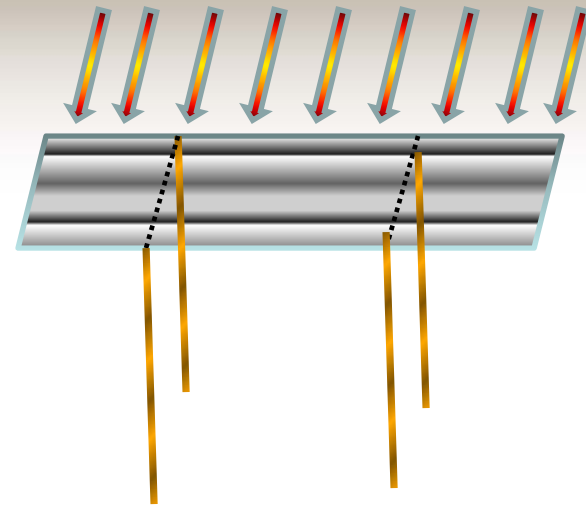
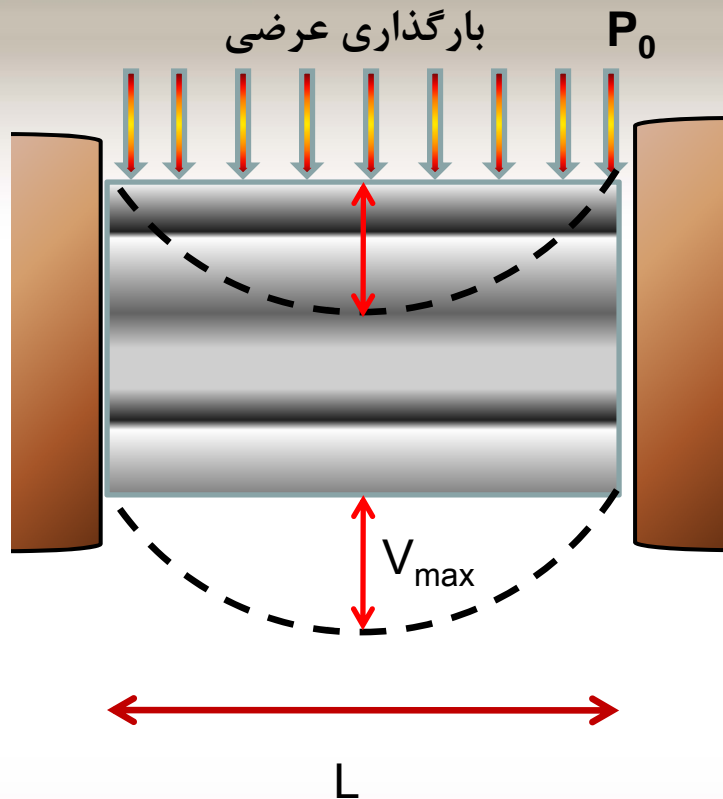
$L$ : طول کل پل  $v_{smax}$ : بیشینه  $(x) v_s$  بر حسب واحد طول

$w(x)$ : وزن واحد طول که شامل بار مرده عرشه، ملحقات آن و قسمتهای مؤثر بارمرده زیرسازه و بار زنده طبق بند ۲-۲ میباشد.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



بارگذاری در جهت طولی



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}}$$

گام سوم ( زمان تناوب پل T با استفاده از رابطه روبرو محاسبه میشود:

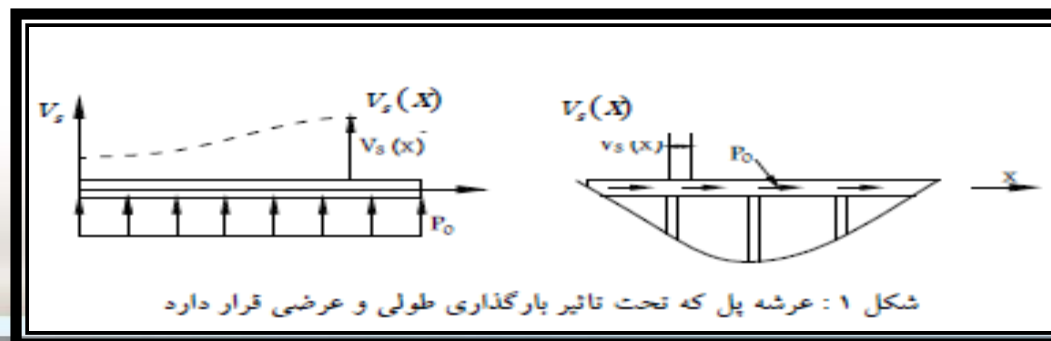
$$P_e = \frac{CW}{L}$$

گام چهارم ( نیروی زلزله استاتیکی معادل  $P_e$  از رابطه روبرو محاسبه میگردد :

C ضریب زلزله که از روش تحلیل استاتیکی معادل به دست می آید.

$P_e$ : بار زلزله یکنواخت در واحد طول پل که جهت حصول مد اولیه ارتعاش پل اعمال می شود.

گام پنجم ( محاسبه تغییر مکانها و نیروهای اعضاء برای استفاده در طراحی که با اعمال  $P_e$  بر سازه و انجام تحلیل مجدد با استفاده از نسبت  $P_e/P_0$  و انجام تحلیل اولیه صورت می گیرد.







## ۲-۲ روش توزیع بر اساس مد اصلی ارتعاش

**گام اول** ( تغییرمکانهای استاتیکی  $v_s(x)$  را با فرض بار یکنواخت  $P_0$  طبق شکل ۱ محاسبه و در تمام طول پل تأثیر داده می شود. واحد آن، نیرو بر واحد طول می باشد که میتواند برابر با یک اختیار شود. جابجایی استاتیکی  $v_s(x)$  همان واحد طول را دارد.

$$\begin{aligned}\alpha &= \int v_s(x) dx \\ \beta &= \int w(x) v_s(x) dx \\ \gamma &= \int w(x) v_s(x)^2 dx\end{aligned}$$

**گام دوم** ( پارامترهای  $\alpha, \beta, \gamma$  با استفاده از روابط زیر محاسبه می شود:  
 $w(x)$ : بار مرده واحد طول پل شامل عرشه و زیرسازه در مقطع  $x$  (واحد نیرو بر واحد طول)

واحد پارامترهای  $\alpha, \beta, \gamma$  به ترتیب برحسب مربع واحد طول، واحد طول در واحد نیرو و مربع واحد طول در واحد نیرو می باشد.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\gamma}{p_0 g \alpha}}$$

**گام سوم** ( زمان تناوب اصلی پل ( $T$ ) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود :



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران

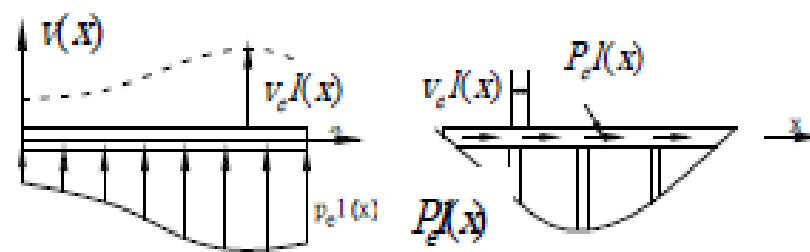


$$p_e(x) = \frac{\beta C}{\gamma} w(x) v_s(x)$$

گام چهارم ( بار استاتیکی معادل زلزله  $P_e(x)$  از رابطه زیر محاسبه می شود:  
C : ضریب زلزله که از رابطه ۲-۲ بند ( ۲-۴-۲ ) دست می آید.

$P_0(x)$  : توزیع نیروی معادل استاتیکی وارد بر پل در مقطع X بر حسب واحد نیرو بر واحد طول

گام پنجم ( نیروی  $P_e(x)$  مطابق با شکل ۲ بر پل تأثیر داده شود و نیروی اعضاء و تغییر مکانها به واسطه آن تعیین می گردد.



شکل ۲: عرشه پل که تحت تأثیر بارگذاری طولی و عرضی معادل زلزله قرار دارد



## ۳- روش تحلیل دینامیکی

اصولاً روش تحلیل دینامیکی چند مدی برای پل های غیر منظم از لحاظ هندسی به کار می رود که در مدهای ارتعاش، در هر سه راستا به صورت هم بسته با همدیگر عمل می کنند. این هم بستگی موجب می شود که مدهای ارتعاش در دو راستای طولی و عرضی از هم مستقل نباشند و در نتیجه پاسخ کلی سازه ناشی از چندین مد ارتعاش آن خواهد بود. با استفاده از برنامه کامپیوتری با قابلیت تحلیل دینامیکی سه بعدی خطی، می توان اثرات این همبستگی و تأثیرات چند مد ارتعاش را در پاسخ نهایی سازه تعیین کرد. هرگونه حرکت در تکیه گاهها در هر یک از دو جهت افقی، به دلیل هم بستگی ذکر شده، باعث ایجاد نیروهایی در هر دو امتداد محورهای اصلی هر عضو می شود. در پل ها ی قوسی در پلان، حرکت طولی را می توان در جهت راستایی که دو سر کوله ها را وصل می کند فرض نموده و در این صورت حرکات عرضی باید در جهت عمود بر آن راستا، منظور شود.

## ۳-۱- روسازه ها

روسازه ها باید به صورت سه بعدی با گره هایی مدل شوند که محل این گره ها علاوه بر نقاط انتهایی دهانه ها، حداقل در  $1/4$  دهانه ها نیز باشد. هرگونه عدم پیوستگی (از قبیل درزهای انبساط) باید در مدل منظور شود. توزیع مناسب جرم در گره ها با دقت کافی صورت گیرد. اثر مهارهای لرزه گیر در محل درزهای انبساط را می توان با افزودن یک یا چند عضو سازه ای با مشخصات ارتجاعی خطی که دارای سختی معادل با مهارها باشند، مدلسازی نمود.





## ۳-۲ زیرسازه ها

ستونها و پایه های میانی نیز مانند اعضای قابهای فضایی باید مدل سازی شوند. برای ستونهای سخت و کوتاه که طول آنها کمتر از ۳ طول کوچکترین دهانه مجاور آنهاست، نیازی به در نظر گرفتن گره های میانی نمی باشد. ستونهای بلند و انعطاف پذیر باید با گره های میانی در ۳ طول علاوه بر گره های انتهایی مدل شوند. در مدل باید اثر خروج از مرکزیت روسازه در پایه ها منظور شود. اندرکنش خاک و زیرسازه را می توان به کمک فنرهای با سختی خطی معادل مدل سازی شود.

## ۳-۳ شکل مدها و دوره تناوب

شکل مدها و دوره تناوب مورد نیاز پل در هر راستای مورد نظر با استفاده از روشهای شناخته شده با در نظر گرفتن عناصر سازه ای مقاوم در برابر زلزله با تکیه گاههای گیردار و سختیهای ارتجاعی محاسبه می گردد.

## ۳-۴ مدل ریاضی

پل مورد نظر باید به صورت سه بعدی با اتصالات و گره هایی که به طور واقع بینانه، سختی و اثرات اینرسی سازه را نشان می دهند، مدل شود. هر اتصال یا گره باید شش درجه آزادی داشته باشد که سه درجه تغییر مکان انتقالی و سه درجه تغییر مکان دورانی می باشد. جرم سازه باید به صورت متمرکز و با حداقل سه درجه آزادی انتقالی در نظر گرفته می شود. جرم سازه شامل جرم روسازه و ملحقات آن و قسمتهای موثر زیرسازه بوده این آیین نامه می باشد. - و بار زنده طبق بند ۲



## ۵-۲ روش تحلیل دینامیکی پل ها

در این روشها نیروی جانبی زلزله با استفاده از بازتاب دینامیکی که سازه پل در اثر حرکت زمین ناشی از زلزله از خود نشان میدهد، تعیین میگردد. اثرات حرکت زمین ممکن است به یکی از صورتهای طیف بازتاب شتاب یا تاریخچه زمانی تغییرات شتاب مشخص شود و روشهای دینامیکی شامل روش تحلیل طیفی و روش تحلیل تاریخچه زمانی خواهند بود که در روش تحلیل طیفی برای طیف بازتاب شتاب می توان از طیف طرح استاندارد طبق بند ( ۱-۵-۵-۱ - الف ) و یا از طیف طرح ویژه ساختگاه طبق بند ( ۱-۵-۵-۲ ب ) استفاده نمود . در تحلیل دینامیکی برای مدلسازی سازه پل از بند (۱-۲) پیوست ۲ می توان استفاده نمود.

## ۵-۲-۱ روش تحلیل دینامیکی طیفی (با استفاده از تحلیل مدها)

در این روش تحلیل دینامیکی با فرض رفتار ارتجاعی خطی سازه و با استفاده از حداکثر بازتاب کلیه مدهای نوسانی سازه که در بازتاب کل سازه اثر قابل توجهی دارند مطابق بند (۲-۱-۵-۲) انجام میگردد. حداکثر بازتاب در هر مد با توجه به زمان تناوب آن مد از طیف طرح بند (۱-۱-۵-۲) به دست می آید. سپس بازتاب کلی سازه از ترکیب آماری بازتابهای حداکثر هر مد مطابق بند ( ۲ - ۱-۵-۳ ) تخمین زده میشود.



## ۲-۵-۱-۱-طیف های طرح

طیف های طرح به یکی از دو روش زیر تعیین میشود:

### الف- طیف طرح استاندارد

این طیف، براساس ضوابط عنوان شده در بند ۲-۴-۴ که منعکس کننده اثر حرکت زمین برای زلزله طرح در آیین نامه است از حاصلضرب مقدار ضریب بازتاب سازه (B)، در مقدار شتاب مبنای طرح (A)، ضریب اهمیت (I) و عکس ضریب رفتار (R) بدست می آید. در تعیین این طیف نسبت میرائی ۵ درصد در نظر گرفته شده است.

### ب- طیف طرح ویژه ساختگاه

این طیف با استفاده از مشخصات زلزله های منطقه ساختگاه و با توجه به ویژگیهای زمینشناسی، تکتونیکی، لرزه شناسی، میزان ریسک و مشخصات خاک در لایه های مختلف ساختگاه و با بکارگیری نسبت میرائی ۵ درصد تعیین می گردد. در صورتیکه نوع پل و سطح زلزله مورد نظر نسبت میرائی متفاوتی را ایجاب کند، می توان آنرا مبنای تهیه طیف قرار داد. مقادیر محاسبه شده این طیف باید در ضریب اهمیت (I) و عکس ضریب رفتار ضرب گردد. در هر صورت مقادیر طیف طرح ویژه ساختگاه را نباید کمتر از دو سوم مقادیر طیف طرح استاندارد در نظر گرفت.





## ۲-۵-۱-۲ تعداد مدهای نوسان

در تحلیل طیفی در هر یک از دو امتداد متعامد، تعداد مدها باید حداقل سه برابر تعداد دهانه های پل و حداکثر ۲۵ مد در نظر گرفته شود.

## ۲-۵-۱-۳ ترکیب اثر مدها

در روش تحلیل طیفی از آنجا که حداکثر بازتاب های مختلف سازه (نیروها، تلاشها و یا تغییر مکانها) برای مدهای مختلف در یک زلزله بطور هم زمان اتفاق نمی افتد، لذا لازم است با روش های آماری، مقدار بیشینه بازتابهای کلی در اعضاء مختلف سازه تخمین زده شود. این چنین روش آماری باید براساس ترکیبی از بیشینه بازتاب های مدهای مختلف بوده و اثرات اندرکنش احتمالی بین بازتابهای مختلف نزدیک به یکدیگر حاصله از مدهای مختلف را در بر گیرد. یکی از روش های آماری ترکیب مدها با یکدیگر، روش جذر در امتداد هر  $U$ ، است. در این روش بازتاب کلی (SRSS) مجموع مربعات یا روش درجه آزادی از رابطه زیر بدست می آید:

$$U = \left( \sum_{n=1}^N u_n^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

(۵-۲)



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



در رابطه فوق  $U_n$  بازتاب درجه آزادی مورد نظر برای مد  $n$  بوده و  $N$  جمع تعداد مدهای تحت بررسی می باشد. از این روش می توان در مواردی استفاده نمود که زمان تناوب مدهای مختلف با یکدیگر متفاوت بوده و از یکدیگر فاصله کافی داشته باشند به نحوی که رابطه زیر صادق باشد:

$$r = \frac{T_m}{T_n} \leq 0.67 (T_n > T_m) \quad (6-2)$$

در رابطه فوق نسبت میرائی برابر ۵ درصد فرض شده و  $T_n$  و  $T_m$  به ترتیب زمان های تناوب طبیعی برای مدهای  $n$  و  $m$  می باشند.

در صورتیکه رابطه فوق صادق نباشد ، جوابهای بدست آمده از ترکیب جذر مجموع مربعات قابل اعتماد نبوده و بهتر است از روش دیگری بنام ” ترکیب مربعی کامل “ یا روش (CQC) استفاده شود. این روش قابلیت کاربرد عمومی برای اکثر حالات را دارد.

در روش ترکیب مربعی کامل، بازتاب کلی ترکیبی  $U$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$U = \left( \sum_{n=1}^N u_n^2 + 2 \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{m=n+1}^N \rho_{nm} u_n u_m \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7-2)$$



در رابطه فوق مقادیر  $u_n$  و  $u_m$  حداکثر بازتابهای سازه در درجه آزادی مورد نظر به هنگام ارتعاش به ترتیب در مدهای  $m$  و  $n$  بوده و  $\rho_{nm}$  ضریب بین مدی می باشد که از رابطه زیر محاسبه میگردد. همچنین باید توجه داشت که در محاسبه  $U$  طبق رابطه بالا علامتهای  $u_n$  و  $u_m$  باید رعایت شوند.

$$\rho_{nm} = \frac{8\xi^2(1+r)r^{\frac{3}{2}}}{(1-r^2)^2 + 4\xi^2r(1+r)^2} \quad (8-2)$$

در رابطه فوق مقدار  $r$  از رابطه (۲-۶) و  $\xi = 0.05$  منظور میشود.

## ۲-۵-۲ روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی روشی است تحلیلی برای تعیین بازتاب ها در هر مقطع زمانی (در مدت وقوع زلزله در سازه)، وقتی که سازه پل در تراز پایه تحت تأثیر شتابهای ناشی از زلزله (شتابنگاشت) قرار می گیرد. در این روش بازتاب های دینامیکی سازه بصورت تابعی از زمان محاسبه می گردد. از این روش می توان برای تحلیل خطی ارتجاعی و یا تحلیل غیرخطی سازهها استفاده نمود.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



شتابنگاشت، باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث پل در اثر زلزله باشد. بدین منظور در حالتیکه تاریخچه زمانی ویژه ساختگاه موجود نباشد باید حداقل پنج زوج شتابنگاشت با ویژگیهای زیر در تحلیل مورد استفاده قرار گیرد.

(۱) در صورتیکه شتابنگاشت ها مربوط به زلزله های واقعی اتفاق افتاده در مناطق دیگر باشند، باید حتی المقدور سعی شود ویژگیهای زمینشناسی، تکتونیکی، لرزه شناسی و بخصوص مشخصات لایه های خاک در محل شتابنگاشت با محل احداث پل مورد نظر مشابهت داشته باشند.

(۲) مدت زمان حرکت شدید در شتابنگاشت ها باید زمانی حداقل برابر ۱۰ ثانیه و یا ۳ برابر زمان تناوب اصلی سازه مورد نظر، هر کدام که بیشتر است، باشد.

(۳) زوج شتابنگاشتهای انتخاب شده باید به روش زیر به مقیاس درآورده شوند:

الف- کلیه شتاب نگاشت ها به مقدار حداکثر خود مقیاس شوند. بدین معنی که حداکثر شتاب همه آنها برابر با شتاب ثقل  $g$  گردد.





# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



ب- طیف پاسخ شتاب هریک از زوج شتابنگاشت های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵ درصد تعیین گردد.

پ- طیف های پاسخ هر زوج شتاب نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود.

ت- طیف های پاسخ ترکیبی پنج زوج شتاب نگاشت، متوسط گیری شده و در محدوده زمان های تناوب  $T/2$  و  $T/5$  با طیف طرح استاندارد مقایسه می گردد. ضریب مقیاس آنچنان تعیین شود که در این محدوده مقادیر متوسط ها در هیچ حالت کمتر از  $1/4$  برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد.  $T$  زمان تناوب اصلی طبق بند (۲-۴-۶) محاسبه می گردد.

ث- ضریب مقیاس تعیین شده، باید در شتاب نگاشت های مقیاس شده در بند (الف) ضرب شود و در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گیرد.



## ۶-۲ ترکیب نیروهای زلزله با سایر نیروها

در طراحی پل به روش تنش مجاز یا مقاومت نهایی (روش حالت‌های حدی) بار زلزله طبق گروه زیر با سایر بارها ترکیب میشود:

$$(۹-۲) \quad \text{گروه بارگذاری زلزله} = 1/0 (D+L+B+SF+E+EQM)$$

که در آن:

D: بار مرده

L: بار زنده طبق بند (۲-۲)

B: شناوری

SF فشار جریان آب

E: فشار خاک

EQM: نیروی لرزه ای ارتجاعی اصلاح شده با ضریب رفتار (R) مناسب

در صورتی که محاسبه پل به روش تنش مجاز انجام می شود، تنش مجاز سازه های بتن آرمه به اندازه ۳۳ درصد و تنش مجاز سازه های فولادی به اندازه 50 درصد قابل افزایش است.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



## دستورالعمل طراحی پل‌های فولادی

نشریه شماره ۳۹۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی

### ۱-۳ بارهای محاسباتی

#### ۱-۳-۱ بارهای مرده

برای محاسبه وزن قطعات، وزن مخصوص مصالح باید طبق استاندارد شماره ۵۱۹ موسسه استاندارد تعیین شود.

#### ۱-۳-۲ بارهای زنده

بارهای زنده باید طبق مقررات نشریه ۱۳۹ دفتر تحقیقات سازمان مدیریت و برنامه ریزی محاسبه شود.

#### ۱-۳-۳ بارهای زلزله

بارهای زلزله باید منطبق بر مقررات آئی نامه طرح پل های شوسه و راه آهن در برابر زلزله (استاندارد ۲۳۵ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) منظور شود.

#### ۱-۳-۴ سایر بارها

سایر بارها باید طبق مقررات نشریه ۱۳۹ دفتر تحقیقات سازمان مدیریت و برنامه ریزی محاسبه شود.

### ۱-۴ تنشهای مجاز

تمام عناصر سازه اعم از اتصالات و وسایل اتصال، باید طوری طراحی و محاسبه شوند که تحت اثر بارهای مفروض بهره برداری، تنش در آنها از مقادیر مندرج در فصول بعدی تجاوز نکند.



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



## دستورالعمل طراحی پل‌های فولادی

نشریه شماره ۳۹۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی

### ۱-۵ ترکیبات بارگذاری

با توجه به همزمانی بارهای ارائه شده در نشریه ۱۳۹، ترکیبات بارگذاری در طراحی به روش تنش مجاز مطابق

جدول ۱-۱۲ در نظر گرفته می شود.

اختصارات به کاررفته در جدول فوق به

قرار زیر می باشند:

D = بار مرده SF = نیروی حاصل از جریان رودخانه

L = بار زنده T = نیروی حاصل از تغییرات دما

I = ضربه بار زنده EQ = نیروی حاصل از زلزله

E = فشار زمین

B = نیروی غوطه وری

W = بار باد روی سازه

WL = بار باد روی بارزنده

PF = روی حاصل از پیش تنیدگی

ST = نیروهای ناشی از نشست تکیه گاهی

LF = روی ترمز بار زنده

CF = نیروی گریز از مرکز بار زنده

R = اثر حاصل از کوتاه شدن قوس و تیرهای پیش تنیده

گروه	ترکیب بار	تنش مجاز بر حسب درصد از تنش مجاز پایه
۱	$D + B + R + S + ST + PF + SF + E$	۱۰۰
۲	گروه ۱ + $L + I + LF + CF$	۱۰۰
۳-الف	گروه ۱ + W	۱۳۳
۳-ب	گروه ۲ + W + WL	۱۳۳
۴-الف	گروه ۱ + T	۱۳۳
۴-ب	گروه ۲ + T	۱۳۳
۵	گروه ۱ پلها + EQ	مطابق آیین نامه طرح لرزه ای پلها
۶	بارهای ویژه + گروه	طبق نیاز





## ضوابط خاص طراحی

### ۱-۳ نیروهای طراحی پایه‌های دیواری

نیروهای طراحی (نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر) نیروهائی هستند که از تحلیل ارتجاعی با اعمال ضرایب  $R$  به دست می آیند. ضوابط طراحی در هر دو جهت پایه های دیواری طبق بند (۳-۷-۳) باید رعایت گردد. در صورتی که پایه در جهت ضعیف به صورت ستون طراحی گردد، نیروهای طراحی مطابق بند (۳-۲) بوده و ضوابط بند (۳-۷) در طراحی ستون باید رعایت شود.

### ۲-۳ نیروهای طراحی ستون، قاب شمع و شمع (سازه‌های)

لنگرهای طراحی با اعمال ضرایب رفتار جدول (۳) اصلاح می شوند ولی در تعیین نیروی محوری و نیروی برشی ضریب رفتار برابر یک  $R = 1$  باید منظور گردد.

### ۳-۳ طراحی اتصالات و طول نشیمنگاه

۱-۳-۳ در محل هایی که پیوستگی عرشه قطع می شود، مانند محل درزهای روی تکیه گاهها و میان دهانه ها، باید از طریق افزایش طول تکیه گاهها یا اتصال دو قسمت عرشه به یکدیگر با مهار کننده ها و یا با استفاده از ضامن های موثر، ترتیبی اتخاذ گردد که بر اثر حرکات ناگهانی زلزله، دو قسمت عرشه از یکدیگر و یا عرشه از روی تکیه گاه جدا نشده و جابجایی ها باعث سقوط عرشه نشود.



۳-۳-۲ نیروهای طراحی کلیه اتصالات ( به جز مهارهای لرزه گیر افقی و عمودی ) از مطابق جدول ۲ به دست می آیند .  
نیروهای  $R$  تحلیل ارتجاعی با اعمال ضرایب طراحی مهارهای لرزه گیر افقی و عمودی به شرح زیر میباشد.  
**۳-۳-۲-۱ مهارهای لرزه گیر افقی**

تابلیه ها در محل درزهای انبساط، در محل تکیه گاهها و میان دهانهها، در صورت لزوم باید با کشهای طولی یا ضامن ها بگونه ای مهار شو ند که ضمن اجا زه امکان تغییر مکانهای نسبی در زمان بهره برداری، از تغییر مکانهای زیاد ناشی از حرکات لرزه ای جلوگیری نماید . مهارها می توانند تابلیه های مجاور را به یکدیگر و یا آنها را به پایه متصل نمایند (از اصطکاک نمی توان به عنوان مهار استفاده نمود ). نیروی لازم جهت طراحی این گونه مهارها را می توان از حاصلضرب وزن سبکتر دو قسمت مجاور عرشه در ضریب شتاب مبنا به دست آورد.

### ۳-۳-۲-۲ مهارهای عمودی

در تکیه گاههایی که عکس العمل قائم ناشی از زلزله، در خلاف جهت عکس العمل قائم ناشی از بار مرده عرشه بوده و مقدار آن از نصف عکس العمل بار مرده تجاوز می کند، عرشه باید به وسیله مهار کننده های عمودی نگهداری شود .



# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



نیرویی که این مهار کننده باید تحمل کند به شرح زیر تعیین می شود :

$$F_V = 0.1 R_{DS} \quad (1-3) \quad \text{الف) اگر } R_D < R_E < 0.5 R_D \text{ باشد :}$$

$$F_V = 1/2 (R_E - R_D) \quad (2-3) \quad \text{ب) اگر } R_E > R_D \text{ باشد :}$$

$$F_V \geq 0.1 R_{DS} \quad (3-3)$$

در این روابط:

$F_V$  : نیروی مهار کننده عمودی

$R_D$  : عکس العمل قائم بار مرده عرشه

$R_E$  : عکس العمل قائم ناشی از نیروی جانبی زلزله

$R_{DS}$  : عکس العمل قائم بار مرده عرشه با فرض دوسر مفصل بودن دهانه

۳-۳-۳ طول نشیمن گاه انتهایی آزاد عرشه هایی که اجازه حرکت بر روی تکیه گاه را دارند، نباید کمتر از مقدار تعیین شده در رابطه زیر اختیار شود.

$$N = 600 + 5L + 10H$$



در این رابطه :

**N:** طول نشیمنگاه به میلیمتر

**L:** فاصله محل تکیه گاه تا محل درز انبساط بعدی یا انتهای عرشه به متر . درمورد پل های دارای درز انبساط بین دهانه ای **L** باید مجموع  $L_1 + L_2$  که فاصله های تا درز انبساط مجاورند، باشد . برای پل های یک دهانه ای **L** برابر است با طول تابلیه. این طولها در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

**H:** ارتفاع پایه به متر، که به شرح زیر تعیین می شود :

➤ در کوله ها **H** متوسط ارتفاع ستونهایی است که بین کوله و محل درز انبساط بعدی قرار دارند، این ارتفاع در پل های یک دهانه برابر صفر منظور می گردد.

➤ در پایه های میانی **H** ارتفاع ستون یا دیوار در آن پایه است.

➤ در درزهای میان دهانه ای **H**، متوسط ارتفاع دو ستون مجاور درز است.

تبصره: جهت تعیین مقدار طول نشیمنگاه می توان از محاسبه تغییر مکانهای ناشی از نیروهای ارتجاعی نیز استفاده نمود . در محاسبه تغییر مکانها لازم است اثر وسایل اتصال افقی در کلیه درزهای انبساط روسازه های پل (از جمله درزهای انبساط میان دهانه ) منظور شود و تاثیر عوامل زیر نیز باید در نظر گرفته شود:

✓ پیچش تابلیه در پل های مورب (بیه)





# اصول مهندسی پل

دانشگاه خوارزمی  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی عمران



و یا تغییر مکان جانبی شالوده ها

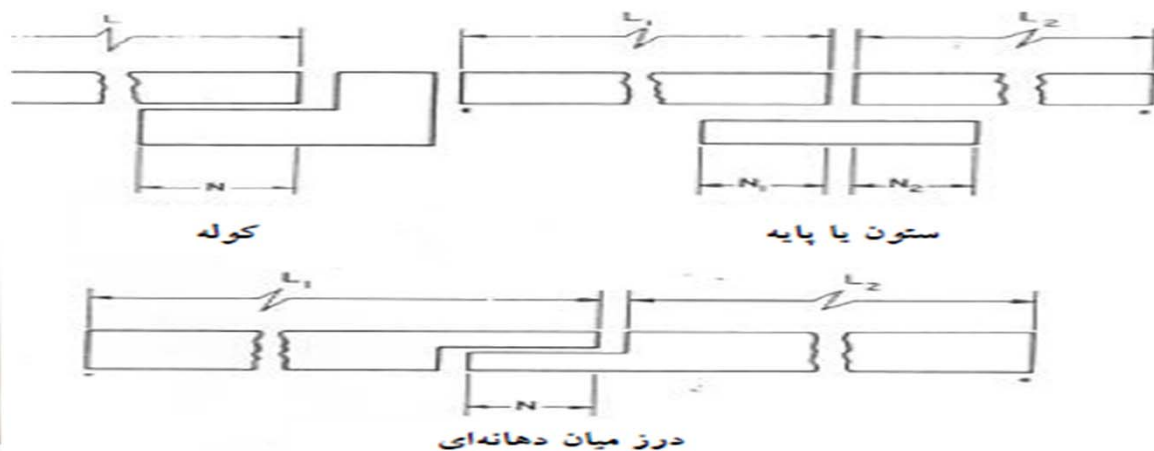
بیر هم فاز کوله ها و ستونها در اثر حرکت امواج زلزله

✓ تغییر مکانها ی غیر هم فاز قسمتها ی مختلف پل نسبت به هم و خصوصاً در تعیین عرض تکیه گاهها در محل درزهای انبساط

ولی در این روش نیز طول نشیمنگاه  $N$  بر حسب میلیمتر در جهت عمود بر نمای کوله یا پایه نباید از مقدار زیر کمتر باشد:

$$N = (305 + 2.5L + 10H)(1 + 0.000125S^2)$$

✓ در این رابطه تعاریف پارامترهای  $L$  و  $H$  مشابه تعاریف بالا بوده و  $S$  عبارت است از زاویه تورب تکیه گاه بر حسب درجه که از یک خط عمود بر دهانه اندازه گیری می شود.



شکل ۳-۱: ابعاد لازم برای تامین حداقل طول نشیمنگاه