

در هر یک از نمودارهای بالا لازم است به رفتار سامانه‌ی جداسازی قبل و بعد از تغییر مکان طراحی توجه گردد. حداقل تغییر مکان جانبی طراحی جداسازها در زلزله و نیروهای موجود بر روی آن‌ها باید بر اساس مشخصات تغییر شکلی این سامانه‌ها تعیین شده باشد.

در مدلسازی، طراح باید ضوابط مندرج در "دستورالعمل" در این زمینه را در محاسبات منظور نماید. مدل ایجاد شده در صورت نیاز باید با ضوابط و آیین‌نامه‌های طراحی موجود مطابقت داشته باشد.

طراح باید در تعیین مشخصات مصالح در مدل، در تعریف مشخصه‌های مدل و در استنتاج از نتایج، عواملی همچون تفاوت رفتار مدل با رفتار سازه‌ی واقعی، نوسانات و عدم قطعیت در مشخصات مصالح، عدم قطعیت در رفتار اعضا، بار ورودی و سایر موارد را مدنظر قرار دهد.

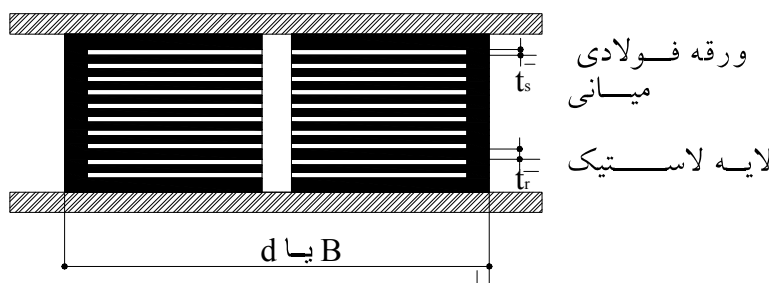
مدل ریاضی در نظر گرفته شده برای این جداسازها باید با توجه به رفتار نیرو- تغییر مکان آن‌ها که بر اساس نتایج آزمایشگاهی مندرج در بخش "آزمایش‌های لازم برای سامانه‌ی جداسازی" در "دستورالعمل" و یا "آزمایش‌های مورد نیاز" در این راهنما مشخص شده و اصلاح گردد. این مدلسازی باید به گونه‌ای صورت گیرد تا جزییات زیر را در برگرفته باشد:

- ۱- توزیع جداسازها در پلان را در نظر گرفته باشد.
- ۲- با توجه به بدترین شرایط قرارگیری جرم در روسازه، تغییر مکان افقی و پیچشی روسازه را محاسبه کند.
- ۳- نیروهای واژگونی و برکنش را بر روی هر یک از جداسازها محاسبه کند.
- ۴- اگر رفتار جداسازها تابعی از اثر بار قائم، بار دوطرفه و سرعت بارگذاری باشد این اثرات را در نظر گیرد.

۳-۳- روابط پیشنهادی برای طراحی واحدهای جداساز

۳-۳-۱- طراحی جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد و جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی

عوامل اصلی در طراحی تکیه‌گاه‌های لاستیکی با ورقه‌های فولادی مطابق شکل ۳-۲ عبارتند از:



شکل ۳-۲- مقطع جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی

d : قطر در جداساز دایره‌ای؛

B : طول ضلع در جداساز چهارگوش؛

t_r : ضخامت یک لایه‌ی لاستیک؛

N: تعداد لایه‌های لاستیک؛

t_s : ضخامت ورقه‌های فولادی.

گام‌های پیشنهادی برای طراحی این جداسازها به ترتیب زیر است:

۱- تعیین وزن سازه و نیروی قائم بر روی جداساز (P_{DL+LL}).

- در تعیین بار قائم بر روی جداساز، ترکیب بار مرده، بار زنده و بار لرزه‌ای باید مورد توجه قرار گیرد.

۲- تعیین دوره‌ی تناوب طبیعی اصلی سازه‌ی جداسازی شده (T_D).

- دوره‌ی تناوب اصلی طراحی سازه T_D به مشخصات ساختگاه بستگی دارد. در طراحی به عنوان یک معیار کلی حداقل مقدار عددی برای این عامل حدود ۳ برابر دوره‌ی تناوب اصلی نوسانی سازه‌ی جداسازی نشده (سازه‌ی با پایه‌های ثابت) است.

۳- با داشتن دوره‌ی تناوب طبیعی طرح و وزن سازه سختی جانبی موثر جداساز K_{eff} محاسبه می‌شود.

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \times \frac{2\pi}{T_D} \quad (W=P_{DL+LL})$$

۴- تعیین حداکثر مقادیر تغییرشکل نسبی برشی موثر (γ_{eff})، مدول یانگ (E) و مدول برشی (G) برای لاستیک با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌ها.

مقادیر تجربی که در این راهنما به عنوان مقادیر اولیه‌ی طراحی پیشنهاد می‌شوند عبارتند از:

- تغییرشکل نسبی برشی قابل تحمل لاستیک $\gamma \approx 100$ to 150 (درصد)

- مدول برشی بستگی به ترکیب لاستیک دارد و در حدود $G \approx 0.69$ to 0.86 MPa است.

۵- تعیین نسبت میرایی معادل موثر ξ_{eff} .

کاربرد مواد پرکننده مانند دوده‌ی کربن در لاستیک باعث افزایش میرایی در رفتار دینامیکی جداساز و دستیابی به جداسازهای لاستیکی با میرایی زیاد می‌شود. در این حالت میرایی تا حد ۱۵ تا ۲۰ درصد قابل دسترسی است.

۶- تعیین فشار مجاز بر روی جداساز (σ_c).

بر اساس نتایج تجربی این مقدار در حدود $6/9$ تا $7/84$ نیوتن بر میلی‌مترمربع پیشنهاد می‌شود. مقدار قطعی این عامل باید بر اساس آزمایش یا گزارش تایید شده‌ی سازنده‌ی قطعات تعیین شود.

۷- تعیین تغییرمکان طرح (D_D) با استفاده از روابط و روش‌های مندرج در دستورالعمل.

مقدار تغییرمکان طرح (D_D)، به شدت لرزه‌خیزی منطقه و ضریب طیفی بستگی دارد که تابعی از مختصات ساختگاه، دوره‌ی تناوب اصلی نوسان سازه و میرایی سامانه‌ی جداسازی است.

۸- ضخامت کل جداساز لاستیکی صرفنظر از ورق‌های فولادی بالا و پایین آن، بر اساس تغییر مکان طرح و حداکثر تغییر شکل نسبی برشی قابل تحمل توسط لاستیک به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$t_t = \frac{D_D}{\gamma_{max}}$$

۹- برای محاسبه‌ی ابعاد جداساز همچون ضخامت لایه‌های لاستیکی باید عامل ضریب شکل ($S = \frac{A}{A_f}$) برای جداساز از

رابطه‌ی زیر محاسبه شود:

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{\frac{E_c \cdot A}{t_r}}{\frac{G \cdot A}{t_r}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E_c(1+2kS^2)}{G} \geq 400 \quad \text{for } S > 10$$

در این رابطه:

K_v : سختی قائم بالشتک؛

K_h : سختی افقی بالشتک

G : مدول برشی در محدوده‌ی ۰/۴ تا ۱/۰ مگاپاسکال

E : مدول یانگ در محدوده‌ی ۱/۵ تا ۵/۰ مگاپاسکال

E_c : مدول فشاری مجموعه‌ی ورقه‌های لاستیکی و فولادی، $E_c = E(1+2kS^2)$

A : سطح مقطع کامل بالشتک (تحت بار)

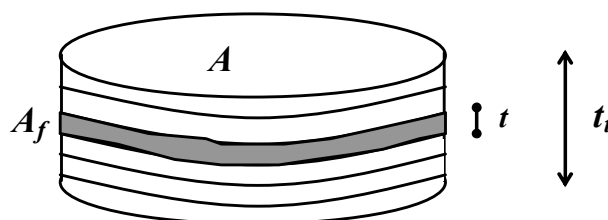
t_t : کل ارتفاع لایه‌های لاستیک

k : ضریب اصلاح در محدوده‌ی ۱ تا ۰/۵

S : ضریب شکل (A/A_f)

A_f : سطح خارج از بارگذاری در اطراف یک لایه از بالشتک (شکل ۳-۳).

مشخصات مربوط به رفتار لاستیک همچون مدول یانگ یا مدول برشی، توسط کارخانه‌ی سازنده‌ی لاستیک ارائه خواهد شد. جدول ارائه شده در پیوست شماره‌ی ۲، یک نمونه از این اطلاعات را ارائه می‌کند.



شکل ۳-۳- توصیف عامل‌های A و A_f

۱۰- مساحت جداساز برای تعیین ضخامت لایه‌ی لاستیکی و ابعاد آن از تعیین حداکثر سه مقدار محاسبه شده (A_1, A_2, A_3) در طی عملیات به دست می‌آید.

با داشتن نیروی قائم طراحی و تنش فشاری مجاز، مقدار اولیه برای مساحت جداساز (A_1) محاسبه می‌شود:

$$A_1 = \frac{P_{DL+LL}}{\sigma_c}$$

نیروی قائم از مجموع بار مرده و زنده ($W = P_{DL+LL}$) محاسبه می‌شود.

۱۱- مساحت A_2 بر اساس محدودیت تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم P_{DL+LL} به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$A_2 = \frac{6 \times S.P_{DL+LL}}{E_c \cdot \gamma_c|_{DL+LL}}$$

مقدار در نظر گرفته شده برای تغییر شکل نسبی برشی لاستیک تحت این بار $\gamma_c|_{DL+LL}$ باید در نامعادله‌ی زیر صدق کند:

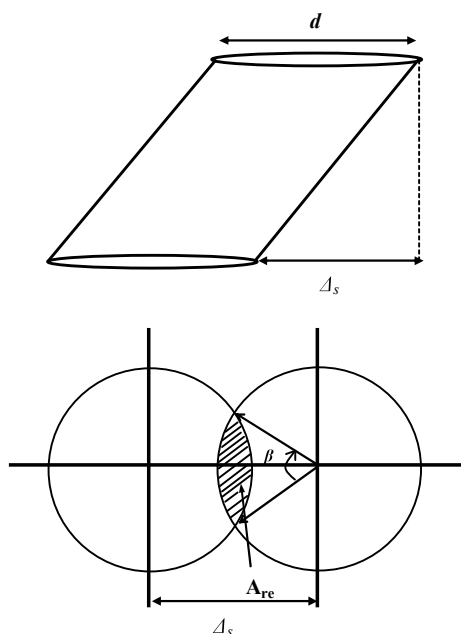
$$\gamma_c|_{DL+LL} \leq \frac{\varepsilon_b}{3}$$

ε_b عبارت است از حداکثر تغییر شکل نسبی کششی لاستیک در زمان گسیختگی.

۱۲- برای محاسبه‌ی طول و عرض بالشتک چهار گوش (L, B) یا قطر بالشتک دایره‌ای (d)، حداقل مساحت سطح مقطع A_{sf} برای احتراز از گسیختگی در برش از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{sf} = \frac{K_{eff} \cdot t_t}{G}$$

ابعاد بالشتک بر اساس A_{sf} تعیین و مقدار سوم برای سطح مقطع A_3 محاسبه می‌گردد:



شکل ۳-۴- معرفی عوامل Δ_s ، A_{re} ، β و d

$$A_3 = A_{re} = A \times \left(1 - \frac{\Delta_s}{B}\right)$$

برای جداسازهای چهار گوش

$$A_3 = A_{re} = d^2 \times \frac{(\beta - \sin \beta)}{4}$$

برای جداسازهای دایره‌ای

$$\beta = 2 \cos^{-1} \times \left(\frac{\Delta_s}{d}\right)$$

در این روابط Δ_s تغییر مکان جانبی بالشتک، B عرض پیشنهادی در امتداد موازی Δ_s در بالشتک‌های چهار گوش و d قطر پیشنهادی

بالشتک‌های دایره‌ای است.

۱۳- سطح مقطع طراحی بالشتک برابر است با حداکثر سه مقدار فوق:

$$A = \max(A_1, A_2, A_3)$$

۱۴- برآورد ضریب شکل بالشتک (S) با استفاده از سختی قائم k_v و سختی افقی k_h

$$6S^2 = \frac{K_v}{K_h} \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

$$6.73S^2 = \frac{K_v}{K_h} \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

حداقل مقدار توصیه شده برای نسبت سختی ذکر شده $\frac{K_v}{K_h}$ برابر است با ۴۰۰.

۱۵- ضخامت یک لایه‌ی لاستیک t_r محاسبه می‌شود:

$$t_r = \frac{d}{4S} \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

$$t_r = \frac{B \times L}{2(L+B) \times S} \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

در این روابط d قطر جداساز است.

- با داشتن مقادیر t_r و t_i تعداد لایه‌های لاستیک برابر با $N = \frac{t_i}{t_r}$ محاسبه می‌شود.

۱۶- ضخامت ورقه‌های فولادی t_s با توجه به میزان تنش تسلیم فولاد مصرفی از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{re} \times f_y}$$

باید توجه کرد که ضخامت زیاد فولاد موجب افزایش قابل توجه وزن جداساز و ایجاد مشکل در حمل و نصب آن می‌شود. این مقدار در حدود ۲۰ تا ۳ میلی‌متر توصیه می‌شود.

در این رابطه، t_i و t_{i+1} ضخامت لایه‌های بالا و پایین ورق فولادی و f_y تنش مجاز فولاد هستند.

۱۷- کماتش جداساز در مواردی مانند جداسازی سازه‌های نسبتاً سبک اهمیت بیش‌تری می‌یابد. متوسط تنش ایجاد شده در

جداساز $\frac{P}{A}$ نباید از تنش بحرانی (σ_{cr}) تجاوز کند:

$$\sigma_{cr} = \frac{\sqrt{2}\pi GS}{t_i} \times R$$

R : شعاع ژیراسیون $(\frac{b\sqrt{3}}{2})$ برای جداساز چهارگوش و $\frac{d}{2}$ برای جداساز دایره‌ای

۱۸- حداکثر تغییر شکل نسبی برشی جداساز (γ_{max}) باید محدود گردد.

با در نظر گرفتن ضریب ایمنی ۳ تحت بارهای قائم این مقدار به رابطه‌ی زیر محدود می‌شود:

$$\gamma_c \approx 6S \times \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

در این رابطه:

ε_b : حداقل تغییر شکل نسبی کششی که لاستیک در آن حد پاره می‌شود.

E_c : مدول فشاری جداساز $E_c = E(1 + kS^2)$

k و E : برای سفتی مشخصی از لاستیک را می‌توان از طریق آزمایش یا از جداولی مانند جدول موجود در پیوست شماره ۲ که توسط تولیدکننده تایید و ارایه می‌شوند به دست آورد.

۱۹- برای طراحی در حد نهایی، ضریب اطمینان ۱/۳۳ را در نظر گرفته می‌شود.

بر این اساس حداکثر تغییر شکل نسبی برشی به خاطر ترکیب فشار (γ_c) ، پیچش (γ_t) و بار جانبی (γ_{eq}) باید کمتر از $\frac{\varepsilon_b}{3}$ باشد.

$$\gamma_c + \gamma_t + \gamma_{eq} < \frac{\varepsilon_b}{1.33}$$

$$\gamma_c = \frac{6S \times P_{DL+LL+EQ}}{E_c \times A_{re}}$$

$$\gamma_t \approx \frac{B^2}{2t_t t_r} = \frac{12De}{b^2 + l^2}$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_t}$$

b و l : ابعاد سازه و e خروج از مرکزیت آن است.

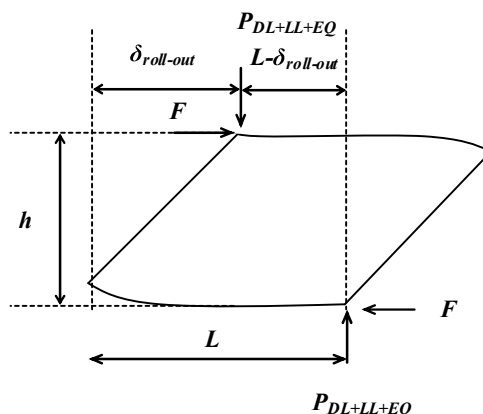
$P_{DL+LL+EQ}$: عبارت است از بار قائم روی جداساز با در نظر گرفتن نیروی زلزله.

در این حالت برای سطح مقطع موثر جداساز (A) مقدار کاهش یافته A_2 یا A_{re} در نظر گرفته می‌شود.

۲۰- برای پرهیز از چرخش جداساز (Rollout)، تغییر مکان جداساز تحت زلزله باید شرایط زیر را ارضا نماید:

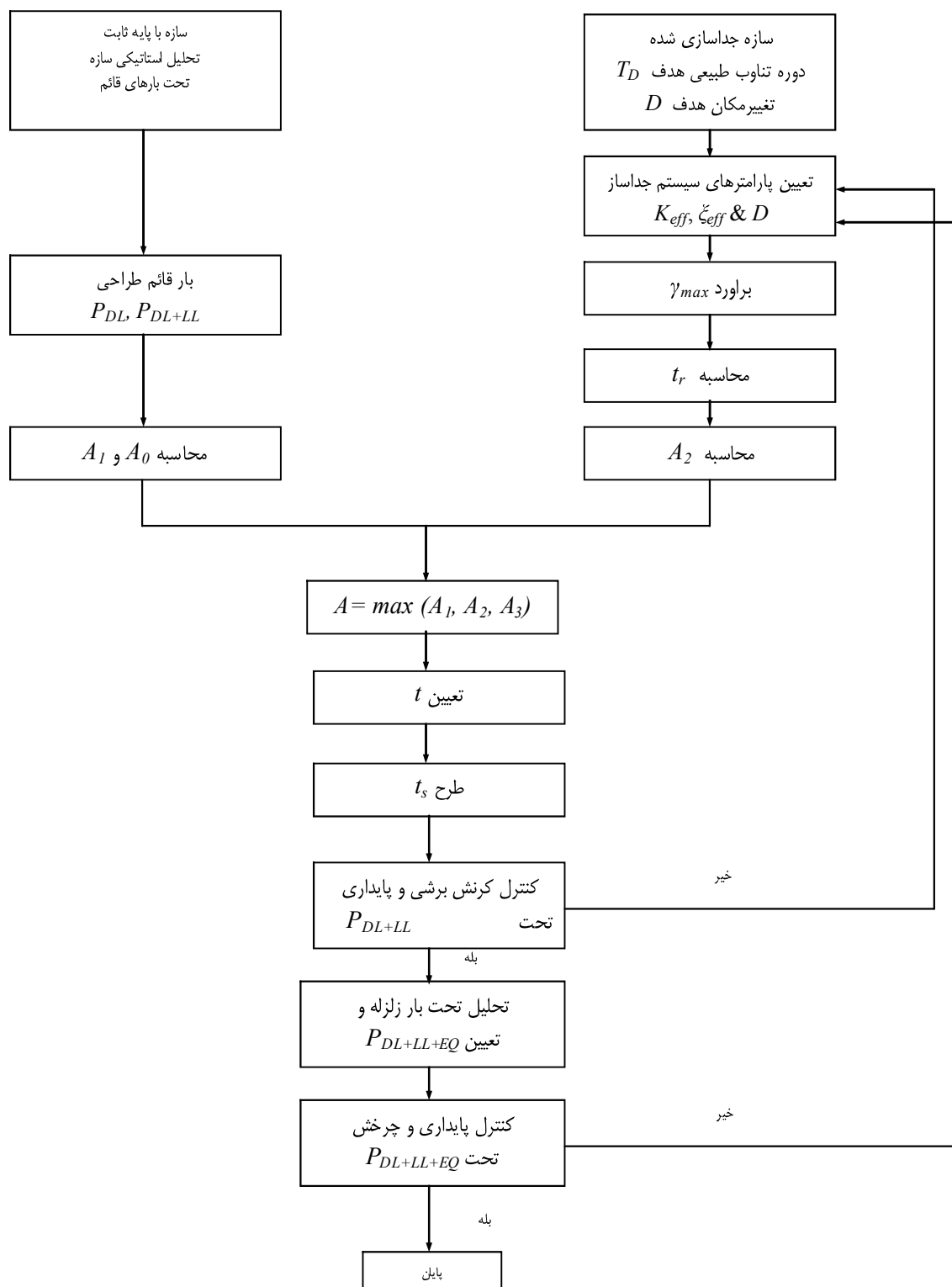
$$D \leq \delta_{roll\ out} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \times L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff} h}$$

که در آن، h : ارتفاع کل جداساز؛ K_{eff} : سختی موثر جداساز و L : بعد کوچک‌تر جداساز یا قطر آن است.



شکل ۳-۵- نمایش عامل‌های مورد نیاز در کنترل چرخش جداساز

گام‌های طراحی ذکر شده بالا در نمودار (۳-۶) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۳-۶- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با میرایی زیاد و جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی

پیوست ۲

جدول نمونه از مشخصات یک نمونه‌ی لاستیک که در سال ۱۹۹۰ توسط شرکت بریجستون منتشر شده است جدول، رابطه‌ی بین سفتی الاستومر و سایر مشخصات آن را در موارد آزمایش شده نشان می‌دهد.

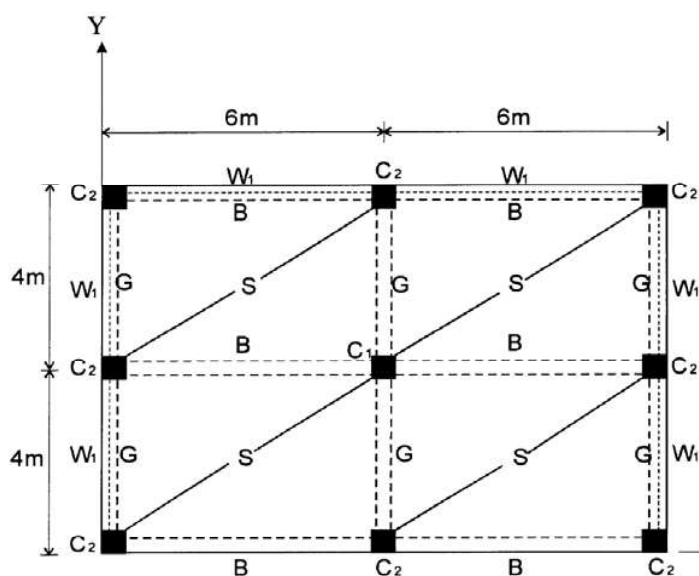
جدول پ-۲-۱- مشخصات یک نمونه‌ی لاستیک معرفی شده توسط کارخانه‌ی تولیدکننده

Rubber Hardness IRHD ± 2	Young's Modulus E (N/cm ²)	Shear Modulus G (N/cm ²)	Modified Factor k
30	92	30	0.93
35	118	37	0.89
40	150	45	0.85
45	180	54	0.8
50	220	64	0.73
55	325	80	0.64
60	445	106	0.57
65	585	137	0.54
70	735	173	0.53
75	940	222	0.52

مثال

یک ساختمان بتنی سه طبقه با پلان نمایش داده شده در شکل زیر در نظر است. سامانه‌ی باربر جانبی در هر دو جهت دیوار برشی در نظر گرفته شده است.

محل احداث، دارای خاک سخت، در زمین نوع B و دور از گسل‌های فعال قرار دارد. با فرض اینکه ساختمان دارای شرایطی است که ضریب رفتار ساختمان با پایه‌ی ثابت برابر با $R = 6$ در نظر گرفته شده پس از جداسازی لرزه‌ای، این ضریب برابر خواهد بود با $R_I = 2$ (مطابق دستورالعمل).



شکل پ ۳-۱- پلان ساختمان موردنظر و گروه‌بندی مقطع ستون‌ها در مثال

ارتفاع طبقه‌ی اول ۵ متر و طبقه‌ی دوم و سوم ۴ متر است. ابعاد ستون‌ها، تیرها، دیوارها و دال‌های کف در زیر ارایه شده‌اند:

- ستون‌های داخلی C_1 : $۰/۳ \times ۰/۳$ متر

- ستون‌های خارجی C_2 : $۰/۲۵ \times ۰/۲۵$ متر

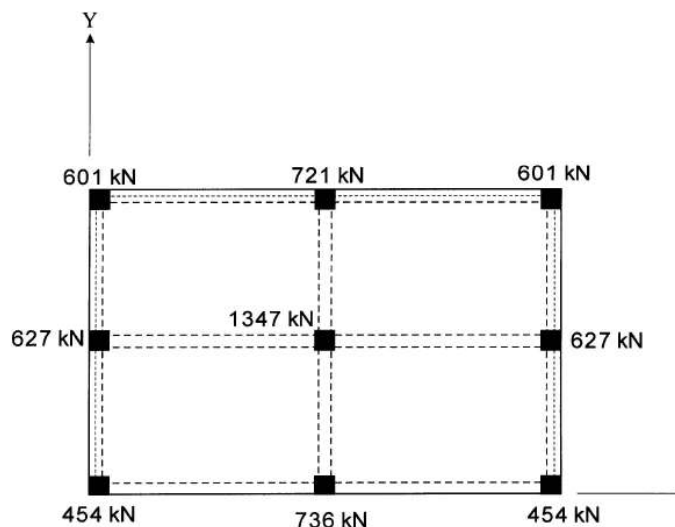
- تیرهای B و G: $۰/۲۵ \times ۰/۴$ متر

- ضخامت معادل دیوار W_1 : $۰/۰۸$ متر

- ضخامت دال S: $۰/۱۵$ متر

بارهای روی ساختمان برابرند با $10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ و $2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ به ترتیب برای بار مرده و بار زنده.

ساختمان دارای پلان منظم با سه ستون با فواصل ۶ متر در جهت x و سه ستون با فواصل ۴ متر در امتداد y است. کل وزن ساختمان W_T برابر است با 5209 kN. مقدار نیروی قائم ناشی از بار مرده و زنده در پای هر ستون در شکل زیر نمایش داده شده‌اند.



شکل پ-۳-۲- مقدار نیروی قائم ناشی از بار مرده و زنده در پای هر ستون

به دلیل محدودیت در طرفین زمین محل احداث، حداکثر تغییر مکان افقی مجاز ساختمان ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. نیروهای قائم موجود در پای ستون‌ها (محل نصب تکیه‌گاه‌ها) به کمک تحلیل استاتیکی در نرم‌افزار مناسب محاسبه می‌شوند. دوره‌ی تناوب طبیعی سازه با پایه‌ی ثابت در جهت x و y به ترتیب برابر با ۰/۲۴ و ۰/۱۶ ثانیه گزارش شده است. در ادامه نحوه‌ی طراحی یک تکیه‌گاه که در زیر یکی از ستون‌های داخلی که حداکثر نیروی قائم در آن $P_{DL+LL} = 1347 \text{ kN}$ است مطابق با نکات پیشنهادی در این راهنما و ضوابط مندرج در دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ ارایه خواهد شد.

تکیه‌گاه‌های لاستیکی با میرایی زیاد

(۱) مشخصات مقدماتی مساله

در این مثال دوره‌ی تناوب طبیعی طراحی هدف برای ساختمان جداسازی شده، T_D ، بیش از سه برابر پریود سازه با پایه‌ی ثابت در نظر گرفته می‌شود. فرضیات مساله به شرح زیر خواهد بود:

(۱-۱) دوره‌ی تناوب طبیعی هدف $T_D = 2.5 \text{ s}$ در نظر گرفته می‌شود.

(۲-۱) تکیه‌گاه لاستیکی دارای حداکثر تغییر شکل نسبی برشی $\gamma_{\max} = 150\%$ است.

(۳-۱) نسبت میرایی موثر $\xi_{\text{eff}} = 20\%$ است.

(۴-۱) ضریب میرایی B_D برای سامانه‌ی جداسازی با $\xi_{\text{eff}} = 20\%$ بر اساس مفاد دستورالعمل برابر است با ۱/۵.

(۵-۱) منطقه‌ی محل احداث سازه با خطر نسبی خیلی زیاد ارزیابی شده و نوع زمین I است. از این رو مطابق استاندارد ۲۸۰۰،

نسبت شتاب مبنای طرح $A = 0.35$ ، $T_0 = 0.1 \text{ s}$ ، $T_s = 0.4 \text{ s}$ و $S = 1.5$ خواهند بود.

(۲) تحلیل

سختی موثر افقی، K_{eff} برای جداسازی عبارت خواهد بود از:

$$K_{\text{eff}} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \Big|_{W=P_{DL+LL}} = \frac{1347}{9.8} \left(\frac{2\pi}{2.5} \right)^2 = 868 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

مقدار تغییر مکان طرح مطابق دستورالعمل عبارت خواهد بود از:

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{A \times (S+1) T_s^{\frac{2}{3}} \times T_D}{B_D} = 0.2\text{m} < 0.3\text{m}$$

۳) طراحی

۳-۱- تعیین ابعاد جداساز:

۳-۱-۱) ارتفاع کل لاستیک:

$$t_t = \frac{D_D}{\gamma_{\text{max}}} = \frac{0.2}{1.5} = 0.133 \rightarrow t_t = 0.14\text{m}$$

۳-۱-۲) با فرض اینکه اطلاعاتی مطابق جدول مندرج در پیوست ۲ از کارخانه مورد تایید برای خرید اخذ شده، خصوصیات لاستیک از جدول ارائه شده به شرح زیر انتخاب می‌شوند:

IRHD - 60 = سختی

$\varepsilon_b = 500\%$ تغییر طول در زمان پارگی

خصوصیات مواد به شرح زیر به دست می‌آیند:

$$E = 4.45 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$G = 106 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1.06 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$K = 0.57$$

۳-۱-۳) مساحت A و ضخامت t هر لایه‌ی لاستیک محاسبه می‌شود:

الف) انتخاب ضریب شکل S:

$$\frac{E(l + 2kS^2)}{G} \geq 400 \Rightarrow \frac{445(l + 2 \times 0.57S^2)}{1.6} \geq 400 \Rightarrow S > 9.09$$

در این مساله $S = 20$ در نظر گرفته می‌شود.

$$E_c = E(l + 2kS^2) = 445(l + 2 \times 0.57 \times 20^2) = 20.33 \times 10^5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

ب) تعیین سطح مقطع موثر تکیه‌گاه A_0 بر اساس تنش محوری مجاز برای بار قائم P_{DL+LL} :

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 7.84 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \Rightarrow \frac{1.347 \times 10^6 \text{N}}{A_0} \leq 7.840 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \Rightarrow A_0 > 0.172\text{m}^2$$

ج) تعیین سطح مقطع موثر تکیه‌گاه A_1 بر اساس شرایط تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم P_{DL+LL} :

$$6S \times \frac{P_{DL+LL}}{E_c A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \Rightarrow 6 \times 20 \times \frac{1.347 \times 10^6}{20.34 \times 10^5 \times A_1} \leq \frac{500\%}{3} \Rightarrow A_1 > 0.048\text{m}^2$$

د) تعیین حداقل سطح مقطع مورد نیاز A_{sf} برای جلوگیری از شکست برش تکیه‌گاه:

$$G = \frac{K_{eff} \cdot t_t}{A_{sf}} \Rightarrow A_{sf} = \frac{K_{eff} \cdot t_t}{G} = \frac{868 \times 10^3 \times 0.14}{1.06 \times 10^6} = 0.115 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow d = 0.383 \text{ m}, \quad \beta = 117^\circ$$

$$\Rightarrow A_2 = A_{re} = 0.04 \text{ m}^2$$

هـ) حداقل سطح مقطع نهایی تکیه‌گاه:

$$A = \max(A_0, A_1, A_2) = \max(0.172, 0.048, 0.04) = 0.172 \text{ m}^2$$

و) تعیین ابعاد لایه‌های لاستیک:

$$A_{re} \leq \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta)$$

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_D}{d} \right)$$

با توجه به حداقل مساحت محاسبه شده در بند قبل و شرایط مساله، قطر جداساز $d = 0.7 \text{ m}$ در نظر گرفته شده و از اینجا:

$$\text{مساحت } A = 0.385 \text{ m}^2$$

$$\text{مساحت کاهش یافته } A_{re} = 0.204 \text{ m}^2$$

ز) ضخامت یک لایه t و تعداد لایه‌های لاستیک N برای تکیه‌گاه دایره‌ای:

$$S = \frac{d}{4t} \Rightarrow 20 = \frac{0.7}{4t} \Rightarrow t = 0.0088 \text{ m} \Rightarrow t = 0.01 \text{ m}$$

۳-۵) تعیین ضخامت ورق فولادی t_s برای فولاد با تنش مجاز F_s :

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{re} \times F_s} \geq 0.002 \text{ m}$$

برای فولاد A_{36} :

$$F_s = 0.6 F_y = 0.6 \times 274 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\beta = 2 \times \cos^{-1} \left(\frac{0.2}{0.7} \right), \quad A_{re} = 0.204 \text{ m}^2$$

$$t_s \geq \frac{2(0.01 + 0.01) \times 1.347 \times 10^6}{0.204 \times (0.6 \times 274.4 \times 10^6)} = 0.0016 \text{ m}$$

$$\Rightarrow t_s = 0.002 \text{ m}$$

۳-۶) ارتفاع کل تکیه‌گاه:

با فرض اینکه ضخامت ورق‌های بالا و پایین تکیه‌گاه ۵/۲ سانتی‌متر باشد کل ارتفاع تکیه‌گاه عبارت است از:

$$h = t_t + 11 \times t_s + 2 \times 0.025 = 0.212 \text{ m}$$

۴) محدودیت‌های تغییر شکل نسبی برشی پایداری

۴-۱) بار قائم P_{DL+LL}

$$\gamma_{c,DL+LL} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c.A} = 6 \times 20 \times \frac{1.347 \times 10^6}{20.34 \times 10^5 \times 0.385} = 0.206$$

$$\leq \frac{\varepsilon_b}{3} = \frac{500\%}{3} = 1.667$$

۴-۲) کنترل پایداری:

$$\sigma_c = \frac{p}{A} = \frac{1347}{0.385} = 3500 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\leq \sigma_c = \frac{G.S.L}{2.5t_t} = \frac{(1.06 \times 10^6) \times 20 \times 0.7}{2.5 \times 0.14} = 42.4 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \Rightarrow \text{ok}$$

۵) نتایج طراحی ابعاد تکیه‌گاه لاستیکی HDRB

قطر تکیه‌گاه: $d = 0.7 \text{ m}$

ارتفاع کل تکیه‌گاه: $h = 0.212 \text{ m}$

تعداد لایه‌های لاستیک: $N = 12$

ضخامت هر لایه: $t = 1 \text{ cm}$

تعداد ورق‌های فولادی: $N_s = 11$

ضخامت ورق: $t_s = 2 \text{ mm}$

ضخامت ورق‌های بالا و پایین تکیه‌گاه: 2.5 cm

۶) تحلیل پاسخ زلزله

۶-۱) دوره تناوب طبیعی سازه‌ی بدون سامانه‌ی جداسازی:

$$T_{Dpx} = 1.71 \text{ Sec.}$$

$$T_{Dpy} = 1.67 \text{ Sec.}$$

۶-۲) حداقل برش تابع V_b در تراز جداسازی:

$$V_{b,1} = K_H \times D_D = (\sum K_{eff}) \times D_D = (0.868 \times 10^3 \times 9) \times 0.2 = 1562 \times 10^3 \text{ N}$$

$$V_{b,2} = \frac{W_T}{g} \left(\frac{2\pi}{T_{DP}} \right)^2 \times D_D = \frac{5209 \times 10^3}{9.81} \left(\frac{2\pi}{1.67} \right)^2 \times 0.12 = 1503 \times 10^3 \text{ N}$$

$$V_b = \max(V_{b,1}, V_{b,2}) = 1562 \times 10^3 \text{ N}$$

نیروی زلزله طرح برای سازه‌ی بالا دست طبقه جداسازی لرزه‌ای:

$$V_s = \frac{V_b}{R_1} = 1562 \times 10^3 / 2 = 781 \times 10^3 \text{ N} = 0.15 W_T$$

مقدار نیروی برش طرح V_s باید بزرگ‌تر از برش پایه‌ی ساختمان با پایه‌ی ثابت در همان ساختگاه باشد.

۶-۳) توزیع نیروی زلزله در ارتفاع:

مطابق روابط مندرج در دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیروی وارد بر طبقه‌ی n -ام ساختمان F_n برابر است با:

$$F_n = \frac{w_n h_n}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \times V_s$$

که در این رابطه W_n و W_i به ترتیب وزن طبقه‌ی n و i -ام بوده h_n و h_i ارتفاع طبقه‌ی n و i -ام در بالای تراز جداسازی می‌باشد.

بر اساس این رابطه نیروی وارده بر سقف، طبقات ۲ و ۳ به ترتیب عبارتند ۳۷۶، ۱۴۵ و ۲۶۰ کیلو نیوتن.

نیروی جانبی در تراز طبقه‌ی اول ۱۵۶۲ کیلو نیوتن است. فرض می‌کنیم با در نظر گرفتن ۵٪ پیچش اتفاقی و اعمال همزمان ۱۰۰٪ نیروی قائم و افقی در جهت x و ۳۰٪ نیروهای افقی در جهت y ، حداکثر نیروی فشاری محاسبه شده برای جداساز مرکزی تحت زلزله $P_{DL+LL+EQ}$ برابر با ۱۶۳۰ کیلو نیوتن است. بر این اساس کنترل پایداری و چرخش جداساز تحت بار زلزله به شرح بند بعد انجام می‌گردد:

(۷) کنترل پایداری و چرخش (Roll out) تحت بار زلزله:

(۷-۱) محدودیت تغییر شکل نسبی برش با در نظر گرفتن اثر زلزله:

$$P_{DL+LL+EQ} = 1630 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\gamma_{sc} = 6S \frac{P_{DL+LL+EQ}}{A_{re} \cdot E_c} = 6 \times 20 \times \frac{1630 \times 10^3}{0.267 \times 20.34 \times 10^5} = 0.307$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} = \frac{0.2}{0.14} = 1.43$$

$$\theta = \frac{12D_D \times E}{b^2 + l^2} = \frac{12 \times 0.2 \times (0.05 \times 12)}{12^2 + 8^2} = 0.007$$

$$\gamma_{sr} = \frac{b^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r} = \frac{0.7^2 \times 0.007}{2 \times 0.01 \times 0.14} = 1.225$$

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} = 0.36 + 1.43 + 1.225 = 3.015 < 0.75 \epsilon_b = 0.75 \times 500\% = 3.75 \text{ OK.}$$

محدودیت مربوط به چرخش تکیه‌گاه:

$$\delta_{roll \text{ out}} = \frac{1}{2} \times \frac{P_{DL+LL+EQ} \cdot L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff} \cdot h} = \frac{1}{2} \times \frac{1630 \times 10^3 \times 0.7}{1630 \times 10^3 + 868 \times 10^3 \times 0.212}$$

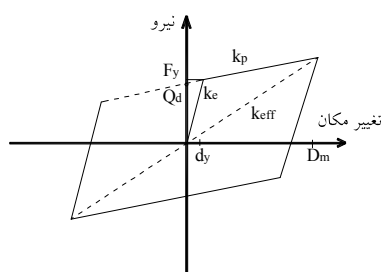
$$= 0.35 \text{ m} > D_D = 0.2 \text{ m OK}$$

(L معادل قطر d برای جداساز دایره‌ای در نظر گرفته شده است)

باید توجه نمود که نحوه‌ی چیدمان جداسازها در این مثال مدنظر قرار نگرفته است.

۳-۲- طراحی جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی

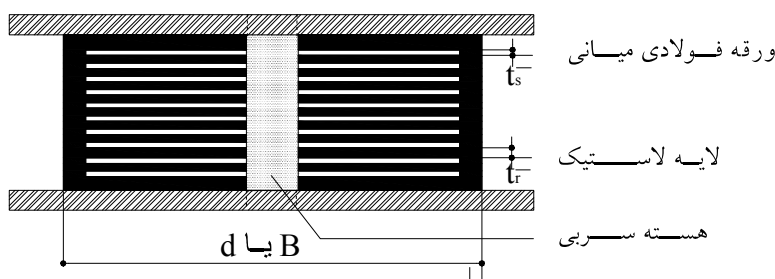
تکیه‌گاه‌های لاستیکی با هسته‌ی سربی با نمایش رفتاری دوخطی با نرم‌شدگی تحت بارهای نسبتاً شدید لرزه‌ای، عملکرد مطلوبی در زمینه‌ی کنترل توام لرزه‌های خفیف و شدید از خود نشان داده‌اند. هسته‌ی سربی این تکیه‌گاه‌ها به همراه سختی بخش لاستیکی که در مقایسه با سختی بخش سربی بسیار اندک است، تأمین کننده‌ی سختی اولیه‌ی مورد نیاز در نمودار نیرو- تغییر مکان این تکیه‌گاه‌ها است. با افزایش میزان بارگذاری، این بخش به حد تسلیم رسیده و سختی بسیار کمی را در مقابل بار جانبی از خود نشان می‌دهد. این سختی به همراه سختی بخش لاستیکی تکیه‌گاه، سختی ثانویه را در نمودار نیرو- تغییر مکان از خود نشان می‌دهد. این رفتار در شکل ۷-۳ نشان داده شده است.



شکل ۷-۳- رفتار غیرخطی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی

با این دیدگاه طراحی این نوع از تکیه‌گاه‌ها را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد:

- طراحی هسته‌ی سربی؛
- طراحی بخش لاستیکی.



شکل ۸-۳- ساختمان جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی

بسیاری از گام‌های طراحی این جداساز شامل مواردی است که در بخش طراحی جداساز لاستیکی قید گردیده است. توصیه‌های زیر در مورد نحوه‌ی طراحی این جداساز ارائه می‌شوند:

- ۱- تعیین وزن سازه و نیروی قائم بر روی جداساز (P_{DL+LL}).
- ۲- تعیین بار قائم بر روی جداساز، ترکیب بار مرده، بار زنده و بار لرزه‌ای باید مورد توجه قرار گیرد.
- ۳- تعیین دوره‌ی تناوب طبیعی هدف سازه‌ی جداسازی شده (T_D).

۳- با داشتن دوره‌ی تناوب طبیعی و وزن سازه، سختی جانبی موثر جداساز K_{eff} محاسبه می‌شود.

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \times \frac{2\pi}{T_D} \quad (W=P_{DL+LL})$$

۴- تعیین حداکثر مقادیر تغییر شکل نسبی برشی (γ_{eff})، مدول یانگ (E) و مدول برشی (G) برای لاستیک با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش نمونه‌ها.

۵- تعیین میرایی معادل موثر ξ_{eff} .

۶- تعیین فشار مجاز بر روی جداساز (σ_c).

۷- تعیین تغییر مکان طرح (D_D) با استفاده از روابط و روش‌های مندرج در دستورالعمل.

مقدار تغییر مکان طرح (D_D)، به شدت لرزه‌خیزی منطقه و ضریب طیفی بستگی دارد که تابعی از مختصات ساختگاه، دوره‌ی تناوب اصلی نوسان سازه و میرایی سامانه‌ی جداسازی است.

۸- ضخامت جداساز لاستیکی صرفنظر از ورق‌های فولادی بالا و پایین آن، بر اساس این تغییر مکان و تغییر شکل نسبی برشی حداکثر قابل تحمل توسط لاستیک به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$t_t = \frac{D_D}{\gamma_{max}}$$

۹- طراحی هسته‌ی سربی.

هسته‌ی سربی برای تامین سختی اولیه‌ی مورد نیاز در تکیه‌گاه و از بین بردن انرژی ارتعاشی در زلزله‌های نسبتاً شدید و شدید از طریق فرایند تسلیم سرب طراحی می‌شود. در طراحی هسته‌ی سربی با در نظر گرفتن سختی پیش از تسلیم و سختی پس از تسلیم و رفتار دو خطی نیرو- تغییر مکان، بین مقاومت مشخصه (Q_d) با میزان انرژی مستهلک شده (W_d) یا نسبت میرایی موثر معادل (ξ_{eff}) رابطه‌ی زیر برقرار می‌گردد:

$$Q_d = \frac{W_d}{4(D_m - d_y)} \\ = \frac{2\pi k_{eff} D^2 \xi_{eff}}{4(D_m - d_y)}$$

در این روابط:

$Q_d = A_p \times f_{py}$: مقاومت مشخصه؛

$f_{py} \approx 10.5 \text{ MPa}$: تنش تسلیم سرب؛

A_p : سطح مقطع هسته‌ی سربی؛

d_y : تغییر مکان در لحظه‌ی تسلیم؛

K_{eff} : سختی موثر معادل جداساز؛

D_m و d_y بر روی شکل (۳-۷) نمایش داده شده‌اند.

مقدار دقیق Q_d با تکرار سعی و خطا به شرح زیر قابل محاسبه است.

با فرض اینکه d_y در مقایسه با D_m بسیار کوچک است، مقدار اولیه برای Q_d از طریق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Q_d = \frac{W_d}{4D_m}$$

با داشتن این مقدار، رابطه‌ی سختی ثانویه با سختی معادل عبارت است از:

$$k_{eff} D_m = Q_d + k_p D_m$$

در این رابطه k_p برابر است با سختی ثانویه‌ی جداساز.

مقدار دقیق d_y با سعی و خطا قابل محاسبه است. با توجه به اینکه d_y در مقایسه با D_m کوچک است، در محاسبات، مقدار تقریبی اولیه برای Q_d قابل استفاده است.

لازم است تا ابعاد هسته‌ی سربی تحت رابطه‌ی زیر کنترل شوند:

$$1.25 \leq \frac{h_p}{\Phi_p} \leq 5.0$$

در این رابطه:

h_p : ارتفاع موثر هسته‌ی سربی؛

Φ_p : قطر هسته‌ی سربی.

۱۰- تعیین ضریب شکل برای ایزولاتور:

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{\frac{E_c A}{t_r}}{\frac{G A}{t_r}} = \frac{E_c}{G} = \frac{E(1+2kS^2)}{G} \geq 400 \quad \text{for } S > 10$$

۱۱- با داشتن نیروی قائم طراحی و تنش فشاری مجاز، مقدار اولیه برای مساحت جداساز (A_1) محاسبه می‌شود:

$$A_1 = \frac{P_{DL+LL}}{\sigma_c}$$

نیروی قائم از مجموع بار مرده و زنده ($W=P_{DL+LL}$) محاسبه می‌شود.

۱۲- مساحت A_2 بر اساس محدودیت تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم P_{DL+LL} به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$A_2 = \frac{6S \times P_{DL+LL}}{E_c \gamma_c|_{DL+LL}}$$

باید توجه کرد که مقدار در نظر گرفته شده برای $\gamma_c|_{DL+LL}$ در نامعادله‌ی زیر صدق کند:

$$\gamma_c|_{DL+LL} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

۱۳- سختی پس از تسلیم تکیه‌گاه معمولاً بیش‌تر از سختی تکیه‌گاه بدون هسته‌ی سربی k_h است. این سختی به شکل زیر

معرفی می‌شود:

$$k_p = f_1 \times k_h$$

f_1 : ضریب منظورکننده‌ی اثر هسته‌ی سربی بوده و همیشه از ۱ بزرگ‌تر است.

رابطه‌ی دیگر مرتبط کننده‌ی k_p و k_h عبارت است از:

$$k_p = k_h \left[1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right]$$

$$k_p = K_{eff}$$

۱۴- برای محاسبه‌ی طول و عرض جداساز چهارگوش (L, B) یا قطر جداساز دایره‌ای (d)، حداقل مساحت سطح مقطع A_{sf} از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{sf} = \frac{K_{eff} \times t_r}{G}$$

از اینجا مقدار سوم برای سطح مقطع A_3 محاسبه می‌گردد:

$$A_3 = A_{re} = A \cdot \left(1 - \frac{\Delta_s}{B} \right) \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

$$A_3 = A_{re} = d^2 \frac{(\beta \sin \beta)}{4} \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{\Delta_s}{d} \right)$$

در این روابط Δ_s تغییر مکان جانبی جداساز، B عرض پیشنهادی در امتداد موازی Δ_s در جداسازهای چهارگوش و d قطر پیشنهادی جداسازهای دایره‌ای است.

۱۴- سطح مقطع طراحی جداساز برابر است با حداکثر سه مقدار فوق:

$$A = \max(A_1, A_2, A_3)$$

۱۵- برآورد ضریب شکل جداساز (S) با استفاده از سختی قائم k_v و سختی افقی جداساز k_h

$$6S^2 = \frac{K_v}{K_h} \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

$$6.73S^2 = \frac{K_v}{K_h} \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

حداقل مقدار توصیه شده برای نسبت سختی ذکر شده $\frac{K_v}{K_h}$ برابر است با ۴۰۰.

۱۶- ضخامت یک لایه‌ی لاستیک t_r محاسبه می‌شود:

$$t_r = \frac{d}{4S} \quad \text{برای جداسازهای دایره‌ای}$$

$$t_r = \frac{B \times L}{2(L+B) \times S} \quad \text{برای جداسازهای چهارگوش}$$

در این روابط d قطر جداساز است.

- با داشتن مقادیر t_r و t_i تعداد لایه‌های لاستیک برابر با $N = \frac{t_t}{t_r}$ محاسبه می‌شود.

۱۸- ضخامت ورقه‌های فولادی t_s با رعایت محدوده‌ی مجاز و مناسب محاسبه می‌شوند:

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{re} \times f_y} \geq 2mm$$

در این رابطه، t_i و t_{i+1} ضخامت لایه‌های بالا و پایین ورق فولادی و f_y تنش مجاز فولاد هستند.
 ۱۹- کماتش جداساز در مواردی مانند جداسازی سازه‌های نسبتاً سبک اهمیت بیش‌تری می‌یابد. متوسط تنش ایجاد شده در جداساز $\frac{P}{A}$ نباید از تنش بحرانی (σ_{cr}) تجاوز کند:

$$\sigma_{cr} = \frac{\sqrt{2}\pi G S}{t_i} \times R$$

R: شعاع ژیراسیون ($\frac{b\sqrt{3}}{2}$ برای جداساز چهارگوش و $\frac{d}{2}$ برای جداساز دایره‌ای)

مواد مصرفی برای تامین میرایی در جداساز بر روی سختی جداساز اثر دارد. در زمان طراحی و ساخت باید به میزان مواد مصرفی و تاثیر آن‌ها توجه نمود. همچنین لازم است تا در زمان طراحی کنترل‌های لازم برای پرهیز از کماتش یا ناپایداری جداساز صورت پذیرد.

۲۰- حداکثر تغییر شکل نسبی برشی جداساز (γ_{max}) باید محدود گردد.
 با در نظر گرفتن ضریب ایمنی ۳ تحت بارهای قائم این مقدار به رابطه‌ی زیر محدود می‌شود:

$$\gamma_c \approx 6S \times \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\epsilon_b}{3}$$

در این رابطه:

ϵ_b : حداقل تغییر شکل نسبی کششی که لاستیک در آن حد پاره می‌شود.

$E_c = E(1 + kS^2)$ مدول فشاری جداساز

k و E برای میزان سفتی مشخصی از لاستیک را می‌توان با آزمایش و از جداولی مانند جدول مندرج در پیوست شماره‌ی ۲ به دست آورد.

۲۱- برای طرح در حالت نهایی، ضریب اطمینان ۱/۳۳ توصیه می‌شود.

در این حالت حداکثر تغییر شکل نسبی برشی به خاطر ترکیب فشار (γ_c)، پیچش (γ_t) و بار جانبی (γ_{eq}) باید کم‌تر از $\frac{\epsilon_b}{3}$ باشد.

$$\gamma_c + \gamma_t + \gamma_{eq} < \frac{\epsilon_b}{1.33}$$

$$\gamma_c = \frac{6S \times P_{DL+LL+EQ}}{E_c A_{re}}$$

$$\gamma_t \approx \frac{B^2}{2t_t t_r} = \frac{12De}{b^2 + l^2}$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_t}$$

b و l ابعاد سازه و e خروج از مرکزیت آن است.

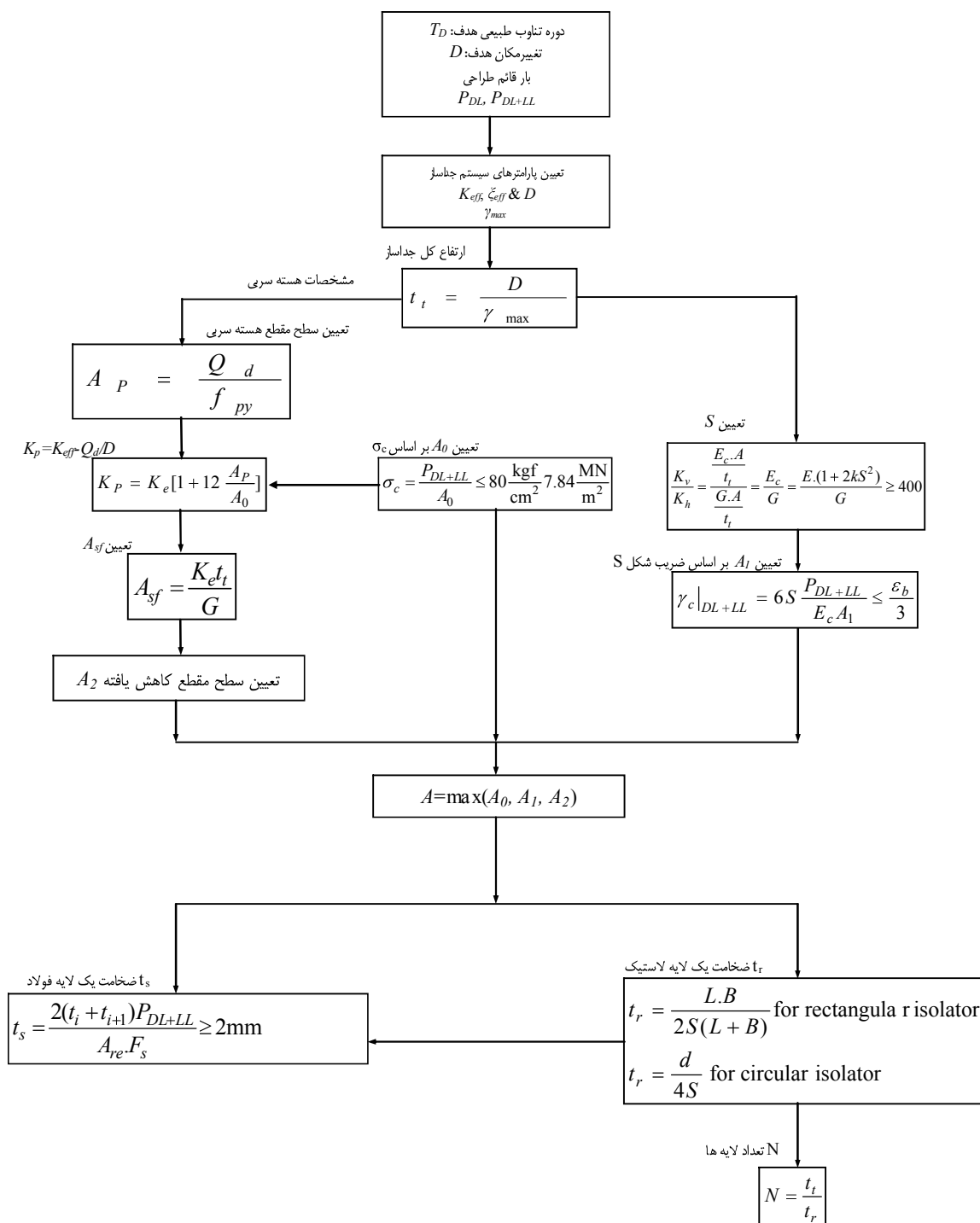
$P_{DL+LL+EQ}$: بار قائم روی جداساز با در نظر گرفتن نیروی زلزله.

در این حالت سطح مقطع موثر جداساز (A) کاهش یافته و مقدار کاهش یافته A_2 یا A_{re} در نظر گرفته می‌شود.

۲۲- برای پرهیز از چرخش جداساز (Rollout)، تغییرمکان جداساز تحت زلزله باید شرایط زیر را ارضا نماید:

$$D \leq \delta_{\text{rollout}} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \times L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{\text{eff}} h}$$

h: ارتفاع کل جداساز، K_{eff} : سختی موثر جداساز و L: بعد کوچک‌تر جداساز یا قطر آن است.



شکل ۳-۹- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی

تکیه‌گاه‌های لاستیکی با هسته‌ی سربی

(۱) مشخصات مقدماتی مساله

مشخصات زیر برای سامانه‌ی جداسازی با جداساز لاستیکی دارای هسته‌ی سربی فرض می‌شوند:

(۱-۱) دوره‌ی تناوب طبیعی هدف $T_D = 2.5 \text{ s}$ در نظر گرفته می‌شود.

(۲-۱) تکیه‌گاه لاستیکی دارای حداکثر تغییر شکل نسبی برشی $\gamma_{\max} = 150\%$ است.

(۳-۱) نسبت میرایی موثر $\xi_{\text{eff}} = 10\%$ است.

(۴-۱) ضریب میرایی B_D برای سامانه‌ی جداسازی با $\xi_{\text{eff}} = 10\%$ بر اساس مفاد دستورالعمل برابر است با ۱/۲.

(۵-۱) منطقه‌ی محل احداث سازه با خطر نسبی خیلی زیاد ارزیابی شده و نوع زمین I است. از این رو مطابق استاندارد ۲۸۰۰،

نسبت شتاب مبنای طرح $A = 0.35$ ، $T_0 = 0.1 \text{ s}$ ، $T_s = 0.4 \text{ s}$ و $S = 1.5$ خواهند بود.

(۲) تحلیل

(۱-۲) سختی موثر افقی، K_{eff} برای جداسازی عبارت خواهد بود از:

$$K_{\text{eff}} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \Big|_{W=P_{DL}+LL} = \frac{1347}{9.8} \left(\frac{2\pi}{2.5} \right)^2 = 868 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

مطابق دستورالعمل مقدار تغییرمکان طرح عبارت خواهد بود از:

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{A \times (S+1) T_s^{\frac{2}{3}} \times T_D}{B_D} = 0.25 \text{ m} < 0.3 \text{ m OK.}$$

(۲-۲) نیروی تسلیم اولیه Q_d برابر خواهد بود با:

$$Q_d = \frac{W_D}{4D_D} = \frac{\pi}{2} K_{\text{eff}} \times \xi_{\text{eff}} \times D_D = \frac{\pi}{2} \times 868 \times 10\% \times 0.25 = 34.1 \text{ kN}$$

(۳-۲) سختی ثانویه‌ی K_d برابر است با:

$$K_d = K_{\text{eff}} - \frac{Q_d}{D_D} = 868 - \frac{34.1}{0.25} = 732 \text{ kN}$$

(۳) طراحی

(۱-۳) طرح اولیه هسته‌ی سربی

با فرض تنش تسلیم برای سرب برابر با $f_{py} = 8.82 \text{ MN/m}^2$ ، حداقل سطح مقطع مورد نیاز برای آن برابر خواهد بود با:

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}} = \frac{34.1}{8.82 \times 10^3} = 0.0039 \text{ m}^2$$

در اینجا از $d_p = 7 \text{ cm}$ استفاده می‌کنیم. در ادامه کنترل نسبت ارتفاع به قطر هسته‌ی سربی انجام گرفته و بر اساس آن مقدار

نهایی برای قطر آن تعیین می‌گردد:

If $d_p = 0.07 \text{ m} \rightarrow A_p = 0.0049 > 0.0039 \quad \text{OK.}$

۲-۳) تعیین ابعاد جداساز:

۱-۲-۳) ارتفاع کل لاستیک:

$$t_t = \frac{D_D}{\gamma_{\max}} = \frac{0.25}{0.5} = 0.5 \text{ m}$$

۲-۲-۳) خصوصیات لاستیک از جدول ارائه شده در پیوست شماره ۲ به شرح زیر انتخاب می‌شوند:

IRHD - 60 = سختی

$\varepsilon_b = 500\%$ تغییر طول در زمان پارگی

خصوصیات مواد به شرح زیر به دست می‌آیند:

$$E = 4.45 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$G = 106 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1.06 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$K = 0.57$$

۳-۲-۳) مساحت A و ضخامت t هر لایه‌ی لاستیک محاسبه می‌شود:

الف) انتخاب ضریب شکل S :

$$\frac{E(l + 2kS^2)}{G} \geq 400 \Rightarrow \frac{445(l + 2 \times 0.57S^2)}{1.6} \geq 400 \Rightarrow S > 9.09$$

در این مساله $S = 20$ در نظر گرفته می‌شود.

$$E_c = E(l + 2kS^2) = 445(l + 2 \times 0.57 \times 20^2) = 20.33 \times 10^5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

۴-۲-۳) تعیین سطح مقطع موثر تکیه‌گاه A_0 بر اساس تنش محوری مجاز برای بار قائم P_{DL+LL} :

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 7.84 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \Rightarrow \frac{1.347 \text{ kN}}{A_0} \leq 7.84 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \Rightarrow A_0 > 0.172 \text{ m}^2$$

۵-۲-۳) تعیین سطح مقطع موثر تکیه‌گاه A_1 بر اساس شرایط تغییر شکل نسبی برشی تحت بار قائم P_{DL+LL} :

$$6S = \frac{P_{DL+LL}}{E_c A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \Rightarrow 6 \times 20 \times \frac{1.347}{2033.65 \times A_1} \leq \frac{500\%}{3} \Rightarrow A_1 > 0.048 \text{ m}^2$$

۶-۲-۳) سختی الاستیک تکیه‌گاه K_r :

$$K_d = K_r \left[1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right] \Rightarrow 773 = K_r \left[1 + 12 \frac{0.0039}{0.172} \right] \Rightarrow K_r = 575 \text{ kN/m}$$

۷-۲-۳) تعیین حداقل سطح مقطع مورد نیاز A_{sf} برای جلوگیری از شکست برشی تکیه‌گاه:

$$G = \frac{K_{\text{eff}} \cdot t_t}{A_{sf}} \Rightarrow A_{sf} = \frac{K_{\text{eff}} \cdot t_t}{G} = \frac{630 \times 0.5}{1.06 \times 10^3} = 0.271 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow d = 0.59 \text{ m}$$

$$\Rightarrow A_2 = A_{re} = 0.131 \text{ m}^2$$

۸-۲-۳) سطح مقطع نهایی تکیه‌گاه:

$$A = \max(A_0, A_1, A_2) = \max(0.172, 0.048, 0.131) = 0.172 \text{ m}^2$$

۹-۲-۳) تعیین ابعاد لایه‌های لاستیک برای تکیه‌گاه دایره‌ای:

$$A_{re} \leq \frac{d^2}{4} (\beta - \sin \beta)$$

$$\beta = 2 \cos^{-1} \left(\frac{D_D}{d} \right)$$

$$\rightarrow d = 0.7 \text{ m قطر}$$

$$A = 0.385 \text{ m}^2 \text{ مساحت}$$

$$A_{re} = 0.214 \text{ m}^2 \text{ مساحت کاهش یافته}$$

۱۰-۲-۳) ضخامت یک لایه t و تعداد لایه‌های لاستیک N برای تکیه‌گاه دایره‌ای:

$$S = \frac{d}{4t} \Rightarrow 20 = \frac{70}{4t} \Rightarrow t = 0.88 \text{ cm} \Rightarrow t = 1.0 \text{ cm} \Rightarrow (t_r = 0.5) \Rightarrow N = 50$$

۳-۳) ابعاد ورق‌های فولادی و ابعاد کلی تکیه‌گاه

۱-۳-۳) تعیین ضخامت ورق فولادی t_s برای فولاد A_{36} با تنش مجاز F_s :

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1}) \times P_{DL+LL}}{A_{re} \times F_s}$$

$$t_s \geq \frac{2(0.01 + 0.01) \times 1.347 \times 10^6}{0.214 \times (0.6 \times 274.4 \times 10^6)} = 0.0015 \text{ m}$$

$$\Rightarrow t_s = 2 \text{ mm}$$

۲-۳-۳) ارتفاع کل تکیه‌گاه:

با فرض اینکه ضخامت ورق‌های بالا و پایین تکیه‌گاه ۲/۵ سانتی‌متر باشد کل ارتفاع تکیه‌گاه عبارت است از:

$$h = t_t + 49 \times t_s + 2 \times 2.5 \text{ cm} = 0.648 \text{ m}$$

۴) محدودیت‌های تغییر شکل نسبی برشی - پایداری

بندهای ۱-۴ تا ۳-۴ با توجه به روابط موجود برای کنترل پاسخ جداسازها آورده شده‌اند.

۱-۴) بار قائم P_{DL+LL} :

$$\gamma_{sc, DL+LL} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c \cdot A} = 6 \times 20 \times \frac{1347 \times 10^3}{20.34 \times 10^3 \times 0.385} = 0.206$$

$$\leq \frac{\varepsilon_b}{3} = \frac{500\%}{3} = 1.667 \text{ OK.}$$

۲-۴) کنترل پایداری:

$$\sigma_c = \frac{p}{A} = \frac{1347}{0.385} = 3500 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\leq \sigma_c = \frac{G.S.L}{2.5t_t} = \frac{(1.06 \times 10^3) \times 20 \times 0.7}{2.5 \times 0.5} = 141872 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \Rightarrow \text{OK}$$

۳-۴) کنترل قطر هسته‌ی سربی:

$$1.25 \leq \frac{H_p}{d_p} \leq 5.0 = \frac{0.5}{0.07} = 7.143 \leq 5.0 \text{ NG.}$$

$$\text{Try: } d_p = 0.13\text{m} \Rightarrow \frac{H_p}{d_p} = 3.85 \leq 5.0 \text{ OK.}$$

۵) نتایج طراحی:

قطر تکیه‌گاه: $d = 70\text{ cm}$

ارتفاع کل تکیه‌گاه: $h = 55.2\text{ cm}$

تعداد لایه‌های لاستیک: $N = 42$

ضخامت هر لایه: $t = 1\text{ cm}$

تعداد ورق‌های فولادی: $N_s = 41$

ضخامت ورق: $t_s = 2\text{ mm}$

ضخامت ورق‌های بالا و پایین تکیه‌گاه: 2.5 cm

قطر هسته‌ی سربی: $d_p = 13\text{ cm}$

۶) تحلیل پاسخ زلزله:

۱-۶) دوره‌ی تناوب طبیعی سازه

$$T_{Dpx} = 1.71\text{Sec.}$$

$$T_{Dpy} = 1.67\text{Sec.}$$

۲-۶) حداقل برش تابع V_b در تراز جداسازی:

$$V_{b,1} = K_H \times D_D = (\sum K_{eff}) \times D_D = (868 \times 9) \times 0.25 = 1953\text{kN}$$

$$V_{b,2} = \frac{W_T}{g} \left(\frac{2\pi}{T_{DP}} \right)^2 \times D_D = \frac{5209}{9.81} \left(\frac{2\pi}{1.67} \right)^2 \times 0.25 = 1879\text{kN}$$

$$V_b = \max(V_{b,1}, V_{b,2}) = 1953\text{kN}$$

نیروی زلزله طرح برای سازه‌ی بالادست تراز جداسازی لرزه‌ای:

$$V_s = \frac{V_b}{R_I} = 1953 / 2 = 977\text{kN} = 0.19W_T$$

مقدار نیروی برش طرح V_s باید بزرگ‌تر از برش پایه‌ی ساختمان با پایه‌ی ثابت در همان ساختگاه باشد.

۳-۶) توزیع نیروی زلزله در ارتفاع:

مشابه حالت قبل، مطابق روابط مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ ایران:

$$F_X = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \times V_S$$

بر اساس این رابطه نیروی وارده بر سقف ، طبقات ۲ و ۳ به ترتیب عبارتند از ۵۳۹، ۳۲۵ و ۱۸۱ کیلو نیوتن. نیروی جانبی در تراز طبقه‌ی اول ۱۹۵۰ کیلو نیوتن است. حداکثر نیروی قائم برای هر جداساز با در نظر گرفتن ۵٪ پیچش اتفاقی و اعمال همزمان ۱۰۰٪ نیروی قائم و افقی در جهت x و ۳۰٪ نیروهای افقی در جهت y و بالعکس قابل محاسبه است. با محاسبه‌ی مقادیر تغییرشکل نسبی طبقات تحت این توزیع نیروی قائم می‌توان ناچیز بودن آن‌ها و صحت فرض صلیبیت رفتار سازه را کنترل نمود.

۷) کنترل پایداری و چرخش (Roll out) تحت بار زلزله

۷-۱) محدودیت تغییر شکل نسبی برشی با در نظر گرفتن اثر زلزله:

$$P_{DL+LL+EQ} = 1849 \text{ kN}$$

$$\gamma_{SC} = 6S \frac{P_{DL+LL+EQ}}{A_{re} \cdot E_C} = 6 \times 20 \times \frac{1849}{0.267 \times 20.34 \times 10^5} = 0.51$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} = \frac{0.25}{0.5} = 0.5$$

$$\theta = \frac{12D_D \times E}{b^2 + l^2} = \frac{12 \times 0.25 \times (0.05 \times 12)}{12^2 + 8^2} = 0.0087$$

$$\gamma_{sr} = \frac{b^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r} = \frac{0.7^2 \times 0.0087}{2 \times 0.01 \times 0.5} = 0.43$$

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} = 0.51 + 0.5 + 0.43 = 1.421 < 0.75 \varepsilon_b = 0.75 \times 500\% = 3.75 \text{ OK.}$$

محدودیت مربوط به چرخش تکیه‌گاه:

$$\delta_{rollout} = \frac{1}{2} \times \frac{P_{DL+LL+EQ} \cdot L - Q_d \cdot h}{P_{DL+LL+EQ} + K_d \cdot h} = \frac{1}{2} \times \frac{11780 \times 0.7 - 28.6 \times 0.648}{1780 + 732 \times 0.648} = 0.27 \text{ m} > D_D = 0.25 \text{ m OK.}$$

تکیه‌گاه‌های پاندولی اصطکاکی

برای این سامانه هم مشابه حالت‌های قبلی دوره‌ی تناوب طبیعی $T_D = 2.5 \text{ s}$ انتخاب می‌شود. ضریب اصطکاک سطح کروی تکیه‌گاه ۰/۰۶ و فرض اولیه برای تغییر مکان افقی طرح $D = 20 \text{ cm}$ در نظر گرفته می‌شود. این مقدار در ادامه طرح کنترل خواهد شد.

۱- شعاع انحنای تکیه‌گاه:

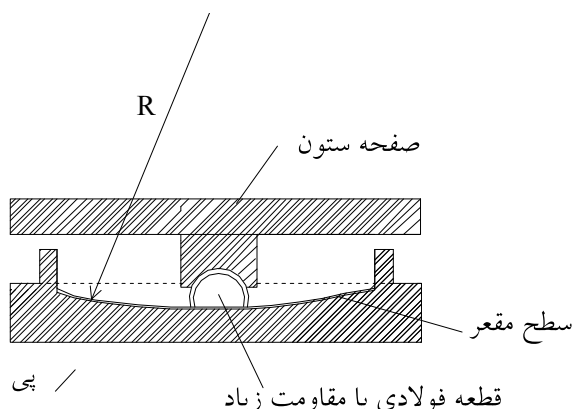
$$R_{FPS} = g \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2 = 1.55 \text{ m} \Rightarrow R_{FPS} = 1.5 \text{ m}$$

۲- سختی موثر کل سامانه‌ی جداسازی

$$\sum K_{eff} = \frac{W_T}{R_{FPS}} + \frac{\mu W_T}{D} = \frac{5209}{1.5} + \frac{0.06 \times 5209}{0.2} = 5035 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

۳-۳-۳- طراحی جداسازهای اصطکاکی- پاندولی

عوامل مورد نظر طراحی در جداسازهای اصطکاکی- پاندولی عبارتند از:
شعاع انحنای سطح جداساز (R_{FPS})، ضریب اصطکاک سطح جداساز (μ) و ابعاد جداساز.



شکل ۳-۱۰- توصیف بخش‌های مختلف یک جداساز اصطکاکی پاندولی

شعاع انحنای سطح جداساز (R_{FPS}) بر اساس دوره‌ی تناوب مورد نظر طراحی (T_D)، و با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{FPS} = g \times \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2$$

g : شتاب جاذبه‌ی زمین؛

T_D : دوره‌ی تناوب طبیعی طراحی.

ابعاد جداساز بر اساس حداکثر تغییر مکان طراحی D تعیین می‌گردد. میزان انرژی جذب شده توسط جداساز، بر اساس ضریب اصطکاک سطح جداساز (μ) و تغییر مکان سازه در تراز جداسازی قابل اندازه‌گیری است. میرایی موثر برای این سامانه بر اساس رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \left(\frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R_{FPS}}} \right)$$

β : میرایی موثر.

میرایی مناسب بسته به مشخصات سامانه ممکن است بین ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر نماید.

سختی موثر سامانه‌ی جداسازی در تغییر مکان طراحی به وسیله‌ی رابطه‌ی زیر قابل برآورد است:

$$k_{eff} = \frac{W}{R_{FPS}} + \frac{\mu W}{D}$$

در این رابطه، W وزن روسازه است. تغییر مکان قائم سازه δ_v با رابطه‌ی زیر تخمین زده می‌شود:

$$\delta_v \approx \frac{D^2}{2R_{FPS}}$$

برای اطمینان از بازگشت سازه به نقطه‌ی شروع حرکت نیروی بازگرداننده باید بیش‌تر از نیروی اصطکاک باشد. از این‌رو لازم است تا:

$$\frac{D}{R_{FPS}} \geq \mu$$

۳-۴- مراحل طراحی سازه‌ی جداسازی شده

- طراحی یک سازه‌ی جداسازی شده در دو مرحله‌ی مقدماتی و تفصیلی یا نهایی صورت می‌گیرد.
- در مرحله‌ی طراحی مقدماتی، لازم است به گام‌های زیر توجه گردد:
 - ۱- تعیین میزان خطر ساختگاه با نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف A.
 - ۲- تعیین طبقه‌بندی نوع زمین (خاک نوع ۱ تا ۴ مندرج در استاندارد ۲۸۰۰).
 - ۳- تعیین پارامترهای T_s و S_s (پارامترهای مربوط به طیف طرح ارتجاعی مطابق جدول ۳ استاندارد ۲۸۰۰) بر اساس نوع زمین و میزان خطر لرزه‌ای ساختگاه.
 - ۴- تعیین مقدار ضریب رفتار R_I .
- این ضریب بر اساس سیستم سازه‌ای روسازه و بر مبنای دستورالعمل انتخاب می‌گردد.
- ۵- انتخاب نوع جداساز و ضریب میرایی B_D و B_M .
- در این مرحله، نسبت میرایی برای سامانه‌ی جداسازی بر اساس نوع جداساز و به طور محافظه‌کارانه انتخاب می‌گردد. بر این اساس مقادیر ضریب میرایی B_D و B_M با استفاده از جدول ارایه شده در دستورالعمل مشخص می‌شوند.
- در صورت نیاز می‌توان برای خواندن ضریب میرایی B_D و B_M از میانبایی خطی استفاده نمود.
- ۶- انتخاب دوره‌ی تناوب طبیعی T_D برای سازه‌ی جداسازی شده برای محاسبه‌ی تغییرمکان طرح.
- مقدار اولیه‌ی دوره‌ی تناوب طبیعی با توجه به قابلیت سامانه‌ی جداسازی، وضعیت خطر لرزه‌ای در منطقه و در حدود ۲ تا ۳ ثانیه انتخاب می‌شود.
- ۷- محاسبه‌ی سختی موثر سازه K_{eff} با داشتن وزن ساختمان W و دوره‌ی تناوب طبیعی T_D انتخاب شده.
- ۸- برآورد تغییرمکان طرح D_D با داشتن A و S، T_D و B_D با استفاده از رابطه‌ی مندرج در دستورالعمل.
- اگر مقدار اولیه برای D_D به دلیل محدودیت‌های فیزیکی موجود بیش از مقدار قابل قبول برای پروژه است، به مرحله‌ی ۶ بازگشته و مقدار کم‌تری برای T_D انتخاب نمایید.
- ۹- محاسبه‌ی برش پایه‌ی سازه V_s و برش در پای سامانه‌ی جداسازی V_b با استفاده از ضوابط مندرج در دستورالعمل. در این مرحله به محدودیت‌های موجود در دستورالعمل توجه گردد.
- ۱۰- طرح اولیه‌ی اعضای روسازه.
- نیروی معادل استاتیکی در طبقات توسط روابط مندرج در دستورالعمل محاسبه می‌گردد.
- در تحلیل به روش شبه استاتیکی لازم است محدودیت تغییرمکان نسبی در روسازه معادل $\frac{0.01}{R_I}$ در نظر گرفته شود.

$$F_X = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \times V_S$$

بر اساس این رابطه نیروی وارده بر سقف، طبقات ۲ و ۳ به ترتیب عبارتند از ۵۳۹، ۳۲۵ و ۱۸۱ کیلو نیوتن. نیروی جانبی در تراز طبقه‌ی اول ۱۹۵۰ کیلو نیوتن است. حداکثر نیروی قائم برای هر جداساز با در نظر گرفتن ۵٪ پیچش اتفاقی و اعمال همزمان ۱۰۰٪ نیروی قائم و افقی در جهت x و ۳۰٪ نیروهای افقی در جهت y و بالعکس قابل محاسبه است. با محاسبه‌ی مقادیر تغییرشکل نسبی طبقات تحت این توزیع نیروی قائم می‌توان ناچیز بودن آن‌ها و صحت فرض صلیبیت رفتار سازه را کنترل نمود.

۷) کنترل پایداری و چرخش (Roll out) تحت بار زلزله

۷-۱) محدودیت تغییر شکل نسبی برشی با در نظر گرفتن اثر زلزله:

$$P_{DL+LL+EQ} = 1849 \text{ kN}$$

$$\gamma_{SC} = 6S \frac{P_{DL+LL+EQ}}{A_{re} \cdot E_C} = 6 \times 20 \times \frac{1849}{0.267 \times 20.34 \times 10^5} = 0.51$$

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} = \frac{0.25}{0.5} = 0.5$$

$$\theta = \frac{12D_D \times E}{b^2 + l^2} = \frac{12 \times 0.25 \times (0.05 \times 12)}{12^2 + 8^2} = 0.0087$$

$$\gamma_{sr} = \frac{b^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r} = \frac{0.7^2 \times 0.0087}{2 \times 0.01 \times 0.5} = 0.43$$

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} = 0.51 + 0.5 + 0.43 = 1.421 < 0.75 \varepsilon_b = 0.75 \times 500\% = 3.75 \text{ OK.}$$

محدودیت مربوط به چرخش تکیه‌گاه:

$$\delta_{rollout} = \frac{1}{2} \times \frac{P_{DL+LL+EQ} \cdot L - Q_d \cdot h}{P_{DL+LL+EQ} + K_d \cdot h} = \frac{1}{2} \times \frac{11780 \times 0.7 - 28.6 \times 0.648}{1780 + 732 \times 0.648} = 0.27 \text{ m} > D_D = 0.25 \text{ m OK.}$$

تکیه‌گاه‌های پاندولی اصطکاکی

برای این سامانه هم مشابه حالت‌های قبلی دوره‌ی تناوب طبیعی $T_D = 2.5 \text{ s}$ انتخاب می‌شود. ضریب اصطکاک سطح کروی تکیه‌گاه ۰/۰۶ و فرض اولیه برای تغییر مکان افقی طرح $D = 20 \text{ cm}$ در نظر گرفته می‌شود. این مقدار در ادامه طرح کنترل خواهد شد.

۱- شعاع انحنای تکیه‌گاه:

$$R_{FPS} = g \left(\frac{T_D}{2\pi} \right)^2 = 1.55 \text{ m} \Rightarrow R_{FPS} = 1.5 \text{ m}$$

۲- سختی موثر کل سامانه‌ی جداسازی

$$\sum K_{eff} = \frac{W_T}{R_{FPS}} + \frac{\mu W_T}{D} = \frac{5209}{1.5} + \frac{0.06 \times 5209}{0.2} = 5035 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

بنابراین سختی موثر متوسط برای یک جداساز عبارت است از: $\frac{5035}{9} = 560 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$.

۳- میرایی موثر ξ_{eff} به تغییر مکان بستگی داشته و به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{2}{\pi} \times \frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} = 0.2 = 20\%$$

مطابق دستورالعمل ضریب میرایی B_D برای $\xi_{\text{eff}} = 20\%$ برابر ۱/۵ می‌باشد.

ساختمان مورد نظر همانند قسمت‌های قبل منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد ارزیابی شده و نوع زمین I است. از این رو

مطابق استاندارد ۲۸۰۰، نسبت شتاب مبنای طرح $A = 0.35$ ، $T_0 = 0.1\text{s}$ ، $T_s = 0.4\text{s}$ و $S = 1.5$ خواهند بود.

۴- کنترل تغییرمکان طرح D_D :

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} \times \frac{A \times (S+1) T_s^{\frac{2}{3}} \times T_D}{B_D} = 0.2\text{m} = 0.2\text{m OK}.$$

۵- برآورد تغییرمکان قائم δ_v :

$$\delta_v \approx \frac{\delta^2}{2R_{\text{FPS}}} = \frac{0.2^2}{2 \times 1.5} = 0.013 = 1.3\text{cm}$$

عمق تکیه‌گاه ۱/۷ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود.

اگر قطر تکیه‌گاه $d = 45\text{cm}$ باشد:

$$\frac{(\frac{d}{2})^2}{2R_{\text{FPS}}} = \frac{(\frac{0.42}{2})^2}{2 \times 1.5} = 0.017\text{m} \geq 0.013\text{m} \Rightarrow \text{OK}$$

۶- کنترل قابلیت تکیه‌گاه در ایجاد نیروی باز گرداننده در زمان زلزله:

$$\frac{D}{R_{\text{FPS}}} = \frac{0.2}{1.5} = 0.13 \geq \mu = 0.06$$

۷- ابعاد تکیه‌گاه FPS:

شعاع انحنای سطح کروی: $R_{\text{FPS}} = 1.5\text{m}$

عمق صفحه: $\delta = 1.7\text{cm}$

شعاع صفحه: $d = 45\text{cm}$

۸- تحلیل پاسخ تحت زلزله

۸-۱) دوره‌ی تناوب طبیعی سازه در دو جهت:

$$T_{\text{Dpx}} = 2.042 \text{ Sec.}$$

$$T_{\text{Dpy}} = 2.036 \text{ Sec.}$$

۸-۲) حداقل برش پایه‌ی سازه V_b در تراز جداسازی:

$$V_{b1} = K_H \times D = (\sum K_{eff}) \times D = 5035 \times 0.2 = 1007 \text{ kN}$$

$$V_{b2} = \frac{w_t}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \times d = 1012 \text{ kN}$$

$$V_b = \max(V_{b1}, V_{b2}) = 1012 \text{ kN}$$

نیروی زلزله طرح برای سازه‌ی بالادست تراز جداسازی: $(R_1 = 2)$

$$V_s = \frac{V_b}{R_1} = \frac{1012}{2} = 506 \text{ kN} = 0.097 W_T$$

۸-۳) توزیع قائم نیروی زلزله طرح:

نیروی جانبی F_x در تراز x از سازه‌ی جداسازی شده مطابق ضوابط دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ ایران از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$F_x = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \times V_s$$

برای اطمینان از بازگشت سازه به نقطه‌ی شروع حرکت نیروی بازگرداننده باید بیش‌تر از نیروی اصطکاک باشد. از این‌رو لازم است تا:

$$\frac{D}{R_{FPS}} \geq \mu$$

۳-۴- مراحل طراحی سازه‌ی جداسازی شده

- طراحی یک سازه‌ی جداسازی شده در دو مرحله‌ی مقدماتی و تفصیلی یا نهایی صورت می‌گیرد.
- در مرحله‌ی طراحی مقدماتی، لازم است به گام‌های زیر توجه گردد:
 - ۱- تعیین میزان خطر ساختگاه با نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف A.
 - ۲- تعیین طبقه‌بندی نوع زمین (خاک نوع ۱ تا ۴ مندرج در استاندارد ۲۸۰۰).
 - ۳- تعیین پارامترهای T_s و S_s (پارامترهای مربوط به طیف طرح ارتجاعی مطابق جدول ۳ استاندارد ۲۸۰۰) بر اساس نوع زمین و میزان خطر لرزه‌ای ساختگاه.
 - ۴- تعیین مقدار ضریب رفتار R_I .
- این ضریب بر اساس سیستم سازه‌ای روسازه و بر مبنای دستورالعمل انتخاب می‌گردد.
- ۵- انتخاب نوع جداساز و ضریب میرایی B_D و B_M .
- در این مرحله، نسبت میرایی برای سامانه‌ی جداسازی بر اساس نوع جداساز و به طور محافظه‌کارانه انتخاب می‌گردد. بر این اساس مقادیر ضریب میرایی B_D و B_M با استفاده از جدول ارایه شده در دستورالعمل مشخص می‌شوند.
- در صورت نیاز می‌توان برای خواندن ضریب میرایی B_D و B_M از میانبایی خطی استفاده نمود.
- ۶- انتخاب دوره‌ی تناوب طبیعی T_D برای سازه‌ی جداسازی شده برای محاسبه‌ی تغییرمکان طرح.
- مقدار اولیه‌ی دوره‌ی تناوب طبیعی با توجه به قابلیت سامانه‌ی جداسازی، وضعیت خطر لرزه‌ای در منطقه و در حدود ۲ تا ۳ ثانیه انتخاب می‌شود.
- ۷- محاسبه‌ی سختی موثر سازه K_{eff} با داشتن وزن ساختمان W و دوره‌ی تناوب طبیعی T_D انتخاب شده.
- ۸- برآورد تغییرمکان طرح D_D با داشتن A و S، T_D و B_D با استفاده از رابطه‌ی مندرج در دستورالعمل.
- اگر مقدار اولیه برای D_D به دلیل محدودیت‌های فیزیکی موجود بیش از مقدار قابل قبول برای پروژه است، به مرحله‌ی ۶ بازگشته و مقدار کم‌تری برای T_D انتخاب نمایید.
- ۹- محاسبه‌ی برش پایه‌ی سازه V_s و برش در پای سامانه‌ی جداسازی V_b با استفاده از ضوابط مندرج در دستورالعمل. در این مرحله به محدودیت‌های موجود در دستورالعمل توجه گردد.
- ۱۰- طرح اولیه‌ی اعضای روسازه.
- نیروی معادل استاتیکی در طبقات توسط روابط مندرج در دستورالعمل محاسبه می‌گردد.
- در تحلیل به روش شبه استاتیکی لازم است محدودیت تغییرمکان نسبی در روسازه معادل $\frac{0.01}{R_I}$ در نظر گرفته شود.

در روش تحلیل طیفی یا تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، این محدودیت‌ها به ترتیب برابر $\frac{0.015}{R_I}$ و $\frac{0.02}{R_I}$ در نظر گرفته می‌شود.

در محاسبه‌ی تغییرمکان کل طرح و بیش‌ترین تغییرمکان کل در دستورالعمل در روش تحلیل دینامیکی از مقادیر D'_M و D'_D استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی این عوامل مقدار T زمان تناوب اصلی روسازه، باید بر اساس مقادیر نهایی پس از طراحی روسازه کنترل و در صورت نیاز اصلاح گردد.

۱۱- طرح اولیه‌ی واحدهای سامانه‌ی جداسازی و نحوه‌ی توزیع آن‌ها

براساس ضوابط دستورالعمل، مقادیر انتخابی در گام‌های قبل و موارد پیشنهاد شده در فصل سه این راهنما، ابعاد و مشخصات اولیه‌ی واحدهای سامانه‌ی جداساز طراحی می‌شوند. واحدهای جداساز مطابق ضوابط دستورالعمل باید دارای مقاومت کافی در برابر بارهای قائم و جانبی بوده و نیازهای تغییرمکان‌های طرح و کل را برآورده نمایند.

براساس مشخصات نمونه‌های از قبل آزمایش شده یا اطلاعات اولیه‌ی ارایه شده توسط سازندگان واحدهای جداساز، منحنی هیستریزیس رفتار برای هر دسته از این واحدها ترسیم می‌گردد. این مشخصات و منحنی‌ها در ادامه‌ی مطالعات پروژه باید براساس طراحی دقیق و نتایج آزمایش‌های انجام گرفته تدقیق گردند.

در مرحله‌ی طراحی دقیق یا تفصیلی یک ساختمان جداسازی شده لازم است به گام‌های زیر توجه شود:

- ۱- ساخت مدل عددی از ساختمان جداسازی شده برای تحلیل و ساختمان بدون سامانه جداسازی.
- در ایجاد مدل باید ضوابط مندرج در دستورالعمل راجع به مدل عددی رعایت شود.
- در مدل در دست تهیه مشخصات فنی رفتار به دست آمده در گام ۱۱ برای واحدهای جداساز تعبیه گردد.
- ۲- انتخاب روش تحلیل (روش تحلیل شبه استاتیکی، تحلیل طیفی یا تحلیل تاریخچه‌ی زمانی) براساس ضوابط مندرج در دستورالعمل.

- توصیه می‌گردد در صورت الزام دستورالعمل بر کاربرد روش تحلیل تاریخچه‌ی زمانی نیز، در طراحی مقدماتی، سازه‌ی مورد نظر به روش شبه استاتیکی یا طیفی مطابق دستورالعمل تحلیل و برآوردهای اولیه‌ی پاسخ محاسبه گردند.

۳- تعیین مقدار نهایی تغییر مکان طرح و دوره‌ی تناوب طبیعی سازه‌ی جداسازی شده.

- با استفاده از مدل عددی ساخته شده برای تحلیل در گام ۱ از مرحله‌ی طراحی دقیق و نیاز لرزه‌ای تعیین شده در گام ۲ از این مرحله با انجام تحلیل، طراحی و کنترل نتایج و تکرار این مراحل به طرح نهایی سازه و ویژگی‌های جداساز مورد نیاز دست یافته می‌شود.

این طرح باید ظرفیت مورد نیاز برای تغییر مکان‌ها و نیروهای هدف طراحی را تامین نماید. مقادیر D_D و D_M باید براساس نتایج طرح نهایی، تعیین گردند. براین اساس مقادیر T_D و T_M محاسبه می‌شوند. در دستورالعمل و استاندارد ۲۸۰۰ در صورت استفاده از روش تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، امکان استفاده از تخفیف‌هایی برای تغییر مکان‌ها و برش پایه وجود دارد.

۵- تعیین مقدار نهایی سختی موثر

- مقادیر سختی موثر برای سازه براساس نتایج تحلیل و به شرح زیر محاسبه شوند:

$$K_{D,max} = K_{D,min} = \frac{V_{SD}}{D_D}$$

V_{SD} : برش پایه برای سطح تقاضای طرح.

$$K_{M,max} = K_{M,min} = \frac{V_{SM}}{D_M}$$

V_{SM} : برش پایه برای سطح تقاضای حداکثر.

- در مواردی که از واحدهای جداسازی که رفتار متفاوتی در جهات مثبت و منفی تغییر مکان از خود نشان می‌دهند استفاده می‌شود، سختی موثر باید با توجه به این رفتار در آن‌ها محاسبه گردد.

۶- کنترل دوره‌ی تناوب طبیعی موثر حاصل از مدل عددی

- مقادیر T_D و T_M حاصل از مدل باید با مقادیر حاصل از روابط آیین‌نامه‌ای به ترتیب مربوط به محاسبه‌ی D_D و D_M کنترل شود.

۷- کنترل مقدار میرایی حاصل از مدل عددی

- لازم است مقدار میرایی حاصل از مدل عددی محاسبه و با مقادیر مستخرج از دستورالعمل مقایسه شوند.

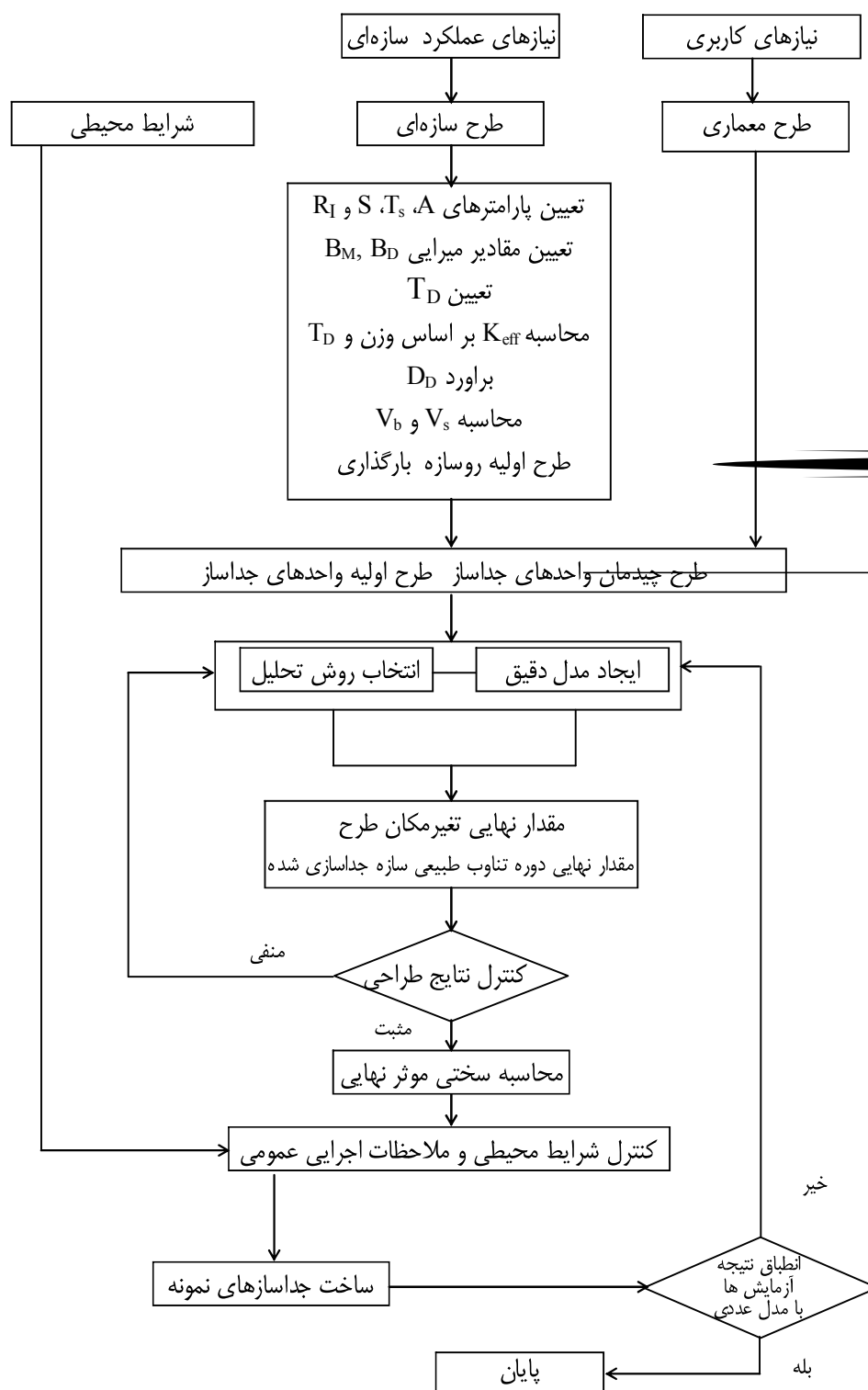
۸- کنترل تغییر مکان‌ها و نیروهای طرح با مقادیر مستخرج از دستورالعمل

طراح می‌تواند تخفیف‌های در نظر گرفته شده در دستورالعمل در مورد تحلیل‌های دینامیکی را مورد توجه قرار دهد. براساس دستورالعمل در روش تحلیل طیف پاسخ یا تحلیل تاریخچه‌ی زمانی، هنگامی که مقادیر نیروهای برش جانبی به دست آمده کم‌تر از مقادیر حداقل مشخص شده در دستورالعمل باشند، متغیرهای پاسخ شامل نیروها و لنگرهای اعضا باید متناسباً افزایش داده شوند.

۹- کنترل عملکرد واحدهای جداساز براساس نتایج آزمایش جداسازهای نمونه

لازم است با اخذ نتایج حاصل از آزمایش جداسازهای نمونه مطابق ضوابط دستورالعمل، مدل عددی بازنگری شود در این خصوص مقادیر سختی موثر $K_{D,max}$ ، $K_{D,min}$ ، $K_{M,max}$ و $K_{M,min}$ با استفاده از روابط دستورالعمل و نتایج آزمایش دوباره محاسبه و اصلاح می‌شوند.

شکل (۳-۱۱) روندنمای پیشنهادی برای طراحی سازه‌های جداسازی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۱- روندنمای طراحی سازه‌ی جداسازی شده