جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها

نشریه شماره ۵۲۳

معاونت نظارت راهبردي

دفتر نظام فني اجرايي

http://www.tec.mporg.ir

1388

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :**	۱۰۰/۴۵۱۶۶
	تاریخ :	۱۳۸۷/۵/۱۵

موضوع :
مقررات مواد منفجره و آتشباری در معادن

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی ، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ٤٢٣٣٩/ت ٣٣٤٩٧هـ ، مورخ ١٣٨٥/٤/٢٠ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۱۰ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «مقررات مواد منفجره و آتشباری در معادن» از نوع گروه اول، ابلاغ می‌شود تا از تاریخ ۱۳۸۷/۷/۱ به اجرا درآید.

رعایت مفاد این نشریه از طرف دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر الزامی است.

امیرمنصور برقعی
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

اصلاح مدارك فني

خواننده گرامي:

دفتر نظام فني اجرايي معاونت برنامه‌ريزي و نظـارت راهبـردي ريـيس جمهـور، بـا اسـتفاده از نظـر كارشناسان برجسته مبادرت به تهيه اين نشريه نموده و آن را براي استفاده به جامعه مهندسي كـشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، اين اثر مصون از ايرادهايي نظير غلطهاي مفهومي، فنـي، ابهام، ايهام و اشكالات موضوعي نيست.

از اين‌رو، ***از شما خواننده گرامي صميمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ايـراد و اشـكال فنـي مراتب را به صورت زير گزارش فرماييد:***

1- ***شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص كنيد.***
2- ***ايراد مورد نظر را به صورت خلاصه بيان داريد.***
3- ***در صورت امكان متن اصلاح شده را براي جايگزيني ارسال نماييد.***
4- ***نشاني خود را براي تماس احتمالي ذكر فرماييد.***

كارشناسان اين دفتر نظرهاي دريافتي را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضي را معمول خواهند داشت.

پيشاپيش از همكاري و دقت نظر جنابعالي قدرداني مي‌شود.

نشاني براي مكاتبه : تهران، ميدان بهارستان، خيابان صفي عليـشاه، معاونـت برنامـه‌ريـزي و نظـارت راهبـردي ريـيس جمهـور، دفتـر نظـام فنـي اجرايـي، مركـز تلفـن 33271
Email: tsb.dta@mporg.ir **web: http://tec.mporg.ir/**

بسمه تعالي

پيشگفتار

نظام فني و اجرايي كشور (مصوبه شماره 42339/ ت 33497 هـ ، مورخ 1385/4/20 هيات محترم وزيـران) بـه كـارگيري معيارهـا، استانداردها و ضوابط فني در مراحل تهيه و اجراي طرح و نيز توجه لازم به هزينه‌هاي نگهداري و بهره‌برداري در قيمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاكيد جدي قرار داده است.

روش‌هاي طراحي و فناوري‌هاي اجراي ساختمان‌هاي مقاوم در برابر زلزله در سال‌هاي اخير پيشرفت‌هاي چشمگيري داشته است. جداسازي لرزه‌اي سازه‌ها يكي از اين روش‌هاست كه با توجه به قدمت آن و تجربيات موجود در دنيا در بسياري از موارد عملكرد مناسبي را در برابر خطرات لرزه‌اي وقوع يافته نشان داده و از اين رو مورد اقبال مهندسان و سازندگان ساختمان‌ها واقع شده‌است. در كشور ما نيز با توجه به توسعه‌ي روزافزون و روند رو به رشد ساخت و ساز از يك سو و لرزه‌خيزي زياد آن و خسارات قابل توجهي كه از اين موضوع مترتب مي‌گردد از سوي ديگر به كارگيري اين فناوري مورد توجه قرار گرفته‌است. اين امر در حالي است كه مدارك و معيارهاي فني در اين رابطه در كشور محدود است. اين راهنما با هدف معرفي جزييات طراحي و –در حد امكان- اجرايي اين فناوري و ارايه توصيه‌هاي طراحي به زباني نسبتا ساده براي طراحان و مهندسان تهيه گرديده‌است.

بديهي است كه وجود اين قبيل اطلاعات در ترويج فن‌آوري‌هاي سودمند براي جامعه نيز نقش قابل توجهي داشته و به فراگير شدن منطقي و قانونمند آن كمك خواهد نمود.

در ادامه‌ي مطلب در فصل اول اين راهنما به معرفي كليات جداسازي لرزه‌اي ساختمان‌ها پرداخته مي‌شود. در فصل دوم جداسازهاي لرزه‌اي مورد استفاده در ساختمان‌ها و نحوه‌ي عملكرد آن‌ها معرفي شده‌است. در فصل سوم معيارهاي معمول مورد استفاده در طراحي ساختمان جداسازي‌شده و همچنين سامانه‌ي جداسازي بيان مي‌گردد. در فصل چهارم توصيه‌هايي در زمينه‌ي ميراگرهاي مورد استفاده در سامانه‌هاي جداسازي بيان شده‌است. در فصل پنجم نيز ملاحظات اجرايي در فرآيند انتخاب جداسازها، طراحي سامانه‌ي جداسازي، اجرا و نگهداري اين سامانه ارايه شده‌اند.البته با توجه به نوپايي اين دانش فني در كشور ما، اين راهنما نيز داراي كاستي‌هايي خواهد بود كه اميد است مورد نقد قرار گرفته و با پيشرفت فعاليت‌هاي پژوهشي و افزودن تجربه‌ي اجرايي در اين مقوله ارتقا يابد.

با همه‌ي تلاش انجام‌شده قطعا هنوز كاستي‌هايي در متن موجود است كه إن‌شاءا... كاربرد عملي و در سطح وسيع اين نشريه توسـط مهندسان موجبات شناسايي و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود.

در پايان، از تلاش و جديت مديركل محترم دفتر نظام فني اجرايي، سركار خانم مهندس بهناز پورسيد و كارشناسان اين دفتر،مجـري محترم طرح تهيه ضوابط ومعيارهاي فني بخش معدن كشور وزارت صنايع ومعادن و متخصصان همكار در امر تهيه ونهايي نمـودن ايـن نشريه، تشكر و قدرداني مي نمايد. اميد است شاهد توفيق روزافزون همه‌ي اين بزرگواران در خدمت به مردم شريف ايران اسلامي باشيم.

معاون نظارت راهبردي

1388

تركيب اعضاي كارگروه تهيه كننده:

اين مجموعه با همكاري پژوهشگاه بين المللي زلزله شناسي ومهندسي زلزله به صورت اوليه تهيه شده، توسط كارگروه تنظيم و تدوين آماده شده و توسط كارشناسان دفتر نظام فني اجرايي بازبيني و اصلاح شده است.

اعضاي كارگروه تنظيم و تدوين

افشين كلانتري

تورج تقي خاني

گروه مديريت و راهبري پروژه در معاونت نظارت راهبردي

حميدرضا خاشعي	كارشناس ارشد مهندسي زلزله- دفتر نظام فني اجرايي
حامد سرمست	كارشناس ارشد مهندسي سازه- دفتر نظام فني اجرايي
شهرزاد روشن خواه	كارشناس ارشد مهندسي عمران- ژئوتكنيك- دفتر نظام فني اجرايي

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- كليات

1-1- مقدمه 3

1-2- گسترده 4

1-3- جداسازي لرزه‌اي 4

فصل دوم- جداسازهاي لرزه‌اي

2-1- كليات 9

2-2- جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي 11

2-3- جداسازهاي لاستيكي با هسته‌ي ربي 20

2-4- جداسازهاي اصطكاكي 21

فصل سوم- طراحي سيستم هاي جداساز لرزه‌اي

3-1- كليات 25

3-2- مدل‌سازي و تحليل سازه‌ي جداسازي شده 25

3-3- روابط پيشنهادي براي طراحي واحدهاي جداساز 28

3-4- مراحل طراحي سازه‌ي جداسازي شده 43

فصل چهارم- ميراگرها و توصيه‌هاي طراحي

4-1- كليات 49

4-2- معرفي تجهيزات 49

فصل پنجم- ملاحظات اجرايي در طراحي سازه‌هاي جداسازي شده

5-1- كليات 53

5-2- ملاحظات عمومي در زمان طراحي 53

5-3- مشخصات بستر 54

5-4- اثر نوع خاك 54
5-5- اثرات حوزه نزديك 54
5-6- اثر مولفه قائم زمين‌لرزه 55
5-7- توجه به تاثير مودهاي بالاتر 55
5-8- ارتفاع ساختمان 55
5-9- رفتار روسازه 55
5-10- انتخاب موقعيت تجهيزات جداسازي در ارتفاع 55
5-11- طراحي بر اساس شرايط محيطي 56
5-12- مقاومت در برابر آتش 56
5-13- سختي جانبي جداسازها 57
5-14- قراردهي جداسازها در پلان 58
5-15- تعويض تجهيزات جداسازي 58
5-16- فاصله آزاد جانبي و قائم 58
5-17- طرح اعضاي سازه‌اي مجاور واحدهاي جداساز 59
5-18- جزييات اجرايي معماري 60
5-19- جزييات اجرايي تجهيزات مكانيكي 63
5-20- آزمايش‌هاي لازم براي جداسازهاي لرزه‌اي 64
5-21- مطالعه اقتصادي طرح‌هاي شامل جداسازهاي لرزه‌اي 65
5-22- كنترل نتايج طراحي 67
5-23- مدارك فني طرح 67

پيوست‌ها

پيوست شماره‌ي 1- فهرست استانداردهاي مورد استفاده در صنايع مرتبط با جداسازي لرزه‌اي 73
پيوست شماره‌ي 2- نمونه جدول مشخصات فني لاستيك توليدي براي جداسازها 77
پيوست شماره‌ي 3- مثال طراحي واحدهاي سامانه جداسازي 81

منابع و مراجع 99

واژه‌نامه فارسي- انگليسي 103

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

فصل اول

شکل 1-1- رفتار سازه (الف) بدون سامانه‌ي جداساز لرزه‌اي و استفاده از شکل‌پذيري، (ب) به همراه سامانه‌ي جداساز لرزه‌اي.....3
شکل 1-2- تراز جداسازي و اجزاي آن.....5
شکل 1-3- توصيف تاثير جداسازي لرزه‌اي با استفاده از طيف پاسخ زلزله.....5

فصل دوم

شکل 2-1- جداسازهاي لاستيکي با ورقه‌هاي فولادي 10
شکل 2-2- نمودار فرايند طراحي، ساخت تا ارسال جداسازها 14
شکل 2-3- تاثير ورقه‌هاي فولاد بر روي سختي قائم جداساز لاستيکي..... 15
شکل 2-4- توزيع نيرو در جداسازهاي لاستيکي با ورقه‌هاي فولادي..... 16
شکل 2-5- اثر اکسيداسيون بر روي مولکول‌هاي لاستيك 18
شکل 2-6- جداسازهاي لاستيکي با هسته‌ي سربي 19
شکل 2-7- جداسازهاي اصطکاکي پاندولي..... 20

فصل سوم

شکل 3-1- مدل‌هاي رفتاري جداسازها در زمان تحريك..... 26
شکل 3-2- مقطع جداساز لاستيکي با ورقه‌هاي فولادي 28
شکل 3-3- توصيف عامل‌هاي A و A_f..... 30
شکل3-4- معرفي عوامل Δ_s ، A_{re} ، β و d 31
شکل 3-5- نمايش عامل‌هاي مورد نياز در کنترل چرخش تکيه‌گاه..... 33
شکل 3-6- نمودار طراحي جداساز لاستيکي با ميرايي زياد و جداساز لاستيکي با ورقه‌هاي فولادي..... 34
شکل 3-7- رفتار غيرخطي تکيه‌گاه لاستيکي با هسته‌ي سربي..... 35
شکل 3-8- ساختمان جداساز لاستيکي با هسته‌ي سربي..... 35
شکل 3-9- نمودار طراحي جداساز لاستيکي با هسته‌ي سربي..... 40
شکل 3-10- توصيف بخش‌هاي مختلف يك تکيه‌گاه اصطکاکي پاندولي..... 41

فصل پنجم

شکل 5-1- با نرم شدن خاك پاسخ سازه در دوره‌ي تناوب‌هاي بلندتر افزايش مي‌يابد..... 54
شکل 5-2- جداسازي در ارتفاع..... 56

شكل5-3- جداسازي لرزه‌اي سازه‌ي زيرزميني 56
شكل 5-4- چيدمان (تعداد و ابعاد جداسازها، موقعيت آن‌ها و فواصل آن‌ها از هم) در نتايج طراحي تاثير گذار است 57
شكل 5-5- رواداري در بخش‌هاي مختلف 59
شكل 5-6- توزيع تنش بر روي جداساز 60
شكل 5-7- نمايش جزييات اجرايي توصيه شده در برش يك ساختمان 61
شكل 5-8- توجه به رعايت رواداري‌هاي جانبي در جزييات ساختمان جداسازي شده 62
شكل 5-9- توجه به رعايت رواداري‌هاي جانبي در جزييات ساختمان 65
شكل 5-10- جزييات نحوه‌ي استفاده از لوله‌هاي تاسيساتي انعطاف‌پذير در محل تماس با زمين 67
شكل 5-11- هزينه‌ي اجرا و خطريذيري زلزله براي يك ساختمان 71

عنوان تصويرها

عنوان تصوير **صفحه**

تصوير 5-1- رعايت رواداري‌ها در اطراف سازه‌ي جداسازي شده 63
تصوير 5-2- ايجاد امكان تغييرمكان جانبي در محل‌هاي تماس ساختمان با اطراف 64
تصوير5-3- استفاده از لوله‌هاي تاسيساتي انعطاف‌پذير در محل تماس با زمين 68

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول 5-1- قابليت‌هاي مورد نياز براي سامانه‌هاي جداسازي لرزه‌اي 53

علايم

d	قطر جداساز دايره اي
B	طول ضلع در جداساز چارگوش
t_r	ضخامت يك لايه‌ي لاستيك
N	تعداد لايه‌هاي لاستيك
t_s	ضخامت ورقه‌هاي فولادي.
P_{DL+LL}	نيروي قائم ناشي از وزن سازه بر روي جداساز
TD	دوره‌ي تناوب اصلي سازه‌ي جداسازي شده
Keff	سختي جانبي معادل جداساز
γ_{eff}	تغييرشكل نسبي برشي موثر
E	مدول يانگ
G	مدول برشي لاستيك
σ_c	تنش فشاري مجاز بر روي تكيه‌گاه
D_D	تغييرمكان طرح
S	ضريب شكل
K_v	سختي قائم تكيه‌گاه
K_h	سختي افقي تكيه‌گاه
E_c	مدول فشاري مجموعه‌ي ورقه‌هاي لاستيكي و فولادي، $Ec=E(1+2kS2)$
A	سطح مقطع كامل تكيه‌گاه (تحت بار)
t_t	كل ارتفاع لايه‌هاي لاستيك
k	ضريب اصلاح در محاسبه‌ي مدول فشاري مجموعه‌ي ورقه‌هاي لاستيكي و فولادي
S	ضريب شكل= A/Af
A_f	سطح خارج از بارگذاري در اطراف تكيه‌گاه
A_1, A_2, A_3	سه مقدار محاسبه شده‌ي مساحت جداساز
ε_b	حداكثر تغييرشكل نسبي كششي لاستيك در زمان گسيختگي.
A_{sf}	حداقل مساحت سطح مقطع براي احتراز از گسيختگي
Δ_s	تغييرمكان جانبي تكيه‌گاه
t_r	ضخامت يك لايه‌ي لاستيك
t_i و t_{i+1}	ضخامت لايه‌هاي لاستيك بالا و پايين ورق فولادي

f_y	تنش مجاز در فولاد
R	شعاع ژيراسيون جداساز ($\frac{b\sqrt{3}}{2}$ براي جداساز چارگوش و $\frac{d}{2}$ براي جداساز دايره اي)
k و E	پارامترهاي مشخصه‌ي لاستيك كه براي سفتي مشخصي از لاستيك را مي‌توان با آزمايش و از جداولي مانند جدول موجود در پيوست شماره‌ي 2 كه توسط توليدكننده تاييد شده ارايه مي‌شوند به دست آورد.
γ_c	حداكثر تغيير شكل نسبي برشي در جداساز ناشي از فشار
γ_t	حداكثر تغيير شكل نسبي برشي در جداساز ناشي از پيچش
γ_{eq}	حداكثر تغيير شكل نسبي برشي در جداساز ناشي از بار جانبي
b و l	ابعاد سازه
e	خروج از مركزيت سازه
$P_{DL}+P_{LL}+EQ$	بار قائم روي تكيه‌گاه با در نظر گرفتن وزن سازه و نيروي زلزله
h	ارتفاع كل جداساز لاستيكي
k_{eff}	سختي موثر جداساز
L	بعد كوچكتر جداساز لاستيكي يا قطر آن
Q_d	مقاومت مشخصه‌ي جداساز لاستيكي با هسته‌ي سربي
W_d	ميزان انرژي از بين رفته در هر چرخه
$Q_d = A_P \times f_{py}$	مقاومت مشخصه
f_{py}	تنش تسليم سرب هسته‌ي سربي
A_P	سطح مقطع هسته‌ي سربي
d_y	تغيير مكان جداساز لاستيكي با هسته‌ي سربي در لحظه‌ي تسليم
k_p	سختي ثانويه‌ي جداساز لاستيكي با هسته‌ي سربي با رفتار غيرخطي كه به صورت دو خطي مدل مي‌شود
h_p	ارتفاع موثر هسته‌ي سربي
Φ_p	قطر هسته‌ي سربي
f_l	ضريب منظور كننده‌ي اثر هسته‌ي سربي در جداساز لاستيكي با هسته‌ي سربي
R_{FPS}	شعاع انحناي سطح جداساز اصطكاكي- پاندولي
μ	ضريب اصطكاك سطح جداساز اصطكاكي- پاندولي
g	شتاب جاذبه‌ي زمين
β	ميرايي موثر جداساز
δ_v	تغييرمكان قائم سازه با جداساز اصطكاكي-پاندولي در زمان ارتعاش
T_s و S	پارامترهاي مربوط به طيف طرح ارتجاعي مطابق جدول (3) استاندارد 2800
R_I	ضريب رفتار سازه جداسازي شده مطابق دستورالعمل

B_D و B_M	ضريب ميرايي مطابق مقادير مندرج در دستورالعمل
Vs	برش پايه‌ي موثر بر مجموعه‌ي اعضاي سازه‌اي بالاتر از تراز جداسازي
V_b	برش پايه‌ي موثر بر مجموعه‌ي اعضاي سامانه‌ي جداساز يا اعضاي پايين‌تر از تراز جداسازي
$D_D^{'}$	تغييرمكان كل طرح
$D_M^{'}$	بيش‌ترين تغييرمكان كل
V_{sD}	برش پايه براي سطح تقاضاي زلزله طرح
V_{sM}	برش پايه براي سطح تقاضاي بيش‌ترين زلزله محتمل
$K_{D,max}$	بيش‌ترين سختي موثر سامانه‌ي جداساز متناظر با تغييرمكان طرح در جهت افقي مورد نظر
$K_{D,min}$	كم‌ترين سختي موثر سامانه‌ي جداساز متناظر با تغييرمكان طرح در جهت افقي مورد نظر
$K_{M,max}$	بيش‌ترين سختي موثر سامانه‌ي متناظر با بيش‌ترين تغييرمكان در جهت افقي مورد نظر
$K_{M,min}$	كم‌ترين سختي موثر سامانه‌ي جداساز متناظر با بيش‌ترين تغييرمكان در جهت افقي مورد نظر

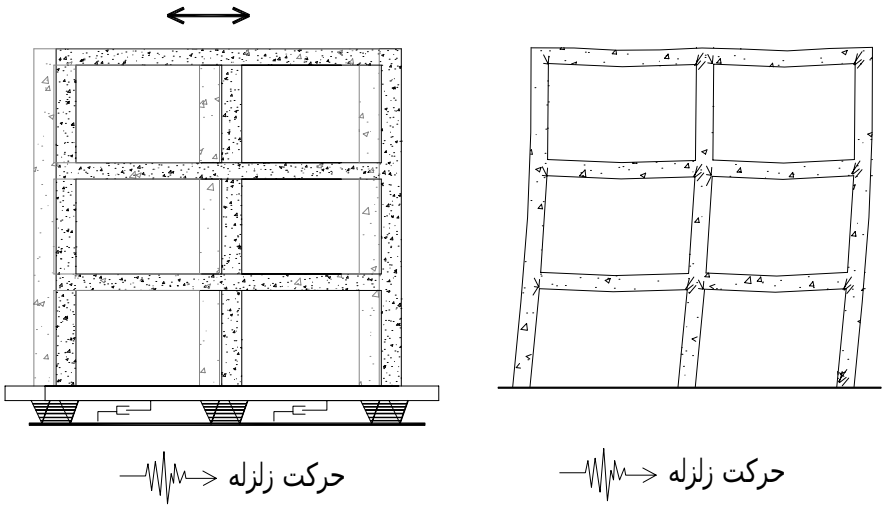
فصل اول

کلیات

1-1- مقدمه

جداسازی لرزه‌ای عبارت است از جداکردن کل یا بخشی از سازه از زمین یا قسمت‌های دیگر سازه بمنظور کاهش پاسخ لرزه‌ای آن بخش در زمان رویداد زلزله.

روش مرسوم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است. در این رویکرد طراحی لرزه‌ای، ایجاد ظرفیت باربری جانبی در سازه، با افزایش مقاومت و تامین شکل‌پذیری آن صورت می‌گیرد. در نتیجه اجرای این روش، ابعاد اعضای سازه‌ای و اتصالات افزایش یافته و در سازه، اعضای مهاربند جانبی همچون بادبند یا دیوار برشی یا سایر اعضای سخت‌کننده ملحوظ می‌گردد.



شکل 1-1- رفتار سازه (الف) بدون سامانه‌ی جداساز لرزه‌ای و استفاده از شکل‌پذیری، (ب) به همراه سامانه‌ی جداساز لرزه‌ای

افزایش سختی سازه که جذب نیروی بیش‌تر ناشی از زلزله را به دنبال داشته و سبب افزایش ابعاد اعضای سازه‌ای به منظور تامین مقاومت می‌شود، موجب کاهش ارزش اقتصادی پروژه می‌گردد. علاوه بر آن، در روش‌های مرسوم طراحی، به دلیل تغییر شکل‌های غیرخطی در اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای امکان بروز خرابی در این اعضا و وقوع آسیب در اجزای غیرسازه‌ای و تجهیزات داخل طبقه به دلیل وقوع تغییر مکان و شتاب‌های قابل توجه در طبقه وجود دارد. کنترل بروز آسیب در زلزله به خصوص در تکان‌های نسبتا شدید کار دشواری خواهد بود. بر اساس مشاهدات پس از رویداد زلزله‌های شدید، سازه‌های ساخته شده بر اساس روش‌های مرسوم طراحی و ساخت، مقادیر شتاب قابل توجهی را در طبقات تجربه می‌کنند که این امر در نهایت سلب آرامش از ساکنان ساختمان‌های بلند، احتمال قطع خدمات ارایه شده از شبکه‌های مختلف در شریان‌های حیاتی مانند تلفن، حمل و نقل، بیمارستان‌ها، برق و آب را به همراه دارد.

بنابراین برای دسته‌ای از سازه‌ها مانند بیمارستان‌ها، ساختمان‌های دارای ارزش هنری، پل‌های مهم، نیروگاه‌های برق، موزه‌ها، و سازه‌های مهمی که در مناطق با احتمال وقوع زلزله‌های شدید قرار دارند، روش طراحی بر اساس شکل‌پذیری ممکن است مناسب‌ترین روش نباشد. علاوه بر این با افزایش سطح نیازهای شهری هزینه‌های قابل توجهی صرف ایجاد شریان‌های حیاتی و سازه‌های موجود خواهد شد. این امر نیاز به پیش‌بینی تمهیدات لازم برای ارتقای سطح ایمنی این بناها در برابر رویداد احتمالی زلزله را به همراه دارد.

با پیشرفت دانش فنی و تجربه‌ی زلزله‌های شدید، به مرور تغییراتی در آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها به وجود آمده و ضمن تغییر در فلسفه‌ی طراحی سازه‌ها، فناوری‌هایی همچون کنترل لرزه‌ای غیرفعال سازه‌ها به کار گرفته شده است. جداسازی لرزه‌ای، با هدف کاستن آسیب لرزه‌ای در طراحی و ساخت سازه‌های با اهمیت زیاد پیشنهاد می‌گردد. با استفاده از این روش، رفتار دینامیکی سازه در حد امکان، در محدوده‌ی از قبل پیش‌بینی شده قرار گرفته و آسیب‌های لرزه‌ای به اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای کاهش می‌یابد.

پیشرفت دانش فنی و تغییرات یاد شده در ضوابط و معیارهای طراحی و ارزیابی سازه‌ها باعث شده تا بسیاری از سازه‌های موجود طی ارزیابی‌های مجدد در حاشیه‌ی "ناامن" قرار گیرند. روش جداسازی لرزه‌ای در زمینه‌ی مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود نیز قرار می‌گیرد. این روش با توجه به آزادی عملی که این روش در اختیار طراحان و مجریان قرار می‌دهد در بسیاری از پروژه‌های بهسازی لرزه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این حال نحوه‌ی اجرای عملیات بهسازی لرزه‌ای و نصب جداسازها نیاز به برنامه‌ریزی و دقت کافی دارد.

برای ساختمان‌های ذیل، مطالعه برای انتخاب گزینه‌ی جداسازی لرزه‌ای به طور خاص بر اساس عملکرد و اهمیت توصیه می‌گردد:

1- ساختمان‌های با اهمیت بالا: ساختمان‌هایی که عملکرد آن‌ها در وضعیت بحرانی پس از زلزله مهم است، مانند ساختمان‌های امدادرسانی و بیمارستانی؛
2- ساختمان‌های دارای ارزش تاریخی و هنری (به عنوان یک گزینه در بهسازی لرزه‌ای)؛
3- بخش‌های اصلی از شریان‌های حیاتی همچون پل‌های مهم یا نیروگاه‌ها؛
4- واحدهای تولیدی دارای تجهیزات یا محصولات گران‌قیمت یا راهبردی.

1-2- گستره

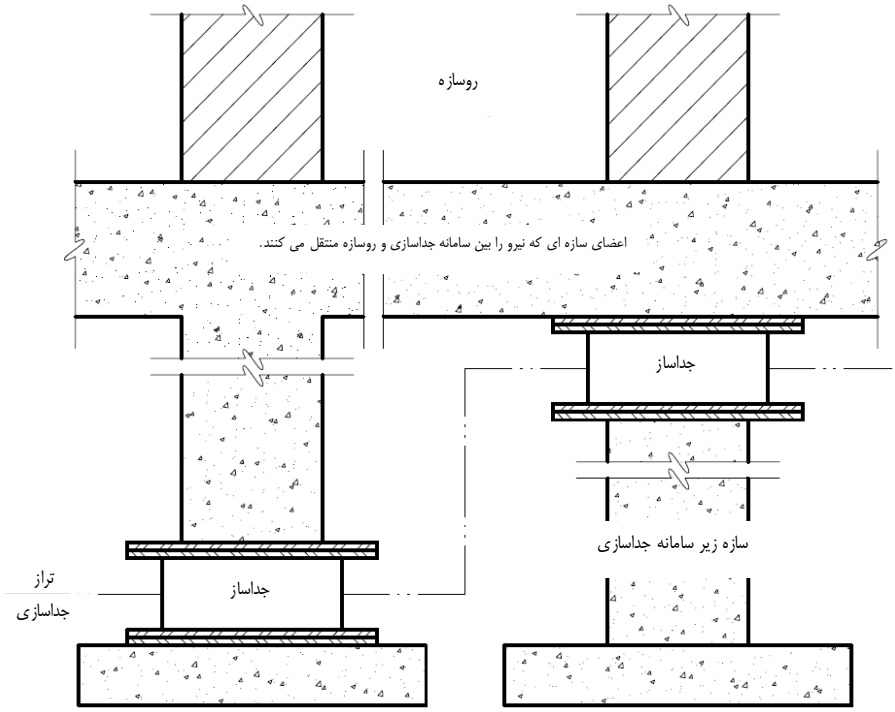
این نشریه راهنمای طراحی و اجرای جداسازی لرزه‌ای در ساختمان‌ها و سازه‌های حوزه‌ی شمول "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد 2800)" و "دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای[1]" است. در مواردی به بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها در این راهنما اشاره گردیده است. در این موارد، در صورت وجود اختلاف، ضوابط مربوط در سایر نشریات مرتبط همچون نشریه‌ی شماره‌ی 360 این دفتر در اولویت قرار دارد.

1-3- جداسازی لرزه‌ای

در مقابل ایده‌ی طراحی و اجرای ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله، با توجه به آسیب‌های سازه‌ای و مشکلات بروز کرده برای ساکنان در طی زلزله‌ها، ایده‌ی طراحی سازه جداشده از پایه بر اساس کنترل نیروی زمین‌لرزه از طریق ممانعت از ورود آن به سازه بنا شده است. این ایده در سال‌های اخیر در موارد بسیاری در طراحی و اجرای سازه‌های مهم مورد استفاده قرار گرفته است. مطابق نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی، سامانه‌های سازه‌ای مجهز به این فناوری پاسخ لرزه‌ای کم‌تری نسبت به سازه‌های معمول خواهند داشت.

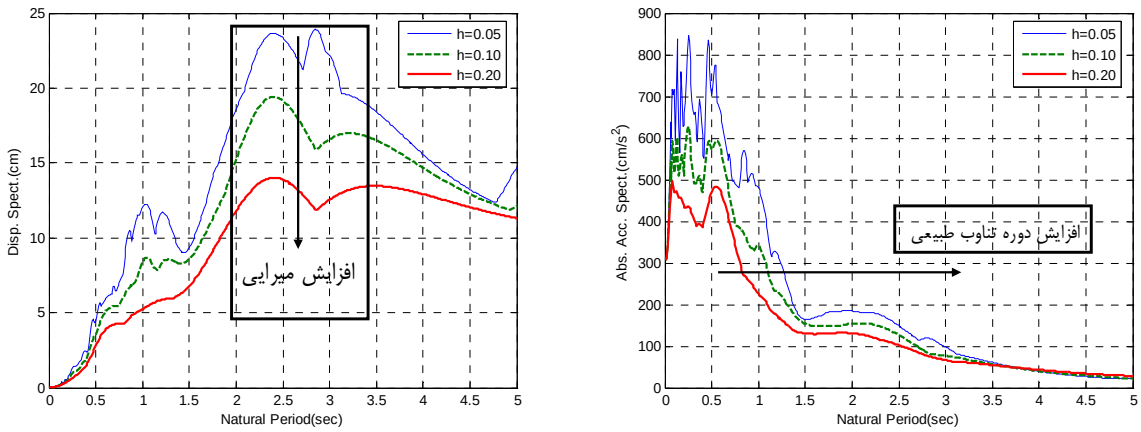
1- در حال حاضر این دستورالعمل بصورت پیش‌نویس در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهیه و در دست تدوین نهایی است. در این راهنما هر جا عبارت "دستورالعمل" بکار برده شده منظور "پیش‌نویس دستورالعمل طراحی ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای" است.

در جداسازی لرزه‌ای دوره‌ی تناوب اصلی سازه به کمک تجهیزاتی که مطابق شکل (1-2) بین روسازه و بخش پایین‌دست آن قرار می‌گیرد افزایش می‌یابد.



شکل 1-2- تراز جداسازی و اجزای آن

افزایش دوره‌ی تناوب طبیعی سازه موجب کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در زمان وقوع ارتعاشات با دوره‌ی تناوب غالب کوتاه‌تر می‌گردد. این قابلیت در شکل (1-3) نمایش داده شده‌است. در سازه‌های مرسوم، احتمال وقوع تشابه یا نزدیکی دوره‌ی تناوب طبیعی سازه با دوره‌ی تناوب غالب در ارتعاش ناشی از زلزله زیاد است. جداسازی لرزه‌ای در واقع باعث بلندتر شدن دوره‌ی تناوب طبیعی سازه می‌شود. این امر با توجه به طیف پاسخ شتاب زلزله، در اغلب موارد منجر به کاهش احتمال وقوع نیروها و شتاب‌های زیاد در سازه می‌شود.



شکل 1-3- توصیف تاثیر جداسازی لرزه‌ای با استفاده از طیف پاسخ زلزله

طراح باید توجه داشته باشد که کاهش شتاب، تاثیر به سزایی بر رفتار نیرو- تغییر مکان جداسازها می‌گذارد. در مقابل این امر نیاز به کاهش شتاب ممکن است منتهی به سامانه‌ی جداسازی با سختی کمی گردد که این خود احتمال بوجود آمدن تغییر مکان‌های قابل توجه در طی زلزله را افزایش می‌دهد. از این‌رو ساز و کارهایی به منظور استهلاک انرژی در سامانه‌ی جداسازی تعبیه می‌گردد تا ضمن محدود نمودن تغییر مکان، شتاب سازه نیز کاهش یابد. این میرایی همچنین پدیده‌ی تشدید پاسخ ناشی از وجود مولفه‌های با دوره‌ی تناوب بالا در حرکت زمین را کاهش می‌دهد. اما در عین حال باید توجه نمود که در برداشتن میرایی زیاد در سازه خود موجب افزایش نیروی منتقل شده به سازه می‌گردد و باید از سوی طراح مورد توجه قرار گیرد. بنابراین لازم است یک سامانه‌ی جداسازی دارای قابلیت‌های زیر باشد:

1- بتواند نیروهای قائم ناشی از وزن و پاسخ زلزله در زمان زلزله را تحمل کند؛

2- در جهت افقی انعطاف پذیری لازم را تامین نماید؛

3- قابلیت جذب انرژی داشته باشد.

این قابلیت‌ها می‌تواند به طور همزمان در یک وسیله تامین شود یا به کمک چند وسیله آن‌ها را برای سامانه‌ی جداسازی فراهم آورد. علاوه بر این طراح ممکن است برای محدود نمودن تغییر مکان جداسازها، در سامانه‌ی جداسازی لرزه‌ای، ضربه‌گیرهایی نیز پیش‌بینی نماید.

همانطور که در بخش‌های بعد اشاره خواهد شد، با توجه به این تغییر مکان، فاصله‌ی آزاد مشخصی باید در اطراف سازه در نظر گرفته شود تا حرکت طبقه‌ی جداسازی شده به سهولت امکان‌پذیر گردد.

تجهیزات جداسازی لرزه‌ای عبارتند از:

- تکیه‌گاه‌ها و جداسازها؛
- میراگرها.

در کنار این اجزا، ممکن است امکانات دیگری برای فراهم‌سازی قابلیت جابجایی در تراز جداسازی ایجاد گردد.

جداسازها و میراگرها ممکن است همگی در یک تراز افقی قرار گیرند و یا با توجه به ماهیت یا هدف جداسازی، یا وضعیت معماری سازه در ترازهای مختلفی نصب گردند.

فصل دوم

جداسازهای لرزه‌ای

2-1- كليات

2-1-1- عملكرد

در جداسازي لرزه‌اي كل يا بخشي از سازه براي كاهش پاسخ لرزه‌اي آن بخش در زمان زلزله از زمين يا قسمت‌هاي ديگر سازه جدا مي‌شود. اين كار با استفاده از جداسازهايي كه بر اساس مشخصات ديناميكي سازه، اهداف عملكردي مورد نظر طراح و شرايط خطر لرزه‌اي ساختگاه، طراحي و ساخته شده‌اند صورت مي‌گيرد. وظيفه‌ي اصلي اين جداسازها ايجاد فاصله بين دوره‌ي تناوب طبيعي سازه و محدوده‌ي دوره‌ي تناوب حاكم در ارتعاش زمين‌لرزه احتمالي در محل سازه‌ي مورد نظر است. علاوه بر جداسازي لرزه‌اي، انرژي ارتعاشي ناشي از زلزله نيز با كمك سازوكارهاي مختلفي جذب شده و از انتقال آن به سازه جلوگيري مي‌گردد.

جداساز سامانه‌اي است كه سازه روي خود را از بخش زيرين خود جدا مي‌كند. براي اينكه در زمان بروز زلزله هيچ نيرويي به سازه منتقل نشود، لازم است اين سامانه، سازه را به حالت شناور درآورد. اين امر با توجه به نياز به كنترل تغيير مكان‌هاي نسبي جانبي از نظر اجرايي درست و امكان پذير نيست. دو روش مختلف در تجهيزات جداسازي براي كنترل نيروي منتقل شده به روسازه استفاده مي‌شود.

الف- استفاده از جداسازهاي لاستيكي براي افزايش دوره‌ي تناوب طبيعي سازه؛

ب- استفاده از جداسازهاي اصطكاكي و كنترل حداكثر نيروي منتقل شده به روسازه و استهلاك انرژي در محل جداساز.

جداسازها بايد مقاومت لازم براي تحمل وزن سازه روي خود را داشته باشند. در عين حال جداسازهاي لاستيكي بايد در جهت افقي به اندازه‌ي كافي نرم باشند.

در زمان طراحي توجه به اين نكته ضروري است كه با نرم‌تر شدن جداسازها، تغيير مكان نسبي بين زمين و سازه افزايش مي‌يابد. به اين ترتيب تغيير مكان نسبي تراز جداسازي و پاسخ شتاب سازه همواره با هم نسبت عكس دارند. در اين شرايط با انتخاب سازوكار استهلاك انرژي مناسب در سامانه‌ي جداسازي لرزه‌اي مي‌توان هم به كاهش مورد نياز در شتاب مجموعه دست پيدا كرد و هم ميزان تغيير مكان نسبي ذكر شده را در محدوده‌ي مورد نظر طراحي نگاه داشت. به اين ترتيب، از جداسازها، قابليت تحمل بار، تغيير مكان‌هاي زياد و بازگشت به محل اوليه پس از پايان يافتن زلزله انتظار مي‌رود. در جداسازهاي اصطكاكي ضريب اصطكاك مناسب عامل كنترل نيروي انتقالي به سازه و همچنين كنترل تغيير مكان جانبي سازه خواهد بود. از سوي ديگر اين نوع جداسازها ممكن است باعث انتقال ارتعاشات با فركانس‌هاي نسبتا زياد به سازه گردند. از اين رو استفاده از اين تجهيزات در جداسازي سازه‌هايي كه ابزار دقيق و حساس به ارتعاش در فركانس هاي بالا در آن‌ها نصب خواهد شد بايد با مطالعه‌ي دقيق صورت پذيرد.

مسايل اقتصادي، اجرايي و دوام اين تجهيزات در زمان طراحي و ساخت آن‌ها بايد مورد توجه قرار گيرد. جداسازي موفق يك سازه خاص، مستلزم انتخاب، طراحي و ساخت سامانه‌ي جداسازي مناسب براي آن است. علاوه بر تامين انعطاف‌پذيري جانبي كافي و ميرايي مناسب، همانطور كه قبلا نيز ذكر شد سامانه‌ي جداسازي بايد قادر باشد تا پس از اتمام ارتعاش زلزله به وضعيت اوليه‌ي خود بازگردد. اين سامانه‌ها بايد سختي قائم زيادي براي جلوگيري از تاب خوردن و حركت گهواره‌اي سازه و سختي اوليه‌ي كافي براي جلوگيري از حركت‌هاي ناخواسته‌ي ناشي از وزش باد و لرزه‌هاي با دامنه‌هاي كم داشته باشند.

2-1-2- انواع جداسازهاي لرزه‌اي

به طور كلي جداسازهاي لرزه‌اي را مي‌توان به دو دسته‌ي جداسازهاي لاستيكي و جداسازهاي اصطكاكي تقسيم بندي كرد.

جداسازهاي زير از جداسازهاي لاستيكي به شمار مي‌روند:

- جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي و ميرايي كم؛
- جداسازهاي لاستيكي با ميرايي زياد؛
- جداسازهاي لاستيكي با هسته‌ي سربي.

از جداسازهاي اصطكاكي به طور عمده جداسازهاي زير در صنعت توليد مي‌شوند:

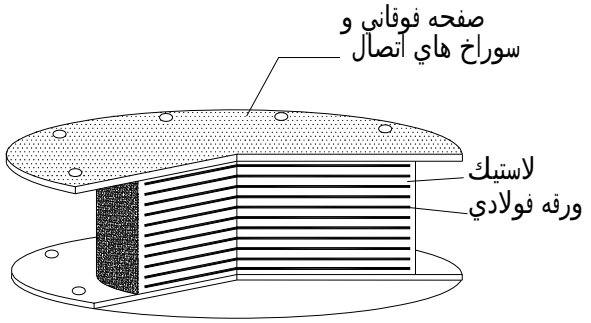
- جداسازهاي اصطكاكي؛
- جداسازهاي الاستيك اصطكاكي؛
- جداسازهاي اصطكاكي پاندولي.

براي استفاده‌ي همزمان از قابليت‌هاي جداسازهاي لاستيكي و اصطكاكي، اين دو سامانه در موارد زير با هم تركيب شده‌اند:

- تركيب سري جداسازهاي اصطكاكي و لاستيكي؛
- تركيب موازي جداسازهاي اصطكاكي و لاستيكي.

2-2- جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي

جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي يكي از جداسازهايي هستند كه نياز به انتقال دوره‌ي تناوب طبيعي سازه و وظيفه‌ي جدا نمودن ارتعاش سازه از بستر خود را براي مهندسان و طراحان برآورده مي‌كنند. جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي همانطور كه در شكل (2-1) نشان داده شده است از ورقه‌هاي نازك لاستيك و فولادي كه به ترتيب بر روي هم چيده شده و تحت فشار و حرارت به شكل مجموعه‌اي متورق و يكپارچه در مي‌آيند تشكيل شده اند.



شكل 2-1- جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي

اين جداسازها كه در ابتدا براي ايجاد انعطاف‌پذيري در پايه‌ي پل‌ها در زمان انبساط و انقباض آن‌ها استفاده شد، بعدها به منظور رفع مشكل ارتعاش ناشي از حركت قطارهاي زيرزميني كاركرد مناسبي از خود نشان دادند.

2-2-1- انواع لاستيك مورد استفاده در جداسازهاي لاستيكي

لاستيك‌ها يا الاستومرها تركيباتي از پليمرها، فيلرها (پركننده ها)، روغن، شتاب دهنده‌ها ، مواد ضد ازن، مواد ديرگير و كندگيركننده هستند كه با هم مخلوط و با حرارت با هم تركيب و ولكانيزه مي‌شوند.

لاستيك‌هايي كه بيش‌ترين كاربرد را در جداسازهاي لاستيكي دارند عبارتند از: لاستيك طبيعي ، نئوپرن، بوتيل و نيتريل. همه‌ي اين لاستيك‌ها تحت بارگذاري، فرآيند "كريستالي شدن كرنشي" را از خود نشان مي دهند. اين ويژگي بروز ترك در لاستيك را محدود كرده همچنين باعث مي‌شود تا در كرنش‌هاي زياد سختي برشي لاستيك افزايش يافته و از تغيير مكان بي‌رويه به نحوي جلوگيري گردد. البته اين ويژگي را نبايد به عنوان يك عامل ايمني در برابر تغييرمكان‌هاي جانبي به هر مقدار در نظر گرفت.

توجه به اين امر ضروري است كه همه‌ي لاستيك‌ها ويژگي كريستالي شدن را ندارند. به عنوان مثال لاستيك استايرن بوتادين (SBR) داراي ويژگي كريستالي شدن كرنشي نيست و نبايد به عنوان لاستيك در جداسازها استفاده شود. مشخصات مكانيكي لاستيك طبيعي مانند مقاومت در مقابل پارگي، مقاومت و خستگي در تغيير مكان‌هاي زياد، خزش و خصوصيات آن در دماي پايين، از بيش‌تر لاستيك‌هاي مصنوعي كه براي ساخت جداسازهاي لرزه‌اي مورد استفاده قرار مي‌گيرند بهتر است. بنابراين لاستيك طبيعي و پس از آن نئوپرن بيش‌تر از هرگونه لاستيك ديگري در ساخت اين امكانات مورد استفاده قرار مي‌گيرند. لاستيك‌هاي بوتيل براي استفاده در دماي پايين و لاستيك‌هاي نيتريل براي موارد محدودي در سازه‌هاي دريايي استفاده شده‌اند.

نسبت ميرايي به دست آمده از اين جداسازها بسيار كم و در محدوده‌ي 2 تا 4 درصد ميرايي بحراني است. از اين رو طراح در زمان به كارگيري اين نوع جداساز بايد به كمك ساز و كاري ديگر استهلاك انرژي مورد نياز را تامين نمايد.

به منظور دستيابي به عملكرد بهتر اين جداسازها اغلب مواد پركننده به لاستيك اضافه مي‌شود. رفتار نيرو- تغييرمكان اين جداسازها به مقدار زيادي بستگي به نوع و ميزان ماده‌ي پركننده در آن‌ها دارد. اين مواد پركننده موجب بهبود عملكرد در موارد زير مي‌گردد:

1- ميرايي بيش‌تر؛

2- سختي اوليه‌ي بيش‌تر؛

3- تغيير شكل برشي كم‌تر.

ميرايي قابل دسترسي توسط اين روش به حدود 10 تا 20 درصد ميرايي بحراني مي‌رسد. مواد پركننده‌ي مختلفي براي اين منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند كه از آن جمله مي‌توان به اكسيدهاي فلزي، رس و سلولز اشاره نمود. اما ماده‌ي پركننده‌اي كه بيش از همه مورد استفاده قرار گرفته دوده است.

استفاده از ورقه‌هاي فولاد به گونه‌اي كه اشاره خواهد شد، سبب افزايش سختي قائم اين جداسازها مي‌شود. اما از سوي ديگر سبب افزايش وزن آن‌ها شده و كار ساخت، حمل و نصب را دشوار مي نمايد. اين امر در كنار اين مشكلات موجب افزايش هزينه‌ي ساخت و نصب آن‌ها مي‌گردد.

اخيرا روش‌هايي براي ساخت كم‌هزينه‌تر جداسازها ارايه شده است. در يكي از اين روش‌ها شبكه‌هاي الياف جايگزين ورقه‌هاي فولادي شده و وزن اين جداسازها را به اندازه‌ي قابل توجهي كاهش مي‌دهند.

در كاربردهاي مهندسي، لاستيك‌ها معمولا با ميزان سفتي (IRHD) مشخص مي‌شوند. سفتي با بعضي از خصوصيات فيزيكي مهم لاستيك مانند مدول برشي و مدول فشاري آن ارتباط دارد. يك واحد براي اندازه‌گيري اين ويژگي درجه‌ي سفتي بين‌المللي است كه براي لاستيك ولكانيزه بين 20 تا 100 تغيير مي‌كند. به عنوان مثال مقدار IRHD براي مداد پاك‌كن 30 و براي لاستيك اتومبيل در حدود 60 است. لاستيك‌هاي مورد استفاده براي جداسازهاي مورد نظر در اين مجموعه داراي IRHD در حدود 50 تا 60 هستند. به عنوان نمونه جدولي شامل اطلاعات يادشده از يك محصول توليد شده در يك كارخانه توليد لاستيك در پيوست ارايه شده‌است.

واحد ديگر اندازه‌گيري سفتي لاستيك‌ها durometer است. اين واحد در استاندارد D2240 ASTM مورد استفاده قرار گرفته است.

2-2-2- سختي افقي و قائم جداسازهاي لاستيكي

در جداسازهاي لاستيكي، مواد مصرفي براي تامين ميرايي بر روي سختي جداساز اثر دارند. در زمان طراحي و ساخت بايد به ميزان مواد مصرفي و تاثير آن‌ها توجه نمود. همچنين لازم است در زمان طراحي كنترل‌هاي لازم براي پرهيز از كمانش يا ناپايداري جداساز صورت پذيرد.

سختي قائم مجموعه‌ي لاستيك و فولاد متورق بايد متناسب با نيروي ناشي از ستون بالاي خود باشد. به عنوان مثال، براي جداسازي به قطر 70 سانتي‌متر و ارتفاع 14 سانتي‌متر، ستون بتن مسلح به ابعاد 70×70 سانتي‌متر را در نظر بگيريد. سختي عمودي جداساز به كمك رابطه‌اي كه در بخش مربوط پيشنهاد شده با در نظر گرفتن ثابت‌هاي زير براي لاستيك: $20ton/cm^2$, $\kappa=0.5$, $G= 4kg/cm^2$, $E_b=$ و مدول يانگ براي بتن $210\ ton/cm^2$برابر است با حدود 2140ton/cm. از سوي ديگر با توجه به ابعاد، سختي ستون بتن مسلح حدود 2500 ton/cm است.

جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي با استفاده‌ي مناسب از ويژگي‌هاي لاستيك داراي سختي كم و قابليت تغيير مكان زياد در جهت افقي را دارند. در حال حاضر اين جداسازها با سختي افقي حدود يك‌هزارم سختي عمودي خود هم توليد مي‌شوند. در مثال بالا، قابليت تغيير مكان يك جداساز لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي به قطر 70 سانتي‌متر حدود 40 سانتي‌متر است در حالي كه اگر نسبت تغيير مكان جانبي يك ستون بتن مسلح در يك طبقه را 1/200 فرض نماييم، اين مقدار متناظر است با تغيير مكاني حدود 2 سانتي‌متر.

2-2-3- ساخت جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي

جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي به دو روش سرد و گرم ساخته مي‌شوند. روش گرم در حال حاضر بيش‌تر از روش سرد مورد استفاده قرار مي‌گيرد.

در روش سرد، ورقه‌هاي لاستيك با چسب به ورقه‌هاي فولاد چسبانده شده و براي خشك شدن كامل چسب در دماي معمولي يا دماي بالا (توسط تجهيزات گرمادهي) نگهداري مي شوند. پس از خشك شدن چسب در بين لايه‌ها، مرحله‌ي دوم اجرا مي‌گردد. در مرحله‌ي دوم يك لايه‌ي لاستيك محافظ با چسب به دور جداساز چسبانده شده و دوباره فرايند خشك كردن اين چسب انجام مي‌گردد. لايه‌ي محافظ دوم به منظور حفظ ورقه‌هاي فولادي از دسترسي اكسيژن و ساير مواد خارجي و بروز خوردگي در فولاد است.

در روش گرم، لاستيك پس از تركيب مواد مختلف در حالي كه هنوز به حالت نيمه مايع است، در بين ورقه‌هاي فولادي ريخته مي‌شود. براي حفظ فاصله‌ي برابر بين ورقه‌هاي فولادي از پرچ، گوه‌هاي فولادي يا پين‌هايي بين آن‌ها استفاده مي‌شود. در اين روش ورقه‌هاي فولادي از قبل با روشي مانند سند بلاست كاملا تميز و آماده‌سازي شده و سطح آن‌ها چسب زده مي‌شود. سپس مجموعه حرارت داده شده و تحت فشار قرار مي گيرد تا لاستيك كاملا جوش خورده و چسب خشك شود. نتيجه‌ي اين كار به دست آمدن قطعاتي بدون بخش‌هاي مجزا و كاملا يكدست است كه به كيفيت، طول عمر و عملكرد آن‌ها مي افزايد.

براي مقابله با بروز تغييرات در جداساز در طول زمان و مقابله با عوامل مهاجم خارجي، يك پوشش لاستيكي دور آن كشيده شده و به منظور ارتقاي كيفيت پوشش لاستيكي در طول زمان، موادي به آن افزوده مي‌شود.

محصولي با اين فرايند توليد به طور قطع نياز به كنترل كيفيت فراوان دارد. به ويژه به نكات زير در طي توليد بايد توجه نمود:

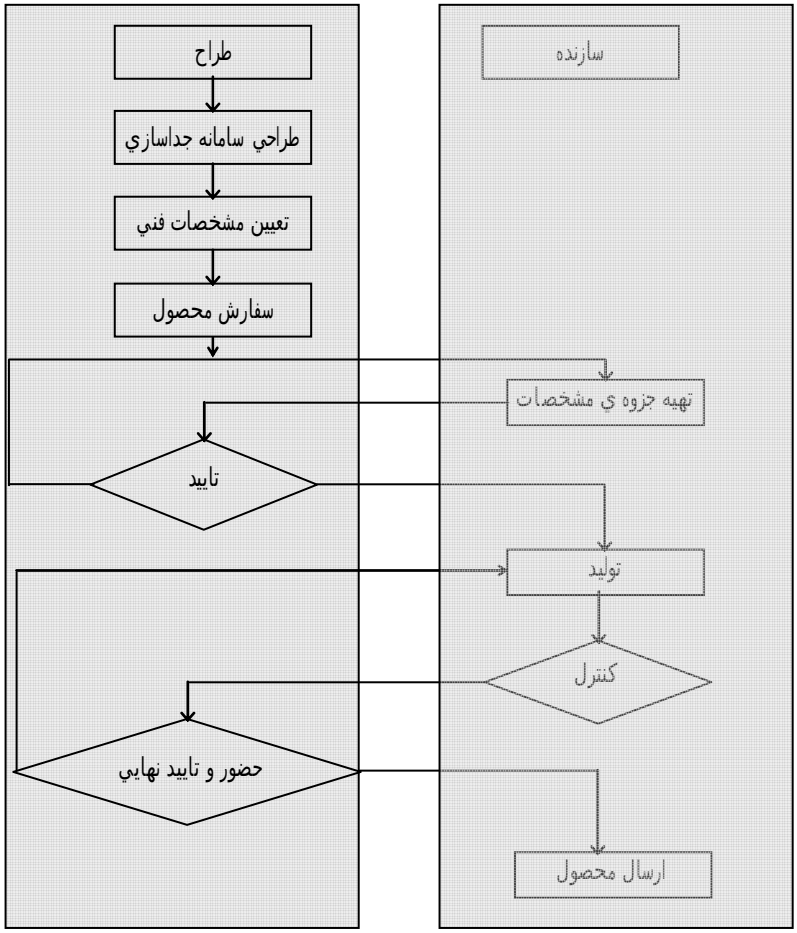
- مواد خام لاستيك؛
- فرايند خميركردن و تركيب مواد؛
- ضخامت ورقه‌هاي لاستيكي و فولادي؛
- آماده سازي سطح ورقه‌هاي فولادي و كشيدن مواد چسبي بر روي آن‌ها؛
- تنظيم شرايط فراوري محصول (دما و زمان) براي خشك كردن چسب و فراوري لاستيك.

2-2-4- كنترل كيفيت محصول

پيروي از استانداردهاي تدوين شده براي هر يك از موارد فوق ضامن تامين كيفيت لازم براي محصول به دست آمده است. عملكرد درست اين تجهيزات در مدت زمان طولاني براي حفظ ايمني لرزه‌اي سازه ضروري است. از اين رو لازم است تا علاوه بر انجام آزمايش‌هاي كنترل‌كننده‌ي نمونه‌ها مانند اندازه‌گيري ابعاد يا مقاومت جداساز در برابر بارهاي جانبي در مرحله‌ي پاياني توسط خريدار، كنترل كيفيت دقيق فرايند ساخت اين قطعات كه نسبتا پيچيده و حساس است بر اساس استانداردها و ضوابط معين و مورد تاييد كارفرما مطابق برنامه‌ي آزمايش كنترل كيفيت سامانه‌ي جداسازي كه توسط مهندس طراح بر اساس ضوابط مندرج در "دستورالعمل" تنظيم مي‌گردد صورت پذيرد.

فهرست برخي از استانداردهاي مورد استفاده در ساخت و كنترل كيفيت جداسازهاي لاستيكي در پيوست يك معرفي شده‌اند.

در مركز اين جداسازها اغلب سوراخي وجود دارد. از نظر قابليت باربري اين جداسازها، وجود اين سوراخ ممكن است نقطه‌ي ضعفي به شمار آيد. اما وجود آن به نحوه‌ي ساخت اين وسايل بر مي‌گردد. لازم است در زمان طراحي بر عدم بروز اشكال در عملكرد جداساز به دليل وجود اين سوراخ دقت گردد. در زمان ساخت با دادن حرارت از داخل اين سوراخ، به توزيع حرارت در مجموعه‌ي جداساز كمك كرده و كيفيت محصول را از اين طريق بالا مي‌برند. به ويژه در مواردي كه قطر خارجي اين جداسازها زياد مي شود، اعمال حرارت تنها از خارج آن كافي نيست. شكل زير يك روند نما از توليد و كنترل كيفيت محصول جداسازهاي لرزه‌اي ارايه مي‌دهد.



شكل 2-2- نمودار فرايند طراحي، ساخت تا ارسال جداسازها

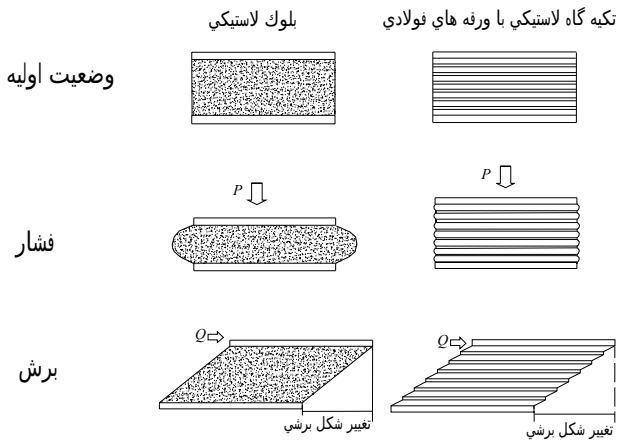
كارهاي مورد نياز براي كنترل كيفيت محصول را مي‌توان به موارد مورد نظر براي طراح و سازنده تقسيم نمود. مهندس طراح مشخصات فني تجهيزات را تهيه كرده، برنامه‌ي آزمايش كنترل كيفيت واحدهاي جداساز را مطابق "دستورالعمل" ارايه نموده، جزوه‌ي مشخصات فني محصول تدوين شده توسط سازنده را تاييد مي‌كند، در عمليات كنترل محصول حضور مي‌يابد و در نهايت بر اساس نتايج به دست آمده در مورد كيفيت محصول نظر مي‌دهد. سازنده، جزوه‌ي مشخصات فني محصول را تدوين مي‌كند، بر اساس آن كار كنترل كيفيت محصول را انجام داده و گزارش نتايج را تهيه مي‌نمايد.

كنترل كيفيت محصول، به طور معمول شامل كنترل مواردي كه در جزوه‌ي مشخصات فني محصول درج شده، كنترل رعايت موارد مندرج در استاندارد تدوين شده براي محصول، انجام آزمايش‌هاي لازم براي مواد اوليه، ابعاد تجهيزات جداسازي، آزمايش قابليت باربري و تغيير مكان و ساير موارد لازم است.

2-2-5- ويژگي‌هاي جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي

2-2-5-1- مقاومت جداسازها در برابر بار

شكل زير ويژگي‌هاي رفتاري جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي را نشان مي‌دهد. رفتار جداساز قبل و بعد از مسلح شدن به ورقه‌هاي فولادي تحت نيروي فشاري و نيروي برشي نمايش داده شده است.

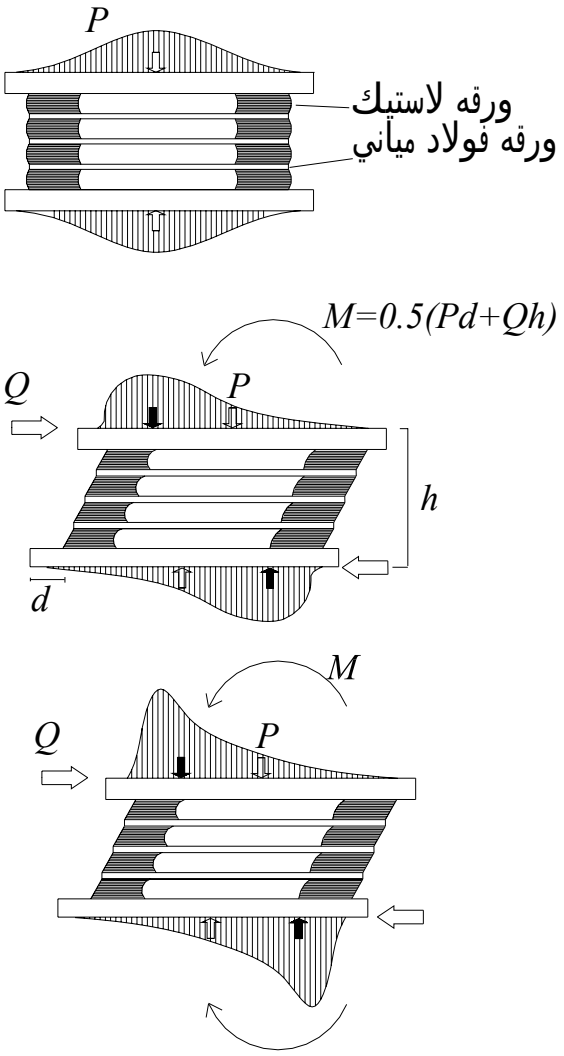


شكل 2-3- تاثير ورقه‌هاي فولاد بر روي سختي قائم جداساز لاستيكي

با توجه به نتايج مطالعات عددي و آزمايشگاهي، توزيع تنش و نيروي فشاري داخلي در اين جداسازها را مي‌توان با آنچه در شكل (2-4) نشان داده شده معرفي كرد.

با تحت فشار قرار گرفتن جداساز لاستيكي، ورقه لاستيكي تمايل به تغيير شكل در جهت شعاعي و به سمت بيرون دارد. اما به دليل ممانعت ورقه‌هاي فولادي قادر به اين تغيير مكان نيست. در اين حالت مطابق شكل (2-4)، تنش فشاري در جداساز با توزيعي سهمي شكل داراي حداكثر مقدار خود در مركز جداساز خواهد بود. اين شرايط به دليل اثر گيرداري ورقه‌هاي فولادي و ويژگي فيزيكي لاستيك (ضريب پواسن حدود 0/5) و در نتيجه‌ي آن‌ها بروز شرايط تنش فشاري سه محوري (فشار هيدرواستاتيكي) است. به اين دليل، وقتي جداساز تحت فشار قرار مي‌گيرد، درصد الاستيسيته‌ي ظاهري جداساز، از درصد الاستيسيته‌ي ظاهري خود لاستيك بسيار بيش‌تر خواهد بود.

در زمان اعمال بار افقي به جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي، از آنجا كه ورقه‌هاي فولادي تغيير شكل برشي ورقه‌هاي لاستيكي را محدود نمي كنند، تغيير شكل جداساز برابر با تغيير شكل برشي لاستيك شده و سختي افقي كمي را نشان مي‌دهد. با بزرگ شدن تغيير شكل برشي، نيروي حاصل از تنش توزيع شده به سمت جداساز منتقل مي‌شود اما تنش كششي به وجود آمده در سمت مخالف كوچك است. به دليل اينكه در تغيير شكل‌هاي بزرگ هم در مركز جداساز شرايط تنش فشاري سه محوري ادامه مي يابد، علاوه بر حفظ قابليت باربري ميزان كاهش ارتفاع جداساز هم كم‌تر مي شود. از اين رو مي‌توان گفت بخش مركزي جداساز از نقطه نظر تحمل بار داراي اهميت است.



شكل 2-4- توزيع نيرو در جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي

2-2-5-2- عملكرد در برابر بارهاي فشاري

در جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي با فرض يكسان بودن ارتفاع لايه‌ها، اگر ضخامت لايه‌هاي لاستيك را كاهش داده و تعداد آن را افزايش دهيم (ضريب شكل يك بعدي بزرگ‌تر) به سختي قائم جداساز افزوده و نيرو و تغييرشكل رابطه‌ي خطي پيدا خواهند كرد. از سوي ديگر با ضخيم‌تر شدن ضخامت يك لايه‌ي لاستيك و كاهش ضريب شكل يك بعدي ، سختي قائم كاهش يافته و جداساز قادر به كاهش اثر نيروها در جهت قائم مي‌گردد.

2-2-5-3- عملكرد دربرابر بارهاي كششي

اين جداسازها در مقابل نيروي كششي رفتاري دو خطي از خود نشان مي‌دهند. سختي كششي اين جداسازها به مراتب از سختي آن‌ها در جهت فشاري كم‌تر است. با تداوم اعمال بار كششي در جداسازها لاستيك از فولاد جداشده و حفره‌هايي در بين لايه‌هاي لاستيك و فولاد پديد مي‌آيد. بروز اين حفره‌ها موجب كاهش ميزان سختي قائم در جهت فشاري تا حد 50 درصد ميزان اوليه مي‌گردد. از اين رو

تحت كشش قرار گرفتن اين جداسازها اثر منفي بر روي آن‌ها داشته و توصيه نمي‌گردد. آزمايش‌هاي انجام شده هم حداكثر ميزان قابل قبول تنش كششي بر روي اين تجهيزات را در حد كم‌تر از 10 تا 20 كيلوگرم بر سانتي‌متر مربع نشان داده است.

2-2-5-4- عملكرد در برابر بارهاي فشاري و برشي

جداسازها بايد ضمن تحمل وزن سازه در شرايط عادي، با نشان دادن سختي كم و تغيير مكان قابل توجه در زمان زلزله، نيروي موثر زلزله بر سازه را كاهش دهند. در زمان زلزله با به وجود آمدن لنگر واژگوني در سازه و ارتعاش غير يكنواخت پي، تنش‌هاي فشاري اضافي در جداساز به وجود مي‌آيد. در اين حال لازم است تا به منظور حفظ باربري و پايداري جداسازها، تحليل، طراحي و ساخت اين تجهيزات به گونه‌اي صورت پذيرد كه تغييرات تنش فشاري تاثيري بر روي باربري نيروي برشي آن‌ها وارد نكند. براي اين منظور انتخاب ابعاد و مصالح مناسب براي جداساز ضروري است.

افزايش تغيير شكل برشي جداساز باعث بروز پديده‌ي سخت شدگي در رفتار نيرو - تغيير شكل جداساز مي‌گردد. اگرچه اين پديده ممكن است موجب كاهش تغيير شكل ايجاد شده در جداساز گردد، اما در عين حال نيروي منتقل شده به سازه و در نتيجه پاسخ طبقات افزايش مي‌يابد. از اين رو مطلوب است تا در زمان طراحي، تغيير شكل طراحي جداساز در محدوده‌ي خطي تعيين گردد.

2-2-5-5- پايايي

به منظور بررسي پايايي در جداسازهايي كه از لاستيك و فولاد ساخته شده‌اند، توجه خاص بايد به پايايي لاستيك در طول زمان معطوف گردد. لاستيك ماده‌اي آلي است و ويژگي‌هاي آن با مرور زمان به تدريج تغيير مي‌كند. عوامل بروز اين تغييرات را مي‌توان به شكل زير دسته‌بندي كرد:

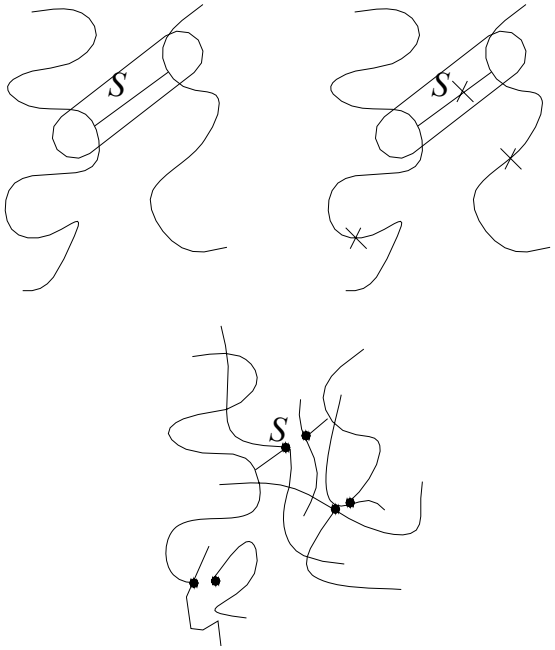
عوامل خارجي مانند: گازها، نور، گرما و نيروهاي خارجي كه باعث تغييرات فيزيكي مي‌شوند؛

عوامل داخلي مانند: پليمر، مواد پركننده و فرم شكل‌گيري پل‌ها و غيره كه باعث تغييرات شيميايي مي‌شوند.

با توجه به اينكه جداسازها معمولا در محيطي دور از نور و حرارت قرار دارند، توجه بيش‌تر بايد معطوف تاثير عملكرد آن‌ها در مقابل اكسيداسيون گردد. اكسيداسيون لاستيك موجب افزايش سختي آن مي‌گردد. اين پديده را به طور ساده مي‌توان به شكل زير توضيح داد.

در حالي كه مولكول‌هاي لاستيك (پليمر) توسط سولفورها به هم متصل مي‌گردند (پل) با مداخله‌ي اكسيژن اين اتصال قطع و با پليمر ديگري اتصال پيدا مي‌كند. در نتيجه‌ي تكرار اين فرايند ساختماني شبكه‌اي در لاستيك به وجود مي‌آيد و آزادي مولكول‌هاي لاستيك محدود شده و لاستيك سخت‌تر مي شود.

شكل (2-5) اين امر را به صورتي ساده نشان داده است.



شكل 2-5- اثر اكسيداسيون بر روي مولكول‌هاي لاستيك

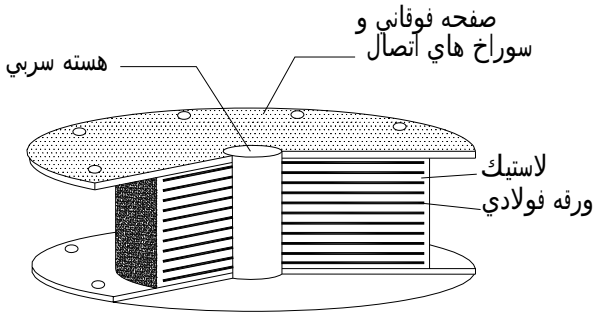
از سوي ديگر ورقه‌هاي لاستيك و فولاد بسيار نازك هستند و اكسيژن تنها قادر به تماس با سطح بسيار كوچكي از لاستيك است. از اين رو اگرچه سطح بيروني اكسيد مي‌شود بخش داخلي لاستيك سالم باقي مي‌ماند.

علاوه بر اكسيداسيون توجه به خزش در طول زمان نيز بايد مورد توجه طراح قرار گرفته و در زمان ساخت تمهيدات لازم براي محدود نمودن آن در نظر گرفته شود.

2-3- جداسازهاي لاستيكي با هسته‌ي سربي

اين جداساز شامل يك هسته‌ي سربي است كه در داخل جداساز لاستيكي محصور شده است. همانطور كه ذكر شد، جداسازهاي لاستيكي قادر به تامين ميرايي زياد و جذب انرژي مناسب نيستند. هسته‌ي سربي در جداسازهاي لاستيكي با تسليم شدن در زمان ارتعاش، ميزان ميرايي را از حدود 3 درصد ميرايي بحراني در جداسازهاي لاستيكي به چيزي در حدود بيش از 10 درصد مي افزايد.

همچنين هسته‌ي سربي با تامين سختي اوليه‌ي كافي، سازه‌ي جداسازي شده را در برابر بارهاي جانبي ضعيف مانند باد يا زلزله‌هاي خفيف مقاوم مي‌كند.



شكل 2-6- جداسازهاي لاستيكي با هسته‌ي سربي

دليل انتخاب سرب براي اين جداساز اين است كه فلز سرب داراي ساختماني كريستالي است. ساختار كريستالي سرب با تغيير مكان تغيير مي‌كند اما بلافاصله با برگشت تغيير مكان به حالت اوليه بازگشته و به اين ترتيب تسليم‌هاي متوالي تحت بارهاي ارتعاشي ديناميكي جانبي باعث به وجود آمدن پديده‌ي خستگي در آن نمي‌شود.

سرب تحت نيروي برشي در تنش‌هاي نسبتا پايين در حدود 8 تا 10 نيوتن بر ميلي‌مترمربع به حد تسليم مي‌رسد و بنابراين رفتار هيسترتيك پايداري نشان داده و ميزان قابل توجهي از انرژي را در زمان رخداد زلزله‌هاي نسبتا بزرگ از بين مي‌برد.

رفتار هيسترتيك اين جداسازها را مي‌توان به صورت دوخطي با سختي اوليه‌اي در حدود 9 تا 16 برابر سختي پس از تسليم آن‌ها در نظر گرفت.

بخش لاستيكي اين تجهيزات مشابه جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي است و وظيفه‌ي تامين نيروي بازگرداننده به مبدا را پس از پايان ارتعاش سازه به عهده دارد.

2-4- جداسازهاي اصطكاكي

در اين نوع از جداسازي، سازه‌ي بالاي سامانه‌ي جداسازي اجازه مي‌يابد تا در زمان رخداد زلزله‌هاي نسبتا بزرگ بر روي جداساز بلغزد. سازه به محض تجاوز نيروي برشي در طبقه‌ي جداسازي شده از ميزان نيروي اصطكاكي در نظر گرفته‌شده براي جداسازها بر روي آن‌ها شروع به لغزش مي‌كند و به اين ترتيب از ارسال نيروهاي لرزه‌اي بزرگ به سازه جلوگيري مي‌شود. در اين حال نيروي اصطكاكي به وجود آمده در جداسازها در مقابل نيروي محرك زلزله عمل كرده و انرژي جنبشي را مستهلك مي‌كند. در مواردي كه از اين نوع جداسازها به تنهايي استفاده مي‌شوند ، سامانه‌ي جداسازي به محتواي فركانس موجود در ارتعاش تحريك حساس نبوده و موجب تشديد مولفه‌هاي خاصي از آن نيز نمي‌گردد. در اين حالت شتاب موجود در طبقه‌ي جداسازي متناسب با ضريب اصطكاك در نظر گرفته براي جداسازها خواهد بود. از اين رو با كاهش ضريب اصطكاك مي‌توان شتاب اعمال شده به سازه در طي ارتعاش را كاهش داد. براي كاهش ميزان اصطكاك موادي مانند تفلون و فولاد استيل كارايي قابل توجهي در اين گونه جداسازها از خود نشان داده‌اند. هرچند كاهش ضريب اصطكاك به هر ميزان دلخواه به معناي افزايش تغيير مكان به وجود آمده در تراز جداسازي است.

خصوصيت ديگر اين نوع جداسازي تناسب نيروي اعمالي از سامانه‌ي جداسازي با جرم سازه است. بنابراين مركز جرم سازه با مركز اعمال نيرو يكي خواهد بود و در نتيجه‌ي آن پيچش در سازه‌هاي غيرمتقارن به وجود نخواهد آمد.

يك نكته‌ي قابل توجه در اين‌گونه سامانه‌هاي جداسازي، نبود نيروي بازگرداننده در آن است. اين امر ممكن است موجب شود تا سازه پس از اتمام لرزه به محل اوليه‌ي خود باز نگردد. علاوه بر اين طراح بايد در طي طراحي به موارد زير در دو دوره‌ي ساخت و نگهداري سامانه نيز توجه كافي داشته باشد:

- امكان جوش خوردن سطح تماس جداسازها در طول زمان؛
- وقوع يخ‌زدگي؛
- بروز خوردگي؛
- از بين رفتن سطح كم اصطكاك اين تجهيزات.

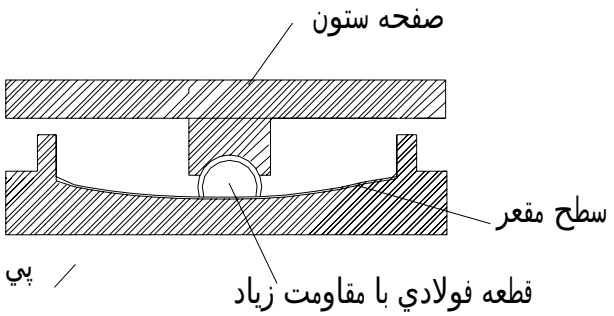
به طور خلاصه شرايط اين جداسازها در طول زمان و در شرايط محيطي متغير بايد مورد توجه قرار گيرد. از اين‌رو بازديدهاي منظم و دوره‌اي بايد به منظور كنترل وضعيت اين جداسازها انجام پذيرد.

در زمان كاربرد اين سامانه بايد در مورد ميزان دقيق ضريب اصطكاك در آن، تغييرات آن در زمان حركت و عوامل موثر بر آن به كمك آزمايش‌هاي مورد تاييد كارفرما اطمينان يافت.

نبود نيروي بازگرداننده در اين روش جداسازي، امكان بروز اشكال در عملكرد مطلوب آن را به همراه دارد. به اين منظور لازم است طراح در زمان طراحي و به كمك تحليل‌هاي دقيق به همراه آزمايش‌هاي لازم بر روي تجهيزات سامانه و با در نظر گرفتن رفتار غيرخطي اين نوع سامانه، از عملكرد آن اطمينان يافته و در صورت نياز تمهيدات مناسب براي احتراز از وقوع اشكالات احتمالي پيش‌بيني نمايد.

2-4-1- جداسازهاي اصطكاكي پاندولي

نيروي بازگرداننده در اين جداسازها (شكل 2-7) توسط جاذبه‌ي زمين و وزن سازه تامين مي شود. بخش داخلي اين جداساز از يك سطح مقعر فولاد استيل تشكيل شده است كه يك قطعه‌ي فولادي با مقاومت زياد و اصطكاك كم بر روي آن حركت مي‌كند.



شكل 2-7- جداسازهاي اصطكاكي پاندولي

شعاع انحناي اين جداساز دوره‌ي تناوب سامانه‌ي جداسازي را مشخص مي‌كند. بنابراين در صورتي كه وزن سازه تغيير كند يا با ميزان برآورد شده متفاوت باشد، دوره‌ي تناوب تغييري نخواهد كرد.

2-4-2- جداسازهاي لاستيكي با ميراگرهاي فولادي در محل جداسازي

براي ايجاد نيروي بازگرداننده در سامانه‌هاي مجهز به جداسازهاي اصطكاكي، استفادي همزمان از جداسازهاي لاستيكي پيشنهاد مي‌شود. در اين حالت نيروي بازگرداننده در سامانه توسط جداساز لاستيكي و فرايند استهلاك انرژي به كمك جداساز اصطكاكي تامين مي‌گردد. در زمان ايجاد مدل عددي براي رفتار سامانه‌ي مورد نظر بايد به نحوه‌ي تركيب اين دو رفتار توجه گردد.

2-4-3- جداسازهاي الاستيك اصطكاكي

اين جداسازها شامل چندين لايه‌ي اصطكاكي پوشيده شده با تفلون است كه با هم و با يك هسته‌ي لاستيكي در تماس هستند. هسته‌ي مركزي لاستيكي نيروي بازگرداننده را در مجموعه به وجود مي آورد و اصطكاك بين صفحات باعث از بين رفتن انرژي ارتعاشي مي‌گردد.

فصل سوم

طراحی سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای

3-1- كليات

در طراحي ساختمان‌هاي مجهز به سامانه‌هاي جداساز لرزه‌اي بايد از "دستورالعمل طراحي ساختمان‌هاي داراي جداساز لرزه‌اي" و "آيين‌نامه طراحي ساختمان‌ها در برابر زلزله - استاندارد 2800 ايران" استفاده نمود. در اين فصل از راهنما، رهنمودهايي براي طراحي يك سازه‌ي داراي جداساز لرزه‌اي و قطعات جداساز پيشنهاد مي‌گردد. در انتخاب مصالح تجهيزات جداساز، تعيين مقدار دقيق مشخصات فني آن‌ها و كنترل كيفيت آن‌ها، در صورت وجود اختلاف در درجه‌ي اول لازم است مفاد دستورالعمل و آيين‌نامه‌ي يادشده رعايت گردد.

3-2- مدلسازي و تحليل سازه‌ي جداسازي شده

3-2-1- مدل‌هاي عددي

مدل‌هاي عددي با اهداف مختلف توسط طراح ايجاد مي‌شوند. در مواردي مدل عددي تنها با شبيه‌سازي روسازه با يك جرم متمركز و سامانه‌ي جداسازي با يك فنر و ميراگر معادل ايجاد مي‌شود. اين مدل تنها با هدف شناسايي رفتار جداساز تحت بارگذاري لرزه‌اي مورد نظر ايجاد شود. در اين شرايط نيازي به مدلسازي دقيق از رفتار روسازه وجود نخواهد داشت. مدل دوبعدي با جرم‌هاي متمركز نيز براي مطالعه‌ي تاثير جداسازي بر روي رفتار طبقات و رفتار مودال روسازه ايجاد مي‌شوند. در مواردي با در نظر گرفتن پيچش در روسازه مدل پيشرفته‌تري ايجاد مي‌گردد. به كمك نرم‌افزارهاي المان محدود امكان ايجاد مدلي سه بعدي، نزديك به واقعيت و مطالعه‌ي دقيق‌تر رفتار اجزاي سازه و سامانه‌ي جداسازي مقدور شده است. توصيه مي‌شود طراح در مدلسازي و به‌كارگيري اين نرم‌افزارها به خوبي از جزييات اجرايي سازه‌ي مورد نظر آگاه بوده و با نحوه‌ي تعريف مشخصات اعضاي سازه‌اي و سامانه جداسازي، نحوه‌ي تعريف بارگذاري در نرم‌افزار و چگونگي استنتاج از نتايج تحليل آشنا باشد.

3-2-2- تحليل سازه‌ي جداسازي شده

روش‌هاي معمول در دستورالعمل به منظور محاسبه‌ي نيرو در سازه‌ي جداسازي شده عبارتند از:

- روش بار جانبي معادل؛
- روش ديناميكي؛
- روش طيف پاسخ؛
- روش تاريخچه‌ي زماني.

هر يك از روش‌هاي ذكر شده در اين بند بايد با توجه به محدوديت‌هاي مذكور در دستورالعمل به كار روند. عوامل مهم در انتخاب روش تحليل سازه از بين موارد فوق عبارت است از:

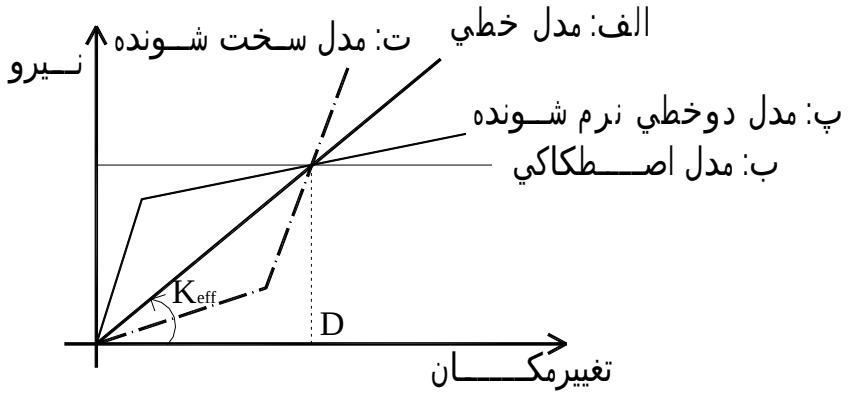
- وضعيت ساختگاه؛
- تعداد طبقات سازه؛
- ارتفاع سازه؛

- دوره‌ي تناوب طبيعي سازه‌ي جداسازي شده؛
- شكل و تركيب سازه (منظم يا نامنظم بودن سازه)؛
- ويژگي‌هاي سامانه‌ي جداسازي مانند: سختي موثر، قابليت سامانه در تامين نيروي برگرداننده به مبدا؛
- حداكثر تغييرمكان سازه؛

3-2-3- مدلسازي ديناميكي سامانه‌ي جداسازي

لازم است پاسخ تغيير مكان و نيروي جداسازها در سامانه‌ي جداسازي و پاسخ كلي سازه در تراز جداسازي با استفاده از يك مدل از سازه‌ي جداسازي شده كه امكان وارد كردن رفتار غيرخطي نيرو- تغييرمكان تجهيزات جداسازي و سامانه‌ي مقاوم در برابر نيروهاي جانبي را دارد محاسبه گردند. در اين زمينه لازم است مفاد بند 6-5 دستورالعمل رعايت گردد.

چهارگونه رفتار براي پاسخ نيرو- تغييرمكان سامانه‌هاي جداسازي تعريف مي‌شود. شكل زير اين رفتارها را به طور ايده‌آل با تغييرمكان طراحي مشابه (D) براي زلزله‌ي طراحي نشان مي‌دهد.



شكل 3-1- مدل‌هاي رفتاري جداسازها در زمان تحريك

نمودار "الف" رفتاري خطي با سختي موثر و دوره‌ي تناوب طبيعي يكسان را براي تمام سطوح بارگذاري زلزله نشان مي‌دهد. نيروي منتقل شده به روسازه همواره متناسب با تغييرمكان تراز جداسازي است.

در نمودار "ب"، رفتار يك سامانه‌ي جداسازي اصطكاكي ايده‌آل نمايش داده شده است. پاسخ در اين سامانه با ضريب اصطكاكي و در نتيجه نيروي اصطكاكي موجود بر روي تكيه‌گاه‌ها كنترل مي‌گردد. با افزايش نيروي زلزله دوره‌ي تناوب موثر افزايش مي‌يابد در حالي كه حداكثر نيروي منتقل شده به سازه به مقدار ثابتي محدود است. با توجه به عدم وجود نيروي بازگرداننده به مبدا اين سامانه‌ها اغلب در تركيب با سامانه‌اي كه اين قابليت را تامين نمايد مانند جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي استفاده مي‌شوند.

نمودار "پ" رفتار دوخطي نرم شونده را نشان مي‌دهد. اين سامانه در ابتدا سخت (با دوره‌ي تناوب موثر كوتاه) بوده و با افزايش نيروي زلزله نرم‌تر مي‌شود (افزايش دوره‌ي تناوب موثر). معمولا جداسازهاي لاستيكي با ميرايي زياد (HDRB)، جداسازهاي لاستيكي با هسته‌ي سربي (LRB) يا جداسازهاي اصطكاكي اين گونه رفتار را از خود نشان مي‌دهند.

نمودار "ت" رفتار يك سامانه‌ي سخت شونده را نشان مي‌دهد. اين گونه سامانه‌ها سختي اوليه‌ي كمي دارند. با افزايش ميزان پاسخ تغيير شكل آن‌ها، سختي آن‌ها افزايش مي يابد.

در هر يك از نمودارهاي بالا لازم است به رفتار سامانه‌ي جداسازي قبل و بعد از تغيير مكان طراحي توجه گردد.

حداقل تغيير مكان جانبي طراحي جداسازها در زلزله و نيروهاي موجود بر روي آن‌ها بايد بر اساس مشخصات تغيير شكلي اين سامانه‌ها تعيين شده باشد.

در مدلسازي، طراح بايد ضوابط مندرج در دستورالعمل در اين زمينه را در محاسبات منظور نمايد. مدل ايجاد شده در صورت نياز بايد با ضوابط و آيين‌نامه‌هاي طراحي موجود مطابقت داشته باشد.

طراح بايد در تعيين مشخصات مصالح در مدل، در تعريف مشخصه‌هاي مدل و در استنتاج از نتايج، عواملي همچون تفاوت رفتار مدل با رفتار سازه‌ي واقعي، نوسانات و عدم قطعيت در مشخصات مصالح، عدم قطعيت در رفتار اعضا، بار ورودي و ساير موارد را مدنظر قرار دهد.

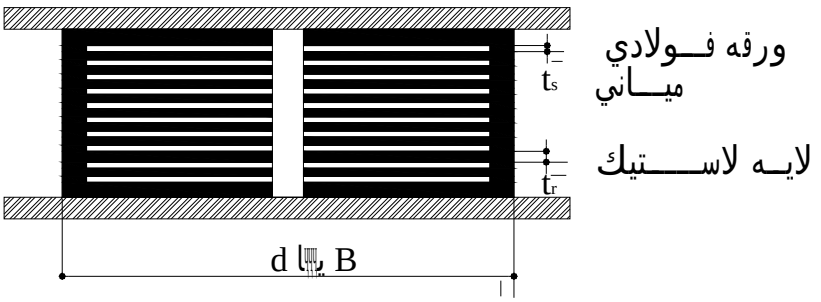
مدل رياضي در نظر گرفته شده براي اين جداسازها بايد با توجه به رفتار نيرو- تغييرمكان آن‌ها كه بر اساس نتايج آزمايشگاهي مندرج در بخش "آزمايش‌هاي لازم براي سامانه‌ي جداسازي" در "دستورالعمل" و يا "آزمايش‌هاي مورد نياز" در اين راهنما مشخص شده و اصلاح گردد. اين مدلسازي بايد به گونه‌اي صورت گيرد تا جزييات زير را در برگرفته باشد:

۱- توزيع جداسازها در پلان را در نظر گرفته باشد.
۲- با توجه به بدترين شرايط قرارگيري جرم در روسازه، تغييرمكان افقي و پيچشي روسازه را محاسبه كند.
۳- نيروهاي واژگوني و برشنش را بر روي هر يك از جداسازها محاسبه كند.
۴- اگر رفتار جداسازها تابعي از اثر بار قائم، بار دوطرفه و سرعت بارگذاري باشد اين اثرات را در نظر گيرد.

3-3- روابط پيشنهادي براي طراحي واحدهاي جداساز

3-3-1- طراحي جداسازهاي لاستيكي با ميرايي زياد و جداسازهاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي

عوامل اصلي درطراحي تكيه‌گاه‌هاي لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي عبارتند از:



شكل 3-2- مقطع جداساز لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي

ابعاد جداساز در شكل كه در طراحي مطرح هستند عبارتند از:

d : قطر در جداساز دايره‌اي

B : طول ضلع در جداساز چهارگوش

t_r : ضخامت يك لايه‌ي لاستيك

N : تعداد لايه‌هاي لاستيك

t_s : ضخامت ورقه‌هاي فولادي.

گام‌هاي پيشنهادي براي طراحي اين جداسازها به ترتيب زير است:

۱- تعيين وزن سازه و نيروي قايم بر روي جداساز (P_{DL+LL}).

۲- تعيين دوره‌ي تناوب طبيعي اصلي سازه‌ي جداسازي شده (T_D).

- در تعيين بار قايم بر روي جداساز، تركيب بار مرده، بار زنده و بار لرزه‌اي بايد مورد توجه قرار گيرد.

- دوره‌ي تناوب اصلي طراحي سازه T_D به مشخصات ساختگاه بستگي دارد. در طراحي به عنوان يك معيار كلي حداقل مقدار عددي براي اين عامل حدود 3 برابر دوره‌ي تناوب اصلي نوساني سازه‌ي جداسازي نشده (سازه‌ي با پايه‌هاي ثابت) است.

۳- با داشتن دوره‌ي تناوب طبيعي و وزن سازه سختي جانبي موثر جداساز K_{eff} محاسبه مي شود.

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

۴- تعيين حداكثر مقادير تغييرشكل نسبي برشي موثر (γ_{eff})، مدول يانگ (E) و مدول برشي (G) براي لاستيك با استفاده از نتايج حاصل از آزمايش نمونه‌ها.

مقادير تجربي كه در اين راهنما به عنوان مقادير اوليه‌ي طراحي پيشنهاد مي‌شوند عبارتند از:

- تغييرشكل نسبي برشي قابل تحمل لاستيك $\gamma \approx 100\text{-}150$(درصد)

- مدول برشي بستگي به تركيب لاستيك دارد و در حدود G=0/69-0/86MPa است.

۵- تعيين نسبت ميرايي معادل موثر ξ_{eff}. كاربرد مواد پركننده مانند دوده‌ي كربن در لاستيك باعث افزايش ميرايي در رفتار ديناميكي جداساز و دستيابي به جداسازهاي لاستيكي با ميرايي زياد مي‌شود. در اين حالت ميرايي تا حد 15 تا 20 درصد قابل دسترسي است.

۶- تعيين فشار مجاز بر روي جداساز (σ_c). بر اساس نتايج تجربي اين مقدار در حدود6,9 تا 7,84 نيوتن بر ميليمترمربع پيشنهاد

مي‌شود. بديهي است اين مقادير بايد بر اساس آزمايش يا گزارش تاييد شده‌ي سازنده‌ي قطعات تعيين شود.

۷- تعيين تغييرمكان طرح (D_D) با استفاده از روابط و روش‌هاي مندرج در دستورالعمل. مقدار تغييرمكان طرح (D_D)، به شدت لرزه‌خيزي منطقه و ضريب طيفي بستگي دارد كه تابعي از مختصات ساختگاه، دوره‌ي تناوب اصلي نوسان سازه و ميرايي سامانه‌ي جداسازي است.

۸- ضخامت جداساز لاستيكي صرفنظر از ورق‌هاي فولادي بالا و پايين آن، بر اساس تغيير مكان طرح و حداكثر تغيير شكل نسبي برشي قابل تحمل توسط لاستيك به شرح زير محاسبه مي‌شود:

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

۹- براي محاسبه‌ي ابعاد جداساز همچون ضخامت لايه‌هاي لاستيكي بايد عامل ضريب شكل ($S = \frac{A}{A_f}$) براي جداساز از رابطه‌ي زير محاسبه شود:

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

در اين رابطه:

K_v= سختي قايم بالشتك

K_h= سختي افقي بالشتك

G= مدول برشي در محدوده‌ي 0/4 تا 1/0 مگاپاسكال

E= مدول يانگ در محدوده‌ي 1/5 تا 5/0 مگاپاسكال

E_c= مدول فشاري مجموعه‌ي ورقه‌هاي لاستيكي و فولادي، $E_c=E(1+2kS^2)$

A= سطح مقطع كامل بالشتك (تحت بار)

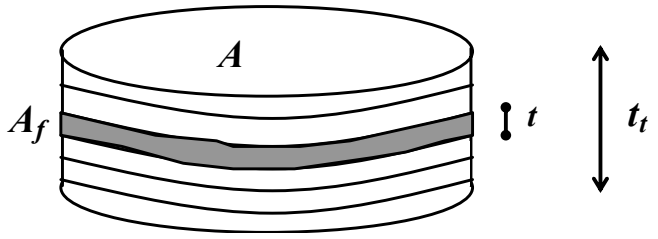
t_t= كل ارتفاع لايه‌هاي لاستيك

k= ضريب اصلاح در محدوده‌ي 1 تا 0/5

S= ضريب شكل= A/A_f

A_f= سطح خارج از بارگذاري در اطراف يك لايه از بالشتك توضيح در شكل (3-3).

مشخصات مربوط به رفتار لاستيك همچون مدول يانگ يا مدول برشي، توسط كارخانه‌ي سازنده‌ي لاستيك ارايه خواهد شد. جدول ارايه شده در پيوست شماره‌ي 2، يك نمونه از اين اطلاعات را ارايه مي‌كند.



شكل 3-3- توصيف عامل‌هاي A و A_f

۱۰- مساحت جداساز براي تعيين ضخامت لايه‌ي لاستيكي و ابعاد آن از تعيين حداكثر سه مقدار محاسبه شده (A_1, A_2, A_3) در طي عمليات به دست مي‌آيد.

با داشتن نيروي قايم طراحي و تنش فشاري مجاز، مقدار اوليه براي مساحت جداساز (A_1) محاسبه مي شود:

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

نيروي قايم از مجموع بار مرده و زنده ($W=P_{DL+LL}$) محاسبه مي‌شود.

۱۱- مساحت A_2 بر اساس محدوديت تغييرشكل نسبي برشي تحت بار قايم P_{DL+LL} به روش زير محاسبه مي‌شود:

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

مقدار در نظر گرفته شده براي تغييرشكل نسبي برشي لاستيك تحت اين بار $\gamma_c\big|_{DL+LL}$ بايد در نامعادله‌ي زير صدق كند:

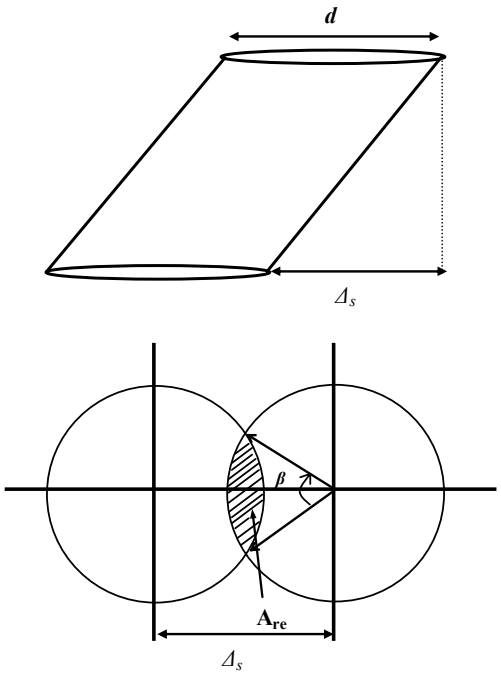
$$\gamma_c\big|_{DL+LL} \leqslant \frac{\varepsilon_b}{3}$$

ε_b عبارتست از حداكثر تغيير شكل نسبي كششي لاستيك در زمان گسيختگي.

۱۲- براي محاسبه‌ي طول و عرض بالشتك چهارگوش (L, B) يا قطر بالشتك دايره‌اي (d)، حداقل مساحت سطح مقطع A_{sf} براي احتراز از گسيختگي در برش از رابطه‌ي زير محاسبه مي‌شود:

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

ابعاد بالشتك بر اساس A_{sf} تعيين و مقدار سوم براي سطح مقطع A_3 محاسبه مي‌گردد:



شكل3-4- معرفي عوامل Δ_s ، A_{re} ،β و d

$A_3 = A_{re} = A.(1 \quad \frac{\Delta_s}{B})$ براي جداسازهاي چهارگوش

$A_3 = A_{re} = d^2 \frac{(\beta \quad \sin\beta)}{4}$ براي جداسازهاي دايره‌اي

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

در اين روابط Δ_s تغيير مكان جانبي بالشتك، B عرض پيشنهادي در امتداد موازي Δ_s در بالشتك‌هاي چهارگوش و d قطر پيشنهادي بالشتك‌هاي دايره‌اي است.

۱۳- سطح مقطع طراحي بالشتك برابر است با حداكثر سه مقدار فوق:

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

۱۴- برآورد ضريب شكل بالشتك (S) با استفاده از سختي قايم k_v و سختي افقي k_h

$6S^2 = \frac{K_v}{K_h}$ براي جداسازهاي دايره‌اي

$6.73S^2 = \frac{K_v}{K_h}$ براي جداسازهاي چهارگوش

حداقل مقدار توصيه شده براي نسبت سختي ذكر شده $\frac{K_v}{K_h}$ برابر است با 400.

۱۵- ضخامت يك لايه‌ي لاستيك t محاسبه مي شود:

$t = \frac{d}{4S}$ براي جداسازهاي دايره‌اي

$$t = \frac{B.L}{2(L+B).S}$$ براي جداسازهاي چهارگوش

در اين روابط d قطر جداساز است.

- با داشتن مقادير t_r و t_t تعداد لايه‌هاي لاستيك برابر با $N = \frac{t_t}{t_r}$ محاسبه مي‌شود.

۱۶- ضخامت ورقه‌هاي فولادي t_s با توجه به ميزان تنش تسليم فولاد مصرفي از رابطه‌ي زير محاسبه مي‌شود:

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

بايد توجه كرد كه ضخامت زياد فولاد موجب افزايش قابل توجه وزن جداساز و ايجاد مشكل در حمل و نصب آن مي‌شود. اين مقدار در حدود 2/0 تا 3 ميلي‌متر توصيه مي‌شود.

در اين رابطه، t_i و t_{i+1} ضخامت لايه‌هاي بالا و پايين ورق فولادي و f_y تنش مجاز فولاد هستند.

17- كمانش جداساز در مواردي مانند جداسازي سازه‌هاي نسبتا سبك اهميت بيش‌تري مي‌يابد. متوسط تنش ايجاد شده در جداساز $\frac{P}{A}$ نبايد از تنش بحراني (σ_{cr}) تجاوز كند:

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

R = شعاع ژيراسيون ($\frac{b\sqrt{3}}{2}$ براي جداساز چهارگوش و $\frac{d}{2}$ براي جداساز دايره‌اي)

18- حداكثر تغيير شكل نسبي برشي جداساز (γ_{max}) بايد محدود گردد.

با در نظر گرفتن ضريب ايمني 3 تحت بارهاي قايم اين مقدار به رابطه‌ي زير محدود مي‌شود:

$$\gamma_c \approx 6S\frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leqslant \frac{\varepsilon_b}{3}$$

در اين رابطه:

ε_b= حداقل تغيير شكل نسبي كششي كه لاستيك در آن حد پاره مي شود.

E_c= مدول فشاري جداساز، $E_c=E(1+kS^2)$

k و E براي سفتي مشخصي از لاستيك را مي‌توان از طريق آزمايش يا از جداولي مانند جدول موجود در پيوست شماره‌ي 2 كه توسط توليدكننده تاييد و ارايه مي‌شوند به دست آورد.

19- براي طراحي در حد نهايي، ضريب اطمينان 1/33 را در نظر گرفته مي‌شود.

بر اين اساس حداكثر تغيير شكل نسبي برشي به خاطر تركيب فشار (γ_c)، پيچش (γ_t) و بار جانبي (γ_{eq}) بايد كم‌تر از $\frac{\varepsilon_b}{3}$ باشد.

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

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

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

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

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

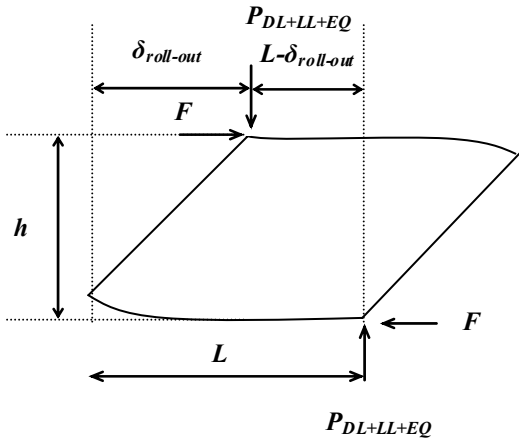
$P_{DL+LL+EQ}$ عبارتست از بار قايم روي جداساز با در نظر گرفتن نيروي زلزله.

در اين حالت براي سطح مقطع موثر جداساز (A) مقدار كاهش يافته A_2 يا A_{re} در نظر گرفته مي‌شود.

20- براي پرهيز از چرخش جداساز (Rollout)، تغيير مكان جداساز تحت زلزله بايد شرايط زير را ارضا نمايد:

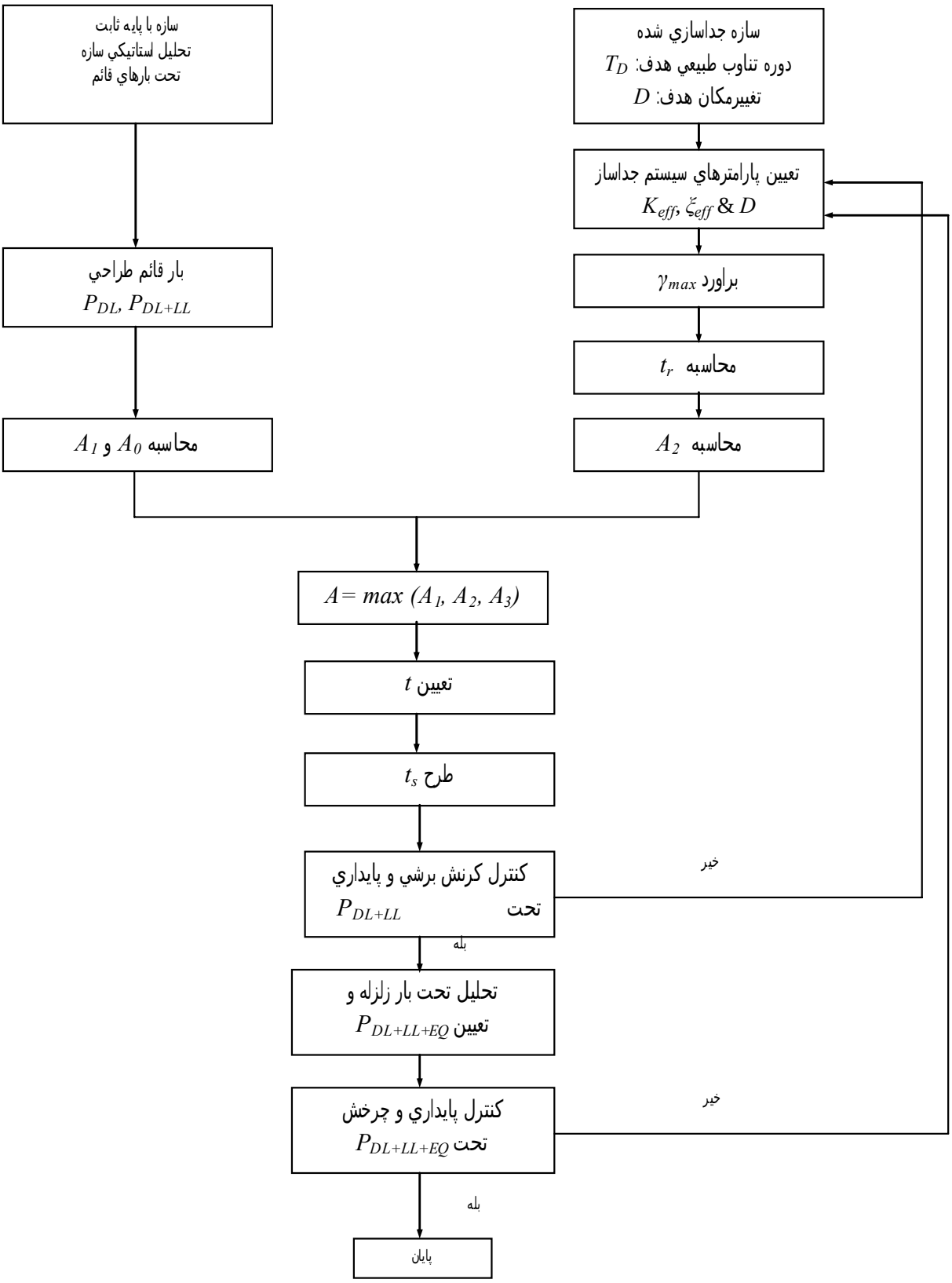
$$D \leqslant \delta_{roll\ out} = \frac{P_{DL+LL+EQ}.L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff}\,h}$$

h ارتفاع كل جداساز، k_{eff} سختي موثر جداساز و L بعد كوچك‌تر جداساز يا قطر آن است.



شكل 3-5- نمايش عامل‌هاي مورد نياز در كنترل چرخش جداساز

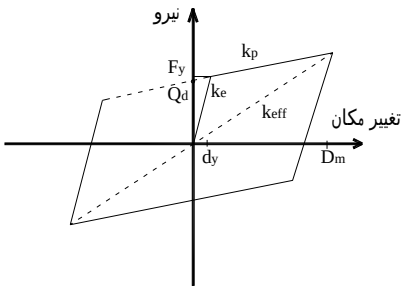
گام‌هاي طراحي ذكر شده بالا در نمودار شماره‌ي 3-6 نمايش داده شده‌اند.



شكل 3-6- نمودار طراحي جداساز لاستيكي با ميرايي زياد و جداساز لاستيكي با ورقه‌هاي فولادي

3-3-2- طراحي جداسازهاي لاستيكي با هسته‌ي سربي

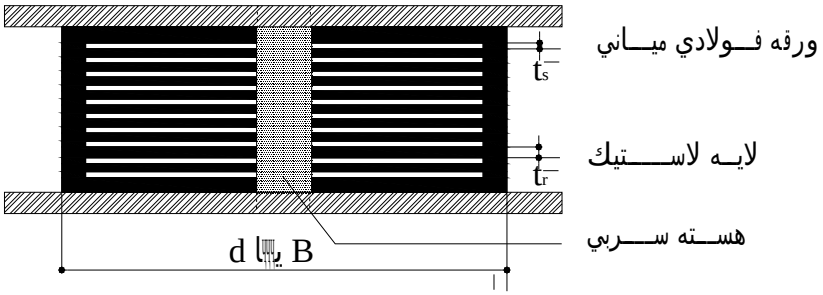
تكيه‌گاه‌هاي لاستيكي با هسته‌ي سربي با نمايش رفتاري دوخطي با نرم شدگي تحت بارهاي نسبتا شديد لرزه‌اي، عملكرد مطلوبي در زمينه‌ي كنترل توام لرزه‌هاي خفيف و شديد از خود نشان داده‌اند. هسته‌ي سربي اين تكيه‌گاه‌ها به همراه سختي بخش لاستيكي كه در مقايسه با سختي بخش سربي بسيار اندك است، تامين كننده‌ي سختي اوليه‌ي مورد نياز در نمودار نيرو- تغييرمكان اين تكيه‌گاه‌ها است. با افزايش ميزان بارگذاري، اين بخش به حد تسليم رسيده و سختي بسيار كمي را در مقابل بار جانبي از خود نشان مي‌دهد. اين سختي به همراه سختي بخش لاستيكي تكيه‌گاه، سختي ثانويه را در نمودار نيرو- تغييرمكان از خود نشان مي‌دهد. اين رفتار در شكل 3-7 نشان داده شده است.



شكل 3-7- رفتار غيرخطي جداساز لاستيكي با هسته‌ي سربي

با اين ديدگاه طراحي اين نوع از تكيه‌گاه ها را مي‌توان به دو بخش تقسيم كرد:

- طراحي هسته‌ي سربي؛
- طراحي بخش لاستيكي.



شكل 3-8- ساختمان جداساز لاستيكي با هسته‌ي سربي

بسياري از گام‌هاي طراحي اين جداساز شامل مواردي است كه در بخش طراحي جداساز لاستيكي قيد گرديده است. توصيه‌هاي زير در مورد نحوه‌ي طراحي اين جداساز ارايه مي‌شوند:

1- تعيين وزن سازه و نيروي قايم بر روي جداساز (P_{DL+LL}).

2- تعيين دوره‌ي تناوب طبيعي هدف سازه‌ي جداسازي شده (T_D).

- در تعيين بار قايم بر روي جداساز، تركيب بار مرده، بار زنده و بار لرزه‌اي بايد مورد توجه قرار گيرد.

3- با داشتن دوره‌ي تناوب طبيعي و وزن سازه، سختي جانبي موثر جداساز K_{eff} محاسبه مي شود.

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

4- تعيين حداكثر مقادير تغيير شكل نسبي برشي (γ_{eff})، مدول يانگ (E) و مدول برشي (G) براي لاستيك با استفاده از نتايج حاصل از آزمايش نمونه‌ها.

5- تعيين ميرايي معادل موثر ξ_{eff}.

6- تعيين فشار مجاز بر روي جداساز (σ_c).

7- تعيين تغييرمكان طرح (D_D) با استفاده از روابط و روش‌هاي مندرج در دستورالعمل. مقدار تغيير مكان طرح (D_D)، به شدت لرزه‌خيزي منطقه و ضريب طيفي بستگي دارد كه تابعي از مختصات ساختگاه، دوره‌ي تناوب اصلي نوسان سازه و ميرايي سامانه‌ي جداسازي است.

8- ضخامت جداساز لاستيكي صرفنظر از ورق‌هاي فولادي بالا و پايين آن، بر اساس اين تغيير مكان و تغيير شكل نسبي برشي حداكثر قابل تحمل توسط لاستيك به شرح زير محاسبه مي‌شود:

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

9- طراحي هسته‌ي سربي. هسته‌ي سربي براي تامين سختي اوليه‌ي مورد نياز در تكيه‌گاه و از بين بردن انرژي ارتعاشي در زلزله‌هاي نسبتا شديد و شديد از طريق فرايند تسليم سرب طراحي مي شود. در طراحي هسته‌ي سربي با در نظر گرفتن سختي پيش از تسليم و سختي پس از تسليم و رفتار دو خطي نيرو- تغييرمكان، بين مقاومت مشخصه (Q_d) با ميزان انرژي مستهلك شده (W_d) يا نسبت ميرايي موثر معادل (ξ_{eff}) رابطه‌ي زير برقرار مي‌گردد:

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

در اين روابط:

$Q_d = A_P \times f_{py}$ = مقاومت مشخصه

$f_{py} \approx 10/5$ مگاپاسكال = تنش تسليم سرب

A_P = سطح مقطع هسته‌ي سربي

d_y = تغيير مكان در لحظه‌ي تسليم

K_{eff} = سختي موثر معادل جداساز

D_m و d_y بر روي شكل 3-7 نمايش داده‌شده‌اند

مقدار دقيق Q_d با تكرار سعي و خطا به شرح زير قابل محاسبه است.

با فرض اينكه d_y در مقايسه با D_m بسيار كوچك است، مقدار اوليه براي Q_d از طريق رابطه‌ي زير به دست مي آيد:

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

با داشتن اين مقدار، رابطه‌ي سختي ثانويه با سختي معادل عبارتست از:

$k_{eff}D_m=Q_d+k_pD_m$

در اين رابطه k_p برابر است با سختي ثانويه جداساز.

مقدار دقيق d_y با سعي و خطا قابل محاسبه است. با توجه به اينكه d_y در مقايسه با D_m كوچك است، در محاسبات، مقدار تقريبي اوليه براي Q_d قابل استفاده است.

لازم است تا ابعاد هسته‌ي سربي تحت رابطه‌ي زير كنترل شوند:

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

در اين رابطه:

h_p= ارتفاع موثر هسته‌ي سربي

Φ_p= قطر هسته‌ي سربي

10- ضريب شكل تعيين مي‌شود:

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

11- با داشتن نيروي قايم طراحي و تنش فشاري مجاز ، مقدار اوليه براي مساحت جداساز (A_1) محاسبه مي شود:

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

نيروي قايم از مجموع بار مرده و زنده ($W=P_{DL+LL}$) محاسبه مي‌شود.

12- مساحت A_2 بر اساس محدوديت تغيير شكل نسبي برشي تحت بار قايم P_{DL+LL} به روش زير محاسبه مي‌شود:

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

بايد توجه كرد كه مقدار در نظر گرفته شده براي $\gamma_c\big|_{DL+LL}$ در نامعادله‌ي زير صدق كند:

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

13- سختي پس از تسليم تكيه‌گاه معمولا بيش‌تر از سختي تكيه‌گاه بدون هسته‌ي سربي k_h است. اين سختي به شكل زير معرفي مي‌شود:

$k_p=f_1 k_h$

f_1 ضريب منظور كننده‌ي اثر هسته‌ي سربي بوده و هميشه از 1 بزرگ‌تر است.

رابطه‌ي ديگر مرتبط كننده‌ي k_h و k_p عبارتست از:

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

$k_p=K_{eff}$-

14- براي محاسبه‌ي طول و عرض جداساز چهارگوش(L, B) يا قطر جداساز دايره‌اي(d)، حداقل مساحت سطح مقطع A_{sf} از رابطه‌ي زير محاسبه مي‌شود:

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

از اينجا مقدار سوم براي سطح مقطع A_3 محاسبه مي‌گردد:

$$A_3 = A_{re} = A.(1 \quad \frac{\Delta_s}{B})$$ براي جداسازهاي چهارگوش

$$A_3 = A_{re} = d^2 \frac{(\beta \quad \sin\beta)}{4}$$ براي جداسازهاي دايره‌اي

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

در اين روابط Δ_s تغيير مكان جانبي جداساز، B عرض پيشنهادي در امتداد موازي Δ_s در جداسازهاي چهارگوش و d قطر پيشنهادي جداسازهاي دايره‌اي است.

14- سطح مقطع طراحي جداساز برابر است با حداكثر سه مقدار فوق:

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

15- برآورد ضريب شكل جداساز (S) با استفاده از سختي قايم k_v و سختي افقي جداساز k_h

$$6S^2 = \frac{K_v}{K_h}$$ براي جداسازهاي دايره‌اي

$$6.73S^2 = \frac{K_v}{K_h}$$ براي جداسازهاي چهارگوش

حداقل مقدار توصيه شده براي نسبت سختي ذكر شده $\frac{K_v}{K_h}$ برابر است با 400.

16- ضخامت يك لايه‌ي لاستيك t_r محاسبه مي شود:

$$t_r = \frac{d}{4S}$$ براي جداسازهاي دايره‌اي

$$t_r = \frac{B.L}{2(L + B).S}$$ براي جداسازهاي چهارگوش

در اين روابط d قطر جداساز است.

- با داشتن مقادير t_r و t_t تعداد لايه‌هاي لاستيك برابر با $N = \frac{t_t}{t_r}$ محاسبه مي شود.

18- ضخامت ورقه‌هاي فولادي t_s با رعايت محدوده‌ي مجاز و مناسب محاسبه مي‌شوند:

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

در اين رابطه، t_i و t_{i+1} ضخامت لايه‌هاي بالا و پايين ورق فولادي و f_y تنش مجاز فولاد هستند.

مواد مصرفي براي تامين ميرايي در جداساز بر روي سختي جداساز اثر دارد. در زمان طراحي و ساخت بايد به ميزان مواد مصرفي و تاثير آن‌ها توجه نمود. همچنين لازم است تا در زمان طراحي كنترل‌هاي لازم براي پرهيز از كمانش يا ناپايداري جداساز صورت پذيرد.

19- كمانش جداساز در مواردي مانند جداسازي سازه‌هاي نسبتا سبك اهميت بيش‌تري مي‌يابد. متوسط تنش ايجاد شده در جداساز $\frac{P}{A}$ نبايد از تنش بحراني (σ_{cr}) تجاوز كند:

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

R = شعاع ژيراسيون ($\frac{b\sqrt{3}}{2}$ براي جداساز چهارگوش و $\frac{d}{2}$ براي جداساز دايره‌اي)

20- حداكثر تغيير شكل نسبي برشي جداساز (γ_{max}) بايد محدود گردد.

با در نظر گرفتن ضريب ايمني 3 تحت بارهاي قايم اين مقدار را به رابطه‌ي زير محدود نموده است:

$$\gamma_c \approx 6S\frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leqslant \frac{\varepsilon_b}{3}$$

در اين رابطه:

ε_b= حداقل تغيير شكل نسبي كششي كه لاستيك در آن حد پاره مي شود.

E_c= مدول فشاري جداساز، $E_c=E(1+kS^2)$

k و E براي ميزان سفتي مشخصي از لاستيك را مي‌توان با آزمايش و از جداولي مانند جدول مندرج در پيوست شماره‌ي 2 به دست آورد.

21- براي طرح در حالت نهايي ، ضريب اطمينان 1/33 توصيه مي‌شود.

در اين حالت حداكثر تغيير شكل نسبي برشي به خاطر تركيب فشار (γ_c)، پيچش (γ_t) و بار جانبي (γ_{eq}) بايد كم‌تر از $\frac{\varepsilon_b}{3}$ باشد.

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

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

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

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

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

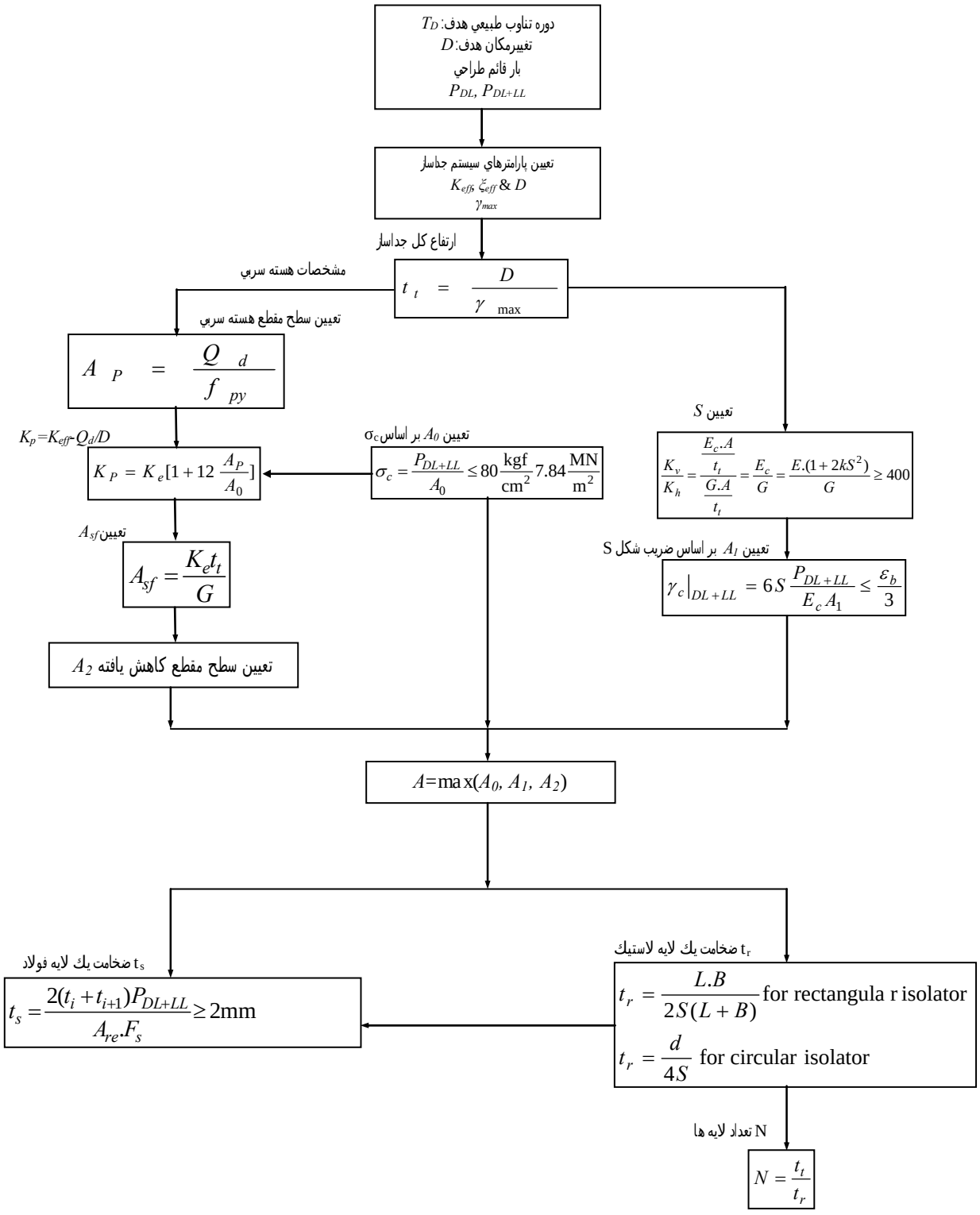
$P_{DL+LL+EQ}$= بار قايم روي جداساز با در نظر گرفتن نيروي زلزله.

در اين حالت سطح مقطع موثر جداساز (A) كاهش يافته و مقدار كاهش يافته A_2 يا A_{re} در نظر گرفته مي‌شود.

22- براي پرهيز از چرخش جداساز (Rollout)، تغييرمكان جداساز تحت زلزله بايد شرايط زير را ارضا نمايد:

$$D \leqslant \delta_{roll\ out} = \frac{P_{DL+LL+EQ}.L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff}\,h}$$

h ارتفاع كل جداساز، k_{eff} سختي موثر جداساز و L بعد كوچك‌تر جداساز يا قطر آن است.



شكل 3-9- نمودار طراحي جداساز لاستيكي با هسته‌ي سربي