جمهوری اسلامی ایران

وزارت نفت

راهنمای ارزیابی لرزه‌ای

تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت

صنعت نفت
Oilindustry.ir
CLICK HERE

معاونت مهندسی و نظارت بر طرحها

نشریه شماره ۴۱۰

۱۳۹۰

بنام آفریدگار

راهنمای ارزیابی لرزه‌ای
تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت

وزارت نفت
معاونت مهندسی و نظارت بر طرحها
۱۳۹۰

بسمه تعالی
معاونت مهندسی و نظارت برطرحها

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نفت

تاریخ : ۹۰/۳/۱۶
شماره : ۹۰۲/۸۵۲۴۶/ ۰۳
پیوست :

به: معاونین محترم وزارت نفت
مدیران عامل محترم شرکتهای اصلی و فرعی

ابلاغ راهنمای ارزیابی لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت

باسلام

احتراماً، به استناد بند "ج" از فصل چهارم نظام فنی و اجرایی کشور، مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷ه مورخ ۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران و به منظور افزایش ایمنی سازه‌ها و تاسیسات موجود صنعت نفت، به پیوست نشریه شماره ۰۴۱ با عنوان «راهنمای ارزیابی لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت» جهت اطلاع ارسال می‌گردد در صورتی که مجریان محترم مبانی بهتر و یا نظرات خاصی درخصوص راهنمای مذکور دارند، مراتب را جهت بررسی و اعمال در ویرایش‌های بعدی به این معاونت ارسال نمایند.

حمدا... محمدنژاد
معاون وزیر نفت در امور مهندسی و نظارت بر طرحها

عنوان و نام پدیدآور : راهنمای ارزیابی لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت / [تهیه‌کننده] وزارت نفت، معاونت مهندسی و [نظارت بر طرحها].
مشخصات ناشر : تهران: وزارت نفت، معاونت مهندسی و نظارت بر طرحها، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری : ۱۱۸ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۹۰۱۲۹-۱-۶
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
یادداشت : واژه‌نامه
موضوع : زلزله — مهندسی
موضوع : ساختمان‌های صنعتی — اثر زلزله
موضوع : زلزله — پیش‌بینی‌های ایمنی
شناسه افزوده : ایران. وزارت نفت. معاونت مهندسی و نظارت بر طرحها
ردهبندی کنگره : TA۶۵۴/۶/ر ۱۷ ۱۳۹۰
رده بندی دیویی : ۶۲۴/۱۷۶۲
شماره کتابشناسی ملی : ۲۳۲۷۹۴۳

شابک ۹۷۸-۶۰۰-۹۰۱۲۹-۱-۶ ISBN 978-600-90129-1-6

راهنمای ارزیابی لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت

تهیه‌کننده: معاونت مهندسی و نظارت بر طرحهای وزارت نفت

ناشر: معاونت مهندسی و نظارت بر طرحهای وزارت نفت
چاپ اول: ۵۰۰ نسخه، ۱۳۹۰
قیمت: ۵۰۰۰۰ ریال

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.
ذکر تمام یا قسمتی از این اثر تنها با ذکر نام ناشر مجاز است.

پیش‌گفتار

کشور ایران در منطقه‌ای از جهان با خطر نسبی زلزله قابل توجه قرار گرفته است. بر این اساس توجه به عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تاسیسات مختلف از اهمیت بسزایی برخوردار است. وجود منابع متعدد نفت و گاز در کشور موجب گسترش مجتمع‌ها و تاسیسات مرتبط با صنایع نفت، گاز و پتروشیمی شده است که تراکم بسیاری از این تاسیسات در مناطق لرزه‌خیز سبب افزایش اهمیت بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات موجود در این مجتمع‌ها شده است. این در حالی است که آسیب‌های وارده بر سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت، محدود به خسارت‌های مستقیم فیزیکی نمی‌شود و تبعات گسترده غیرمستقیمی چون خسارت‌های اقتصادی ناشی از وقفه در عملیات، انفجار و آتش‌سوزی و آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز در بر خواهد داشت. بر این اساس توجه ویژه به عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت امری ضروری به شمار می‌رود.

عملکرد لرزه‌ای سازه و تاسیسات از دو جنبه طراحی سازه‌های جدید و ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود قابل بررسی است. سازه‌ها و تاسیسات مربوط به صنعت نفت از لحاظ تنوع عملکرد، سیستم باربری و رفتار لرزه‌ای، قابل مقایسه با سازه‌های ساختمانی نیستند. بر این اساس استفاده از آیین‌نامه‌ها و ضوابط ساختمانی متداول طراحی به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه-ها و تاسیسات موجود کافی نمی‌باشد. از این رو امور فنی و مهندسی زلزله معاونت مهندسی و نظارت بر طرح‌های وزارت نفت، توسعه راهنماها، دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های طراحی و ارزیابی لرزه‌ای تاسیسات صنعت نفت را در دستور کار خود قرار داده است.

مجموعه پیش رو به عنوان راهنمای ارزیابی لرزه‌ای برای سازه‌ها و تاسیسات موجود صنعت نفت تهیه شده است و هدف از تهیه آن راهنمایی مهندسان و کارشناسان متخصص در ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها و تاسیسات موجود صنعت نفت می باشد. در تهیه این راهنما تنها به مراجع بین‌المللی بسنده نشده است و آیین‌نامه‌های به‌روز معتبر و متناسب با شرایط طراحی و اجرایی کشور نیز در بازنویسی آن لحاظ شده است. به امید اینکه این مجموعه برای راهنمایی مهندسان در ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت و یا تاسیسات مشابه مفید واقع شود.

معاونت مهندسی و نظارت بر طرح‌ها

برگردان از متن اصلی و بازنویسی

دکتر مهران سید رزاقی

اعضای کمیته تهیه متن اولیه راهنما به ترتیب حروف الفبا:

دکتر مهران سید رزاقی	عضو هیات علمی دانشگاه
مهندس علی طاهری	وزارت نفت
مهندس محمدرضا منشوری	وزارت نفت

اعضای کمیته بازنگری و تهیه متن نهایی راهنما به ترتیب حروف الفبا:

دکتر مهران سید رزاقی	عضو هیات علمی دانشگاه
دکتر وحید شریف	وزارت نفت
مهندس علی طاهری	وزارت نفت
مهندس محمدرضا منشوری	وزارت نفت

تدوین نهایی:

مهندس محمدرضا منشوری	وزارت نفت

اعضای کمیته بازنگری و تهیه متن نهایی راهنما از زحمات آقای دکتر نیکنام در بازخوانی و ارائه رهنمودهای ارزنده به‌ویژه در فصل سوم قدردانی می‌نمایند.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: کلیات

1-1 گستره 1

2-1 آیین‌نامه‌ها، استانداردها و مشخصات فنی وابسته 2

3-1 ساختار راهنما 3

فصل دوم: فلسفه طراحی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

1-2 کلیات 5

2-2 ملاحظات طراحی سازه‌های جدید 5

3-2 ملاحظات ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌های موجود 6

4-2 محدودیت‌ها 6

5-2 اهداف عملکردی و طبقه‌بندی براساس کاربری 8

6-2 روش طراحی برای تاسیسات جدید 10

7-2 بازرسی و نظارت بر اجرا 12

8-2 کنترل کیفیت 12

9-2 بازنگری فراگیر 13

فصل سوم: مخاطرات لرزه‌ای ساختگاه

1-3 کلیات 15

2-3 جنبش زمین 15
3-3 ناپایداری‌های ژئوتکنیکی 23
4-3 سونامی و سیچ 25
فصل چهارم: ارزیابی چشمی تجهیزات موجود
1-4 کلیات 27
2-4 زمینه انجام ارزیابی 27
3-4 روش کلی 28
4-4 ملاحظات مربوط به سیستم 31
5-4 ارزیابی تجهیزات 32
6-4 محدودیت‌ها 55
فصل پنجم : ارزیابی تحلیلی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات موجود
1-5 کلیات 57
2-5 روشهای ارزیابی 57
3-5 روش RMPP در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای 64
4-5 روش ارزیابی خطر لرزه‌ای برای تجهیزات موجود 64
5-5 روش تحلیلی در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات موجود 65
فصل ششم : ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخازن رو زمینی
1-6 کلیات 71
2-6 عملکرد مخازن با کف تخت در زلزله‌های گذشته 72
3-6 روش بازرسی چشمی 76

4-6 ارزیابی تحلیلی مخازن 80
5-6 توصیه‌هایی برای کاهش خسارات لرزه‌ای 86
فصل هفتم : برنامه‌ریزی برای زلزله محتمل
1-7 کلیات 89
2-7 هدف 89
3-7 برنامه پاسخ 89
4-7 آماده‌باش پیش از وقوع زلزله 90
5-7 شناخت حادثه 91
6-7 سامانه مراقبت، فرماندهی و بسیج گروه بازرسی 91
7-7 روش بازرسی 92
8-7 جمع آوری اطلاعات بازرسی و گزارش نتایج آنها 92
فصل هشتم : ارزیابی خسارت پس از وقوع زلزله
1-8 کلیات 93
2-8 اولویت‌بندی ارزیابی 93
3-8 شروع ارزیابی 94
4-8 فعالیت‌های پیش از ارزیابی 95
5-8 بازرسی میدانی 96
6-8 ارزیابی سیستم‌های باربر 97
7-8 تشخیص سازه‌های آسیب دیده 98
8-8 مستند سازی 98

9-8 گروه بازرسی 98
10-8 تجهیزات مورد نیاز 99
فصل نهم : اصول اولیه طرح بهسازی
1-9 کلیات 101
2-9 هدف مقاوم سازی 101
3-9 روش‌ها و راهنمایی‌ها 101
4-9 پیشنهادهای تکمیلی 102
فهرست مراجع 105

۱- کلیات

۱-۱- گستره

آیین‌نامه‌ها و استانداردهای متعددی برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات صنعت نفت استفاده می‌شوند. برخی از این آیین‌نامه‌ها برای طراحی ساختمان‌ها تدوین شده‌اند و فاقد توصیه‌های کافی و جامع برای طراحی دقیق سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت می‌باشند. لذا مهندسان برای ارزیابی سازه‌ها و تجهیزات موجود در صنعت نفت، ناگزیر به تفسیر و قضاوت فردی از آیین‌نامه‌های موجود می‌باشند. در نتیجه، این سازه‌ها و تجهیزات ممکن است با درجات اطمینان نامناسب ارزیابی و یا طراحی شوند.

اگرچه با کوشش و تلاش کارشناسان مهندسی زلزله معاونت مهندسی و ساخت داخل وزارت نفت و همکاری جمعی از متخصصان کشور، آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت، نشریه ۰۳۸، تهیه شده است؛ لیکن راهنمای معتبر داخلی برای ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای تاسیسات موجود صنعت نفت وجود نداشت. با توجه به نیاز روزافزون صنعت نفت، امور مهندسی زلزله معاونت مهندسی و ساخت داخل با بومی‌سازی "دستورالعمل طراحی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات نفتی" تهیه شده توسط شاخه انرژی انجمن مهندسان عمران آمریکا، اقدام به تهیه این مجموعه کرده است.

همچنین در تدوین این نشریه، ضوابط فنی و استانداردهای داخلی و شرایط پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای کشور نیز مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه تلاش شده است تا راهنما به نحوی تنظیم شود که پاسخگوی نیازهای بخش عمده‌ای از تاسیسات صنعت نفت باشد، لیکن با توجه به گستردگی تاسیسات صنعت نفت و محدودیت چارچوب این راهنما، این نشریه تمامی تجهیزاتی که در روند استخراج، فرآوری، انتقال و توزیع مواد هیدروکربوری بکار می‌رود را شامل نمی‌شود.

اهداف تدوین این راهنما عبارتند از:

- ارائه راهنمایی‌های عملی به مهندسان در طراحی و ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای تاسیسات موجود صنعت نفت.
- کمک به مهندسان به منظور درک بهتر فلسفه و اهداف توصیه‌هایی از آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای به گونه‌ای که به‌طور مناسب و یکنواخت در مورد سازه‌ها و تجهیزات صنعت نفت بکار برده شوند.
- ارائه راهنمایی فراتر از توصیه‌های موجود در آیین‌نامه‌های ساختمانی.
- ارائه اطلاعات کلی در زمینه مسایل فنی مرتبط با ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات صنعت نفت که مهندسان سازه معمولا آشنایی کافی با آنها ندارند.

- آگاه‌سازی مهندسان و کارکنان صنعت نفت درباره مباحثی غیر از مسایل سازه‌ای که ممکن است در ایمنی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات صنعت نفت موثر باشند. به عنوان مثال به برنامه‌ریزی کاهش خسارات ناشی از زلزله، ارزیابی خسارات وارده بر سازه‌ها و تجهیزات پس از وقوع زلزله و همچنین به مسایل مربوط به بهره‌برداری نیز می‌توان اشاره کرد.

۱-۲- آیین‌نامه‌ها، استانداردها و مشخصات فنی وابسته

باتوجه به اینکه دستورالعمل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی دارای نقاط مشترک با آیین‌نامه-های طراحی‌می باشند، در این راهنما در مواردی به آیین‌نامه‌های رایج ذیل ارجاع داده شده است اما استفاده از سایر ضوابط فنی تنها به این موارد محدود نمی‌شود:

- آیین‌نامه UBC
- آیین‌نامه NBC
- آیین‌نامه SBC
- استاندارد API 650، مخازن فولادی جوش شده نفت
- دستنامه ساختمان‌های فولادی AISC، طراحی به روش تنش مجاز
- دستنامه ساختمان‌های فولادی AISC، طراحی به روش LRFD
- آیین‌نامه طراحی سازه‌های بتن مسلح، ACI 318
- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌های بنایی، ACI 530
- حداقل بار طراحی ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها،ASCE-7
- آیین‌نامه بویلرها و مخازن تحت فشار، ASME
- آیین‌نامه لوله‌های پالایشگاه‌های نفتی و واحدهای شیمیایی، ASME B31.3

موارد کاربرد هریک از این آیین‌نامه‌ها در جدول ۱-۱ آورده شده است.
همچنین می‌توان به آیین‌نامه بتن ایران (آبا) و مباحث ششم، نهم و دهم از مجموعه مقررات ملی و استانداردهای ساختمانی ایران به ترتیب برای بارگذاری، طراحی سازه‌های بتن مسلح و فولادی، استاندارد ۲۸۰۰ ایران و آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت، نشریه شماره ۰۳۸ معاونت مهندسی و ساخت داخل وزارت نفت اشاره کرد.

جدول ۱-۱: آیین‌نامه‌ها و استانداردهای رایج در طراحی تاسیسات نفتی

	UBC	BOCA	SBC	ASCE(7)[1]	ACI318	ACI530	API650	ASME BPV	ASME B31.3
طراحی سازه‌های فولادی	×	×	×	×	×				
طراحی سازه‌های بتنی	×	×	×	×		×			
طراحی ساختمانهای بنایی	×	×	×	×					
مخازن	×(۲)	×(۲)		×(۲)	×(۲)		×	×	
لوله‌ها و مخازن تحت فشار	×(۲)	×(۲)	×(۲)	×(۲)	×(۲)			×	×

(۱)بیشتر برای بارهای باد کاربرد دارد.

(۲) تنها برای تعیین بارهای لرزه‌ای و طراحی تکیه‌گاه‌ها بکار می‌رود.

۱-۳- ساختار راهنما

در فصل‌های این راهنما مسایل مختلف طراحی، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و یا کاهش خطر در سازه‌ها و تجهیزات مرتبط با صنعت نفت به شرح زیر ارائه شده است:

در فصل۲ فلسفه طراحی و اهداف کلی ضوابط طراحی لرزه‌ای ارائه شده است و همچنین نیازهای عملکردی سازه‌ها و تجهیزات مورد بحث قرار گرفته است.

در فصل۳ اطلاعاتی در زمینه خطرات لرزه‌ای مانند جنبش شدید زمین، گسلش، سونامی و مسایل ژئوتکنیکی ارائه شده است.

در فصل ۴ راهنمایی‌هایی درباره کاربرد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای عینی سازه‌ها و تجهیزات ارائه شده است.

در فصل ۵ روش‌های تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات موجود بیان شده است.

فصل ۶ مربوط به ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخازن است. آیین‌نامه‌های مختلف طراحی و روش-های مختلف به‌ویژه در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخازن، در این فصل مورد بحث قرارگرفته‌اند.

در فصل ۷ راهنمایی‌هایی در زمینه برنامه‌ریزی برای واکنش به زلزله محتمل و کاهش مخاطرات ناشی از زلزله ارائه شده است.

فصل ۸ شامل توصیه‌هایی در زمینه ارزیابی خسارات وارده بر سازه‌ها و تجهیزات پس از وقوع زلزله است.

در فصل ۹ توصیه‌هایی برای بهسازی لرزه‌ای سازه‌های آسیب‌پذیر موجود در صنعت نفت ارائه شده است.

۲- فلسفه طراحی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

۲-۱- کلیات

در این فصل فلسفه طراحی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، بیان شده است. اگرچه این راهنما اختصاص به ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌های موجود دارد اما درک مناسب از فلسفه طراحی لرزه‌ای، هم در مراحل ارزیابی و هم در مراحل طرح بهسازی راهگشا خواهد بود. به همین دلیل در این فصل بطور خلاصه فلسفه طراحی لرزه‌ای نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این راهنما بر مبنای مباحث نظری و تجربیات بدست آمده از مخاطرات لرزه‌ای گذشته و درنظرگرفتن پیامدهای ناشی از خرابی این سازه‌ها و تجهیزات تدوین شده است. به طور کلی فلسفه طراحی و ارزیابی ارائه شده در این راهنما از مراجع RMPP-1992 , SEAOC-1990 و DOE1020 اقتباس شده است.

طراحی لرزه‌ای مناسب با درنظرگرفتن مسایل زیر امکان‌پذیر است:

الف: تعیین کلیه خطرات لرزه‌ای محتمل برای ساختگاه

ب: تعریف اهداف عملکرد برای سازه‌ها و تجهیزات مختلف براساس کاربرد آنها

ج: توسعه مبانی طراحی برای رسیدن به اهداف عملکرد لرزه‌ای در نظر گرفته شده برای این تاسیسات

د: اطمینان از اینکه طراحی و اجرا با مبانی ذکرشده دربند "ج" سازگار باشد.

۲-۲- ملاحظات طراحی سازه‌های جدید

محاسبه بارهای طراحی لرزه‌ای با فرض تامین شکل‌پذیری مناسب در طراحی جدید انجام می‌شود. به بیان دیگر وقوع رفتار غیرارتجاعی محدود در سازه‌ها و اجزای مختلف در طول جنبش شدید زمین قابل قبول می‌باشد. در نتیجه در بسیاری از موارد نیروهای جانبی طراحی به مقدار قابل‌توجهی کوچکتر از نیروهای بدست‌آمده برای سازه‌ها و اجزایی می‌باشد که باید در حد ارتجاعی باقی بمانند.

نیروهای لرزه‌ای با فرض اینکه در محدوده غیرارتجاعی، تغییرشکلها بطور مناسبی در سازه توزیع شده‌اند، بدست می‌آیند. در شرایطی که امکان توزیع مناسب و یکنواخت تغییرشکلهای غیرارتجاعی در سیستم مقاوم جانبی وجود داشته باشد (مثلا سیستم قاب خمشی با توزیع مناسب قابها)، ضرایب کاهش بزرگتر نیروی ارتجاعی را می‌توان برای سازه در نظر گرفت. از سوی دیگر در شرایطی که تغییرشکلهای غیرارتجاعی در اعضای کمی تمرکز یابند، ضرایب کاهش نیرو کوچکتر می‌باشند (به عنوان مثال مخازن هوایی نگهداری مایعات). درهرحال تطابق رفتار غیرارتجاعی در نظر گرفته شده در طراحی، با عملکرد غیرارتجاعی سازه مورد نظر بر عهده مهندس طراح می‌باشد.

علاوه براین، راهنمایی‌های ارائه شده معمولا حداقل نیاز طراحی سازه‌ها را تامین می‌کنند. در برخی از شرایط، استفاده از معیارهای محافظه‌کارانه‌تر با درنظرگرفتن صرفه اقتصادی بلندمدت می‌تواند توجیه‌پذیر باشد. به دلیل پیچیدگی سازه‌ها و تجهیزات موجود در صنایع و نیز گستردگی متغیرهای مربوط به طراحی لرزه‌ای، پوشش دادن تمام حالات پاسخ لرزه‌ای و ارائه معیارها و ملاکهای انتخابی گسترده برای این سازه‌ها و تجهیزات امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین لازم است مهندس طراح از قضاوت مهندسی و تجربه خود جهت ارائه روش طراحی استفاده کند.

۲-۳- ملاحظات ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌های موجود

روشها و ملاکهای پذیرش ارزیابی تاسیسات موجود، در مقایسه با روشها و معیارهای طراحی تاسیسات جدید از تنوع بیشتری برخوردار است. این روشها و معیارهای پذیرش، بستگی به اهداف ارزیابی و خواسته‌های کارفرمایان دارد. ملاحظات کلیدی در زمینه ارزیابی تاسیسات موجود عبارتند از:

الف: معیارهای پذیرش (حدود تنش و یا تغییر شکل) بسته به هدف ارزیابی ممکن است کمتر و یا بیشتر از معیارهای پذیرش طراحی باشند.

ب: ممکن است با توجه به عملکرد تجهیزات و اندرکنش بخشهای مختلف، کنترل معیارهای پذیرش دیگری نیز لازم باشد.

ج: بارهای وارد بر سازه‌های موجود ممکن است در طول زمان تغییر کند، لذا در زمان ارزیابی باید بارهای واقعی را در نظر گرفت.

د: هرگونه تغییر در حوزه عملکرد (وزن، شرایط بهره‌برداری و غیره) می‌تواند در ارزیابی موثر باشد و باید ثبت شود. همچنین هر عاملی که ممکن است بر عملکرد سیستم تاثیر بگذارد، اعم از سازه‌ای و بهره‌برداری، را باید در نظر گرفت.

ه: طول عمر باقیمانده تاسیسات یک عامل مهم در ارزیابی است و باید در نظر گرفته شود.

و: در ارزیابی تاسیسات موجود باید مشخصات واقعی مصالح در نظر گرفته شوند.

ز: اطلاعات به‌دست آمده از بازرسی‌های میدانی، مانند آسیبهای وارده بر اعضای سازه‌ای (مثل خوردگی فلزات و ترک بتن) باید ثبت شوند. در مجموع برای ارزیابی دقیق از عملکرد سازه یا سیستم لازم است برآورد دقیقی از سازه و مشخصات مصالح، انجام داده شود.

۲-۴- محدودیت‌ها

رعایت مفاد این راهنما تضمین‌کننده عدم وقوع خسارت شدید در زلزله‌های بزرگ نمی‌باشد. ارزیابان باید همواره کارفرمایان را از این نکته که مخاطرات لرزه‌ای به‌طور کامل قابل رفع نیستند،

مطلع سازند. اگرچه طراحی و ارزیابی ممکن است به‌طور محافظه‌کارانه‌ای انجام داده شود و یا با انجام دادن مطالعات گسترده‌تری (با صرف زمان و هزینه بیشتر) قابلیت اعتماد اطلاعات موجود افزایش داده شود؛ اما همواره درصدی از خطرپذیری لرزه‌ای وجود خواهد داشت. به بیان دیگر هدف از طراحی و یا ارزیابی همواره "به حداقل رساندن" سطح خطرپذیری در محدوده منابع و امکانات موجود است.

به منظور جلوگیری از اختلاف نظر بین مهندسان، کارفرمایان و سایر طرفهای مربوط، موارد زیر باید مورد بحث قرارگیرد و تا حد امکان به‌صورت یک موافقتنامه مکتوب تنظیم شود تا از اختلاف‌های بعدی جلوگیری شود:

الف: طرفهای مربوط باید آگاه باشند که در ارزیابی لرزه‌ای به ویژه ارزیابی تاسیسات صنعتی، عدم قطعیتهایی وجود دارد. علاوه بر عدم قطعیتهای مربوط به مشخصات مصالح و رفتار سازه‌ها (که در مورد تاسیسات موجود اغلب بیشتر از طراحی تاسیسات جدید است)، عدم قطعیتهای قابل‌توجهی در زمینه مشخصات زلزله ورودی مانند دامنه، محتوای فرکانسی و دوام تحریک وجود دارد.

ب: ارزیابان وظیفه دارند که در زمان انجام دادن ارزیابی دقت و مهارت شخصی خود را به‌کار بندند.

ج: طرفهای مربوط باید آگاه باشند که مشخصات فعلی لرزه‌ای، زمین‌شناسی، زیست‌محیطی، سازه‌ای و ژئوتکنیکی ممکن است با مشخصات اولیه استفاده شده در ارزیابی توسط مهندسان متفاوت باشد. بدیهی است، محدودیت اطلاعات منجر به عدم قطعیت در تفسیرهای صورت گرفته می‌شود.

د: تمام بخشها باید آگاه باشند که دامنه ارزیابی‌های مهندسی همواره محدود به منابع مالی و زمانی صرف شده برای مطالعات است. مطالعات عمیق‌تر و گسترده‌تر با صرف هزینه بیشتر ممکن است به دستیابی به اطلاعات قابل اعتمادتر بیانجامد که این امر می‌تواند بر قضاوت و تصمیم‌گیری مهندسان موثر باشد. لازم است مهندسان و کارفرمایان از میزان عدم قطعیتها که در اثر انجام ندادن مطالعات گسترده به‌وجود می‌آیند، آگاهی داشته باشند.

هـ: در ارزیابی تاسیسات موجود، طرفهای مربوط باید توجه داشته باشند که مهندسان ارزیاب مسوولیتی در قبال دقت و کیفیت طرح و اجرای سازه یا تجهیزات موجود ندارند.

این راهنما قصد دارد که شیوه‌های متداول را بیان کند، لذا محدودیتی برای مهندسان در ارائه و به‌کارگیری روشهای جدید برای طراحی و بهسازی سازه‌ها ایجاد نمی‌کند.

۲-۵- اهداف عملکردی و طبقه‌بندی براساس کاربری

۲-۵-۱- اهداف عملکردی

معیارهای این راهنما بر مبنای اهداف عملکردی می‌باشند که برای گروهای مختلف (براساس کاربرد) تعریف می‌شوند. اهداف عملکرد سبب ایجاد سطوح مختلفی از حفاظت در برابر آسیب‌دیدگی می‌شود. اجزای اصلی این اهداف عملکردی عبارتند از:

الف- انسجام سازه‌ای: فلسفه طراحی ارائه شده در این راهنما بر مبنای حفظ انسجام کل سازه‌ها و تجهیزات موجود در صنعت نفت می‌باشد. این بدان معنا است که سازه‌ها و تجهیزات نباید تحت اثر زلزله طراحی دچار خسارت یا فروریزش شوند. حفظ قابلیت عملکرد سیستم در شرایطی ضروری است که کارفرمایان و یا مراجع صلاحیتدار حکم کنند و یا برای حفظ سلامت عمومی لازم باشد (در حالت کلی حفظ انسجام سازه لزوما به منزله حفظ قابلیت عملکرد سیستم نیست). جهت حفظ انسجام سازه باید محدودیتهای مقاومت، شکل‌پذیری و تغییرشکلها مورد توجه قرارگیرند. توصیه‌های ارائه شده در این راهنما به منظور محدود کردن خسارت، و نه جلوگیری از وقوع آن، ارائه شده‌اند، که این امر به‌طور غیرمستقیم بر ایمنی عمومی موثر است.

ب- حفظ محتویات: سازه‌ها، سیستمها و تجهیزات حاوی مواد خطرناک باید به گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند محتویات خود را پس از وقوع زلزله بزرگ حفظ نمایند. تامین قابلیت حفظ محتویات نیاز به تامین محدودیتهای مقاومت، شکل‌پذیری و تغییرشکل دارد. علاوه بر آن باید جزییات اجرایی سازه‌ای با توجه به مسیرهای بالقوه تنش مورد توجه قرارگیرد. در یک رخداد لرزه‌ای بزرگ به منظور جلوگیری از به خطر افتادن کارکنان و نیز حفظ سلامت و ایمنی عمومی، جلوگیری از رها شدن مقادیر زیاد مواد خطرناک در محیط‌زیست ضروری است.

ج- قابلیت خدمت‌رسانی: سازه‌ها، سیستمها و تجهیزاتی که پس از وقوع زلزله، مورد نیاز می‌باشند، باید به گونه‌ای طراحی شوند که قابلیت خدمت‌رسانی خود را پس از وقوع زلزله حفظ کنند (به بیان دیگر قابلیت بهره‌برداری خود را در حین و پس از زلزله طرح حفظ کنند). برای حفظ قابلیت عملکرد لازم است مقاومت، شکل‌پذیری و تغییرشکل در کنار سطح تنش، جزییات سازه‌ای، اندرکنش دینامیکی و حفظ سیستمها و تجهیزات ضروری مورد توجه قرار گیرند.

۲-۵-۲- طبقه بندی براساس کاربری

در روند انجام طراحی و یا ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، سازه‌ها و تجهیزات موجود در صنعت نفت به سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند:

- عمومی
- خطرزا
- حیاتی

گروه عمومی شامل سازه‌ها و تجهیزاتی است که در دو گروه دیگر قرار نمی‌گیرند. سازه‌ها و تجهیزات این گروه را می‌توان به دو زیرمجموعه عادی و ویژه طبقه‌بندی کرد. سازه‌ها و تجهیزات گروه عادی باید برای حداقل بارهای زلزله تعریف شده در آیین‌نامه‌ها و این راهنما طرح شوند. سازه‌ها و تجهیزات گروه ویژه ممکن است برای حفظ سرمایه کارفرمایان، براساس نیازهای طراحی بالاتری طراحی شوند.

گروه خطرزا شامل سازه‌ها و تجهیزاتی است که مواد خطرناک را نگهداری می‌کنند. این دسته از سازه‌ها و تجهیزات باید به منظور تامین قابلیت حفظ مواد خطرناک طراحی شوند و نیازی به حفظ قابلیت عملکرد آنها فراتر از حفظ محتویات نیست. رفتار این سازه‌ها و تجهیزات درصورت آسیب‌دیدگی باید به گونه‌ای باشد که موجب رها شدن مواد خطرناک در محیط‌زیست نشود.

گروه حیاتی شامل سازه‌ها و تجهیزاتی است که برای عملیات اضطراری پس از وقوع زلزله لازم می‌باشند. براین اساس سازه‌ها و تجهیزات این گروه باید به گونه‌ای رفتار کنند که پس از زلزله بتوانند قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ کنند. در حالت کلی برای سازه‌های این گروه مقادیر تنشها و تغییرمکانها باید به گونه‌ای محدود شوند که متضمن عملکرد بی‌وقفه سازه‌ها و تجهیزات پس از وقوع زلزله باشند.

۲-۵-۳- ارتباط بین اهداف عملکرد و گروه‌های کاربری

ارتباط بین کاربری و اهداف عملکرد در جدول ۲-۱ نشان داده شده است. در تمام گروه‌ها باید طراحی به گونه‌ای انجام شود که متضمن انسجام سازه باشد. علاوه براین در تاسیساتی که حاوی مواد خطرناک می‌باشند باید قابلیت حفظ این مواد تامین شود.

بطور مشابه، تاسیسات حیاتی و برخی سازه‌ها و تجهیزات ویژه در تاسیسات نگهداری مواد خطرناک باید به گونه‌ای طرح شوند که بتوانند عملکرد خود را پس از وقوع زلزله نیز حفظ کنند. در نهایت همانگونه که در ستون آخر جدول ۲-۱ نشان داده شده است، خطرپذیری لرزه‌ای کیفی برای هر گروه کاربری باید با فلسفه طراحی بحث شده در این بخش هماهنگی داشته باشد.

۲-۵-۴- مبانی اهداف عملکرد پیشنهاد شده

مبنای هر روش طراحی لرزه‌ای، تشخیص (صریح یا ضمنی) یک سطح خطرپذیری (ریسک) قابل‌قبول است. این راهنما بر این اساس تنظیم شده است که اهداف عملکرد مشخص شده برای تاسیسات نفتی، باید با ایمنی مورد انتظار از سایر سازه‌ها هماهنگ باشند. علاوه بر این خطرپذیری لرزه‌ای با پیامدهای بالقوه آسیب‌دیدگی سازه‌ها و تجهیزات هماهنگی داشته باشد. به بیان دیگر، سازه‌ها و تجهیزاتی که بیشتر می‌توانند تامین جانی را به مخاطره اندازند باید خطرپذیری کمتری داشته باشند. در حال حاضر این خطرپذیری برای سازه‌ها و تجهیزات صنعت نفت هنوز کاملا بصورت کمی در نیامده است.

جدول ۲-۱: اهداف عملکرد برای گروههای کاربری مختلف

گروههای کاربری		اهداف عملکردی			خطر پذیری (ریسک) لرزه‌ای کیفی
		حفظ انسجام سازه‌ای	حفظ قابلیت نگهداری مواد	حفظ کارایی	
عمومی	عادی	بله	-	خیر	کم
	ویژه	بله	-	بله[۱]	خیلی کم
خطرزا		بله	بله	بله[۲]	خیلی کم
حیاتی		بله	-	بله[۳]	خیلی کم

۱- تنها برای مواردی که تخریب آنها موجب بروز آسیبهای اقتصادی شدیدی می‌شود. معمولا به انتخاب کارفرمایان انجام می‌شود.

۲- تنها آن دسته از فعالیتها که برای حفظ محتویات لازم است.

۳- تنها آن دسته از فعالیتها که برای بهره‌برداریهای ضروری لازم است.

۲-۶- روش طراحی برای تاسیسات جدید

نیازها و معیارهای پذیرش برای رسیدن به هریک از اهداف عملکرد، باید براساس روشهای هماهنگ با شیوه‌های طراحی متداول بکار گرفته شود. بر این اساس عوامل زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

الف- مقاومت طراحی: مقاومت سازه باید به گونه‌ای باشد که خطر خرابی شدید سیستمها و اجزای سازه‌ای تحت اثر بارهای طراحی به حداقل برسد. این امر از طریق برابر یا بیشتربودن مقاومت سیستم از نیاز لرزه‌ای بدست آمده از بارهای طراحی حاصل می‌شود. در تعیین بارهای طراحی باید ترکیبات بارگذاری برای تمام حالتهای محتمل مطابق با روشهای متداول در نظر گرفته شوند.

ب- شکل‌پذیری: شکل‌پذیری می‌تواند از طریق تعیین ظرفیت سازه‌ها و تجهیزات برای مقابله با بارهای ناشی از زلزله تامین شود. محدودیتهای شکل‌پذیری و تغییرشکلهای مربوط نباید از مقادیر محدود کننده ارائه شده در نشریه ۰۳۸ معاونت مهندسی و ساخت داخل وزارت نفت فراتر رود. محدودیتهای شکل‌پذیری را می‌توان با استفاده از انجام دادن آزمایش نیز تعیین کرد.

ج- روشهای تحلیل و طراحی لرزه‌ای: روش استاتیکی معادل معمولا روش مناسبی برای تحلیل و طراحی لرزه‌ای می‌باشد. البته در مورد برخی از سیستمهای ویژه برای درک بهتر از پاسخ لرزه‌ای سیستم، انجام تحلیل دینامیکی لازم است. بجز مواردی که آیین‌نامه‌ها صراحتا انجام دادن تحلیل دینامیکی را توصیه می‌کنند (مثلا سازه‌های نامتقارن مرتفع) انتخاب نوع تحلیل اعم از استاتیکی و دینامیکی باید براساس قضاوت مهندسی انجام شود. باید توجه داشت که رابطه‌سازی روش استاتیکی معادل از نوع تجربی است و بر مبنای سازه‌های ساختمانی بنا نهاده شده است. بسیاری از سازه‌های مرتبط با صنعت نفت از نوع قابهای ساختمانی معمولی نیستند. حتی درحالیکه این سازه‌ها نسبتا متقارن باشند ممکن است با سیستم لوله‌های سنگین اندرکنش داشته باشند. در چنین شرایطی بهتر است از تحلیل دینامیکی استفاده شود. برای مقاصد طراحی هر دو نوع تحلیل استاتیکی معادل و دینامیکی را باید براساس روشهای ارتجاعی خطی انجام داد. نیروهای لرزه‌ای باید با روش مناسبی با سایر بارها ترکیب شوند.

د- معیار پذیرش: در هریک از روشهای تنشهای مجاز و یا مقاومت نهایی، معیارهای پذیرش وجود دارد. علاوه براین، محدودیتهای تغییرمکان برای تامین رفتار قابل‌قبول سازه‌ها و تجهیزات لازم است.

ه- کنترل طرح لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات جدید: سازه‌ها و تجهیزات صنعت نفت باید به گونه‌ای طراحی و اجرا شده باشند که ظرفیت تحمل جنبش‌های شدید زمین را بدون از دست دادن خدمت‌رسانی داشته باشند. لازم است مهندسان برای تعیین نقاط ضعف سیستمها و سازه‌ها (به‌ویژه سیستمها و سازه‌های گروه خطرزا و حیاتی) به بازنگری طرح لرزه‌ای این سیستمها بپردازند. آن دسته از سیستمها و سازه‌هایی که حساس به جنبش شدید زمین تشخیص داده شوند، باید با دقت بیشتری بازنگری شوند. این ارزیابی را می‌توان با استفاده از داده‌های تجربی، تحلیل، آزمایش یا هر ترکیبی از این موارد انجام داد.

و- درجه نامعینی و اضافه ظرفیت: تجربه نشان می‌دهد، درجه نامعینی و اضافه ظرفیت عوامل مهمی هستند که می‌تواند سبب پابرجا ماندن سازه‌ها یا تجهیزات پس از وقوع جنبش شدید زمین شود. بسیاری از سازه‌ها و تجهیزات موجود در صنعت نفت فاقد درجه نامعینی و

اضافه ظرفیت کافی هستند. در زمان طراحی باید توجه شود که یک سیستم سازه‌ای نامعین با حداکثر ظرفیت ممکن ایجاد شود. اگرچه افزایش درجات نامعینی و اضافه ظرفیت سبب افزایش جزیی هزینه‌های اجرا می‌شود، ولی می‌تواند خطرپذیری لرزه‌ای را از طریق تامین مسیرهای انتقال بار و سازوکار استهلاک انرژی اضافی کاهش دهد.

ز- اندرکنش دینامیکی: اندرکنش دینامیکی می‌تواند تاثیرات غیرمستقیمی بر عملکرد برخی سیستمها و تجهیزات داشته باشد. براین اساس، جداسازی این سیستمها برای جلوگیری از اندرکنش دینامیکی با سایر سازه‌ها و تجهیزات اطراف به عنوان یک اصل اساسی در طراحی به شمار می‌رود. اگر جداسازی امکان‌پذیر نباشد، اثر اندرکنش دینامیکی باید در تحلیلها در نظر گرفته شود.

انتظار می‌رود بکاربردن این اصول سبب رسیدن به نیازهای عملکردی سیستم شود. هر دو گروه نیازهای مقاومت و شکل‌پذیری باید برای رسیدن به انسجام سازه، حفظ محتویات و حفظ قابلیت خدمت‌رسانی برآورده شود.

۲-۷- بازرسی و نظارت بر اجرا

اجرای تاسیسات نفتی باید به گونه‌ای انجام داده شود که متضمن عملکرد مناسب سازه‌ها و تجهیزات در طول جنبش شدید زمین باشد. بازرسی چشمی توسط مهندس صلاحیتدار و به منظور بررسی تطابق کل طرح و اجرا صورت می‌پذیرد. این بازرسی‌های چشمی جایگزین بازرسی‌های مفصل و یا انجام آزمایشها نمی‌شود.

۲-۸- کنترل کیفیت

پیشنهاد می‌شود تاسیسات نفتی با استفاده از یک سیستم کنترل کیفیت طراحی شوند. در چنین سیستمی باید بارگذاری مورد استفاده در طراحی کاملا مشخص باشد و نیز سیستمهای مقاوم در برابر بارهای جانبی شرح داده شود. هرگونه برنامه آزمایشهای مصالح، روشهای بازنگری لرزه‌ای، بازرسی چشمی توسط مهندس صلاحیتدار و سایر برنامه‌های بازرسی باید صراحتا تعریف شود.

در ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای تاسیسات موجود، مهندس مشاوری که نیاز به بهسازی را تعیین میکند لزوما مشاوری نیست که طرح بهسازی را ارائه می‌کند. در چنین شرایطی پیشنهاد می‌شود، کارفرما برروی طرح بهسازی ارائه شده نظارت کند و اطمینان حاصل نماید که نظرات ارزیابان تامین شده است. این نظارتها همچنین با هدف کسب اطمینان از اجرای صحیح طرحها انجام داده می‌شود. علاوه براین باید نظارت شود که تغییرات ایجاد شده در محل، مقاصد بهسازی لرزه‌ای را خدشه دار نکند.

۲-۹- بازنگری فراگیر

طراحی تاسیسات خطرزا و حیاتی جدید باید توام با بازنگری دقیق و کنترل مستقل باشد. این بازبینی‌ها باید شامل کنترل فلسفه طراحی، معیار طراحی، سیستم سازه‌ای، مصالح ساختمانی و سایر عوامل موثر در ظرفیت لرزه‌ای تاسیسات باشد. در زمان بازنگری نیاز به کنترل جزء به جزء و مفصل (مانند آنچه که معمولا در زمان روند طراحی انجام می‌شود) نمی‌باشد ولی باید حداقل یک بررسی کلی برای کمک به تشخیص خطاها، جاافتادگی‌ها، اشکالات بنیادی و سایر مشکلات بالقوه که ممکن است عملکرد لرزه‌ای تاسیسات را تحت تاثیر قراردهد، انجام داده شود.

توصیه‌های این راهنما برای طراحی تاسیسات جدید و نیز ارزیابی لرزه‌ای تاسیسات موجود ممکن است متفاوت با موارد مندرج در آیین‌نامه‌های رایج باشد. در صورتی‌که برای برخی از موارد ویژه در این راهنما روش ساده شده ارائه شده باشد و یا بین توصیه‌های این راهنما و دستورالعملهای آیین‌نامه‌ای مغایرتی وجود داشته باشد، لازم است یک بازنگری کلی از نظر تطابق با ضوابط آیین‌نامه‌ای به‌طور مستقل انجام داده شود.

۳- مخاطرات لرزه‌ای ساختگاه

۳-۱- کلیات

یکی از گام‌های اساسی در طراحی لرزه‌ای تاسیسات جدید و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات موجود تعیین مخاطرات لرزه‌ای ساختگاه است که عبارتند از:

- نیروهای اینرسی و تغییرشکل‌های ناشی از جنبش زمین
- شکست زمین ناشی از گسلش در نزدیکی و یا بلافاصله در کنار تاسیسات
- شکست زمین و یا نشست ناشی از روانگرایی و ناپایداری‌های شیروانی‌های خاکی
- سیلاب یا بارهای ناشی از امواج تولید شده در اثر وقوع سونامی

آن دسته از مهندسان که مسوولیت طراحی سازه‌ها و تجهیزات را در برابر این مخاطرات به عهده دارند معمولا مسوولیت ارزیابی احتمال وقوع این مخاطرات را عهده‌دار نیستند و کمی کردن آنها معمولا توسط دیگر متخصصین انجام داده می‌شود. با این وجود کارفرمایان در بیشتر موارد مسوولیت کنترل و صحت تحلیل خطر را بر عهده مهندسان می‌گذارند. علاوه براین، مهندسان وظیفه دارند تا نتایج تحلیل خطر را در روند طراحی لرزه‌ای تاسیسات جدید و یا ارزیابی تاسیسات موجود به روش مناسبی بکار گیرند. هدف این فصل آموزش تحلیل خطر به مهندسان نمی‌باشد بلکه تهیه مرجعی برای درک مقاصد، روش‌ها، واژگان فنی و محدودیت‌های تحلیل خطر لرزه‌ای است. داشتن چنین درکی برای برقراری ارتباط بین زلزله‌شناسان، مهندسان ژئوتکنیک، مهندسان سازه و کارفرمایان ضروری است. این فصل به ارائه یک شرح کلی از مسایل مرتبط با مخاطرات یادشده که معمولا مهندسان سازه با آنها روبرو می‌شوند، می‌پردازد.

۳-۲- جنبش زمین

پرکاربردترین مشخصه زلزله که در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه جنبش زمین است که معمولا به صورت درصدی از شتاب ثقل زمین بیان می‌شود. بیشینه شتاب زلزله بیشتر به عنوان تک پارامتری است که برای مقاصد طراحی لرزه‌ای بکار می‌رود. این فصل به شرح تعاریف جنبش زمین و ارتباط آنها با کاربردهای مهندسی می‌پردازد.

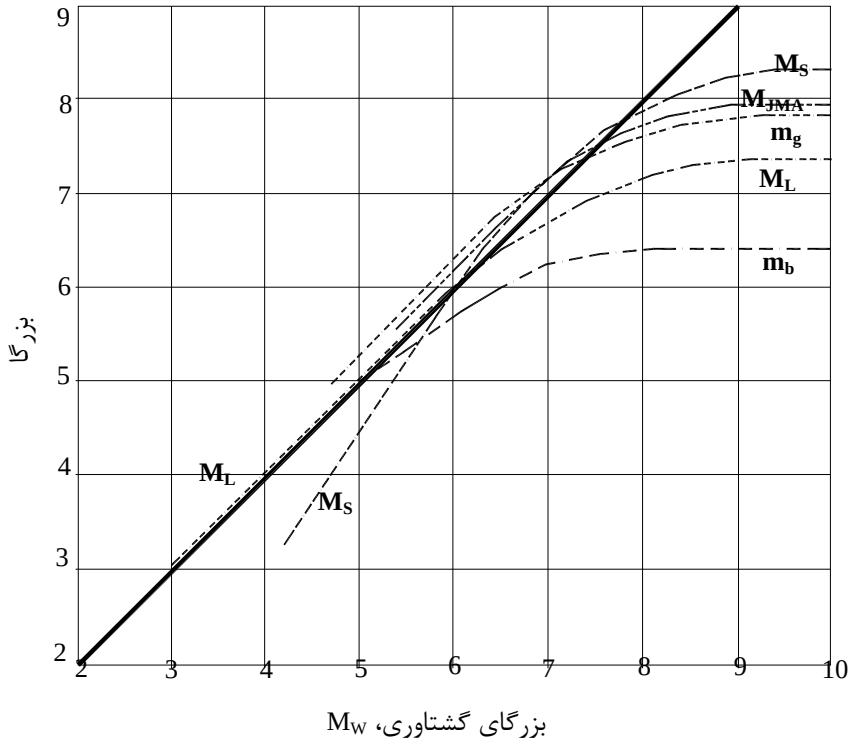
۳-۲-۱- شدت و بزرگای زلزله

زلزله‌ها معمولا بر اساس بزرگا و شدت مشخص می‌شوند. بزرگا نشانگر انرژی کلی آزاد شده توسط زلزله است. شدت براساس خسارت‌های ناشی از زلزله در یک منطقه خاص بیان می‌شود.

مقیاس بزرگای زلزله با انواع گوناگونی از بزرگا قابل بیان می‌باشد. این مقیاس‌ها عبارتند از: مقیاس

بزرگای محلی (M_L) که توسط ریشتر ارائه شده است، بزرگای امواج سطحی (M_S)، بزرگای امواج حجمی (m_b) و بزرگای گشتاوری (M_w). شکل ۳-۱ نشان‌دهنده مقایسه بین مقیاس‌های مختلف بزرگا در محدوده بزرگاهای معمول می‌باشد.

شدت، اندازه تاثیرات زلزله در یک ساختگاه است و تابعی از عواملی مانند بزرگا، فاصله از منبع زلزله و شرایط ساختگاهی است. رایج‌ترین مقیاس شدت مقیاس مرکالی اصلاح شده (MMI) است. شدت زلزله بر مبنای مرکالی اصلاح شده، همانگونه که در جدول ۳-۱ مشاهده می‌شود، دارای دوازده رده از I تا XII می‌باشد. واحد مشابهی که مربوط به اداره هواشناسی ژاپن است "JMA" می‌باشد که بین صفر تا ۷ متغیر است. در کشورهای اروپای شرقی عمدتاً از مقیاس MSK استفاده می شود که شدت‌های آن مشابه MMI است.



شکل ۳-۱: ارتباط بین بزرگای گشتاوری و سایر مقیاسهای بزرگا M_L (محلی) M_S (موج سطحی) m_b (موج حجمی پریود کوتاه)، m_g (موج حجمی پریود بلند) و M_{JMA} (آژانس هواشناسی ژاپن)

جدول ۳-۱: واحد شدت مرکالی اصلاح شده

I	احساس نمی‌شود.
II	توسط افراد در حالت سکون در طبقات فوقانی و یا مکانهای مناسب احساس می‌شود.
III	توسط افراد درون ساختمان حس می‌شود، اشیاء آویخته نوسان می‌کنند. ارتعاشی مشابه ارتعاش ناشی از عبور کامیونهای سبک رخ می‌دهد. دوام لرزش قابل برآورد است. ممکن است به عنوان زلزله تشخیص داده نشود.
IV	اشیای آویخته حرکت می‌کنند. ارتعاشی مشابه ارتعاش ناشی از عبور کامیونهای سنگین یا لرزشی شبیه لرزش ناشی از برخورد توپ به دیوار رخ می‌دهد. وسایل نقلیه موتوری ایستاده تکان می‌خورند. پنجره‌ها، درها و ظروف، سر و صدا می‌کنند. شیشه‌ها می‌لرزند، ظروف به هم برخورد می‌کنند. در حدود فوقانی این شدت، دیوارها و قابهای چوبی ترک می‌خورند.
V	در بیرون از ساختمان تشخیص داده می‌شود. جهت غالب لرزش قابل تشخیص است. باعث بیدارشدن افراد از خواب می‌شود. مایعات مرتعش می‌شوند و برخی از آنها بیرون می‌ریزند. اشیای کوچک ناپایدار جابجا یا واژگون می‌شوند. درها باز و بسته می‌شوند. پرده‌ها و قاب عکسها حرکت می‌کنند. ساعتهای پاندولی متوقف می‌شوند و یا سرعت نوسان آونگ آنها تغییر می‌کند.
VI	توسط همه حس می‌شود. بسیاری افراد می‌ترسند و به بیرون از ساختمان می‌روند. افراد با عدم تعادل حرکت می‌کنند. شیشه‌ها و ظروف شیشه‌ای می‌شکنند و کتابها و ظروف از قفسه‌ها بیرون می‌ریزند. عکسهای روی دیوارها می‌افتند. مبلمان حرکت می‌کند یا واژگون می‌شود. دیوارهای مصالح بنایی نوع D و نازک‌کاریهای ضعیف ترک می‌خورند. زنگهای کوچک کلیساها و مدارس به صدا درمی‌آیند. درختها و بوته‌ها دچار شکست مشهود می‌شوند و یا صدای شکستن از آنها شنیده می‌شود.
VII	ایستادن مشکل می‌شود. رانندگان و یا موتورسواران آنرا احساس می‌کنند. دودکشهای ضعیف در محل بام ساختمانها می‌شکنند. نازک کاریها، سنگهای لق، کاشی‌ها و قرنیزها (و نیز جان‌پناه‌های مهار نشده و تزیینات معماری) فرو می‌ریزند. در بخشهای بنایی نوع D ترک ایجاد می‌شود. زنگهای بزرگ به صدا در می‌آیند. ایجاد موج در استخرها و مخازن، گل آلود شدن آب، رانشها و ایجاد حفره‌های کوچک در توده‌های شنی یا ماسه‌ای و آسیب‌دیدگی آبروهای بتنی از مشخصات این شدت است. برخی ترکها در بخشهای بنایی نوع C اتفاق می‌افتد.
VIII	هدایت خودروها دشوار می‌شود. آسیب‌دیدگی بخشهای بنایی C و فروریزش موضعی، وقوع برخی آسیبها در بخشهای بنایی B و عدم ایجاد خسارت در بخشهای بنایی A از ویژگیهای این سطح زلزله است. اندود گچی و برخی دیوارهای بنایی فرو می‌ریزند. پیچیدن و یا فرو افتادن دودکشهای خانگی، سازه‌های نمادین، برجها و مخازن هوایی از دیگر نشانه‌های این سطح است. خانه‌های قابی درصورتیکه به شالوده مهار نشده باشند از محل خود حرکت می‌کنند. دیوارهای پانلی لق پرتاب می‌شوند. تیرهای فرسوده و پوسیده می‌شکنند. شاخه‌های درختان می‌شکنند. در جریان یا دمای سرچشمه‌های چاهها تغییر ایجاد می‌شود. ترک‌خوردگی در خاک‌های مرطوب و شیبهای تند رخ می‌دهد.

جدول ۳-۱: واحد شدت مرکالی اصلاح شده (ادامه)

IX	اضطراب و وحشت عمومی، فروریزش بخشهای بنایی D و وارد آمدن آسیب جدی به بخشهای بنایی B از ویژگیهای این سطح شدت است. سازه‌های قابی درصورتیکه به شالوده مهار نشده باشند از محل خود جابجا می‌شوند. ایجاد خسارت جدی در مخازن، شکست لوله‌های زیرزمینی و ایجاد ترکهای آشکار در زمین در مناطق رسوبی، از دیگر نشانه‌های این سطح زلزله است. در این شدت زلزله، ماسه و گل از زمین بیرون می‌ریزد و یا آبفشانهای ناشی از زلزله ایجاد می‌شود.
X	بیشتر سازه‌های قابی و بنایی همراه با شالوده‌هایشان تخریب می‌شوند. برخی پلها و سازه‌های چوبی با کیفیت ساخت مناسب، تخریب می‌شوند. آسیبهای جدی به سدها و خاکریزها وارد می‌شود و رانشهای بزرگ در زمین رخ می‌دهد. آب از داخل آبراه‌ها، مخازن، دریاچه‌ها و رودها به بیرون پرتاب می‌شود. ماسه و گل در ساحل و زمینهای مسطح دچار جابجایی افقی می‌شود. ریل‌های راه‌آهن مقدار کمی خم می‌شوند.
XI	لوله‌کشی‌های زیرزمینی مانند لوله‌کشی آب بکلی می‌شکند و از کار می‌افتد. سدها و خاکریزها حتی در فواصل دور از مرکز زلزله صدمه می‌بینند. آب همراه با ماسه و گل از زمین خارج می‌شود (روانگرایی). ریل‌های راه‌آهن در نقاط زیادی خم شده و انحنا برمی‌دارد.
XII	تخریب تقریبا کاملی در سازه‌ها رخ می‌دهد. توده‌های سنگی بزرگ جابجا می‌شوند. خطوط هم سطح و ارتفاع دچار اعوجاج می‌شوند. اشیاء به هوا پرتاب می‌شوند.

توجه : در اینجا برای جلوگیری از ابهام، کیفیت مصالح بنایی براساس سیستم زیر نامگذاری شده است. این نامگذاری هیچ ارتباطی با طبقه‌بندی کلاسیک C,B,A در مورد نحوه اجرا ندارد.

بخشهای مصالح بنایی A: از طراحی و اجرای مناسب برخوردارند و از مصالح خوب در ساخت آنها استفاده شده است. این ساختمانها به ویژه در جهت افقی مسلح شده‌اند و دارای کلاف‌بندی می‌باشند. بطور کلی برای تحمل نیروهای جانبی طراحی شده‌اند.

بخشهای مصالح بنایی B: از طراحی و اجرای مناسب برخوردارند، مسلح می‌باشند؛ لیکن در برابر بارهای جانبی طراحی نشده‌اند.

بخشهای مصالح بنایی C: کیفیت ساخت و مصالح مصرفی در حد معمولی است، در این دسته از ساختمانها نقاط ضعف اساسی (نظیر عدم چفت و بست در گوشه‌ها) وجود ندارد. مسلح نمی‌باشند و در برابر بارهای افقی طراحی نشده‌اند.

بخشهای مصالح بنایی D: از مصالح و ملات ضعیف نظیر خشت و گل، ساخته شده‌اند. کیفیت اجرای آنها نامناسب است، در برابر بارهای جانبی ضعیف می‌باشند.

۳-۲-۲- واحدهای جنبش زمین برای استفاده در طراحی و ارزیابی آسیب‌پذیری

بزرگای زلزله و شدت، در طراحی لرزه‌ای کاربرد محدودی دارند. برای رسیدن به مقاصد طراحی و

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای از مقادیر شتاب، سرعت و یا تغییرمکان زلزله طرح استفاده می‌شود.
رکوردهای ثبت شده را می‌توان به‌صورت تاریخچه زمانی و یا طیف پاسخ ارائه نمود. تاریخچه‌های زمانی از طریق ابزارگذاری ثبت می‌گردند و بیانگر دامنه، دوام و محتوای فرکانسی جنبش ناشی از زلزله می‌باشند. طیف پاسخ بیانگر مجموعه پاسخهای محاسبه شده از اثر یک زلزله مشخص بر مجموعه‌ای از سیستمهای یک درجه آزاد با فرکانسهای طبیعی مختلف می‌باشد. پاسخ معمولا برای نسبت میرایی ۵٪ بیان می‌شود.
بیشتر آیین‌نامه‌های ساختمانی از طیف پاسخ که بازتاب‌دهنده شتاب زلزله در سقف یک ساختمان یک‌طبقه می‌باشد، استفاده می‌کنند. برای طراحی و یا ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌توان از طیفهای استاندارد و یا طیف حاصل از مطالعه ویژه ساختگاهی استفاده کرد. طیفهای استاندارد برای خاک با توجه به سرعت موج برشی در آن تهیه می‌شود. معمولا طیف با نسبت میرایی ۵ درصد محاسبه شده و در شرایط ویژه، برای نسبت میرایی مناسب اصلاح می‌شود.
آیین‌نامه‌های ساختمانی معمولا طیفهای پاسخ استاندارد را بصورت همپایه شده به بیشینه شتاب برابر با 1g ارائه می‌کنند. متناسب با منطقه لرزه‌ای هر ساختگاه، از بیشینه شتاب آن ساختگاه برای همپایه کردن این طیفهای استاندارد استفاده می‌شود. طیفهای استاندارد بیانگر میانگین طیفهای پاسخ همپایه شده و هموار شده از رکوردهای زلزله واقعی می‌باشد که براساس نوع خاک محل ثبت رکورد، طبقه-بندی شده‌اند.
استفاده از طیفهای استاندارد ممکن است در شرایط ویژه‌ای مانند قرارگیری در محدوده نزدیک به گسل و یا ساختگاه‌های با خاک بسیار نرم مناسب نباشد. در این شرایط لازم است از طیف ویژه ساختگاه استفاده شود.

۳-۲-۲-۱- تحلیل خطر لرزه‌ای تعینی (DSHA)

در روش تعینی جنبش‌های زمین در یک ساختگاه، با درنظرگرفتن یک رویداد با بزرگا و فاصله مشخص از ساختگاه تعیین می‌شود. برای انجام دادن یک تحلیل تعینی اطلاعات زیر باید تهیه شوند:
- مشخص کردن چشمه لرزه‌زا (نظیر یک گسل مشخص) و موقعیت آن نسبت به ساختگاه
- مشخص کردن بزرگای زلزله‌ای که ساختگاه قادر به تولید آن است.
- استفاده از رابطه‌ای برای بیان کاهندگی (کاهش جنبش زمین برحسب فاصله)

در مجاورت ساختگاه ممکن است چندین گسل فعال وجود داشته باشد. در این صورت لازم است حداکثر بزرگای محتمل برای هر گسل براساس مدارک منتشرشده رسمی مشخص شود. بزرگای حداکثر تابعی از طول گسل و اطلاعات موجود از زلزله‌های گذشته در سرچشمه مورد نظر است. روابط کاهندگی براساس تحلیلهای آماری رکوردهای ثبت شده زلزله در شرایط زمین‌شناسی و تکتونیکی مشابه می‌باشد.

باید توجه داشت که برآورد تعینی جنبش زمین براساس یک دوره بازگشت ویژه مثلا۲۵۰ ساله یا ۵۰۰ ساله انجام داده نمی‌شود. اما زلزله‌های در نظر گرفته در تحلیل، خود دارای دوره بازگشت می‌باشند. بسته به نرخ فعالیت گسل، دوره بازگشت بزرگترین رویداد لرزه‌ای در یک گسل مشخص، ممکن است از چند سال تا چند هزار سال تغییر کند.

۳-۲-۲-۲- تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی (PSHA)

در روش احتمالاتی، جنبش زمین ساختگاه از طریق درنظرگرفتن احتمال وقوع رخدادهایی با بزرگاهای مختلف در چشمه‌های لرزه‌زای مختلفی که می‌توانند ساختگاه مورد نظر را تحت تاثیر قرار دهند برآورد می‌شود. با ترکیب احتمالات مختلف بدست آمده از منابع گوناگون، احتمال فراگذشت سالانه کلی برای یک PGA یا پاسخ طیفی مشخص بدست می‌آیند. منحنی احتمال فراگذشت برحسب جنبش زمین و یا بازتاب زلزله معمولا به "منحنی خطر" موسوم است. دامنه جنبش زمین به ازای دوره‌های تناوب مختلف یک احتمال فراگذشت مشخص، از طریق طیف خطر یکنواخت مشخص می‌شود. طیف خطر یکنواخت، طیفی است که احتمال فراگذشت (PE) برای تمام زمانهای تناوب طیف، یکسان محاسبه شده است. احتمال فراگذشت با درنظرگرفتن توزیع پواسون به دوره بازگشت مرتبط می‌شود:

$$T=\frac{-t}{\ln(1-PE)} \qquad (۱-۳)$$

که در آن PE احتمال فراگذشت درt سال وT دوره بازگشت می‌باشد.

یک مقدار متداول احتمال وقوع که در آیین‌نامه‌های ساختمانی در نظر گرفته می‌شود، احتمال وقوع دست‌کم ۱۰٪ در ۵۰ سال می‌باشد. با استفاده از رابطه (۳-۱) این احتمال فراگذشت وقوع معادل دوره بازگشت ۴۷۵ ساله است. این مقدار معمولا به منظور سهولت برابر با ۵۰۰ سال در نظر گرفته می‌شود.

از آنجا که روش PSHA یک روش احتمالاتی است، درنظرگرفتن عدم قطعیت در عوامل دخیل در آن ازجمله دوره بازگشت، بزرگای، کاهندگی، مرزهای جغرافیایی و یا موقعیت سرچشمه‌ها مهم است. این عدم قطعیتها در روش PSHA مدلسازی می‌شوند. شکل ۳-۲ نشان‌دهنده مراحل مختلف روش PSHA است. این تحلیلها معمولا با استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای خاصی که به همین منظور ساخته شده‌اند انجام می‌شوند. مشخصات ورودی این تحلیل‌ها عموما شامل موارد زیرند:

- تعیین سرچشمه‌های لرزه‌زا اعم از گسلها و یا سرچشمه‌های سطحی براساس پراکندگی زلزله‌های رخ داده (و نه براساس یک گسل شناخته شده)
- توزیع احتمال بزرگای زلزله‌ها برای هر منبع
- تعیین رابطه کاهندگی جنبش زمین و عدم قطعیت آن

شایان ذکر است به دلیل اینکه مقادیر جنبش زمین بطور احتمالاتی و از طریق ترکیب احتمالات

جنبش زمین از سرچشمه‌های مختلف بدست می‌آید، مقدار بدست آمده مربوط به یک گسل مشخص و یا یک رویداد ویژه نمی‌باشد. در واقع، اگرچه ممکن است به نظر برسد که تعیین جنبش زمین براساس بزرگترین زلزله محتمل در نزدیک‌ترین گسل منطقه به ساختگاه محافظه‌کارانه باشد، لیکن این مقادیر اغلب به میزان قابل توجهی کمتر از مقادیر بدست آمده از تحلیل خطر احتمالاتی می‌باشند. این مساله به ویژه در شرایطی که بزرگترین زلزله نزدیک‌ترین سرچشمه دارای دوره بازگشتی کوچکتر از دوره بازگشت در نظر گرفته شده در روش احتمالاتی باشد، یا ساختگاه تحت اثر چندین گسل قرارداشته باشد صادق است.

۳-۲-۲-۳- تحلیل پاسخ ساختگاه

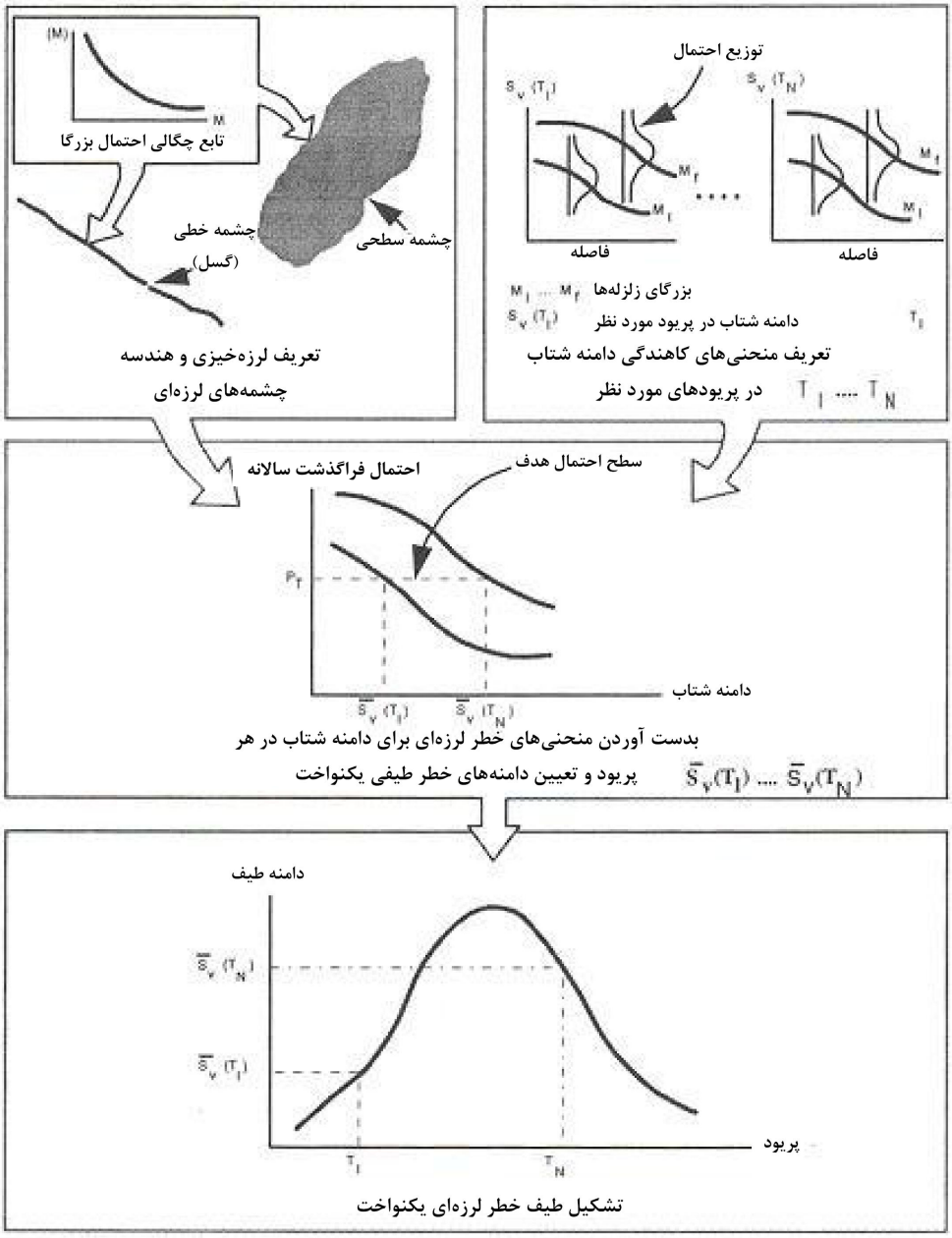
علاوه بر روشهای فوق، روشهای عددی دیگری نیز مانند تحلیل پاسخ ساختگاه با استفاده از مدلهای خطی یا غیرخطی خاک برای برآورد طیف پاسخ ویژه ساختگاه وجود دارند. تحلیل عددی پاسخ ساختگاه در شرایطی که خاک ساختگاه بسیار ضعیف است (مثلا براساس NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) در رده E یا براساس UBC در رده ۴) پیشنهاد می‌شود.

۳-۲-۲-۴- تاریخچه‌های زمانی زلزله

گاهی اوقات لازم است که مجموعه‌ای از تاریخچه‌های زمانی برای تحلیل لرزه‌ای استفاده شود. تاریخچه‌های زمانی به ویژه در مورد تحلیل‌های غیرخطی و یا برای تحلیل سازه‌هایی با اهمیت ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرند. به منظور کاهش احتمال یکسان شدن فرکانس سازه با محتوای فرکانس بخش کم انرژی رکورد انتخاب شده، توصیه می‌شود از چندین تاریخچه زمانی مختلف با محتوای فرکانسی گوناگون برای انجام تحلیل‌ها استفاده شود.

۳-۲-۲-۵- ملاحظات مربوط به جهت اعمال اثر زلزله

طیف پاسخ زلزله معمولا برای جهات متعامد افقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مورد نحوه ترکیب ورودی‌ها با جهتهای مختلف می‌توان به استاندارد ۲۸۰۰ مراجعه کرد. طیف پاسخ مولفه قائم معمولا به روشی مشابه با طیف پاسخ مولفه افقی بدست می‌آید. ازاینرو در عمل این طیف از همپایه کردن طیف پاسخ مولفه افقی بدست می‌آید برای این منظور معمولا از ضریب $۲/۳$ استفاده می‌شود. این ضریب برای ساختگاه‌های نزدیک به گسل مناسب نمی‌باشد و نیازمند تحلیل‌های دقیقتر می‌باشد.



شکل ۳-۲: روش تحلیل خطر لرزه‌ای

۳-۳- ناپایداری‌های ژئوتکنیکی

شکست زمین ممکن است در اثر روانگرایی، گسلش، یا ناپایداری شیروانی‌های خاکی رخ دهد. نشست‌های ناشی از زلزله نیز در این گروه قرار می‌گیرند. ناپایداری‌های ژئوتکنیکی مساله مهمی برای تاسیسات موجود در صنعت نفت است. این درحالی است که وقوع اینگونه ناپایداری‌ها که بیشتر سبب خسارات شدید (آسیب‌دیدگی سازه، تجهیزات و پیامدهای ناشی از آن) می‌گردد، در روشهای تحلیلی معمول مورد توجه قرار نمی‌گیرد. این آسیبها صرفا محدود به سازه‌ها و تجهیزات نمی‌شود، بلکه سیستمهای ثانویه مانند لوله‌های متصل که قادر به تحمل تغییرشکلهای بزرگ ناشی از ناپایداری ژئوتکنیکی نیستند را نیز در برمی‌گیرد.

۳-۳-۱- روانگرایی

روانگرایی پدیده‌ای است که بیشتر در اثر بارگذاری تناوبی در خاکهای غیر چسبنده با تراکم کم و یا رس‌های رُمبنده اتفاق می‌افتد. پتانسیل روانگرایی با افزایش تراکم خاک کاهش می‌یابد. معمولا خاکهای تحکیم یافته به روانگرایی حساس نمی‌باشند ولی ماسه‌های بد دانه‌بندی شده به این پدیده حساسند.

روانگرایی در اثر تمایل ایجاد تراکم در خاکهای غیر متراکم تحت اثر بارگذاری برشی رخ می‌دهد. در خاکهای اشباع این تمایل سبب افزایش فشار آب منفذی می‌شود که این امر خود موجب کاهش مقاومت برشی خاک شده و در نهایت، ممکن است مقاومت آن تا حدی کم شود که خاک روان گردد و یا به جوشش افتد. در چنین شرایطی ممکن است شالوده سازه‌ها دچار آسیب‌دیدگی شود؛ چراکه مقاومت خاک در اثر روانگرایی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. براساس گزارش (EERI 1994)، روانگرایی اغلب در مکانهایی مشاهده می‌شود که سطح آب زیرزمینی در عمق کمتر از ۱۰ متر از سطح زمین قرار دارد. البته در برخی از موارد آثار روانگرایی در محلهایی که سطح آب زیرزمینی در عمق پائین تر از ۲۰ متر از سطح زمین بوده نیز مشاهده شده است.

ارزیابی پتانسیل روانگرایی اغلب براساس روشهای تجربی و یا نیمه تجربی انجام داده می‌شود. سید و همکاران (Seed, et al., 1991) برخی از این روش‌ها را جمع‌آوری کرده‌اند. ارزیابی روانگرایی در یک ساختگاه مشخص، نیازمند برخی ویژگیهاست که تعیین آنها با عدم قطعیت‌های قابل توجهی همراه است. مهمترین این موارد عبارتند از:

الف: ویژگیهای فیزیکی خاک (مانند وزن مخصوص، دانه بندی و ساختار خاک)

ب: ویژگیهای مکانیکی (مانند مقاومت برشی و پارامترهای تغییرشکل‌پذیری خاک)

ج: شرایط تنش درجا

د: شرایط ساختگاه (مانند عمق لایه‌های خاک، تراز آب زیرزمینی، شیب زمین)

ه: ویژگیهای جنبش زمین (مانند دوام، محتوای فرکانسی و دامنه شتاب وارده)

لدبتر(Ledbetter,1985) مجموعه‌ای از روشهای مقابله با آسیب‌های ناشی از خاکهـای روانگـرا را ارائـه کرد. بسیاری از این روشها برای کاهش خسارت ناشی از نشست خاک‌های خشک کـاربرد دارنـد. ایـن روشها عبارتند از:

- محصور کردن
- افزایش تراکم
- بهبود زهکشی شالوده
- مسلح کردن خاک
- تزریق دوغاب یا افزودنی‌های شیمیایی

برداشتن خاک ضعیف و جایگزینی آن با مصالح مناسب در شرایطی که از لحاظ اقتصادی توجیه‌پـذیر باشد نیز می‌تواند به عنوان یک روش جنبی مورد نظر باشد. متراکم کردن لایه‌های سـطحی خـاک بـا استفاده از لرزاننده‌های متراکم کننده در سطح زمین (ویبراتورها) امکان‌پذیر است. بـرای ایجـاد تـراکم در لایه‌های عمیق‌تر می‌توان از انفجار، شمع کوبی، و سقوط وزنه از ارتفاع استفاده کرد.

یک روش اساسی برای کاهش پتانسیل روانگرایی و یا خطرات ناشی از نشسـت، قـرار دادن شـالوده در لایه‌های عمیق‌تر با تراکم بیشتر یا پتانسیل روانگرایی کمتر می‌باشـد. سـایر روشـها ماننـد اسـتفاده از پی‌گسترده یا نواری و گروه شمع - پی‌گسترده که سبب کاهش نشستهای غیریکنواخـت مـی‌شـوند در کاهش خسارات وارده به سازه‌ها یا تجهیزات مناسبند. افـزایش مقاومـت در برابـر روانگرایـی بـه روش افزایش تنش محصور کننده، از طریق اضافه کردن سربار بر روی سطح زمین امکان‌پذیر اسـت کـه بـه کمک دپو کردن مصالح انجام می‌شود.

۳-۳-۲- گسلش

گسلش، ناشی از آزاد شدن ناگهانی انرژی ناشی از شکست پوسته است و در اثر آن دو بخـش مجـزای پوسته نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. این تغییر مکان نسبی می‌تواند به‌صورت کاملا افقی یا کـاملا عمودی (و یا ترکیبی از این دو حالت) باشد. اندازه این تغییر مکان ممکن است به چندین متـر برسـد. یک تغییر مکان چند سانتی‌متری می‌تواند سبب ایجاد خسارت قابل توجهی در سازه‌های قرارگرفته در نزدیکی محل گسلش شود. در عمل، موضع دقیق گسلها کاملا مشخص نیست زیرا گسلها بیشتر توسط لایه های خاک پوشیده شده‌اند. تغییرمکانهای ایجاد شده در گسل، سبب تولید نیروها و جابجایی‌هـای بسیار بزرگی می‌شود. ازاینرو بهترین روش برای جلوگیری از بروز خسارات ناشی از گسـلش در زمـین، پرهیز از اجرای سازه‌ها در محلهای اطراف گسلهای فعال است.

۳-۳-۳- رانش زمین

رانشهای زمین در اثر زلزله، در مقایسه با رانشهای ناشی از سایر عوامل، سبب جابجایی حجمهای قابل‌توجه‌تری از خاک می‌شوند (Seed et al., 1991) و (Krintzsky et al., 1993). در طول بزرگترین رانشهای صورت گرفته تاکنون، چندین کیلومتر مربع از مصالح جابجا شده‌اند. از سوی دیگر، رانش زمین ممکن است در خارج از مناطقی که در اثر زلزله دچار خسارات سازه‌ای می‌شوند رخ دهد و در برخی موارد ممکن است با فاصله بیش از ۲۰۰ کیلومتر از مرکز زلزله رخ دهد.

زمین لرزه‌های با بزرگای کمتر از ۵، به ندرت موجب رانش زمین می‌شوند. رانش زمین ممکن است در اثر روانگرایی لایه‌های خاک، شکست خاکهای ضعیف و یا لغزش روی لایه‌ای از خاک ضعیف رخ دهد. به‌دلیل تنوع عوامل ایجادکننده رانش زمین، ارزیابی مخاطرات ناشی از رانش زمین نیازمند انجام دادن مطالعات ژئوتکنیکی دقیق می‌باشد.

روشهای عددی ارزیابی پتانسیل رانش زمین شامل روشهای حدی و اجزای محدود است. این روشها برای انواع خاکهای خشک، اشباع، چسبنده و یا غیر چسبنده قابل استفاده است. روشهای اجزای محدود در شرایطی که محاسبه تغییرمکانهای ناشی از رانش مورد نظر باشد و نیز در مواردی که هندسه مساله پیچیده است ارجح می‌باشد. روشهای حدی برای تحلیلهای دینامیکی توسعه یافته‌اند. این روشهای دینامیکی بر فرض حرکت اجسام صلب استوار است.

۳-۴- سونامی و سیچ

سونامی و سیچ در نقاط مختلف جهان به وقوع می‌پیوندد اما تنها در زمان مطالعات اولیه و تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی تاسیسات درنظر گرفته می‌شود. در این بخش بطور مختصر به این پدیده‌ها و نحوه ارزیابی و مقابله با آنها پرداخته می‌شود.

سونامی بیشتر به علت زمین‌لرزه‌های بزرگ (و گاهی دور) و یا حرکت گسلها زیر دریا رخ می‌دهد. امواج سونامی در هنگام عبور از مناطق عمیق، به‌طور وسیع، با ارتفاع کم و سرعت زیاد حرکت می‌کنند که ممکن است برای انواع شناورها خطرناک باشد. این امواج در مواجهه با نوار ساحلی بصورت امواج مرتفعی در می‌آیند و گاهی اوقات موجب آب‌شستگی و خرابی خشکی می‌شوند. سیچ در اثر تشدید نوسانات آبهای محصور یا نیمه محصور(نظیر دریاچه‌ها و خلیج‌ها) رخ می‌دهد. سیچ می‌تواند در اثر زلزله‌های متوسط و یا شدید زیر دریا و گاهی در اثر زمین‌لرزه‌های میدان دور رخ دهد. سونامی و سیچ سبب وقوع سیلاب و آب‌گرفتگی در مناطق پست ساحلی می‌شوند. مهمترین خطر ناشی از سونامی و سیچ جریان آب به داخل خشکی و برعکس می‌باشد که در طول آن جریان‌های قوی و نیروهای بزرگ سبب فرسایش و آب‌شستگی شالوده‌های سازه‌ها و تجهیزات می‌شود. در سازه‌ها و تجهیزات موجود در صنعت نفت، مخازن بطور ویژه در برابر این امواج آسیب‌پذیر می‌باشند زیرا پارگی

پوسته ناشی از برخورد آوار و یا آسیب‌دیدگی شالوده ممکن است سبب ایجاد انفجار و یا آتش‌سوزی شود. وقوع سونامی پس از زلزله ۱۹۶۴ میلادی آلاسکا سبب بروز چنین خساراتی در تاسیسات بندری این کشور شد و امواج پیاپی سبب انتشار آتش از مخازن آسیب دیده به سایر نقاط بندر شدند. همچنین می‌توان به سونامی سال ۲۰۰۴ میلادی در سواحل اندونزی اشاره کرد که باعث تلفات و خسارات گسترده‌ای شد.

عامل بالقوه دیگر آب‌گرفتگی ساحل، فرونشست ساحل در اثر عوامل تکتونیکی (نظیر گسلش) و غیر تکتونیکی (نظیر رانش زمین در زیر دریا) می‌باشد. ممکن است فرونشست و آب‌گرفتگی ایجادشده دائمی باشد. پیش بینی این فرونشست‌های تکتونیکی مشکل است اما غیرممکن نیست. داده‌های لرزه‌ای تاریخی می‌توانند شواهدی از وقوع چنین پدیده‌ای را در اختیار قرار دهند.

۳-۴-۱- ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر آب‌گرفتگی

ساختگاه‌های ساحلی با شرایط تکتونیکی فعال که در آن لغزش گسل متداول می‌باشد، بیشترین حساسیت را به آب‌گرفتگی دارند. انجام مطالعات درباره ویژگیهای گسلهای منطقه و تاریخچه زلزله‌های به وقوع پیوسته، با تاکید بر زلزله‌های زیردریایی و سونامی‌های تاریخی احتمالی، بهترین وسیله برای ارزیابی آسیب‌پذیر بودن ساختگاه می‌باشد. برآوردهای انجام شده در زمینه وقوع سونامی می‌تواند براساس تاریخچه رخدادها و یا مدلسازی نظری باشد.

۳-۴-۲- روشهای مقابله

روشهایی مانند ایجاد دیوار و حصارهای ساحلی برای مقابله با سونامی استفاده می‌شود. این‌گونه سازه‌ها در برخی از موارد مناسب می‌باشند. امواج بزرگ سونامی می‌توانند ارتفاعی بیشتر از این دیوارها داشته باشند و سبب آب‌گرفتگی و استغراق ناحیه محصور شده شوند و یا سازه‌های نگهبان را دچار آب‌شستگی کنند. سازه‌های نگهبان ساحلی باید برای مقابله با شدیدترین رخدادهای محتمل به‌طور دقیق طراحی شوند. در مورد تاسیسات موجود روشهای دیگری ممکن است برای مقابله با آب گرفتگی ساحل بکاربرده شود. برخی از این روشها عبارتند از:

- استفاده از سیستمهای هشداردهنده سونامی
- طرح سیستمهای واکنش به بحران که در آنها آسیب‌پذیری تاسیسات و آثار محتمل سونامی در نظر گرفته شده باشد.
- شناخت آسیب‌پذیرترین تجهیزات و سازه‌ها و درنظرگرفتن استراتژیهای موثر ممکن برای مقابله
- آگاهی فردی و عمومی از آثار و خسارات ناشی از وقوع سونامی

۴- ارزیابی چشمی تجهیزات موجود

۴-۱- کلیات

در زمان ارزیابی سریع، معمولا اجزای موجود با استفاده از روش چشمی مورد بازرسی قرار می‌گیرند تا آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالقوه آنان ارزیابی شود. با استفاده از این روش می‌توان به‌صورت سریع و ارزان پرمخاطره‌ترین بخشها را تعیین و بخشهای مختلف را اولویت‌بندی کرد. هدف این فصل ارائه راهنمایی‌های عملی برای مهندسانی است که چنین بررسی‌هایی را انجام می‌دهند.

۴-۲- زمینه انجام ارزیابی

مقررات مختلف، تاسیسات نفتی را به‌طور روزافزونی وادار به برقراری ایمنی در برابر آزاد شدن مواد سمی و آلودگی می‌کنند. با این وجود در حال حاضر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای رایج و مورد قبول چندانی برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات موجود تدوین نشده است. در برخی از صنایع با نظارت شدید (مانند نیروگاه‌های هسته‌ای) تامین نیازهای آیین‌نامه‌های به روز شده الزامی می‌باشد ولی برای صنایع نفتی این الزام وجود ندارد.

تصمیم‌گیری برای تایید وضع موجود و یا بهسازی تاسیسات بر مبنای ملاحظات اقتصادی صورت می‌گیرد که بر مبنای ملاکهای تنظیم شده توسط صاحبان صنایع و درصورت لزوم با موافقت مراجع ذیصلاح محلی انجام می‌شود.

از ابتدای دهه ۱۹۹۰ میلادی، روشهای ارزیابی چشمی همراه با ارزیابی‌های محدود تحلیلی به‌طور وسیعی برای تاسیسات پتروشیمی مورد استفاده قرارگرفته است. این روشها برای تامین نیازهای RMPP (Recognition and Management of Pesticide Poisonings) با روشی شبیه به روش مربوط به تاسیسات هسته‌ای تدوین شده است. این روش به دلایل زیر مورد استفاده قرارگرفته است:

الف: تعداد کمی از تاسیسات موجود قادر به برآوردن ضوابط آخرین ویرایش آیین‌نامه‌های طراحی می‌باشند. این آیین‌نامه‌ها با توجه به تجربه‌های زلزله‌های گذشته و تحقیقات صورت گرفته، پیوسته در حال تغییرند و اغلب محدودکننده‌تر و محافظه‌کارانه‌تر می‌گردند.

ب: روشهای ارزیابی چشمی از مزایای تجربه‌های زلزله‌های گذشته استفاده می‌کنند. با وقوع هر خسارت می‌توان آنرا ریشه‌یابی و با استفاده از روشهای ارائه شده در این فصل برای تخفیف آن اقدام کرد.

ج: روش چشمی مقرون به صرفه است. در این روش تمام تجهیزات، مورد بازرسی قرار می‌گیرند ولی از انجام تحلیل دقیق برای تجهیزات، بجز تجهیزات با خطرپذیری بالا صرفنظر می‌شود.

مشکلات آشکار به سرعت قابل تشخیص می‌باشند و می‌توان آنها را کاهش داد. همچنین بخشهایی که اصلاحات کم‌هزینه در مورد آنها می‌تواند یکپارچگی سازه یا تجهیزات را بهبود بخشد نیز قابل شناسایی و اصلاح است.

د: این روش منطقی و قابل دفاع است. در این شیوه، شرایط واقعی واحد صنعتی در نظر گرفته می‌شود. به علاوه، این روش بر مبنای عملکرد واقعی سازه‌ها و تجهیزات در زلزله‌های گذشته صورت می‌گیرد و تجربه و قضاوت مهندسی و برداشت معمول مهندسان ارزیاب را به خدمت می-گیرد. بسیاری از دستگاه‌های نظارتی کالیفرنیا این روش را تایید و آنرا برای RMPP پیشنهاد کرده‌اند.

در مجموع روش چشمی صاحبان صنایع را قادر می‌سازد تا اجزا و بخشهای پرمخاطره را شناسایی کنند و ایمنی بالقوه، مسایل زیست‌محیطی و پیامدهای اقتصادی ناشی از رخدادهای لرزه‌ای را ارزیابی کنند.

۴-۳- روش کلی

ارزیابی چشمی معمولا توسط یک مهندس یا تیمی از مهندسان و با استفاده از یک روش مشخص و سامان‌مند برای اطمینان از استحکام و پایداری صورت می‌گیرد. روش کلی ارزیابی ممکن است شامل چند مورد و یا تمام موارد زیر باشد:

الف- تعیین نیازهای عملکردی تاسیسات: هماهنگی با صاحبان صنایع (کارفرمایان)، کاربران، دستگاه‌های نظارتی و مهندسان ایمنی فرآیند یا سایر بخشهای مرتبط، به منظور بحث در مورد اهداف ارزیابی و تعیین نیازهای عملکردی تاسیسات.

ب- شناسایی تجهیزات، سازه‌ها و لوله‌های مورد نظر: درصورتی‌که ارزیابی به عنوان بخشی از تحلیل خطرپذیری فرآیند و یا بررسی ایمنی فرآیند صورت گیرد، ارزیابان باید فرضیات صورت گرفته در تحلیل خطر در زمینه قابلیت کاربری مورد نظر سیستمهای حیاتی پس از وقوع زلزله را در نظر بگیرند. به بیان دیگر در این شرایط ممکن است تنها ارزیابی برخی از تجهیزات و سازه‌های موجود در مجتمع مورد توجه باشد. درصورتی‌که ارزیابی برای مقاصدی چون بیمه یا ارزیابی کمی خطرپذیری کلی مجتمع صورت گیرد، ممکن است ارزیابان نیازمند به بازبینی تمام تجهیزات و سازه‌های اصلی در مجتمع مورد نظر باشند.

ج- گروه بندی خسارات: اغلب لازم است که فعالیتهای صورت گرفته در طول بازرسی چشمی با گروه ایمنی فرآیند هماهنگ شود تا نیازهای هریک از تجهیزات یا سازه‌ها تعیین شود. به بیان دیگر، گروه ایمنی فرآیند باید از وضعیت آسیب‌پذیری محتمل هر یک از سازه‌ها و تجهیزات آگاهی یابد.

د- جمع‌آوری اطلاعات ساختگاه: اطلاعات مورد نیاز می‌تواند شامل داده‌های خطر لرزه‌ای، محل گسلها، گمانه‌های موجود از خاک، نقشه‌های موجود و مبانی طراحی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات واحد مورد بررسی باشد.

هـ- ارزیابی چشمی سازه‌ها و تجهیزات: این بخش به‌طور سامان‌مند و با استفاده از کاربرگهای موجود برای هریک از اجزا انجام داده می‌شود. نمونه‌ای از این کاربرگها در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

و- بازبینی نقشه‌ها: این امر می‌تواند در بررسی جزییات مهار در سازه‌های بتن مسلح یا تمام مواردی که به دلیل وجود عایقها و یا پوششهای ضد حریق به‌صورت چشمی قابل مشاهده نیستند مفید باشد.

ز- تعیین موارد نیازمند به روشهای تحلیلی: چنین تحلیلهایی را می‌توان در مورد "بدترین" شرایط و یا برای سازه‌هایی که به صورت چشمی آسیب‌پذیر به نظر می‌رسند انجام داد. این انتخاب براساس مواردی چون خطرات بالقوه نشت مواد سمی، آلودگی و یا هرگونه عملکرد غیرقابل قبول (مثلا خسارتی که موجب قطع فعالیت واحد صنعتی گردد) انجام می‌شود.

ح- مستند سازی موارد "آسیب‌پذیر" یا "مشکوک" برای کارفرمایان: در این بخش باید توضیحات کافی در مورد اقدامات اصلاحی (ترمیمی)، تعمیر و نگهداری و تحلیلهای تکمیلی ارائه گردد.

ط- توصیه‌هایی برای بهبود وضعیت موجود: در این بخش طرح‌هایی برای هرگونه عملیات سازه‌ای یا مکانیکی که می‌تواند موجب کاهش خطرپذیری لرزه‌ای گردد، ارائه می‌شود. در این مورد لازم است مهندسان با کارفرمایان و مهندسان ایمنی فرآیند در زمینه قابل اجرا بودن طرحهای اصلاحی خود مشورت کنند.

ی: اولویت‌بندی: در این قسمت پیامدهای ناشی از آسیب‌دیدگی تجهیزات و سازه‌ها بررسی شده و براساس این پیامدها اولویت‌بندی انجام می‌شود. با استفاده از سیستم اولویت‌بندی یا نمره‌دهی می‌توان سازه‌ها و تجهیزات را به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

- سازه‌ها و تجهیزات با آسیب‌پذیری لرزه‌ای شدید، که باید به سرعت بهسازی گردند.
- سازه‌ها و تجهیزات با آسیب‌پذیری لرزه‌ای جدی که ممکن است بسته به شرایط اقتصادی نیاز به اصلاح داشته باشد.
- سازه‌ها و تجهیزات نیازمند به اصلاحات نسبتا ساده که بهسازی آنها می‌تواند در زمان تعمیرات دوره‌ای مجتمع انجام شود.

کاربرگ ارزیابی عینی تجهیزات

شماره تجهیز: کارکرد: موقعیت:

نتیجه ارزیابی

☐ مناسب ☐ نامناسب ☐ نیاز به بررسی بیشتر دارد

توضیحات:

بررسی وضعیت مهار

☐ عدم کفایت اتصال ☐ فقدان یا شل بودن پیچها ☐ کیفیت نامناسب بتن

☐ فاصله کم مهار تا گوشه ☐ کیفیت نامناسب جوش ☐ سایر مشکلات

توضیحات:

بررسی مسیر بار

☐ اتصال نامناسب به سایر تجهیزات ☐ فقدان یا نامناسب بودن اعضای سازه‌ای تکیه‌گاه

☐ تکیه‌گاه نامناسب ☐ سایر مشکلات

توضیحات:

بررسی ویژگیهای تجهیز

☐ کیفیت نامناسب نگهداری ☐ مصالح ترد و شکننده ☐ وجود خوردگی ☐ مشکلات عملکردی

☐ خرابی خاک ☐ سیستم نامناسب تحمل بار جانبی ☐ سایر مشکلات

توضیحات:

بررسی اندرکنش با محیط اطراف

☐ احتمال سقوط اجسام ☐ احتمال ضربه اجسام مجاور ☐ تغییرمکانهای غیریکنواخت ☐ آب‌گرفتگی/آتش‌سوزی

توضیحات:

امضا و تایید

نام و نام خانوادگی: تاریخ تکمیل کاربرگ:

نام و نام خانوادگی: تاریخ تکمیل کاربرگ:

شکل ۴-۱: نمونه‌ای از کاربرگ ارزیابی چشمی تجهیزات

۴-۴- ملاحظات مربوط به سیستم

در بیشتر شرایط عملی، ارزیابی چشمی از هریک از تجهیزات به تنهایی صورت می‌گیرد. به عنوان مثال مخازن تحت فشار و خطوط لوله بیشتر به دلیل وجود مواد خطرناک، احتمال آتش‌سوزی و اندرکنش بالقوه با سایر تجهیزات به عنوان اجزای مهم شناخته می‌شوند و توسط گروه ارزیابی چشمی مورد بازرسی قرار می‌گیرند. این ارزیابی‌ها بیشتر بدون هرگونه تحلیل خطر فرآیند (مانند HAZOP) انجام می‌شوند. در چنین شرایطی لازم است گروه ارزیابی چشمی با گروه مجری تحلیل خطر لرزه‌ای همکاری داشته باشد. چنین تبادل اطلاعات سازنده‌ای می‌تواند سبب افزایش دقت مطالعات شود.

گروه ارزیاب باید قادر باشد برخی از آثار کلی زلزله محتمل را برای کارفرمایان و نیز مهندسان ایمنی فرآیند روشن سازد. به عنوان مثال:

- در زمان زلزله، کل تاسیسات بدون پیش‌آگاهی تحت اثر جنبش شدید زمین قرار خواهد گرفت.
- ارتعاش ناشی از زلزله ممکن است ۱۰ ثانیه و یا بیشتر به طول انجامد. برخی از زمین‌لرزه‌های بسیار بزرگ (با بزرگی بیش از۸) دارای دوام حدود ۶۰ ثانیه بوده‌اند.
- برق تامین شده از خارج مجتمع احتمالا قطع می‌شود.
- بسیاری از سیستم‌ها ممکن است به‌طور همزمان از کار بیفتند. به عنوان مثال مخابرات، شبکه آب‌رسانی و مانند آن ممکن است برای مدت طولانی قطع شوند.
- خطوط لوله زیرزمینی ممکن است دچار شکست شود.
- در برخی از تجهیزات، ممکن است سیستم لوله‌ها آسیب ببینند و قابلیت خدمت‌رسانی خود را از دست بدهد.
- نیروهای امداد خارج از مجتمع ممکن است به‌دلیل آسیب‌دیدگی شریانهای حیاتی (پلها و یا بزرگراه‌ها) و یا نیاز به حضور آنها در سایر بخشها، امکان خدمت‌رسانی به مجتمع را نداشته باشند.
- توجه به این نکته لازم است که برای کارکنان مجتمع حفظ جان خود و یا خانواده در درجه اول اهمیت قراردارد. بنابراین ممکن است عملکرد کارکنان در کاهش خسارات وارده چندان کارا نباشد.

درصورتی‌که بررسی آسیب‌پذیری به عنوان بخشی از تحلیل خطرپذیری صورت گیرد، هریک از عوامل بالا ممکن است برروی آن تاثیرگذار باشد. مهندس ارزیاب باید به دقت بررسی کند که کدام یک از فرضیات صورت گرفته در تحلیل خطرپذیری در مورد قابلیتهای بهره‌برداری از تاسیسات و تجهیزات صحت دارد.

مهندس ارزیاب باید در مورد پیامدهای خسارتها با کارکنان، کارفرمایان، مهندسان ایمنی فرآیند و سایر متخصصین مربوط در تعامل باشد. به عنوان مثال از دید یک مهندس زلزله بدترین پیامد ناشی از شکست لوله‌ها ممکن است نشت و رها شدن مواد سمی باشد درحالی که برای متصدیان

فرآیند برخی ملاحظات دیگر مانند امکان ادامه تغذیه از طریق لوله، و یا قطع عملیات به دلیل افت فشار در سیستم ممکن است از اهمیت بیشتری برخوردار باشد.
براین اساس گروههای ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید ارزیابی خود را براساس قضاوت مبتنی بر درک صحیح از کل سیستم انجام دهند. علاوه براین مهندسان زلزله باید توجه داشته باشند که تمام خسارتهای بالقوه نیاز به بهسازی ندارند. بسیاری از خسارتهای محتمل که توسط گروه ارزیابی چشمی مورد توجه قرار می‌گیرند، ممکن است از دیدگاه اقتصادی و یا ایمنی اهمیت چندانی نداشته باشند. تصمیم‌گیری در مورد بهسازی سازه‌ها و تجهیزات بر عهده کارفرماست و براساس مطالعات هزینه-سود صورت می‌گیرد. برای این منظور بهتر است کاربرگی که حاوی اولویت‌بندی فرآیندی و خطرهای محتمل از دید کارفرما است به ارزیابان داده شود.

۴-۴-۱- سیستمهای اضطراری

در طول یک زلزله خسارت‌بار، ممکن است که سیستمهای خدماتی خارج از مجتمع صنعتی برای مدتی نسبتا طولانی قابلیت عملکرد خود را از دست بدهند.
درصورتی‌که گستره بررسی تیم ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای محدود به تجهیزات و لوله‌های حاوی مواد خطرناک باشد، مهندسان زلزله باید در مورد فرضیات مهندسان ایمنی فرآیند در زمینه وجود خدمات بیرون مجتمع آگاه شوند. بهتر است به منظور ایمنی بیشتر مواردی مانند سیستمهای برق اضطراری و نیز مخازن نگهداری آب نیز در ارزیابی در نظر گرفته شوند. گروه ارزیاب باید در مورد میزان نیاز به عملکرد مستقیم سایر سیستمهای خدماتی مانند مخابرات و سیستمهای راهبری پس از وقوع زلزله آگاهی کافی داشته باشد.

۴-۵- ارزیابی تجهیزات

در بخشهای بعدی راهنمایی‌هایی در زمینه ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تجهیزات معمول موجود در صنایع نفتی ارائه شده است. لازم به یادآوری است که ذکر تمام تجهیزات موجود در یک مجتمع نفتی عملا امکان‌پذیر نیست. مواردی که در این فصل به آنها اشاره شده است، تجهیزاتی هستند که در طول دو دهه گذشته، عملکرد لرزه‌ای آنها پس از زلزله‌ها مورد بررسی قرارگرفته است. همچنین در تدوین این راهنما از تجربیات مهندسان ارزیاب آسیب‌پذیری لرزه‌ای صنایع نفتی نیز استفاده شده است. در هر حال مهندسان ارزیاب باید برای تعیین آسیب‌پذیری بالقوه سازه‌ها و تجهیزات، قضاوت مهندسی خود را در کنار اصول مهندسی بکار گیرند.

۴-۵-۱- ملاحظات مهم

برای انجام ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید به نکات مهمی ازجمله موارد زیر توجه داشت:

- جنبش زمین (سطح خطر): در مناطق با خطر نسبی زلزله کم، ممکن است تجهیزات مهمی مانند مخازن تحت فشار که براساس معیارهای لرزه‌ای غیر از زلزله (مثلا باد) طراحی شده‌اند دارای ظرفیت کافی جهت تحمل زلزله باشند. البته در این شرایط نیز ممکن است برخی خسارات ناشی از تغییرمکانهای ناشی از جنبش‌های خفیف رخ دهند.

- سایر مخاطرات (گسلش، ناپایداری خاک و ناپایداری شیروانی): درصورت وجود یک گسل شناخته شده در مجاورت تاسیسات، ارزیابان آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید به سازه‌ها و تجهیزاتی که تغییرمکان وارده سبب بروز خسارت در آنها می‌گردد توجه داشته باشند. ازجمله این موارد می‌توان به لوله‌های مدفون و تجهیزات قرارگرفته برروی سازه‌های مختلف اشاره کرد. در صورتی‌که گسل شناخته شده‌ای در محل ساختگاه وجود داشته باشد، لازم است مطالعات کاملتری از لحاظ ناپایداری‌های ژئوتکنیکی مانند روانگرایی و گسلش و آثار میدان نزدیک که می‌تواند بر شدت خسارات وارده تاثیر زیادی داشته باشد، انجام داده شود.

- سن تاسیسات و آیین‌نامه‌های موجود در زمان ساخت: آیین‌نامه‌های لرزه‌ای ممکن است نسبت به زمانی که تاسیسات براساس آن طراحی و اجرا شده‌اند، تغییرات قابل ملاحظه‌ای کرده باشد. آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های بتن مسلح به‌طور ویژه از ابتدای دهه ۷۰ میلادی تغییر کردند و جزییات اجرایی برای ایجاد شرایط شکل‌پذیر در آنها لحاظ گردید. براین اساس، در مورد تاسیسات صنعتی موجود در واحدهای قدیمی‌تر (که فاقد جزییات شکل‌پذیری یاد شده می‌باشند) باید به مسایلی که باعث کاهش ظرفیت سیستم می‌شود توجه بیشتری کرد. به عنوان مثال پریدگی سطح بتن، آسیب‌دیدگی بتن، خوردگی و مسایل مشابه، در این سازه‌ها اثر مخرب بیشتری دارند.

- کیفیت نگهداری: درصورتی‌که کیفیت نگهداری ضعیف یا نامناسب برآورد شود، گروه ارزیاب باید توجه کافی به پیچها و مهره‌های از بین رفته، خسارتهای تعمیر نشده، تعمیرات انجام شده در محل به ویژه در مسیر باربری اصلی سازه و اتصالات داشته باشد.

- اولویتهای ایمنی فرآیند، مسایل زیست‌محیطی و مانند آن: مهندسان ایمنی فرآیند و کارفرمایان باید تیم ارزیاب را از تجهیزات حیاتی و مهم از لحاظ فرآیند، مسایل زیست‌محیطی، اقتصادی و پیامدهای خسارت آگاه سازند.

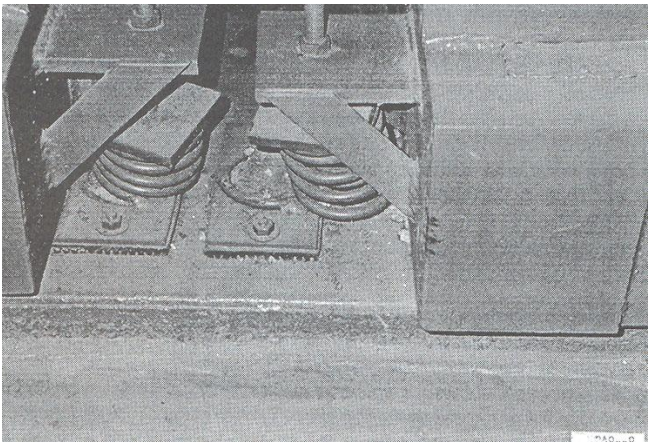
۴-۵-۲- مسایل کلی

مسایلی که در این بخش ارائه می‌شوند در بیشتر تجهیزات برقی و مکانیکی وجود دارند. راهنمایی‌های تکمیلی برای بسیاری از تجهیزات خاص در بخشهای آینده ارائه خواهند شد.

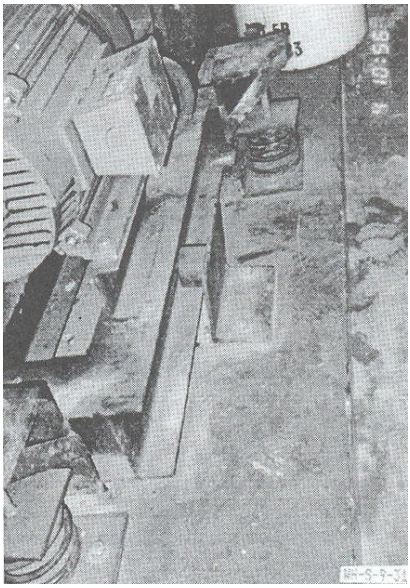
۴-۵-۲-۱- مهار

جابجایی ناشی ازنبود مهار کافی در طول زلزله‌های گذشته مهمترین عامل وارد آمدن خسارت به تجهیزات بوده است. برخی از جزییات مهار که به طور بالقوه آسیب‌پذیر تلقی می‌شوند عبارتند از:

- جداسازهای ارتعاشی: تجهیزات دارای موتور دوار، بیشتر با استفاده از فنرها و یا بالشتکهای الاستومری از سازه تکیه‌گاهی جدا می‌شوند. این فنرها و بالشتکها، سبب کاهش ارتعاش منتقله از تجهیزات به سازه تکیه‌گاهی می‌شوند. در نگاه اول به نظر می‌رسد که این جداسازها در برابر زلزله مقاوم هستند در حالیکه در بیشتر اوقات به‌دلیل کمبود مقاومت و یا شکل‌پذیری، در برابر زلزله آسیب‌پذیر می‌باشند (شکل ۴-۲). یکی از دلایل بالقوه آسیب‌دیدگی، ساخته شدن جداسازها از مصالح غیرشکل‌پذیر مانند چدن می‌باشد که ممکن است در اثر زلزله دچار شکست شود. دلیل بالقوه دیگر، عدم وجود مقاومت کافی در برابر تغییرمکانهای قائم به سمت بالا می‌باشد. در چنین شرایطی، تجهیزات ممکن است از محل تکیه‌گاه خود جابجا شوند و مهار جانبی خود را از دست بدهند. برای بهبود این امر می‌توان از سپرهایی به عنوان مهار جانبی تجهیزات استفاده کرد (شکل ۴-۳). علاوه براین می‌توان از ترمزهایی استفاده کرد که حرکت جانبی را به‌طور کامل محدود نمی-کنند ولی آنها را در حد قابل قبول نگه می‌دارند. همچنین وجود قیدهایی در برابر بلندشدگی تجهیزات لازم است. در حالت کلی توصیه می‌شود که تجهیزات دارای جداساز ارتعاشی، به‌طور دقیق مورد ارزیابی قرار گیرد. علاوه براین خود جداسازها نیز باید مورد ارزیابی قرار گیرند و پیامدهای تخریب جداساز در اثر تغییر مکانهای بزرگ بررسی شود.



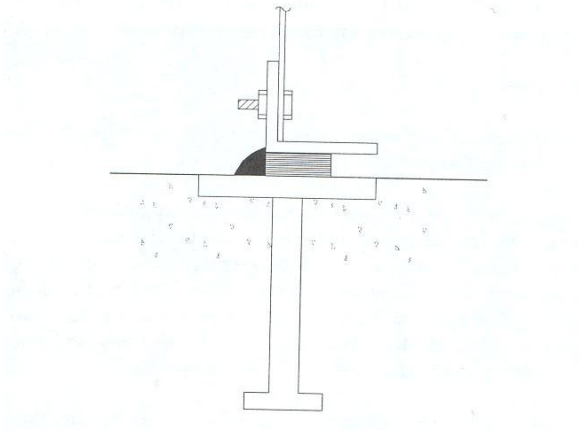
شکل ۴-۲: نمونه‌ای از یک جداساز ارتعاشی آسیب دیده. فنر جداساز شکسته است. در برخی از شرایط ممکن است قیدهای غیرشکل‌پذیر دچار شکست شوند.



شکل ۴-۳: از سپرها باید برای محدود کردن جابجایی تجهیزات جداسازی شده استفاده کرد. علاوه براین قیدهایی در برابر بلندشدگی تجهیزات باید تعبیه شوند.

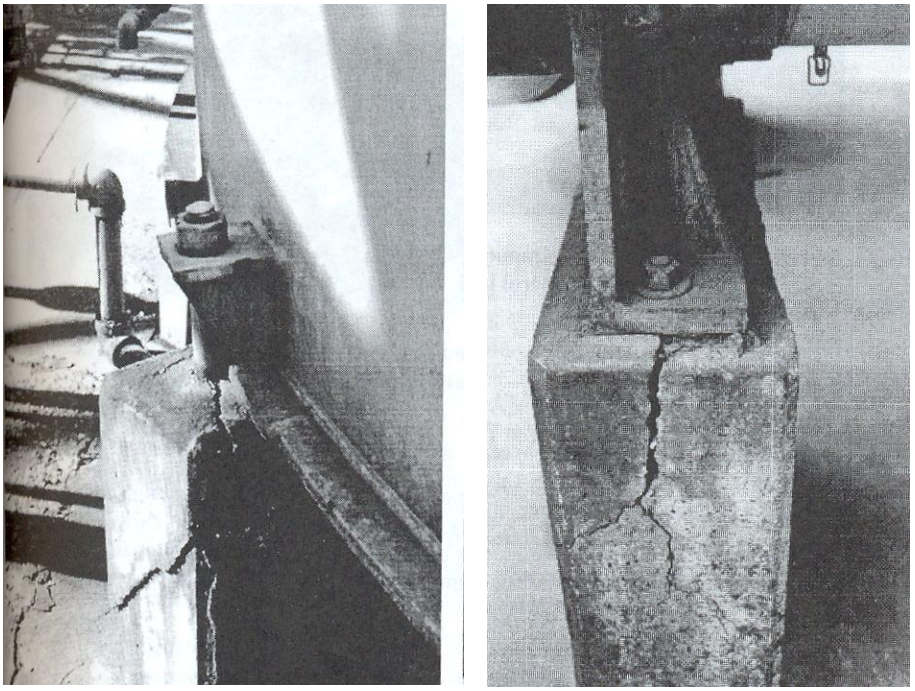
- جوشها: در شرایطی که جوشها تحت اثر تنشهایی بیش از حد مقاومت‌شان قرارگیرند، وقوع خرابی ترد محتمل است. مواردی که باید در طول ارزیابی چشمی مورد توجه قرارگیرند عبارتند از:
- جوشهای دچار خوردگی در بخشهایی که امکان جمع شدن آب وجود دارد و یا جوش به‌طور پیوسته در معرض رطوبت قرار می‌گیرد.
- جوشهای ضعیف
- شرایطی که امکان اجرای جوش باکیفیت مناسب وجود ندارد. به عنوان مثال جوش ورقهای مضرس ممکن است کیفیت مناسبی نداشته باشد (شکل ۴-۴).
- جوش در محلهای نابجا (مانند جوش پیچهای مهار به مخزن)
- جوشهای روی ورقها و لقمه‌های تراز (شکل ۴-۵) مواردی هستند که به سختی می‌توانند در بازرسی‌های چشمی کنترل شوند و احتمالا در نقشه‌های اجرایی نیز نشان داده نمی‌شوند. لقمه‌ها و ورقهای تراز معمولا برای تراز کردن مخازن بکار می‌روند. جوشهای ورقها ممکن است ظرفیت بسیار کمی داشته باشند. این جزییات نامناسب در نقشه‌ها و نیز در طول عملیات ارزیابی چشمی به سختی قابل پیگیری می‌باشند. در این شرایط گروه ارزیاب باید به ضخامت ظاهری ورق کف توجه داشته باشد.

شکل ۴-۴: نمونه‌ای از جوش باکیفیت بد



شکل ۴-۵: نمونه‌ای از لقمه‌ها و ورقهای تراز

- مهارهای پیچی: مهارهای درجا اجرا شده، مهارهای تزریق شده و مهارهای انبساطی، نه تنها ممکن است به‌دلیل کمبود مقاومت دچار خرابی شوند بلکه مواردی مانند فاصله ناکافی از لبه و نیز ترک‌خوردگی بتن نیز می‌تواند باعث بروز خسارت در آنها شود (شکل ۴-۶). درصورتی‌که فاصله بین پیچهای مهاری کمتر از ۱۰ برابر قطر پیچها باشد، ممکن است مخروطهای برشی اطراف پیچها با یکدیگر تلاقی کنند که این امر سبب کاهش ظرفیت باربری پیچهای مهار می‌شود. پیچهای تزریقی در محل و نیز مهارهای انبساطی که ظرفیت آنها بستگی زیادی به نصب دقیق و صحیح آنها دارد، باید در طول بازرسی چشمی مورد توجه ویژه قرار گیرند.



شکل ۴-۶: ایجاد ترکها می‌تواند سبب کاهش قابل توجهی در ظرفیت کششی و برشی میل مهارها گردد.

۴-۵-۲-۲- مسیر انتقال بار

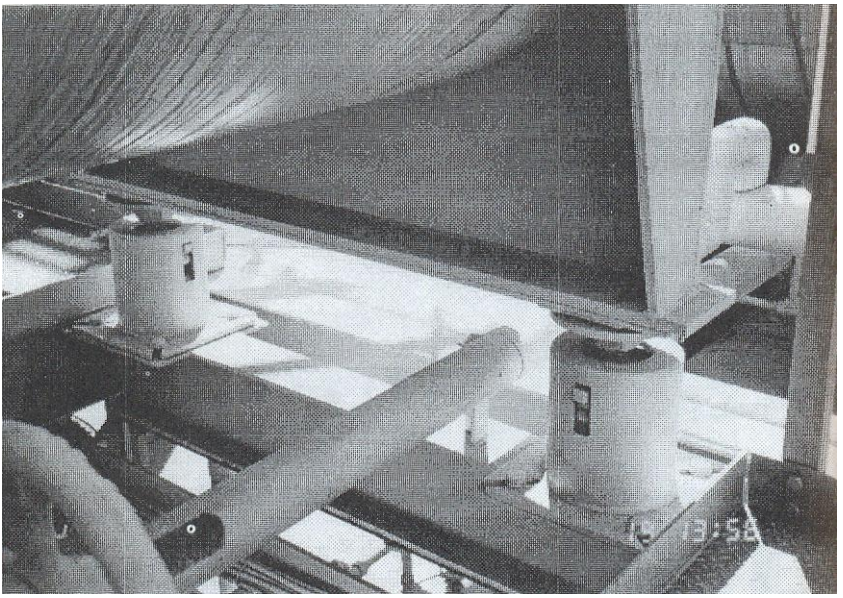
در مورد مسیر انتقال بار به شالوده باید به موارد زیر توجه کرد:

الف: مسیر انتقال بار تجهیزات مهم به شالوده باید به‌صورت چشمی مورد بازرسی قرار گیرد.

ب: ارزیابان باید به قطع غیرمعمول مسیر بار و یا اصلاحات انجام شده بر روی مسیر بار توجه کافی داشته باشند. در شرایطی که قطع مسیر بار ناشی از انجام اصلاحات و تعمیرات در محل باشد،

مهندسان ارزیاب باید بررسی کنند که اینگونه اصلاحات چه تاثیری بر ظرفیت سیستم سازه‌ای داشته است. چنین مسایلی در مورد تکیه‌گاه‌های زین شکل مخازن افقی تحت فشار و مبدلهای حرارتی که ممکن است به‌دلیل نقص اجرایی، پیچ مهاری در محل خود جا زده نشود، معمول می‌باشد. علاوه براین در مخازنی که روی تکیه‌گاه قرارگرفته و لوله‌هایی که محل عبور آنها پس از اجرا با محل پیش‌بینی شده تطابق ندارد، ممکن است آثار اینگونه اقدامات اصلاحی به چشم بخورد.

ج: تکیه‌گاه‌های منفرد متمرکز (مطابق شکل ۴-۷)، ممکن است توانایی تحمل نیروهای جانبی را نداشته باشند. اینگونه تکیه‌گاه‌ها، بیشتر در مخازن تحت فشار بکار می‌روند.



شکل ۴-۷: تکیه‌گاه‌های متمرکز معمولا در مخازن بکار می‌روند. اینگونه تکیه‌گاه‌ها ممکن است مقاومت کافی برای بارهای جانبی را نداشته باشند و باید به‌طور دقیق بررسی شوند.

د: نصب نکردن پیچها و یا مهره‌های اتصالات، یک مشکل معمول و رایج است. این مشکل به ویژه در مواردی که اعضای سازه‌ای باید برای انجام تعمیرات دوره‌ای و دسترسی باز و بسته شوند شایع می‌باشد.

هـ: در مواردی که خروج از مرکزیتهای بزرگی وجود دارند، باید دقت کافی بکار گرفته شود. اینگونه خروج از مرکزیتها ممکن است در اثر اصلاحات و تعمیرات در محل که بدون مبنای مهندسی انجام می‌شوند رخ دهد. به عنوان مثال، ممکن است بادبندها به‌دلیل ایجاد فضای کافی برای عبور لوله‌ها،

از محل اصلی خود جابجا شوند. درصورتی‌که این خروج از مرکزیتها قابل توجه باشند، می‌توانند سبب ایجاد لنگر خمشی بزرگی در اعضای سازه‌ای شوند. این درحالی است که این اجزای سازه‌ای برای تحمل چنین لنگر قابل توجهی طراحی نشده‌اند.

۴-۵-۲-۳- تعمیر و نگهداری

در طول ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات، ارزیابان به‌طور معمول با مواردی برخورد می‌کنند که ممکن است انسجام سازه‌ای تجهیزات در اثر عملیات انجام شده برای تعمیر و نگهداری با اشکال مواجه شده باشد.

۴-۵-۲-۴- خوردگی

گروه ارزیاب باید همواره به محلهای مستعد خوردگی توجه داشته باشند. خوردگی تنها محدود به زنگ‌زدگی سطحی نمی‌شود، بلکه به‌واسطه نازک شدن، سوراخ شدن و پوسته شدن سبب کاهش مقاومت سازه می‌شود. محلهایی که به‌طور خاص در معرض مواد خورنده مانند اسید و یا تجمع آب هستند در برابر خوردگی آسیب‌پذیرترند.

یکی دیگر از مواردی که خوردگی ممکن است مشکل‌آفرین باشد، عضو سازه‌ای بتن مسلحی است که در آن پوشش بتنی از بین رفته و میل‌گردها نمایان شده‌اند.

۴-۵-۲-۵- کیفیت اجرا و نصب

ارزیابان ممکن است در طول بازرسی چشمی با مواردی از نصب نادرست روبرو شوند. این مساله ممکن است در جوشها و یا محل نصب مهارهای انبساطی دیده شود. به عنوان مثال، مهارهای انبساطی درصورتی‌که به‌طور صحیح نصب نشوند، ممکن است نتوانند مقاومت کششی طراحی خود را بدست آورند. استفاده از ورقهای ترازکننده و یا بالشتکهای سیمانی بزرگ باعث ایجاد اشکالات نصب می‌گردد. گل‌میخهای بزرگ بیرون‌زده از سطح بتن نشانه‌هایی از وجود این گونه نقصها هستند.

۴-۵-۲-۶- اندرکنش دینامیکی

خسارات ناشی از اندرکنش دینامیکی در یک سازه یا تجهیز به خساراتی اطلاق می‌شود که در اثر ضربه و یا ارتعاش ناشی از سازه و یا تجهیز دیگری رخ دهد. ارزیابی چشمی بهترین روش برای شناسایی احتمال وقوع خسارات اندرکنشی است. در این راهنما اندرکنش دینامیکی به سه گروه زیر اطلاق می‌شود:

الف- نزدیکی سازه‌ها و تجهیزات و برخورد آنها با یکدیگر: درصورتی‌که فاصله بین سازه‌ها و تجهیزات کافی نباشد ممکن است این تجهیزات (سازه‌ها) درزمان وقوع زلزله‌ها به یکدیگر برخورد

کنند. این برخورد ممکن است در اثر لغزش تجهیزات مهارنشده، نوسان لوله‌ها و سینی کابلهای آویخته و یا تغییرمکان کنسولی تابلوهای برق ایجاد شود. نمونه دیگر برخورد مسیرهای دسترسی با مخزن است که می‌تواند موجب سوراخ‌شدگی مخزن گردد.

ب- تخریب و سقوط سازه‌ها: درصورتی‌که تجهیزات و یا اجزای سازه‌ای به خوبی مهار نشوند و در زمان زلزله از ارتفاع سقوط کنند ممکن است به سازه‌ها و تجهیزات اطراف آسیب برسانند.

ج- تغییرمکان ناهمگون: درصورتی‌که برخی از تجهیزات و سازه‌ها برروی تکیه‌گاه‌های مختلفی قرارگرفته باشند، ممکن است دچار تغییرمکان ناهمگون تکیه‌گاه‌ها شوند. ارزیابان باید به مواردی که در آن سیستمهای گوناگون مانند لوله‌های متصل، داکتها، کانالها و غیره امکان تغییرمکان دارند، توجه کافی داشته باشند. انعطاف‌پذیری به عنوان یک روش کلیدی برای مقابله با آسیبهای ناشی از تغییر مکان ناهمگون به شمار می‌رود.

درصورتی‌که سیستمهای آتش‌نشانی و آب‌پاش داخل ساختمانها در اثر تغییرمکانهای ناهمگون آسیب ببینند، ممکن است سبب ایجاد اختلال در علمکرد تجهیزات الکتریکی شوند. براین اساس در مورد تجهیزاتی که در داخل ساختمانها و در زیر چنین سیستمهایی قراردارند باید در طول ارزیابی چشمی دقت کافی به عمل آورد.

۴-۵-۲-۷- تغییر کاربری

تغییر در فرآیند و کاربری نسبت به آنچه که در طراحی مد نظر بوده است، بدون توجه به مسایل لرزه‌ای می‌تواند سبب ایجاد آسیب‌پذیری لرزه‌ای شود. ارزیابان آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات باید مهندسان فرآیند و کاربران را از چنین خطراتی آگاه سازند و اطلاعات لازم در زمینه تغییرات احتمالی در کاربری را از آنان دریافت کنند.

۴-۵-۲-۸- مشکلات ناشی از القای الکتریکی

ممکن است در اثر القای الکتریکی در حین زلزله عملکرد تجهیزات دچار مشکل شود. این مساله به روش ارزیابی چشمی قابل تشخیص نیست و تشخیص آن نیاز به ارزیابی سیستم دارد. لذا ارزیابان باید درباره القای الکتریکی و پیامدهای آن آگاهی داشته باشند. ارزیابان باید مهندسان فرآیند و کاربران را از چنین احتمالی آگاه کنند و درصورت نیاز، بررسی‌های بیشتری را در این زمینه انجام دهند.

۴-۵-۲-۹- ناپایداری خاک

در طول زلزله‌های گذشته ناپایداری خاک موجب آسیب‌دیدگی یا تخریب کامل بسیاری از سازه‌ها شده است برای اجتناب از این امر:

- ارزیابان باید گزارشهای ژئوتکنیکی را برای شناسایی خطرات بالقوه گسلش، روانگرایی و نشست بررسی کنند. درصورتی‌که دست کم یکی از خطرات یادشده در ساختگاه وجود داشته باشد، لازم است به این امر توجه ویژه‌ای شود. حتی سازه‌ها و تجهیزاتی که دارای طراحی و اجرای مهندسی مناسب هستند ممکن است در اثر ناپایداریهای خاک دچار آسیب شوند. لذا درصورت وجود چنین خطراتی در ساختگاه باید مطالعات تکمیلی در این زمینه انجام داد.
- شیروانیهای خاکی با شیب تند که دارای خطر ناپایداری هستند باید شناسایی شوند و درصورتی‌که وضعیت پایداری آنها مشکوک بود، مطالعات بررسی پایداری شیروانی انجام داده شود.

۴-۵-۲-۱۰- سازه‌ها و تجهیزات طراحی شده توسط گروه‌های مختلف

به‌طور کلی گروه ارزیاب آسیب‌پذیری لرزه‌ای، باید به سازه‌ها و تجهیزاتی که ممکن است طراحی بخشهای گوناگون آن توسط گروه‌های مختلف انجام شده باشد توجه کافی کند. به عنوان مثال می‌توان به مخازن قرار گرفته برروی سازه‌های تکیه‌گاهی اشاره کرد که مخزن و تکیه‌گاه زین شکل توسط تولیدکننده، و ملحقات ولوله‌های متصل‌شونده به آن توسط گروه دیگری طراحی شده است. نمونه دیگری از این نوع، سیستمهای تهویه می‌باشد که در آن لوله‌ها توسط یک گروه و دستگاه تهویه و قاب‌بندی آن توسط گروه دیگر (تولید کننده) طراحی می‌شود.

۴-۵-۳- ارزیابی تجهیزات ویژه

در این بخش ملاحظات مربوط به ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای انواع مختلف تجهیزات موجود در مجتمعهای نفتی ارائه می‌شود. توجه به این نکته لازم است که توصیه‌های ارائه شده در این بخش جامع نیستند و تمام شرایط را در برنمی‌گیرند. راهنمایی‌های ارائه شده در این بخش مربوط به علل خسارات و یا آسیب‌دیدگی‌های مشاهده شده در طول بازرسی‌های چشمی قبلی می‌باشد.

۴-۵-۳-۱- تجهیزات مکانیکی

بسیاری از انواع تجهیزات شامل مجموعه‌های پیچیده‌ای از قطعات مکانیکی و الکتریکی هستند که در یک فرآیند صنعتی مشخص تولید می‌شوند. این تجهیزات معمولا با استفاده از روشهای تجربی (آزمون و خطا) برای بارهای بهره‌برداری و حمل‌ونقل طراحی می‌شوند. پمپها، موتورها، رگلاتورها، کندانسورها، دریچه‌ها، موتورهای پنوماتیکی و هیدرولیکی، فنها و چیلرها را می‌توان به عنوان نمونه‌ای از تجهیزات مکانیکی برشمرد. مهندسان ارزیاب آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید بخشهای ترد و غیرشکل‌پذیر این تجهیزات را شناسایی کنند و آرایش بخشهای مختلف این تجهیزات را برای مشکلات احتمالی مورد بررسی قراردهند. به عنوان مثال:

- جداسازهای ارتعاشی (ایزولاتورها) ممکن است در پمپهای کوچک و کمپرسورها یافت شوند. مهار این بخشها باید مورد توجه ارزیابان آسیب‌پذیری لرزه‌ای قرار گیرد.
- کمپرسورها، پمپها و ژنراتورها ممکن است دارای موتورهایی باشند که برروی پایه‌ها و یا شالوده-های مختلف نصب شده باشند. در چنین شرایطی باید آثار نشست‌های ناهمگون احتمالی براین تجهیزات مانند گیرکردن شفتها مد نظر قرار گیرد. این بررسی تنها به منظور حفظ عملکرد تجهیزات می‌باشد و مسایلی مانند نشت مواد سمی، اشتعال‌پذیر و خطرناک نیازمند به انجام دادن مطالعات دیگری می‌باشد.
- لوله‌های متصل باید به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشند تا بتوانند تغییرمکانهای ناهمگون را در تکیه‌گاه‌های مختلف تحمل کنند. این مساله به‌ویژه در مورد لوله‌های متصل به مخازن و تجهیزات مهارنشده اهمیت دارد.
- دریچه‌ها اغلب دارای مقاومت کافی هستند؛ اما در زلزله‌ها در اثر برخورد اعضای سازه‌ای ممکن است دچار آسیب شوند. این مساله به‌ویژه زمانی که اتصال دریچه از جنس چدن باشد اهمیت دارد. همچنین شرایطی که دریچه و تجهیزات متصل به آن بر روی تکیه‌گاه‌های متفاوت نصب شده باشند نیز باید مورد توجه گروه ارزیاب قرار گیرد.
- درصورتی‌که تجهیزات قرارگرفته در طول مسیر لوله نسبت به لوله‌ها بزرگ باشد باید در ارزیابی آسیب‌پذیری توجه ویژه‌ای به آنها داشت.
- مصالح غیرشکل‌پذیر مانند PVC و چدن باید مورد توجه بیشتری قرار گیرند.

۴-۵-۳-۲- تجهیزات برقی

در مورد تجهیزات برقی که باید پس از زلزله قابلیت عملکرد خود را حفظ کنند ارزیابان چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید موارد زیر را در نظر گیرند:
- ارزیابی مهار تجهیزات برقی: مهار تجهیزات برقی ممکن است از طریق پیچهای مهاری و یا جوشهای گوشه یا کام به قطعات فولادی محصور در شالوده تامین شود. در مورد جوشهای کام که ظرفیت کششی و برشی یکسانی ندارند، درصورتی‌که احتمال واژگونی وجود داشته باشد باید برای جوش ظرفیت کاهش یافته مد نظر قرار گیرد. برای این منظور می‌توان ظرفیت جوش کام را برابر با ۲۵٪ ظرفیت جوش گوشه معادل ایجاد شده در محیط شکاف جوش کام در نظر گرفت.
- کابینتهایی‌که به یکدیگر پیچ نشده‌اند ممکن است به یکدیگر تنه بزنند. لذا درصورتی‌که ادوات الکتریکی داخل کابینتها به لرزش حساس باشند، باید به این مساله توجه ویژه داشت.
- کابینتهای مجاور اعضای سازه‌ای مانند ستونها یا دیوارها ممکن است در زمان زلزله با این اعضا برخورد کنند. در این‌صورت، چنانچه کابینتها انعطاف‌پذیری کافی نداشته باشند، وجود فاصله ۲۵ میلیمتری بین تجهیزات و اعضای سازه‌ای می‌تواند از این برخورد جلوگیری نماید. مساله برخورد،

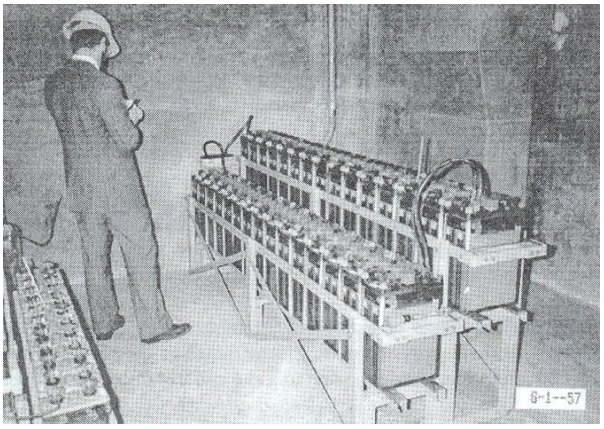
به‌ویژه در مورد تجهیزات برقی حساس به ارتعاشات خارجی (مانند سوییچهای قطع جریان) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کابینتهای بسیار سخت و کابینتهای مهار شده توسط مهاربندهای فوقانی در برابر ضربه اعضای سازه‌ای حساسیت کمتری دارند.

- در کابینتهایی که به صورت پشت به پشت به هم متصل هستند، بازشوهای بزرگ بدنه کابینت نباید نزدیک به پایین کابینت باشند. این مساله برای انسجام کابینت مشکل‌ساز است. بازشوهای مهارشده‌ای که توسط خود سازنده ایجاد شده است از این مساله مستثنی می‌باشد.
- ادوات داخل کابینتهای برق باید در داخل آنها مهار گردند.

۴-۵-۳-۳- باتری‌ها

باتری‌های اضطراری در طول بسیاری از زلزله‌های گذشته آسیب دیده‌اند که در بیشتر موارد سبب کمبود برق اضطراری پس از وقوع زلزله شده است. بر این اساس باید به موارد زیر توجه شود:

- پایه باتری‌ها باید از نظر سازه‌ای مناسب و در برابر بارهای طولی و جانبی مقاوم باشد.
- باتری‌ها باید مقید شوند تا از روی پایه‌ها سقوط نکنند. این امر با استفاده از مهاربندهایی مشابه شکل ۴-۸ انجام می‌شود.
- درصورتی‌که بین باتریها فاصله وجود داشته باشد باید از لقمه‌های انعطاف‌پذیر جهت پرکردن فضای بین آنها استفاده کرد تا از لغزش و برخورد آنها به یکدیگر جلوگیری شود.
- باید جلوی سقوط تجهیزات قرارگرفته در ارتفاع بر روی باتریها گرفته شود تا از شکست و آسیب‌دیدگی آنها جلوگیری شود. تمام چراغهای اضطراری، بلندگوها، لامپهای روشنایی و مانند آنها در نزدیکی باتریها باید به گونه‌ای باشند که امکان لغزش و یا سقوط بر روی باتریها را نداشته باشند. درغیراین‌صورت باید آنها را جابجا کرد.



شکل ۴-۸: باتریها باید در برابر لغزش مهار شوند.

۴-۵-۳-۴- تجهیزات کنترل و ابزارگذاری

تابلوهای کنترل باید همانند تجهیزات الکتریکی مورد توجه قرار گیرند. در مورد این تجهیزات باید به موارد حساس به ارتعاش که موجب قطع و ایجاد شوک در جریان می‌شود توجه ویژه داشت. براین اساس ارزیابان باید از تجهیزاتی که پس از وقوع زلزله باید عملکرد بی‌وقفه داشته باشند، آگاهی یابند. تجهیزات قرارگرفته برروی قفسه‌ها، درصورتی‌که بخوبی مهار شوند معمولا در طول زلزله عملکرد مناسبی دارند. ابزاری مانند ترموکوپل‌ها و نشانگرها بجز در مواردی که ممکن است تحت اثر ضربه آسیب ببینند و یا جنبش‌های شدید سبب بیرون کشیده شدن کابلها شوند چندان آسیب‌پذیر نمی‌باشند. موارد زیر را باید در مورد تجهیزات کنترل مورد توجه قرارداد:

- تابلوهای کنترل معمولا شامل اجزایی هستند که برروی غلطکها و یا تکیه‌گاه‌های لغزنده قرار دارند. این قفسه‌ها ممکن است فاقد ترمز و یا سپر نگهدارنده باشند و در طول زلزله ممکن است دچار لغزش شوند و سقوط کنند. از اینرو ارزیابان باید وجود یا عدم وجود ترمزها و یا قیدهایی را برای جلوگیری از حرکت این اجزا مورد بررسی قرار دهند.
- کیتهای مدار اغلب از داخل تابلوها بدون هیچگونه مهاری خارج می‌شوند. چنین بخشهایی در طول زلزله‌ها از محل خود خارج شده و سقوط می‌کنند. در این گونه ادوات باید ارزیابان از وجود یا عدم وجود قیدهای نگهدارنده این مدارها مطمئن گردند. برخی از این مدارها به روش اصطکاکی در محل خود مقید می‌شوند.
- تابلوهای کنترل گاهی اوقات بدون قید باز نگه داشته می‌شود. در چنین شرایطی برخورد و نوسان این درها می‌تواند عملکرد برخی از سیستمهای برقی را با مخاطره روبرو کند.

۴-۵-۳-۵- مخازن تحت فشار

مخازن قائم تحت فشار، بیشتر بر روی یک تکیه‌گاه فولادی نصب و از طریق آن به یک شالوده بتنی مهار می‌شوند. بدنه مخازن تحت فشار عمدتا برای فشارهای بالا طراحی می‌شوند، لذا معمولا در زمان زلزله عملکرد مناسبی را از خود نشان می‌دهند. علاوه براین، مخازن بلند و ستونها بیشتر در برابر باد طراحی شده‌اند و براین اساس ظرفیت جانبی قابل توجهی دارند. در مورد مخازن قائم تحت فشار باید موارد زیر را در نظر گرفت:

- قطع مسیر انتقال بار در تکیه‌گاه فولادی باید درزمان بازرسی میدانی مورد توجه قرار گیرد.
- انعطاف‌پذیری لوله‌های متصل شده در مخازن قائم تحت فشار باید مد نظر قرارگیرد. محل اتصال لوله‌های صلب که دارای تکیه‌گاه‌های غیر یکسان هستند، می‌تواند در اثر تغییرشکلهای ناهمگون دچار آسیب‌دیدگی شوند.
- شکل‌پذیری و مقاومت مهارها در این گونه مخازن باید مورد توجه قرار گیرد.

مخازن افقی تحت فشار معمولا برروی تکیه‌گاه‌های فولادی زین شکل نصب و از طریق آن به پایه‌های بتنی مهار می‌شوند. درصورتی‌که امکان انبساط حرارتی وجود داشته باشد مخزن افقی تنها به یکی از پایه‌ها کاملا مهار می‌شود و اتصال آن به پایه دیگر از نوع لغزنده است. این مخازن نیز همانند مخازن قائم تحت فشار، برای فشارهای بالا طراحی می‌شوند و معمولا جداره آنها عملکرد مناسبی در زمان زلزله از خود نشان می‌دهد ولی سایر موارد باید به دقت مورد توجه قرار گیرد. در ارزیابی مخازن افقی تحت فشار موارد زیر باید درنظر گرفته شود:

- پایه‌هایی که به‌طور غیرمعمول بلند باشند، ممکن است قادر به تحمل بارهای جانبی نباشند.
- میل‌مهارهای نصب‌شده در پایه‌های باریک ممکن است فاقد پوشش کافی باشند.
- باید به تعمیرات میدانی که در محل تکیه‌گاه‌ها و به‌ویژه در مهارها انجام می‌شوند توجه شود.
- انعطاف‌پذیری لوله‌های متصل به مخزن باید درنظر گرفته شود.
- در مورد مبدلهای حرارتی افقی باید به پیچها و مهره‌های اتصال مبدلها توجه کرد. این پیچ و مهره‌ها معمولا پس از انجام تعمیرات به درستی در محل خود نصب نمی‌شوند.
- پایه دارای تکیه‌گاه لغزنده احتمالا در برابر بارهای جانبی طراحی نشده است. زنگ‌زدگی اتصال لغزنده و مسایلی مانند آن که می‌تواند لغزندگی اتصال را با مخاطره روبرو کند سبب می‌شود که نیمی از نیروی ناشی از زلزله به پایه یادشده وارد شود.

مخازن کروی تحت فشار معمولا بر روی چند پایه قرار دارد که به‌طور متقارن محیط کره را به زمین متصل می‌کنند. پایه‌ها ممکن است دارای مهاربندی باشند (در برخی موارد پایه‌های بدون مهاربندی هم وجود دارد). درصورت وجود مهاربندی، مهاربندها بیشتر از نوع ضربدری می‌باشند. آسیب‌های وارده به این مخازن در اثر زلزله‌های گذشته مربوط به سیستم تکیه‌گاهی (پایه‌ها) بوده است. در زلزله ۱۹۵۲ کرن‌کانتی، آسیب‌دیدگی پایه‌ها باعث شکست لوله‌های متصل شد، گاز بوتان نشت‌کرده از طریق لوله‌های آسیب‌دیده ناگهان مشتعل و سبب انفجار و آتش‌سوزی شد. از اینرو در ارزیابی مخازن کروی کفایت سازه‌ای پایه‌ها و مهاربندها در درجه اول اهمیت قراردارد. باید اطمینان حاصل شود که پایه‌ها توسط تیرهایی به یکدیگر متصل شده باشند.

مخازن کوچک و مخازن تحت فشار در سراسر مجتمعهای نفتی به چشم می‌خورند. به‌طور کلی براساس عملکرد مخازن تحت فشار در زلزله‌های گذشته به نظر می‌رسد جداره این مخازن از نظر لرزه‌ای چندان آسیب‌پذیر نباشد. براین اساس در مورد این مخازن باید به موارد زیر توجه کرد:

- کفایت سازه‌ای پایه‌های نگهدارنده
-کنترل سازه در برابر واژگونی
- انعطاف‌پذیری لوله‌های متصل شده به این مخازن. این مساله به‌ویژه در مورد لوله‌های متصل شده به تجهیزات مهار نشده اهمیت دارد.

۴-۵-۳-۶- سیستمهای خنک‌کننده

در مورد سیستمهای خنک‌کننده‌ای که بیشتر بر روی بخش فوقانی خطوط لوله نصب می‌شوند باید ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- کفایت قاب تکیه‌گاهی و اتصال به مسیر خط لوله باید ارزیابی شود. درصورتی‌که علایمی مانند کمانش و خم شدن اعضا تحت اثر بارهای بهره‌برداری در قابها دیده شود، باید مطالعات کاملتری روی این قابها انجام شود. درصورتی‌که اتصالات دارای خروج از مرکزیت باشند و یا به اعضای سازه‌ای اصلی متصل نشده باشند باید به دقت مورد بررسی قرار گیرند.

- سیم‌پیچها در مقاطع زمانی مشخص به منظور انجام تعمیرات و بازبینی دوره‌ای از محل خود خارج می‌گردند. این بخشها ممکن است تنها از یک سمت به سازه تکیه‌گاهی متصل شوند. همچنین ممکن است در حین نصب مجدد، به‌طور کامل به تکیه‌گاه متصل نشوند. لذا ارزیابان باید دقت کافی را در این زمینه داشته باشند.

۴-۵-۳-۷- گرمکن‌ها

بویلرها و سازه‌های گرمکن، بیشتر مخازن جدار ضخیمی هستند که بر روی چندین پایه کوتاه بتنی نصب می‌شوند. نوعی از این تجهیزات ممکن است به‌صورت استوانه‌های افقی قرارگرفته برروی تکیه‌گاه‌های زین شکل (مانند سایر انواع مخازن افقی تحت فشار) نیز یافت شوند. گرمکن‌های افقی تقریبا همیشه به‌دلیل مسایل حرارتی بر روی یکی از پایه‌ها مقید می‌شوند و بر روی پایه دیگر از طریق اتصالات قابل لغزش متصل می‌گردند. مساله اصلی سازه‌های بویلر، سیستم تکیه‌گاهی آنها است. مقاومت و سختی پایه‌های بتنی مسلح باید به گونه‌ای باشد که طبقه نرم ایجاد نشود.

گروه ارزیاب باید از وجود آجر نسوز در داخل گرمکن‌ها یا بویلرها آگاهی یابد. وجود آجر در داخل این تجهیزات سبب افزایش وزن آنها می‌شود و می‌تواند به عنوان یک منبع ایجاد آسیب‌پذیری لرزه‌ای در داخل تجهیزات تلقی شود.

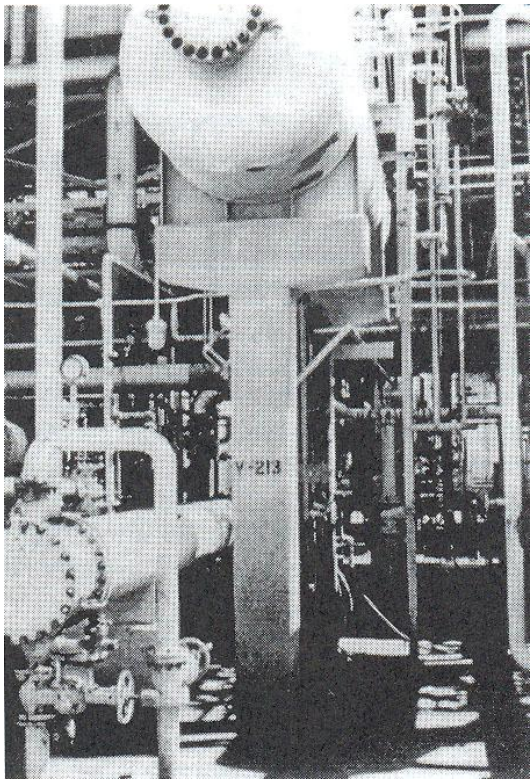
۴-۵-۳-۸- پدستالها و قابهای تکیه‌گاهی

بسیاری از تجهیزات، بالاتر از تراز سطح زمین و بروی قابهای فولادی یا بتنی قرار می‌گیرند. این قابها عموما نامنظم هستند و در بخشهایی برای نصب و جابجا کردن تجهیزات فاقد پوشش می‌باشند. تخریب سازه‌های آزادراه‌ها در زلزله‌های ۱۹۸۹ لوماپریتا و ۱۹۹۴ نورتریج نشان‌دهنده احتمال بالقوه خرابی بسیار شدید در سازه‌های بتنی قدیمی، بدلیل عدم وجود آرماتور برشی کافی می‌باشد. نمونه رایج نصب تجهیزات پالایشگاهی بر قابهای تکیه‌گاهی در شکل ۶-۹ نشان داده شده است. سیستم تکیه‌گاهی بیشتر از نظر استاتیکی، سیستمی معین است و قابهای تکیه‌گاهی بتنی و

پدستالها باید به‌دقت مورد بررسی قرارگیرند. به‌ویژه آن دسته از سازه‌هایی که پیش از ارائه جزییات طراحی مقاطع بتنی شکل‌پذیر در آیین‌نامه‌ها (اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی) طراحی و اجرا شده‌اند، باید مورد توجه ویژه قرار گیرند.

گروه ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، باید نقشه‌های سازه‌ای را به‌طور کامل مورد بازبینی قرار دهند و کفایت سازه‌های بتنی را بررسی کند. در بیشتر حالات لازم است نوعی روش تحلیلی برای ارزیابی کفایت قابهای بتنی به کار برده شود.

گروه ارزیاب، همچنین باید سازه‌های بتنی آسیب‌دیده و ترک‌خورده را به‌ویژه در شرایطی که آرماتورهای سازه نمایان شده‌اند، گزارش کند. میلگردهای فولادی در سازه های بتنی ترک‌خورده، به خوردگی و رطوبت حساس هستند و این امر می‌تواند سبب کاهش مقاومت در عضو بتنی شود.



شکل ۴-۹: نمونه ای از سازه‌های تکیه‌گاهی برای مخازن افقی تحت فشار

۴-۵-۳-۹- سازه‌های فولادی

در برخی از زلزله‌ها مانند زلزله ۱۹۹۴ نورتریج، سازه‌های آسیب‌دیده فولادی زیادی گزارش شده‌اند. در این زلزله بیشتر خسارتها در محل اتصال تیر به ستون قابهای خمشی فولادی مشاهده شده بود و ترکهایی در محل بالهای تیرهای جوش شده به ستونها دیده می‌شد. در برخی از موارد صفحات کف ستون دچار شکست شده بودند. البته هیچیک از سازه‌های فولادی آسیب‌دیده در زلزله یادشده دچار فروریزش کامل نشدند و بیشتر آنها خدمت‌رسانی خود را پس از زلزله حفظ کردند. این مساله، مورد توجه مجامع مهندسی سازه قرارگرفت. زیرا گمان می‌رفت این نوع سازه‌ها رفتار بسیار شکل‌پذیری داشته باشند.

بر این اساس گروه ارزیاب آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید توجه ویژه به اتصالات قابهای فولادی داشته باشد. همچنین موارد از بین رفتن قابلیت باربری تحت اثر بار ثقلی (مانند کمانش) و نیز خوردگی قطعات فولادی باید مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این باید به مواردی که سازه اجرا شده با طرح ابتدایی مغایرت دارد توجه کرد (مثلا شرایطی که یک مهاربند جابجا و یا حذف شده است). این مغایرت ممکن است بدون هماهنگی با مهندس سازه صورت گرفته باشد. در اثر این تغییرات ممکن است مسیر انتقال بار نسبت به آنچه که در طول روند طراحی فرض شده است تغییر کرده باشد. این امر ممکن است سبب عدم کفایت سازه گردد.

رایج‌ترین نقاط ضعف که وقوع خرابی برای آنها متصور است، اتصالات سازه‌های فولادی می‌باشد. لازم است سختی ناکافی، مسیر انتقال بار غیرمستقیم و مواردی از این قبیل در مورد اتصالات بررسی شوند.

در شرایطی که اجزای غیرسازه‌ای (مانند دست‌اندازها و سکوهای دسترسی) به قاب سازه‌ای متصل است، ارزیابان باید توجه کنند که این اجزا اندرکنش دینامیکی زیادی با سازه اصلی نداشته باشند و نیز مسیر اصلی انتقال بار را در آنها تغییر ندهند.

۴-۵-۳-۱۰- ساختمانها

ساختمانها در گستره این راهنما قرار ندارند. برای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمانها باید به دستورالعملهای مربوط مانند دستورالعمل بهسازی ساختمانهای موجود، نشریه شماره ۳۶۰ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، مراجعه شود. به‌طور کلی مهندسان ارزیاب آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید عوامل ایجاد آسیب‌پذیری لرزه‌ای در ساختمانها را بشناسند. برخی از این موارد عبارتند از:

- در ساختمان‌های مصالح بنایی غیر مسلح امکان خرابی موضعی و فروریزش کامل وجود دارد.
- دیوارهای میانقاب بنایی ممکن است دچار فروریزش شوند.

- در ساختمان‌های پیش‌ساخته، درصورتی‌که قطعات به خوبی بهم متصل نشوند امکان خرابی موضعی وجود دارد.
- ساختمان‌های نامنظم در پلان یا ارتفاع ممکن است عملکرد مناسبی درزمان وقوع زلزله نداشته باشند.
- ساختمان‌های قابی بتن مسلح که انعطاف‌پذیری کافی نداشته باشند ممکن است دچار خسارت شوند.

باید توجه داشت که چه سطحی از عملکرد برای ساختمان‌ها مورد نظر است. به عنوان مثال یک ایستگاه آتش‌نشانی باید پس از وقوع زلزله قابلیت خدمت‌رسانی خود را حفظ کند.

۴-۵-۳-۱۱- دودکش‌ها

برخی از دودکش‌های بتنی غیر مسلح در طول زلزله‌ها دچار آسیب‌دیدگی و برخی از دودکش‌های فولادی دچار کمانش شده‌اند، اما بسیاری از دودکش‌ها عملکرد نسبتا مناسبی را در زلزله‌های مختلف از خود نشان داده‌اند. گروه ارزیاب باید در زمان ارزیابی دودکش‌ها، به زمان طراحی و اجرای دودکش توجه کند، چرا که در ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های بلند انعطاف‌پذیر، تغییرات زیادی ایجاد شده است. به عنوان مثال، زلزله ورودی به یک دودکش در منطقه با خطر نسبی زلزله زیاد براساس UBC1991 سه برابر بار زلزله وارد بر همان دودکش براساس آیین‌نامه‌های دهه ۱۹۶۰ می‌باشد. این اختلاف ممکن است در مورد واژگونی شالوده‌های گسترده دودکش‌ها اهمیت داشته باشد. اگرچه ماهیت رفت و برگشتی زلزله باعث شده است که خساراتی از این نوع در زلزله‌های گذشته دیده نشود، ولی در شرایطی که خاک منطقه سست باشد و یا امکان روانگرایی و یا سایر انواع ناپایداری ژئوتکنیکی وجود داشته باشد، این مساله اهمیت می‌یابد.

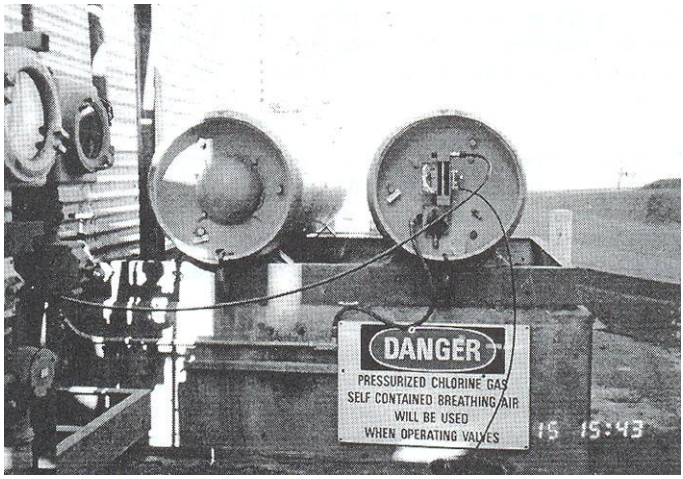
باید توجه داشت که عملکرد این گونه سازه‌ها در زلزله‌های گذشته نشان داده است که سایر سازه‌هایی که به دودکشها متصل می‌شوند، ممکن است در اثر زلزله دچار آسیب‌دیدگی شوند.

براین اساس ارزیابان باید به مواردی که اتصال انعطاف‌پذیر و یا لغزنده بین سازه و دودکش وجود ندارد توجه کافی داشته باشند، چراکه اتصالات غیر انعطاف‌پذیر سبب بروز اندرکنش قابل توجهی بین دودکش و سازه متصل می‌گردد.

۴-۵-۳-۱۲- محفظه‌های گاز

در زلزله‌های گذشته، حرکت و فرو افتادن محفظه‌های گاز سبب نشت مواد شیمیایی شده است. فرو افتادن محفظه‌های گاز همچنین می‌تواند سبب انفجار گردد. نکات زیر باید در مورد محفظه‌های گاز مورد توجه قرارگیرد:

- به منظور جلوگیری از فرو افتادن محفظه‌های گاز در شرایط عادی از زنجیر برای نگهداری آنها استفاده می‌شود. استفاده از یک زنجیر به تنهایی نمی‌تواند درزمان زلزله از حرکت محفظه‌های گاز جلوگیری کند. بلکه لازم است از دو زنجیر در دو سر محفظه استفاده شود.
- باید از پایداری محل نصب تسمه یا زنجیر نگهدارنده محفظه‌های گاز اطمینان حاصل کرد، به‌ویژه در داخل ساختمانها که این تسمه‌ها بیشتر به اجزای غیر سازه‌ای متصل می‌شوند.
- نمونه‌ای از اتصال مناسب محفظه های افقی‌گاز به تکیه‌گاه‌ها در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. در این نمونه، از پیچهای قابل حرکت برای ثابت نگهداشتن محفظه‌های گاز استفاده شده است. ارزیابان باید به مواردی که این گونه اتصالات وجود دارند ولی خوب جا زده نشده‌اند و یا برخی از آنها نصب نشده‌اند توجه داشته باشند.



شکل ۴-۱۰: محفظه‌هایی که پس از خالی شدن باید تعویض گردند معمولا به‌صورت مهار نشده بر روی تکیه‌گاه‌های زین شکل قرار داده می‌شوند.

۴-۵-۳-۱۳- محلهای ذخیره مواد شیمیایی

در طول زلزله‌های گذشته برخی مواد شیمیایی که از قفسه‌ها فرو افتاده بودند، در اثر واکنش با سایر مواد شیمیایی باعث ایجاد آتش‌سوزی و یا انفجار شده‌اند. موارد زیر باید مورد توجه گروه ارزیاب قرار گیرد:
- ارزیابان باید از مهار بودن کابینت‌ها و سقوط نکردن آنها در زمان زلزله اطمینان حاصل کنند.
- ارزیابان باید از وجود مهارهایی جهت جلوگیری از فروریزش محفظه‌ها و مواد از داخل کابینتها و قفسه‌ها اطمینان حاصل کنند.
- هنگامی که امکان بیرون ریختن مواد شیمیایی وجود دارد، ارزیابان باید در مورد تبعات ریختن هریک از مواد شیمیایی با کاربران مشورت کنند. در چنین مواردی می‌توان از قیدهای فیزیکی

برای نگهداری محفظه‌های مواد استفاده کرد و یا به سادگی موادی که ممکن است با یکدیگر واکنش نشان دهند را دور از یکدیگر قرار داد.

۴-۵-۳-۱۴- لوله‌ها

لوله‌ها از سراسر مجتمع‌های نفتی عبور می‌کنند. این لوله‌ها یا مستقیما از بین تجهیزات عبور می‌کنند و یا به سازه‌های نگهدارنده تکیه می‌کنند. در بسیاری از شرایط لوله‌ها حاوی مقادیر زیادی مواد خطرزا هستند. مشکلات موجود در ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای خطوط لوله عبارتند از:

- با توجه به اینکه انبوهی از لوله‌ها بر روی سازه‌های نگهدارنده قراردارند، تشخیص و مسیریابی یک خط لوله مشخص کار دشواری است. بازشناسی خطوط لوله از یکدیگر حتی در نقشه‌ها و نمودارهای جریان نیز مشکل است. در برخی از موارد، نقشه‌های جانمایی لوله‌ها در دسترس ارزیابان آسیب‌پذیری لرزه‌ای قرار ندارد.
- گاهی از اوقات تشخیص محل‌های مرزی خطوط لوله به‌ویژه لوله‌های تغییر مسیر جریان و دریچه‌ها برای ارزیابان مشکل است.

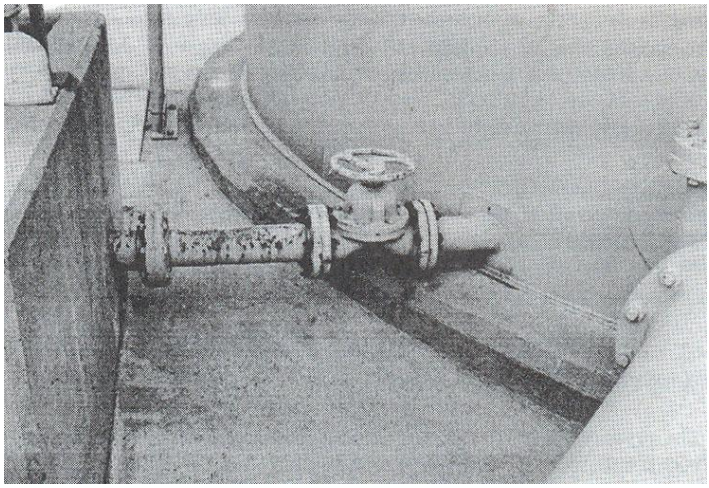
با توجه به مشکلات فوق، به عنوان یک راهکار عملی می‌توان ارزیابی مجموعه خطوط لوله موجود در یک منطقه را به‌طور کامل با یکدیگر به انجام رساند.

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای خطوط لوله، تنشهای ناشی از نیروهای اینرسی، بجز در برخی از شرایط ویژه، در درجه اول اهمیت قرار ندارند؛ بلکه مواردی مانند اتصالات و ملحقات شکننده‌ای که ممکن است تغییر مکانهای بزرگی داشته باشند مهمتر است. در ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله‌ها باید به موارد زیر توجه کرد:

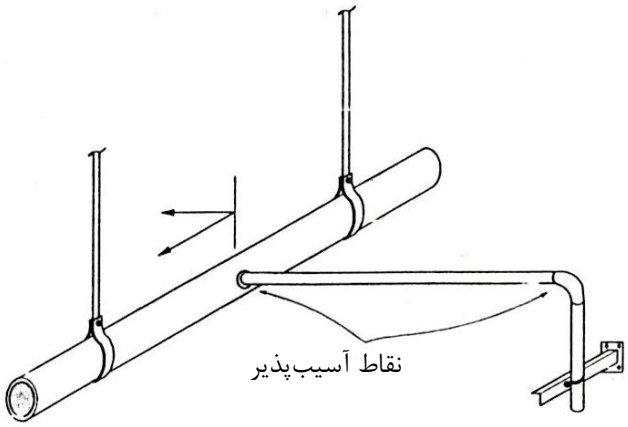
- لوله‌های جوش شده معمولا در حین زلزله عملکرد مناسبی را از خود نشان می‌دهند و در برابر نیروهای اینرسی آسیب‌پذیر نیستند. نیروهای اینرسی برای لوله‌های از جنس مواد ترد مانند چدن و PVC اهمیت دارند. توجه به این نکته لازم است که استفاده از مصالح چدنی بدلیل احتمال خوردگی است و در این حالت تغییر جنس مصالح لوله توصیه مناسبی نمی‌باشد. در چنین شرایطی تحلیل تنش در لوله ضروری بنظر می‌رسد.
- عدم وجود تکیه‌گاه‌های جانبی لزوما منجر به خرابی لوله نمی‌گردد. بسیاری از لوله‌ها در فواصل دهانه‌های بلند بدون هیچگونه مهار جانبی بدون خسارت باقی مانده‌اند. این در حالی است که باید به مهار قائم خطوط لوله توجه زیادی کرد.
- لوله‌های متصل‌شده به مخازن و یا تجهیزات مهارنشده درصورتی‌که فاقد انعطاف‌پذیری کافی در محل تکیه‌گاه باشند ممکن است دچار شکست شوند (شکل ۴-۱۱).

- در شرایطی که به علت نبودن مهار جانبی کافی، سختی جانبی سیستم لوله کم است، شکست لوله‌های نازک منشعب شده از لوله‌های قطور محتمل است (شکل ۴-۱۲). در شرایطی که لوله منشعب شونده، بسیار باریکتر از لوله اصلی باشد (قطر آن نصف قطر لوله اصلی و یا کمتر باشد)، ممکن است در محل اتصال با لوله ضخیمتر دچار آسیب‌دیدگی شود.

- در بسیاری از موارد، لوله‌های قطور (لوله‌های ۸ اینچ یا بزرگتر) با دهانه‌های نسبتا کوتاه برای اتصال مخازن هوایی قرارگرفته بر روی پایه‌های متفاوت استفاده می‌شود. وجود یک لوله سخت بین دو سازه بر اندرکنش سازه‌های مجاور با یکدیگر موثر است؛ که این امر خود سبب فراتر رفتن تنش داخلی فلنج‌ها از ظرفیت آنها به‌ویژه تحت اثر تمرکز تنش می‌شود. درصورتی‌که ابهامی در این زمینه وجود داشت، باید از تحلیل مدل همبسته سیستمها برای تعیین اثر اندرکنشی تجهیزات استفاده کرد.



شکل ۴-۱۱: لوله‌های صلب متصل به مخازن مهارنشده از نظر لرزه‌ای آسیب‌پذیرند



شکل ۴-۱۲: آسیب‌پذیری لوله‌های باریک مقید متصل به لوله‌های ضخیم آزاد

۴-۵-۳-۱۵- سینی کابلها و کانالها

سینی کابلها و کانالهای تاسیساتی عموما در برابر زلزله آسیب‌پذیرند. شایان ذکر است که آسیب-دیدگی این اجزا لزوما منجر به آسیب‌دیدگی کابلهای درون آنها نمی‌شود. داکتهای تاسیساتی شامل انواع صفحات فلزی نازک تا لوله‌های ضخیم فلزی می‌باشند. خرابی صفحات فلزی نازک عمدتا در اثر خوردگی، جزییات اجرایی نادرست، از بین رفتن سازه تکیه‌گاهی و یا تغییرمکان‌های ناهمگون اتفاق می‌افتد. داکتهای لوله‌ای با ضخامت زیاد باید از ملاحظات گفته شده در مورد لوله‌ها تبعیت کنند. به‌ویژه موارد مربوط به تکیه‌گاه‌ها و نیز انعطاف‌پذیری در برابر تغییرمکانهای ناهمگون در مورد اینگونه داکتها اهمیت دارد.

۴-۵-۳-۱۶- کانالهای هوا

کانالهای هوا بسیار شکل‌پذیرند و معمولا با انعطاف‌پذیری قابل‌توجهی نصب می‌گردند. با این وجود، این کانالها ممکن است در اثر تغییرمکانهای بزرگ و یا ضربه و برخورد دچار آسیب شوند. کمبود هوای تجهیزات پیامد اصلی آسیب‌دیدگی کانالهای هوا می‌باشد.

۴-۵-۳-۱۷- پستهای برق

بیشتر تجهیزات موجود در پستهای برق از نظر لرزه‌ای آسیب‌پذیرند. مقره‌های سرامیکی بیشتر دچار شکست می‌شوند. ترانسفورماتورهای مهارنشده یا با مهار اصطکاکی ناکافی ممکن است دچار لغزش شوند و باعث شکست اتصالات گردند.

۴-۵-۳-۱۸- سکوها و مسیرهای دسترسی

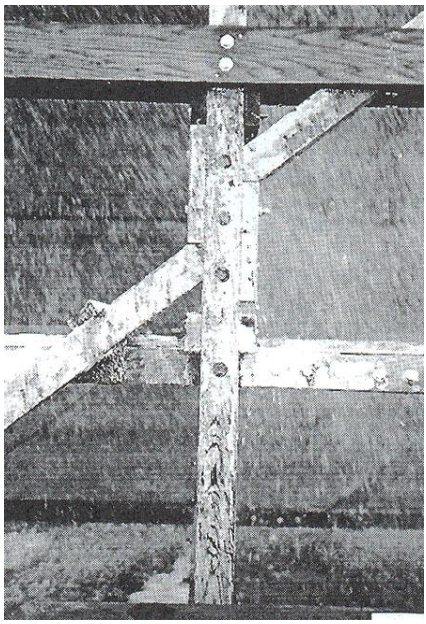
تعداد زیادی از سکوها و مسیرهای دسترسی هوایی در پالایشگاه‌ها، پتروشیمی‌ها و سایر مجتمعهای نفتی وجود دارد. در بسیاری از موارد این سکوها دور تا دور مخازن را احاطه کرده‌اند و ممکن است بر سازه‌هایی تکیه کنند که اتصالی به مخازن ندارند. در چنین شرایطی مهمترین مساله موجود، تغییرشکلهای ناهمگون است. این گونه تغییرشکلها ممکن است باعث بروز خسارات زیر گردند:

- برخورد مخزن و مسیرهای دسترسی می‌تواند منجر به پارگی دیواره مخزن و یا آسیب‌دیدگی مسیر دسترسی گردد. آسیب‌دیدگی این مسیرها سبب قطع امکان دسترسی به مخازن و تجهیزات در موارد اضطراری می‌شود. ارزیابان نه تنها باید به نزدیکی مسیرهای دسترسی به مخازن دقت کنند بلکه باید به وجود تیرهای تکیه‌گاهی نوک تیزی که می‌تواند باعث آسیب‌دیدگی مخزن گردد نیز دقت کنند.

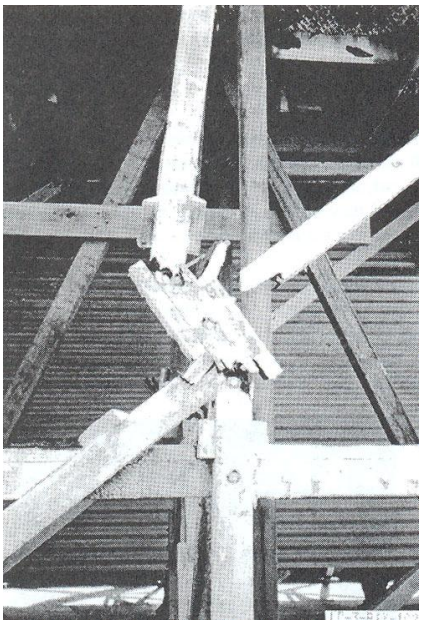
- مسیرهای دسترسی متصل شده به دو سازه مختلف که فاقد انعطاف‌پذیری کافی می‌باشند، ممکن است دچار فروریزش و سقوط شوند.

۴-۵-۳-۱۹- برجهای خنک‌کن

برجهای خنک‌کن چوبی عموما در زمان زلزله رفتار نسبتا مناسبی دارند. مهمترین علل بروز خسارت در این برجها را می‌توان پیچیدگی وضعیت بارگذاری درزمان زلزله و جزییات سازه‌ای نامناسب در محل اتصالات دانست. به عنوان مثال شکل ۴-۱۳ نشان دهنده اتصالات خارج از مرکزی می باشند که در زمان زلزله آسیب دیده‌اند.



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۳-الف: خروج از مرکزیت مسیر انتقال بار در اتصالات در یک برج خنک‌کن چوبی
ب: اتصال مشابه شکل ۴-۱۳-الف که در اثر یک زلزله دچار خسارت شده است.

۴-۶- محدودیت‌ها

تمام مراجع و بخشهای دخیل در امر ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید توجه داشته باشند که شناسایی خطرات لرزه‌ای محتمل و منابع ایجاد خسارت، تنها با استفاده از ارزیابی چشمی امکان‌پذیر نمی‌باشد. علاوه براین مواردی که در ارزیابی چشمی آسیب‌پذیر تشخیص داده می‌شوند، ممکن است در اثر زلزله آسیب نبینند و بالعکس برخی از مواردی که ایمن تشخیص داده شده‌اند ممکن است در زمان وقوع زلزله به دلایلی که در ارزیابی چشمی و یا با استفاده از تحلیل سازه به چشم نیامده‌اند آسیب ببینند.

مهندسان باید همواره کارفرمایان و دستگاههای نظارتی را از این مساله آگاه سازند که خطر لرزه‌ای به‌طور کامل قابل بر طرف شدن نیست. حتی با انجام مطالعات گسترده‌تر همچنان مقداری خطرپذیری وجود خواهد داشت؛ اگرچه زمان، نیروی انسانی و هزینه قابل توجهی صرف بهسازی لرزه‌ای تاسیسات شده باشد. با انجام مطالعات دقیقتر، خطرپذیری ناشی از زلزله بهتر شناخته می‌شود؛ اما به‌هیچ وجه نمی‌توان آنرا کاملا از بین برد و تضمینی در این زمینه وجود ندارد.

۵- ارزیابی تحلیلی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات موجود

۵-۱- کلیات

به طور کلی فلسفه و روشهای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تجهیزات موجود با روشهای طراحی سازه‌ها و تجهیزات جدید متفاوت است. برخی از دلایل آن عبارتند از:

- سازه‌ها و تجهیزات قدیمی ممکن است بر اساس آیین‌نامه‌های قدیمی طراحی شده باشند که در مقایسه با آیین‌نامه‌های لرزه‌ای رایج در حال حاضر چندان کامل نیست.
- در زمان ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات، برآورده‌کردن کلیه ملاحظات استانداردهای به‌روز، بسیار مشکل و گاهی در عمل غیرممکن است.
- طراحی سازه‌های جدید، در مقایسه با بهسازی تاسیسات موجود، با استفاده از روشها و فرضیات محافظه‌کارانه‌تری انجام می‌شود.

علاوه بر این، بیشتر سازه‌ها و تجهیزات موجود در تاسیسات قدیمی، برای نیازهای لرزه‌ای کوچکتر از آنچه که امروزه مورد نظر است طراحی شده‌اند. همچنین جزئیات شکل‌پذیر کمتری در طراحی و اجرای آنها به خدمت گرفته شده است. به عبارت دیگر شکل‌پذیری سازه‌های قدیمی به مراتب از شکل‌پذیری مورد انتظار از سازه‌های مشابه جدید، کمتر است. بر این اساس لازم است این سازه‌ها و تجهیزات با در نظر گرفتن سطح مناسبی از شکل‌پذیری، مورد بررسی قرار گیرند. همچنین با توجه به اینکه در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات سعی بر این است که از حداکثر ظرفیت اجزا استفاده شود، روشهای تحلیل و طراحی بهسازی، به مراتب پیچیده‌تر از روند طرح سازه‌های جدید است.

۵-۲- روشهای ارزیابی

در حال حاضر روش تاییدشده‌ای برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تجهیزات موجود در مجتمعهای نفتی وجود ندارد. بر این اساس توصیه می‌شود به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای اینگونه سازه‌ها و تجهیزات از روش ارزیابی عینی همراه با یک روش تحلیلی مناسب استفاده شود.

یکی از روشهایی که امروزه بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، برنامه "مدیریت کاهش خطرپذیری و افزایش بازدارندگی" یا RMPP (Risk Management and Prevention Program) می‌باشد. ملاکهای این روش در موارد زیر با ضوابط آیین‌نامه‌های ساختمانی متفاوت است:

- این روش بر مبنای مقاومت نهایی است. بجای ضریب رفتار، R_w، در سازه‌ها و تجهیزات موجود، از ضریب Q استفاده می‌شود که عموما کمتر از R_w می‌باشد. مقدار این ضریب در جداول ۵-۱ تا ۵-۵ ارائه شده است.

- در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، ضریب اهمیت، I ، بیشتر برابر با یک درنظر گرفته می‌شود. البته بسته به نظر کارفرما برای تجهیزات و سازه‌های ویژه این مقدار را می‌توان بزرگتر از یک در نظر گرفت. در طراحی تاسیسات جدید، بسته به اهمیت سازه‌ها و تجهیزات، مقدار پارامتر I ممکن است بزرگتر از ۱ انتخاب شود. شرح روشRMPP در این فصل ارائه می‌شود.

جدول ۵-۱: مقادیر ضریب کاهش Q برای سازه‌های نگهدارنده تجهیزات

شرح	Q
۱- قاب خمشی فولادی شکل‌پذیر	
- برای قاب با شکل‌پذیری ویژه طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰	۸
- سایر موارد	۶
۲- قاب خمشی فولادی معمولی با شرایط زیر (رده ۱)*	
- قاب دارای طبقه نرم است	۲
- قاب دارای ناپیوستگی در سیستم باربر جانبی قائم است.	۲
- جوشهای شیاری با نفوذ ناقص در ستونهای قاب خمشی سازه وجود دارد.	۲
- سیستم سازه‌ای به صورت تیر قوی و ستون ضعیف عمل می‌کند، به گونه‌ای که مفاصل پلاستیک پیش از تشکیل در تیرها در ستونها ایجاد می‌شوند.	۲
۳- قاب خمشی فولادی معمولی با شرایط زیر (رده ۲)*	
- قاب هیچیک از مشخصات ذکر شده برای قابهای رده ۱ را ندارد ولی دست کم یکی از اعضای قاب خمشی دارای مقطع غیرفشرده است.	۴
- قاب هیچیک از مشخصات ذکر شده برای قابهای رده ۱ را ندارد ولی دست کم دارای یک اتصال صلب تیر به ستون فاقد جوش نفوذی بال یا اتصال جان تیر به ستون می‌باشد.	۴
- قاب هیچیک از مشخصات ذکر شده برای قابهای رده ۱ را ندارد ولی دست کم دارای یک اتصال وصله ستون می‌باشد که در آن تمامی مقاطع متناظر ستون در دو طرف وصله به یکدیگر متصل نشده‌اند.	۴
۴- سایر قابهای خمشی فولادی معمولی	۵
۵-قاب فولادی مهاربندی شده با شرایط زیر (رده ۱)*	
- طبقه نرم یا ناپیوستگی قابل توجه در اعضا باربر جانبی قائم وجود داشته باشد.	۲
- از مهاربندی K در سیستم سازه‌ای استفاده شده باشد.**	۲
- اتصال مهاربندها تحمل نیرویی معادل ظرفیت مهاربندها را ندارند (تمام ظرفیت نمی‌باشند).	۲
- اتصال وصله ستونها تمام ظرفیت نمی‌باشد.	۲

جدول ۵-۱: مقادیر ضریب کاهش Q برای سازه‌های نگهدارنده تجهیزات (ادامه)

شرح	Q
۶- قاب فولادی مهاربندی شده با شرایط زیر (رده ۲)*	
- هیچیک از ویژگیهای قاب فولادی مهاربندی شده رده ۱ را نداشته باشد، ولی دارای مهاربندهایی با ضریب لاغری بزرگتر از ۱۲۰ باشد.	۴
- هیچیک از ویژگیهای قاب فولادی مهاربندی شده رده ۱ را نداشته باشد، ولی دارای مهاربندهایی به شکل ۷ یا ۸ باشد که برای تحمل بارهای ثقلی طراحی شده باشند.	۴
۷-سایر قابهای فولادی مهاربندی شده	۵
۸-ستونهای فولادی طره‌ای*	
- اتصال وصله ستون تمام ظرفیت نباشد و تحمل نیروهایی برابر ظرفیت ستون را نداشته باشد.	۱٫۵
- نیاز لرزه‌ای بار محوری بیش از ۲۰ درصد ظرفیت محوری ستون باشد.	۱٫۵
- سایر ستونهای فولادی طره‌ای	۲٫۵
۹-قابهای خمشی بتنی شکل‌پذیر	
- قاب با شکل‌پذیری زیاد طبق ضوابط آیین‌نامه بتن ایران	۸
- سایر موارد	۶
۱۰-قابهای خمشی بتنی متوسط طبق ضوابط آیین‌نامه بتن ایران	۴
۱۱-قابهای خمشی بتنی معمولی با شرایط زیر (رده ۱)*	
- قاب دارای طبقه نرم است.	۱٫۵
- قاب دارای ناپیوستگی در سیستم باربر جانبی قائم است.	۱٫۵
- سیستم سازه‌ای به صورت تیر قوی و ستون ضعیف عمل می‌کند، به گونه ای که مفاصل پلاستیک ابتدا در ستونها و سپس در تیرها ایجاد می‌شوند.	۱٫۵
- افت مشهود در کیفیت بتن و میلگرد در هریک از اعضای قاب که باعث خرابی ترد می‌شود.	۱٫۵
- در تعداد قابل‌توجهی از ستونها خرابی برشی پیش از تخریب خمشی ایجاد می‌شود.	۱٫۵
۱۲-قابهای خمشی بتنی معمولی با شرایط زیر (رده ۲)*	
- هیچیک از ویژگیهای قاب خمشی بتنی معمولی رده ۱را نداشته و در عین حال سیستم باربر جانبی دارای اعضای پیش‌تنیده (اعم از پیش یا پس‌کشیده) باشد.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای قاب خمشی بتنی معمولی رده ۱را نداشته و در عین حال خاموتهای تیر و ستون دارای خم ۱۳۵ درجه نباشند.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای قاب خمشی بتنی معمولی رده ۱را نداشته و در عین حال خاموت ستونها دارای فاصله بیش از یک‌چهارم کوچکترین بعد ستون باشند.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای قاب خمشی بتنی معمولی رده ۱را نداشته و در عین حال فاصله خاموت تیرها از یکدیگر بیش از نصف ارتفاع موثر مقطع تیر باشد.	۲٫۵

جدول ۵-۱: مقادیر ضریب کاهش Q برای سازه‌های نگهدارنده تجهیزات (ادامه)

شرح	Q
- هیچیک از ویژگیهای قاب خمشی بتنی معمولی رده ۱را نداشته و در عین حال طول وصله میلگردهای ستون از ۳۵ برابر قطر میلگرد کمتر باشد.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای قاب خمشی بتنی معمولی رده ۱را نداشته و در عین حال وصله میلگردهای ستون توسط خاموت مهار نشده است و یا فاصله خاموتها در محلهای یادشده بیش از ۸ برابر قطر میلگرد باشد.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای قاب خمشی بتنی معمولی رده ۱را نداشته و در عین حال طول مهاری میلگردهای طولی کمتر از ۲۴ برابر قطر میلگرد می‌باشد.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای قاب خمشی بتنی معمولی رده ۱را نداشته و در عین حال در تعداد قابل توجهی از ستونها خرابی برشی پیش از خرابی خمشی به‌وقوع پیوندد.	۲٫۵
۱۳- سایر قابهای خمشی بتنی معمولی*	۳٫۵
۱۴- قاب بتن مسلح با دیوار برشی رده ۱*	
- وجود خرابیهای مشهود در بتن یا میلگردهای اعضا قاب بتنی که موجب وقوع خرابی ترد شود.	۱٫۵
- وجود طبقه نرم یا ناپیوستگی قابل توجه در سیستم باربر جانبی	۱٫۵
- متصل نبودن هر یک از دیوارهای برشی به شالوده	۱٫۵
۱۵- قاب بتن مسلح با دیوار برشی با شرایط زیر (رده ۲)*	
- هیچیک از ویژگیهای قاب بتن مسلح با دیوار برشی رده ۱را نداشته باشد ولی نسبت میلگردهای دیوار برشی به سطح مقطع خالص دیوار در راستای افقی و قائم بیش از ۰٫۰۰۲۵ نباشد.	۳
- هیچیک از ویژگیهای قاب بتن مسلح با دیوار برشی رده ۱را نداشته و در عین حال فاصله بین میلگردهای دیوار برشی بیشتر از ۴۵ سانتیمتر باشد.	۳
- هیچیک از ویژگیهای قاب بتن مسلح با دیوار برشی رده ۱را نداشته و در عین حال در دیوارهای برشی با نسبت ارتفاع به پهنای بزرگتر از ۲ اجزای مرزی دیوار با خاموتهای دورپیچ یا تنگهای با فاصله حداکثر ۸ برابر قطر میلگرد طولی مهار نشده باشند.	۳
- ساختمانهای همبند با دیوار برشی که هیچیک از ویژگیهای قاب بتن مسلح با دیوار برشی رده ۱را نداشته و در عین حال دست کم یکی از تیرهای همبند دارای خاموتهایی با فاصله بیش از ۸ برابر قطر میلگرد طولی باشند.	۳
- ساختمانهای همبند با دیوار برشی که هیچیک از ویژگیهای قاب بتن مسلح با دیوار برشی رده ۱را نداشته و در عین حال دست کم در یکی از تیرهای همبند خاموتها دارای خم کوچکتر از ۱۳۵ درجه باشند.	۳
۱۶- سایر قابهای بتن مسلح با دیوار برشی	۵

جدول ۵-۱: مقادیر ضریب کاهش Q برای سازه‌های نگهدارنده تجهیزات (ادامه)

شرح	Q
۱۷- پایه‌ها و ستونهای طره‌ای با شرایط زیر (رده ۱)*	
- وجود خرابیهای مشهود در بتن یا میلگردهای اعضای قاب بتنی که موجب وقوع خرابی غیرشکل‌پذیر شود.	۱٫۵
- نیاز بار محوری ستون بیش از ۲۰ درصد ظرفیت محوری آن باشد.	۱٫۵
۱۸- پایه‌ها و ستونهای طره‌ای با شرایط زیر (رده ۲)*	
- هیچیک از ویژگیهای پایه‌ها و ستونهای طره‌ای رده ۱را نداشته و در عین حال خاموتها دارای خم کوچکتر از ۱۳۵ درجه باشند.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای پایه‌ها و ستونهای طره‌ای رده ۱را نداشته و در عین حال ستونها دارای تنگهایی با فاصله بیش از یک‌چهارم بعد کوچکتر ستون می‌باشند و یا پایه‌ها دارای تنگهایی با فاصله بزرگتر از نصف بعد کوچکتر پایه می‌باشند.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای پایه‌ها و ستونهای طره‌ای رده ۱را نداشته و در عین حال طول وصله میلگردهای طولی آن کوچکتر از ۳۵ برابر قطر میلگرد طولی باشد.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای پایه‌ها و ستونهای طره‌ای رده ۱را نداشته و در عین حال در محل وصله میلگردهای طولی از تنگ استفاده نشده باشد و یا فاصله تنگها از یکدیگر در موضع یاد شده بزرگتر از ۸ برابر قطر میلگرد طولی باشد.	۲٫۵
- هیچیک از ویژگیهای پایه‌ها و ستونهای طره‌ای رده ۱را نداشته و طول مهاری میلگردها کمتر از ۲۴ برابر قطر آنها باشد.	۲٫۵
-سایر موارد	۳٫۵

*در صورتیکه جاری شدن، کنترل‌کننده ارزیابی پیچهای مهاری باشد (بیرون‌کشیدگی میلگرد و تخریب شالوده بتنی رخ ندهد) و بین سازه و شالوده یک مکانیزم انتقال نیروی شکل‌پذیر وجود داشته باشد، مقدار پارامتر Q در نظر گرفته شده برای پیچهای مهاری برابر با مقدار در نظر گرفته شده برای کل سازه بر اساس جدول فوق می‌باشد. در غیر این صورت مقدار Q را باید برابر با ۱٫۵ در نظر گرفت. این مقدار برای ارزیابی کل سازه و نیز پیچهای مهاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این در صورتی که مسائل محدودکننده شکل‌پذیری (نظیر پیچهای مهاری غیرشکل‌پذیر، اجزای لاغر و اجزای غیرفشرده) به صورت موضعی در تعداد کمی از اجزا وجود داشته باشند می‌توان در ارزیابی کل سازه از مقادیر Q ارائه شده در جدول ۵-۱ با صرفنظر از عوامل محدودکننده شکل‌پذیری استفاده کرد و برای ارزیابی اجزای غیرشکل‌پذیر یاد شده از ضریب کاهشی برابر با ۰٫۴ استفاده کرد.

**مقدار ضریب Q تنها در قابهای با حداکثر دو طبقه دارای مهاربند K از جدول ۵-۱ قابل استخراج است.

جدول ۵-۲: مقادیر ضریب کاهش Q برای تجهیزاتی با رفتار همانند سازه‌های دارای تکیه‌گاه پیوسته

شرح	Q
۱- مخازن یا گرم کننده های قائم، یا ظروف کروی قرارگرفته بر روی ساق(Skirt) فولادی *	
- نسبت قطر به ضخامت ساق فولادی بزرگتر از 0.441E/Fy باشد (E و Fy به‌ترتیب مدول ارتجاعی و حد جاری شدن مصالح ساق فولادی می‌باشند).	۲
- سایر موارد	۴
۲- مخازن یا گرم کننده های قائم، یا ظروف کروی قرار گرفته بر روی پایه های فولادی مهاربندی شده بدون تیر فوقانی یا حلقه سخت کننده رده ۱*	
- از مهاربندهای K استفاده شده باشد	۱/۵
- اتصالات هر یک مهاربندها تحمل نیروهایی معادل کل ظرفیت مهاربند را نداشته باشند.	۱/۵
- هر یک از اتصالات وصله ستونها تحمل نیروهایی معادل کل ظرفیت ستون را نداشته باشند.	۱/۵
۳- مخازن یا گرم کننده های قائم، یا ظروف کروی قرار گرفته بر روی پایه های فولادی مهاربندی شده بدون تیر فوقانی یا حلقه سخت کننده رده ۲*	
- هیچیک از ویژگیهای تجهیزات رده ۱را نداشته باشد و در عین حال دارای مهاربندهایی با ضریب لاغری بزرگتر از ۱۲۰ باشد.	۳
- هیچیک از ویژگیهای تجهیزات رده ۱را نداشته باشد و در عین حال دارای مهاربندهایی به شکل ۷ یا ۸ باشند که برای تحمل بارهای ثقلی طراحی شده باشند.	۳
- سایر موارد	۴
۴- مخازن یا گرم کننده های قائم، یا ظروف کروی قرار گرفته بر روی پایه های فولادی فاقد مهاربندی بدون تیر فوقانی یا حلقه سخت‌کننده*	۲
- هر یک از اتصالات وصله ستونها تحمل نیروهایی معادل کل ظرفیت ستون را نداشته باشند.	۱/۵
- بار محوری ستون بیش از ۲۰درصد ظرفیت محوری آن باشد.	۱/۵
- سایر موارد	۲/۵
۵- دودکشهای بتنی و فولادی دارای قاب نگهدارنده و فاقد قاب نگهدارنده	۴

*در صورتیکه جاری‌شدن، کنترل‌کننده ارزیابی پیچهای مهاری باشد (بیرون‌کشیدگی میلگرد و تخریب شالوده بتنی رخ ندهد) و بین سازه و شالوده یک مکانیزم انتقال نیروی شکل‌پذیر وجود داشته باشد، مقدار پارامتر Q در نظر گرفته شده برای پیچهای مهاری برابر با مقدار در نظر گرفته شده برای کل سازه بر اساس جدول فوق می‌باشد. در غیر این صورت مقدار Q را باید برابر با ۱/۵ در نظر گرفت. این مقدار برای ارزیابی کل سازه و نیز پیچهای مهاری استفاده می شود.

جدول ۵-۳: مقادیر ضریب کاهش Q برای سازه‌های نگهدارنده خطوط لوله*

شرح	Q
۱- سازه‌های فولادی	
- قابهای خمشی فولادی شکل‌پذیر	۸
- قابهای خمشی فولادی معمولی	۶
- قابهای مهاربندی شده	۶
- ستونهای طره‌ای	۵
۲- سازه‌های بتن مسلح	
- قابهای خمشی بتنی شکل‌پذیر	۸
- قابهای خمشی بتنی معمولی	۵
- ستونهای طره‌ای	۴

*این مقادیر مربوط به سازه‌هایی می‌باشد که وزن تجهیزات مستقر بر آنها از ۲۵ درصد سایر بارهای مرده تجاوز نکند. در غیر این‌صورت سازه باید سازه نگهدارنده تجهیزات تلقی شود و از مقادیر جدول ۵-۱ برای بدست آوردن ضریب کاهش Q استفاده کرد.

جدول ۵-۴: مقادیر ضریب کاهش Q برای مخازن با کف تخت

شرح	Q
۱- مهارشده	۴
۲- مهارنشده	۳

جدول ۵-۵: مقادیر ضریب کاهشQ برای شالوده‌ها*

شرح	Q
۱- شالوده‌های شمعی	۶
۲- شالوده‌های گسترده	۶

*پارامتر Q در شالوده ها در محاسبات مربوط به واژگونی، ظرفیت باربری خاک و ظرفیت شمعها بکار می‌رود.

در استفاده از جداول ۵-۱ تا ۵-۵ باید به موارد زیر توجه داشت:

- تنها در صورتی می‌توان بزرگترین مقدار Q ارائه شده برای هر دسته از سازه‌ها یا تجهیزات را در نظر گرفت که مسیر اصلی انتقال بار در سیستم قائم باربر جانبی، تضمین‌کننده رفتار شکل‌پذیر برای سیستم باشد. برای این منظور هر یک از اتصالات سیستم یاد شده باید ظرفیتی معادل ۱٫۵

برابر ظرفیت اجزای متصل شده را داشته باشد.
- در مورد سازه‌ها یا تجهیزاتی که در این راهنما مقداری برای Q ارائه نشده است، مقدار این ضریب باید بسته به مورد برآورد شود.
- در صورتی که بیش از یکی از مشخصات ارائه شده در جداول فوق با مشخصات سازه هماهنگی داشته باشد، کوچکترین مقدار Q متناظر باید در نظر گرفته شود.

۵-۳- روش RMPP در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

هدف از این روش ایجاد قابلیت اعتماد کافی در برابر رها شدن مواد خطرناک (که می‌توانند موجب پیامدهایی در خارج از مجتمع صنعتی شوند) در اثر یک زلزله بزرگ می‌باشد. این روش ملاکهای قابل قبولی را برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای چنین تاسیساتی ارائه می‌کند. این روش برای کلیه سازه‌ها و تجهیزاتی که آسیب‌دیدگی آنها سبب نشت و رها شدن مواد خطرناک می‌شود، قابل استفاده است.

این روش بر مبنای تحلیل تعینی سیستمهای سازه‌ای شکل گرفته است. بنابراین زلزله‌ای با احتمال وقوع کم مبنای ارزیابی قرار می‌گیرد. ظرفیت لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات، بر اساس روشها و فرضیات منطبق بر واقعیت برآورد می‌شود.

همانند هر روش ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای، استفاده از این روش نیز منجر به از بین رفتن کامل مخاطرات در یک زلزله شدید نمی‌شود و تنها به منظور کاهش خطرپذیری لرزه‌ای ارائه شده است. روش RMPP برای ارزیابی سه دسته از سازه‌ها و تجهیزات ارائه شده است:
- سیستمهایی که حاوی مقادیر قابل توجهی از مواد خطرناک باشند.
- سیستمهایی که آسیب‌دیدگی آنها موجب آسیب‌دیدگی سازه‌ها و تجهیزات حاوی مواد خطرناک شود.
- سامانه‌های خدماتی که وجود آنها برای شرایط اضطراری پس از زلزله لازم است (مثلا سیستمهای آتش‌نشانی و یا برق).

۵-۴- روش ارزیابی خطر لرزه‌ای برای تجهیزات موجود

در ارزیابی خطر لرزه‌ای ویژه ساختگاه باید آثار ناشی از زلزله به شرح زیر مورد توجه قرار گیرد و تا حد امکان به صورت کمی برآورد شود:
- جنبش زمین، شامل آثار افزایشی خاک بر پاسخ ساختگاه
- روانگرایی
- گسلش

- نشست خاک
- رانش زمین و ناپایداریهای ژئوتکنیکی
- سونامی و سیچ

مطالعات ارزیابی خطر لرزه‌ای باید حداقل بر مبنای زلزله‌ای با احتمال وقوع ده درصد در پنجاه سال انجام داده شود که معادل زلزله‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال است. برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات نفتی ایران می‌توان از دو روش استفاده کرد:

- استفاده از طیف طرح آیین‌نامه طراحی ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران)
- انجام دادن مطالعات ویژه ساختگاه و ارائه طیف پاسخ ارتجاعی با میرایی ۵٪

برای ساختگاه‌هایی که در میدان نزدیک گسل قرار دارند و نیز در ساختگاه‌های قرار گرفته بر خاک بسیار نرم (معادل خاک گروه چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران) انجام مطالعات ویژه ساختگاه ضروری است.

در صورتی که از مطالعات ویژه ساختگاه برای برآورد جنبش نیرومند زمین استفاده می‌شود، مقدار طیف بدست آمده از این مطالعات در هیچ حالتی نباید کمتر از دو سوم مقدار طیف استاندارد ۲۸۰۰ باشد.

۵-۵- روش تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات موجود

برای ارزیابی تحلیلی سازه‌ها و تجهیزات موجود و شالوده‌های آنها در برابر زلزله، می‌توان از روش تحلیل طیفی یا استاتیکی معادل استفاده کرد. استفاده از روشهای منطقی و پذیرفته‌شده مانند تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، قابل‌قبول می‌باشد. در این صورت باید تغییرشکلهای غیرارتجاعی سازه در حدی باشند که انسجام و پایداری کلی سازه حفظ شود. در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در مورد سیستمهایی که بر اساس آیین‌نامه‌های لرزه‌ای سال ۱۹۹۷ به بعد طراحی شده‌اند و بر اساس ارزیابی چشمی به طور کامل ایمن تلقی می‌شوند، نیاز به انجام مطالعات تحلیلی نمی‌باشد. در صورتی که بر اساس نتایج یک روش تحلیلی، سازه یا تجهیزات آسیب‌پذیر تلقی شوند، می‌توان سازه را با استفاده از روشهای تحلیلی دقیقتر بررسی کرد.

۵-۵-۱- تعیین نیاز لرزه‌ای

در صورت استفاده از روشهای تحلیلی ارتجاعی، لازم است نیاز لرزه‌ای با استفاده از ترکیب بار D+L+E/Q بدست آید که در آن D معرف بارهای مرده، L ، معرف بارهای زنده و عملکردی و E نیز معرف بار زلزله ارتجاعی می‌باشد. پارامتر Q نیز ضریبی معادل ضریب شکل‌پذیری در طراحی لرزه‌ای تاسیسات جدید است که از جداول ۵-۱ الی ۵-۵ بدست می‌آید. در ترکیب بارگذاری فوق

باید اثر زلزله در سه راستای متعامد اصلی سازه (یا تجهیز) در نظر گرفته شود. ترکیب بار زلزله در سه راستای متعامد به این صورت انجام می‌شود که در هر ترکیب بارگذاری، اثر زلزله در یکی از جهات اصلی به علاوه ۳۰٪ اثر زلزله در دو جهت دیگر با یکدیگر به سیستم اعمال می‌شود.

در مورد سیستمهایی که پریود ارتعاشی اصلی آنها، T، کمتر از پریودی است که در آن بیشترین شتاب طیفی رخ می‌دهد، باید یکی از روشهای زیر در تعیین سطح شتاب مناسب در مود اصلی و مودهای بالاتر استفاده شود:

- مقدار شتاب طیفی حداکثر برای مود اصلی سازه در نظر گرفته شود و در مورد سایر مودها می‌توان از شتاب طیفی واقعی استفاده کرد.
- در سازه‌هایی که پریود ارتعاشی اصلی آنها کمتر از ۶۷٪ پریود ارتعاشی با شتاب طیفی حداکثر می‌باشد حداکثر شتاب طیفی محدوده در محدوده 0.5T تا 1.5T را می‌توان به عنوان شتاب متناظر با مود اصلی سازه در نظر گرفت. در مورد سایر مودها می‌توان از شتاب طیفی واقعی استفاده کرد.

۵-۵-۲- تعیین ظرفیت لرزه‌ای

ظرفیت لرزه‌ای اجزای سازه‌ای در صورت استفاده از روش تنش مجاز برابر با ۱٫۶ برابر تنش مجاز اعضا بدون در نظر گرفتن اضافه‌ظرفیت ناشی از اعمال بار دینامیکی خواهد بود.

در صورتی که از روشهای مقاومت نهایی استفاده شود مقاومت اعضا برابر با fR_n خواهد بود که در آن f ضریب کاهش مقاومت و R_n مقاومت نهایی اعضا می‌باشد. در صورت استفاده از روش مقاومت نهایی مقدار ضرایب بار باید برابر با ۱ در نظر گرفته شود.

تغییرمکانهایی که بر اساس تحلیل ارتجاعی و با اعمال پارامتر Q محاسبه شده‌اند باید در ضریب 0.5Q ضرب شوند. مقدار این ضریب در هیچ شرایطی نباید کمتر از ۱ در نظر گرفته شود. به طور کلی تغییرمکان افقی نسبی باید کمتر از 0.01H باشد که در آن، H ارتفاع بین ترازهای مورد نظر است. تغییرمکانهای نسبی بزرگتر تنها در صورتی مورد قبولند که با استفاده از یک روش قابل قبول بتوان ثابت کرد که مقدار تغییر مکان نسبی یاد شده برای اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و تجهیزات قابل تحمل است.

۵-۵-۳- کنترل واژگونی

در ارزیابی سازه‌های موجود، پیشنهاد می‌شود که ضریب اطمینان در برابر واژگونی حداقل برابر با ۱ در نظر گرفته شود. البته لازم است در این حالت ضریب کاهش ۰٫۸۵ به بارهای مرده اعمال شود. در کنار این روش، می‌توان از روشهای دقیقتر مانند روش تعادل انرژی استفاده کرد. بر اساس این روش، انرژی پتانسیل واژگونی سازه باید از انرژی جنبشی اعمال شده به سازه در اثر زلزله

بیشتر باشد. در این روش آثار انرژی کرنشی در سازه و خاک را می‌توان در نظر گرفت.

۵-۵-۴- قابلیت لغزش

ضریب اطمینان در برابر لغزش تجهیزاتی که به صورت مهارنشده بر روی شالوده خود قرار گرفته‌اند و به جابجایی حساسیت ندارند، برابر با ۱٫۵ در نظر گرفته می‌شود. در مورد تجهیزاتی که مستقیما بر روی خاک قرار دارند، ضریب اطمینان در برابر لغزش برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود.
نتایج تحلیلهای تاریخچه زمانی نشان می‌دهد، حداکثر انرژی پتانسیل محاسباتی تنها در محدوده کوتاهی از زمان به سازه اعمال می‌شود. لذا در نظر گرفتن این مقادیر حداکثر در تحلیلهای استاتیکی معادل، جهت برآورد پایداری در برابر لغزش گاهی بسیار محافظه‌کارانه است.

۵-۵-۵- اندرکنش سازه و تجهیزات

تغییر چیدمان تمام سازه‌ها و تجهیزات به گونه‌ای که اندرکنش بین آنها در زمان زلزله به حداقل برسد، به عنوان یک راهکار عمومی، مطرح است. در زمانیکه سکوها یا مخازن تحت فشار در مجاورت و نزدیکی یکدیگر قرارگیرند، لازم است که فاصله بین آنها به گونه‌ای باشند که مجموع قدرمطلق تغییرمکان این سازه‌ها و تجهیزات مجاور از فاصله بین آنها تجاوز نکند. برای این منظور تغییرمکانهای تعیین شده براساس ضوابط آیین‌نامه‌ای، باید به نسبت $3R_w/8$ افزایش یابند تا اثر رفتار غیرارتجاعی در آنها منظور شود. مقدار R_w را می‌توان طبق نشریه شماره ۰۳۸ معاونت مهندسی وزارت نفت محاسبه کرد. برای این منظور باید مقدار R_u بدست آمده از نشریه شماره ۰۳۸ را در ضریب ۱٫۴ ضرب کرد. بیشتر لوله‌های داخل سازه‌ها، از ترازهای بالا به ترازهای پایین‌تر و به اتصالات، مفاصل، پمپها و مخازن و... متصل می‌شود. تغییرمکانهای بزرگ در این لوله‌ها ممکن است سبب نشت در این محلها شود که این امر می‌تواند منجر به خسارات غیرمستقیمی مانند آتش‌سوزی و انفجار شود.
درصورتیکه تغییرمکانهای بزرگ لوله‌ها ناشی از تغییرشکل سازه تکیه‌گاهی، قابل قبول نباشد محدود کردن تغییرمکان سازه به H/240 می‌تواند راه‌حلی مناسب باشد. در رابطه اخیر، H ارتفاع نقطه تکیه‌گاهی بالای اتصال لوله می‌باشد.

۵-۵-۶- پایه‌ها و شالوده‌های T شکل

این شالوده‌ها را که بیشتر به عنوان تکیه‌گاه مخازن افقی تحت‌فشار و مبدلهای حرارتی مهارشده روزمینی بکار می‌روند، می‌توان به عنوان آونگ وارونه در نظر گرفت. بیشتر به منظور جلوگیری از ایجاد تنشهای حرارتی، مخازن افقی یا مبدلهای حرارتی از یک سمت به یکی از پایه‌ها مهار می‌شوند ولی امکان لغزش آنها برروی پایه دیگر وجود دارد. پایه دارای مهار برای تحمل کل

نیروهای لرزه‌ای در راستای طولی طراحی می‌شود. معمولا به منظور سهولت در اجرا این دو پایه، از نظر سازه‌ای به طور یکسان در نظر گرفته می‌شوند. درصورتیکه این روش منجر به ایجاد یک پایه بسیار بزرگ شود، باید یکی از دو روش زیر استفاده کرد:

- برای مخازن با دمای طراحی کم (کمتر از 65°C) مخزن را می‌توان به هر دو پایه مهار کرد. در این صورت هر پایه را می‌توان برای نصف نیروهای حرارتی و نصف نیروهای لرزه‌ای طراحی کرد.
- درصورتیکه امکان مهارکردن حرکت ناشی از تغییر دمای مخزن در هر دو پایه مقدور نباشد، می‌توان دو پایه را با استفاده از تیرهای فولادی به یکدیگر متصل کرد. در این صورت به هر پایه نصف نیروهای ناشی از زلزله وارد می‌شود.

بارهای لرزه‌ای جانبی (عمود بر راستای طولی) معمولا توسط هر دو پایه تحمل می‌شوند و از طریق برش وارده به میل مهارها منتقل می‌شوند. در شرایطی که امکان مشخص کردن توزیع جرم دقیق برای هر پایه وجود ندارد، برخی از مهندسین ۶۰ درصد نیروی جانبی ناشی از زلزله را به هریک از پایه‌ها اعمال می‌کنند.

۵-۵-۷- شالوده مخازن قائم تحت فشار

تجربه نشان می‌دهد که در شالوده مخازن قائم تحت فشار و دودکش‌ها، میل مهارها تحت اثر زلزله‌های بزرگ در اثر کشش وارده، به تنش جاری شدن خود می‌رسند. جاری شدن میل مهارها ممکن است سبب جلوگیری از فروریزش این مخازن شود. به بیان دیگر در صورتی‌که پیچهای مهاری بیش از حد قوی درنظر گرفته شوند، ممکن است لنگر واژگونی قابل‌توجهی (فراتر از لنگر واژگونی طراحی) به شالوده وارد شود.براساس این تجربه برخی از مهندسان از کل ظرفیت کششی میل‌مهارها در طراحی استفاده می‌کنند.

هنگامی که پیچهای مهاری تنها تا پدستال ادامه می‌یابند، میلگردهای انتظار پدستال باید بتوانند لنگری معادل با لنگر واژگونی بدست آمده براساس مقاومت میل‌مهارها (مثلاً ۱٫۲۵ برابر تنش جاری شدن) را تحمل کند. در شرایطی که میل‌مهارها تا درون شالوده امتداد می یابند (این حالت بیشتر در شالوده مخازن بسیار بلند رخ می‌دهد) انتقال لنگر واژگونی به شالوده بر عهده میلگردهای انتظار پدستال نیست. در این شرایط تنها باید مقادیر اسمی میلگرد را برای جلوگیری از ترک خوردگی بتن در پدستال قرارداد.

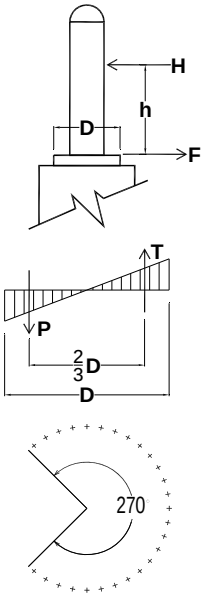
دست کم سه روش محاسبه شناخته شده برای انتقال نیروهای افقی زلزله از مخزن به پدستال بتنی وجود دارد:

الف: آیین‌نامهٔ UBC استفاده از اصطکاک ناشی از بار مرده برای مقابله در برابر نیروهای زلزله را مجاز نمی‌داند. این آیین‌نامه استفاده از اصطکاک را تنها در صورتی مجاز می‌داند که اثر نیروی قائم

فشاری ناشی از لنگر واژگونی تقسیم بر دوسوم قطر دایره محاط شده توسط میل‌مهارها در نظر گرفته شود (مطابق شکل ۵-۱).

درصورتیکه حاصل‌ضرب نیروی فشاری در ضریب اصطکاک ۰/۵۵، از نیروی زلزله بزرگتر شود، کل نیروی اصطکاک به پیچهای مهاری منتقل می‌شود. برای این منظور از پیچهای مهاری موجود در یک قوس ۹۰ درجه در راستای نیروی افقی صرفنظر می‌شود. براین اساس نیروی افقی توسط سایر پیچهای مهاری موجود در ۲۷۰ درجه باقیماندهٔ دایره (سه چهارم کل تعداد پیچها) در نظر گرفته می‌شود.

ب: روش برش اصطکاک ACI 318 توسط برخی از مهندسین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش ابتدا تعداد و ابعاد کلی پیچهای مورد نیاز جهت مقابله با لنگر واژگونی تعیین می‌شود. سپس تعداد پیچهایی که در کشش نیستند (مانند آن دسته از پیچهایی که به عنوان آرماتوربندی قائم در طراحی به روش برش اصطکاک عمل می‌کنند) تعیین می‌شود (N_C). در این روش مساحت پیچها($N_c A_b$) باید بزرگتر ازA_{vf} در روابط برش اصطکاک ACI 318 شود. در رابطه برش اصطکاک از $f = 0.85$ و $m = 0.6$ (برای شرایطی که فولاد برروی بتن قرار گیرد) استفاده می‌شود.



لنگر واژگونی $M = H \times h$

$$\frac{M}{2/3D} = P = T$$

$$F = P \times m$$

اگر $F > H \rightarrow$ برش به بولتها وارد نمی‌شود

اگر $F < H \rightarrow$ برش به بولتها وارد می‌شود

فقط بولتهای این بخش در تحمل برش مشارکت می‌کنند:

شکل ۵-۱: روشی برای تعیین انتقال نیروی افقی زلزله برای شالوده مخازن قائم

ج: روش سوم از نظر مبانی مشابه با روش اول می‌باشد. در این روش فرض می‌شود نیروی فشاری ناشی از لنگر واژگونی، مقاومت اصطکاکی کافی را تامین می‌کند. در این‌صورت اگر ارتفاع مخزن بیش از سه برابر قطر دایره محاطی پیچها باشد (H/BC>3) نیازی به طراحی پیچها برای مقابله در برابر برش ناشی از زلزله نیست اگر H/BC<3 باشد پیچها برای تحمل کل برش ناشی از زلزله طراحی می‌شوند.

در حالت ویژه که H/BC<3 باشد و ساختگاه در مناطق با خطر لرزه‌ای نسبی کم و متوسط واقع شود اصطکاک به صورت ۳۰٪ مجموع نیروی فشاری ناشی از لنگر واژگونی و ۶۵٪ بار مرده می‌باشد که ضریب ۳۰٪ معادل ضریب اصطکاک ۰٫۳می‌باشد. اگر این نیروی اصطکاک بزرگتر از برش ناشی از زلزله باشد پیچهای مهاری نیاز به طراحی در برابر برش ناشی از زلزله ندارند. درغیراین‌صورت پیچهای مهاری باید برای کل برش ناشی از زلزله طراحی شوند. در نهایت برای مخازن تحت فشار با H/BC<3 در مناطق با خطر نسبی زلزله بسیارزیاد و زیاد قرارگرفته برروی پایه‌هایی غیر از شالوده حلقوی پیوسته، پیچهای مهاری باید برای کل برش ناشی از زلزله طراحی شوند.

۶- ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخازن رو زمینی

۶-۱- کلیات

هدف این فصل ارائه راهکارهایی برای ارزیابی مخازن موجود در برابر بارهای لرزه‌ای (با تاکید بر ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخازن موجود) می‌باشد. اطلاعات ارائه شده در این فصل بیشتر برای مخازن روزمینی مهارنشده با کف تخت کاربرد دارد؛ اگرچه در مورد مخازن مهارشده نیز توصیه‌هایی ارائه شده است.

مخازن نگهداری نفت عموما براساس استاندارد API 650 طراحی می‌شوند. توصیه‌های طراحی لرزه‌ای در پیوست E بازنگری سوم ویرایش ششم این آیین‌نامه در سال ۱۹۷۹ میلادی به آن افزوده شد. اگر چه مبانی نظری طراحی لرزه‌ای مخازن پیش از این زمان توسعه داده شده بود، تا پیش از تدوین پیوست E آیین‌نامه API 650 مخازن اندکی برای مقابله در برابر بارهای ناشی از زلزله طراحی می‌شدند. پس از ارائه و تدوین توصیه‌های طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه API مطالعات آزمایشگاهی و میدانی گسترده‌ای صورت گرفت که نشان دادند توصیه‌های آیین‌نامه یادشده در بیشتر حالات محافظه‌کارانه می‌باشد. وجود چنین حاشیه اطمینانی برای طرح مخازن جدید مناسب است، لیکن برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مخازن موجود لزوما کارا نیست.

به‌دلیل اینکه تنها مخازن ساخته شده از دهه هفتاد میلادی به بعد در برابر زلزله طراحی شده‌اند، احتمالا بسیاری از مخازن موجود در تاسیسات قدیمی از نظر لرزه‌ای آسیب‌پذیرند. لذا به منظور کاهش خسارات ناشی از زلزله در این تاسیسات لازم است مخازن آسیب‌پذیر شناسایی و ارزیابی و درصورت نیاز بهسازی لرزه‌ای شوند.

به منظور کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخازن موجود می‌توان مراحل زیر را انجام داد:

الف: مطالعات خطر ویژه ساختگاه

ب: بازرسی چشمی جهت برآورد نقاط ضعف ملحقات مخزن شامل لوله‌ها، پله‌ها و مسیرهای دسترسی و سایر نقاط ضعف در مخازن.

ج: برآورد تحلیلی مخازن به منظور بررسی قابلیت واژگونی، بلندشدگی مخزن، کمانش پوسته و مواردی مانند آن.

د: به منظور کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در مخازن می‌توان از افزایش انعطاف‌پذیری ملحقات مخزن که بصورت صلب آن متصل شده‌اند، کاهش درصد محتویات درون مخزن[1] و مهار کردن مخزن به عنوان آخرین راه حل استفاده کرد.

۱- کاهش درصد محتویات درون مخزن، به‌ویژه در مورد مخازن بلند، باید براساس مطالعات عددی دقیق انجام شود.

۶-۲- عملکرد مخازن با کف تخت در زلزله‌های گذشته

مخازن رو زمینی نگهداری مایعات با کف تخت در برخی از زلزله‌های گذشته دچار خرابی همراه با نشت محتویات شده‌اند، در برخی از موارد، آسیب‌دیدگی مخازن سبب بروز پیامدهای وخیمی شده است. به عنوان مثال می‌توان به زلزله نیگاتای ژاپن در سال ۱۹۶۴ اشاره کرد که در خلال آن، آسیب‌دیدگی مخازن منجر به آتش‌سوزی و ایجاد خسارات وسیع در پالایشگاه نفت شد. همچنین آتش‌سوزی در یک پالایشگاه در زلزله ۱۹۹۱ کاستاریکا، آلودگی آبها در زلزله ۱۹۷۸ سندایی ژاپن، آتش‌سوزی و فروریزش تعداد زیادی از مخازن در زلزله ۱۹۶۴ پرنس ویلیام ساند در آلاسکا و فروریزش تعداد زیادی مخازن روزمینی و زیرزمینی در زلزله‌های ۱۹۷۱ سن‌فرناندو، ۱۹۸۰ لیورمور، ۱۹۸۵ شیلی، ۱۹۹۲ لندرز و۱۹۹۱ کاستاریکا نمونه‌هایی از آسیب‌دیدگی مخازن و پیامدهای ناشی از آن هستند. پاسخ مخازن مهار نشده به زلزله کاملا غیرخطی است و اصولا پیچیده‌تر از مدلهایی است که در استانداردهای طراحی موجود ارائه شده است. تحریک لرزه‌ای ورودی در مخازن سبب ایجاد لنگر واژگونی می‌شود که این امر می‌تواند باعث بلندشدن بخشی از ورق کف از روی فونداسیون شود.

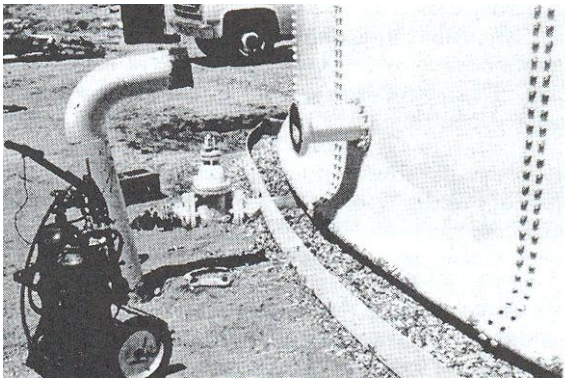
وزن مایع قرارگرفته برروی بخش بلند شده مخزن به همراه وزن پوسته و سقف مخزن لنگر مقاوم در برابر بلندشدگی را فراهم می‌آورند. اگرچه بلندشدگی به خودی خود ممکن است سبب بروز آسیبهای جدی در مخزن نشود، لیکن می‌تواند با تغییرشکلها و تغییرات تنش قابل‌توجهی در پوسته مخزن همراه باشد. این مساله به‌ویژه با توجه به طبیعت رفت و برگشتی زلزله که سبب برخورد بخش بلندشده مخزن به شالوده و افزایش قابل توجه تنشهای پوسته مخزن می‌شود اهمیت بیشتری دارد. بلندشدگی مخزن در بسیاری از زلزله‌های گذشته مشاهده شده است؛ اما مقدار بلندشدگی در تعداد کمی از این موارد اندازه‌گیری شده است. در زلزله ۱۹۷۱ سن‌فرناندو، مخزنی به قطر۳۰٫۵ متر و ارتفاع ۹٫۱ متر به میزان ۳۵۰ میلیمتر از تکیه‌گاه خود بلند شد. در اثر زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا دو مخزن به قطر ۱۲٫۸متر و به ارتفاع۸٫۵ متر به میزان۱۵۰-۲۰۰ میلی‌متر بلند شدند. همچنین در اثر زلزلهٔ ۱۹۶۴ آلاسکا یک مخزن به میزان ۴۵ میلیمتر بلند شد (EERL,1971؛EERI,1990؛NRC,1973). لغزش مخزن برخلاف بلندشدگی بسیار کم به‌وقوع می‌پیوند و نیازی به درنظرگرفتن آن به عنوان یک مود خرابی محتمل در مخازن روزمینی نمی‌باشد.

بطور کلی، مخازن (به‌ویژه مخازن مهار نشده) در برابر زلزله آسیب‌پذیر می‌باشند؛ چراکه کل مخزن و محتویات آن در تولید لنگر واژگونی مشارکت می‌کنند اما تنها بخش کوچکی از جرم در تولید لنگر مقاوم شرکت می‌کند (دلیل این امر این است که مایع درون مخزن و پوسته نسبتا انعطاف‌پذیر آن نمی‌توانند برش جانبی ناشی از زلزله را به شالوده منتقل کنند). برخی از نمونه‌های

خسارت مخازن در زلزله‌های گذشته عبارتند از:

- کمانش پافیلی پوسته مخزن: این نوع خسارت در پوسته مخزن و بیشتر به علت افزایش قابل توجه تنشهای فشاری قائم پوسته در اثر بلندشدگی رخ می‌دهد. این نوع کمانش معمولا در بخشی از پوسته که در مجاورت کف مخزن است (به عبارت دیگر روبروی بخش بلندشده مخزن) ایجاد می‌شود. این بخش از پوسته مخزن تحت اثر تنش دومحوری، تنشهای حلقوی و قائم قرار دارد. علاوه براین، ورق کف مخزن از تغییرشکل شعاعی پوسته، تحت اثر فشار مایع درون مخزن جلوگیری می‌کند که این مساله سبب ایجاد خمش در پوسته می‌شود. وجود چنین لنگر خمشی در پوسته سبب افزایش تمایل پوسته به کمانش می‌شود. در شکل ۶-۱ اثر زلزله ۱۹۹۲ لندرز در جنوب کالیفرنیا بر روی یک مخزن، شامل کمانش پافیلی و شکست لوله‌ای که بصورت صلب به مخزن متصل‌شده نشان داده شده است. این نوع کمانش بیشتر در مخازن با قطر زیاد با نسبتهای ارتفاع به قطر بین ۱تا۱/۵ به وقوع می‌پیوندد.[۱] نوع دیگر کمانش که بیشتر در مخازن بلندتر با نسبت ارتفاع به قطر حدود ۲ رخ می‌دهد، "کمانش الماسی" است. در مقایسه با کمانش پافیلی که از نوع الاستوپلاستیک است، کمانش الماسی الاستیک می‌باشد.

مخزنی که دچار کمانش پافیلی یا الماسی شده باشد لزوما عملکرد خود را از دست نمی‌دهد و ممکن است با وجود وقوع کمانش، نشت محتویات درون مخزن رخ ندهد. در چنین شرایطی لازم است بخش‌کمانش کرده تعویض شود.



شکل ۶-۱: کمانش پافیلی و شکست لوله متصل به مخزن آب (زلزله ۱۹۹۲ لندرز M7.4)

- در هنگام بلندشدگی مخزن، جوش بین ورق کف و دیواره مخزن ممکن است توانایی تحمل تنشهای کششی ناشی از فشار مایع درون مخزن بر کف بخش بلندشده را نداشته باشد. در چنین

۱- وقوع این نوع کمانش به پارامترهای زیادی ازجمله ضخامت پوسته مخزن و دامنه و نوع نقصهای موجود در پوسته مخزن وابسته است.

شرایطی شکست اتصال ورق کف و پوسته مخزن به وقوع می‌پیوندد. این نوع خرابی در مخازن آسیب‌دیده از زلزله ۱۹۸۵ شیلی به وفور مشاهده شده است. این خسارت می‌تواند سبب نشت محتویات درون مخزن شود. نشت سریع محتویات درون مخزن می‌تواند موجب آسیب‌دیدگی بخشهای فوقانی پوسته و نیز سقف مخزن شود. با جوشکاری مناسب می‌توان از بروز چنین خسارتی جلوگیری کرد.

- لمبرزدگی مایع (Sloshing): زلزله سبب ایجاد موج در سطح مایع درون مخزن می‌شود. چنانچه سطح آزاد کافی برای ارتعاش مایع درون مخزن درنظر گرفته نشده باشد، آسیب‌دیدگی سقف (اعم از شناور یا ثابت) در اثر برخورد موج مایع به سقف محتمل است. این نوع خسارت معمولا خفیف است اما در صورت وجود مواد خطرزا در مخزن ممکن است مهم باشد.

- کمانش ستونها: ستونهای نگهدارنده سقفهای ثابت برخی از مخازن در زلزله‌های گذشته کمانش کرده‌اند. این کمانش تحت اثر ضربات ناشی از فشار دینامیکی مایع درون مخزن و نیز نیروی اینرسی خود ستون در ترکیب با فشار محوری درون ستون اتفاق می‌افتد.

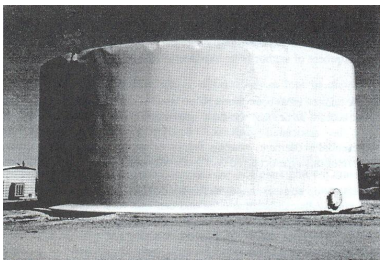
- آسیب‌دیدگی لوله‌ها: شکست لوله‌های متصل به مخزن در اثر تغییرمکان نسبی بین مخزن و نزدیکترین تکیه‌گاه لوله به وقوع می‌پیوندد. این نوع خسارت یکی از مهمترین علل نشت محتویات درزمان وقوع زلزله است. این نوع شکست بیشتر در اثر کمبود انعطاف‌پذیری لازم در لوله‌های متصل شده به مخزن اتفاق می‌افتد. همچنین تغییرمکان نسبی بین دو مخزن که بوسیله یک لوله صلب به هم متصل شده‌اند نیز می‌تواند سبب شکست لوله صلب شود.

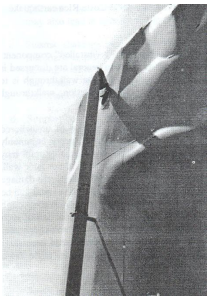
- پارگی جداره یا کف: پارگی پوسته یا کف مخزن ممکن است در اثر عدم انعطاف‌پذیری پلکان متصل به مخزن و شالوده به‌وقوع پیوندد. همچنین ممکن است بعلت عدم انعطاف‌پذیری مسیرهای دسترسی متصل‌کننده دو مخزن به یکدیگر، پارگی پوسته تحت اثر جابجایی ناهمگن در دو مخزن به وقوع پیوندد. مخازن مهارشده با جزئیات اتصال غیرشکل‌پذیر در زلزله‌های گذشته عملکرد نامناسبی از خود نشان داده‌اند. جزئیات غیرشکل‌پذیر ممکن است سبب پارگی پوسته مخزن و نشت محتویات درون آن شود. تنشهای حلقوی پوسته تحت اثر فشار مایع درون مخزن ممکن است قابل‌توجه باشد و سبب شکاف پوسته و نشت محتویات گردد .این نوع خسارت بیشتر در مخازن پیچی یا پرچی به وقوع می‌پیوندد. در مخازن با پوسته جوش شده معمولا به واسطه شکل‌پذیری پوسته، تنشهای حلقوی بزرگی قابل تحمل است.

آسیب دیدگی مهار مخازن: طول مهاری ناکافی در میل مهار سبب بیرون‌کشیدگی آن و آسیب‌دیدگی مخزن می‌شود.

- آسیب‌دیدگی ثانویه: آسیب در مخازن به علت اعوجاج کف مخزن در نزدیکی جداره مخزن در اثر گسیختگی خاک، دیده شده است. این نوع خسارت در اثر روانگرایی خاک، ناپایداری شیروانی،

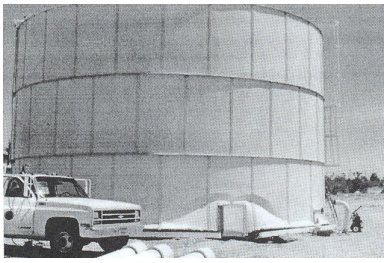
نشست ناهمگون، کمبود ظرفیت باربری و یا آب‌شستگی در اثر نشت محتویات روی می‌دهد.
شکلهای ۶-۲ تا ۶-۵ نشان‌دهنده مثالهایی از آسیب‌دیدگی مخازن در زلزله‌های گذشته از جمله واژگونی یک مخزن در زلزله ۱۹۹۱ کاستاریکا می‌باشد.

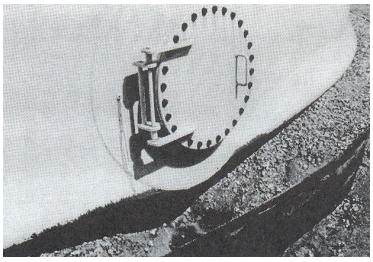




الف ب

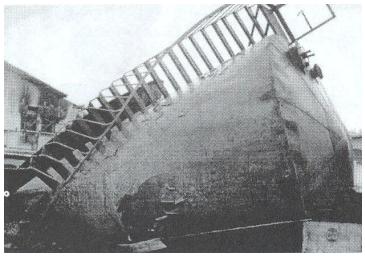
شکل ۶-۲-الف: کمانش پافیلی و آسیب‌دیدگی دیواره مخزن در محل دسترسی ورودی به مخزن آب
ب: شکست لوله‌های صلب متصل به مخزن (زلزله ۱۹۹۲ لندرز M7.4)

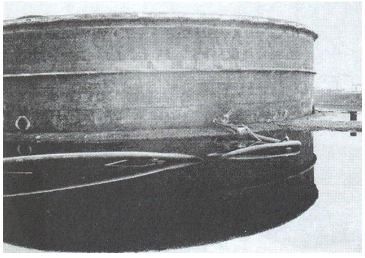




الف ب

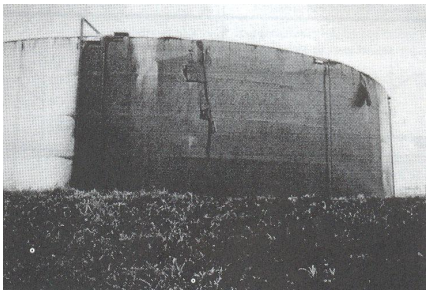
شکل ۶-۳- الف: نمای کلی مخزن آب آسیب‌دیده (زلزله ۱۹۹۲ لندرز M7.4)
ب: آسیب دیدگی پوسته مخزن در محل دسترسی ورودی به مخزن آب



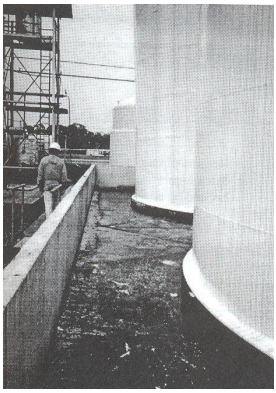


الف ب

شکل ۶-۴- الف: مخزن واژگون شده نفت پالایشگاه RECOPE کاستاریکا
ب: شکست لوله و نشت مواد نفتی از مخزن نفت پالایشگاه RECOPE کاستاریکا
(زلزله ۱۹۹۱ کاستاریکا M7.4)



الف



ب

شکل ۶-۵- الف: آسیب‌دیدگی سقف و نشت‌گیرها و بیرون ریختن مایع درون مخزن در اثر لمبرزدگی مایع، پالایشگاه RECOPE کاستاریکا ب: کمانش پافیلی پوسته در مخازن (زلزله ۱۹۹۱ کاستاریکا M7.4)

۶-۳- روش بازرسی چشمی

در این روش تجهیزات موجود از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای مورد بازدید چشمی قرار می‌گیرند. این روش در فصل هفتم به‌صورت کامل مورد بحث قرارگرفته است. هدف این روش شناسایی عواملی است که از نظر لرزه‌ای موجب آسیب‌پذیری سازه یا تجهیز می شوند. در این فصل نکاتی در مورد ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخازن ارائه می‌شود.

مساله اصلی که موجب تمایز رفتار لرزه‌ای مخازن مهارشده و مهارنشده می‌شود، بلندشدگی مخازن مهارنشده درزمان زلزله است. همانگونه که پیش از این ذکر شد این بلندشدگی می‌تواند موجب ایجاد تنشهای کششی یا فشاری و لنگرهای خمشی قابل ملاحظه در پوسته و ورق کف و اتصال این دو بخش به یکدیگر شود. چنین نیروهایی می‌توانند سبب بروز خسارات شدید در مخزن و یا فروریزش کامل آن شوند. آثار ناشی از بلندشدگی مخازن ممکن است در اثر برخی از جزئیات اجرایی معمول تشدید شوند. در زمان ارزیابی چشمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخازن باید به چنین جزئیات اجرایی دقت شود. در بسیاری از شرایط اگر چه خود مخزن از نظر سازه‌ای ایمن باشد، ممکن است بهسازی تعدادی از جزئیات آسیب‌پذیر از نظر لرزه‌ای ضروری باشد. معمولترین عوامل آسیب‌پذیری همراه با روشهای اصلاح آنها (مطابق شکل ۶-۶) به شرح زیرند:

الف: شکست لوله‌های متصل به مخزن یک سازوکار خرابی معمول در مخازن است که در اثر تغییرمکان نسبی لوله، تکیه‌گاه و مخزن رخ می‌دهد. از سوی دیگر درصورتی‌که لوله متصل به مخزن بسیار سخت‌تر از پوسته دیواره یا ورق کف مخزن باشد، ممکن است این تغییرمکان نسبی

موجب بروز پارگی در محل اتصال لوله به مخزن شود. لوله‌ها نباید به طور مستقیم از مخزن به زمین، لوله‌های بتنی صلب و یا پمپهای مقید به زمین و مانند آن متصل شوند. شکستهایی از نوع آنچه که در بالا توضیح داده شد بیشتر بدلیل وجود جزئیاتی مانند آنچه که در شکل ۶-۶- الف الی ۶-۶- د نشان داده شده است به وقوع می‌پیوندند. برای رفع سه مورد اول، باید از خمهای اضافی و یا اتصالات انعطاف‌پذیر برای ایجاد انعطاف‌پذیری لوله متصل به مخزن استفاده کرد و در مورد چهارم لازم است که اتصال لوله و مخزن به مرکز کف مخزن انتقال یابد و یا درصورتیکه لوله متصل به مخزن به اندازه کافی انعطاف‌پذیر است می‌توان حوضچهٔ بتنی را به پشت محل اتصال لوله و مخزن انتقال داد.

ب: در مخازنی که توسط لوله صلب به یکدیگر متصل شده‌اند نیز وقوع خساراتی مانند موارد بخش الف محتمل است (مطابق شکل ۶-۶- ه). در این حالت نیز باید مانند بخش الف، انعطاف‌پذیری لوله را افزایش داد.

ج: وجود جزئیات اجرایی مانند آنچه که در شکل ۶-۶-و نشان داده شده است می‌تواند سبب نشت بخشی از محتویات درون مخزن شود. همانگونه که در این شکل نشان داده شده است لوله از یک سو به‌طور صلب به زمین یا شالوده و از سوی دیگر بطور صلب در ارتفاع مخزن به دیواره پوسته متصل شده است.

د: دسترسی به سقف مخازن به وسیله مسیرهایی صورت می‌گیرد که در برخی از موارد مخازن مجاور را به یکدیگر متصل می‌کنند. نمونه‌های معمول این مسیرهای دسترسی در شکل۶-۶- ز نمایش داده شده‌اند. در هریک از موارد، تغییر مکان نسبی بین دو مخزن ممکن است به شکست یا پارگی پوسته و یا سقف مخازن منجر شود. اتصال مسیرهای دسترسی به دیواره مخزن می‌تواند درصورت آسیب زدن به دیواره، موجب نشت محتویات درون مخزن شود. در شرایطی که مسیرهای دسترسی به سقف مخازن متصل شوند، تغییرمکان نسبی مخازن سبب آسیب‌دیدگی خود مسیر دسترسی و یا سقف مخزن می‌شود و در این شرایط نشت محتویات درون مخزن متصور نیست. براین اساس، پیامدهای اقتصادی خسارت، در شرایطی که مسیر دسترسی سقف مخازن مجاور هم را به یکدیگر متصل کند کمتر است. روش بهسازی در این شرایط مبتنی بر افزایش شکل‌پذیری مسیر دسترسی جهت تحمل تغییرمکان نسبی بین مخازن است. در مجتمعهایی که امکان آمد و شد در فضای بین مخازن وجود دارد و یا تجهیزات حساس در زیر مسیرهای دسترسی بین مخازن وجود دارد، سقوط مسیرهای دسترسی می‌تواند خطرآفرین باشد. در چنین شرایطی مسیرهای دسترسی باید توسط کابلهایی به مخازن مهار شوند تا از سقوط آنها درصورت تخریب اتصالات اصلی آنها به مخازن جلوگیری به عمل آید.

ه: پلکان نباید به مخزن و شالوده به‌طور همزمان متصل شود (شکل ۶-۶- ح). این نوع نقص در

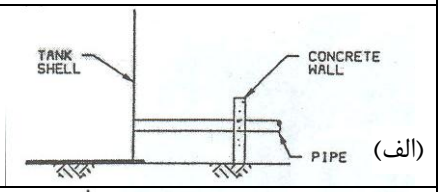
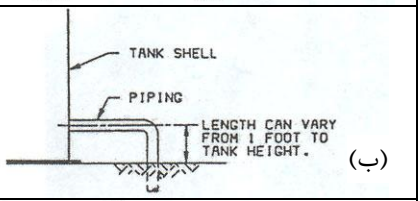
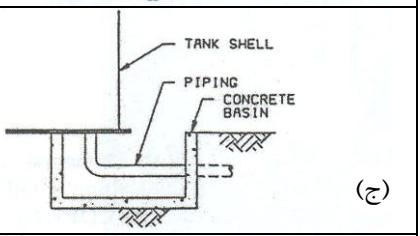
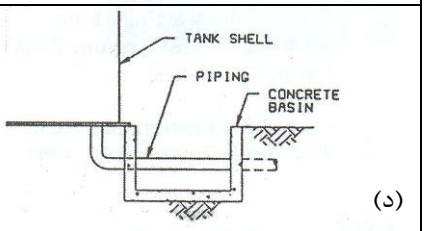
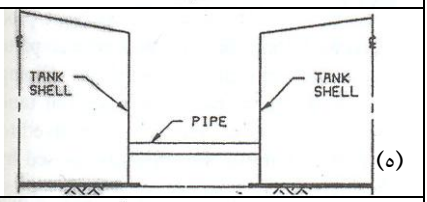
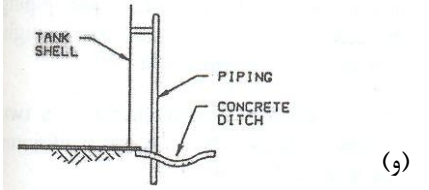
مخازن با پوسته نازک می‌تواند موجب خرابی پوسته و نشت محتویات شود. در مورد مخازن با جداره ضخیم‌تر این نقص ممکن است سبب آسیب‌دیدگی پلکان شود. درهرحال درصورتی‌که پلکان تنها به پوسته مخزن متصل شود و یا اتصالاتی که از حرکت قائم پلکان جلوگیری می‌کند حذف شود، احتمال وقوع این نوع خسارت از بین می‌رود.

و: لوله‌های متصل به مخزن معمولا در یک مکان تمرکز دارند و به منظور سهولت عبور و مرور، معمولا مسیرهای دسترسی به مخزن روی خطوط لوله اطراف مخزن تعبیه می‌شوند (شکل ۶-۶-ط). درصورتی‌که مسیر دسترسی بطور صلب به زمین متصل شود و فاصله کافی بین مسیر دسترسی و خطوط لوله وجود نداشته باشد، بلندشدگی مخزن می‌تواند موجب برخورد لوله‌ها با مسیر دسترسی و آسیب‌دیدگی هریک از آنها شود. درصورتی‌که لوله‌های متصل به مخزن دارای قطر کم باشند و یا مخزن با جداره نازک باشد ممکن است نشت محتویات از درون مخزن رخ دهد؛ درغیراین‌صورت معمولا خسارت به مسیر دسترسی محدود می‌شود.

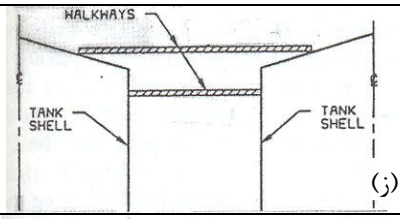
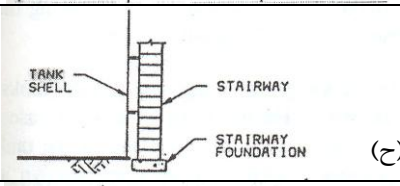
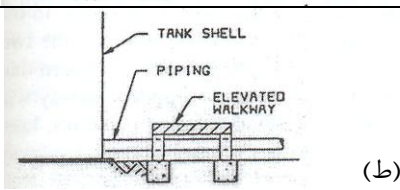
درهرصورت با افزایش انعطاف‌پذیری لوله‌های متصل به مخزن یا اتصال مسیر دسترسی فقط به جداره مخزن و یا افزایش فاصله آزاد بین مسیر دسترسی و خطوط لوله می‌توان از وقوع این نوع خسارات جلوگیری کرد. اتصال مسیر دسترسی به زمین و مخزن بطور همزمان نیز مانند بند (ه) موجب آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخزن می‌شود.

ز: در مخازن مهارشده جزئیات اجرایی نامناسب می‌تواند سبب پارگی پوسته و یا ورق کف مخزن شود که این مساله ممکن است به نشت محتویات مخزن بیانجامد. جزئیات نامناسب (مطابق شکل ۶-۷) شامل مواردی است که در آن میل مهار به ورق کف مهار می‌شود، مهارها بسیار کوتاه بوده و امکان انتقال مناسب نیروی پیچ مهار به پوسته مخزن فراهم نمی‌شود و یا هرگونه جزئیات اجرایی که سبب پارگی پوسته مخزن پیش از جاری شدن پیچ مهار می‌شود. این نوع خسارت با جایگزین کردن اتصال مهار به مخزن با اتصالات شکل‌پذیرتر قابل رفع است.

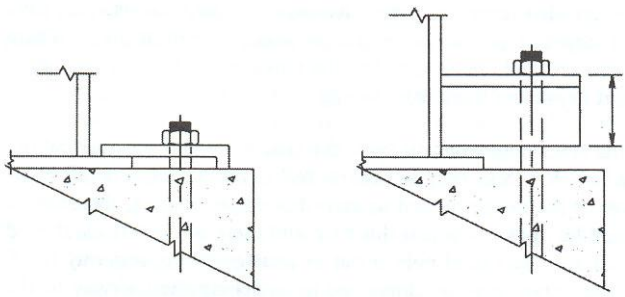
در زمان انجام ارزیابی چشمی، برای تعیین میزان شکل‌پذیری مناسب باید از تجربیات مهندسین باتجربه و آشنا به طراحی لرزه‌ای و اثر زلزله بر سازه‌ها استفاده کرد. مقدار درنظر گرفته شده برای بلندشدگی مخزن برای برآورد میزان شکل‌پذیری لازم بسیار مهم است. در برخی از زلزله‌های گذشته مقدار بلندشدگی مخازن در حدود ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متر بوده است. درنظرگرفتن تغییرمکانهای قائم در حدود ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و تغییرمکانهای افقی در حدود ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر محافظه‌کارانه است. مقادیر واقعی تغییرمکان تابعی از ابعاد مخزن، درصد پرشدگی، نسبت ابعادی (ارتفاع به قطر)، لرزه‌خیزی منطقه و شرایط ژئوتکنیکی است. بحث بیشتر در زمینه بلند شدگی در بند ۶-۴-۵ ارائه شده است.

جزئیات نامناسب	روش اصلاح
	افزایش انعطاف پذیری لوله
	افزایش انعطاف پذیری لوله
	افزایش انعطاف پذیری لوله
	انتقال اتصال لوله به مرکز کف مخزن ویا انتقال دیواره داخلی کانال به پشت اتصال لوله با مخزن
	افزایش انعطاف پذیری لوله از طریق ایجاد خمهای عمودی یا افقی در لوله
	انتقال مهار لوله از دیواره به سقف مخزن

شکل ۶-۶: جزئیات نامناسب اتصال ملحقات به مخزن و روشهای اصلاح آن

جزئیات نامناسب	روش اصلاح
	افزایش انعطاف پذیری مسیر دسترسی
	مهار کردن پلکان تنها به دیواره مخزن (حذف اتصال پلکان به زمین)
	افزایش انعطاف‌پذیری لوله، افزایش فاصله بین لوله-ها و مسیر دسترسی یا اتصال مسیر دسترسی به دیواره مخزن (حذف اتصال مسیر دسترسی به زمین)

شکل ۶-۶: جزئیات نامناسب اتصال ملحقات به مخزن و روشهای اصلاح آن (ادامه)



شکل ۶-۷: جزئیات نامناسب برای مهار مخزن

۶-۴- ارزیابی تحلیلی مخازن

۶-۴-۱- روشهای تحلیل مخازن مهار نشده

مراجع گوناگونی برای تحلیل لرزه‌ای مخازن با کف تخت وجود دارد که در آنها روشهایی برای تحلیل لرزه‌ای مخازن مهارنشده ارائه شده است. برخی از این مراجع عبارتند از:

الف: نشریه ۰۳۸ معاونت مهندسی و ساخت داخل وزارت نفت: فصل دوازدهم آیین نامه طراحی

لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت (نشریه۰۳۸) اختصاص به مخازن نگهداری مایعات دارد.
ب: پیوست E آیین‌نامه API 650 (API,2009): در این آیین‌نامه یک شیوه استاندارد برای طراحی مخازن فولادی نفت ارائه شده است. کاربرد آن ساده و دستورالعمهای آن در بیشتر موارد هماهنگ با آیین‌نامه IBC می‌باشد.
ج: AWWA-D100 (AWWA,1996): این روش بسیار شبیه به روش نسخه‌های قدیمی AP1650 است و به‌طور خاص مربوط به طراحی مخازن ذخیره آب می‌باشد.
د: پایداری لرزه‌ای دیواره - مخزن در مخازن مهار نشده (Manos, 1986): جورج مانوس روشی کاملا متفاوت با دو روش قبلی برای برآورد عملکرد مخازن ارائه کرده است که براساس ارزیابی عملکرد مخازن در زلزله‌های گذشته است.
ه: طراحی لرزه‌ای مخازن (Priestly et al., 1986): این روش در آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای مخازن نیوزیلند ارائه شده است و کاملترین روش از میان موارد نامبرده فوق است.
بحث بیشتر در زمینه روشهای ارزیابی فوق در ادامه ارائه خواهد شد.

۶-۴-۲- روشهایی برای تحلیل مخازن مهار شده:

عملکرد مخازن مهار شده در زلزله‌های گذشته، نشان می‌دهد که این مخازن در حالت کلی مشکلات کمی در زمان زلزله دارند. یکی از دلایل این امر این است که تعداد بسیار کمی از مخازن مهار شده پیش از ارائه آیین‌نامهٔ API650 در دههٔ ۱۹۷۰ اجرا شده‌اند (Wozniak, Mitchell, 1978) و مخازنی که بعدها به‌صورت مهارشده اجرا شدند براساس دستورالعمل‌های طرح لرزه‌ای طراحی شده‌اند. در این‌گونه مخازن، جزئیات اجرایی مهار در ارزیابی چشمی باید از لحاظ قابلیت انتقال بار از پوسته به شالوده بررسی شوند. جزئیات نامناسب در اتصال مهار به پوسته یا کف مخزن می‌تواند منجر به پارگی پوسته و نشت محتویات در اثر زلزله گردد. درصورتیکه مخازن مهارشده نیاز به مطالعات تحلیلی داشته باشند، می‌توان از روشهای مندرج در نشریه شماره ۰۳۸، API 650، (ASCE1984) ، هارون و هاوزنر (Haroun and Housner, 1980) استفاده کرد.

۶-۴-۳- پایداری

- روش ارزیابی پایداری API

روش طراحی لرزه‌ای مخازن فولادی جوش شده که در پیوست E آئین نامهٔ API 650 ارائه شده است بر مبنای روش ساده ارائه‌شده توسط (Housner1977) می‌باشد. جزئیات توسعه این روش در(Wozniak, Mitchell, 1978) ارائه شده است.

- روش مانوس:

در کنار روش API که در بالا به آن اشاره شد، روشهای دیگری نیز وجود دارد. یکی از این روشها که می‌تواند برای ارزیابی لرزه‌ای مخازن جدید مورد استفاده قرار گیرد، نسخه اصلاح شده روش مانوس (Manos,1986) است. مبنای روش مانوس مطالعات آزمایشگاهی و مشاهدات میدانی از عملکرد مخازن مهارنشده در زلزله‌های گذشته است. بجای تلاش برای مدلسازی رفتار پیچیده ورق بلندشده، مانوس با فرض توزیع تنشی که در آن پوسته دچار کمانش می‌شود لنگر مقاوم تولیدشده از مجموع تنشها را بدست آورد. این لنگر مقاوم را می‌توان با لنگر واژگونی مقایسه کرد و از آن شتاب مقاوم را بدست آورد.

مقدار تنش فشاری در پای مخزن، در محلی مقابل نقطه حداکثر بلندشدگی، حداکثر است و بتدریج به صفر کاهش می‌یابد. فاصله این محل تا پای مخزن بصورت تجربی تعیین می‌شود. تنش فشاری پوسته به ۷۵٪ تنش فشاری بحرانی پوسته استوانه‌ای ایده‌آل با بارگذاری محوری یکنواخت محدود می‌شود. در این مدل از اثر تنشهای حلقوی بر ظرفیت کمانشی پوسته صرفنظر می‌شود اما همخوانی نتایج مدل با نتایج واقعی آزمایشگاهی صحت مدل مذکور را تائید می‌کند. از جمع تنشهای محوری در نظر گرفته شده، برآیند نیروی محوری فشاری حاصل می‌شود که باید با نیروی کششی معادل ناشی از وزن مایع روی بخش بلندشده مخزن، متعادل شود. بازوی لنگر میان این دو نیرو با استفاده از یک رابطه تجربی تعیین و در نتیجه مقدار لنگر مقاوم در برابر بلندشدگی محاسبه می‌شود. از مقاومت اضافی ناشی از وزن پوسته، لنگر خمشی توزیع شده در دیواره مخزن و سایر عوامل مقاومت صرفنظر می‌شود.

لنگر واژگونی مخزن به روش مشابه API محاسبه می‌شود با این تفاوت که در این روش به‌دلیل سهولت، از اثر بخش مواج مایع بر واژگونی مخزن صرفنظر می‌شود. این فرض صحیح به نظر می‌رسد، زیرا به‌دلیل اختلاف فاز بین مولفه‌های ضربه و مواج مایع، بخش مواج بر حداکثر پاسخ تنش مخزن چندان موثر نمی‌باشد. این امر به‌ویژه در مخازن بسیار بلند بیشتر به چشم می‌خورد. بخشی از لنگر واژگونی که از آن صرفنظر شده است تقریبا با بخشهایی از لنگر مقاوم صرفنظر شده و نیز با اثر استفاده از رابطه محافظه‌کارانه برای برآورد ارتفاع موثر نقطه اثر مایع برابری می‌کند.

درصورتی‌که لنگر مقاوم، M_{Res}، بزرگتر از لنگر واژگونی ناشی از زلزله، M_{Ot}، باشد مخزن پایدار درنظر گرفته می‌شود. به بیان دیگر درصورتی‌که شتاب ضربه‌ای حدی، C_{eq}، که با استفاده از معادل‌سازی M_{Res} و M_{Ot} محاسبه می‌شود بزرگتر از شتاب طیفی حداکثر نظیر میرایی نسبی دو درصد باشد، مخزن پایدار است.

در این راهنما ارزیابی مخازن مهارنشده بر مبنای روش مانوس است، لیکن برخی تغییرات عمده در آن داده شده است که مهمترین آنها عبارتند از:

الف: در مناطق با خطر لرزه‌ای بالا، در صورتی‌که نسبت ارتفاع بهره‌برداری به قطر مخزن از ۲

بزرگتر باشد، لازم است مخزن مهار شود (Summers,Dowling, 1993). بر اساس اطلاعات ارائه شده در (Manos,1986) و با قبول درصد بالاتری از خطر برای مخازن بلندتر، این حد به عنوان حد پایین کاربرد روش مانوس محسوب می‌شود.

ب: براساس روش مانوس (۱۹۸۵) تنش مجاز فشاری پوسته نباید از ۷۵٪ تنش بحرانی پوسته استوانه‌ای ایده‌آل تحت بار محوری یکنواخت و نیز تنش جاری شدن پوسته تجاوز کند. نیاز اخیر به‌ویژه در مورد مخازن با جداره ضخیم‌تر مطرح می‌شود. شایان ذکر است، در برخی شرایط ویژه تنش مجاز فشاری پوسته بیش از ۷۵٪ بار بحرانی کمانش تئوریک درنظر گرفته می‌شود (Summers,Dowling, 1993). بررسی داده‌های آزمایشگاهی و مشاهدات انجام‌شده توسط مانوس نشان می‌دهد، این افزایش ظرفیت در مورد مخازن تاسیسات صنعتی امکان‌پذیر است. درهرحال تنش در پوسته نباید از حد جاری شدن مصالح پوسته بیشتر شود.

ج: نیروی فشاری ایجاد شده در پوسته نباید از وزن کل محتویات درون مخزن بیشتر شود که بیانگر حد فوقانی لنگر مقاوم است (Summers,Dowling, 1993).

لازم به یادآوری است رابطه C_{eq} (شتاب ضربه‌ای حدی) که به عنوان رابطه شماره (۹) در مقاله مانوس ارائه شده است، باید شامل عبارت (m_t/m_1) باشد که در رابطه مانوس به اشتباه (m_1/m_t) درج شده است. در این رابطه m_1 جرم مولفه ضربه‌ای و m_t وزن کل مایع است. به منظور تصحیح این رابطه یک غلط‌نامه برای مقاله اصلی ارائه شد (Manos, 1986). رابطه لنگر واژگونی، M_{Ot}، براساس مانوس (Manos, 1986) با واحدهای انگلیسی به‌صورت زیر است:

$$M_{Ot} = 1.29\, r_w G H^2 R^2 C_{eq} \frac{m_1}{m_t}\left(\frac{H}{R}\right)^{0.15} \qquad (۱-۶)$$

که در آن:

r_w = چگالی جرمی آب

G = وزن مخصوص مایع درون مخزن

H = ارتفاع مایع درون مخزن

R = شعاع مخزن

C_{eq} = شتاب ضربه‌ای حدی (برحسب g)

منحنی نسبت (m_1/m_t) در پیوست E آیین‌نامه API 650 بصورت (W_1/W_T) ارائه شده است که در آن W_T و W_1 به ترتیب وزن نظیر جرمهای m_t وm_1 هستند. رابطه لنگر مقاوم نیز به‌صورت زیر است:

$$M_{\mathrm{Res}} = 0.48 E R_{t_s}^2 \left(\frac{t_s}{t_p}\right)^{0.1}\left(\frac{R}{H}\right)^{n-0.15} \qquad (۶-۲\text{- الف})$$

که در آن:

t_s = ضخامت پوسته

t_p = ضخامت ورق کف

E = ضریب ارتجاعی

S = ضریب تغییرشکل‌پذیری شالوده

مقدار n نیز از رابطه $n = 0.1 + 0.2(H/R) \le 0.25$ بدست می‌آید. رابطه ۶-۲- ب، حد بالای لنگر مقاوم مخزن را ارائه می‌کند. در این رابطه فرض شده است که نیروی فشاری پوسته مخزن برابر با تنش جاری شدن مصالح پوسته، F_y، می‌باشد.

$$M_{Res} = 1.06SF_yR^2t_s\left(\frac{t_s}{t_p}\right)^{0.1}\left(\frac{R}{H}\right)^{n-0.15} \qquad (۶-۲-ب)$$

بر اساس بند "ج" از موارد فوق، حد فوقانی لنگر مقاوم مربوط به زمانی می‌باشد که نیروی محوری در پوسته مخزن برابر با وزن مایع درون مخزن باشد. با فرض بازوی گشتاور برابر با $1.25R(R/H)^{n-0.15}$ ، مقدار این حد فوقانی از رابطه ۶-۲-ج بدست می‌آید (Manos,1986).

$$M_{Res} = 1.25pR^2Hgr_wGR\left(\frac{R}{H}\right)^{n-0.15} \qquad (۶-۲-ج)$$

مقدارM_{Res} باید کمترین مقادیر بدست آمد از روابط ۶-۲- الف، ۶-۲-ب و۶-۲-ج اختیار شود.

ویژگی مهم روش مانوس اصلاح شده درنظرگرفتن ضریب انعطاف‌پذیری بستر (شالوده)، S، است. این پارامتر برای مخازن قرارگرفته برروی بستر صلب مانند شالوده بتنی و یا حلقه‌های آسفالتی برابر با ۱ و برای شالوده‌های انعطاف‌پذیر مانند سنگ شکسته، ماسه، الوار چوبی یا خاک برابر با ۱٫۲ درنظر گرفته می‌شود. اثر این ضریب، افزایش منطقه تحت تنش فشاری در مخازن قرارگرفته بر روی شالوده انعطاف‌پذیر در مقایسه با مخازن با شالوده صلب است.

این امر سبب افزایش محدود لنگرهای مقاوم بزرگتر (تحت اثر محدودیت ناشی از وزن کل مایع که در بالا توضیح داده شد) و افزایش قابلیت تحمل لنگرهای بزرگتر توسط مخزن می‌شود، برخلاف روش API که در آن نوع خاک هیچ تاثیری بر لنگر مقاوم ندارد.

در شرایطی که نشت محتویات از یک یا چند مخزن بحرانی مدنظر باشد، یکپارچگی مخازن اطراف که حاوی مواد خطرزا هستند ممکن است ضرورت داشته باشد، زیرا آسیب‌دیدگی این مخازن ممکن است به‌طور غیرمستقیم موجب آسیب‌دیدگی مخازن دیگر شود.

اگرچه وقوع کمانش پافیلی لزوما منجر به نشت محتویات درون مخزن نمی‌شود، واژگونی و تخریب کامل مخزن می‌تواند موجب پارگی پوست مخزن و رها شدن محتویات درون آن شود. در چنین شرایطی مخازن اطراف باید برای فروریزش کامل و یا واژگونی کنترل شوند (اما لزوما نیاز به کنترل

کمانش نیست).

۶-۴-۴- سطح آزاد مایع

در مخازن با سطح آزاد ناکافی، تحت اثر لمبرزدگی مایع، ممکن است به سقف ثابت یا شناور مخزن آسیب وارد شود. در مخازن با سقف ثابت، بخش مواج مایع می‌تواند به تیرهای سقف ضربه زده و موجب آسیب آنها و یا سبب کمانش پوسته مخزن (در مجاورت سقف مخزن) شود. در مخازن با سقف شناور لمبرزدگی مایع سبب نوسان سقف شناور می‌شود و اگر سطح آزاد کافی برای لمبرزدگی مایع وجود نداشته باشد، آب‌بند (عایق) سقف ممکن است آسیب ببیند و یا سقف به سکوی دسترسی برخورد کند. برای جلوگیری از این خسارات لازم است سطح آزاد کافی برای لمبرزدگی مایع درون مخزن وجود داشته باشد. ارتفاع موج مایع رامی‌توان با استفاده از روش (Wozniak, Mitchell, 1978) و نیز (Heroun, Housner ,۱۹۸۰) بدست آورد.

۶-۴-۵- محاسبه بلندشدگی

در زمان ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای لوله‌ها، مسیرهای دسترسی، پلکان و بطور کلی ملحقات مخزن (همانگونه که در شکل ۶-۶ نشان داده شده است)، باید احتمال بلندشدگی مخزن درنظر گرفته شود. درنظرگرفتن مقدار ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر برای بلندشدگی مخازن موجود در مناطق با خطر نسبی زلزله بسیار زیاد، محافظه‌کارانه است. مقادیر واقعی درنظر گرفته شده تابعی از ابعاد مخزن، نسبت ارتفاع به قطر، درصد پرشدگی، لرزه‌خیزی منطقه و شرایط ژئوتکنیکی است. براساس توصیه‌های ارائه شده درNEHRP می‌توان مقدار ۳۰ سانتیمتر را برای بلندشدگی یک مخزن مشخص در نظر گرفت. درصورتیکه محاسبه صریح و دقیق بلندشدگی مخزن مورد نیاز باشد، تنها روش تحلیلی معتبر از نظر این راهنما، روش ارائه‌شده در دستورالعمل طراحی لرزه‌ای مخازن نیوزلند (Priestly et al. ,۱۹۸۶) است. این دستورالعمل شامل توصیه‌هایی برای مخازن بتنی و نیز مخازن مستطیلی می‌باشد.

برخی از تفاوتهای این روش با سایر روشها عبارتند از:

الف: مولفه‌های ضربه‌ای و مواج مایع بجای این‌که به‌صورت جبری با یکدیگر جمع شوند به روش جذر مجموع مربعات (SRSS) با هم ترکیب می‌شوند.

ب: بلندشدگی کف مخزن براساس مدلی است که هر دو مولفه خمش و تنشهای داخل صفحه (غشایی) را درنظر می‌گیرد.

ج: این روش یک روش بازگشتی بر اساس متعادل سازی لنگر واژگونی و مقاوم با یکدیگر است.

د: تحلیل بر مبنای بارهای نهایی بجای بارهای بهره‌برداری است.

همانگونه که پیش از این نیز ذکرشد این روش پیچیده‌تر از روش API 650 و مانوس است.

تغییرمکانهای بدست آمده از این روش در محدوده تغییرشکلهای بزرگتر، دقت کمتری دارند و در این شرایط نیاز به انجام یک قضاوت مهندسی مناسب است.

۶-۴-۶- مخازن پیچی و پرچی

مخازن پیچی و پرچی، در مقایسه با مخازن جوشی، دارای یک صورت خرابی بیشتر می‌باشند که آن شکافتن پوسته مخزن از محل اتصالات پیچی و یا پرچی می‌باشد.

این نوع خسارت بیشتر در اثر تنش حلقوی پوسته رخ می‌دهد. برای ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای مخزن برای این حالت خرابی، می‌توان مقاومت مقطع پیچها و یا پرچها را با ورق فولادی مقایسه کرد. درصورتیکه پیچها یا پرچها قوی‌تراز ورق اتصال باشند، پوسته باید به‌صورت شکل‌پذیر رفتار کند. درصورت نیاز به تحلیلهای بیشتر، مقاومت مقطع پیچ یا پرچ شده را می‌توان با تنش حلقوی بدست آمده از روابط AWWA(1996) و یا دستورالعمل نیوزلند (Driestly,1986) مقایسه کرد. ظرفیت مقاطع پرچ شده درAPI653 ارائه شده است (API, 1991).

۶-۴-۷- مخازن فایبرگلاس

در مقایسه با فولاد، فایبرگلاس فاقد شکل‌پذیری قابل توجه است. همچنین رفتار فایبرگلاس غیر ایزوتروپیک است و مقاومت آن در دو راستای عمود بر هم مختلف است. در حال حاضر هیچ استانداردی برای ارزیابی و یا طراحی لرزه‌ای مخازن فایبرگلاس وجود ندارد. دستورالعملهای طراحی غیرلرزه‌ای این گونه مخازن در ASTM(1988) و ASCE(1992) موجودند. پارامترهای زیادی در تعیین مقاومت مصالح مختلط (کامپوزیت) فایبرگلاس موثرند که از آن جمله می‌توان به مشخصات قالب‌ریزی و زاویه قرارگیری الیاف اشاره کرد. نیروهای لرزه‌ای باید از آیین‌نامه API 650 استخراج شوند، لیکن مقادیر مربوط به تنشهای مجاز، شکل‌پذیری و عملکرد مخزن باید بر اساس توصیه‌های تولیدکننده و یا آزمایش تعیین شود.

۶-۵- توصیه‌هایی برای کاهش خسارات لرزه‌ای

در مورد لوله‌های صلب می‌توان خمهای اضافه و یا اتصالات انعطاف‌پذیر به لوله افزود. پله‌ها و مسیرهای عبور را می‌توان تنها به پوسته مخزن متصل کرد. اما پایدارسازی پوسته مخزن ممکن است قدری مشکل‌تر باشد. در حال حاضر روش مشخصی که در تمام حالات کاربردی باشد وجود ندارد در هر حال مسائل مربوط به کاربری و اقتصاد ساخت باید در نظر گرفته شود.

درصورتیکه مخزن از نظر سازه‌ای غیرایمن تشخیص داده شود (براساس روش مانوس اصلاح شده و یا معیار API)، هریک از روشهای بهسازی زیر را می‌توان به کاربست:

الف: کاهش درصد پرشدگی مخزن، این روش ساده‌ترین و معمولترین روش برای شرایطی است که

سطح آزاد برای نوسان بخش مواج کافی نباشد. توجه به این مساله لازم است که کاهش درصد محتویات تاثیر زیادی بر اقتصاد مخازن (در زمان عملکرد) دارد. البته در مورد مخازن بلند مهار نشده کاهش سطح مایع ممکن است موجب افزایش بلند شدگی مخزن شود. این مساله باید با استفاده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی دقیقا بررسی شود.

ب: افزایش ضخامت پوسته و یا ورق کف و یا حلقه تقویت کننده دور ورق کف (Annular ring).

ج: مهارکردن مخزن براساس معیارهای API 650.

د: بجای مهار کردن مخزن می‌توان با سخت کردن کف مخزن از طریق قراردادن یک دال بتنی در کف مخزن و یا روشهای دیگر از بلندشدگی مخزن جلوگیری به عمل آورد. این روش تا حدی ناآزموده است ولی می‌تواند آثاری مشابه با مهارکردن مخزن داشته باشد.

۷- برنامه‌ریزی برای زلزله محتمل

۷-۱- کلیات

برنامه‌ریزی برای زلزله محتمل بطور مستقیم بخشی از روند ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات نفتی نیست؛ اما به‌دلیل اهمیت موضوع، در این مجموعه گنجانده شده است. در این فصل برخی از نکاتی که باید در برنامه‌ریزی درنظر گرفت ارائه می‌شود.

۷-۲- هدف

تاسیسات واقع در منطقه لرزه‌خیز نیاز به برنامه مقابله با زلزله دارد. لازم است تمام بخش‌هایی که وظیفه واکنش در برابر زلزله محتمل را بر عهده دارند، با طرح مقابله با زلزله آشنا شوند تا بتوانند آنرا با حداکثر ظرفیت بکار گیرند. در این بخش برخی از مواردی که باید در چنین طرحی لحاظ شود، ارائه شده است.

هدف اصلی از برنامه‌ریزی برای زلزله محتمل، ایجاد آمادگی برای پاسخ سریع، منطقی و سازمان‌یافته به رخداد لرزه‌ای است. برنامه‌ریزی برای زلزله محتمل این امکان را فراهم می‌آورد که موارد زیر به‌صورت کارآمد و ایمن انجام داده شود:

- پاسخ فوری برای امنیت عمومی، امنیت کارکنان و تاسیسات
- بازرسی سازمان‌یافته از تاسیسات برای بررسی آسیب‌دیدگی سازه‌ای در اثر زلزله، و انتقال اطلاعات به مدیریت با کمترین تداخل فعالیت ممکن
- تمرکز بر روی بخش‌های بحرانی برای انجام عملیات بازیابی سیستم

۷-۳- برنامه پاسخ

در این مجموعه طرح سازماندهی کارکنان و منابع برای ارزیابی خسارت و کنترل آن پس از یک رخداد لرزه‌ای ارائه شده است. یک برنامه پاسخ موثر باید شامل کلیه اجزای زیر باشد:

الف- آماده‌باش پیش از وقوع زلزله

ب- شناخت حادثه

ج- سامانه فرماندهی، مراقبت و بسیج گروه بازرسی

د- روش بازرسی

ه- جمع‌آوری نتایج بازرسی و گزارش آنها

این بخش به‌طور ویژه به موارد ردیف الف تا ج می‌پردازد. موارد "د" و "ه" بطور جداگانه و با تفصیل بیشتر در فصل ۸ نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۷-۴- آماده‌باش پیش از وقوع زلزله

نکته کلیدی در پاسخ موثر به هر شرایط بحرانی، سازماندهی و برنامه‌ریزی پیش از رخداد آن حادثه است. از آنجا که سناریوهایی مانند نشت آب، قطع ارتباطات، از بین رفتن توانایی فرونشاندن آتش، عدم امکان دسترسی به مجتمع، رها شدن مواد خطرناک و غیره محتمل می‌باشند، لازم است اقدامات پیشگیرانه برای هر شرایط اضطراری طرح‌ریزی شود. برخی از موارد مهم عبارتند از:

الف- ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای پیش از وقوع رخداد: یکی از اجزای کلیدی در برنامه‌ریزی واکنش سریع به زلزله، داشتن درک اولیه از نوع خساراتی است که ممکن است به وقوع پیوندد. انجام دادن ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای تاسیسات یک روش مناسب برای برآورد خطرپذیری ذاتی تجهیزات است. مزیت دیگر ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، امکان اولویت‌بندی سازه‌ها براساس خطرپذیری آنهاست. این اولویت‌ها می‌توانند در برنامه واکنش سریع بکار گرفته شوند و براساس آنها سازه‌های پرمخاطره زودتر مورد بررسی قرار گیرند. این اولویت‌بندی نیاز به اسناد و مدارک "به‌روز شده" دارد.

ب- برنامه واکنش سریع: یکی دیگر از اجزای کلیدی پاسخ موثر به بحران، تهیه طرح واکنش به گونه‌ای است که شامل موارد زیر باشد:

- سازماندهی گروه‌های ارزیابی
- ساختار فرماندهی گروه‌ها
- ارائه فهرست ارتباطات ضروری
- اولویت‌بندی سازه‌ها از لحاظ خطرپذیری

برنامه واکنش باید به‌طور موثر سازماندهی، ساختار فرماندهی و وظایف را برای فرایند ارزیابی به گونه‌ای مفید ارائه کند. مفاد این برنامه باید به کارکنانی که در عملیات ارزیابی دخیل هستند، ابلاغ و تفهیم شود. انجام تمرینات، یک روش مناسب جهت کمک به درک مقاصد دستورالعمل‌ها است.

معمولا تنظیم یک موافقتنامه رسمی همکاری با منابع حمایت‌کننده ازجمله شرکت‌های مهندسی محلی، موسسات فوریت‌های محلی و سازمان‌های تخصصی مفید می‌باشد. داشتن چنین موافقتنامه‌هایی در زمان خود می‌تواند موجب تسهیل واکنش شود.

ج- آموزش پیش از وقوع زلزله: به منظور اینکه بازرسان تجهیزات و سازه‌ها به‌طور مناسب و موثر عمل کنند، باید در زمینه ارزیابی خسارات پس از وقوع زلزله آموزش ببینند. توصیه می‌شود ارزیابان مفاد ATC-20 یا سایر موارد لازم برای ارزیابی ساختمان‌ها را در کنار مسایل مربوط به ارزیابی سازه‌های صنعتی آموزش ببینند.

د- تجهیزات جستجو و نجات: درنظرگرفتن تجهیزاتی جهت انجام عملیات جستجو و نجات می‌تواند بسیار مفید باشد. از آنجا که ممکن است شرایطی پیش آید که در محل، پناهگاه‌های

موقت برپا شود، ذخیره آب و مواد غذایی باید در محل امنی قرار داده شوند.

۷-۵- شناخت حادثه

پیش از آغاز هر عملیات ارزیابی و واکنش سریع، وجود اطلاعات وسیع از حادثه به وقوع پیوسته لازم است. داشتن اطلاعات و درک کافی از رویداد سبب می‌شود که برنامه واکنش، موثر واقع شود. توصیه می‌شود که از یک سیستم طبقه‌بندی شدت حادثه (مثلا خفیف، متوسط، شدید) استفاده شود. این طبقه‌بندی می‌تواند بر مبنای مشاهدات صورت‌گرفته از شدت خسارات وارده انجام شود. با انجام این کار هر سطحی از آماده‌باش را می‌توان متناسب با سطح پاسخ مورد نیاز اعلام و اجرا کرد. مزیت آشکار چنین روشی این است که حجم عملیات بکار گرفته شده برای واکنش به رویداد متناسب با بزرگی رویداد می‌باشد. اطلاعات بیشتر در این باره در فصل هشتم ارائه شده است.

۷-۶- سامانه فرماندهی، مراقبت و بسیج گروه بازرسی

به منظور واکنش سریع به یک رخداد، لازم است ساختار فرماندهی و کنترل بطور مشخص و صحیح برقرار شود. تصمیم‌گیران و ارتباطات کلیدی باید به‌طور واضح مشخص شوند و سلسله مراتب باید به‌طور کامل تعریف شود. همچنین طبق طرح واکنش باید برای شرایطی که ارتباطات اولیه در دسترس نباشند، گزینه‌های جانشین انتخاب کرد. لازم است محل و نحوه ارائه نتایج بازرسی‌ها به تصمیم‌گیران مشخص شود. در نهایت مرکز عملیات فوریتی (EOC) باید در محل امن و ترجیحا در پیرامون مجتمع قرار داده شود. پس از وقوع زلزله انجام واکنش کوتاه‌مدت (بازرسی سریع) و واکنش بلندمدت (بازرسی دقیق) لازم است. بلافاصله پس از وقوع زلزله باید گروه ارزیابی سریع وارد عمل شوند تا مشکلات آشکار و یا اضطراری را شناسایی کنند. این مشکلات می‌تواند شامل مواردی چون خرابی‌ها، مسایل زیست‌محیطی، آتش‌سوزی و غیره باشد. فرمانده عملیات باید کارشناسان سازه را برای رسیدن به اهداف زیر بطور همزمان به خدمت گیرد:

الف) راهنمایی کارکنان واحد صنعتی برای مهار آسیب‌های اضطراری

ب) شروع به ارزیابی دقیق

هنگامی که گروه‌های ارزیابی سریع گزارش خود را به فرمانده عملیات ارائه کردند و ابعاد حادثه مشخص شد، سطح واکنش متناسب با ابعاد حادثه باید تعیین شود. فرمانده عملیات (مدیر بحران) باید کارکنان را برای آمادگی جهت تصمیم‌گیری در مورد رفع کوتاه‌مدت خسارات آموزش دهد. توصیه به انجام دادن اقدامات اصلاحی (مانند مهاربندی و شمع‌زنی موقت)، هماهنگی مسائل مرتبط با چند تخصص، آموزش قطع عملیات واحد صنعتی و... نمونه‌هایی در این زمینه می‌باشند.

برنامه واکنش برای هر سطح مشخص باید شامل دستورها برای اعضای گروه‌ها باشد. لازم است

جزییاتی مبنی بر اینکه اعضای گروه‌ها پس از رسیدن به تاسیسات گزارش خود را به چه کسی ارائه کنند، در برنامه آورده شده باشد. برخی از احتمالات مانند عدم امکان دسترسی اعضای گروه بازرسی به واحد موردنظر، صعوبت ارتباطات و غیره و یا هرگونه مشکل قابل پیش‌بینی که ممکن است پیش بیاید باید درنظر گرفته شود.

۷-۷- روش بازرسی

بهتر است روش بازرسی برای ارزیابی خسارت در برنامه واکنش، مشخص شده باشد. نکات این روش عبارتند از:

الف: معیار بازرسی مورد استفاده (ATC 20 یا سایر مراجع)

ب: جانمایی ساختمان‌ها یا سازه‌ها

ج: مرجع جانمایی

د: عملکرد در مقابل پس‌لرزه‌ها

هـ: مجوز بازسازی تعمیر

این بند به تفصیل در فصل هشتم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۷-۸- جمع آوری اطلاعات بازرسی و گزارش نتایج آنها

پس از انجام دادن بازرسی میدانی، جانمایی ساختمان‌ها و انجام ارزیابی عملکرد سازه‌ها، اطلاعات و نتایج باید به منظور ارائه گزارش به مدیر بحران جمع‌بندی شوند. بهتر است کاربرگ‌های استاندارد از پیش طراحی شده‌ای برای ثبت اطلاعات بدست‌آمده از بازرسی وجود داشته باشد. این کاربرگ‌ها باید در مکانی امن، مانند آنچه در بخش ۷-۴ مورد بحث قرارگرفت، نگهداری شوند. مزیت دیگر این کاربرگ‌ها این است که امکان بازبینی و پردازش آنها در آینده وجود دارد. استفاده از این کاربرگ‌ها، عملیات جمع‌بندی و انتقال اطلاعات به تصمیم‌گیرندگان را کاملتر می‌کند. این کاربرگ‌ها باید شامل روشی برای ارزیابی ثانویه پس‌لرزه‌های بزرگ باشد. اطلاعات بیشتر در فصل هشتم ارائه شده است.

۸- ارزیابی خسارت پس از وقوع زلزله

۸-۱- کلیات

در این بخش به منظور ارزیابی خسارات وارده بر تاسیسات پس از وقوع زلزله راهنمایی‌هایی ارائه شده است. اگرچه پس از هر رخداد لرزه‌ای مهم، بهترین واکنش بازرسی فوری و کامل عینی از تاسیسات نفتی است، اما این کار به‌دلیل هزینه‌بر بودن و درگیرکردن نیروی انسانی عملی نیست. به این دلیل بسته به گستره و اهمیت ارزیابی خسارت پس از زلزله دو عامل باید در نظر گرفته شود:

۱- اولویت‌بندی سازه‌ها و تجهیزات برای بررسی پس از زلزله

۲- تعیین اینکه سازه‌ها و تجهیزات منتخب در چه رخدادی (براساس بزرگا) نیاز به ارزیابی دارند.

۸-۲- اولویت‌بندی ارزیابی

نیازهای ایمنی و عملکردی کاربران تاسیسات نفتی به شرح زیر اولویت‌بندی می‌شوند:

- اولویت اول: سلامت و ایمنی انسان
- اولویت دوم: عدم آسیب‌رسانی به محیط‌زیست
- اولویت سوم: خسارات مهم اقتصادی

در مورد اولویت اول، مهمترین مخاطرات وابسته به زلزله برای سلامت و ایمنی (بدون هیچگونه ترتیب خاص) عبارتند از:

- آتش سوزی
- انفجار
- سازه‌های آسیب‌دیده و فروریخته
- آزاد شدن مواد خطرزا

در مورد اولویت دوم، مهمترین مخاطرات لرزه‌ای برای محیط‌زیست، آزاد شدن مواد خطرزا است. نشت و رهاشدن مواد خطرزا عموما به دلایل زیر رخ می‌دهد:

- آسیب‌دیدگی مخازن و محفظه‌ها و انبارهای نگهداری مواد
- شکست یا خرابی خطوط لوله

شایان ذکر است که منظور از آسیب‌دیدگی، وقوع هر نوع شرایطی است که سبب نشت مواد از مخازن و خطوط لوله می‌شود و به فروریزش کامل محدود نمی‌شود.

در مورد اولویت سوم، دلیل عمده خسارات اقتصادی گسترده از بین رفتن امکان تولید می‌باشد. رخدادهایی که موجب قطع تولید محصولات می‌شوند (در کنار سایر مواردی که در اولویت‌های اول

و دوم به آنها اشاره شد) عبارتند از:

- قطع انرژی
- قطع ارتباطات
- قطع فوری عملیات بدلیل رخ دادن زلزله

سازه‌های جنبی که باید پس از زلزله مورد بررسی قرارگیرند شامل موارد زیر می‌باشند:

- تسهیلات و تجهیزاتی که باید پس از زلزله خدمت‌رسانی کنند تا شرایط در واحد صنعتی ایمن باقی بماند، مانند مخازن آب آتش‌نشانی و سیستمهای برق اضطراری.
- سیستم‌ها و سازه‌هایی که آسیب‌دیدگی آنها موجب بروز خطر برای ایمنی و سلامت انسان می‌شود و یا سازه‌هایی که حاوی مواد خطرزا می‌باشند و یا سازه‌ها و تجهیزاتی که از لحاظ عملکردی دارای اهمیت ویژه هستند. علاوه بر این، سازه‌های مجاور این تجهیزات در شرایطی که آسیب‌دیدگی آنها ممکن است منجر به بروز خسارت در سیستم‌ها و تجهیزات حساس و مهم شود، باید مورد بازرسی قرار گیرند.
- هر سازه یا سیستمی که بنا به نظر کاربران باید قابلیت عملکرد خود را پس از وقوع یک زلزله بزرگ حفظ کند.

۸-۳- شروع ارزیابی

به‌طور کلی نمی‌توان بزرگای زلزله را معیار مناسبی برای ضرورت انجام بازرسی پس از وقوع زلزله دانست. این مساله بیشتر به این بستگی دارد که آیا خسارت مهمی در تاسیسات گزارش شده است یا خیر؟ و اینکه آیا زلزله جدی و مخرب بوده است یا خیر؟ بر این اساس بهتر است ارزیابی خسارات پس از هر رویداد لرزه‌ای با هر بزرگا انجام شود. وقوع موارد زیر چه در مجتمع صنعتی چه در مجاورت آن می‌تواند منجر به الزام برای شروع واکنش پس از زلزله شود:

- مجروح شدن کارکنان
- فروریزش سازه‌ها
- نشت مواد خطرزا
- آتش‌سوزی
- انفجار
- قطع عملکرد سیستم به طور خودکار
- قطع برق، مخابرات و سایر تسهیلات

هریک از موارد بالا ممکن است نشان‌دهنده مشکلات بزرگی باشد و به محض مشاهده آن لازم است ارزیابی خسارت پس از زلزله به سرعت آغاز شود. علاوه بر بررسی سازه‌ای، ارزیابی سیستم‌ها

و تاسیسات مکانیکی نیز ممکن است مورد نیاز باشد.

۸-۴- فعالیت‌های پیش از ارزیابی

پیش از ارزیابی خسارت، باید فعالیتهای زیر بلافاصله پس از وقوع زلزله برای افزایش سطح ایمنی انجام شود:

الف: درنظرگرفتن ایمنی و آرامش کارکنان (کارمندان، پیمانکاران و بازدیدکنندگان) در محل

ب: بررسی تمام مخاطرات ازجمله آتش‌سوزی، فروریزش سازه‌ها و غیره

ج: فراهم کردن ایمنی برای پرسنلی که برای شرایط غیراضطراری آموزش دیده‌اند (مانند مهندسانی که وظیفه ارزیابی خسارت پس از زلزله را به عهده دارند).

برای ورود به تاسیسات، برنامه‌ریزی پیش از ارزیابی خسارت امری ضروری است و باید جلسه‌ای با کارکنان واحد صنعتی جهت آشنایی با تاسیسات مورد بررسی برگزار شود. برخی از مباحثی که باید در جلسه مطرح شوند عبارتند از:

- عملکرد واحد صنعتی پیش از زلزله و عملکرد مورد انتظار پس از وقوع زلزله
- اقدامات اصلاحی که متصدیان واحد صنعتی در هنگام وقوع زلزله و پس از آن انجام داده‌اند.
- نگهداری یا تعمیراتی که پیش از بازرسی انجام شده‌اند.
- هر مشکلی که مربوط به خدمت‌رسانی یا عملکرد سیستم باشد.
- هرگونه خسارت وارد شده بر تجهیزات در هنگام وقوع زلزله یا پس از آن
- قابلیت دسترسی به تجهیزات
- مناطق پرخطر
- اقدامات ایمنی
- وجود هر نوع ابزارگذاری احتمالی در محل برای ثبت جنبش‌های ناشی از زلزله

باید به اقدامات اصلاحی، نگهداری و تعمیرات انجام‌شده بر روی تاسیسات پس از وقوع زلزله توجه ویژه‌ای شود. کفایت تعمیرات و موقعیت اقدامات اصلاحی باید بررسی شود.

در فعالیت‌های پیش از بازرسی، گروه بازرسی باید بررسی کند که چه بخش‌هایی از واحد صنعتی و چه تجهیزات و اجزایی باید مورد بازرسی قرار گیرند و به چه ترتیبی این بازرسی انجام داده شود. لازم است بخش‌ها و تجهیزاتی که باید مورد بررسی قرار گیرند برروی نقشه جانمایی تجهیزات واحد صنعتی علامت‌گذاری شوند. درصورتی‌که بیش از یک گروه بازرسی را انجام می‌دهند، حوزه مسوولیت هر گروه باید تعیین شود.

به تمام افرادی که در امر بازرسی پس از زلزله دخیل خواهند بود باید یادآوری شود که واحد صنعتی یک زلزله را تجربه کرده است. لذا پیش از آغاز بازرسی، کارکنان واحد صنعتی باید واحد را

از نظر وجود شرایط خطرناک (مانند محل‌های آلوده‌شده با مواد شیمیایی) مورد بازرسی قراردهند. درصورت وجود هرگونه شرایط خطرناک، منطقه خطر باید مشخص شده و اعضای گروه باید بسته به نوع خطر در مورد آن راهنمایی شوند. بازرسی از این مناطق باید تنها در صورتی انجام شود که اقدامات پیشگیرانه برای حفظ ایمنی اعضای گروه بازرسی انجام شده باشد. یکی از مهمترین اقدامات در مرحله پیش از بازرسی، پرسش دقیق از متصدیان واحد صنعتی در مورد شدت خسارات وارده است. معمولا متصدیان واحد صنعتی یک ارزیابی سریع از تاسیسات انجام داده‌اند و می‌توانند موقعیت دقیق یک خسارت خاص را مشخص کنند. این محل‌ها، اولویت‌های نخست گروه بازرسی می‌باشند. درصورتیکه برنامه کاهش خسارت لرزه‌ای در مجتمع صنعتی انجام شده باشد سازه‌ها و تجهیزاتی که از نظر لرزه‌ای آسیب‌پذیر تشخیص داده شده‌اند اولویت‌های بعدی گروه ارزیابی هستند. درصورتی‌که این موارد از قبل انجام نشده باشد، سازه‌های آسیب‌پذیر مشخص نبوده و لازم است گروه بازرسی کل واحد را با یک روش نظام‌مند ارزیابی و براساس اولویت‌های یادشده در بخش ۸-۱-۱ بررسی کند. مواردی که در زلزله‌های گذشته ضعیف عمل کرده‌اند (مانند سازه‌های قدیمی‌تر) باید مورد توجه بیشتری قرار گیرند. درهر صورت متصدیان واحد صنعتی افراد کلیدی برای تعیین اولویت‌های بازرسی هستند.

۸-۵- بازرسی میدانی

بازرسی‌های انجام شده از تاسیسات باید بصورت یادداشت همراه با عکس‌های مرتبط مستندسازی شود. برای این کار می‌توان از کاربرگ‌هایی مشابه آنچه در فصل ۴ ارائه شده استفاده کرد.

اگرچه ممکن است اعضای گروه بازرسی، یادداشت‌برداری را به پرکردن کاربرگ ترجیح دهند، استفاده از کاربرگ‌ها برای هماهنگی نحوه ثبت اطلاعات پیشنهاد می‌شود. هنگامی که ابعاد به‌صورت چشمی تخمین زده شده‌اند این مساله باید در اسناد منعکس شود. در برخی از موارد برای مشخص کردن همه پارامترهای مورد بررسی، ترسیم کروکی لازم است. از هر سازه یا قطعه مورد بازرسی دست کم باید یک تصویر برداشته شود و برای ثبت و طبقه‌بندی تصاویر باید از سیستم نامگذاری مشخص استفاده شود. درصورتی‌که استفاده از دوربین مجاز باشد، می‌توان از آن برای شرح وضعیت و نوع تجهیزات بازرسی شده استفاده کرد.

مهمتر از همه، هر خسارتی که در اثر زلزله حادث شده است باید به دقت و با بیان جزییات شرح داده شود. در هر حال خسارت باید به سرعت ارزیابی شود و درصورت امکان از مبانی مهندسی برای شرح خسارات استفاده شود. اعضای گروه ارزیابی باید در مورد اقدامات اصلاحی لازم به توافق برسند.

۸-۶- ارزیابی سیستم‌های باربر

توانایی شناخت دقیق سیستم‌های باربر ثقلی و جانبی از مهمترین موارد در عملیات ارزیابی خسارات پس از زلزله است. سازه‌ای که سیستم باربر ثقلی آن آسیب دیده است و باربری قائم آن زیر سوال است، بسیار خطرناک است؛ چراکه در مورد چنین سازه‌ای امکان فروریزش وجود دارد. این مساله با درنظرگرفتن احتمال وقوع پس لرزه‌ها بحرانی‌تر نیز می‌شود. چنین سازه‌هایی باید به سرعت علامت‌گذاری شوند و اقدامات پیشگیرانه ممکن مانند حصارکشی، تخلیه، پایدارسازی فوری، تخریب و غیره در مورد آنها انجام شود.

سازه‌هایی که سیستم باربری ثقلی آنها سالم است اما سیستم باربر جانبی آنها آسیب دیده، مثلا مهاربندی آنان کمانش کرده یا آسیب دیده است، باید به عنوان بخش‌های آسیب‌پذیر بالقوه در پس‌لرزه‌های آتی درنظر گرفته شوند. اگرچه چنین سازه‌هایی معمولا به خطرناکی سازه‌هایی با سیستم باربر ثقلی آسیب‌دیده نیستند، ولی اقدامات فوری باید برای حفظ انسجام سیستم مقاوم جانبی سازه انجام شود.

درزمان تصمیم‌گیری در این زمینه که سیستم باربر قائم سازه آسیب دیده یا جانبی (یا هر دو) این سوال مطرح است که آیا سازه توان تحمل پس‌لرزه‌های آتی را دارد یا خیر؟ درصورتی‌که یک گروه ارزیاب باتجربه به این نتیجه برسند که سازه تحمل چنین رخدادی را نخواهد داشت، باید اقدامات پیشگیرانه به سرعت انجام شده و دسترسی به محل مورد نظر تنها در شرایط ضروری امکان‌پذیر شود.

عملیات باید بطور مداوم انجام شود. برخی از موارد آسیب‌دیدگی که از اهمیت ویژه برخوردارند عبارتند از:

- از بین رفتن انسجام سیستم‌های باربر قائم یا جانبی (یا هر دو)
- تشکیل مفصل پلاستیک در بالا و پایین ستون‌ها، کمانش یا لهیدگی جان، کمانش مهاربندها، ترک‌خوردگی جوش‌ها و غیره در سازه‌های فولادی
- کشیده شدن آرماتورها و میل‌مهارها از داخل تکیه‌گاه، گودشدگی قابل توجه اطراف پایه ستون‌ها و غیره در شالوده‌ها و مهارها
- شکستگی‌های مشهود، نشت، ترک‌خوردگی، واژگونی، از بین رفتن قطعات نصب و دریچه‌ها، تحت فشار قرارگرفتن محتویات، شکست جوش، نشت گازهای قابل انفجار در محیط‌های بسته و غیره در تجهیزات
- مسدود شدن مسیرهای دسترسی با آوار، فرو ریزش خطوط انتقال برق
- شواهدی از وقوع روانگریی، گسلش، نشست قابل توجه، ناپایداری شیروانی و سونامی یا سیچ.

۸-۷- تشخیص سازه‌های آسیب‌دیده

به منظور مشخص کردن سیستم‌ها، سازه‌ها و یا قطعاتی که در عملیات بازرسی به عنوان آسیب‌پذیر شناخته شده‌اند نیاز به یک سیستم علامت‌گذاری ویژه تاسیسات می‌باشد. سیستم توسعه داده شده برای ارزیابی ساختمان‌ها پس از زلزله که در ATC-20 ارائه شده و کاربرد آن نسبتا موفق بوده است را می‌توان به‌عنوان یک سیستم مناسب در این زمینه درنظر گرفت. این سیستم مبتنی است بر اختصاص‌دادن رنگ سبز برای مناطق ایمن، زرد برای مناطق ورود با مجوز برای موارد ضروری و قرمز برای مناطقی که امکان ورود نیست. چنین سیستمی برای تاسیسات نفتی باید مورد اصلاح قرارگیرد، چراکه در این مجتمع‌ها، انبوهی از سازه‌های مختلف و غیرقابل تفکیک وجود دارند و چندین علامت یا نوار برای جداسازی بخش‌هایی که آسیب‌پذیر تشخیص داده شده‌اند مورد نیاز است.

۸-۸- مستند سازی

هدف گروه ارزیابی از انجام دادن عملیات بازرسی هریک از تاسیسات، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای مستندسازی عملکرد سازه‌ها و تجهیزات درزمان زلزله است. جدول ۸-۱ نشان‌دهنده فهرست مطالب پیشنهاد شده، ساختار و محتویات گزارش مستندسازی‌شده برای هریک از تاسیسات می‌باشد. توجه به این نکته لازم است که مطالب این گزارش می‌تواند در مواردی که در زمان بازدید میدانی پر می‌شوند و مواردی که بعدا تکمیل می‌شوند کاملا مجزا باشد. گزارش نهایی باید شامل اطلاعات منتشرشده از مراجع معتبر در مورد بزرگای جنبش زمین در هریک از تاسیسات، خلاصه اطلاعات تجهیزات و سازه‌های بررسی شده، بحث در مورد عملکرد هریک از تجهیزات بازرسی شده و شرح دقیق خسارات مشاهده شده درزمان ارزیابی به همراه پیشنهادهایی برای تعمیر باشد.

۸-۹- گروه بازرسی

هر گروه بازرسی باید دست کم شامل ۲ عضو، با تجارب زیرباشد:

- ارزیابی عینی از تاسیسات نفتی
- تحلیل و طراحی لرزه‌ای تجهیزات، سیستم‌ها و سازه‌های موجود در صنایع نفتی

اعضای گروه بازرسی باید در زمینه ارزیابی خسارت پس از زلزله و مستندسازی آن آموزش لازم را دیده باشند. بخش ارزیابی خسارات سازه‌ای پس از زلزله باید توسط مهندسان باتجربه و آشنا به آثار زلزله بر سازه‌ها و طراحی لرزه‌ای انجام شود. این افراد باید توانایی تشخیص نقاط ضعف و ارائه راهکار برای بهبود خسارات شدید و رساندن سیستم به شرایط ایمن را داشته باشند.

جدول ۸-۱- نمونه‌ای از فهرست مطالب گزارش

فهرست مطالب
مقدمه و هدف: توصیف کلی هدف گزارش که همان مستندسازی و بازرسی انجام شده از تاسیسات پس از و وقوع زلزله است. این قسمت می تواند پس از انجام بازرسی تکمیل شود.
توصیف تاسیسات: شرحی مختصر از تاسیسات شامل عملکرد، شرح سازه‌های اصلی، سن، محل دقیق، تاریخچه عملکرد و غیره. در طول بازدید از واحد صنعتی می توان اطلاعات مورد نیاز در این بخشی شامل اسناد واحد صنعتی، نقشه‌ها، ضبط اطلاعات و مصاحبه با کارکنان و غیره را تهیه کرد.
جنبش زمین در محل تـاسیسات: بجز شرایطی که امکان دسترسی به رکوردهای ثبت شده در زمان انجام عملیات بازرسی وجود داشته باشد، نگارش این بخش را باید براساس گزارش‌های منتشرشده از رکوردهای ثبت شده در منطقه انجام داد. (به عنوان مثال گزارش‌های منتشرشده USGS یا IIEES).
خسارات زلزله به تاسیسات از نظر عملکرد: مصاحبه و تبادل نظر با متصدیان واحد صنعتی به عنوان مبنای این بخش محسوب می‌شود. درصورت امکان، رونوشت شرح کار روزانه متصدیان در زمان بازدید واحد صنعتی تهیه شود.
عملکرد لرزه‌ای: این بخش بدنه اصلی گزارش را تشکیل می‌دهد و می‌تواند در زمان بازرسی میدانی تکمیل شود. این بخش باید شامل پیشنهادهایی برای اصلاح مشکلات (درصورت نیاز) باشد. مسوولیت ایجاد و بازرسی از زیربخش‌ها باید بین اعضای گروه بازرسی تقسیم شود.
جمع‌بندی و پیشنهاد: بطور مختصر به جمع‌بندی یافته‌های گروه و فعالیت‌های پیشنهادشده آنها می‌پردازد. این بخش را می‌توان بعدا تهیه کرد.
پیوست: پیوست باید شامل تصاویر، نقشه‌ها و سایر موارد مربوط با بدنه اصلی گزارش باشد.

۸-۱۰- تجهیزات مورد نیاز

تجهیزات زیر برای انجام ارزیابی خسارات پس از زلزله مورد نیاز می‌باشند:

- چراغ قوه
- متر نواری یا خط‌کش تاشو، فاصله‌یاب لیزری
- قطب‌نما، دستگاه GPS
- زیردستی

- کلاه ایمنی
- عینک ایمنی
- گوشی ایمنی
- ماسک (به‌ویژه پس از زلزله‌های بزرگ یا در شرایطی که مواد خطرزا یا حساس در محیط پخش شده‌اند).
- کفش ایمنی
- تراز یا شلنگ تراز
- دوربین عکاسی
- پیراهن آستین‌بلند یا هرگونه لباس ایمنی توصیه شده توسط کارکنان مجتمع
- نقشه راه‌ها و تاسیسات
- دوربین فیلمبرداری دستی (اختیاری)
- دستگاه ضبط صوت (اختیاری)

توجه: در مورد استفاده از دوربین، فلاش، دوربین ویدیویی و ضبط‌صوت با متصدیان تاسیسات مشورت و هماهنگی شود. این امر به منظور احتیاط بیشتر انجام می‌شود، زیرا برخی از این گونه تجهیزات ممکن است سبب احتراق در برخی محیط‌های پرخطر گردد و یا سبب تحریک سیستم-های تشخیص حریق شود.

۹- اصول اولیه طرح بهسازی

۹-۱- کلیات

راهنمایی‌های ارائه شده در این فصل به منظور کمک به مهندسان برای بهسازی سازه‌های موجود، پیش از وقوع زلزله می‌باشد. این موارد به عنوان توصیه‌های آیین‌نامه‌ای ارائه نمی‌شوند.

معمولا برای رسیدن به یک یا چند مورد از اهداف زیر، بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها لازم است:

الف: سازه‌های موجود ممکن است پس از انجام دادن بازرسی عینی و ارزیابی اولیه (مطابق فصل ۴) به‌طور بالقوه برای امنیت عمومی خطرناک تشخیص داده شوند. ارزیابی اولیه، یک بازنگری سریع بر سازه‌های قابی، سیستم‌ها و تجهیزات موجود به منظور طبقه‌بندی آنها در سطوح ایمن، آسیب‌پذیر و یا نیازمند به مطالعات بیشتر (مشکوک) می‌باشد. در مورد سازه‌ها و سیستم‌هایی که ایمن شناخته می‌شوند، هیچ عملیاتی لازم نیست. ولی برای سازه‌ها و سایر سیستم‌های غیرایمن و یا مشکوک انجام ارزیابی‌های کاملتر مورد نیاز می‌باشد.

ب: صاحبان مجتمع‌های صنعتی معمولا بهسازی تاسیسات موجود را برای کاهش خطر قطع فعالیت‌ها در اثر زلزله انجام می‌دهند.

ج: انجام اصلاحات و تغییرات در سازه‌های موجود در بیشتر مواقع منجر به بهبود مشخصات سازه‌ها براساس نیازهای آیین‌نامه‌های موجود می‌شود. بهسازی می‌تواند براساس آیین‌نامه تایید شده توسط مراجع صلاحیت‌دار محلی انجام داده شود.

۹-۲- هدف مقاوم‌سازی

هدف از مقاوم‌سازی لرزه‌ای، اصلاح سازه‌های موجود برای رسیدن به مقاومت‌های مورد نظر آخرین نسخه‌های آیین‌نامه‌ای نیست، بلکه تامین اطمینان متعارف برای عموم، صاحبان صنایع و مقامات رسمی ساختمانی از این امر است که سازه‌ها و سیستم‌ها بدون وقوع خسارت فاجعه‌آمیز، یک زلزله بزرگ را پشت سر بگذارند؛ هر چند ممکن است خسارات قابل‌توجهی را تجربه نمایند. صاحبان صنایع ممکن است ترجیح دهند سیستم را برای سطح عملکرد بالاتری بهسازی کنند تا وقفه‌های احتمالی در عملکرد سیستم را به حداقل برسانند. علاوه براین، شرایطی وجود دارد که مراجع صلاحیت‌دار استاندارد بهسازی را تعیین می‌کنند. برای جزییات بیشتر به فصل دوم رجوع شود.

۹-۳- روش‌ها و راهنمایی‌ها

ملاک‌های طراحی سازه‌ها و سیستم‌های جدید، به خوبی در آیین‌نامه‌های ساختمانی (نظیر آنچه در فصل۱ ذکرشد) تعریف شده‌اند؛ اما در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها،

معیارها به خوبی تعریف نشده‌اند. در حال حاضر آیین‌نامه‌ای برای بهسازی لرزه‌ای تاسیسات صنعتی وجود ندارد. مراحل پیشنهادی برای بهسازی لرزه‌ای پیش از وقوع زلزله در زیر ارائه شده است:

۱- بدست آوردن گزارش بهنگام ژئوتکنیکی و لرزه‌شناسی

۲- جمع‌آوری نقشه‌ها و محاسبات طراحی موجود

۳- بازنگری گزارش ارزیابی اولیه، شناسایی سیستم‌های باربر قائم و افقی نیروی زلزله و شناسایی هر نوع بار ویژه برای تعیین نقاط ضعف سیستم‌های سازه‌ای

۴- استفاده از ضرایب Q از معیارRMPP (فصل ۵) برای محاسبات نیروی زلزله سازه‌های موجود در واحدهای صنعتی

۵- مقادیر واقعی بارهای مرده وزنده بجای بارهای مبنای طراحی در تحلیل‌ها در نظر گرفته شوند.

۶- مقاومت‌های موجود اعضا دربرآورد ظرفیت آنها در نظر گرفته شود. برای تعیین مقاومت موجود مصالح اجزای سازه‌ای، ممکن است استفاده از آزمایش‌های مخرب و غیرمخرب لازم باشد.

۷- کنترل ظرفیت‌های لرزه‌ای موجود (C) اعضای سازه‌ای، اتصالات و تکیه‌گاه‌های تجهیزات برحسب نیاز لرزه‌ای (D). درصورتیکه C>D ، اقدام دیگری مورد نیاز نیست؛ درغیراین‌صورت نیاز به بهسازی لرزه‌ای است. برای محاسبه ظرفیت‌ها بهتر است از روش مقاومت استفاده شود.

۸- زمانیکه تغییر و جابجایی نسبی کنترل می‌شوند این مقادیر باید سازگار با موارد ارائه شده در نشریه شماره ۰۳۸ معاونت مهندسی و ساخت داخل وزارت نفت باشند.

۹- می‌توان از سایر روش‌های منطقی برای تحلیل استفاده کرد. روش‌هایی مانند تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی قابل قبول می‌باشند.

۹-۴- پیشنهادهای تکمیلی

برای اطمینان از اینکه اقدامات اصلاحی مناسبی در برنامه بهسازی لرزه‌ای انجام شده است، مهندسان باید کاملا در جریان آخرین پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه مهندسی زلزله باشند. هدف اصلی از بهسازی یک سازه، تامین اطمینان قابل‌قبول از عملکرد مناسب سازه بهسازی شده در یک زلزله بزرگ می‌باشد. باید توجه داشت که منظور از بهسازی لرزه‌ای، بهنگام‌سازی سازه براساس آیین‌نامه‌های اخیر نیست. اگرچه در هر شرایطی باید شرط عدم فروریزش به عنوان حداقل ملاک درنظر گرفته شود. درصورتی‌که هدف از بهسازی جلوگیری از نشت و رهاسازی مواد خطرناک و وقفه در عملکرد سیستم باشد، پیشنهاد می‌شود که مقاوم‌سازی را برای نیازهایی فراتر از نیازهای حداقل انجام داد.

نکته مهم دیگر، تناسب در مقاوم‌سازی اجزای یک سازه است. مقاوم کردن بخش‌هایی از سازه که

در حال حاضر در برابر زلزله وضعیت مناسبی دارند سبب تشدید نقاط ضعف سایر اجزا که ممکن است ضعیف‌تر و یا شکننده باشد می‌شود. در چنین شرایطی ممکن است عملکرد کلی سازه نامطلوب باشد. بنابراین باید توجه داشت که مقاوم‌سازی به گونه‌ای انجام نشود که سازه ضعیف ولی شکل‌پذیر فعلی، به سازه‌ای با سازوکار خرابی غیرشکل‌پذیر تبدیل شود.

در نهایت موارد دیگری مانند دسترسی، حفظ قابلیت عملکرد، طرح جزییات و اجرایی بودن وجود دارند که باید در طول بهسازی سازه درنظر گرفته شوند. در برخی از موارد نیازهای دسترسی به سازه یا تجهیزات به عنوان عامل کنترل‌کننده روش بهسازی به شمار می‌رود. به عنوان مثال می‌توان به استفاده از مهاربندهای برون‌محور به‌جای هم‌محور اشاره کرد. علاوه براین بهسازی باید منطبق بر عملکرد سازه باشد و مشکل جدیدی را در سیستم بوجود نیاورد. به عنوان مثال می‌توان به لوله‌های بالای مبدل‌های حرارتی خنک‌شونده با هوا اشاره کرد. پایه‌های نگهدارنده این لوله‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که پریود ارتعاش آنها نزدیک به پریود ارتعاش موتور سیستم خنک‌کننده نباشد. درزمان تقویت این سیستم‌ها باید توجه داشت که تقویت سیستم سبب نزدیک‌شدن پریود طبیعی به پریود ارتعاش موتور نشود.

طراحی جزییات، یکی از مسایل اساسی در طرح بهسازی است. یکی از مهمترین اهداف بهسازی، رسیدن به یک سازه شکل‌پذیر است. به عنوان مثال می‌توان به میل‌مهارهای ستون‌های بلند اشاره کرد. طرح بهسازی باید به گونه‌ای باشد که این میل‌مهارها دچار خرابی غیرشکل‌پذیر نشوند. به بیان دیگر بیرون‌کشیدگی میل‌مهار از بتن و کمانش پایه نگهدارنده به وقوع نپیوندد. در نهایت اجرایی بودن طرح بهسازی یک نیاز اساسی است. شناخت اینکه جوشکاری بهتر است یا اتصال پیچی، دسترسی به سازه، تداخل‌های احتمالی و غیره همگی بر انتخاب طرح بهسازی، موثر می‌باشند.

فهرست مراجع

[1] ASCE, Guidelines for seismic evaluation and design of petrochemical facilities, American Society of Civil Engineers, 1997

[2] API 650, Welded steel tanks for oil storage, American Petroleum Institute, 2007

[3] AWWA D100-96, Welded steel tanks for water storage, American Water Works Association, 1996, 104 pages

[4] DOE-STD-1020, Natural phenomena hazards design and evaluation criteria for department of energy facilities, Department of Energy, USA, 1994, 181 pages

[5] Dowling M.J and P. B. Summers, June 21-24, 1993, "Assessment and mitigation of seismic hazards for unanchored liquid storage tanks" presented at the independent liquid terminals associations bulk liquid and above ground storage tank terminals conference, Houston, Tx

[6]EERI, May 1990, Loma Prieta Reconnaissance Report, Earthquake Engineering Research Institute, El Centro, CA

[7]EERI, 1994, Liquefaction, Earthquake Basics Brief No. 1, Earthquake Engineering Research Institute

[8]EERL, June 1971, Engineering features of San Fernando Earthquake, February 9, 1971, Earthquake Engineering Research Laboratory, Pasadena, CA.

[9]Housner, G. W., and M. A. Haroun, 1980, "Seismic Design of liquid storage tanks," ASCE Convention and Exposition, Portland, Oregon, April 14-18, 1980

[10] Krintzsky , E. L., J. P. Gould, P. H. Edinger, 1993, " Fundamental of earthquake resistant Construction," John Wiley, NY.

[11] Ledbetter, R.H., 1985, "Improvement of liquefiable foundation conditions beneath existing structures," Technical Report REMR-GT-2, U.S., Army Corps of Engineers, Washington, DC

[12] Manos, August 1986, " Earthquake tank-wall stability of unanchored tanks," American Society of Civil Engineers, Journal of Structural Engineering Vol. 112, No. 8, including Erratum in Journal of Structural Engineering, Vol. 113, No.3, March 1987.

[13] National Research Council, Committee of Alaska Earthquake of the Division of Earth Sciences, 1973, "The Great Alaska Earthquake of 1964," National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, DC.

[14] Priestley,M.J.N., et. al., Seismic design of storage tanks, New Zealand Society of Earthquake Engineering NZSEE, 1986

[15] RMPP, Guidelines for seismic assessment of facilities containing acutely hazardous materials, Risk Management and Prevention Program, Seismic guidance committee, 1992

[16] Seed H. B. R.C. Chaney, and P. Sibel , 1991, "Chapter 16- Earthquake Effects on Soil-Foundation Systems, "Foundation Engineering Handbook, 2nd Edition, H. Y. Fang (editor), Van Nostrand Reinhold.

[17] SEAOC, 1990, Recommended Lateral Forces Requirement and Commentary, Seismology Committee of Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA.

[18] Wozniak, R. S., and Mitchell, W. W.,1978, " Basics of seismic design provisions for welded steel oil storage tanks", presented the session on advances in storage tank design, API refining, 43rd midyear meeting, Toronto, Canada

[19] استاندارد 2800 ایران، آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، 1384

[20] نشریه 038، آیین نامه طراحی لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت، ویرایش دوم، وزارت نفت، معاونت مهندسی و ساخت داخل، 1389

Guidelines for Seismic Evaluation

of Oil Industry Facilities

ISBN:978-600-90129-1-6

Pub.No.041 - 11