





پارت سازه
PART SAZE STRUCTURAL
ENGINEERING

شرکت مهندسی پارت سازه ساینار

شرکت دانش بنیان رسمی مورد تایید معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

پایش سلامت سازه ای ساختمان ها

آبان ماه ۱۳۹۸

پایش سلامت ساختمان ها :

امروزه صاحبان ساختمان ها نیازمند "حس اطمینان خاطر" در خصوص دارایی های ملکی خود هستند . مالکان برج ها و ساختمان ها می خواهند پاسخ این سوال را بدانند که آیا ساختمان شان بعد از رخداد ارتعاشی مانند زلزله و باد شدید یا ارتعاشات دایمی ناشی از دستگاه های دینامیکی دچار آسیب می شوند یا خیر . سیستم پایش سلامت پارت سازه این امکان را فراهم می آورد تا کارفرمایان گزارش کاملی از ساختمان یا سازه خود داشته باشند. این گزارش ها می تواند منجر به اطمینان دهی به مالکان و حتی شرکت های بیمه گر شود.

کارزار پایش سلامت ساختمان ها

با توجه به هدف در نظر گرفته شده در خصوص ارزیابی سریع سازه ساختمان ها و اجزای باربر وزنی مانند ستون ها، تیرها و سقفها و اعضای بابر جانبی مانند بادبندها و اعضای قاب خمشی، توضیحاتی راجع به فرآیند پایش سلامت ساختمان ها بابه کارگیری تجهیزات ابزار دقیق خدمتان ارائه خواهیم داد تا لزوم استفاده از این روش ها همگام با تکنولوژی به روز جهانی برای ارزیابی و آسیب یابی سازه بیش از پیش روشن گردد.

در طول زمان بهره برداری از سازه ها ممکن است آسیب هایی در قسمت های حیاتی آنها ایجاد شده و به مرور زمان گسترش یابد؛ عوامل بسیاری از قبیل وارد آمدن نیروهای بزرگتر از نیروهای پیش بینی شده، بارهای دینامیکی دایمی، شرایط نامناسب پیرامون سازه، قرار گرفتن در معرض تغییرات شدید آب و هوایی، خطاهای ساخت، ضربه، خستگی، خوردگی و ... می توانند منجر به وقوع آسیب سازه ها شوند. در هنگام زلزله نیز وارد آمدن بارهای بیشتر از حد طراحی یا بارهای پیش بینی نشده می تواند منجر به ایجاد آسیب های موضعی یا کلی گردد.

از گذشته تعیین وضعیت سلامت و یا آسیب دیدگی سازه ها، مخصوصا سازه های با اهمیت نظیر پل ها، سدها، تونل ها، ساختمان های با تعداد ساکنان بالا یا دارای تجهیزات گران قیمت و ساختمان های استراتژیک صنعتی، ساختمان های مهم که لازم است بهره برداری آنها متوقف نگردد، ساختمان های تاریخی و ... همواره حائز اهمیت بوده است.

در این بین ساختمان های صنعتی با داشتن کاربری خاص به لحاظ موارد زیر از حساسیت بالایی برخوردار هستند:

۱- این نوع سازه ها به دلیل بارگذاری خاص و همچنین ارتفاع سازه و اهمیت آن دارای کیفیت طراحی، ساخت و اجرای بسیار بالا می باشند که این امر نیازمند سرمایه گذاری کلان است و قطعا هرگونه سرمایه گذاری در این سطح نیازمند سیستم های پایش سلامت دارایی و سرمایه می باشد.

۲- این نوع سازه ها دارای تجهیزات مکانیکی گران قیمت هستند و از لحاظ عملکردی به رفتار سازه وابسته می باشند. لذا وارد آمدن آسیب های حتی جزئی به سازه نیز می تواند باعث بروز آسیب به تجهیزات مکانیکی گردد.

۳- این نوع سازه ها دارای ماهیت درآمد آفرینی دایمی هستند و کوچکترین آسیب به این چرخه حتی به مدت محدود نیز می تواند باعث بروز مشکلات مالی و تعهدی قراردادهای منعقد شده گردد.

۴- این نوع ساختمان ها ناگزیر دارای هویتی ملی می باشد که همواره باید در مورد توجه تیم های نگهداری قرار گیرد.

۵- این سازه ها به لحاظ نوع کاربری محل تجمع نفرات زیادی در هنگام بهره برداری در قسمت های مختلف آن می باشد. که این امر به خودی خود فرآیند نگهداری از آن و تشخیص به موقع خرابی و جلوگیری از وقوع یک رخداد را پر اهمیت میکند.

با توجه به موارد ذکر شده کنترل سلامت سازه های صنعتی در ۴ هنگام بسیار حایز اهمیت است:

۱- در هنگام ساخت:

- مشخصات مصالح به کار رفته و تطابق آن با سازه طراحی کنترل گردد.
- مشخصات اتصالات و تکیه گاه ها و شرایط مرزی و تطابق آن با سازه طراحی کنترل گردد.
- مشخصات فنداسیون و خاک زیر پی و تطابق آن با سازه طراحی کنترل گردد.

۲- در هنگام بهره برداری؛ موارد زیر میتواند باعث ایجاد آسیب و نهایتا خرابی های گسترده در سازه گردد.

- وقوع پدیده خستگی در اثر بارهای دائمی دینامیکی و شبه دینامیکی
- اعمال بارهای بزرگتر از بارهای طراحی مانند وقوع بادهای شدید یا بارهای زنده در اثر تجمعات بیشتر از ظرفیت طراحی
- وقوع پدیده هایی نظیر زلزله یا انفجار
- سپری شدن زمان و عمر مفید سازه که آسیب ها بسیار پنهانی در سازه ایجاد میکند.

۳- در هنگام زلزله؛

- امن بودن یا امن نبودن کلی و ناحیه ای سازه مشخص گردد. این امر باعث می گردد تا تخلیه سازه در آخرین مراحل قابلیت خدمت رسانی و قبل از احتمال فروریزش به صورت خودکار اعلام گردد .

۴- بعد از رخداد زلزله؛

- توسط سیستم های پایش سلامت سازه ای می توان بعد از رخداد زلزله به طور خودکار به محل و میزان آسیب های ایجاد شده در سازه دست پیدا کرد که این امر زمان توقف بهره بردای از سازه را به دلیل انجام عملیات بازسازی و بهسازی، به طرز چشمگیری کاهش می دهد.

موارد یاد شده اهمیت پایش سلامت سازه و تشخیص آسیب در همان مراحل ابتدائی تشکیل آسیب، و جلوگیری از گسترش آن و نهایتا وقوع یک رخداد را بیش از پیش آشکار می کند.

بر اساس شیوهی کلاسیک و قدیمی، بررسی وضعیت سازه با استفاده از بازبینی چشمی توسط یک متخصص انجام

می شود که این مسئله چند ضعف عمده دارد:

- ۱- به صورت ذاتی طبیعتا خطای این روش بالا می باشد.
- ۲- پوشیده بودن اجزای اصلی و همینطور اتصالات سازه و همچنین بخش های داخلی سازه یکی دیگر از مشکلات بازرسی چشمی است. بسیاری از خرابی ها از بخش های داخل المان ها آغاز می شود که با چشم قابل رویت نمی باشد.
- ۳- امکان دسترسی به بسیاری از بخش های برخی از سازه ها به طور کلی وجود ندارد.
- ۴- امکان سنجش عملکرد بعضی از المان ها در سازه به صورت بازرسی های سنتی وجود ندارد که عملا طیف گسترده و بسیار تاثیرگذار از المان ها را شامل می شوند.

بر این اساس روش های ارزیابی غیرمخرب به وجود آمد. ارزیابی غیرمخرب وضعیت سلامت سازه ها موضوع علم نوین پایش سلامت سازه هاست. این ارزیابی معمولا سه هدف عمده را مد نظر قرار می دهد:

۱ - پایش سلامت سازه ای به عنوان فراهم کننده ی اطلاعات مورد نیاز در بحث ترمیم و مقاوم سازی سازه ها. در این مورد علاوه بر تعیین موقعیت مکانی آسیب ها و نیز شدت آنها می توان هزینه ی ترمیم و مقاوم سازی و نیز مدت زمان لازم برای انجام عملیات ترمیم و مقاوم سازی را نیز برآورد نمود.

۲ - ابزاری به جهت برآورد و تخمین باقیمانده ی عمر مفید سازه؛ دانستن باقیمانده ی عمر سازه می تواند منجر به اخذ تصمیم درست در قبال سازه از طرف مالک، بیمه گذار و ... گردد.

۳ - ابزاری به جهت اعلام هشدار قبل از خرابی سازه و نیز تعیین مسیرهای فرار و نقاط امن سازه در مواقع بحرانی مانند جنگ، زلزله (کاهش تلفات پس لرزه ها)، بادهای شدید و

به طور کلی روش های انجام ارزیابی غیرمخرب در گذشته بیشتر به صورت روش های تست محلی بوده است. این روش ها عبارتند از:

الف) روش های آکوستیک و اولتراسونیک.

ب) روش های میدان مغناطیسی.

پ) رادیوگرافی.

ت) روش های جریان ادی.

ث) روش های میدان حرارتی.

روش های فوق دارای چند ضعف و ایراد عمده می باشند:

۱ - برای استفاده از این روش ها باید محدوده مکان آسیب از قبل مشخص باشد چرا که انجام تست موضعی بر روی کل یک سازه عملا امکان پذیر نمی باشد.

۲ - محدوده مورد نظر باید حتما قابل دسترسی باشد. همانگونه که قبلا دیدیم در بسیاری از مواقع دسترسی به بخش های مختلفی از سازه امکان پذیر نمی باشد.

۳ - در اغلب موارد لازم است که بهره برداری از سازه برای مدتی متوقف گردد تا بررسی ها و تست های لازم انجام گردد. این مسئله در بسیاری از موارد امکان پذیر نمی باشد و یا اینکه ممکن است خسارت های مالی به بار آورد.

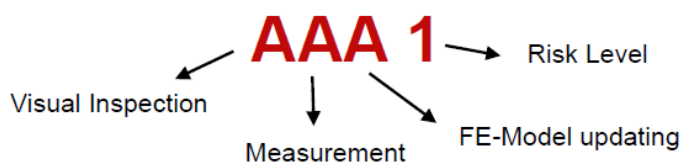
۴ - ارزیابی با این روش ها معمولا بسیار زمان بر و پرهزینه است.

با توجه به ایرادات ذکر شده، امروزه انجام تمام عملیات پایش سلامت سازه با این روش ها محدود به سازه های کوچک و نیز آسیب یابی در سطوح قابل دسترسی (خارجی) سازه ها می گردد. البته به عنوان مکمل پایش سلامت در برخی موارد از روش های ذکر شده استفاده می شود. با توجه به تمام موارد ذکر شده نیاز به روشی که بتواند در کنار دقت بالا با هزینه کم از لحاظ مالی و زمانی قابل اجرا باشد وجود داشته است. بر این اساس روش های پایش سلامت بر مبنای اطلاعات لرزه ای سازه توسعه داده شده اند. در این روش ها از نکته زیر استفاده می شود:

هر آسبایی در سازه منجر به تغییر در مشخصات فیزیکی سازه (جرم، سختی و میرایی) می گردد؛ این مسئله منجر به تغییر در ویژگی های دینامیکی (فرکانس مودها، بردار شکل مودها، میرایی مودها، توابع انتقال، پاسخ سازه و ...) سازه خواهد شد.

امروزه پروژه های بسیاری در زمینه ی پایش سلامت پل ها، سدها و ساختمان ها در دنیا با استفاده از اطلاعات لرزه ای انجام می گردد؛ در واقع در حال حاضر قریب به اتفاق پروژه های بزرگ که عملیات پایش سلامت کلی (و نه موضعی در مکانی خاص) بر روی آنها انجام می گردد از پایش سلامت بر مبنای اطلاعات لرزه ای استفاده می نمایند. در شکل زیر نمونه ای از خروجی نرم افزار پایش سلامت جهت اعلام وضعیت سازه نمایش داده شده است.

Classification and Bridge Rating



Risk Level		What to do
Low	Info	Regular operation
Moderate	Info	Long term action
Considerable	Show Development	Mid term action
High	Demonstrate Risk	Immediate action
Extreme	Show Default	Automatic Alert, ACTION

Risk Level / BRIMOS Rating

Considerable ▼

visual (subjective)	BRIMOS software	FE model update
A	A	C

Risk Level
Low
Moderate
Considerable
High
Extreme

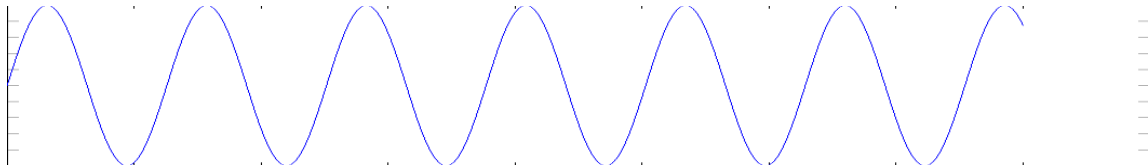
Categories:

- Category A: good condition
- Category B: good condition with local damage
- Category C: problematic condition

مراحل کلی پایش سلامت سازه‌ای بر مبنای اطلاعات لرزه‌ای

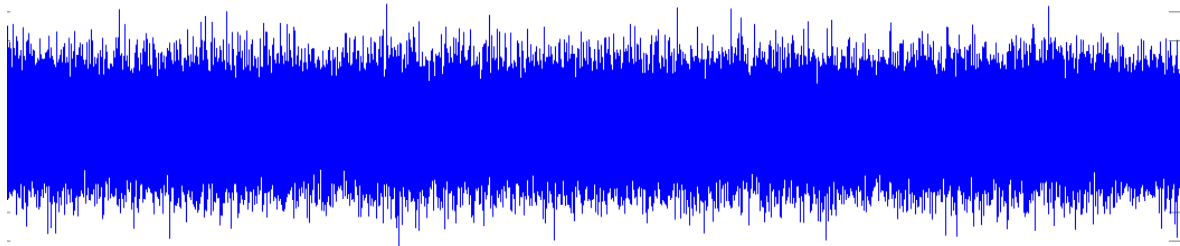
۱- جمع‌آوری پاسخ سازه

الف) پاسخ سازه در اثر یک ارتعاش اجباری جمع‌آوری می‌گردد. به عنوان مثال یک تحریک هارمونیک با فرکانس و دامنه‌ی مشخص توسط دستگاه‌هایی که بدین منظور ساخته شده‌اند و یا توسط انسان به سازه اعمال می‌گردد...



شکل ۱۶- ارتعاش اجباری

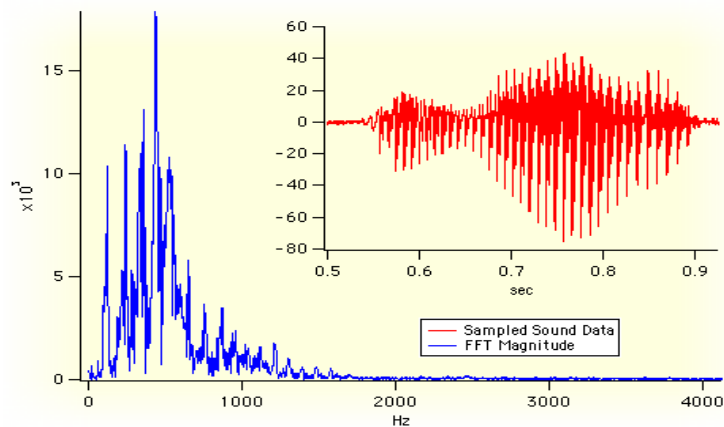
ب) پاسخ سازه تحت ارتعاش محیطی که در هر محل با توجه به اثر باد، عبور ترافیک، انسان، لرزش طبیعی زمین، حرکت قطارهای زیرزمینی مترو و ... به طور ذاتی و طبیعی وجود دارد جمع‌آوری می‌شود.



شکل ۱۷- ارتعاش محیطی

۲- استخراج اطلاعات مورد نیاز از پاسخ سازه.

در این مرحله پارامترهای سازه از قبیل فرکانس‌های مودی کلی و محلی، نسبت‌های میرایی مودی کلی، بردارهای شکل مودی و ... استخراج می‌شوند.



شکل ۱۸- استخراج اطلاعات

۳- تحلیل و پردازش اطلاعات سازه.

در این مرحله یا به صورت مستقیم بر روی اطلاعات مرحله ۱ و یا بر روی اطلاعات مرحله ۲ با استفاده از الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای مختلف پردازش انجام می‌شود و در پایان این مرحله وضعیت سلامت و یا عدم سلامت و همچنین نقاط احتمالی آسیب‌دیده مشخص می‌گردد.

ساختمان های بلند - اثر باد بر روی ساختمان های بلند

مهندسی سازه با توجه به محدودیت های آن

در دهه گذشته ساخت و ساز ساختمان های بلند به شدت افزایش یافته است. شهر فرانکفورت یک نمونه نمایان از توسعه آسمان خراش ها می باشد. در این میان مدیران و برنامه ریزان شهری حد ۳۰۰ متر را برای ارتفاع ساختمان در شهر تعیین کرده اند. جدا از مشکلات اجتماعی و اقتصادی ناشی از این تغییرات، مهندسان سازه نیز در مواجهه با موانع و نگرانی های زیر در مورد ساخت و ساز و رفتار دینامیکی ساختمان در ارتفاع های بلند، قرار خواهند گرفت:

- آیین نامه های موجود طراحی ساختمان در برابر باد در حال حاضر برای ساختمان ها با حداکثر ارتفاع ۲۰۰ متر می باشند که ممکن است به نتایج تحلیل خوبی نیانجامد.
- بادها و طوفان های شدیدی که در سال های گذشته اتفاق افتاد که ممکن است خود به دلیل تغییرات آب و هوای جهانی نیز باشد باعث وارد آمدن آسیب های جدی به ساختمان ها شده است.
- فشار اقتصادی اعمال شده به پروژه که خود به دلیل تفکر BOT (قرارداد ساخت، بهره برداری و واگذاری) و ایجاد حداکثر راندمان اقتصادی است، منجر به ساخت و ساز ساختمان های مرتفع و باریک شده است. این نوع برج ها بیشتر در معرض بارهای باد خواهند بود که باعث ایجاد مشکلاتی نظیر "لرزش های قابل توجه" شده است.
- اثرات دینامیکی متقابلی که ساختمان های بلند در مجاورت یکدیگر بر روی هم ایجاد می کند به طرز مطلوبی مطالعه نشده است. تاثیر این گونه رفتارهای پناهگاهی که باعث افزایش و کاهش بار باد به دلیل ماهیت دینامیکی باد می شود، فقط به صورت ابتدایی مطالعه شده است.

ارائه خدمات "پایش سلامت سازه ها" (Structural Health Monitoring)

شرکت پارت سازه با دارا بودن اعضای هیئت علمی متخصص هم اکنون تکنولوژی پایش سلامت سازه ها را در کشور بومی سازی کرده است و همچنین جهت کسب تجربه های عملی جهانی در این زمینه، به عنوان نماینده انحصاری شرکت VCE اتریش (www.vce.at) از تجربیات آن همکار نیز بهره گرفته است. شرکت VCE با اجرای بیش از ۶۰۰۰ پروژه در ۶۹ کشور دنیا، جزو معدود شرکت های دارای فناوری پیشرفته "پایش سلامت سازه ها" در دنیا شناخته شده است. شرکت پارت سازه آمادگی دارد با استفاده از حسگرهای بسیار دقیق و انجام عملیات ارزیابی غیرمخرب بر روی کلیه سازه ها اعم از پل ها، ساختمان های مهم (بیمارستان ها، هتل ها، مراکز مدیریت بحران، استادیوم و سالن های ورزشی، مراکز خرید بزرگ و...)، نیروگاه ها و سازه های حساس نظامی و غیرنظامی، نسبت به تهیه و ارائه اطلاعات ذیل به کارفرمایان محترم اقدام نماید :

۱. بررسی و ارزیابی مداوم وضعیت سلامت سازه بصورت خودکار و دائمی بدون نیاز به توقف در بهره برداری
۲. قابل ارائه برای سازه های نوساز و قدیمی (با یا بدون داشتن اطلاعات پیشین سازه)
۳. شناسایی و تعیین سریع و بهنگام نقاط آسیب موجود در سازه (محل و درصد آسیب) که توسط بازرسی های چشمی قابل رویت نیستند و در نتیجه امکان جلوگیری از انتشار و گسترش آسیب
۴. مشخص نمودن امن بودن یا نبودن کلی سازه بعد از وارد آمدن نیروهای شدید بر سازه بصورت خودکار
۵. اعلام هشدار قبل از خرابی سازه در مواقع بحرانی مانند جنگ، زلزله (کاهش تلفات پس لرزه ها)، بادهای شدید و ...
۶. برآورد و تخمین باقیمانده ای عمر مفید سازه
۷. به روزرسانی مدل المان محدود سازه به جهت ایجاد تطابق با سازه ی واقعی، که باعث ارائه ی طرح های موثرتری در فرایند مقاوم سازی یا بهسازی می گردد
۸. ارائه طرح های مقاوم سازی و بررسی میزان تاثیر گذاری طرح های مقاوم سازی بر روی سازه ی واقعی بعد از مقاوم سازی

۱۱- نگرانی های کارفرمایان و تیم های نگهداری از سلامت سازه و اهداف پایش و راهکارها

می توان نگرانی های کارفرمایان و طراحان پروژه را در موارد زیر خلاصه کرد:

- ۱- اثر رخداد های لرزه ای بر سازه و آیا در اثر این رخداد سازه مورد نظر دچار آسیب شده است ؟
 - ۲- آیا سازه در طول زمان بهره برداری و به مرور زمان دچار آسیب های ناشی از بارگذاری های نامتعارف، شرایط آب و هوایی و باد، لرزش های دینامیکی ناشی از زلزله، انفجار یا عبور ماشین آلات سنگین، عبور خطوط مترو و ... شده است ؟
 - ۳- آیا سازه بلافاصله بعد از رخداد زلزله دچار آسیب شده است و قابلیت ادامه به بهره برداری دارد یا نیازمند اعلام سریع هشدار تخلیه به ساکنین می باشد؟
 - ۴- بعد از رخداد زلزله اعضای آسیب دیده سازه کجا و این آسیب ها به چه میزان هستند؟ در صورت دانستن این موضوع کمترین زمان در مراحل بهسازی و نهایتا توقف بهره برداری از سازه صرف خواهد گردید.
 - ۵- آیا مشخصات استاتیکی و دینامیکی مصالح مورد استفاده در ساخت سازه و پیش فرض های طراحی یکسان هستند؟
 - ۶- آیا سامانه ای برای اعلام دائمی و برخط وضعیت سلامت سازه به کارفرما و تیم های نگهداری از سازه وجود دارد؟
- تمام سوالات و نگرانی های فوق الذکر توسط سیستم های پایش سلامت سازه ای پاسخ داده می شود.

جدول زیر به طور خلاصه مراحل پایش یک سازه و روش های انجام آن را توضیح میدهد.

انی های وجود	هنگام	نوع	نتیجه	راهکار	تجهیزات مورد نیاز	تفسیر
۱	ساخت	مشخصات مصالح به کار رفته و تطابق آن با سازه طراحی کنترل گردد.	باعث تفاوت در مفروضات طراحی و واقعیت های موجود می گردد که خود باعث عملکرد متفاوت سازه واقعی و سازه طراحی حین بارگذاری های وارده میگردد.	۱- آزمون های استاتیکی و مقاومت مصالح ۲- آزمون های دینامیکی ۳- کالیبراسیون مدل ۴- آزمون های مکانیک خاک ۵- آزمون های چشمی ۶- آزمون های نقشه برداری ۷- تجهیزات پایش موقعیت و مختصات ۸- پایش تغییر مکان مطلق و نسبی ۹- پایش کرنش ۱۰- پایش ترک ۱۱- پایش دما و رطوبت ۱۲- پایش دینامیکی ۱۳- Model Updating	LVDT DCDT لیزر لودسل شتاب سنج تعادلی GPS دوربین فیلم برداری تئودولیت کرنش سنج حسگرهای محیطی	۱- تحلیل اثرات محیطی ۲- شناسایی آسیب (وجود، محل، نوع، مقدار) ۳- توسعه مدل زوال (خستگی) ۴- اثر بار نامتعرف ۵- سطوح هشدار و رواداری مجاز ۶- پیش بینی عمر باقیمانده
		مشخصات اتصالات و تکیه گاه ها و شرایط مرزی و تطابق آن با سازه طراحی کنترل گردد.				
		مشخصات فنداسیون و خاک زیر پی و تطابق آن با سازه طراحی کنترل گردد.				
		مشخصات هندسی مقاطع و تطابق آن با سازه طراحی کنترل گردد.				
۲	بهره برداری	وقوع پدیده خستگی در اثر بارهای دائمی دینامیکی و شبه دینامیکی	باعث بروز آسیب و در نهایت وقوع رخداد می شود	۱- آزمون های استاتیکی و مقاومت مصالح ۲- آزمون های دینامیکی ۳- کالیبراسیون مدل ۴- آزمون های مکانیک خاک ۵- آزمون های چشمی ۶- آزمون های نقشه برداری ۷- تجهیزات پایش موقعیت و مختصات ۸- پایش تغییر مکان مطلق و نسبی ۹- پایش کرنش ۱۰- پایش ترک ۱۱- پایش دما و رطوبت ۱۲- پایش دینامیکی ۱۳- Model Updating	LVDT DCDT لیزر لودسل شتاب سنج تعادلی GPS دوربین فیلم برداری تئودولیت کرنش سنج حسگرهای محیطی	۱- تحلیل اثرات محیطی ۲- شناسایی آسیب (وجود، محل، نوع، مقدار) ۳- توسعه مدل زوال (خستگی) ۴- اثر بار نامتعرف ۵- سطوح هشدار و رواداری مجاز ۶- پیش بینی عمر باقیمانده
		اعمال بارهای بزرگتر از بارهای طراحی مانند وقوع بادها شدید یا بارهای زنده در اثر تجمعات بیشتر از ظرفیت طراحی				
		وقوع پدیده هایی نظیر زلزله یا انفجار				
۴	زلزله	سپری شدن زمان و عمر مفید سازه که آسیب ها بسیار پنهانی در سازه ایجاد میکنند.	عدم اطلاع به موقع به ساکنین جهت تخلیه یا اسکان در سازه حین زلزله یا حین پس لرزه ها و بعد از آن	۱- آزمون های استاتیکی و مقاومت مصالح ۲- آزمون های دینامیکی ۳- کالیبراسیون مدل ۴- آزمون های مکانیک خاک ۵- آزمون های چشمی ۶- آزمون های نقشه برداری ۷- تجهیزات پایش موقعیت و مختصات ۸- پایش تغییر مکان مطلق و نسبی ۹- پایش کرنش ۱۰- پایش ترک ۱۱- پایش دما و رطوبت ۱۲- پایش دینامیکی ۱۳- Model Updating	LVDT DCDT لیزر لودسل شتاب سنج تعادلی GPS دوربین فیلم برداری تئودولیت کرنش سنج حسگرهای محیطی	۱- تحلیل اثرات محیطی ۲- شناسایی آسیب (وجود، محل، نوع، مقدار) ۳- توسعه مدل زوال (خستگی) ۴- اثر بار نامتعرف ۵- سطوح هشدار و رواداری مجاز ۶- پیش بینی عمر باقیمانده
		امن بودن یا امن نبودن کلی و ناحیه ای سازه				
۵	بعد از زلزله	مشخص نمودن نوع آسیب و محل و درصد آن جهت ترمیم یا مقاوم سازی	کاهش زمان و هزینه های مقاوم سازی و افزایش دقت آن	۱- آزمون های استاتیکی و مقاومت مصالح ۲- آزمون های دینامیکی ۳- کالیبراسیون مدل ۴- آزمون های مکانیک خاک ۵- آزمون های چشمی ۶- آزمون های نقشه برداری ۷- تجهیزات پایش موقعیت و مختصات ۸- پایش تغییر مکان مطلق و نسبی ۹- پایش کرنش ۱۰- پایش ترک ۱۱- پایش دما و رطوبت ۱۲- پایش دینامیکی ۱۳- Model Updating	LVDT DCDT لیزر لودسل شتاب سنج تعادلی GPS دوربین فیلم برداری تئودولیت کرنش سنج حسگرهای محیطی	۱- تحلیل اثرات محیطی ۲- شناسایی آسیب (وجود، محل، نوع، مقدار) ۳- توسعه مدل زوال (خستگی) ۴- اثر بار نامتعرف ۵- سطوح هشدار و رواداری مجاز ۶- پیش بینی عمر باقیمانده
		مدل به روز شده المان محدود جهت انجام فرآیند مقاوم سازی				