وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

تشخیص خرابی در سازه های خرپای به کمک اندازه گیری های استاتیکی کرنش

استاد راهنما :

آقای دکتر محمد قاسم سحاب

دانشجو :

شراره شیرزاد

پاییز ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به

پدر و مادر عزیزتر از جانم

که درس زندگی و محبت به من آموختند.

با سپاس فراوان از

استاد ارجمندم **جناب آقای دکتر محمد قاسم سحاب**

که با راهنمایی‌های خود مرا در انجام این پروژه یاری نمودند.

چکیده :

با توجه به اهمیت تشخیص خرابی در سازه ها ، در این پایان نامه سعی شده است تا روش استاتیکی اندازه گیری کرنش برای تشخیص خرابی در سازه های خرپایی مورد بررسی ، بسط و توسعه قرار گیرد. در این روش سعی شده است تا به کمک مینیمم سازی تابع خطا و پروسه تکرار پذیر پارامترهای مجهول سازه خرپایی شناسایی شوند. اندازه گیری های استاتیکی کرنش المان ها بعنوان اطلاعات ورودی برای الگوریتم تشخیص خرابی استفاده می شود. تحت مجموعه ای از بارگذاری ها ، کرنش های المان ها اندازه گیری می شود و تابع خطا از تفاضل کرنش های تحلیلی با کرنش های اندازه گیری شده، تشکیل می شود. برای حل مسئله از مینیمم سازی تابع خطا و پروسه تکرارپذیر استفاده می شود که در نهایت پارامترهای واقعی اعضای خرپا تعیین می شوند. از مقایسه پارامترهای واقعی محاسبه شده با مقادیر مفروض ، اعضایی که مشخصات هندسی آن ها در اثر خرابی تغییر نموده است ، مشخص می گردند. شایان ذکر است که در صورت وجود خطا در اندازه گیری ها ، انتخاب مجموعه ای که بارگذاری در آن انجام شود در تعیین دقت پارامترهای سختی نقش بسزایی دارد. تاثیرعوامل مختلف مانند معینی و نامعینی سازه ، خطای مونتاژ و شل بودن اتصالات ، میزان دقت تغییر شکل هندسی سازه بر روی نتیجه برنامه نیز مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. برای تشخیص طول واقعی المان ها در صورت وجود خطای مونتاژ از به هنگام کردن طول المان ها در پروسه تکرار پذیر می توان استفاده نمود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

۱-۱ لزوم و اهمیت تشخیص خرابی در سازه ها..... ۱

۱-۲ شرح موضوع بررسی شده در این پایان نامه..... ۱۸

۱-۳ مروری بر فصول مختلف پایان نامه..... ۱۹

فصل دوم : بررسی روش های تشخیص خرابی

۲-۱ آشکار سازی سلامت سازه..... ۲۱

۲-۲ روش های تشخیص خرابی..... ۲۷

۲-۳ روش تشخیص خرابی دینامیکی..... ۲۹

۲-۴ روش تشخیص خرابی استاتیکی..... ۳۰

۲-۴-۱ روش اندازه گیری جابجایی..... ۳۸

۲-۴-۲ روش اندازه گیری کرنش..... ۴۰

۲-۵ مروری بر روش های بکار گرفته شده در الگوریتم های تشخیص خرابی ۴۲

۲-۶ بررسی مشخصات ابزار اندازه گیری در روش های استاتیکی تشخیص خرابی..... ۴۴

۲-۶-۱ ابزارهای اندازه گیری کرنش ۴۵

۲-۶-۲ ابزارهای اندازه گیری تنش ۴۶

۲-۶-۳ ابزارهای اندازه گیری بار ۴۶

فصل سوم : رابطه سازی ریاضی و برنامه نویسی کامپیوتری جهت تشخیصص خرابی در سازه های خرپایی

۳-۱ بیان مسئله ۴۷

۳-۲ رابطه سازی ریاضی..... ۴۷
۳-۲-۱ رابطه جابجایی-کرنش..... ۴۷
۳-۲-۲ روابط سازی برای تشخیص پارامتر..... ۵۱
۳-۲-۳ تابع خطا و ماتریس حساسیت ۵۲
۳-۲-۴ مینیمم کردن تابع خطا..... ۵۳
۳-۲-۵ تکنیک حل $\{\Delta P\}$..... ۵۴
۳-۲-۶ حل پارامترها..... ۵۵
۳-۳ برنامه نویسی و فلوچارت برنامه..... ۵۶
۳-۳-۱ فلوچارت برنامه..... ۵۶
۳-۳-۲ مراحل اجرای برنامه..... ۶۲
فصل چهارم : بکارگیری برنامه کامپیوتری جهت تشخیص خرابی در سازه نمونه و بررسی صحت عملکرد آن
۴-۱ خرپای دو بعدی..... ۷۵
۴-۲ خرپای سه بعدی..... ۸۱
۴-۳ خرپای دو بعدی پل ۸۵
۴-۴ خرپای ساده برای بررسی تاثیر دقت تعریف هندسه سازه و خطای مونتاژ..... ۹۱
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهاد برای کارهای آینده
..... ۹۶
فهرست منابع
..... ۹۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

جدول ۱-۱ تعداد حوادث اتفاق افتاده در ۱۰۰۰ سکو..... ۱۴

فصل دوم : بررسی روش های تشخیص خرابی

جدول ۲-۱ کارهای صورت گرفته در زمینه تشخیص خرابی به روش استاتیکی..... ۳۴

فصل چهارم : بکارگیری برنامه کامپیوتری جهت تشخیص خرابی در سازه نمونه و بررسی صحت عملکرد آن

جدول ۴- ۱ تشخیص پارامتر خرپای دو بعدی ۸۰

جدول ۴- ۲ نتایج تشخیص پارامتر خرپای دو بعدی ۸۱

جدول ۴- ۳ تشخیص پارامتر خرپای سه بعدی ۸۳

جدول ۴- ۴ نتایج تشخیص پارامتر خرپای سه بعدی ۸۳

جدول ۴- ۵ تشخیص پارامتر خرپای دو بعدی پل ۸۸

جدول ۴- ۶ نتایج تشخیص پارامتر خرپای دو بعدی پل ۸۸

جدول ۴- ۷ نتایج تشخیص پارامتر خرپای نامعین دو بعدی پل (۱) ۹۰

جدول ۴- ۸ نتایج تشخیص پارامتر خرپای نامعین دو بعدی پل (۳) ۹۱

جدول ۴- ۹ تاثیر وجود خطا در مختصات گره ۲ در جهت x ۹۲

جدول ۴- ۱۰ تاثیر وجود خطا در مختصات گره ۲ در جهت y ۹۳

جدول ۴-۱۱ تاثیر وجود خطا در مختصات گره ۲ در جهت x و y ۹۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

شکل ۱-۱ تعداد پل های ساخته شده در سوئد بر حسب سال ساخت آنها..... ۴

شکل ۱-۲ بررسی و آزمایش پل خرپایی فولادی در قرن ۱۹ ام (۳)..... ۵

شکل ۱-۳ خرابی های عمومی که ممکن است در یک پل رخ دهد (۳) ۵

شکل ۱-۴ استفاده از خرپا در برج های مخابراتی (۴)..... ۶

شکل ۱-۵ نمونه هایی از استفاده از خرپا در پل ها – (الف) پل ماربل فورک در پارک ملی سکویا در کالیفرنیا ، (ب) پل Homestead در پیتزبورگ پنسیلوانیا ، (ج) پل رودخانه ویند در محله فرمونت WY ، (د) پل راه آهن Boston & Maine بر روی رودخانه کانکتیکوتدر شمال آمپتونMA (۴)..... ۷

شکل ۱-۶ نمونه ای از کاربرد خرپا در جرثقیل..... ۸

شکل ۱-۷ سه نمونه از خرپاهایی که در سقف بکار می روند و نمونه ای از خرپا در سقف ترمینال فرودگاه فرانسه(۴)..... ۸

شکل ۱-۸ نمونه ای از استفاده از خرپا در برج های خنک کننده (۴) ۹

شکل ۱-۹ استفاده از خرپا در سکوی نفتی (۹)..... ۹

شکل ۱-۱۰ نمونه ای از استفاده از خرپا (برج ایفل) (۴)..... ۹

شکل ۱-۱۱ پل I-35W قبل از خرابی (۷) ۱۱

شکل ۱-۱۲ تصاویری از پلTAY قبل و بعد از خرابی (۷) ۱۱

شکل ۱-۱۳ تصاویری از پلSung-soo بعد از خرابی (۷) ۱۲

شکل ۱-۱۴ خرابی سکوی Alexander Kielland بدلیل شکست خستگی در ستونD (۱۰)..... ۱۵

شکل ۱-۱۵ خرابی سکوی ocean ranger ، Piper alpha ، P-36 ،برخورد زیردریایی با سکوی Osberg B ، خرابی سکوی Thunder hourse(۹)..... ۱۶

شکل ۱-۱۶ الف-سکوی ZJ20-2MUQ ب-سنسورهای نصب شده ب روی سکو ج-مقایسه آن لاین اطلاعات بدست آمده با حالت مجاز د-گزارشات نهایی(۱۱).....۱۷

فصل دوم : بررسی روش های تشخیص خرابی

شکل ۲-۱ فواید اقتصادی استفاده از آشکارسازی سلامت سازه ۲۳

شکل ۲-۲ مقایسه بدن انسان با سیستم آشکارسازی سلامت سازه ۲۳

شکل ۲-۳ تقسیم بندی روش های تشخیص خرابی ۲۸

شکل ۲-۴ ساختار کلی یک شبکه عصبی ۴۴

شکل ۲-۵ مدار پل ویتسن ۴۶

فصل سوم : رابطه سازی ریاضی و برنامه نویسی کامپیوتری جهت تشخیص خرابی در سازه های خرپایی

شکل ۳-۱ عضو خرپایی ۵۰

شکل ۳-۲ کسینوس های هادی ۵۰

شکل ۳-۳ سازه ساده نمونه ۶۲

فصل چهارم : بکارگیری برنامه کامپیوتری جهت تشخیص خرابی در سازه نمونه و بررسی صحت عملکرد آن

شکل ۴-۱ خرپای دوبعدی نمونه ۷۷

شکل ۴-۲ خرپای سه بعدی نمونه ۸۲

شکل ۴-۳ خرپای دوبعدی نمونه پل ۸۵

شکل ۴-۴ خرپای نامعین دوبعدی نمونه پل (۱) ۸۹

شکل ۴-۵ خرپای نامعین دوبعدی نمونه پل (۲) ۹۰

شکل ۴-۶ خرپای نامعین دوبعدی نمونه پل (۳) ۹۱

شکل ۴-۷ خرپای ساده ۹۲

شکل ۴-۸ بررسی تاثیر خطای مونتاژ در تشخیص خرابی خرپای ساده دو بعدی ۹۴

فهرست علائم و اختصارات

SHM : آشکارسازی سلامت سازه

ε_n : کرنش در المان n ام

$[\varepsilon]$: ماتریس کرنش های سازه (NS×NSF)

$[\varepsilon a]$: ماتریس کرنش های اندازه گیری شده سازه (NMS×NSF)

$[\varepsilon b]$: ماتریس کرنش های اندازه گیری نشده سازه (NS-NMS×NSF)

$[\varepsilon a]a$: ماتریس کرنش های اندازه گیری شده که بصورت تحلیلی محاسبه شده اند (NMS×NSF)

$[\varepsilon a]m$: ماتریس کرنش های اندازه گیری شده که در آزمایشگاه اندازه گیری شده اند (NMS×NSF)

ΔL_n : تغییر طول المان n ام

$\{B_n\}$: بردار نگاشت المان n ام

$[B]$: ماتریس نگاشت (NEL×NDOF)

$[Ba]$: زیرماتریس نگاشت (NMS×NDOF)

CN : عدد شرطی

DOF : تعداد درجات آزادی سازه

$[e(p)]$: ماتریس تابع خطا (NMS×NSF)

$\{e(p)\}$: بردار تابع خطا (NM×1)

$\{F\}$: بردار نیروهای اعمال شده (NDOF×1)

$[F]$: ماتریس نیروهای اعمال شده (NDOF×NSF)

$[F_a]^m$: نیروهای اندازه گیری شده که توسط اندازه گیری در آزمایشگاه بدست می آید

FDOF : درجات آزادی که در آن نیرو اعمال شده است

i : گره ابتدا یک المان

j : گره انتهای یک المان

$J(p)$: تابع اسکالر خطا

k : شماره مشاهده

$[K]$: ماتریس شختی کلی (NDOF×NDOF)

$[K(p)]$: ماتریس سختی تابعی از پارامترهای مجهول

L_n : طول المان n ام

n : شماره المان

NDOF : تعداد کل درجات آزادی سازه

NEL : تعداد المان های سازه

NM : تعداد کل اندازه گیری ها (NMS*NSF)

NMS : تعداد کرنش های اندازه گیری شده

NS : تعداد کرنش های موجود در مدل (=NELE)

NSF : تعداد مجموعه های نیروهای اعمال شده

NUP : تعداد پارامترهای ناشناخته

NUS : تعداد کرنش های اندازه گیری نشده

P_j : مقدار پارامتر j ام

$P_{j,k}$: مقدار مشاهده k ام پارامتر j ام

$\{P\}$: بردار پرارامترهای تخمین زده شده

$\{p_i\}$: بردار مقادیر اولیه پارامترها

$\{p_t\}$: بردار مقادیر واقعی پارارمترها

$\{S(p_j)\}$: بردار ضرایب حساسیت

$[S(p_j)]$: ماتریس ضرایب حساسیت

$[S(p)]$: ماتریس حساسیت

$\{U\}$: بردار جابجایی ها

UP : پارامترهای ناشناخته

u_i : جابجایی در گره i ام در سیستم مختصات کلی X

v_i : جابجایی در گره i ام در سیستم مختصات کلی Y

$\bar{u}_i$: جابجایی در گره i ام در سیستم مختصات محلی X

$\bar{V}_i$: جابجایی در گره i ام در سیستم مختصات محلی

فصل اول

مقدمه

۱-۱ لزوم و اهمیت تشخیص خرابی در سازه ها

خرابی به عنوان هر نوع تغییری منفی در ماده یا خواص هندسی سیستم ها ، در نظر گرفته می شود که همراه با تغییراتی در شرایط مرزی و پیوستگی سیستم می باشد. خرابی بر روی کارایی سیستم تاثیر نامطلوب می گذارد و ممکن است باعث کاهش سطح ایمنی سلامت سازه شده و یا منجر به جواب های دینامیکی ناخواسته ای در سازه گردد. خرابی ممکن است در سطوح مختلف در طول عمر مفید سازه رخ دهد. در اکثر حالات خرابی به عنوان تغییرات تعریف شده در یک سیستم که می تواند اثر نامطلوبی بر کارایی کنونی یا آتی سازه داشته باشد ، بیان می شود. از این تعریف استنباط می شود که تشخیص خرابی از مقایسه رفتار دو حالت سیستم ، که یکی مربوط به حالت اولیه و سیستم سالم است با حالت دیگر که سیستم خراب است ، میسر می گردد . تعریف خرابی به تغییرات در ماده یا خواص هندسی سیستم ، همچنین تغییر در شرایط مرزی و اتصالات سیستم مربوط می شود.

خرابی الزاما کاهش کلی در کارایی سیستم را ایجاب نمی کند ، لیکن ممکن است موجب شود که سیستم دیگر در حالت بهینه عمل ننماید. با رشد خرابی به نقطه ای می رسیم که تغییرات قابل توجهی در کارایی سیستم ظاهر می شود به طوری که سازه قابلیت بهره برداری خود را از دست می دهد. این نقطه به نقطه خرابی[1] سازه موسوم است. در مقیاس زمانی ، خرابی در طی دوره های زمانی طولانی انباشته می شود مانند حالت مربوط به شکست یا سایش. در دوره های زمانی کوتاه تر خرابی می تواند ناشی از اتفاقات گسسته مشخص، مانند فرود هواپیما ، اتفاقات گسسته نامشخص مثل آتش دشمن بر یک وسیله نقلیه نظامی و یا وقایع طبیعی مثل زلزله باشد [۱] .

نگرانی های اصلی که در نحوه عملکرد یک سازه در طول عمر مفید آن وجود دارد، به قابلیت اطمینان سازه و هزینه های مربوط به نگهداری آن سازه برمی‌گردد. خرابی های غیر قابل پیش بینی در سازه ها ممکن است شکست های فاجعه انگیزی را به دنبال داشته باشد که در نتیجه می تواند تهدید بزرگی برای زندگی انسان باشد. اهمیت تشخیص

[1] Failure

خرابی باعث شده است تا تلاش های بسیاری برای دست‌یابی به تکنولوژی دقیق‌تر و کامل‌تر در این زمینه ، ادامه پیدا کند. انتظار می رود که با تلاش ها و تحقیقات انجام شده بتوان راه های موثری برای تشخیص ، تعیین موقعیت ، تعیین شدت و پیش بینی خرابی در مراحل اولیه ممکن به دست آورد.

در حل یک مسئله تشخیص خرابی سعی می شود تا به چهار سوال اساسی جواب داده شود :

- ۱ : تعیین وجود خرابی در سازه
- ۲ : تعیین موقعیت هندسی خرابی
- ۳ : تعیین شدت و میزان خرابی
- ۴ : تخمین عمر مفید باقیمانده سازه

روش‌های سنتی نگهداری سازه معمولا بر اساس ارزیابی های دوره ای که توسط طراحان و سازندگان پیشنهاد می شد، انجام می گرفت. بازرسی ها ، در نقاط خاصی که با توجه به تجربیات گذشته مشخص شده بودند، صورت می‌گرفت. این نتایج معمولا بر اساس بازرسی عینی یا به کمک فن آوری‌هایی مانند روش‌های اکوستیک یا التراسونیک ، رادیوگرافی ، روش‌های میدان مغناطیسی به دست می‌آمد. در روش‌های ذکر شده ، اطلاع اولیه از محل خرابی احتمالی ، برای انجام بازرسی‌ها ضروری می‌باشد. قضاوت شخصی بازرس نیز ممکن است در خروجی‌ها تاثیر به سزایی داشته باشد. این نوع عملیات ، زمان‌بر ، همراه با کار شدید و بسیار هزینه‌بر می‌باشد. نکته مهم دیگری که در این روش‌ها باید در نظر گرفته می‌شد دسترسی مناسب به محل احتمالی خرابی بود. ممکن است در بعضی مواقع نواحی بحرانی غیر قابل دسترس بوده و یا در یک فضای محبوس قرار گرفته باشند.

در نتیجه برای از بین بردن این محدودیت‌ها ، بسیاری از محققین ، تلاش‌های خود را بر روی گسترش روش‌های تشخیص خرابی بر اساس روش‌های دینامیکی و استاتیکی عمومی ارزیابی سلامت سازه متمرکز نمودند. در این روش ها ، تغییر خواص فیزیکی سازه (سختی ، جرم ، میرایی ، سطح مقطع و ممان اینرسی) ، با توجه به خرابی ، خود را بصورت تغییراتی در پارامترهای سازه (پارامترهای مودال ، جابجایی و کرنش) که به وسیله‌ی آزمایش به دست می آیند ، نمایان می کنند. در مراحل بعد با مقایسه پارامترها ، حالت های غیرخراب از حالت‌های خراب تشخیص داده می شود. با توجه به موارد ذکر شده می توان گفت که با انتخاب پارامترهای متفاوت و همچنین روش های تفسیر متفاوت نتایج ، تکنیک های مختلفی برای حل مسئله تشخیص خرابی بدست می آید[۲] .

تعداد سازه‌های عمرانی مانند پل‌ها ، تونل‌ها ، دیوارهای حائل ، سدها و غیره در طی ۳۰ سال اخیر به طرز چشم-گیری افزایش پیدا کرده است ، بخصوص در طی دهه‌های ۵۰ و ۶۰ میلادی که ساخت و ساز با سرعت زیادی افزایش پیدا کرد. در شکل ۱-۱ تعداد پل‌هایی که امروزه در کشور سوئد مورد استفاده قرار می گیرند با توجه به سال ساخت آن ها نشان داده شده است. این پل ها با توجه به استانداردهای مربوط به زمان خود ، ساخته شده‌اند. میزان بار وارده به این سازه‌ها در طی سال‌ها تغییر پیدا کرده است. بعنوان مثال برای پل‌های جاده‌ای که در سوئد ساخته شده اند ، میزان وزن خالص وسائل نقلیه از ۱۵ تن در سال ۱۹۴۰ به ۶۰ تن برای زمان حال رسیده است. برای پل‌هایی که در مسیر راه آهن ساخته می شوند محاسبه میزان افزایش بار در طی این سال‌ها پیچیده تر می باشد ، ولی واضح است بارهای طراحی شده

در پل‌های راه آهن نیز افزایش یافته‌اند. بنابراین می توان گفت که با در نظر گرفتن افزایش تقاضا و عدم نگهداری مناسب از ابرسازه ها، تعداد زیادی از ابرسازه‌های ما امروزه در سطح پایینی از ایمنی در مقایسه با ضوابط آیین نامه‌های طراحی می‌باشند.

با توجه به اینکه بسیاری از سازه‌های عظیم و بزرگ جهان در طی ۴۰ تا ۵۰ سال اخیر ساخته شده اند ، می توان گفت که عمر مفید اکثر این سازه‌ها رو به پایان می باشد. با توجه به اهمیت این سازه‌ها در اجتماع، چه از نظر اقتصادی و چه از نظر جانی، بازرسی ، نگهداری و آشکارسازی سلامت این سازه ها از درجه اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. باید توجه داشت که خرابی و بازسازی این سازه‌ها ، علاوه بر تلفات جانی احتمالی ، هزینه بالاتری نسبت به بازرسی ، نگهداری و تعمیر آن‌ها به همراه خواهد داشت.

آزمایش و بازرسی وضعیت سازه‌هایی نظیر پل‌ها ، سدها و غیره از زمانی که انسان شروع به ساختن سازه‌های بزرگتر نمود آغاز شد (شکل ۱-۲) . آشکارسازی سلامت سازه از صنعت هوا فضا شروع گردید. ایده اصلی تحت نظر داشتن قسمت های حیاتی و گرفتن اخطارهای اولیه در زمان مناسب بود. آشکارسازی سلامت سازه در مهندسی عمران پدیده ای نسبتاً جدید می باشد. البته در سال های اخیر با توجه به پیشرفت های صورت گرفته و کاهش قیمت حسگرها ، استفاده از روش‌های تشخیص خرابی در سازه‌های عمرانی رواج بیشتری پیدا کرده است.

همانطور که گفته شد، با توجه به پارامترهای متفاوت سازه و روش‌های متفاوت تفسیر نتایج ، می توان از روش‌های گوناگونی برای آشکارسازی سلامت سازه استفاده نمود. عواملی زیادی وجود دارد که می تواند در انتخاب روش آشکار سازی سلامت سازه تاثیر گذار باشد. از جمله :

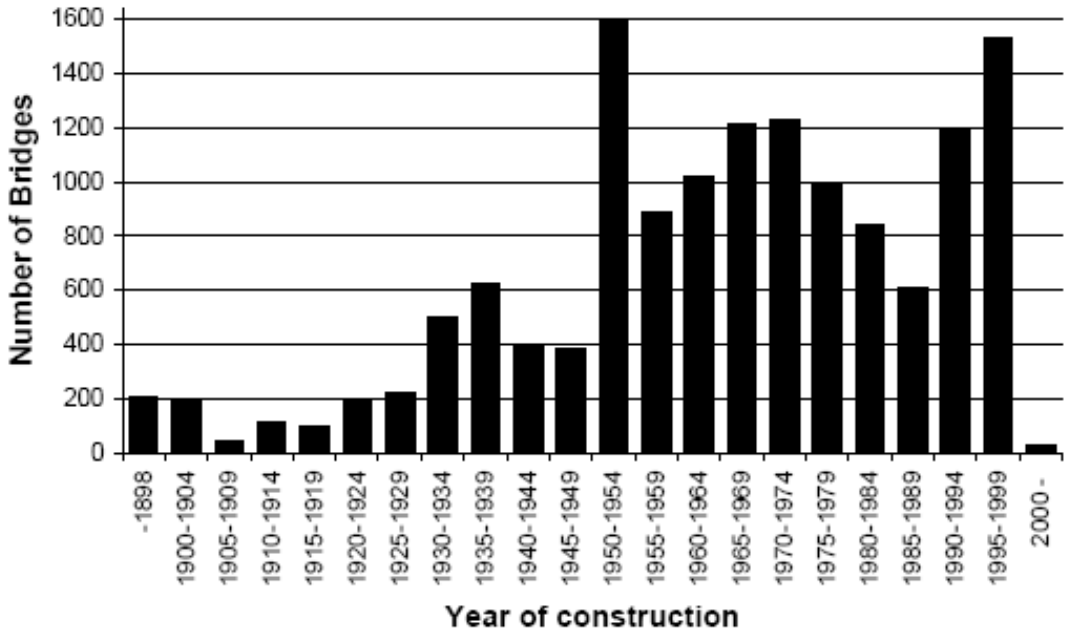
- نوع خرابی که قرار است در سازه مورد بررسی قرار گیرد مانند ترک خوردگی ، نشست ، ساییدگی و غیره
- استراتژی زمان بندی مانند آشکارسازی مداوم یا متناوب
- شرایطی که تحت آن خرابی مورد بررسی قرار می گیرد مانند موضعی یا کلی
- نحوه بارگذاری ، که بار چگونه و کجا اعمال گردد
- روش ارزیابی، در ارزیابی رفتار سازه تحت حالت های مختلف باید مدلی تعریف شود که در آن اطلاعات مربوط به هندسه ، جنس و سایر مشخصات سازه معلوم باشد.

اولین موردی که در انتخاب روش آشکارسازی سلامت سازه باید در ناظر داشت ، نوع خرابی است که می خواهیم در سازه مورد بررسی قرار دهیم. تحت حالت های متفاوت بارگذاری در یک سازه ، خرابی های متفاوتی در آن بوجود می آید. انواع خرابی هایی که ممکن است در یک پل (سازه) تحت حالت های متفاوت بارگذاری بوجود آید در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. برای اینکه بتوان پارامتر مناسب را اندازه گیری نمود ، علت وقوع خرابی (مانند بارهای داخلی یا خارجی) ، باید شناسایی شود. پارامترهایی که می توان اندازه گیری نمود شامل تنش، جابجایی، کرنش و چرخش می-باشد. باید در نظر داشت که پارامترهای محیطی مثل رطوبت ، دما ، باد و .... نیز در وقوع خرابی تاثیرگذار می باشند.

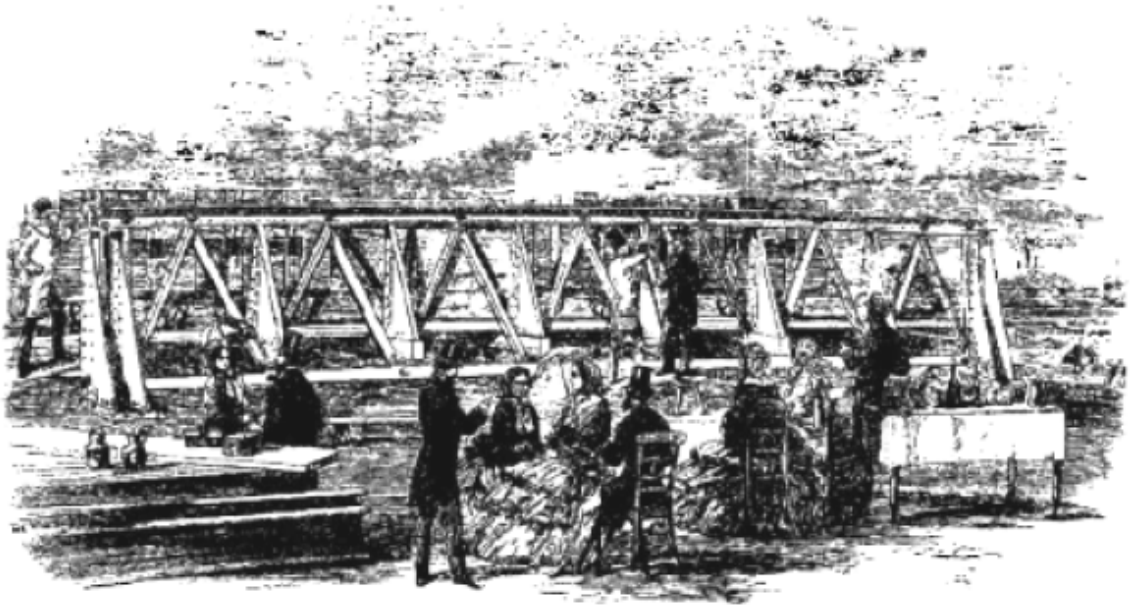
مسئله بعدی در آشکارسازی سلامت سازه ، تعیین طول و تناوب زمان اندازه گیری ها می باشد که با توجه به نوع خرابی انتخاب می شود. زمان اندازه گیری ها می تواند بلند مدت[1] ، کوتاه مدت[2] یا متناوب باشد.

در مرحله بعد باید تعیین شود که خرابی تحت شرایط موضعی مورد بررسی قرار گیرد یا تحت شرایط کلی. بعنوان مثال اگر قرار باشد موقعیت یک ترک در سازه تعیین شود نمی توان از حالت موضعی استفاده نمود ولی اگر قرار باشد نحوه توزیع ترک مورد بررسی قرار گیرد ، روش موضعی مناسب می باشد. نکته بعد نحوه بارگذاری می باشد ، بارگذاری به دو صورت استاتیکی و یا دینامیکی انجام می شود. خرابی‌هایی مانند انحراف ، پیچش ، نشست و پهنای ترک معمولا در طول بازه زمانی طولانی و با سرعت کمی ، در اثر شرایط محیطی مثل رطوبت ، دما و باد بوجود می آیند. معمولا در آشکار سازی پارامترهای مربوط به این خرابی ها ، اندازه گیری مقدار بیشینه کافی می باشد و نیازی به اندازه گیری در بازه زمانی طولانی نمی باشد. این حالت را آشکار سازی استاتیکی می نامند. در حالت بارگذاری دینامیکی ، آشکارسازی با تعداد نمونه‌برداری‌های بیشتر ، در بازه زمانی طولانی تری صورت می گیرد. مسئله بعدی که از اهمیت زیادی برخوردار است، مدلی است که برای بررسی رفتار سازه از آن استفاده می شود. پارامترهایی که در روند آشکارسازی اندازه گیری می شوند ، با توجه به مدلی که تعریف شده است ، انتخاب می شوند. بنابراین انتخاب مدلی که به بهترین نحو ، رفتار سازه را پیش بینی نماید ، اهمیت زیادی دارد. اگر لازم باشد مدل سازه بهبود یابد می‌توان از ابزار محاسباتی پیشرفته مانند تحلیل اجزأ محدود استفاده نمود. نکته آخر انتخاب حسگر می باشد. با توجه به محدودیت‌های مالی، انتخاب حسگرهایی که با شرایط مسئله مطابق باشد از اهمیت بالایی برخوردار می باشد[۳].

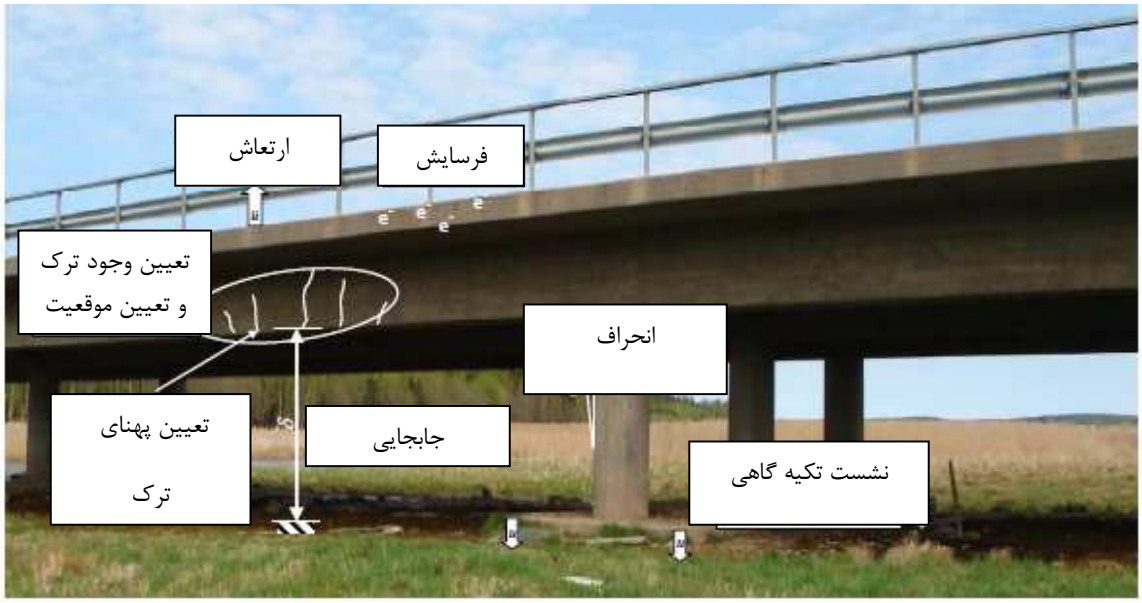
[1] Long-term
[2] Short-term



شکل ۱-۱ تعداد پل های ساخته شده در سوئد بر حسب سال ساخت آنها (۳)



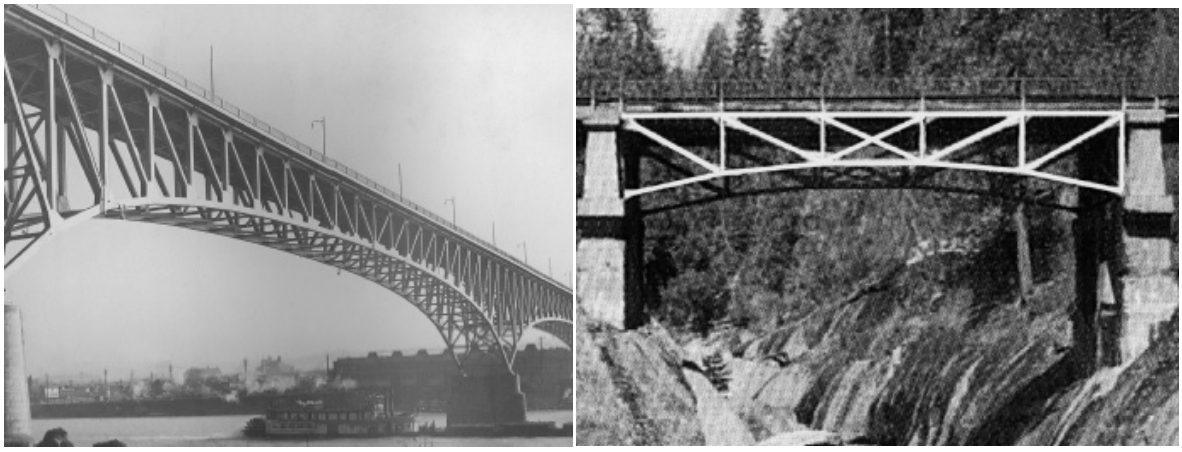
شکل ۱-۲ بررسی و آزمایش پل خرپایی فولادی در قرن ۱۹ام. (۳)



شکل ۱-۳ خرابی های عمومی که ممکن است در یک پل رخ دهد (۵)

"سازه های خرپایی" شامل دسته وسیعی از سازه‌های ساخته دست انسان می‌باشد که از آن جمله می‌توان به دکل‌های مخابراتی (شکل ۴-۱) ، پل‌ها (شکل ۵-۱) ، مخازن هوایی ذخیره آب ، جرثقیل (شکل ۶-۱) ، خرپاهای پوشش سقف (شکل ۷-۱) ، اسکلت بندی بیرونی ساختمان‌ها ، برج های خنک کننده (شکل ۸-۱) و سکوهای نفتی (شکل ۹-۱) اشاره نمود. وجه تمایز و سودمندی سازه های خرپایی بخاطر اجرای آسان آنها بوده و شامل المان‌های میله‌ای که بارهای محوری را تحمل می کنند و با جوش یا پیچ به یکدیگر متصل شده اند، می باشد. سازه های خرپایی امروزه از نقش غیر قابل انکاری در سازه‌های مهندسی برخوردار می باشند. سازه‌های خرپایی می توانند بسیار پیچیده باشند . شاید مشهور ترین سازه خرپایی در جهان برج ایفل باشد (شکل ۱-۱۰) که شامل ۱۵،۰۰۰ تیر که در ۳۰،۰۰۰ نقطه به یکدیگر متصل شده اند می باشد. حتی سازه‌های ساده تر مثل پل‌های راه آهن ، شامل صدها المان با طول‌های متفاوت می باشند [۴].

شکل ۱-۴ استفاده از خرپا در برج های مخابراتی (۴)



(ب) (الف)