

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده در پل‌های فولادی

---

دکتر امیر طریقت

ژیلاپاشایی

---

انتشارات مشق شب 

سرشناسه : طریقت، امیر، ۱۳۴۵ -  
عنوان و نام پدیدآور : رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده در پل‌های فولادی / امیر طریقت، ژایلا پاشایی.  
مشخصات نشر : تهران: مشق شب، ۱۳۹۷.  
مشخصات ظاهری : ۱۹۲ ص: مصور، جدول؛ ۲۲×۲۹ س.م.  
شابک : 978-600-8920-17-5  
وضعیت فهرست نویسی : فیپا  
موضوع : پل‌های فلزی  
موضوع : Iron and steel bridges  
موضوع : پتانسیل‌سنجی  
موضوع : Potentiometry  
شناسه افزوده : پاشایی، ژایلا، ۱۳۶۹ -  
رده بندی کنگره : ۱۳۹۷ ط/۴۲ / TG۳۸۰  
رده بندی دیویی : ۶۲۴/۲۵۷  
شماره کتابشناسی ملی : ۵۱۵۵۷۱۰

  
مؤسسه انتشاراتی مشق شب

نام کتاب: رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده در پل‌های فولادی

نویسندگان: دکتر امیر طریقت، ژایلا پاشایی

ناشر: انتشارات مشق شب

نظارت بر امور اجرایی: رضا هوشمند

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

نوبت چاپ: اول / ۱۳۹۷

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۹۲۰-۱۷-۵

حق چاپ محفوظ و مخصوص ناشر می‌باشد.  
نشانی مرکز نشر و پخش: تهران، میدان انقلاب، ابتدای خیابان قدس  
ساختمان آناتول فرانس (شماره ۳) واحد ۱۱  
تلفن تماس: ۱۷-۶۶۹۶۲۵۱۶-۱۶: ۶۶۴۸۸۸۲۰  
[www.mashgheshabpub.ir](http://www.mashgheshabpub.ir)  
نشانی الکترونیکی مؤلف: [pashaei.jila@gmail.com](mailto:pashaei.jila@gmail.com)

## مقدمه

ایجاد و توسعه شبکه راه‌های ارتباطی در هر کشور از نشانه‌های پیشرفت و ترقی آن کشور است. در مسیر هر راه ارتباطی معمولاً پل‌هایی ساخته می‌شود که هزینه اجرای آنها درصد قابل توجهی از هزینه کل راه را به خود اختصاص می‌دهد. لذا مسئله انجام مطالعات کافی قبل از احداث سازه از یک طرف و بازرسی، تعمیر و تقویت این سازه‌ها از طرف دیگر از اولویت خاصی برخوردار است. از طرفی پل‌ها از مهم‌ترین ابنیه فنی معابر و کلید ارتباطی سامانه حمل و نقل زمینی محسوب می‌شوند. لزوم کارکرد مداوم پل‌ها به دلیل هزینه‌های مالی سنگین احداث آنها، اهمیت ویژه آنها در شریان‌های حیاتی هر شهر و نیز زیان‌های احتمالی خارج شدن هر پل از شبکه حمل و نقل، همه بیانگر اهمیت ویژه این سازه‌ها و همچنین اهمیت بازرسی و نگهداری آنها در مدیریت کلان شهری می‌باشد. همچنین تعداد بسیاری از پل‌ها در زمانی که هنوز آیین‌نامه‌ها و استانداردهای معتبر فعلی وجود نداشتند، طرح و ساخته شده‌اند و یا در هنگامی که این آیین‌نامه‌ها در مقایسه با آیین‌نامه‌های فعلی ناکافی بوده‌اند، طرح شده‌اند. بنابراین با توجه به دلایل ذکر شده، لزوم پایش سلامت سازه‌ها، که یکی از ابزار قدرتمند در برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان مدیریتی است، احساس می‌شود که می‌تواند راهگشای بسیاری از مشکلات اقتصادی و مدیریتی کشور باشد. اطلاعات مربوط به وضعیت پل، عمده‌ترین بخش مدیریت نگهداری پل بوده و این اطلاعات را می‌توان از طریق بازرسی‌های دوره‌ای، جمع‌آوری کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد تا سیاست‌های مدیریت پل و نگهداری و مرمت آن مشخص و اتخاذ گردد.

در این کتاب روشی با نام «رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده» مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد که به وسیله آن درکی از وضعیت فعلی سازه حاصل شده و در واقع حداکثر ظرفیت تحمل بار زنده توسط یک سازه را تعیین می‌کند که این امر می‌تواند کمک بزرگی برای درک وضعیت موجود سازه باشد. از آنجا که محاسبات این کتاب بر اساس آیین‌نامه آشتو<sup>۱</sup> و راهنمای محاسبات پل آمریکا<sup>۲</sup> می‌باشد، واحدهای به کار برده شده در محاسبات دستی و نرم افزار، واحد سنتی آمریکا<sup>۳</sup> بوده و برای تبدیل آن‌ها به واحد SI نیاز به چاپ و بازنشر آخرین نسخه از این دو آیین‌نامه بر اساس SI می‌باشد.

- 
1. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications
  2. Manual For Bridge Evaluation
  3. Customary U.S. Units

## فهرست مطالب

فصل اول / پل و لزوم مدیریت آن	۹
۱-۱- مقدمه	۱۱
۲-۱- مدیریت پل	۱۲
۳-۱- پایش سلامت سازه‌ای	۱۴
۱-۳-۱- تعاریف	۱۴
۲-۳-۱- قواعد کلی پایش سلامت سازه‌ای	۱۵
۳-۳-۱- ارزیابی وضعیت	۱۵
۴-۱- سامانه مدیریت پل BMS	۱۸
۱-۴-۱- ساختار BMS	۱۸
۵-۱- رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده و ضرورت محاسبه آن	۲۱
فصل دوم / مفاهیم مرتبط با رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده	۲۳
۱-۲- مقدمه	۲۵
۲-۲- مفاهیم مقدماتی	۲۶
۱-۲-۲- روش‌های محاسباتی رتبه‌بندی ظرفیت بار	۲۶
۲-۲-۲- مراحل رتبه‌بندی ظرفیت بار در روش LRFR	۲۹
۳-۲- شرح محاسبات رتبه‌بندی ظرفیت بار	۳۹
۱-۳-۲- تعیین مشخصات و اطلاعات پل	۳۹
۲-۳-۲- تعیین مشخصات سطح مقطع عرشه	۳۹
۳-۳-۲- محاسبه بارهای مرده و دائمی در سازه (DC)	۴۱
۴-۳-۲- محاسبه حداکثر تأثیر بار زنده در سازه	۴۲
۵-۳-۲- محاسبات ضرایب توزیع بار زنده	۴۲
۶-۳-۲- محاسبه مقاومت اسمی خمش (MP) و برش (MV)	۴۳
۷-۳-۲- محاسبات رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده	۴۳
فصل سوم / مثال محاسبات دستی رتبه‌بندی بار	۵۱
۱-۳- مقدمه	۵۳
۲-۳- مشخصات پل نمونه	۵۳
۳-۳- محاسبات رتبه‌بندی ظرفیت بار برای شاه‌تیرهای داخلی	۵۵
۱-۳-۳- گام اول: مشخصات سطح مقطع	۵۵
۲-۳-۳- گام دوم: آنالیز بار مرده	۵۹
۳-۳-۳- گام سوم: آنالیز بار زنده	۶۱

۶۵	۳-۳-۴- گام چهارم: محاسبه مقاومت اسمی سطح مقطع در وسط دهانه
۷۱	۳-۳-۵- گام پنجم: معادله عمومی رتبه‌بندی بار
۷۱	۳-۳-۶- گام ششم: ارزیابی فاکتورها (در حالت حدی مقاومت)
۷۱	۳-۳-۷- گام هفتم: رتبه‌بندی بار طراحی
۷۶	۳-۳-۸- گام هشتم: رتبه‌بندی بار مجاز
۸۰	۳-۳-۹- گام نهم: رتبه‌بندی بار با مجوز
۸۲	۳-۴- محاسبات رتبه‌بندی بار برای شاه‌تیرهای خارجی
۸۲	۳-۴-۱- گام اول: مشخصات سطح مقطع
۸۵	۳-۴-۲- گام دوم: آنالیز بار مرده
۸۵	۳-۴-۳- گام سوم: آنالیز بار زنده
۹۲	۳-۴-۴- گام چهارم: محاسبه مقاومت اسمی سطح مقطع در وسط دهانه
۹۴	۳-۴-۵- گام پنجم: معادله‌ی عمومی رتبه‌بندی بار
۹۵	۳-۴-۶- گام ششم: ارزیابی فاکتورها (حالت حدی مقاومت)
۹۵	۳-۴-۷- گام هفتم: رتبه‌بندی بار طراحی
۹۶	۳-۴-۸- گام هشتم: رتبه‌بندی بار مجاز
۱۰۰	۳-۴-۹- گام نهم: رتبه‌بندی بار با مجوز
۱۰۲	۳-۵- خلاصه مقادیر رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده به روش رتبه‌بندی بار و مقاومت
۱۰۲	۳-۵-۱- مقادیر رتبه‌بندی بار برای شاه‌تیرهای داخلی
۱۰۲	۳-۵-۲- مقادیر رتبه‌بندی بار برای شاه‌تیرهای خارجی
۱۰۳	<b>فصل چهارم / رتبه‌بندی ظرفیت بار زنده در نرم‌افزار CSI Bridge</b>
۱۰۵	۴-۱- مقدمه
۱۰۶	۴-۲- معرفی پل شماره B06-0013
۱۰۶	۴-۳- مدل سازی پل شماره B06-0013
۱۶۷	<b>References / پیوست ها</b>

# فصل اول

پل و لزوم مدیریت آن 



## ۱-۱- مقدمه

پل‌ها سرآمد سازه‌های زیربنایی بخش حمل‌ونقل هستند که جامعه امروز بشر به شدت به وجودشان وابسته است. با افزایش سن پل‌ها بهره‌برداری از این سازه‌ها روز به روز مشکل‌تر می‌شود. پایش سلامت سازه‌ای به عنوان بخشی از روش‌های مدیریت چرخه عمر سازه، اخیراً اهمیت روزافزونی پیدا کرده است. به منظور حفظ و ارتقای کیفیت و سطح خدمت‌رسانی به جامعه، لازم است اطلاعات کافی از عملکرد سازه در طول چرخه عمر آن به دست آید تا به این ترتیب طول دوره خدمت‌رسانی و همچنین دوام سازه تضمین گردد.

تقاضا برای پایش سلامت سازه‌ای پل‌ها پس از فروریختن پل سیلور کریک در ایالات متحده در سال ۱۹۶۷ و پل ریش بروک در وین در سال ۱۹۷۶ به رسمیت شناخته شد. پایش سلامت در مهندسی عمران با توسعه کامپیوترهای شخصی و سخت‌افزارهای مناسب در اوایل ۱۹۹۰ عملی گردید. این مفهوم امروزه در جامعه مهندسی پل به صورت عمیق مورد بحث قرار می‌گیرد. در کنفرانس‌ها و نشست‌های علمی جایگاه چشمگیری به این موضوع اختصاص داده می‌شود و دانشگاه استنفورد کارگاه بین‌المللی دو سالانه پایش سلامت سازه‌ای را برگزار می‌کند که در آن جامعه مهندسی به بحث در مورد پیشرفت‌های صورت گرفته و نقشه راه توسعه آتی می‌پردازند.

می‌دانیم که در شبکه حمل‌ونقل عمومی، تعداد بسیاری پل مورد استفاده و بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در سامانه‌های کنونی مدیریت پل، این سازه‌ها با استفاده از روش‌ها و رویکردهای مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. این مسئله باعث ایجاد آمار بسیار ناهمگن می‌شود. مؤسسه راه‌های فدرال در آمریکا در سال ۲۰۰۵ اعلام کرد که ۲۸ درصد از ۵۹۵ هزار پل موجود، به عنوان پل‌های معیوب دسته‌بندی می‌شوند و از این میان تنها بخشی (در حدود ۱۵ درصد) به دلایل سازه‌ای معیوب می‌باشند. در اروپا این رقم متفاوت بوده و در حدود ۱۰ درصد پل‌ها از نظر سازه‌ای معیوب هستند. برای آسیا هیچ آماری ارائه نشده است. با این حال اگر متوسط ۱۰ درصد برای پل‌های معیوب سازه‌ای در نظر گرفته شود، با چیزی در حدود ۲۵۰ هزار پل مواجه خواهیم بود که به طور قطع نیازمند شناسایی، ارتقا و پایش هستند. از آنجا که پایش سلامت سازه‌ای باید در مقام بازدارنده و پیش از وقوع هر نوع عیب و نقصی به کار برده شود، در نتیجه کاربردهای آن به میزان چشمگیری فراتر از میزان ۱۰ درصد تخمینی برای موارد معیوب سازه‌ای خواهد بود. پایش سلامت عبارت



است از اجرای یک راهبرد شناسایی خسارت در مورد زیربناهای مهندسی عمران. خسارت به‌عنوان تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌ها و مشخصات مصالح یا خصوصیات هندسی این سیستم‌ها، شامل تغییرات در شرایط مرزی و پیوستگی سیستم تعریف می‌شود. خسارت بر عملکرد فعلی یا آتی سیستم اثر می‌گذارد.

## ۲-۱- مدیریت پل

هر برنامه مدیریت پل نوعی کار چند رشته‌ای است که باید موضوعاتی از شاخه‌های مختلف مثل مهندسی سازه، علوم کامپیوتر و همچنین اقتصاد را شامل شود. سامانه‌های مدیریت پل (BMS)<sup>۱</sup> در حال حاضر ابزارهای بسیار مؤثری هستند که در آنها شاخه‌های مورد اشاره با هدف نهایی بهینه‌سازی بودجه‌های نگهداری در مجموعه‌ای از پل‌های موجود، با هم ترکیب شده‌اند. کلیه جنبه‌ها (سازه‌ای، علوم کامپیوتری، اقتصادی، اجتماعی و هزینه‌های کاربر) دارای ارتباط حیاتی با عملکرد صحیح و مناسب هر سامانه مدیریت پل هستند. وضعیت پل معمولاً با استفاده از رتبه‌بندی وضعیت<sup>۲</sup> یا شاخص حالت<sup>۳</sup> که نشان‌دهنده درجه سلامت یک پل در مقایسه با سایرین در مجموعه‌ای از پل‌هاست، ارزیابی می‌گردد. شاخص حالت باید نشان‌دهنده موارد زیر باشد:

- رتبه‌بندی گروهی از پل‌ها از فرسوده‌ترین تا سالم‌ترین آنها
- ارزیابی ظرفیت پل برای تعیین ضرایب نهایی کاهش ظرفیت
- تعیین روندهای فرسایشی که به برآورد طول عمر خدمت‌پذیری با استفاده از برون‌یابی درجه سلامت در دوره‌های زمانی آتی منجر می‌شود.

کلیه داده‌های مرتبط معمولاً در پایگاه‌های داده ذخیره می‌شوند که برای مقاصد دیگر مثلاً به‌عنوان منبع اطلاعاتی برای کارهای نگهداری و تعمیر، قابل استفاده می‌باشند. این چنین خدماتی که مبتنی بر وب هستند، به آهستگی در حال توسعه‌اند، اما به زودی بر بازار حاکم خواهند شد. در حال حاضر، مالکان پل یکی از سامانه‌های تجاری نظیر پونتیس<sup>۴</sup> را برای مدیریت پل مورد استفاده قرار می‌دهند یا اینکه آرشیو اطلاعاتی خودشان را توسعه داده‌اند. کاساس<sup>۵</sup> ویژگی‌های این سامانه‌ها را اینگونه شرح می‌دهد:

- کلیه سازمان‌ها، یک ساز و کار سیستماتیک برای بازرسی و نظارت دارند (که معمولاً به سه سطح تقسیم شده)، اما همه آنها از نتایج بازرسی به شکلی جامع و واقع‌بینانه برای رتبه‌بندی سلامت چه به صورت عددی (در بازه ۱ تا ۱۰) و چه به صورت کیفی (ضعیف، متوسط، قابل قبول، خوب و ...) استفاده نمی‌کنند.
- در حال حاضر، کلیه ادارات و سازمان‌های حمل‌ونقل، برای ارزیابی وضعیت از بازرسی چشمی به‌عنوان منبع اصلی داده‌های مربوطه استفاده می‌کنند.

1. Bridge management system

2. Condition rating

3. Condition index

4. PONTIS

5. Casas

• آیین‌نامه‌ها با دستورالعمل‌های مربوطه تنها در تعداد کمی از کشورها، برای تعیین ظرفیت باربری، مستقیماً از نتیجه نهایی ارزیابی وضعیت سازه استفاده می‌کنند. یک مثال مناسب در اینجا، آیین‌نامه دانمارکی<sup>۱</sup> است که اخیراً منتشر شده است.

• اساساً دو روش عمده برای ارزیابی وضعیت کل سازه براساس ارزیابی اعضای آن وجود دارد. اولی مبتنی بر رتبه‌بندی تعویض پذیر است. در این روش برای هر دهانه در صورت وجود روسازه و برای هر بخش زیرسازه، باند عبور و ملحقیات، بیشترین خسارت بر روی هر عضو تعیین می‌شود. نتیجه نهایی، رتبه‌بندی وضعیت برای سازه است. در روش دوم، بیشترین یا کمترین (بسته به مقیاس اندازه‌گیری) درجه وضعیت اعضای پل به عنوان درجه وضعیت کل سازه استفاده می‌شود.

• هر سازمان از روش‌های متفاوتی برای رتبه‌بندی وضعیت استفاده می‌کند. این وضعیت ناشی از این حقیقت است که مهندسين ارزیاب از کشورهای مختلف ممکن است برای یک پل نمره‌های مختلفی را لحاظ کنند.

• بین روش‌های نظری صرف یعنی روش‌هایی که مبتنی بر امتیازدهی ساده (با اختصاص تعدادی امتیاز نقص به عضو سازه‌ای بازرسی شده، مطابق ضوابط طبقه‌بندی و ارزیابی خسارت) هستند، با روش‌هایی که در آنها درجه نهایی وضعیت سازه با محاسبات به دست می‌آید (که در آن گروهی از خسارت‌های عمده انتخابی براساس گزارش بازرسی وزن دهی می‌شوند)، تمایز روشن وجود دارد.

• بیشتر روش‌ها، کل پل را به چندین بخش و این بخش‌ها را به چندین عضو تقسیم می‌کنند. در این موارد هیچ توصیه روشن و عملی برای نحوه گذار از وضعیت اعضای منفرد به وضعیت کلی پل وجود ندارد و این کار با قضاوت مهندسی بازرسی انجام می‌شود.

مسئله دیگری که در مدیریت پل فی‌نفسه و حتی در مقایسه با شاخص وضعیت حائز اهمیت است. محاسبه یا مدل‌سازی افت شاخص وضعیت با زمان است. مدل‌های متعددی برای توصیف نحوه تغییر وضعیت سلامت سازه با گذشت زمان توسعه داده شده‌اند. بیشتر اینها مبتنی بر تغییرات خطی وضعیت سلامت با زمان هستند که در آن درجه سلامت در هر زمان قابل محاسبه بوده و نرخ افت کیفیت بر حسب میزان کاهش سالانه درجه سلامت بیان می‌شود. هرن<sup>۲</sup> لیست مبسوطی از این مدل‌ها را بررسی کرده است. برخی از این مدل‌ها مبتنی بر داده‌اند، در حالی که برخی دیگر متکی به نظر کارشناسان می‌باشند. در عمل بیشتر سامانه‌های مدیریت پل، از روش زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی افت وضعیت سلامت استفاده می‌کنند. روند تحقیقات آتی در این حوزه به سوی ترکیب نتایج پایش کمی با نظرات کیفی کارشناسی و نتایج بازرسی چشمی با شبکه‌های عصبی یا منطق فازی است. این روند مستقیماً به پذیرش و تنظیم یک چارچوب احتمالاتی برای ارزیابی وضعیت سلامت پل مربوط است. فرانگوپول و داس<sup>۳</sup> مدعی هستند که شاخص سلامت در مشخص کردن وضعیت‌های ناپیوسته و روش مارکوف در مدل‌سازی افت کیفیت، محدودیت‌هایی دارند.

1. BMS DANPRO+

2. Hearn

3. Frangopol and Das

تلاش‌های زیادی برای فرمول‌بندی مدل‌های افت کیفی عمدتاً در ارتباط با خوردگی ناشی از یون کلریت در پل‌های بتنی صورت گرفته است. تعدادی مدل‌های تحلیلی، نیمه تجربی و تجربی موجودند. با این وجود مدل‌ها همچنان غیرقطعی هستند، چرا که اغلب مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با نتایج تجربی متفاوتند. یکی از زمینه‌هایی که فعالیت‌های زیادی در آن صورت گرفته، استفاده از آزمایش‌های غیرمخرب و پایش سلامت به عنوان یک روش جایگزین و مکمل برای بازرسی‌های چشمی است. موضوعات اصلی که باید در این رابطه حل و فصل گردند عبارتند از: نحوه برخورد با خطاهای اندازه‌گیری، عدم قطعیت و نویز سنسورها و روش‌های اندازه‌گیری مختلف، نحوه تجمیع داده‌های نقطه‌ای (از نظر زمان) حاصل از آزمایش‌های غیرمخرب و داده‌های حاصل از پایش مستمر به منظور ارزیابی نرخ سلامت. به نظر می‌رسد همان‌طور که فابر و سورنسن<sup>۱</sup>، انرایت و فرانگوپول<sup>۲</sup> و رفیق<sup>۳</sup> مطرح کرده‌اند، استفاده از تکنیک‌های به‌هنگام‌سازی مدل بهترین روش باشد.

## فلسفه مدیریت پل

فلسفه مدیریت پل بر مبنای دو عامل اصلی بودجه و کارکرد، بنا نهاده شده است. مسائل زیباشناختی نیز می‌تواند محرک مهم دیگری باشد، اما عمدتاً به تعدادی سازه‌های خاص محدود می‌شود. جامعه مهندسی امروزه اصول نگهداری بازدارنده را پذیرفته است. به این معنی که سرمایه‌گذاری در سلامت سازه در طول زمان باعث حفظ سطح ایمنی می‌گردد. در مورد سازه‌های با کیفیت بالا این کار نیازمند صرف هزینه‌های سالانه معادل ۰/۸ تا ۱ درصد هزینه جایگزینی است. راهبرد معتبر دیگر این است که اجازه داده شود کیفیت سازه به تدریج افت پیدا کرده تا به آستانه ایمنی برسد و سپس جایگزین شود. این راهبرد زمانی به کار برده می‌شود که منابع مالی کافی برای نگهداری بازدارنده وجود نداشته و الزامات عملکردی در هر صورت تعویض سازه را ناگزیر می‌سازد. در واقع بیشتر سازه‌ها نه از نظر سازه‌ای بلکه از نظر کارکرد مشکل دارند. این راهبرد در کل نیازمند منابع مالی کمتری است، اما اثرات زیباشناختی نیز به همراه دارد. نمونه‌هایی از این نوع، پل‌های نیویورک هستند که نبود منابع گزینه دیگری را باقی نمی‌گذارد. هر دو فلسفه مدیریتی فوق، نیازمند پایش سلامت سازه‌ای هستند؛ در نگهداری بازدارنده لازم است نقطه مداخله، یعنی زمانی که مرمت و بازسازی بیشترین بازدهی را دارد مشخص شود. در فلسفه کارکردی مدیریت، استفاده از پایش سلامت به منظور تعیین زمان رسیدن به آستانه ایمن، مورد نیاز می‌باشد.

## ۱-۳-۱- پایش سلامت سازه‌ای

### ۱-۳-۱- تعاریف

پایش سلامت سازه‌ای عبارت است از پیاده‌سازی راهبرد شناسایی خسارت در مورد زیرساخت‌های

---

1. Faber and Sorensen  
2. Enright and Frangopot  
3. Rafiq

مهندسی عمران. خسارت به عنوان ایجاد تغییرات در ویژگی‌های مصالح یا خصوصیات هندسی سیستم‌های سازه‌ای شامل تغییرات در شرایط مرزی و پیوستگی سیستم تعریف می‌شود. خسارت بر عملکرد فعلی و آتی این سیستم‌ها تأثیر می‌گذارد. روند شناسایی خسارت عموماً در سطوح زیر سامان دهی می‌شود:

- تشخیص خسارت، که در آن وجود خسارت مشخص می‌شود.
- مکان‌یابی خسارت، که در آن محل خسارت تعیین می‌گردد.
- تعیین نوع خسارت، که در آن نوع و نحوه خسارت تعیین می‌شود.
- میزان خسارت، که در آن شدت و میزان خسارت ارزیابی می‌شود.

در ۲۰ سال گذشته ادبیات گسترده‌ای در ارتباط با پایش سلامت سازه‌ای توسعه یافته است. این حوزه به نقطه‌ای از بلوغ رسیده که چندین اصل کلی به وجود آمده است. با این حال این اصول هنوز چالش برانگیز هستند و گروه‌های ذی نفع متعددی بر روی آنها کار می‌کنند. در حوزه مهندسی مکانیک و هوافضا، روش‌های متفاوتی به کار گرفته می‌شوند. با این وجود جامعه مهندسی عمران می‌تواند به میزان چشمگیری از این تلاش‌ها بهره‌مند شود. از آنجا که هریک از سازه‌های مهندسی عمران خود یک نمونه منحصر به فرد است، بنابراین برای هریک باید رهیافت‌های مجزا در نظر گرفته شوند.

### ۱-۳-۲- قواعد کلی پایش سلامت سازه‌ای

در کارگاه پایش سلامت سازه‌ای استنفورد به سال ۲۰۰۵، فررار و دیگران<sup>۱</sup> قواعدی را برای پایش سلامت سازه‌ای مشخص کرده‌اند که به عنوان تلاشی در جهت فرمول‌بندی قوانین کلی و درک و فهم عمومی از حقایق بنیادی مطرح شده از طرف جامعه محققان محسوب می‌شود. این قواعد کلی عبارتند از:

- قاعده ۱: ارزیابی خسارت نیازمند مقایسه بین دو حالت سیستم است.
- قاعده ۲: تشخیص وجود و تعیین محل خسارت، به شیوه یادگیری نظارت نشده قابل انجام است، اما تعیین نوع خسارت و شدت آن تنها به شیوه یادگیری نظارت شده محقق می‌شود.
- قاعده ۳: بدون استفاده از روش‌های هوشمند استخراج مشخصات، هرچه روش اندازه‌گیری نسبت به خسارت حساس‌تر باشد، نسبت به تغییر شرایط محیطی و بهره‌برداری نیز حساس‌تر خواهد بود.
- قاعده ۴: میان حساسیت یک الگوریتم نسبت به خسارت و قابلیت پس زدن نویز در آن، رفت و برگشت (بده بستان) وجود دارد.
- قاعده ۵: اندازه خسارت قابل تشخیص از روی تغییرات دینامیکی سیستم با بازه فرکانس ارتعاشات آن نسبت معکوس دارد.

### ۱-۳-۳- ارزیابی وضعیت

معلومات در مورد وضعیت یک پل یا اعضای آن، مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز هستند. پایش سلامت سازه‌ای این فرصت را به وجود می‌آورد تا وضعیت سلامتی را بتوان کمی نموده و مبنایی برای تصمیم‌گیری‌ها

## منابع و مآخذ

۱. رسول‌نیا، اکبر؛ عظیمی، محسن. (۱۳۹۳). "مدل‌سازی، تحلیل و طراحی پل‌ها با CSI Bridge". تهران: انتشارات مؤسسه فرهنگی دیباگران تهران.
۲. ونزل، هلمونت. (۱۳۹۲). "پایش سلامت پل‌ها". ترجمه دکتر غلامرضا قدرتی امیری و مهندس مهرداد درواج و دکتر هادی فضلی، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2010) "Manual for Bridge Evaluation". 2013 Interim Revisions
4. Banister, Michelle Ann. (2009) "Impact of Bridge Ratings on the Timber Transportation Industry"
5. Computers & Structures, Inc., (2011) "Bridge Rating" Berkeley, California, USA.
6. AASHTO LRFD. (2007) "Bridge Design Specifications" 4th Ed.
7. Computers & Structures, Inc., (2011) "Technical Notes For CSI Bridge" Berkeley, California, USA.