

ارزیابی روش های پایش سلامت و شناسایی خرابی در سازه های بتنی

رامین حاجی محمد رضایی^۱، حسین نادرپور^۲*

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

naderpour@semnan.ac.ir

چکیده

آسیب های سازه ای موجب تغییرات نامطلوب در کارایی سازه می گردند. بنابراین استفاده از روش هایی برای شناسایی خرابی مورد نیاز می باشد. نظارت بر سلامت سازه ها و تشخیص آسیب های آن در مراحل اولیه یکی از موضوعات مورد توجه همیشگی بوده است. امروزه، تحقیقات بر روی روش های عیب یابی سازه ها بر پایه تحلیل دینامیکی، بسیار گسترش یافته است زیرا از این روش ها می توان به عنوان روش های بررسی دائمی و به هنگام سازه ها استفاده کرد و از به وجود آمدن آسیب های بیشتر در سازه ها جلوگیری نمود. زمانی که سازه دچار آسیب می شود، به دلیل کاهش سختی، ویژگی های استاتیکی و دینامیکی سازه تغییر می کند که با در نظر گرفتن نحوه این تغییرات می توان مکان و شدت خرابی را در سازه شناسایی کرد و پیش از خسارات جدی تر یا تخریب به تعمیر و تقویت محل آسیب دیده پرداخت. در نتیجه سیستم های شناسایی و تعیین خرابی می توانند نقش بسیار مهمی را در ایمن سازی و بهسازی سازه ها و جلوگیری از بوجود آمدن خسارات مالی و جانی ناشی از فروریختن سازه ها ایفا نمایند. روش های دینامیکی شناسایی آسیب بر پایه تغییر در ویژگی های دینامیکی سازه گسترش یافته و بصورت های مختلف مانند روش های مبتنی بر مشخصات مودال، روش های هوش مصنوعی و روش های پردازش سیگنال به شناسایی آسیب می پردازند. هدف اصلی این تحقیق بررسی و ارزیابی روش ها و الگوریتم های موجود برای تشخیص خرابی سازه ها می باشد که در سال های اخیر مطرح شده اند. همچنین مطالبی در خصوص توجه به مبحث پایش سلامت سازه و انواع روش های پایش سلامت سازه مطرح شده است.

کلمات کلیدی: شناسایی خرابی، پایش سلامت سازه، روش های دینامیکی

۱. مقدمه

اکثر سازه های بتن مسلح به مرور زمان و ناشی از شرایط محیطی و یا تاثیر بارهای خارجی وارد بر آنها مانند زلزله، بار ترافیک، انفجار و سایر منابعی که در سازه ارتعاش ایجاد می نمایند دچار زوال و آسیب می شوند. علاوه بر آن، عواملی همچون خوردگی میلگردها، پدیده جداسازی مصالح و واکنش قلیایی سگدانه ها از جمله ساز و کارهای داخلی ایجاد آسیب در سازه های بتن مسلح می باشند. به منظور شناسایی نقایصی که ممکن است به مرور، سلامت سازه را تهدید نمایند و یا منجر به خرابی آن شوند باید شرایط و سلامت سازه در طول زمان مورد پایش قرار گیرد. لفظ پایش سلامت سازه ها^۱ به فرآیند انجام

¹Structural Health Monitoring (SHM)

عملیات شناسایی و تشخیص آسیب در سازه های مهندسی اطلاق می گردد. در این راستا، هرگونه تغییر در خواص مادی و یا هندسی (شامل تغییر در شرایط مرزی و اتصالات اعضا) یک سیستم سازه ای که اثری نامطلوب بر کارایی سیستم داشته باشد بعنوان آسیب تعریف می شود. در سال های اخیر مطالعات پژوهشی زیادی جهت بهبود دقت و قابلیت اطمینان روش پایش سلامت سازه انجام شده است. بازرسی های سنتی سازه معمولا شامل بازرسی های چشمی توسط افراد آموزش دیده و با تجربه انجام می شده ولی در برخی موارد خاص پیشرفته تر روش های غیرمخرب مانند روش های الکترومغناطیس، روش های فراصوتی^۲ و دیگر روش های مبتنی بر انتشار امواج نیز استفاده شده است.

برای چنین بازرسی هایی دسترسی به محل مورد نظر از سازه برای آزمایش نیاز می باشد و همچنین تخصص افراد انجام دهنده آزمایش تا حد زیادی موثر می باشد. همچنین در اغلب این روش ها نیاز به کار دقیق و فشرده و پرهزینه می باشد. به همین دلیل روشهای جایگزین که به صورت خودکار اطلاعات سازه را برای تعیین وضعیت آن جمع آوری و تجزیه و تحلیل می کنند، توسط پژوهشگران دنبال شد.

در این روش ها، پایش سلامت سازه ها مبتنی بر این ایده اساسی هستند که خصوصیات دینامیکی یک سازه تابعی از خصوصیات فیزیکی آن می باشد بنابراین تغییر خصوصیات فیزیکی سازه ناشی از آسیب های وارد بر آن می تواند موجب تغییر خصوصیات دینامیکی آن شود. در نتیجه داده های ارتعاش سازه جمع آوری شده و برای شناسایی آسیب های سازه استفاده می شود.

۲. مبانی پایش سلامت سازه

۲-۱- تعریف پایش سلامت سازه

لفظ پایش سلامت سازه ها به فرآیند انجام عملیات شناسایی و تشخیص آسیب در سازه های مهندسی اطلاق می گردد. در این راستا، هرگونه تغییر در خواص مادی و یا هندسی (شامل تغییر در شرایط مرزی و اتصالات اعضا) یک سیستم سازه ای که اثری نامطلوب بر کارایی سیستم داشته باشد به عنوان آسیب تعریف می شود.

روش های پایش سلامت سازه ها مبتنی بر این ایده اساسی هستند که خصوصیات دینامیکی یک سازه تابعی از خصوصیات فیزیکی آن می باشد. بنابراین تغییر خصوصیات فیزیکی سازه ناشی از آسیب های وارده بر آن می تواند موجب تغییر خصوصیات دینامیکی آن شود. ارزیابی سلامت و یکپارچگی عملکرد سازه های عمرانی در طول زمان از طریق پایش رفتار و برداشت خصوصیات دینامیکی آنها انجام می شود. تشخیص وجود آسیب در سازه ها، بطور مستقیم و بر مبنای تغییرات شناسایی شده در خواص دینامیکی آنها صورت می گیرد.

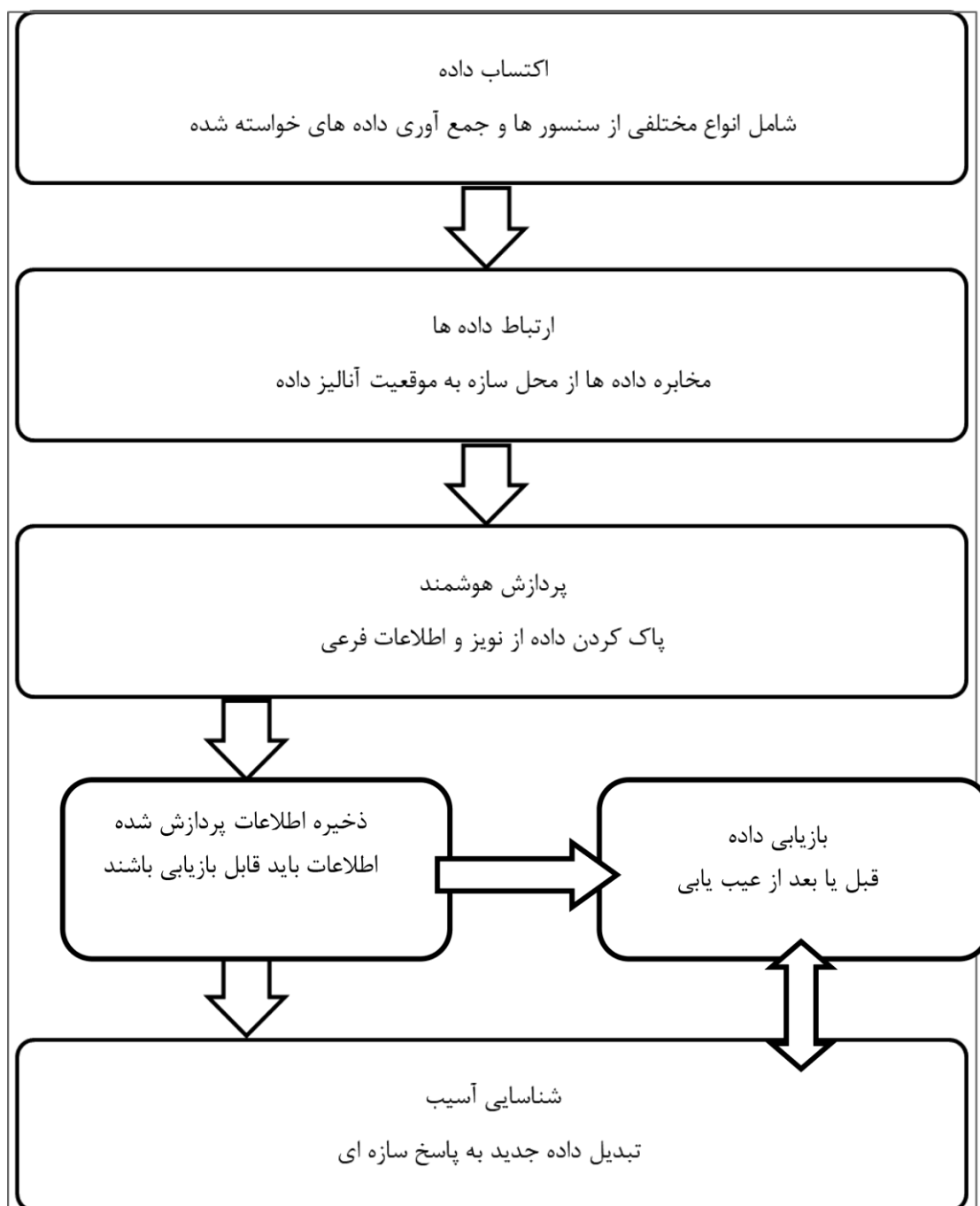
۲-۲- مقایسه سازه و انسان

طریقه پایش سلامت سازه مشابه به درد و بیماری در بدن انسان است و اینکه چگونه قابل درمان است. اگر سازه را به عنوان بدن انسان فرض شود، هنگامی که فرد آسیب می بیند، شرایط عدم سلامت به وسیله سیستم عصبی کشف می شود و پاسخ هایی را به سمت مغز به این منظور ارسال می کند. شخص در می یابد که مریض است و به دکتر جهت ممانعت از توسعه بیماری مراجعه می کند. حسگرها مشابه به سیستم عصبی و هدف یابی از سیستم به عنوان مغز انسان عمل می کنند. متخصصان سازه نقش دکتری را دارند که به پاسخ ها گوش می دهند و برای درمان راه حل و استراتژی هایی ارائه می کنند. در سازه ها این پاسخ ها اهمیت زیاد دارند و قابل سنجش هستند [۱].

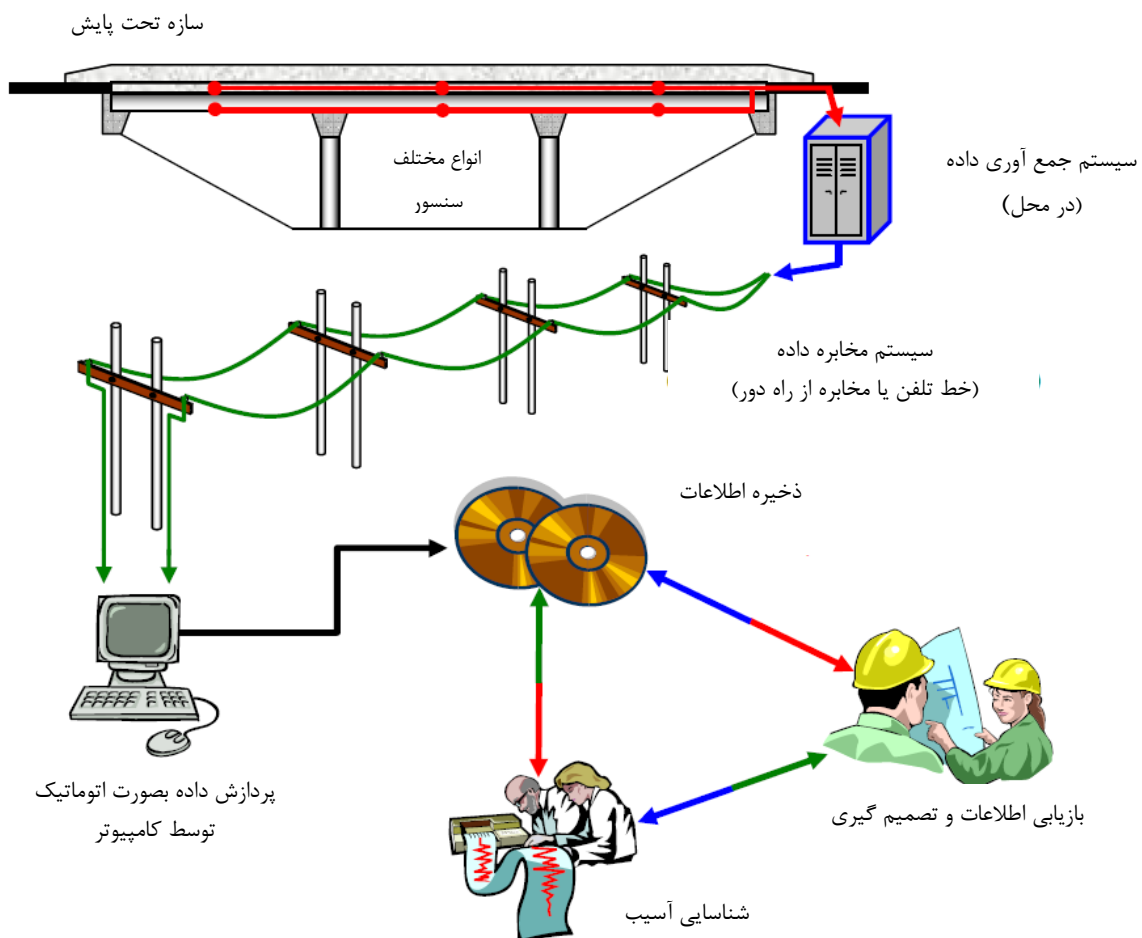
۲-۳- فرآیند پایش سلامت سازه

²Ultra sound

- فرآیند پایش سلامت سازه ها شامل چند مرحله می باشد :
- ۱- تحت نظر داشتن وضعیت سازه در طی زمان از طریق انجام آزمون های ارتعاشی دوره ای و اندازه گیری پاسخ ارتعاشی سازه به کمک سنسور هایی که در نقاط مختلف سازه تعبیه می گردند.
 - ۲- استخراج ویژگی های و مشخصه های حساس به آسیب از داده های اندازه گیری شده
 - ۳- تعیین وضعیت فعلی سلامت سازه بر پایه تحلیل و پردازش مشخصه های استخراج شده
 - ۴-۲- عناصر سیستم پایش سلامت سازه



شکل ۱- عناصر تشکیل دهنده یک سیستم پایش سلامت سازه



شکل ۲- عناصر تشکیل دهنده یک سیستم پایش سلامت سازه [۲].

۳. دسته بندی پایش سلامت سازه

پایش سلامت سازه را با توجه به نوع آزمایش و روش جمع آوری داده ها و می توان به چهار دسته کلی که هر کدام متشکل از زیر مجموعه هایی اند، تقسیم بندی کرد [۲]:

- آزمایش میدانی استاتیکی
- آزمایش میدانی دینامیکی
- پایش دوره ای
- پایش پیوسته

۴. سطوح پایش سلامت سازه

یک روش توانمند و کارآمد شناسایی آسیب باید بتواند [۳]:

- ۱- وجود آسیب را شناسایی نماید.
- ۲- محل آسیب را تعیین نماید.

۳- میزان و شدت آسیب را تعیین نماید.

۴- کارایی و عملکرد آینده سازه را بر اساس سطح آسیب فعلی آن ارزیابی نماید.

۵. مزایا و معایب استفاده از سیستم های پایش سلامت

- کم اشتباه و قابل اطمینان
- کاهش زمان از کارافتادگی سازه
- جلوگیری از خرابی های نابهنگام
- کاهش هزینه چرخه حیات سازه
- افزایش بهره وری
- افزایش ایمنی
- طولانی تر شدن عمر مفید سازه
- و در مقابل می توان به مقرون به صرفه نبودن آن ها به خصوص در سازه های کوچک و یا کم اهمیت اشاره نمود.

۶. تعریف آسیب

همانطور که اشاره شد هرگونه تغییر در خواص مادی و یا هندسی (شامل تغییر در شرایط مرزی و اتصالات اعضا) یک سیستم سازه ای که اثری نامطلوب بر کارایی سیستم داشته باشد به عنوان آسیب تعریف می شود [۴].

۶-۱- انواع آسیب

پدیده آسیب در یک سازه را می توان به آسیب خطی و غیر خطی دسته بندی نمود. آسیب خطی حالتی است که در آن سازه الاستیک خطی اولیه، پس از آسیب همچنان به صورت خطی باقی می ماند. این حالت در صورت وقوع خسارت های با شدت کم در سازه تحقق می یابد. پارامترهای مودال سازه در این حالت تغییر می کنند اما سازه همچنان رفتار خطی از خود نشان می دهد. آسیب غیر خطی نیز حالتی است که سازه دارای رفتار الاستیک خطی پس از ایجاد آسیب، رفتار غیر خطی از خود نشان می دهد. اغلب روش های شناسایی خرابی در هنگام مدلسازی، آسیب را به صورت خطی در نظر می گیرند، زیرا این امر سبب سهولت در امر مدلسازی و استخراج معادلات حاکم بر حرکت می شود. اما در بسیاری از موارد عملی، فرض خطی بودن رفتار سازه پس از ایجاد آسیب منطبق بر واقعیت نیست که از جمله این موارد می توان به آسیب های ایجاد شده در بعضی از المان های سازه ای در اثر وقوع زلزله هایی با شدت های متوسط و زیاد اشاره نمود [۴].

۶-۲- تاریخچه تحقیقات در مورد شناسایی آسیب در دیوارهای برشی بتن مسلح

دیوارهای برشی برای مقابله با بارهای جانبی وارد بر سازه ها طراحی می شوند. خرابی و نقص در عملکرد سازه ای دیوارهای برشی می تواند منجر به بروز آسیب های جدی و یا حتی خرابی پیشرونده سازه های بتنی گردد. بنابراین شناسایی زود هنگام آسیب دیوارهای برشی و توسعه روش های موثر و کارآمد پایش سلامت دیوارهای برشی امری حیاتی است.

شی و همکاران در سال ۲۰۰۹ رویکردی مبتنی بر استفاده از سنگدانه های هوشمند برای پایش سلامت دیوارهای برشی بتنی پیشنهاد کردند. براساس کار ایشان، قبل از بتن ریزی دیوار، سنگدانه های پیزوالکتریک در موقعیت های مشخصی در درون دیوار قرار داده شده و از این طریق یک شبکه سنجش فعال به منظور پایش سلامت یک نمونه دیوار برشی تشکیل شده است. نمونه مورد نظر تحت بارگذاری چرخه ای قرار گرفته و بطور تدریجی تا مرز خرابی کامل بارگذاری شده است. با اعمال میدان الکتریکی به یکی از سنگدانه ها یک موج تنش هدایت شده از محل سنگدانه مذکور به اطراف پراکنده می شود و سایر

سنگدانه ها در نقش حسگرهایی برای دریافت اطلاعات این امواج ظاهر می شوند. سیگنال های رسیده به هرکدام از حسگرها (سنگدانه ها) با استفاده از بسته ویولت تجزیه شده و شاخص آسیبی براساس انرژی سیگنال ها در فرکانس های متفاوت تعریف شده است. سطح دیوار به چندین بخش تقسیم شده و آسیب بخش های مختلف دیوار با استفاده از شاخص مذکور مورد ارزیابی قرار گرفته است. ایشان اشاره می کنند که روش مذکور می تواند به عنوان یک ساز و کار احتیاطی به منظور پیشگیری از توسعه خرابی های سازه ای مهم د دیوار های برشی مورد استفاده قرار گیرد [۵].

فرهیدزاده و همکارانش در سال ۲۰۱۳ یک شاخص آسیب جدید برای دسته بندی کمی آسیب در اجزای بتن مسلح پیشنهاد کردند که در واقع شاخصی برای کمی کردن آسیب های مشاهده شده در بازبینی های عینی اعضای بتنی می باشد [۶]. روش پیشنهادی آنها بر پایه تحلیل فراکتال الگوی ترک باقی مانده بر روی سطح اجزا بتن مسلح استوار است و با این رویکرد به ارزیابی یکپارچگی این اجزای پس از آسیب می پردازد. واژه فراکتال اولین بار توسط Mandelbrot برای نشان دادن اهدافی که هندسه پیچیده ای داشته و توصیف مشخصات آن با روش ها و ابعاد صحیح ممکن نبود معرفی گردید. در این مطالعه دو دیوار برشی بتن مسلح با مقیاس بزرگ تحت بارگذاری چرخه ای با کنترل تغییر مکان قرار گرفته و اعتبار روش پیشنهادی با بررسی آسیب این دو دیوار ارزیابی شده است. همچنین، شاخص ارائه شده با معیار کنترل عرض ترک ها نیز مقایسه شده است و نتایج این دو آزمایش حاکی از دقت بیشتر شاخص ارائه شده است [۷-۱۴].

$$DI = \frac{D_i - D_1}{2 - D_1} \quad (1)$$

در رابطه فوق D_i بعد فراکتالی ترک های مشاهده شده و D_1 بعد فراکتالی ترک ها در اولین مشاهده (اولین زمانی که ترک ها قابل مشاهده شده اند) می باشد.

به علاوه اثبات کردند که DI می تواند کاهش سختی نسبی نمونه را با دقت قابل قبولی تخمین بزند.

$$RSL = 1 - \frac{K_i}{K_1} \quad (2)$$

K_i سختی گام ام، K_1 سختی اولیه سازه

جدول ۱- مقایسه کاهش سختی نسبی و DI

Load Step	SW1			SW2		
	Stiffness [kN/m]	RSL	DI	Stiffness [kN/m]	RSL	DI
1	1588	—	—	5190	—	—
2	1370	0.14	0.00	4101	0.21	0.00
3	926	0.42	0.41	3607	0.31	0.39
4	860	0.46	0.54	2991	0.42	0.42
5	794	0.50	0.65	2787	0.46	0.48
6	733	0.54	0.66	2758	0.47	0.57
7	572	0.64	0.66	2570	0.50	0.63
8	435	0.73	0.74	1861	0.64	0.65
9	302	0.81	0.75	1163	0.78	0.79
10	209	0.87	0.76	470	0.91	0.88

فرهیدزاده و همکارانش در تحقیقی دیگر طی بررسی های آزمایشگاهی به پایش روند شکست در یک دیوار برشی بتن مسلح با مقیاس بزرگ پرداختند. یک نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی تحت بارگذاری چرخه ای با کنترل تغییر مکان قرار داده

شده و همزمان، با تحلیل پیوسته انتشار امواج آکوستیک ناشی از شکست مصالح و یا وقوع تغییر شکل های پلاستیک، رفتار ترک خوردگی دیوار مورد ارزیابی قرار گرفته است. سیگنال های آکوستیک از طریق یک شبکه نامتراکم از حسگرهای آکوستیک تعبیه شده بر روی دیوار دریافت شده است. از میان پارامترهای مهم در زمینه انتشار آکوستیک که در طول آزمایش بطور پیوسته قابل برداشت می باشند، پارامتر b انتخاب شده است. به منظور تفسیر بهتر پارامتر b ، فیلتر گوسی مورد استفاده قرار گرفته است. هم چنین سیگنال های آکوستیک براساس الگوریتم شناسایی الگوی K-Means که یک الگوریتم نظارت نشده می باشد به دو خوشه کششی و برشی دسته بندی شده اند و از این طریق مود ترک های کششی و برشی قابل تمایز شده اند [۱۵-۱۹].

در نهایت الگوریتم جدیدی با عنوان پارامتر b غربال شده، برای پایش رشد و تکامل هر یک از مود های ترک خوردگی معرفی شده است [۲۰].

وفائی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای شناسایی بلادرنگ آسیب لرزه ای ارائه دادند. در این روش دریافت طبقات میانی و چرخش مفصل پلاستیک دیوارهای برشی بتنی به ترتیب به عنوان ورودی و خروجی شبکه عصبی MLP در نظر گرفته شده است. آماده کردن مجموعه داده ورودی و خروجی برای آموزی شبکه عصبی بسیار مهم است.

دو چالش در زمینه آموزش نمونه وجود دارد:

- ۱- مجموعه داده ورودی و خروجی باید رفتار واقعی سازه را منعکس کند.
 - ۲- آنها باید تقریباً همه سناریو های احتمالی آسیب را بپوشانند.
- معمولاً الگوریتم های شناسایی آسیب پاسخ های خطی سازه را به کار می برند تا مجموعه داده آموزش بدست بیاید. در برخی از الگوریتم ها آسیب با کاهش مدول الاستیسیته مصالح به سازه معرفی می گردد و یا با کاهش مقطع عرضی المان. این روش ها وقتی در رابطه با آسیب لرزه ای باشند واقع گرایانه به نظر نمی رسند. زلزله می تواند در چند نقطه از سازه ایجاد آسیب باشد و متفاوت بکند. به عبارت دیگر، زلزله یک سناریو آسیب توزیع شده را نسبت به یک سناریو آسیب متمرکز ارائه می کند. برای غلبه بر این مسئله رفتار غیر خطی المان های موجود باید در نظر گرفته شود. با این راه نمونه های آموزشی بدست آمده می توانند رفتار واقعی سازه را منعکس کند. تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آور) و تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی (NTH) دو روش شناخته شده برای تحلیل سازه اند. در این مطالعه، تحلیل پوش آور برای آماده کردن مجموعه داده آموزشی برای پوشاندن سناریو آسیب احتمالی به کار برده می شود. دو دلیل برای انتخاب روش آنالیز پوش آور بجای روش NTH وجود دارد.

۱- برخلاف تحلیل NTH نتایج بدست آمده از تحلیل پوش آور وابسته به حجم فرکانس، مدت یا PGA زلزله ثبت شده نیست. در نتیجه تحلیل پوش آور می تواند سناریو آسیب های بیشتری را با تعداد برابری از run نسبت به تحلیل NTH بپوشاند.

۲- تحلیل NTH زمان بر و پیچیده است در حالیکه تحلیل پوش آور سریع و آسان اجرا می گردد. یک مانع تحلیل پوش آور زمانی است که برای سازه های پیچیده و بلند بکار می رود. نتایج بدست آمده اغلب ناصحیح است [۲۱-۲۳]. برای نمایش کارایی و قدرت روش پیشنهادی، یک ساختمان ۵ طبقه با دیوار برشی بکار برده شده است.

- ۱- ساخت مدل اجزای محدود غیر خطی
 - ۲- آنالیز مودال پوش آور و بدست آوردن نسبت دریافت طبقات میانی و چرخش مفصل پلاستیک
 - ۳- نتایج به شبکه عصبی MLP خورانده می شود
 - ۴- شبکه آموزش دیده برای پیش بینی چرخش مفصل پلاستیک دیوار برشی بتنی استفاده می شود
- ۹ زلزله متفاوت رکورد شده مطابق شکل با نسبت PGA/PGV های مختلف برای این مطالعه در نظر گرفته می شود.

جدول ۲- زلزله های رکورد شده

No.	Earthquake	Year	Duration(sec.)	PGA(cm/s ²)	PGV(cm/s)	PGA/PGV
1	Parkfield	1966	10	264.4	14.51	18.2
2	San Francisco	1957	10	102.8	4.6	22.3
3	Helena	1935	15	143.7	7.2	19.9
4	Kern County	1952	25	175.9	17.7	9.9
5	Borrego	1968	35	45.5	4.2	10.8
6	Mounte Negro	1979	20	167.8	19.4	8.6
7	Long Beach	1933	30	95.6	23.7	4
8	Lower California	1934	25	156.8	20.9	7.5
9	San Fernando	1971	20	98.7	19.3	5.1

در مرحله تایید اعتبار شبکه عصبی آموزش دیده چهار راه سنجش مختلف بررسی شده است:

۱- مقایسه نتایج پیش بینی شده شبکه عصبی آموزش دیده با نتایج ۹ تحلیل NTH متفاوت. نتایج نشان دهنده موفقیت آمیز بودن پیش بینی شبکه عصبی است.

۲- تغییر PGA زلزله های رکورد شده انتخابی و مقایسه نتایج نشان دهنده عدم حساسیت شبکه عصبی به PGA زلزله های رکورد شده است.

۳- مقایسه نتایج شبکه عصبی و آنالیز NTH در دامنه زمان. نتایج نشان می دهد که شبکه عصبی نه تنها آسیب، بلکه شدت آسیب را نیز درست تخمین می زند.

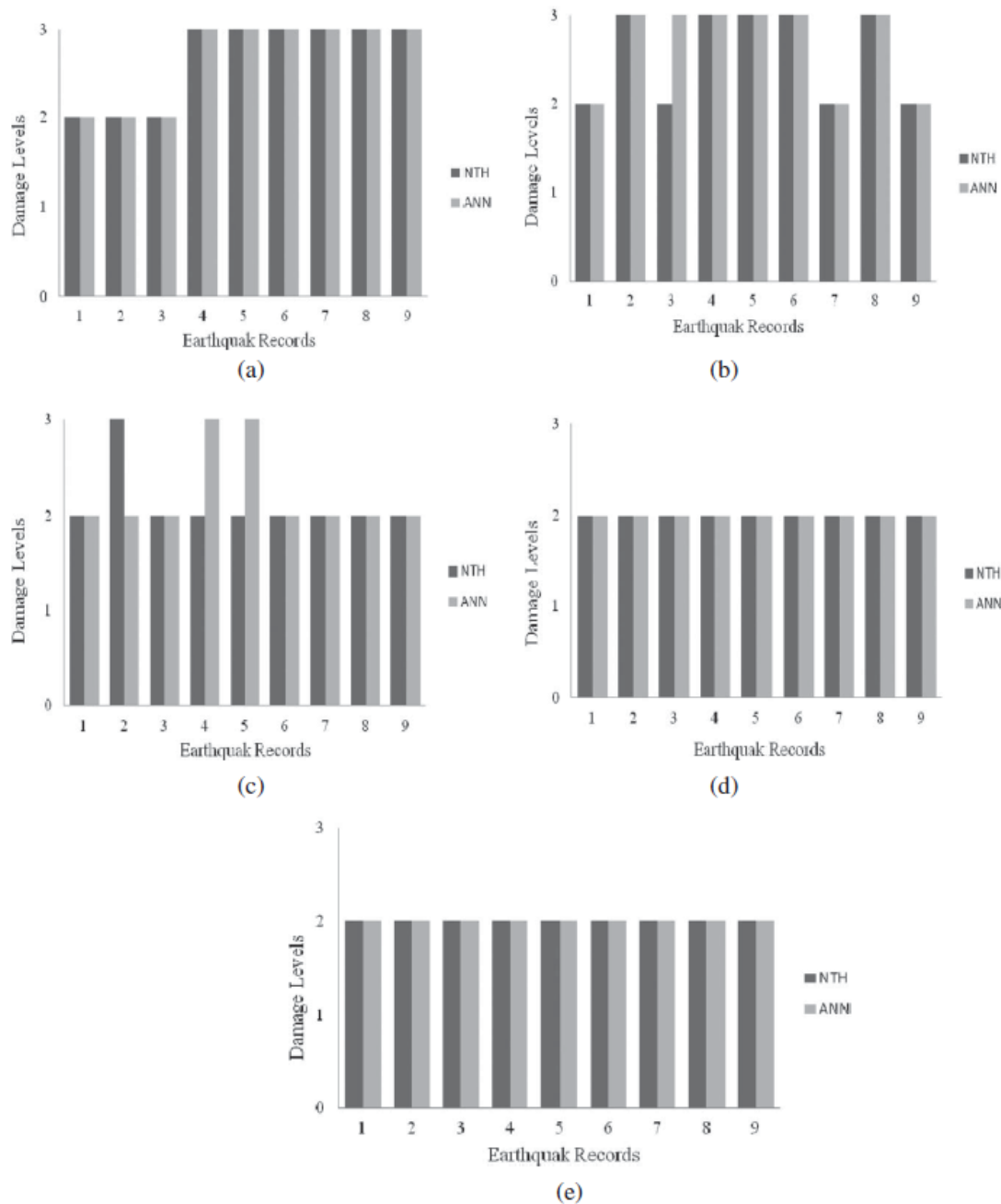
۴- تعریف سه سطح آسیب بر اساس میزان دوران مفصل پلاستیک:

سطح ۱- آسیب قابل چشم پوشی کمتر از ۰,۰۰۴ رادیان

سطح ۲- آسیب متوسط بین ۰,۰۰۴ و ۰,۰۱ رادیان

سطح ۳- آسیب شدید بیش از ۰,۰۱ رادیان

در همه حالات به غیر از ۴ مورد شبکه شناسایی آسیب دیوار برشی را درست انجام داده است [۲۴].



شکل ۳- مقایسه نتایج شبکه عصبی و تحلیل NTH در دامنه زمان

در تحقیقی که توسط Lombaert در سال ۲۰۰۹ صورت گرفت از مدل بیزین بروزآوری شده جهت شناسایی آسیب سازه بتنی که روی میز لرزان آزمایش می شود استفاده شده است [۲۴].

سازه بتنی ۷ طبقه دارای دیوار برشی در معرض یک رشته زلزله رکورد شده قرار می گیرد تا تدریجا دچار آسیب شود. بعد از هر تحریک لرزه ای، داده ارتعاشی از وایت نویز و تحریک محدود جهت تعیین خصوصیات مودال سازه مورد استفاده قرار می گیرد. خصوصیات مودال سه مود اول ساختمان برای تعیین آسیب به وسیله مدل اجزای محدود بیزین بروزآوری شده استفاده می شود.

شناسایی آسیب در سطح های مختلف بوسیله مدل اجزای محدود بدست می آید. برای این هدف مدل اجزای محدود سازه به چند زیر سازه تقسیم می گردد. پارامتر مورد نظر سختی زیر سازه هاست. کاهش سختی زیر سازه آسیب و محل آن را مشخص می کند. از بیزین جهت محاسبه چگالی سختی زیر سازه استفاده می شود. MAP سختی تخمینی برای زیر سازه آسیب دیده کمترین مقدار را نشان می دهد. موافقت خوبی بین نتایج مدل بیزین بروزآوری شده و آسیب واقعی مشاهده دیده می شود.

۷. نتیجه گیری

وقوع خرابی در سیستم های سازه ای در طول عمر سازه امری اجتناب ناپذیر می باشد. تاکنون نمونه های بسیاری از انواع خرابی ها در سازه های مختلف مهندسی به ثبت رسیده که در پی وقوع آنها، خسارات جانی و مالی فراوانی به بار آمده است. بیشتر چنین خرابی ها را می توان با بررسی های اولیه از وضعیت موجود سازه ها، اصلاح و ترمیم نمود و بدین ترتیب از گسترش خرابی در سازه ها و فرو ریختن ساختمان ها جلوگیری کرد. این موضوع در مناطق زلزله خیز که خرابی های موضعی در المانهای سازه ها می توانند منشاء خرابی های کلی باشند اهمیت موضوع پایش سلامتی سازه ها را دو چندان می نماید. بنابراین تعیین خرابی در سیستم های سازه ای و تعلقات آن برای پایش سلامتی سازه ها و افزایش ایمنی و اطمینان از وضعیت موجود سازه ها امری مهم و ضروری است. اگر خرابی در سیستم های سازه ای بطریقی قابل شناسایی باشد می توان با تعمیر یا تعویض المانهای آسیب دیده از ایجاد خرابی های کلی در سازه جلوگیری نمود. در نتیجه سیستم های شناسایی و تعیین خرابی می توانند نقش بسیار مهمی را در ایمن سازی و بهسازی سازه ها و جلوگیری از بوجود آمدن خسارات مالی و جانی ناشی از فرو ریختن سازه ها ایفا نمایند. امروزه، تحقیقات بر روی روش های عیب یابی سازه ها بر پایه تحلیل دینامیکی، بسیار گسترش یافته است زیرا از این روش ها می توان به عنوان روش های بررسی دائمی و به هنگام سازه ها استفاده کرد و از به وجود آمدن آسیب های بیشتر در سازه ها جلوگیری نمود. زمانی که سازه دچار آسیب می شود، به دلیل کاهش سختی، ویژگی های استاتیکی و دینامیکی سازه تغییر کرده، که با در نظر گرفتن نحوه این تغییرات می توان مکان و شدت خرابی را در سازه شناسایی کرد. این روش متاثر از پیشرفت مهندسی کامپیوتر و الکترونیک می باشد. فرآیند پایش سلامت سازه ها شامل چند مرحله است: تحت نظر داشتن وضعیت سازه در طی زمان از طریق انجام آزمون های ارتعاشی دوره ای و اندازه گیری پاسخ ارتعاشی سازه به کمک سنسور هایی که در نقاط مختلف سازه تعبیه می گردند، استخراج ویژگی های و مشخصه های حساس به آسیب از داده های اندازه گیری شده، تعیین وضعیت فعلی سلامت سازه بر پایه تحلیل و پردازش مشخصه های استخراج شده. در این راستا می توان از روش های مبتنی پردازش سیگنال استفاده نمود و یا با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی که با یک سری از ورودی ها و خروجی های مطلوب آموزش داده شده اند به شناسایی آسیب در سازه پرداخت. در این میان شناسایی زود هنگام آسیب دیوارهای برشی که برای مقابله با بارهای جانبی وارد بر سازه ها طراحی می شوند امری حیاتی است زیرا خرابی و نقص در عملکرد سازه ای دیوارهای برشی می تواند منجر به بروز آسیب های جدی و یا حتی خرابی پیشرونده سازه های بتنی گردد. به این منظور می توان با مطالعاتی در زمینه شناسایی آسیب دیوار برشی به وسیله پردازش سیگنال و شبکه عصبی روش های مناسبی را ارائه کرد.

مراجع

- [1] Wu, X., J. Ghaboussi, and J.H. Garrett Jr, "Use of neural networks in detection of structural damage."Computers & Structures, 1992.42(4):p.659.-649.
- [2] Bisby. L and Briglio.M,"An Introduction to Structural Health Monitoring,"A Canadian Network of Centres of Excellence, 2004.

- [3] Rytter, A. "Vibrational Based Inspection of Civil Engineering Structures." Aalborg: Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University, 1993.
- [4] Doebling, S., Farrar, C., Prime, M., and Shevitz, D. "Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems From Changes in their Vibration Characteristics: A literature Review," Los Alamos National Laboratory report LA-13070-MS, 1996.
- [5] Sheena. Z, Zalmanovitch, A. Unger, "Theoretical stiffness matrix correction by using static test results", 24 Israel conference of aviation and astronautics, 1982.
- [6] Sanayei. M, Nelson. R.B. "Identification of structural element stiffness from incomplete static test data", Aerospace technology conference and exposition, SEA 861793, 1986.
- [7] Sanayei, M., Schmolze, J.G. "An expert system that identifies structural element stiffness for failure detection" Applied simulation and modeling, IASTED-109-083, 1987
- [8] Sanayei M, Scampoli SF "Structural element stiffness identification from static test data", ASCE, 1991.
- [9] Sanayei M, Onipede O., "Assessment of structures using static test data". AIAA Journal; 29(7):1156-79, 1991.
- [10] Banan MR, Hjelmstad KD. "Parameter estimation of structures from static response, I: computational aspects". Journal of Structural Engineering, 120(11):3243-58, 1994.
- [11] Banan MR, Hjelmstad KD. "Parameter estimation of structures from static response, II: numerical simulation studies", Journal of Structural Engineering 120(11):3259-83, 1994.
- [12] M. Sanayei, M.J. Saltenik. "Parameter estimation of structures from static response, I: Formulation" Journal of Structural Engineering, ASCE, 1996.
- [13] M. Sanayei, M.J. Saltenik. "Parameter estimation of structures from static response, I: Error sensitivity analysis", Journal of Structural Engineering, ASCE, 1996.
- [14] Sih Hoi Wai, "Damage assessment in structures using vibration characteristics", Ph.D thesis, School of Urban Development Queensland University of Technology, 2008.
- [15] Cawley, P. and Adams, R.D., "The Locations of Defects in Structures from Measurements of Natural Frequencies," Journal of Strain Analysis, 14 (2), pp 49-57, 1979.
- [16] Adams, R., Cawley, P., Pye, C. and Sture, B., "A Vibration Technique for Non-Destructively Assessing the Integrity of Structures," Journal of Mechanical Engineering Science, vol. 20, no. 2, pp. 93-100, 1978.
- [17] Gudmaunson P., "Engine frequency changes of Structures Due to cracks, notches or other geometrical changes. Journal of Mechanics and Physics of Solids 30.1982, P.P. 339-353
- [18] Inagaki, V., Kanki, T., "Transverse vibrations of a general cracked rotor bearing system, Mechanical Design (ASME), 1981, Vol. 104, pp. 1-11.
- [19] Farrar, C.R. and D.V. Jauregui, "Damage Detection Algorithms Applied experimental and numerical modal data from I-40 bridge", Los Alamos national laboratory report LA-13074-MS, 1996.
- [20] O. S. Salawu, "Detection of Structural Damage through Changes in Frequency: A Review," Engineering Structures, Vol. 19, No. 9, 1997, pp. 718-723.
- [21] Kim, J.T., Ryu, Y.S., Cho, H.M. and Stubbs, N. (2003). "Damage identification in beam-type structures: frequency-based method vs mode-shape-based method", Engineering Structures, Vol. 25, pp. 57-67.
- [22] Shifrin, E.I., Ruotolo, R., (1999). "Natural frequency of beam with an arbitrary number of cracks", Journal of Sound and Vibration 222. PP 409-423.

- [23] K. H. Barad, D. S. Sharma, V. Vyas, "Crack detection in canteliver beam by frequency based method", *Procedia a Enineering*, 51, 770-775 (2013).
- [24] N. T. Khiem, L. K. Toan, "A novel method for crack detection in beam-like structures by measurements of natural frequencies", *Journal of Sound and Vibration*, 333, 4084-4103 (2014).