

بررسی میزان خطرپذیری سازه ها و روش های طراحی آن در خرابی پیش رونده

مرتضی زبان دان

کارشناسی عمران، موسسه آموزش عالی نجف آباد

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی میزان خطرپذیری سازه ها و روش های طراحی آن در خرابی پیش رونده انجام شد. روش تحقیق کتابخانه ای با استفاده از کتب، مقالات و پایان نامه ها بود. نتایج نشان داد خرابی پیش رونده یک پدیده پیچیده و خطرناک است که نیازمند توجه ویژه در طراحی و ساخت سازه ها می باشد. با شناسایی عوامل مؤثر در وقوع این پدیده و به کارگیری روش های طراحی مناسب، می توان خطرات مرتبط با خرابی پیش رونده را به حداقل رساند. طراحی مقاوم، انتخاب مصالح با کیفیت، و توجه به استانداردهای ساخت و ساز از جمله اقداماتی هستند که می توانند به افزایش ایمنی سازه ها کمک کنند. همچنین، نگهداری و بازرسی منظم سازه ها به شناسایی و رفع مشکلات قبل از تبدیل شدن به خرابی های پیش رونده کمک خواهد کرد. در نهایت، آموزش و آگاهی بخشی به مهندسان و کارگران در مورد خطرات و بهترین شیوه های طراحی می تواند به بهبود ایمنی سازه ها و کاهش خطرات ناشی از خرابی پیش رونده منجر شود.

واژه های کلیدی: خطرپذیری، سازه، خرابی، خرابی پیش رونده

مقدمه

همواره در علم مهندسی سازه، سعی در پیش بینی مجموعه رخداد هایی بوده است که در طول عمر مفید سازه، بر کارایی و استقامت آن اثر قابل توجهی داشته باشند. این عوامل می بایست حین طراحی سازه، مدنظر مهندس طراح قرار گرفته و بتواند پایداری سازه را در مواجهه با آن تامین نماید. فرو پاشی پیشرونده از آن دسته عواملی است که دلیل وقوع آن، عدم پیش بینی رخداد آن در زمان طرح سازه بوده است و متأسفانه باعث صدمات و فجایع جدی می گردد. (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۵) خرابی پیشرونده یکی از چالش های جدی در مهندسی سازه است که می تواند به تبعات جبران ناپذیری منجر شود. این پدیده زمانی رخ می دهد که یک نقص یا آسیب در یک بخش از سازه، به طور زنجیره ای به سایر بخش ها سرایت کرده و در نهایت منجر به فروپاشی کلی سازه می گردد. با توجه به افزایش جمعیت و نیاز به ساخت و سازهای جدید، اهمیت بررسی و طراحی سازه ها به گونه ای که در برابر خطرات احتمالی مقاوم باشند، دوچندان شده است. در این مقاله، به بررسی میزان خطرپذیری سازه ها و روش های طراحی آن ها در برابر خرابی پیشرونده پرداخته خواهد شد. این بررسی شامل تحلیل عواملی است که می توانند منجر به وقوع خرابی پیشرونده شوند، از جمله طراحی نادرست، انتخاب مصالح نامناسب و عدم رعایت استانداردهای ساخت و ساز. همچنین، روش های مختلف طراحی سازه ها به منظور کاهش خطرپذیری و افزایش ایمنی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. هدف این مقاله، ارائه یک چارچوب جامع برای درک بهتر خطرات مرتبط با خرابی پیشرونده و ارائه راهکارهایی برای بهبود طراحی سازه ها به منظور جلوگیری از وقوع این پدیده است.

عوامل موثر در وقوع خرابی پیشرونده

خرابی پیشرونده یک پدیده پیچیده است که می تواند به دلایل مختلفی رخ دهد. در اینجا به تحلیل عواملی که می توانند منجر به وقوع خرابی پیشرونده شوند، پرداخته می شود:

۱. **طراحی نادرست:** یکی از مهم ترین عوامل خرابی پیشرونده، طراحی نادرست سازه است. این شامل عدم توجه به بارهای وارده، شرایط محیطی و ویژگی های زمین شناسی محل ساخت می شود. طراحی نادرست می تواند منجر به ضعف در نقاط کلیدی سازه شود که در صورت بروز یک نقص، به سرعت به خرابی کلی منجر می گردد.
۲. **انتخاب مصالح نامناسب:** استفاده از مصالح با کیفیت پایین یا نامناسب برای شرایط خاص می تواند به ضعف سازه منجر شود. مصالحی که در برابر عوامل محیطی مانند رطوبت، زلزله یا بارهای سنگین مقاوم نیستند، می توانند در طول زمان دچار آسیب شوند و خطر خرابی پیشرونده را افزایش دهند.
۳. **عدم رعایت استانداردهای ساخت و ساز:** عدم رعایت استانداردهای ملی و بین المللی در ساخت و ساز می تواند به بروز مشکلات جدی منجر شود. این استانداردها به منظور تضمین ایمنی و کیفیت سازه ها طراحی شده اند و نادیده گرفتن آن ها می تواند عواقب وخیمی داشته باشد.
۴. **بارگذاری غیرمناسب:** بارگذاری نادرست یا غیرمناسب سازه، به ویژه در زمان های بحرانی مانند زلزله یا طوفان، می تواند به خرابی پیشرونده منجر شود. اگر بارهای وارده به سازه بیش از حد پیش بینی شده باشد، ممکن است نقاط ضعف سازه به سرعت نمایان شود.
۵. **آسیب های ناشی از حوادث طبیعی:** زلزله، سیل، طوفان و سایر حوادث طبیعی می توانند به سازه ها آسیب برسانند. این آسیب ها ممکن است به تنهایی منجر به خرابی نشوند، اما اگر سازه قبلاً دارای نقاط ضعف باشد، می توانند به خرابی پیشرونده منجر شوند.

۶. **نگهداری ناکافی:** عدم نگهداری و بازرسی منظم سازه‌ها می‌تواند به بروز مشکلات جدی منجر شود. آسیب‌های کوچک اگر به موقع شناسایی و تعمیر نشوند، می‌توانند به خرابی‌های بزرگ‌تر و پیش‌رونده منجر شوند.

۷. **تغییرات در شرایط محیطی:** تغییرات در شرایط محیطی، مانند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، می‌تواند به ناپایداری سازه‌ها منجر شود. این تغییرات ممکن است به مرور زمان تأثیر منفی بر روی ساختار سازه بگذارند و خطر خرابی پیش‌رونده را افزایش دهند.

با توجه به این عوامل، ضروری است که مهندسان و طراحان سازه‌ها به دقت به این موارد توجه کنند و از روش‌های طراحی و ساخت مناسب استفاده نمایند تا خطر خرابی پیش‌رونده را به حداقل برسانند (بشیری و همکاران، ۱۳۸۹).

مقاوم سازی سازه برای مقابله با آسیب های اولیه ایجاد شده

باتوجه به این نکته که محل آسیب اولیه در سازه نامشخص می باشد، آیین نامه UFC هیچ محدودیتی در محل ایجاد آسیب نمی گذارد و به این نکته اشاره می کند که با آسیب به هرستون دلخواه ازسازه، سازه نباید دچار آسیب جدی شود و باید بتواند با باز توزیع مناسب بار، ایمنی جانی افراد را تأمین کند. در این موارد طراح باید با استفاده از روش های مناسب مقاوم سازی، طوری سازه را طراحی ویا تقویت کند که سازه توانایی مقابله در برابر خرابی پیش رونده را داشته باشد.

خطرپذیری سازه‌ها

در آیین نامه UFC میزان خطرپذیری سازه ها براساس عواقبی که خرابی در سازه خواهد داشت، سنجیده می شود که مهم ترین این عواقب نیز تلفات جانی آن می باشد. بنابراین میزان سکنه هرسازه، مهم ترین نقش درخطرپذیری هر سازه را تعیین می کند. با توجه به جداول موجود در آیین نامه UFC3-301-01 ساختمان ها براساس اهمیت به ۵ گروه تقسیم می شوند که درجدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): درجه اهمیت سازه ها دربحث خرابی پیش رونده

درجه اهمیت	وضعیت سازه
I	ساختمان ها و یا سازه هایی که در اثر تخریب تلفات جانی اندکی خواهند داشت مانند: • انبارهای نگهداری مواد کشاورزی • تأسیسات موقت • انبارهای کم اهمیت
II	ساختمان ها و سازه هایی که در قسمت I، II، III، IV، V قرار دارند.
III	سازه هایی که در اثر تخریب، صدمات جانی و مالی فراوانی به همراه خواهند داشت، مانند: • ساختمان ها و یا سازه هایی که بیش از ۳۰۰ نفر در یک قسمت از آن گرد هم جمع می شوند. • مهدکودک ها و یا مدارسی که بیش از ۲۵۰ نفر جمعیت دارند. • ساختمان ها و یا دیگر سازه هایی که بیش از ۵۰۰ نفر جمعیت دارند. • مراکز درمانی با بیش از ۵۰ تخت در صورتی که خدمات مربوط به جراحی را ارائه ندهند. • زندان ها و ساختمان های نیروی انتظامی

	- نیروگاه های برق، تصفیه خانه های آب وفاضلاب ویاسایر مراکزعمومی که درقسمت IV و V به آن اشاره نشده است. - ساختمان ها ویا دیگرسازه هایی که شامل مقادیر قابل توجهی مواد سمی، قابل اشتعال ویا منفجره ویا دیگر موادی که درصورت آزادشده می توانند برای دیگران خطرناک باشد. - سازه هایی که شامل دستگاه های بسیار ارزشمند می باشند.
IV	ساختمان ها ویا دیگر تأسیسات بحرانی مانند: - ساختمان ها و دیگر مراکز درمانی که دارای بخش جراحی می باشند. - ایستگاه های آتش نشانی، امدادونجات، مراکز پلیس وپارکینگ وسایل نقلیه اورژانسی - مراکز مخابراتی - ساختمان هایی که حاوی حجم بسیارزیادی ازمواد سمی می باشند. - برج های مراقبت فرودگاه ها
V	مراکز استراتژیک نظامی مانند: - مراکز دفاعی - مراکز هسته ای

روش های طراحی

امنیت سازه همیشه در طراحی پروژه های مهندسی عمران برای مهندسان امری کلیدی بوده است. یکی از مکانیزم های که سازه در آن دچار شکست می شود و در چند دهه توجه زیادی به آن شده است مربوط به تخریب پیشرونده است که در آن یک یا چند عضو سازه ای ناگهان به علت های مختلف شکست شده و سپس ساختمان به شکل پیشرونده ای دچار فروریزش می گردد. تخریب پیشرونده رویدادی نسبتاً نادر است که در آن بارهای غیر متعارف آسیب موضعی را ایجاد می کنند و سازه بدلیل کمبود پیوستگی، شکل پذیری و نامعینی آسیب را پخش می کند. به بیان ساده تر خرابی پیش رونده در سازه ها رami توان به عنوان یک واکنش زنجیره ای تعریف کرد که در آن تحت عللی خاص، صدمه موضعی در ناحیه نسبتاً کوچکی از سازه رخ میدهد و در شرایطی این صدمه موضعی، به بخشهای دیگری از سازه گسترش یافته و در نهایت به خرابی کلی سازه، منتهی می شود(علی زهی و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعات نشان می دهد دو روش طراحی دربحث خرابی پیش رونده وجود دارد که عبارتند از روش طراحی مستقیم^۱ و روش طراحی غیرمستقیم^۲.

در روش های طراحی مستقیم، سازه مورد نظر به طور مشخص دربرابر خرابی پیش رونده طراحی می گردد. طراحی مستقیم، خود به دو نوع طراحی تقسیم می گردد:

۱. **روش مسیرهای جایگزین^۳** که در این روش سازه باید طوری طراحی گردد که اگرهریک از المان های باربر ثقلی اش از بین برود، سازه همچنان پایداری خود را حفظ کند وخرابی به صورت موضعی باقی مانده و درکل سازه پیش نرود.

۲. **روش مقاومت موضعی ویژه^۴** که در این روش ساختمان ویابخشی از ساختمان باید دارای مقاومت کافی برای مقابله با یک بار مشخص را داشته باشد. به عبارت دیگر در این روش طراح اعضای بحرانی باربر عمودی ساختمان را در برابر مقدار مشخصی بار غیرعادی مانند انفجارطراحی می کند. این روش به روش طراحی اعضای کلیدی نیز معروف است.

¹ - Direct Design Approaches

² - Indirect Design Approaches

³ - Alternate Path Method

⁴ - Specific Local Resistance Method

در روش طراحی غیر مستقیم، مقاومت سازه در برابر خرابی پیش رونده به صورت غیر مستقیم تأمین می گردد. در این روش آیین نامه ها پیشنهادهایی برای افزایش درجه نامعینی سازه ارائه می دهند که عبارتند از:

۱. پلان مناسب
 ۲. سیستم جامع کلاف بندی در سازه
 ۳. بستن دیوارهای عمود برهم در گوشه های سازه
 ۴. تیرچه ریزی شطرنجی
 ۵. پارتیشن های باربر داخلی
 ۶. رفتار زنجیروار کف ها
 ۷. استفاده از سیستم های سازه ای با درجه نامعینی بالا
 ۸. استفاده از مصالح شکل پذیر
 ۹. استفاده از بتن مسلح اضافی برای مقابله در برابر انفجار، در صورتی که طراح بخواهد نیروهای انفجار را نیز در نظر بگیرد.
- در آیین نامه UFC از نیروهای احاطه کننده^۵ برای حفظ پیوستگی، شکل پذیری و افزایش درجه نامعینی سازه استفاده می گردد. بدین صورت که با استفاده از یک نیروی کششی حداقل به هم پیوستگی سازه تأمین می گردد. این روش همانند روشی می باشد که پس از تخریب ساختمان رونان پویت در سال ۱۹۶۸ که پیش تر به آن اشاره شد، از آن استفاده می شود و هم اکنون در استاندارد اروپایی وجود دارد.

روش های مختلف طراحی سازه ها به منظور کاهش خطرپذیری و افزایش ایمنی

برای کاهش خطرپذیری و افزایش ایمنی سازه ها در برابر خرابی های پیش رونده، می توان از روش های مختلف طراحی استفاده کرد. در ادامه به برخی از این روش ها اشاره می شود:

۱. **طراحی مقاوم در برابر بارهای دینامیکی:** استفاده از روش های طراحی که توانایی سازه را در برابر بارهای دینامیکی مانند زلزله و طوفان افزایش می دهد، می تواند به کاهش خطر خرابی پیش رونده کمک کند. این شامل استفاده از سیستم های لرزه ای و طراحی مناسب اتصالات است.
۲. **استفاده از سیستم های چندلایه:** طراحی سازه ها به صورت چندلایه، به ویژه در سازه های بلند، می تواند به توزیع بارها و کاهش تنش ها کمک کند. این سیستم ها معمولاً شامل دیوارهای برشی و تیرک های تقویتی هستند که استحکام سازه را افزایش می دهند.
۳. **تحلیل و شبیه سازی:** استفاده از نرم افزارهای پیشرفته برای تحلیل و شبیه سازی رفتار سازه در شرایط مختلف می تواند به شناسایی نقاط ضعف و طراحی بهینه کمک کند. این تحلیل ها می توانند شامل شبیه سازی بارگذاری های مختلف و ارزیابی رفتار سازه در شرایط بحرانی باشند.
۴. **استفاده از مصالح با کیفیت و مقاوم:** انتخاب مصالح با کیفیت بالا و مقاوم در برابر شرایط محیطی و بارهای وارده، می تواند به افزایش ایمنی سازه کمک کند. مصالحی که در برابر زلزله، رطوبت و سایر عوامل آسیبزا مقاوم هستند، می توانند خطر خرابی پیش رونده را کاهش دهند.

⁵- Tie Force

۵. **طراحی اتصالات قوی:** اتصالات سازه باید به گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند بارهای وارده را به خوبی منتقل کنند و از شکست‌های ناگهانی جلوگیری نمایند. استفاده از اتصالات قوی و مناسب می‌تواند به افزایش یکپارچگی سازه کمک کند.
 ۶. **استفاده از سیستم‌های هشداردهنده:** نصب سیستم‌های هشداردهنده و نظارتی می‌تواند به شناسایی زود هنگام مشکلات و آسیب‌ها کمک کند. این سیستم‌ها می‌توانند شامل حسگرهای لرزه‌ای، حسگرهای فشار و سایر تجهیزات نظارتی باشند.
 ۷. **برنامه‌ریزی برای نگهداری و بازرسی منظم:** طراحی یک برنامه نگهداری و بازرسی منظم برای سازه‌ها می‌تواند به شناسایی و تعمیر مشکلات قبل از تبدیل شدن به خرابی‌های پیش‌رونده کمک کند. این برنامه باید شامل بازرسی‌های دوره‌ای و ارزیابی وضعیت سازه باشد.
 ۸. **آموزش و آگاهی‌بخشی:** آموزش مهندسان و کارگران در مورد خطرات خرابی پیش‌رونده و روش‌های طراحی ایمن می‌تواند به کاهش خطرات کمک کند. آگاهی از بهترین شیوه‌ها و استانداردها در طراحی و ساخت سازه‌ها می‌تواند تأثیر زیادی بر ایمنی سازه‌ها داشته باشد.
- با به‌کارگیری این روش‌ها، می‌توان خطر خرابی پیش‌رونده را به حداقل رساند و ایمنی سازه‌ها را افزایش داد (آذرخش و قبادیان، ۱۴۰۳).

شرایط طراحی برای ساختمان‌های موجود و ساختمان‌های جدید

آیین نامه UFC، بر اساس درجه اهمیت و تعداد سکنه ساختمان که به آن اشاره شد، طراح را ملزم به استفاده از یکی یا ترکیب چند روش تحلیل و طراحی که پیش‌تر به آن اشاره شد، می‌کند. این الزامات در جدول (۲) آورده شده‌اند.

از میان روش‌های مختلف طراحی سازه‌ها در مقابل خرابی پیش‌رونده، آیین نامه‌ها معمولاً در ساختمان‌های با اهمیت متوسط، روش مسیرهای جایگزین را پیشنهاد می‌کنند. در این روش سازه طوری طراحی می‌گردد که اگر یکی از اعضا ظرفیت باربری خود را ازدست بدهد، مسیرهای جایگزینی برای انتقال بار وجود خواهد داشت و خرابی کلی اتفاق نخواهد افتاد. از ویژگی‌های مثبت این روش می‌توان به سادگی و صراحت آن اشاره کرد. در اکثر موارد کاربردی باید درجه نامعینی سازه به حدی باشد که در اثر حذف هریک از ستون‌هایش، همچنان پایداری خود را حفظ کند (کاواکچی و همکاران، ۲۰۰۳).

با توجه به این نکته که اکثر مقالات و همچنین خود آیین نامه UFC برای بحث خرابی پیش‌رونده این روش را پیشنهاد کرده‌اند، با توجه به این نکته که سازه‌های مورد بررسی ما از نوع مسکونی با جمعیت کمتر از ۳۰۰ نفر می‌باشد، در گروه II جدول (۲) قرار می‌گیرد و مجاز به استفاده از روش مسیرهای جایگزین می‌باشیم، بنابراین در این تحقیق نیز پس از توضیح چگونگی روند تحلیل در این روش، برای ارزیابی مورد بررسی در برابر خرابی پیش‌رونده، از این روش استفاده خواهد شد.

جدول (۲) شرایط طراحی برای ساختمان های موجود و ساختمان های جدید

درجه اهمیت ساختمان	الزامات طراحی
I	الزام خاصی وجود ندارد.
II	استفاده از یکی از دو روش زیر: • روش اول: استفاده از روش نیروهای احاطه کننده برای کل سازه و روش مقاومت محلی ویژه برای ستون های و دیوارهای برشی گوشه ویکی مانده به آخر در طبقه اول • روش دوم: استفاده از روش مسیرهای جایگزین در حالتی که ستون و دیوار مشخصی از سازه حذف شده است.
III	استفاده از روش مسیرهای جایگزین در حالتی که ستون و دیوار مشخصی از سازه حذف شده است به همراه استفاده از مقاومت محلی ویژه برای همه ستون ها و یا دیوارهای طبقه اول
IV	استفاده از روش نیروهای احاطه کننده به همراه استفاده از روش مسیرهای جایگزین در حالتی که ستون و دیوار مشخصی از سازه حذف شده است و روش مقاومت محلی ویژه برای همه ستون ها و دیوارهای طبقه اول و دوم

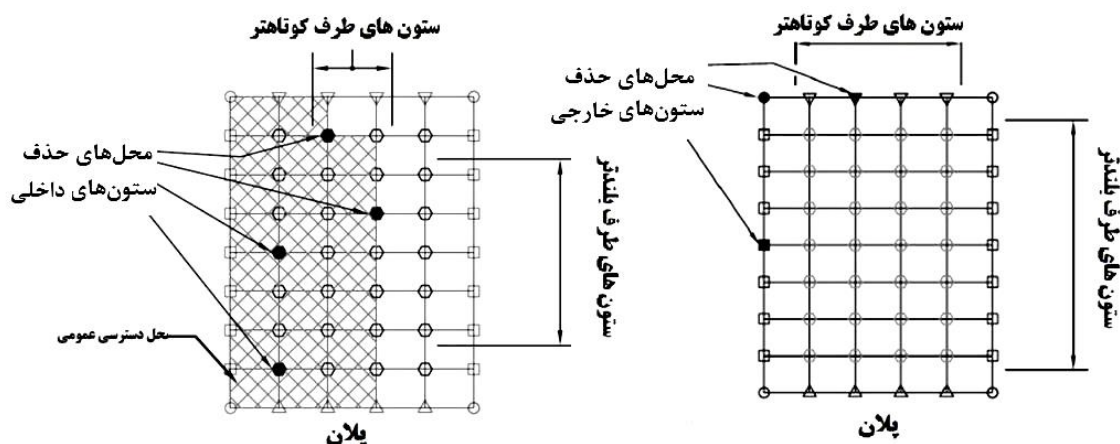
انتخاب ستون و یا دیوارهایی که باید حذف شوند

در این قسمت نیز باید بر اساس حداقل های موجود در آیین نامه UFC، تعداد و محل ستون هایی که باید حذف شوند، مشخص شوند. به طور مثال آیین نامه UFC معیارهای زیر را برای حذف ستون ها بیان می کند البته همین آیین نامه در ادامه تأکید می کند که این معیارها، حداقل هستند و مهندس می تواند براساس قضاوت مهندسی خود ستون های دیگر را نیز حذف کند.

براساس آیین نامه UFC ستون های زیر از سازه باید به طور جداگانه حذف شوند و سازه در مقابل خرابی پیش رونده تحلیل شود:

۱. در سمت کوتاه تر سازه، ستون نزدیک به وسط سازه حذف شود.
۲. در سمت بلند تر سازه، ستون نزدیک به وسط سازه حذف شود.
۳. ستون های گوشه سازه نیز باید حذف شوند.
۴. در محل هایی که طول دهانه به صورت ناگهانی تغییر محسوسی می کند.
۵. در محل هایی که بار به صورت ناگهانی تغییر محسوسی می کند.

در شکل (۱) تعدادی از این حالات نشان داده شده اند:



شکل (۱) تعدادی از محل های حذف ستون

راهکارهای پیشگیری از خرابی های پیشرونده در ساختمان های شهری

برای پیشگیری از خرابی های پیشرونده در ساختمان های شهری، می توان از راهکارهای زیر استفاده کرد:

۱. **طراحی مناسب و دقیق:** استفاده از طراحی های مهندسی دقیق و مطابق با استانداردهای روز می تواند به کاهش احتمال خرابی پیشرونده کمک کند. این شامل تحلیل های ساختاری و بارگذاری های دقیق است.
۲. **استفاده از مصالح با کیفیت:** انتخاب مصالح با کیفیت و مناسب برای ساخت و ساز، به ویژه در مناطق با شرایط جوی خاص، می تواند به افزایش پایداری و مقاومت ساختمان ها کمک کند.
۳. **بررسی و ارزیابی مستمر:** انجام بازرسی های دوره ای و ارزیابی های مستمر از وضعیت ساختمان ها به شناسایی زود هنگام مشکلات و نواقص کمک می کند. این ارزیابی ها باید شامل بررسی های ساختاری و محیطی باشد.
۴. **مدیریت بارگذاری:** طراحی سیستم های بارگذاری مناسب و مدیریت بارهای وارده به ساختمان ها، به ویژه در برابر زلزله و سایر بارهای دینامیکی، می تواند از خرابی های پیشرونده جلوگیری کند.
۵. **آموزش و آگاهی رسانی:** آموزش مهندسان، معماران و پیمانکاران در زمینه خطرات خرابی پیشرونده و روش های پیشگیری از آن، می تواند به بهبود کیفیت ساخت و ساز کمک کند.
۶. **استفاده از فناوری های نوین:** به کارگیری فناوری های نوین مانند مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و تحلیل های پیشرفته می تواند به شبیه سازی رفتار سازه ها و شناسایی نقاط ضعف کمک کند.
۷. **توسعه برنامه های نگهداری:** تدوین و اجرای برنامه های نگهداری منظم و پیشگیرانه برای ساختمان ها، به ویژه در مناطق با خطر بالای خرابی، می تواند به حفظ ایمنی و پایداری سازه ها کمک کند.
۸. **مشارکت جامعه:** ایجاد بسترهای مناسب برای مشارکت شهروندان در نظارت و گزارش مشکلات ساختمانی می تواند به شناسایی زود هنگام نواقص و خطرات کمک کند.
۹. **توسعه استانداردها و مقررات:** تدوین و اجرای استانداردها و مقررات سخت گیرانه در زمینه ساخت و ساز و نگهداری ساختمان ها، می تواند به کاهش خطر خرابی پیشرونده کمک کند.

با اجرای این راهکارها، می‌توان به بهبود ایمنی و پایداری ساختمان‌های شهری و کاهش خطر خرابی پیش‌رونده دست یافت (احمدیان، ۱۴۰۴).

منابع و مآخذ

۱. آذرخوش، حجت‌الله، قبادیان، آرمین (۱۴۰۳) خرابی پیش‌رونده، انتشارات سخنوران.
۲. احمدیان، عباس (۱۴۰۴) بررسی تاریخیچه خرابی‌های پیش‌رونده در ساختمان‌های شهری، مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری، دوره ۱۱، شماره ۱، ص ۳۳۸-۳۴۸.
۳. بشیری، محمدرضا، ضیایی، مسعود، ساعدی داریان، امیر، بهرامپور، حسام‌الدین (۱۳۸۹) خرابی پیش‌رونده تئوری و کاربرد، انتشارات انگیزه.
۴. علی زهی، کریم، دشتی رحمت‌آبادی، محمدعلی (۱۳۹۹) معرفی انواع خرابی پیش‌رونده، طراحی و مقاوم سازی سازه‌ها، هشتمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، شیروان.
۵. یزدانی، حسین، دشتی، محمدعلی (۱۳۹۵) خرابی پیش‌رونده در ساختمان‌ها، چهارمین کنگره علمی پژوهشی افق‌های نوین در حوزه مهندسی عمران، معماری، فرهنگ و مدیریت شهری ایران، تهران.
6. Kaewkulchai, G., & Williamsin, EB. (2003). Dynamic behavior of planar frames during progressive collapse. In: 16th ASCE engineering mechanics conference.