

نوع مقاله: علمی ترویجی

چکیده

با توجه به این که ایران از نظر شرایط جغرافیایی جزو کشورهای سانه‌خیز محسوب می‌شود، لازم است ساختمان‌هایی تاب‌آور در برابر سوانح ساخته شود تا خسارات مالی و جانی ناشی از سوانح به‌خصوص زلزله را به حداقل برساند. یکی از راه‌های افزایش تاب‌آوری ساختمان، بهره‌گیری از مصالح سبک و مقاوم در ساخت است؛ مصالح پایدار اکثراً سبک و بسیار مقاوم و همساز با اقلیم هستند در نتیجه بهره‌گیری از آنها می‌تواند بر افزایش تاب‌آوری ساختمان‌ها مؤثر باشد. هدف از این پژوهش بررسی مزایای مصالح ژئوپلیمر در سبک‌سازی و در نتیجه افزایش تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر زلزله است که با روش توصیفی-مروری بر منابع کتابخانه‌ای و مقالات داخلی و خارجی انجام گرفته است. در این مقاله ابتدا به معرفی مقوله تاب‌آوری و مؤلفه‌های آن به‌طور عام پرداخته می‌شود. سپس این ایده به‌طور خاص به‌عنوان کیفیتی ساختاری در سیستم‌های ساخت‌وساز در برابر زلزله، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت درمی‌یابیم لزوم بهره‌گیری از تمامی مصالح پایدار، سبک و دوست‌دار محیط‌زیست امروزه بیش‌ازپیش احساس می‌شود؛ و دلیل اصلی این موضوع افزایش جمعیت، افزایش آلودگی هوا و آلودگی زیست‌محیطی و همچنین افزایش ساخت‌وساز و به طبع افزایش نرخ تخریب سازه‌ها در پی وقوع زلزله است. در صورت تخریب سازه، هرچه مصالح به کار برده شده در ساخت آن سبک‌تر باشد، خطر آسیب جانی افراد را کاهش داده و همچنین مراحل آواربرداری سهل‌تر و سریع‌تر صورت خواهد گرفت؛ و این به معنای افزایش توان بازگشت جامعه به شرایط پیش از بحران (تاب‌آوری) می‌باشد.

واژگان کلیدی: تاب‌آوری، سوانح طبیعی، مصالح ژئوپلیمر، مصالح سبک.

بررسی مزایای مصالح ژئوپلیمر، در تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر زلزله

زهرا سادات حیات غیبی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بازسازی پس از سانحه، دانشکده فنی و مهندسی، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران،
zahrasadat.hayatgheibi@iau.ir

۱- مقدمه

ناخواسته بعد از سوانح و ترمیم و بهبود جامعه سانه دیده از لحاظ اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و کالبدی است. بر این اساس پیوند بین توسعه جامعه و مدیریت سوانح برای ایجاد جامعه تاب‌آور در برابر مخاطرات، ضروری است. برنامه‌ریزی مبتنی بر جامعه و ارزیابی مخاطرات و خطرپذیری‌ها، مرحله بنیادی اولیه در ایجاد تاب‌آوری جامعه است برنامه‌ها باید به شکل منظم بررسی شده و بر مبنای اطلاعات، تجارب جدید و درس‌های فراگرفته شده از اجرا و نظارت به‌روزرسانی شود (Wikström, 2013)؛ بنابراین تاب‌آوری باید مفهوم قانونی تمام

سوانح طبیعی مخرب ساختمان‌ها، اغلب شامل زلزله و طوفان‌های شدید می‌باشند؛ هرچند نشست زمین، سیل و دیگر سوانح نیز بسیار مخاطره‌آفرین و تخریب‌کننده هستند. به‌طور کلی دو نوع استراتژی در مواجهه با سوانح طبیعی وجود دارد که شامل استراتژی‌های پیش‌بینی و استراتژی‌های تاب‌آوری می‌شود؛ اولی برای روبه‌رو شدن با مشکلات شناخته شده به کار می‌رود و دومی برای مشکلات ناشناخته (Menden, 2007). در این بین تاب‌آوری، به منزله‌ی ارتقاء توانایی جامعه، برنامه‌ریزی و آمادگی برای جذب و بهبود و موفقیت بیشتر برای مقابله با اثرات

نشود از این رو خطر آفرینی به کمترین مقدار می‌رسد و همین امر موجب کاهش آسیب و خسارات ناشی از آن می‌شود. از طرفی امروزه با توجه به افزایش گاز گلخانه‌ای و آلودگی‌های زیست‌محیطی لزوم بهره‌گیری از مصالح پایدار به مراتب بیش از پیش اهمیت می‌یابد. مصالح پایدار از جمله بامبو، بلوک کاهی، همپکریت، پلاستیک بازیافتی و... مصالحی سبک و پایدار هستند که به تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سوانح کمک شایانی می‌کنند.

۲- پیشینه پژوهش

دیویس و آيسان (Davis & Aysan, 1992)، با بررسی کاهش مخاطرات طبیعی در دهه‌ی ۱۹۹۰ به این نتیجه رسیدند که استفاده از تجارب به دست آمده از مطالعات بلایا به منظور کاهش خطر و افزایش تاب‌آوری کاملاً امکان‌پذیر است. پیرعطا و حسینی (Pir Atta & Hosseini, 2013) در مقاله‌ای با عنوان (تاب‌آوری در صنعت ساختمان و تأثیرات آن در مدیریت مخاطرات زلزله)، ضمن تأکید بر لزوم تقویت نقش صنعت ساختمان در کلیه مراحل مدیریت مخاطرات ناشی از سوانح طبیعی تلاش کرده است این امر در رویکردی تکنولوژی محور و به موازات اقدامات مدیریت مخاطرات و همسو با آن مطرح کند. راهکار پیشنهادی مشتمل بر شناسایی و تقویت کیفیتی در ساختار سیستم‌های ساخت‌وساز تحت عنوان تاب‌آوری سیستم‌های ساخت‌وساز است. این کیفیت ناظر بر قابلیت یک سیستم به خصوص ساختمانی در مواجهه با سانحه و کاهش آسیب‌پذیری آن در درجه اول و در مرحله بعد توانایی ترمیم عوارض کوتاه‌مدت و بلندمدت ناشی از آن است.

حیبی و همکاران (Habibi et al., 2013)، در مقاله‌ی (تحلیل فضایی مؤلفه‌های تاب‌آوری کالبدی بافت‌های فرسوده‌ی شهری در برابر زلزله، مطالعه موردی منطقه ۱۰ تهران)، برای دست‌یابی به اهداف پژوهش، شاخص‌های برگزیده‌ی اسکلت ساختمان، جنس مصالح، قدمت ساختمان و کیفیت ابنیه را استخراج کردند و در نهایت نتایج مکانی در این پژوهش نشان

برنامه‌های مدیریت سوانح و توسعه در جامعه قرار گیرد. تاب‌آوری ظرفیت این را دارد که در چرخه مدیریت سوانح طبیعی در قبل، حین و بعد از سانحه وارد شود (Andersen & Cardona, 2013). با توجه به اینکه مدیریت سوانح طبیعی بعد از رخداد سانحه در ایران شرایط مطلوبی ندارد و پس از وقوع این چنین سوانحی همچون زلزله شهرهای بم و رودبار آسیب‌های زیاد به مردم این گونه جوامع وارد شده و به این دلیل که معمولاً افراد سانحه دیده قادر نیستند به آسانی به شرایط متعادل بازگردند و یا اینکه شرایط خود را به گونه‌ای جدید تغییر داده و بتوانند به سازگاری موفق دست یابند (Kamani-Fard et al., 2012). لذا بررسی و تبیین مفهومی تاب‌آوری و شاخص‌ها و چارچوب‌های آن در ایران ضروری به نظر می‌رسد زیرا نتایج آن می‌تواند در تدوین قوانین و مقررات مربوط به حوزه مدیریت سوانح طبیعی، آسیب‌پذیری، سیاست‌های تقلیل خطر بحران و افزایش تاب‌آوری و همچنین جهت تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های مجریان از شهرهای کشور در خصوص مدیریت سوانح طبیعی استفاده شود. علاوه بر اینها این پژوهش به دلایل زیر از اهمیت و ضرورت برخوردار است. تخریب ساختمان‌ها بر اثر سوانح که تشکیل دهنده کالبد شهر هستند، تبعات زیادی را به همراه خواهند داشت. تبعات سوانحی از جمله زلزله بسیار فراتر و گسترده‌تر از تخریب چند ساختمان بوده و جنبه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مسئله نشان از اهمیت ساخت سازه‌های تاب‌آور در برابر سوانح دارد تا در برابر این گونه حوادث، پایداری خود را حفظ کرده و یا در صورت تخریب آسیب کمتری برجای بگذارد. مهم‌ترین علل خسارات جانی به افراد و مشکلاتی از جمله بسته شدن راه‌ها در زمان وقوع سوانح، آسیب به زیرساخت شهری و... آوار به جامانده از تخریب ساختمان‌هایی با مصالح سنگین است. پس لزوم بهره‌گیری از مصالح سبک برای افزایش تاب‌آوری ساختمان‌ها امری ضروری است. مصالح سبک به واسطه وزن سبکی که دارند از بار مرده ساختمان می‌کاهند و سبب می‌شوند به هنگام وقوع سوانح، هیچ بار ثقیل و زیادی آوار

برای ایستادگی، تحمل و سازگاری در برابر حوادث و سوانح و بازتوانی و بازسازی مؤثر و به‌موقع جامعه آسیب‌دیده گفته می‌شود. به معنی جهش کردن یا به جای اول برگشتن است. اولین بار واژه تاب‌آوری از Resilire واژه تاب‌آوری نشئت گرفته از واژه لاتین رشته بیولوژیکی گرفته شده است (Norman, 2012).

از نظر فولک، تاب‌آوری همیشه سیستم بازگشت به گذشته یا تعادل نیست، بلکه احتمال انطباق و دگرگونی در وضعیت موجود و همچنین احتمال بقا و تغییرات را در آینده خواهد داد (Folke et al., 2012). انجمن بین‌المللی طرح‌های محلی محیط‌زیست؛ تاب‌آوری را ظرفیت و توانایی یک جامعه و مقاومت در برابر استرس، زنده ماندن، انطباق، بازگشت به عقب از یک بحران یا فاجعه تعریف می‌کند (ICLEI, 2013). تاب‌آوری ممکن است به‌عنوان تابعی از توسعه و تعامل فرد با تغییرات محیطی در طول زمان مطرح شود. در جدول (۱) برخی تعاریف مفهوم تاب‌آوری از دیدگاه‌های متفاوت و نظریه‌ای به‌طور خلاصه بیان شده است.

می‌دهد تاب‌آوری محدوده‌های بافت مرکزی، غربی و جنوب شرقی نسبت به شمال منطقه ۱۰ در وضعیت تاب‌آوری کم تا بسیار کم قرار دارد. اولویت برنامه‌ریزی برای تاب‌آور کردن بافت کالبدی منطقه ۱۰ شهرداری تهران به ترتیب محدود غربی، مرکزی و جنوب شرقی است.

۳- یافته‌ها

سوانح طبیعی، به سوانح ناشی از پدیده‌های طبیعی، مانند سیل، زلزله، طوفان و... گفته می‌شود. مدیریت بحران برای مقابله با سوانح دارای مراحل زیر است (شکل ۱):
تمرکز عمده برای افزایش تاب‌آوری ساختمان‌ها در برابر سوانح طبیعی، برای جلوگیری از تخریب، در مرحله آمادگی پیش از وقوع بحران قرار دارد.

۳-۱- مفاهیم تاب‌آوری

به نقل از قانون مدیریت بحران کشور مصوب ۱۳۹۸/۵/۷ تاب‌آوری به توانایی یک نظام، یا جامعه در معرض مخاطرات،



شکل (۱): چرخه مدیریت بحران (Natural Disaster Research Institute, 2019).

جدول (۱): تعاریف و مفاهیم تاب‌آوری.	
شدت اختلالی که سیستم می‌تواند آن را جذب کند قبل از اینکه ساختار سیستم از طریق تغییر متغیرها و فرایندهایی که رفتار آن را کنترل می‌کنند، به ساختار متفاوتی تبدیل شود.	Holling & Gunderson, 2002
تاب‌آوری به ظرفیت سیستم‌های اکولوژیکی برای جذب اختلالات و نیز برای حفظ بازخوردها، فرایندها و ساختارهای لازم و ذاتی سیستم اطلاق می‌شود.	Adger et al., 2005
تاب‌آوری به ظرفیت جذب و عملکردهای اساسی و ویژه در طی سوانح و نیز ظرفیت بازیابی «برگشت به تعادل» پس از سانحه اطلاق می‌شود.	Cutter et al., 2010
مورگ و سیمونسن بر اهمیت آموزش در تاب‌آوری تأکید دارند. به عبارت دیگر توانایی کسب تجربه از شرایط بحرانی و استفاده بهینه از این تجارب در آینده است.	Moberg & Hauge Simonsen, 2011
تاب‌آوری فرآیند پویایی است و در افرادی به وجود می‌آید که می‌توانند با گذشت زمان خود را با شرایط منطبق و به شرایط پاسخ دهند. این فرایند به آن‌ها این امکان را می‌دهد که بتوانند سرپا بایستند و عملکرد سالم خود را حفظ کنند.	Yoon, 2012
شدت اختلالاتی که سیستم می‌تواند آن را جذب کند، قبل از اینکه ساختار سیستم از طریق تغییر متغیرها و فرایندهایی که رفتار آن را کنترل می‌کنند، به ساختار متفاوتی تبدیل شود.	Kärrholm et al., 2014
تاب‌آوری به ظرفیت سیستم‌های اکولوژیکی برای جذب اختلالات و نیز برای حفظ بازخوردها، فرایندها و ساختارهای لازم و ذاتی سیستم اطلاق می‌شود.	Kutum & Al-Jaberi, 2015

۲-۳- رویکردهای مفهومی تاب‌آوری در حوزه سوانح طبیعی

رویکردهای مفهومی تاب‌آوری را می‌توان به سه دسته اصلی خلاصه کرد که جنبه مشترک در همه آنها توانایی ایستادگی، مقاومت و واکنش مثبت به فشار یا تغییر است: ۱- تاب‌آوری به معنی پایداری، ۲- تاب‌آوری به معنی بازیابی و ۳- تاب‌آوری به‌عنوان دگرگونی؛ که در این پژوهش تاب‌آوری به معنی پایداری مدنظر است که توسط مصالح پایدار نیز، محقق می‌شود. رویکرد پایداری نسبت به تاب‌آوری، از مطالعات اکولوژیکی که تاب‌آوری را به‌عنوان توانایی بازگشت به حالت قبل تعریف می‌کند، بسط یافته است. این رویکرد، تاب‌آوری را به‌صورت مقدار اختلالی که یک سیستم قبل از این که به حالت دیگری منتقل شود می‌تواند تحمل یا جذب کند، تعریف می‌شود (Beatley & Newman, 2013).

برخی محققان آستانه‌ای را فراتر از آنچه جامعه سانحه‌زده قادر به بازگشت به حالت عملکردی خود نیست را در نظر می‌گیرند، چون یک جامعه تاب‌آور دارای آستانه بالایی است و قادر به جذب فشار زیادی قبل از اینکه از حد آستانه‌اش بگذرد، است (Windle, 2011).

۳-۳- مفاهیم پایداری

همان‌طور که توسط کمیسیون جهانی محیط‌زیست منتشر شده مفهوم توسعه پایدار به‌عنوان تعریف عبارت است از «توانایی برای رفع نیازهای فعلی ما بدون به خطر انداختن توانایی نسل آینده برای رفع نیازهای آنها». مفهوم پایداری در دهه ۱۹۷۰ میلادی نتیجه رشد منطقی آگاهی تازه نسبت به مسائل جهانی محیط‌زیست و توسعه و تحت تأثیر جنبش‌های محیط‌زیست دهه ۱۹۶۰ میلادی است. معماری پایدار عنوان عامی است که در رویکردهای معماری خاصه در اواخر قرن ۲۰ میلادی مورد توجه قرار گرفته است. موضوع طراحی پایدار در ادامه جنبش‌های سبز پست‌مدرنیستی اما با رویکردی جامع‌نگرتر در حوزه معماری و در ارتباط با مفاهیمی همچون توسعه و نیاز است. مفهوم توسعه پایدار به معنی ارائه راه‌حلی در مقابل الگوهای سنتی کالبدی اجتماعی و اقتصادی توسعه است که بتواند از بروز مسائلی همچون نابودی منابع عدالتی طبیعی تخریب اکوسیستم‌ها، آلودگی، افزایش بی‌رویه جمعیت، رواج بی‌عدالتی و پایین آمدن کیفیت زندگی انسان‌ها جلوگیری کند. هدف از طراحی پایدار پیدا نمودن راه‌حلی است که بتواند به نیازهای توأمان سه موضوع پاسخ

صنعت خاص از طریق عرضه مواد خام مصرف انرژی و محیط‌تأثیر روانی مواد جزء و یا ساختار در ساخت و در خدمات و همچنین پایان زندگی پردازش و استفاده مجدد از پتانسیل و یا بازیافت است و این برای اولین بار است که باید کمبود مواد خام کم‌هزینه در آینده سیمان و صنعت بتن بالقوه در نظر گرفته شود زیرا مصرف بزرگ آن از مواد سنگ‌آهک معمولی است با توجه به رشد آینده تولید سیمان پرتلند که تنها می‌تواند تولید سیمان برای ۵۹ سال دیگر را تأمین نماید صنعت بتن جهت پاسخگویی به رشد مصرف آن با چالش مواجه است و تقاضا از سیمان پرتلند با توجه به ذخایر محدود از سنگ‌آهک مشکل‌ساز خواهد شد.

هدف از طراحی پایدار، روبه‌رو شدن با نیازهای آینده بدون از بین بردن منابع طبیعی باقیمانده برای نسل آینده است. طراحی پایدار برای ساختمان‌ها به کارایی منابع، حداقل انرژی، انعطاف‌پذیری و عمر طولانی اشاره دارد. مباحث معماری پایدار سه اصل صرفه‌جویی در مصرف منابع، طراحی بر اساس چرخه حیات و طراحی انسانی را شامل می‌شود.

معماری پایا یا معماری پایدار به دنبال به حداقل رساندن آثار منفی محیط‌زیستی ساختمان‌ها از طریق افزایش بهره‌وری و اعتدال در استفاده از مصالح، انرژی، فضای ساخت و به‌طور کلی بوم‌سازگان در ابعاد وسیع است. معماری پایدار در طراحی محیط، از رویکرد آگاهانه‌ای درباره انرژی و حفاظت از محیط‌زیست بهره می‌برد. در بحث معماری پایدار، ویژگی‌هایی برای مصالح پایدار برشمرده می‌شود، از جمله مصرف انرژی و میزان تولید آلودگی محیط‌زیستی آن کمینه و نیز دارای دوام و استحکام کافی باشد (Marques & Loureiro, 2013). مصالح پایدار با تکیه بر اقتصاد، محیط‌زیست و انرژی به‌عنوان مصالح تجدیدپذیر تعریف می‌شوند (جدول ۲).

از طرفی، تولید استفاده از آن در مصالح ساختمانی مانند بتن، باعث رهاسازی مقادیر زیادی کربن دی‌اکسید به محیط‌زیست می‌شود. به طوری که تولید یک تن سیمان پرتلند سبب تولید تقریباً یک تن کربن دی‌اکسید می‌شود. از سوی دیگر، تغییرات

دهد: اقتصاد منابع، طراحی چرخه‌های زیستی، طراحی انسانی (Feizbakhsh & Noori, 2017). در نگاهی کلی، اصول معماری پایدار شامل طراحی بر اساس صرفه‌جویی در مصرف منابع، طراحی بر اساس حفظ چرخه حیات زیست و طراحی بر اساس آسایش انسان است (Kim, 2003). هدف طراحی پایدار یافتن راه‌حلی معمارانه است که هم‌زیستی این سه جنبه را تأمین کند. دو اصل اول تکنیکی بوده و با مصالح و روش‌های ساخت و انرژی‌های تجدیدپذیر ارتباط دارند (جنبه کالبدی). در حالی که اصل سوم برگرفته از انسان و فرهنگ و روش زندگی اوست (جنبه غیر کالبدی). معیار فرهنگی مفهوم پایداری بیانگر تعریفی از روح مکان است که معماری جزئی از آن است (Schulz, 2015). اصولی که باید رعایت شود تا یک ساختمان در زمره بناهای پایدار طبقه‌بندی شود به شرح زیر است:

اصل اول، حفظ انرژی: بنا باید طوری ساخته شود که نیاز ساختمان به سوخت‌های فسیلی را به حداقل برساند. اصل دوم، هماهنگی با اقلیم: بنا باید طوری ساخته شود که با اقلیم و منابع انرژی موجود در محل احداث هماهنگی داشته و کار کند. اصل سوم، کاهش استفاده از منابع جدید: ساختمان‌ها بایستی به گونه‌ای طراحی شوند که میزان استفاده از منابع جدید را تا حد ممکن کاهش داده و در پایان عمر مفید خود برای ساختن بناهای جدید، خود به‌عنوان منبع جدید به کار روند. اصل چهارم، برآوردن نیازهای ساکنان: در معماری پایدار برآورده شدن نیازهای روحی و جسمی ساکنان از اهمیت خاصی برخوردار است. اصل پنجم، هماهنگی با سایت: بنا باید در زمین سایت خود قرار گیرد و با محیط اطراف سنخیت داشته باشد. اصل ششم، کل‌گرایی: تمام اصول معماری پایدار در یک پروسه کامل که منجر به ساخته شدن محیط‌زیست سالم می‌شود، تجسم یابد (Zandieh & Parvardinejad, 2010).

ابعاد توسعه پایدار عبارتند از: ۱- مصرف منابع انرژی کمتر؛ ۲- استفاده از مصالح تجدیدپذیر و ۳- حفاظت و عرصه انرژی و بازیافت کامل آن بدون ایجاد آلودگی (Maddahi et al., 2012). تعریف پایداری، نیاز به در نظر گرفتن تمام جنبه‌های یک

اقلیمی ناشی از پدیده گرمایش جهانی به یکی از جدی‌ترین نگرانی‌های محیط‌زیستی در سراسر جهان تبدیل شده است (Zamora-Castro et al., 2021).

جدول (۲): مصالح پایدار.

چوب	تخته فیبری
بامبو	سرعت رشد بالا و دارا بودن قابلیت سازه‌ای
پوسته‌های برنج	قابلیت بالای تحمل بار، جاذب صوت، مقاومت در برابر آتش
خشت خام و خاک رس	
چمن	ایجاد بام‌های سبز، دیوارهای سبز، تعدیل دما و رطوبت محیط
بیوپلیمرها	پلیمرهای زیستی پلیمرهای طبیعی هستند که توسط موجودات زنده تولید می‌شوند
لینگین	تولید چسب، تعلیق‌کننده (سیمان و سرامیک و...) و نگه‌دارنده‌ها
پلی‌استر	پلاستیک‌های تجزیه‌پذیر، روکش‌ها و برخی انواع چسب‌ها

۳-۴- مصالح و تکنولوژی پایدار

پس از یک قرن تجربه معماری مدرن، با وجود دستاوردها و تحولات با ارزش آن، مشکلات پیچیده‌ای در عرصه محیط‌زیست رخ می‌دهد. وضعیت جهان در آغاز قرن ۲۰ میلادی، به یک توسعه ناپایدار گواهی می‌دهد که از مشخصه‌های آن رشد جمعیت، افزایش مصرف و توزیع نامتعادل منابع است. رشد جمعیت همانند سبک زندگی غربی تحمیل بزرگی بر محیط طبیعی است که در زمان ما منجر به تغییرات آب و هوایی، حفره در لایه اوزون، زوال گونه‌ها و سکونت‌گاه‌های طبیعی گردیده است که نتیجه آن تغییر فرهنگ مصرف و تغییر رویکرد انسان نسبت به طبیعت است. به دنبال این تغییرات، مفهوم تازه‌ای با عنوان توسعه پایدار مطرح شده؛ و در نتیجه به دلیل نقش مهم محیط ساخته شده و در جریان توسعه پایدار، معماری پایدار مورد توجه صاحب‌نظران قرار می‌گیرد. فرآیند رشد جمعیت به همراه مصرف رو به تزاید فردی موجب شده تا مطالبات انسان‌ها در عرصه سیاره خاکی بیش از مقتضیات

طبیعی آن باشد (Brown et al., 2003).

مواد و مصالح مورد استفاده در ساختمان‌ها مؤثرترین عامل در طول حیات و میزان پایداری ساختمان محسوب می‌شود (Achal & Chin, 2021). مصالح و تکنولوژی مورد استفاده در ساختمان باید کارآمد، مؤثر و مولد باشد. مصالح و تکنولوژی‌ها باید شامل شاخصه‌هایی با کمترین انتشار آلودگی باشد و همچنین مصالح اکولوژیک باید انتشار آلودگی ناشی از نگهداری ساختمان را محدود نماید و نباید از مواد شیمیایی سمی ساخته شده باشد.

معماران باید تمرکز بر استفاده از مصالح و تکنولوژی‌های بادوام، نیازمند نگهداری کمتر، قابل استفاده مجدد و دارای توجه اقتصادی تمرکز داشته باشد (Ottman, 2011). ساختمان‌ها با توجه به مصالح مصرفی در طراحی داخلی و یا بنای اصلی می‌تواند فضای خطرناکی را برای ساکنین ایجاد کند. برای مثال سندرم ساختمان بیمار در سی درصد ساختمان‌های جدید یا نوسازی شده در سراسر جهان گزارش شده است. در نتیجه استفاده درست و بهینه از مصالح و تکنولوژی پایدار علاوه بر تأثیر محیطی بر روی ساکنین، ساختمان‌ها و مصرف‌کنندگان آن نیز تأثیر مستقیم و غیرقابل انکاری دارد. در طول تاریخ، تأثیر متقابل انسان و طبیعت، اثرات ویران‌کننده و مخربی را خلق نموده است، چه در تولید انرژی و چه ایجاد فضای سبز مصنوعی، ساختمان‌سازی و حتی کشاورزی بر روی خاک. امروزه فشار ما بر روی محیط‌های طبیعی و حجم زیاد منقطع کردن اکوسیستم‌ها بیش از هر زمان دیگر است.

۳-۵- مصالح و تکنولوژی پایدار در ساختمان‌های پایدار

پیشرفته

اثر ردپای محیطی که یک سیستم اندازه‌گذاری سنتی مصرف منابع طبیعی است، میزان کل زمینی را که کشورهای جهان نیاز دارند تا منابع مورد نیازشان برای جذب پسماندهای ناشی از مصرف انرژی و فضای سازمان‌دهی آنها فراهم نمایند محاسبه نموده است. بر طبق این محاسبه انسان از ظرفیت

بر اثر فعال شدن شیمیایی مواد جامد دارای آلومینیم و سیلیس در دمای نسبتاً کم ایجاد می‌شوند.

در سال‌های اخیر، ژئوپلیمرها به‌عنوان نوعی مصالح پایدار، دوست‌دار محیط‌زیست و جایگزینی برای سیمان پرتلند مطرح شده‌اند. برای تولید بتن ژئوپلیمری و استفاده در ساختمان می‌توان از پسماندها یا محصولات جانبی حاصل از صنایع استفاده کرد (Esparham, 2022).

بتن ژئوپلیمر بتنی است که در آن از مصالح آلومینا - سیلیکاتی غنی از سیلیکون و آلومینیوم و محلول قلیایی به‌عنوان چسباننده استفاده می‌شود. از مزایای بتن‌های ژئوپلیمری علاوه بر انرژی تولید پایین می‌توان خواص مکانیکی مطلوب و دوام بالا در محیط‌های خورنده را برشمرد. در حقیقت ژئوپلیمرها یک جایگزین مناسب برای بسیاری از انواع سیمان است زیرا مواد اولیه مورد استفاده برای تولید آنها، نسبت به سیمان‌های مرسوم و پلیمرهای آلی ارزان‌تر بوده و به‌وفور یافت می‌شود.

همچنین محدوده دمایی تولید بخش اعظم آنها به‌مراتب پایین‌تر از سیمان‌های مرسوم است و به این دلیل از نشر آلاینده‌هایی نظیر دی‌اکسید کربن ناشی از کوره‌های پخت سیمان و آلاینده‌های ناشی از سوختن پلاستیک‌ها جلوگیری می‌شود (Abbasian et al., 2017).

۳-۷- کاربرد سیمان ژئوپلیمری در بتن

سیمان استفاده شده در بتن ژئوپلیمری در بیشتر موارد ۷۰ درصد مقاومت فشاری نهایی در چهار ساعت اول گیرش به دست می‌آید دلیل آن این است که واکنش شیمیایی خمیر ژئوپلیمر که از خاکستر بادی فعال شده با قلیا تشکیل یک فرآیند پلیمریزاسیون سریع نموده و مقاومت فشاری بعد از ۲۴ ساعت عمل‌آوری با افزایش سن بتن، افزایش مشخصی نخواهد داشت. زمان و دمای عمل‌آوری نقش بسزایی در مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمری بازی می‌کند. خواص مخلوط با توجه به زمان، دما و سن سخت شدن نسبت جامد به آب، قدرت فعال‌سازی ژئوپلیمر و نسبت آب به سدیوم مورد بررسی قرار گرفته است و به این

اکولوژیک زمین تجاوز نموده است و ما از سال ۱۹۸۷ فراتر از حد تعادل زندگی کرده‌ایم. به عبارت دیگر می‌توان گفت از نظر محیطی، ساختمان‌ها تقریباً نیمی از کل انرژی و مواد خام را در جهان مصرف می‌کنند (Building Energy Data, 2008).

از این‌رو مصالح پایدار به این نام خوانده شدند زیرا دوست‌دار محیط‌زیست هستند، قابل تجزیه به‌صورت مواد زیستی، تجدیدپذیر و قابل بازیافت می‌باشند. مصالح سبز به چهار بخش عمده تقسیم می‌شوند که نخستین آنها مصالح حیاتی یا مصالح زیست‌محیطی می‌باشند. در طبقه‌بندی مصالح زیستی، مواد طبیعی، پلیمرهای زیستی و پلاستیک‌های زیستی قرار می‌گیرند. سه مقوله عمده دیگر کامپوزیت‌ها، مصالح هوشمند و نانو ساختارها می‌باشند (Ottman, 2011).

۳-۶- تاریخچه بتن ژئوپلیمری

زمین‌بسپار یا ژئوپلیمر ماده‌ای است که ضمن اینکه عایق خوبی است، از مقاومت زیادی نیز برخوردار است. اصطلاح ژئوپلیمر را اولین بار فردی به نام جوزف دیوید و ویس در سال ۱۹۷۹ مطرح کرد. او ژئوپلیمرها را به‌عنوان شاخه‌ای جدید از مواد آلومینا سیلیکاتی با ساختار سه‌بعدی معرفی نمود. به دنبال توسعه تکنولوژی ژئوپلیمرها فرصت بسیار خوبی برای رشد و تولید محصولات گوناگون بر پایه ژئوپلیمرها فراهم شد (Davidovits, 1991).

برای توسعه بیشتر مواد سازگار با محیط‌زیست، شناخت محرک‌های محیطی، مواد جدید و همچنین ارزیابی آثار محیطی، مواد مرسوم در ساخت‌وساز، لازم است. با توجه به تعاریف توسعه پایدار و مصالح پایدار، باید از مصالحی استفاده کرد که به لحاظ مصرف انرژی کم مصرف و دارای خواصی چون دوام کافی، خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب باشند، در عین حال موجب کاهش آلاینده‌گی محیط‌زیست شوند. مصالح ژئوپلیمری می‌تواند پاسخ مناسبی برای این مسئله باشد. ژئوپلیمرها، پلیمرهای معدنی سرامیک مانندی هستند که با ساختارهای چند تراکمی در سه بعد گسترش می‌یابند. ژئوپلیمرها

کشتی خمشی بالاتری را بهبود بخشیده است. واگنر در پنج سال گذشته پروژه‌های تجاری را در خصوص «بتن دوست‌دار زمین» انجام داده‌اند و ۵۵۰۰۰ مترمکعب را برای طیف گسترده‌ای از پروژه‌ها تولید کرده‌اند که به‌وضوح این بتن ژئوپلیمری را از «لبکریت» بسیاری از مطالعات دانشگاهی جدا می‌کند. این پروژه‌ها با استفاده از کارخانه‌های تولید بتن استاندارد و تکنیک‌های سنتی تحویل و جاگذاری انجام شده است. انواع پروژه در جدول (۳) ذکر شده است.

جدول (۳): موارد ساخته شده با بتن ژئوپلیمری (Glasby et al., 2015).

تصاویر	موارد ساخته شده با بتن ژئوپلیمری
	در محل پیاده‌روها و عرشه پل
	پانل‌های پیش‌ساخته، تخته‌های سطح شیب‌دار قایق و عناصر معماری
	قسمت‌هایی از تونل پیش‌ساخته
	تیرهای کف پیش‌ساخته در یک ساختمان چندطبقه، بریزین (UQ در GCI ساختمان)
	کف‌پوش جایگاه هواپیماهای سنگین (فرودگاه بریزین وست ولکمپ)

نتیجه رسیده‌اند که قدرت و مقاومت ژئوپلیمر با افزایش / کاهش نسبت جامد به آب مشابه نسبت آب به سیمان در بتن معمولی است. مقاومت بتن ژئوپلیمر با هدف قدرت تا ۸۰ مگاپاسکال ساخته شده است. محصولاتمانند ملات‌ها و بتن، آجر، بلوک جامد و توخالی، بتن عایق فوم، کائوچو و مواد مرکب ساندویچ و پوشش مقاوم در برابر حرارت ساخته شده و در شکل (۲) قابل مشاهده است.



آجرهای توپر ژئوپلیمری، بلوک‌های توخالی ژئوپلیمری، آجرهای اسفنجی ژئوپلیمری

شکل (۲): انواع بلوک‌های ساخته شده از سیمان ژئوپلیمری.

بتن‌های ژئوپلیمری سبک، خود متراکم، با مقاومت بالا و ایفانی نیز ساخته شده است. به‌طور مثال فوم بتن موادی به‌عنوان یک نوع بتن سبک که شامل یک چسباننده سیمانی با درجه بالایی با یا بدون فضای خالی تعریف شده است؛ اما کاربرد آن به‌عنوان یک ماده ساختمانی سبک‌وزن در چند دهه گذشته تبدیل به موادی بسیار محبوب‌تر شده است. خاکستر بادی و ایف شیشه و... معمولاً به‌عنوان اجزای ثانویه سیمانی به نیمه جایگزین سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرند و مواد دیگر مانند خاک‌اره دیاتومیت و بنتونیت را می‌توان به‌عنوان پرکننده برای بهبود کارایی خمیر تازه و یا قدرت نهایی آن استفاده کرد. به‌منظور کاهش هزینه پرکننده خوب غیر سیمانی، مانند سنگ‌آهک گرانیتی و سیلیس نیز می‌توانند استفاده شوند. بتن‌های ژئوپلیمری ساخته شده از خاکستر بادی که تحت حرارت عمل‌آوری شده‌اند مقاومت عالی در برابر حمله نولفات‌ها و مقاومت خوبی در برابر اسیدها و حملات شیمیایی از خود نشان می‌دهد (Saqi & Mehrdadi, 2014). نکته مهم این است که عملکرد ساختاری و دوام این بتن ژئوپلیمری بهتر از بتن معمولی است. این نوع بتن دوام، انقباض کم‌تر و استحکام

داده جدول (۳).

تصاویر	موارد ساخته شده با بتن ژئوپلیمری
	مخازن آب غیر شرب و مخازن فاضلاب



مؤسسه تغییرات جهانی دانشگاه کوئینزلند در استرالیا، اولین ساختمان در جهان است که با بتن ژئوپلیمری ساخته شده است. ساختمان ۴ طبقه، برای استفاده عمومی، شامل ۳ طبقه بتن ژئوپلیمری معلق است که شامل ۳۳ پانل پیش ساخته است.

جمعیت و ازدیاد ساخت‌وساز نسبت به گذشته، حتی ممکن است در جهت کاهش تاب‌آوری به علت تخریب محیط‌زیست برای تأمین مصالح مورد نیاز، عمل کند.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات صورت گرفته در خصوص ژئوپلیمر به‌عنوان یکی از مصالح پایدار و همچنین تاب‌آور به علت وزن سبک‌تر از بتن معمولی، در میابیم لزوم استفاده از تمامی مصالح پایدار، سبک و دوست‌دار محیط‌زیست امروزه بیش از پیش احساس می‌شود؛ و دلیل اصلی این موضوع افزایش جمعیت، افزایش آلودگی هوا و آلودگی زیست‌محیطی و همچنین افزایش ساخت‌وساز و به طبع افزایش نرخ تخریب سازه‌ها در پی وقوع زلزله می‌باشد. در صورت تخریب سازه، هرچه مصالح به کار برده شده در ساخت آن سبک‌تر باشد، خطر آسیب جانی افراد را کاهش داده و همچنین مراحل آواربرداری سهل‌تر و سریع‌تر صورت خواهد گرفت. نکته مهم این است که عملکرد ساختاری و دوام این بتن ژئوپلیمری بهتر از بتن معمولی است. این نوع بتن دوام، انقباض کم‌تر و استحکام کششی خمشی بالاتری را بهبود بخشیده است؛ همچنین تا به حال فقط چند پروژه در کشورهای پیشرفته با استفاده از این مصالح به مرحله اجرا رسیده است و در ایران کاربردی نداشته است.

مصالح ساختمانی سنتی پایدار، یعنی بامبو به‌عنوان یک جایگزین پایدار برای مصالح ساختمانی سنتی رایج بوده است و می‌توان از آن برای ساخت داربست، خانه، پل و سایر سازه‌ها استفاده کرد؛ مانند چوب از نظر استحکام نسبت به وزن، بامبو یک ماده کامپوزیت طبیعی است که می‌تواند در ساختمان برای یکپارچگی ساختاری و ظاهری زیبا استفاده شود. نمونه‌ای از تطبیق‌پذیری بامبو و تأثیر ناچیز زیست‌محیطی در هنگام توسعه روش‌های ساختمانی پایدار، مدرسه سبز در بالی، اندونزی است. معمولاً ساخت یک خانه چوبی نیازمند مقدار زیادی چوب، چکش و میخ است؛ اما طراحی خانه‌ها با چوب بامبو، گاهی فقط به چوب بامبو و طناب احتیاج دارد. بامبو گیاهی است با رشد سریع که نسبت قدرت آن به وزنش همانند فولاد است. نمونه خانه ساخته شده با بامبو در اندونزی، پروژه‌ای بود که الورا هاردی و گروهش به مدت ۵ سال برای آن‌ها با استفاده از بورون که به‌طور طبیعی در طبیعت اتفاق می‌افتد بامبوها را طراحی و ساخت آن زمان صرف کردند. در برابر رطوبت و حشرات مقاوم کردند. بامبو نیروی فشاری بتن را دارد و نسبت قدرت به وزن آن همانند فولاد است و یکی از گیاهان با رشد سریع در جهان است. تنها نقطه ضعف آن‌ها حشرات و رطوبت است که آن‌ها هم اگر درمان شوند می‌تواند یک‌عمر دوام بیاورند. با این حال مصالح پایدار سنتی همانند چوب، امروزه به علت افزایش

References
مراجع

- Abbasian, A., Naqvi Dasht Bayaz, M., Kamalu, A., & Bazargan, A. M. (2017). An introduction to geopolymeric nanostructures. *Iran Zeolite International Conference, Tehran* (in Persian).
- Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R., & Rockström, J. (2005). Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309, 1036-1039. doi: 10.1126/science.1112122
- Achal, V., & Chin, C. S. (2021). *Building Materials for Sustainable and Ecological Environment*.
- Andersen, L. E., & Cardona, M. (2013). *Building Resilience against Adverse Shocks: What are the*

- and adaptive cycles. In *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, 25-62.
- ICLEI – Local Governments for Sustainability. (2013). *Resilient Cities 2013: Congress report*. ICLEI World Secretariat.
- Kim, J. (2003). *An Introduction to Sustainable Design*. Translated by Nazli Debidian. Iranian Architecture Quarterly, No. 0.
- Kamani-Fard, A., Hamdan Ahmad, M., & Remaz Ossen, D. (2012). The sense of place in the new homes of post-Bam earthquake reconstruction. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 3(2), 220-236.
- Kärholm, M., Nylund, K., & de la Fuente, P. P. (2014). Spatial resilience and urban planning: Addressing the interdependence of urban retail areas. *Cities*, 36, 121-130.
- Kutum, I., & Al-Jaberi, K. (2015). Jordan Banks Financial Soundness Indicators. *International Journal of Finance & Banking Studies*, 4(1), 44-56.
- Maddahi, M., Sayyadi, E., & Mohammadpour, A. (2012). *Ketab-e Memari-ye Paydar [Book of Sustainable Architecture]*. Lotus Publications.
- Mandin, P. (2007). Commentary—Ethics and reflecting processes. *Journal of Social Work Practice*, 21(2), 235-238.
- Marques, B. & Loureiro, C.R. (2013). Sustainable Architecture: Practices and Methods to Achieve Sustainability in Construction. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 223-226.
- Moberg, F., & Hauge Simonsen, S. (2011). *What is Resilience? An Introduction to Social-Ecological Research*. Stockholm Resilience Centre.
- Natural Disaster Research Institute. (2019). *Supporting Report for the National Strategic Document on Management*.
- Norman, W. (2012). *Adapting to Change: The Role of Community Resilience*. Young Foundation.
- Ottman, Osman. (2011). *Green Architecture (Environmentally Friendly): Advanced Technologies and Materials*.
- Pir Atta, P., & Hosseini, M. (2013). Resilience in the construction industry and its effects on earthquake risk *Determinants of Vulnerability and Resilience?* (Development Research Working Paper Series No. 1-21).
- Beatley, T., & Newman, P. (2013). Biophilic cities are sustainable, resilient cities. *Sustainability*, 5, 3328-3345.
- Brown, L. R., Renner, M., & Halweil, B. (2003). *Vital Signs 2003: The Trends That Are Shaping Our Future*. Worldwatch Institute.
- Building Energy Data. (2008). Global energy consumption in the building sector. Retrieved from www.buildingenergydata.org
- Cutter, S. L., Burton, C. G., & Emrich, C. T. (2010). Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 7(1), 1-24.
- Davis, I., & Aysan, Y. (1992). Disasters and the small dwelling-process, realism and knowledge: Towards an agenda for the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR). In *Disasters and the Small Dwelling Conference*, 8-22. James and James.
- Davidovits, J. (1991). *Geopolymer chemistry and applications*. Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- Esparham, A. (2022). Investigation of properties of geopolymers for use in sustainable materials. *Basparesh*, 24 (Articles in Press).
- Feizbakhsh, M., & Noori, M. (2017). *Contemporary Architecture of the West and Iran*. Parseh Publishing (in Persian).
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 1-20.
- Glasby, T., Day, J., Genrich, R., & Kemp, M. (2015). Commercial scale geopolymer concrete construction. *The Saudi International Building and Constructions Technology Conference*.
- Habibi, K., Behzadfar, M., Meshkini, A., & Nazari, S. (2013). Preparation of a prediction model for the instability of ancient urban structures against earthquakes with inverted hierarchical logic and geographic information system. *Journal of Geosciences*, 83-92 (in Persian).
- Holling, C. S., & Gunderson, L. H. (2002). Resilience

management. *The Second International Conference on Architecture and Structures*, Tehran (in Persian).

Saqi, H., & Mehrdadi, A. R. (2014). Geopolymer cement and its application in concrete. *National Conference of New Materials and Structures* (in Persian).

Schulz, C. N. (2015). *The Concept of Dwelling: Toward an Analogical Architecture* (6th Edition). Translated by M. Amir Yarahmadi. Tehran: Agah Publishing.

Wikström, A. (2013). *The Challenge of Change: Planning for Social urban Resilience* [Report].

Windle, G. (2011). What is resilience? A review and concept analysis. *Reviews in Clinical Gerontology*, 21(2), 152-169.

Yoon, D. K. (2012). Assessment of social vulnerability to natural disasters: A comparative study. *Natural Hazards*, 63(2), 823-843.

Zamora-Castro, S. A., Salgado-Estrada, R., Sandoval-Herazo, L. C., Melendez-Armenta, R. A., Manzano-Huerta, E., Yelmi-Carrillo, E., & Herrera-May, A. L. (2021). Sustainable Development of Concrete through Aggregates and Innovative Materials: A Review. *Applied Sciences*, 11(2), 629.

Zandieh, S., & Parvardinejad, S. (2010). *Fundamentals and Principles of Sustainable Architecture*.

The Role of Geopolymer Materials in Enhancing Building Resilience against Earthquakes

Zahra Sadat Hayatgheibi

M.Sc. in Post-Disaster Reconstruction, Faculty of Engineering and Technology, Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis, Iran, zahrasadat.hayatgheibi@iau.ir

Iran, due to its geographical location and tectonic activity, is considered one of the most disaster-prone countries, frequently experiencing earthquakes and other natural hazards. The high risk of seismic events poses significant threats to buildings, infrastructure, and human lives, making resilience a crucial factor in construction and urban planning. The destructive nature of earthquakes has historically led to substantial financial and human losses, emphasizing the need for innovative approaches to enhance the durability and safety of structures. One of the most effective strategies to mitigate earthquake damage and improve resilience is the incorporation of lightweight and durable materials in building construction. Sustainable materials, particularly those designed for structural integrity and environmental compatibility, play a pivotal role in reducing disaster-related risks and improving long-term urban sustainability.

This study investigates the advantages of geopolymer materials as a promising alternative in lightweight construction, analyzing their role in enhancing structural resilience against seismic forces. Geopolymers represent a modern category of eco-friendly materials that offer significant benefits over traditional construction materials such as cement and concrete. These materials are produced through an innovative process that requires low energy consumption, resulting in reduced carbon emissions and enhanced mechanical properties. Unlike conventional cementitious materials, geopolymers exhibit exceptional durability, thermal stability, and resistance to chemical degradation, making them an ideal choice for earthquake-resistant construction.

The research adopts a descriptive-review methodology, synthesizing findings from domestic and international sources to evaluate the effectiveness of geopolymers in disaster-resilient construction. Studies have demonstrated that incorporating lightweight geopolymer-based solutions in structural design significantly reduces the overall weight of buildings, minimizing seismic forces exerted on structures during an earthquake. This characteristic not only enhances the stability of buildings but also improves post-disaster management. In the aftermath of earthquakes, buildings constructed with lightweight materials facilitate faster and more efficient debris removal, reducing casualties and expediting the community's recovery process. The ability to swiftly restore urban functions and minimize displacement plays a critical role in strengthening resilience and social sustainability.

In addition to improving seismic resilience, geopolymers contribute to environmental conservation and sustainable construction practices. The increasing concerns over air pollution, climate change, and excessive resource consumption have propelled the demand for eco-friendly building solutions. With the rapid urban expansion and population growth, reliance on sustainable construction materials becomes a necessity rather than an option. By implementing geopolymers in earthquake-resistant structures, cities can reduce their ecological footprint, minimize construction waste, and optimize resource utilization.

The findings of this study underscore the urgent need for adopting resilient construction methods, particularly in earthquake-prone regions. The integration of sustainable, lightweight, and durable materials is paramount to ensuring safety and mitigating disaster risks. As the frequency and intensity of natural disasters continue to rise, engineering solutions must align with modern advancements in material science to promote structural stability, environmental responsibility, and societal well-being. This research highlights the strategic benefits of geopolymers, reinforcing their significance in shaping future urban landscapes and fostering disaster-prepared communities.

Keywords: Resilience, Natural Disasters, Geopolymer Materials, Lightweight Materials.