# بررسی انواع اثرات سیل بر ساختمان‌های مسکونی

**گلاره عبدل‌زاده[۱]، جعفر طاهری*، عبدالمجید نورتقانی[۳]**

۱- دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی معماری، گرایش مهندسی معماری، دانشگاه فردوسی مشهد،

**۲-** دکتری معماری، استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه فردوسی مشهد

**۳-** دکتری معماری، استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان

*نویسنده مسئول: j.taheri@um.ac.ir

**خلاصه**

گرم شدن کره زمین و تغییرات آب‌وهوایی موضوع جدی و بزرگترین تهدید زیست‌محیطی است که بسیاری از جنبه‌ها و شیوه‌ی زندگی ما را در این سیاره تحت تأثیر قرار داده است. با تغییر شرایط جغرافیایی در حوزه‌های آبخیز، نوع بهره-برداری از منابع، حضور زیاد جمعیت، زیرساخت‌های نامناسب در مناطق پرخطر سیل و همچنین تغییرات آب‌وهوایی خطر سیل رشد فزاینده‌ای داشته است. سیل به عنوان یک خطر طبیعی می‌تواند خسارات قابل‌توجهی به ساختمان‌ها و املاک وارد کند. ساختمان‌ها یکی از مؤلفه‌های مهم اقتصادی هستند که فضای لازم برای فعالیت‌های انسانی را فراهم می‌کنند. بنابراین، هرگونه تغییر قابل‌توجه در قابلیت سرویس‌دهی آن‌ها بر وضعیت زندگی مردم در سطح محلی، منطقه‌ای و حتی جهانی تأثیر می‌گذارد. تجزیه و تحلیل اثرات سیل بر ساختمان امر مهمی است که می‌تواند در فرآیند برنامه‌ریزی برای کاهش خسارات سیل‌های آینده تأثیرگذار باشد. این مهم می‌تواند رهبران جامعه، دولت محلی، برنامه‌ریزان، معماران و متخصصان بلایای طبیعی را برای توسعه طرح‌های سازگار با سیل در جهت کاهش خسارات یاری دهد. این اطلاعات زیربنای برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای استراتژی‌های واکنش برای مهار تأثیر سیل‌های آینده و ایجاد مسکن تاب‌آور در برابر سیل است. در این راستا این مقاله با توصیف و تحلیل منابع کتابخانه‌ای به بررسی اثرات انواع سیل بر ساختمان‌های مسکونی می‌پردازد. در این پژوهش، بررسی ادبیات تحقیق نشان داد که اثرات سیل بر ساختمان‌های مسکونی دارای شش نوع شامل آثار هیدرواستاتیک، هیدرودینامیکی، شناوری، فرسایشی، زباله و تأثیرات غیرفیزیکی می‌باشند.

**کلمات کلیدی:** آسیب سیل، اثرات سیل، ساختمان‌های مسکونی، سیل.

## مقدمه

در چند سال گذشته آب‌وهوا در کشور ایران به سرعت دستخوش تغییر شده است که جاری شدن سیل یکی از بلایای طبیعی منتج از آن است. وقوع سیل خسارات مالی و جانی فراوانی را به بار آورده است. خطرات مرتبط با سیل به ویژه برای جوامعی که ظرفیت محدودی برای مقاومت در برابر اثرات سیل دارند، زیاد است. وقوع گسترده سیلاب‌های سال ۱۳۹۸ در ایران نیاز به ایمنی و مقاومت در برابر آن را بیش از پیش نشان داد. این واقعه را می‌توان در زمره‌ی بی‌سابقه‌ترین پدیده‌های

طبیعی دوران معاصر کشور دانست که با خسارات بسیاری که برجای گذاشت، اهمیت تصمیم‌گیری‌های توسعه‌ای براساس دانش روز پیرامون اقدامات و روش‌های مناسب جهت تاب‌آوری سکونتگاه‌ها را بیش از پیش حائز اهمیت نشان داد. لازمهٔ شفافیت بیشتر در حوزه اقدامات و روش‌های مناسب برای سرمایه‌گذاری و بکارگیری منابع محدود پاسخ به سؤال زیر است:

- ساختمان‌ها در مواجه با سیل دارای چه عملکردی هستند و سیل چگونه بر آن‌ها اثر می‌گذارد؟

بدین منظور با در نظر گیری این پرسش هدف پژوهش بررسی انواع اثرات سیل بر ساختمان‌های مسکونی است که با توصیف و تحلیل منابع کتابخانه‌ای و روش اسنادی انجام می‌گیرد.

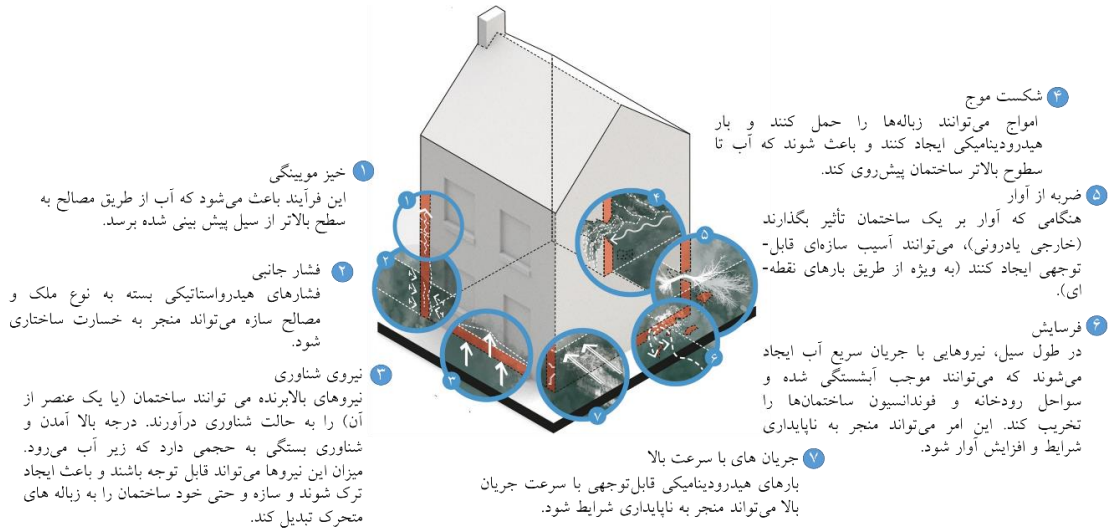
طبق مطالعات انجام شده سیلاب می‌تواند از راه‌های مختلف مانند دیوارها، کف‌ها، درها، پنجره‌ها، کانال‌های زهکشی و آجرهای متخلخل بدون نازک‌کاری وارد ملک شود. موانع موقت در برابر سیل مانند کیسه شن نیز ممکن است از کار بیفتد یا نشت کند، یا ترک در ملات و مصالح بنایی ممکن است به آب اجازه ورود دهند. آب در صورت ورود به ملک، به ملک و محتویات آن آسیب می‌رساند. بارهای هیدرواستاتیکی و دینامیکی می‌توانند باعث شکست سازه شوند. آبشستگی و فرسایش می‌تواند فوندانسیون را تضعیف کند و نیروهای شناوری می‌تواند باعث جابجایی کل ملک شود. مصالح ممکن است تحت تأثیر سیلاب دچار تورم، انحراف، لایه‌لایه شدگی، کپک، رطوبت و پوسیدگی قارچی شوند و یا سقوط کنند و یکپارچگی سازه‌ای خود را از دست دهند. در طول سیل ممکن است سیستم‌های زهکشی از ظرفیت خود فراتر رفته یا سرریز شده و عملکرد سیستم‌های فاضلاب و آب مختل شود [1].

## اثرات سیل بر ساختمان

بطور کلی ویژگی‌های مربوط به آسیب مستقیم عبارتند از نیروها، فشارها، واکنش‌های شیمیایی و سایر اثراتی که سیل می‌تواند مستقیماً بر ساختمان وارد کند. کلمن [2] در مجموع، آن‌ها را "اثرات"[1] می‌نامد. اثرات سیلابی اعمالی را توصیف می‌کنند که یک سیل می‌تواند به طور مستقیم به یک ساختمان وارد کند (شکل ۱). تجزیه و تحلیل کامل اثرات سیل موجب پیش‌بینی و برآورد خسارات ناشی از رویدادهای احتمالی سیل به ساختمان می‌شود و به سهولت فرآیند برنامه‌ریزی برای آن کمک می‌کند.

در این پژوهش با بررسی ادبیات تحقیق آثار سیلاب بر سازه ساختمان مورد توجه و بحث قرار گرفته است. کلمن [2] این آثار را شامل آثار هیدرواستاتیک[2]، هیدرودینامیکی[3]، شناوری[4]، فرسایشی[5]، زباله[6] و تأثیرات غیر فیزیکی[7] می‌داند که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

[1] Actions.
[2] Hydrostatic actions.
[3] Hydrodynamic actions.
[4] Buoyancy actions.
[5] Erosion actions.
[6] Debris actions.
[7] Non-physical actions.

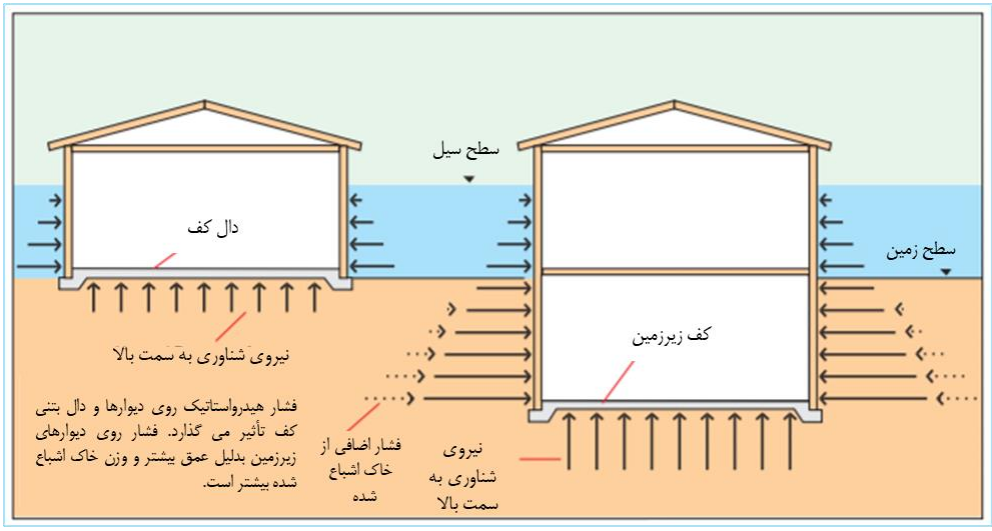



**شکل ۱- اثرات سیل بر روی ساختمان‌ها [1].**

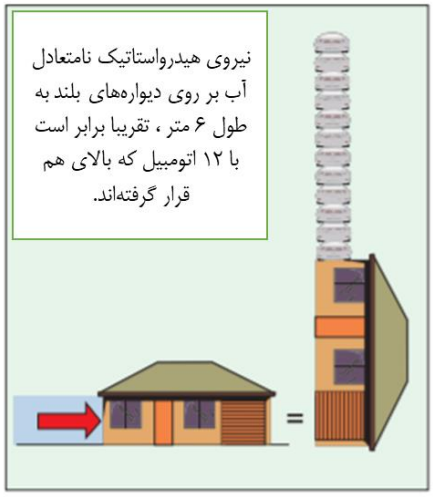
### اثر هیدرواستاتیک

بطور کلی بارهای هیدرواستاتیک ناشی از وزن آب که بر ساختمان‌ها وارد می‌شوند شامل دو نوع می‌باشند: بارهای جانبی و خیز موییننگی. این بارها به شکل‌های متنوعی به ساختمان آسیب می‌زنند.

بارهای جانبی: بار هیدرواستاتیکی جانبی نیرویی است که در جهت افقی، در برابر سطوح عمودی یا شیب‌دار عمل می-کند. این بارها تمایل به جابجایی و واژگون ساختن سازه ساختمان یا اجزا آن را دارند. دیوار خانه‌هایی که ساخت‌وساز متداول دارند برای مقاومت در برابر این بارها طراحی نشده‌اند. آن‌ها دارای پنجره‌ها و درهایی هستند که از نظر ساختاری در مقاومت در برابر بارهای جانبی مؤثر نیستند. هنگامی که این فشارها از مقاومت دیوار فراتر رود، می‌تواند آن‌ها را به سمت داخل فشار دهد (شکل۲). دیوارها آسیب‌پذیرترین مؤلفه ساختاری در یک خانه هستند. در نتیجه آسیب‌های ساختاری زیادی وجود دارد که احتمالاً منجر به فروپاشی یک خانه یا تخریب آن خواهد شد. فشار روی یک دیوار عمودی در آب به سرعت با افزایش عمق افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، هنگامی که آب نزدیک لبه بام یک خانه یک طبقه است، نیروی روی دیوار برابر با وزن دو ماشین برای هر متر طول دیوار است (شکل۳). اگر این نیرو فقط در یک طرف دیوار آجری استاندارد اعمال شود، به راحتی دیوار را از بین می‌برد. آزمایشات انجام شده توسط مهندسین ارتش آمریکا نشان داده‌اند که حداکثر عمق آبی که یک دیوار آجری می‌تواند بدون فروپاشی تحمل کند، تنها ۰/۰۷۵ تا ۱ متر است. فشار هیدرواستاتیک نه تنها توسط آب‌های سطحی، بلکه توسط خاک اشباع شده با سیلاب اعمال می‌شود. در جایی که خاک در مقابل دیوار باشد، مانند زیرزمین، فشار بیشتری بر روی این دیوارها نسبت به دیوارهای قسمت فوقانی وجود دارد. آب همچنین می-تواند محتویات ساختمان را بلند کند [3]. این امر ممکن است در داخل ساختمان منجر به آسیب دیگر محتویات یا آسیب زدن آن‌ها به داخل خانه یا افراد شود [4].




**شکل ۲: نیروهای هیدرواستاتیکی و شناوری [3].**

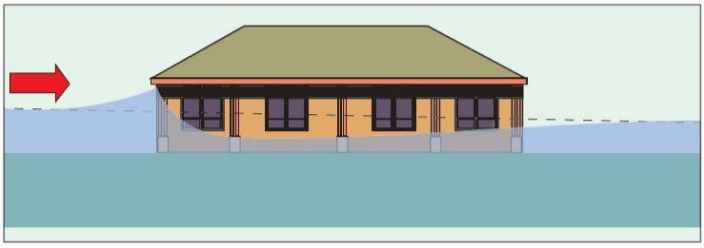



**شکل ۳: نیروهای آب نامتعادل روی یک دیوار می‌تواند بسیار بزرگ باشد [3].**

خیز مویینگی: آب به تار و پود عناصر ساختمان نفوذ کرده و باعث فرسودگی آن می‌شود. همچنین با عمل مویرگی به سمت بالا مصالح ساختمانی را خیس می‌کند و در شرایط گرم نیز باعث آسیب ناشی از رطوبت بیش از حد در فضاهای بسته می‌شود [4].

**اثر هیدرودینامیکی**

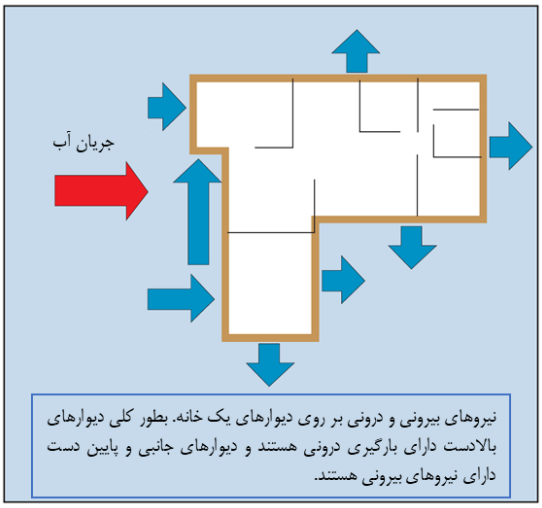
نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از آب در حال حرکت می‌باشند. فشار آب در مسیر خود به همه طرف وارد می‌شود. بزرگی نیرویی که از فشارها به جسم منتقل می‌شود ابتدا به سرعت جریان آب بستگی دارد. جریان آب هر چه سریعتر باشد، نیرو بیشتر می‌شود. خانه‌هایی که در سیلاب‌دشتی که در آن آب جریان دارد ساخته شده‌اند، در معرض فشار بیشتری قرار می‌گیرند، یعنی فشار بیشتری بر دیوارهای خانه وارد می‌شود. تغییرات فشار و نیرو به تغییر سطح آبی که در اطراف خانه در جریان است بستگی دارد. طبق شکل ۴ عمق آب روی دیواری که در کنار رودخانه قرار دارد افزایش و در دیوارهای جانبی و عقب کاهش می‌یابد. نیروی جذب بیرونی در دیواره‌های جانبی ایجاد می‌شود زیرا آب در امتداد خانه در جریان است. در طرف دیگر خانه که پشت به جریان است نیز آب روی دیوارها مکش ایجاد می‌کند [2].



**شکل ۴: سطح آب در جریان در اطراف خانه [3].**

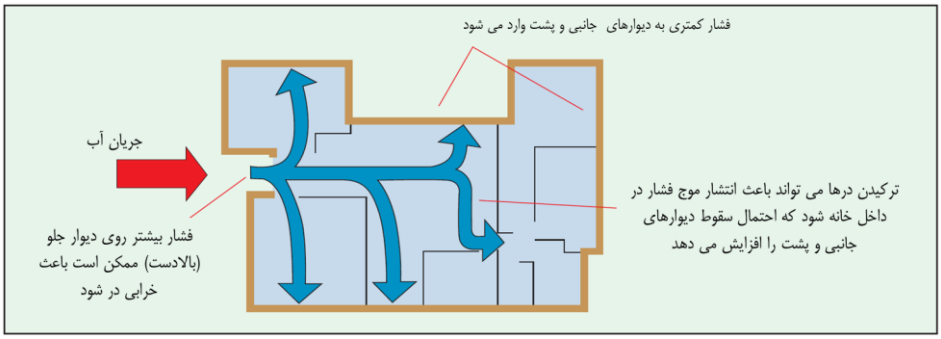
با وجود جریان سیل در محیط بیرونی، آبی که در یک محیط بسته داخلی (یعنی در و پنجره بسته) قرار دارد، در جایی بین سطح بالادست و پایین‌دست خارجی نسبتاً در یک سطح و صاف است. بر این اساس، افزایش عمق آب که به طور معمول در دیوارهای بالادست رخ می‌دهد، منجر به ایجاد نیروی درونی روی دیوار می‌شود. به همین ترتیب، کاهش عمق آبی که در قسمت‌های جانبی و پایین‌دست اتفاق می‌افتد، منجر به نیروی بیرونی روی دیوار می‌شود که احتمال دارد دیوار را از خانه جدا کند. این نیروها براساس شکل، اندازه، رفتار جریان و غیره در خانه متفاوت هستند. فشارهای تخمین زده شده با استفاده از مدل‌سازی رایانه‌ای از یک خانه معمولی در شکل ۶ نشان داده شده است. در آن طول پیکان متناسب با فشار است. محاسبه تمام فشارها و نیروهایی که از طریق جریان آب بر یک خانه تحمیل شده بسیار پیچیده است و به عوامل بسیاری بستگی دارد. اگر جریان آب بین خانه‌ها و یا بین خانه و سایر موانع شکاف ایجاد کند، سرعت آب افزایش می‌یابد [3].

**شکل ۵- سطح آب بالاتر در دیوار جلوی خانه را نسبت به دیوار جانبی مشاهده می‌شود. همچنین آب سیل در مسیرهای باریک سرعت می‌گیرد [3].**




**شکل ۶: جهت و بزرگی نسبی فشارها در اطراف یک خانه معمولی[3].**

اگر خانه‌ها برای مقاومت در برابر نیروی آب به درستی طراحی نشده باشند، ممکن است بخش‌هایی از خانه خراب و منجر به خسارت بسیار شدید شود. برای مثال، دیوار کناری و پایین‌دست خانه به دلیل فشارهای "منفی" ممکن است خراب شوند. یعنی دیوارهایی که در سمت بیرونی قرار دارند، ممکن است مقاومت خود را در برابر این نیروها ادامه دهند، اما اگر در و یا پنجره دیوار بالادست به طور ناگهانی از بین رود، امکان عبور موج فشار از داخل خانه وجود دارد که می‌تواند باعث تخریب دیوار شود (شکل ۷). اگر کمی آب در خانه وجود داشته باشد و موج در داخل خانه سرازیر شود، ممکن است خسارت شدیدتری حاصل شود [3].




**شکل ۷: ریزش دیوار به دلیل افزایش فشار [3].**

### اثر شناوری

بارهای بالابر به صورت عمودی به سمت بالا بر روی سطح زیرین سطوح افقی یا شیب‌دار (مانند دال کف‌ها، پایه‌ها، کف‌های معلق، و سقف‌ها) عمل می‌کنند. نیروی رو به بالا در طبقات "شناوری" نامیده می‌شود (به دلیل حجم آب جابجا شده توسط سازه). بلک [5] در مطالعات خود نشان می‌دهد فشار شناوری به عنوان تابعی از عمق آب برای ساختمان‌ها با سازهٔ گوناگون تغییر می‌کند. این نیروی نامتوازن می‌تواند باعث معلق شدن خانه‌ها شود. در نمونه‌هایی که زیرزمین رایج است، نیروی شناوری در طبقه زیرزمین کل خانه را جابجا می‌کند. خانه‌های کاملاً آجری و یا با پوشش آجر معلق نمی‌شوند (به ویژه آن‌هایی که دارای دال روی زمین[1] هستند). در این خانه‌ها، نیروهای هیدرواستاتیک به دیوار یا در آسیب می‌رسانند و اجازه ورود آب را پیش از این که نیروی شناوری بتواند دال را بلند کند می‌دهند (شامل وزن دیوارها و غیره). با این حال، آبی که سرعت زیاد دارد سازهٔ دیوار ساخته شده از بلوک مسلح را تغییر می‌دهد. این ناشی از ترکیب نیروهای افقی، نیروهای شناوری و کاهش اصطکاک بین دال و زمین است. اما این اتفاق بسیار نادر است. حتی با تفاوت اندک در سطح آب، نیروهای رو به بالا می‌توانند بسیار بیشتر از بارهای معمولی رو به پایین (ناشی از مبلمان، افراد و غیره) به کفپوش آسیب برسانند یا آن را از بین ببرند. غوطه‌وری در اثر جاری شدن سیل شدید می‌تواند باعث سقوط و آویزان شدن سقف شود. به جز سازه‌هایی که از اجزای مهندسی سنگین و یا بتن مسلح ساخته شده‌اند، معمولاً طراحی خانه برای مقاومت در برابر نیروهای بزرگ هیدرواستاتیک نامتعادل، مقرون به صرفه نیست [3].

### اثر فرسایشی

فرسایش خاک در اطراف ساختمان موجب از دست رفتن ظرفیت باربری خاک، آبشستگی و فرسایش پی می‌شود. این پدیده می‌تواند منجر به نشست یا حتی فروپاشی ساختمان شود [6]. نادال و همکاران [7] چند مدل را برای آبشستگی و

[1] Slab-on-ground.

فرسایش خاک محلی ذکر کردند. برخی از مدل‌ها مستقل از زمان هستند مانند مدلی که سازمان مدیریت بحران فدرال[1] [8] ارائه داده است. مدل‌های دیگر یک متغیر اصلاحی برای در نظر گرفتن تأثیر زمان بر آبشستگی پیشنهاد کردند [9].

**اثر نیروی ضربه آوار**

سیلاب می‌تواند طیف گسترده‌ای از اشیاء مسدود کننده که از نظر اندازه و وزن متفاوت هستند را حرکت دهد. از بطری‌های پلاستیکی کوچک گرفته تا درختان بزرگ و حتی گاهی اوقات وسایل نقلیه موتوری به طور کلی دو نوع بار زباله در آوار می‌تواند ایجاد خسارت کند:

- ضربه اشیاء شناور مانند ماشین‌هایی که به بخشی از ساختمان ضربه می‌زنند.
- افزایش فشار ناشی از تجمع توده آوار به عنوان مثال: فشار پوشش گیاهی به یک خانه.

نیروهای مرتبط با آوار بستگی به شکل، وزن، مقدار و جهت‌گیری آوار و سرعت آن دارد. تنوع آنچه که توسط آب حمل می‌شود، سرعت و جهت حرکت آن و همچنین این که به چه بخشی از خانه ضربه وارد می‌شود (مانند درها، پنجره‌ها یا دیوارها) مهم است. ضربهٔ جسمی کوچک که خیلی سریع در حال حرکت است می‌تواند خسارتی مشابه با جسمی بزرگ ایجاد کند که با سرعت کمتری به خانه برخورد می‌کند. تأثیر نیروهای ضربه به اندازه و شکل خانه و اتاق‌های آن نیز بستگی دارد. اکثر خانه‌ها توسط سازندگان به صورت یک پروژه طراحی شده‌اند و به طور جداگانه طراحی نشدند. بنابراین، اگر سایت یک خانه در معرض خطر آوار باشد، یک مهندس سازه با تجربه در طراحی خانه و جهت‌گیری از تأثیر این عامل غافل نیست. همچنین با بالا بردن خانه می‌توان خطر اثر آوار را کاهش داد، یا با ساختن حائل[2] می‌توان از برخورد آوار به ساختمان جلوگیری کرد و یا سرعت ضربه را کاهش داد [3].

**اثر غیرفیزیکی**

سه شکل از اثرات غیرفیزیکی سیل وجود دارد: اثرات شیمیایی، اثرات هسته‌ای و اثرات بیولوژیکی. برخی از آن‌ها در زیرمجموعهٔ هر دو اثرات فیزیکی و غیرفیزیکی قرار می‌گیرند [2].

یک نمونه از پیامدهای شیمیایی زنگ‌زدگی است. عواقب فیزیکی، مانند تاب برداشتن تخته‌های چوبی کف نیز ممکن است ایجاد شود. علاوه بر این، رطوبت ناشی از سیل حتی اگر در تماس مستقیم با آب نباشد نیز ممکن است به محل سکونت آسیب برساند [10]. برخی از مصالح عایق‌کاری اثربخشی خود را از دست می‌دهند، رطوبت را حفظ می‌کنند یا روند خشک شدن را کند می‌کنند و باعث پوسیدگی اجزا ساختمان می‌شوند. وسایلی مانند کابینت‌هایی که دارای روکش ورق هستند می‌توانند مانع از خشک شدن دیواره پشت شوند. اثر شیمیایی ممکن است به جای آب از بخار آب باشد. برای مثال فشار هوا بین سطح آبی که در حال افزایش است و سقف به دام افتاده، می‌تواند به سقف آسیب برساند. در این شرایط به دلیل افزایش وزن سقف بر اثر رطوبت و با فشار هوای به دام افتاده در زیر سقف، گچ‌کاری سقف آسیب می‌بینند [3]. آب سیل ممکن است با فاضلاب، بنزین، روغن، رنگ، پاک‌کننده‌های خانگی یا صنعتی و مواد شیمیایی آلوده شود. هرگونه خورندگی یا اشتعال در آلاینده‌ها می‌تواند منجر به آسیب شیمیایی شود.

---

[1] سازمان مدیریت بحران فدرال به انگلیسی: (Federal Emergency Management Agency) که به اختصار فما به انگلیسی: (FEMA) نیز اطلاق می‌شود، یکی از سازمان‌های دولتی تابعه وزارت امنیت داخلی ایالات متحده آمریکا است که بنابر حکم رئیس‌جمهور وقت آمریکا در ۱ آوریل ۱۹۷۹ تأسیس شد. مأموریت اصلی این سازمان در مقابله با اثرات مخرب بلایای طبیعی و دست‌ساخت بشر و به منظور کاهش خسارات و تلفات در داخل کشور ایالات متحده آمریکا است.

[2] Barriers.

## نتایج و بحث

با تغییرات آب‌وهوایی، وقوع بلایایی چون سیل رشد فزاینده‌ای داشته است. این امر جوامع را ناگزیر به ارائه راهکارهایی برای تاب‌آوری جوامع در برابر سیل می‌کند. برای ارائه چنین راهکارهایی نیازمند درک اثر سیل بر ساختمان‌ها هستیم. در این راستا در این پژوهش به بررسی انواع اثرات سیل بر ساختمان‌ها شامل آثار هیدرواستاتیک، هیدرودینامیکی، شناوری، فرسایشی، زباله و تأثیرات غیرفیزیکی پرداخته شده است. این دسته‌بندی می‌تواند به ارزیابی خسارت‌ها، تجزیه و تحلیل تاب‌آوری کالبدی، ارزیابی سناریوهای ریسک سیل‌های آینده و تصمیم گیری مسئولان حفاظت از بلایا با ارائه منابع کمک کند و از این طریق در کاهش خسارات آینده سیل اثرگذار باشد. همچنین با ارزیابی خسارت‌های وارده پس از فاجعه در یک منطقه خاص، تخمین‌هایی از آسیب فیزیکی و زیان اقتصادی آن منطقه بدست می‌آید که می‌تواند فعالیت‌های واکنش و بازیابی را هدایت کند.

ذکر این نکته ضروری است که برای مطالعه در این حوزه در نظر گیری زمینه و منطقه مورد مطالعه اهمیت به سزایی دارد. زیرا ساختمان‌های هر منطقه دارای تنوع در ویژگی‌های سازه‌ای، اجزاء و پیکربندی مختص به خود است.

## منابع

1. E. Barsley , Retrofitting for Flood Resilience: A Guide to Building & Community Design, RIBA Publishing; 1st edition, 2020.
2. Kelman and R. Spence, "An overview of flood actions on buildings," Eng Geol, vol. 73, p. 297–309, 2004.
3. Haekesbury- nepean floodplain management steering committee. Reducing vulnerability of buildings to flood damage guidance on building in flood prone areas. http://www.ses.nsw.gov. au/contents/documents,2006.
4. [4] K. Jha, R. Bloch and J. Lamond, Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century, World Bank Publications, 2012.
5. R. Black, "Flood proofing rural residences," Washington DC. Report to the US Department of Commerce,, USA, 1975.
6. M. T. Marvi, "review of flood damage analysis for a building structure and contents," vol. 102, no. 3, pp. 967-995, 2020.
7. N. C. Nadal, R. E. Zapata, I. Pagán, R. López and J. Agudelo, "Building damage due to riverine and coastal floods," Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 136, no. 3, pp. 327-336, 2010.
8. [8] FEMA, "Coastal construction manual," FEMA, Washington, DC, 2000.
9. B. Melville and Y. Chiew, "Time scale for local scour at bridge piers," J Hydraul Eng, vol. 125, no. 1, p. 59–65, 1999.
10. Crichton, D. Personal Communication from Inchture. Scotland (private consultant), 2002, Retrieved 24 May.