مجلهٔ منظر، ۱۶ (۶۹)، ۳۷-۲۴ / زمستان ۱۴۰۳
DOI: 10.22034/MANZAR.2024.457486.2285

ترجمهٔ انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
Investigating the Vulnerability and Resilience of Isfahan City Against the Phenomenon of Land Subsidence
در همین شمارهٔ مجله به چاپ رسیده است.

مقالهٔ پژوهشی

# بررسی میزان آسیب‌پذیری و تاب‌آوری شهر اصفهان در برابر پدیدهٔ فرونشست زمین

**علی شفیعی دارافشانی***
*دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکدهٔ معماری شهرسازی، واحد خوراسگان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.*

**علی شمسی اژیه**
*دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکدهٔ فنی مهندسی، واحد دولت‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱ تاریخ قرارگیری روی سایت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

**چکیده|** پدیدهٔ فرونشست سطح زمین ناشی از عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی در نقاط مختلف دنیا و در طی سال‌های اخیر در کشور به‌خصوص در اصفهان به‌علت برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، خشکسالی و عوامل دیگر پدیدار و سبب آسیب‌های جدی به زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌های مسکونی، جاده‌ها و دیگر سازندها و بروز خسارت‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی شده است. تحلیل آسیب‌پذیری و تاب‌آوری شهری ناشی از این فرونشست زمین در اصفهان به‌عنوان ابزاری در راستای پیشگیری از زایش فاجعه مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش بر آن است تا به پرسش اینکه شهر اصفهان در برابر پدیدهٔ فرونشست زمین چه مقدار آسیب‌پذیر است؟ پاسخ دهد. هدف این پژوهش بررسی نقش تاب‌آوری شهری بر میزان آسیب‌پذیری شهر اصفهان در برابر پدیدهٔ فرونشست زمین باشد. در این مطالعه ابتدا با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری نرخ و دامنهٔ فرونشست به‌عنوان فاکتور عامل در تولید خطر به تحلیلگر سیستم در محیط GIS وارد شد سپس با کمک تحلیل‌های کیفی به بررسی شاخص‌های تاب‌آوری شهری بر روی شهر اصفهان پرداخته شد. نتایج بیانگر این است که نواحی از شمال شهر و قسمت‌هایی به‌صورت نواری به‌علت نزدیکی به عوامل خطرزا مانند گسل، مسیل، قنات‌های قدیمی، منابع ذخیرهٔ سوخت، لولهٔ انتقال نفت به این مخازن و تغییر مداوم مسیر رود روی آنها هم موجب افزایش آسیب‌پذیری است. همچنین نشان می‌دهد که اکثر ساخت‌وسازهای موجود در منطقه غیراصولی و غیرمتناسب با شرایط مخاطره‌آمیز است.

**واژگان کلیدی|** *آسیب‌پذیری، تاب‌آوری شهری، فرونشست زمین، تداخل‌سنجی راداری، GIS، اصفهان.*

**مقدمه|** در دهه‌های اخیر برداشت بیش از حد از منابع زیرزمینی مانند استخراج نفت، گاز و آب سبب وقوع حوادث زیست‌محیطی در نقاط مختلفی از جهان شده است. از پیامدهای زیست‌محیطی که متأثر از برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و همراه با افزایش جمعیت و توسعهٔ فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی بوده، فرونشست زمین است (عابدینی، ۱۳۹۲، ۷۹). فرونشست زمین (پایین‌آمدن سطح زمین)، یک خطر بالقوهٔ مخرب است که می‌تواند توسط عوامل بسیاری از محرک‌های طبیعی یا انسانی ایجاد شود که عمدتا ناشی از حرکت جامد یا سیال در زیرزمین است. فرونشست زمین در مقایسه با دیگر مخاطرات زمین‌شناختی مانند زمین لرزه، سیل و زمین لغزش، خسارات جانی کمتری دارد. ازسوی‌دیگر پیامدهای سوء برجای‌مانده از آن به‌حدی است که به‌طور مستقیم بر توسعهٔ انسانی،صنعتی، کشاورزی و عمرانی تأثیرگذار خواهد بود.

آسیب‌پذیری پیامد منطقی خطرپذیری ناشی از زیستن در عرصه‌های مخاطره‌آمیز و مبین وضعیت تاب‌آوری ناشی از ظرفیت پذیرش خطر و توان ترمیم‌پذیری آن است. آسیب‌پذیری فرایندی چندوجهی است که در فرم آسیب‌پذیری محیطی، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی بروز می‌کند (Ezquerro et al, 2020, 12). در چنین شرایطی شناخت کافی از درجه و میزان آسیب‌پذیری، تحلیل و تبیین ویژگی‌ها و شرایط گروه‌های انسانی و مکان‌های در معرض خطر می‌تواند مجال برنامه‌ریزی و آمایش محیطی فضا را در جهت تعدیل خطرپذیری و به‌دنبال آن دوری از بحران فراهم کند. موضوعی که بی‌توجهی و یا کم‌توجهی به آن می‌تواند رویداد یک پدیده مانند فرونشست در بستر محیطی خود را به تهدید و ناامنی تبدیل کرده و در مواد زیادی فاجعه‌بار شود. مطالعات تاریخی و قدیمی در خصوص شهر اصفهان و مناطق پیرامونی آن همه‌وهمه حکایت از آن دارد که این شهر از خطرات احتمالی وقوع هر یک از مخاطرات ژئومورفولوژی به‌خصوص پدیدهٔ فرونشست زمین در آینده همان‌طورکه در قدیم در امان نبود، در امان نخواهد بود. طبق آخرین داده‌های سازمان

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۳۲۱۴۸۴۷۷، ashafiee646@gmail.com

زمین‌شناسی درحال‌حاضر نرخ فرونشست در دشت اصفهان-برخوار در حدود ۱۶۰ میلیمتر در سال و فرودگاه شهید بهشتی اصفهان بین ۸ تا ۱۲ سانتی‌متر در سال است. اهمیت این نگرانی زمانی قابل مشاهده است که در دنیا وقتی که نرخ فرونشست به چهار میلیمتر در سال می‌رسد، وضعیت بحرانی اعلام می‌شود، این درحالی است که طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ ه.ش. در مناطق شمالی اصفهان نرخ فرونشست ۱۵۶ میلیمتر اعلام شده که تقریباً ۴۰ برابر نرخ جهانی است.

## پیشینهٔ پژوهش

در ارتباط با فرونشست زمین، این موضوع در تحقیقات بسیاری مورد توجه قرار گرفته است. براساس یافته‌های پیشینه و براساس اطلاعات کارگروه فرونشست در سازمان یونسکو، قدیمی‌ترین فرونشست شناخته‌شده در ایالات آلاباما ایالات متحدهٔ آمریکا در سال ۱۹۰۰ م. به وقوع پیوسته است. مطالعات این کارگروه، بررسی‌های تفضیلی روی ۴۲ فرونشست در ۱۵ کشور جهان بوده است (Baffoe, 2020). در ایران نیز برای اولین بار در دشت رفسنجان (سال ۱۳۴۶ ه.ش.)، نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی گزارش شد. که پس از آن، مطالعات مرتبط نیز انجام شد. مهم‌ترین بخش در بررسی پیشینهٔ، تحلیل تحقیقاتی است که در چارچوب پژوهش انجام شده باشد که اهم آن به شرح زیر است: در خارج از کشور هان جیان و همکاران (Jiang et al., 2023) در مقاله‌ای باعنوان «آیا سیل با فرونشست زمین بدتر می‌شود؟» بررسی اثرات فرونشست زمین بر طغیان سیل از طوفان هاروی به این نتیجه رسیده است که تغییر کلی عمق سیل ناشی از فرونشست زمین با عمق شش سانتیمتری آب سیلاب به‌ازای هر یک متر از زمین فرو نشسته در بدترین مکان تحت تأثیر، نسبتاً جزئی است. تأثیر فرونشست زمین بر عمق سیل، غیرخطی‌بودن شدیدی را در زمان نشان می‌دهد، جایی که اثرات ناشی از نقاط داغ فرونشست زمین قبلی می‌تواند با ادامهٔ فرونشست زمین تغییر کند.

ون لالنونپویی و کانوجیا (Vanlalnunpuii & AshKanojia, 2023) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «مروری بر اقدامات تاب‌آوری برای مناطق مستعد فرونشست زمین» به این نتیجه رسیدند که اقدامات باید در یک استراتژی فراگیر اجرا شود و تحقیقات مستمر با ابزارهای کارآمد در مورد فرونشست برای شناسایی و جلوگیری از خطرات احتمالی که ممکن است باعث ایجاد یا تحریک در آن شود، ضروری است.

پابلو ازکوئرو و همکاران (Ezquerro et al, 2020, 12)، در مقاله‌ای تحت‌عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در اثر فرونشست زمین با استفاده از داده‌های InSAR در شهر تاریخی باستانی پیستویا (ایتالیا)» ارائه داده‌اند که این مقاله یک روش کامل، از تشخیص خودکار تا احتمال آسیب ساختمان، برای ارزیابی ریسک در مناطق فرونشست زمین پیشنهاد می‌کند.

اکبر و همکاران (Akbar et al., 2019) در مقاله‌ای با عنوان «اصول طراحی شهری تطبیقی برای فرونشست زمین و افزایش سطح دریا در منطقهٔ ساحلی تمبک لورک»، سمارنگ به این نتیجه رسیده است که مناسب‌سازی فضای شهری می‌تواند تأثیر فاجعه را کاهش دهد و یک منطقهٔ ساحلی انعطاف پذیر ایجاد کند تا خطر بلایای طبیعی را کاهش دهد.

در داخل کشور رجایی و نصرتی هشی (۱۴۰۲) در مقاله‌ای با عنوان «بررسی آسیب‌پذیری بافت شهری با تأکید بر پدیدهٔ فرونشست زمین (مطالعه موردی: شهر تهران)» به این نتیجه رسیده اند که با توجه به رشد جمعیت، مهاجرت و فشار وارده بر دشت تهران و نیز افزایش مصرف در بخش‌های کشاورزی، صنعت و آشامیدنی همراه با تغییرات اقلیمی و خشکسالی ناشی از آن، پیامدهای نامطلوبی را برای تهران از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و محیطی در پی خواهد داشت و موجب افزایش فرونشست زمین و بروز مخاطرات طبیعی و انسانی جبران ناپذیر در بسیاری از بخش‌های شهر تهران خواهد شد.

حسینعلی بگی (۱۴۰۲) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «تحلیل و شبیه‌سازی فرونشست زمین در شمال شهر اصفهان» به این نتیجه رسیده است که تغییر شدید بافت آبرفتی در اصفهان به‌خصوص در شمال شهر وجود دارد و شامل افزایش غیرقابل تصور ضخامت لایهٔ رسی از حدود دو متر در مجاورت سی‌وسه پل اصفهان (مرکز شهر) به سمت شمال شهر اتفاق افتاده و همچنین همزمان کاهش سطح ایستابی در چند دههٔ اخیر، اثرات قابل توجهی بر تخریب سازه‌ای داشته است.

بصیری و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «فرونشست زمین و افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در کلانشهر اصفهان» به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش فروریزش ناگهانی زمین در اصفهان شاید به‌دلیل نفوذ شکاف‌های فرونشست زمین به داخل شهر و همچنین نشست نامتقارن زمین باشد. تشکیل تعداد زیادی از این فروچاله‌ها در هنگام زمین لرزه موجب مسدودشدن مسیرهای امدادرسانی، قطع لوله‌های گاز و آتش‌سوزی‌های گسترده خواهد شد.

شیرانی و همکاران (۱۴۰۰) در مقاله‌ای در تحت‌عنوان «بررسی فرونشست زمین در دشت نجف‌آباد اصفهان با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضای راداری» را ارائه دادند، نتایج حاصل از داده‌های ماهواره‌های راداری مذکور در زمینهٔ تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر، پیش‌بینی و روند فرونشست زمین از نظر رخداد مکانی می‌توانند به‌طور مستقیم مبنای مدیریت و برنامه‌ریزی برای الویت‌بندی اقدامات کنترل و ساماندهی قرار گیرد.

کریمی و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیدهٔ فرونشست زمین، مطالعهٔ موردی منطقهٔ ۱۸ تهران» به این نتیجه رسیده است که پدیدهٔ نشست در منطقهٔ ۱۸ و مناطق اطراف آن الگوی پهنه‌ای دارد. نقشهٔ الگوی توزیع فضایی نواحی مسکونی نشان‌دهندهٔ استقرار بخش قابل توجهی از مساکن این منطقه در عرصهٔ درگیر با پدیده نشست است.

همان‌طورکه در این قسمت بیان شد، افراد زیادی در داخل و خارج از کشور در این زمینه پژوهش کرده‌اند اما کسی به موضوع تاب‌آوری در زمینهٔ فرونشست زمین اشاره نکرده است. این مقاله بر آن است تا به بهبود تاب‌آوری شهری در برابر فرونشست زمین کمک کند و این تفاوت این مقاله با دیگر پژوهش‌هاست.

## مبانی نظری

### • تاب‌آوری

استراتژی بین‌المللی کاهش خطر (UNISDR) در تعریفی جامع، تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی را این گونه معرفی می‌کند: توانایی یک سیستم جامع یا اجتماع در معرض خطر برای مقاومت، جذب تطبیق و بهبود اثرات یک مخاطره به طرز کارآمد و به‌موقع از جمله از طریق حفاظت و ترمیم ساختارها و کارکردهای ضروری و اساسی خود. در فرهنگ لغت برای واژهٔ «تاب‌آوری» معانی متعددی از جمله: قدرت بازیابی، بهبود با سرعت، تغییر، شناوری، کشسانی وجود دارد ولی به‌طور کلی اکثر محققان واژهٔ «تاب‌آوری» را به مفهوم بازگشت به شرایط گذشته به کار می‌برند که از ریشهٔ لاتین«Resilio» به‌معنای «برگشت به عقب» گرفته شده و استفاده از مفهوم و کاربرد تاب‌آوری نیز دارای سابقه‌ای بسیار طولانی است و حداقل به یک قرن قبل ازمیلاد برمی‌گردد (رجایی و نصرتی هشی، ۱۴۰۲، ۲). اصطلاح «تاب‌آوری» برای اولین بار توسط هولینگ (Holling, 1973) در علم اکولوژی به‌مثابهٔ توانایی یک سیستم برای جذب شوک‌ها، تغییرات و اختلالات درحالی که عملکرد سیستم باقی بماند، تعریف شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که واژهٔ «تاب‌آوری» برای اولین بار در علم فیزیک و ریاضی برای تشریح توانایی برگشت به شکل اولیه بعضی از مواد مخصوص که هنگام جابه‌جایی تغییر شکل می‌دادند، مورداستفاده قرارگرفته است ولی درحال حاضر می‌توان گفت مفهوم تاب‌آوری دیگر معنای تحت‌اللفظی خود را از دست داده است و مربوط به علم خاصی نیست و همچنین تاب‌آوری امروزه یک اصطلاح است و باید در مکاتبات و محاوره‌ها آن را به‌صورت صحیح اصطلاح بیان کرد. باید دانست که تغییرات به کل یک مجموعه وارد شود و تک‌تک اعضای آن را تغییر شکل دهد (Wang et al., 2015). درحال حاضر تاب‌آوری مخصوصاً تاب‌آوری شهری جهت دستیابی به یک پایداری از مهم‌ترین سرفصل‌های پژوهش و تحقیقات شده است که در جدول ۱ به بعضی از اهم تعاریف مفهوم تاب‌آوری شهری ذکرشده توسط افراد در پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

امروزه مفهوم تاب‌آوری وارد حوزهٔ برنامه‌ریزی با جهت‌گیری‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، کالبدی، مدیریتی، زیست‌محیطی و .... شده است. اگرچه بیشتر توجه آن بر مسائل زیست‌محیطی متمرکز و بخش وسیعی از اکتشافات آن به مدیریت کاهش خطرات زیست‌محیطی مانند زلزله، سیل، طوفان و گرم‌شدن زمین اختصاص یافته است (Bell et al., 1987).

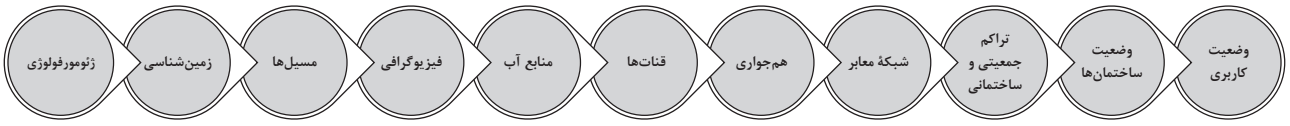
با توجه به موارد فوق می‌توان بیان کرد که اصطلاح تاب‌آوری مکرراً بازتعریف شده و از طریق ابعاد اکتشافی، استعاری و هنجاری، توسعه یافته است. به‌طوری‌که ادگر در نظام‌های اجتماعی، کارپینتر و همکاران، در نظام‌های انسانی و اجتماعی، لبیبل و همکاران در نظام‌های اجتماعی- اکولوژیکی، برنئو و همکاران در مدیریت سوانح کوتاه مدتف و پیکت و همکاران (Pickett et al., 2004) در نظام‌های اجتماعی و اقتصادی آن را به کار گرفته‌اند (دهقان سورکی، ۱۳۹۰، ۱۲). هولینگ (Holling, 1973) بعد از تعریف اولیهٔ خود از تاب‌آوری شهری عواملی را برای سنجش میزان تاب‌آوری در نظر گرفت که با اندازه‌گیری هر یک از این عوامل می‌توان دریافت که محدودهٔ مورد نظر در برابر مخاطرات تاب‌آوری دارد. براساس نظریهٔ او و دیگر دانشمندان می‌توان مؤلفه‌های زیر را برای اندازه‌گیری استخراج کرد که آن عوامل به شرح جدول ۲ و تصویر ۱ است.

البته بعضی از نظریه‌پردازان در این زمینه مانند ادگر مؤلفه‌هایی به این موارد اضافه و یا کم کرده و برخی دیگر از دانشمندان هم به کل این عوامل را رد کرده‌اند اما در این پژوهش برای اندازه‌گیری میزان تاب‌آوری اصفهان به این مؤلفه‌ها استناد شده است.

### • آسیب‌پذیری شهری

بلایا و سوانح طبیعی در قرون متمادی همواره جوامع انسانی را مورد تهدید قرار داده و در حوزه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، سکونتی، زیست‌محیطی و ... زندگی انسان‌ها را به مخاطره انداخته است. تا اواخر قرن نوزدهم رویکرد و نگرش غالب در موضوع کاهش آسیب‌پذیری در مقابله با حوادث مبتنی‌بر مفاهیم نظری مدیریت بحران بود.

آسیب‌پذیری فرایندی است که پایداری اجتماع را برای رویارویی و برخورد با رخداد خطر کاهش می‌دهد. آسیب‌پذیری نوعی آمادگی و استعداد اجتماع مبتلا به رویدادهای مخاطره‌آمیز است. توماس (Thomas, 2005) از آسیب‌پذیری به‌عنوان میزان توانایی سیستم اقتصادی- اجتماعی و فیزیکی جوامع و همچنین آمادگی و انعطاف‌پذیری در برابر فشارهای مخاطرات طبیعی یاد می‌کند (نصیری زارع و کرم، ۱۴۰۱، ۱۵). در جوامع توسعه‌یافته مخاطرات می‌تواند باعث آسیب اقتصادی زیادی شود ولی در مناطق درحال توسعه بر اثر ازدست‌دادن زندگی آسیب عمدتاً به معنی ازدست‌دادن انسان‌ها است. آسیب‌پذیری توسط یونسکو به‌عنوان میزان درجهٔ




تصویر ۱. عوامل مهم سنجش تاب‌آوری. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۱. تعریف تاب‌آوری از دیدگاه دانشمندان. مأخذ: نگارندگان برگرفته از بهرامی و همتی، ۱۳۹۹، ۴۲؛ Tran & Wang, 2020.

| پژوهشگر | تعریف |
|---|---|
| Alberti et al. (2003) | تاب‌آوری مفهومی است که ترکیبی از توانایی، یادگیری، سازگاری، خودسازماندهی مجدد و دستیابی به تعادل و همچنین جذب آشوب‌ها است. |
| Walker & Salt (2006) | تاب‌آوری توانایی یک سیستم در جذب اختلال و ساماندهی مجدد درحالی که تحت تغییر بوده و به‌منظورحفظ اصالت همان تابع، ساختار، هویت و بازخورد است. |
| Boodin (2004) | سرعتی که با آن یک سیستم پز از جابه‌جایی به تیادل برمی‌گردد، صرف نظر از اینکه چه مقدار نوسان نیاز است. |
| Pickett et al. (2004) | تاب‌آوری شهری ظرفیت یک سیستم در این مورد یک شهر برای انطیاق در مقابل آشوب تعریف کرد. |
| Allenby & Fink (2005) | تاب‌آوری به‌معنای ظرفیت یک سیستم برای حفظ عملکرد و ساختار خود سیستم در برابر تغییرات داخلی و خارجی است. |
| Adger et al. (2005) | ظرفیت دستگاه‌های مرتبط اجتماعی و زیست‌محیطی برای جذب اختلالات مکرر به‌طوری‌که ساختار ضروری، توابع و بازخوردها حفظ شود. |
| Perrings (2006( | توانایی یک سیستم برای مقاومت در برابر شوک‌های بازار یا زیست‌محیطی بدون ازدست‌دادن ظرفیت تخصیص مؤثر منابع است. |
| Coaffee & O'Hare (2008) | تاب‌آوری شهری هم به تغییرات در طراحی (ساختاری، معماری، برنام ریزی مکانی) و هم به اقدامات مدیریتی و حاکمیتی که با هدف جلوگیری یا کاهش آسیب‌پذیری جسمی و اجتماعی مناطق شهری، محافظت از زندگی، املاک و فعالیت‌های اقتصادی شهر اشاره دارد. |
| Hamilton (2009) | تاب‌آوری توانایی برگشت وارائهٔ عملکردهای اصلی خود از زندگی در برابر مصیبت‌ها و سایر خطرها است. |
| Wardekker et al. (2010) | سیسنم تاب‌آور سیستمی است که می‌تواند اختلالات را با استفاده از خصوصیات یا معیارهایی که اثرات آن را محدود می‌کند، کاهش یا خنثی‌سازی خسارت‌ها و اختلالالت را تحمل می‌کند و به سیستم اجازه می‌دهد تا پاسخ دهد، بهبود یابد و به سرعت با چنین آشفتگی‌هایی سازگار شود. |
| Leichenko (2011) | مقاومت در برابر یک شوک و تنش گسترده را تاب‌آوری گویند. |
| Liao (2012) | تاب‌آوری شهری در برابر طغیان، توانایی شهر در تحمل سیل و سازماندهی مجدد در صورت آسیب‌های جسمی و ایجاد اختلالات اقتصادی برای جلوگیری از مرگ و جراحت و حفظ هویت فعلی اقتصادی-اجتماعی است. |
| Desouza & Flanery (2013) | تاب‌آوری قدرت جذب و پاسخگویی به تغییرات درسیستم‌های شهری است. |
| Lu & Stead(2013) | ظرفیت یک شهر برای جذب اختلال و حفظ عملکرد و ساختار آنرا تاب‌آوری گویند. |
| McPhearson et al.(2015) | تاب‌آوری به مجموعه‌ای از اکوسیستم‌های شهری اطلاق می‌شود که منافع معیشت و رفاه شهری را به همراه دارد. |
| Folke (2016) | مفهوم تاب‌آوری به‌معنای توانایی و پایداری یک سیستم در مواجهه با آشفتگی‌ها و قابلیت سیستم در توسعه با وجود تغییرات و آشوب‌هاست. |
| Meerow et al. (2016) | توانایی یک سیستم شهری و کلیهٔ شبکهٔ اکولوژیکی-اجتماعی و تکنیکی-اجتماعی سازنده‌اش در مقیاس‌های زمانی و مکانی اطلاق می‌شود که در مواجه با آشوب‌ها اقدام به حفظ عملکردهای مطلوب یا بازگشت سریع به آنها می‌کند. |
| Spaans, & Waterh out (2017) | تاب‌آوری توانایی افراد، جوامع، مؤسسات، شرکت‌ها و سیستم‌ها در یک شهر برای زنده‌ماندن، سازگاری و رشد بدون درنظرگرفتن نوع استرس مزمن و شوک‌های حاد که در معرض آن قرار دارند، است. |

جدول ۲. مؤلفه‌های پژوهش براساس نظریهٔ دانشمندان. مأخذ: نگارندگان.

| مؤلفه | دانشمند |
|---|---|
| ژئومورفولوژی | Walker & Salt (2006 |
| زمین‌شناسی | Alberti et al. (2003) |
| مسیل‌ها | Meerow et al. (2016), Pickett et al. (2004) |
| فیزیوگرافی | Holling (1973) |
| منابع آب | Perrings (2006) |
| قنات‌ها | Pickett et al. (2004) |
| هم‌جواری | Holling (1973) |
| شبکهٔ معابر | Holling (1973), Lu & Stead (2013) |
| تراکم ساختمان و جمعیت | Holling (1973) |
| وضعیت ساختمان‌ها | Holling (1973) |
| وضعیت کاربری | Holling (1973) |

ازدست‌دادن یک عنصر یا مجموعه‌ای از عناصر در معرض خطر ناشی از وقوع یک پدیدهٔ طبیعی تعریف شده است که در مقیاس از صفر (بدون آسیب) به یک (ازدست‌دادن) است. مرکز مدیریت بحران استرالیا در سال ۲۰۰۰ م. آسیب‌پذیری مخاطرات را درجه‌ای از حساسیت و انعطاف‌پذیری جامعه و محیط‌زیست تعریف کرده است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۸، ۱۲).

آسیب‌پذیری شهری میزان خسارتی است که در صورت بروز سانحه به اجزا و عناصر یک شهر بر حسب چگونگی کیفیت آنها وارد می‌شود. آسیب‌پذیری شهر پدیده‌ای است گسترده که تمامی عوامل موجود در یک شهر را در بر می‌گیرد و به‌علت وابستگی عناصر به یکدیگر آسیب‌پذیری شهر نیز به سرعت گسترش می‌یابد (Ferretti et al., 2007). آسیب‌پذیری شهری به میزانی از تفاوت‌های ظرفیتی جوامع شهری برای مقابله با اثرهای مخاطرات طبیعی براساس موقعیت آنها در جهان مادی )ساختار فضایی شهر( و ویژگی‌های اجتماعی آن جوامع (ساختار اجتماعی شهر) اطلاق می‌شود (Goli et al., 2019, 9). به‌عبارت دیگر، آسیب‌پذیری یک تابع ریاضی است و به مقدار خسارت پیش‌بینی‌شده برای هر عنصر در معرض خطرهای مصیبت بار، با شدت معین، گفته می‌شود. تحلیل آسیب‌پذیری فرایند، برآورد آسیب‌پذیری عناصر معینی است که در معرض خطر احتمالی ناشی از وقوع مصیبت‌بار هستند (عابدینی، ۱۳۹۲، ۸۱). تحلیل آسیب‌پذیری شهری، تحلیل، ارزیابی و پیش‌بینی احتمال خسارت‌های جانی، مادی و معنوی شهر و ساکنان شهر در برابر مخاطرات احتمالی است. براساس نظریهٔ آسیب‌پذیری و ویژگی‌های مفهومی آن در هر فضای شهری مفروض، مقدار معینی از خطرپذیری وجود دارد، اما سطوح و دامنهٔ آسیب‌پذیری و ایمنی در سطح شهر به‌طور یکنواخت توزیع نشده است؛ چراکه فضاهایی با عنوان آلوده، بی‌دفاع و آسیب‌پذیر محل رخداد انواع خشونت‌ها، جرائم و حتی مخاطرات محیطی هستند، درحالی‌که در محل‌های دیگر هیچ‌گونه الگوی ناامنی شهری و به‌تبع آن، آسیب‌پذیری وجود ندارد یا آسیب‌پذیری کمتری رخ می‌دهد (رهنما و میراثی، ۱۳۹۵، ۴۹).

در کل آسیب‌پذیری پیامدی منطقی از در معرض مخاطره قرارداشتن و وضعیت تاب‌آوری ناشی از ظرفیت پذیرش و توان ترمیم‌پذیری آن است. به‌طور کلی مفهوم آسیب‌پذیری چارچوب بسیار مناسبی برای درک ماهیت بحران، وقایع بحرانی، آثار و پیامدهای ناشی از وقوع بحران و همچنین واکنش در مقابل بحران در سطوح مختلف فراهم می‌آورد.

**• فرونشست زمین**

فرونشست طبق تعریف ارائه‌شده توسط یونسکو عبارت است از فروریزش یا نشست سطح زمین که به‌علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد. رشد جمعیت همراه با گسترش بی‌رویهٔ بهره‌برداری از منابع آب برای استفاده در کشاورزی و صنعت، پیامدهای نامطلوب زیادی در جنبه‌های کمی و کیفی منابع آب داشته است (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۳۹)، به‌طور معمول این اصطلاح به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین گفته می‌شود (Poland, 1994). طبق تعریف انستیتوی زمین‌شناسی ایالات‌متحدهٔ امریکا شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابه‌جایی افقی اندکی نیز باشد. فرونشست زمین باعث تغییرات قابل‌توجهی در ویژگی‌های هیدرولوژیکی زمین مانند جهت و سرعت جریان آب زیرزمینی می‌شود. سایر پیامدهای فرونشست نیز شامل آسیب به سازه‌های مهندسی‌شده مانند ساختمان‌ها، جاده‌ها، خطوط لوله و پوشش چاه‌ها می‌شود. مناطق کم‌بارندگی که از خشکسالی رنج می‌برند عمدتاً در معرض فرونشست زمین هستند. به‌هرحال، برداشت آب زیرزمینی علت اولیهٔ پدیدهٔ فرونشست زمین است (شریفی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۰۰). به‌لحاظ روند شکل‌گیری ، فرونشست حرکت کند و بطئی عمقی نشست زمین و یا فروریزش ناگهانی آن را شامل شده است.

فرونشست فرورفتگی توپوگرافی سطحی زمین که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در اثر عملکرد انسان به وجود آمده است. تأثیرهای محیطی فرونشست زمین در مناطق شهری بسیار متعدد هستند و می‌توانند به‌صورت تأثیرهای اجتماعی، اقتصادی، محیطی و زیرساخت همانند جدول ۳ تفکیک و طبقه‌بندی شوند.

براساس نتایج حاصل‌شده در چند دههٔ اخیر پدیدهٔ فرونشست از لحاظ منشأ به دو گروه تقسیم شده است: ۱. فرونشست‌های زمین در اثر فرایندهای طبیعی، ۲. فرونشست در اثر فعالیت‌های انسان. فرونشست ناشی از فرایندهای طبیعی به فرونشست در اثر فعالیت‌های تکنوتیکی، فوران‌های آتش‌نشانی، انحلال سنگ‌ها، تراکم رسوبات عمیق، آب‌شدگی یخ‌ها و دیگر فرایندهای طبیعی تقسیم می‌شود. در مقابل این فرایندها فعالیت‌های انسانی می‌تواند فرونشست‌های سریع و جدی‌تری را القا کند و به‌طور شاخص شامل فرونشست در اثر برداشت بی‌رویهٔ سیالات و معدن‌کاری می‌شود که این فرونشست‌ها ناشی از تعامل انسان و محیط موجود است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲، ۴۸). همانطور که ملاحظه می شود تصویر ۲ گویای مطلب است.

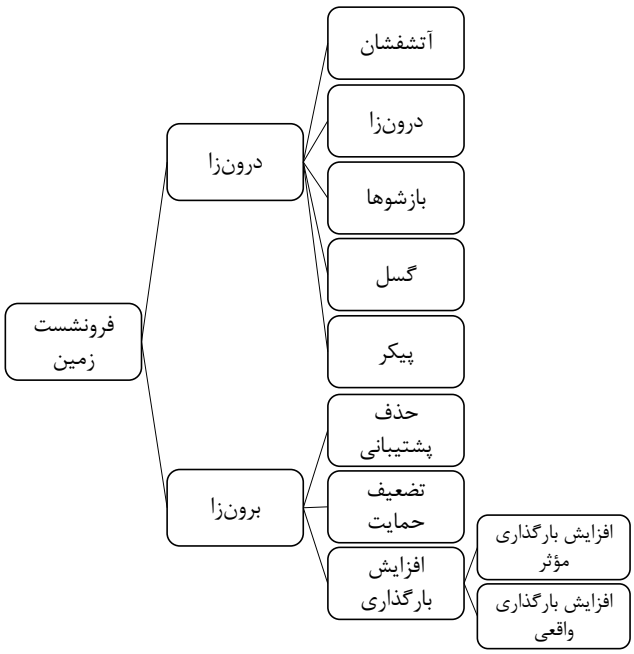
به‌طور کلی می‌توان گفت که میزان آسیب‌دیدن و خسارت یک مکان به عوامل متعددی بستگی دارد که مهم‌ترین آن تاب‌آوری شهری است. یک شهر اگر تاب‌آور باشد می‌تواند آسیب‌های ناشی از مخاطرات را کنترل کرده و با شوک کمتری با بحران مواجه شود. در شهر اصفهان یکی از مخاطراتی که به تکرار رخ می‌دهد پدیدهٔ فرونشست زمین است. در این مطالعه با کمک آزمون‌های مختلف ابتدا مخاطرهٔ فرونشست اندازه‌گیری شده و سپس میزان تاب‌آوری این شهر در برابر این فرونشست‌ها طبق تصویر ۳ سنجش شده است.

## روش پژوهش

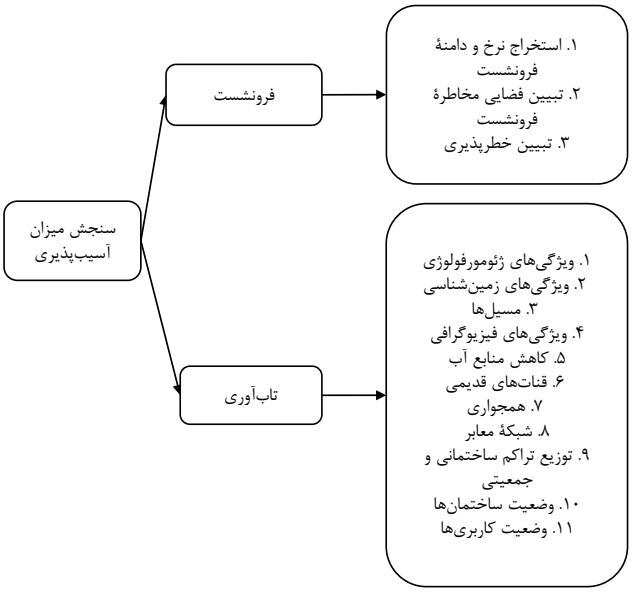
این مطالعه به‌لحاظ هدف، کاربردی و از نوع پیمایشی تحلیلی است. برای تحلیل اطلاعات از روش کمی استفاده شده است. در

جدول ۳. ویژگی‌های تأثیرات فرونشست زمین در شهرها. مأخذ: نگارندگان.

| طبقه‌بندی | نمونهٔ تأثیر | سطح تأثیر |
|---|---|---|
| زیرساختی | شکستگی دائمی بناها و جاده‌ها | مستقیم |
| | خمیدگی یا واژگونی خانه‌ها و ساختمان‌ها | مستقیم |
| | نشست‌کردن خانه‌ها یا ساختمان‌ها | مستقیم |
| | شکستگی خط لوله‌ها و تأسیسات شهری | مستقیم |
| | نقص فنی شبکهٔ فاضلاب و سیستم تخلیه | غیرمستقیم |
| | فرسودگی در عملکرد زیرساخت‌ها و ساختمان‌ها | غیرمستقیم |
| محیطی | تغییرهایی در کانال رودخانه و سیستم‌های تخلیهٔ جریان | غیرمستقیم |
| | سیلاب مداوم ساحلی | غیرمستقیم |
| | توسعهٔ گسترده‌تر مناطق سیلابی | غیرمستقیم |
| | آب‌گرفتگی نواحی و زیرساخت‌ها | غیرمستقیم |
| | افزایش پیشروی داخلی آب دریا | غیرمستقیم |
| | فرسودگی در کیفیت شرایط محیطی | غیرمستقیم |
| اقتصادی | افزایش در هزینهٔ نگهداری زیرساخت | غیرمستقیم |
| | کاهش در ارزش زمین و دارایی‌ها | غیرمستقیم |
| | ساختمان‌ها و امکانات متروک | غیرمستقیم |
| | اختلال در فعالیت‌های اقتصادی | غیرمستقیم |
| اجتماعی | فرسودگی در کیفیت زندگی و محیط پویا | غیرمستقیم |
| | اختلال در فعالیت‌های روزمرهٔ مردم | غیرمستقیم |




تصویر ۲. طبقه‌بندی انواع فرونشست‌های زمین ازلحاظ منشأ. مأخذ: نگارندگان.




تصویر ۳. فلوچارت پژوهش. مأخذ: نگارندگان.

این پژوهش برای بررسی از دو گام استفاده شده است. در گام اول، با کمک GIS به بررسی میزان آسیب‌پذیری شهر اصفهان پرداخته می‌شود که نوع تحلیل کمی و در مرحلهٔ دوم که تحلیل‌ها کیفی است به بررسی میزان تاب‌آوری شهر اصفهان در برابر پدیدهٔ فرونشست زمین پرداخته شده است. در مرحلهٔ بعد، با روش‌های تحلیلی برای پردازش تصاویر راداری دو زمانهٔ متکی‌بر تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی از طریق فاز مستخرج از تداخل‌نگار با هدف شناسایی و تعیین آخرین وضعیت نواحی در معرض فرونشست و

تعییـن اندازه‌گیـری و نـرخ دامنـهٔ آن بـه کار گرفتـه شـده اسـت. فن تداخل‌سنجـی راداری تفاضلـی با برخـورداری از پوشـش زمینی وسیع، مکرر و پیوسـته و نیز قدرت تفکیک زمانی و مکانی زیاد، به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین (در مقیاس میلی‌متـر) و کـم هزینه‌ترین فنون سـنجش از دور بـرای شناسـایـی و نمـایش جابه‌جایـی‌های به‌وجودآمده در سطح زمـین اسـت. بـا تعییـن نواحـی در معـرض فرونشسـت و دسـته‌بندی آنها براسـاس نرخ اسـتخراج شـده و همچنین تحلیل داده‌های اسنادی و ثبتـی به‌منظـور تبییـن علـل فرونشسـت اقدام بـه انجام پیمایشـی بـا اسـتفاده از ابـزار D-GPS بـرای جسـتوجو و شناسـایی مناطـق معرفی‌شـده در تصاویر شـد.

## یافته‌های پژوهش

### • استخراج نرخ و دامنهٔ فرونشست

بدیـن منظور از تکنیک تداخل‌سـنجی تفاضلی راداری اسـتفاده شـده اسـت. ایـن تکنیـک متکی‌بـر اندازه‌گیری مقادیـر اختلاف فـاز حاصل از دریافـت مکـرر دو سـیگنال بـا تفاضـل زمانـی از یک پدیده نسـیت بـه سـکوی تثبیـت شـده اسـت. همچنیـن به‌منظـور بهبـود دقـت و کاهـش ناهمدوسـی فـازی بـازهٔ زمانی به حداقـل دو ماه تقلیـل یافت. مبتنی‌بـر ایـن روش، دو تداخل‌نـگار با دورهٔ زمانی چهار ماهه به دسـت آمـد. مقادیـر حاصـل از ایـن تداخـل نیز بعـد از انجام سـایر عملیات و تبدیـل فاز به نقشـهٔ جابه‌جایـی و همچنین حذف پیکسـل‌های دارای مقادیـر صفـر (بـدون تغییر ارتفاعـی) مؤید و بـالا از صفـر (بالاآمدگی) مؤیـد فرونشسـتی بـا نـرخ حداکثـر ده سـانتیمتر در دورهٔ زمانی چهار ماهـه در محـدودهٔ مـورد مطالعـه اسـت کـه الگـوی توزیـع فضایی آن در تصویر ۴ نشـان داده شـده اسـت.

براسـاس نقشـهٔ فـوق اراضـی در معـرض فرونشسـت نواحـی مرکـزی اصفهـان نسـبت به اطـراف بیشـتر در معـرض خطر فرونشسـت زمین هسـتند. حداکثر نرخ فرونشـینی در این محدوده در فرم نقاط با شـعاع حداکثـری ۸۰۰ متـر بـه میزان ۲/۵ سـانتیمتر در مـاه و حداکثر آن نیز حدود ۱/۵ سـانتیمتر اسـت. میزان فرونشینی از هستهٔ اصلی در قسمت مرکـزی اصفهان در تمام جهات جغرافیایی واجد روند نزولی بوده اسـت.

### • تبیین فضایی مخاطرهٔ فرونشست

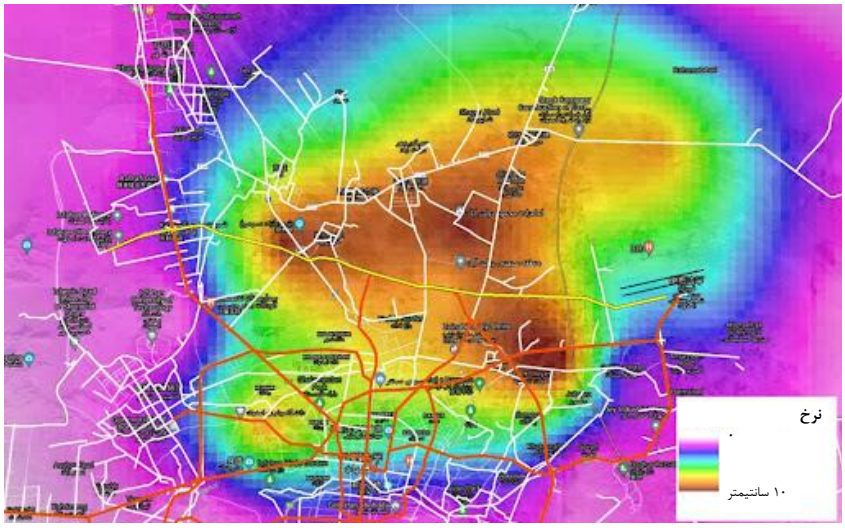
به‌منظـور تولید نقشـهٔ الگوی فضایی عرصه‌های پر مخاطـره، دو فاکتور نرخ و دامنهٔ فرونشسـت مسـتخرج از تداخل‌نگار به‌عنوان فاکتور عامل در زایـش مخاطـره بـه تحلیل‌گـر سیسـتم در محیـط GIS وارد شـد. نقشـهٔ خروجی معرف سـلول‌های واجد ارزش متفـاوت از فاکتور زایش مخاطره اسـت. براین‌اساس دسـته‌بندی ارزش سـلول‌های معرفی‌شده در نقشـهٔ خروجـی زیـر به چهـار رتبهٔ متفـاوت تحت‌عنـوان پهنه‌های بسـیار پرخطـر، پهنـهٔ پرخطـر، پهنه‌هـای نسـبتاً پرخطـر و پهنه‌های نسـبتاً کم‌خطر تهیه شـد.

بـا توجـه به تصاویـر ۵ و ۶ و جـدول ۴ می‌توان دریافـت که نزدیک به نیمی از مسـاحت محـدودهٔ مورد مطالعه در پهنه‌های پرخطر و بسـیار پرخطر هستند.

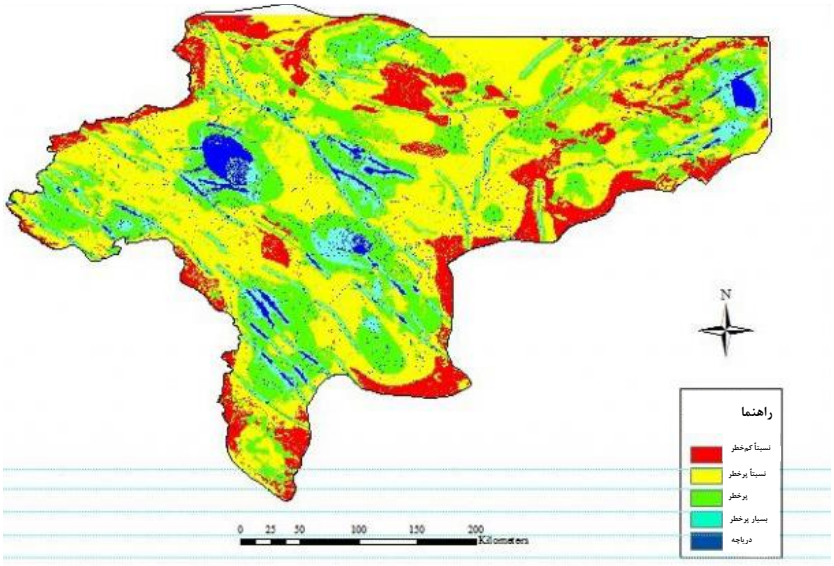
### • تبیین خطرپذیری

در ایـن پژوهـش، تبیین فضایی خطرپذیـری در دو الگوی خطرپذیری واحـد مسکونی-تأسیسـاتی و خطرپذیـری جمعیت مورد بررسـی قرار گرفت. برای تبیین خطرپذیری واحدهای مسـکونی و تأسیسـات ابتدا نقشـهٔ الگوی پراکندگی ساخت‌وسـازها اسـتخراج می‌شـود و به کمک پیمایش میدانـی می‌آید.

طبـق تصویـر ۷ و جدول ۵ یافته‌ها بیانگر آن اسـت که تمام تأسیسـات و سـکونتگاه‌های شـهری در ایـن محـدوده از مخاطـره حـادث اسـت. به‌طـوری کـه ۶۰ درصـد از مسـتحدات از خطرپذیـری کم تا نسـبتاًکم برخوردار هسـتند و تنهـا ۴۰ درصد باقی‌مانده خطرپذیـری بالایی دارند. خطرپذیـری جمعیـت و گروه‌هـای انسـانی به‌سـبب محدودیـت دسترسـی به داده‌های مکانی مناسـب صرفاً براسـاس فاکتور حضور یا عدم‌حضور جمعیت در محدودهٔ خطر تحلیل شـده اسـت. بدین‌منظور بـرای درک مناسـب‌تری از گروه‌های انسـانی مسـتقر در ناحیهٔ خطر و تبییـن الگـوی توزیعـی فضایـی و توأمان درجـه و میـزان خطرپذیری



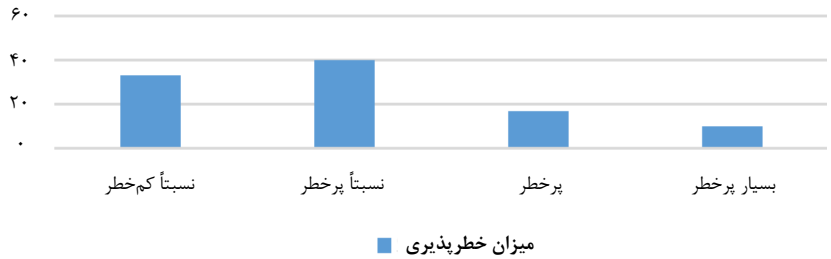

تصویر۴. نرخ و دامنهٔ فرونشست اصفهان. مأخذ: نگارندگان.




تصویر ۵. تبین فضایی مخاطرهٔ فرونشست زمین در اصفهان. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۴. مساحت و درصد مخاطرهٔ فرونشست زمین براساس پهنه‌بندی. مأخذ: نگارندگان.

| عرصهٔ خطر | مساحت (مترمربع) | درصد |
|---|---|---|
| نسبتاً کم‌خطر | ۹۵۵۸۵۰۰ | ۳۳ |
| نسبتاً پرخطر | ۴۴۱۹۱۶۱۵ | ۴۰ |
| پرخطر | ۹۰۹۱۶۰۰ | ۱۷ |
| بسیار پرخطر | ۸۵۴۰۹۰۰ | ۱۰ |




تصویر ۶. نمودار میزان خطرپذیری فرونشست زمین در اصفهان. مأخذ: نگارندگان.

براساس حجم جمعیت در معرض از شاخص تراکمی جمعیت در واحد سطح برده شده است.

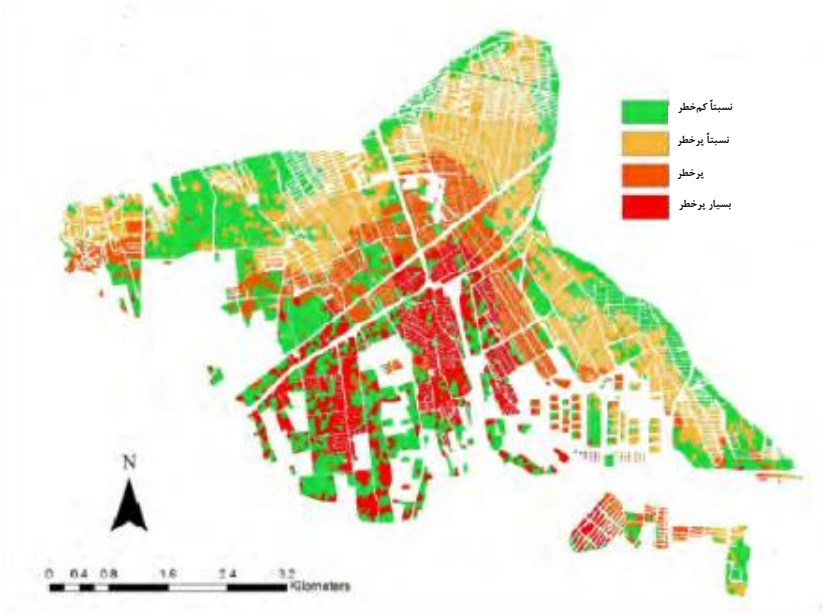
با توجه به جدول ۶ به‌منظور استخراج جمعیت در معرض خطر با استفاده از آمارهای جمعیتی مستقر در بلوک‌ها و نقشهٔ الگویی فضایی خطرپذیری مساکن، اقدام به استخراج مقادیر خطرپذیری برای جمعیت ساکن در محدودهٔ مورد مطالعه شد. براساس یافته‌ها بیش از نیمی از جمعیت ساکن محدوده به‌سبب استقرار در پهنه‌های مخاطره‌آمیز، خطرپذیری زیاد تا بسیارزیاد دارند.

## • ارزیابی شاخص‌های تاب‌آوری شهری در اصفهان

براساس نظر هولینگ (Holling, 1973) در ارزیابی تاب‌آوری شهر ویژگی‌های طبیعی، زمین‌شناسی، انواع کاربری‌ها، شبکه معابر و... . از جمله شاخص‌هایی هستند که باید مورد بررسی قرار بگیرند. که در این مطالعه به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت.

### - ویژگی ژئومورفولوژی

بررسی ژئومورفولوژی شهر اصفهان نشان می‌دهد که شهر در بخش خروجی حوضهٔ آبریز ارتفاعات شمالی روی اشکال ژئومورفیکی مانند مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید قدرت نفوذپذیری بالا و تغییر مداوم مسیر رود در روی آن که این ویژگی‌ها از جهات شهرسازی به‌دلیل استحکام ساختار زمین، تغذیهٔ منابع آب زیرزمینی و کاهش حجم رواناب در مواقع بارندگی مناسب و فرصت است ولی با شهرسازی روی آن همین ویژگی‌ها به تهدیدهایی چون افزایش حجم روان آب به‌دلیل پوشش سطح زمین از طریق آسفالت خیابان‌ها و پشت‌بام ابنیه‌ها و کاهش تغذیهٔ منابع آب، آلودگی منابع آب به خاطرنفوذ فاضلاب‌های گوناگون به آنها و افزایش لرزه‌خیزی تبدیل می‌شود. هستهٔ شهر روی دشت رسوبات ریزدانه باقدرت نفوذپذیری کمتر واقع شده که




تصویر ۷. خطرپذیری واحدهای مسکونی و تأسیساتی اصفهان. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۵. تعداد و مساحت واحد مسکونی -تأسیساتی خطرپذیر به تفکیک گروه‌های خطرپذیری. مأخذ: نگارندگان.

| رتبهٔ خطر | تعداد واحد مسکونی-تأسیساتی | درصد |
|---|---|---|
| نسبتاً کم‌خطر | ۱۱۶۰۵ | ۱۹ |
| نسبتاً پرخطر | ۵۴۱۲۳ | ۴۱ |
| پرخطر | ۳۲۰۷۹ | ۳۸ |
| بسیار پرخطر | ۲۱۰۶۱ | ۲ |

جدول ۶. خطرپذیری جمعیت ساکن اصفهان. مأخذ: نگارندگان.

| عنوان | خطرپذیری نسبتاً کم | خطرپذیری نسبتاً زیاد | خطرپذیری زیاد | خطرپذیری بسیار زیاد |
|---|---|---|---|---|
| جمعیت | ۹۱۳۸ | ۹۹۴۹۰ | ۶۱۸۳۸ | ۶۰۷۹۷ |
| خانوار | ۵۸۴۱ | ۵۷۳۲۳ | ۳۰۸۹۶ | ۴۲۹۱۹ |
| درصد | ۴ | ۳۹ | ۲۵ | ۳۲ |

باعث ازبین‌رفتن اراضی کشاورزی که نتیجهٔ آن کاهش تولید مواد غذایی و آلودگی منابع خاک است.

**- ویژگی‌های زمین‌شناسی**

بررسی شاخص‌های زمین‌شناسی منطقه حاکی از حرکات تکتونیکی زیاد دوران دوم است که وجود ۶۳ گسل فعال در اصفهان آمیزه‌های رنگین (افیولیت‌ها) نتیجهٔ حرکات کمپرسی و فشارشی کرتاسه فوقانی است که متأسفانه برخی از کاربری‌های حیاتی این شهر در مجاورت این شکستی‌ها واقع شده است.

**- مسیل‌ها**

اصفهان شهری با هستهٔ اولیهٔ زیستی و جویباره به‌معنای زمین جوی‌ها در اصلی‌ترین هستهٔ شهر بوده است. نقش زایندهٔ رود و شبکه‌های مادی منشعب از آن، در گذشته در امور کشاورزی و آبرسانی جمع‌آوری آب‌های سطحی و آبادی شهر اهمیت خاصی داشته است. مسیل‌ها و مادی‌های موجود و عدم رعایت ضوابط حریم رودها در این شهر باعث شده است که در شرایط بحران این مسیل‌ها و مادی‌ها خسارت‌های جانی و مالی زیادی را به وجود آورد.

**- ویژگی فیزیوگرافی**

شیب زیاد در بخش‌های شمالی شهر به سیل‌خیزی منطقه افزوده و کاهش شیب در جنوب و هستهٔ مرکزی مشکلاتی نظیر عدم زهکشی آب‌های سطحی و فاضلاب‌های مختلف و در نتیجه آبگرفتگی معابر و منازل را به همراه دارد.

**- کاهش منابع آب**

توسعهٔ بی‌ضابطهٔ شهر به منابع طبیعی اطراف و تغییر کاربری آنها (پوشش زمین توسط آسفالت خیابان‌ها و ساخت‌وسازها)، از یک طرف موجب عدم تغذیهٔ منابع آب زیرزمینی شده و گاهاً به‌دلیل نفوذ فاضلاب‌ها به منابع آلودگی آنها را در پی داشته و از طرف

دیگـر، مصـرف بی‌رویـه آب با رشـد جمعیـت، باعث کاهـش منابع آب در شـهر اصفهان شـده اسـت کـه برای تأمیـن کمبود نگاه‌هـا به خارج از منطقه اسـت.

**- قنات‌های قدیمی**

بررسـی فرونشسـت وکاهش سـطح ارتفاع آب‌های زیرزمینی به کمتر از سـه متـر در برخـی از مناطق شـهر بیانگـر وجود بیش از ۲۰ رشـته قنـات قدیمـی در زیر شـهر اسـت کـه مجرای زهکشـی برخـی از آنها توسـط ادارات ذی‌ربـط در سـال‌های اولیـهٔ انـواع حفاری‌هـا در شـهر و اجـرای اگـو و برخـی نیـز به‌علت لایروبی‌نکردن مالکین بسـته شـده اسـت که در طول سـال‌ها به‌دلیل نفوذناپذیری سـنگ بسـتر شـهر، آب در مجـرای ایـن قنات‌هـا جمـع شـده و بـه لایه‌هـای بالایـی راه پیـدا کـرده و باعـث ریـزش سـقف قنات‌هـا و بالاآمدن سـطح آب‌ها در زیر شـهر شـده است.

**- همجواری**

همجـواری بعضـی از کاربری‌هـا در سـطح شـهر بـا کاربری‌هـای مسـکونی، حمل‌ونقل و ورزشـی در این مناطق، همجواری تأسیسات گاز بـا فضای سـبز و مجـاورت کاربری‌هـای درمانی واسـعی، قضایی و خدماتـی بـا گسـل و ... در این شـهر دارای یک ناسـازگاری اسـت. یعنـی کاربری‌هـای ناسـازگار در برخـی از مناطـق ایـن شـهر بـا هم ناسازگارند.

**- شبکهٔ معابر**

شـبکهٔ معابـر ایـن شـهر بـه دو دسـتهٔ معابـر بافـت قدیـم وجدیـد تقسـیم می‌شـوند کـه در بافـت قدیـم و حاشـیه، دارای عـرض کم و پرپیچ‌وخم و برمبنای نیاز زمان تشـکیل بافت بدون شـکل هندسـی منظـم سـاختار ارگانیـک دارد ولـی در بافـت جدیـد سـاختار معابـر نشـان از تحمـل بار ترافیکی بالاتری اسـت که به‌طـور کلی به دلایل عـرض کم، سـازه‌های مجاور، شـکل اتصال، عدم تطابـق عرض معبر و ارتفـاع سـاختمانی در خیلی از مناطق شـهر جوابگـوی بار ترافیکی در مواقـع خطر را نیسـتند.

**- توزیع تراکم ساختمانی و جمعیتی**

دربررسـی مناطـق و نواحـی مختلف شـهر طبـق اطلاعات اسـنادی مرکـز آمـار در اصفهـان یـک ناتعادلـی دیـده می‌شـود به‌طـوری که تراکم سـاختمانی در شـمال و شمال‌شـرق بیشـتر از جنوب، غرب و هسـتهٔ مرکزی شـهر اسـت ولـی تراکم جمعیتـی در غـرب و جنوب شـهر بیشـتر اسـت، در عـوض فضای بـاز و سـبز نیز در ایـن مناطق پاسخ‌گوی جمعیت نیسـت.

**- وضعیت ساختمان‌ها**

بررسـی توزیـع انـواع کاربری‌ها در این شـهر نشـان می‌دهد که طبق اصـول اولیـهٔ شهرسـازی تعادلـی وجود نـدارد و در خیلـی از مناطق شـهر تناسـبی بیـن تراکم و فضاهـای باز وجـود ندارد کـه خود عدم تـاب‌آوری را به‌دنبـال خواهد داشـت. از تحلیل رابطهٔ سـاختمان‌های بلندمرتبـه و ویژگی‌هـای زمیـن سـاختاری به‌تفکیـک مناطق شـهر مشـخص شـد که محل اسـتقرار تعداد زیادی از سـاختمان‌های بلند مرتبهٔ ساخته‌شـده در شـهر، بدون مطالعه انتخاب شده است و میزان فضـای سـبز و باز عمومی بسـیارکم اسـت. در تحلیل آسـیب‌پذیری ناشـی از دسترسـی، از شـاخص عرض معبر اسـتفاده شـده است که نتیجـهٔ آن ارتبـاط مسـتقیم عـرض معبـر بـا میـزان تـاب‌آوری بود، یعنـی معابـر بـا توجـه بـه سلسـله‌مراتب عملکردهـای شـهری بهتر باشـد؛ به‌دلیـل دسترسـی بهتـر، آسـیب‌پذیری نیزکاهـش می‌یابـد. وجـود کوچه‌هـای بن‌بسـت و شـبکهٔ ارتباطـی بـا عـرض کـم بـا دسترسـی بـه بافت قدیم شـهر که عمومـاً مناطق مرکزی را شـامل می‌شـود با مشـکل مواجه می‌سـازد ولی در ساخت‌وسـازهای جدید کـه تناسـب بیـن تراکـم ارتفاعـی و عـرض معبـر رعایت نمی‌شـود، شـبکهٔ ارتباطی را هم با مشـکل مواجه سـاخته اسـت که رابطهٔ بین تراکـم ارتفاعـی (تعـداد طبقه) و عرض معبر همجوار مسـکن نشـان می‌دهـد در برخـی نقـاط تناسـب بیـن تراکـم ارتفاعـی معبـر اصلاً رعایت نشـده است.

**- وضعیت کاربری**

بـا توجـه به مطالعـات انجام‌شـده، ناهنجاری‌هـای عمده در سـاختار ایمنـی از نظـر وضعیـت سـازهای مسـاکن شـهر، مشـهود اسـت. کاربـری زمیـن نقـش بسـیار مؤثـری در تـاب‌آوری دارد؛ ماننـد کاربری‌هـای درمانـی، مسـکونی، آموزشـی و غیـره، هـر چه نسـبت تـوده بـه فضا (سـطح اشـتغال) افزایـش یابد تـاب‌آوری هـم کاهش می‌یابـد. بااین‌حـال عدم‌سـازگاری برخـی از کاربری‌هـا در این شـهر قابل مشـاهده اسـت؛ کاربری‌هایی کـه نیاز به انبار دارنـد در نزدیکی منـازق مسـکونی باعث فرونشسـت زمیـن در این مناطق می شـوند.

**• عوامل تهدیدکنندهٔ تاب‌آوری شهری اصفهان**

گسـترش فیزیکـی شـهر اصفهـان کـه از تمـام جهـات کم‌وبیـش با محدودیـت روبـه‌رو اسـت، نشـان می‌دهدکـه عوامل طبیعـی (مانند: شـیب کم هسـتهٔ مرکزی وجنوب شـهرکه باعث مشـکل جمع‌آوری آب‌هـای سـطحی و فاضـلاب می‌شـود، بالابـودن سـطح آب‌هـای زیرزمینـی محبـوس در قنات‌هـای قدیمـی زیـر شـهر، تجـاوز بـه مسـیل‌ها و...) و عوامـل انسـانی در پیشـرفت توسـعهٔ فضایـی شـهر نقـش اساسـی داشـته‌اند.

تجمـع و رشـد غیراصولـی صنایـع و به‌تبـع آن مهاجـرت مـردم روسـتاهای منطقـه بـه شـهر، باعث گسـترش نقاط مسـکونی جدید درآن شـده اسـت کـه بـه مـوازات آن شـبکه‌های ارتباطی نیـز بنا به نیـاز سـاکنین و به‌نظـر فروشـندگان امـلاک (فـروش متـراژ بالاتـر) توسـعه یافته‌انـد و ازآنجاکـه این اقدامات بدون برنامـه و اصول خاص انجـام شـده، بخـش زیـادی از زمین‌هـای کشـاورزی و دیگـر اراضی بـا اسـتعداد طبیعـی منطقـه نیـز از بیـن رفتـه کـه سـهم صنعت و ساخت‌وسـاز بیـش از ۲۵ درصـد زمین‌هـای کشـاورزی و مرغـوب منطقـه را از بیـن برده اسـت. رشـد صنعـت و جمعیـت، بهره‌برداری بی‌رویـه از منابـع آب را نیـز در پـی داشـته و خسـارت‌های فراوانـی بـه ذخایـر زیرزمینـی آب وارد کـرده کـه مجموعـهٔ ایـن عوامـل، خصوصیـات طبیعـی زمیـن را دگرگـون سـاخته اسـت. از دیگـر

عوامل مورد بررسی، نحوهٔ چیدمان فضایی مراکز امداد و نجات در شهر است.گسترش فیزیکی این شهر بدون مطالعه از وضعیت بحران خیزبودن شهر در برابر بلایای طبیعی اتفاق افتاده است. بخش‌هایی از شهر که شامل بافت فرسوده، مناطق حاشیه‌نشین به‌دلیل پایین‌بودن شاخص‌های کیفیت مسکن و عدم‌زیرساخت‌های مناسب جزو آسیب‌پذیرترین قسمت‌های شهر هستند. شبکهٔ ارتباطی شهر به‌دلیل کمبود خیابان‌های شعاعی در کنار رینگ‌های ترافیکی، وجود شبکهٔ ارتباطی و پیچیده در بخش کم‌عرض حاشیه و بافت قدیم ، کنار هم قرارگرفتن شبکهٔ ارتباطی قدیم و جدید، آسیب‌پذیری شهر را افزایش داده است. بررسی الگوی بافت شهری نشان می‌دهد که قطعه‌بندی اراضی ریزدانه، نحوهٔ قرارگیری فضاهای باز در درون قطعات و معابر، شبکهٔ نامنظمی را به وجود آورده است. تمرکز زیادی از فعالیت‌های تجاری، تولیدی و خدماتی به‌دلیل قرارگیری بازار در هستهٔ مرکزی شهر، ضمن افزایش تراکم جمعیت موقت، در تلفیق با افزایش شرایط فرسودگی منطقه استانداردهای ایمنی را کاهش داده است. شبکهٔ معابر و میزان دسترسی‌ها در میزان تاب‌آوری ساختار فضایی و کالبدی شهر می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کنند زیرا در مواقع بحران هرگونه خدمات‌دهی منوط به وجود یک شبکهٔ معابر روان و فعال است. اکثر مناطق مرکزی، جنوبی و حاشیه‌ای از نظر معیار دسترسی به شبکهٔ معابر مناسب دارای تاب‌آوری کم است. یکی دیگر از عواملی که در تاب‌آوری نقش عمده دارد. نقش فضاهای باز به‌عنوان تغییردهندهٔ بافت در کاهش آسیب‌های وارد به کالبد بسیار ضعیف است. بلوک‌هایی که تراکم جمعیتی بالا، شبکهٔ ارتباطی کم‌عرض، فاصلهٔ زیاد از مراکز امداد و نجات و درجهٔ محصوریت بالایی دارند، تاب‌آوری کمتری دارند و پهنهٔ تاب‌آور با طیف کم و خیلی‌کم درغرب، مرکز و قسمت‌هایی از شمال مشهود است که این عامل ناشی از ویژگی‌های زمین، تراکم زیاد جمعیتی، ساختمانی و پایین‌بودن عرض شبکهٔ ارتباطی است.

## بحث

همان‌طورکه قبلاً در مطالعات اشاره شد، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در کلانشهر اصفهان پدیدهٔ فرونشست زمین است. این فرایند که نتیجهٔ برداشت‌های بی‌رویه از منابع زیرزمینی به‌ویژه آب و تحمیل بار حاصل از فعالیت‌های انسانی در سطح حاصل شده است. یافته‌های پژوهش نشانگر کارآمدی و الزامی‌بودن مطالعات سنجش آسیب‌پذیری در اتباط با پدیدهٔ فرونشت زمین با هدف سازماندهی و آمایش مجدد این نقاط به‌منظور پیشگیری از تبدیل سانحه به فاجعه است. امری که هرچند تأکید و توجه به آن در خصوص سایر مخاطرات بدیهی به‌نظر می‌رسد، لیکن متأسفانه در خصوص مخاطرهٔ فرونشست به‌سبب حدوث بسیار کند آن، گروه‌های جمعیتی در معرض خطر و حتی در مواردی مدیران و مسئولین به سهولت از وجود آن اطلاع نیافته و بدیهی است در این شرایط آسیب‌پذیری به‌واسطهٔ فقدان اقدانات تعدیلی در خطرپذیری با طرفیت حداکثری رخ خواهد داد.

همچنین در زمینهٔ تاب‌آوری شهری در برابر این پدیده به‌دلیل اهمیت شبکهٔ ارتباطی شهر در زمان بروز بلایای طبیعی بررسی شده است. از جمله مشکلات شبکهٔ معابر شهر، پایین‌بودن سطح سرویس‌دهی معابر و احداث خیابان‌های ناهماهنگ با بافت شهر است که در صورت بروز بحران آسیب‌پذیری شهر چندین برابر خواهد شد. با توجه به مطالعات انجام‌شده، ناهنجاری‌های عمده در ساختار ایمنی از نظر وضعیت ساخت‌وسازهای مساکن شهر، مشهود است. یکی دیگر از متغیرهای اساسی در تاب‌آوری تراکم نسبی جمعیت است. تراکم بیش از حد جمعیت باعث کاهش سرانه‌های خدماتی، افزایش ترافیک و آلودگی هوا، ناهنجاری‌های اجتماعی و بسیاری از مشکلات دیگر خواهد شد که هر کدام از این موارد آسیب‌پذیری شهر را در صورت بروز بحران‌های طبیعی چندین برابر خواهد کرد. از جمله مشکلاتی که احداث ساختمان‌های بلند در مناطق مختلف شهری دارند، افزایش عبورومرور بیش از حد تعیین‌نشدهٔ جمعیت ساکن است که این موضوع بر سرانهٔ کاربری‌ها نیز تأثیر نامطلوب دارد. یعنی در طرح جامع، برای هر کاربری سقف خدمات مشخصی برای جمعیت آن در نظر گرفته شده است و احتمال اینکه سطح در نظر گرفته‌شده، کفایت جمعیت جدید را نداشته باشد وجود داردو کاهش بیش ازحد جمعیت نیز باعث اشکال در روند خدمات‌رسانی می‌شود، هرچه میزان تراکم ساختمانی و جمعیتی به‌صورت متعادل در سطح شهر توزیع شده باشد، ازجمله راه‌کارهایی که در مورد بافت شهر و کاربری اراضی آن وجود دارد، توجه‌داشتن به خطرات احتمالی حوادث مختلف برای ایجاد یک شهر ایمن در مقابل بلایای طبیعی، پهنه‌بندی شهر براساس احتمال خطر بلایای طبیعی، رعایت حریم‌ها و مجاورت کاربری‌های خطرزا و انتقال کاربری‌های خطرساز به خارج از بافت مسکونی شهر اشاره کرد.

## نتیجه‌گیری

موضوع پژوهش، یک موضوع کاربردی در حیطهٔ مسائل تاب‌آوری شهر و پدیدهٔ فرونشست زمین است. مسئلهٔ پژوهش، بررسی میزان آسیب‌پذیری و تاب‌آوری شهر اصفهان در برابر پدیدهٔ فرونشست زمین است که به‌صورت نظری-کاربردی و ازلحاظ ماهیت روش قیاسی و تحلیلی انجام شده است. در این مطالعه دریافت می‌شود که مسئلهٔ فرونشست زمین در ایران به‌طور کلی ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی است.

یافته‌های این پژوهش مستند به جداول۴، ۵ و ۶ بیانگر در معرض خطربودن کلیهٔ مساکن، جمعیت و تأسیسات است، هرچند که درجهٔ خطرپذیری آنها تا حدودی متفاوت است.

همچنین این یافته‌ها تأکیدی بر تابعیت الگوی توزیع فضایی خطرپذیری در شرایط خاص اجتماعی، اقتصادی و محیطی محدوده، آسیب‌پذیری فراگیری در همهٔ زمینه‌ها را داشته است.

به‌طور کلی می‌توان عوامل مؤثر بر تاب‌آوری شهری را در برابر پدیده‌های طبیعی مثل فرونشست زمین را به‌صورت جدول ۷ خلاصه کرد.

جدول ۷. خلاصه عوامل مؤثر بر تاب‌آوری شهری اصفهان. مأخذ: نگارندگان.

| عامل | معیار | تأثیر |
|---|---|---|
| ژئومورفولوژیکی | گسل | هرچه فاصله از گسل بیشتر باشد، تاب‌آوری بیشتر و آسیب‌پذیری کمتر است. |
| | مسیل، مادی | فاصله از مسیل و دره و مادی‌ها باعث تاب‌آوری بیشتر و آسیب‌پذیری کمتر می‌شود. |
| | فضای سبز | فاصلهٔ بیشتر از فضای سبز تاب‌آوری را کم و آسیب‌پذیری را بیشتر می‌کند. |
| فیزیوگرافی | شیب | هرچه شیب بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر و تاب‌آوری کمتر است. |
| | ارتفاع | هرچه ارتفاع بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر و تاب‌آوری کمتر است. |
| | جهت | دامنه‌های آفتابگیر تاب‌آوری را بیشتر می‌کند و آسیب‌پذیری را کاهش می‌دهد. |
| وضعیت ساختمان‌ها | قدمت | هرچه قدمت ساختمان بیشتر باشد، آسیب‌پذیری آن بیشتر و تاب‌آوری آن کمتر است. |
| | تراکم | هرچه تراکم ساختمان بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر و تاب‌آوری کمتر می‌شود. |
| | قطعه‌بندی | هرچه قطعه‌بندی بزرگتر باشد، تاب‌آوری بیشتر و آسیب‌پذیری کمتر است. |
| | بافت | بافت منظم تاب‌آوری بیشتر دارد و و آسیب‌پذیری کمتر دارد. |
| | عرض معابر | هرچه عرض معابر بیشتر باشد، آسیب‌پذیری کمتر و تاب‌آوری بیشتر است. |
| کاربری | کاربری‌های پرخطر | هرچه کاربری‌های پرخطر کمتر باشد، آسیب‌پذیری کمتر و تاب‌آوری بیشتر است. |
| | کاربری‌های ناسازگار | هرچه کاربری‌های ناسازگار بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر و تاب‌آوری کمتر است. |

## فهرست منابع


• بصیری، مجتبی؛ سودمند، نگار؛ نادی، بهرام؛ اسلامی، رضا و روحی، ایرج. (۱۴۰۱). فرونشست زمین و افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در کلانشهر اصفهان. بیستمین *کنفرانس ژئوفیزیک ایران*، تهران. https://civilica.com/doc/1677840/

• بگی، حسینعلی. (۱۴۰۲). تحلیل و شبیه‌سازی فرونشست زمین در شمال شهر اصفهان. پنجمین *کنفرانس ملی مهندسی مکانیک، عمران و فناوری‌های پیشرفته*، اسفراین. https://civilica.com/doc/2006721/

• بهرامی، فرشاد و همتی، مرتضی. (۱۳۹۹). منظر تاب‌آور: مفهومی غیرمنظری، بررسی و ارزیابی تعاریف موجود در حوزهٔ تاب‌آوری منظر، مرور فشردهٔ ادبیات نظری. *منظر*، ۱۲(۵۰)، ۴۰-۴۹. https://doi.org/10.22034/manzar.2020.218060.2032

• دهقان سورکی، یونس. (۱۳۹۰). *به‌کارگیری تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (D-InSAR) در تعیین نرخ و دامنهٔ فرونشست زمین در دشت مرند* [پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس]. پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک). https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/487771b939babc26e179e578fe5c130f

• رجایی، سیدعباس و نصرتی هشی، مرتضی. (۱۳۹۶). بررسی آسیب‌پذیری بافت شهری با تأکید بر پدیدهٔ فرونشست زمین (مطالعهٔ موردی: شهر تهران). *پنجمین همایش ملی ژئومورفولوژی و چالش‌های محیطی*، خراسان رضوی، مشهد. https://civilica.com/l/8557/

• رهنما، حسین و میرائی، سهراب.(۱۳۹۵). تحلیل و ارزیابی پارامترهای مؤثر بر فرونشست زمین. *مهندسی عمران مدرس*، ۱۶(۱)، ۴۵-۵۳. http://mcej.modares.ac.ir/article-16-8483-fa.html

• شریفی‌کیا، محمد؛ امیری، شهرام و شایان، سیاوش. (۱۳۹۰). سنجش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی ناحیهٔ ولشت از مخاطرات زمینی. *برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین*، ۱۵(۱)، ۱۲۶-۱۵۰. http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-2230-fa.html

• شریفی‌کیا، محمد؛ مال امیری، نعمت و شایان، سیاوش. (۱۳۹۲). سنجش میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر مخاطرهٔ فرونشست زمین، مطالعهٔ موردی (بخشی از جنوب شهر تهران). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲(۱)، ۹۱-۱۰۶. https://doi.org/10.22067/geo.v2i1.21020

• شیرانی، کوروش؛ پسندی، مهرداد و ابراهیمی، بابک. (۱۴۰۰). بررسی فرونشست زمین در دشت نجف‌آباد اصفهان با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری. *علوم آب و خاک*، ۲۵(۱)، ۱۰۵-۱۲۷. http://dx.doi.org/10.47176/jwss.25.1.147214

• عابدینی، موسی. (۱۳۹۲). بررسی علل فرونشست دشت اردبیل و اثرات آن در محدودهٔ شهر. *جغرافیای طبیعی*، ۶(۱۹)، ۷۱-۸۴.

https://www.sid.ir/paper/184972/fa

• قاسمی، الهام؛ حاجیان، امیرمهدی؛ جزینی، محمد؛ معینیان، بهاره و سرلکی، زهره. (۱۳۹۸). تاب‌آوری شهری: مروری بر ادبیات موضوع. *نهمین کنفرانس بین‌المللی توسعهٔ پایدار و عمران شهری*. https://civilica.com/l/10813/

• کریمی، مرتضی؛ قنبری، علی‌اصغر و امیری، شهرام. (۱۳۹۲)، سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیدهٔ فرونشست زمین، مطالعه موردی: منطقهٔ ۱۸ تهران. *برنامه‌ریزی فضایی*، ۳(۱)، ۵۶-۳۷. https://sppl.ui.ac.ir/article_15949.html?lang=fa

• نصیری زارع، سعید و کرم، امیر. (۱۴۰۱)، فراروشی برای شناسایی موضوع تحقیقات علمی در فرونشست زمین (یک تحقیق با رویکرد علم سنجی). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۱(۴۴)، ۱-۱۹. https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75885.1202

• Adger, W. N., Arnell, N. W., & Tompkins, E. L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions, 15*(2), 77-86. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005

• Akbar, I., Poerbo, H. W., & Soedarsono, W. K. (2019). Adaptive urban design principles for land subsidence and sea level rise in coastal area of Tambak Lorok, Semarang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 273*(1), 012005. http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/273/1/012005

• Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., & Zumbrunnen, C. (2003). Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *BioScience, 53*(12), 1169-1179. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1169:IHIEOA]2.0.CO;2

• Allenby, B., & Fink, J. (2005). Toward inherently secure and resilient societies. *Science, 309*(5737), 1034-1036. https://doi.org/10.1126/science.1111534

• Baffoe, G. (2020). Rural-urban studies: A macro analysis of the scholarship terrain. *Habitat International, 98*, 102156. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102156

• Bell, F. G., Cripps, J. C., Culshaw, M. G., & O'Hara, M. (1987). Aspects of geology in planning. *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 4,* 1-38. https://doi.org/10.1144/GSL.ENG.1987.004.01.01

• Coaffee, J., & O'Hare, P. (2008). Urban resilience and national security: the role for planning. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Urban Design and Planning, 161*(4), 173-182. https://doi.org/10.1680/udap.2008.161.4.173

• Desouza, K. C., & Flanery, T. H. (2013). Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. *Cities, 35*, 89-99. https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.003

• Ezquerro, P., Del Soldato, M., Solari, L., Tomás, R., Raspini, F., Ceccatelli, M., Fernández-Merodo, J., Casagli, N., & Herrera, G. (2020). Vulnerability assessment of buildings due to land subsidence using InSAR data in the ancient historical city of Pistoia (Italy).*Sensors, 20*(10), 2749. https://doi.org/10.3390/s20102749

• Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F., & Massonnet, D. (2007). *InSAR principles: Guidelines for SAR interferometry processing and interpretation* (Vol. 19). ESA Training Manual. https://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/InSAR_Principles_Guidelines_for_SAR_Interferometry_Processing_and_Interpretation_br_ESA_TM-19

• Folke, C. (2016). Resilience [republished]. *Ecology and Society, 21*(4), 44-74. https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444

• Goli, A., Moradi, M., & Dehghani, M. (2019). Land subsidence vulnerability assessment of rural Settlements in Fars Province. *Journal of Research and Rural Planning, 8*(4), 91-106. https://doi.org/10.22067/jrrp.v8i4.78463

• Hamilton, W. A. H. (2009). Resilience and the city: the water sector. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Urban Design and Planning, 162*(3), 109-121. https://doi.org/10.1680/udap.2009.162.3.109

• Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics, 4*(1), 1-23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245

• Jiang, H., Zhang, J., Liu, Y., Li, J., & Fang, Z. N. (2023). Does flooding get worse with subsiding land? Investigating the impacts of land subsidence on flood inundation from Hurricane Harvey. *Science of The Total Environment, 865*, 161072. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161072

• Leichenko, R. (2011). Climate change and urban resilience. *Current Opinion in Environmental Sustainability, 3*(3), 164-168. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.014

• Liao, K. H. (2012). A theory on urban resilience to floods—a basis for alternative planning practices. *Ecology and Society, 17*(4). https://doi.org/10.5751/ES-05274-170448

• Lu, P., & Stead, D. (2013). Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands. *Cities, 35*, 200-212. https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.001

• McPhearson, T., Andersson, E., Elmqvist, T., & Frantzeskaki, N. (2015). Resilience of and through urban ecosystem services. *Ecosystem Services, 12,* 152-156. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.012

• Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning, 147,* 38-49. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011

• Perrings, C. (2006). Resilience and sustainable development. *Environment and Development Economics, 11*, 417-427. http://dx.doi.org/10.1017/S1355770X06003020

• Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., & Grove, J. M. (2004). Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning, 69*(4), 369-384. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.035

• Poland, F. J., Carbognin, L., & Yamamoto, S. (1984). Economic and social impacts and legal considerations. In *Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal* (pp. 120-126). UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000065167

• Spaans, M., & Waterhout, B. (2017). Building up resilience in cities worldwide–Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme. *Cities, 61,* 109-116. https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.05.011

• Tran, D. H., & Wang, S. J. (2020). Land subsidence due to groundwater extraction and tectonic activity in Pingtung Plain, Taiwan. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 382,* 361-365. https://piahs.copernicus.org/articles/382/361/2020/

• Vanlalnunpuii, M., & AshKanojia, A. (2023). A review of resilience measures for land subsidence-prone areas. *Journal of Housing*

*and Advancement in Interior Designing, 6*(3), 1-15. http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10163562

• Walker, B., & Salt, D. (2006). *Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world.* Island Press.

• Wang, L.-J., Guo, M., Sawada, K., Lin, J., & Zhang, J. (2015). Landslide susceptibility mapping in Mizunami City, Japan: A comparison between logistic regression, bivariate statistical analysis and multivariate adaptive regression spline models. *Catena, 135*, 271-282. https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.007

• Wardekker, J. A., De Jong, A., Knoop, J. M., & Van Der Sluijs, J. P. (2010). Operationalising a resilience approach to adapting an urban delta to uncertain climate changes. *Technological Forecasting and Social Change, 77*(6), 987-998. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.11.005

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the authors with publication rights granted to Manzar journal. This is an open access article disributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**نحوهٔ ارجاع به این مقاله**
شفیعی دارافشانی، علی و شمسی اژیه، علی. (۱۴۰۳). بررسی میزان آسیب‌پذیری و تاب‌آوری شهر اصفهان در برابر پدیدهٔ فرونشست زمین. *منظر*، ۱۶ (۶۹)، ۲۴-۳۷.

DOI: 10.22034/MANZAR.2024.457486.2285
URL: https://www.manzar-sj.com/article_210462.html