



DOI:10.52547/GeoSpa.23.3.121

فروغ نامجو<sup>۱</sup>  
رسول صمدزاده<sup>۲\*</sup>  
محمدتقی معصومی<sup>۳</sup>

## آینده‌پژوهی تاب-آوری کلانشهر تبریز در برابر آشوب سیل

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۶

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف آینده‌پژوهی تاب‌آوری شهری کلانشهر تبریز در برابر آشوب سیل صورت گرفته است. در این راستا به تدوین سناریوهای تاب‌آوری شهر تبریز و تعیین سناریوی مطلوب و تدوین راهبردهای اجرایی برای سناریوهای مطلوب با استفاده از مدل SOAR و ماتریس خانه کیفیت (HOQ) پرداخته شد. بدین ترتیب با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مطالعه وضع موجود و نظرسنجی از کارشناسان (تعداد ۱۰ کارشناس به روش گلوله برفی) (نمونه‌گیری تا زمان رسیدن به اشباع نظری که در ۱۰ نفر محقق شد)) و با استفاده از نرم‌افزار Scenario wizard، سناریوهای تاب‌آوری کلانشهر تبریز (سناریوهای با احتمال قوی تا سناریوهای با احتمال ضعیف) تدوین شده است. سپس از میان انواع سناریوها، سناریوهای مناسب که متناسب با آینده مطلوب طراحی شده باشند، انتخاب شده است. شناخت مسائل کلیدی، شناخت وضع موجود و شناخت آینده‌های ممکن، محتمل و باورکردنی اضلاع مثلثی هستند که ترسیم چشم‌انداز یا آینده مطلوب را برای برنامه‌ریزی ممکن می‌سازند. در نهایت راهبردهای بهبود تاب‌آوری در خصوص سناریوهای مطلوب تدوین، راهبردهای اجرایی سناریوی مطلوب ارائه و راهبردهای برتر انتخاب گردیدند. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از برنامه‌های آموزشی، تجربه‌های داخلی و خارجی، تمایل کلان‌شهروندان برای یادگیری دانش و آگاهی و بهره‌مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای افزایش آگاهی و دانش کلان‌شهروندان بهترین راهبرد افزایش تاب‌آوری شهر تبریز می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** تاب‌آوری شهری، آشوب سیل، آینده‌پژوهی، کلانشهر تبریز.

<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.

<sup>۲</sup> - گروه جغرافیا، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول).

<sup>۳</sup> - گروه جغرافیا، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.

## مقدمه

مخاطرات طبیعی، شرایط زندگی سکنه شهرهای جهان را بشدت تحت تأثیر قرار داده است. فضای شهری همواره جایگاه بروز فرصتها و چالش‌های فراوانی بوده است که مردم بایستی به صورت مداوم طی زندگی روزمره خود با ساختارهای فنی آن در تعامل باشند (Coaffee, 2010). این تعاملات بنیادین، سبب مطرح شدن موضوعات مهمی نظیر مدیریت آسیب‌پذیری و تاب‌آوری در فضاهای شهری می‌شود. امروزه تحلیل و افزایش تاب‌آوری نسبت به سوانح طبیعی به حوزه‌ای مهم و گسترده تبدیل شده است به طوری که در حال حاضر از حرکت همزمان و متقابل توسعه پایدار و مدیریت سوانح به سمت افزایش تاب‌آوری بحث می‌شود. از آنجایی که شهرها، سیستم‌های پیچیده و به هم وابسته‌ای هستند و نسبت به تهدیدات طبیعی و انسان ساخت بسیار آسیب‌پذیرند، بسیاری از سازمان‌های دولتی و غیردولتی، تقویت تاب‌آوری گروه‌ها و جوامع را در اولویت تحقیق، تهیه و توسعه برنامه‌ها، سیاست‌گذاری‌ها و همچنین از طریق اقدامات آموزشی به مدیریت سوانح پرداخته‌اند (Matyas & Pelling, 2014: 20).

در واقع هدف از این رویکرد کاهش آسیب‌پذیری شهرها و تقویت توانایی‌های شهروندان برای مقابله با خطرات ناشی از تهدیدات نظیر وقوع سوانح طبیعی است. متفکرانی چون «هالینگ» تاب‌آوری را چنین تعریف می‌کنند: «تاب‌آوری عبارت است از معیاری از توانایی سیستم برای جذب تغییرات، درحالی که هنوز مقاومت قبلی را دارد». همچنین آکادمی ملی آمریکا (۲۰۱۲) بر مباحث تاب‌آوری از دیدگاه «برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بحران»، «جوامع تاب‌آور و پایدار»، «معیشت تاب‌آور» و «ایجاد جوامع تاب‌آور» تأکید کرده و لزوم توجه دولت‌ها به این مقوله را ضروری دانسته است (Shim Heon & Kim, 2015).

برای سنجش تاب‌آوری شهر در برابر سوانح طبیعی در سطح جهان، شاخص‌های متنوعی تعریف و مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحقیقات کمی در مورد تعیین این شاخص‌ها بطور منظم در حال انجام است. از نظر روش‌شناسی این موضوع شامل شناسایی عواملی می‌شود که سطوح بالاتر تاب‌آوری را با مقایسه جوامعی که به نحو متفاوت به بحران‌های یکسان پاسخ داده‌اند، پیش‌بینی می‌شود (Mitchell & Harris, 2012).

معیارهایی که تا به امروز بیانگر این شاخص‌هاست عبارتند از: اعتماد یا اعتبار، رهبری، کارایی جمعی، سرمایه جمعی، انسجام و حس اجتماعی، مشارکت اجتماعی، معیارها، نگرش‌ها، ارزش‌های موجود و ارتباطات و اطلاعات. این شاخص‌ها از رویکردهای مختلفی نشأت می‌گیرند که این رویکردها را می‌توان به سه دسته اصلی شامل توانایی ایستادگی، مقاومت و واکنش مثبت به فشار یا تغییر تقسیم کرد (Delavar, 2017). بنابراین با توجه به مؤلفه‌های اصلی تاب‌آوری شامل فیزیکی، اجتماعی، سیاسی، اقتصادی، سازمانی و اکولوژیکی می‌توان به انتخاب شاخص‌های ارزیابی میزان تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی دست یافت. این شاخص‌ها نشانگر تحمل و تاب‌آور بودن یک شهر در برابر سوانح طبیعی خواهد بود. هر چه موقعیت شهر نزدیک به محل وقوع حوادث طبیعی بوده و جمعیت تحت سکونت آن بیشتر باشد، ارزیابی و تعیین میزان تاب‌آوری آن از پیچیدگی بیشتری برخوردار خواهد بود (Alizadeh & Hiedariyan, 2015).

بیش از ۸۸ درصد خسارات مربوط به سیلاب، در موقعیت‌هایی با پوشش گیاهی ضعیف و یا فاقد آن در حوزه آبریز رخ داده است؛ پوشش گیاهی باعث جذب آب باران به خاک و تغذیه آب زیرزمینی و جلوگیری از تشکیل سریع روان آب به عنوان عامل اولیه سیلاب می‌شود. بیش از ۹۹ درصد خسارات سیلاب، در رودخانه‌های فرعی و درجه سه اتفاق افتاده که به طور عمده آب دائمی و فصلی در آن‌ها جریان نداشته و فقط در زمان‌های بارندگی یا رگبار شدید، سیل در آن‌ها رخ می‌دهد. استان آذربایجان شرقی یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود که حدود ۴۰ درصد از سطح آن را کوهستان، ۳۸ درصد را تپه ماهورها و ۳۲ درصد آن را زمین‌های هموار هم‌چون دشت و جلگه‌های میان‌کوهی فرا گرفته است. کوهستانی بودن استان، کاهش پوشش گیاهی به علت خشکسالی‌های متعدد، از بین رفتن مراتع بالا دست حوضه‌های آبریز، حفظ نکردن مسیر عبور سیلاب در استان به طول بیش از ۲۵ هزار کیلومتر و احداث سازه‌های غیرفنی و غیراصولی بر روی رودخانه‌ها و مسیل‌ها از عمده عوامل، مستعد بودن سیل خیزی آذربایجان شرقی محسوب می‌شوند. هم‌چنین تغییر کاربری اراضی هم‌جوار رودخانه‌ها و مسیل‌ها و رگبارهای تند و نقطه‌ای که در برخی موارد فقط در چند دقیقه، بیش از ۵۰ درصد بارش یک شهرستان رخ می‌دهد نیز از جمله دلایل سیل خیز بودن استان است.

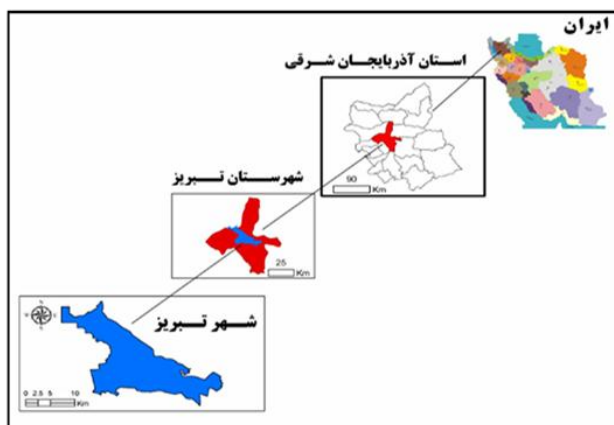
تمامی شهرهای آذربایجان شرقی و بخصوص شهر تبریز، در معرض خطرات سیل قرار گرفته است. طی ۳۵۰ سال اخیر و به خصوص در ۱۰۰ سال گذشته، سیل‌های متعددی، شهر تبریز را تهدید کرده است و تکرار چهار سیل پرخسارات در سال‌های ۱۳۰۸ (با ویرانی حدود ۲۰۰۰ خانه و کشته شدن ۳۷۵ نفر) تا سال ۱۳۱۰ از طرف رودخانه مهرانه رود تبریز، موجب دیواره سازی مهرانه رود برای رفع خطرات سیل شهر شد. با این وجود؛ متأسفانه آمادگی این شهر برای مقابله با این مخاطرات بسیار پایین است بگونه‌ای که به گفته رئیس کمیسیون معماری و شهرسازی شورای شهر تبریز در سال ۱۳۹۸، حدود ۸۰۰ هزار شهروند در بافت‌های ناکارآمد شهر تبریز در معرض مخاطرات بلایای طبیعی قرار دارند. از این رو پژوهش حاضر به دنبال آینده‌پژوهی تاب‌آوری شهری کلان شهر تبریز در برابر مخاطرات طبیعی می‌باشد. هدف تحقیق حاضر عبارت است از:

- ۱) تدوین سناریوهای احتمالی و شناسایی سناریوهای مطلوب در وضعیت آینده، جهت افزایش تاب‌آوری کلانشهر تبریز
  - ۲) تدوین برنامه‌ها و سیاست‌های منتهی به ارتقای تاب‌آوری شهری برای داشتن زندگی مطلوب‌تر در کلانشهر تبریز
- با توجه به اینکه مقاله حاضر ضمن بررسی وضعیت سیل در شهر تبریز، به ارائه سناریوهای احتمالی و نیز شناسایی سناریوی مطلوب پرداخته است، دارای نوآوری می‌باشد و پژوهشی که قبلاً به این مهم پرداخته باشد، یافت نشد.

## مواد و روش‌ها

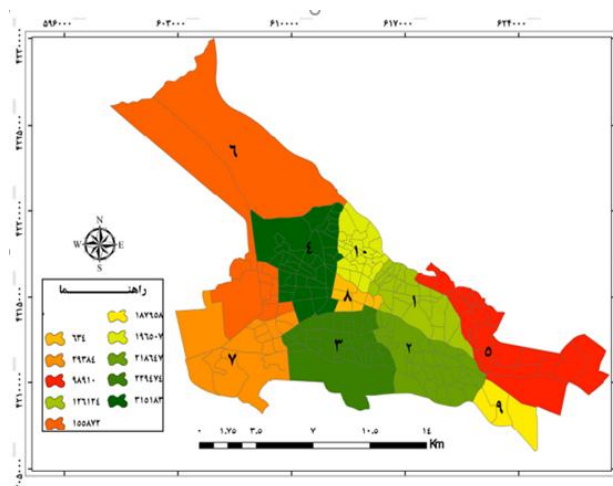
### منطقه مورد مطالعه

تبریز، مرکز آذربایجان شرقی و بزرگ‌ترین کلانشهر باختر و شمال باختری ایران (شکل ۱)، در طول تکوین تاریخ طبیعی خود همواره یکی از کانون‌های مخاطره‌آمیز ایران زمین در مقابل بلایای طبیعی به ویژه سیل و زمین‌لرزه بوده است (Samadzadeh, 2019: 96). این شهر با وسعتی حدود ۲۵ هزار هکتار در ارتفاع ۱۳۴۰ متری از آب‌های آزاد واقع شده است.



شکل ۱: جایگاه جغرافیایی آذربایجان شرقی در شمال باختری ایران و شهر تبریز در قسمت میانی آن

Figure 1: Geographical location of east Azerbaijan in northwestern Iran and the city of Tabriz in its middle part



شکل ۲: محدوده مناطق ده-گانه شهری براساس جمعیت (به هزار نفر)

Figure 2: Range of urban areas by population (per thousand)

عمده مسیلهای داخل شهری و بیرون شهری در نهایت وارد مهرانرود شده و با هدایت سیلاب از طریق همان رودخانه به آجی چای، سیلاب از بخش مهم شهر تبریز خارج می‌شد اما اکنون فقط قسمت عمده مهرانرود حفظ شده است. سرشاخه‌های این رود در داخل، میانه و خارج شهر دچار تحولات بسیاری شده است، به طوری که در تمامی این مسیرها در قسمت ورودی شهر به جای رعایت اصول فنی شامل بزرگ نمودن حد بستر رودخانه برای عبور سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۵۰ ساله و ۱۰۰ ساله، بستر را از حالت طبیعی خارج کرده و به خیابان، زیرگذر و کنارگذر تبدیل کرده‌اند. مهرانرود اکنون تحت تاثیر تغییرات، ظرفیت خود را از دست داده و شهر تبریز از سوی مسیلهای گفته شده در خطر آبی و بالقوه سیل قرار گرفته است. با وجود شناسایی موقعیت‌های احتمالی سیل تبریز، باید مطالعات و اجرای عملیات رفع خطرات به موقع انجام و چاره‌اندیشی شود در غیراین صورت، شهر تبریز حتما در زمان وقوع سیلاب، خسارت بسیار سنگین جانی و مالی را متحمل خواهد شد.

## روش تحقیق

این تحقیق از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت از نوع اکتشافی می‌باشد. هدف اصلی در تحقیقی اکتشافی شناخت وضعیتی است که درباره آن آگاهی‌های لازم وجود ندارد. به عبارت دیگر، در این نوع تحقیق، محقق به دنبال دستیابی به اطلاعاتی است که با کمک آن می‌تواند موضوع تحقیق خود را به خوبی بشناسد. تحقیق اکتشافی زمینه‌ای است برای تحقیقات گسترده‌تر. در این تحقیق هیچ فرضیه‌ای پیشنهاد نمی‌شود و مورد آزمون قرار نمی‌گیرد. بلکه هدف آن تنها به دست دادن بر آوردی از یک مسئله خاص است.

اجرای پژوهش حاضر شامل مراحل زیر است:

۱- شناسایی پیشران‌های کلیدی تاب‌آوری شهر تبریز: در این جهت از شاخص‌های شناسایی شده در مرحله دوم و نظرات کارشناسان و متخصصان استفاده شد.

۲- تدوین سناریوهای تاب‌آوری شهر تبریز و تعیین سناریو مطلوب: در این جهت از روی آینده‌پژوهی استفاده شد.

۳- تدوین راهبردهای اجرایی برای سناریوهای مطلوب: در این از مدل SOAR و ماتریس خانه کیفیت استفاده شد. آینده‌پژوهی یکی از مراحل برنامه ریزی به شیوه جدید است که در این پژوهش ضرورتاً باید بعد از شناخت وضع موجود و تعیین مسائل کلیدی تاب‌آوری کلانشهری به آن پرداخته شود. در این مرحله با بدست آمدن عوامل تاثیرگذار بر تاب‌آوری کلان شهر تبریز که در مراحل قبل شناسایی شدند و با بهره‌گیری از تمامی نتایج حاصل شده از پژوهش، با استفاده از نرم افزار Scenario wizard اقدام به سناریوسازی شده است.

با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مطالعه وضع موجود و نظرسنجی از کارشناسان (تعداد ۱۰ کارشناس به روش گلوله برفی) (نمونه‌گیری تا زمان رسیدن به اشباع نظری که در ۱۰ نفر محقق شد) و با استفاده از نرم افزار Scenario wizard، سناریوهای تاب‌آوری کلان شهر تبریز (سناریوهای با احتمال قوی تا سناریوهای با احتمال ضعیف) تدوین شده است. در ادامه این مرحله از میان انواع سناریوها، سناریوهای مناسب که متناسب با آینده مطلوب طراحی شده باشند، انتخاب شده است. شناخت مسائل کلیدی، شناخت وضع موجود و شناخت آینده‌های ممکن، محتمل و باورکردنی اضلاع مثلثی هستند که ترسیم چشم‌انداز یا آینده مطلوب را برای برنامه ریزی ممکن می‌سازند.

در نهایت برای تدوین راهبردهای بهبود تاب‌آوری کلانشهر تبریز در خصوص سناریوهای مطلوب از نظرات ۱۰ کارشناس (به روش گلوله برفی) بهره گرفته شده است. در این خصوص از مدل SOAR جهت ارائه راهبردهای اجرایی سناریوی مطلوب و مدل ماتریس خانه کیفیت (HOQ) جهت انتخاب راهبردهای برتر استفاده شده است. جهت اعتباریابی یافته‌های پژوهش، یافته‌ها پس از استخراج در اختیار نمونه‌های انتخاب شده قرار گرفتند تا صحت تحلیل را تایید نمایند. همچنین داده‌های حاصل از پژوهش توسط پژوهشگر دیگری مورد تحلیل قرار گرفت و نتایج و میزان مشابهت آن‌ها بررسی شد.

## یافته‌های تحقیق

هدف اصلی این پژوهش آینده‌پژوهی تاب‌آوری کلانشهر تبریز در برابر آشوب سیل می‌باشد. بخش سناریونویسی متشکل از قسمت‌ها یا مراحل است که به ترتیب ارائه شده‌اند.

## ۱- وضعیت‌های احتمالی عوامل کلیدی

در ارتباط با تاب‌آوری کلانشهر تبریز در برابر آشوب سیل؛ ۷ عامل کلیدی شناسایی شدند (جدول ۱). وضعیت‌های مختلفی پیش روی این عوامل کلیدی قابل تصور هستند که این وضعیت‌های احتمالی در برنامه ریزی و سیاست‌گذاری مرتبط با تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل، از اهمیت زیادی برخوردارند. برای تحلیل دقیق‌تر شرایط پیش رو از صاحب نظران و متخصصان موضوع در این زمینه نظرخواهی شد (۱۰ نفر به صورت گلوله برفی) تا به کیفیت و دقت کار افزوده شود. براساس وضعیت‌های احتمالی آینده پیش روی تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل مجموعاً ۲۱ وضعیت مختلف برای ۷ عامل کلیدی طراحی شده است که این وضعیت‌ها طیفی از شرایط مطلوب تا نامطلوب را شامل می‌شود، یعنی تعداد ۳ وضعیت احتمالی برای هر عامل. فرض‌های مطرح شده تصاویری از آینده‌های ممکن و باورپذیر پیش روی تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل را متصور می‌شوند که فرض خوشبینانه بیانگر بهترین حالت، فرض بینابین بیانگر ادامه روند فعلی و وضع موجود و در نهایت فرض بدبینانه بیانگر نامناسب‌ترین وضعیت پیش روی عوامل کلیدی موثر در تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل می‌باشد.

جدول ۱- عوامل کلیدی و وضعیت‌های احتمالی مربوط به تاب‌آوری کلان شهر تبریز

Table 1-Key factors and possible situations related to resilience in Tabriz metropolis

علامت	عدم قطعیت‌ها	عوامل کلیدی
A1	افزایش آگاهی و دانش	آگاهی و دانش درباره سیل
A2	ادامه روند وضعیت موجود آگاهی و دانش	
A3	کاهش آگاهی و دانش	
G1	رعایت حریم رودخانه‌ها	فاصله از حریم رودخانه‌ها
G2	ادامه روند وضعیت موجود حریم رودخانه‌ها	
G3	وخیم تر شدن وضعیت حریم رودخانه‌ها	
E1	بهبود وضعیت بستر نهادی	بستر نهادی در برابر سیل
E2	ادامه روند وضعیت موجود بستر نهادی	
E3	وخیم تر شدن وضعیت بستر نهادی	
B1	افزایش درآمد	درآمد
B2	ادامه روند وضعیت موجود درآمد	
B3	کاهش درآمد	
H1	افزایش فاصله مناسب از کاربری‌های خطرزا	کاربری‌های خطرزا در برابر سیل
H2	ادامه روند وضعیت موجود فاصله از کاربری‌های خطرزا	
H3	کاهش فاصله از کاربری‌های خطرزا	
C1	بهبود وضعیت دسترسی به مراکز درمانی و امدادرسان	دسترسی به مراکز درمانی و امدادرسان
C2	ادامه روند وضعیت موجود دسترسی به مراکز درمانی و امدادرسان	
C3	وخیم تر شدن وضعیت دسترسی نامناسب به مراکز درمانی و امدادرسان	
F1	بهبود وضعیت سرمایه اجتماعی	سرمایه اجتماعی
F2	ادامه روند وضعیت موجود سرمایه اجتماعی	
F3	وخیم تر شدن وضعیت سرمایه اجتماعی	

## ۱-۱- وضعیت آگاهی و دانش

یکی از معضلاتی که همواره زندگی جوامع انسانی را مورد تهدید قرار داده، وقوع بلایا و سوانحی است که در صورت ناآگاهی و نداشتن آمادگی، صدمات جبران ناپذیری به ابعاد مختلف زندگی انسان‌ها اعم از حوزه‌های سکونت، اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی، روانشناختی و... وارد می‌کند. به عبارتی دیگر، ضعف آگاهی‌های اجتماعی، عدم آگاهی از قوانین ساخت و ساز و عدم رعایت حریم رودخانه‌ها و مناطق سیل‌گیر و سیل‌خیز می‌تواند منجر به بروز بلایا و آسیب‌پذیر شدن مردم و منطقه در برابر آشوب سیل شود و آنها در نتیجه، دارای برگشت‌پذیری کمتری در برابر هرگونه شوک وارده باشند (Taqavi et al, 2021: 149) از همین رو، برای آمادگی جامعه در برابر آشوب سیل، آگاهی از تهدیدات مداوم بلایای طبیعی یا فاجعه‌های انسان ساخت مورد نیاز است (Marana et al, 2019:8). با توجه به اهمیت پیشگیری از خسارت‌های ناشی از آشوب سیل و با در نظر گرفتن این نکته که یکی از راه‌های کاهش آسیب (افزایش تاب‌آوری) و خسارت ناشی از آشوب سیل در جامعه، برنامه ریزی و مداخله آموزشی و ارتقاء سلامت در این خصوص، مستلزم آگاهی و دانش از عوامل آسیب‌پذیری و تاب‌آوری جامعه است. در این پژوهش منظور از دانش و آگاهی یعنی آگاهی از حقوق کلان شهروندی، ضوابط، خسارات مالی و جانی آشوب سیل؛ آگاهی از وجود سازمان‌های امداد رسان؛ آگاهی از ریسک و خطر و علل بروز آشوب سیل، می‌باشد. جمعیت با سطح دانش و آگاهی بیشتر در برابر آشوب سیل کمتر آسیب می‌بینند، در واقع هرچه میزان آگاهی و دانش بیشتر باشد، میزان تاب‌آوری بیشتر خواهد بود (جدول ۲).

جدول ۲- وضعیت‌های احتمالی آگاهی و دانش در تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل

Table 2- Possible situations of awareness and knowledge in the resilience of Tabriz metropolis in the face of flood turmoil

وضعیت	درجه مطلوبیت	نام وضعیت	ویژگی وضعیت
سبز	کاملاً مطلوب	افزایش آگاهی و دانش درباره سیل	شهروندان کاملاً مطلع و آگاه
زرد	بینابین	ادامه روند وضعیت موجود آگاهی و دانش	آگاهی نسبی از حقوق کلان شهروندی و ضوابط، آگاهی نسبی از ریسک و خطر و علل بروز آشوب سیل؛ آگاهی نسبی از مناطق امن و ناامن (مناطق حادثه خیز)؛ آگاهی نسبی از مخاطرات محدوده؛ کاهش نسبی خسارات مالی و جانی؛ ترویج نسبی اقدامات پیشگیرانه موثر برای به حداقل رساندن آسیب‌پذیری؛ آمادگی نسبی در برابر حوادث، آگاهی نسبی فاصله از کاربری‌های خطرزا؛ آگاهی نسبی از نحوه دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسان و مهارت نسبی در کاهش خسارات، ادامه ساخت و سازها به روال فعلی
قرمز	بحرانی	کاهش آگاهی و دانش	شهروندان نامطلع

## ۲-۱- فاصله از حریم رودخانه‌ها

به تناسب افزایش فاصله از حریم رودخانه‌ها میزان تاب‌آوری کمتر می‌باشد (Samadzadeh and Rastbar, 2019:263). همچنین نوع مصالح به کار رفته در ساخت و سازها از عوامل موثر در میزان تحمل ساختمان می‌باشد و این عامل با کیفیت ابنیه در ارتباط است؛ هرچه مصالح به کار گرفته شده در بافت دارای استحکام بیشتر باشد و هر چه فاصله از حریم رودخانه‌ها بیشتر باشد، آسیب‌پذیری نیز کمتر می‌باشد و برعکس این قضیه نیز صادق است (Khajavi et al., 2021:152).

## ۳-۱- دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی

یکی دیگر از مواردی که در بحث تاب‌آوری مطرح است، بحث دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی می‌باشد. به صورتی که جوامعی که از برابری‌های آموزشی بیشتری برخوردارند و درصد بالایی از ساکنان به تلفن، خودرو، بیمه، امکانات بهداشتی دسترسی دارند، به احتمال زیاد از سروح بالاتری از تاب‌آوری در برابر بلایا برخوردارند (Cutter, 2010:9). در واقع موقعیت کاربری‌ها و شرایط دسترسی‌های موجود در کلان شهرها، از جمله فاکتورهای موثر بر افزایش یا کاهش میزان تاب‌آوری کلان شهرها در برابر سوانح می‌باشند.

در این پژوهش منظور از دسترسی به مراکز امداد رسانی، دسترسی به مراکز بهداشتی- درمانی، هلال احمر، آتش نشانی و شیرهای آتش نشانی، مراکز انتظامی و معابر اصلی (برای دسترسی راحت به مراکز مذکور) می‌باشد. هرچه مراکز درمانی و امداد رسانی در کلان شهر بیشتر باشد، احتمال برگشت‌پذیری و تاب‌آوری بیشتر خواهد بود. در واقع هرچه میزان دسترسی به مراکز امداد رسانی در کلان شهر بیشتر باشد، کلان شهر تاب آور خواهد بود (جدول ۳).

جدول ۳- وضعیت‌های احتمالی دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی در تاب‌آوری کلان شهر تبریز

Table 3- Possible situations of access to medical and relief centers in the resilience of Tabriz metropolis

وضعیت	درجه مطلوبیت	نام وضعیت	ویژگی وضعیت
سبز	کاملاً مطلوب	بهبود وضعیت دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی	کاهش خسارات مالی و جانی، کاهش هزینه اضافی برای دولت، رضایت از کیفیت زندگی و عملکرد نهادها
زرد	بینابین	ادامه روند وضعیت موجود دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی	خسارات نسبی مالی و جانی، هزینه اضافی برای دولت، رضایت نسبی از کیفیت زندگی و عملکرد نهادها
قرمز	بحرانی	وخیم تر شدن وضعیت دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی	افزایش خسارات مالی و جانی، افزایش هزینه اضافی برای دولت، عدم رضایت از کیفیت زندگی و عملکرد نهادها

## ۴-۱- وضعیت سرمایه اجتماعی

مفهوم سرمایه اجتماعی ریشه در روابط اجتماعی نوع بشر دارد و به نوعی محصول جامعه بشری است. امروزه این امر مسلم است که رسیدن به جامعه‌ای با تاب‌آوری بالا، معیارهای جهان شمول و بستر مناسب برای زیست اجتماعی



تنها با وجود عامل سرمایه اجتماعی تحقق می‌یابد. در مباحث سرمایه اجتماعی مواردی از قبیل مشارکت و همکاری محلی بین افراد و گروه‌ها، اعتماد محلی، توسعه شبکه‌ای و میزان پذیرش تصمیمات نهادی در جامعه اهمیت زیادی دارند که می‌توانند، در توانایی جوامع جهت مدیریت مخاطره و کاهش ریسک مفید واقع شوند (Delavar, 2017: 80). یکی از روش‌های نوین کاهش ریسک مخاطرات چه قبل و چه بعد از وقوع مخاطره مشارکت و همکاری میان افراد با استفاده از سرمایه اجتماعی است که منجر به بهبود اوضاع جامعه می‌شود. این همکاری‌ها از رفتاری، روانی و عاطفی تا اقدامات ملموس را شامل می‌شود. در واقع سرمایه اجتماعی به مفهوم مشارکت و حس مسئولیت افراد جامعه به عنوان عاملی کلیدی در کاهش مخاطرات طبیعی مطرح می‌شود (Zarkani et al., 2019: 45).

در این پژوهش منظور از سرمایه اجتماعی یعنی پیوند همسایگی؛ میزان اعتماد (امنیت)؛ وجود شبکه‌های اجتماعی و سازمان‌های مردم‌نهاد مرتبط با مدیریت بحران و امداد رسانی در کلان‌شهر و مشارکت و همکاری و همکاری افراد باهم می‌باشد. هرچه میزان سرمایه اجتماعی در کلان‌شهر بیشتر باشد (جدول ۴)، می‌توان گفت که کلان‌شهر در زمان بروز بحران تاب‌آور خواهد بود.

جدول ۴- وضعیت‌های احتمالی عامل سرمایه اجتماعی در تاب‌آوری کلان‌شهر تبریز

Table 4- Possible situations of social capital in the resilience of Tabriz metropolis

وضعیت	درجه مطلوبیت	نام وضعیت	ویژگی وضعیت
سبز	کاملاً مطلوب	افزایش سرمایه اجتماعی	داشتن آگاهی، داشتن امنیت، داشتن اعتماد، داشتن انسجام، داشتن مشارکت و همکاری، افزایش توان جبران خسارات، کاهش شدت خسارات
زرد	بینابین	ادامه روند وضعیت موجود سرمایه اجتماعی	آگاهی نسبی، امنیت نسبی، اعتماد نسبی، انسجام نسبی، مشارکت و همکاری نسبی، توان نسبی جبران خسارات، شدت نسبی خسارات، برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی سرمایه اجتماعی، فرهنگ سازی آموزش سرمایه اجتماعی در منازل و مدارس
قرمز	بحرانی	کاهش سرمایه اجتماعی	ضعف در آگاهی، ضعف در امنیت، ضعف در اعتماد، ضعف در انسجام، ضعف در مشارکت و همکاری، کاهش توان جبران خسارات، افزایش شدت خسارات

۲- ارزیابی ماتریس سناریوی با استفاده از نرم افزار Scenario Wizard

\*زمانی که ساختار تحلیل تعریف شده باشد و داده‌های موردنیاز وارد نرم افزار شده باشد، ارزیابی سناریو آغاز می‌شود.

۱-۲- تشخیص ناسازگاری‌های سناریو (تحلیل بالانس اثر)

در این مرحله به بررسی ناسازگاری بین سناریوها پرداخته می‌شود هر سناریوی انتخابی شامل تناقض‌هایی در رابطه با قواعد شبکه می‌باشد، می‌توان با محاسبه توازن آثار یک سناریو (بالانس‌های اثر) تناقض‌ها را آشکار ساخت. محاسبه

سیستم شبکه به ارزیابی نقش عوامل کلیدی در سیستم تحلیل می‌پردازد که در واقع گام آماده سازی است. برای ساخت سناریوی حقیقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نحوه محاسبه سیستم شبکه از محاسبه جمع همه اثرات اعمال شده روی یک عامل کلیدی می‌باشد.

عوامل کلیدی دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی، کاربری‌های خطرزا را می‌توان به عنوان عوامل کلیدی واسه در نظر گرفت، که از راهنمای عوامل کلیدی دیگر بدون تاثیرگذاری خیلی زیاد روی حوادث در سیستم تبعیت می‌کنند. عوامل کلیدی آگاهی و دانش، درآمد، بستر نهادی، سرمایه اجتماعی و وضعیت ابنیه اثر قوی را روی سیستم اعمال می‌کنند و در همان زمان اثر قوی را حس می‌کنند. این نوع از عوامل کلیدی معمولاً به پیدایش بالقوه رفتار پیچیده سیستم متصل می‌شود. باین حال، شبکه که فقط روی تحلیل از اثرات مستقیم استوار می‌باشد، یک روش ارزیابی ساده می‌باشد. یک درک عمیق تر از نقش عوامل کلیدی در سیستم انعکاس دهنده اثرات مستقیم به همراه اثرات غیرمستقیم می‌باشد.

#### ۲-۲- تهیه گزارش سناریو

یکی از خروجی‌های نرم افزار سناریو ویزارد، مربوط به گزارش سناریو می‌باشد. این گزارش در بردارنده اطلاعات پروژه، مرور کلی سناریو، سازگاری عوامل کلیدی و قاطع بودن فرض‌های سناریو و در نهایت پابرجایی سناریو می‌باشد.

#### ۲-۳- درآمد و در تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل

در مورد عامل کلیدی درآمد فرض افزایش درآمد انتخاب شده است. این فرض نمره تاثیر ۸+ را نشان می‌دهد و توسط ۶ مورد از عناصر پشتیبانی می‌شود.

#### ۲-۴- دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی

در مورد عامل کلیدی دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی فرض بهبود وضعیت دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی انتخاب شده است. این فرض نمره تاثیر ۱۱+ را نشان می‌دهد و توسط عناصر زیر پشتیبانی می‌شود.

#### ۲-۵- بستر نهادی در تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل

در مورد عامل کلیدی وضعیت بستر نهادی فرض بهبود وضعیت بستر نهادی انتخاب شده است. این فرض نمره تاثیر ۱۰+ را نشان می‌دهد.

#### ۲-۶- سرمایه اجتماعی در تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل

در مورد عامل کلیدی سرمایه اجتماعی فرض بهبود وضعیت سرمایه اجتماعی انتخاب شده است. این فرض نمره تاثیر ۱۱+ را نشان می‌دهد و توسط ۶ سناریو پشتیبانی می‌شود.

۲-۷- فاصله از حریم رودخانه‌ها در تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل در مورد عامل کلیدی فاصله از حریم رودخانه‌ها فرض افزایش فاصله از حریم رودخانه‌ها انتخاب شده است. این فرض نمره تاثیر ۱۳+ را نشان می‌دهد و توسط ۶ سناریو پشتیبانی می‌شود.

۲-۸- کاربری‌های خطرزا در تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل در مورد عامل کلیدی کاربری‌های خطرزا فرض افزایش فاصله از کاربری‌های خطرزا انتخاب شده است. این فرض نمره تاثیر ۱۴+ را نشان می‌دهد که توسط ۶ سناریو پشتیبانی می‌شود.

بخش آخر گزارش (نتیجه‌گیری) به صورت خلاصه، سناریو را مورد بحث قرار می‌دهد و یک ارزیابی کوتاهی از سناریو را ارائه می‌دهد که گزارش مربوط به پابرجایی (ثبات و استحکام) سناریوها را دربر دارد. به طور کلی فرض‌های سناریوها از لحاظ پابرجایی و استحکام متفاوت هستند. مقدار پابرجایی به عنوان ارزش سازگاری هم می‌تواند بیان شود (جدول ۵).

جدول ۵- مقدار پابرجایی عامل‌های کلیدی

Table 5- Resistance values of key factors

عامل کلیدی	فرض	سازگاری
کاربری‌های خطرزا	افزایش فاصله از کاربری‌های خطرزا	۱۴
فاصله از حریم رودخانه‌ها	افزایش فاصله از حریم رودخانه‌ها	۱۲
دسترسی به مراکز درمان و امداد رسانی	بهبود وضعیت دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی	۱۰
بستر نهادی	بهبود وضعیت بستر نهادی	۹
آگاهی و دانش	افزایش آگاهی و دانش	۸
سرمایه اجتماعی	بهبود وضعیت سرمایه اجتماعی	۸
درآمد	افزایش درآمد	۶

### ۳- تحلیل سناریوهای قوی (محتمل)

بعد از فراهم شدن داده‌های مورد نیاز، ارزیابی ماتریس اثر متقابل را می‌توان شروع کرد. نرم افزار ویزارد با محاسبات پیچیده و بسیار سنگین، امکان استخراج سناریوهای باورکردنی را برای محقق فراهم می‌سازد. در این قسمت به تجزیه و تحلیل هریک از سناریوها پرداخته تا در نهایت با توجه به این سناریوها به برنامه ریزی برپایه سناریو برای آینده پرداخته شود. براساس منطق تحلیل‌گرانه نرم افزار سناریو ویزارد، سناریوهای باورکردنی شامل سناریوهای قوی می‌باشند که در این مرحله به صورت مجزا، ۵ سناریو قوی مورد (جدول ۶) بازنگری قرار می‌گیرند تا در مراحل آتی به راهبردنویسی برای این سناریوها اقدام گردد.

جدول ۶- وضعیت عوامل کلیدی به تفکیک سناریوها

Table 6- Status of key factors by scenarios

عوامل کلیدی	گاهی و دانش در باره سبیل	درآمد	امداد رسانی به مراکز درمانی و دسترس	بستر نهادی	سرمایه اجتماعی	فاصله از حریم رودخانه‌ها	کاربری‌های خطرناک
S1	بینابین	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب
S2	بینابین	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب	بینابین	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب
S3	بینابین	بینابین	بینابین	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب	کاملاً مطلوب
S4	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی
S5	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی	بحرانی
جمع بندی	کاملاً مطلوب - ۰ بینابین -۳ بحرانی -۲	کاملاً مطلوب - ۲ بینابین -۳ بحرانی -۲	کاملاً مطلوب ۲- بینابین ۱- بحرانی ۲-	کاملاً مطلوب ۳- بینابین ۰- بحرانی ۲-	کاملاً مطلوب ۲- بینابین ۱- بحرانی ۲-	کاملاً مطلوب ۳- بینابین ۰- بحرانی ۲-	کاملاً مطلوب ۳- بینابین ۰- بحرانی ۲-

از مجموع ۳۵ وضعیت موجود سناریوهای قوی، تعداد ۱۵ وضعیت کاملاً مطلوب (۴۳ درصد) تعداد ۶ وضعیت بینابین (۱۷ درصد) و تعداد ۱۴ وضعیت بحرانی (۴۰ درصد) را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که نزدیک به نیمی از حالت‌های موجود در صفحه سناریوهای قوی، در وضعیت کاملاً مطلوب قرار دارند و پس از آن وضعیت بحرانی و در نهایت وضعیت نسبتاً مطلوب یا بینابین کمترین میزان را به خود اختصاص داده است.

جدول ۷- ضرایب، تعداد و درصد هر یک از وضعیت‌ها به تفکیک هر سناریو براساس طیف ۳ گانه

Table 7- Coefficients, number and percentage of each situation separately for each scenario based on the triple spectrum

S	تعداد وضعیت‌ها به تفکیک			ضرایب وضعیت‌ها			وضعیت‌های کاملاً مطلوب			وضعیت‌های بحرانی		
	کاملاً مطلوب	بینابین	بحرانی	۲	۱	۰	درصد کاملاً مطلوب	میزان کاملاً مطلوب	امتیاز ایده آل	میزان شرایط بحرانی	حد اکثر شرایط بحرانی	درصد شرایط بحرانی
S1	۶	۱	۰	۱۸	۱	۰	۸۶٪	۱۸	۲۱	۰	-۲۱	۰
S3	۵	۲	۰	۱۰	۲	۰	۷۱٪	۱۵	۲۱	۰	-۲۱	۰
S2	۴	۳	۰	۱۲	۳	۰	۵۷٪	۱۲	۲۱	۰	-۲۱	۰
S4	۰	۰	۷	۰	۰	-۲۱	۰	۰	۲۱	-۲۱	-۲۱	۱۰۰٪
S5	۰	۰	۷	۰	۰	-۲۱	۰	۰	۲۱	-۲۱	-۲۱	۱۰۰٪

براساس نتایج جدول (۷) سناریوی اول با کسب ۶ فرض کاملاً مطلوب (۸۶ درصد) و ۱ فرض بینابین (۵ درصد) مطلوب‌ترین وضعیت و سناریوهای ۴ و ۵ و ۷ فرض بحرانی (۱۰۰ درصد) نامطلوب‌ترین وضعیت را در تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل متصور می‌شوند.

#### ۴- گروه بندی و تحلیل سناریوهای قوی

سناریوهای قوی را با توجه به قرابت آن‌ها می‌توان به دو گروه تقسیم کرد که هر یک از گروه‌ها شامل سناریوهایی با ویژگی‌های تقریباً مشترک بااندکی تفاوت در یک یا چند فرض از میان ۷ عامل کلیدی هستند. این گروه‌ها به شرح ذیل می‌باشند:

- گروه اول: سناریوهای مطلوب (شامل سناریوهای ۱، ۲، ۳)؛

- گروه دوم: سناریوهای بحران (شامل سناریوهای ۴ و ۵).

از میان ۵ سناریو قوی، ۳ سناریو در حالت کاملاً مطلوب قرار دارند که شرایط امیدوارکننده‌ای را برای تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل نشان می‌دهد و ۲ سناریو در حالت بحرانی قرار دارند که لزوم برنامه ریزی جهت مقابله و کاهش تاثیرات منفی ناشی از وقوع آن‌ها، دیده می‌شود.

گروه اول: سناریوهای مطلوب شامل سناریوهای ۱، ۲ و ۳ (قوی‌ترین و بهترین حالت محتمل)

این گروه شامل سناریوهای اول تا سوم قوی می‌باشد و محتمل‌ترین سناریوهای در جهت تعیین تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل را تشکیل می‌دهد. در این گروه، حالت بحرانی وجود ندارد و عامل متمایزکننده آن‌ها تفاوت در میزان فرض‌های کاملاً مطلوب و مطلوب (بینابین) است. همچنین به لحاظ فراوانی، تمامی وضعیت‌های کاملاً مطلوب و مطلوب را به خود اختصاص داده‌اند؛ به طوری که ۱۰۰ درصد فرض‌های کاملاً مطلوب و مطلوب را دربر دارند.

#### جدول ۸- ویژگی سناریوهای گروه اول

Table 8- Characteristics of the first group scenarios

گروه	سناریوها	میانگین	امتیاز	کد سناریوها و وجه تمایز آنها
گروه اول (کاملاً مطلوب)	سناریوی اول	۲/۷۱	۱۹	A2, B1, C1, E1, F1, G1, H1
				ادامه روند وضعیت موجود آگاهی و دانش درباره سیل
	سناریوی دوم	۲/۴۳	۱۷	A2, B1, C1, E1, F2, G1, H1
				ادامه روند وضعیت موجود آگاهی و دانش، ادامه روند وضعیت سرمایه اجتماعی
	سناریوی سوم	۲/۱۴	۱۵	A2, B2, C2, E1, F1, G1, H1
				ادامه روند وضعیت موجود آگاهی و دانش، ادامه روند وضعیت موجود درآمد، ادامه روند وضعیت موجود دسترسی به مراکز درمان و امدادسان

همان طور که در جدول شماره (۸) مشخص است در این گروه به ترتیب سناریوی اول با میانگین (۲/۷۱) و کسب امتیاز ۱۹، رتبه اول و سناریوی سوم با میانگین (۲/۱۴) و کسب امتیاز ۱۵، رتبه آخر را کسب نمودند. در سناریوهای این گروه ۳ عامل کلیدی در وضعیت کاملاً مطلوب هستند که شامل وضعیت‌های (بهبود وضعیت بستر نهادی، افزایش فاصله از حریم رودخانه‌ها و افزایش فاصله از کاربری‌های خطرزا) و ۴ عامل کلیدی در وضعیت مطلوب قرار دارند که شامل وضعیت‌های (ادامه روند وضعیت موجود آگاهی و دانش درباره سیل، ادامه روند وضعیت موجود درآمد، ادامه روند وضعیت موجود دسترسی به مراکز درمان و امداد رسانی) می‌باشند.

گروه دوم: سناریوهای بحران شامل سناریوهای ۴ و ۵ (بدترین حالت‌های محتمل)

گروه دوم، گروه سناریوهای چهارم و پنجم قوی می‌باشد (جدول ۹) که عوامل متمایزکننده‌ای بین آن‌ها وجود ندارد. این گروه به لحاظ فراوانی، تمامی وضعیت‌های بحرانی در بین سناریوها را به خود اختصاص داده است. به طوری که فاقد فرض کاملاً مطلوب و مطلوب است و دارای ۱۰۰ درصد فرض بحرانی می‌باشد. در نتیجه این گروه نشان دهنده‌ی وضعیت بحرانی تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل است. که در صورت وقوع سیل، این کلان شهر را با چالش‌های عدیده‌ای مواجه خواهد ساخت. در این گروه سناریو از امتیاز برابر برخوردار هستند و وضعیت مشابهی دارند.

جدول ۹- ویژگی سناریوهای گروه دوم

Table 9- Characteristics of the second group scenarios

گروه	سناریوها	میانگین	امتیاز	کد سناریوها و وجه تمایز آنها
گروه دو (بحران)	سناریوی چهارم	-۳	-۲۱	A3, B3, C3, E3, F3, G3, H3
	سناریوی پنجم	-۳	-۲۱	A3, B3, C3, E3, F3, G3, H3
گروه	سناریوها	میانگین	امتیاز	کد سناریوها و وجه تمایز آنها
گروه دو (بحران)	سناریوی چهارم	-۳	-۲۱	A3, B3, C3, E3, F3, G3, H3
	سناریوی پنجم	-۳	-۲۱	A3, B3, C3, E3, F3, G3, H3

۵- تدوین راهبردهای اجرایی برای سناریوهای مطلوب

هدف دیگر این پژوهش تدوین راهبردهای اجرایی برای سناریوهای مطلوب می‌باشد که در این خصوص از ۱۰ نفر از کارشناسان به روش گلوله برفی نظرخواهی شده و در نهایت اجماع نظر آنها در قالب سناریوهای چهارم و پنجم ارائه شده است (جدول ۹). از آنجایی که تاب‌آوری شاخص‌های مرحله سناریونویسی (۷ شاخص اصلی) در حالت نسبی قرار داشتند، لذا نقاط قوت‌ها کلان شهر در خصوص این شاخص‌ها به صورت نسبی مطرح شده است.

جدول ۱۰- ماتریس SWOT سناریوهای قوی تاب‌آوری کلان شهر تبریز

Table 10- SWOT matrix Strong resilience scenarios of Tabriz metropolis

	قوت‌ها (Strengths)	فرصت‌ها (Opportunities)
STRATEGIC INQUIRY	<p>- آگاهی نسبی از حقوق کلان شهروندی</p> <p>- آگاهی نسبی از ضوابط</p> <p>- آگاهی نسبی از وجود سازمان‌های امداد رسان</p> <p>- آگاهی نسبی از ریسک و خطر و علل بروز سیل</p> <p>- آگاهی نسبی از مخاطرات محدوده رودخانه‌ها</p> <p>- کاهش نسبی از میزان خسارات مالی و جانی احتمالی در سیل</p> <p>- ترویج نسبی اقدامات پیشگیرانه موثر برای به حداقل رساندن آسیب‌پذیری در برابر سیل</p> <p>- آمادگی و مهارت نسبی در برابر سیل</p> <p>- آگاهی نسبی فاصله از کاربری‌های خطرنا</p> <p>- آگاهی نسبی از میزان مقاومت‌ها بناها</p> <p>- فاصله بناها از حریم رودخانه‌ها</p> <p>- وجود بناهای نسبتاً مقاوم (از نظر سازه و نما)</p> <p>- داشتن فاصله نسبتاً مناسب از کاربری‌های خطرنا</p> <p>- تمایل بالای کلان شهروندان برای زندگی در مکان‌های امن در برابر سیل</p> <p>- وجود مراکز درمانی و امداد رسان به میزان کافی و دسترسی مناسب به آنها</p> <p>- وجود مشارکت بالای مردم</p> <p>- وجود امنیت، روابط همسایگی و اعتماد نسبی</p>	<p>- وجود برنامه‌های آموزشی رسانه‌ای</p> <p>- وجود تجربه‌های مفید (کلان شهرهای آسیب دیده در برابر سیل)</p> <p>- وجود بیمه حوادث</p> <p>- وجود قوانین ساخت و ساز (مقاوم سازی بناها، رعایت حریم کلان شهری)</p> <p>- ارائه تسهیلات تشویقی (نوسازی بافت فرسوده/مقاوم سازی</p> <p>- وجود سازمان‌های مرتبط با مدیریت بحران یا سوانح</p> <p>- وجود گروه‌های داوطلب و امدادگر</p> <p>- تمایل کلان شهروندان به کسب دانش و آگاهی درباره سیل (افزایش سطح سواد)</p> <p>- تلاش دولت برای افزایش کیفیت زندگی (اشتغالزایی، درآمدزایی، ایجاد امنیت)</p> <p>- وجود سرمایه گذاری داخلی و خارجی</p> <p>- وجود سازمان‌های بین المللی در ارتباط با کاهش آسیب‌پذیری و حمایت آنها از برنامه‌های افزایش تاب‌آوری در برابر سیل</p>
	<p>آرمانها (Aspirations)</p> <p>- تبریز کلان شهری با دانش و آگاهی مثال زدنی در خصوص تاب‌آوری کلان شهری در برابر آشوب سیل</p> <p>- تبریز کلان شهری با فاصله مناسب ابنیه از حریم رودخانه‌ها</p> <p>- تبریز کلان شهری با درآمد بالا</p> <p>- تبریز کلان شهری امن با کمترین مخاطرات انسانی در هنگام وقوع سیل</p> <p>- تبریز کلان شهر سرمایه‌های اجتماعی</p> <p>- تبریز کلان شهری برای همه توزیع عادلانه خدمات و مراکز امداد رسانی</p> <p>- تبریز الگوی تاب‌آوری کلان شهری ایران در برابر آشوب سیل</p>	<p>نتایج (Results)</p> <p>- افزایش دانش و آگاهی درباره سیل (آگاهی از حقوق کلان شهروندی، قوانین و ضوابط، ریسک و خطر، خسارات احتمالی و...) کلان شهروندان از حد متوسط به حد خوب (به ویژه در حاشیه کلان شهر)</p> <p>- بهبود وضعیت بستر نهادی (وجود قوانین و مقررات، وجود سازمان‌های مرتبط با مدیریت بحران و...) از سطح متوسط به سطح خوب</p> <p>- افزایش فاصله از حریم رودخانه‌ها از حد متوسط به حد خوب</p> <p>- افزایش درآمد کلان شهروندان از حد ضعیف به حد خوب (کاهش نرخ بیکاری از ۱۵ درصد به کمتر از ۱۰ درصد)</p> <p>- افزایش فاصله (# مناسب) از کاربری‌های خطرنا (جایگاه سوخت، ایستگاه برق فشار قوی و...)</p> <p>- بهبود دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی (به ویژه در حاشیه کلان شهر)</p> <p>- بهبود وضعیت سرمایه اجتماعی (مشارکت، اعتماد و...) از حد متوسط به حد خوب.</p>

نتایج ماتریس سوات (جدول ۱۰) بیانگر این امر است که تعداد ۱۸ نقطه قوت و تعداد ۱۱ فرصت برای سناریوهای قوی تاب‌آوری کلان شهر تبریز در برابر آشوب سیل شناسایی شده است که در این خصوص تعداد ۷ آرمان و تعداد ۷ نتیجه تدوین شده است. ضمناً جهت دستیابی به این نتایج و آرمان‌ها تعداد ۷ راهبرد تدوین شده است که برای مشخص کردن اولویت‌ها آنها از مدل خانه کیفیت استفاده شده است.

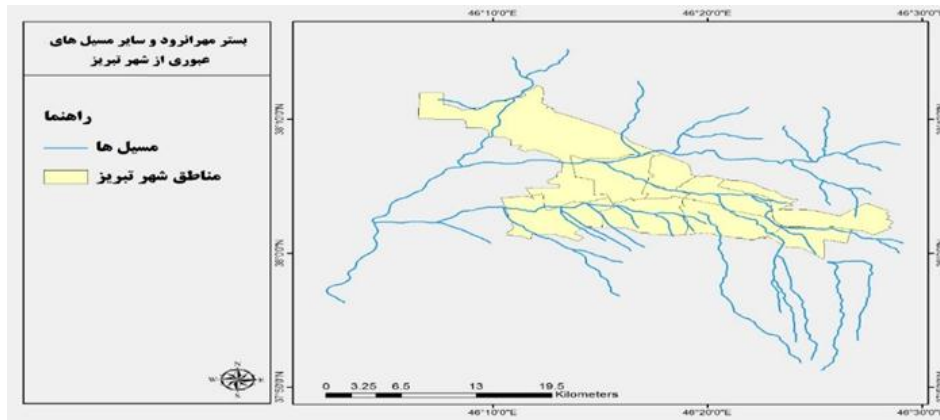
در مدل خانه کیفیت، وضعیت‌های احتمالی در سناریوهای قوی به عنوان نیازها در نظر گرفته شده است. در این مدل اثرگذاری راهبردها بر نیازها در چهار سطح بدون اثر (صفر)، تاثیر خفیف (یک)، تاثیر متوسط (سه) و تاثیر شدید (نه) مورد سنجش قرار می‌گیرد و اهمیت نیازها هم از طریق نظرات کارشناسی در قالب طیف لیکرت ۱ تا ۵ (اهمیت خیلی کم تا خیلی زیاد) به دست می‌آید.

جدول ۱۱- مدل اولویت بندی راهبردهای بهبود تاب‌آوری کلان شهر تبریز

Table 11- Prioritization model of resilience improvement strategies in Tabriz metropolis

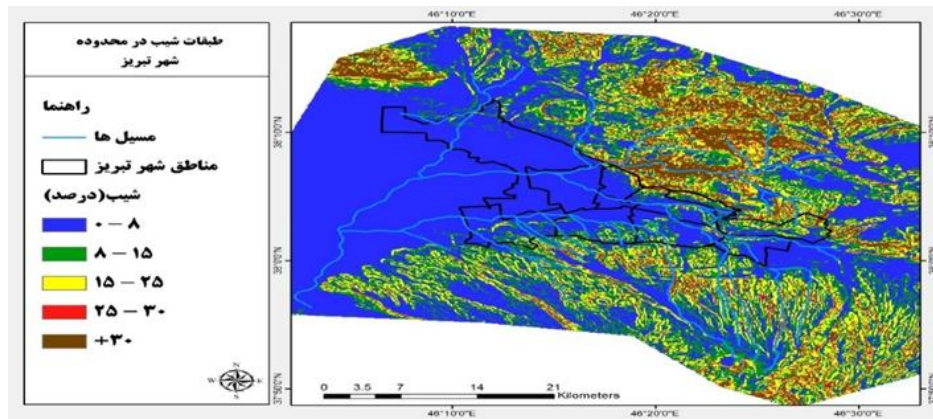
R	راهبردها وضعیت‌های احتمالی	راهبرد ۱	راهبرد ۲	راهبر ۳	راهبرد ۴	راهبرد ۵	راهبرد ۶	راهبرد ۷	اهمیت ۱-۵	وزن نسبی	رتبه
۱	افزایش آگاهی و دانش	۹		۳	۱			۳	۴/۲	۰/۱۶۲	۱
۲	فاصله از حریم رودخانه‌ها	۳	۹	۱	۳			۱	۳/۹	۰/۱۵۰	۳
۳	بهبود وضعیت بستر نهادی	۳		۹				۱	۳/۱	۰/۱۱۹	۷
۴	افزایش درآمد				۹			۱	۴	۰/۱۵۴	۲
۵	افزایش فاصله از کاربری‌های خطرزا	۹		۱	۱	۹		۱	۳/۸	۰/۱۴۷	۴
۶	بهبود دسترسی به مراکز امداد رسانی	۱		۱			۹	۱	۳/۴	۰/۱۳۱	۶
۷	بهبود وضعیت سرمایه اجتماعی	۳		۱	۱			۹	۳/۵	۰/۱۳۵	۵
	اهمیت راهبردها	۴/۱۳	۱/۳۵	۲/۱۳	۲/۲۸	۱/۳۲	۱/۱۸	۲/۴۰			
	وزن نسبی راهبردها	۰/۲۷۸	۰/۰۹۱	۰/۱۴۳	۰/۱۵۴	۰/۰۸۹	۰/۰۷۹	۰/۱۶۲			
	رتبه راهبردها	۱	۵	۴	۳	۶	۷	۲			





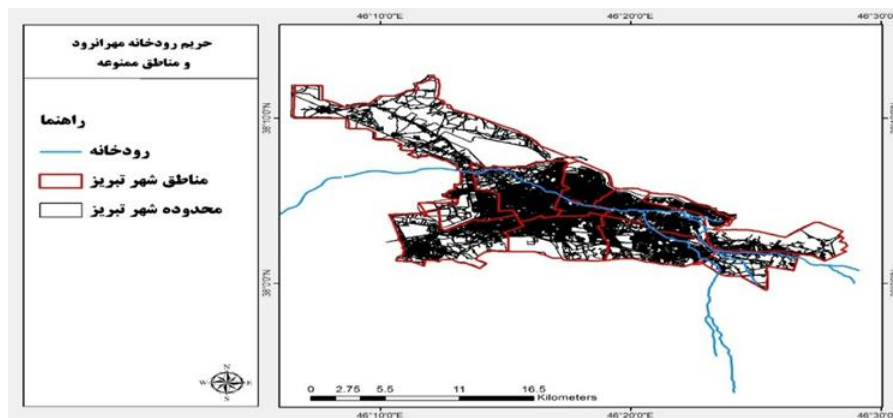
شکل ۳: بستر رودخانه مهرانرود و سایر مسیل‌های عبوری از شهر تبریز و مناطق ده گانه تبریز

Figure 3: Mehranrud riverbed and other channels passing through the city of Tabriz and the ten districts of Tabriz



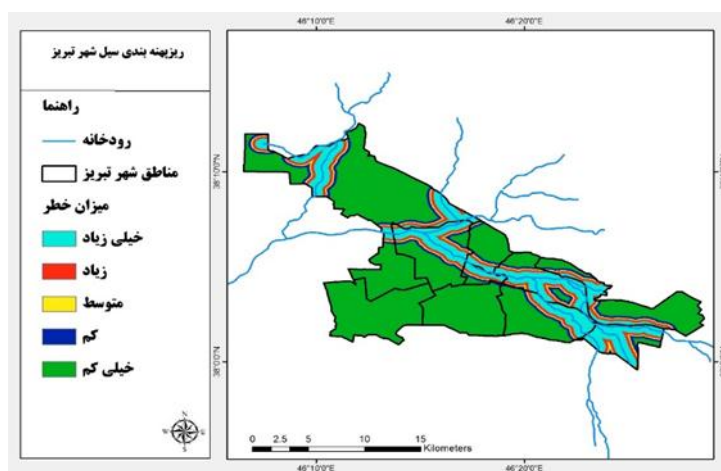
شکل ۴: نقشه طبقات شیب شهر تبریز در محدوده مهرانرود

Figure 4: Map of slope floors of Tabriz city in Mehranrud area



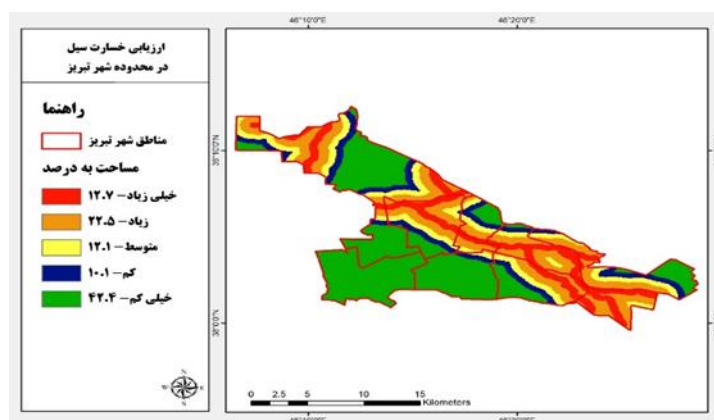
شکل ۵: حریم رودخانه مهرانرود و سایر مسیل‌های عبوری از شهر تبریز مناطق ممنوعه

Figure 5: Mehranrud river and other routes passing through the city of Tabriz are prohibited areas



شکل ۶: نقشه ریز پهنه-بندی سیل شهر تبریز

Figure 6: Detailed flood zoning map of Tabriz



شکل ۷: نقشه ارزیابی خسارت شهر تبریز

Figure 7: Damage assessment map of Tabriz

### نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج تحقیق Nazmfar and Pashazadeh (2014) همسو می‌باشد. آنان در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که حدود ۳/۳۴ درصد از محدوده نقشه در پهنه بندی خطر خیلی زیاد، ۱۵/۸۷ درصد در پهنه بندی خطر زیاد، ۷۰/۸۴ درصد در پهنه ی خطر متوسط و ۹/۹۵ درصد در پهنه ی کم خطر از لحاظ سیل‌گیری قرار دارد. هم چنین با تهیه نقشه ارزیابی خسارت مشخص شد که پهنه‌های مشخص شده ۸۵ درصد منطبق با پهنه‌های مختلف از نظر شدت سیل‌گیری می‌باشد.

با توجه به راهبردهای هفت‌گانه تدوین شده در این پژوهش (جدول ۱۲) راهبرد شماره ۱ با وزن با اهمیت نسبی ۰/۲۷۸ در رتبه اول راهبردها قرار گرفته است. راهبردهای شماره ۷، ۴، ۳، ۲، ۵ و ۶ به ترتیب در رتبه‌های دوم تا هفتم قرار گرفته‌اند. در ادامه راهبردهای مربوطه به ترتیب اولویت در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱۲- راهبردهای اصلی بهبود تاب‌آوری کلان شهر تبریز به ترتیب رتبه

Table 12-The main strategies to improve the resilience of Tabriz metropolis in order of rank

رتبه	راهبرد	شماره
رتبه اول	استفاده از برنامه‌های آموزشی، تجربه‌های داخلی و خارجی، تمایل کلان شهروندان برای یادگیری دانش و آگاهی و بهره مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای افزایش آگاهی و دانش کلان شهروندان درباره سیل	راهبرد ۱
رتبه دوم	استفاده از برنامه‌های آموزشی، تجربه‌های داخلی و خارجی و بهره مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای بهبود وضعیت سرمایه اجتماعی کلان شهروندان	راهبرد ۷
رتبه سوم	برنامه ریزی و جذب سرمایه گذاران داخلی و خارجی در راستای افزایش ایجاد اشتغال و افزایش درآمد کلان شهروندان	راهبرد ۴
رتبه چهارم	استفاده از برنامه‌های آموزشی، تجربه‌های داخلی و خارجی و بهره مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای بهبود وضعیت بستر نهادی	راهبرد ۳
رتبه پنجم	استفاده از برنامه‌های آموزشی، تجربه‌های داخلی و خارجی، تسهیلات تشویقی، رعایت قوانین ساخت و ساز و بهره مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای بهبود کیفیت ابنیه	راهبرد ۲
رتبه ششم	استفاده از برنامه‌های آموزشی، تجربه‌های داخلی و خارجی، رعایت قوانین ساخت و ساز و حرایم و بهره مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای افزایش فاصله از کاربری‌های خطرزا	راهبرد ۵
رتبه هفتم	استفاده از تجربه‌های داخلی و خارجی، سرمایه گذاران داخلی و خارجی و بهره مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای بهبود دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی	راهبرد ۶

حال با توجه به اینکه برخی از راهبردها باهم همپوشانی دارند و از انجامی که امکان ادغام آنها در مدل وجود نداشت، لذا در این بخش از پژوهش و با توجه به اولویت‌هایی که کسب کردند، اولویت‌های ادغامی به شرح جدول (۱۳) ارائه می‌شود.

جدول ۱۳- راهبردهای ادغامی بهبود تاب‌آوری کلان شهر تبریز به ترتیب رتبه

Table 13- Integration strategies to improve the resilience of Tabriz metropolis in order of rank

رتبه	راهبرد	شماره
رتبه اول	استفاده از برنامه‌های آموزشی، تجربه‌های داخلی و خارجی، تمایل کلان شهروندان برای یادگیری دانش و آگاهی و بهره مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای بهبود وضعیت تاب‌آوری اجتماعی و نهادی کلان شهروندان (افزایش آگاهی و دانش، بهبود بستر نهادی و سرمایه اجتماعی)	راهبردهای ۱، ۳ و ۷
رتبه دوم	برنامه ریزی و جذب سرمایه گذاران داخلی و خارجی در راستای افزایش ایجاد اشتغال و افزایش درآمد کلان شهروندان	راهبرد ۴
رتبه سوم	استفاده از برنامه‌های آموزشی، تجربه‌های داخلی و خارجی، رعایت قوانین ساخت و ساز و حرایم و بهره مندی از برنامه‌های سازمان‌های داخلی و خارجی در راستای بهبود وضعیت عملکردی و کالبدی کلان شهر (افزایش فاصله از کاربری‌های خطرزا، بهبود کیفیت ابنیه و دسترسی به مراکز درمانی و امداد رسانی)	راهبردهای ۲، ۵ و ۶

پژوهش حاضر با هدف آینده‌پژوهی تاب‌آوری شهری کلان شهر تبریز در برابر آشوب انجام شده است. به طور کلی تمامی مناطق ده گانه شهر تبریز بخشی از قسمت میانی حوضه مهرانرود محسوب می‌گردد که شیب متوسط آن بین ۰-۸ درصد می‌باشد (اشکال ۳، ۴ و ۵). طبیعتاً در چنین فضایی مناطقی واقع در بستر سیلابی این رودخانه، نخستین پهنه‌های سیل گیر محسوب می‌گردد. این مناطق که در نقشه ریز پهنه‌بندی سیل (شکل ۶) گستره‌های با خطر خیلی زیاد پهنه‌بندی گردیده‌اند، در نقشه ارزیابی خسارت (شکل ۷) نیز با خسارت خیلی زیاد تعیین شده‌اند که ۱۲/۷

درصد از مساحت کل شهر را دربرمی‌گیرند. مناطق پیرامونی این پهنه یعنی مناطق با خطر زیاد، به عنوان پهنه‌های با خسارت زیاد ۲۲/۵ از مساحت شهر را به خود اختصاص داده‌اند. بقیه مناطق نیز با دور شدن از بستر اصلی و محدود شدن به دره‌ها و آبراهه‌های فرعی مهران رود مناطق با خطر متوسط (خسارت متوسط با سطحی معادل ۱۲/۱ درصد از مساحت کل شهر)؛ کم (خسارت کم با سطحی معادل ۱۰/۱ درصد از مساحت کل شهر) و خیلی کم (خسارت خیلی کم با سطحی معادل ۴۲/۴ درصد از مساحت کل شهر) پهنه‌بندی شده‌اند.

## References

- Abdollahzadeh, A., Ownegh, M., Sadoddin, A., & Mostafazadeh, R. (2016). "Constraints to residential land use development arising from flood and runoff coefficient in a land use planning framework, case study: Ziarat Watershed, Golestan Province". *Watershed Engineering and Management*, 8 (2), 221-235. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106462>.
- Baba Ali, H. R., & Dehghani, R. (2019). "Evaluating the Performance of Wavelet Neural Network Models in Estimation of Daily Discharge". *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 42 (3), 105-116. [In Persian]. <https://doi.org/10.22055/JISE.2017.22047.1580>.
- Ghorbani, M. A., Dinpazhoh, Y., & Moayeri, M. M. (2019). "Uncertainty reduction of conceptual rainfall-runoff models using Joint ensemble Kalman filter (Case study: Behesht-Abad catchment)". *Iranian Water Research Journal*, 12 (4), 123-130. [In Persian]. Retrieved from [https://iwrij.sku.ac.ir/article\\_10618.html?lang=en](https://iwrij.sku.ac.ir/article_10618.html?lang=en).
- Lee, W. K., & Resdi, T. A. T. (2016). "Simultaneous hydrological prediction at multiple gauging stations using the NARX network for Kemaman Catchment, Terengganu, Malaysia". *Hydrological Sciences Journal*, 61 (2), 2930-2945. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1174333>.
- Liu, S., & Shi, H. (2019). "A recursive approach to long-term prediction of monthly precipitation using genetic programming". *Water Resources Management*, 33 (3), 1103-1121. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2169-0>.
- Mohammadi, F., Fakherifard, A., Ghorbani, M. A., Dinpazhoh, Y., & Shahmorad, S. (2018). "Development of Cross wavelet- kalman filter isochrones lines model to analyze compound rainfall-runoff events". *Journal of Water and Irrigation Management*, 8 (1), 39-53. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jwim.2018.249040.583>.
- Mohammadi, F., Fakherifard, A., Ghorbani, M. A., Dinpazhoh, Y., & Shahmorad, S. (2019). "Simulation of rainfall - runoff events by applying phase differences diagrams and correcting effective rainfall components". *Journal of Watershed Management Research*, 20, 97-108. [In Persian]. <http://doi.org/10.29252/jwmr.10.20.97>.
- Mostafazadeh, R., Sadeghi, S. H. R., & Sadoddin, A. (2015). "Modelling effects of land use type and spatial pattern on flow hydrograph variations". *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 31, 51-58. [In Persian]. Retrieved from [https://jwmsei.ir/browse.php?sid=1&slc\\_lang=fa&mag\\_limit\\_start=5](https://jwmsei.ir/browse.php?sid=1&slc_lang=fa&mag_limit_start=5).
- Nikpour, M. R., & Abdollahi Asadabadi, S. (2020). "Monthly precipitation prediction of Ardabil province using ANN and WANN models". *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 10 (4), 241-257. [In Persian]. <https://doi.org/10.22125/iwe.2020.110094>.
- Nikpour, M. R., Sanikhani, H., Mahmodi Babelan, S., & Nastarani Amuqin, S. (2019). "Daily rainfall – runoff modeling of Darreh-Rud river in Ardabil province, Iran". *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 41 (4), 133-146. [In Persian]. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.21053.1508>.
- Nourani, V., & Komasi, M. (2013). "A geomorphology-based ANFIS model for multistation modeling of rainfall–runoff process". *Journal of Hydrology*, 490 (9), 41-55. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.024>.
- Nourani, V., Sattari, M. T., & Molajou, A. (2017). "A hybrid decision tree association rules approach for long-term precipitation forecasting". *Journal of Water and Irrigation Management*, 6 (2), 331-346. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jwim.2017.63786>.

- Sadeghi, S. H. R., & Mostafazadeh, R. (2016). "Triple diagram models for changeability evaluation of precipitation and flow discharge for suspended sediment load in different time scales". *Environmental Earth Sciences*, 75 (9), 843-856. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5621-6>.
- Samantaray, S., Tripathy, O., Sahoo, A., & Ghose, D. (2020). "Rainfall forecasting through ANN and SVM in Bolangir Watershed, India". *Smart Intelligent Computing and Applications*. 159 (5), 767-774. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9282-5\\_74](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9282-5_74).
- Shafeizadeh, M., Fathian, H., & Nikbakht Shahbazi, A.R. (2019). "Continuous rainfall-runoff simulation by artificial neural networks based on selection of effective input variables using partial mutual information (PMI) algorithm". *Iranian Water Research Journal*, 15 (2), 144-161.[In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.17352347.1398.15.2.12.1>.
- Sofian, I. M., Afandi, A. K., Iskandar, I., & Apriani, Y. (2018). "Monthly rainfall prediction based on artificial neural networks with backpropagation and radial basis function". *International Journal of Advances in Intelligent Informatics*, 4 (2), 154-166. <https://doi.org/10.26555/ijain.v4i2.208>.
- Tetzlaff, D., Soulsby, C., & Birkel, C. (2010). "Hydrological connectivity and microbiological fluxes in montane catchments: The role of seasonality and climatic variability". *Hydrological Processes*, 24 (2), 1231-1239. <https://doi.org/10.1002/hyp.7680>.
- Yadav, A. K., Chandola, V. K., Singh, A., & Singh, B. P. (2020). "Rainfall-runoff modelling using artificial neural networks (ANN) model". *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9 (3), 127-135. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.016>.
- Yaseen, Z. M., Ebtehaj, L., Kim, S., Sanikhani, H., Asadi, H., Ghareb, M. L., Bonakdari, H., Mohtar, W. H. M., Al-Ansari, N., & Shahid, S. (2019). "Novel hybrid data-intelligence model for forecasting monthly rainfall with uncertainty analysis". *Water (MDPI)*, 502 (11), 1-23. <https://doi.org/10.3390/w11030502>.

## Simulation of the Rainfall-runoff Process in the Drainage Basin of Aharchay Using data Mining Techniques

Ali Ebrahimzadeh<sup>1</sup>, Bita Bagheri Seygalani<sup>2</sup>, Vahid Nourani<sup>3</sup>

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Marand, Marand, Iran

2- Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University of Miyaneh, Miyaneh, Iran

3- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

### Abstract

#### Introduction

Rainfall-runoff simulation is an effective step in the management of water resources, watersheds, and floodwater control deficiency crises. The inherent complexity of the rainfall-runoff process, temporal and spatial variations, and influential factors make it difficult to perform simulations using physical or hydrologic models. Thus, it is necessary to select a model to predict the runoff of rainfall at an acceptable accuracy by using influential factors. To obtain the overall rainfall-runoff pattern, it is crucial to incorporate the influential watershed data. In recent years, metaheuristic algorithms, e.g., support vector machines (SVMs), gene expression programming (GEP), and artificial neural networks (ANNs) have been increasingly employed in hydrologic studies, particularly in the investigation of phenomena with no certain relationships. Such models are adopted in a wide range of hydrologic applications. The present study evaluates the SVM, GEP, and ANN approaches in the simulation of the rainfall-runoff process for Aharchay Watershed, Iran, at the hydrometric stations of Tazekand, Ravasjan, Oushdilaq, Bermis, Owrang, and Kasin.

#### Materials and methods

Aharchay Watershed lies in Northwest Iran and covers a significant portion of Aras Basin. It plays a key role in the development of the region as it supplies drinking, agricultural, and industrial water demands. Aharchay Watershed is a major sub-basin of the Aras Basin, and its main river is the Aharchay River. The Aharchay River joins the Gharesou River in the outlet of the watershed to form the Darrehrood River. This study develops rainfall-runoff simulation models for Aharchay Watershed at the hydrometric stations of Tazekand, Ravasjan, Oushdilaq, Bermis, Owrang, and Kasin by using the SVM, GEP, and ANN approaches, estimating runoff data. These three approaches are evaluated in terms of performance. To determine a combination of inputs for the models, a list of runoff-related independent variables of each station was created. Then, suitable inputs were selected from the listed variables by using the Pearson correlation (PC) and partial mutual information (PMI). The input combinations obtained from these two criteria were evaluated for rainfall-runoff simulation at each hydrometric station. Also, modeling was performed using the related independent variables (total efficiency). Therefore, three input combinations were employed for each station. To evaluate model performance, the coefficient of determination ( $R^2$ ), root-mean-square error (RMSE), and the Nash–Sutcliffe coefficient (E) were utilized.

#### Discussion and conclusion

This study employed the SVM, GEP, and ANN models to simulate the rainfall-runoff process of Aharchay Watershed, Iran, at the hydrometric stations of Tazekand, Ravasjan, Oushdilaq, Bermis, Owrang, and Kasin. Furthermore, the PCI, PMI, and total criteria were employed to identify suitable combinations of inputs. The accuracy of the models was examined using the coefficient of determination ( $R^2$ ), root-mean-square-error (RMSE), and the Nash–Sutcliffe coefficient (E) to identify the best model. The results revealed that the proposed models were acceptable accurate in watershed runoff simulation. The ANN model outperformed the two other models at the Tazekand, Oushdilaq, and Kasin Station. Also, the GEP model had better performance at the Ravasjan and Barmis Stations, while the SVM model yielded better results at the Owrang Station. Overall, it is concluded that the ANN approach is either the best model or almost the best one in simulating the runoff of Aharchay Watershed. Thus, it can be employed for the runoff simulation of Aharchay Watershed at acceptable accuracy.

**Keywords:** Artificial neural network, Gene expression programming, Hydrometric station, Support vector machine