

## ارزیابی مناطق آسیب‌پذیر ناشی از سیلاب در شهر ارومیه

منصور رضایی عزیزی<sup>۱</sup>، جعفر عبدالهی شریف<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۲. عضو هیئت علمی گروه معدن، دانشگاه ارومیه، گروه زمین‌شناسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

Email: manrezaei@yahoo.ca

دریافت: ۹۲/۵/۳۰ پذیرش: ۹۳/۲/۱۶

### چکیده

**مقدمه:** تبدیل رواناب‌ها به سیلاب می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به شبکه شریان‌های شهری وارد کند. افزایش حدود ۲۰ برابری گستره شهر ارومیه در پنجاه سال اخیر به علت توسعه ساخت و سازهای شهری و به‌ویژه گسترش آن در مناطق کوهپایه‌ای و در نتیجه از بین رفتن پوشش گیاهی و جایگزینی آن با معابر آسفالت شهری، این پهنه را مستعد جریان یافتن رواناب و سیلاب در مواقع بارندگی به خصوص در هنگام بارش‌های رگباری کرده است. با توجه به ویژگی‌های مورفولوژیکی ارومیه زون‌بندی این شهر و مناطق اطراف آن با وسعت حدود ۲۰۰ کیلومترمربع از نظر ایجاد رواناب و مناطق آسیب‌پذیر بررسی شده است. ارزیابی ۴۰۰۰ رکورد اطلاعاتی با توجه به داده‌های ایستگاه‌های سازمان آب منطقه‌ای و هواشناسی سال‌های آبی مختلف در شهر ارومیه نشان می‌دهد که سالیانه حدود ۲۷ میلیون متر مکعب آب در قالب برف و باران برگستره آن نازل می‌شود. بررسی‌های مقدماتی نشان داده است که سالیانه حدود ۵ میلیون متر مکعب از این بارش‌ها به صورت رواناب و در زمان بارش‌های رگباری به صورت سیلاب در معابر عمومی جریان می‌یابد.

**روش:** در این پژوهش زون‌های مستعد برای تشکیل رواناب در گستره ارومیه، حاشیه شهر و مناطق

مسکونی شناسایی شده است. با بهره‌گیری از داده‌های آماری سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی شدیدترین بارش محتمل در گستره شهر با دوره بازگشت پنج ساله تعیین و با تلفیق داده‌های موجود و استفاده از روش تحلیل تاپسیس مستعدترین زون برای تشکیل سیلاب تعیین شده است.

**یافته‌ها:** براساس این پژوهش ۱۷ زون مجزا که از ویژگی‌های متفاوت مورفولوژیکی برخوردارند در اطراف شهر قابل شناسایی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که زون شماره ۱۲ با مساحت حدود ۷۵۷۰۰۰ مترمربع با دارا بودن بیشترین فاصله از حالت ایده‌آل مستعدترین زون از نظر تولید و جریان یافتن رواناب و سیلاب شهری بوده و در یک بارش شدید بهاری در آن در هر دقیقه ۱۹۲ مترمکعب آب باران فرو می‌ریزد که با توجه به ضریب جریان سطحی و ضریب حوضه، قسمت اعظم آن به رواناب تبدیل می‌گردد. ایمن‌ترین زون شهری نیز زون شماره ۱۷ با دارا بودن کمترین فاصله از حالت ایده‌آل به مساحت ۱۷۶۳۰۰۰ مترمربع بوده که در شدیدترین بارش‌های جوئی ۲۷۵ مترمکعب از نزولات جوئی وارد آن می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** وزن‌دهی به شاخص‌های مؤثر در ایجاد رواناب نشان می‌دهد که شاخص زاویه اتصال مسیر آبراهه‌های طبیعی حامل رواناب‌ها با شریان‌های شهری و مساحت تحت شریان، بیشترین و شاخص طول معبر جمع‌کننده رواناب و اختلاف ارتفاع، کمترین وزن (تأثیر) را در معیار آسیب‌پذیری دارند. بر این اساس، زون‌های ۴، ۱۲، ۱۵ و ۱۶ با حدود ۴/۲ کیلومترمربع در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد هستند، اما زون‌های ۱۷، ۱، ۲ و ۳ به ترتیب در معرض کمترین میزان آسیب‌پذیری قرار دارند. بدین منظور احداث کانال‌های جمع‌آوری

زمان بارش‌های رگباری به صورت سیلاب در معابر عمومی جریان می‌یابد. بارش‌های شدید بهاری در این شهرستان سبب جاری شدن مقادیر قابل توجهی از رواناب‌های سطحی می‌شود که در برخی از مناطق شهر باعث به وجود آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به ساختمان‌های مسکونی، معابر عمومی و تأسیسات شهری می‌گردد.

گسترش ساخت و سازهای شهری در حاشیه رودخانه‌ها، مخروط‌افکنه‌ها، سواحل کم‌ارتفاع و دلتاها از دیرباز مدنظر مدیران و برنامه‌ریزان توسعه شهری بوده، ولی این امر منجر به افزایش آسیب‌پذیری جوامع شهری در برابر خطر سیلاب می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که گسترش شهرها در حوضه آبریز به دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر منجر به افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی حداکثر لحظه‌ای و تغییر کیفیت سیلاب و رواناب می‌گردد (۵-۱۱).

در کشورهای مختلف صنعتی و به خصوص در شهرهای بزرگ از دیرباز مشکل جمع‌آوری رواناب‌های حاصل از بارش‌های جوی و مشکلات متعددی که این رواناب‌ها در زندگی عادی شهری ایجاد می‌کنند، مدنظر مدیران شهری بوده است (۴، ۸). مدیریت و ارزیابی مناطق آسیب‌پذیر در اثر سیلاب‌های شهری در مناطق توسعه یافته شهر ارومیه از نکات بسیار مهمی است که می‌توان با استفاده از مدل‌های کمی و کیفی راهکارهای مدیریتی بهینه‌ای را در مواجهه با این سیلاب‌ها ارائه کرد. این مناطق در خلال اغلب بارش‌های رگباری

رواناب در گستره شهر به خصوص در زون‌های ۴ تا ۶ و ۱۱ تا ۱۶ ضروری است که این امر می‌تواند باعث کاهش خسارات مالی و جانی احتمالی در این مناطق شود و از ایجاد مناظر ناخوشایند و آزاردهنده در هنگام بارش‌های رگباری بهاری بکاهد.

**کلمات کلیدی:** رواناب، مناطق آسیب‌پذیر، روش تحلیل تاپسیس، شهر ارومیه.

## مقدمه

هرگاه بارانی با شدت زیاد روی حوضه‌ای بیبارد، به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک، در همان اوایل بارندگی، آب روی خاک جاری می‌شود که پوشش آسفالتی در مناطق شهری این پدیده را تشدید می‌کند. نقش کانال‌ها و مجراهای موجود در هدایت و انتقال آب جاری شده به سمت رودخانه غیر قابل انکار است که در صورت نادیده گرفتن شرایط مورفولوژیکی و دخل و تصرف در حریم آن، می‌تواند سبب به وجود آمدن خسارات مالی و جانی فراوانی شود (۱، ۲، ۳، ۴).

تجزیه و تحلیل متجاوز از ۴۰۰۰ رکورد اطلاعاتی برای سال‌های آبی مختلف در شهر ارومیه نشان می‌دهد که بیشینه بارش رگباری ۱۵ دقیقه‌ای برای گستره شهری ارومیه ۳۷/۶ میلی‌متر در ساعت است. بررسی داده‌های آماری بیانگر میانگین بلندمدت بارندگی سالیانه ۳۴۰ میلی‌متری در شهر ارومیه است که با توجه به وسعت ۸۰ کیلومترمربعی شهر، سالیانه حدود ۲۷ میلیون مترمکعب آب در قالب برف و باران بر گستره آن نازل می‌شود. بررسی‌های مقدماتی نشان داده است که سالیانه حدود ۵ میلیون متر مکعب از این بارش‌ها به صورت رواناب و در

به دلیل شرایط توپوگرافی، خصوصیات زمین‌شناسی، نبود سیستم زهکشی مناسب، رواناب یا سیلاب با دبی بسیار بالا وارد شریان‌های ارتباطی شهری می‌شود و در نهایت موجب بالا آمدن سطح آب در مجرای انتقال و بروز مشکلات متعدد و وارد آمدن خسارات مالی فراوانی می‌شود.

شهر ارومیه با وسعتی در حدود ۸۰ کیلومترمربع روی واحدهای زمین‌شناسی مختلفی از قبیل رسوبات آبرفتی، ماسه‌سنگ، مارن، کنگلومرا و سنگ‌های آهکی با میان لایه‌هایی از مارن شکل گرفته است. رشته کوه‌هایی در قسمت‌هایی از شمال غرب تا جنوب ارومیه را احاطه کرده‌اند، ولی در بخش‌های شمال شرقی تا جنوب شرقی گستره شهر عمدتاً روی رسوبات آبرفتی توسعه یافته است. یکی از عارضه‌های مهم هیدرولیکی در گستره شهر ارومیه رودخانه شهرچایی است که از ارتفاعات جنوبی شهر سرچشمه گرفته و در حال حاضر دشت ارومیه را که شهر ارومیه در آن گسترده شده است طی می‌کند و به دریاچه ارومیه می‌ریزد که شهر ارومیه در هر دو ساحل این رودخانه از گسترش قابل توجهی برخوردار است. بررسی ساختارهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و زمین‌ریخت‌شناسی شهر نشان می‌دهد که توسعه ساخت‌وسازهای شهری در مناطق کوهپایه‌ای و مرتفع سبب از بین رفتن آبراهه‌های طبیعی و در نتیجه تغییر شرایط هیدروژئولوژیکی شده است. در این تحقیق داده‌های گرفته شده از ایستگاه‌های سازمان آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی شهرستان ارومیه مورد داده‌کاوی قرار گرفت. بر این اساس بررسی‌ها و ارزیابی‌ها

نشان می‌دهند که برخی از مناطق شهر در معرض آسیب‌پذیری قرار دارند. لذا با به کارگیری نقشه‌های موجود از منطقه و استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل (تاپسیس) برای کاهش خطرات و ریسک ناشی از این سیلاب‌ها مناطقی که بیشترین میزان آسیب‌پذیری را دارند مشخص گردید. این مدل یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که بر اساس وزن‌دهی کمی به کار رفته و استفاده بسیار زیادی در تجزیه و تحلیل اطلاعات دارد (۷، ۱۲، ۱۳، ۱۴).

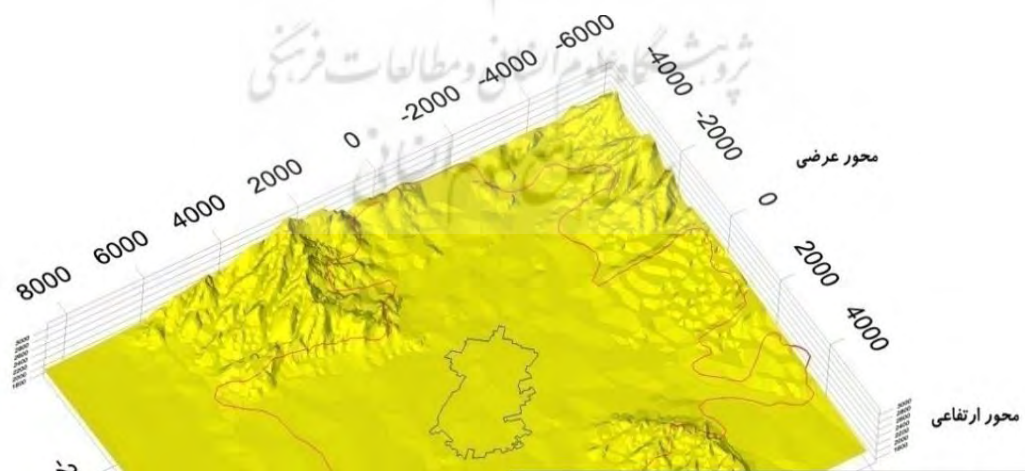
### روش تحقیق

تجزیه و تحلیل متجاوز از ۴۰۰۰ رکورد اطلاعاتی با توجه به توزیع آماری گمبل برای سال‌های آبی مختلف شهر ارومیه نشان می‌دهد که بیشینه بارش رگباری ۱۵ دقیقه‌ای برای گستره شهری ارومیه ۳۷/۶ میلی‌متر در ساعت است. همچنین نتایج بررسی داده‌های آماری بیانگر میانگین بلند مدت بارندگی سالیانه ۳۴۰ میلی‌متری در شهر ارومیه است که با توجه به وسعت ۸۰ کیلومترمربعی شهر سالیانه حدود ۲۷ میلیون مترمکعب آب در قالب برف و باران برگستره آن نازل می‌شود. بررسی‌های مقدماتی نشان داده است که سالیانه حدود ۵ میلیون مترمکعب از این بارش‌ها به صورت رواناب و در زمان بارش‌های رگباری به صورت سیلاب در معابر عمومی جریان می‌یابد.

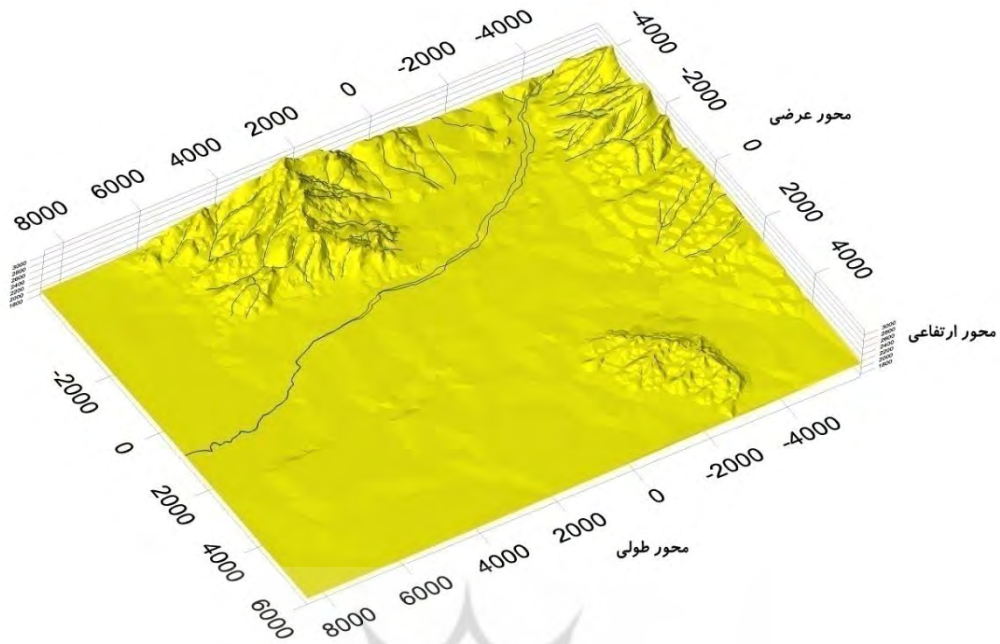
در پژوهش حاضر به منظور بررسی مناطق آسیب‌پذیر، نقشه‌های اجرایی لازم با در نظر گرفتن ویژگی‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی شهر ارومیه تهیه شده است. در این نقشه‌ها محدوده‌هایی از شهر

پرخاطر بوده و دارای بیشترین پتانسیل تشکیل سیلاب هستند. در این محله‌ها، بدون توجه به واقعیت‌های زمین‌ساختی، مسیر خیابان‌های اصلی در اغلب موارد بر مسیر آبراهه‌های طبیعی موجود منطبق شده‌اند که این امر منجر به این شده است که بیشترین مشکل از نظر تشکیل سیلاب و رواناب در این بخش‌ها مشاهده شود. در ادامه، گستره هر زون با توجه به ویژگی‌های ارتفاعی مناطق اطراف شهر (شکل شماره ۱)، موقعیت آبراهه‌های طبیعی (شکل شماره ۲)، حوضه آبریز آنها و نیز قرارگیری ساخت و سازهای شهری در میان دو یال مجاور در کوه‌هایی که مشرف به شهر هستند و بافت جدید شهر روی آنها گسترش یافته‌اند مشخص شده‌اند، در نتیجه گستره مناطق با ریسک بالا، با در نظر گرفتن ویژگی‌های زمین‌ساختی به ۱۷ زون جداگانه تقسیم‌بندی گردید (شکل شماره ۳).

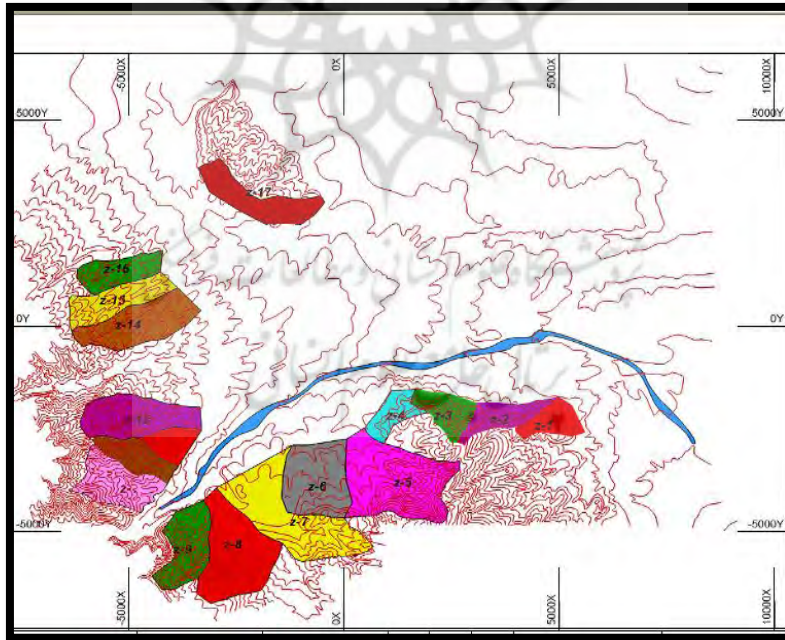
که در خلال سال‌های اخیر و بدون توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناسی در مناطق کوهپایه‌ای گسترش یافته‌اند و مستعد تشکیل سیلاب هستند با در نظر گرفتن شش شاخص عمده تشدیدکننده سیلاب، به ۱۷ زون مجزا تقسیم شده است. همچنین یکی از مهم‌ترین پارامترها در این تقسیم‌بندی زاویه بین مناطق با آبراهه‌های طبیعی موجود است. بر این اساس مناطقی که با آبراهه‌های طبیعی زاویه ۹۰ درجه می‌سازند بدترین مناطق و آنهایی که کمترین زاویه را با آبراهه‌های طبیعی می‌سازند بهترین مناطق هستند. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از گستره شهری که به طور عام محلات قدیمی و بافت قدیمی شهر را شامل می‌شوند در این زون‌بندی قرار نمی‌گیرند ولی با توجه به پتانسیل تشکیل سیلاب و رواناب در محله‌های جدید شهر که در ساحل شرقی رودخانه شهر چایی و مشرف به ارتفاعات جنوب‌غربی و جنوبی گسترده شده‌اند، بیشترین گستره زون‌های



شکل شماره ۱: موقعیت ارتفاعی شهر ارومیه (برای ارائه جزئیات بیشتر محور ارتفاعی سه برابر شده است)



شکل شماره ۲: موقعیت آبراهه‌های طبیعی اطراف شهر ارومیه به انضمام رودخانه شهرچایی (برای ارائه جزئیات بیشتر محور ارتفاعی سه برابر شده است)



شکل شماره ۳: زون‌های ۱۷گانه اطراف شهر ارومیه با دیدگاه تولید سیلاب و رواناب (رودخانه شهرچایی به عنوان مهم‌ترین ساختار هیدرولوژیکی منطقه در وسط دشت ارومیه نشان داده شده است)



شکل شماره ۴: انطباق راستای برخی از معابر شهری ارومیه با موقعیت آبراهه‌ها و انهار محلی که به واسطه توسعه شهری از بین رفته‌اند (آبراهه‌ها و انهار با رنگ قرمز در شکل مشخص شده‌اند)

جدول شماره ۱: مشخصات متغیرهای مؤثر بر آسیب‌پذیری در زون‌های گستره ارومیه

شماره زون	مساحت کل (مترمربع)	مساحت شریان شهری (مترمربع)	اختلاف ارتفاع (متر)	طول معبر جمع‌کننده رواناب (متر)	انطباق با آبراهه	زاویه اتصال
زون ۱	۸۷۴۷۷۶	۳۷۷۰۱۱	۱۰۵	۹۸۰	بد	۹۰
زون ۲	۱۰۰۱۳۶۲	۶۳۳۴۰۸	۲۰۸	۱۵۱۰	بد	۹۰
زون ۳	۱۰۲۰۰۸۹	۷۹۹۰۱۶	۱۸۸	۱۴۲۵	بد	۹۰
زون ۴	۸۴۵۹۱۸	۶۵۲۴۴۴	۱۷۰	۶۲۰	متوسط	۲۰
زون ۵	۳۹۹۱۰۱۶	۲۴۲۴۵۰۷	۲۹۰	۱۷۹۶	متوسط	۱۵
زون ۶	۲۵۴۵۹۶۰	۲۵۳۴۲۷۵	۱۲۵	۱۱۵۵	متوسط	۰
زون ۷	۳۷۴۸۴۶۹	۱۸۴۷۰۸۰	۱۶۰	۲۲۶۲	کم	۴۵
زون ۸	۳۱۶۸۰۱۵	۸۷۲۹۸	۳۰۰	۷۷۵	کم	۴۵
زون ۹	۱۸۰۴۱۴۳		۴۰۰			
زون ۱۰	۱۷۶۵۱۶۲		۲۵۰			
زون ۱۱	۱۰۹۱۸۴۷	۴۱۲۱۶۸	۲۶۰	۱۰۴۵	متوسط	۳۰
زون ۱۲	۷۵۶۸۳۸	۶۸۴۱۶۴	۱۳۰	۱۰۴۱	خوب	۰
زون ۱۳	۲۲۲۹۱۵۸	۶۶۵۸۴	۲۶۰			
زون ۱۴	۲۲۵۸۵۰۳	۲۰۲۱۳۳۱	۱۴۰	۲۰۱۲	خوب	۰
زون ۱۵	۱۵۴۲۰۷۴	۹۳۶۷۴۸	۱۷۰	۱۳۷۲	خوب	۱۰
زون ۱۶	۱۲۲۰۷۹۲	۸۵۱۰۹۹	۱۲۰	۱۱۳۹	خوب	۱۵
زون ۱۷	۱۷۶۲۹۸۳	۱۶۰۴۲۲۲	۸۰	۲۱۰۴	بد	۹۰

خانه‌های خالی مناطق فاقد اطلاعات هستند.

بررسی دقیق‌تر زون‌ها نشان می‌دهد که خیابان‌های اصلی هر زون در اکثر موارد به دلیل عدم مطالعه کافی دقیقاً روی بستر آبراهه‌های طبیعی احداث شده‌اند و موازی بودن یا انطباق کامل خیابان‌های اصلی با مسیر آبراهه‌های طبیعی انسداد یافته، ناکافی بودن شریان‌های جمع‌آوری‌کننده رواناب‌ها و در برخی مناطق وجود اختلاف ارتفاع نسبتاً زیاد قسمت‌های بالادستی با بخش‌های پایین دست سبب افزایش سرعت جریان آب و در نتیجه افزایش آسیب‌پذیری می‌شوند (شکل شماره ۴). بر این اساس متغیرهای مؤثر در آسیب‌پذیری زون‌ها شامل شش شاخص تحت عنوان زاویه اتصال و انطباق آبراهه‌های طبیعی با شریان‌های شهری، طول معابر کنترل‌کننده رواناب‌ها، اختلاف ارتفاع در زون‌های مختلف شهری، مساحت تحت شریان شهری و مساحت کل زون هستند که مشخصات به دست آمده از آنها در جدول شماره ۱ ارائه شده است. این شش شاخص با توجه به مبانی هیدرولیک بیشترین تأثیر را در ایجاد و تشدید رواناب و سیلاب در شهر دارند.

در تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از جدول شماره ۱ برای تصمیم‌گیری در خصوص متغیرهای مؤثر بر آسیب‌پذیری ناشی از رواناب و سیلاب از ماتریس تصمیم‌گیری چندشاخصه و مدل شباهت به گزینه ایده‌آل تاپسیس برای یافتن مناطق با ریسک بالا و پایین استفاده گردید. روش به کاررفته یکی از روش‌های بسیار قوی در تصمیم‌گیری با وجود شاخص‌های مختلف و متضاد است (۱۵). این ماتریس از تعدادی ستون تشکیل یافته است که هر

ستون شاخص در تصمیم‌گیری مورد نیاز هستند. سطرهای این ماتریس از گزینه‌هایی تشکیل شده است که باید از بین آنها بهترین گزینه که بیشترین تطابق را با شاخص‌ها داشته باشند، انتخاب کرد. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که بهترین نتیجه باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد (۱۶، ۱۷).

در این روش با استفاده از فرمول‌های ریاضی ماتریس‌های زنجیره‌ای مختلفی تشکیل می‌شود و در نهایت تصمیم‌گیری بهینه با استفاده از شاخص‌ها و تکنیک کمترین فاصله با ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله با ایده‌آل منفی انجام می‌گیرد. مراحل اجرای این مدل به شرح گام‌های زیر است:

**گام نخست:** داده‌های جدول شماره ۱ به صورت یک ماتریس تصمیم  $17 \times 6$  برای زون‌های ۱۷ گانه و شاخص‌های مؤثر بر رواناب‌ها تنظیم گردید. در این ماتریس سطرها بیانگر داده‌های مربوط به هر زون و ستون‌های ماتریس نیز معرف شاخص‌های مؤثر در تشکیل رواناب است. در این ماتریس برای ایجاد شرایط مقایسه‌ای بین شاخص‌ها، شاخص کیفی "وضعیت انطباق با آبراهه" به روش مقیاس دو قطبی به شاخص کمی تبدیل گردید. در ادامه مطالعات به علت عدم گسترش ساخت و سازهای شهری در زون‌های ۹، ۱۰ و ۱۳ نبود داده‌های کافی در خصوص برنامه شهرداری ارومیه برای توسعه بافت شهری در این زون‌ها و جلوگیری از تأثیر غیرواقعی

این زون‌ها در نتایج حاصل از داده‌های مربوط به آنها از ماتریس تصمیم خارج گردید.

**گام دوم:** با توجه به اینکه شاخص‌های مؤثر بر تشکیل رواناب‌ها به دلیل داشتن واحدهای مختلف قابل مقایسه با همدیگر نبودند، فرایند بی‌مقیاس‌سازی روی داده‌ها مد نظر قرار گرفت. بر این اساس برای بی‌اثر کردن واحد اندازه‌گیری این شاخص‌ها و ایجاد شرایط مقایسه‌ای یکسان از روش بی‌مقیاس‌سازی نورم استفاده گردید تا شاخص‌ها به راحتی با یکدیگر قابل قیاس گردند. در این روش برای بی‌مقیاس‌سازی هر آرایه از رابطه شماره ۱ استفاده می‌شود.

$$nij = \frac{aij}{\sqrt{\sum_{i=1}^m aij^2}} \quad \text{رابطه (شماره ۱)}$$

در این رابطه  $nij$  مقدار بی‌مقیاس شده شاخص  $i$  از نظر شاخص  $j$  و  $aij$  آرایه مربوط به شاخص  $i$  در زون  $j$  می‌باشد.

**گام سوم:** با توجه به ضرورت تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های مختلف، این موضوع توسط تیم پژوهشی مدنظر قرار گرفت و در فرایند اجرایی آن برای هر کدام از شاخص‌ها، وزن مربوطه مشخص گردید. این وزن‌ها اهمیت و ارجحیت هر شاخص را نسبت به بقیه در تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. در این پژوهش برای وزن‌دار کردن شاخص‌ها از روش آنتروپی استفاده شده است. در این روش با استفاده از معادلات ریاضی و بر اساس توزیع احتمال و مکانیزم‌های آماری هر شاخص وزن‌دار می‌گردد (۷). با استفاده از این روش میزان تأثیر و ارجحیت هر کدام از پارامترها در تصمیم‌گیری شاخص‌ها

مشخص می‌گردد. در این روش ابتدا با استفاده از ماتریس چند شاخصه زون‌ها، مقادیر توزیع احتمال  $pij$  برای شاخص‌های مختلف براساس روش‌های آماری و با استفاده از رابطه شماره ۲ محاسبه می‌شود.

$$Pij = \frac{aij}{\sum_{i=1}^n aij} \quad \text{رابطه (شماره ۲)}$$

در این رابطه  $aij$  آرایه‌های ماتریس تصمیم‌گیری (شاخص - زون) می‌باشد. با استفاده از رابطه (شماره ۲) مقدار آنتروپی شاخص  $j$  ( $Ej$ ) از رابطه (شماره ۳) محاسبه می‌گردد. مقدار  $K$  ثابت است و به منظور این که  $Ej$  بین صفر و یک باشد اعمال می‌شود که مقدار  $K$  در این گستره از رابطه (شماره ۴) که در آن مقدار  $m$  برابر تعداد زون‌های تحت بررسی ( $m=14$ ) در نظر گرفته و برابر  $0.379$  به دست می‌آید.

$$Ej = -K \sum_{i=1}^m [pij \ln pij] \quad \text{رابطه (شماره ۳)}$$

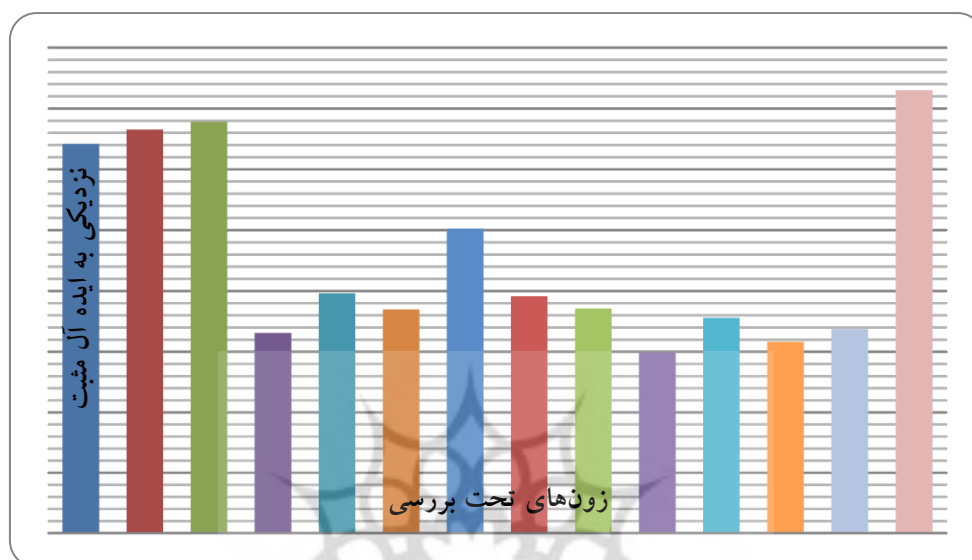
$$K = \frac{1}{\ln(m)} \quad \text{رابطه (شماره ۴)}$$

**گام چهارم:** فاصله هر گزینه، از ایده‌آل مطلق آن محاسبه می‌شود. در روش تاپسیس میزان فاصله هر گزینه از ایده‌آل آن به صورت فاصله اقلیدسی قابل محاسبه است. این پارامتر که به عنوان نزدیکی نسبی یک گزینه تعریف می‌گردد می‌تواند در روند تصمیم‌گیری‌ها نقش مؤثری داشته باشد (۷). بر این اساس در پژوهش حاضر برای زون‌های گستره شهری این مقادیر به صورت فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی محاسبه گردید که نمودار نتایج حاصل از آن در شکل شماره ۵ ارائه شده است. هر چه مقدار نزدیکی نسبی به عدد یک (ایده‌آل مثبت) نزدیک‌تر باشد، بهتر است و این بدان معنی است که

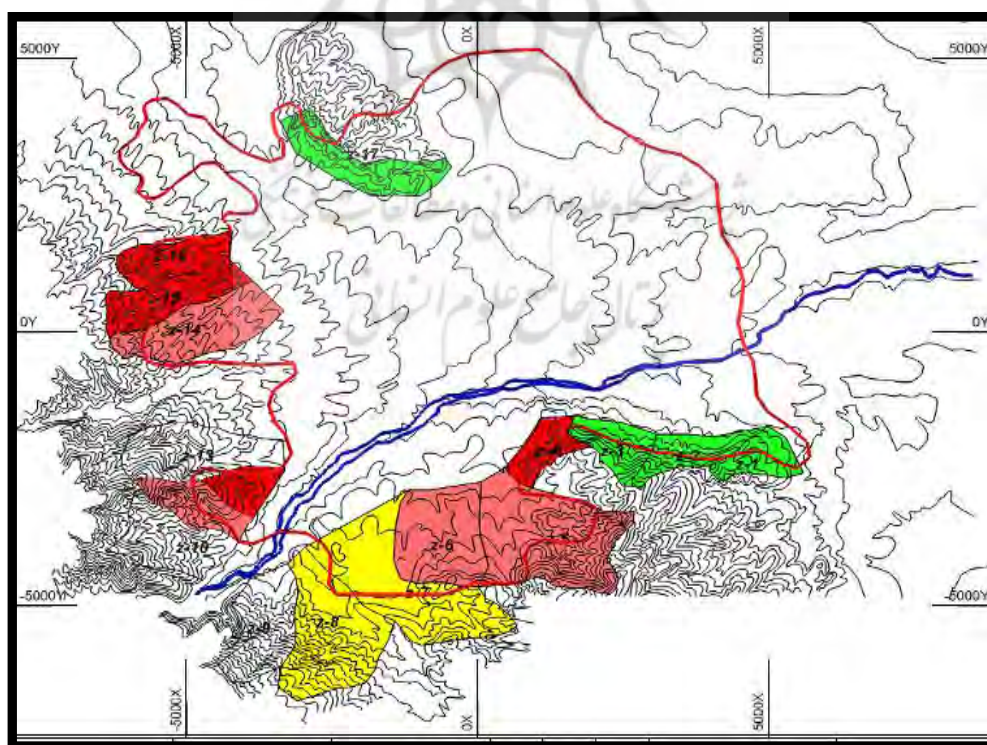


هنگام جریان یافتن رواناب و سیلاب بیشتر خواهد بود. در پردازش داده‌های موجود از نرم‌افزار ۲۰۱۴-MATLAB استفاده گردید.

میزان آسیب‌پذیری در آن زون در هنگام جریان یافتن رواناب و سیلاب کمتر است و هرچه این عدد کوچک‌تر باشد و به ایده‌آل منفی (عددصفر) نزدیک‌تر باشد، میزان آسیب‌پذیری در آن زون در



شکل شماره ۵: نمودار مقادیر نزدیکی نسبی زون‌های گستره شهر ارومیه



شکل شماره ۶: زون‌بندی خطر سیلاب در گستره شهر ارومیه (رنگ قرمز زون‌های با احتمال خیلی زیاد، رنگ صورتی زون‌های با خطر زیاد، رنگ زرد زون‌های با احتمال متوسط و رنگ سبز زون‌های ایمن را نشان می‌دهند)

## یافته‌ها

تجزیه و تحلیل متجاوز از ۴۰۰۰ رکورد اطلاعاتی با توجه به توزیع آماری گمبل برای سال‌های آبی مختلف در شهر ارومیه نشان می‌دهد که بیشینه بارش رگباری ۱۵ دقیقه‌ای برای گستره شهری ارومیه ۳۷/۶ میلی‌متر در ساعت است. همچنین نتایج بررسی داده‌های آماری بیانگر میانگین بلندمدت بارندگی سالیانه ۳۴۰ میلی‌متری در شهر ارومیه است که با توجه به وسعت ۸۰ کیلومتر مربعی شهر سالیانه حدود ۲۷ میلیون مترمکعب آب در قالب برف و باران برگستره آن نازل می‌شود. بررسی‌های مقدماتی نشان داده است که سالیانه حدود ۵ میلیون مترمکعب از این بارش‌ها به صورت رواناب و در زمان بارش‌های رگباری به صورت سیلاب در معابر عمومی جریان می‌یابد.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در هنگام بارش‌های رگباری که اغلب در فصل بهار روی می‌دهد برخی از مناطق گستره شهر ارومیه به دلیل افزایش بی‌رویه و غیراصولی ساخت‌وسازهای شهری در مناطق کوهپایه‌ای و نسبتاً مرتفع شهر دچار مشکل می‌شوند و آب باران در این قسمت‌ها به صورت سیلابی جریان می‌یابد. گسترش و توسعه گستره شهر در این مناطق سبب از بین رفتن شرایط هیدروژئولوژیکی می‌شود و به هنگام بارش‌های رگباری موجب بروز حوادث بعضاً ناگوار و وارد آمدن خسارات مالی بر منازل مسکونی، معابر و تأسیسات شهری می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهند که زون‌های ۴، ۱۲،

۱۵ و ۱۶ مناطقی با آسیب‌پذیری خیلی زیاد، زون‌های ۵، ۶، ۱۱ و ۱۴ مناطقی با آسیب‌پذیری زیاد، زون‌های ۷ و ۸ مناطقی با آسیب‌پذیری متوسط و زون‌های ۱، ۲، ۳ و ۱۷ از آسیب‌پذیری کم در زمان جاری شدن رواناب و سیلاب‌های شهری برخوردارند (شکل شماره ۶).

## بحث و نتیجه‌گیری

زون‌بندی مناطق مختلف با دیدگاه میزان آسیب‌پذیری آنها در برابر رواناب‌ها و سیلاب‌های شهری روی نقشه گستره شهر می‌تواند در مدیریت و کنترل بحران نقش مؤثری داشته باشد. این مدل می‌تواند نظر مدیران و برنامه‌ریزان شهری و نیز سازمان‌های متولی مدیریت بحران‌های اجتماعی و طبیعی را به مناطق پرخطر جلب کند تا این ارگان‌ها با تمهیدات لازم از بروز حوادث پیشگیری کنند و نسبت به کاهش خسارات احتمالی اقدام لازم را به عمل آورند. استفاده از الگوی به دست آمده در کنترل توسعه ساخت‌وسازهای شهری و جلوگیری از گسترش بی‌رویه و غیراصولی شهر ارومیه به خصوص در مناطقی با آسیب‌پذیری زیاد می‌تواند در کاهش خسارات مالی و یا جانی تأثیر به‌سزایی داشته باشد.

بر اساس داده‌های اولیه زون‌بندی مناطق مختلف شهر ارومیه بر اساس متغیرهای مؤثر به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از اجرای بی‌مقیاس‌سازی در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول شماره ۲: نتایج حاصل از بی‌مقیاس‌سازی به روش نرم

شماره زون	مساحت کل	مساحت تحت شریان‌های شهری	اختلاف ارتفاع	طول معبر جمع‌کننده رواناب	انطباق با آبراهه	زاویه اتصال
زون ۱	۰/۱۰۹	۰/۰۷۴	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۹۹	۰/۴۶
زون ۲	۰/۱۲۵	۰/۱۲۴	۰/۲۹۸	۰/۲۷۷	۰/۰۶۲	۰/۴۶
زون ۳	۰/۱۲۸	۰/۱۵۶	۰/۲۶۹	۰/۲۶۱	۰/۱۳۳	۰/۴۶
زون ۴	۰/۱۰۶	۰/۱۲۷	۰/۲۴۳	۰/۱۱۴	۰/۲۲۱	۰/۱۰۲
زون ۵	۰/۵	۰/۴۷۳	۰/۴۱۵	۰/۳۲۹	۰/۲۶۵	۰/۰۷۷
زون ۶	۰/۳۱۸	۰/۴۹۵	۰/۱۷۹	۰/۲۱۲	۰/۲۶۵	۰/۰۰۵
زون ۷	۰/۴۶۹	۰/۳۶۱	۰/۲۲۹	۰/۴۱۵	۰/۳۰۱	۰/۲۳
زون ۸	۰/۳۹۶	۰/۰۱۷	۰/۴۳	۰/۱۴۲	۰/۲۴۳	۰/۲۳
زون ۱۱	۰/۱۳۷	۰/۰۸	۰/۳۷۲	۰/۱۹۲	۰/۱۷۷	۰/۱۵۳
زون ۱۲	۰/۰۹۵	۰/۱۳۴	۰/۱۸۶	۰/۱۹۱	۰/۴۲	۰/۰۰۵
زون ۱۴	۰/۲۸۲	۰/۳۹۵	۰/۲	۰/۳۶۹	۰/۳۷۶	۰/۰۰۵
زون ۱۵	۰/۱۹۳	۰/۱۸۳	۰/۲۴۳	۰/۲۵۱	۰/۳۵۴	۰/۰۵۱
زون ۱۶	۰/۱۵۳	۰/۱۶۶	۰/۱۷۲	۰/۲۰۹	۰/۳۵۴	۰/۰۷۷
زون ۱۷	۰/۲۲۱	۰/۳۱۳	۰/۱۱۵	۰/۳۸۶	۰/۰۲۲	۰/۴۶

جدول شماره ۳: اوزان نسبی شش شاخص مؤثر در تشکیل رواناب و سیلاب در گستره شهری ارومیه

W <sub>۱</sub>	W <sub>۲</sub>	W <sub>۳</sub>	W <sub>۴</sub>	W <sub>۵</sub>	W <sub>۶</sub>
۱۴/۴	۲۱/۱	۶/۲	۵/۷	۱۱/۹	۴۰/۵

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که حدود ۱۳ کیلومترمربع از گستره شهر در معرض آسیب‌پذیری زیاد و نسبتاً زیاد، حدود ۶/۸ کیلومترمربع در معرض آسیب‌پذیری متوسط و حدود ۴/۶ کیلومترمربع فعلاً در ناحیه کم خطر قرار دارند که این نواحی نیز می‌توانند با توسعه غیراصولی ساخت‌وساز به منطقه آسیب‌پذیر متوسط تبدیل گردند. شایان ذکر است حدود ۵۵ کیلومترمربع از گستره شهر ارومیه که عموماً بافت قدیمی شهر را شامل می‌شود فاقد پتانسیل ایجاد رواناب است و مشکل خاصی در مواقع بارش‌های شدید بهاری در این مناطق به وجود نمی‌آید. نتایج حاصل از تعیین اوزان نسبی به صورت شماتیک در شکل شماره ۷ و به صورت عددی در جدول شماره ۳ ارائه شده است.



شکل شماره ۷: الگوی وزن‌دار شده متغیرهای مؤثر بر رواناب و سیلاب در شهر ارومیه

بررسی بافت زون‌های گستره کلان شهر ارومیه در مناطق پرخطر نیز حکایت از این دارد که ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناسی شهر و گسترش واحدهای مارنی در آنها نیز می‌تواند به تشدید مشکل کمک کند و مسئولان و برنامه‌ریزان شهری باید بهسازی زمین در این مناطق و ایجاد کانال‌های جمع‌آوری و هدایت رواناب در این زون‌ها را در برنامه توسعه‌های آتی خود قرار دهند. بررسی‌های مقدماتی که در ادامه این پژوهش و به منظور مدیریت سیلاب و رواناب شهری و نیز برنامه‌ریزی برای استحصال این رواناب‌ها در گستره شهری ارومیه انجام گرفته است نشان می‌دهد می‌توان با احیای موقعیت قدیمی انهار سنتی که در حال حاضر به علت توسعه شهری از بین رفته‌اند مشکل مدیریت رواناب را تا حدود زیادی حل کرد و در مناطقی که امکان احیا وجود ندارد با ایجاد کانال‌های سرپوشیده مناسب در مسیر قبلی این انهار مدیریت مطلوب و اصولی را برای استحصال آب‌های جاری اعمال کرد. نکته دیگری که می‌تواند در کاهش خطرات ناشی از جریان رواناب و سیلاب در شهر نقش‌آفرینی کند بازنگری در طرح شبکه فاضلاب شهری است. شهر ارومیه در حال حاضر از دو شبکه فاضلاب بهره می‌برد. شبکه نخست در بافت قدیمی و مرکزی شهر گسترده شده است شامل کانال با کف بتنی و دیواره سنگی می‌شود که در زیر خیابان‌های قدیمی و اصلی شهر گسترده شده است و آب جاری خیابان‌ها را مدیریت می‌کند و در نهایت به رودخانه شهرچایی منتقل می‌کند. در این بخش از شهر به علت وجود چاه‌های جذبی متعدد در منازل مسکونی و حتی در کوچه‌های موجود در این بخش از شهر، تمامی آب باران فروریخته در بارش‌های شدید توسط این چاه‌ها و یا کانال‌های زیر خیابان‌ها مدیریت می‌شود و به منابع آب زیرزمینی و یا رودخانه شهرچایی تخلیه می‌گردد و مشکل حادی ایجاد نمی‌شود، ولی

بررسی بافت زون‌های گستره کلان شهر ارومیه در مناطق پرخطر نیز حکایت از این دارد که ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناسی شهر و گسترش واحدهای مارنی در آنها نیز می‌تواند به تشدید مشکل کمک کند و مسئولان و برنامه‌ریزان شهری باید بهسازی زمین در این مناطق و ایجاد کانال‌های جمع‌آوری و هدایت رواناب در این زون‌ها را در برنامه توسعه‌های آتی خود قرار دهند. بررسی‌های مقدماتی که در ادامه این پژوهش و به منظور مدیریت سیلاب و رواناب شهری و نیز برنامه‌ریزی برای استحصال این رواناب‌ها در گستره شهری ارومیه انجام گرفته است نشان می‌دهد می‌توان با احیای موقعیت قدیمی انهار سنتی که در حال حاضر به علت توسعه شهری از بین رفته‌اند مشکل مدیریت رواناب را تا حدود زیادی حل کرد و در مناطقی که امکان احیا وجود ندارد با ایجاد کانال‌های سرپوشیده مناسب در مسیر قبلی این انهار مدیریت مطلوب و اصولی را برای

- در زون‌های پرخطر کانال‌های مناسب و منطبق بر مسیر آبراهه‌های طبیعی برای جمع‌آوری و مدیریت رواناب‌ها ایجاد گردد.

- نسبت به تعریض کانال‌های موجود کنار خیابان‌ها در گستره زون‌های پرخطر اقدام گردد.

- از توسعه بیشتر شهری در گستره زون‌های پرخطر اجتناب گردد.

- زون‌های با خطر متوسط تحت بررسی و رفتارسنجی دائمی از دیدگاه تولید رواناب و سیلاب قرار گیرد.

- تا حد امکان توسعه ساخت و سازهای شهری به مناطق شمالی و شمال‌شرقی شهر منتقل گردد.

مشکل اصلی شهر در گستره زون‌های پرخطر (شکل شماره ۷) است. در آن بخش‌ها شبکه فاضلاب جدید شهر گسترش یافته است ولی به علت عدم توانایی کافی این شبکه در جمع‌آوری رواناب‌ها و نیز نبود چاه‌های جذبی در معابر و کوچه‌های موجود در این محلات مشکل جریان سیلاب و رواناب تشدید می‌گردد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود:

- زون‌های پرخطر که در خلال این پژوهش شناسایی شده‌اند دقیق‌تر بررسی شوند و شبکه فاضلاب شهری در آنها با دیدگاه جمع‌آوری رواناب‌ها مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرد.



## References

۱. Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A., Zevenbergen, C., ۲۰۰۷, *Advances in Urban Flood Management*, Taylor & Francis Group, London, UK.
۲. Barnard P.L., Foxgrover A.C., Elias E.P.L., Erikson L.H., Hein J.R., McGann M., Mizell K., Rosenbauer R.J., Swarzenski P.W., Takesue R.K., Wong F.L., Woodrow D.L., *Integration of bed characteristics, geochemical tracers, current measurements, and numerical modeling for assessing the provenance of beach sand in the San Francisco Bay Coastal System*, Marine Geology, Vol ۳۳۶, ۲۰۱۳, p. ۱۲۰-۱۴۵.
۳. Guo, Y., ۲۰۰۱, *Hydrological Design of Urban Flood Control Detention Ponds*, Journal of Hydrological Engineering.
۴. Handia, L., Tembo, J.M., Mwiindwa, C., ۲۰۰۳, *Potential of rainwater harvesting in urban Zambia*, Physics and Chemistry of the Earth, Vol ۲۸, pp. ۸۹۳-۸۹۶.
۵. Liaw, CH., Tsai, YL, *Optimum storage volume of rooftop rainwater harvesting systems for domestic use*, journal of the American water resources association, ۲۰۰۴
۶. Marcato G., Mantovani M., Pasuto A., Zabuski L., Borgatti L., ۲۰۱۲, *Monitoring, numerical modeling and hazard mitigation of the Moscardo landslide (Eastern Italian Alps)*, Engineering Geology, Volume ۱۲۸, p. ۹۵-۱۰۷.
۷. Momeni, M., ۲۰۰۷, *New Topics in Operations Research*, ۱<sup>st</sup> ed., University of Tehran Press, pp. ۳۲۶. [In Persian]
۸. Pandey, DN., Gupta, AK., Anderson, DM., ۲۰۰۳, *Rainwater harvesting as an adaptation to climate change*, current science, vol. ۸۵, no. ۱, ۱۰ July.
۹. Rutger, G., Fransje H., ۲۰۰۸, *Urban water in Japan*, Taylor & Francis Group, London, UK.
۱۰. Smith, D. I., ۱۹۹۴, *Flood Damage Estimation, A Review of Urban Stage-Damage Curves and Loss Functions*, Water SA, vol. ۲۰, pp. ۲۳۱-۲۳۸.
۱۱. Smith, D., ۱۹۸۸, *Actual and potential flood damage: a case study for urban Lismore, NSW, Australia*, Applied Geography.
۱۲. Abo-Sinna, M.A., Amer, A.H., ۲۰۰۵, *Extensions of topsis for Multi objective large-scale nonlinear programming problems*, Applied Mathematics and Computation, ۱۶۲, pp. ۲۴۳-۲۵۶.
۱۳. Deng, H., Yeh, C.H., Willis, R.J., ۲۰۰۰, *Intercompany comparison using modified topsis with objective weights*, Computers and Operations Research ۲۷, pp. ۹۶۳-۹۷۳.
۱۴. Ma, R. G., Yang, S.L., Li, T.Q., ۲۰۰۴, *Evaluation and decision making method of preference matter element based on topsis*, Journal of Traffic and Transportation Engineering, ۴, pp. ۷۶-۷۸.
۱۵. Hwang, C.L., Yoon, K., ۱۹۸۱, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, Berlin
۱۶. Sayadi, A.R., Monjezi, M., Hayaty, M., ۲۰۱۱, *Landslide risk assessment*

using Fuzzy TOPSIS method, Indian  
Landslide, ۴, pp. ۳۵-۳۸.

۱۷. Thevendran V, Mawddesley M. J  
(۲۰۰۴). *Perception of human risk  
factors in construction projects: an  
explanatory study*, International  
journal of project management; ۲۲:  
۱۳۱-۱۳۷.



# Investigation of flood-vulnerable areas in Urmia city in order to reduce hazards and damages

**Corresponding author: Mansour Rezaei Azizi**, M.Sc. student of Economic Geology, Department of Geology, Urmia University, Iran **Email:** manrezaei@yahoo.ca  
**Jafar Abdollahi Sharif**, Associated Prof., Department of Mining Engineering, Urmia University, Iran

**Received:** August 21, 2013

**Accepted:** May 6, 2014

## Abstract

**Background:** Conversion of runoff into flood can cause irreparable damage to urban water gathering channels. A 20-fold increased of Urmia, new constructions development on the urban areas over the past five decades particularly on hills constructions and vegetation loss enormously and replacing with asphalt made this area prone to flooding and rainfall runoff especially during heavy rains at rainy seasons.

According to the morphological specification, Urmia and its surroundings (about 200 Km<sup>2</sup>) were divided into different zones and investigated the torrents and vulnerable regions. Due to evaluation of more than 4000 data collected from Urmia Regional Water and Metrological Organization, about 22 million m<sup>3</sup> rain and snow come to city annually. Primary evaluation shows that about 6 million m<sup>3</sup> annually in spring seasons flow through the city.

**Methods:** In this study, zones prone to runoff in Urmia city, margin and residential areas have been identified. The flood-prone areas were determined by using TOPSIS method and obtaining data from Meteorology Organization of West Azerbaijan during heavy rain for a five-year return period by combining existing data.

**Findings:** According to this project, 12 separate regions are distinguished with respect to different morphological features. The studies showed that region No. 12 (about 707000 m<sup>2</sup>) with the ultimate point to ideal situation was the most flood-prone regions due to the cause and flow runoff and urban flooding; in a heavy spring rain about to 192 m<sup>3</sup>/min rainfall occurs, given the affecting coefficients much of it became runoff. Region No. 12 with about 1263000 m<sup>2</sup>, the closet point to ideal situation, was the most secure one on which heavy rain more than 220 m<sup>3</sup> was coming down.

**Conclusion:** Weighting to the effective parameters involved in runoff showed that the connecting angle between natural draining systems and urban water gathering channels on the one hand, and the indicator of the length of channels and significant difference in height on the other hand had the maximum and minimum weight (effect) on the vulnerable criterion respectively. Accordingly, the regions 4, 12, 10 and 16 with about 2, 4 Km<sup>2</sup> are the most vulnerable zones but on the other hand, the regions 12, 1, 2 and 3 are located on the low risk vulnerable zones. For this purpose, constructing the water gathering channels in urban areas, especially in the 4-16 and 1-16 regions is necessary to reduce the damages and hazards in these regions and also unpleasant sights in the heavy rains.

**Keywords:** run off, vulnerable regions, TOPSIS method, Urmia city