Vol.12, No.2, Summer 2023, pp.63-80 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.77571.1255 Open access

Spatial Analysis of Flood Risk with the Approach of Landuse Planning and Management in Urmia City

Hassan Ahmadzadeh[a*], Mostafa Davar panah[b]

[a] *Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran*

[b] *MA Student, Department of Geography and Urban Planning, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran*

Received: 7 July 2022 ***Revised: 29 August 2022*** ***Accepted: 5 September 2022***

Abstract

Floods are one of the most important natural hazards on earth. The purpose of this study was to prepare a flood hazard map in Urmia city and identify vulnerable areas. In order to prepare the flood hazard map of quantitative-explanatory study, 9 factors affecting the occurrence of this phenomenon were used, including elevation, slope, aspect, distance from the river, watercourse density, lithology, land use, precipitation and Topographic Wetness Index (TWI). To prepare information layers from ArcGIS and ENVI software and to weight the factors and determine the most important factor, analytic network process (ANP) was used. The weighting results of the factors showed that the two factors of slope and distance from the river have the highest weighting coefficients of 0.219 and 0.177, respectively, in the occurrence of floods in the region. Finally, by applying the weights of each of the factors, a flood hazard map was prepared. The final map showed that about 43.7% of the total area of the studied area is in high and very high classes in terms of flood hazard. These parts mostly include the vicinity of the secondary and main waterways that flow in the city. Failure to pay attention to hydrogeomorphological considerations such as encroaching on the legal boundaries of rivers and illegal constructions in their vicinity has increased the hazard of flooding in these parts. Behdari town and Beit al-Moghadad, Saadi and Roudaki, Shahed and Shahryar town, Sad Metri Street, and Golshahr are among these areas.

Keywords: Flood, Land Use, Network Analysis Process, GIS, Urmia

[*] . Corresponding author: Hassan Ahmadzadeh E-mail: h_ahmadzadeh@iaut.ac.ir Tel: + 989141052104

How to cite this Article: Ahmadzadeh, H., Davar Panah, M. (2023). Spatial analysis of flood risk with the approach of landuse planning and management in Urmia city. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(2), 63-80.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.77571.1255

Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77571.1255

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۸۰-۶۳

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی خطر وقوع سیل با رویکرد برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی شهر ارومیه

حسن احمدزاده[۱]- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
مصطفی داورپناه- دانش آموخته ارشد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۱۴

چکیده

سیلاب‌ها یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در سطح زمین هستند. هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه خطر وقوع سیل در شهر ارومیه و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر است. روش تحقیق در این پژوهش به لحاظ هدف کاربردی و ازلحاظ ماهیت، کمّی - تبیینی و توصیفی است. جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل از ۹ پارامتر مؤثر در وقوع این پدیده شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش و شاخص رطوبت توپوگرافیک استفاده شد. به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نرم‌افزار ArcGIS و ENVI و جهت وزن دهی معیارها و تعیین مهم‌ترین معیار از روش وزن دهی فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده گردید. نتایج وزن دهی معیارها نشان داد که دو پارامتر شیب و فاصله از رودخانه به ترتیب با ضرایب وزنی ۰/۲۱۹ و ۰/۱۷۷ بالاترین وزن را در وقوع سیل در سطح منطقه دارند. درنهایت با اعمال وزن‌های هر یک از معیارها نقشه خطر تهیه شد. نقشه نهایی نشان داد حدود ۴۳/۷ درصد از کل مساحت محدوده موردمطالعه در طبقات زیاد و خیلی زیاد از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند. این

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۰۵۲۱۰۴
Email: h_ahmadzadeh@iaut.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:
احمدزاده، حسن؛ داورپناه، مصطفی؛ ۱۴۰۲. تحلیل فضایی خطر وقوع سیل با رویکرد برنامه ریزی و مدیریت کاربری اراضی شهر ارومیه. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲). صص ۸۰-۶۳
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77571.1255

بخش‌ها بیشتر مجاورت آبراهه‌های فرعی و اصلی را که در سطح شهر جریان دارند، شامل می‌شوند. عدم توجه به ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی نظیر تجاوز به حریم قانونی رودخانه‌ها و ساخت‌وسازهای غیراصولی در مجاورت آن‌ها خطر سیل گرفتگی در این بخش‌ها را افزایش داده است. شهرک بهداری و بیت‌المقدس و محله‌های سعدی و رودکی، شهرک شاهد و شهریار و خیابان صد متری و گلشهر ازجمله این مناطق هستند.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، کاربری اراضی، فرایند تحلیل شبکه‌ای، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شهر ارومیه.

۱- مقدمه

افزایش وقوع و خسارات ناشی از سیل در حوضه‌های آبریز ایران در سال‌های اخیر، تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی از نظر پتانسیل سیل‌خیزی می‌تواند در مدیریت بهتر حوضه‌ها مؤثر باشد (شعبانی و همکاران: ۱۳۹۵). کنترل و جمع‌آوری سیلاب‌ها از مهم‌ترین و اساسی‌ترین موضوعات در مدیریت حوضه آبریز است که در شهرها به دلیل توسعه شهری و تغییرات قابل‌توجه در الگوی طبیعی حوضه آبریز، اهمیت بیشتری می‌یابد. امروزه رویکرد مدرن در مدیریت سیلاب شهری با تکیه بر روش‌هایی که بیشترین تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی که اصطلاحاً روش‌های توسعه کم اثر نامیده می‌شود، پیشنهاد می‌شود. در کشور ما نیز به دلیل رشد شهرنشینی و شکل‌گیری کلان‌شهرها، مسئله مدیریت سیلاب شهری هر روزه اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (پناهی و اسماعیلی، ۱۳۹۷). طی دو دههٔ گذشته تشدید سیر صعودی خسارت‌های ناشی از سیل، سبب شده که آرزوی دیرینه درباره حل قطعی مسئله سیل و رواناب‌ها، جای خود را به واقع‌گرایی و درک این واقعیت دهد که همیشه نمی‌توان در مهار سیلاب‌ها موفق بود، بلکه باید تلاش کرد تا پیامدهای زیان‌بار و مخرب آن را تا حد امکان کاهش داد (نصری، ۱۳۸۸). سیلاب‌ها نه‌تنها در کشورهای درحال‌توسعه، بلکه در کشورهای توسعه یافته و پیشرفته نیز باعث ایجاد خسارات مالی و جانی می‌شوند و آمارها نیز گویای روند رو به رشد چنین حوادثی می‌باشند (قنواتی، ۱۳۹۲). عوامل متعددی در وقوع سیلاب نقش دارند. علاوه بر شرایط محیط طبیعی، فعالیت‌های انسانی و عدم برنامه‌ریزی صحیح نیز باعث ایجاد و افزایش فراوانی و حجم و همچنین خسارات مالی و جانی ناشی از سیلاب می‌شود (قنواتی، ۱۳۹۲). بنابراین لازم است قبل از گسترش بی‌رویه شهرها و تغییر کاربری اراضی، تمهیدات لازم برای جلوگیری و یا کاهش خسارات ناشی از سیلاب اندیشیده شود (طاهری بهبهانی و بزرگ زاده، ۱۳۷۵). رشد جمعیت، توسعه شهری و صنعتی شدن جوامع، تأثیرات نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه آبریز مربوطه می‌گذارد و موجب تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت پایاب، کاهش جریان‌های پایه و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌گردد (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵). سطوح روکش شده شهر، بام ساختمان‌ها و سطوح خیابان‌ها و پارکینگ‌ها همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیه آب‌های زیرزمینی عمل می‌کند و سبب می‌شود که بخش بیشتری از بارندگی

به رواناب‌های سطحی تبدیل شود (اصغری مقدم، ١٣٨٤). عمده‌ترین پیامد توسعه شهری از منظر مدیریت رواناب، کاهش سطوح نفوذپذیر حوضه و در نتیجه کاهش زمان حرکت آب بر روی این سطوح و افزایش حجم رواناب و اوج آبدهی است (پناهی و اسماعیلی، ١٣٩٧). آسیب‌های ناشی از سیل در شهرها عمدتاً به دلیل قرارگیری بخش‌هایی از مناطق قدیمی شهر در حاشیه رودخانه‌ها، تغییر الگوی زهکشی طبیعی حوضه‌ها به دلیل گسترش فیزیکی شهر و تخریب پوشش گیاهی و منابع طبیعی در حوضه‌های بالادست شهری است (کرم و درخشان، ١٣٩١). بررسی آمار و اطلاعات خسارت‌های ناشی از وقوع سیل در ایران و جهان، نشان‌دهنده گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف است (وهابی، ١٣٨٥). روند افزایش سیل در ٥ دهه گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ٨٠ نسبت به دهه ٤٠ تقریباً ١٠ برابر شده است و به‌عبارت‌دیگر ٩٠٠ درصد افزایش یافته است (محمودزاده و باکوئی، ١٣٩٧). مهار طغیان و سیلاب مستلزم آشنایی مطلوب به نحوه عملکرد سیستم هیدرولوژیک منطقه است (رامشت، ١٣٨٥). اولین گام در جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل گیر و پهنه‌بندی این مناطق ازلحاظ میزان خطر سیل گیری است تا بتوان بر اساس نتایج به دست آمده، درباره چگونگی استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، خدماتی و مکان‌یابی سکونتگاه‌های شهری و روستایی تصمیم‌گیری اصولی و بهینه کرده و آثار زیان‌بار ناشی از سیل را تا حد ممکن به حداقل رسانید (احمدزاده و همکاران، ١٣٩٤)؛ بنابراین مدل‌سازی رفتار سیل و تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل‌خیزی یکی از مهم‌ترین اهداف محققان در زمینه بلایای طبیعی است (فنیسیا و همکاران: ٢٠١٣)[1]. تهیه نقشه خطر سیل در واقع ابزاری اساسی برای مدیریت کاهش خطرهای سیل است و ابزاری قانونی در دست دولت و مسئولان برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی و برنامه‌های توسعه هم‌زمان با کاهش خطرهای سیل و حفاظت محیط‌زیست است (احمدزاده و همکاران ١٣٩٤). نقشه خطر سیلاب می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی مسیر توسعه آینده شهر و همچنین شناخت نواحی که توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زهکشی سیلاب مورد نیاز است استفاده شود (بوچل و همکاران: ٢٠٠٦)[2].

پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با خطر وقوع سیلاب در ایران و جهان انجام گرفته که ازجمله آن‌ها می‌توان به قهرودی تالی و همکاران (١٣٩١)، احمدزاده و همکاران (١٣٩٤)، مختاری هشی و رحیمی (١٣٩٥)، رستمی و کاظمی (١٣٩٨)، آزادطلب و همکاران (١٣٩٩) حسن‌زاده و همکاران (١٤٠٠)، ماتوسامی و همکاران (٢٠٢١)، اشکرافت و همکاران[3] (٢٠١٩) اشاره نمود.

گسترش سریع و بی‌رویه شهر ارومیه در سال‌های اخیر و به دنبال آن افزایش سطوح بتنی و آسفالت در سطح شهر، خطر سیل گرفتگی را به دلیل افزایش سرعت شکل‌گیری رواناب‌های سطحی به‌مراتب افزایش داده است.

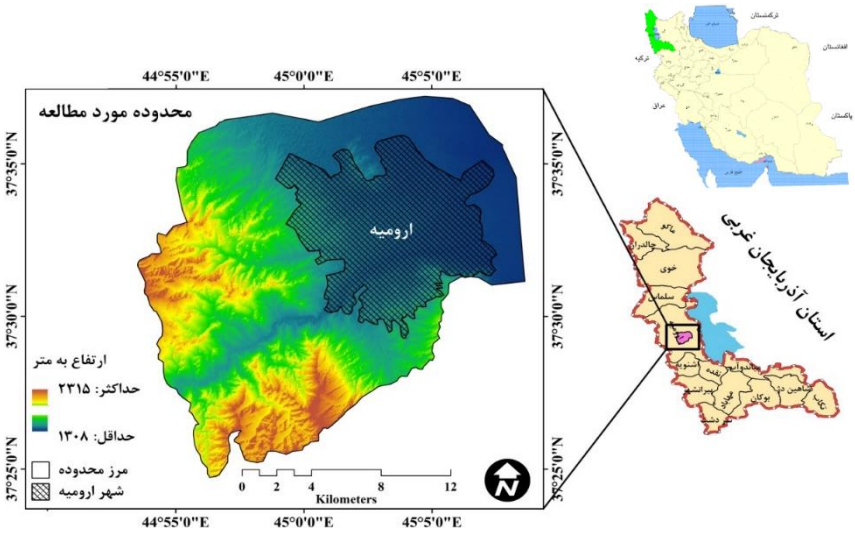
1 Fenicia, et al
2 Büchele, et al
3 Ashcroft, et al

همه‌ساله وقوع سیل و آب‌گرفتگی در سطح شهر ارومیه مشکلات فراوانی را برای شهروندان ایجاد می‌کند. یکی از دلایل اصلی وقوع سیلاب در شهر ارومیه گسترش انواع کاربری‌های اراضی شهری بر روی سطوح شیب‌دار بدون توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب است؛ بنابراین در تحقیق حاضر تلاش شده است تا با استفاده از پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب و مدل تحلیل فرایند شبکه‌ای و همچنین قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه خطر وقوع سیل در شهر ارومیه جهت مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه فضایی کاربری‌های اراضی شهری در آینده تهیه گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

شهر ارومیه به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران، مرکز شهرستان ارومیه و مرکز استان آذربایجان غربی است که در مختصات جغرافیایی ٤٤ درجه و ٥٩ دقیقه تا ٤٥ درجه و ٠٧ دقیقه طول شرقی و ٣٧ درجه و ٣٠ دقیقه تا ٣٧ درجه و ٣٥ دقیقه عرض شمالی در دشتی به طول ٧٠ کیلومتر و عرض ٣٠ کیلومتر جای گرفته است (شکل ١). جمعیت این شهر طبق سرشماری سال ١٣٩٥ با ٧٣٦٢٢٤ نفر است. متوسط بارندگی سالانه منطقه به‌صورت تقریبی بین ٣٥٠ تا ٤٠٠ میلی‌متر در سال است. منطقه‌ای که شهر ارومیه در داخل آن قرار دارد، پهنه‌ای کوهستانی با ارتفاع ١٣٠٠ تا ٣٠٠٠ متر از سطح دریاست که تقریباً از مرز ترکیه شروع‌شده و به‌موازات حرکت از غرب به شرق از ارتفاع آن کاسته می‌شود تا به اراضی پست دریاچه ارومیه منتهی می‌شود. شهر ارومیه در حدفاصل بخش کوهستانی و هموار این پهنه و در داخل دشت ارومیه شکل گرفته است که ارتفاعاتی چون کوه سیر، کوه قیزقلعه، کوه جهودها، کوه چهل مر شهیدان، کوه ماه، کوه علی پنجه سی و کوه علی ایمان آن را احاطه کرده‌اند. درعین‌حال اطراف ارومیه پر از کشتزارها و باغ‌های انگور و سیب است که تا اراضی پست و شور حاشیه دریاچه ارومیه ادامه می‌یابد (طرح تفصیلی ارومیه ١٣٩٨).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه

۲-۲- روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش به لحاظ هدف کاربردی و ازلحاظ ماهیت، کمّی - تبیینی و توصیفی است. در تحقیق حاضر از ۹ پارامتر مؤثر جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل در محدوده موردمطالعه استفاده شده است. این پارامترها عبارت‌اند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، تراکم آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافیک، لیتولوژی، کاربری اراضی و بارش.

در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، نقشه خطر وقوع سیل در شهر ارومیه تهیه شده و مناطقی که در معرض خطر سیل گرفتگی قرار دارند، شناسایی گردد. لذا پس از تعیین وزن نهایی هر یک از پارامترها، نقشه نهایی خطر وقوع سیلاب از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی هر یک از پارامترها با وزن‌های نهایی حاصل از مدل ANP تهیه شد (شکل ٤). نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب از طریق رابطه زیر در محیط نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد:

رابطه (۱)

همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی = (شیب × ۰/۲۱۹) + (فاصله از رودخانه × ۰/۱۷۷) + (بارش × ۰/۱۷۵) + (تراکم آبراهه × ۰/۱٤۸) + (کاربری اراضی ×۰/۱۰۳) + (ارتفاع ×۰/۰٦۸) + (لیتولوژی × ۰/۰٤٤) + (جهت شیب × ۰/۰۳۱) + (شاخص رطوبت توپوگرافیک × ۰/۰۲۹)

۳- یافته‌ها و نتایج

۳-۱- لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی

۳-۱-۱- ارتفاع

با کاهش ارتفاع احتمال خطر سیل گیری افزایش می‌یابد؛ یعنی ارتفاع با سیل گیری رابطه معکوس دارد (قنواتی، ۱۳۹۲)؛ بنابراین مناطقی که در پایین‌دست ارتفاعات قرار دارند از پتانسیل سیل گیری بالایی برخوردار هستند. نقشه طبقات ارتفاعی محدوده موردمطالعه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر تهیه گردید (شکل ۲). با توجه به نقشه تهیه شده، محدوده موردمطالعه به لحاظ ارتفاعی دارای حداکثر ارتفاع ۲۳۱۵ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۳۰۸ متر از سطح دریا می‌باشد. بیش از ۹۰ درصد محدوده شهر ارومیه در طبقه ارتفاعی ١٤٤٤ – ۱۳۰۸ متر قرار دارد که بیانگر سیل گیر بودن این مناطق به دلیل تمرکز رواناب‌های سطحی شکل گرفته در دامنه‌های اطراف می‌باشد؛ بنابراین ضرورت مدیریت رواناب‌های سطحی منطقه بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

۳-۱-۲- شیب

شیب منطقه اثری محسوس و قابل توجه در جریان آب‌های سطحی دارد. با افزایش شیب عمومی منطقه، فرصت لازم برای نفوذ کاهش یافته و می‌توان گفت که با افزایش شیب منطقه، زمان تمرکز کاهش پیدا می‌کند. جهت تهیه نقشه شیب محدوده موردمطالعه از لایه DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شده و نقشه شیب در محیط نرم‌افزار ArcGIS و در ۵ طبقه تهیه گردید (شکل ۲). نقشه شیب منطقه نشان می‌دهد که شهر ارومیه به لحاظ شیب توپوگرافی در منطقه نسبتاً هموار گسترش پیدا کرده است؛ به‌طوری‌که اکثر مناطق شهر دارای شیب صفر تا ۱۰ درجه می‌باشند. این امر نشان‌دهنده سیل گیر بودن محدوده شهری ارومیه می‌باشد.

۳-۱-۳- جهت شیب

نقش اصلی جهت شیب در مقدار دریافت نور خورشید و اثرات مرتبط با آن از قبیل شکل‌گیری اقلیم‌های محلی یا موضعی، سرعت ذوب برف، جریان‌های رواناب بهاری ناشی از بارش‌ها و ذوب همزمان برف‌های متراکم زمستانه می‌باشد. نقشه جهت شیب محدوده موردمطالعه در ۹ جهت (٤ جهت اصلی، ٤ جهت فرعی و مناطق مسطح) با استفاده از لایه DEM در نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید.

۳-۱-٤- فاصله از رودخانه

فاصله از رودخانه به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در پهنه‌بندی و تهیه نقشه خطر سیلاب به شمار می‌رود. سیلاب‌ها در فواصل کم از رودخانه‌ها از فراوانی و قدرت حمل بالاتری برخوردار می‌باشند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده از بسترهای سیلابی کناره سواحل رودخانه‌ها که دارای خاک حاصلخیزی هستند، به‌منظور فعالیت‌های

کشاورزی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بااین‌وجود، احداث مسکن، تأسیسات، کارگاه‌ها و صنایع که با صرف سرمایه‌های بسیار به انجام می‌رسد و یا دارای اهمیت استراتژیک هستند امری است که چندان منطقی به نظر نمی‌آید. جاذبه‌های دشت‌های سیلابی برای فعالیت‌های مختلف از یک سو و عدم تعیین حریم رودخانه‌ها حداقل در کشورهای درحال‌توسعه و عدم برنامه‌ریزی‌های مناسب برای هدایت این‌گونه فعالیت‌ها از سوی دیگر باعث شده است که حریم رودخانه‌ها و حتی بستر مسیل‌ها توسط انسان اشغال گردد. غافل از این‌که روزی رخداد یک سیلاب ادواری همه‌چیز را تخریب خواهد نمود (غیور، ۱۳۷۵). نقشه فاصله از رودخانه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و اعمال توابع Distance در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. با توجه به نقشه تهیه شده مناطق پیرامون مسیل‌ها با فواصل ۲۵۰ متری در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد.

۳-۱-۵- تراکم آبراهه

تراکم آبراهه بیانگر توزیع آبراهه‌ها در واحد مساحت می‌باشد. تراکم زهکشی معیار مهمی در تعیین شدت سیلاب‌ها، مقادیر بار رسوبی، بیلان آب در کل سطح منطقه و به‌طورکلی در نحوه فعالیت فرایندهای رواناب‌های سطحی محسوب می‌شود (زاهدی و بیاتی خطیبی، ۱۳۸۷). هر چه قدر میزان تراکم آبراهه افزایش پیدا می‌کند، به دنبال آن رواناب نیز زیادتر می‌گردد. به همین دلیل تراکم آبراهه مشخصه رواناب در سطح منطقه به شمار می‌آید. به‌بیان‌دیگر در مناطقی که از تراکم آبراهه بالاتری برخوردار هستند واکنش حوضه نسبت به بارش سریع‌تر رخ داده و جریانات سطحی با آهنگ بالاتری شکل می‌گیرند و بنابراین سیلاب بیشتری را در پی خواهد داشت (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۲). نقشه تراکم آبراهه منطقه نشان می‌دهد شهر در گذر زمان بر روی شعبات ریز و درشت آبراهه گسترش یافته است ولی به مسیر عبور رواناب توجهی نشده است.

۳-۱-۶- شاخص رطوبت توپوگرافیک

شاخص رطوبت توپوگرافیک یا رطوبت خاک که برای توصیف الگوی فضایی رطوبت خاک استفاده می‌شود، از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$TWI= LN(As/tan\beta)$$ رابطه (۲)

که در آن AS مساحت حوضه و tanβ درجه شیب می‌باشد. از شاخص رطوبت توپوگرافی می‌توان برای ارزیابی الگوی فضایی رطوبت خاک و تغییرات رخ‌داده در بافت خاک به دلیل فرسایش استفاده کرد (Schmidt and Persson, 2003: 185). این شاخص عموماً برای تعیین کنترل توپوگرافی روی فرایندهای هیدرولوژیکی استفاده

می‌شود (سورنسن و همکاران: ۲۰۰۶)[1]. با توجه به نقشه به دست آمده برای منطقه، رطوبت توپوگرافیکی در محدوده شهر به دلیل تجمع رطوبت اطراف بیشتر از نقاط پیرامونی آن می‌باشد.

۳-۱-۷- لیتولوژی

زمین‌شناسی منطقه نقش بسیار مهمی در تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت سیلاب بازی می‌کند زیرا بسیاری از واحدهای زمین‌شناسی نسبت به فرایندهای هیدرولوژیکی فعال هستند (میلر و همکاران: ۱۹۹۰)[2]. خاک یا سنگ قابل‌نفوذ، شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و تخلیه‌ی آن را به داخل آبراهه اصلی به تأخیر می‌اندازد؛ ازاین‌رو رواناب سطحی کاهش می‌یابد. حوضه‌های با سنگ بستر یا خاک به نسبت غیر قابل‌نفوذ، حجم بالایی از رواناب سطحی ایجاد می‌کنند (گارد: ۲۰۰۶)[3]. به‌منظور تهیه لایه لیتولوژی منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگرفته از سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده گردید. نقشه تهیه شده نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد محدوده شهر ارومیه بر روی پادگانه‌ها و نهشته‌های آبرفتی جوان شکل گرفته است. این سازندها از ظرفیت نفوذپذیری بالایی برخوردار هستند، اما به دلیل تغییرات ایجاد شده توسط انسان و توسعه ساخت‌وساز بر روی این سازندها و افزایش سطوح نفوذناپذیر مثل پوشش بتنی و آسفالت، ظرفیت نفوذپذیری این مناطق کم شده و در مقابل سرعت شکل‌گیری رواناب‌های سطحی و در نتیجه وقوع سیل افزایش پیدا کرده است.

۳-۱-۸- کاربری اراضی

یکی از معمول‌ترین و عمده‌ترین تغییراتی که به‌واسطه شهرسازی در سطح زمین‌ها صورت می‌گیرد، تبدیل زمین‌های نفوذپذیر همچون جنگل، باغات و فضای سبز به زمین‌های نفوذناپذیر همچون جاده، خیابان، سطوح سنگفرش، ساختمان‌ها و... می‌باشد (عباسی یوسف‌آباد، ۱۳۹۳). تبدیل کاربری اراضی به کاربری‌های نامناسب عمدتاً بر روی فرایندهای هیدرولوژیکی تأثیر گذاشته و باعث افزایش رواناب در حوضه آبریز می‌شود. برخی سطوح از قبیل نواحی شهری و بایر نیز ظرفیت بالایی در ایجاد رواناب‌های سطحی دارند. زمین‌هایی با کاربری مسکونی به دلیل آن که بیشتر دارای سطوح سنگی و آسفالت هستند و نیز سطح صاف و سخت آن‌ها باعث می‌شود که رواناب در این مناطق از شدت جریان بالایی برخوردار باشند. در زمین‌های مرتعی وضعیت برعکس می‌گردد و پوشش گیاهی و لاشبرگ ها باعث تأخیر در تمرکز جریان و در نتیجه کاهش سیل‌خیزی می‌شوند. این لایه بیشتر در تولید رواناب تأثیر دارد به این صورت که با کاهش سرعت جریان باعث افزایش نفوذ می‌شود (قنواتی وهمکاران، ۱۳۹۳). در این تحقیق جهت تهیه نقشه کاربری اراضی محدوده موردمطالعه از تصویر لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به

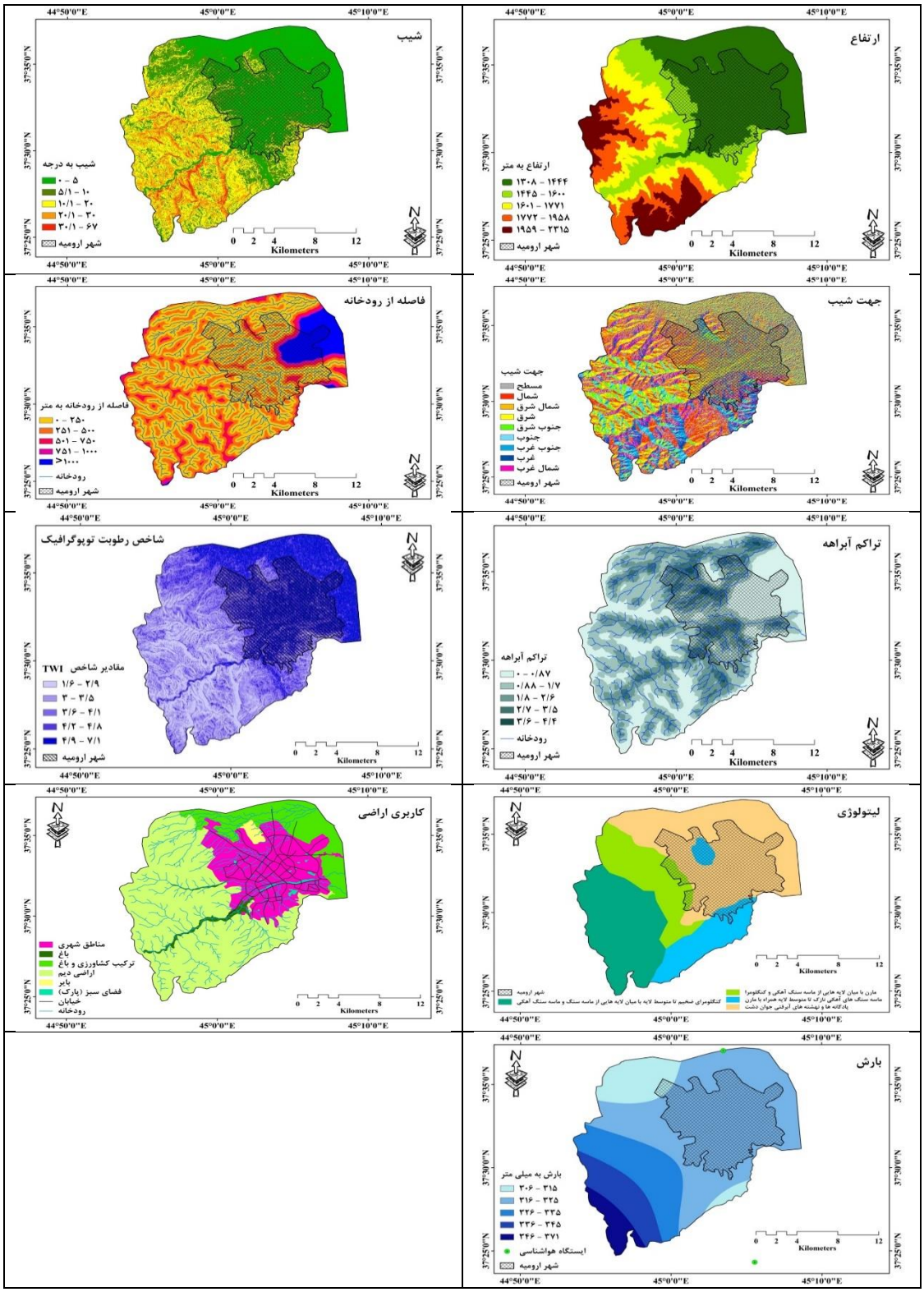
1 Sorensen et al
2 Miller et al
3 Garde

خرداد سال ۱٤۰۰ استفاده گردید. بدین صورت که با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال نقشه کاربری اراضی در ۷ کلاس شامل کاربری‌های مناطق شهری، باغ، بایر، ترکیب کشاورزی و باغ، اراضی دیم، خیابان و رودخانه تهیه شد. نقشه کاربری اراضی منطقه نشان می‌دهد که افزایش ساخت‌وساز در اطراف مسیل‌ها و تجاوز به حریم آبراهه‌هایی که از شهر می‌گذرند، بر روی فرایندهای هیدرلوژیکی منطقه تأثیر گذاشته و خطر سیل گرفتگی در این مناطق را افزایش می‌دهد.

۳-۱-۹- بارش

در بین تمامی عوامل تأثیرگذار بر وقوع سیل شدت و مدت بارندگی که دو عامل اقلیمی هستند، بیشترین تأثیر را در ایجاد این پدیده دارند (فیروزی و همکاران، ۱۳۹۱). نقشه بارندگی منطقه بر اساس میانگین داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک (ارومیه) و باران‌سنجی موجود در داخل و خارج از محدوده مطالعاتی (نازلو، باراندوز و مرگور) با استفاده از روش درون‌یابی وزن دهی بر اساس فاصله معکوس (IDW)[1] تهیه و به پنج کلاس تقسیم‌بندی شد. محدوده موردمطالعه از بارندگی مناسبی در طول سال برخوردار می‌باشد. با توجه به اینکه رواناب‌های سطحی شکل گرفته در ارتفاعات و دامنه‌های اطراف شهر ارومیه از داخل شهر می‌گذرند، به دلیل عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و تجاوز به حریم مسیل‌ها احتمال خطر سیل گرفتگی بخش‌های مختلف شهر بعد از هر بارندگی افزایش می‌یابد.

1 Inverse distance weighting



شکل ۲- نقشه‌های پارامترهای ۹ گانه مؤثر در وقوع سیل که درتحقیق حاضر مورد استفاده قرارگرفته‌اند

۳-۲- محاسبه وزن پارامترها با استفاده از مدل ANP

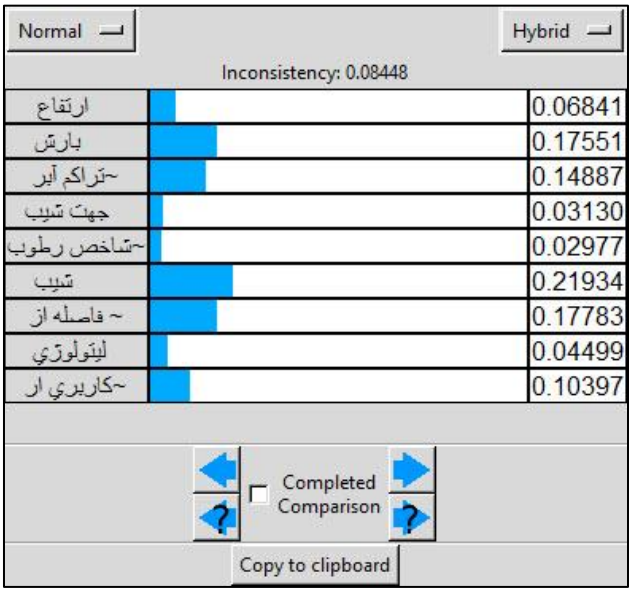
در تحقیق حاضر ۹ پارامتر مؤثر در وقوع سیل به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در محدوده موردمطالعه مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب ابتدا تمامی این پارامترها به‌صورت لایه‌های رستری در قالب نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. هر کدام از این پارامترها از اثرگذاری مختلفی بر وقوع پدیده سیلاب برخوردار هستند و بنابراین ضرورت دارد که وزن آن‌ها محاسبه گردد. در تحقیق حاضر به‌منظور محاسبه وزن هر یک از پارامترها از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شد. جهت سهولت و بهبود عملکرد محاسبات نرم‌افزار Super Decisions برای اجرای مدل تحقیق به کار گرفته شد.

۳-۳- مقایسه زوجی پارامترها

در فرآیند تحلیل شبکه‌ای، لایه‌ای که بیشترین تأثیر را در تعیین هدف دارد بیشترین وزن را به خود می‌گیرد (مختاری و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به هدف این تحقیق که تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در سطح شهر ارومیه و ارتفاعات و دامنه‌های اطراف آن می‌باشد، لذا پارامترهای تأثیرگذار در وقوع این پدیده به‌عنوان مهم‌ترین عوامل برای رسیدن به هدف نهایی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین برای پارامترهای بارش، فاصله از رودخانه، شیب و کاربری اراضی با توجه به اهمیت آن‌ها در شکل‌گیری رواناب‌های سطحی و وقوع سیل، بیشترین وزن در نظر گرفته شد. مقایسه زوجی پارامترها با تکمیل پرسشنامه طبق نظر کارشناسان انجام شده است.

۳-٤-تعیین وزن نهایی پارامترها

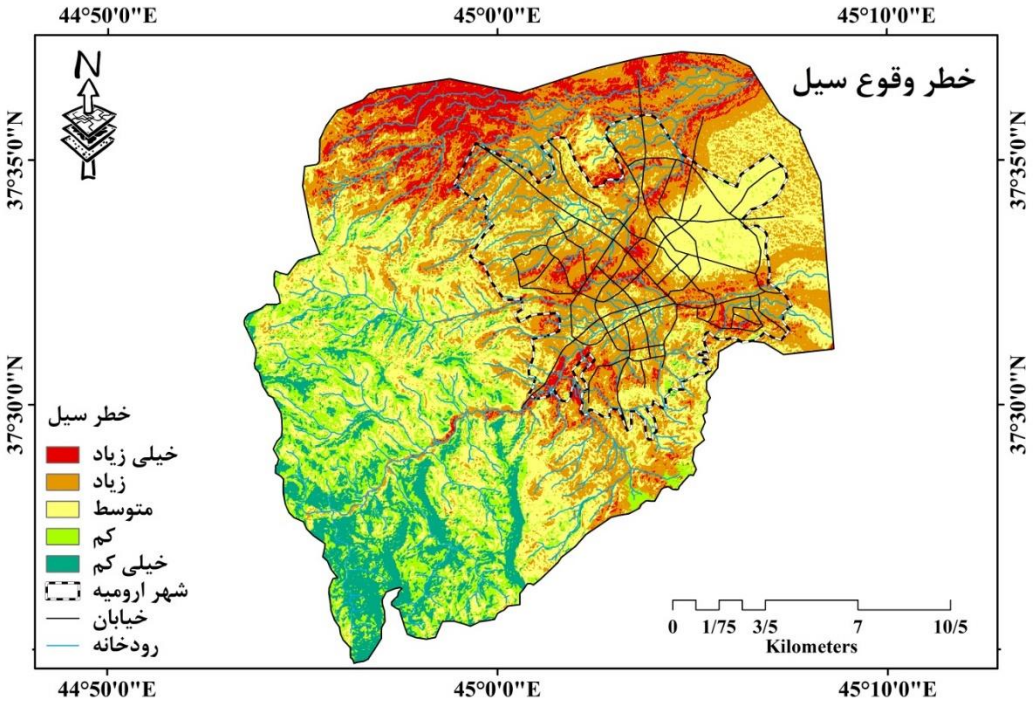
پس از انجام مقایسات زوجی در مرحله آخر ضریب تأثیر هر یک از پارامترها مشخص شد (شکل ۳). نتایج وزن دهی نشان می‌دهد که پارامتر شیب با ضریب ۰/۲۱۹ بالاترین وزن را در میان سایر پارامترها داشته که بیانگر اهمیت بالای این پارامتر در وقوع سیل در سطح منطقه می‌باشد. پارامترهای فاصله از رودخانه با ضریب ۰/۱۷۷ و بارش با ضریب ۰/۱۷۵ در رتبه‌های بعدی از نظر اثرگذاری بر وقوع سیل در منطقه موردمطالعه قرار دارند.



شکل ۳- ضریب اهمیت پارامترها

۳-۵- تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل

بر اساس پارامترهای مؤثر بر رخداد سیلاب، محدوده موردمطالعه از نظر پتانسیل وقوع خطر سیل در پنج طبقه از خطر خیلی زیاد تا خیلی کم تقسیم گردید. نقشه نهایی نشان می‌دهد که مناطق با خطر بالا بیشتر بر سطوح هموار در پایین‌دست منطقه، پیرامون رودخانه اصلی منطقه (رودخانه شهرچای) و آبراهه‌های فرعی که از شهر ارومیه جریان پیدا می‌کنند، منطبق هستند. به‌طورکلی می‌توان گفت که مناطق پایین‌دست محدوده موردمطالعه به جهت برخورداری از ارتفاع پایین، شیب خیلی کم و تمرکز آب‌های سطحی ارتفاعات منطقه در این بخش‌ها از آسیب‌پذیری بیشتری در هنگام وقوع سیل برخوردار هستند.



شکل ٤- نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل

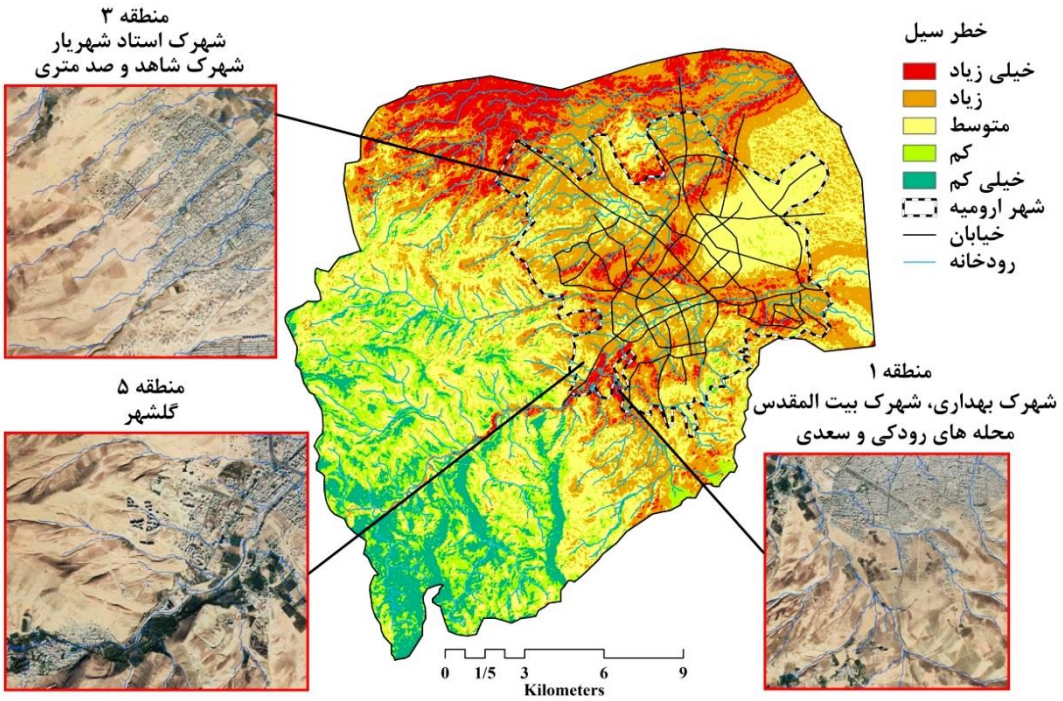
مساحت هر یک از طبقات پنج‌گانه در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج بررسی مساحت هر یک از طبقات خطر وقوع سیل نشان می‌دهد که ۱٤۷ کیلومترمربع از مساحت منطقه دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد، ۷۳ کیلومترمربع پتانسیل کم و خیلی کم و ۱۱٤ کیلومترمربع دارای پتانسیل متوسط می‌باشد.

جدول ۱- مساحت و درصد مساحت پهنه‌های خطر وقوع سیل

پهنه‌های خطر وقوع سیل	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت
خیلی کم	۳۱/٤	۹/٤
کم	٤۲/٥	۱۲/۷
متوسط	۱۱٤/۷	۳٤/۲
زیاد	۱۱٥	۳٤/۲
خیلی زیاد	۳۲	۹/٥
جمع	۳۳٥/٦	۱۰۰

بررسی میزان رواناب‌های سطوح طبیعی به دلیل تأثیرات متقابل بین توپوگرافی، عمق آب زیرزمینی، شدت و تداوم بارش و خصوصیات نفوذپذیری که به‌وسیله خاک و پوشش گیاهی تعدیل می‌شوند، پیچیده‌تر است؛ زیرا تمام

سطح حوضه در تولید رواناب نقش یکسانی ندارند. به‌این‌ترتیب، نقش شرایط اولیه حوضه در پتانسیل تولید رواناب اهمیت پیدا می‌کند (Chow and et al; 1988). در محدوده موردمطالعه وجود گستره وسیعی از سطوح نفوذناپذیر (از قبیل پوشش آسفالت خیابان‌ها) و شیب نسبتاً زیاد برخی بخش‌ها مثل شهرک استاد شهریار و شهرک اندیشه شرایط ایجاد رواناب‌های سطحی و ایجاد سیل‌های مخرب را هنگام رگبارهای تند و زودگذر فراهم می‌آورد. بررسی نقشه نهایی نشان می‌دهد که گسترش بخش‌هایی از شهر ارومیه به سمت شمال غرب منطقه و عدم توجه به ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی از قبیل توجه به شیب توپوگرافی منطقه، رعایت فاصله از حریم قانونی آبراهه‌ها و... پهنه‌های زیادی از مناطق ٤ و ٥ در طبقات خیلی زیاد از نظر پتانسیل وقوع سیل قرار گرفته‌اند (شکل ٥). توسعه فیزیکی شهر به این نواحی و افزایش ساخت‌وسازهای بی‌رویه در حاشیه و کناره آبراهه‌ها، نه‌تنها حریم این آبراهه‌ها را بسیار آسیب‌پذیر کرده، هم‌چنین باعث تهدید شهر توسط رواناب‌ها و سیلاب‌های احتمالی در آینده شده است.



شکل ٥- مناطق در معرض خطر سیل گرفتگی در سطح شهر ارومیه

٤- جمع‌بندی

گسترش سریع و روزافزون شهر ارومیه و توسعه فضایی کاربری‌های اراضی شهری به سمت مناطق کوهپایه‌ای، مجاورت آبراهه‌ها و اراضی شیب‌دار باعث شده است که ارومیه از نظر وقوع سیلاب بسیار آسیب‌پذیر باشد. زیر حوضه‌های کوچک و بزرگ متعددی در سه قسمت غربی، شمال غربی و جنوب شهر ارومیه قرار دارد که تمامی

رواناب‌های سطحی شکل گرفته در این زیر حوضه‌ها به تبعیت از شیب توپوگرافی منطقه به سمت شهر ارومیه جریان پیدا می‌کنند. گسترش روزافزون شهر ارومیه به سمت خروجی این زیر حوضه‌ها و توسعه ساخت‌وسازهای غیراصولی و تجاوز به حریم آبراهه‌های فرعی و اصلی منطقه، خطر سیل گرفتگی را بیش از هر زمان دیگری در این شهر افزایش داده است. به‌عنوان‌مثال خیابان صد متری در منطقه ۳ و ساخت‌وسازهای انجام شده در دو طرف این خیابان چنین وضعیتی دارد. توسعه فضایی کاربری‌های اراضی شهری در این قسمت از شهر به‌صورت کاملاً مشهود عدم وجود برنامه‌ریزی دقیق و مناسب جهت توسعه فیزیکی شهر و بی‌توجهی به مخاطرات ناشی از وقوع سیل را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در بخش‌هایی از مسیر آبراهه جاری در این قسمت از شهر، ساختمان‌ها فقط به فاصله چندین متر از کانال اصلی رودخانه قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد وضعیت این ساختمان‌ها به هنگام طغیان رودخانه از نظر میزان خسارات وارده بسیار بحرانی خواهد بود؛ بنابراین ضرورت دارد که بازنگری جدی در برنامه‌های توسعه شهری صورت گرفته انجام پذیرد و نسبت به ایمن‌سازی مسیر رودخانه اقدامات لازم صورت گیرد. از نمونه‌های دیگر که چنین وضعیتی دارند می‌توان به ساختمان‌های واقع در اطراف خیابان عطار، جاده میرا و دلپسند اشاره کرد که بدون توجه به ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی حوضه آبریز بالادست این منطقه و با تراکم بالا در مسیر رودخانه اصلی ساخته شده‌اند. به دلیل افزایش ساخت‌وساز و شهرسازی در این بخش‌ها که شیب نسبتاً بالایی نیز دارند، سطوح نفوذناپذیر افزایش پیدا کرده که این امر می‌تواند باعث افزایش تولید رواناب گردد. از طرف دیگر، رودخانه‌ای هم که در این قسمت از شهر ارومیه جریان پیدا می‌کند حوضه آبریز نسبتاً بزرگی را زهکشی می‌کند؛ بنابراین حجم آبی که از این رودخانه وارد شهر می‌شود بسیار زیاد بوده و در صورت عدم مدیریت مناسب جهت تخلیه آن به بیرون شهر، می‌تواند فاجعه‌بار باشد. از مناطق دیگری که خطرپذیری بالایی را از نظر وقوع سیل دارند می‌توان به شهرک بهداری و بیت‌المقدس و محله‌های سعدی و رودکی اشاره کرد. شیب توپوگرافی این مناطق نسبت به سایر بخش‌های شهر نسبتاً زیاد می‌باشد و در نتیجه پتانسیل تولید رواناب به‌طور طبیعی در این مناطق بالاست. گسترش فیزیکی شهر به این قسمت و افزایش ساخت‌وساز در این بخش‌ها و تبدیل زمین‌ها به سطوح غیرقابل نفوذ سرعت شکل‌گیری رواناب‌های سطحی را به‌مراتب بیشتر کرده و خطر سیل گرفتگی معابر و تأسیسات را بالا برده است. همه این موارد نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی به‌منظور توسعه شهر بدون توجه به ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی منطقه صورت گرفته است؛ چراکه این توسعه می‌توانست با توجه به شرایط توپوگرافی و هیدرولوژیکی منطقه صورت گرفته و قبل از توسعه فیزیکی شهر، نقشه پهنه‌های سیل گیر منطقه شناسایی شود.

کتابنامه

احمدزاده، حسن؛ سعیدآبادی، رشید؛ نوری، الهه؛ ۱۳۹٤. بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تأکید بر سیلاب‌های شهری (مطالعه موردی: شهر ماکو)، *هیدروژئومورفولوژی*. ۲. ۱-۲۳. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_3535.html

اصغری مقدم، محمدرضا؛ ۱۳۸٤. *آب و زیستگاه شهری*. تهران: انتشارات سرا. ۱٦٥ صفحه.

آزادطلب، مهناز؛ شهابی، هیمن؛ شیرزادی، عطاله؛ چپی، کامران؛ ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر سنندج با استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی. *مطالعات شهری*. ۳٦. ۲۷-٤۰. https://doi.org/10.34785/J011.2021.801

پناهی، قاسم؛ اسماعیلی، کاظم؛ ۱۳۹۷. توصیه رویکردهای نوین در مدیریت سیلاب شهری. *نشریه آب و توسعه پایدار*. ۵ (۱). ۱۰۰-۹۳. https://jwsd.um.ac.ir/article_30322.html

حسن‌زاده، رضا؛ هنرمند، مهدی؛ حسینجانی زاده، مهدیه؛ محمدی، صدیقه؛ ۱٤۰۰. پهنه‌بندی سیلاب در نواحی شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات میدانی (مطالعه موردی: سیل بردسیر، استان کرمان). *اکوهیدرولوژی*. ۸ (۲). ۳٤٤-۳۳۱. https://doi.org/10.22059/ije.2021.314075.1423

رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۸۵. *کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی- منطقه‌ای اقتصادی*. انتشارات دانشگاه اصفهان. ۲۳۸ صفحه.

رستمی، نورالدین؛ کاظمی، یونس؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش AHP و GIS. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ٦ (۱). ۱۷۹-۱۹۳. https://sid.ir/paper/375145/fa

زاهدی، مجید؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ ۱۳۸۷. *هیدرولوژی. چاپ اول*. انتشارات مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).

زبردست، اسفندیار؛ ۱۳۸۹. کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. *نشریه هنرهای زیبا*. شماره ٤۱. ۷۹-۹۰. https://jfaup.ut.ac.ir/article_22270.html

طاهری بهبهانی، محمدطاهر؛ بزرگ‌زاده، مصطفی؛ ۱۳۷۵. *سیلاب‌های شهری*. انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران. ۳۳۰ صفحه.

عباسی یوسف زاده، سحر؛ ۱۳۹۳. *ریز پهنه بندی خطر سیلاب (مطالعات موردی: مناطق منتخب تبریز)*. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی گروه ژئومورفولوژی. دانشگاه تبریز.

فیروزی، فاطمه؛ نگارش، حسین؛ خسروی، محمود؛ ۱۳۹۱. مدل‌سازی، پیش‌بینی و بررسی روند بارش در ایستگاه‌های منتخب استان فارس. *فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*. ۲ (۷). ۷۷-۹۱. https://sid.ir/paper/472885/fa

قنواتی، عزت اله؛ صفاری، امیر؛ بهشتی جاوید، ابراهیم؛ منصوریان، اسماعیل؛ ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS، مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو. *فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*. ۷ (۲۵). ٦۷-۸۰. SID. https://sid.ir/paper/491884/fa

قنواتی، عزت‌الله؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر کرج با استفاده از منطق فازی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۸. ۱۳۱-۱۱۳. https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.27924

قهرودی تالی، منیژه؛ ثروتی، محمدرضا؛ صرافی، مظفر؛ پورموسوی، سیدموسی؛ درفشی، خه بات؛ ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران. *مجله امداد و نجات*. ٤ (۳). ۱۲۱-۱۳۸. . https://sid.ir/paper/190916/fa

کرم، امیر؛ درخشان، فرزانه؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی سیل‌خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کارایی کانال‌های دفع آب‌های سطحی در حوضه‌های شهری (مطالعه موردی: حوضه آبشوران در کرمانشاه). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*. ۵ (۱٦). ۳۷-٥٤. https://sid.ir/paper/184928/fa

مختاری هشی، حسین؛ رحیمی، داریوش؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۲۷ (۱). ۱۹۹-۲۱٦. https://doi.org/10.22108/gep.2016.21366

موسوی، سیده معصومه؛ نگهبان، سعید؛ رخشانی مقدم، حیدر؛ حسین زاده، سیدمحسن؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه بندی خطر سیل خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغملک). *مخاطرات محیط طبیعی*. ۵ (۱۰). ۷۹-۹۷. http://ensani.ir/fa/article/368383

نصری، مسعود؛ ۱۳۸۸. بررسی سیلاب‌ها و شبکه مسیل‌های تأثیرگذار بر شهر زواره و توجه به آن در برنامه‌ریزی شهری. *فصلنامه جغرافیایی چشم‌انداز*. ۱ (۲). ٦٥-۷۸. https://sid.ir/paper/175712/fa

وهابی، جلیل؛ ۱۳۸۵. پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در منطقه طالقان رود. *مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*. ۵ (۱۲). ٦۹-۸۷. https://sid.ir/paper/20048/fa

شعبانی بازنشین آرمان، عمادی علیرضا، فضل اولی رامین. بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز و تعیین مناطق مولد سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکا). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*. ۱۳۹۵; ۷ (۱٤): ۲۸-۲۰ URL: http://jwmr.sanru.ac.ir/article-۱-۷۵۴-fa

شرکت مهندسین مشاور طرح و آمایش؛ ۱۳۹۸. *گزارش طرح تفصیلی ارومیه*. سازمان مسکن و شهرسازی استان آذربایجان غربی جلد ۱-۲.

آزادطلب، مهناز؛ شهابی، هیمن؛ شیرزادی، عطاالله؛ چپی، کامران؛ ۱۳۹۹. پهنه بندی خطر سیلاب در شهر سنندج با استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی .*فصلنامه مطالعات شهری*. شماره ۳٦. صص ٤۰-۲۷. https://doi.org/10.34785/J011.2021.801

محمودزاده، حسن؛ باکویی، مائده؛ ۱۳۹۷. پهنه بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری). *مخاطرات محیط طبیعی*. ۷(۱۸). صص 68-51 . https://doi.org/10.22111/jneh.2018.19885.1238

غیور، حسنعلی؛ ۱۳۷۵. سیل و مناطق سیل خیز در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. شماره ٤۰. صص ۱۲۰-۱۰۱. https://ensani.ir/file/download/article/20120413142633-2166-240.pdf

صـلاحی، محمدباقر و سـیروس پور، سـمیه و پروین نیا، محمد؛ ۱۳۹۲. راهکارهای سـازهای و غیرسـازهای مقابله با سیلاب. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب. تهران. https://civilica.com/doc/207335

Büchele, B., Kreibich, H., Kron, A., Thieken, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B., and Nestmann, F.: Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 485–503, https://doi.org/10.5194/nhess-6-485-2006

Manoranjan Muthusamy, Mónica Rivas Casado, David Butler, Paul Leinster,
Understanding the effects of Digital Elevation Model resolution in urban fluvial flood modelling,
Journal of Hydrology,Volume 596,2021, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126088.

Ashcroft, L., Karoly, D.J. and Dowdy, A.J., 2019. Historical extreme rainfall events in southeastern Australia. Weather and Climate Extremes, 25, p.100210. https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100210

Chow V.T., Maidment D.R. and Mays L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.

Dano U.L, Balogun A. L, Matori A.N, Wan Yusouf K, Abubakar I.R, Said Mohamed M.A, Aina, Y.A, Pradhan B. Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia, Water. 2019; 11, 615. pp 1-28. https://doi.org/10.3390/w11030615

Fenicia, F. Kavetski, D. Savenije, H.H. Clark, M.P. Schoups, G. Pfister, L. Freer, J., 2013. Catchment properties, function, and conceptual model representation: is, there a correspondence Hydrol. Process. https://doi.org/10.1002/hyp.9726

Fernández, D.S and M.A. Lutz., 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology No.111, PP: 90–98. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.12.006

Garcia, M. M., Javier, F.O., Jeronimo, A. B., Pablo, A.B., Rocio, P.B., 2008. Farmland appraisal based on the analytic network Process. Journal of Global Optimization, 42, pp.143-155. https://doi.org/10.1007/s10898-007-9235-0

Garde, R. J., 2006. River Morphology, Published by New Age International (P) Ltd., Publishers, New Delhi.

Lami, I. M., Abastante, F., 2014. Decision making for urban solid waste treatment in the context of territorial conflict: Can the Analytic Network Process help?. Land Use Policy, No. 41, pp 11-20. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.04.010

Miller, JR. Ritter, DF. Kochel, RC., 1990. Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford Upland, south-central Indiana. American Journal Science, 290, 569-599. https://doi.org/10.2475/ajs.290.5.569

Neaupane, K. M., Piantanakulchai, M., 2006. Analytic Network Process model for landslide hazard zonation. Engineering Geology, No. 85, pp. 281–294. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.02.003

Saaty, T. L., 1980, the Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw Hill, pp. 287.

Saaty, T. L., 1999, Fundamentals of the Analytic Network Process. Proceedings of International Symposium on Analytical Hierarchy Process, August 12-14, Kobe, Japan.

Schmidt, F., Persson, A., 2003. Comparison of DEM data capture and topographic wetness indices. Precision Agriculture. 4: pp. 179–192. https://doi.org/10.1023/A:1024509322709

Sorensen, R., Zinko, U., Seibert, J., 2006. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 2: pp. 1807–1834. https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006, 2006.