

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۷

ریز پهنه‌بندی و مقایسه ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل‌های تلفیقی عملگرهای فازی Arc GIS و تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: شهر ارومیه)

شهریار خالدی^۱، سعید آملکی، قاسم فرهمند^{۳*}

چکیده

سیل یکی از بلایای طبیعی می‌باشد که خسارت جانی و مالی فراوانی به همراه دارد. تسطیح زمین، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، سبب رخداد تغییرات الگوی زهکشی طبیعی و جاری شدن سیل در نواحی شهری، آب‌گرفتگی معابر و افزایش هزینه‌های نگهداری شهر می‌شود. شهر ارومیه یکی از شهرهای ایران می‌باشد که به علت داشتن وضعیت اقلیمی و زمین‌شناسی خاص خود احتمال وقوع سیلاب شهری در آن بالا می‌رود. لذا در مطالعه حاضر سعی شده است که از مهمترین شاخص‌های مؤثر در وقوع سیلاب شهری (فاصله از رودخانه، فاصله از مسیل‌ها و آبراهه‌ها، ارتفاع، شیب، جهت شیب، نوع پوشش اراضی و نوع خاک) برای پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب شهری استفاده شود. جهت تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش از عملگر فازی (Gama) در محیط GIS و همچنین با وزن‌گذاری معیارهای منتخب، از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، به منظور مقایسه استفاده شده است. در نهایت نتایج به دست آمده از عملگر Gama فازی و AHP فازی، جهت شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب شهری به قیاس کشیده شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که مطابق تابع Gama Fuzzy، از کل مساحت شهر حدود ۱۱ درصد آن یعنی حدود ۷۸۰۳۲۲۵ مترمربع دارای پتانسیل بالای سیل خیزی بوده که بیشتر مناطق غرب و جنوب غربی شهر ارومیه را شامل می‌شود. اما بر اساس مدل Fuzzy AHP به کار رفته در پژوهش، از کل مساحت شهر حدود ۱۱ درصد آن که بالغ بر ۷۴۱۷۳۶۰ مترمربع می‌باشد دارای پتانسیل بالای سیل خیزی است و این مساحت به طور دقیق‌تر و مشخص شده در سایر مناطق شهری گسترده شده است.

واژگان کلیدی: سیلاب شهری، عملگر Fuzzy AHP، Gama Fuzzy، شهر ارومیه

^۱ استاد گروه جغرافیا طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی تهران

^۲ دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۳ دانشجوی دکتری اقلیم شناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی تهران، (نویسنده مسئول) پست الکترونیکی: Gh_farahmand@sbu.ac.ir

مقدمه

بلایا و مخاطرات محیطی از دیرباز به عنوان مخرب‌ترین عوامل آسیب‌رسان به انسان، جامعه و زیستگاهش مطرح بوده‌اند. بحران‌ها تعیین‌کننده میزان خسارت نیستند، بلکه پاسخ مسئولان به بحران است که میزان خسارت‌های وارده را تعیین می‌کند. با توجه به اینکه یکی از شاخص‌های مهم توسعه کشورها، میزان آمادگی جامعه آن‌ها در برابر انواع مختلف بلایای طبیعی است. در اکثر کشورهای دنیا در برنامه توسعه توجه کمتری به شرایط اضطراری و بحران‌ها می‌شود. غالباً مرسوم است که برنامه‌ریزان توسعه و بحران جدا از هم کار کنند و همین امر باعث ناهماهنگی در امر برنامه‌ریزی و توسعه و بحران شده است و تنها تعداد کمی از کشورهای که دارای برنامه جامع مدیریت مخاطرات و بلایا در برنامه توسعه‌ی خود هستند به فاز آمادگی توجه نموده‌اند و بیشتر توجهات به فاز مقابله با بحران معطوف می‌شود (کیانی، ۱۳۹۲: ۱۳۴). امروزه افزایش جمعیت، گسترش تأسیسات صنعتی، کمبود مکان برای ساخت و ساز خصوصاً در کلانشهرها، باعث شده تا تغییر شدیدی در مورفولوژی حوضه‌های آبریز ایجاد شود (سپهر و کاویان، ۱۳۹۳: ۱۲۶). با گسترش روز افزون مناطق شهری و از بین بردن اراضی جنگلی، مرتعی و کشاورزی، زمین‌های نفوذناپذیر افزایش یافته که این موضوع موجب افزایش حجم رواناب ناشی از بارش در فضاها شهری شده است (اضغری مقدم، ۱۳۸۶: ۵۹). در صورت عدم تخلیه (زهکشی) مناسب رواناب‌های ناشی از بارش شهری، امکان بروز سیلاب شهر افزایش می‌یابد. به دلیل آثار مخرب ناشی از سیلاب در حوضه‌های شهری، چگونگی انتقال، مدیریت و تخلیه رواناب‌های ایجاد شده در سطح شهر مورد توجه محققان و سازمان‌های مربوطه از جمله شهرداری‌های قرار گرفته است (اکارت، ۱۳۸۴: ۴۶۶). سیل یکی از بلایای طبیعی است که بشر از دیرباز با آن دست به گریبان بوده است. همچنین به عنوان یکی از مهمترین بلایای طبیعی بیشترین فراوانی را نیز در این میان به خود اختصاص داده است. اما در حوضه شهری معمولاً علت وقوع سیل مشترک می‌باشد (بزرگ‌زاد، ۱۳۸۰: ۴۷). سیلاب از مخرب‌ترین خطرهای طبیعی است که جبران آن به خصوص در مناطقی که مظاهر توسعه انسانی در آنجا به چشم می‌خورد (مانند شهرها)، هزینه‌های زیادی را تحمیل می‌کند. توسعه شهرنشینی، به ویژه در حاشیه رودخانه‌ها، بر خسارت سیل در دهه‌های اخیر افزوده است (قهرودی‌تالی، ۱۳۹۱: ۲). ناپایداری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده بوده و تولید سیلاب در یک حوضه آبخیز به عوامل متعددی همچون حوضه آبریز، میزان بارش، نفوذ، شرایط زمین بستگی دارد (Singh, 1996: 8). برابر آمار سیلاب‌ها بیش از ۴۰ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده‌اند (Meng et al, 2010: 3). از این رو آگاهی از میزان خطرپذیری مناطق مختلف شهر و توجه موضوع مدیریت سیلاب‌های شهری به منزله یکی از محورهای مهم در پرداختن به مسائل شهری با تأکید بر حفظ محیط زیست شهری حائز اهمیت و توجه است (صادق‌لو و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۵). متأسفانه در ایران به موضوع سیل و مدیریت و کاهش خسارات آن به طور جدی توجه نشده است و فقط زمانی که سیلاب مخربی جاری شود و فاجعه‌ای به وجود آید، توجه مسئولان و متخصصان به آن جلب می‌شود. شهر ارومیه نیز از شهرهای مهمی می‌باشد که به دلیل شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی دارای پتانسیل وقوع سیلاب‌های شدید می‌باشد. به بیان دقیق‌تر شهر ارومیه با وسعتی در حدود ۸۰ کیلومتر مربع روی واحدهای زمین‌شناسی مختلفی از قبیل رسوبات آبرفتی، ماسه سنگ، مارن، کنگلومرا و سنگ آهکی با میان لایه‌هایی از مارن شکل گرفته است. رشته کوه‌هایی در قسمت‌های از شمال غرب تا جنوب ارومیه را احاطه کرده‌اند. یکی از عارضه‌های مهم هیدرولیکی در گستره شهر ارومیه،

رودخانه شهرچای می‌باشد که از ارتفاعات جنوبی شهر سرچشمه گرفته و در حال حاضر دشت ارومیه را که شهر ارومیه در آن قرار گرفته طی کرده و به دریاچه ارومیه می‌ریزد که شهر ارومیه در هردو ساحل این رودخانه گسترش قابل توجهی داشته است. افزایش حدود ۲۰ برابری گستره شهر ارومیه در ۵۰ سال اخیر به علت توسعه ساخت و سازهای شهری و بررسی ساختارهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و زمین ریخت‌شناسی شهر ارومیه نشان می‌دهد که توسعه ساخت و سازهای شهری در این مناطق کوهپایه‌ای و مرتفع سبب از بین رفتن آبراهه‌های طبیعی و در نتیجه تغییر شرایط هیدروژئولوژیکی شده است. لذا همین عوامل احتمال وقوع خطر سیلاب‌های شهری و عواقب و آسیب‌های ناشی از آن را در این شهر بالا می‌برد. بر همین اساس هدف از مطالعه حاضر مشخص نمودن مناطق آسیب‌پذیر در برابر احتمال وقوع سیلاب در شهر ارومیه می‌باشد.

پیشینه پژوهش

تا کنون مطالعاتی وسیعی در حوزه سیلاب شهری در سطح بین‌الملل و در داخل کشور صورت گرفته است به عنوان نمونه در سطح بین‌المللی می‌توان به مطالعات سیمونویچ^۱ (۲۰۰۸) تحت عنوان روش شناسی جدید در مطالعه منابع آب‌های سطحی، که به کاربرد روش تاپسیس در جمع‌آوری آب‌های سطحی پرداخته و مقادیر وزن معیارها از طریق تولید مجموعه‌ای از راه‌حل‌های فازی مورد بررسی قرار می‌دهد. مورلی^۲ (۲۰۱۲) در مطالعه با عنوان برنامه‌ریزی شهری و خطرات سیلاب‌های شهری و سیاست‌های آن، پتانسیل سیل‌خیزی رودخانه آرنو در ایتالیا را از طریق پیمایش الگوی رود در مناطق مختلف با استفاده از GPS و GIS بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مناطق شهری با توسعه بیشتر شهری بیشتر در معرض ریسک سیلاب شهری قرار می‌گیرند. همچنین از دیگر مطالعات می‌توان به مطالعه لوتز^۳ و فرناندز^۴ با عنوان خطرات سیلاب شهری در شهر یربا بوانا آرژانتین، مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب با استفاده از GIS و سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره پهنه‌بندی کردند. از مطالعات داخلی نیز می‌توان به مطالعات وسیع خانم قهرودی تالی از جمله؛ ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران (۱۳۹۱) اشاره کرد که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مناطق ۱۰ و ۲۲ را به عنوان بیشترین و کمترین مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب معرفی می‌کند. رستم‌زاده (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای با عنوان پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در قسمت مرکزی میانه با استفاده از مدل ANP به پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب پرداخته و نشان می‌دهد که عامل فاصله از رودخانه با ۳۵ درصد در رابطه با رخداد سیلاب، از بیشترین میزان اهمیت و عامل شیب با ۷ درصد از کمترین میزان اهمیت در ارتباط با وقوع سیلاب برخوردار است. عابدینی (۱۳۹۵) در مطالعه دیگری با عنوان پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز گرگانرود به نقش عواملی از قبیل شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و ... در وقوع سیلاب در این حوضه پرداخته و نشان می‌دهد که ۱۸ درصد از مساحت این حوضه در برابر وقوع سیلاب بسیار آسیب‌پذیر می‌باشد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان ارومیه یکی از شهرستان‌های چهارده‌گانه استان آذربایجان غربی است که در قسمت میانی استان قرار گرفته است. شهرستان ارومیه از شمال به شهرستان سلماس، از جنوب به شهرستان نقده و مهاباد، از شرق به دریاچه ارومیه و از غرب به مرز ایران و ترکیه محدود می‌شود. شهر ارومیه مرکز شهرستان و نیز مرکز استان آذربایجان غربی است که در فاصله ۱۸

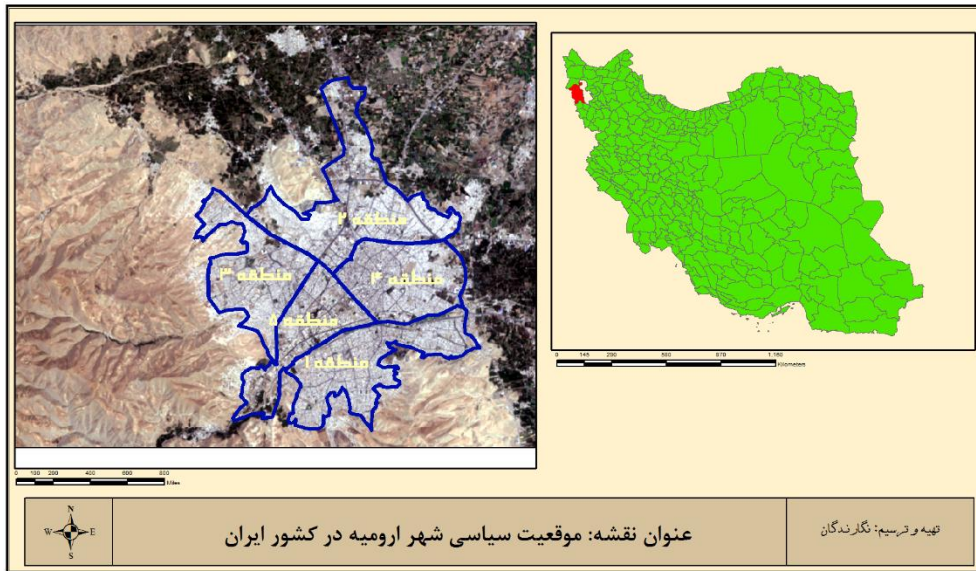
^۱. Simonovic

^۲. Morelli

^۳. Lutz

^۴. Fernandez

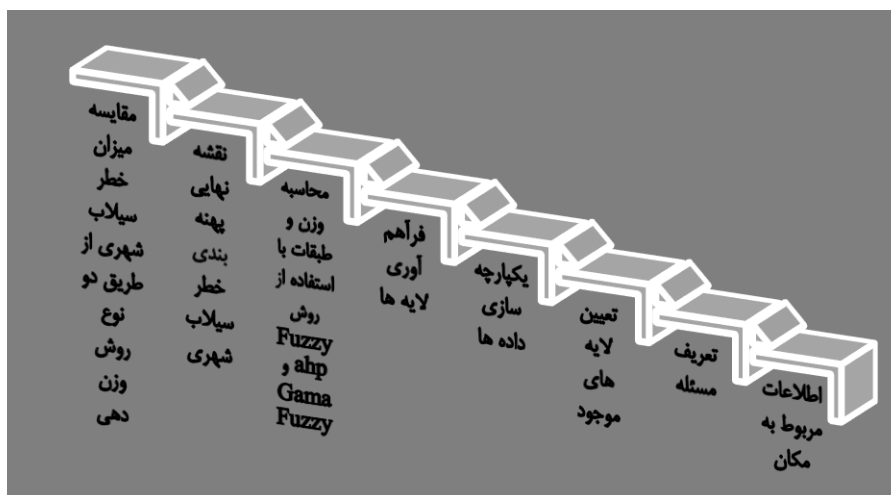
کیلومتری دریاچه ارومیه، در مختصات ۴۵ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۷ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی از مبدأ خط استوا در داخل جلگه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر و به عرض ۳۰ کیلومتر قرار گرفته است (طرح جامع ارومیه، ۱۳۹۲: ۳). این شهر در آخرین سرشماری ارائه شده از سوی مرکز آمار ایران دارای جمعیتی بالغ بر ۶۸۰۰۰۰ نفر می‌باشد که در مجموع در پنج منطقه از مجموعه مناطق این شهر گسترده شده‌اند.



شکل ۱: موقعیت سیاسی شهر ارومیه در کشور ایران
 مأخذ: ترسیم نگارندگان (۱۳۹۶)

مواد و روش ها

مراحل اجرای این پژوهش در شکل ۲ شرح داده شده است.



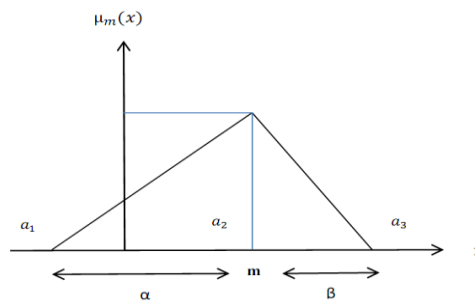
شکل ۲: روند نمای مراحل انجام پژوهش

سه منبع اصلی به منظور فراهم کردن لایه های اطلاعاتی پژوهش حاضر به شرح زیر می باشند:

- مدل رقومی ارتفاع (DEM) به منظور فراهم کردن لایه های شیب، جهت شیب و ارتفاع منطقه مورد مطالعه
 - تصویر ماهواره ای سنجنده OLI, TIRS لندست ۸ (تابستان ۲۰۱۶) به منظور استخراج نوع اراضی و نفوذ پذیری آن
 - فایل وکتوری شبکه آبراهه ها و مسیل ها و رودخانه ها و نوع خاک شهری، مستخرج از طرح جامع شهری
- در مرحله بعد وزن ها و ارزشهای رتبه بندی به لایه ها و طبقات هر لایه اختصاص داده شد. فرآیند اختصاص وزن و ارزشهای رتبه بندی شده با استفاده از روش Fuzzy Ahp و GAMA Fuzzy شکل گرفت. FAHP، یک رویکرد تصمیم گیری چند معیاره است که رویه مقایسه زوجی را برای رسیدن به اهداف مورد نظر در میان گزینه های متعدد به کار می گیرد. همچنین Gama Fuzzy نیز یکی دیگر از عملگرهای فازی در محیط Arc GIS می باشد با عملکرد متفاوت مکان های مورد نظر را انتخاب می کند. لذا در ادامه به ارائه توضیحی در خصوص این دو روش تصمیم گیری پرداخته می شود.

مدل تحلیل سلسله مراتبی FAHP

این مدل ابتدا در سال ۱۹۸۳ توسط دو محقق هلندی بنام های لارهورن و پدریکز^۱ پیشنهاد گردید که بر مبنای روش حداقل مجذورات لگاریتمی بنا نهاده شده بود، ولی به علت پیچیدگی مراحل محاسباتی و روش شناسی مورد استقبال قرار نگرفت، تا اینکه در سال ۱۹۹۶ محقق چینی به نام چانگ روشی را تحت عنوان روش تحلیل توسعه ای بر مبنای تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه کرد که برای محاسبه در آن از اعداد فازی مثلثی استفاده می شد (عطایی، ۱۳۸۹: ۱۱) اعداد فازی مورد استفاده در این مدل و به صورت مشخص در پژوهش حاضر به صورت اعداد فازی مثلثی^۲ می باشد که به صورت $M=(m, \alpha, \beta)$ خواهد بود (مؤمنی، ۱۳۹۲: ۲۵۰) فضای هندسی چنین مجموعه ای در محیط فازی در شکل شماره (۳) آمده است.



شکل ۳: تابع عضویت اعداد مثلثی در محیط فازی

ساختار ریاضیاتی تابع عضویت اعداد فازی مثلثی نیز به صورت زیر خواهد بود.

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{m-x}{\alpha}, \quad m - \alpha \leq x \leq m \\ 1 - \frac{x-m}{\beta}, \quad m \leq x \leq m + \beta \\ 0 \text{ در غیر این صورت} \end{array} \right\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

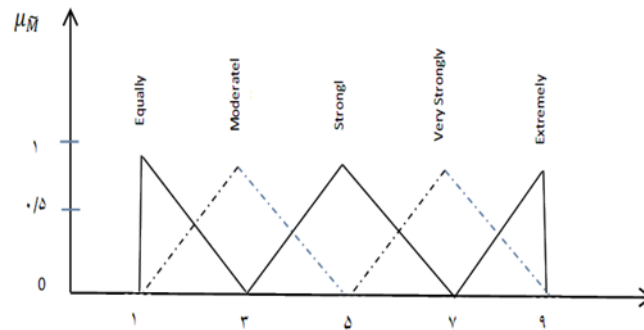
بنابراین بر اساس روش چانگ، مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی دارای مراحل به شرح زیر است:

مرحله اول: در این مرحله نمودار سلسله مراتبی ترسیم می شود.

^۱Larhorn & Pedricz

^۲Triangular Fuzzy Number

مرحله دوم: در دومین مرحله اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی تعریف می‌شوند. بر مبنای مطالعاتی که در این خصوص صورت گرفته است و نیز توصیه‌ای که چانگ ارائه می‌دهد، طیف فازی مورد استفاده در این پژوهش در قالب شکل شماره (۴) ارائه شده است.



شکل ۴: متغیرهای زبانی مورد استفاده پژوهش

مرحله سوم: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی خواهد بود که با به‌کارگیری اعداد فازی مثلثی در پژوهش حاضر به انجام رسیده است.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۲)}$$

مرحله چهارم: محاسبه مقدار S_i از طریق روابط زیر خواهد بود:

رابطه (۳):

$$S_i = \sum_{i=1}^m M_{gi}^i \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^i \right]^{-1}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^i = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^i \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i} \right)$$

در این روابط i شماره سطر و j شماره ستون خواهد بود

مرحله پنجم: محاسبه درجه بزرگی S_i ها برای تمامی شاخص‌ها خواهد بود که در آن بزرگی دو عدد فازی $S_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $S_2 = (l_2, m_2, u_2)$ به این صورت تعریف می‌شود:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \text{اگر } m_1 \geq m_2 \\ 0 \text{ اگر } u_2 \geq l_1 \\ \text{در غیر اینصورت } \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)} \end{array} \right\} \quad \text{رابطه (۴):}$$

مرحله ششم: در این مدل محاسبه وزن شاخص ها در ماتریس مقایسه زوجی خواهد بود. بدین منظور از رابطه زیر استفاده شده است:

$$D'(A_i) = \text{Min } V(S_i \leq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۵):}$$

بنابراین، بردار وزن نرمالیزه نشده برای شاخص های پژوهش به صورت زیر خواهد بود:

$$W'(d'(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad \text{رابطه (۶):}$$

مرحله نهایی: در این مدل محاسبه بردار وزن نهایی خواهد بود:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)) \quad \text{رابطه (۷):}$$

عملگر Gama fuzzy

این عملگر یکی از ۵ عملگر فازی (OR, AND, SUM, PRODUCT, GAMA) در محیط ARC GIS می باشد این عملگر یک حالت کلی از عملگرهای Product و Sum فازی می باشد که به صورت تلفیقی و در قالب رابطه زیر بکار گرفته شده است.

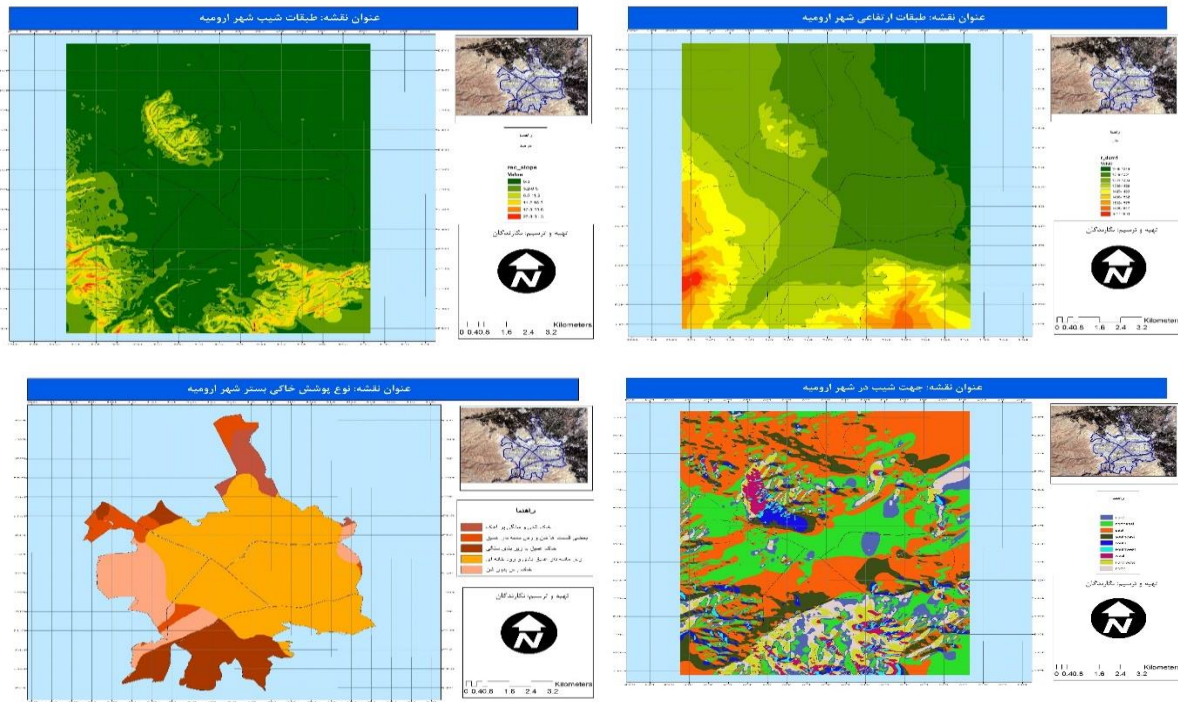
$$\mu_{\text{combination}} (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^\delta (\text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-\delta} \quad \text{رابطه (۸):}$$

در عملگر Gama فازی و در رابطه بیان شده برای آن مقدار δ (دلتا)، که بین صفر تا یک متغیر هست اگر مقدار یک انتخاب شود تبدیل به عملگر Sum فازی می گردد و اگر صفر انتخاب شود به عملگر Product تبدیل می گردد. بنابراین بایستی توجه شود که انتخاب صحیح مقدار δ در خروجی تأثیر خواهد گذاشت و می تواند در سازگاری گرایشات کاهشی که در عملگر Product قرار دارد با گرایشات افزایشی که در عملگر Sum وجود دارد بسیار تعیین کننده باشد.

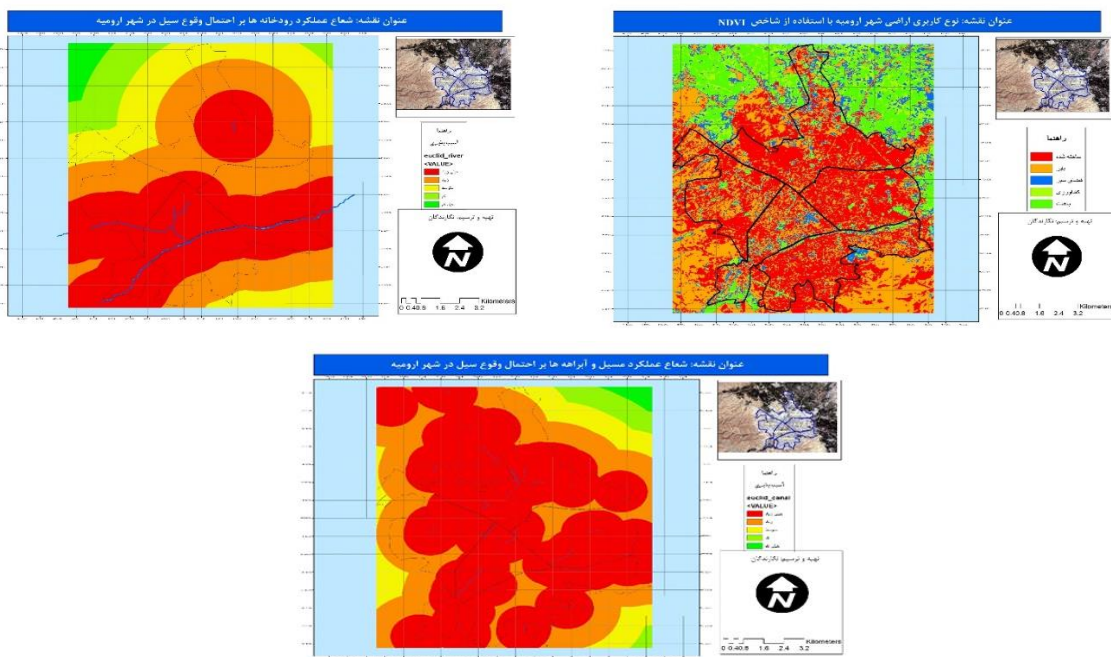
یافته های پژوهش

در مرحله تحلیل داده و اطلاعات پژوهش می بایست به ترسیم نقشه های مربوط به ۷ متغیر (ارتفاع، شیب، جهت شیب، نوع خاک، نوع پوشش اراضی، فاصله از رودخانه و فاصله از آبراهه ها و مسیل های آبی) مورد استفاده در قالب شاخص های تأثیرگذار سیلاب شهری محدوده مورد مطالعه اقدام می شد. لذا برای انجام این امر ابتدا اقدام به تهیه نقشه پایه از منطقه مورد مطالعه و

تشکیل پایگاه داده‌ها و ترسیم لایه‌های مربوط به هر کدام از متغیرهای ۷ گانه در قالب نرم افزار Arc GIS گردید که نتیجه آن به صورت زیر نمایان گشت:

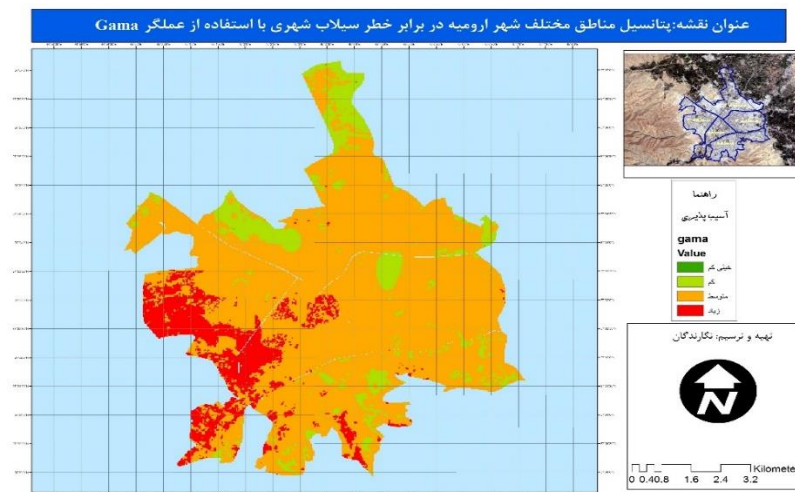


شکل ۵: (از راست به چپ) نقشه طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب و نوع خاک شهر ارومیه
 مأخذ: ترسیم نگارندگان (۱۳۹۶)



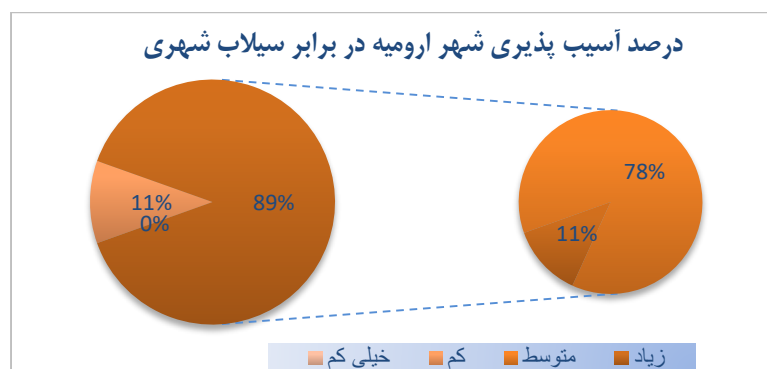
شکل ۶: (از راست به چپ) نقشه نوع کاربری اراضی، فاصله تا رودخانه، فاصله تا مسیل ها و آبراهه ها
 مأخذ: ترسیم نگارندگان (۱۳۹۶)

در ادامه روند انجام عملیات پژوهش پس از تهیه لایه‌های مربوط به متغیرهای پژوهش که شامل ۷ لایه از شاخص‌های کالبدی و طبیعی بودند، اقدام به فازی سازی لایه‌های با استفاده از جعبه تحلیلی (Fuzzy membership) در قالب نرم افزار Arc GIS شد. سپس در مرحله بعدی بعد از فازی سازی لایه‌ها به تحلیل لایه‌های پژوهش با استفاده از توابع و عملگرهای فازی گردید که ابتدا با استفاده از تابع Gama فازی اقدام ساخت نقشه مربوط به مناطق آسیب‌پذیر در مقابل سیلاب شهری در شهر ارومیه مشخص شد. در این مطالعه با آزمایش حد آستانه‌های مابین صفر و یک موجود در تابع Gama فازی موجود در نرم‌افزار Arc Gis، مشخص گردید که حد آستانه ۰/۶،۵ یک سازگاری قابل انعطافی را بین گرایش‌های افزایشی و کاهش‌ی خروجی داده‌ها ایجاد می‌کند که نتیجه این کار در شکل (۷) مشاهده می‌شود.



شکل ۷: نقشه نهایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب شهری در شهر ارومیه با استفاده از منطق Gama Fuzzy
مأخذ: ترسیم نگارندگان (۱۳۹۶)

نتایج این عملگر نشان می‌دهد که نقشه بدست آمده با جزئیات دقیق‌تری در مقایسه با نتایج عملگرهای دیگر بدست آمده و علت آن تلفیق و گزینش سازگار حد آستانه از بین گرایش‌های افزایشی یا کاهش‌ی در عملگرهای دیگر است. نقشه خروجی این عملگر نشان می‌دهد که مناطق غرب و جنوب غربی شهر ارومیه دارای پتانسیل نسبتاً بالای سیل‌خیزی بوده است و علت این امر اختصاص دادن وزن بیشتر به شاخص ارتفاع و جهت شیب نسبت به سایر شاخص‌های دیگر است که جزئیات دقیق مناطق آسیب‌پذیر در نمودار شکل (۸) بیان شده است.



شکل ۸: نمودار درصد آسیب‌پذیری شهر ارومیه در برابر سیلاب شهری با استفاده از عملگر Gama Fuzzy
مأخذ: محاسبات نگارندگان (۱۳۹۶)

نمودار شکل (۸) نشان می‌دهد که منطق Gama فازی حدود ۸۹ درصد از مساحت شهر ارومیه را در معرض سیل با ضریب متوسط به بالا قرار داده است. به بیان واضح‌تر بر اساس عملکرد این عملگر ۷۸۰۳۲۲۵ متر مربع که حدود ۱۱ درصد از مساحت شهر ارومیه است دارای پتانسیل بالای سیل خیزی معرفی می‌باشد و این مساحت در سه منطقه ۳ و ۵ و ۱ شهر ارومیه قرار گرفته که در غرب و جنوب غربی شهر بوده و دارای ارتفاع بیشتری نسبت به سایر زمین‌های شهر ارومیه می‌باشد. همچنین این عملگر مناطقی را که احتمال سیل خیزی در آن بسیار کم می‌باشد فقط ۵۷۱۶ متر مربع معرفی می‌کند که طبق شکل (۷) در شمال شرقی شهر ارومیه قرار گرفته است.

اما در مرحله بعد سعی شد با استفاده از مدل فازی دیگری نتایج به دست آمده مورد ارزیابی قرار بگیرد. بر همین اساس از مدل سلسله مراتبی Fuzzy AHP برای مقایسه نتایج استفاده شد. در این مدل بعد از وزن‌گذاری متغیرهای پژوهش در قالب اعداد فازی مثلثاتی، متغیرها با وزن‌های متفاوتی از حداقل وزن تا حداکثر وزن مشخص گردیدند که در جداول زیر می‌توان دید.

جدول ۱: وزن نسبی لایه‌ها برای پهنه بندی سیلاب

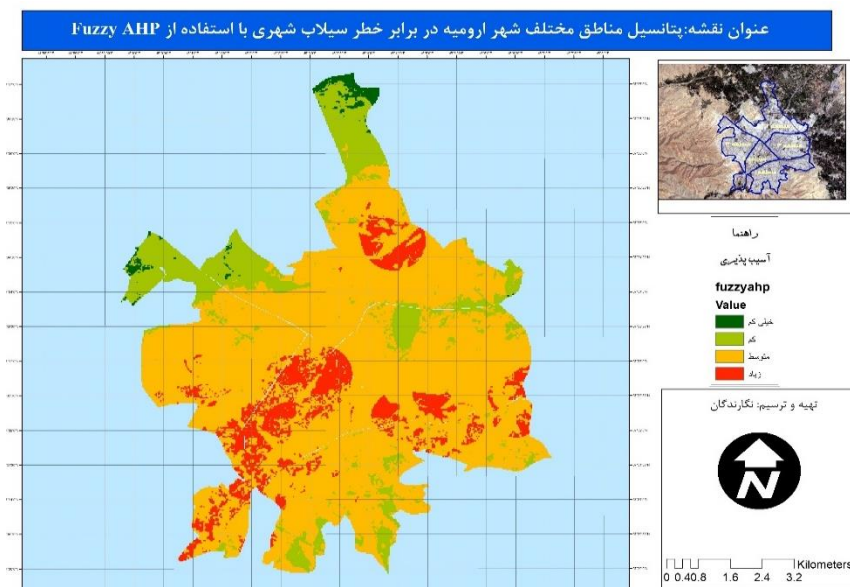
فاصله تا آبراهه ها (V7)	فاصله تا رودخانه (V6)	نوع کاربری اراضی (v5)	نوع خاک (v4)	جهت شیب (v3)	شیب (v2)	ارتفاع (v1)
V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1
0.87	0.93	0.57	4	0.87	1	0.87
V7	V6	V5	V4	V3	V1	V1
0.64	0.73	0.382	0.96	0.63	0.8	0.64
V7	V6	V5	V4	V2	V1	V1
1	1	0.32	1	1	1	1
V7	V6	V5	V3	V2	V1	V1
0.74	0.79	0.82	0.7	1	0.85	0.74
V7	V6	V4	V3	V2	V1	V1
1	1	1	1	1	1	1
V7	V5	V4	V3	V2	V1	V1
0.92	0.53	1	0.92	1	1	0.92
V6	V5	V4	V3	V2	V1	V1
1	0.64	1	0.99	1	1	1

مأخذ: محاسبات نگارندگان (۱۳۹۶)

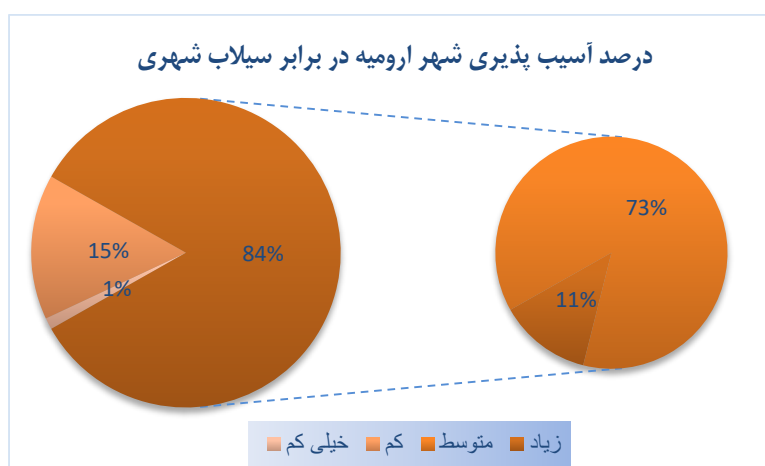
جدول ۲: وزن نهایی لایه‌ها برای پهنه بندی سیلاب

گزینه‌ها	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
ارتفاع	۰/۵۷	۰/۱۴۶
شیب	۰/۵۳	۰/۱۳۶
جهت شیب	۰/۳۸	۰/۰۹۷
نوع خاک	۰/۳۲	۰/۰۸۲
نوع کاربری اراضی	۰/۶۴	۰/۱۶۴
فاصله تا رودخانه	۱	۰/۲۵۷
فاصله تا آبراهه‌ها و مسیل‌ها	۰/۷۴	۰/۱۹۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان (۱۳۹۶)



شکل ۹: نقشه نهایی مناطق آسیب پذیر در برابر سیلاب شهری در شهر ارومیه با استفاده از منطق Fuzzy AHP
مأخذ: ترسیم نگارندگان (۱۳۹۶)



شکل ۱۰: نمودار درصد آسیب پذیری شهر ارومیه در برابر سیلاب شهری با استفاده از منطق Fuzzy AHP
مأخذ: محاسبات نگارندگان (۱۳۹۶)

بر اساس شکل ۹ منطقه ۵ شهر ارومیه دارای بیشترین پتانسیل سیل خیزی نسبت به سایر مناطق می باشد به طوری بیشتر مساحت این منطقه در گرید خطر زیاد سیلاب قرار گرفته است. همچنین از دیگر نکات مشخص در این نقشه قرارگیری جنوب شرقی شهر ارومیه در خطر سیلاب می باشد و علت آن نیز وجود فاصله کم تا رودخانه اصلی و شیب کم این منطقه است. منطق AHP فازی با دادن وزن بیشتر به حریم و فاصله از رودخانه ها، و ارتفاع و نوع پوشش اراضی شهری، مناطق متفاوتی از شهر را به عنوان مناطق با پتانسیل بالای سیل خیز معرفی کرده است. به طوری که این مناطق در سه جهت (غرب و جنوب غربی، جنوب شرقی و شمال غربی) شهر ارومیه قرار گرفته اند. ولی آنچه که می توان از نمودار شکل ۱۰ برداشت نمود این است که حدود ۱۱ درصد از مساحت شهر ارومیه با توجه به شاخص های در نظر گرفته شده دارای پتانسیل بالای سیل خیزی بوده و آسیب جدی در هنگام وقوع سیل به این مساحت از شهر که حدود ۷۴۱۷۳۶۱ متر مربع می باشد وارد خواهد آمد. همچنین حدود ۸۴

درصد از مساحت شهری در گرید پتانسیل متوسط به بالای سیل خیزی قرار دارد این درحالی است که فقط ۱ درصد از مساحت شهر با ۸۲۰۲۱۰ متر مربع دارای پتانسیل خیلی کم از لحاظ سیل خیزی می باشد که اغلب شمال و شمال شرق ارومیه را در بر می گیرد.

بحث و نتیجه گیری

تبدیل رواناب به سیلاب می تواند خسارت جبران ناپذیری به شبکه شریان های شهری وارد کند. نقشه خطر سیل شهری ابزاری است که می تواند به برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان شهری، برای مثال در ارزیابی کارآمدی زیر ساخت های شبکه زهکشی و اقدامات توسعه ای مورد نیاز آن ها به منظور کاهش خطرپذیری جمعیت و تأسیسات شهر از خسارت های سیلاب کمک کند. پهنه بندی نهایی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوزه مورد مطالعه، با توجه به ارتباطات درونی و بر اساس دخالت وزن ها یا ارزش های نهایی هر یک از متغیرهای اصلی و همچنین طبقات فرعی متغیرها انجام گرفت. طبق بررسی های انجام گرفته منطقه ۵ و ۳ شهر ارومیه در بیشتر قسمت ها در برابر سیلاب بسیار آسیب پذیرند و در قسمت های دیگر آسیب پذیر کمتری دارند. بیشتر بخش هایی که تحت تأثیر سیل قرار دارند اغلب دارای فاصله نسبتاً کم با رودخانه و مسیل ها بوده و دارای ارتفاع نسبتاً بالاتری نسبت به سایر نقاط دیگر شهر می باشند به طوری دو منطق Fuzzy AHP و Gama Fuzzy حدود ۱۱ درصد از مساحت شهر ارومیه را که دارای ارتفاع بالاتر و پوشش اراضی سخت تر و فاصله کمتر از رودخانه ها بوده اند. به عنوان مناطق پر خطر انتخاب کرده است. به بیان دقیق تر عملگر Gama Fuzzy حدود ۷۸۰۳۲۲۵ متر مربع را که شامل مناطق ۳ و ۵ و قسمت های از منطقه ۱ شهر ارومیه را به عنوان مناطق پرخطر و منطق Fuzzy AHP حدود ۷۴۱۷۳۶۱ متر مربع را که شامل مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ شهر ارومیه می باشد را به عنوان مناطق دارای پتانسیل بالای سیل خیزی معرفی می کند. همچنین مشخص شد که فضاها ی سبز شهری تا حد زیادی سبب کاهش سیلاب شهری می شوند به طوری که زمین هایی که دارای پوشش جنگلی بوده اند ۱ درصد از مساحت شهر را شامل شده و در گرید مناطق بسیار کم خطر از لحاظ سیل خیزی قرار دارند. بر همین اساس از مهمترین پیشنهادها در خصوص کاهش آسیب پذیری می توان به چند مورد ذیل اشاره نمود:

- به زیر پوشش بردن مناطق با شیب بالا
- ایجاد حریم توسعه شهری در منطقه ۳ و ۵ شهری
- رعایت حریم رودخانه از نظر ساخت و ساز شهری
- استفاده از سطوح نفوذپذیر در روکش آسفالت و پیاده روها

منابع

- اصغری مقدم، محمدرضا (۱۳۸۶). «جغرافیای طبیعی شهر (اقلیم، آب و سیل خیزی)»، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی.
- اکارت، جان (۱۳۸۴). «زمین شناسی کواترنری کاربردی»، چاپ اول، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی.
- بزرگزاد، مرتضی (۱۳۸۰) «سیلاب شهری»، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اهواز.
- رستمزاده، هاشم، سرافراز اسبق، سونیا و مهسا میانجی (۱۳۹۵). «پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در قسمت مرکزی میانه با استفاده از مدل ANP»، فصلنامه رشد آموزش جغرافیا، دوره سی ام، شماره ۳.
- صادقلو، طاهره و حمدالله سجاسی قیداری (۱۳۹۳). «راهبردهای مدیریت مخاطره سیل در مناطق روستایی با مدل SWOT-TOPSIS مطالعه موردی حوضه آبریز قره چای رامیان»، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۱۲.
- سپهر، عادل و راحیل کاویان (۱۳۹۳). «طبقه بندی تحمل پذیری مناطق شهری کلانشهر مشهد به مخاطرات محیطی با استفاده از برنامه ریزی خطی تعامل تناوبی سیموس (SIMUS)». فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره نهم ۱۲۵-۱۴۱.
- عابدینی، موسی و رقیه فتحی جوکدان (۱۳۹۵). «پهنه بندی خطر وقوع سیل در حوضه ی آبریز گرگانرود با استفاده از Arc GIS»، فصلنامه هیدروژئومورفولوژی، شماره ی ۷.
- عطائی، محمد (۱۳۸۹). «تصمیم گیری چند معیاره فازی»، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- قهرودی تالی، منیژه، ثروتی محمدرضا، صرافی مظفر و موسوی پور موسی و خه بات درفشی (۱۳۹۱)، «ارزیابی آسیب پذیری ناشی از سیلاب در شهر تهران»، فصلنامه علمی امداد و نجات، سال چهارم، شماره ۳.
- قهرودی تالی، منیژه (۱۳۹۱). «آسیب پذیری خطوط ریلی شمال دشت لوت در مقابل سیلاب»، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال اول، شماره ۱، ۲، ۱۸-۱۷.
- کیانی، سجاد و صمد فتوحی (۱۳۹۲). «ریز پهنه بندی ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی: شهر نهاوند»، فصلنامه آمایش محیط ملایر، شماره ۲۹.
- مؤمنی، منصور (۱۳۹۲). «مباحث نوین تحقیق در عملیات»، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- مهندسان مشاور طرح و آمایش (۱۳۹۲). طرح جامع شهر ارومیه.
- Fernández, D.S., 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.
- Morelli, S., et al. (2012), "Urban planning, flood risk and public policy: The case of the Arno River, Firenze, Italy", *Applied Geography*, No.34, PP: 205-218.
- Simonovic SP and Verma R, (2008), "A new methodology for water resources multi-criteria decision making under uncertainty". *Physics and Chemistry of the Earth*, 33: 322-329
- Singh, V.P. (1996), "Hydrology of disasters, water science and technology library". *Kluwer Academic Publishers*, 24, 395-425
- <http://orumiyeh.isna.ir/>

