

پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب با استفاده از مدل های GIS-MCDA فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه تجن)

یاسر ابراهیمیان قاجاری^{۱*}، محمد براری سیاوشکلایی^۲

استادیار دانشکده عمران - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
y.ebrahimian@nit.ac.ir

دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشه‌برداری - دانشکده عمران - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
bararisiavashkolaei@gmail.com

(تاریخ دریافت آبان ۱۳۹۷، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۷)

چکیده

از آنجا که در ایران پدیده سیل در میان بلایای طبیعی بیشترین تلفات جانی و مالی را دارا می‌باشد، لذا کاهش خسارات ناشی از آن، از دیرباز مورد توجه بوده و امری ضروری تلقی می‌گردد. ضروری‌ترین اقدام جهت مقابله با این بحران طبیعی، ایجاد آمادگی و اتخاذ راهکارهایی برای کاهش آثار زیان‌بار آن می‌باشد. یکی از اقدامات اساسی در این زمینه شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌خیزی یا تولید رواناب می‌باشد. در نتیجه می‌توان در رابطه با نحوه استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف از جمله کشاورزی، شهری، صنعتی و غیره تصمیم‌گیری نمود و زیان‌های ناشی از سیل را به حداقل ممکن کاهش داد. در این تحقیق در ابتدا عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی نظیر زمین‌شناسی، بارش باران، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، زمان تمرکز، شیب، جهت شیب، جنس خاک و کاربری اراضی شناسایی شد. سپس با استفاده از قابلیت‌های GIS و روش تحلیلی سلسله‌مراتبی فازی نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز تجن در پنج طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. بر این اساس ۵۱،۰ درصد مناطق این حوضه دارای پتانسیل تولید رواناب خیلی کم، ۴۸،۵ درصد مناطق دارای پتانسیل تولید رواناب کم، ۲۹،۰۹ درصد دارای پتانسیل تولید رواناب متوسط، ۴،۵۲ درصد دارای پتانسیل تولید رواناب زیاد و ۱۲،۵۲ درصد دارای پتانسیل تولید رواناب خیلی زیاد می‌باشد. همچنین محدوده شهر ساری در محدوده دارای پتانسیل تولید رواناب متوسط تا زیاد قرار داشته و ۸۷ روستا از مجموع ۴۴۱ روستای منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل تولید رواناب خیلی زیاد و واقع در محدوده خطر است. به طور کلی وضعیت راه‌های واقع شده در حوضه آبریز مذکور از حیث پتانسیل تولید رواناب مناسب نمی‌باشد و بخش‌های عمده‌ای از راه‌های واقع در حوضه آبریز از جمله راه‌های اصلی نظیر بخش‌هایی از محور ساری-سمنان دارای پتانسیل تولید رواناب خیلی زیاد است.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب، حوضه آبریز تجن، سامانه‌های اطلاعات مکانی، تئوری مجموعه فازی، تحلیل توسعه‌ای چانگ

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

پدیده سیل به عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی حادث شده در ایران شناخته می‌شود که براساس آمارها بیشترین تلفات جانی و مالی را به خود اختصاص می‌دهد. در ایران حدود ۳۵۰۰ رشته رودخانه مستقل یا سرشاخه مهم با ویژگی‌های متنوع و متفاوت از نظر هواشناسی، هیدرولوژی و کاربری اراضی وجود دارد که تنها در سال ۱۳۹۱ در سراسر ایران ۲۱۷ سیل اتفاق افتاد که بر اثر آن‌ها ۴۸ نفر فوت و ۲۶۳۶ نفر مصدوم شدند. ۶۵۹۶ باب ساختمان تخریب شده و بیش از ۵۵۰۰ میلیارد ریال خسارت اقتصادی وارد شد. در این سال ۲۶ استان کشور سیل را تجربه کردند که گیلان و مازندران هرکدام با ۲۹ مورد سیل بیشترین تعداد را داشتند که در نتیجه آن بیشترین تعداد مرگ (۱۲ نفر) نیز در مازندران اتفاق افتاده بود [۱]. بررسی‌ها نشان می‌دهد حتی اگر پهنه کشور در معرض سیلاب‌های بزرگ نیز نباشد سیلاب‌های کوچک باعث وقوع خسارات فراوان می‌شود. حال آنکه سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد شده است و به عبارتی دیگر ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد است [۲]. در این بین باید در نظر داشت که دشت‌های سیلابی و مناطق مجاور رودخانه‌ها که فضاهایی مناسب برای انجام فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی محسوب می‌شوند، همواره در معرض خطرات ناشی از وقوع سیلاب‌ها قرار دارند و اتفاقاً آنچه بر اهمیت وقوع رخداد سیلاب می‌افزاید قرار گرفتن مراکز انسانی در این محدوده‌ها می‌باشد. وجود چنین مراکزی در محدوده حوضه‌های سیلابی علاوه بر اینکه موجب افزایش تولید رواناب می‌گردد، افزایش خسارات جانی و مالی را نیز به دلیل تراکم بالای جمعیت به همراه خواهد داشت [۳]. در ایران پدیده سیل بیشتر بر اثر به هم خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی منطقه می‌باشد بطوریکه بروز بارش‌های معمولی نیز موجب جاری شدن سیلاب می‌گردد. از بین رفتن پوشش گیاهی در اثر عدم درک صحیح از مدیریت منابع طبیعی تجدیدشونده و نبود جایگاهی برای آن در سیاست‌گذاری‌های کلان، شرایطی را فراهم نموده است تا هر از چند گاهی شاهد بروز سیلاب و اثرات تخریبی آن

باشیم [۴]. بدین ترتیب تلاش برای کاهش خسارات ناشی از سیل و کنترل سیلاب امری ضروری است که در این راه تجارب کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین مرحله جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و درجه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است تا بر اساس نتایج حاصله بتوان در رابطه با نحوه استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف از جمله کشاورزی، شهری، صنعتی و ... تصمیم‌گیری نمود و زیان‌های ناشی از سیل را به حداقل ممکن کاهش داد [۵].

پهنه‌بندی پتانسیل تولید سیل به عبارتی تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب‌های سطحی است. این عمل بر اساس مشابهت خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مناطق مورد بررسی صورت می‌گیرد و از این طریق امکانات استفاده از پتانسیل هر زون مشخص و ارزیابی می‌شود [۶]. مطالعه سیلاب در یک حوضه آبریز مستلزم به‌کارگیری حجم بالایی از اطلاعات و داده‌های متنوع در مورد ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز، کاربری اراضی، نوع خاک و وضعیت هیدرولیکی می‌باشد. از این رو مدیریت سیلاب در یک حوضه آبریز نیازمند نگرش یکجا و سیستمی به سیکل هیدرولوژی است [۵]. شناسایی عوامل مؤثر بر پتانسیل تولید رواناب حوضه‌های آبریز امری ضروری است که برای این مهم داده‌های سنجش‌ازدور (RS) و سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) ابزاری مفید و توانمند می‌باشند. جهت پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب مناطق با استفاده از قابلیت‌های GIS روش‌های مختلفی وجود دارد که در این مقاله از ترکیب قابلیت‌های GIS و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است. مطالعه موردی در تحقیق حاضر نیز حوضه آبریز رودخانه تجن ساری می‌باشد.

ساختار کلی مقاله بدین گونه است که در ابتدا پیشینه تحقیق ارائه شده است و بعد از آن محدوده مورد مطالعه معرفی شده است. در ادامه به روش و مراحل تحقیق اشاره شده است. چگونگی استخراج معیارها، وزن‌دهی به معیارها، تولید نقشه‌های معیار و در نهایت ادغام نقشه‌های معیار و تولید نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب حوضه آبریز در بخشی جداگانه ارائه شده است. در بخش بعدی نتایج تحقیق تحلیل و یافته‌ها ارائه شده است. آخرین بخش مقاله نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادهای برای تحقیقات آینده اختصاص داده شده است.

۲- پیشینه تحقیق

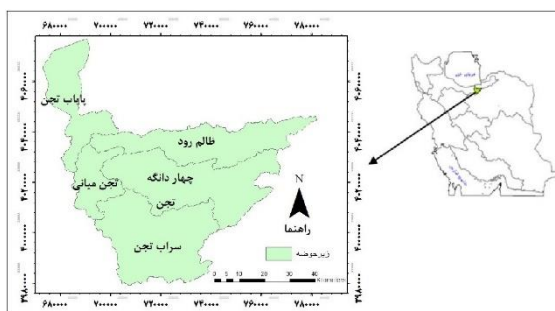
کنترل سیلاب و کاهش خطرات و خسارات ناشی از آن از دیرباز یکی از دغدغه‌های مهم بشریت بوده است. لذا تحقیقات فراوانی با روش‌های متنوع در خصوص پهنه‌بندی سیلاب به‌عنوان یکی از گام‌های مهم و اساسی در راستای انجام این مهم صورت پذیرفته است که بخش کوچکی از آن در ادامه آورده شده است.

Juracek بر اساس معیارهای نفوذپذیری خاک، کاربری زمین و شاخص‌های رطوبتی هم‌چنین بدون در نظر گرفتن تأثیر روندیابی جریان زیرحوضه‌ها تا خروجی حوضه، زیرحوضه‌های منطقه‌ی کانزاس (Kansas) را از حیث قابلیت تولید رواناب به خیلی زیاد تا خیلی کم طبقه‌بندی نمود [۷]. قلی زاده و همکاران با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی شیب، ارتفاع، انحنای پلانیمتریک، انحنای پروفیل، کاربری اراضی، خاک، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی و شاخص NDVI و از طریق مدل فازی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه زنگمار در شهرستان ماکو پرداختند و بر این اساس دریافته‌اند که اغلب نواحی با خطر سیل خیزی بسیار بالا در دامنه‌های محدب و در شیب‌های بین ۰ تا ۷ درصد که اغلب کوهستانی است قرار دارند [۳]. Qin و همکاران با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به پهنه‌بندی خطر سیلاب در بزرگراه‌های منطقه فیولینگ چین بر اساس معیارهای شدت بارش، زمین‌شناسی، فراوانی سیلاب، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی پرداختند [۸]. ملکیان و همکاران اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز اخترآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی نمودند. آن‌ها پس از شناسایی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی به وزندهی هریک از معیارها براساس نظر کارشناسان و با کمک فرآیند سلسله‌مراتبی فازی پرداختند. سپس برای طبقه‌بندی پتانسیل سیل خیزی منطقه، نقشه نهایی به دست آمده از منطقه را در هفت کلاس طبقه‌بندی کردند که مناطق پرخطر را کلاس اول و مناطق کم خطر را کلاس هفتم تشکیل می‌دادند [۹]. حسن‌زاده نفوتی و همکاران در حوضه آبریز شیطان باقی اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره کردند. به این ترتیب که پس از تهیه لایه‌های رقومی پارامترهای مؤثر نظیر مساحت حوزه، شیب حوزه، شیب آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ضریب شکل حوزه،

بارندگی سالانه، کاربری اراضی و نفوذپذیری زیر حوزه‌ها، با روش AHP اقدام به وزندهی هر لایه بر اساس میزان اهمیت آن در بروز سیلاب کرده و در نهایت با اعمال وزن‌ها و ضرایب هر یک از لایه‌ها در الحاقیه MCDAS نرم‌افزار ArcGIS، نقشه ترکیبی را تهیه نمودند [۱۰]. امیراحمدی و همکاران در محدوده شهر سبزوار، از طریق وزندهی به متغیرهای مؤثر بر سیل‌خیزی و لایه‌های کاربری اراضی و تراکم شهری، با استفاده از سیستم AHP، اقدام به مقایسه زوجی لایه‌ها و تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب کردند [۱۱]. اسماعیلی و همکاران با استفاده از روش تاپسیس به تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز گلندرود استان مازندران پرداختند با این توضیح که حوضه گلندرود را به ۱۲ زیر حوضه تقسیم و دوازده معیار شامل مساحت حوضه، تراکم زهکشی، ضریب فشردگی، نسبت گردی، نسبت تلاقی، نسبت مساحت، نسبت طول، شیب دامنه‌های حوضه، میانگین شیب رود، زمان تمرکز، میانگین بارش سالانه و شماره منحنی CN را مدنظر قرار دادند که برای کمی کردن پتانسیل وقوع سیل از تکنیک تاپسیس بهره بردند [۱۲].

۳- محدوده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز تجن از زیرحوضه‌های حوضه آبریز فرعی رودخانه هراز و رودخانه‌های بین هراز و قره‌سو از حوضه آبریز اصلی دریای مازندران بوده که مساحت آن ۴۳۵۶ کیلومترمربع و متشکل از ۵ زیرحوضه ظالم‌رود، پایاب تجن، تجن میانی، چهار دانگه و سراب تجن می‌باشد [۱۳]. این حوضه بین طول جغرافیایی $53^{\circ} 04' 57''$ تا $53^{\circ} 18' 26''$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 09' 17''$ تا $36^{\circ} 29' 49''$ واقع شده که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز تجن به تفکیک زیرحوضه‌ها

رودخانه مهم این حوضه آبریز، تجن نام دارد که از رودخانه‌های مهم مازندران بوده و از کوه‌های هزارگریب و

پرسشنامه‌ها) استخراج شد. در مرحله بعد نقشه‌های معیار تولید شد. سپس وزن معیارها با استفاده از نظرات کارشناسان تعیین شد و در نهایت با ترکیب وزندار نقشه های معیار، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب حوضه آبریز تولید شد.

۴-۲- استخراج معیارها

معیارهای پتانسیل تولید رواناب حوضه آبریز در این تحقیق با استفاده از نظر کارشناسان از طریق مصاحبه و پرسشنامه تهیه شد. برای اطمینان از نتایج نظرسنجی کارشناسان، معیارهای استخراج شده توسط آنها با معیارهای استخراج شده در تحقیقات مشابه مقایسه شد که تطابق بسیار بالایی بین دو مجموعه معیارها وجود داشت. در نهایت با اجتماع معیارهای مستخرج از نظرات کارشناسان در این تحقیق و تحقیقات مشابه، مجموعه کامل-تری از معیارها نسبت به تحقیقات گذشته حاصل شد. این مجموعه معیارها نیز برای تایید نهایی در اختیار گروه دیگری از کارشناسان قرار گرفت که مورد تایید آنها نیز واقع شد. مشخصات کارشناسانی در که در این تحقیق مشارکت نمودند مطابق جدول شماره ۱ می باشد. لازم به ذکر است که در این جدول از ذکر اسامی خودداری شده است.

جدول ۱- مشخصات کارشناسان

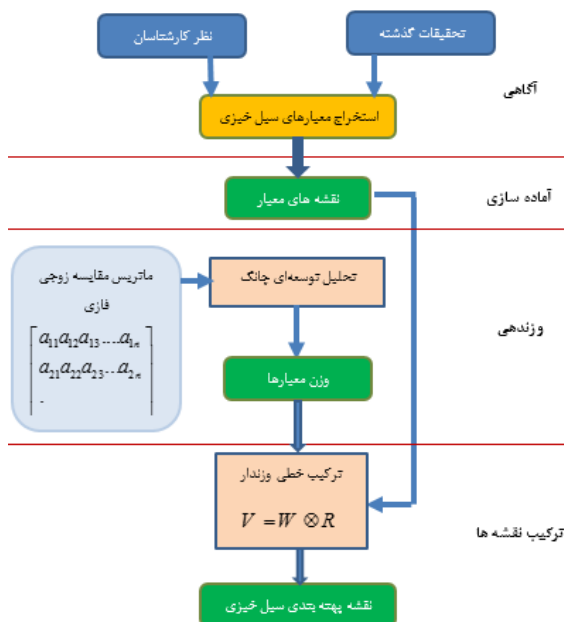
ردیف	تخصص	تحصیلات	سابقه کار	شغل
۱	آبخیزداری	دکتری	۲۰ سال	مدیرعامل شرکت مهندسی مشاور
۲	آبخیزداری	کارشناسی ارشد	۱۹ سال	شرکت آب منطقه‌ای مازندران
۳	آبخیزداری	کارشناسی	۹ سال	کارشناس شرکت مهندسی مشاور
۴	مهندسی آب	دکتری	۱۴ سال	شرکت آب منطقه‌ای مازندران
۵	زمین شناسی	دکتری	۱۰ سال	عضو هیئت علمی دانشگاه
۶	زمین شناسی	کارشناسی ارشد	۱۶ سال	شرکت آب منطقه‌ای مازندران
۷	زمین شناسی	کارشناسی ارشد	۹ سال	کارشناس شرکت مهندسی مشاور
۸	عمران	کارشناسی	۲۶ سال	شرکت آب منطقه‌ای مازندران
۹	هواشناسی	کارشناسی ارشد	۱۵ سال	سازمان هواشناسی مازندران

چشمه‌سارهای متعدد دهستان پشت‌کوه سرچشمه گرفته و پس از عبور از ساری در فرح‌آباد به دریای مازندران می‌ریزد. این رودخانه از ۳ شاخه اصلی تشکیل یافته است که شاخه ظالم‌رود در شمال حوضه آبریز، شاخه اصلی تجن در مرکز و شاخه سفیدرود در جنوب حوضه واقع می‌باشند که بر اساس گزارش شرکت آب منطقه‌ای مازندران میانگین آبدهی سالانه آن ۴۲۳/۴ میلیون متر مکعب می‌باشد [۱۴].

۴- مواد و روش‌ها

۴-۱- روش و مراحل تحقیق

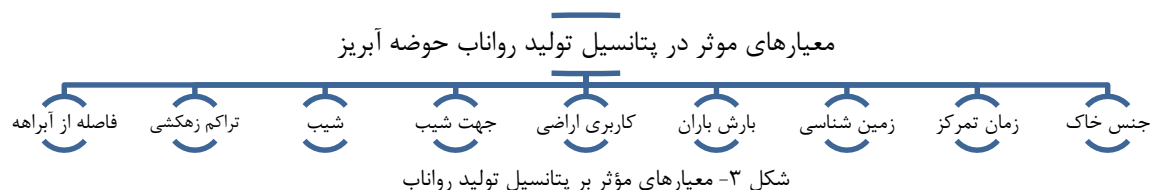
روش تحقیق در این پژوهش، توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر تحقیقات گذشته (مطالعات کتابخانه‌ای) و نظرات کارشناسی است. تولید رواناب تابعی از چندین معیار می‌باشد، لذا پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب یک مسئله ارزیابی چند معیاره می‌باشد که باید به سراغ مدل‌های ارزیابی چند معیاره رفت. مدل‌های ارزیابی چندمعیاره قادر به ارزیابی هم‌زمان معیارهای کیفی و کمی بوده و در مسائلی همانند تحقیق حاضر که معیارها کیفی و کمی‌اند کارایی بسیار بالایی دارند [۱۵]. ارزیابی چندمعیاره مرحله‌ای دارد که در این تحقیق نیز مدنظر قرار گرفته شده است. نمودار مراحل کلی تحقیق حاضر در شکل ۲ نشان داده شده است:



شکل ۲- نمودار مراحل تحقیق (پهنه بندی تولید رواناب)

مطابق نمودار فوق، در مرحله اول (شناخت و آگاهی) معیارهای موثر در تولید رواناب حوضه آبریز با توجه به تحقیقات گذشته و نظرات کارشناسان (با استفاده از

در نهایت ۹ معیار استخراج شد که در شکل ۳ آورده شده است که در ادامه در مورد هر کدام از معیارها توضیحاتی ارائه شده است.



فاصله از آبراهه‌ها: منطقه‌ای که در مجاورت آبراهه‌ها قرار دارد به مراتب پتانسیل تولید رواناب بیشتری نسبت به مناطق دورتر خواهد داشت. لذا هرچه فاصله از آبراهه‌ها کمتر باشد، پتانسیل تولید رواناب بیشتر خواهد بود.

تراکم زهکشی: تراکم زهکشی به طول کلی آبراهه در هر واحد سطح حوضه آبریز گفته می‌شود و هرچه تراکم زهکشی بیشتر باشد پتانسیل تولید رواناب منطقه بالاتر است [۱۶].

شیب: شیب حوضه به دلیل رابطه مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای که با مقدار نفوذپذیری و جریان سطحی و نیز رطوبت خاک دارد، نقش زیادی را در ایجاد جریان‌های شدید و سیلابی در حوضه آبریز دارد [۱۷].

جهت شیب: جهت شیب یکی از عوامل تأثیرگذار در سیل و حرکات دامنه‌ای است، اهمیت جهت شیب در ارتباط با میزان تابش نور خورشید است، به طوریکه سطوح شیب دار به سمت جنوب در نیمکره شمالی انرژی بیشتری دریافت می‌دارند. در نتیجه با افزایش میزان انرژی میزان رطوبت خاک کاهش یافته و ناپایداری دامنه‌ای کمتری ایجاد می‌شود. از این رو تهیه جهت شیب برای پهنه بندی خطر تولید رواناب اهمیت زیادی دارد. به طور کلی میکروکلیم و مورفودینامیک در جهت‌های مختلف شیب با هم متفاوت است. با توجه به اثرات مختلف جهت شیب در منطقه، شناسایی و طبقه‌بندی شیب‌ها بر اساس جهات جغرافیایی در امر برنامه‌ریزی مدیریت بحران اهمیت زیادی دارد [۱۸].

کاربری اراضی: وقوع سیل و تولید رواناب علاوه بر اینکه تابع وقایع اقلیمی است تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف حوضه آبریز مانند کاربری اراضی و دخالت انسان نیز می‌باشد. افزایش سطوح نفوذناپذیر حوضه که ناشی از شهرسازی و احداث انواع سازه‌ها بر خاک‌های نفوذپذیر است، به طور طبیعی از میزان سطوح نفوذپذیر که قادر به جذب بخشی از بارندگی هستند می‌کاهد. حاصل این تغییرات، توسعه زهکشی حوضه، کوتاه شدن زمان تمرکز و افزایش شدت آبدهی سیلاب‌های حوضه خواهد بود [۱۹].

بارش باران: رابطه بارش باران با پتانسیل تولید رواناب رابطه‌ای مستقیم است و هرچه بارش باران در منطقه‌ای بیشتر باشد احتمال تولید رواناب در آن منطقه نیز بیشتر خواهد بود.

زمین‌شناسی: از عوامل مؤثر در تولید رواناب و سیل، زمین‌شناسی حوضه آبریز و مقاومت سازندهای تشکیل‌دهنده سطح حوضه در مقابل فرسایش و گذردهی آب است که هر سازند از خود مقاومت متفاوتی را نشان می‌دهد [۲۰].

زمان تمرکز: زمان تمرکز به فاصله زمانی لازم برای رسیدن جریان سطحی از دورترین و غیرقابل دسترس‌ترین نقطه یک حوضه به دهانه آن گویند که به خصوصیات گیاهی، نوع و عمق خاک، شدت بارندگی و توزیع زمانی و مکانی آن بستگی دارد. زمان تمرکز حوضه‌های کوچک و پرشیب، کوتاهتر از زمان تمرکز حوضه‌های بزرگ و کم شیب است. به علاوه حوضه‌های دایره‌ای شکل با سطح برابر، زمان تمرکز کوتاه‌تری نسبت به حوضه‌های کشیده و بی‌شکل دارند. پوشش سطحی و ناهمواری و زبری سطح حوضه‌ها نیز در طولانی‌تر شدن و یا کوتاه‌تر شدن زمان تمرکز اثر قطعی دارند. زمان تمرکز حوضه‌های ناهموار و با پوشش سطحی متراکم، طولانی‌تر از زمان تمرکز حوضه‌های مسطح و هموار و بدون پوشش است [۲۱].

جنس خاک: خصوصیات خاک منطقه مانند میزان نفوذپذیری آب در آن از جمله موارد مؤثر بر تولید رواناب می‌باشد.

۳-۴- تولید نقشه‌های معیارها

نقشه‌های معیار در این تحقیق با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.5 و با تحلیل روی داده‌های مربوطه مانند Dem، آبراهه‌ها، زمین‌شناسی و غیره تولید شده است. در تولید نقشه‌های معیار، لایه‌های GIS متناسب با هر یک از معیارها به ۵ پهنه متناسب با پتانسیل تولید رواناب (خیلی

نقشه معیار جهت شیب: این نقشه با استفاده از ابزار Aspect نرم افزار ArcGIS 10.5 و اعمال روی نقشه DEM منطقه مورد مطالعه تولید و مطابق جدول ۵ به پنج کلاس طبقه بندی شد.

جدول ۵- طبقات جهت شیب

پتانسیل تولید رواناب	طبقات
خیلی کم	سطح هموار
	شمال
	شرق
کم	شمال شرق
	جنوب شرق
متوسط	شمال غرب
	جنوب
زیاد	جنوب غرب
	غرب
خیلی زیاد	

نقشه معیار کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی با توجه به نظر کارشناسان بر اساس میزان تاثیر در تولید رواناب به پنج کلاس (مطابق جدول ۶) طبقه بندی شد.

جدول ۶- طبقات کاربری زمین

پتانسیل تولید رواناب	طبقات
خیلی کم	جنگل‌های انبوه
	پهنه‌های ماسه‌ای فاقد پوشش
	سطوح آبی
	مراتع خوب
کم	جنگل‌های نیمه انبوه
	مراتع متوسط
متوسط	جنگل‌های تنک
	اراضی کشاورزی آبی و باغات
	مراتع فقیر
زیاد	مناطق مسکونی
خیلی زیاد	اراضی کشاورزی دیم

نقشه معیار بارش باران: این نقشه با استفاده از تابع IDW و اعمال روی آمار معلوم بارش در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه تولید شد و طبق نظر کارشناسان مطابق جدول ۷ به پنج کلاس طبقه بندی شد.

جدول ۷- طبقات بارش باران

پتانسیل تولید رواناب	طبقات
خیلی کم	۲۳۶ الی ۳۷۲ میلی متر
کم	۳۷۲ الی ۵۰۷ میلی متر
متوسط	۵۰۷ الی ۶۴۲ میلی متر
زیاد	۶۴۲ الی ۷۷۷ میلی متر
خیلی زیاد	۷۷۷ الی ۹۱۲ میلی متر

زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) طبقه‌بندی شدند. این طبقه‌بندی‌ها با استفاده از نظرات کارشناسان صورت پذیرفته است. در ادامه به چگونگی تولید نقشه‌های معیار پرداخته شده است. تمامی داده های مور نیاز این تحقیق از شرکت آب منطقه‌ای مازندران و سازمان هواشناسی مازندران تهیه شده است.

نقشه معیار فاصله از آبراهه: این نقشه با استفاده از ابزار Euclidean Distance نرم افزار ArcGIS 10.5 و اعمال روی نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه تولید و مطابق جدول ۲ به پنج کلاس بر اساس میزان تاثیر در پتانسیل تولید رواناب طبقه بندی شد.

جدول ۲- طبقات فاصله از آبراهه‌ها

پتانسیل تولید رواناب	طبقات
خیلی کم	بیشتر از ۴۰۰۰ متر
کم	۳۰۰۰ الی ۴۰۰۰ متر
متوسط	۲۰۰۰ الی ۳۰۰۰ متر
زیاد	۵۰۰ الی ۲۰۰۰ متر
خیلی زیاد	۰ الی ۵۰۰ متر

نقشه معیار تراکم ذهکشی: این نقشه با استفاده از ابزار Line Density نرم افزار ArcGIS 10.5 و اعمال روی نقشه آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه تولید و مطابق جدول ۳ به پنج کلاس طبقه بندی شد.

جدول ۳- طبقات تراکم زهکشی

پتانسیل تولید رواناب	طبقات
خیلی کم	۰ - ۰,۱۵
کم	۰,۱۵ - ۰,۳
متوسط	۰,۳ - ۰,۴۵
زیاد	۰,۴۵ - ۰,۶
خیلی زیاد	۰,۶ - ۰,۷۵

نقشه معیار شیب: این نقشه با استفاده از ابزار Slope نرم افزار ArcGIS 10.5 و اعمال روی نقشه DEM منطقه مورد مطالعه تولید و مطابق جدول ۴ به پنج کلاس طبقه بندی شد.

جدول ۴- طبقات شیب

پتانسیل تولید رواناب	طبقات
خیلی کم	۰ الی ۵ درصد
کم	۵ الی ۱۲ درصد
متوسط	۱۲ الی ۲۰ درصد
زیاد	۲۰ الی ۳۰ درصد
خیلی زیاد	بیشتر از ۳۰ درصد

نقشه معیار زمین شناسی: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه ای مازندران دریافت شد و با توجه به نظر کارشناسان بر اساس اهمیت در پتانسیل سیل خیزی به پنج کلاس (مطابق جدول ۸) طبقه بندی شد.

جدول ۸- طبقات زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

ردیف	طبقات زمین شناسی حوضه آبریز تجن	پتانسیل تولید رواناب
1	آهک های توده ای با لایه بندی ضخیم	خیلی کم
2	آهک های زرد، لایه های نازک تا ضخیم حاوی فسیل های آرجیکوس، آهک های خاکستری تیره، شیل و مارل-	
3	آهک های نومولیتی (دانه ریز و مرتب)	
4	آهک های توده ای خاکستری تیره با لایه بندی متوسط	
5	باتلاق و جنگل های کوتاه	
6	ماسه سنگ های آرکوسیک قرمز تیره با دانه بندی متوسط و سیلت های میکادار	کم
7	دولومیت صفحه ای و آهک های حاوی تریلوبیت (ماسه سنگ و شیل)	
8	آهک های توده ای حاوی شیل و مارل	
9	آهک های توده ای خاکستری روشن با لایه بندی نازک	
10	آهک های توده ای ضخیم با لایه بندی ضخیم حاوی اوربیتولین صورتی	
11	شیل های صفحه ای خاکستری مایل به سبز کم رنگ همراه با آهک ماسه سنگی ناجور	
12	آهک های با لایه بندی متوسط تا ضخیم	
13	آهک های حاوی گلوبوترانکا	
14	آهک های با دانه بندی خوب، لایه نازک حاوی آرجیاکوس سبز خاکستری با لایه بندی داخلی از شیل های آهکی	
15	آهک های حاوی هیپوریت	
16	آهک و کنگلومرای قرمز رنگ	
17	توف های سبز با دانه بندی خوب به همراه شیل های توفی	
18	آهک های فسیل دار خاکستری متمایل به تیره به همراه شیل های تیره رنگ	
19	کنگلومرای پلی میکتیک و آهک	
20	آهک های آرزیاکوس زرد متمایل به صورتی با لایه بندی ضخیم همراه با اشکال کرمی	
21	مارل قرمز رنگ، مارل ژیبسی، ماسه سنگ و کنگلومرا	متوسط
22	ماسه سنگ قرمز رنگ و شیل حاوی آهک ماسه سنگی ناجور	
23	دولومیت، آهک و شیل های متنوع	
24	کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل حاوی رگ های زغالی و بازمانده های گیاهی	
25	مارل، آهک و مارل های ژیبسی	
26	مارل، ماسه سنگ آهکی، آهک ماسه سنگی و کنگلومرای خرد شده میزبان	
27	شیل های خاکستری تیره و آهک	
28	کنگلومرای پلی ژئیک دانه درشت و قرمز روشن به همراه ماسه سنگ های بین لایه ای	
29	مارل، شیل و آهک های تخریب شده	
30	رسوبات تراسی دره ای به جای مانده در بخش بالایی	زیاد
31	آهک های نوع ریفی و مارل ژیبسی	
32	مارل و مارل های ژیبسی به همراه ماسه سنگ های رسی محلی	
33	آهک های اولایتیکی خاکستری با لایه بندی ضخیم، آهک های شیلی صفحه صفحه شده نازک زرد رنگ متمایل	
34	رس های یکپارچه	خیلی زیاد
35	رسوبات تراسی دره ای به جای مانده در بخش پایینی	

ایران هیدرولوژی (iranhydrology.net) محاسبه و در جدول ۹ ارائه شد.

نقشه معیار زمان تمرکز: در این تحقیق زمان تمرکز هر زیرحوضه از طریق روش کالیفرنیا با استفاده از سایت

جدول ۹- زمان تمرکز زیرحوضه ها

زیرحوضه	طول ابراهه اصلی	اختلاف ارتفاع (متر)	زمان تمرکز (ساعت)
یایاب تجن	۶۰,۷۴	۴۱۹,۴۱	۱۰,۷۱
تجن میانی	۳۹,۸۴	۹۶۴,۱	۴,۷۸
زارم رود	۹۷,۷۲	۲۰۹۲,۴۵	۹,۹۹
چهاردانگه	۸۴,۷۴	۲۰۴۵,۱۱	۸,۵۵
سراب تجن	۶۸,۹	۱۸۲۰,۹۷	۷,۰۴

با محاسبه زمان تمرکز در هر یک از حوضه های آبریز حوضه تجن، مطابق جدول ۱۰ و طبق نظر کارشناسان، لایه زمان تمرکز به پنج کلاس طبقه بندی شد.

جدول ۱۰- طبقات زمان تمرکز

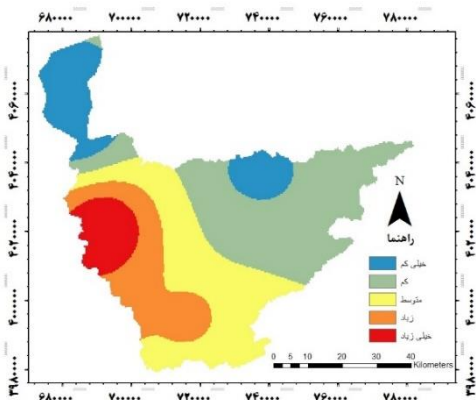
پتانسیل تولید رواناب	طبقات
خیلی زیاد	۵,۹۶۶۱۲۷ - ۴,۷۸۰۱۸۵
زیاد	۷,۱۵۲۰۷ - ۵,۹۶۶۱۲۷
متوسط	۸,۳۳۸۰۱۲ - ۷,۱۵۲۰۷
کم	۹,۵۲۳۹۵۴ - ۸,۳۳۸۰۱۲
خیلی کم	۱۰,۷۰۹۸۹۶ - ۹,۵۲۳۹۵۴

نقشه معیار جنس خاک: نقشه جنس خاک منطقه مورد مطالعه از شرکت آب منطقه ای مازندران دریافت شد و با توجه به نظر کارشناسان بر اساس میزان تاثیر در تولید رواناب به پنج کلاس (مطابق جدول ۱۱) طبقه بندی شدند.

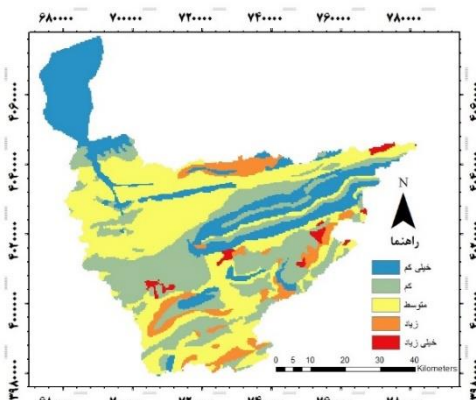
جدول ۱۱- طبقات جنس خاک

پتانسیل تولید رواناب	طبقات
خیلی کم	شن‌های ساحلی
کم	مولیسولز (Mollisols)
	آلفوسولز (Alfisols)
متوسط	اینسپتیسولز (Inceptisols)
زیاد	رخمون سنگی / اینسپتیسولز (Rock Outcrops/Inceptisols)
خیلی زیاد	رخمون سنگی / انتیسول (Outcrops/Entisols)

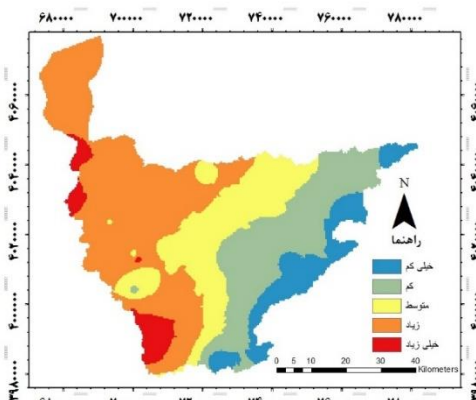
هر کدام از نقشه های معیار در شکل های ۴ الی ۱۲ نشان داده شده است.



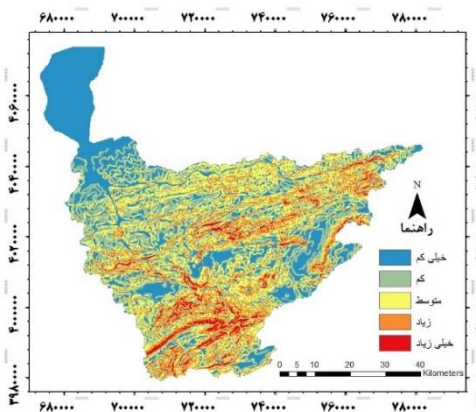
شکل ۴- نقشه زمان تمرکز



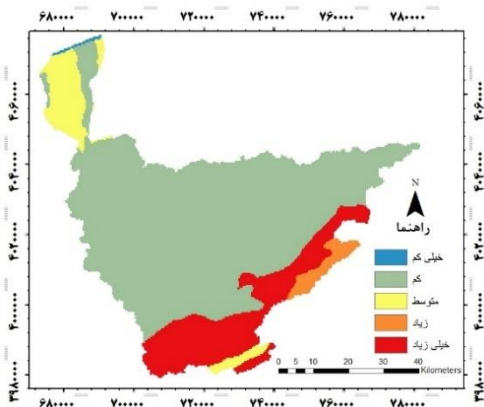
شکل ۵- نقشه زمین شناسی



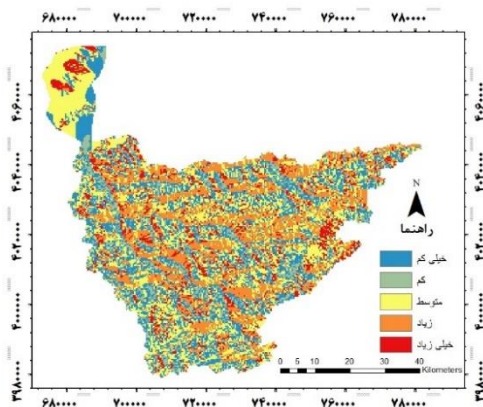
شکل ۶- نقشه بارش باران



شکل ۷- نقشه شیب



شکل ۱۲- نقشه جنس خاک



شکل ۸- نقشه جهت شیب

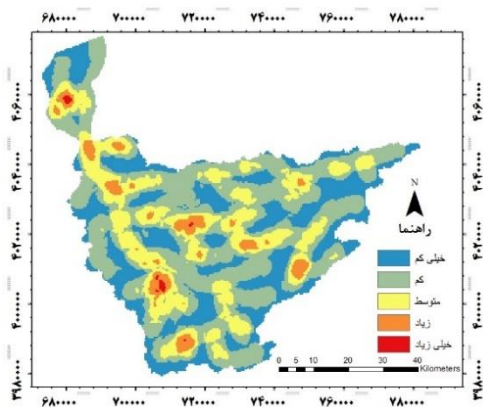
۴-۴- وزن دهی به معیارها

همانطور که اشاره شد پتانسیل تولید رواناب تابعی است از چندین معیار که هر معیار با یک وزن نسبی در محاسبه پتانسیل تولید رواناب موثر است. بنابراین محاسبه وزن معیارها از این لحاظ بسیار مهم است چون تاثیر مستقیم در محاسبات تولید رواناب و محصول نهایی تحقیق دارد. از آنجا که در این تحقیق برای محاسبه وزن نسبی معیارها از مقایسات زوجی آن‌ها با استفاده از نظر کارشناسان استفاده شده است، لذا اهمیت محاسبه وزن در این حالت بیشتر می‌شود، چون عدم قطعیت‌هایی ناشی از قضاوت‌های ذهنی کارشناسان باید در محاسبات وزن در نظر گرفته شوند. کارشناسان برای مقایسه زوجی شاخص‌ها و بیان میزان برتری شاخص‌ها نسبت به همدیگر از متغیرهای زبانی استفاده کرده‌اند که در جدول ۱۲ آورده شده است.

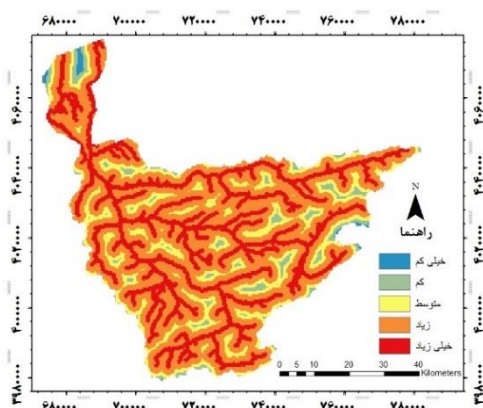
در جدول زیر متغیرهای زبانی، اعداد مقایسه زوجی در تکنیک AHP کلاسیک و اعداد فازی مثلثی متناظر با آن‌ها آمده است. عدد فازی مثلثی نوع خاصی از اعداد فازی است که با استفاده از سه تایی مرتب (l,m,u) و رابطه ۱ تعریف می‌گردد. در هر عدد فازی مثلثی 1 حد پایینی، m مقدار میانه و u حد بالایی نامیده می‌شود [۲۳]:

$$\mu_{\tilde{M}} = \begin{cases} (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

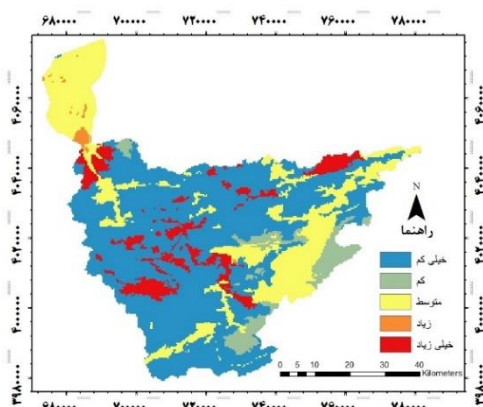
ماتریس مقایسات زوجی در این تحقیق که در آن از اعداد فازی مثلثی اشاره استفاده شده است در جدول ۱۳ آورده شده است.



شکل ۹- نقشه تراکم زهکشی



شکل ۱۰- نقشه فاصله از آبراهه



شکل ۱۱- نقشه کاربری اراضی

جدول ۱۲- متغیرهای زبانی و اعداد مقایسات زوجی در AHP کلاسیک و اعداد فازی مثلثی معادل آنها [۲۲]

متغیرهای	عدد مقایسه زوجی	عدد فازی مثلثی معادل	عدد مقایسه زوجی	عدد فازی مثلثی معادل معکوس
کاملاً برابر	$\tilde{1}$	(۱و۱)	$\tilde{1}^{-1}$	(۱و۱)
بینابین	$\tilde{2}$	(۱و۲و۳)	$\tilde{2}^{-1}$	(۱/۳و۱/۲و۱)
کمی بهتر	$\tilde{3}$	(۲و۳و۴)	$\tilde{3}^{-1}$	(۱/۴و۱/۳و۱/۲)
بینابین	$\tilde{4}$	(۳و۴و۵)	$\tilde{4}^{-1}$	(۱/۵و۱/۴و۱/۳)
بهتر	$\tilde{5}$	(۴و۵و۶)	$\tilde{5}^{-1}$	(۱/۶و۱/۵و۱/۴)
بینابین	$\tilde{6}$	(۵و۶و۷)	$\tilde{6}^{-1}$	(۱/۷و۱/۶و۱/۵)
خیلی بهتر	$\tilde{7}$	(۶و۷و۸)	$\tilde{7}^{-1}$	(۱/۸و۱/۷و۱/۶)
بینابین	$\tilde{8}$	(۷و۸و۹)	$\tilde{8}^{-1}$	(۱/۹و۱/۸و۱/۷)
برتری مطلق	$\tilde{9}$	(۸و۹و۹)	$\tilde{9}^{-1}$	(۱/۹و۱/۹و۱/۸)

جدول ۱۳- ماتریس مقایسه زوجی فازی به همراه وزن نهایی و نرخ ناسازگاری

معیارهای	شیب	جنس	کاربری	بارش	تراکم	فاصله از	زمین	جهت	زمان
شیب	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{2}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{2}$
جنس خاک	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$
کاربری اراضی	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$
بارش باران	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{2}$
تراکم زهکشی	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$
فاصله از آبراهه	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$
زمین شناسی	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{3}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{2}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{3}$
جهت شیب	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$
زمان تمرکز	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{2}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{3}^{-1}$	$\tilde{1}$	$\tilde{1}$
وزن نهایی	۰,۱۷	۰,۱۰۴	۰,۰۵۲	۰,۱۴۸	۰,۱۰۴	۰,۰۸۸	۰,۱۷۸	۰,۰۸۸	۰,۰۶۸

مرحله ۲: محاسبه میانگین هندسی ترکیبی فازی هر

شاخص با روابط ۳ تا ۵ (\tilde{S}_i) (i شماره سطر و z شماره ستون ماتریس)

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n M_{ij} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n M_{ij} = \left(\sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad (4)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}} \right) \quad (5)$$

در تحلیل توسعه‌ای چانگ چنانچه دو عدد مثلثی $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ و $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ در نظر گرفته شود، عملگرهای ریاضی به صورت روابط ۶ تا ۸ تعریف خواهند شد [۲۵]:

$$M_1 + M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (6)$$

با تشکیل ماتریس مقایسه زوجی فازی می‌توان با یکی از روش‌های موجود به محاسبه وزن نسبی شاخص‌ها پرداخت. در این تحقیق از روش تحلیل توسعه‌ای چانگ استفاده شده است. فرآیند تحلیل توسعه‌ای چانگ یکی از روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی است که توسط آقای چانگ ارایه شد [۲۴]. این روش در عین سادگی امکان محاسبه نرخ ناسازگاری را نیز فراهم نموده و از پرکاربردترین روش‌های تحلیل سلسله مراتبی فازی می‌باشد. در این روش پس از مشخص شدن معیارها، مقایسات زوجی بین آن‌ها با متغیرهای زبانی که در جدول ۱۳ آمده است صورت می‌پذیرد و به جای متغیرهای زبانی از اعداد فازی مثلثی متناظر با هر متغیر زبانی استفاده می‌شود. به طور خلاصه می‌توان مراحل روش تحلیل توسعه‌ای چانگ را به صورت زیر بیان نمود:

مرحله ۱: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با اعداد فازی مثلثی ($M_{n \times n}$) (n تعداد شاخصها می‌باشد)

$$\tilde{M}_{n \times n} = \begin{pmatrix} \tilde{m}_{11} & \dots & \tilde{m}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{m}_{n1} & \dots & \tilde{m}_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (l_{11}, m_{11}, u_{11}) & \dots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & \dots & (l_{nn}, m_{nn}, u_{nn}) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$hgt(\tilde{M}_i \cap \tilde{M}_j) = \frac{u_j - l_i}{(u_j - m_j) - (m_i - l_i)} \quad (12)$$

مرحله ۴: محاسبه درجه بزرگی هر \tilde{S}_i نسبت به سایر \tilde{S}_i ها که برای k عدد فازی از رابطه ۱۳ قابل محاسبه است:

$$V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \dots, \tilde{M}_k) = \min V(M \geq M_i) \quad i=1,2,\dots,k \quad (13)$$

چنانچه رابطه زیر (رابطه ۱۴) مفروض گردد:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad k=1,2,\dots,n; k \neq i \quad (14)$$

در اینصورت بردار وزن به استفاده از رابطه ۱۵ بدست می‌آید:

$$W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n)^T = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (15)$$

مرحله ۵: در این مرحله باید وزن‌های محاسبه شده طبق رابطه ۱۶ نرمال سازی شوند:

$$w_i = \frac{w'_i}{\sum_{i=1}^n w'_i} \quad (16)$$

یادآوری می‌گردد که یکی از مراحل مهم در تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی است که در این تحقیق نیز محاسبه شده است. روش‌های مختلفی برای محاسبه نرخ ناسازگاری در تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه شده است که یکی از آن روش‌ها غیرفازی سازی عناصر ماتریس مقایسه زوجی با یکی از روش‌های موجود و محاسبه نرخ ناسازگاری با روش کلاسیک می‌باشد [۲۶]. در این صورت اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰٫۱ باشد، نشان دهنده سازگاری قابل قبول مقایسات زوجی طبق نظر کارشناسان می‌باشد. روش‌های مختلفی برای غیرفازی سازی اعداد فازی ارائه شده است که در این تحقیق از روش غیرفازی سازی مرکز ثقل استفاده شده است. بهترین مقدار غیرفازی یک عدد فازی $\tilde{M} = (l, m, u)$ برای عدد فازی مثلثی (BNP) از روش غیرفازی سازی مرکز ثقل از رابطه ۱۷ قابل محاسبه است [۲۷]:

$$BNP = l + \frac{(u-l) + (m-l)}{3} \quad (17)$$

$$M_1 \times M_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (7)$$

$$M_1^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}\right), M_2^{-1} = \left(\frac{1}{u_2}, \frac{1}{m_2}, \frac{1}{l_2}\right) \quad (8)$$

البته باید توجه داشت که حاصلضرب دو عدد فازی مثلثی یا معکوس یک عدد فازی مثلثی، دیگر عدد فازی مثلثی نیست. این روابط فقط تقریبی از حاصلضرب واقعی دو عدد فازی مثلثی و معکوس یک عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند [۲۵]. بنابراین رابطه ۳ به صورت رابطه ۹ قابل محاسبه خواهد بود:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n M_{ij} \otimes \left[\sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n M_{tj} \right]^{-1} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n u_{tj}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n m_{tj}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n l_{tj}} \right) \quad (9)$$

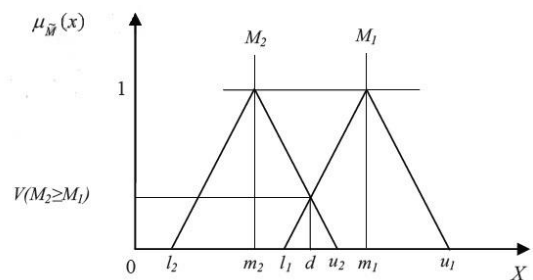
مرحله ۳: محاسبه درجه بزرگی یا ارجحیت \tilde{S}_i ها نسبت به همدیگر $V(\tilde{M}_i \geq \tilde{M}_j)$ طبق رابطه ۱۰:

$$V(\tilde{M}_i \geq \tilde{M}_j) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{\tilde{M}_1}(x), \mu_{\tilde{M}_2}(y))] \quad (10)$$

که این مقدار برای اعداد فازی مثلثی از رابطه ۱۱ بدست می‌آید:

$$\mu(d) = V(\tilde{M}_i \geq \tilde{M}_j) = \begin{cases} 1 & m_i \geq m_j \\ 0 & l_j \geq u_i \\ \frac{u_j - l_i}{(u_j - m_j) - (m_i - l_i)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

در این رابطه d مختصات بالاترین نقطه تقاطع بین $\mu_{\tilde{M}_2}$ و $\mu_{\tilde{M}_1}$ است که در شکل ۱۳ نشان داده شده و مقدار آن از رابطه ۱۲ بدست می‌آید:



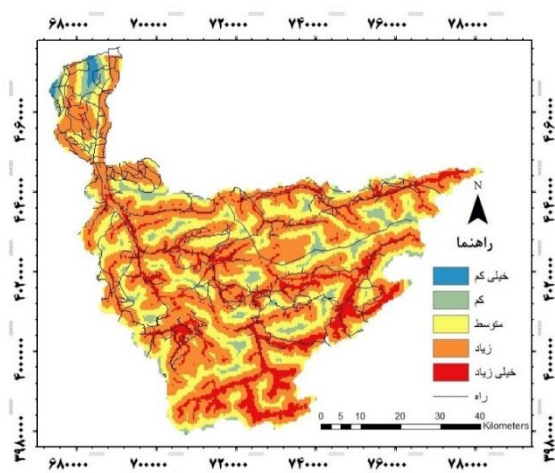
شکل ۱۳- محاسبه درجه بزرگی دو عدد فازی نسبت به یکدیگر

جدول ۱۴- مساحت طبقات مختلف منطقه مورد مطالعه از حیث

طبقه خطر پذیری	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
خیلی کم	۲۱۴۱۰۵۲	۰٫۵۱
کم	۲۳۱۲۸٫۲۸	۵٫۴۸
متوسط	۱۲۲۶۶۴٫۷	۲۹٫۰۹
زیاد	۲۲۰۹۸۰٫۲	۵۲٫۴
خیلی زیاد	۵۲۸۰۰٫۶۳	۱۲٫۵۲
مجموع	۴۲۱۷۱۴٫۸	۱۰۰

با توجه به نتایج تحقیق، محدوده شهرستان ساری دارای پتانسیل تولید رواناب متوسط تا زیاد بوده و از میان ۴۴۱ روستای موجود در منطقه مورد مطالعه، ۸۷ روستا در محدوده تولید رواناب با پتانسیل خیلی زیاد قرار گرفتند.

همچنین با مشاهده نقشه راه‌های حوضه آبریز تجن به راحتی مشاهده می‌شود که بخش‌های عمده‌ای از راه‌ها از جمله راه‌های اصلی حوضه آبریز نظیر بخش‌هایی از محور ساری به سمتان از لحاظ پتانسیل تولید رواناب وضعیت مناسبی نداشته و دارای پتانسیل تولید رواناب خیلی زیاد می‌باشند. (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- نقشه راه‌ها در نقشه پتانسیل تولید رواناب حوضه آبریز تجن

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

کاهش خسارات ناشی از سیل چه از طریق روش‌های سازه‌ای (از قبیل احداث سد مخزنی و سیل‌بند، اصلاح مسیر رودخانه و افزایش ظرفیت عبور جریان، عملیات آبخیزداری) و چه از طریق روش‌های غیر سازه‌ای (نظیر سیستم هشدار سیل، آموزش‌های مردمی، بیمه سیل) در مرحله اول نیازمند شناخت دقیق منطقه مورد مطالعه از

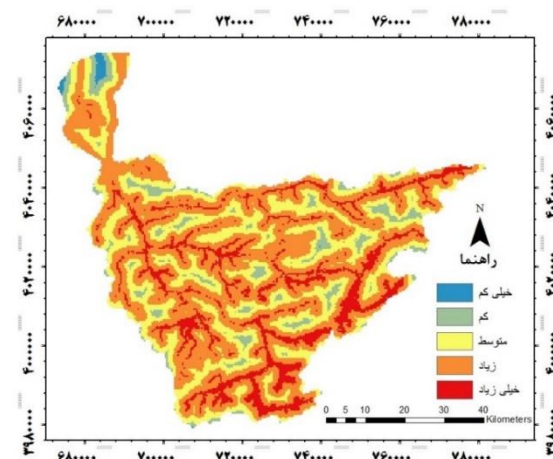
لازم به ذکر است کلیه محاسبات در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزارهای متلب و اکسل صورت پذیرفته است. وزن نهایی شاخص‌ها در جدول ۱۳ آورده شده است. همچنین نرخ ناساگاری برابر ۰٫۰۱۱ بدست آمده که حاکی از سازگاری قابل قبول نظرات کارشناسی می‌باشد.

۴-۵- ادغام نقشه‌های معیار و تولید نقشه پهنه-بندی پتانسیل سیل خیزی

با روی هم گذاری نقشه‌های معیار و ادغام وزندار آنها نقشه نهایی پتانسیل تولید رواناب حاصل می‌شود. در واقع مقادیر نهایی هر پیکسل از رابطه ۱۸ به دست می‌آید.

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j * r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

در رابطه فوق V_i پتانسیل تولید رواناب پیکسل i ، W_j وزن معیار j و r_{ij} پتانسیل تولید رواناب پیکسل i با توجه به معیار j می‌باشد. در نهایت نقشه پتانسیل تولید رواناب با استفاده از تابع Weighted Sum نرم‌افزار Arc GIS 10.5 تولید و به ۵ کلاس از پتانسیل تولید رواناب خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه بندی شد. نقشه پهنه بندی پتانسیل تولید رواناب منطقه در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب حوضه آبریز تجن

۵- تحلیل نتایج و یافته‌ها

با تحلیل آماری نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب حوضه آبریز تجن که در حدود ۴۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد، مشخص شد که بیش از نیمی از مساحت این حوضه دارای پتانسیل تولید رواناب زیاد و خیلی زیاد می‌باشد. تحلیل آماری در جدول شماره ۱۴ نشان داده شده است.

های تصمیم‌گیری گروهی به نتایج قابل اطمینان‌تری دست یافت. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های مورد استفاده و همچنین نظرات کارشناسان، به کارگیری سایر تکنیک‌های مدیریت عدم قطعیت مانند دمپستر شافر، فازی نوع ۲، فازی شهودی پیشنهاد می‌گردد. همچنین می‌توان پهنه‌بندی سیلاب را در شرایط مختلف ریسک (از دیدگاه خوش بینانه تا بدبینانه) با استفاده از تکنیک‌هایی همانند میانگین وزنی مرتب شده (OWA) انجام داد. در پایان با توجه به اهمیت مقابله با سیل، پیشنهاد می‌شود نتایج این تحقیق به صورت عملی مورد استفاده کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای مازندران و سازمان مدیریت بحران قرار بگیرد. لذا پیشنهاد می‌شود سامانه تصمیم یار مکانی برای پتانسیل یابی تولید رواناب در تمامی حوضه‌های آبریز در دستور کار نهادهای ذیربط قرار گرفته و با اختصاص بودجه ای مناسب پیاده سازی و استفاده شود.

تقدیر و تشکر

از همه کارشناسان خصوصاً کارشناسان آب منطقه‌ای مازندران و مهندسين مشاور آقایان وحید غلامی، مهدی عمادی، چنگیز افشار، محمدتقی عظیمی، مرتضی نبی‌زاده، خلیل فقهی و علی کولائیان برای در اختیار قرار دادن داده‌ها و مشارکت در استخراج معیارها و وزندهی آنها جهت نشان دادن نتیجه واقعی کار تشکر و قدردانی می‌گردد. این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل از محل گرنت به شماره BNUT/389031/97 انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

حیث پتانسیل سیل خیزی یا پتانسیل تولید رواناب می‌باشد. این مهم به دلایلی چون تنگناهای مالی و عدم وجود نگاه یکپارچه مدیریتی بیش از پیش مورد اهمیت واقع می‌گردد. وجود نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب در حوضه آبریز تجن به واسطه‌ی آنکه حوضه مذکور از لحاظ تقسیمات سیاسی در دو استان مازندران و سمنان واقع گشته است، به مراتب از اهمیت بالاتری برخوردار است چراکه بخشی از مناطق سیل‌خیز در سرشاخه‌های شیرین رود واقع در دهستان چاشم استان سمنان بوده و طغیان‌های ناشی از آن خسارات زیادی را به مناطق پایین دست در استان مازندران وارد می‌کند. لذا با داشتن این نقشه و نتایج حاصل از آن یعنی شناخت مناطق از لحاظ پتانسیل تولید رواناب می‌توان با نگاهی یکپارچه و همچنین اولویت بندی صحیح در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، پروژه‌های آبخیزداری در بالادست مناطق سیل‌خیز و دارای پتانسیل تولید رواناب زیاد (خصوصاً روستاهایی که منطقه مسکونی آن‌ها در خطر خسارات ناشی از سیل می‌باشد) را تعریف، تکمیل و یا توسعه داد. همچنین با مدیریت صحیح منابع مالی و انسانی برای ایمن سازی جاده‌های ارتباطی در معرض خطر وقوع سیل برنامه‌ریزی نمود و از استقرار صنایع و مراکز جمعیتی و اجرای طرح هادی و صدور مجوز در این ارتباط در مناطق پرخطر جلوگیری کرد. همچنین در توزیع اعتبارات حوادث مربوط به سیل و امر آموزش و اطلاع‌رسانی، مناطق با پتانسیل تولید رواناب بالا را در اولویت اول قرار داد. همچنین می‌توان در انتخاب شیوه‌های شخم و شیار، کشت و زرع و اقدامات حفاظتی در مقابل فرسایش و کنترل سیلاب، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب حوضه آبریز را مدنظر قرار داد. همانطور که اشاره شد نتایج این تحقیق مبتنی بر نظرات کارشناسی بوده، لذا می‌توان به به کارگیری تکنیک

مراجع

- [1] Soleimani, E., Babaei, J., Sadeghi, F. and Shokri, F. (2014). "Flood hazard profile in Iran in 1391", The 2nd National Conference on Flood Management and Engineering with Urban Flood Approach, Tehran, 2014. Permanent Secretariat of the National Conference on Flood Management.
- [2] Ahmadi, A., HajAbbasi, M.A. and Jalalian, A. (2002). "The Effect of Land Use Change on Dumping on Runoff Production, Waste and Quality of Soil in Dorahean, Chaharmahal va Bakhtiari", Water Science Journal, Vol.6, No.4, PP.103-115.
- [3] ghoolizadeh A, ghanavati E, afsharmanesh H, amanullah pour H. (2018). "Fuzzy Model Efficiency on Flooding Potential in the Basin of Zangmar". Journal of Geographic Space, Vol.17, No.60, PP.227-245.
- [4] Lajvardi, M., Khaledi, Sh. And Sattari, Sh. (2013). "Zoning the Flood Bearing Mordaghchai Watershed (Eastern Azerbaijan). Journal of Geography and Planning, Vol.17, No.44, PP.237-255.

- [5] Hamidi, N., Vafakhah, M. and Najafi A. (2016). "Development of Urban Flood Hazard Map for Nour City Using Analytical Hierarchy Process and Fuzzy". *Journal of Watershed Management Research*, Vol.7, No.14, PP.11-19.
- [6] Abdi, P. and Rasoli, M. (2001). "Report of flood hazard zonation in Zanjan Rood watershed". Publication of Soil Conservation and Watershed Management Research Center.
- [7] Juracek, K. E., (2000). "Estimation and comparison of potential runoff-contributing area in Kansas using topographic, soil and land-use information", *Water Resources Investigation*, Report NO. PP.00-4177.
- [8] Qin Q-m, Tang H-m, Chen Hk. (2011). "Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fuling District, Chongqing". 2011 International Conference on Photonics, 3Dimaging, and Visualization. International Society for Optics and Photonics, pp 820530-820530-820538.
- [9] Malekian, A., Oftadeghan. A. and Ashornezhad, A. (2012). "Flood Hazard Zoning in Watershed Scale using Fuzzy Logic (Case study: Akhtar Abad Watershed)". *Journal of Physical Geography Research*, Vol.44, No.4, PP.131-152.
- [10] Hasanzade, M. and Khajehbafghi, H. (2017). "Flood Hazard Zoninig Using Multiple Criteria Decision Analysis System (Case Study: Sheytoor Watershed in Bafgh)". *Journal of Watershed Management Research*, Vol.7, No.14, PP.29-37.
- [11] Amirahmadi, A.G., Behniafar A. and Ebrahimi, M. (2012). "Mineralization of flood risk in the city of Sabzevar in line with sustainable urban development". *Quarterly Journal of Environmental Based Traditional Planing*, Vol.5, No.16, PP.17-32.
- [12] Esmaeili, R., Jokar I. and Roshanneko, P. (2016). "Determining the potential of flooding using Topsis method, case study mazandaran province, Galandrud catchment". *Journal of Natural Geographic*, Vol.9, No31, PP.77-87.
- [13] Deputy Director for Research and Studies, Iran Water Resources Co. (2004). "Recipients and criteria for dividing and coding watersheds and study areas across the country". *Journal of Department of Energy*, No.282.
- [14] Afshin, Y. (1994). "Iran Rivers". Ministry of Energy and Jamab Consulting Engineers Co.
- [15] Ghajari, Y.E., et al., (2018). "Urban vulnerability under various blast loading scenarios: Analysis using GIS-based multi-criteria decision analysis techniques. *Cities*, Vol.72, PP.102-114.
- [16] Karami, N., Moeini, A. and Pazira, E. (2016). "Relation between Drainage Density and soil Erosion rate (Case study: five watersheds in Ardebil Province, Iran)". *Journal of Territoy*, Vol.13, No.51, PP.67-75.
- [17] Yamani, M., Enaiati, M. (2005). "Relationship between geomorphologic features of the basins and flood ability (flood data analysis by geomorphologic comparison of Behjatabad basin)". *Journal of Geographic Research*, No.54, PP.47-57.
- [18] Zamani, L and Riahi, V. (2015). "Flooding Causes in Rural Areas (Case study: Sarvabad County Villages)". *Journal of Reginal Planing*, Vol.5, No.17, PP.91-102.
- [19] Taheri, M.T. and Bozorgzadeh, M. (1996). "Urban Floods". Center for Urban and Architecture Studies and Research, Tehran.
- [20] Ahmadi, M. (2010). "Applied Geomorphology: Blue Erosion, Volume One". Tehran University Press
- [21] Mosavi, S.M., Negahban, S., Rakhshani, H. and Hoseinzadeh, S.M. (2016). "Assessment and zoning Flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment)". *Journal of Natural Environment Hazard*, Vol.5, No.10, PP.79-98.
- [22] Ghajari, Y., et al., (2017). "Spatial Modelling of Urban Physical Vulnerability to Explosion Hazards Using GIS and Fuzzy MCDA". *Sustainability*, Vol.9, No.7, PP.1274
- [23] Razieh Mosadeghi, Jan Warnken, Rodger Tomlinson, Hamid Mirfenderesk. (2015). Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 49, pp 54-65.
- [24] Chang D.Y. (1996). "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP". *European Journal of Operational Research*, Vol.95, No.3, PP.649-655.
- [25] Chen-Hui Chou, Gin-Shuh Liang, Hung-Chung Chang. (2013). "A fuzzy AHP approach based on the concept of possibility extent". *Qual Quant*, Volume 47, pp 1-14.
- [26] Tzeng. G, Huang.J, (2011). "Multi Attribute Decision Making methods and applications". CRC Press, Taylor & Francis group.
- [27] Chen, V.Y.C., Pang Lien, H., Liu, C.H., Liou, J.J.H., Hshiang Tzeng, G., Yang, L.S., (2011). "Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan". *Appl. SoftComput*.volume 11, pp 265–275