

## استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سنجش از دور در محیط GIS برای بررسی مناطق حساس به وقوع سیلاب در حوضه ليقوان چای

اسدا... حجازی<sup>۱</sup>

صغری اندریانی<sup>۲</sup>

فرهاد الماس‌پور<sup>۳</sup>

ابوالفضل مختاری اصل<sup>۴</sup>

### چکیده

سیل به‌عنوان مخرب‌ترین پدیده طبیعی در ایران، همه ساله تلفات جانی و خسارات مالی بسیاری در نقاط مختلف کشور به‌بار می‌آورد. هدف از تحقیق حاضر تعیین مناطق حساس به وقوع سیلاب در حوضه آبریز ليقوان چای می‌باشد. برای این منظور با توجه به عوامل مؤثر در وقوع سیل، لایه‌های اطلاعاتی منطقه اعم از شیب، فاصله از آبراهه، گروه هیدرولوژیکی خاک، شماره منحنی، ارتفاع رواناب، لیتولوژی، کاربری و پوشش اراضی، تراکم آبراهه، ضریب گراویلوس در هر یک از ۲۳ زیرحوضه موجود با توجه به بررسی نقشه‌ها، گزارش‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی تهیه گردید. تمامی لایه‌های اطلاعاتی با توجه به میزان تأثیرگذاری معیارهای مذکور و زیرمعیارهای آن‌ها با نظر کارشناسی وزن‌دهی گردید. جهت وزن‌دهی به معیارها از روش سلسله مراتبی و برای وزن‌دهی به زیرمعیارها، فازی‌سازی صورت گرفت. سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در پنج کلاس استخراج گردید. نتایج حاصله نشان می‌دهد که ۲۸ درصد از مساحت کل حوضه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شده است و از لحاظ مکانی این پهنه‌ها تقریباً در ورودی محدوده شهر تبریز قرار دارند. با توجه به این که هر سال به‌دلیل وقوع سیل در مناطق ورودی شهر تبریز آسیب‌ها و خسارت‌های جانی و مالی زیادی وارد می‌شود لازم است اقدامات اساسی در بالادست حوضه به‌ویژه در مناطق با پهنه سیل‌خیزی بالا صورت گیرد. این اقدامات را می‌توان در راستای اجرای برنامه‌های مدیریت جامع حوضه آبریز، مدیریت ریسک سیل و آبخیزداری برنامه‌ریزی نمود به‌گونه‌ای که در دراز مدت علاوه بر بهبود وضعیت پوشش گیاهی در سطح حوضه، منجر به کاهش آسیب‌های جانی و مالی وارده گردد.

واژگان کلیدی: ليقوان چای؛ سیلاب؛ ارتفاع رواناب؛ مدل ترکیب خطی وزن‌دار

## مقدمه

سیلاب‌ها در طول تاریخ رایج‌ترین، مرگبارترین و پرهزینه‌ترین خطر در میان مخاطرات طبیعی بوده‌اند (کوسکی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸: ۶۱). به عبارت دیگر سیل یکی از چند مخاطره طبیعی می‌باشد که برآورد دقیق میزان صدمات ناشی از وقوع آن امکان‌پذیر نبوده (روزالیس و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰: ۲۴۵) و خطر وقوع آن نیز در طی زمان افزایش یافته است (کوسکی، ۲۰۰۸: ۶۱). دلیل این افزایش، عمدتاً گسترش شهرسازی در اطراف رودخانه‌ها و قطع درختان می‌باشد (برونستر<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳: ۵۴۵؛ کریستنسن‌ها<sup>۴</sup>، ۲۰۰۳: ۸۰۵) به طوری که در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ هر سال حدود ۹۹ میلیون نفر در جهان تحت تأثیر نتایج حاصل از رخداد سیل قرار گرفته‌اند (شفاپور تهرانی و همکاران، ۲۰۱۳: ۶۹). در ایران نیز همانند سایر مناطق سیل‌خیز دنیا در دهه‌های اخیر، شدت وقوع سیلاب‌ها و میزان خسارت‌های ناشی از آن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۰: ۶-۷). سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد گردیده است. به عبارتی دیگر حدود 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 هستند (شعبانلو و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۲). در آذربایجان شرقی نیز فراوانی وقوع سیل به‌خصوص در ماه‌های اردیبهشت و مرداد زیاد بوده و از ۱۹۱ نمونه از سیل‌های اتفاق افتاده از سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۸۹، ۱۴ درصد به شهرستان تبریز تعلق داشته و خسارت‌های زیادی نیز به بار آورده است. میزان خسارت جانی ناشی از وقوع این سیل‌ها در استان شامل: ۳۳ نفر تلفات جانی، ۲۳ نفر مجروح و ۶۶۱ تلفات دامی نیز شامل: ۶۶۱ راس دام می‌باشد. انسان با دخالت‌هایی که در چرخه طبیعت مانند تغییر کاربری و پوشش اراضی (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳)، رعایت نکردن اصول شهرسازی و ساخت و ساز بدون توجه به الگوهای مکانی وقوع این پدیده می‌نماید، خسارت‌های حاصل از مخاطره طبیعی مذکور را افزایش می‌دهد. هرچند می‌توان با شناسایی مکان‌های حساس به سیل‌خیزی و مدیریت بهینه و کارآمد در این مناطق از آسیب‌پذیری بیشتر مناطق جلوگیری کرد. در زمینه شناسایی چنین مکان‌هایی مطالعات زیادی صورت گرفته است که در ادامه مطلب به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌گردد. هو و آمیتسو<sup>۵</sup> (۲۰۱۱) با تلفیق اشکال ژئومورفولوژی و داده‌های ماهواره‌ای اعم از تصاویر لندست ۷ و لایه رقومی ارتفاعی رادار شاتل<sup>۶</sup> و با استفاده از دیاگرام‌های سه بعدی در محیط نرم‌افزار GRASS

1- Kusky

2- Rozalis et al.,

3- Bronstert

4- Christensen

5- Ho &amp; Umitsu

6- Shuttle Radar Topographic Mission

اقدام به پهنه‌بندی مناطق حساس به خطر وقوع سیل در استان کنتام ویتنام کردند. زائولی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) برای تهیه نقشه خطر سیلاب در حوضه رودخانه Beijiang مدل  $SPA^2$  را ارائه دادند و اعلام نمودند که اگر اعتبارسنجی بر روی مدل صورت بگیرد نتیجه مدل بهتر قابل ارائه خواهد بود. شفاپور تهرانی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS اقدام به شناسایی مناطق حساس به سیل در کلانتان کشور مالزی نمودند. بدین منظور از مدل‌های درخت تصمیم‌گیری و رگرسیون لجستیک همچنین معیارهایی چون بارش، کاربری-پوشش اراضی، ارتفاع، شاخص قدرت رودخانه و نوع خاک بهره بردند. کلانتری و همکاران (۲۰۱۴) مناطق سیل‌خیز در غرب سوئد را با استفاده از ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه‌ها که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج کرده بودند، مشخص نمودند. امیدوار و همکاران (۱۳۸۹) با به دست آوردن ۲۱ پارامتر ژئومتری، فیزیوگرافی، نفوذپذیری و اقلیمی در ۲۹ زیرحوضه از حوضه آبریز کنجانچم استان ایلام به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی اقدام کردند. در این پژوهش از روش‌های آماری تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای و معیارهای شکل حوضه، آبراهه، شیب، زهکشی مورد استفاده قرار گرفتند و بر اساس امتیاز عاملی، منطقه مورد مطالعه به ۵ دسته با سیل‌خیزی زیاد تا کم طبقه‌بندی گردید. با توجه به مطالعات صورت گرفته می‌توان ذکر کرد که سنجش از دور و GIS ابزار با ارزشی برای مدیریت مخاطرات طبیعی بوده و از این ابزارها می‌توان در تولید نقشه‌های خطر وقوع سیل (مناطق که به‌طور بالقوه خطرناک می‌باشند) استفاده نمود. به عبارتی دیگر داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور و GIS به پایش، ارزیابی و تهیه نقشه‌های مناطق سیل‌گیر کمک کرده و در نتیجه داده‌های مطمئنی برای انجام فعالیت‌های مربوطه می‌باشند.

در مطالعه حاضر، حوضه ليقوان چای واقع در محدوده شهرستان تبریز به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. این حوضه در شهرستان تبریز واقع گردیده و رواناب‌های حوضه از داخل شهر تبریز جریان می‌یابد. به عبارت دیگر در مطالعه حاضر یکی از سرمنشأ سیل‌های رخ داده در شهرستان تبریز از لحاظ حساسیت به سیل‌خیزی با استفاده از داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور و GIS مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این‌که جریان آب موجود در رودخانه این حوضه از قطب بسیار پرجمعیتی چون شهر تبریز می‌گذرد لذا شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز این حوضه و لحاظ کردن اقدامات مدیریتی مناسب برای جلوگیری از وقوع رخداد سیل اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

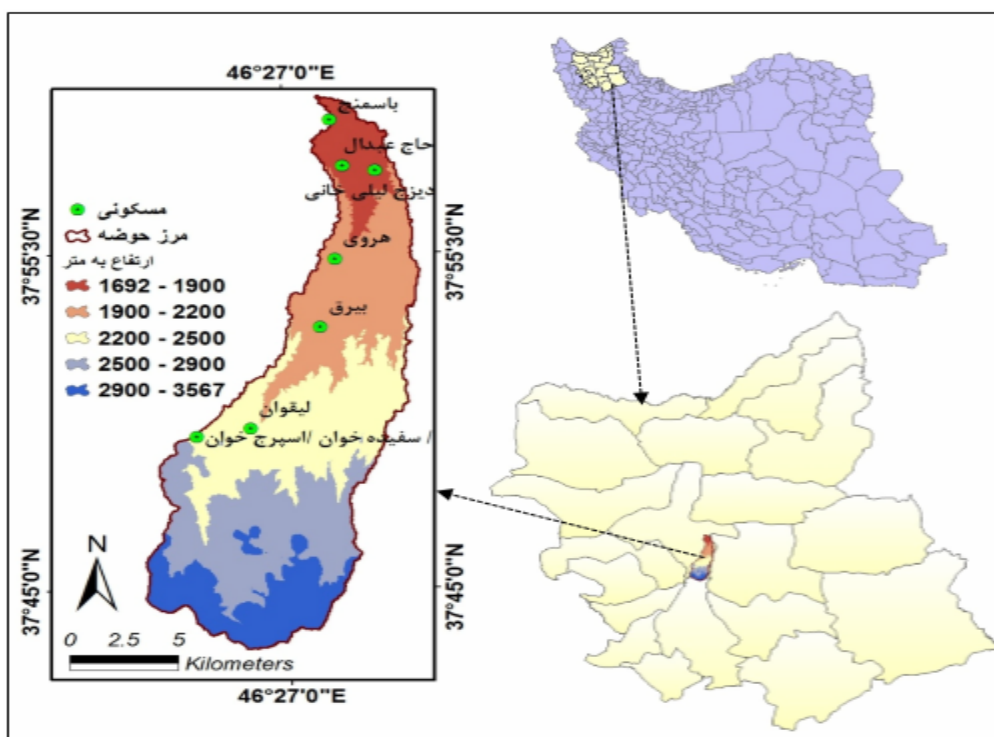
---

1- Zhaoli et al.,

2- Set pair analysis

### معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۳۱ دقیقه و ۱۶ ثانیه طول شرقی، از حوضه‌های واگرای دامنه شمالی توده کوهستانی سهند به مساحت ۱۹۲ کیلومتر مربع است (شکل ۱). ليقوان چای زهکش اصلی حوضه بوده که با جهت‌گیری جنوبی - شمالی در ابتدا با نام باغچا دره‌سی چای، از نقاط و قله مرتفع کوه سهند، مانند گیروه داغ (۳۵۹۶ متر)، کمال داغ (۳۲۳۶ متر)، شرشر داغ و ... سرچشمه می‌گیرد. در طول مسیر آبراهه‌های متعددی چون، توله سرچای و بارالی چای به آن می‌پیوندد. این رودخانه با گذر از روستاهای سفیده‌خوان، ليقوان، هربی و دیزج عبدل، به سمت شمال تا شهر باسمنج ادامه می‌یابد و با عبور از شهر تبریز، در حوالی فرودگاه، به رودخانه آجی چای می‌پیوندد (کرمی و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۲۸).



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی

### مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر از داده، مواد و ابزارهایی به شرح ذیل استفاده گردیده است:

از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (Operational Land Imager) برای استخراج نقشه کاربری و پوشش اراضی مربوط به ۱۰ جولای سال ۲۰۱۳ استفاده گردید. از مدل رقومی ارتفاعی استر با اندازه پیکسل ۳۰

متری برای استخراج حوضه و تصحیح توپوگرافیکی تصویر لندست استفاده گردید. از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برای تولید رقومی لایه سنگ‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ برای تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای، استخراج لایه شبکه زهکشی و شیب، از دستگاه سیستم موقعیت جهانی و از سامانه گوگل ارث برای برداشت نقاط تعلیمی و از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و سینوپتیک اشاره شده در جدول (۱)، برای تهیه لایه حداکثر بارش ۲۴ ساعته استفاده گردید. لازم به ذکر است که لایه بارش تهیه شده با روش زمین آمار جبری و بر اساس تغییرات بارش برحسب تغییرات ارتفاع به‌دست آمد. نرم‌افزارهای تخصصی ENVI4.8، IDRISI17 و ARC GIS10.1 در مطالعه حاضر مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول (۱) ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر

|      |             |             |                          | مختصات UTM    |         |        |
|------|-------------|-------------|--------------------------|---------------|---------|--------|
| ردیف | نام ایستگاه | نوع ایستگاه | ارتفاع از سطح دریا (متر) | سازمان مربوطه | Y       | X      |
|      |             |             |                          |               |         |        |
| ۱    | سد نهند     | تبخیر سنجی  | ۱۵۰۰                     | وزارت نیرو    | ۴۲۲۳۶۷۷ | ۶۲۶۶۸۱ |
| ۲    | تبریز       | سینوپتیک    | ۱۳۶۴                     | هواشناسی      | ۴۲۱۵۸۳۹ | ۶۱۲۵۴۸ |
| ۳    | زینجان      | بارانسنجی   | ۲۱۱۰                     | هواشناسی      | ۴۱۸۹۹۲۸ | ۶۱۱۴۳۸ |
| ۴    | سعید آباد   | بارانسنجی   | ۱۹۵۰                     | هواشناسی      | ۴۲۰۱۴۵۰ | ۶۳۹۱۱۱ |
| ۵    | لیقوان      | تبخیر سنجی  | ۲۲۰۰                     | وزارت نیرو    | ۴۱۸۸۴۷۰ | ۶۲۶۱۴۱ |
| ۶    | هروی        | بارانسنجی   | ۱۹۸۰                     | وزارت نیرو    | ۴۱۹۷۷۸۶ | ۶۳۰۳۹۴ |

برای طبقه‌بندی تصویر و استخراج لایه کاربری - پوشش اراضی از روش نظارت شده ناپارامتریک ماشین بردار پشتیبان<sup>۱</sup> استفاده گردید. این روش طبقه‌بندی‌کننده به‌صورت باینری عمل کرده و دو کلاس را با استفاده از یک فرا صفحه<sup>۲</sup> از هم جدا می‌کند. به‌طور کلی در این تحقیق از روش نظارت‌شده ناپارامتریک پیکسل پایه به‌دلیل دقت زیاد آن در طبقه‌بندی (واپنیک<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹: ۱۳۹؛ مانترو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵: ۵۶۰؛ اندریانی، ۱۳۹۳: ۱۱۰) استفاده گردید. برای برآورد ارتفاع رواناب از روش SCS و از رابطه (۱) استفاده گردید:

$$Q = \left\{ \frac{(p - 0.2s)^2}{p + 0.8s}, p \geq 0.2s \right\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$0, p < 0.2s$$

در رابطه فوق Q: رواناب بر حسب میلی‌متر مکعب، P: میزان بارش بر حسب میلی‌متر (در تحقیق حاضر به‌جای پارامتر بارش لایه استخراج شده حداکثر بارش ۲۴ ساعته استفاده گردید)، S: عامل مربوط به نگهداشت آب در سطح زمین می‌باشد و با احتساب تلفات اولیه (۰/۲)، برای سیستم متریک از رابطه (۲) محاسبه گردید (علیزاده، ۱۳۸۸: ۵۲۰).

1- Suport Vector Machine

2- Hyperplane

3-Vapnik

4-Mantero et al.,

$$\text{رابطه (۲)} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

در رابطه فوق پارامتر  $CN^1$  عبارت است از شماره منحنی و عددی بی‌بعد می‌باشد. دامنه عددی این پارامتر بین ۱۰۰ - ۰ متغیر می‌باشد، طوری که در عدد ۱۰۰ تمام باران تبدیل به رواناب شده مثل مخزن آب و در عدد صفر روانابی تشکیل نمی‌شود. به عبارت دیگر چنین چیزی با توجه به رابطه فوق تعریف نشده است. شماره منحنی بر اساس جدول ارائه شده از طرف سازمان حفاظت خاک آمریکا که با مدنظر قرار دادن کاربری و پوشش زمین و گروه هیدرولوژی خاک به دست آمده است، تعیین گردید (سازمان حفاظت خاک آمریکا، ۱۹۷۳: ۶). به عبارت دیگر لایه کاربری و پوشش اراضی با گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعه در محیط ARC GIS همپوشانی شدند و مقادیر جدول (۲) با توجه به اطلاعات هر ردیف پایگاه داده تشکیل گردید. لازم به ذکر است در تحقیق حاضر لایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تولید شده توسط «مهندسی مشاور آب اندیشان آذر (۱۳۹۳)» مورد استفاده قرار گرفت.

جدول (۲) مقادیر شماره منحنی برای گروه هیدرولوژیکی خاک - پوشش موجود در منطقه

| گروه هیدرولوژیکی خاک |    |    | زیر کلاس‌های موجود               | انواع کاربری و پوشش اراضی |
|----------------------|----|----|----------------------------------|---------------------------|
| D                    | C  | B  |                                  |                           |
| ۷۹                   | ۷۳ | ۶۰ | پوشش متوسط                       | اراضی باغی                |
| ۹۴                   | ۹۱ | ۸۶ | بدون پوشش و زمین لخت             | اراضی بایر                |
| ۸۸                   | ۸۴ | ۷۶ | غالباً غلات، با پوشش نسبتاً فقیر | اراضی دیم                 |
| ۸۰                   | ۷۴ | ۶۱ | مرتفع درجه یک                    | مرتفع                     |
| ۸۴                   | ۷۹ | ۶۹ | مرتفع درجه دو                    |                           |
| ۸۹                   | ۸۶ | ۷۹ | مرتفع درجه سه                    |                           |
| ۹۲                   | ۹۰ | ۸۴ | مناطق غیر قابل نفوذ و جاده‌ها    | مسکونی                    |

بعد از تولید لایه‌های ارتفاع، شیب، سنگ‌شناسی، تراکم زهکشی، ضریب گراویلیوس، ارتفاع رواناب، رتبه‌بندی استراهلر و کاربری و پوشش اراضی در هر یک از ۱۳ زیر حوضه، اقدام به وزن‌دهی سلسله مراتبی AHP برای فاکتورهای ذکر شده گردید. سپس زیر معیارهای طبقه‌بندی شده با توجه به اهمیت آن‌ها در تولید سیلاب با نظر کارشناسی فازی‌سازی گردیده (طبق جدول ۵) و سپس با روش ترکیب خطی وزن‌دار مدل‌سازی و پهنه‌بندی سیلاب در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. روش‌های ذکر شده از مبانی زیر تبعیت می‌کنند:

روش سلسله‌مراتبی در سه گام اصلی: ۱- تعریف معیار مورد بررسی برای تصمیم‌گیری ۲- مقایسه دو به دو معیارهای تعریف شده و ۳- ارزش‌دهی معیارها با توجه به اهمیت وجودی آن‌ها صورت گرفت. البته لازم

به ذکر است که اهمیت و ارزش معیارها بایستی به صورت کارشناسی انتخاب شود. با وجود این که ساعتی و ورگاس (۱۹۹۱) شاخصی را برای ناسازگاری تصمیم های اتخاذ شده، تعریف کرده اند، ولی با این وجود سلاقی و دیدگاه های کارشناسان نیز متفاوت بوده و این مسئله تأثیر بسزایی در نتیجه تصمیم گیری دارد.

در ماتریس A که معیارها دو به دو مقایسه می شوند به صورت رابطه (۳) قابل بیان است:

$$A = (a_{ij}) = \left( \frac{w_i}{w_j} \right) \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)  $a_{ij}$  ترجیح یک معیار به دیگری می باشد که می تواند به صورت  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ij} > 0$  و

$a_{ij}=1$  برابر تعداد معیارها باشد که در مطالعه حاضر n برابر ۸ می باشد.  $w_i$  و  $w_j$  عناصر نرمال کردن وزن بردار ویژه W می باشد به عبارتی جمع وزن های هر مقایسه به صورت رابطه ۴ قابل بیان است:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad \text{رابطه (۴)}$$

از مقایسه دو به دو ماتریس A وزن بردار W نیز طبق رابطه ۵ بیان شد:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه (۷)،  $\lambda_{\max}$  بزرگترین مقدار ویژه ماتریس A می باشد. چنانکه نتیجه ماتریس به صورت رابطه ۶ باشد به عنوان ماتریس سازگار تلقی می شود.

$$a_{ij} = a_{ik} * a_{kj} \text{ for } i, j, k = 1, \dots, n \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این روش، نرخ ناسازگاری (CR) کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته می شود و در صورت بیشتر شدن از این مقدار بایستی در مقایسه زوجی معیارها تجدیدنظر شود. برای به دست آوردن نرخ ناسازگاری نیاز به محاسبه شاخص ناسازگاری (CI، در رابطه ۷) و شاخص ناسازگاری تصادفی (RI) وجود دارد.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه (۷)}$$

شاخص ناسازگاری تصادفی از جدول (۳) بر اساس تعداد معیارها به دست آمد.

جدول (۳) مقدار شاخص ناسازگاری تصادفی برای تعداد مختلف n (معیار) (ساعتی، ۱۹۷۷)

| n  | ۲   | ۳    | ۴   | ۵    | ۶   | ۷    | ۸    | ۹    | ۱۰   |
|----|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|------|
| RI | ۰/۰ | ۰/۵۸ | ۰/۹ | ۱/۱۲ | ۱/۱ | ۱/۳۲ | ۱/۴۱ | ۱/۴۵ | ۱/۴۹ |

نرخ ناسازگاری به صورت رابطه (۸) بیان می شود:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه (۸)}$$

وزن‌دهی به معیارها از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از نظر کارشناسی صورت گرفت. بدین طریق که ابتدا در ماتریس ۸ در ۸ معیارها بر اساس میزان تأثیر آنها مرتب شده، سپس ما بین ۱ تا ۹ در مقایسه دو به دو معیارها، امتیاز به آنها تعلق گرفت.

**روش ترکیب خطی وزن‌دار:** در تحقیق حاضر برای تولید نقشه پهنه بندی مناطق مستعد سیلاب از روش ترکیب خطی وزن‌دار (Weighted Linear Combination) در محیط ARC GIS استفاده گردید. هدف از ارزیابی چندمعیاری، انتخاب بهترین جایگزین (Alternative) بر مبنای رتبه‌بندی آنها از طریق ارزیابی چند معیار اصلی است. در این ارزیابی برای دستیابی به هدف، معیارها تعریف و تعیین شدند. معیارها به صورت عامل (Factor) دسته‌بندی گردیدند (مالچوفسکی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹: ۱۹۹). در این روش تصمیم‌گیری، مقدار هر جایگزین بر اساس رابطه ۹ قابل محاسبه است (پنتیوس و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱: ۱۹۵؛ اوروک<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳: ۲۴۵۱).

$$SW = \sum_{i=1}^n w_i * S_i \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه فوق: SW = میزان مطلوبیت، Wi = وزن هر معیار، Si = ارزش استاندارد شده هر معیار می‌باشد. لازم به ذکر است که ارزش استاندارد شده هر معیار با روش فازی‌سازی و نظر کارشناسی صورت گرفت با توجه به این‌که در این مجموعه‌ها مرز کاملاً مشخصی وجود ندارد، به عبارت دیگر تبدیل آنها بین عضویت و عدم عضویت در یک مجموعه به صورت تدریجی است، بنابراین مجموعه فازی به وسیله درجه عضویت فازی آن مشخص شده و دامنه‌ای بین ۰ تا ۱ به آنها تعلق گرفت که این دامنه نشانگر افزایش پیوسته از عدم عضویت به سمت عضویت کامل می‌باشد.

### یافته‌های تحقیق

#### عوامل مؤثر بر رخداد سیلاب

#### الف) ارتفاع رواناب

هیدروگراف هر رودخانه تحت تأثیر کاربری و پوشش گیاهی آن می‌باشد، به طوری که اگر حوضه آبریز، فاقد پوشش گیاهی باشد، بارندگی بدون این‌که جذب خاک گردد ابتدا چاله‌ها را پر کرده و آنگاه جریان سطحی آغاز می‌گردد. در صورتی که حوضه از پوشش گیاهی خوبی برخوردار باشد مقداری از بارندگی توسط شاخه و برگ و ریشه گیاهان جذب می‌گردد. بنابراین CN حوضه که دربرگیرنده وضعیت پوشش گیاهی و نیز

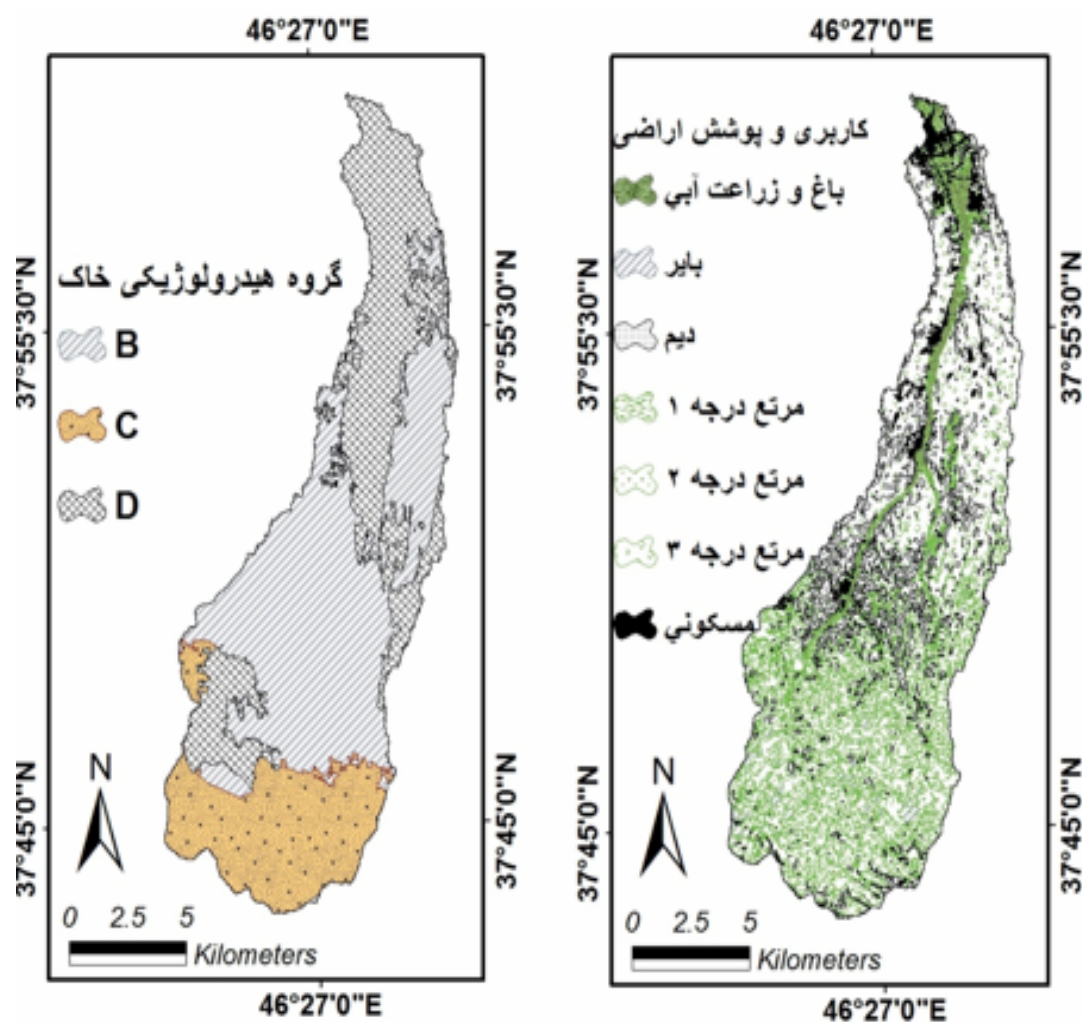
1- Malczewski

2- Portius et al.,

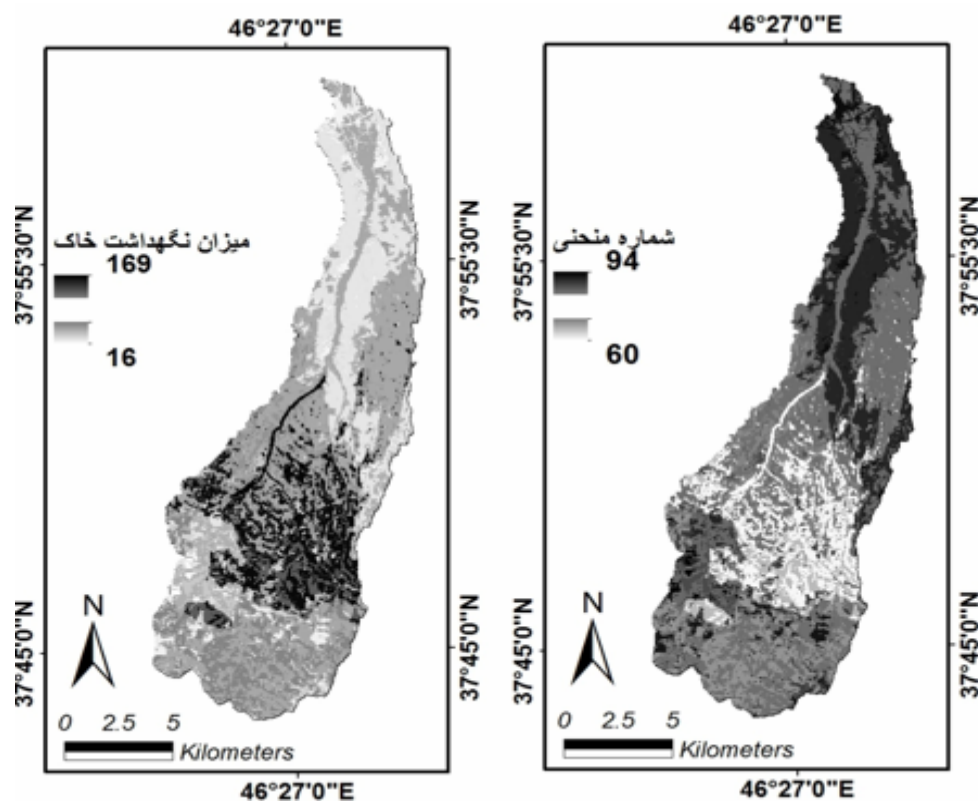
3- Oruc



گروه‌های هیدرولوژیکی خاک از نقطه نظر سرعت نفوذ آب در آنها می‌باشد مدنظر قرار می‌گیرد. از طرفی میزان نگهداشت خاک نیز به تبعیت از شماره منحنی و در جهت عکس آن عدد مربوطه را به خود می‌گیرد به عبارتی دیگر در مکان‌هایی که نفوذپذیری دارای مقدار کمی است میزان نگهداشت خاک آن مکان‌ها نیز کاهش می‌یابد که این مسئله با افزایش مقدار شماره منحنی قابل مشاهده است. شکل‌های (۲ و ۳) نقشه کاربری - پوشش اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک، شماره منحنی و عامل مربوط به نگهداشت خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

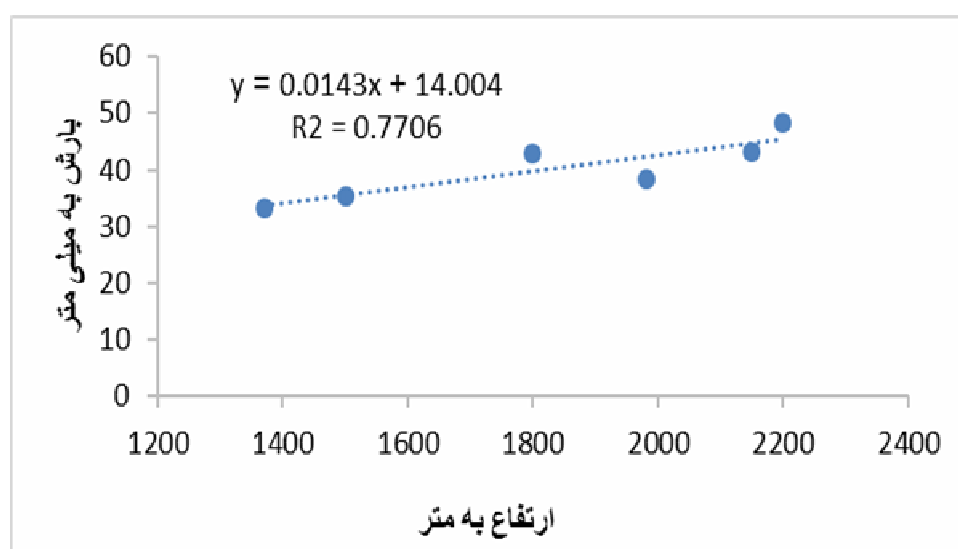


شکل (۲) به ترتیب از راست به چپ نقشه کاربری - پوشش اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک



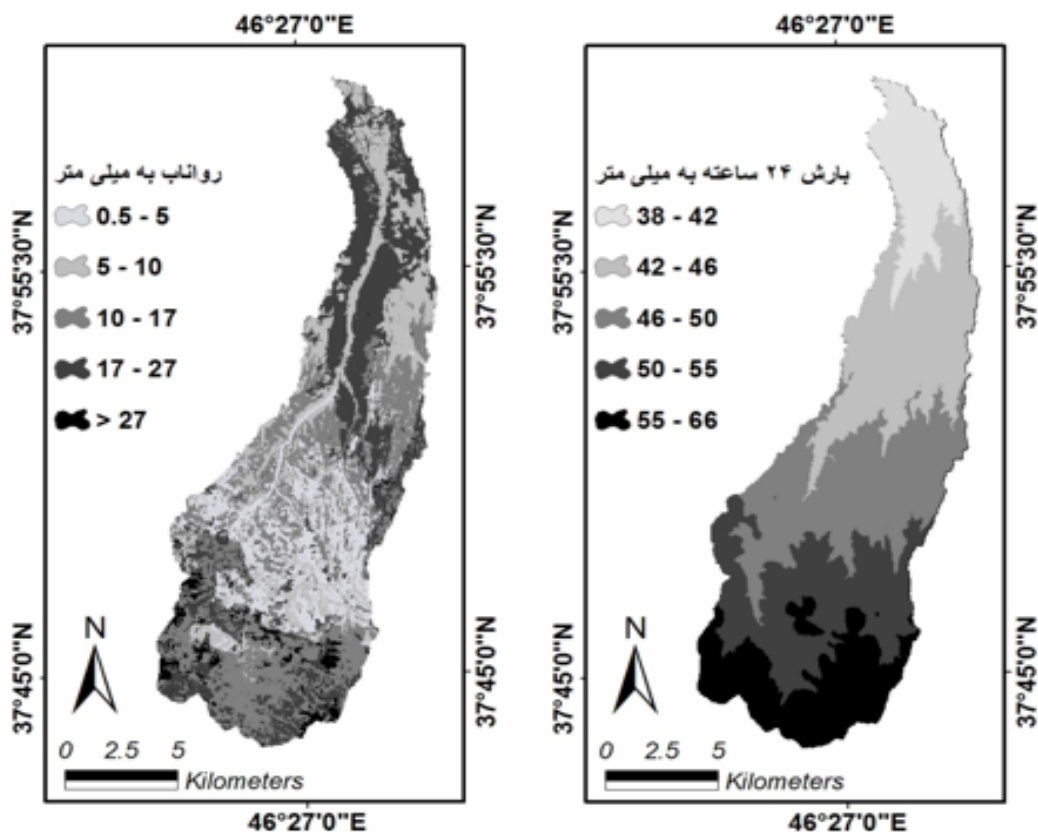
شکل (۳) به ترتیب از راست به چپ نقشه شماره منحنی و عامل مربوط به نگهداشت خاک

با توجه به این که برای محاسبه ارتفاع رواناب نیاز به بارش حداکثر بارش ۲۴ ساعته وجود دارد لذا در تحقیق حاضر بین شش ایستگاه مورد استفاده و ارتفاع آن‌ها رابطه خطی برقرار گردید. شکل (۴) میزان ضریب تبیین و معادله مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل (۴) نمودار معادله خطی و ضریب تبیین بین ارتفاع و بارش ایستگاه‌های مورد استفاده

در معادله خطی به دست آمده  $X$  ارتفاع هر پیکسل در لایه رقومی ارتفاعی و  $Y$  میزان بارش به دست آمده به ازای ارتفاع هر پیکسل می باشد. شکل (۵) لایه بارش بر حسب میلی متر و ارتفاع رواناب به تبعیت از لایه بارش بر حسب میلی متر را نشان می دهد.



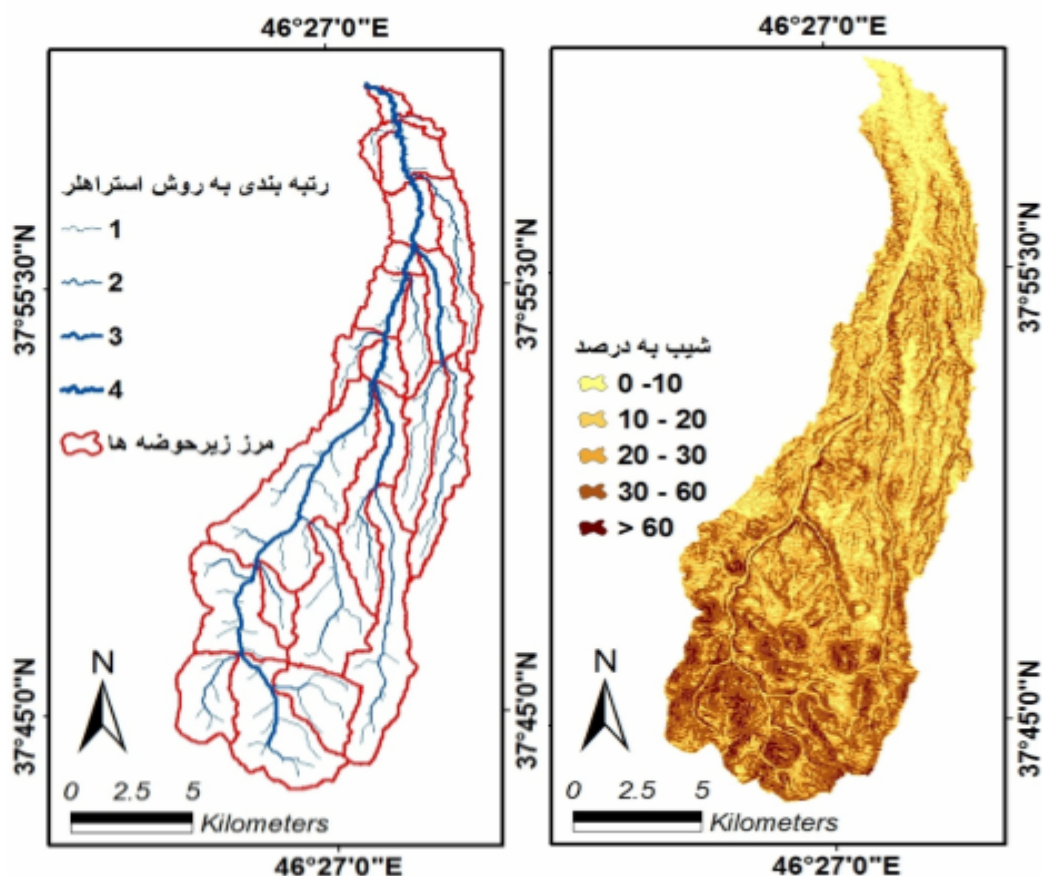
شکل (۵) به ترتیب از راست به چپ میزان بارش ۲۴ ساعته و ارتفاع رواناب حاصل از آن

#### ب) شیب حوضه

شیب حوضه شاید اصلی ترین عامل در بروز یا عدم بروز سیلاب در یک حوضه باشد و تأثیر عمده ای بر روی زمان تمرکز، مقدار جریان، نفوذ آب و نحوه تغییرات سطح آب زیرزمینی و میزان رطوبت خاک دارد. در حوضه هایی که از شیب بالایی برخوردار هستند، هیدروگراف مربوط به سیلاب دارای دامنه کم (مدت پایه هیدروگراف کم) و نقطه اوج بالایی است. یعنی حجم زیاد آب در مدت کوتاهی از یک مقطع عبور می کند. شکل (۶) شیب منطقه، رتبه آبراهه ای منطقه به روش استراهلر<sup>۱</sup> و دامنه و تعداد طبقات آن ها را نشان می دهد. لازم به ذکر است که رتبه بندی استراهلر به صورت یک لایه جداگانه در کنار دیگر لایه ها در

1- Strahler

تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفت چرا که وجود رتبه بالاتر در هر یک از زیر حوضه‌ها می‌تواند زیر حوضه‌های تحت اشغال را تحت تأثیر خطر سیلاب قرار دهد.

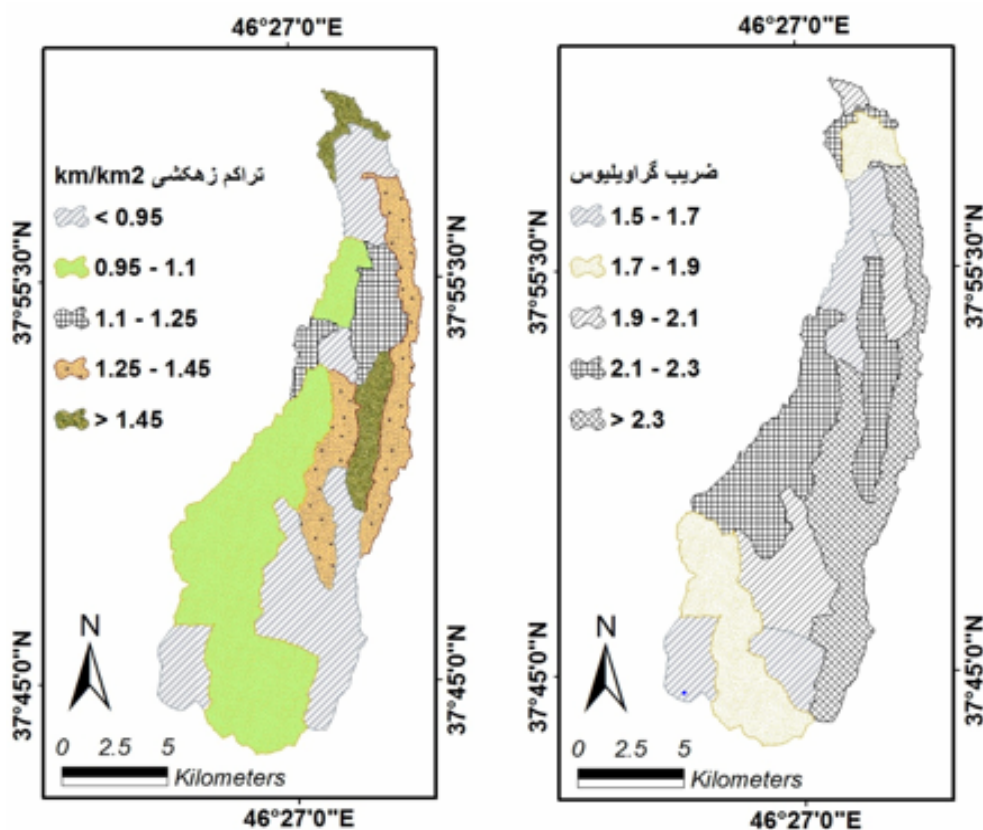


شکل (۶) به ترتیب از راست به چپ نقشه شیب بر حسب درصد و رتبه‌بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر در هر یک از زیرحوضه‌ها

#### ت - تراکم شبکه آبراهه‌ها

تراکم شبکه آبراهه‌ها در واحد سطح حوضه، طول کل آبراهه، شکل و ویژگی هندسی آبراهه‌ها و نحوه استقرار آنها در یک حوضه در ایجاد سیلاب نقش مهمی دارند. در حوضه‌ای که نسبت انشعاب آبراهه‌ها زیاد باشد طبیعتاً آب سطح حوضه توسط این کانال‌ها زودتر زهکشی می‌شود. در منطقه مورد مطالعه تراکم آبراهه برای کل حوضه ۱/۰۷ به دست آمد ولی برای دخیل دانستن معیار تراکم آبراهه در تک تک زیرحوضه، این عامل در ۲۳ زیرحوضه محاسبه گشت (شکل ۷). زیرحوضه‌ها از نظر تراکم زهکشی، دامنه عددی ۰/۷۷ الی ۱/۶۷ را به خود اختصاص داده‌اند که این امر می‌تواند دلیلی بر اختلاف کم زیرحوضه‌ها از لحاظ شیب، لیتولوژی و مساحت باشد. برای دخالت دادن شکل حوضه نیز ضریب گراویلپوس مورد استفاده قرار گرفت. اگر فرم حوضه نزدیک به دایره باشد آبراهه‌ها کمترین مسیر را داشته و در نتیجه در چنین حوضه‌ای سیلاب به وقوع خواهد

پیوست. در ضریب گراویلیوس پایین، تخلیه‌ی رواناب به سرعت انجام می‌گیرد و زمان تمرکز کاهش می‌یابد که این خود می‌تواند باعث افزایش خطر وقوع سیل در این مناطق شود. شکل ۷ تراکم آبراهه و ضریب گراویلیوس را برای زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد. دامنه عددی این ضریب مابین  $1/53$  الی  $2/95$  می‌باشد که این مقادیر نشان‌دهنده دایره کامل و یا کشیدگی کامل زیرحوضه‌ها نمی‌باشد. به عبارتی دیگر این ضریب نشان دهنده سیل‌خیزی منطقه در حد متوسط می‌باشد. لازم به ذکر است زیرحوضه‌هایی با طبقه یکسان در هم ادغام گردیده است.



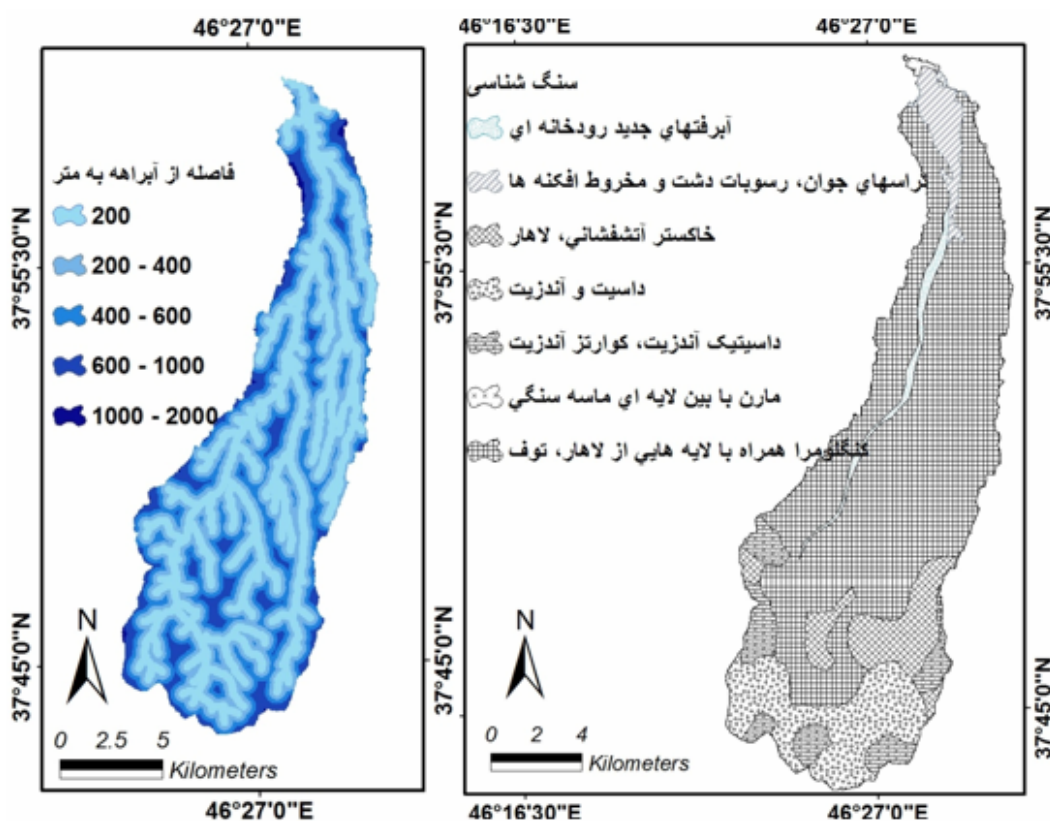
شکل (۷) به ترتیب از راست به چپ میزان تراکم زهکشی و ضریب گراویلیوس در هر یک از زیرحوضه‌ها

#### پ - سنگ‌شناسی منطقه و فاصله از آبراهه

نوع سنگ و پوشش خاک، ظرفیت نفوذ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خاک یا سنگ قابل نفوذ، شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و تخلیه‌ی آن را به داخل آبراهه‌ی اصلی به تأخیر می‌اندازد، از این رو رواناب سطحی کاهش می‌یابد. حوضه‌های با سنگ بستر یا خاک به نسبت غیرقابل نفوذ، حجم بالایی از رواناب سطحی ایجاد می‌کنند (گارد، به نقل از خیری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۸). لذا در وزن‌دهی و فازی‌سازی میزان نفوذپذیری واحدها مدنظر قرار گرفته است. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در دامنه شمالی سهند



واقع شده است لذا بیشتر واحدها از فعالیت آتشفشانی تأثیر پذیرفته‌اند طوری که در منطقه مورد مطالعه چینه‌شناسی پلیو - کواترنری با واحد  $PLQ^C$  (کنگلومرا با لایه‌هایی از لاهار) با مساحت ۲۱۱ کیلومتر مربع بیشترین گسترش را در سطح منطقه دارد. به عبارتی ۵۷ درصد از مساحت منطقه از واحد فوق‌الذکر تشکیل شده است. این واحد کنگلومرانی که خاستگاه آبرفتی دارد و در خشکی و یا در مناطق دریاچه‌ای رسوب‌گذاری کرده است دارای قطعاتی با بافت و جنس متفاوت است و گهگاه قطر قطعات آن به بیش از یک متر می‌رسد قطعات آن از سنگ‌های ولکانیکی فعالیت‌های قدیمی سهند تشکیل گردیده و سیمان آن‌ها غالباً سست بوده و از ماسه، رس و خاکسترهای آتشفشانی تشکیل شده است. با این توصیف می‌توان گفت در بیشتر مساحت منطقه نفوذپذیری سنگ‌ها کم بوده و در تولید رواناب با توجه به وجود پوشش مرتعی ضعیف با درصد زیاد (مرتع درجه ۳) بیشترین امتیاز را به خود اختصاص می‌دهد. شکل (۸) سنگ‌شناسی و واحدهای موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۸) سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

شکل (۹) لایه فاصله از آبراهه‌های منطقه

با توجه به اهمیت بالای آبراهه در وقوع سیلاب، این لایه نیز به صورت فاصله اقلیدسی در طبقاتی به مدل معرفی گردید. شکل (۹) نقشه فاصله از آبراهه‌ها را نشان می‌دهد.

در مطالعه حاضر برای وزن دهی تک تک معیارها نسبت به هم به صورت زوجی از روش سلسله مراتبی با توجه به نظر کارشناسی استفاده گردید. جدول (۴) نتیجه وزن دهی به معیارهای مؤثر در بروز خطر سیلاب را نشان می دهد.

جدول (۴) ماتریس امتیازدهی به معیارهای مؤثر در بروز خطر سیلاب

| معیارها               | ۱    | ۲    | ۳    | ۴    | ۵    | ۶   | ۷ | وزن های مقدار ویژه | ناسازگاری |
|-----------------------|------|------|------|------|------|-----|---|--------------------|-----------|
| ارتفاع رواناب (۱)     | ۱    |      |      |      |      |     |   | ۰/۳۴               |           |
| شیب (۲)               | ۰/۵  | ۱    |      |      |      |     |   | ۰/۲۳               |           |
| فاصله از آبراهه (۳)   | ۰/۳۳ | ۰/۵  | ۱    |      |      |     |   | ۰/۱۸               |           |
| لیتولوژی (۴)          | ۰/۳۳ | ۰/۲۵ | ۰/۳۳ | ۱    |      |     |   | ۰/۱۱               |           |
| کاربری-پوشش اراضی (۵) | ۰/۱۴ | ۰/۲  | ۰/۲۵ | ۰/۲۵ | ۱    |     |   | ۰/۰۵               |           |
| تراکم آبراهه (۶)      | ۰/۱۲ | ۰/۲۵ | ۰/۱۶ | ۰/۲  | ۰/۲۵ | ۱   |   | ۰/۰۳               |           |
| ضریب گراویلیوس (۷)    | ۰/۱۱ | ۰/۲  | ۰/۱۴ | ۰/۱۶ | ۰/۳۳ | ۰/۵ | ۱ | ۰/۰۲               |           |
|                       |      |      |      |      |      |     |   |                    | ۰/۰۸      |

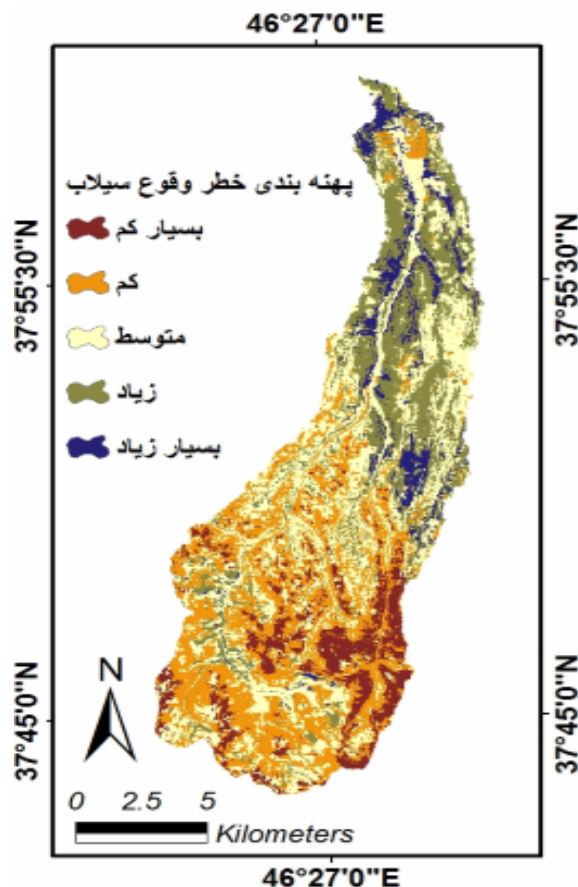
جدول (۴) و نحوه امتیازدهی نشان دهنده تأثیر بیشتر فاکتورهای شیب و سپس میزان ارتفاع رواناب بر رخداد سیلاب می باشد. مقدار ناسازگاری ۰/۰۸ نیز نشان دهنده امتیازدهی درست بر معیارها می باشد. بعد از امتیازدهی به معیارها، برای زیرمعیارها و یا طبقه های هر یک از معیارها (برای وارد شدن به مدل میانگین خطی وزن دار) با استفاده از روش فازی سازی و بر اساس میزان اهمیت آنها در رخداد سیلاب، دامنه عددی بین ۰ و ۱ با تابع تعریف کاربر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است نظر کارشناسی و پرسشنامه ای ملاک وزن دهی در تحقیق حاضر بود. جدول (۵) وزن هر یک از زیر معیارها را نشان می دهد که بر اساس این وزن ها طبقه بندی مجدد برای هر یک از معیارها صورت گرفت.

جدول (۵) تعریف طبقات هر فاکتور و استانداردسازی فازی آنها

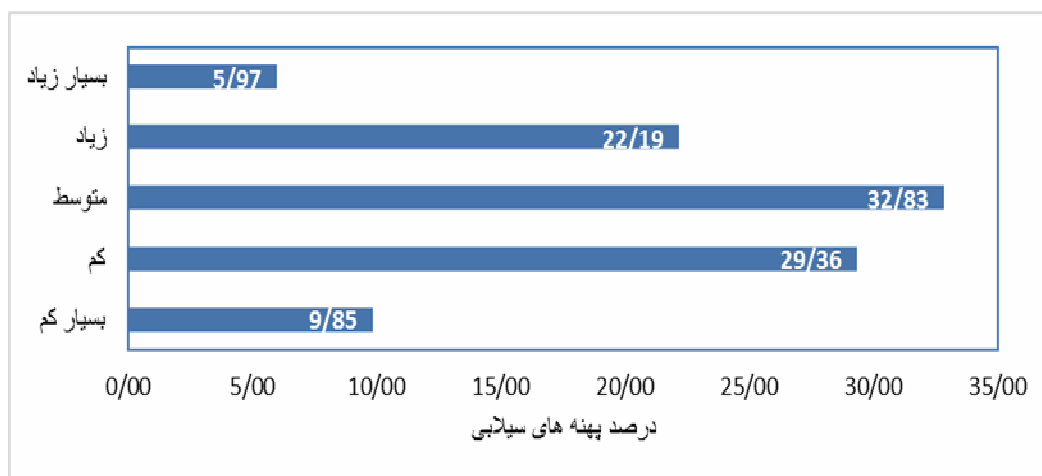
| معیار                    | زیرمعیارها                                 | شماره طبقه | وزن فازی سازی (۰-۱) |
|--------------------------|--------------------------------------------|------------|---------------------|
| فاصله از آبراهه (متر)    | ۲۰۰                                        | ۱          | ۰/۱                 |
|                          | ۲۰۰ - ۴۰۰                                  | ۲          | ۰/۳                 |
|                          | ۴۰۰ - ۶۰۰                                  | ۳          | ۰/۵                 |
|                          | ۶۰۰ - ۱۰۰۰                                 | ۴          | ۰/۸                 |
|                          | ۱۰۰۰ - ۲۰۰۰                                | ۵          | ۱                   |
| تراکم آبراهه             | $۰/۹۵ >$                                   | ۱          | ۰/۱                 |
|                          | $۰/۹۵ - ۱/۱$                               | ۲          | ۰/۳                 |
|                          | $۱/۱ - ۱/۲۵$                               | ۳          | ۰/۵                 |
|                          | $۱/۲۵ - ۱/۴۵$                              | ۴          | ۰/۸                 |
|                          | $> ۱/۴۵$                                   | ۵          | ۱                   |
| شیب (درصد)               | $۰ - ۱۰$                                   | ۱          | ۰/۲                 |
|                          | $۱۰ - ۲۰$                                  | ۲          | ۰/۵                 |
|                          | $۲۰ - ۳۰$                                  | ۳          | ۰/۵۵                |
|                          | $۳۰ - ۶۰$                                  | ۴          | ۰/۸                 |
|                          | $> ۶۰$                                     | ۵          | ۱                   |
| سنگ‌شناسی                | آبرفت‌های جدید رودخانه‌ای                  | ۱          | ۰/۱                 |
|                          | تراس‌های جوان، رسوبات دشت و مخروط افکنه‌ها | ۱          | ۰/۱                 |
|                          | خاکستر آتشفشانی، لاهار                     | ۲          | ۰/۵                 |
|                          | داسیت-آندزیت                               | ۴          | ۰/۸                 |
|                          | داسیتیک آندزیت، کوارتز آندزیت              | ۴          | ۰/۸                 |
|                          | مارن با بین لایه‌ای ماسه سنگی              | ۳          | ۰/۶                 |
|                          | کنگلومرا همراه با لایه‌هایی از لاهار، توف  | ۳          | ۰/۶                 |
|                          | $< ۱/۷$                                    | ۱          | ۱                   |
|                          | $۱/۷ - ۱/۹$                                | ۲          | ۰/۶                 |
|                          | $۱/۹ - ۲/۱$                                | ۳          | ۰/۴                 |
| ضریب گراویلیوس           | $۲/۱ - ۲/۳$                                | ۴          | ۰/۲                 |
|                          | $> ۲/۳$                                    | ۵          | ۰/۱                 |
|                          | باغ و زراعت آبی                            | ۱          | ۰/۱                 |
|                          | بایر                                       | ۴          | ۰/۶                 |
|                          | دیم                                        | ۴          | ۰/۶                 |
|                          | مرتفع درجه ۱                               | ۲          | ۰/۲                 |
|                          | مرتفع درجه ۲                               | ۳          | ۰/۳                 |
|                          | مرتفع درجه ۳                               | ۵          | ۰/۹                 |
|                          | مسکونی                                     | ۶          | ۰/۹                 |
|                          | $< ۵$                                      | ۱          | ۰/۲                 |
| ارتفاع رواناب (میلی‌متر) | $۵ - ۱۰$                                   | ۲          | ۰/۴                 |
|                          | $۱۰ - ۱۷$                                  | ۳          | ۰/۶                 |
|                          | $۱۷ - ۲۷$                                  | ۴          | ۰/۸                 |
|                          | $> ۲۷$                                     | ۵          | ۱                   |



با اعمال مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیب خطی وزن‌دار بر روی لایه‌های تولید شده و طبقه‌بندی مجدد شده منطقه مورد مطالعه به پنج طبقه بر اساس شکل (۱۰) طبقه‌بندی گردید. شکل (۱۱) درصد هر یک از پهنه‌های سیلابی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰) شناسایی حساسیت منطقه نسبت به رخداد سیل



شکل (۱۱) درصد پهنه‌های سیلابی در منطقه مورد مطالعه

## نتیجه‌گیری

شناسایی مناطق حساس به خطر سیل در حوضه‌های آبریز علی‌الخصوص در حوضه‌هایی که رودخانه دائمی داشته و از قطب‌های جمعیتی عبور می‌کنند، با اعمال روش‌های مدیریتی بهینه و کارآمد می‌تواند خسارت‌های وارده از طریق این مخاطره طبیعی را کاهش دهد. در مطالعه حاضر نیز با شناسایی عوامل موثر در رخداد سیلاب از جمله کاربری و پوشش اراضی، ارتفاع، حجم رواناب و ... با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های زمینی و تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق حساس به سیل‌خیزی مورد پهنه بندی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، نقشه کاربری و پوشش اراضی مربوط به تیرماه سال ۲۰۱۳ استخراج گردید. که نتیجه نشان داد منطقه اکثراً تحت پوشش اراضی مرتعی به خصوص مرتع درجه ۳ می‌باشد که این امر نشان‌دهنده سیل‌خیز بودن منطقه و نفوذناپذیری منطقه می‌باشد. از آن جایی که بسترهای گرانیتهی نفوذناپذیر می‌باشد در نتیجه سنگ‌های این بستر جریان آب را بدون این که جذب زمین گردد به سیستم رودخانه‌ای منتقل می‌کند، در حالی که بسترهای آهکی و گچی نفوذپذیر بوده و آب را سریعاً جذب می‌کنند. منطقه مورد مطالعه به دلیل قرار گرفتن در دامنه شمالی سهند اکثر دارای لیتولوژی نفوذناپذیر می‌باشد. در ادامه برای تولید لایه مربوط به ارتفاع رواناب نیز از لایه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و کاربری و پوشش اراضی منطقه و ایستگاه‌های درون و نزدیک به منطقه استفاده گردید. در لایه گروه‌های هیدرولوژیکی منطقه نیز بیش از ۱۰۰ کیلومترمربع جزو گروه‌های C و D می‌باشد که در این گروه‌ها نفوذ آب به لایه‌های زیرین کمتر اتفاق افتاده و حجم بیشتری رواناب تولید می‌کند. لایه‌های دیگر نیز به گونه‌ای سیل‌خیز بودن منطقه را نشان می‌دهند. به هر حال در مطالعه حاضر معیارها و زیر معیارهای آن‌ها با نظر کارشناسی به ترتیب با مدل سلسله مراتبی و فازی وزن‌دهی شدند سپس با استفاده از مدل میانگین خطی وزن دار مورد پهنه بندی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان‌دهنده سیل‌خیز بودن منطقه در پایین‌دست حوضه و ورودی شهر تبریز می‌باشد به طوری که بیش از ۲۸ درصد از مساحت منطقه جزو مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی از نوع زیاد و بسیار زیاد می‌باشد. با توجه به این که هر سال به دلیل وقوع سیل در مناطق ورودی شهر تبریز آسیب‌ها و خسارت‌های جانی و مالی زیادی وارد می‌شود لازم است اقدامات اساسی در بالادست حوضه به ویژه در مناطق با پهنه سیل‌خیزی بالا صورت گیرد این اقدامات را می‌توان در راستای اجرای برنامه‌های مدیریت جامع حوضه آبریز، مدیریت ریسک سیل و آبخیزداری برنامه‌ریزی نمود به گونه‌ای که در دراز مدت علاوه بر بهبود وضعیت پوشش گیاهی در سطح حوضه منجر به کاهش آسیب‌های جانی و مالی وارده گردد. در عین حال با پیگیری و اجرای مستمر قوانین موجود و تهیه و تنظیم قوانین جدید مانع تغییر کاربری اراضی در بستر و حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های سیل‌خیز شد.

## منابع

- اندریانی، صغری (۱۳۹۳). کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در بررسی تغییرات کاربری اراضی و تاثیر آن بر دبی رودخانه (مطالعه موردی: صوفی چای)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد RS & GIS، دانشگاه تبریز.
- امیدوار، کمال؛ کیانفر، آمنه؛ عسکری، شمس. ا. (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی پتانسیل سیلخیزی حوزه آبخیز کنجانچم، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲، صص ۷۳-۹۰.
- کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ رستم‌زاده، هاشم (۱۳۸۵)، پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌های مواد در حوضه آبریز ليقوان چای، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ویژه‌نامه جغرافیا، دور دهم، پیاپی ۴۸، صص ۱۴۵-۱۲۵.
- خیری‌زاده، آروق؛ ملکی، جبرئیل؛ عمونیا، حمید (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز مردق چای با استفاده از مدل ANP، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۳۹-۵۶.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، (۱۳۸۰)، راهنمای مهار سیلاب رودخانه، (روش‌های سازه‌ای)، نشریه شماره ۲۴۲.
- شعبانلو، سعید؛ صدقی، حسین؛ ثقفیان، بهرام؛ موسوی جهرمی، حبیب (۱۳۸۷)، پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS، مجله پژوهش آب ایران، سال ۲، شماره ۳، صص ۱۱-۲۲.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ اندریانی، صغری؛ الماس‌پور، فرهاد؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ مختاری اصل، ابوالفضل (۱۳۹۳). تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر سیل‌خیزی و دبی رواناب رودخانه صوفی چای، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱، صص ۴۱-۵۷.
- علیزاده، امین (۱۳۸۸)، اصول هیدروولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ بیست و ششم.
- مهندسین مشاور آذرآب اندیشان (۱۳۹۳)، گزارش خاک‌شناسی پروژه استعداد یابی اراضی ملی - خاک‌شناسی و تناسب اراضی ملی و دولتی شهرستان تبریز، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری آذربایجان شرقی.
- Bronstert, A. (2003), **Floods and climate change: interactions and impacts**, Risk Anal, 23, 545-557.
- Christensen, J.H., Christensen, O.B. (2003), **Climate modelling: severe summertime flooding in Europe**, Nature, 421, 805-806.
- Eastman, R.J. (2012), **IDRISI for Windows :IDRISI Selva Manual**,. Clark University, New york, press.

- Ho, T.K.L., Umitsu, M. (2011), **Micro-landform classification and flood hazard assessment of the Thu Bon alluvial plain, central Vietnam via an integrated method utilizing remotely sensed data**, Applied Geography, 31, 1082-1093.
- Kusky, T. (2008), **Floods: Hazards of Surface and Groundwater Systems**, Facts On File publishing, New York, press.
- Kalantari, Z., Nickman, A., Lyon, S.W., Olofsson, B., Folkeson, L. (2014), **A method for mapping flood hazard along roads**, Environmental Management 133, 69 -77.
- Malczewski, J., (1999), **GIS and Multicriteria Decision Analysis**, John Wiley and sons, New York, USA.
- Mantero, P., Moser, G., Serpico, S.B. (2005), **Partially Supervised Classification of Remote Sensing Images Through SVM-Based Probability Density Estimation**, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 43, NO. 3, pp. 559-570.
- Oruc, I., Maloney, L.T., Landy, M.S. (2003), **Weighted linear cue combination with possibly correlated error**, Vision Research, 43: 2451–2468.
- Pontius, R.G., Cornell, G.D., Hall, C.A. (2001), **Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica**, Agriculture, Ecosystems & Environment, 85: 191-203.
- Rozalis, S., Morin, E., Yair, Y., Price, C., (2010), **Flash flood prediction using an uncalibrated hydrological model and radar rainfall data in a Mediterranean watershed under changing hydrological conditions**, Hydrological. 394, 245–255.
- Saaty, T.L. (1977), **A scaling method for priorities in hierarchical structure**, Mathematical Psychology, 15: 234-281.
- Shafapour Tehrani, M., Pradhan, B., Jebur, M.N. (2013), **Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS**, Hydrology, 504: pp 69–79.
- Vapnik, V.N. (1999), **The Nature of Statistical Learning Theory**, Second Edition. (New York: Springer-Verlag), PP. 1-339.
- Zhaoli, W., Hongliang, M., Chengguang, L., Haijuan, S., (2011), **Set Pair Analysis Model Based on GIS to Evaluation for Flood Damage Risk**, Procedia Engineering, 28, pp 196 – 201.