

پهنه بندی مخاطره سیلاب در حوضه رودخانه کلات (زیر حوضه منتهی به شهر کلات)

محمد محمدنژاد - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
لیلا گلی مختاری* - استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
ابوالفضل بهنیا فر - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۱۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۱۴

چکیده

شناسایی عوامل و فرآیندهای مؤثر در وقوع سیلاب و پهنه بندی نواحی در معرض مخاطره در زمینه مطالعات مربوط به مدیریت مناطق شهری دارای جایگاه ویژه ای است. هدف از این پژوهش ارزیابی و پهنه بندی مناطق در معرض خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی شهر کلات نادی در استان خراسان رضوی با استفاده از روش شعبان و همکاران ۱ و مدل (GIS Model Builder)، جهت مدل سازی داده های مکانی می باشد. برای ارزیابی مناطق تحت اثر سیلاب با استفاده از ویژگی های طبیعی و مورفولوژیکی از هفت فاکتور مؤثر در وقوع سیلاب شامل: عامل هیدرولوژی، زمین شناسی، شیب، ارتفاع، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی استفاده گردیده است. همچنین به منظور شناسایی مناطق در معرض خطر سیلاب، لایه های فوق در محیط GIS فراخوانی شد. لایه های اطلاعاتی مختلف با اعمال کارشناسی و بازدیدهای میدانی به صورت نقشه های معیار طبقه بندی شدند. در نهایت با توجه به وزن به دست آمده نقشه پهنه بندی مناطق مستعد خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی تهیه شد. با توجه به نتایج تحقیق از کل مساحت محدوده مطالعاتی ۱۰/۱۴ درصد در طبقه خطر بسیار کم، ۳۰/۱۵ درصد در طبقه خطر کم، ۲۰/۳۵ درصد در طبقه خطر متوسط، ۲۶/۴۲ درصد در طبقه خطر زیاد و ۱۲/۶۶ درصد در طبقه خطر بسیار زیاد قرار گرفته است. عامل هیدرولوژی (رواناب ناشی از بارش، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه) منطقه با ارزش ۴۹/۶۹ درصد بیشترین وزن و مهمترین عامل وقوع مخاطره سیلاب در منطقه مورد مطالعه بوده است و عامل کاربری اراضی با ارزش ۷/۶۷ درصد کمترین وزن و تاثیر را به خود اختصاص داده است. بنابراین نتایج نشانگر آن است که به ترتیب عوامل هیدرولوژی (رواناب، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه)، زمین شناسی (لیتولوژی) ، ارتفاع و شیب مهمترین نقش را در وقوع مخاطره سیلاب در این منطقه داشته اند.

واژگان کلیدی: سیلاب شهری، روش شعبان، پهنه بندی خطر سیلاب، شهر کلات.

مقدمه

سیل یکی از مهمترین بلایای طبیعی جهان است. بیش از نیمی از آسیب‌های جهانی سیل در آسیا رخ می‌دهد (تینگ سن چالی، ۲۰۱۲: ۲۵)^۱. سیستم‌های سیل رودخانه‌ای بیشترین آسیب‌های طبیعی را بوجود می‌آورد که بر اساس آن اکثریت کشورهای جهان به طور مرتب تحت تاثیر قرار می‌گیرند (جانگ من و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۷۳۳)^۲. سیل بدلیل عوامل طبیعی یا ترکیبی از عوامل طبیعی و انسان ایجاد می‌شود. خطر سیل همانند سایر مخاطرات می‌تواند به این صورت بیان شود: (مخاطره یا ریسک = خطر × آسیب پذیری).

رودخانه‌های شهری عناصر فیزیکی و زیست محیطی مهمی هستند که نقش پایه‌های ثبات، آسایش و پایداری را در توسعه شهری فراهم می‌کنند (یو، ۲۰۱۲: ۱)^۳. اکولوژی سیستم‌های رودخانه‌ای عمدتاً محیط‌های ناپایدار و دینامیکی را به وجود می‌آورند و مورفوژنز^۴ را بر پدوژنز^۵ غلبه می‌دهند (زمردیان، ۱۳۹۳: ۶۸). اصولاً در اکثر مناطق و به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک رودخانه‌ها و اراضی حواشی آن‌ها از اراضی وسوسه‌انگیز به شمار می‌روند و به خاطر نیاز شدید به آب، شهر به تدریج به سمت رودخانه کشیده می‌شود و اراضی جانبی آن را اشغال می‌کند. برنامه ریزان شهری باید تغییرات دوره‌ای و ادواری رودخانه‌ها را مطالعه کنند؛ زیرا ممکن است یک رودخانه سال‌های سال طغیان نکند و در دوره آرامش به سر ببرد و حتی مراکز مسکونی و صنعتی هم در حاشیه آن احداث شود، ولی ناگهان دوره طغیانی رودخانه شروع شود و خساراتی را به بار آورد. اصولاً رودخانه‌ها به لحاظ شرایط دینامیکی خود خطرات قابل توجهی را ممکن است به بار بیاورند. طغیان رودخانه‌ها موجب خسارت اقتصادی و همچنین فرسایش نواحی پیرامون آن‌ها می‌گردد و ساحل رودخانه عقب‌نشینی می‌کند و خساراتی را به تأسیسات اطراف وارد می‌سازد. پل‌ها تخریب می‌شوند و زمین‌های کشاورزی به زیر آب می‌روند. رودخانه‌ها با حفر، حمل و رسوب گذاری مواد باعث تغییرات زیادی در اراضی شهری می‌گردند و در مواقع طغیانی بر کرانه‌ها هجوم می‌برند و بر اثر سرریز آب، به داخل شهرها نفوذ می‌کنند که باعث مختل شدن فعالیت‌های روزمره مردم و وقوع خسارات سنگینی به شهرها می‌گردند. بنابراین در مواقع ایجاد سازه‌ها و تأسیسات و بناهای مسکونی باید به تمام خصوصیات رودخانه از جمله میزان دبی، دوره‌های طغیان، سرعت جریان و حفظ حریم رودخانه توجه داشت که در صورت عدم توجه به انجام مطالعات در این زمینه خسارات جبران ناپذیری رخ خواهد داد. در مورفولوژی شهرهایی که در کنار رودها به وجود آمده‌اند، مسیر رودها بیش از دیگر عوامل، نقش تعیین کننده دارد. شهر در کنار مسیر رود، شکل می‌گیرد. شاخه‌های فرعی رود، محله‌ها و کوی‌های شهر را در مسیر معینی قرار می‌دهد و پل‌های متعدد رود، شکل دیگری از مورفولوژی شهری را نشان می‌دهد (نگارش، ۱۳۸۲: ۱۴۴).

ایران در منطقه شدت بالای سیل خیزی در جهان قرار دارد، که در اغلب سالهای گذشته حدود ۷۰ درصد اعتبارات سالانه طرح کاهش اثرات بلایای طبیعی و ستاد حوادث غیر مترقبه، صرف جبران خسارت‌های ناشی از آن شده است و رشد ۲۵۰ درصدی خسارات ناشی از سیل کشور در پنج دهه‌ی گذشته موید این مدعاست (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۸). شهر کلات با الگوی خطی و در امتداد رودخانه کلات تحت تأثیر طغیانهای شدید این رودخانه بوده و تغییرات بستر آن در فرایند توسعه شهرنشینی بر شدت سیلابها افزوده است. سیلاب مورخ بیست و چهارم فروردین ۱۳۹۸ نمونه‌ای از سیلابهایی بود که صدمات قابل توجهی به زمینهای کشاورزی و منازل مسکونی این شهر بعثت شدت بارندگی وارد نمود. همانگونه که اشاره شد در مورخ ۱۳۹۸/۱/۲۴ ساعت ۱۸ عصر در منطقه مورد مطالعه سیلاب شدیدی از سمت ارتفاعات مجاور شهر و دره خشت واقع در قسمت شمالی محدوده مطالعاتی، بعثت عدم توان آبراهه‌ها در انتقال سیلاب و مسدود

¹⁻ Tingsanchali

²⁻ Yue

³⁻ Morphogenesis

⁴⁻ Pedogenesis

شدن دهانه پل رودخانه شهر کلات بوقوع پیوست که موجب آب گرفتگی و به زیر گل ولای رفتن معابر شهری، منازل مسکونی و آب بردن خودروها، آب افتادگی و تخریب دیوار مسجد جامع شهر، خسارت به باغات، مزارع، زیر ساخت های شهری، شبکه آب و فاضلاب، برق، گاز و مخابرات شد. خوشبختانه این سیلاب خسارت جانی در برداشته، اما خسارتی بالغ بر ۲۵۰ میلیارد ریال در این منطقه گزارش شده است. به دلیل پرشیب بودن دامنه های منطقه، در هنگام وقوع بارش این شیب دامنه ها باعث افزایش سرعت جریان آب ناشی از بارش به سمت پایین دست می شود که این امر به ایجاد سیلاب منتهی می شود. همچنین عدم تراس بندی دامنه ها خود عامل تسهیل و افزایش سرعت جریان رواناب ناشی از بارندگی روی دامنه ها است. از سوی دیگر تخریب پوشش گیاهی در روی دامنه ها برای گسترش و توسعه فیزیکی شهر یا انجام فعالیت های کشاورزی باعث شده هیچ مانع طبیعی بر سر راه سیلاب از بالا دست دامنه به سمت پایین وجود نداشته باشد که این امر موجب افزایش خطر سیلاب می شود. رواناب ناشی از بارش یا ذوب برف ها می تواند باعث افزایش خطر طغیان ناگهانی و شدید رودخانه کلات شود این طغیان ناگهانی گاهی می تواند بسیار خطرناک و همراه با نتایج اسف بار باشد، بخصوص اینکه برخی از سکونتگاه ها در حاشیه رودخانه قرار گرفته اند و حریم رودخانه را برای ساخت و ساز رعایت نکرده اند.

بسیاری از محققان داخلی و خارجی به مطالعه و تهیه نقشه های سیل پرداختند: حسین زاده و جهادی طرقي (۱۳۸۶) در مقاله ای به بررسی اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلابهای شهری پرداختند و به این نتیجه رسیدند که اثرات غیر مستقیم گسترش شهر در داخل حوضه های آبریز منتهی به شهر و اثرات مستقیم آن بر الگوی زهکشی طبیعی در محدوده گسترش بافت فیزیکی باعث تشدید شرایط سیل خیزی در این شهر و آسیب پذیری بخش های وسیعی از بافت آن شده است. خیری زاده آروق و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه ی آبریز مردق چای با استفاده از مدل ANP پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عامل شیب با میزان ۰/۳۰ و ارتفاع رواناب سطح حوضه با میزان ۰/۲۸ در رابطه با رخداد سیلاب، از بیشترین میزان اهمیت و عوامل پوشش گیاهی (NDVI) و سنگ شناسی، به ترتیب با رقم ۰/۰۶ و ۰/۰۷ از کمترین میزان اهمیت برخوردار هستند. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به پهنه بندی خطر سیلابهای شهری با استفاده از داده های هیدرولوژی پالتو سیلاب شهر کلات نادری در استان خراسان رضوی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که محدوده وسیعی از این شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارد که این محدوده بیشتر در قسمت ورودی شهر و محله دربند قرار دارد و بایستی در برنامه ریزی های آینده به آن توجه ویژه شود. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به بررسی کاهش خسارت سیلاب شهری با استفاده از مدیریت غیر سازه ای در شهر نکا با استفاده از نرم افزار HEC-RAS و مدل شبیه سازی پرداختند و به این نتایج دست یافتند که عامل اصلی تشدید سیلاب در این شهر گرفتگی دهانه پل بر اثر سیلاب اولیه و عدم پاکسازی آن در سیلاب بعدی بوده است. قنبرزاده و بهنیاfer (۱۳۹۴) در مقاله ای به بررسی نقش متغیرهای ژئومورفیکی رودخانه ای در مخاطرات سیلاب شهرهای کوهستانی، شهر طرقيه در استان خراسان رضوی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم افزار Expert Choice پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پهنه های بحرانی به لحاظ مخاطره سیلاب عمدتاً در محدوده تراکم رو ستاها، فضاهای تفریحی و ویلاقی، کاربری های گرد شگری و شبکه دسترسی به کلان شهر مشهد می باشد. احمدزاده و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی و پهنه بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تاکید بر سیلاب های شهری شهر ماکو با استفاده از تصاویر ماهواره ای، توابع تحلیلی GIS و WMS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تجاوز به حریم سیلاب ها و تبدیل آنها به سطوح نفوذناپذیر، شرایط را برای جریان سیل های مخرب به ویژه هنگام وقوع بارش های رگباری در ماه های خشک سال مهیا می سازد. قهرودی تالی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به بررسی آسیب پذیری ناشی از سیلاب شهری محدوده درکه تا کن شهر تهران با استفاده از روش تهیه نیمرخ آبی و هیدروگراف و شبکه عصبی چند لایه MLP پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عوامل

بالادست شهری سبب تشدید سیلاب و آسیب پذیری این مناطق می شود. نور محمدی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی و پهنه بندی سیلاب در شرق شهرستان بندرعباس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نرم افزار (HEC-RAS) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حداقل ارتفاع سیلاب در دوره برگشت ۱۰۰ ساله ۱,۵ تا ۳ متر و حداکثر آن ۳۰ متر می باشد. مساحت پهنه سیلاب با دوره برگشت ۱۰۰ ساله ۱۳,۷۷ کیلومتر مربع محاسبه گردیده است. یوسف^۱ و همکاران (۲۰۱۱) در مقاله ای به برآورد خطر بالقوه سیل در طول جاده سنت کاترین، جنوب سینای مصر با استفاده از مورفومتری مبتنی بر GIS و تصاویر ماهواره ای جهت کاهش مخاطرات انسانی و جاده ای و خطرات احتمالی ناشی از وقوع ناگهانی سیلاب در محدوده یاد شده پرداختند. نکتاریوس^۲ و همکاران (۲۰۱۱) در مقاله ای به بررسی مدیریت سیل و یک روش مدل سازی GIS برای ارزیابی مناطق سیلابی در حوضه رودخانه Koiliaris در یونان پرداختند. این مقاله یک رویکرد قابل اجرا برای استراتژی مدیریت سیلاب در حوضه رودخانه بر اساس قوانین سیلاب اروپا ارائه می دهد. ون سی میس^۳ و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی چارچوبی برای ارزیابی ریسک جهانی سیلاب برای سیلاب رودخانه ای پیشنهاد نموده اند که می تواند در شرایط کنونی و همچنین در شرایط آینده با توجه به شرایط آب و هوایی و تغییرات اجتماعی و اقتصادی مورد استفاده قرار گیرد. رحمتی^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به منطقه بندی خطر زلزله در منطقه یا سوچ ایران با استفاده از GIS و تجزیه و تحلیل تصمیم گیری چند معیاره پرداختند. نتایج نشان داد که تکنیک AHP به ویژه در مناطق بدون داده مدلی دقیق و قابل اعتماد برای برآورد پتانسیل خطر سیل است. بنابراین روش AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در این مقاله پیشنهاد شده است. خسروی^۵ و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله ای به ارزیابی حساسیت سیلاب مبتنی بر GIS و نقشه برداری آن در ایران با مقایسه نسبت فرکانس و مدل های آماری دو متغیره وزن با شواهد روش تصمیم گیری چند معیاره با استفاده از چهار مدل نسبت فرکانس (FR)، شواهد وزن دهی (WofE)، روند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS پرداختند. نتایج نشان داد که نسبت مدل فرکانس نسبت به سایر مدل ها بالاترین AUC را داشته است. به طور کلی، هر چهار مدل دقت منطقی در مناطق حساس به سیل را نشان می دهد. بتلوس^۶ و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی ارزیابی خطر سیلاب شهری در حوضه ی شهر آتن یونان رودخانه های Kifisos و Ilisos با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی شبکه های زهکشی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مطالعه نقشه خطر سیلاب شهری نشان می دهد که توافق رضایت بخش بین مناطق مستعد خطر سیل و توزیع فضایی پدیده های سیلابی که طی ۱۱۷ سال گذشته به وقوع پیوسته وجود دارد. اکتاویو روجا^۷ و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به بررسی فاجعه رشد شهری و سیل در ساحل حوضه رودخانه آندالیون در جنوب مرکزی شیلی (۲۰۱۱-۱۹۴۳) با استفاده از روش تحلیل تاریخی رسوبات، دوره بازگشت سیلاب و ارزیابی مخاطرات طبیعی با RAS و HEC پرداختند و به این نتیجه رسیدند که (CMA) دومین منطقه بزرگ شیلی در ۵۰ سال گذشته ۲۱ بار وقوع سیلاب را به دلیل رشد مناطق مسکونی و شکل شهری آسیب پذیر تجربه کرده است. رانا^۸ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی سناریوهای توسعه مناطق شهری در آینده و تطبیق با تغییرات آب و هوایی در

1- Youssef

2- Nektarios et al

3- Winsemius

4- Rahmati

5- Khosravi

6- Bathrellos

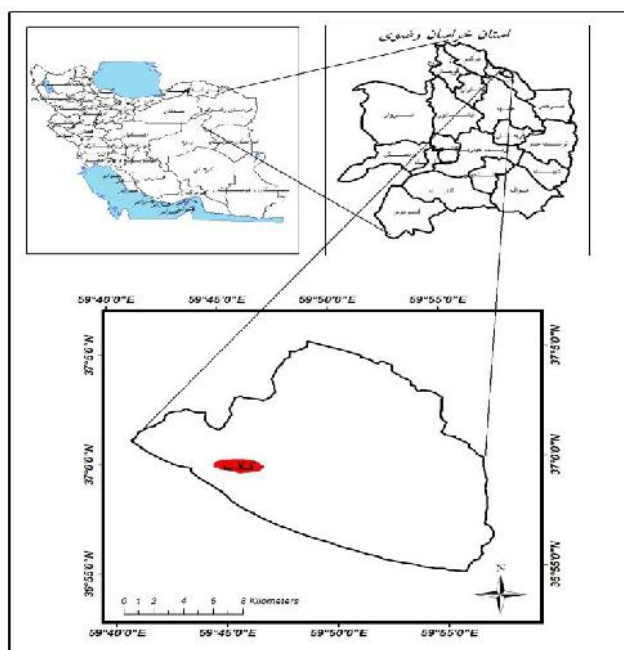
7- Octavio Rojas

8- Rani

حوضه آبخیز شهر بندونگ اندونزی با استفاده از مدل شبیه سازی سناریوها Land Change LCM Modeler و مدل CA-Markov پیش بینی رشد مناطق شهری و مدل شبکه عصبی چند لایه ی (Perceptron MLP) پرداختند. نتایج LCM نشان می دهد که در هر سناریو تفاوت معنا داری در مناطق توسعه یافته و جامعه گیاهی وجود ندارد، با این حال تنظیم فضایی پوشش زمین با هر یک از این سناریوی ها در زمینه مخاطره سیلاب شهری متفاوت است. هدف از پژوهش حاضر پهنه بندی مخاطرات سیلاب شهری در محدوده حوضه آبریز منتهی به شهر کلات نادری است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شهرکوهستانی کلات در زون کپه داغ می باشد که در دامنه شمالی ارتفاعات هزار مسجد- کپه داغ و در امتداد کانال اصلی رودخانه کلات و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۵۷ دقیقه و ۹ ثانیه طول شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۵ دقیقه و ۲۷ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. این محدوده با مساحت ۲۶۶/۷ کیلومتر مربع برابر ۲۶۶۷۰ هکتار در ۱۴۵ کیلومتری شمال شهر مشهد و در شمال شرق خراسان رضوی واقع شده است. حداکثر ارتفاع محدوده ۱۷۰۹ متر و حداقل ارتفاع آن ۴۹۷ متر است، ارتفاع شهرکلات از سطح دریا ۸۸۰ متر است. این محدوده از شمال به وسیله تپه ماهورهای نسبتاً پست به طول ۱۸۰ کیلومتر با کشور ترکمنستان، از جنوب به کوه هزارمسجد و شهرستان مشهد، از شرق به شهرستان سرخس و از سمت غرب به شهرستان درگز محدود می شود. این شهر با جمعیتی حدود ۷۶۷۸ نفر مرکز شهرستان کلات به شمار می رود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، مهم ترین راه های دسترسی به این محدوده از مسیر مشهد به کلات، درگز به کلات و سرخس به کلات است، شکل (۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

بر اساس طبقه بندی اقلیمی کوپن، آب و هوای این محدوده مطالعاتی نیمه خشک می باشد. متوسط دمای سالیانه منطقه برابر با ۱۶/۴۹ درجه سانتیگراد و متوسط بارش سالیانه حوضه برابر با ۳۱۴ میلیمتر می باشد. کمترین دمای متوسط ماهانه منطقه مربوط به دی ماه برابر با ۳/۵۴ درجه سانتی گراد و بیشترین دمای متوسط ماهانه مربوط به ماه تیر برابر با ۲۸/۱۹ درجه سانتی گراد می باشد. همچنین کمترین میانگین حداقل دما مربوط به دی ماه برابر با ۰/۴ درجه سانتی گراد و میانگین حداکثر دمای ثبت شده برابر با ۳۴/۲ درجه سانتی گراد مربوط به تیر ماه می باشد. کاهش دما در منطقه از اوایل پاییز شروع شده و با آغاز بهار و فروردین دوباره دمای هوا روند افزایشی پیدا می کند.

داده‌ها و روش تحقیق

این مقاله بر روش پژوهش‌های میدانی، کتابخانه‌ای و اسنادی متکی است. ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، محدوده مورد مطالعه مشخص شد. از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ کلات، جهت تهیه نقشه ارتفاع، شیب، جهت شیب، شبکه زهکشی و راه‌های ارتباطی (سازمان نقشه برداری خراسان رضوی) و از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات جهت بررسی سازندهای زمین شناسی، واحدهای سنگ شناسی و لیتولوژیکی محدوده و گسل‌های اصلی و فرعی (سازمان زمین شناسی خراسان رضوی)، از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی، و تبخیر سنجی برای تهیه نقشه‌های بارش و دما (اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی)، از نقشه‌های خاک شناسی محدوده با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (مرکز تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی استان خراسان رضوی) و کاربری اراضی ۱:۵۰۰۰۰ (اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی)، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی باند ۱ م‌شهد (بلوک کلات) با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، استفاده شده است. با استفاده از نرم افزار GIS نقشه‌های محدوده مطالعاتی ترسیم گردید.

برای ارزیابی مناطق تحت خطر سیلاب در شهر کلات نادری و محدوده مطالعاتی با استفاده از ویژگی‌های طبیعی و مورفولوژیکی از هفت فاکتور موثر در وقوع سیلاب شامل: عامل هیدرولوژی (رواناب)، زمین شناسی (لیتولوژی)، شیب، سطوح ناهمواری (ارتفاع)، تراکم زهکشی، فاصله از کانال اصلی یا آبراهه و کاربری اراضی استفاده گردیده است. عوامل مورد استفاده در این مطالعه برای ارتباط کلی آنها با خطرات سیلاب و بر اساس روش شعبان و همکاران ۲۰۰۱ انتخاب شدند. هفت عامل ذکر شده، اطلاعات مناسب را جمع‌آوری کرده و از اطلاعات پیچیده و غیر ضروری در مدل سازی فضایی اجتناب می‌کند، به این ترتیب، استفاده از مدل ریسک برای تصمیم‌گیری را اصلاح و بهبود می‌بخشد. طبقه بندی هفت عامل در سطوح خطر در جدول (۱) ارائه شده است. رتبه بندی پیشنهاد شده برای سطوح خطر (ضوابط کارشناس) در هر مرحله نیز در جدول (۱) نشان داده شده است: بسیار بالا = ۷، بالا = ۶، متوسط = ۵، کم = ۴، بسیار کم = ۱.

با توجه به تاثیر هر عامل به طور جداگانه، نمی‌توان مناطق مخاطره را تخمین زد. ادغام تمام عوامل ضروری است تا نقشه کلی مناطق خطر سیل را بدست آوریم. از آنجایی که تمام عوامل دارای تاثیر مشابهی بر مناطق خطرناک نیستند، یک روش وزن دهی، که در آن وزن مخصوص هر عامل تعیین می‌شود، اعمال می‌شود.

وزن عامل با استفاده از روش ارائه شده توسط Shaban و همکاران (۲۰۰۱) تعیین شد، که تاثیر هر عامل را بر تمام عوامل دیگر بررسی می‌کند. این روش یک روش وزن دهی به داده‌ها است که توسط شعبان و همکاران در سال ۲۰۰۱ در کشور لبنان جهت مدیریت حرکات دامنه‌ای و جاده‌ای بزرگراه بیروت و در سال ۲۰۰۶ جهت مدیریت منابع آب زیر سطحی در مناطق کارستی و در غرب این کشور استفاده شده است.

یک خط منقطع در شکل بین دو عامل نشان می‌دهد که یک عامل دارای اثر ثانویه‌ای بر فاکتور اشاره شده توسط فلش است؛ به این معنی که تغییر اولین عامل تاثیر بر سایر عوامل دارد. به عنوان مثال، تراکم آبراهه اثر گذاری بیشتری بر کاربری اراضی و اثر گذاری کمتری بر شیب دارد. برای اندازه‌گیری دو نوع اثر متفاوت، یک نقطه (۱) به یک اثر اصلی و نیم نقطه (۲/۱) اثر ثانویه دارد. سپس، میزان یک عامل به عنوان مجموع نقاط مربوط به اثرات ناشی از عامل محاسبه می‌شود. نرخ اثر گذاری برای عوامل نشان داده شده در شکل (۲) به شرح زیر است:

تراکم آبراهه (زهکشی):

$$۲ \text{ امتیاز} = ۰.۵ + ۰.۵ + ۱ = ۲ \text{ عامل با اثر گذاری کمتر} + ۱ \text{ عامل با اثر گذاری بیشتر}$$

شیب:

$$۲ \text{ امتیاز} = ۰ + ۲ = ۰ \text{ عامل با اثر گذاری کمتر} + ۲ \text{ عامل با اثر گذاری بیشتر}$$

کاربری اراضی :

۱.۵ امتیاز = $۱ + ۰.۵$ = ۱ عامل با اثر گذاری کمتر + ۱ عامل با اثر گذاری بیشتر

عامل رواناب (بارش) :

۶ امتیاز = $۶ + ۰$ = ۰ عامل با اثر گذاری کمتر + ۶ عامل با اثر گذاری بیشتر

سطوح ناهمواری (ارتفاع):

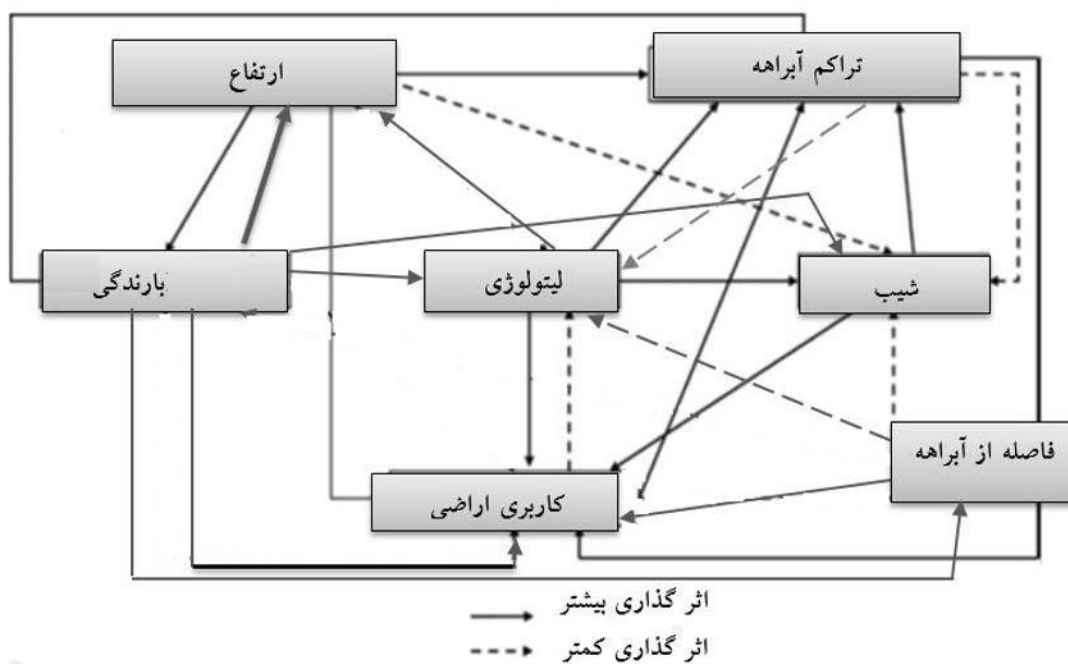
۳.۵ امتیاز = $۳ + ۰.۵$ = ۱ عامل با اثر گذاری کمتر + ۳ عامل با اثر گذاری بیشتر

زمین شناسی (لیتولوژی):

۴ امتیاز = $۴ + ۰$ = ۰ عامل با اثر گذاری کمتر + ۴ عامل با اثر گذاری بیشتر

فاصله از کانال اصلی (آبراهه):

۲ امتیاز = $۱ + ۰.۵ + ۰.۵$ = ۲ عامل با اثر گذاری کمتر + ۱ عامل با اثر گذاری بیشتر



شکل ۲: یک تصویر کلی از تعامل بین عوامل که بر خطر سیل تاثیر می گذارد، منبع (نگارندگان)

جدول ۱: طبقه بندی، ارزیابی و کالیبراسیون وزن عوامل موثر بر نواحی خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی منبع (نگارندگان)

عامل	دامنه تاثیر	سطح توصیفی (خطر سیل)	وزن پیشنهادی (a)	نرخ (b)	رتبه بندی وزن (a×b)	جمع وزن	درصد
میانگین بارندگی (به میلیمتر)	۳۰۰-۳۵۰	بسیار بالا	۷	۶	۴۲	۱۲۰	۲۹/۲۳
	۲۵۰-۳۰۰	بالا	۶	۳۶			
	۲۰۰-۲۵۰	متوسط	۵	۳۰			
	۱۵۰-۲۰۰	کم	۲	۱۲			
زمین شناسی (لیتولوژی)	سازند رسی، رسوبات نئوژن، آبرفت کوتاه تر	بسیار بالا	۷	۴	۲۸	۸۴	۲۰/۴۶
	سازند پسته لبق	بالا	۶	۲۴			
	آتامیر، آبداز، آب تلخ	متوسط	۵	۲۰			
	سازند کلات	کم	۲	۸			
سازند نیزار	بسیار کم	۱	۴				
شیب به درصد	۰-۵	بسیار بالا	۷	۲	۱۴	۴۲	۱۰/۲۳
	۵-۱۰	بالا	۶	۱۲			
	۱۰-۲۰	متوسط	۵	۱۰			
	۲۰-۳۰	کم	۲	۴			
> ۳۰	بسیار کم	۱	۲				
ارتفاع	۴۹۷-۱۰۰۰	بالا	۶	۳/۵	۲۱	۴۹	۱۱/۹۳
	۱۰۰۰-۱۳۰۰	متوسط	۵	۱۷/۵			
	۱۳۰۰-۱۵۰۰	کم	۲	۷			
	۱۵۰۰-۱۷۰۹	بسیار کم	۱	۳/۵			
تراکم زهکشی (آبراهه)	۵	بسیار بالا	۷	۲	۱۴	۴۲	۱۰/۲۳
	۴	بالا	۶	۱۲			
	۳	متوسط	۵	۱۰			
	۲	کم	۲	۴			
۱	بسیار کم	۱	۲				
فاصله از آبراهه (m)	۰-۱۰۰	بسیار بالا	۷	۲	۱۴	۴۲	۱۰/۲۳
	۲۰۰-۱۰۰	بالا	۶	۱۲			
	۳۰۰-۲۰۰	متوسط	۵	۱۰			
	۴۰۰-۳۰۰	کم	۲	۴			
۵۰۰-۴۰۰	بسیار کم	۱	۲				
کاربری اراضی	مناطق مسکونی	بسیار بالا	۷	۱/۵	۱۰/۵	۳۱/۵	۷/۶۷
	صخره ای	بالا	۶	۹			
	کشاورزی دیم و باغ	متوسط	۵	۷/۵			
	جنگل تنک	کم	۲	۳			
مراتع (ترکیب مرتع و دیم)	بسیار کم	۱	۱/۵				
جمع وزن						۴۱۰/۵	۱۰۰

بحث و یافته ها

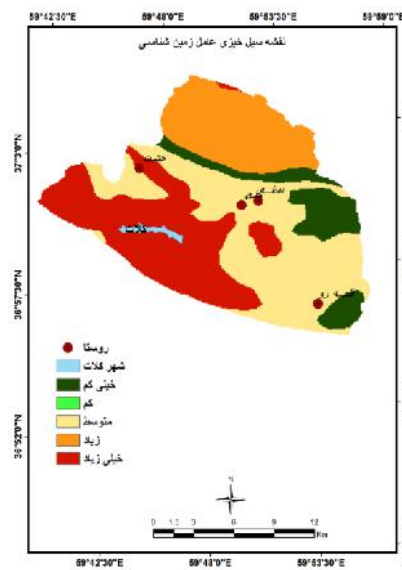
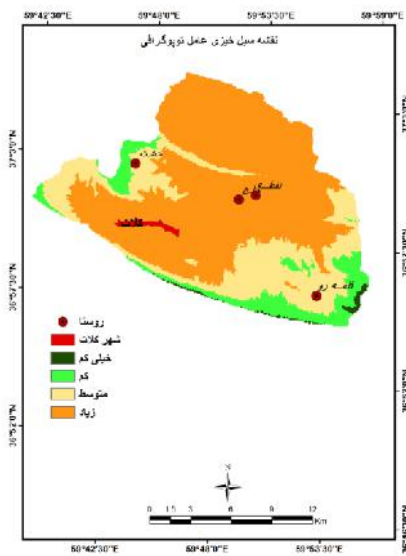
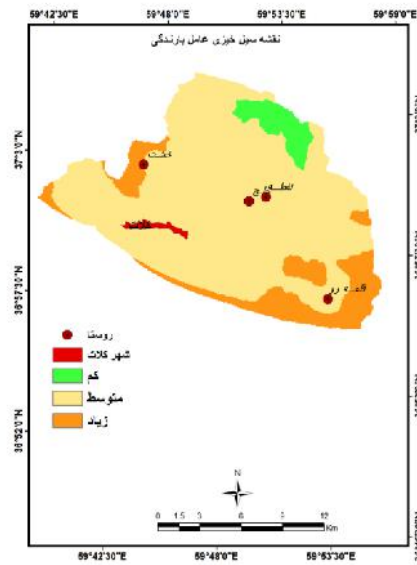
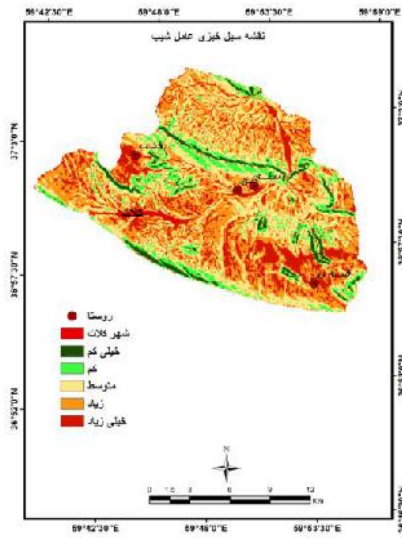
هفت پارامتر محیطی موثر در خطر سیلاب بر اساس جدول (۱) در منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به محاسبات انجام گرفته بیشترین وزن عوامل هفتگانه مربوط به رواناب (میزان بارندگی به میلیمتر) و بارندگی بیشتر از ۳۰۰ میلیمتر است. و برای متغیر لیتولوژی نیز بیشترین وزن مربوط سازندهای رسی، رسوبات نئوژن و آبرفت های کواترن است. برای متغیر شیب نیز بیشترین وزن متعلق به کلاس اول (محدوده ۵-۰) در صد است. برای پارامتر طبقات ارتفاعی نیز بیشترین وزن مربوط به محدوده ارتفاعی (۴۹۷-۱۰۰۰) متر است. برای متغیر تراکم آبراهه بیشترین وزن مربوط به کلاس و طبقه اول است. و برای متغیر فاصله از آبراهه بیشترین وزن مربوط به وزن (۱۰۰-۰) متر است. در متغیر کاربری اراضی نیز مناطق مسکونی بیشترین وزن و تاثیر را به خود اختصاص داده است.

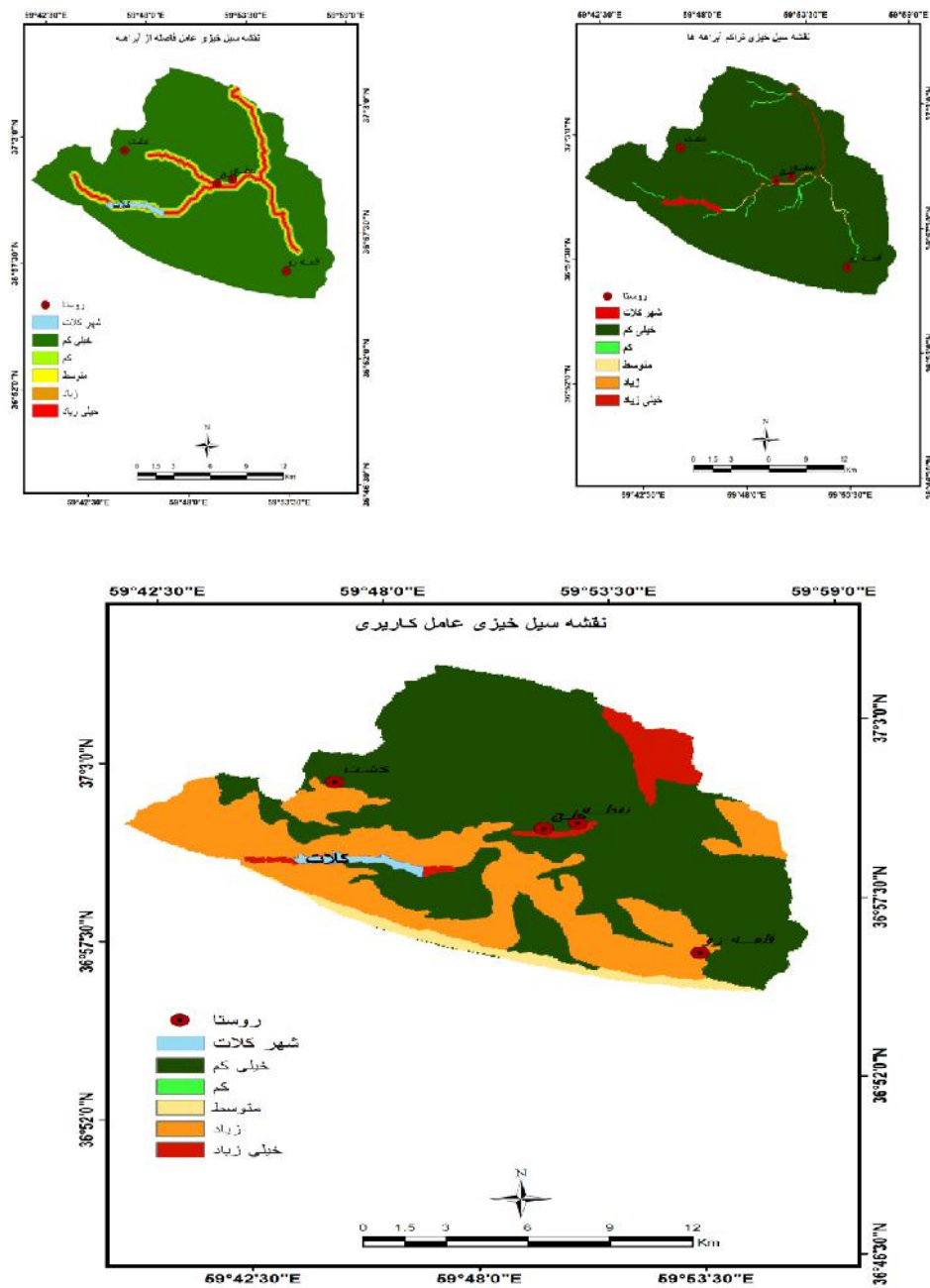
تهیه نقشه آسیب پذیری خطر عوامل موثر در وقوع سیلاب

با توجه به شدت و پیامدهای سیلاب، تکنیک های ضروری برای تخمین و ارزیابی خطر مورد نیاز است. برای درک تاثیر بالقوه بر روی یک جامعه و پاسخ مناسب، نقشه های ارزیابی خطر یک ابزار ارزشمند هستند: آنها پایه ای را برای ایجاد استراتژی مدیریت ریسک به خوبی طراحی می کنند. آنها به تصمیم گیرندگان کمک می کنند تا هزینه های مربوط به ارزیابی ها، هزینه های اولویت بندی شده، کمک های فوری و طراحی و اجرای فعالیت های کاهش هر نوع خطر را به عهده بگیرند. نقشه های خطر برای برنامه ریزی مالی و اهداف بیمه نیز لازم است. نقشه های خطر سیلاب بر روی نقشه های خطر، برای درک تاثیرات رویدادهای مختلف در مورد جمعیت و دارایی های در معرض خطر ایجاد شده است. اکثر ارزیابی های خطر با ارزیابی تلفات به علت آسیب مستقیم فیزیکی با استفاده از یک تابع آسیب دیدگی و پایگاه داده دارایی ها شروع می شود. در اغلب موارد، ارزیابی های خطر بر اساس صدمات مستقیم انجام می شود. خسارات غیر مستقیم، همچنین به عنوان "اثرات دوم" شناخته می شود که اغلب نادیده گرفته می شود که منجر به پیش بینی ناقص هزینه های کل خسارات وارده می شود. این می تواند برای دریافت اطلاعات مناسب برای ارزیابی آسیب های غیر مستقیم دشوار باشد، مشکلات عمده اندازه گیری دقیق اثرات موجی در اقتصاد و تاثیرات بر زیر ساخت ها و اختلال در ارتباطات دارد. به منظور انجام یک ارزیابی جامع خطر، در نتیجه کاهش تفاوت بین ارزیابی واقعی و تخمین زده شده، ادغام منابع اولیه و ثانویه ارزیابی آسیب و ارزیابی خطر ضروری است. بنابراین تهیه نقشه های خطر اولین گام به سوی ارزیابی خطر سیل می باشد (جا و همکاران ۲۰۱۰: ۱۸۲)^۱. پارامترهای محیطی موثر در وقوع خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی بر اساس روش شعبان انتخاب شد. برای ارزیابی جامع هر عامل مربوط به مناطق خطرناک، نرخ ها و وزن باید ترکیب شوند. این را می توان با ضرب وزن پیشنهاد شده توسط نرخ اثر، که وزن کل هر عامل را به دست می آورد محاسبه نمود (شعبان و همکاران، ۲۰۰۶: ۴۴۱)^۲. از جمع بندی وزن تمام عوامل وزن کلی به دست می آید (جدول ۱). سهم هر عامل در مناطق خطرناک، بیان شده به عنوان یک درصد، در ستون آخر جدول ۱ نشان داده شده است. در صد هر عامل به عنوان نسبت وزن کلی فاکتور به مجموع کل محاسبه شد. نقشه حاصل از مناطق خطرناک شامل ترکیبی از هفت متغیر است که به طور مستقیم به هر رویداد سیل که اتفاق می افتد مربوط می شود. باتوجه به نتایج جدول ۱ نقشه خطر سیل برای هر عامل در محدوده مطالعاتی تهیه گردید، شکل (۳)

¹- Jha et al

²- shaban et al





شکل ۳: نقشه های خطر سیل برای هر عامل

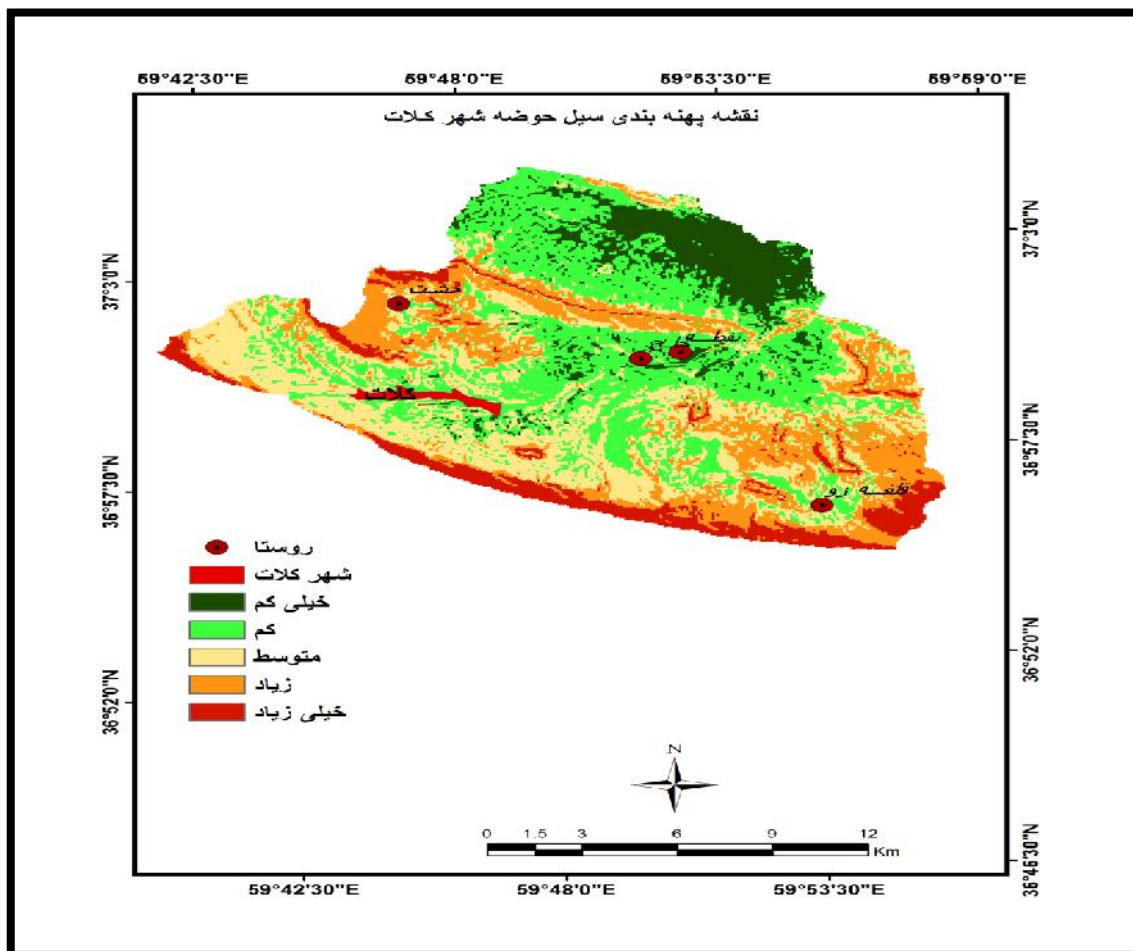
تهیه نقشه نهایی خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی

نقشه های خطر اطلاعات مربوط به احتمال سیل برای دوره های مختلف بازگشت، و همچنین عمق و میزان سیلاب در منطقه آسیب دیده را فراهم می کند. استدلال شده است که حتی بدون افزایش خطر سیل در طول زمان، اثر سیل افزایش یافته است (جا و همکاران ۲۰۱۰ : ۱۸۰). در محدوده مطالعاتی به طور خاص، هفت نقشه که پس از روش طبقه بندی (شکل ۳) توسعه داده شدند با استفاده از یک رویکرد ترکیب خطی وزن در محیط GIS بهم نزدیک شدند. با توجه به این تکنیک، هر عامل با درصد وزن (پوشش عددی) ضرب می شود و جمع آوری تمام عوامل باعث می شود نقشه نهایی مناطق خطرناک حاصل شود.

معادله (۱):

$$S = \sum w_i x_i$$

بطوری که که S نقشه نهایی مناطق خطرناک است، w_i وزن عامل i (درصد) و x_i نرخ عامل i است. عوامل (لایه های موضوعی) بر اساس معادله (۱) در محیط مدل GIS Builder ترکیب شدند. این مدل از زنجیره ای از فرآیندها متصل به یکدیگر تشکیل شده و به طور همزمان اجرا می شود. نقشه های موضوعی سطح تاثیر هر عامل خطر (جدول ۱) با استفاده از معادله (۱) ایجاد شد؛ این نقشه ها با رویکرد وزن (GIS Model Builder) از سطوح موضوعی و نقشه نهایی مناطق خطر سیلاب تولید شد (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه نهایی خطر سیلاب برای محدوده مطالعاتی

نقشه نهایی پهنه بندی خطر محدوده مطالعاتی شهر کلات با استفاده از لایه های رستری هیدرولوژی (رواناب، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه)، زمین شناسی (لیتولوژی)، شیب، ارتفاع، کاربری اراضی با ترکیب وزن های به دست آمده از روش شعبان با هر لایه و همپوشانی آنها در محیط (GIS Model Builder) به دست آمد. براساس یافته های پژوهش و مشاهدات میدانی، نقشه نهایی حاصل از پهنه بندی خطر سیلاب به پنج طبقه: خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم طبقه بندی شد. شکل شماره (۴) نقشه نهایی پهنه بندی خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی و جدول (۲) و شکل شماره (۵) مساحت و درصد طبقات به روش شعبان را نشان می دهد.

جدول ۲: مساحت و درصد پهنه های در معرض خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی

ردیف	خطر وقوع سیل	مساحت به کیلومترمربع	درصد مساحت از محدوده مطالعاتی
۱	خطر بسیار زیاد	۳۳/۷۸	۱۲/۶۶
۲	خطر زیاد	۷۰/۴۸	۲۶/۴۲
۳	خطر متوسط	۵۴/۳	۲۰/۳۵
۴	خطر کم	۸۰/۴۳	۳۰/۱۵
۵	خطر بسیار کم	۲۷/۷۸	۱۰/۱۴

منبع (یافته های تحقیق)



شکل ۵: نمودار پهنه های در معرض خطر سیلاب در شهر کلات نادری و محدوده مطالعاتی (نگارندگان)

که از کل مساحت محدوده مطالعاتی ۱۰/۱۴ درصد در طبقه خطر بسیار کم، ۳۰/۱۵ درصد در طبقه خطر کم، ۲۰/۳۵ درصد در طبقه خطر متوسط، ۲۶/۴۲ درصد در طبقه خطر زیاد و ۱۲/۶۶ درصد در طبقه خطر بسیار زیاد قرار گرفته است. از این رو، عامل هیدرولوژی (رواناب، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه) منطقه با ارزش ۴۹/۶۹ درصد بیشترین وزن و مهمترین عامل وقوع مخاطره سیلاب در منطقه مورد مطالعه بوده است و عامل کاربری اراضی با ارزش ۷/۶۷ درصد کمترین وزن را به خود اختصاص داده است. جهت کنترل صحت و سقم مدل به سازندهای زمین شناسی، وضعیت فیزیوگرافیکی آبراهه های اصلی و زیر حوضه های آبخیز ورودی به شهر، دوره های بازگشت سیلاب در محدوده مطالعاتی، مشاهدات میدانی و انطباق آنها بر روی زمین توجه ویژه شده است.

بر اساس نتایج نهایی حاصل از پهنه بندی خطر سیلاب و بر اساس روش شعبان محدوده وسیعی از شهر کلات در معرض خطر سیلاب قرار دارد که این محدوده بیشتر در قسمت ورودی شهر و محله دربند است، شکل (۶). همچنین در دامنه

های شمالی خصوصا در خوارزم محله و کبود گنبد پیشروی ساخت و ساز روی ارتفاعات و شکل گیری معابر در مسیر آبریزها مشکلات زیادی را به همراه داشته، به طوریکه بهسازی معابر را غیر ممکن ساخته است و در هنگام بروز سیل دچار خسارت فراوان می شود و گل و لای را به معابر اصلی شهر منتقل می کند، شکل (۷). زیر حوضه های آبخیز و آبراهه های واقع در بخش شمالی شهر که مشرف به این شهر هستند، نیز در مواقع بارندگی های شدید حجم زیادی گل ولای و مواد واریزه ای را به معابر شهر منتقل می نمایند و شرایط بحرانی را برای این شهر فراهم می کند، شکل (۸،۹،۱۰،۱۱). توسعه شهر کلات به گونه ای است که ارتباط مابین این آبراهه ها با رودخانه اصلی کلات را بطور کامل قطع نموده است و این آبراهه ها الزاما از محدوده شهری عبور می کنند. این آبراهه ها همچنین پس از رسیدن به محدوده شهری کلات مشکلات عدیده ای را به دلایل زیر بوجود می آورند شکلهای (۱۲،۱۳)، که در برنامه ریزی های مربوط به توسعه و عمران شهر کلات می بایست مورد توجه قرار گیرند:

- شیب زیاد این مسیل ها و سرعت بالای روان آبهای حاصل از بارش،
 - عبور از محدوده کالبدی شهر کلات و امکان تخریب قسمت هایی از معابر و مسکن شهری،
 - تعداد زیادی از این مسیل ها در داخل بافت شهری قرار دارد.
 - دفع ناصحیح آبهای سطحی در فصل بارش به خصوص بهار مشکلات زیادی را برای شهر به همراه دارد.
- بنابراین باید بیان کرد که ویژگیهای محیطی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی شهر کلات شرایط خاصی را برای این منطقه کوهستانی ایجاد کرده که با زیرساختهای موجود آن تناسب ندارد و تهیه طرح های ساماندهی، جمع آوری و دفع آبهای سطحی و طراحی کانال های دفع سیلاب در این شهر و مناطق مشرف به آن ضروری است، شکل (۱۴).



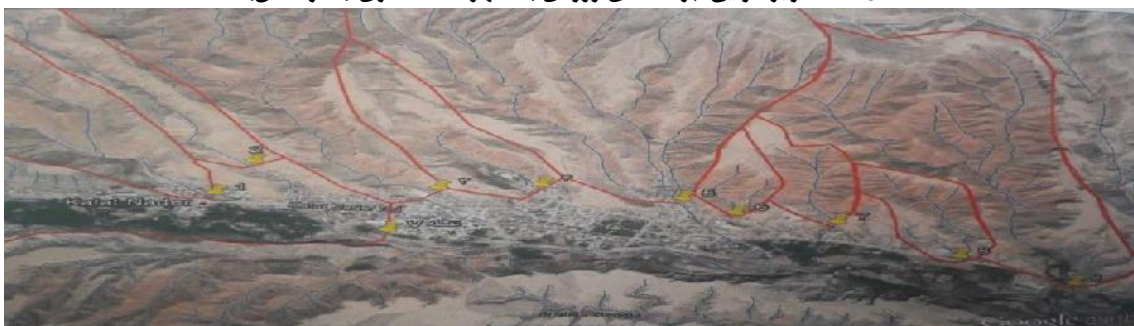
شکل ۶: محله دربند شهر کلات نادری دارای بیشترین میزان خطر وقوع سیل، در ساحل چپ رودخانه کلات، منبع (نگارندگان)



شکل ۷: مسیل های واقع در محدوده بافت کالبدی شهر و ساخت و ساز در حریم سیلابی آبراهه ها (نگارندگان)



شکل ۸: تصویر هوایی آبراهه های ورودی به شهر کلات نادری (نگارندگان)



شکل ۹: تصویر ماهواره ای^۱ موقعیت آبراهه ها نسبت به شهر کلات تا رسیدن به رودخانه کلات (نگارندگان)



شکل ۱۰: تصویر ماهواره ایی رودخانه کلات و ساخت و ساز در حریم سیلابی رودخانه (نگارندگان)



شکل ۱۱: ورود سیلاب به معابر اصلی شهر کلات و خسارت به زیر ساخت شهری منبع (پیریان، اردیبهشت ۱۳۹۱)



شکل ۱۲: وقوع مخاطره سیلاب در شهر کلات نادری، منبع (پیریان، اردیبهشت ۱۳۹۱)



شکل ۱۳: ورود سیلاب به منازل مسکونی، مسجد جامع شهر و خسارت به بافت شهری، منبع (خبرگزاری فارس، ایرنا، فروردین ۱۳۹۸)



شکل ۱۴: عدم تناسب زیر ساخت های شهری شهر کلات نادری با ویژگی های محیطی و ژئومورفولوژیکی، منبع تصویر: خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران، ایرنا، مشهد (فروردین ۹۸)

نتیجه گیری

هدف از این پژوهش پهنه بندی مناطق در معرض خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی شهر کلات نادری در استان خراسان رضوی می باشد. برای ارزیابی مناطق خطرناک سیلاب با استفاده از ویژگی های طبیعی و مورفولوژیکی از هفت فاکتور موثر در وقوع سیلاب شامل: عامل هیدرولوژی، زمین شناسی، شیب، ارتفاع، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی استفاده گردیده است. همچنین به منظور استخراج مناطق در معرض خطر سیلاب، لایه های فوق در محیط (GIS Model Builder) فراخوانی شد. لایه های اطلاعاتی مختلف با اعمال قضاوت کارشناسی و بازدیدهای میدانی به صورت نقشه های معیار طبقه بندی شدند در نهایت با توجه به وزن به دست آمده نقشه پهنه بندی مناطق مستعد خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی تهیه گردید. نتایج نشانگر آن است که به ترتیب عوامل هیدرولوژی (رواناب، تراکم زهکشی و فاصله از آبراهه)، زمین شناسی (لیتولوژی)، ارتفاع و شیب مهمترین نقش را در وقوع مخاطرات در این

منطقه داشته اند. در بررسی عوامل هفتگانه باید بیان کرد که: عامل رواناب و شدت بارندگی بویژه بارندگی های بیشتر از ۳۰۰ میلیمتر مهمترین عامل وقوع مخاطره سیلاب در شهر کلات و محدوده مطالعاتی بوده است. به لحاظ لیتولوژی سازندهای رسی، رسوبات قرمز رنگ نئوژن و آبرفت های کواترنر بیشترین نقش را در وقوع مخاطره سیلاب در محدوده مطالعاتی دارند. برای متغیر شیب نیز بیشترین وزن و فراوانی از لحاظ مساحت مربوط به کلاس (۱۰-۰ درصد) است. برای پارامتر طبقات ارتفاعی بیشترین وزن مربوط به طبقه ۱۰۰۰-۴۹۷ متر و کمترین وزن مربوط به طبقه ارتفاعی ۱۷۰۹-۱۵۰۰ متر است. به لحاظ فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه ای نیز بالاترین امتیاز در بافر ۱۰۰-۰ متری آبراهه واقع است. فاصله کم با آبراهه اصلی رودخانه کلات و تراکم بیشتر آبراهه های محدوده شمالی شهر منتهی به رودخانه اصلی کلات شرایط بحرانی را برای این شهر و زیرساخت های شهری فراهم کرده است. برای کاربری اراضی نیز مناطق مسکونی در معرض خطر سیلاب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. با توجه به نتایج تحقیق از کل مساحت محدوده مطالعاتی ۱۰/۱۴ درصد در طبقه خطر بسیار کم، ۳۰/۱۵ درصد در طبقه خطر کم، ۲۰/۳۵ درصد در طبقه خطر متوسط، ۲۶/۴۲ درصد در طبقه خطر زیاد و ۱۲/۶۶ درصد در طبقه خطر بسیار زیاد قرار گرفته است، که در کل عامل هیدرولوژی (رواناب، تراکم آبراهه، تراکم زهکشی) منطقه با ارزش ۴۹/۶۹ بیشترین وزن و مهمترین عامل وقوع مخاطرات در منطقه مورد مطالعه بوده است و عامل کاربری اراضی با ارزش ۷/۶۷ کمترین وزن و تاثیر را به خود اختصاص داده است. همچنین بر اساس نتایج نهایی حاصل از پهنه بندی خطر سیلاب و بر اساس روش شعبان محدوده وسیعی از شهر کلات در معرض خطر سیلاب قرار دارد که این محدوده بیشتر در قسمت ورودی شهر و محله دربند و زیر حوضه های شمالی مشرف به شهر کلات قرار دارد که شرایط بحرانی را برای این شهر فراهم می کند و بایستی در برنامه ریزی های آینده به آن توجه ویژه شود.

منابع

- احمدزاده، حسن؛ سعیدآبادی، رشید؛ نوری، الهه (۱۳۹۴)، بررسی و پهنه بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تاکید بر سیلاب های شهری (مطالعه موردی: شهر ماکو)، هیدروژئومورفولوژی، ۲، صص ۱-۲۳.
- حسین زاده، سیدرضا؛ خانه باد، محمد؛ خسروی؛ عذرا (۱۳۹۳)، پهنه بندی خطر سیلابهای شهری با استفاده از داده های هیدرولوژی پالتوسیلاب (مطالعه موردی: شهر کلات نادری، خراسان رضوی)، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۱، صص ۳۶-۲۰.
- حسین زاده، سیدرضا؛ جهادی طرقي، مهناز (۱۳۸۶)، اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلابهای شهری، پژوهش های جغرافیایی، ۶۱، صص ۱۵۹-۱۴۹.
- خیری زاده آروق، منصور؛ ملکی، جبرائیل؛ عمونیا، حمید (۱۳۹۱)، پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه ی آبریز مردق چای با استفاده از مدل ANP پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۵۶-۳۹.
- زمردیان، محمدجعفر (۱۳۹۳)، کاربرد جغرافیایی طبیعی در برنامه ریزی شهری و روستایی، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- سازمان نقشه برداری کشور، عکسهای هوایی بلوک مشهد باند ۲-۱، مقیاس: ۱:۴۰۰۰۰.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور. ۱۳۷۸، نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کلات، برگهای کلات و قله- زو.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور. ۱۳۸۴، نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کلات، برگه کلات نادری.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور. ۱۳۸۶، نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کلات، برگه مارشک.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۳۸۷، گزارش نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات، برگه کلات نادری.

- عباسی، حامد؛ شرفی، سیامک؛ مریانجی، زهره (۱۳۹۶)، تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفیک تهدید کننده مجتمع های زیستی شهری در استان لرستان، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ۲، صص ۱۲۵-۱۰۷.
- قنبرزاده، هادی؛ بهنیا، ابوالفضل؛ ثروتی، محمد رضا؛ موسوی، مهدی؛ نور محمدی، علی محمد (۱۳۹۴)، نقش متغیرهای ژئومورفیکی رودخانه ای در مخاطرات سیلاب شهرهای کوهستانی (مطالعه موردی: شهر طرقله، استان خراسان رضوی) فصل نامه آمایش محیط، ۳۱، صص ۷۷-۹۸.
- قهرودی تالی، منیژه؛ مجیدی هروی، آتنا؛ عبدلی، اسماعیل (۱۳۹۵)، آسیب پذیری ناشی از سیلاب شهری (مطالعه موردی: تهران، درکه تا کن)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۷، صص ۲۱-۳۵.
- مسعودیان، محسن؛ فندرسکی، نیایش؛ قره گوزلو، محمد (۱۳۹۳)، کاهش خسارت سیلاب شهری با استفاده از مدیریت غیرسازه ای (مطالعه موردی: سیلاب نکا، ۱۳۷۸)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال پنجم، شماره ۱۰، صص ۱-۱۴.
- نگارش، حسین (۱۳۸۲). کاربرد ژئومورفولوژی در مکان گزینی شهرها و پیامدهای آن، مجله جغرافیا و توسعه، صص ۱۵۰-۱۳۳.
- <http://www.amar.org.ir> - مرکز ملی آمار ایران، نتایج سرشماری (۱۳۹۵)، آدرس اینترنتی
- نورمحمدی، علی محمد؛ اکبری گنبدی، اسماعیل؛ رضائی عارفی، محسن؛ محمدنژاد، محمد (۱۳۹۵)، پهنه بندی سیلاب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شرق بندرعباس، اولین کنفرانس بین المللی مخاطرات طبیعی و بحران های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش ها. اردیبل، شرکت کیان طرح دانش، مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد.
- Bathrellos, G. D. Karymbalis, E. Skilodimou, H. D. Gaki-Papanastassiou, K. Baltas, E. A (2016) Urban flood hazard assessment in the basin of Athens Metropolitan city, Greece. *Environmental Earth Sciences*, Volume 75, Issue 4 Pp 1.
- Jongman, B. H. Kreibich, H. Apel, J. I. Barredo, P. D. Bates, L. Feyen, A. Gericke, J. Neal, J. C. J. H. Aerts, and P. J. Ward (2012), Comparative flood damage model assessment: towards a European approach, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Sci., 12, pp 3733-3752.
- Jha, A. Bloch, R. (2010), *Cities and flooding*, The world bank pub, 632 p.
- Khosrav, Khabat. Nohan, Ebrahim. Maroufinia, Edris. Pourghasemi, Hamid Reza (2016), A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique, *springer, Nat Hazards*, pp 1-42.
- Nektarios N. Kourgialas & George P. Karatzas (2011) Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. *Hydrol. Sci. J.* 56(2), 212-225.
- Rani, Medria Shekar. Lange, Eckart. Cameron, Ross. Schroth, Olaf (2018), Future Development Scenarios for Adaptation to Climate Change in the Ci Kapundung Upper Water Catchment Area, Bandung Basin, Indonesia, *Journal of Digital Landscape Architecture*, 3, pp. 23-33.
- Rahmati, Omid. Zeinivand, Hossein. Besharat, Mosa (2015), Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 7, No. 3, 1000 -1017.
- Rojas, Octavio. Mardones, Maria. , Rojas, Carolina. Martinez, Carolina. Flores, Luis (2017) Urban Growth and Flood Disasters in the Coastal River Basin of South-Central Chile (1943 -2011), *Sustainability*, volume 9, Issue 2, pp 2-21.

- Shaban.A, khowlie.M.Bou kheir.R, Abdalh.c (2001), *Assessment of road instability along a typical mountainous road using GIS and aerial photos, Lebanon - eastern Mediterranean*, Springer, *Bull eng Geol env*, Volume 60, Issue 2, pp 93–101.
- Shaban.A, khowlie.M. Abdalh.c (2006), *Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon*, Springer, *Hydrogeology Journal*, Volume 14, Issue, pp 433–443.
- Tingsanchali.T (2012), *Urban flood disaster management*, Elsevier, *Procedia Engineering* 32, pp 25-37. - Winsemius, H. C. Van Beek, L. P. H. Jongman, B. Ward, P. J, and A. Bouwman (2013), *A framework for global river flood risk assessments*, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1871–1892.
- -Yue, Jun (2012). *Urban Rivers: A Landscape Ecological Perspective*, *Hydrology Current Research*, Volume 3, Issue 1, p p 1-6.
- -Youssef, Ahmed M. Pradhan, Biswajeet. Hassan, Abdallah Mohamed (2011), *Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery*, *Environ Earth Sci* 62:611–623.