نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۳، تابستان ۹۸

پهنه بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط Gis (حوضه آذرشهر چای)

دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۲۴ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۵/۲

صفحات: ۱۱۷-۹۹

محمدرضا گودرزی: استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران.[1]
Email: goodarzi6mr@gmail.com
آتیه فاتحی فر: دانشجوی ارشد مهندسی عمران، آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آیت الله بروجردی (ره)، بروجرد، ایران.
Email: Atiyeh_fatehi@yahoo.com

چکیده

منطقه‌ی شمال‌غرب کشور، به دلیل داشتن اقلیمی نیمه خشک و کوهستانی و درنتیجه تغییرپذیری بالای بارش، ازجمله مناطقی است که در معرض سیلاب‌های مخرب قرار دارد. بنابراین پهنه بندی در اثر تغییرات اقلیمی امری ضروری است. از اینرو در پژوهش حاضر بمنظور بررسی خطر پذیری سیلاب حوضه آذرشهر چای در اثر تغییرات اقلیمی ابتدا با استفاده از مدل گردش عمومی CanESM2 تحت جدیدترین سناریوهای انتشار گزارش پنجم هیئت بین الدول تغییر اقلیم، بدبینانه ترین سناریو RCP8.5 انتخاب و متغیرهای دما و بارش با روش آماری SDSM ریز مقیاس گردانی شده است. سپس با مدل هیدرولوژیکی SWAT رواناب روزانه، نقشه حوضه بندی و خطوط آبراهه‌ها حاصل شده است. نتایج ارزیابی مدل SDSM با ضریب تعیین و نش-ساتکلیف ۰/۹۵ به طور متوسط، بیانگر عملکرد خوب مدل در ریزمقاس نمایی داده‌های بزرگ مقیاس است. همچنین افزایش ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد دما و ۴/۵۳ درصدی بارش و دبی‌های حداکثر در دوره آتی ۲۰۵۹-۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است. با مدل SWAT نقشه‌های پایه تحلیل و حوضه با تلفیق نقشه متوسط دبی حداکثر، ضریب شکل حوضه و فاصله از رودخانه که با رویکرد AHP پهنه بندی شده است. با توجه به پهنه بندی ۴۱/۵۵ درصد از مساحت حوضه در خطر بسیارکم وکم، ۲۷/۲۳ درصد خطر متوسط و ۳۱/۲ درصد در خطر زیاد و بسیار زیاد می‌باشد. همجنین با نقشه نهایی مشخص شد که اواسط حوضه به دلیل داشتن شرایط مستعد دارای خطر زیاد است و نیاز به انجام اقدامات مدیریتی دارد.

کلید واژگان: تغییر اقلیم، سیلاب، پهنه بندی، آذرشهرچای، SWAT، GIS

---

۱. **نویسنده مسئول:** شهر یزد، دانشگاه یزد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران ۰۹۱۲۲۱۷۰۷۹۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

مقدمه

یکی از نشانه‌های بارز تغییر اقلیم، پدیده‌های شدید آب و هوایی است. با توجه به روند تغییرات آب و هوا و گرمایش جهانی به وجود آمده احتمال بارش‌های سنگین و به تبع آن خطر سیل بر اثر سیستم زهکشی نادرست و عوامل فیزیکی و محیطی و ... افزایش یافته است(اسپرتو و همکاران[1]، ۲۰۱۶: ۱۰۳۲). طبق گزارش های IPCC تغییر اقلیم باعث تغییرات هیدرولوژی در چند دهه‌ی اخیر در سطح جهان شده و به گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب افزایش یافته است. اثرات تغییر اقلیم بر روی میزان و الگوهای باران‌های سیل آسا در مقیاس محلی هنوز تا حد زیادی ناشناخته و تحت تاثیر عوامل دیگر(مثل شهر نشینی) بسختی قابل تشخیص است(آی پی سی سی[2]، ۲۰۱۴).

از آنجا که امروزه یکی از مسائل مهم در پروژه‌های مهار سیلاب کشور، اولویت‌بندی حوضه‌ها برای تخصیص بودجه و عملیات سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌باشد و فقدان ایستگاه‌های هیدرومتری در بسیاری از زیرحوضه‌ها، تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌های مختلف در ایجاد سیلاب خروجی را با مشکل مواجه ساخته است، لذا بررسی پارامترهای مؤثر در بروز سیل در زیرحوضه‌ها از طریق مدل‌هایی نظیر سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره در تعیین نقش هر یک از زیرحوضه‌ها در بروز سیلاب راهگشا است.

در خصوص بررسی تحلیل ریسک سیلاب می‌توان به پژوهش‌هایی اشاره کرد. یاهایا[3] (۲۰۰۸) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه رودخانه هادیجیا جاما نیجریه کرد. پارامترهای لحاظ شده در این تحقیق شامل بارندگی سالانه، شیب حوضه، تراکم زهکشی، پوشش زمین و نوع خاک است. فرناندز و لوتز[4] (۲۰۱۰) با کمک GIS و سیستم تصمیمگیری چندمعیاره اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در یکی از استان‌های کشور آرژانتین کردند. این دو با استفاده از پارامترهای فاصله تا کانال‌های زهکشی، ارتفاع منطقه، شیب منطقه، عمق آب زیرزمینی و کاربری اراضی اقدام به پهنه بندی کردند. ایشان با وزندهی به هر یک از این عوامل پنجگانه و به کمک سیستم تصمیم گیری چندمعیاره، منطقه مورد نظر خود را در پنج پهنه با خطر زیاد، خطر متوسط تا زیاد، خطر متوسط، خطر کم و خطر خیلی کم پهنه بندی کردند. بارش سالانه، شیب حوضه، شبکه زهکشی و نوع خاک از جمله عوامل مؤثر بر جاری شدن سیل در نظر گرفتند. میزان بارش بیشترین و نوع خاک کمترین درصد خطر را به خود اختصاص دادند. در نهایت نقشه خطر سیل را بدست آوردند. اوزترک و باتوک[5] (۲۰۱۱) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیمگیری چندمعیاره و معرفی برنامه‌ای تحت عنوان GIS–MCDA اقدام به پهنه‌بندی حوضه مرمره ترکیه کردند. این پهنه بندی با انتخاب و تهیه لایه‌های مؤثر در ایجاد سیلاب منطقه شامل بارندگی سالانه، مساحت زیر حوضه‌ها، ارتفاع، شیب، جهت شیب و ضریب زهکشی انجام گرفته است. این لایه‌ها در محیط GIS–MCDA به صورت زوجی مقایسه و ضریب نهایی برای هر لایه به روش AHP

[1] Sperotto & et al
[2] IPCC
[3] Yahaya
[4] Fernandez & Lutz
[5] Ozturk, & Batuk

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

تعیین شد. نقشه نهایی بر اساس ارزش هر پیکسل به پهنه‌هایی با خطر سیل خیزی خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم میکند. لی و همکاران[1] (۲۰۱۳) با استفاده از روش تاپسیس فازی و دلفی به ارزیابی آسیب پذیری سیل در حوضه هان[2] جنوبی در کره جنوبی پرداخته اند. که براساس آن رتبه بندی آسیب پذیری سیلاب استخراج و ویژگی آن‌ها بدست آمد. همچنین لای و همکاران[3] (۲۰۱۵) در تحقیقی به ارزیابی همه جانبه خطر سیل بر اساس ترکیبی از وزن دهی فازی و نظریه بازی در حوضه رودخانه دانجیانگ پرداخته اند. نتایج بیانگر مناطق پر خطر در زمین‌های نامساعد، صنایع توسعه یافته و تراکم جمعیت واقع شده بود. اسپرتو و همکاران (۲۰۱۶) که در شهر ونیز ایتالیا با انجام تحلیل ریسک منطقه‌ای RRA و مدل اقلیمی-منطقه‌ای RegCM4 تحت سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۴۱-۲۰۵۰ به بررسی سیلاب ناشی از تغییر اقلیم در محیط GIS پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که عامل عمده در بروز سیل تغییرات اقلیمی، به دلیل شیب و نفوذ پذیری کم مناطق شهری ونیز می باشد. قنواتی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به پهنه بندی پتانسیل سیل گیری حوضه خیاو چای مشکین شهر با استفاده از مدل منطق فازی پرداختند. برای این منظور از ۸ پارامتر شامل: تراکم پوشش گیاهی، تراکم زهکشی فاصله از آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، ارتفاع و شیب استفاده کردند. در این مدل ابتدا تمامی لایه ها با فرمت رستر وارد نرم افزار ARC GIS شد، سپس فازی سازی معیار ها با توجه به توابع مورد نظر صورت گرفته و در مرحله بعد با استفاده از عملگردهای مختلف مدل فازی، اقدام به پهنه بندی سیل گیری حوضه مورد نظر شده است. نتایج نشان داد که دره‌ها، خطالقعرها با دامنه های مقعر و مناطق پایین دست مؤثرترین سطح سیل گیری حوضه بودند. حسن زاده نفوتی و بافقی (۱۳۹۵) به بررسی میزان پتانسیل زیر حوضه‌های آبخیز شیطور بافق در ایجاد سیلاب پرداختند. برای این منظور از لایه‌های مساحت، شیب، شیب آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ضریب شکل حوضه، بارندگی سالانه، کاربری اراضی و نفوذ پذیری زیر حوضه‌ها استفاده کردند سپس با استفاده از AHP اقدام به وزن دهی لایه‌ها در GIS کردند. در نتایج زیر حوضه‌ای که به عنوان عامل اصلی خطر شناسایی شده بود مشخص شد. عابدینی و فتحی جوکدان (۱۳۹۵) به پهنه بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز کرگانرود با استفاده از GIS پرداختند. برای این منظور از لایه‌های شیب،زمین شناسی، پوشش گیاهی، خاک، میزان بارندگی و رتبه بندی آبراهه‌ها استفاده کردند و بر اساس نظر کارشناسان امتیازاتی به لایه‌ها داده و لایه‌ها تلفیق شد. نتایج این پژوهش مناطق با خطر پذیری متفاوت مشخص کرد و حوضه بدلیل شکلی دایره‌وار و شیب زیاد و سازندهای نفوذ ناپذیر دارای پتانسیل سیل خیزی زیادی بود.

پهنه بندی خطر سیل در واقع ابزاری اساسی برای مدیریت کاهش خطرهای سیل است و وسیله ای قانونی در دست دولت و مسئولان برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی و برنامه های توسعه همزمان با کاهش خطرهای سیل و حفاظت محیط زیست است. پهنه بندی خطر سیلاب با هدف بکارگیری در برنامه ریزی و مدیریت در کنترل و مهار سیل و همچنین پیش بینی دامنه خسارات ناشی از آن ضروری می‌باشد.

[1] Lee & et al
[2] Han
[3] Lai & et al

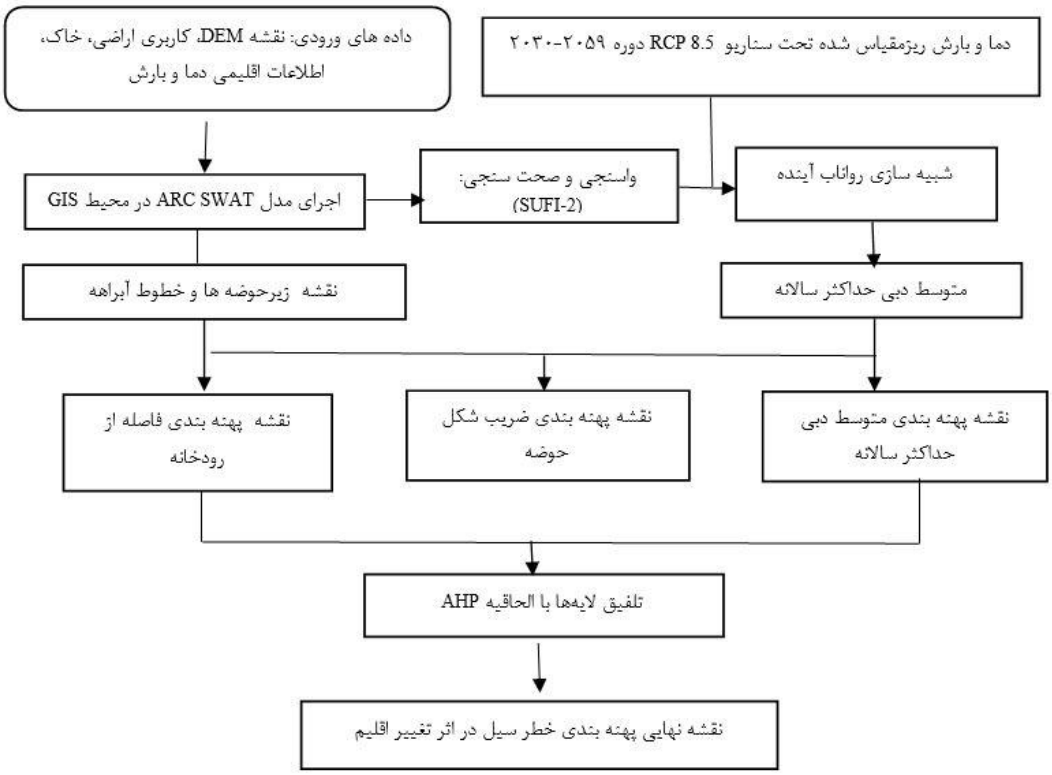
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

البته در اکثر مطالعات انجام شده تنها به بررسی و پهنه بندی خطر سیلاب در زمان فعلی و بدون توجه به تغییرات اقلیمی و مدل هیدرولوژیکی پرداخته شده است. همچنین در سایر پژوهش‌هایی که به اثر تغییر اقلیم توجه شده از مدل هیدرولوژیکی برای انجام تحلیل‌ها استفاده نشده است. از اینرو در پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغییرهای اقلیمی و استفاده از مدل هیدرولوژیکی، پیوسته زمانی، نیمه توزیعی و با پایه فیزیکی، SWAT به تحلیل دبی‌های حداکثر حوضه به پتانیسل سیل خیزی منطقه پرداخته شده است. برای انجام پهنه بندی اقلیمی آتی از نقشه‌های خروجی از مدل SWAT با استفاده از رویکرد AHP در محیط GISبهره گرفته شده است.

روش تحقیق

در پژوهش حاضر برای نقشه پهنه‌بندی خطر سیل در اثر تغییرات اقلیمی از سه نقشه فاصله از رودخانه، ضریب شکل حوضه و متوسط رواناب حداکثر در دوره آتی ۲۰۵۹-۲۰۳۰ استفاده شده است. برای پیش‌بینی متغییر دما و بارش آینده از از مدل CanESM2 تحت سناریو RCP8.5 با مدل SDSM ریز مقیاس گردانی شده اند، و پیش بینی رواناب روزانه در دوره آینده از مدل SWAT استفاده شده است. برای تکمیل نقشه‌ها از خروجی‌های مدل SWAT شامل ساخت خطوط آبراهه از نقشه DEM، تقسیم بندی زیر حوضه‌ها و رواناب هر زیرحوضه که سایر اطلاعات نقشه‌های خاک، کاربری و بارش ... در آن دخیل هستند، استفاده شده است. در نهایت لایه‌ها با الحاقیه AHP باهم ترکیب شده و نقشه نهایی خطر سیل در اثر تغییر اقلیم حاصل شده است. شکل (۱) مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

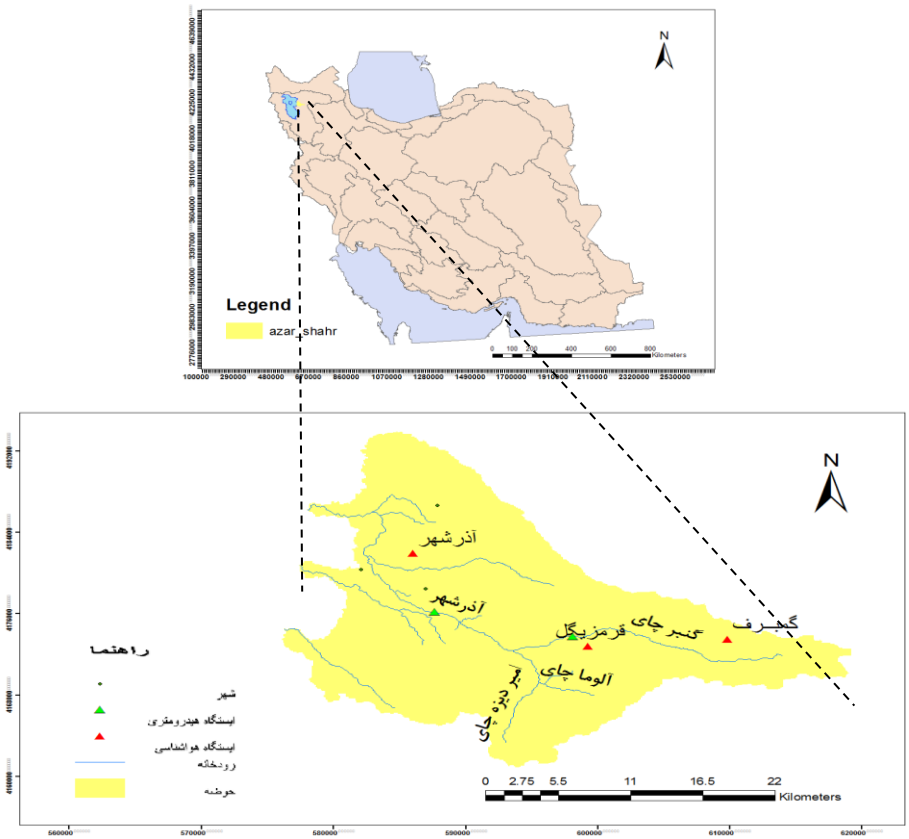


شکل (۱). فلوچارت انجام پژوهش

منطقه مورد مطالعه

حوضه آذرشهر چای در دامنه های غربی توده کوهستانی سهند، در شرق دریاچه ارومیه و در جنوب غرب محدوده شهرستان تبریز واقع شده است. سرچشمه ابتدایی رودخانه آذرشهر چای، کوه قارمیش داغ که در منتهی الیه شرقی حوضه قرار گرفته می باشد. این رودخانه پس از بهم پیوستن دو رود گنبر چایی و آلاکوزه چایی در نزدیکی روستای گواهیر بدین نام نامیده میشود. در طول مسیر جریان رودخانه آذرشهر، روستاهای متعددی پراکنده شده اند که خطر سیلاب تهدیدی برای آن ها بشمار می آید. مساحت حوضه حدود ۶۱۳ کیلومترمربع، موقعیت حوضه در محدوده عرض شمالی '۳۷ °۳۷ - '۹۰ °۳۷ و طول شرقی '۴۹ °۴۵ - '۳۴ °۴۶ می باشد. متوسط بارندگی سالانه ۲۶۶/۲۱ میلی متر می باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]



شکل (۲). منطقه مورد مطالعه

سناریو انتشار و ریزمقیاس نمایی

فرایند تغییر اقلیم به ویژه تغییرات دما و بارش مهمترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می باشد. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی مدل های سه بعدی جفت شده گردش عمومی اتمسفر - اقیانوس(AOGCM) میباشد. در این پژوهش از مدل CanESM2[1] که سه سناریو RCP (2.6,4.5,8.5) در سال های ۲۰۰۵-۲۱۰۰ و داده‌های NCEP در سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۱ را دربر می‌گیرد(پروز و هنبری[2]، ۲۰۱۴: ۱۲۵).

از سناریو های انتشار برای پیش بینی غلظت گازهای گلخانه ای در جو استفاده می شود. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم خود از سناریوهای جدید RCP[3] به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده‌است. در این پژوهش از سناریو RCP8.5 استفاده شده است. این

[1] Canadian Earth System Model
[2] Pervez & Henebry
[3] Representative Concentration Pathways

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

سناریو دربرگیرنده بیشترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است، که بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، در این سناریو پیش خواهد رفت. در این سناریو میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۱۳۷۰ ppmv تخمین زده می‌شود(ژانگ و همکاران[1]، ۲۰۱۶: ۵۲۵).

خروجی مدل‌های گردش عمومی به دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس نمایی می‌گردند. در این پژوهش از مدل SDSM که یکی از روش‌های آماری می‌باشد استفاده شده است. مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM از ابزارهای کمکی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم محلی می‌باشد، که توسط ویلبی و همکاران توسعه یافت. این مدل برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای ریزمقیاس محلی و متغیرهای بزرگ‌مقیاس اتمسفری از داده‌های مستقل مشاهداتی استفاده می‌کند(ویلبی و دوسون[2]،۲۰۱۳: ۱۷۱۰).

مدل هیدرولوژیکی SWAT

مدل SWAT مدل هیدرولوژیکی، پیوسته زمانی، نیمه توزیعی و با پایه فیزیکی به حساب می آید. این مدل با توجه به انجام پروژه های متعدی در سطح بین المللی نشان داده است که دقت بسیار زیادی دارد(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۲۶).

این مدل از نوع مفهومی می باشد. بنابراین به جای استفاده از روابط رگرسیونی در برقراری ارتباط بین ورودی و خروجی SWAT، نیاز به اطلاعات مشخصی از اقلیم، خواص خاک، توپوگرافی و نوع پوشش اراضی دارد. فرآیندهای فیزیکی مربوط به حرکت آب، رسوب، رشد گیاه، سیکل مواد غذایی در خاک و غیره از مواردی هستند که با استفاده از ورودی های ذکر شده، شبیه سازی می شوند. از مهمترین مزایای استفاده از این مدل می توان اولا به قابلیت آن در شبیه سازی حوضه های بدون ایستگاه اندازه گیری و ثانیا بررسی پاسخ آن، برای ورودی های جدید (تغییر در اقدامات مدیریتی حوزه، اقلیم، کاربری اراضی و غیره...) را نام برد.

این مدل از معادله بیلان آب پیروی می کند که بصورت رابطه (۱) تعریف می‌شود(ذهبیون و همکاران[3]،۲۰۱۳: ۶۰۳):

$$SWt = SWo + \sum_{i-1}^{t}(Rday - Qsurf - Ea - Wseep - Qgw)i \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن SWt مقدار نهایی آب موجود در خاک بر حسب میلی متر، SWo مقدار اولیه آب موجود در خاک بر حسب میلی متر (تا عمق ۶۰ سانتی متری)، t زمان برحسب روز، Rday مقدار بارش در روز i بر حسب میلی متر، Qsurf مقدار رواناب سطحی در روز i بر حسب میلی متر، مقدار تبخیر و تعرق واقعی در روز i بر حسب میلی متر، Wseep مقدار آب نفوذی به منطقه قشری در پروفایل خاک در روز i بر حسب میلی متر و Qgw جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه در روز i بر حسب میلی متر است.

[1] Zhang et al
[2] Wilby & Dowson
[3] Zahabiyoun et al

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

در این مدل، حوضه به تعدادی زیرحوضه و زیرحوضه‌ها به تعدادی واحدهای کوچکتر (HRU[1]) تقسیم می شوند. این واحدها تا حد امکان مشابه هستند و دارای ترکیبات یکسانی از خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی می‌باشند. این تقسیم بندی، این توانایی را به مدل می‌دهد، تا تفاوت‌های تبخیر و تعرق را برای خاک ها و گیاهان مختلف، منعکس کند. مدل از روش عدد منحنی اصلاح شده و گرین آمپت جهت محاسبه رواناب سطحی استفاده می‌شود. همچنین رواناب در هر HRU جداگانه شبیه سازی می‌شود و برای تعیین رواناب کل حوضه آبریز، از یکی از دو روش ماسکینگهام و یا ذخیره متغیر[2] روندیابی می‌شود(قربا[3]، ۲۰۱۵: ۵۸۵). با این عمل، دقت شبیه سازی افزایش یافته و توضیح فیزیکی بهتری از معادله تعادل آب، بیان می‌شود. در پژوهش حاضر از روش SCS و ذخیره متغییر استفاده شده است.

به‌منظور بررسی میزان قابل اعتماد بودن اطلاعات شبیه‌سازی شده از میانگین و واریانس و همچنین دو شاخص آماری، ضریب تعیین (R^2)[4] طبق رابطه(۱) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE)[5] طبق رابطه‌های (۲) و (۳) مورد استفاده قرار گرفته‌است.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O}).(S_i-\bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2.\sum_{i=1}^{n}(S_i-\bar{S})^2}$$ رابطه (۲)

$$NSE = 1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2}$$ رابطه (۳)

که در آن‌ها، $\bar{O}$ میانگین داده‌های مشاهداتی، $\bar{S}$ میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده، Oi داده‌های مشاهداتی هر ماه در کل دوره و Si داده‌های شبیه‌سازی شده هر ماه در کل دوره می‌باشند. مقدار R^2 بیانگر ارتباط خطی بین داده های شبیه سازی شده و مشاهداتی بوده که مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است، که هر چه به یک نزدیکتر باشد شبیه سازی بهتر است(موتویلو و همکاران[6]، ۱۹۹۹: ۲۶۴). در بررسی تعیین کارایی مدل تعیین کردند که اگر مقادیر ضریب تأثیر Nash بیش از ۰/۷۵ باشد شبیه سازی خوب و مقادیر بین ۰/۷۵-۰/۳۶ شبیه سازی مقبول و کمتر از ۰/۳۶ شبیه سازی پذیرش ناپذیر است.

تصمیم گیری چندمعیاره AHP[7]

فرآیند تحلیل سلسله مراتبیAHP روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ارزیابی چند معیاری، ابتدا در سال ۱۹۸۰ به وسیله توماس ال ساعتی پیشنهاد گردید و تاکنون

[1] Hydrologic Response Unit
[2] Variable Storage
[3] Ghoraba
[4] Coefficient of Determination
[5] Nash–Sutcliffe Efficiency
[6] Motovilov et al
[7] Analytical Hierarchy process

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است(ساعتی[1]، ۱۹۹۴: ۳۲). انتخاب معیارها یا بخش اول تجزیه و تحلیل AHP است. سپس براساس معیارهای شناسایی شده ارزیابی می‌شوند. در گام دوم مقایسه زوجی معیارهای مختلف با توجه به هدف و تعیین وزن نسبی این معیارها صورت می‌گیرد. در گام سوم جمع‌آوری داده در ارتباط با تمامی معیارها به تفکیک هر یک از گزینه‌ها انجام می‌شود. گام چهارم مقایسه زوجی گزینه‌های مختلف به تفکیک هر یک از معیارها و تعیین وزن نسبی گزینه‌ها به تفکیک هر یک از معیارها می‌باشد.در گام پنجم تحلیل نتایج، تعیین وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها و تعیین اولویت هر یک از آن‌ها صورت می‌گیرد. یکی از مهمترین کاربردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، کاربرد آن‌ها در تصمیم‌گیری گروهی است. روش AHP یک روش برای پرداختن به تصمیمات پیچیده بر اساس اصول ریاضیات است و هنگام مواجهه با مشکلات پیچیده در تصمیم‌گیری چندمعیاره به سلسله مراتب‌ها تجزیه می‌شود. پروسه سلسله مراتب تحلیلی به بی‌ثباتی در قضاوت‌ها و داوری‌ها منتهی شده و برای کاهش بی‌ثباتی ها در تصمیم گیری، مسیرهایی را ارئه می‌کند پروسه با توسعه گزینه‌های انتخابی، مشخصات مقادیر و معیار های شروع شده و با ارزشیابی و پیشنهاد گزینه ها خاتمه می‌یابد(کونز[2]، ۲۰۱۰: ۵).

نتایج

بررسی پارامترهای اقلیمی در دوره آتی

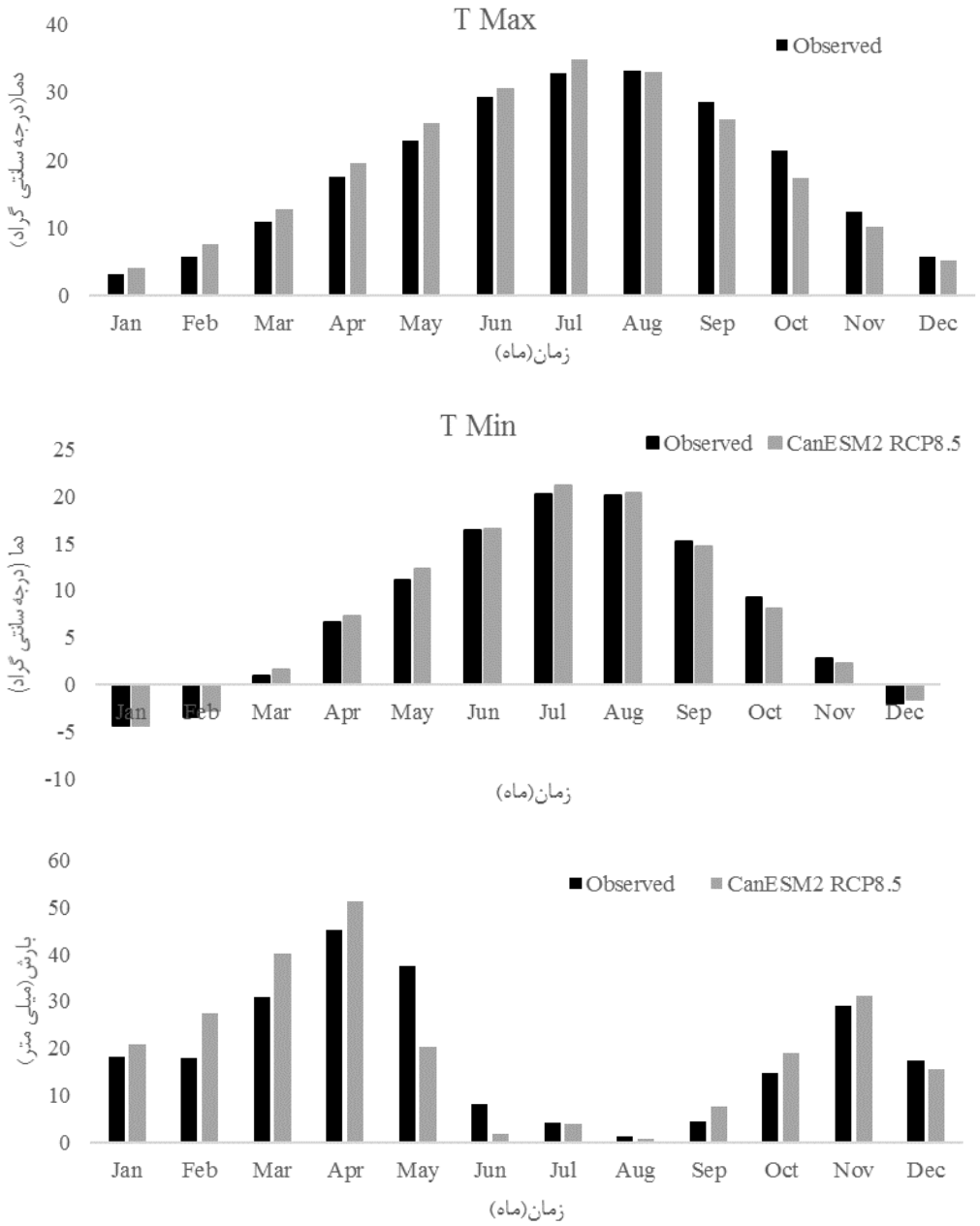
بررسی عملکرد مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی ایستگاه آذرشهر با ضریب تعیین ۰/۹۹ و ۰/۹۸ برای دما برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۰ و ۰/۸۶ و ۰/۸۳ برای بارش در دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶ انجام شده است جدول (۱). نتایج شبیه سازی دما بیانگر افزایش سالانه ۰/۲۳ درجه سانتی گراد و افزایش ۴/۵۳ درصدی بارش می‌باشد. شکل (۳) نتایج تغییرات ماهانه دمای حداقل و حداکثر و بارش را نشان می‌دهد.

جدول(۱). نتایج واسنجی و ارزیابی مدل گردش عمومی CanESM2 در مدل SDSM

پارامتر	دوره واسنجی			دوره ارزیابی		
	سال دوره	NSE	R^2	سال دوره	NSE	R^2
دما بیشینه	۲۰۰۰-۱۹۹۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۲۰۰۵-۲۰۰۱	۰/۹۸۱	۰/۹۸۹
دما کمینه	۲۰۰۰-۱۹۹۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۲۰۰۵-۲۰۰۱	۰/۹۸۰	۰/۹۸۸
بارش	۱۹۹۵-۱۹۷۶	۰/۹۵۱	۰/۹۵۵	۲۰۰۵-۱۹۹۶	۰/۷۲۸	۰/۷۸۸

[1] Saaty
[2] Kunz

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]



شکل (۳). تغییرات ماهانه دمای حداکثر و حداقل و بارش آینده نسبت به دوره مشاهداتی ایستگاه آذرشهر

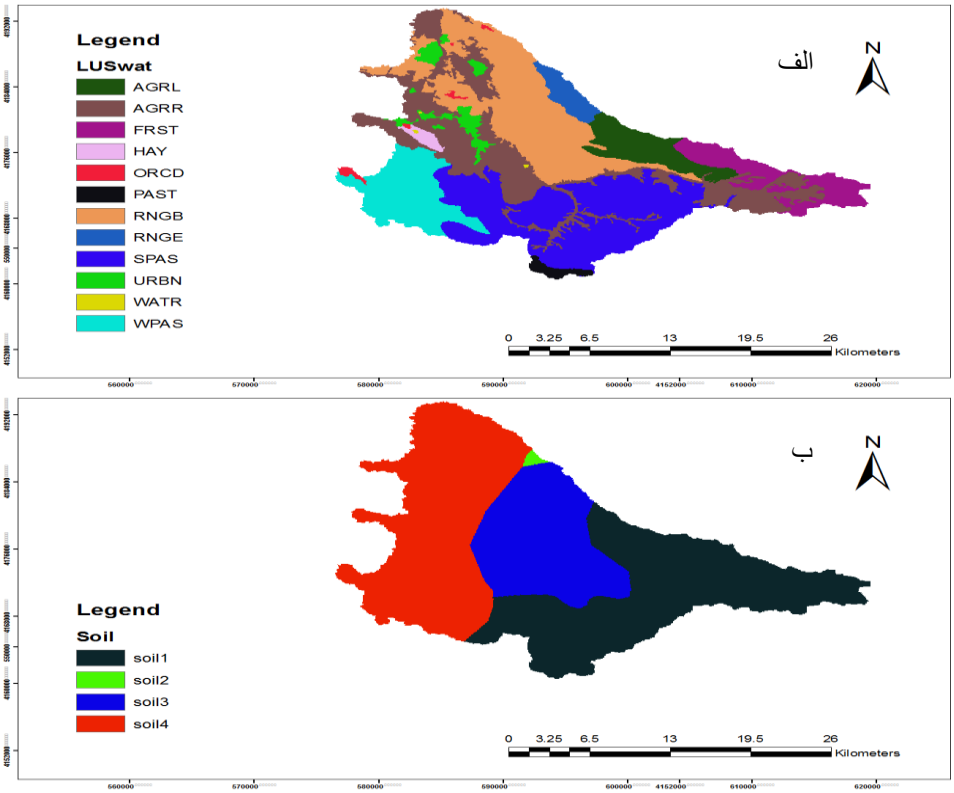
نتایج افزایش بارش در ماه‌های سرد سال بخصوص در اواخر زمستان و اوایل بهار و کاهش بارش در ماه‌های گرم سال را نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

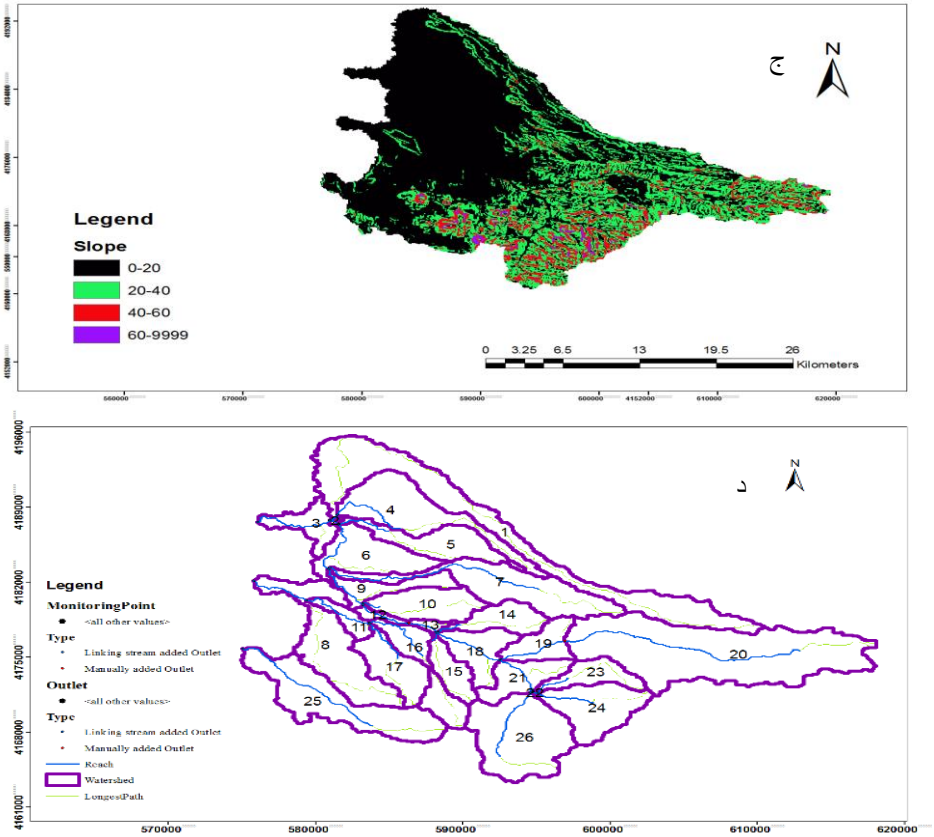
آماده سازی و واسنجی مدل SWAT

نقشه های DEM با تفکیک ۳۰ متر، کاربری اراضی و خاک حوضه به مدل معرفی شده است. همچنین اطلاعات اقلیمی (دما وبارش) ایستگاه وارد شده است. این اطلاعات بعد از پردازش در محیط GIS به صورت رستر در مدل SWAT مورد استفاده قرار گرفتند. با تعریف حد آستانه ۱۰٪ برای نقشه کاربری ۵٪ خاک و ۱۰٪ شیب واحد پاسخ‌های هیدرولوژیکی حساب شدند. بر این اساس، منطقه مطالعه شده به ۲۶ زیرحوضه ۱۴۷ واحد همگن هیدرولوژیکی تفکیک شد. شکل (۴) نقشه‌ها و زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد.

بعد از تحلیل حساسیت مدل، واسنجی آن توسط مدلSWATCUP با استفاده از الگوریتم SUFI2 با تعداد تکرار ۵۰۰ مرتبه انجام گرفت. شبیه‌سازی به صورت روزانه انجام گرفت. خلاصه نتایج واسنجی (۱۹۸۴ تا ۱۹۸۷) و اعتبار سنجی (۱۹۸۸ تا ۱۹۸۹) در جدول (۲) نشان داده شده است. شکل (۵) سری زمانی رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

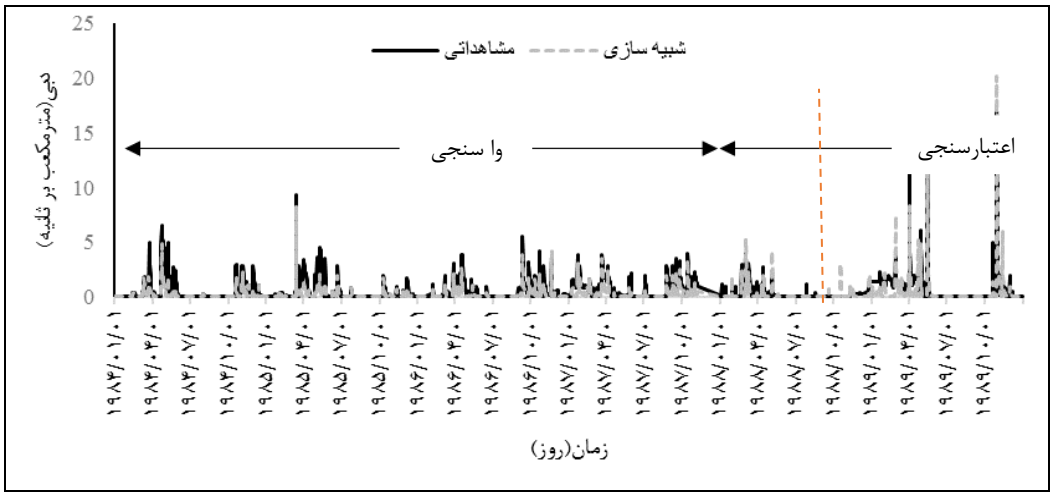


شکل (۴). نقشه (الف)کاربری اراضی (ب)خاک (ج) شیب (د) تقسیم بندی زیر حوضه‌ها

جدول (۲). معیارهای عملکرد مربوط به مرحله واسنجی مدل SWAT

روزانه	R^2	NS	$\bar{S}$	$\bar{O}$	VARs	VARo
واسنجی	۰/۶۷	۰/۵۴	۰/۳۱	۰/۵۳	۰/۳۶	۰/۸۷
اعتبار سنجی	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۴۱	۰/۵۴	۱/۴	۱/۷

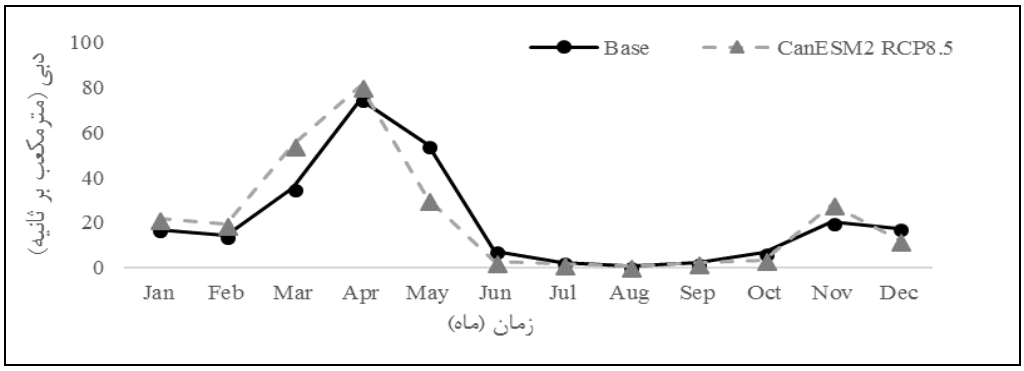
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]



شکل(۵). مقایسه سری زمانی روزانه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

بررسی تغییرات در رواناب آینده

پس از معرفی سری‌های زمانی ریزمقیاس شده دما و بارش در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۹) به مدل هیدرولوژیکی SWAT سری زمانی رواناب روزانه حوضه بدست آمد. نتایج افزایش متوسط دبی سالانه را نشان می‌دهد. مقدار افزایش ۲/۱ درصدی رواناب در RCP8.5 مشاهده شده است. شکل (۶) میزان تغییرات ماهانه دبی در دوره آینده و پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) را نشان می‌دهد.

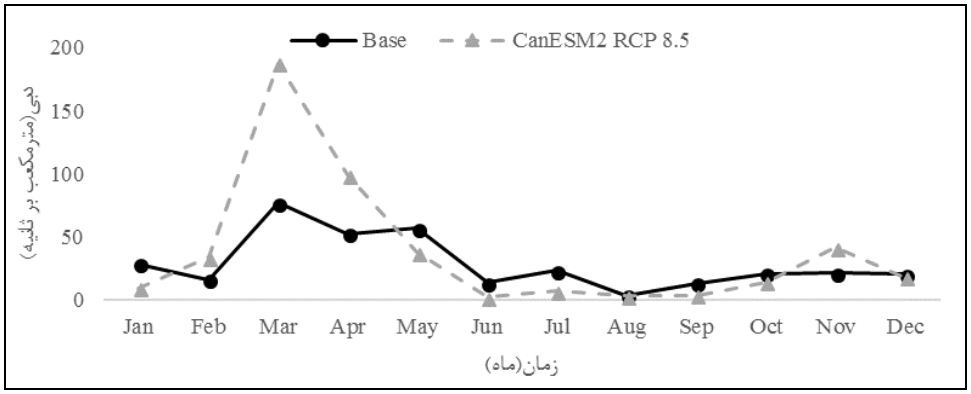


شکل(۶). نمودار تغییرات میانگین رواناب ماهانه تحت سناریو اقلیمی و پایه طی دوره ۳۰ ساله

با دقت در این شکل مشخص می‌شود که الگوی جریان رودخانه در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه‌ی ۳۰ ساله در برخی از ماه‌های سال با تغییراتی مواجه خواهد شد، به‌طوریکه میزان جریان در طول ماه های نوامبر تا آوریل (اواخر زمستان اوایل بهار) افزایش دبی مشاهده می‌شود. همچنین بارش‌های حدی رخ داده اغلب در این ماه‌ها در آینده مشاهده شده است. دلیل این افزایش بطور مستقیم با افزایش دما و افزایش بارش‌های حدی در دوره آتی مرتبط است. افزایش دما باعث افزایش نرخ ذوب برف در منطقه خواهد شد و به مرور زمان منابع آب

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

موجود در ارتفاعات و مناطق سرد ذوب شده که منجر به سیلاب در منطقه می‌گردد. روند کاهشی جریان در ماه‌های مه تا سپتامبر (اواخر بهار تا اوایل پاییز) مشاهده می‌شود.

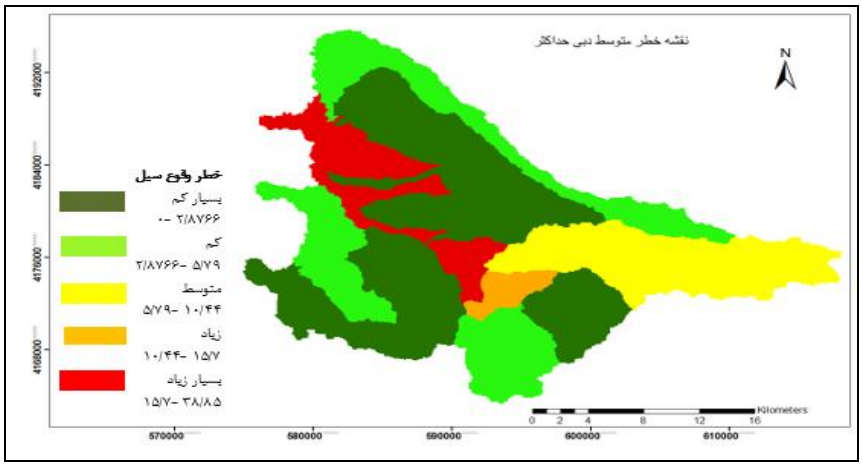


شکل(۷). مقایسه حداکثر دبی ماهانه سی ساله در دوره پایه و آتی

شکل (۷) نیز حداکثر دبی ماهانه در دوره‌های ۳۰ ساله آینده و پایه را نشان می‌دهد. در این شکل مشهود است اکثر وقایع حدی رخ داده در ماه‌های فوریه، مارس و آوریل(اواخر زمستان اوایل بهار)، می‌باشد.

نقشه‌های پهنه بندی خطر سیلاب

۱) نقشه دبی متوسط حداکثر: این نقشه در واقع از ترکیب نقشه‌های نوع خاک، کاربری اراضی، شیب، بارش، دما که در مدل SWAT ترکیب شده اند، بدست آمده است. برای این منظور متوسط حداکثر رواناب روزانه در هر سال طی دوره ۳۰ ساله آینده در هر زیر حوضه حساب شده است. شکل (۸) نقشه پهنه بندی خطر بر اساس یک عامل رواناب حداکثر را نشان می دهد.

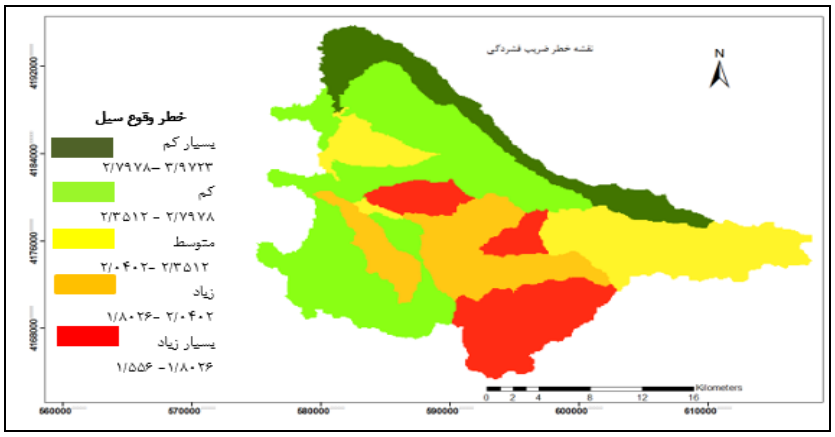


شکل (۸). نقشه دسته بندی خطر متوسط دبی حداکثر سالانه

۲) نقشه شکل حوضه (ضریب فشردگی): این ضریب ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه (برای مثال شکل هیدروگراف) را تحت تأثیر قرار می دهد. یک حوضه باریک طویل با داشتن نسبت انشعاب بالا، پیکی پایین

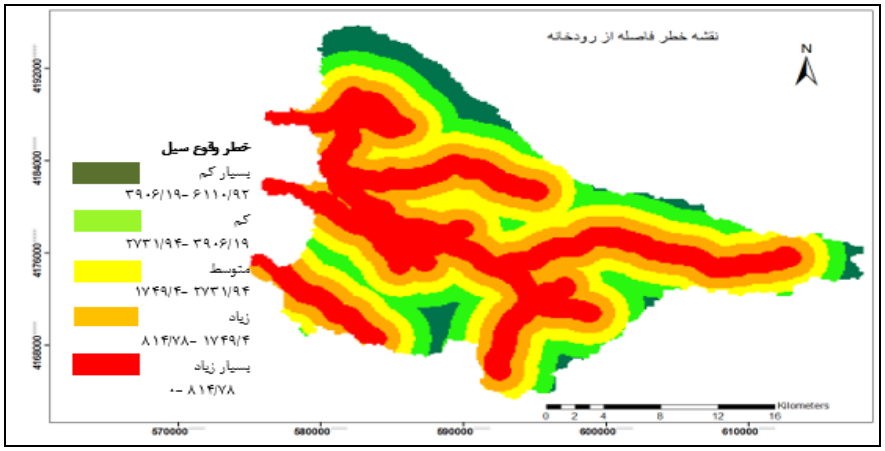
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

اما ثابت را به وجود می آورد، در حالی که حوضه‌های گرد با نسبت انشعاب پایین، یک هیدروگراف تیز را به وجود خواهند آورد(خیری زاده و همکاران،۱۳۹۱ :۴۴). برای تعیین شکل حوضه، ضریب فشردگی یا ضریب گراویلیوس مورد استفاده قرار گرفت. بین مقدار ضریب فشردگی و میزان سیل خیزی رابطه ی معکوس وجود دارد، در نتیجه با توجه به تحلیل‌ها، طبقه هایی که کمترین میزان ضریب فشردگی را دارند، دارای بیشترین میزان اهمیت در رابطه با خطر وقوع سیل هستند. برای ۲۶ زیر حوضه خروجی از مدل SWAT این ضریب حساب شد. شکل (۹) پهنه بندی خطر سیل را با در نظر گرفتن تنها یک عامل(شکل زیرحوضه) را نشان می‌دهد.



شکل(۹). نقشه دسته بندی خطر ضریب گراویلیوس

۳) نقشه فاصله از رودخانه: نقشه پهنه بندی فاصله از رودخانه با توجه به خطوط آبراهه ترسیم شده از مدل SWAT بدست آمد. این نقشه در ۵ کلاس از حدود ۸۱۴ متر تا ۶۱۱۰ متر فاصله طبقه بندی شد. شکل (۱۰) نقشه پهنه بندی خطر فاصله از رودخانه را نشان می‌دهد.



شکل(۱۰). پهنه بندی خطر فاصله از رودخانه

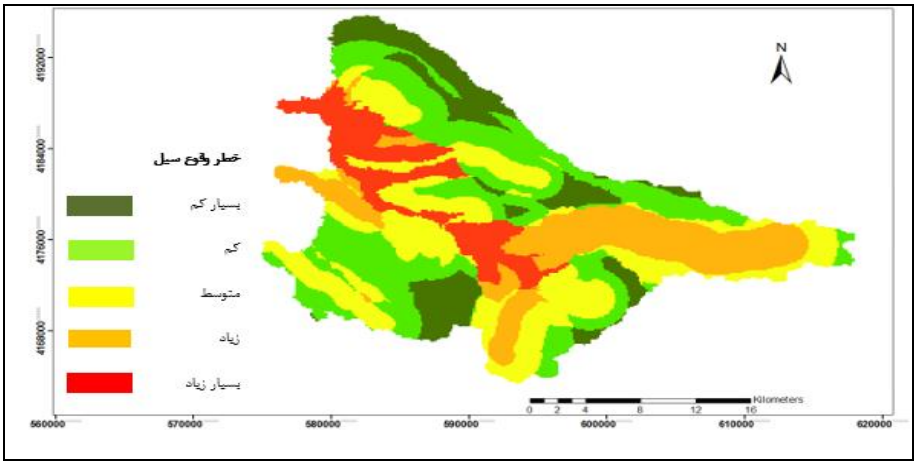
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

لایه‌ها بر اساس میزان اهمیت نسبت به یکدیگر توسط کارشناسان مرتبط امتیاز دهی شدند. مقیاس مقایسه‌ها در دامنه ۱ تا ۹ قرار داده می‌شود، به این صورت که امتیاز ۱ اهمیت برابر دو فاکتور و امتیاز ۹ اهمیت بسیار مهم یک فاکتور در مقابل فاکتور دیگر را نشان می‌دهد. پس از میانگین گیری هندسی امتیازات هر کدام از مقایسه‌های دو به دو محاسبه شده است و اطلاعات مورد نیاز برای تلفیق سه لایه وارد الحاقیه AHP که یکی از روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره محسوب می‌شود، در محیط GIS شده است. جدول (۳) امتیازهای محاسبه شده که وارد AHP شد را نشان می‌دهد.

جدول(۳). میانگین هندسی امتیاز لایه‌های تاثیرگذار در پهنه بندی سیل

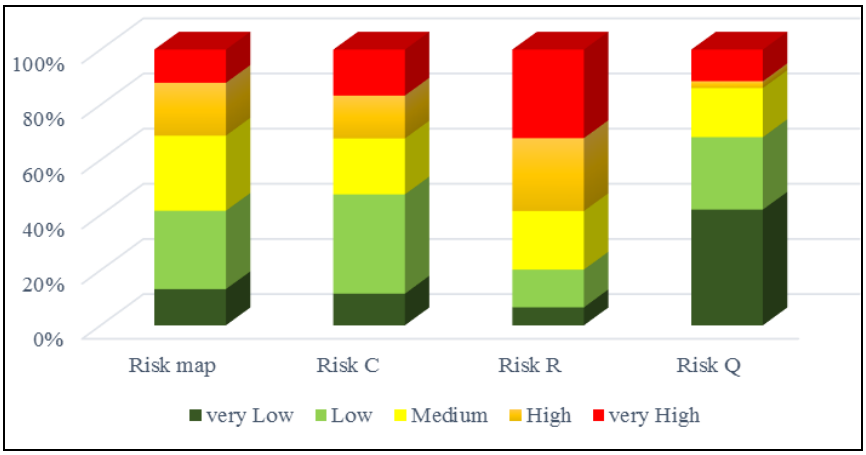
شاخص‌ها	ضریب شکل حوضه	فاصله از رودخانه	رواناب حداکثر
ضریب شکل حوضه	۱		
فاصله از رودخانه	۳/۱۴	۱	
رواناب حداکثر	۸/۲۳	۴/۰۵۶	۱

نرخ ناسازگاری که میزان سازگاری پاسخ های کارشناسان به ارزیابی ها و مقایسات زوجی را اندازه گیری می کند در الحاقیه محاسبه می‌شود. مقدار نرخ ناسازگاری ۰/۰۲۰۴ محاسبه شد که مقدار آن از ۰/۱ کمتر است درنتیجه سازگاری مقایسات قابل قبول می‌باشد(حیاتی و همکاران،۱۳۹۳ :۱۸۰). شکل (۱۱) نقشه ترکیب لایه ها و پهنه بندی خطر سیل ناشی از تغییر اقلیم را نشان می‌دهد. شکل (۱۲) نمودار درصد مساحت تحت خطر را برای نقشه خطر متوسط دبی حداکثر(Q)، فاصله از رودخانه (R)، ضریب فشردگی (C) و نقشه نهایی خطر (Risk map) را نشان می‌دهد.



شکل(۱۱). پهنه بندی خطر سیلاب ناشی از تغییر اقلیم

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]



شکل(۱۲). درصد مساحت خطر هر یک از نقشه‌های تأثیر گذار و نهایی در سیل حوضه آذرشهر چای

با توجه به شکل از بین سه عامل، فاصله از رودخانه بیشترین درصد مساحت خطر زیاد و خیلی زیاد با ۵۸/۵۵ ٪ را به خود اختصاص داده است. نقشه خطر نهایی نشان می‌دهد ۴۱/۵۵ درصد از مساحت حوضه در خطر بسیارکم وکم (۸۰/۴ و ۱۷۴/۰۲ کیلومتر مربع)، ۲۷/۲۳ درصد خطر متوسط(۱۶۶/۷۴ کیلومتر مربع) و ۳۱/۲درصد در خطر زیاد و بسیار زیاد (۱۱۷/۳ و ۷۳/۷۶ کیلومتر مربع) در محدوده اطراف رودخانه اصلی که روستاهای زیادی در مجاورت آن است، می‌باشد.

نتیجه گیری

بروز سیلاب‌های سهمگین در اثر تغییرات آب و هوایی طی دهه‌های اخیر سبب بروز خسارت‌های فراوانی در نواحی مختلف دنیا شده است. جهت محاسبه پتانسیل سیل خیزی حوضه آذرشهر چای در اثر تغییرات اقلیمی ابتدا با استفاده از مدل CanESM2 به عنوان مدل منتخب AOGCM و سناریوی انتشار RCP8.5 از سری سناریوهای گزارش پنجم هیئت بین الدول تغییر اقلیم، و مدل ریزمقیاس سازی آماری SDSM برای دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۵۹ پارامترهای دما و بارش منطقه شبیه سازی شد. با تبدیل بارش پیش‌بینی شده در دوره آینده به رواناب توسط مدل SWAT، دبی آینده ایستگاه آذرشهر در دوره‌های آتی مشخص شد. نتایج افزایش متوسط دبی سالانه را نشان می‌دهد. مقدار افزایش ۲/۱ درصدی رواناب در RCP8.5 مشاهده شده است. با مشخص شدن متوسط دبی حداکثر سالانه در دوره سی ساله آینده نقشه رواناب هر زیرحوضه بدست آمد. از نقشه زیرحوضه‌ها و خطوط آبراهه حاصل از مدل SWAT برای پهنه بندی سه نقشه خطر فاصله از رودخانه، ضریب شکل حوضه و متوسط دبی حداکثر سالانه بهره گرفته شد.

نقشه‌ها با استفاده از رویکرد AHP تلفیق و به پنج کلاس طبقه بندی شدند. با توجه به پهنه بندی ۴۱/۵۵ درصد از مساحت حوضه در خطر بسیارکم وکم (۸۰/۴ و ۱۷۴/۰۲ کیلومتر مربع)، ۲۷/۲۳ درصد خطر متوسط(۱۶۶/۷۴ کیلومتر مربع) و ۳۱/۲ درصد در خطر زیاد و بسیار زیاد (۱۱۷/۳ و ۷۳/۷۶ کیلومتر مربع) در محدوده اطراف رودخانه اصلی که روستاهای زیادی در مجاورت آن است، می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

با توجه به این نتایج می‌توان دریافت دبی‌های حداکثر الزاما در خروجی حوضه‌های بزرگ نیست بلکه ممکن است در یک زیر حوضه کوچک در اواسط حوضه بدلیل داشتن شرایط مستعد سیل مانند شیب زیاد، داشتن شکلی گرد، خاک نفوذناپذیر یا پوشش گیاهی ضعیف، در اثر رخداد باران‌های شدید اقلیمی دبی سیلابی بزرگی رخ دهد. لذا این نقشه‌ها در مدیریت آبخیزداری حوضه و زیرحوضه‌های آن، تعیین شدن سیل خیزی آن‌ها و مقایسه‌های که از این بابت در تعیین اولویت بندی‌ها و سیاست گذاری‌هایی که لازم است انجام گیرد از اهمیت بالایی برخوردار است.

منابع

حسن زاده نفوتی، محمد؛ خواجه بافقی، حبیب ا.... (۱۳۹۵)، **پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطور بافق)**، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۲۹-۳۷.

حیاتی، الیاس؛ عبدی، احسان؛ مجنونیان، باریس؛ مخدوم، مجید. (۱۳۹۳). **عملکرد و حساسیت روش های تصمیم گیری دلفی و AHP به پاسخ گروه های تصمیم گیری در پژوهش های منابع طبیعی**. جنگل و فرآورده های چوب ۲. ۱۷۳-۱۸۶.

خیری زاده، منصور؛ ملکی، جبرئیل؛ عمونیا، حمید. (۱۳۹۱). **پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه‌ی آبریز مردق چای با استفاده از مدل ANP**. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی ۳. ۵۶-۳۹.

عابدینی، موسی؛ فتحی جوکدان، رقیه. (۱۳۹۵)، **پهنه بندی خطر وقوع سیل در حوضه ی آبریز کرگانرود با استفاده از Arc GIS**، هیدروژئومورفولوژی،۷، ۱۷-۱.

قنواتی، عزت اله؛ بابائی اقدم، فریدون؛ همتی، طاهر؛ رحیمی، مسعود. (۱۳۹۴). **پهنه بندی پتانسیل سیل گیری با استفاده ازمدل منطق فازی در محیط GIS (مطالعه موردی حوضه رودخانه خیاوچای مشکین شهر)**، هیدروژئومورفولوژی ۳. ۱۲۱-۱۳۵.

Falconer, R., Smyth, P., & Maani, L., (2008), **Pluvial extreme event risk appraisal techniques with recent applications in Ireland and the Uk**, In Irish National Hydrology Conference (pp. 43-52).

Fernandez, D.S., M.A. Lutz., (2010), **Urban Flood Hazard Zoning in Tucumn Province, Argentina, Using GIS and Multicriteria Decision Analysis**. Research Engineering Geology, 111: 90-98.

Ghoraba, S. M., (2015), **Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model**, Alexandria Engineering Journal, 54(3), 583-594.

IPCC., (2014), **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects**, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 688 pp.

Kunz, J., (2010), **The Analytic Hierarchy Process (AHP)**, Eagle City Hall Location Options Task Force, 1-25.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]

[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]

Lai, C., Chen, X., Chen, X., Wang, Z., Wu, X., & Zhao, S., (2015), **A fuzzy comprehensive evaluation model for flood risk based on the combination weight of game theory**, Natural Hazards, 77(2), 1243-1259.

Lee, G., Jun, K. S., & Chung, E. S., (2013), **Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique**, Natural Hazards and Earth System Sciences, 13(5), 1293-1312.

Motovilov, Y.G., Gottschalk, L., Engeland, K. & Rodhe, A., (1999), **Validation of a istributed Hydrological Model again Spatial Observations**, Agricultural and Forest Meteorology, 98-99, 257-277

Ozturk, D., F. Batuk., (2011), **Implementation of Gis-Based Multicriteria Decision Analysis with Va in ArcGis**. International Journal of Information Technology & Decision Making, 6: 1023-1042.

Pervez, M.S., G.M. Henebry., (2014), **Projections of the Ganges – Brahmaputra precipitation -downscaled from GCM predictors**, Journal of Hydrology 517:120–134. doi:10.1016/j.jhydrol.05.016.

Saaty, T. L., (1994), **Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP**, RWS Publications, Pittsburgh, PA, U.S.A.

Sperotto, A., Torresan, S., Gallina, V., Coppola, E., Critto, A., & Marcomini, A., (2016), **A multi-disciplinary approach to evaluate pluvial floods risk under changing climate: The case study of the municipality of Venice (Italy)**, *Science of The Total Environment*, *562*, 1031-1043.

Wilby, R.L., Dawson, C.W., (2013), **The Statistical DownScaling Model: insights from one decade of application**, International Journal of Climatology, Vol. 33, pp. 1707-1719.

Yahaya, S., (2008), **Multicriteria Analysis for Flood Vulnerable Areas in Hadejia-jama are River Basin, Nigeria**, Annual Conference Portland, Oregon. ASPRS 2008 Annual Conference Portland, Oregon. April 28-May 2.

Zahabiyoun, B., Goodarzi, M. R., Bavani, A. R., Azamathulla, H. M., (2013). **Assessment of climate change impact on the Gharesou River Basin using SWAT hydrological model**, CLEAN–Soil, Air, Water, 41(6), 601-609.

Zhang, Y., You, Q., Chen, C., Ge, J., (2016), **Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China**, Atmospheric Research, 178, 521-534.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.11.9]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.99]