



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)**

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 15
No. 1 (57)**

Received:
2024-10-29

Accepted:
2025-02-05

Pages: 115-127

Evaluating the Effect of Landuse Change on Flooding with a Future Research Approach in Chalus Watershed

Iman Fazeli Sani¹, Baharak Motamedvaziri^{2*}, Alireza Moghadamnia³
and Shabanali Gholami⁴

- 1) Ph.D Student. Department of Nature Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 2) Associate Professor, Department of Nature Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 3) Full Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.
- 4) Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Noor Branch, Islamic Azad University, Mazandaran, Iran.

*Corresponding author emails: bmvaziri@gmail.com

Abstract:

Background and Aim: Land use change and excessive development of cities and villages at the level of watersheds or along rivers and canals is one of the most important causes of flood damage. In this regard, in the present study, using satellite images and the HEC HMS hydrological model, the impact of land use change on the flood of the Chalus watershed was investigated.

Method: Landsat satellite images were used to prepare the land cover/use map of the Chalus watershed and four land use classes (agricultural land, high and mountainous land, forest and pasture, residential and urban areas) were considered. After determining educational samples, supervised classification with a maximum likelihood algorithm was used to prepare land cover/use maps of the Chalus watershed. In the current research, modeling of land use changes in two time periods 1993 to 2015 (22-year period) and 2015 to 2021 (7-year period) and 2021 to 2025 and 2030 using the Markov chain model and combining it with cellular automata to reveal is Done. Then, first, the trend of CN changes was calculated according to the change in land use area for the years 2025, 2030, and the HEC-HMS model for three events according to the change of CN value was implemented by considering the constant value for other factors for the mentioned years.

Results: The findings of the research showed that in 2025, peak discharge and flood volume have increased by 45.9% and 50.8%, respectively, compared to 2006. In 2030, the changes in peak discharge and flood volume increase compared to 2006 are more evident due to the changes in CN and have increased by 50.55 and 60.2%, respectively. Peak discharge and flood volume in 2025 and 2030 compared to 2013 will have significant changes due to land use change, so in 2030 peak discharge will increase by 54.5% and flood volume will increase by 47% compared to 2013.

Conclusion: Considering that the change in land use in the Chalus watershed has a great impact, its management for the future requires a comprehensive and forward-looking perspective.

Keywords: Flood, Hydrological behavior, Landuse, Simulation



شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrj@srbiau.ac.ir
iauwsrj@gmail.com

سال پانزدهم

شماره ۱ (۵۷)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۱/۱۷

صفحات: ۱۱۵-۱۲۷

ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل خیزی با رویکرد آینده‌پژوهی در حوزه آبخیز چالوس

ایمان فاضلی ثانی^۱، بهارک معتمدوزیری^{۲*}، علیرضا مقدم‌نیا^۳ و شعبانعلی غلامی^۴

(۱) دانشجوی دکتری گروه مهندسی طبیعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۲) دانشیار گروه مهندسی طبیعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(۴) استادیار گروه مهندسی طبیعت، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: bm vaziri@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: تغییر کاربری اراضی و توسعه بی‌رویه شهرها و روستاها در سطح حوزه‌های آبخیز و یا حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌ها یکی از مهم‌ترین علل افزایش خسارات سیلاب محسوب می‌شود. در همین راستا در پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل هیدرولوژیکی HEC_HMS به بررسی میزان تاثیر تغییر کاربری اراضی بر سیلاب حوزه آبخیز چالوس پرداخته شد.

روش پژوهش: برای تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی آبخیز چالوس از تصاویر ماهواره لندست استفاده شد و چهار طبقه کاربری (اراضی کشاورزی، زمین‌های مرتفع و کوهستانی، جنگل و مرتع، مناطق مسکونی و شهری) در نظر گرفته شد. پس از تعیین نمونه‌های تعلیمی از طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم حداکثر احتمال برای تهیه نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی حوزه آبخیز چالوس استفاده شد. در پژوهش حاضر مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در دو بازه زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۵ (دوره زمانی ۲۲ ساله) و ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ (دوره زمانی ۷ ساله) و ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و تلفیق آن با اتوماتای سلولی به‌منظور آشکارسازی انجام شد. سپس ابتدا روند تغییرات CN برحسب تغییر مساحت کاربری‌ها برای سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۳۰ محاسبه شد و مدل HEC-HMS برای سه رویداد ۸۵/۰۸/۱۶، ۹۰/۰۸/۲۶، ۹۲/۱۲/۲۲ و ۹۲/۱۲/۲۳ برحسب تغییر مقدار CN با در نظر گرفتن مقدار ثابت برای سایر عوامل برای سال‌های ذکر شده اجرا شد.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد در سال ۲۰۲۵ دبی پیک و حجم سیلاب به ترتیب ۴۵/۹ و ۵۰/۸ درصد نسبت به سال ۲۰۰۶ افزایش یافته است. در سال ۲۰۳۰ تغییرات افزایش دبی پیک و حجم سیلاب نسبت به سال ۲۰۰۶ با توجه به تغییرات CN مشهودتر بوده و به ترتیب ۵۰/۵۵ و ۶۰/۲ درصد افزایش یافته است. دبی پیک و حجم سیلاب در سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۳ بر اثر تغییر کاربری اراضی تغییرات محسوسی خواهد داشت به طوریکه در سال ۲۰۳۰ دبی پیک ۵۴/۵ درصد و حجم سیلاب ۴۷ درصد نسبت به سال ۲۰۱۳ افزایش خواهد داشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز چالوس تاثیر زیادی دارد لذا مدیریت آن برای دوره‌های آتی نیاز به دیدگاهی جامع و آینده‌نگر دارد.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، رفتار هیدرولوژیکی، کاربری اراضی، شبیه‌سازی

مقدمه

سیل پرتکرارترین سانحه طبیعی است که در سرتاسر جهان به خصوص ایران در دهه‌های اخیر به وفور اتفاق افتاده است. هر ساله در حدود ۷۰ درصد از بودجه سازمان مدیریت بحران صرف بازسازی آسیب‌های ناشی از سیل می‌شود، گزارش‌ها نشان می‌دهد طی ۴۰ سال اخیر (۱۴۰۰-۱۳۶۰) در حدود ۳۹۵۰ واقعه سیل در کشور گزارش شده است که ۵۸ درصد آن در یک دهه اخیر بوده است (شیخ بیکلو، ۱۴۰۰) که از علل اصلی این رشد تصاعدی افزایش و تشدید رویدادهای آب و هوایی حدی می‌باشد (Wuebbles et al., 2021). باید توجه داشت که خطر سیلاب‌های ناگهانی در حوضه‌های کوچک و کوهستانی به سبب سرعت زیاد رواناب در رودخانه‌ها و ازدیاد جریان سیل به مراتب بیش‌تر است (IPCC, 2007; Ramin et al., 2009; Jonathon et al., 2013; Stijn et al., 2013). بر این اساس تعیین و تبیین استراتژی‌های مدیریت سیل یک امر اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. فعالیت‌های بشری در اکثر موارد به عنوان تهدیدی علیه محیط‌زیست بوده و نتایجی مانند سیلاب‌های مهیب را در پی داشته است. تغییرات کاربری اراضی نتیجه برهمکنش پیچیده شاخص‌های فیزیکی، زیستی، اقتصادی و اجتماعی است که در اغلب موارد، این عوامل تأثیر زیادی روی فرآیندهای فرسایشی، افزایش رواناب سطحی و تغییرات در تنوع زیستی دارند (Onate-Valdivieso and Sendra, 2010). کاربری اراضی و پوشش طبیعی یکی از مولفه‌های اصلی مطالعات منابع در حوضه آبخیز می‌باشند زیرا که تغییرات در کاربری اراضی اثرات بسیاری بر تغییر در زمان تمرکز، شماره منحنی و نهایتاً وقوع سیلاب دارد. با انجام پژوهش‌هایی که در رابطه با تأثیر تغییر کاربری اراضی و تخریب سرزمین بر ویژگی‌های هیدرولوژیک رودخانه‌ها انجام گرفته تأثیر واضح آن‌ها را در تغییر رژیم جریان در رودخانه‌ها به اثبات رسانده است. دخالت انسان در چرخه طبیعی آب از طریق تخریب پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز (Loukas et al., 2000) کاربری غیراصولی اراضی (Lorup et al., 1998) توسعه سطوح غیرقابل نفوذ (Tommy et al., 1998) و امثال آن احتمال وقوع سیلاب را در مناطق گوناگون افزایش داده است. تاکنون تحقیقات متعددی در خصوص تأثیر تغییر کاربری و پوشش اراضی بر سیلاب انجام گرفته است؛ رحمانی و همکاران (۱۳۹۵)، با بررسی آثار هیدرولوژیک تغییر کاربری اراضی طی ۳۰ سال اخیر در حوزه کسلیان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی حوزه استفاده کردند. نتایج بررسی ایشان نشان می‌دهد در این دوره ۳۰ ساله با کاهش ۲۵۰ هکتاری کاربری جنگل، ۱۱/۲ مترمکعب برثانیه به دبی اوج و ۹۸/۸ مترمکعب به حجم رواناب افزوده شده است. طالبی

و همکاران (۱۳۹۸)، با استفاده از مدل HEC-HMS هیدروگراف‌های پیش‌بینی شده دهه‌های آتی (۲۰۲۰، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰) و گذشته (۲۰۰۴) را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد دبی اوج و حجم سیلاب در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ نسبت به دهه ۲۰۰۴ افزایش خواهد یافت. میانگین دبی اوج در دهه ۲۰۲۰، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ نسبت به میانگین دبی اوج در دهه ۲۰۰۴ نسبت به میانگین دبی اوج رگبارهای مشاهداتی (در اثر تغییر کاربری اراضی و ثابت ماندن سایر شرایط) افزایش خواهد یافت و نهایتاً بیان کردند که تغییر کاربری در آینده و به تبع آن افزایش دبی، رسوب هم به طور قابل توجهی افزایش پیدا خواهد کرد. بلواسی و همکاران (۱۳۹۹)، با هدف ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوضه آبخیز دواب با استفاده از مدل HEC-HMS نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز دواب برای سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۹۸ تهیه کردند. نتایج نشان داد کاهش مساحت اراضی جنگل و مراتع و اراضی زراعی دیم، آبی و مناطق مسکونی افزایش داشته‌اند. همچنین، شماره منحنی (CN) به طور میانگین از ۶۴/۶۰ به ۷۶/۸۰ افزایش یافته است. نتایج به دست آمده از این مقایسه نشان داد تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز دواب موجب افزایش اوج و حجم رواناب شده و در نهایت، به افزایش سیل‌خیزی در این حوضه منجر شده است. آرخی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای با هدف پیش‌بینی پهنه سیل در شرایط تغییر اقلیم براساس سناریوهای پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در حوزه آبخیز قره‌سو استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد با توجه به پهنه‌بندی، ۴۴ درصد در خطر زیاد و بسیار زیاد می‌باشد. مک کوال^۱ و اجیت^۲ (۲۰۰۶) با استفاده از مدل HMS-HEC به پیش بینی الگوی کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰، در حوضه آبخیز کیتانیس در واشنگتن پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مدل هیدرولوژیکی HEC-HMC قابلیت پیش‌بینی الگوهای مختلف کاربری اراضی که به ویژه در طراحی شهری و کاهش خسارات سیل که در حوضه‌های شهری از اهمیت به سزایی برخوردار است را داراست. کریمی و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای خطرات سیل در شهر خرم آباد را با استفاده از GIS پهنه‌بندی کردند. آن‌ها پهنه‌بندی سیل را بر اساس نقشه‌های مختلفی انجام دادند که عواملی مانند بارندگی، فاصله از آبراهه، ترکیب خاک، تراکم آبراهه، شیب، نفوذپذیری خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی را نشان داد. سپس منطقه سیل به شش دسته با دوره بازگشت ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سال تقسیم کردند. در نتیجه این شهر از نظر خطر سیل به سه منطقه بحرانی تقسیم شد. نتایج حاکی از آن بود که محل تلاقی رودخانه‌های کرگانه و خرم رود فاقد ظرفیت کافی برای مقاومت و دفع سیلاب است. در نتیجه شهر در سیل‌های آینده

مزایای عمده مدل‌های رایانه‌ای این است که با استفاده از آن‌ها می‌توان سیستم‌های بسیار پیچیده هیدرولیکی را شبیه‌سازی نمود که در پژوهش حاضر نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل هیدرولوژیکی HEC_HMS به بررسی میزان تاثیر تغییر کاربری بر سیلاب منطقه مورد مطالعه پرداخته شد.

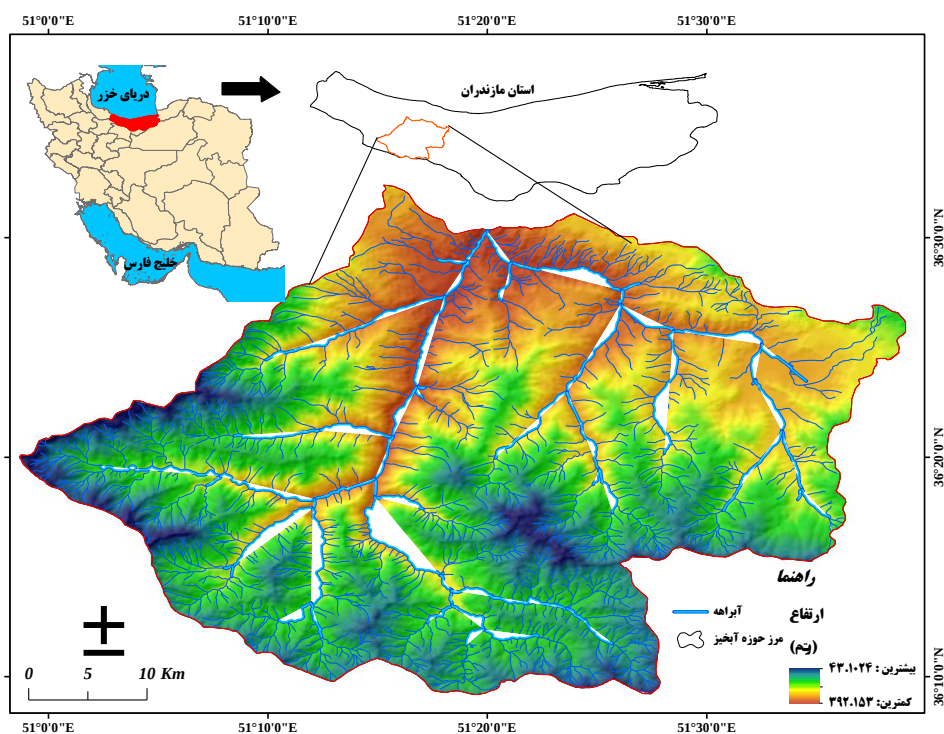
مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز رودخانه چالوس در دامنه شمالی البرز مرکزی و در جنوب شهرستان در طول جغرافیایی ۵۱°۰۰' شرقی تا ۵۱°۳۵' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶°۰۸' شمالی تا ۳۶°۴۳' شمالی واقع شده است. حوضه مورد مطالعه حوزه آبخیز رودخانه چالوس از غرب به حوزه آبخیز رودخانه سردآبرود و از شرق به حوزه آبخیز رودخانه کورکورسر و از جنوب به حوزه آبخیز کرج و از شمال به دریای مازندران منتهی می‌شود. (شکل ۱).

کاربری اراضی/پوشش زمین

برای تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی آبخیز چالوس از تصاویر ماهواره لندست استفاده شد. مشخصات تصاویر، نوع سنجنده و زمان تصویربرداری در جدول (۱) آمده است.

خسارت شدید خواهد دید. جئو^۳ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به بررسی ریسک سیل در منطقه ووجنگ ژيو^۴ چین پرداختند که براساس نتایج به دست آمده مناطق دارای بارش زیاد و دارای نفوذ کم (مناطق شهری) از ریسک بالایی برخوردار بودند. نتایج حاصل از بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه عوامل ایجاد سیلاب نشان می‌دهد در میان عوامل انسانی وقوع سیل، تغییر کاربری اراضی و توسعه بی‌رویه شهرها و روستاها در سطح حوزه‌های آبخیز و یا حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌ها یکی از مهم‌ترین علل افزایش خسارات سیلاب محسوب می‌شود. در همین راستا امروزه مهندسان و طراحان نه تنها با کنترل و مدیریت کمیت سیلاب مواجه‌اند بلکه حتی با حفظ و نگهداری کیفیت آب نیز سر و کار دارند و این در حالی است که مسائل و مشکلات مربوط به کمیت سیلاب شهری در بسیاری از کشورها از جمله ایران همچنان از اهمیت و اولویت بالایی برخوردار بوده است. برای بررسی اثرات ناشی از کمیت سیلاب در حوزه‌های آبخیز، روش‌های متعددی به کار گرفته می‌شود که یکی از این روش‌ها، شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل‌های رایانه‌ای می‌باشد. توانایی انتقال جریان در شبکه‌های زه‌کشی امروزه نه تنها به مهارت طراح، بلکه به منابع کامپیوتری نیز بستگی دارد. از



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز چالوس در استان مازندران و ایران

جدول ۱. مشخصات تصاویر استفاده‌شده

شماره تصویر	نوع سنجنده	سال
LT _Δ -۱۶۳-۰۴۰-۱۹۸۹-۱۳۸ISP۰۰	TM	۱۹۹۳
LT _Δ -۱۶۳-۰۴۰-۱۹۹۳-۱۴۹ISP۰۰	TM	۱۹۹۵
LT _Δ -۱۶۳-۰۴۰-۱۹۹۵-۱۲۳ISP۰۰	TM	۱۹۹۸
LTV-۱۶۳-۰۴۰-۲۰۰۰-۱۴۵SGS۰۰	ETM ⁺	۲۰۰۰
LTV-۱۶۳-۰۴۰-۲۰۰۳-۱۳۷SGS۰۰	ETM ⁺	۲۰۰۶
LTV-۱۶۳-۰۴۰-۲۰۰۵-۱۴۲ASN۰۰	ETM ⁺	۲۰۰۷
LTV-۱۶۳-۰۴۰-۲۰۱۰-۱۴۰ASN۰۰	ETM ⁺	۲۰۱۱
LCA-۱۶۳-۰۴۰-۲۰۱۳-۱۴۰LGN۰۱	OLI	۲۰۱۳
LCA-۱۶۳-۰۴۰-۲۰۱۵-۱۴۰LGN۰۰	OLI	۲۰۱۵
LCA-۱۶۳-۰۴۰-۲۰۱۸-۱۴۰LGN۰۰	OLI	۲۰۱۸
LCA-۱۶۳-۰۴۰-۲۰۲۱-۱۴۰LGN۰۱	OLI	۲۰۲۱

گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی در محیط Arc/GIS توسط الحاقیه Geoprocessing و XTools انجام می‌شود و برای هر سلول (پیکسل) مدل یک عدد شماره منحنی همراه با مساحت تحت پوشش ارائه داده می‌شود.

در این روش که براساس مشاهدات متعدد در حوزه‌های معرف و در اقلیم مختلف بنا شده است، ارتفاع رواناب ناشی از باران از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1)$$

در آن R: ارتفاع رواناب به میلی‌متر، P: ارتفاع بارندگی (۶ ساعته) به میلی‌متر، و S تلفات کل بارش به میلی‌متر می‌باشد. برآورد سیلاب به روش SCS نیازمند پارامترهایی از قبیل شماره منحنی، تلفات، زمان تمرکز، تلفات و رگبارهای کوتاه مدت ۶ ساعته تهیه شده برای زیرحوزه‌های به روش IDF می‌باشد. برای اجرای نرم افزار HMS نیازمند تعیین مدل هواشناسی برای منطقه مورد مطالعه می‌باشیم در این مطالعاتی از روش Frequency Storm استفاده شد. به جذب آب در برگ و ساقه‌های گیاهان مرتعی یا درختان جنگلی، ناهمواری‌های سطحی و نفوذ در خاک، تلفات بارش اطلاق می‌گردد. در مدل HEC-HMS روش‌های متعددی جهت برآورد تلفات بارش وجود دارد، که در این مطالعه روش SCS Curve No مورد استفاده قرار گرفت. جهت تبدیل بارش خالص به سیلاب در مدل HEC-HMS روش Hydrograph SCS Unit مورد استفاده قرار گرفت.

برای روندیابی سیل در رودخانه حوضه از روش ماسکینگام خطی استفاده شد. معادله کلی روندیابی به صورت زیر می‌باشد. برای این کار ابتدا ضرایب K و x برآورد شد. K ماسکینگام همان نسبت ذخیره به دبی خروجی است و واحد آن بر حسب زمان است. مقدار این پارامتر از طریق محاسبات انجام شده در سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS انجام شده و با استفاده از رابطه

در تهیه نقشه پوشش/کاربری اراضی برای حوزه آبخیز چالوس، چهار طبقه (اراضی کشاورزی، زمین‌های مرتفع و کوهستانی، جنگل و مرتع، مناطق مسکونی و شهری) در نظر گرفته شد. پس از تعیین نمونه‌های تعلیمی از طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم حداکثر احتمال برای تهیه نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی حوزه آبخیز چالوس در سال‌های ۱۹۹۳، ۱۹۹۵، ۱۹۹۸، ۲۰۰۰، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ استفاده شد. در همین راستا برای تهیه نقشه کاربری سال‌های ۱۹۹۳، ۱۹۹۵، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۰ از ترکیب باندی ۳-۴-۶، سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ از ترکیب باندی ۱-۲-۳ و سال ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ از ترکیب باندی ۴-۷ استفاده شد.

تغییرات دبی در دوره‌های آینده تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی

در این پژوهش مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در دو بازه زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۵ (دوره زمانی ۲۲ ساله) و ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ (دوره زمانی ۷ ساله) و ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ انجام شد. به همین منظور از مدل زنجیره مارکوف و تلفیق آن با اتوماتای سلولی به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی استفاده شد. تصاویر در چهار طبقه (اراضی کشاورزی، زمین‌های مرتفع و کوهستانی، جنگل و مرتع، مناطق مسکونی و شهری) در نظر گرفته شد. سپس ابتدا روند تغییرات CN برحسب تغییر مساحت کاربری‌ها برای سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۳۰ محاسبه شد و مدل HEC-HMS برای سه رویداد ۸۵/۰۸/۱۶، ۹۰/۰۸/۲۶، ۹۲/۱۲/۲۲ و ۹۲/۱۲/۲۳ برحسب تغییر مقدار CN با در نظر گرفتن مقدار ثابت برای سایر عوامل برای سال‌های ذکر شده اجرا شد.

شبیه‌سازی سیلاب

مدل بارش-سیلاب استفاده شده در این پژوهش HEC-HMS است که برای تعیین شماره منحنی، ادغام نقشه‌های

اعتبارسنجی مدل HEC- HMS

پس از اجرای مدل با پارامترهای واسنجی شده، با ۴ رویداد سیلاب خروجی از حوزه آبخیز چالوس اعتبارسنجی مدل انجام شد. جدول (۲) رویدادهای سیلابی انتخابی و تداوم آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات تصاویر استفاده شده

ایستگاه هیدرومتری	تاریخ رویداد	تداوم (ساعت)	حجم سیلاب (هزار متر مکعب)
پل زغال	۸۵/۰۸/۱۶	۵۴	۱۴۶۵
پل زغال	۸۹/۰۱/۲۵	۴۱	۸۱۵
پل زغال	۹۰/۰۸/۲۶	۳۱	۹۲/۵
پل زغال	۹۲/۰۹/۲۳ و ۲۴	۵۱	۷۳۱/۸

ارزیابی کارایی مدل HEC- HMS

برای ارزیابی کارایی مدل شاخص‌های مختلفی وجود دارد. به‌منظور ارزیابی کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های شاخص کارایی ناش - ساتکلیف^۶ و اریبی مدل در برآورد حجم جریان^۷ استفاده شده است. ناش و ساتکلیف (۱۹۷۰) یک ضریب بی‌بعد به نام کارایی مدل NS ارائه دادند، که مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است و مقدار یک در این شاخص، نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است (Miller, 2002).

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - Q_{Oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Oi} - Q_0)^2} \quad (8)$$

که در آن Q_{Si} مقادیر شبیه‌سازی شده، Q_{Oi} مقادیر مشاهداتی، Q_0 مقدار دبی متوسط مشاهداتی و n تعداد داده‌های نظیر در مقادیر جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است. شاخص اریبی مدل در برآورد حجم جریان به‌منظور ارزیابی اریبی مدل در شبیه‌سازی حجم جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن مقدار صفر حالت ایده آل محسوب می‌شود (رابطه ۹).

$$\%RE_v = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Si}}{\sum_{i=1}^n Q_{Oi} - 1} \quad (9)$$

که در آن Q_{Si} مقادیر شبیه‌سازی شده و Q_{Oi} مقادیر مشاهداتی است.

نتایج و بحث

در این تحقیق با بررسی نقشه‌های موجود و بازدیدهای میدانی مشخص شد که کاربری‌های عمده آبخیز چالوس جنگل و مرتع می‌باشد. شکل ۲ نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز چالوس طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد. نقشه‌ها به چهار کاربری اراضی عمده در منطقه تقسیم شد که شامل: اراضی کشاورزی، جنگلی و مرتعی، مناطق مسکونی و شهری و

(۵) صورت گرفت. معادله کلی روندیابی به صورت رابطه (۲) است.

$$Q_i - Q_o = \frac{ds}{dt} \approx \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2)$$

در این رابطه Q_i مقدار جریان ورودی، Q_o مقدار جریان خروجی، ds تغییرات ذخیره یا انبارش و dt فاصله زمانی مورد نظر می‌باشد.

$$\frac{1}{V} (Q_{i1} + Q_{i2}) - \frac{1}{V} (Q_{o1} + Q_{o2}) = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \quad (3)$$

$$S = xKQ_i + (1-x)KQ_o \quad (4)$$

$$K = \frac{L}{V} \quad \text{یا} \quad K = \frac{S}{xQ_i + (1-x)Q_o} \quad (5)$$

در این رابطه L طول بازه و V سرعت جریان است. x تاثیر نسبی دبی‌های ورودی و خروجی در میزان انبارش را نشان می‌دهد. جهت تعیین x که مقدار آن بین ۰ تا ۰/۵ می‌باشد، با استفاده از سعی و خطا و ترسیم نمودار S در مقابل رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$xQ_i + (1-x)Q_o \quad (6)$$

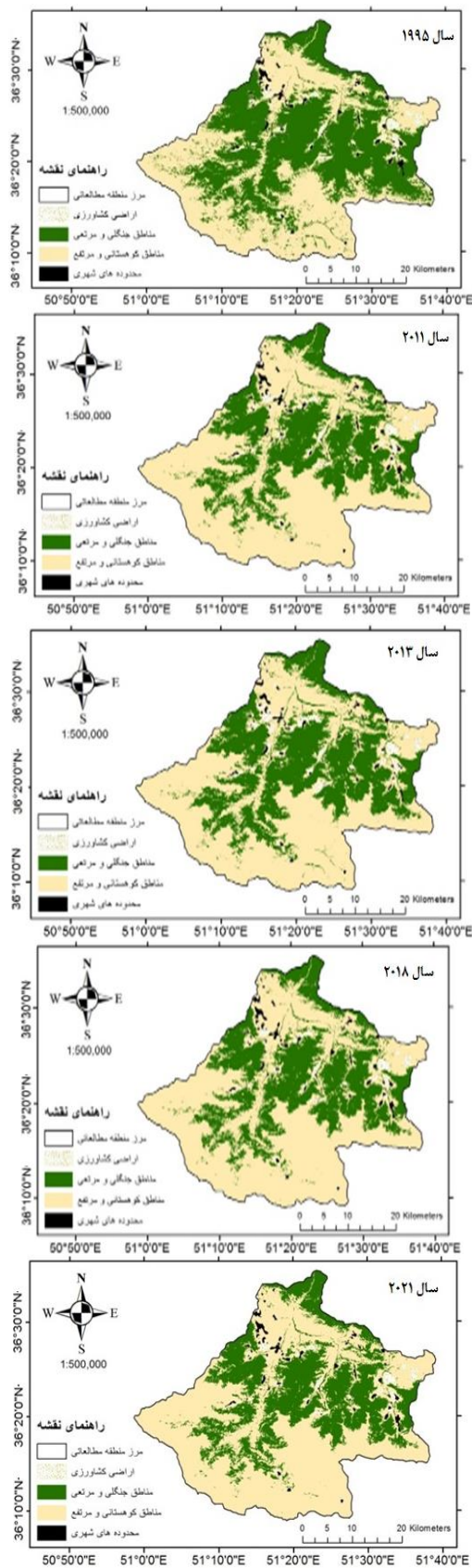
این مقدار در حوضه‌های کوهستانی معمولاً ۰/۲ لحاظ می‌شود.

واسنجی مدل HEC- HMS

برای واسنجی مدل ابزارهای متفاوتی وجود دارند که بسته به هدف مطالعه انتخاب می‌شوند اما معیار استاندارد که برای تمام اهداف کاربرد داشته باشد وجود ندارد. اغلب توابع هدف در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل بر اساس مجموع مربع خطاها (RSS)^۵ یا واریانس خطاها (σ) استوار هستند. این توابع راندمان مدل‌سازی را نمایش می‌دهند و بر اساس واریانس خطاها به صورت رابطه (۷) تعریف می‌گردد که در پژوهش حاضر نیز جهت واسنجی مدل از آن استفاده شد:

$$E = \left[1 - \frac{\sigma_e^2}{\sigma_0^2} \right] \quad (7)$$

که در این رابطه E راندمان مدل‌سازی، صورت کسر واریانس خطاهای دبی محاسباتی و مخرج کسر واریانس خطاهای دبی مشاهداتی می‌باشد (Saghafian et al., 2006). مجموع مربعات خطاها و راندمان مدل‌سازی توابع کاملی برای مدل‌سازی بارش- رواناب نیستند، ولی از آن‌جا که بزرگترین خطاها در نزدیکی دبی اوج رخ می‌دهند و در این معیارها خطاها به توان می‌رسند، لذا این خطاها، نسبت به آب پایه بارزتر خواهند بود، که از مزیت‌های تابع هدف محسوب می‌شود. در برخی شبیه‌سازی‌ها حتی اگر دبی اوج صحیح پیش‌بینی گردد، این معیارها ممکن است نسبت به خطای زمان پیش‌بینی حساس باشند.

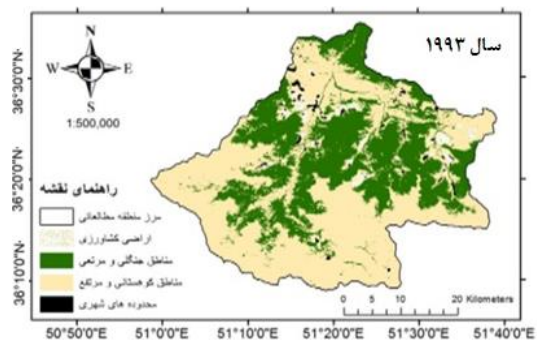


شکل ۲. تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز چالوس در سال‌های مختلف از ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۱

مناطق کوهستانی و بایر تقسیم‌بندی شدند. در جدول (۸) مشخصات نقشه‌های کاربری اراضی و مساحت (هکتار) آن‌ها در طول زمان از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۱ نشان داده شده است. افزایش مساحت مناطق صخره‌ای و بایر، مناطق شهری و کشاورزی در طی این سال‌ها مشهود و کاهش مناطق جنگلی و مرتعی کاملاً مشخص می‌باشد.

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است اراضی کوهستانی و بایر و جنگل و مرتع بیشترین سهم از کاربری حوزه آبخیز را دارا می‌باشد و کمترین آن مربوط به مناطق شهری و کشاورزی است که در جدول (۳) مقادیر هر یک از کاربری‌های اراضی محدوده مورد مطالعه در سال‌های مختلف از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۱ آورده شده است.

همانطور که در جدول (۳) نشان داده شده است کاربری جنگل و مرتع در حوزه آبخیز چالوس رو به کاهش بوده است. هر چند کاربری اراضی کشاورزی سهم وسیعی از حوزه آبخیز چالوس را در شامل نمی‌شود اما با این حال روند افزایشی آن از سال ۱۹۹۳ تا سال ۲۰۲۱ کاملاً مشهود است. روند تغییرات مساحت کاربری اراضی مناطق شهری در دوره‌های زمانی مطالعه شده در حوزه آبخیز چالوس نشان می‌دهد این کاربری در حال افزایش می‌باشد. طبق نتایج به دست آمده به طور کلی در دوره‌های زمانی مورد مطالعه درصد مساحت اراضی جنگلی و مرتعی کاهش و درصد مساحت اراضی مسکونی، کشاورزی، کوهستانی و بایر افزایش پیدا کرده و روند صعودی دارد. اراضی جنگلی نیز از حالت متراکم به سمت قهقرا پیش می‌رود و اراضی آیش، کاهش و تبدیل به کشاورزی شده است. بر همین اساس با استفاده از روش‌های ذکر شده در بخش قبلی به پیش‌بینی کاربری اراضی سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ اقدام شد و جهت بررسی نتایج آن بر تغییرات دبی در دوره‌های آینده تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی مقادیر CN برای این سال‌ها محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است.



جدول ۳. مساحت کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۱ (هکتار)

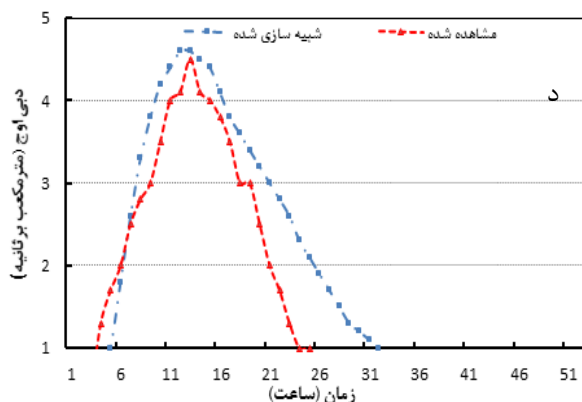
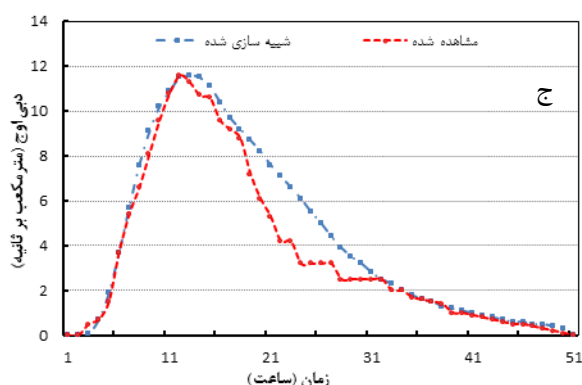
سال	صخره‌ای و بایر	مرتع و جنگل	کشاورزی	شهری	کل
۱۹۹۳	۷۸۹۸۴/۶	۷۹۹۰۹/۱	۳۰۰۵/۰	۱۳۰۱/۶	۱۶۳۲۰
۱۹۹۵	۸۱۷۲۵/۳	۷۶۸۳۵/۷	۳۲۵/۴	۱۳۰۱/۶	۱۶۳۲۰
۱۹۹۸	۸۴۳۱۵	۷۳۷۶۲/۳	۳۶۵۸/۸	۱۴۶۴/۳	۱۶۳۲۰
۲۰۰۰	۸۱۶۹۹/۸	۷۶۱۶۲/۶	۳۷۱۱	۱۶۲۷	۱۶۳۲۰
۲۰۰۶	۸۴۲۴۱/۸	۷۲۹۸۶/۴	۳۸۷۴/۱	۲۰۹۹/۱	۱۶۳۲۰
۲۰۰۷	۹۴۹۱۹/۳	۶۲۰۳۸/۴	۴۰۸۹/۳	۲۱۵۵/۳	۱۶۳۲۰
۲۰۱۱	۹۴۹۱۹/۴	۶۱۴۶۸/۵	۴۳۰۴/۵	۲۴۶۲/۹	۱۶۳۲۰
۲۰۱۳	۱۰۱۱۷۳/۲	۵۵۲۳۵/۹	۴۰۸۲/۱	۲۷۰۹/۲	۱۶۳۲۰
۲۰۱۵	۱۰۵۴۲۰/۱	۴۹۶۳۰/۷	۴۸۹۸/۶	۳۲۵۱	۱۶۳۲۰
۲۰۱۸	۱۰۹۷۰۹/۱	۴۴۵۴۶	۵۵۴۴/۸	۳۴۰۰/۶	۱۶۳۲۰
۲۰۲۱	۱۱۳۵۰۴/۸	۴۰۲۵۰/۳	۵۹۲۳/۵	۳۵۲۱/۴	۱۶۳۲۰

جدول ۴. شماره منحنی پیش‌بینی شده در سال‌های آتی

حوضه	سال ۲۰۲۵	سال ۲۰۳۰
زیر حوضه ۱	۸۱/۲	۸۴/۲
زیر حوضه ۲	۸۴/۱	۸۵/۶
زیر حوضه ۳	۸۴/۱	۸۵/۳
زیر حوضه ۴	۸۳/۹	۸۴/۲
زیر حوضه ۵	۸۵/۲	۸۷/۱
کل حوضه	۸۴	۸۵

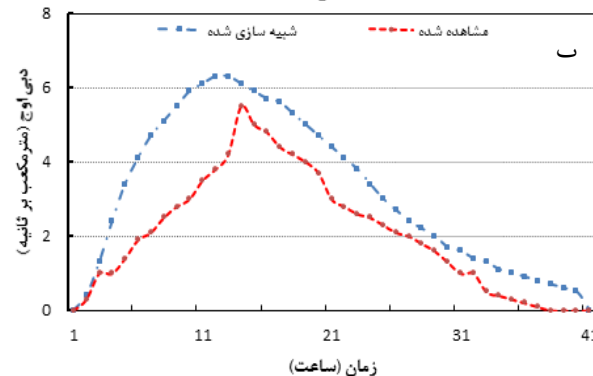
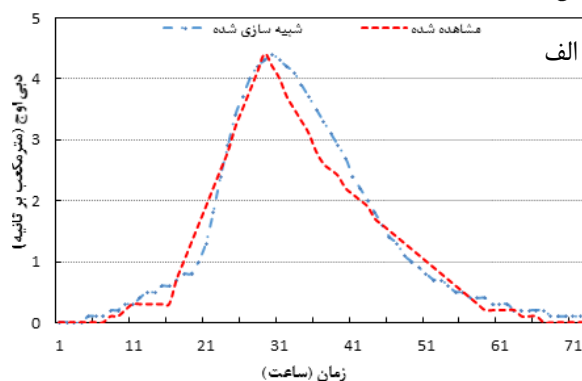
نتایج واسنجی مدل هیدرولوژی

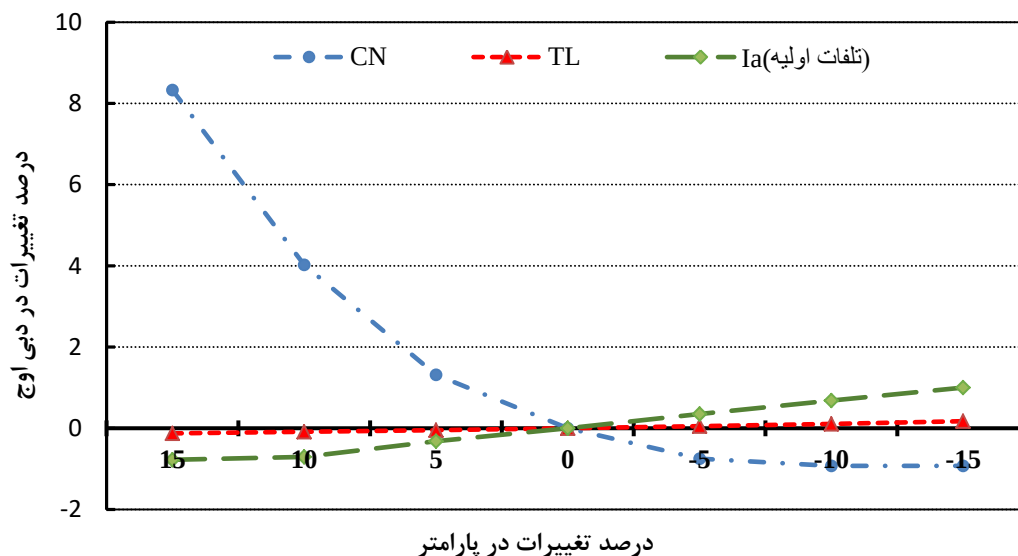
پس از وارد کردن داده‌های موردنیاز مدل HEC-HMS، بر اساس روش‌های ذکر شده در بخش‌های قبل، مدل هیدرولوژی آماده و سپس رویدادهای انتخابی، اجرا و واسنجی شد که مقایسه هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳. هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان ۱۳۸۵ (الف)، ۱۳۸۸ (ب)، ۱۳۹۲ (ج) و ۱۳۹۴ (د)

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است در اکثر رویدادهای بررسی شده شکل هیدروگراف خروجی و شبیه‌سازی شده مطابقت نسبتاً خوبی دارد. طبق نتایج هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان مورخ ۱۳۸۵/۱۲/۱۶ و ۱۳۸۵/۱۲/۱۵ شکل هیدروگراف و دبی پیک به خوبی شبیه‌سازی شده است و شاخه نزولی و صعودی هیدروگراف تطابق مناسبی با هیدروگراف واقعی حوزه آبخیز چالوس دارد. همچنین هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان مورخ ۱۳۸۸/۰۱/۱۱ و ۱۳۸۸/۰۱/۱۲ مدل به خوبی توانسته است شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف را شبیه‌سازی





شکل ۴. منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر در پارامترها

هیدرومتری پل زغال نشان داده شده است دبی پیک و شاخه صعودی هیدروگراف به خوبی شبیه‌سازی شده است و مدل در شبیه‌سازی شاخه نزولی دارای بیش برآورد شده است. دبی شبیه‌سازی شده ۲۷/۵ مترمکعب بر ثانیه و تنها ۱ مترمکعب با دبی مشاهداتی اختلاف دارد. درصد تغییرات حجم سیلاب نیز به علت بیش برآورد شاخه نزولی هیدروگراف ۴۱ درصد می‌باشد. همچنین رویداد جریان مورخ ۱۳۸۸/۰۱/۱۱ در ایستگاه هیدرومتری نیز شاخه صعودی و دبی پیک هیدروگراف به خوبی شبیه‌سازی شده است و مدل تنها در شاخه نزولی دارای بیش برآورد شده است که درصد اختلاف بین دبی پیک شبیه‌سازی شده و واقعی بسیار ناچیز است و حجم سیلاب به علت بیش برآورد در شاخه نزولی هیدروگراف ۳۴ درصد می‌باشد. هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۶ به جز در شاخه صعودی دارای بیش برآورد در دبی اوج و در شاخه نزولی هیدروگراف است و درصد تغییرات دبی پیک ۲۵ و حجم سیلاب ۴۶ درصد می‌باشد. طبق نتایج هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان مورخ ۱۳۹۲/۰۹/۲۲ و ۱۳۹۲/۰۹/۲۳ در ایستگاه هیدرومتری پل زغال به طور کلی مدل دچار بیش برآورد هم در شاخه صعودی و هم نزولی هیدروگراف شده است و دبی پیک را با کمی بیش برآورد شبیه‌سازی نموده است. دبی اوج هیدروگراف جریان خروجی از حوضه چالوس ۱۶/۱ مترمکعب بر ثانیه بوده است مدل دبی اوج را ۱۸/۳ مترمکعب بر ثانیه شبیه‌سازی کرده و همان گونه قبلاً بیان شد مدل دچار بیش برآورد شده است. بر اساس شرح ارائه شده در بخش‌های قبلی اقدام به بررسی مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی شد که نتایج حاصل از آن در جدول (۵) آورده شده است.

نماید اما در برآورد دبی پیک دچار کمی بیش برآورد شده است. که این مورد خود بر حجم سیلاب خروجی از حوضه تاثیرگذار خواهد بود. نتایج هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان مورخ ۱۳۹۲/۱۲/۱۷ نشان داد با توجه به گراف خروجی از مدل شاخه صعودی و دبی اوج تطابق خوبی با هیدروگراف واقعی حوضه دارد و مدل تنها در شاخه نزولی هیدروگراف دچار بیش برآورد شده است. هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان مورخ ۱۳۹۴/۱/۱۰ و ۱۳۹۴/۱/۱۱ نشان داد دبی پیک و شاخه‌های صعودی و نزولی هیدروگراف شبیه‌سازی شده تطبیق مناسبی با هیدروگراف واقعی خروجی از حوزه آبخیز چالوس دارد. هیدروگراف شبیه‌سازی شده تنها در بخشی از شاخه نزولی دچار بیش برآورد شده است.

آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترها

برای این منظور آنالیز حساسیت برای سه پارامتر شماره منحنی (CN)، زمان تأخیر (TL) و تلفات اولیه (Ia) انجام گرفت. در شکل (۴) منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر در هر یک از پارامترها را نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد مدل به پارامتر شماره منحنی بیشترین حساسیت را دارا می‌باشد.

نتایج مربوط به اعتبارسنجی مدل

پس از اجرای مدل، واسنجی و آنالیز حساسیت آن، جهت حصول نتیجه بهتر، مدل اعتبارسنجی شد که نتایج حاصل از آن در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۵) هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان مورخ ۱۳۸۵/۰۸/۱۶ در ایستگاه

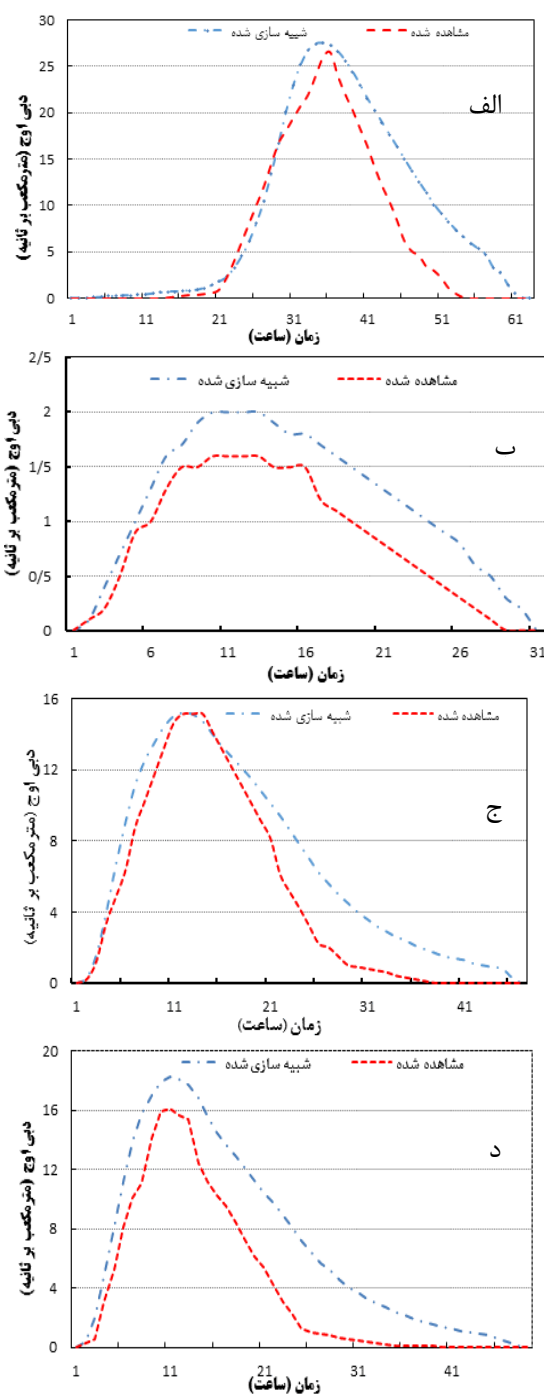
جدول ۵. مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی

شاخص	مقدار کارایی			
	۱۳۸۵/۰۸/۱۶	۱۳۸۶/۰۱/۲۵	۱۳۹۰/۰۸/۲۶	۲۲ و ۱۳۹۲/۰۹/۲۳
ضریب ناش - ساتکلیف	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۷۳	۰/۹۶
اریبی مدل در برآورد حجم جریان	۰/۴۱	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۶۹
درصد خطا در دبی اوج	۳/۷۷	۰/۶۶	۲/۵	۱/۳۶
میانگین حداقل مربعات خطا	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۴

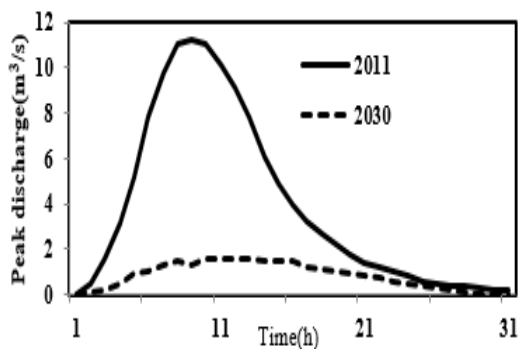
با توجه به نتایج به دست آمده ضریب ناش-ساتکلیف در تمامی رویدادها به جز تاریخ ۹۰/۸/۲۶، بیش از ۹۰ درصد می‌باشد که این نشان از دقت بالای مدل در مرحله واسنجی دارد. در رویداد ۹۰/۸/۲۶ به علت بیش برآورد در شاخه‌های صعودی و نزولی و همچنین اوج هیدروگراف ضریب ناش ۷۳ درصد بوده است. سایر آماره‌های خطا شامل اریب مدل در برآورد حجم جریان، درصد خطای دبی اوج و میانگین مربعات خطا، نشان دهنده دقت بالای مدل واسنجی شده در شبیه‌سازی جریان خروجی از حوزه آبخیز چالوس دارد که با توجه به نتایج بررسی شاخص‌های کارایی مدل، می‌توان نتیجه گرفت که مدل ارائه‌شده از صحت قابل قبولی برخوردار است که نتایج حاصل با نتایج بحری (۲۰۱۳)، طالبی و همکاران (۲۰۱۵)، علی و همکاران (۲۰۱۱) و ادنان^۸ و همکاران (۲۰۲۰) در یک راستا بود.

پس واسنجی و ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوزه آبخیز چالوس اقدام به شبیه‌سازی سیلاب بر اساس تغییر کاربری اراضی شد که نتایج اجرای مدل HEC-HMS با CN جدید و در نظر گرفتن ثابت سایر عوامل به دست آمده در شکل (۶) نشان داده شده است.

طبق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است با توجه به افزایش درصد مساحت اراضی مسکونی، بایر و کوهستانی و تغییر مساحت سایر کاربری‌ها در سال ۲۰۲۵ در قیاس با سال ۲۰۰۶ تغییرات کاربری اراضی و به تبع آن CN دبی اوج و حجم سیلاب را به مقدار قابل توجهی افزایش داده است به طوریکه در سال ۲۰۲۵ دبی پیک و حجم سیلاب به ترتیب ۴۵/۹ و ۵۰/۸ درصد نسبت به سال ۲۰۰۶ افزایش یافته است. همان طور که در شکل (۶) مشاهده می‌گردد، در سال ۲۰۳۰ تغییرات افزایش دبی پیک و حجم سیلاب نسبت به سال ۲۰۰۶ با توجه به تغییرات CN مشهودتر بوده و به ترتیب ۵۰/۵۵ و ۶۰/۲ درصد افزایش یافته است. دبی پیک و حجم سیلاب در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۳ بر اثر تغییر کاربری اراضی تغییرات محسوسی خواهد داشت به طوریکه در سال ۲۰۳۰ دبی پیک ۵۴/۵ درصد و حجم سیلاب ۴۷ درصد نسبت به سال ۲۰۱۳ افزایش خواهد داشت. همچنین بررسی حجم سیلاب و دبی



شکل ۵. هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی رویداد جریان ۱۳۸۵ (الف)، ۱۳۸۸ (ب)، ۱۳۹۲ (ج) و ۱۳۹۴ (د)



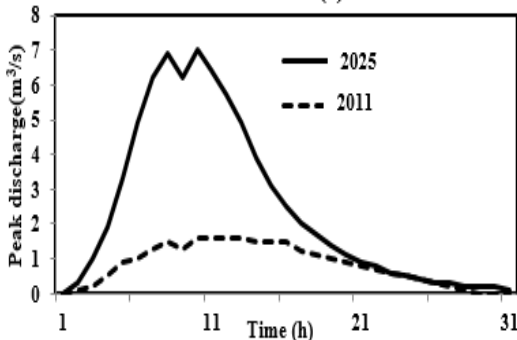
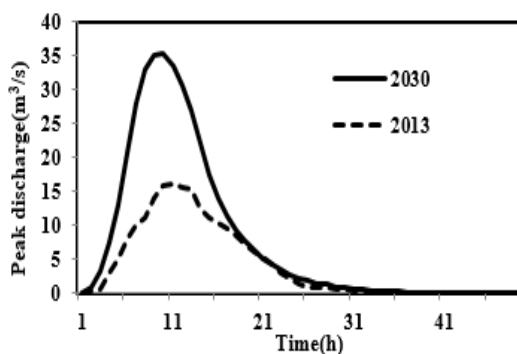
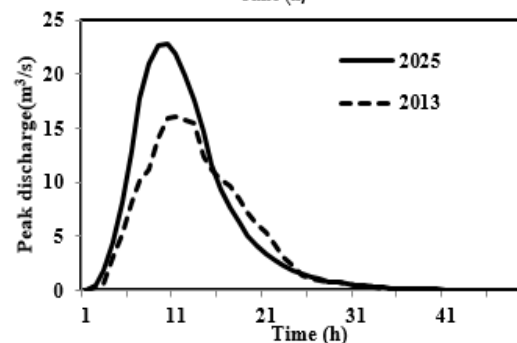
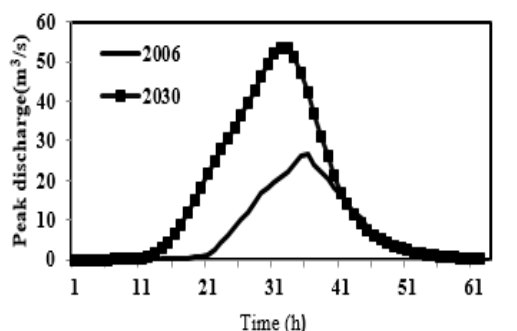
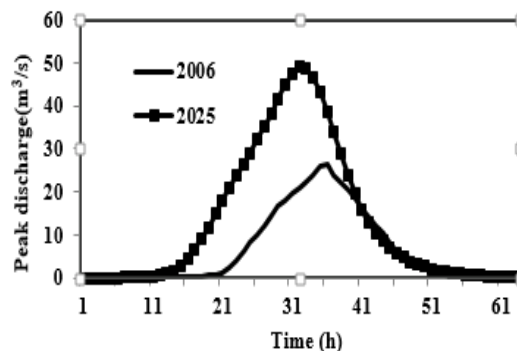
شکل ۶. تایج اجرای مدل HEC-HMS

در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ با ۱۳۸۵، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴

پیک سال ۲۰۱۱ با سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ نشان داد افزایش حجم قابل توجهی از دبی پیک و حجم سیلاب نشان از تاثیر تغییرات کاربری اراضی روی پدیده سیلاب در دوره‌های آتی خواهد داشت. براساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در رگبار سال ۲۰۰۶ دبی اوج از ۲۶/۵ به ۵۳/۶ مترمکعب بر ثانیه، رگبار سال ۲۰۱۱ از ۱/۶ به ۱۱/۲ مترمکعب بر ثانیه و رگبار سال ۲۰۱۳ از ۱۶/۱ به ۳۵/۴ مترمکعب بر ثانیه در سال ۲۰۳۰ خواهند رسید و این به دلیل تغییراتی است که انسان به صورت تخریب منابع طبیعی در محیط خود ایجاد می‌کند که از عوامل اصلی آن افزایش جمعیت، استفاده بیش از حد از زمین و از بین بردن اراضی کشاورزی و مرتع و تبدیل آن به مناطق مسکونی است. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج دمیری و کریم زاده (۱۳۹۲)، لی^۹ و همکاران (۲۰۰۹)، جودار-ابلان^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۹)، روی^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۰) و جانی زاده و همکاران (۲۰۲۱)، همراستا بوده است.

نتیجه‌گیری

تغییر کاربری زمین شامل تغییر در مدیریت یا استفاده از زمین است. چنین تغییری حاصل فعالیت‌های متنوع انسانی نظیر تغییر در کشاورزی و آبیاری، جنگل‌زدایی، شهرنشینی، آتش سوزی‌ها، جایگزینی علفزارها با گیاهان غیربومی، چرای دام در علفزارها و علفزارهای درختی و غیره می‌باشد که این تغییرات می‌تواند تاثیر زیادی در سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز به عنوان یک عامل موثر داشته باشد. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز چالوس برنامه‌ریزی شد. طبق نتایج به دست آمده به طور کلی در دوره‌های زمانی مورد مطالعه درصد مساحت اراضی جنگلی و مرتعی کاهش و درصد مساحت اراضی مسکونی، کشاورزی، کوهستانی و بایر افزایش پیدا کرده و روند صعودی دارد. اراضی جنگلی نیز از حالت متراکم به سمت قهقرا پیش می‌رود و اراضی آیش، کاهش و تبدیل به کشاورزی شده



نسبت به سال ۲۰۰۶ با توجه به تغییرات CN مشهودتر بوده و به ترتیب ۵۰/۵۵ و ۶۰/۲ درصد افزایش یافته است. دبی پیک و حجم سیلاب در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۱۳ بر اثر تغییر کاربری اراضی تغییرات محسوسی خواهد داشت به طوریکه در سال ۲۰۳۰ دبی پیک ۵۴/۵ درصد و حجم سیلاب ۴۷ درصد نسبت به سال ۲۰۱۳ افزایش خواهد داشت. لذا از آنجایی که تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز چالوس، سیلاب خروجی حوزه را دست خوش تغییرات محسوسی خواهد نمود در نتیجه مدیریت حوزه آبخیز چالوس برای دوره‌های آتی نیاز به دیدگاهی جامع و آینده‌نگری دارد.

است. بر همین اساس با استفاده از روش‌های ذکر شده در بخش قبلی به پیش‌بینی کاربری اراضی سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ اقدام شد که بررسی نتایج آن بر تغییرات دبی در دوره‌های آینده تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی مقادیر CN برای این سال‌ها محاسبه شد و بر اساس نتایج حاصل از آن در سال ۲۰۲۵ در قیاس با سال ۲۰۰۶ تغییرات کاربری اراضی و به تبع آن CN دبی اوج و حجم سیلاب را به مقدار قابل توجهی افزایش داده است به طوریکه در سال ۲۰۲۵ دبی پیک و حجم سیلاب به ترتیب ۴۵/۹ و ۵۰/۸ درصد نسبت به سال ۲۰۰۶ افزایش یافته است. در سال ۲۰۳۰ تغییرات افزایش دبی پیک و حجم سیلاب

Reference:

- Adnan, M. S. G., Abdullah, A. Y. M., Dewan, A., & Hall, J. W. 2020. The effects of changing land use and flood hazard on poverty in coastal Bangladesh. *Land Use Policy*, 99, 104868.
- Ali, M., S. Jamal Khan, L. Aslam and Z. Khan. 2011. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad Pkistan. *Landscape and Urban Planning*, 102(4): 30-52.
- Arekhi, S., karkaz, S., & emadodin, S. (2023). Flood risk zoning due to climate change using SWAT hydrological model in GIS environment (Case study: Gharasoo watershed, Golestan province). *Climate Change Research*, 4(14), 1-26. [in Persian]
- Bahri, M. (2013). Assess the impact of climate change and land use change on hydrologic watershed reactions. *The Ninth National Congress of Watershed Management Science and Engineering*. [in Persian]
- Belvasi, I. A., Asghari Saraskanrod, S., Esfandiari Dorabad, F., & Zeinali, B. (2020). The Role of Land Use Changes on Run-off and Flood Properties in the Doab Catchment. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2), 331-344. [in Persian]
- Damiri, J. Karimzadeh, H. 2012. Land use change and its effect on surface flooding and underground water fluctuations (case study of dry river basin of Shiraz). Master's thesis in watershed management. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. [in Persian]
- Gao, C., Zhang, B., Shao, S., Hao, M., Zhang, Y., Xu, Y., ... & Wang, Z. (2023). Risk assessment and zoning of flood disaster in Wuchengxiyu Region, China. *Urban Clim* 49: 101562.
- IPCC, 2007. Climate Change. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Janizadeh, S., Pal, S. C., Saha, A., Chowdhuri, I., Ahmadi, K., Mirzaei, S., ... & Tiefenbacher, J. P. 2021. Mapping the spatial and temporal variability of flood hazard affected by climate and land-use changes in the future. *Journal of Environmental Management*, 298, 113-551.
- Jodar-Abellan, A., Valdes-Abellan, J., Pla, C., & Gomariz-Castillo, F. 2019. Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watersheds (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 657, 1578-1591.
- Jonathan, D.W., Jennifer, L.I., Suzana, J.C., 2013. Coastal flooding by tropical cyclones and sea-level rise. *Nature*, 504, 44-52.
- Karimi Sangchini, E., Salehpour Jam, A., & Mosaffaie, J. 2022. Flood risk management in Khorramabad watershed using the DPSIR framework. *Natural Hazards*, 114(3), 3101-3121.
- Li, Z., Liu, W.Z., Zhang, X.C., Zheng, F.L. 2009. Impacts of land Use Change and Climate Variability on Hydrology in an Agricultural Catchment on the Loess Plateau of China, *Hydrology*, 377: 35-42.
- Lorup, J. K., J. C., Refsgaard and D. Mazimavi., 1998. Assessing the effect of land use change on catchment runoff by combined use of statistical tests and hydrological modelling: case studies from Zimbabwe, *Journal of hydrology*, 205: 147-163.
- Loukas, A., L. Vasiliades, N. R. Dalezios., 2000. Flood producing mechanisms identification in southern British Cloumbia, Canada, *Journal of Hydrology*, 227:218-235.
- McColl, C., & Aggett, G. 2007. Land-use forecasting and hydrologic model integration for improved land-use decision support. *Journal of environmental management*, 84(4), 494-512.
- Miller, S. N., Kepner, W. G., Mehaffey, M. H., Hernandez, M., Miller, R. C., Goodrich, D. C., ... & Miller, W. P. 2002. Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 38(4), 915-929.

- Onate-Valdivieso F. and Sendra J.B. (2010) Application of GIS and Remote Sensing Techniques in Generation of Land Use Scenarios for Hydrological Modelling. *Journal of Hydrology*, 395: 256-263.
- Rahmani, N., Shahidi, K., Soleimani, K., and Yaqoubzadeh, M. (2016). Evaluation of the Land use Change Impact on Hydrologic Characteristics (Case Study: Kasilian Watershed). *J Watershed Manage Res.* 7(13), 32-23. [in Persian]
- Ramin, Brodie Morgan, McMichael, Anthony J., 2009. Climate change and health in sub-Saharan Africa: a case-based perspective. *Eco Health*, 6(1): 52–57.
- Roy, P., Pal, S. C., Chakraborty, R., Chowdhuri, I., Malik, S., & Das, B. 2020. Threats of climate and land use change on future flood susceptibility. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122-757.
- Saghafian, B., H. Ascendent, A.S. Sepehr and A.S. Najafinejad. (2006) . The effect of land use changes on Sylkhyzy Golestan dam catchment area. *Iranian Journal of Natural Resources*, 18 -28. [in Persian]
- Shaikh Baikloo Islam, B. (2021). Evidence and consequences of the flood in Iran from prehistory to the present. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(1), 24-40. [in Persian]
- Stijn, T., Patrick, M., Tjeerd, J.B., Peter, M.J.H., Ysebaert, Tom, Vriend, Huib J.De, 2013. Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504, 79–83.
- Taleb,i A., Shahrivar, M., Malekinezhad, H., Poormohamadi, S., Hosseini, Z.. (2019). Investigation of the Effects of Land Use Change on Flooding and Sedimentation In Honifaqan Watershed. *J Watershed Manage Res.* 10(20), 25-37. [in Persian]
- Talebi, A., F. Svzndhpvr and A. Karimiyan. 2015. The effect of land use on current conditions and the amount of sediment yield optimization, *Journal of Soil and Water Sciences*, Isfahan University of Technology.
- Tommy, S. W.Wong&Yunjie, L. I., 1998. Assement of changes in overland time of concentration for two opposing urbanization sequences, *Hydrological sciences Journal*, 43(1): 115-130.
- Wuebbles, D. J. 2021. Ethics in climate change: a climate scientist's perspective.

یادداشت‌ها

¹ Mac Kaoul

² Egir

³ Gao

⁴ Wuchengxiyu

⁵ Rsidual Sum of Squares

⁶ Nash-Sutcliff efficiency coefficient

⁷ Model bias for evaluating the ability of reproducing water balance

⁸ Adnan

⁹ Li

¹⁰ Jodar-Abellan

¹¹ Roy