

The Effects of Land Use Changes on the Maximum Flood Discharge in the Songhor Watershed

Hamed Gholamian¹, Alireza Ildoromi² *

1- M.Sc. Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

2- Associate Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

(*Corresponding Author Email: a. Ildoromi@malayeru.ac.ir)

Extended Abstract

Introduction:

At present, land use changes in a basin over time affect many processes of soil erosion and sediment production and cause loss of soil quality and fertility (Ildoromi et al. 2017). Studies have shown that land use change and its effect on hydrological processes can play an effective role in managing water resources and floods and reducing the damage caused by it, which has been considered by many researchers in recent years. Kazemi et al. (2018) in the study of the effect of land use change and drought on runoff in the Central Zagros Basin stated that the most land use change in 25 years in the field of natural resources, especially in rangelands and increased runoff and floods has been in the basin. Foroutan et al. (2019) investigated the effect of land use change and physical development of the city on changes in Asadabad urban flood runoff. The results showed that with the increase of urban land use area, surface runoff has increased by 350 m³, which is a considerable and sometimes dangerous volume of runoff in a small city. Gomindoga et al. (2015) investigated the effect of land use change in Ethiopia's Jilljal Abai watershed and concluded that reduced rangeland and forest land use increased the maximum flood. The present study aimed to investigate the effects of land use change on maximum flood discharge in the Songhor watershed using the Win TR-55 model and Landsat 7 and 8 satellite images for the years 2000-2015 using ENVI software.

2. Methodology:

The Songhor watershed in Kermanshah province is a part of the Karkheh watershed with an area of 63.17 Km² and has a cold semi-humid climate. In this study, the main variables were 24-hour rainfall, concentration-time, flood coefficient, basin area, and slope and land use change area. To study and prepare land use change maps during two periods, ETM and OLI sensor images of Landsat satellite from 2000-2015 were used. After performing geometric correction and band compositions with the help of ENVI software, the adjusted plant difference index (NDVI) was prepared. To classify the images, the classification method was supervised and the maximum probability, kappa index, and

general accuracy were used for the correct evaluation. In the next stage, land use changes were classified into five land use classes including irrigated agriculture and gardening, rainfed agriculture, rangeland and forest, residential areas, impenetrable and rocky lands. Finally, land use maps of the Songhor watershed in two time periods of 2000 and 2015 were drawn in ArcGIS. In the next step, the maximum flood hydrograph under the influence of land use change was estimated using the Win TR-55 model for the years 2000-2015. To analyze the peak flow sensitivity of the basin, the values of the canal slope and to evaluate the results by WinTR-55 model, two statistics of correlation coefficient (R2) and Root Mean Square Error (RMSE) were used.

3. Discussion:

The study of hydrographs showed that in all sub-basins, according to the amount and intensity of land use change, the peak discharge increased in 2015 compared to 2000. This amount decreased in sub-basin S1 due to fewer land use changes and concrete-mortar watershed structures in 2015. It showed a decrease of 4.11% compared to 2000 and indicates that the structures have reduced the speed and volume of discharge from the basin. In other sub-basins, due to the slope and topographic condition, the amount and intensity of land use changes, especially the sharp decrease in rangeland lands and the existence of residential and impenetrable areas, peak discharge values increased. The highest increase in discharge occurred in the S6 sub-basin with 24.88% and the S8 sub-basin with 22.44% in 2015 compared to 2000. Examination of the basin outlet hydrograph showed that the peak discharge rate in 2015 increased by 12.2% in the total basin. One of the effective factors is land use changes and subsequent changes in the basin CN values during the 15 years under study. The results of the sensitivity analysis of the WinTR-55 model showed that the CN parameter is very important and causes high sensitivity. The results of verification and calculation of the estimated error of the model in the return period of 2 to 100 years showed that the percentage of flow estimation error by the model in the 100-year return period has the lowest value.

4. Conclusion:

Land use changes in the watershed were influenced by factors such as the suitability of rainfall in 2000-2008 and the tendency of some farmers regarding dry farmland to increase the extent of their agricultural land to increase their income. The population of the city has increased by 7.5% from 2005 to 2015 and the development of urbanization has made agricultural areas around the city become residential areas. Droughts in recent years have also destroyed some grassland species, reduced soil moisture, and increased runoff. The velocity and flow rate were the peaks. Output hydrograph survey of the basin showed that the peak discharge in 2015 increased by 12.2% in the whole basin. In general, the effective factors in increasing the discharge in the Songhor watershed are the land use changes

followed by changes in the CN values over the 15 years studied. The results of WinTR-55 sensitivity analysis showed that the CN parameter was an important parameter in the model. It showed that the model has a high ability to estimate the maximum flood discharge for this type of condition in the Songhor watershed and indicated the high accuracy and efficiency of the model in investigating hydrological fluctuations.

Keywords: Hydrograph, Win TR-55 Model, CN, R2, RMSE.

References:

- Chen, Y., Xu, Y. & Yin, Y. (2009). Impacts of Land Use Change Scenarios on Storm-Runoff Generation in Xitiaksi Basin, China. **Journal of Quaternary International**, 208(1-2), 121-128.
- Dams, J., Dujardin, J., Reggers, R., Bashir, I., Canters, F., & Batelaan, O. (2013). Mapping Impervious Surface Change from Remote Sensing for Hydrological Modeling. **Journal of Hydrology**, 485, 84-95.
- Forutan, S., Ildoromi, A., Noori, H., & Safari Shad, M., (2019). Impact of Land Use Change and Physical Development of the City on Urban Flood Runoff Changes Using NRCS-CN Method (Case Study: Asadabad City). **Scientific Journal- Tabriz Hydrogeomorphology Research**, 5(20), 1-20.
- Gumindoga, W., Rientjes, T. H. M., Haile, A. T., & Dube, T. (2014). Predicting Streamflow for Land Cover Changes in the Upper Gilgel Abay River Basin, Ethiopia: A Topmodel Based Approach. **Journal of Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, 76, 3-15.
- Ildoromi, A., Noori, H., & Karami, M. (2017). Evaluation of Drought and Climate Change in the Future Using General Bar Circulation Models (Case Study: Gorganroud-Ghareh SouBasin, Iran). **Journal of Geographical Studies of Arid Regions**, 7(26), 111-124.
- Kazemi, S., Ilderimi, A., & Nouri, H. (2019). The Effect of Land Use Change and Drought on the Runoff Central Zagros; Case Study: Tuyserkan Basin. **Journal of Arid Studies, Hakim Sabzevari University**, 8(31), 23-41.
- Kumar, D. S., Arya, D. S., & Vojinovic, Z. (2013). Modeling of Urban Growth Dynamics and Its Impact On Surface Runoff Characteristics. **Journal of Environment and Urban Systems**, 41, 124-135.
- Miller, J. D., Kim, H., Kjeldsen, T. R., Packman, J., Grebby, S., & Dearden, R. (2014). Assessing the Impact of Urbanization on Storm Runoff in a Peri-Urban Catchment Using Historical Change in Impervious Cover. **Journal of Hydrology**, 515, 59-70.
- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring Land Use/Cover Change Using Remote Sensing and GIS Techniques: A Case Study of Hawalbagh Block, District Almora, Uttarakhand, India. **The**

Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 18(1), 77- 84

- Sajikumar, N., & Remya, R. S. (2015). Impact of Land Cover and Land Use Change on Runoff Characteristics. **Journal of Environmental Management**, 161, 460-468.
- Siriwardena, L., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2006). The Impact of Land Use Change on Catchment Hydrology in Large Catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia. **Journal of Hydrology**, 326(1-4), 199-214.
- Valdes, J. B., Fiallo, Y., & Rodríguez-Iturbe, I. (1979). A Rainfall-Runoff Analysis of the Geomorphologic IUH. **Journal of Water Resources Research**, 15(6), 1421-1434.
- Yan, B., Fang, N. F., Zhang, P. C., & Shi, Z. H. (2014). The Impact of Land Use Change on Watershed Stream Flow and Sediment Yield: An Assessment Using Hydrologic Modelling and Partial Least Squares Regression (Case Study: China). **Journal of Hydrology**, 484, 26-37.
- Zhou, Q., Ou, X. K., Zhang, Z. M., & Yang, M. Y. (2008). Spatial-Temporal Land Use Pattern Changes in Manwan Hydropower Station Reservoir of Lancang River, Yunnan, China. **Journal of Mountain Science**, 26(4), 481-489.



اثر تغییر کاربری اراضی بر دبی حداکثر سیلاب حوضه آبخیز سنقر

حامد غلامیان، کارشناسی ارشد گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

ildoromi45@gmail.com

علیرضا ایلدرمی^{*}، دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

a. Ildoromi@malayeru.ac.ir

چکیده

تغییر کاربری اراضی بر چرخه طبیعی آب و برآورد دبی حداکثر سیلاب در حوضه‌های آبخیز کوچک تأثیر می‌گذارد و همواره جزو مسائل مهم مدنظر هیدرولوژیست‌هاست. پژوهش حاضر با هدف برآورد دبی حداکثر هیدروگراف سیل متأثر از تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز سنقر با استفاده از مدل Win TR-55 و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ برای سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۵ به کمک نرم‌افزار ENVI انجام شده است. بررسی هیدروگراف خروجی حوضه نشان داد مقادیر حداکثر سیلاب در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ به میزان ۱۲/۲ درصد افزایش داشته است؛ این در حالی است که وسعت کاربری اراضی مرتعی ۲۳/۳۲ درصد کاهش و مساحت اراضی کشاورزی دیم، آبی و باغ و مناطق مسکونی به ترتیب ۵/۹۱، ۲۰/۶۶ و ۱۶/۸۳ درصد افزایش یافته است.

نتایج حاکی است در تمامی زیرحوضه‌ها براساس میزان و شدت تغییر کاربری اراضی، دبی اوج در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است. این امر نشان می‌دهد بیشترین افزایش دبی به زیرحوضه S₆ با مقدار ۲۴/۸۸ درصد و زیرحوضه S₈ با مقدار ۲۲/۴۴ درصد به علت کاهش وسعت اراضی مرتعی و زیرحوضه S₃ به مقدار ۱۵/۲۹ درصد به علت تغییر کاربری اراضی به‌منظور توسعه شهرستان سنقر در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ مربوط است. نتایج واسنجی مدل نشان داد کمترین خطا به دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به میزان ۷/۶ درصد و بیشترین خطا به دوره بازگشت ۵ ساله به مقدار ۳۴ درصد مربوط است. مقایسه نتایج مقادیر دو آماره (R²) و (RMSE) نیز نشان داد مدل در برآورد دبی اوج سیلابی به‌ویژه در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله از دقت قابل قبولی برخوردار است.

پیشنهاد می‌شود طرح جامع تغییر کاربری اراضی و آمایش سرزمین به‌منظور حفاظت و صیانت از اراضی ملی در حوضه آبخیز تهیه شود.

واژه‌های کلیدی: هیدروگراف، مدل Win TR-55، CN، (R²)، (RMSE)

مقدمه

امروزه بررسی نحوه کاربری و نوع پوشش اراضی نقش مهمی در برنامه‌ریزی برای مدیریت و حفاظت منابع آب و خاک دارد و زمینه ارتقای نگرش اصولی به ساختارهای زیست‌محیطی را فراهم می‌آورد (Zhou et al., 2008: 481). در سال‌های اخیر ارزیابی کاربری اراضی به‌مثابه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کنترل فرایند بارش-رواناب در مقیاس وقایع سیل برای حوضه‌های آبخیز بسیار مورد توجه قرار گرفته و ثابت کرده است تغییرات غیریکنواخت در کاربری اراضی یا پوشش گیاهی ارتباط تنگاتنگی با واکنش هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز به‌ویژه در رخداد سیل دارد (SiriWardena et al., 2006: 199).

در حال حاضر تغییرات کاربری اراضی یک حوضه در طول زمان بر بسیاری از فرایندهای فرسایش خاک و تولید رسوب اثر می‌گذارد و باعث از بین رفتن کیفیت و حاصلخیزی خاک و همچنین با افزایش تولید رسوب و تجمع آن در مخزن سدها باعث کاهش عمر مفید آنها می‌شود (ایلدرمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱۱). مطالعات نشان می‌دهد بررسی تغییر کاربری اراضی و اثر آن بر فرایندهای هیدرولوژیکی در مدیریت منابع آب و سیلاب‌ها و کاهش خسارات ناشی از آن نقش مؤثری دارد. در سال‌های اخیر پژوهشگران بسیاری به این موضوع توجه داشته‌اند؛ از جمله: نوری و زینی‌وند (۱۳۹۳) در برآورد دبی حداکثر سیلابی در حوضه آبخیز بکرآباد با استفاده از مدل Win TR-55 دریافتند مهم‌ترین عامل سیل‌خیزی حوضه CN است؛ بنابراین مدل Win TR-55 برای برآورد دبی در حوضه‌های آبخیز کوچک کاربرد و دقت بهتری دارد.

وفاخواه و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر تغییر کاربری اراضی را بر رواناب حوضه آبخیز چالوس رود با مدل L-THIA بررسی کردند. نتایج نشان داد به علت کاهش اراضی جنگلی و افزایش مناطق شهری، عمق رواناب از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ به میزان ۱۶/۳۲۶ میلی‌متر طی ۶ سال افزایش یافته است.

شفایی و همکاران (۱۳۹۵) در مدل‌سازی تابع توزیع توام چهار بعدی ویژگی‌های مهم سیل با استفاده از جای‌گشت متغیرهای ساختار سی-واین نشان دادند انتخاب متغیر زمان پایه B به‌مثابه متغیر مرکزی، انتخاب مناسبی بوده و این متغیر نقش کنترل‌کننده متغیرهای حجم کل، زمان اوج و دبی اوج سیل را دارد.

آذرخشی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی اثر تغییرات بارش و کاربری اراضی بر تولید رواناب و رسوب حوضه آبخیز صنوبر تربت حیدریه به این نتیجه رسیدند که افزایش وقوع خشکسالی‌ها و کاهش آبدهی رودخانه به همراه تبدیل اراضی زراعی دیم کم‌بازده به مرتع، به کاهش میزان رواناب و رسوب معلق حوضه آبخیز انجامیده است. فیضی‌زاده (۱۳۹۶) در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر سیستم فرسایش و رواناب در حوضه سد علویان به این نتیجه رسید که تخریب اراضی باغی و تبدیل مراتع خوب به اراضی دیم کم‌بازده در سطح زیاد موجب افزایش آسیب‌پذیری منطقه درمقابل فرسایش خاک و افزایش رواناب شده است.

کاظمی و همکاران (۱۳۹۷) در «بررسی اثر تغییر کاربری اراضی و خشکسالی بر رواناب حوضه زاگرس مرکزی، نمونه پژوهش: حوضه تویسرکان» نشان دادند بیشترین تغییر کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۵ ساله در عرصه‌های منابع طبیعی به‌ویژه در مراتع رخ داده و کاهش این عرصه همراه با نوسانات خشکسالی در طول زمان باعث افزایش حجم رواناب و بروز سیلاب در حوضه شده است.

سلمانی و همکاران (۱۳۹۷) پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبخیز تیل آباد استان گلستان را طی دوره‌های آبی متأثر از تغییر کاربری اراضی پیش‌بینی شده ارزیابی و مشخص کردند شبیه‌سازی رواناب ماهیانه نسبت به رسوب دقت بیشتری دارد و این امر باعث افزایش دبی سیلاب خواهد شد.

فروتن و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر تغییر کاربری اراضی و توسعه فیزیکی شهر را بر تغییرات رواناب سیلاب شهری بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش مساحت کاربری شهری، رواناب سطحی به مقدار ۳۵۰ مترمکعب افزایش یافته که این حجم رواناب در یک شهر کوچک زیاد و گاه خطرناک است.

دمس و همکاران^۱ (2013) در مطالعه خود در حوضه آبریز کلین‌نت^۲ بلژیک با تهیه نقشه سطوح نفوذناپذیر مدل‌سازی هیدرولوژیکی انجام و نشان دادند طی ۱۷ سال بر اثر توسعه شهری سطوح نفوذناپذیر به میزان ۲۹/۲ درصد و رواناب نیز به میزان ۹/۵ درصد افزایش یافته است.

ساتیش کومار و همکاران^۳ (2013) در مدل‌سازی توسعه شهری و تأثیر آن بر رواناب سطحی در شهر رورکی هند بیان کردند بین توسعه شهری و دبی اوج سیل و زمان تمرکز حوضه آبخیز بررسی شده رابطه خطی وجود دارد.

میلر و همکاران^۴ (2014) آثار توسعه شهری را بر رواناب در حوضه آبخیز شهری سویندون^۵ انگلستان بررسی کردند و دریافتند در منطقه مطالعه شده سطوح نفوذناپذیر در سال ۱۹۶۰ از ۱۱ درصد به ۴۴ درصد در سال ۲۰۱۰ افزایش و با توسعه شهری مدت‌زمان وقوع سیل کاهش یافته است.

ساجیکومار و ریمیا^۶ (2014) تأثیر تغییر پوشش گیاهی و کاربری اراضی را بر ویژگی‌های رواناب با استفاده از مدل SWAT در دو حوضه آبخیز در کرالای هند بررسی کردند و نشان دادند بین میزان تغییرات سطح اراضی جنگلی و حداکثر رواناب سطحی رابطه معناداری وجود دارد.

ین و همکاران^۷ (2014) در پژوهشی تأثیر تغییرات کاربری اراضی را بر میزان رسوب و رواناب در یکی از حوضه‌های چین بررسی و بیان کردند تغییرات کاربری اراضی در میزان رسوب و رواناب سطحی نقش مؤثری داشته است.

گومیندوگا و همکاران^۸ (2015) تأثیر تغییر کاربری اراضی را در حوضه آبخیز جیلجل ابای اتیوپی بررسی کردند و نتیجه گرفتند کاهش کاربری مرتعی و جنگلی سبب افزایش حداکثر سیلاب شده است.

راوات و کومار^۹ (2015) با مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در هند نشان دادند تصاویر سنجش از دور در ارزیابی روند تغییرات سری زمانی دقت زیادی دارند.

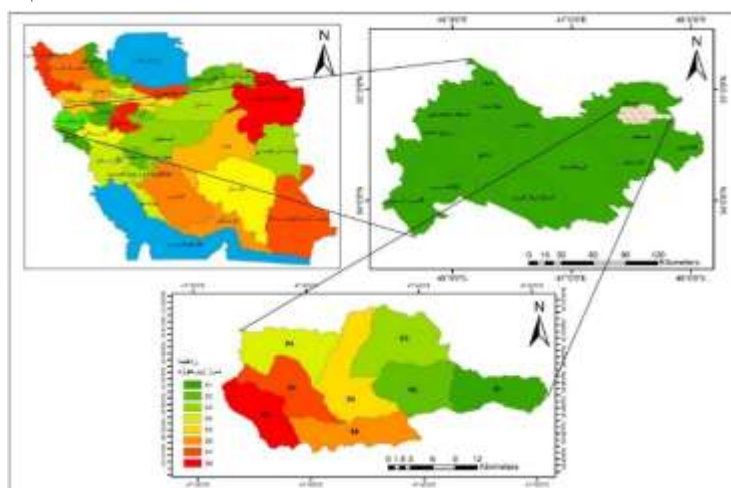
1. Dams et al.
2. Clean net
3. Sathishkumar et al.
4. Miller et al.
5. Sevindon
6. SajiKumar and Remya
7. Yen et al.
8. Gomindiga et al.
9. Rawat and Kumar

بررسی و مرور منابع نشان می‌دهد پیش‌بینی وقوع سیل به‌منظور پیشگیری و کنترل آن در حوضه‌های آبخیز برای جلوگیری و کاهش خسارات ناشی از آن امری ضروری است؛ بنابراین در این پژوهش سعی بر آن است که با استفاده از مدل هیدرولوژیکی WinTR-55 و داده‌های موجود شامل بارش‌های ۲۴ ساعته، زمان تمرکز حوضه، ضریب سیلابی، مساحت و شیب حوضه، نقشه CN، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، داده‌های دبی مشاهداتی و مساحت تغییر کاربری اراضی و تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی حداکثر سیل حوضه آبخیز سنقر و نقش آن طی دو دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ بررسی شود. به این وسیله دقت و کارایی مدل WinTR-55 در برآورد دبی حداکثر هیدروگراف سیلاب در هر نقطه از مسیر زهکشی با توجه به نبود داده‌های ایستگاه هیدرومتری ارزیابی می‌شود و می‌توان از نتایج به‌دست‌آمده از مدل برای طراحی سازه‌ها و مدیریت حوضه آبخیز به‌منظور پیشگیری و کاهش خطر سیلاب و همچنین برای مدیریت بهره‌برداری از منابع آب و اراضی به‌ویژه در حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری به‌خوبی استفاده کرد.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده پژوهش

حوضه آبخیز سنقر در استان کرمانشاه و در محدوده جغرافیایی $۲۲^{\circ} ۴۷'$ تا $۵۱^{\circ} ۴۷'$ طول شرقی و در $۳۴^{\circ} ۴۰'$ تا $۵۲^{\circ} ۳۴'$ عرض شمالی واقع شده و بخشی از حوضه آبخیز کرخه است (شکل ۱). وسعت حوضه ۶۳۱۷ هکتار، حداکثر ارتفاع آن ۱۵۰۰ و ۳۳۰۰ متر، میانگین بارندگی سالیانه آن طی دوره ۳۰ ساله ۵۱۶/۹ میلی‌متر و میانگین سالیانه دما نیز ۱۲/۹ درجه سلسیوس است و براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم نیمه‌مرطوب سرد دارد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز سنقر در ایران و استان کرمانشاه (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Fig 1. Geographical location of Songhor basin in Iran and Kermanshah province (Authors, 2019)

روش پژوهش

در این پژوهش بارش‌های ۲۴ ساعته، زمان تمرکز، ضریب سیلابی، مساحت و شیب حوضه و مساحت تغییر کاربری اراضی، متغیرهای اصلی بررسی شده هستند. در این زمینه نخست آمار مقادیر بارش ایستگاه‌های سینوپتیک

استان کرمانشاه از نظر همگنی با آزمون نرمال استاندارد بررسی شد؛ سپس برای بازسازی و برآورد داده‌های گمشده از داده‌های ایستگاههای مجاور که بیشترین همبستگی را دارند و از روش جرم مضاعف استفاده شد. برای بررسی داده‌های پرت، هر داده با داده بعدی خود مقایسه شد؛ در صورت مشاهده اختلاف شدید سعی شد داده آن دوره آماری با میانگین پیراسته تحلیل شود تا داده پرت شناسایی و از محاسبات کنار گذاشته شود؛ در این بررسی داده‌های پرت وجود نداشت. برای بررسی و تهیه نقشه‌های تغییر کاربری اراضی طی دو دوره از تصاویر سنجنده ETM+ و OLI ماهواره لندست سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۵ (تاریخ تصویر اول ۲۰۰۰/۰۵/۰۷ برابر با ۱۳۷۹/۰۲/۱۸، تاریخ تصویر دوم ۲۰۱۵/۰۵/۱۱ برابر با ۱۳۹۴/۰۲/۲۱) استفاده شد؛ پس از انجام تصحیح هندسی و ترکیبات بانندی به کمک نرم‌افزار ENVI، شاخص گیاهی تفاضل تعدیل شده (NDVI) بررسی و برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و حداکثر احتمال و از شاخص کاپا و دقت کلی برای ارزیابی درستی استفاده شد (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۷)؛ علاوه بر این در این پژوهش از ماتریس خطا برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد (جدول ۱). در مرحله بعد کلاس‌های کاربری اراضی در چهار کلاس کاربری شامل کشاورزی آبی و باغ، کشاورزی دیم، مرتع و جنگل، مناطق مسکونی، نفوذناپذیر و اراضی صخره‌ای تقسیم‌بندی و در نهایت نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبخیز سنقر در دو مقطع زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ در محیط ArcGIS تهیه شد؛ سپس نتایج بررسی روند تغییرات کاربری اراضی با بازدید میدانی و مشاهدات صحرایی و گزارش‌گیری از ساکنان عرصه، ارزیابی و با آمار موجود در سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی و هواشناسی تطبیق داده شد.

شاخص کاپا

در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی اهمیت دارد، از شاخص کاپا استفاده می‌شود؛ زیرا شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۷). ضریب کاپا طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. در این حالت دقت نسبت به حالتی که دست می‌آید که یک تصویر کاملاً به حالت تصادفی طبقه‌بندی شود. ضریب کاپا این مزیت را نسبت به دقت کلی دارد که از عناصر حاشیه‌ای (غیرقطری) ماتریس خطا برای محاسبه دقت استفاده می‌کند (خدمتگزار دولتی، ۱۳۹۰: ۱۴). یوسفی و همکاران (۱۳۹۳) از فرمول زیر برای برآورد ضریب کاپا استفاده کردند:

$$Kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه P_o درستی مشاهده‌شده و P_c توافق مورد انتظار است.

دقت کلی (صحت کلی)

در بیان دقت نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی استفاده می‌شود. از نظر تئوری، احتمالات دقت کلی، معیار خوبی برای ارزیابی نتایج حاصل از طبقه‌بندی نیست؛ زیرا در این شاخص نقش شانس قابل توجه است. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها با رابطه زیر به دست می‌آید (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۳).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (2)$$

در این رابطه OA صحت کلی، N تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی یا تعداد پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند و $\sum p_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطاست (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۹).

جدول ۱. شاخص کاپا و دقت کلی در طبقه‌بندی کاربری اراضی (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Tab 1. Kappa index and overall accuracy in land use classification (Authors, 2019)

تصویر و سال مطالعه‌شده	شاخص کاپا	دقت کلی
۲۰۰۰ ETM ⁺	۰/۸۵	۰/۸۷
۲۰۱۵ ETM ⁺	۰/۸۵	۰/۸۸

همچنین با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمانشاه و نرم‌افزار ArcGis، نقشه‌های CN زیرحوضه‌ها تهیه شد. نخست نقشه CN حوضه بررسی و با استفاده از آمار موجود سعی شد از یک دبی در یک زمان پایه واحد استفاده شود تا با دقت بیشتری میزان دبی برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله پیش‌بینی شود؛ سپس داده‌های تغییرات کاربری اراضی ۱۵ ساله، بارش و دبی ۲۴ ساعته طی دوره آماری ۳۰ ساله تهیه‌شده از اداره آب منطقه‌ای استان کرمانشاه به مدل هیدرولوژیکی WinTR-55 وارد شد؛ پس از اجرای مدل، درنهایت دبی حداکثر لحظه‌ای و هیدروگراف خروجی حوضه متأثر از تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله استخراج، مقایسه و اثر تغییر کاربری در دبی حداکثر خروجی حوضه و زیرحوضه‌ها به تفکیک ارزیابی شد.

نقشه CN حوضه

پس از تهیه و بررسی نقشه‌های کاربری اراضی با نرم‌افزار Envi با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ و OLI ماهواره لندست طی دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ و مقایسه میزان تغییرات ایجادشده در کاربری‌های اراضی با نرم‌افزار ArcGis، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه تهیه و براساس داده‌های جدید تصحیح و به‌روزرسانی شد. با توجه به نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک موجود در اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمانشاه و تلفیق نقشه کاربری اراضی و لحاظ کردن وضعیت تیپ‌های مرتعی، تراکم پوشش تاجی جوامع جنگلی، اراضی زراعی، نوع کشت، شیوه کشت و نوع مدیریت زمین، کشت غالب و شرایط هیدرولوژیکی، به منظور بررسی عدد شماره منحنی برای هر زیرحوضه اقدام شد. در مرحله بعد با استفاده از میانگین وزنی هر پلی‌گون، متوسط وزنی عدد منحنی برای هر زیرحوضه تعیین و نقشه CN تهیه شد؛ به‌علاوه درصد سطوح نفوذناپذیر نسبت به کل سطح حوضه اصلاح و سپس با استفاده از مشخصات حوضه از جمله طول آبراهه اصلی، شیب و شماره منحنی اصلاح شده، زمان تمرکز حوضه محاسبه و درنهایت با استفاده از روابط SCS در مدل، میزان رواناب برای زیرحوضه‌های مختلف محاسبه شد. پس از اجرای مدل، درنهایت دبی حداکثر لحظه‌ای و هیدروگراف خروجی حوضه متأثر از تغییرات کاربری اراضی

و پارامتر ژئومورفولوژی در دوره های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله در قالب مدل WinTR-55 استخراج و برای ارزیابی دقت با هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی (GIUH) استخراج شده مقایسه شد؛ سپس تأثیرات تغییر کاربری و عامل شیب و سازه ها در دبی حداکثر خروجی حوضه بررسی و سعی شد تمام مراحل با دقت و با توجه به داده های موجود ارزیابی شود. گروه های هیدرولوژیکی خاک در حوضه شامل سه گروه هیدرولوژیکی A و B و C است که پس از استخراج نقشه^۱ CN، شماره منحنی واحدهای هیدرولوژیک حوضه با رابطه زیر تعیین و نقشه گروه های هیدرولوژیکی خاک حوضه براساس داده های جدید تصحیح و به روزرسانی شد (مهدوی، ۱۳۹۰: ۸۶).

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (۳)$$

در این رابطه Q ارتفاع رواناب برحسب میلی متر، P ارتفاع بارندگی برحسب میلی متر و S ارتفاع مربوط به ذخیره سطحی و نفوذ خاک برحسب میلی متر است. مقدار تلفات کلی یا S با رابطه ای با یک عامل بدون بعد به نام CN ارتباط می یابد که S برحسب میلی متر است (مهدوی، ۱۳۹۰: ۹۱).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۴)$$

در این بررسی به منظور افزایش دقت و کاهش خطا، اثر بارش های پیشین بر CN بررسی شده است. نخست مناطق از لحاظ کاربری به مناطق شهری، کشاورزی و مناطق در حال توسعه و گسترش شهری تقسیم بندی و سپس با توجه به میزان بارش، درصد سطوح نفوذناپذیر نسبت به کل سطح حوضه اصلاح شد. در نهایت با استفاده از روابط SCS ارتفاع معادل رواناب محاسبه و با استفاده از مشخصات حوضه از جمله طول آبراهه اصلی، شیب و شماره منحنی اصلاح شده، زمان تمرکز حوضه محاسبه شد. با توجه به اینکه وسعت اراضی زراعی سطح بیشتری از حوضه را به خود اختصاص داده بود، CN در کل حوضه براساس اولویت بندی زراعت و سایر کاربری ها و برای هر زیرحوضه براساس وسعت بیشترین تا کمترین کاربری موجود محاسبه شد تا ارزیابی با دقت بیشتری انجام شود.

معرفی مدل (WinTR-55)

مدل Win TR-55 را سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا (NRCS) برای تخمین هیدروگراف مصنوعی سیلاب در هر نقطه از مسیر سیستم زهکشی در حوضه های کوچک تر از ۶۴ کیلومتر مربع طراحی کرده است. این مدل با استفاده از داده های ژئومورفولوژی حوضه نظیر نسبت انشعاب، نسبت طول و نسبت مساحت و مساحت، پوشش گیاهی و CN هر قسمت از حوضه، طول، جنس، عرض مقاطع، شیب کناره و شیب بستر کانال ها و بارندگی ۲۴ ساعته حوضه، مقادیر رواناب (دبی و سرعت) به دست آمده در هر ساعت پس از شروع بارندگی را محاسبه می کند. برای محاسبه زمان تمرکز هر زیرحوضه در مدل Win TR-55، باید پارامترهای شیب جریان، سرعت جریان، زمان طی مسیر^۲ برای جریان ورقه ای و جریان متمرکز کم عمق (آبراهه های با عمق کمتر از 30cm) و جریان کانال در آبراهه در هر نقطه از

1. Curve Number
2. Travel Time

مسیر زهکشی با مدل محاسبه شود. تراول تایم برای جریان‌های متمرکز کم عمق و آبراهه بدون کف پوش، آبراهه دارای کف پوش مانند جوی‌های آب یا آبراهه‌ای با کف غیرطبیعی محاسبه می‌شود. این پارامترها به ترتیب با رابطه ۵ تا ۹ محاسبه می‌شود (Valderz et al., 1979: 1421).

$$\text{Slope} = \frac{H_2 - H_1}{L} \quad (5)$$

$$V = \frac{1/49 \times R^{2/3} \times \sqrt{S}}{n} \quad (6)$$

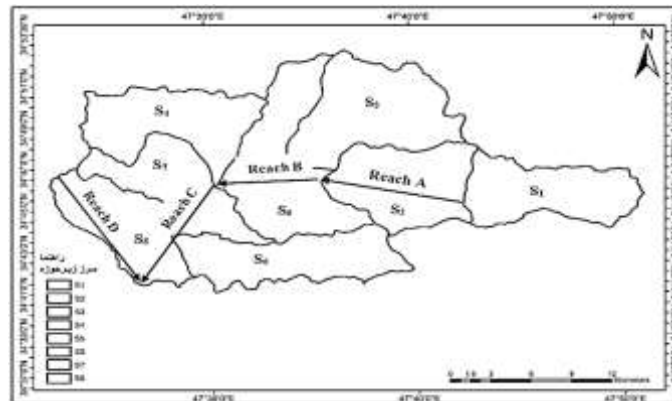
$$T_t = \frac{0/007 \times (nL)^{0/8}}{\sqrt{p_2} \times S^{0/4}} \quad (7)$$

$$V_{(\text{unpaved})} = 16/134\sqrt{S} \quad (8)$$

$$T_t = \frac{L}{V \times 3600} \quad (9)$$

در رابطه بالا به ترتیب H_1 ارتفاع نقطه ابتدایی مسیر جریان برحسب متر، H_2 ارتفاع نقطه پایانی مسیر جریان برحسب متر، L طول مسیر جریان یا طول آبراهه به متر، V سرعت متوسط جریان برحسب فوت، R شعاع هیدرولیکی برحسب فوت، S شیب آبراهه، n ضریب مانینگ، T_t زمان طی مسیر برحسب ساعت و P_2 بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ ساله برحسب اینچ است. با استفاده از مدل WinTR-55 (سازمان حفاظت خاک آمریکا) به منظور ایجاد الگوی بارش برای هر منطقه و تخمین رواناب، داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت معین محاسبه و هیدروگراف واحد به روش SCS ترسیم و مقادیر دبی اوج سیلابی و زمان تا اوج هیدروگراف برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در هشت زیرحوضه هیدرولوژیکی و چهار بازه جریان^۱ بررسی شد (شکل ۲).

برای محاسبه دوره‌های بازگشت، نخست شکل شماتیکی از نحوه ریچ‌بندی الگوبرداری شد تا تحلیل دقیق‌تری درباره جریان‌های ورقه‌ای و جریان‌های کانالی در حوضه ارائه شود؛ سپس برای برآورد هیدروگراف رواناب بارش‌های ۲۴ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله اقدام شد. گفتنی است تکه‌ها در شکل ۲ رودخانه نیست، بلکه نحوه ریچ‌بندی حوضه را با توجه به نحوه قرارگیری زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد. نحوه ریچ‌بندی مدل به این صورت است که آب‌های دریافتی در زیرحوضه‌های اطراف با کدام زیرحوضه دریافت می‌شود و به ترتیب به خروجی می‌رسند؛ بنابراین ریچ‌ها همان زیرحوضه‌های دریافت‌کننده و هدایت‌کننده جریان هستند.



شکل ۲. نقشه زیرحوضه‌ها و ریچ‌بندی حوضه آبخیز سنقر (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Fig 2. Map of sub-basins and Riching of Songhor basin (Authors, 2019)

تحلیل حساسیت مدل

برای بررسی حساسیت دبی اوج سیلاب حوضه از مقادیر شیب آبراهه از -20% تا $+20\%$ با گام‌های زمانی 0.5% و رابطه 10 استفاده شد. در این رابطه، SEN اندازه حساسیت تابع هدف حاصل از تغییر در اندازه پارامتر برحسب درصد، New اندازه جدید خروجی مدل حاصل از پارامتر جدید، Old خروجی اولیه مدل و PC قدر مطلق درصد تغییرات در پارامتر است (امیدوار و اژدرپور، ۱۳۹۱: ۱۸۴۵).

$$SEN = 100 \times \frac{New - Old}{Old|PC|} \quad (10)$$

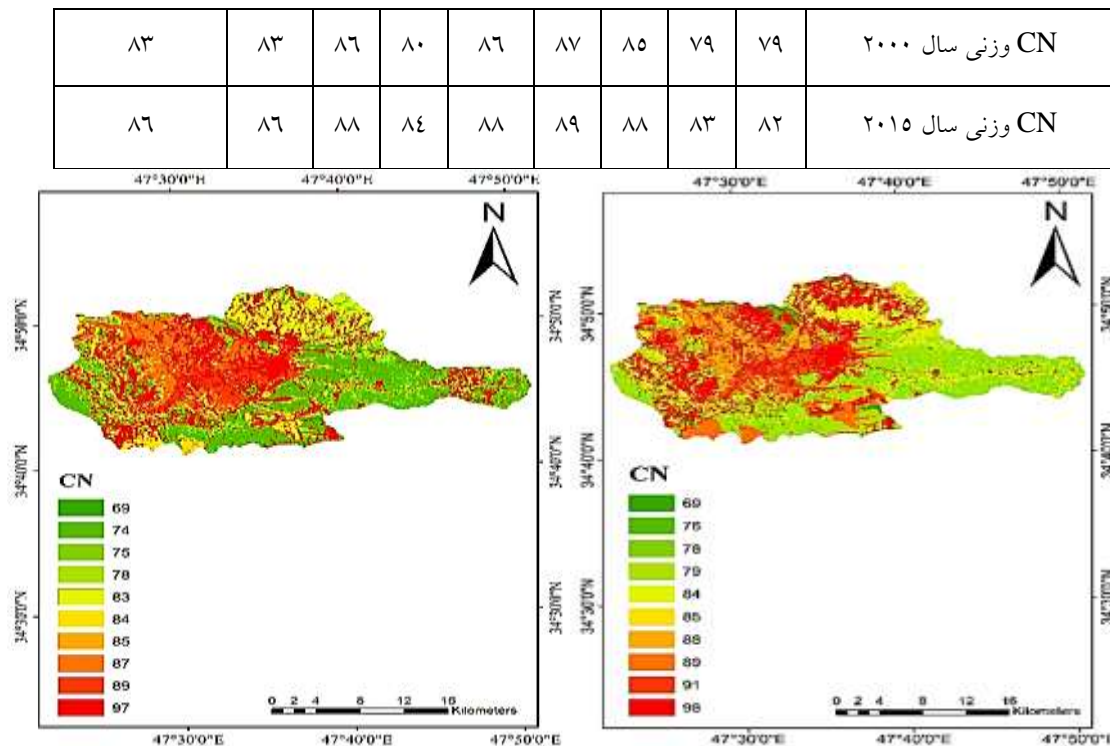
برای محاسبه خطای مدل در دوره‌های بازگشت مختلف از رابطه 11 استفاده شد. در این رابطه، 0 خطای برآوردی دبی اوج برحسب درصد، P_e مقدار دبی حداکثر برآورد شده و P_r دبی حداکثر است. در این بررسی، دبی با دوره‌های بازگشت مختلف 2 تا 100 ساله توسط مدل با توجه به داده‌های اولیه محاسبه شده است.

$$P_E = \frac{|P_e - P_r|}{P_r} \times 100 \quad (11)$$

به منظور بررسی و ارزیابی نتایج حاصل با مدل WinTR-55 از دو آماره ضریب همبستگی (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا $(RMSE)$ استفاده شد که به صورت دسیمال (بدون بعد) هستند. رابطه این دو آماره (روابط 12 و 13) به صورت زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [(O_i) - (P_i)]^2 \right)} \quad (12)$$

1. Regression
2. Root-Mean-Square Error



ب. CN سال ۲۰۱۵

B. CN year 2015

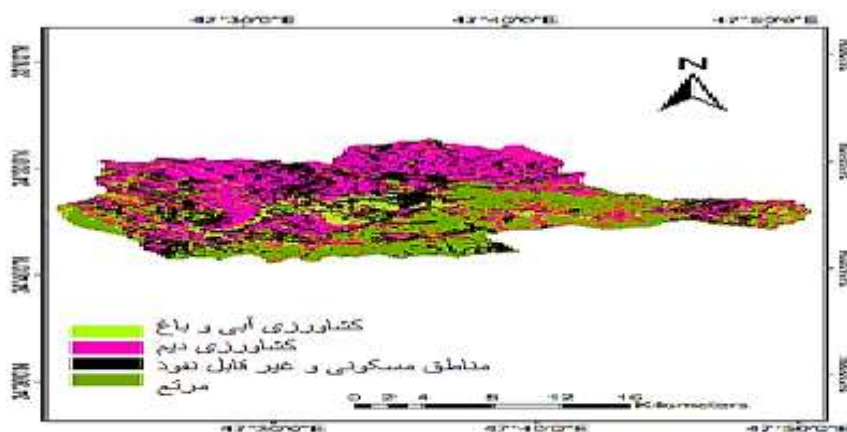
الف. CN سال ۲۰۰۰

A. CN year 2000

شکل ۴. نقشه CN حوضه سنقر برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ (نویسندگان، ۱۳۹۸)

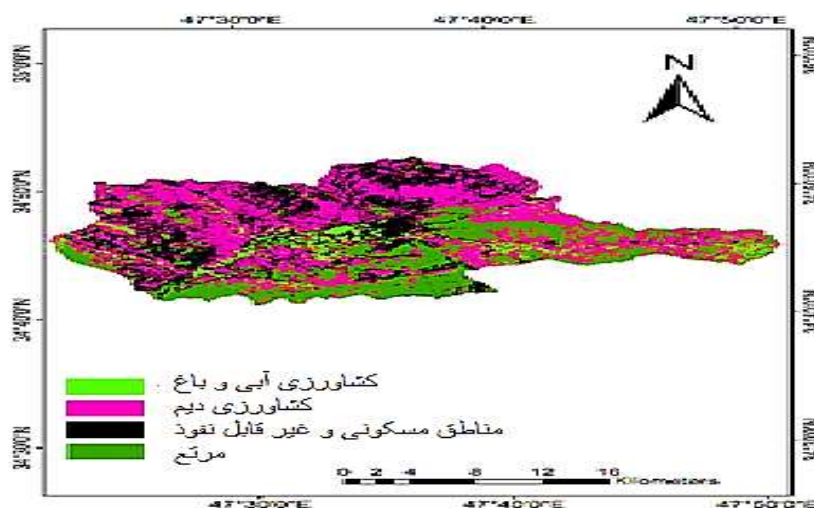
Fig 4. CN map of Songhor Basin for 2000 and 2015 (Authors, 2019)

به‌منظور تهیه نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی در چهار کلاس مسکونی و نفوذناپذیر، کشاورزی آبی و باغ، کشاورزی دیم، مرتعی و جنگلی و مناطق مسکونی و نفوذناپذیر و صخره‌ای از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد و پس از پردازش، ارزش‌گذاری و تعیین مساحت هرکدام از کاربری‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc Gis، نقشه‌های نهایی برای دو دوره زمانی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ میلادی به دست آمد. بررسی‌ها نشان می‌دهد طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ بیشترین تغییرات به کاهش اراضی مرتعی به میزان ۲۳/۳۲ درصد مربوط است؛ همچنین اراضی مسکونی و سطوح نفوذناپذیر ۱۶/۸۳ درصد، اراضی کشاورزی آبی و باغ ۲۰/۶۶ درصد و اراضی کشاورزی دیم به مقدار ۵/۹۱ درصد در حوضه افزایش یافته است (شکل ۵؛ جدول ۳).



الف. کاربری اراضی سال ۲۰۰۰

A. Land use in 2000



ب. کاربری اراضی سال ۲۰۱۵

B. Land use in 2015

شکل ۵. نقشه کاربری اراضی حوضه سنقر در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۰ (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Fig 5. Land use map of Songhor Basin in 2000 and 2015 (Authors, 2019)

جدول ۳. مقایسه مساحت و درصد تغییرات کاربری‌ها طی دوره‌های زمانی مطالعه‌شده (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Tab 3. Comparison of area and percentage of user changes during the studied time periods

(Authors, 2019)

نوع کاربری	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۱۵

تغییر مساحت از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۰۰ (درصد)	تغییر مساحت از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۰۰ (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	
۲۰/۶۶	۱/۱۲	۱۰/۳۵	۶/۵۴	۸/۵۸	۵/۴۲	کشاورزی آبی و باغ
۵/۹۱	۱/۴۲	۴۰/۲۴	۲۵/۴۲	۳۸	۲۴	کشاورزی دیم
۲۳/۳۲	-۴/۳۵	۲۹/۵۲	۱۸/۶۵	۳۶/۴۱	۲۳	مرتع و جنگل
۱۶/۸۳	۱/۸۱	۱۹/۸۹	۱۲/۵۶	۱۷/۰۱	۱۰/۷۵	مناطق مسکونی و نفوذناپذیر و صخره‌ای
	-----	-----	۶۳/۱۷	-----	۶۳/۱۷	مجموع

در این بررسی با استفاده از آمار موجود سعی شده است از یک دبی در یک زمان پایه واحد استفاده شود تا با دقت بیشتری میزان دبی برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله پیش‌بینی شود. بدین منظور از مقدار CN برای به‌دست‌آوردن درصد سطوح نفوذناپذیر نسبت به کل حوضه و با مشخصات حوضه از جمله طول آبراهه اصلی، شیب، شماره منحنی اصلاح شده و زمان تمرکز حوضه استفاده و در نهایت با بهره‌گیری از روابط SCS در مدل، میزان رواناب محاسبه شد. به علت اینکه نرم‌افزار برای محاسبه و ترسیم هیدروگراف‌های خروجی زیرحوضه‌ها و آبراهه‌ها از روش SCS استفاده می‌کند، با محاسبه سطح زیر منحنی حجم سیلاب برآورد شده است؛ بنابراین از یک هیدروگراف بی‌بعد استفاده شد تا از هیدروگراف خود نرم‌افزار نیز در ارزیابی استفاده شود. گفتنی است در این بررسی از بارش‌های ۲۴ ساعته در مدل WinTR-55 برای تهیه هیدروگراف بی‌بعد استفاده شده است.

بررسی مقادیر محاسبه‌شده دبی در خروجی حوضه در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ برای دوره‌های بازگشت مختلف و سنتز و بررسی هیدروگراف خروجی حوضه نشان می‌دهد دبی حداکثر در تمامی دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است. جدول ۴ به دلیل تغییرات کاربری اراضی در منطقه مطالعه شده به‌ویژه تبدیل اراضی کشاورزی حومه شهری به مسکونی و افزایش سطوح نفوذناپذیر حوضه است و این تغییرات موجب افزایش مقادیر CN و رواناب شده است. بررسی مقادیر دبی ۲۴ ساعته خروجی حوضه در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله نشان می‌دهد در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بیشترین مقدار، ۱۱/۰۸ مترمکعب بر ثانیه برابر با ۱۱/۸۵ درصد و در دوره بازگشت ۲ ساله کمترین مقدار، ۵/۵۷ مترمکعب بر ثانیه معادل ۱۳/۹۴ درصد برآورد شده است. این امر بیان‌کننده این است که به‌طور متوسط دبی حداکثر کل حوضه در سال ۲۰۱۵ به میزان ۱۲/۲ درصد نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش داشته و از مقدار ۹۳/۵۱ به ۱۰۴/۵۹ در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله تغییر یافته است (جدول ۴؛ شکل ۶).

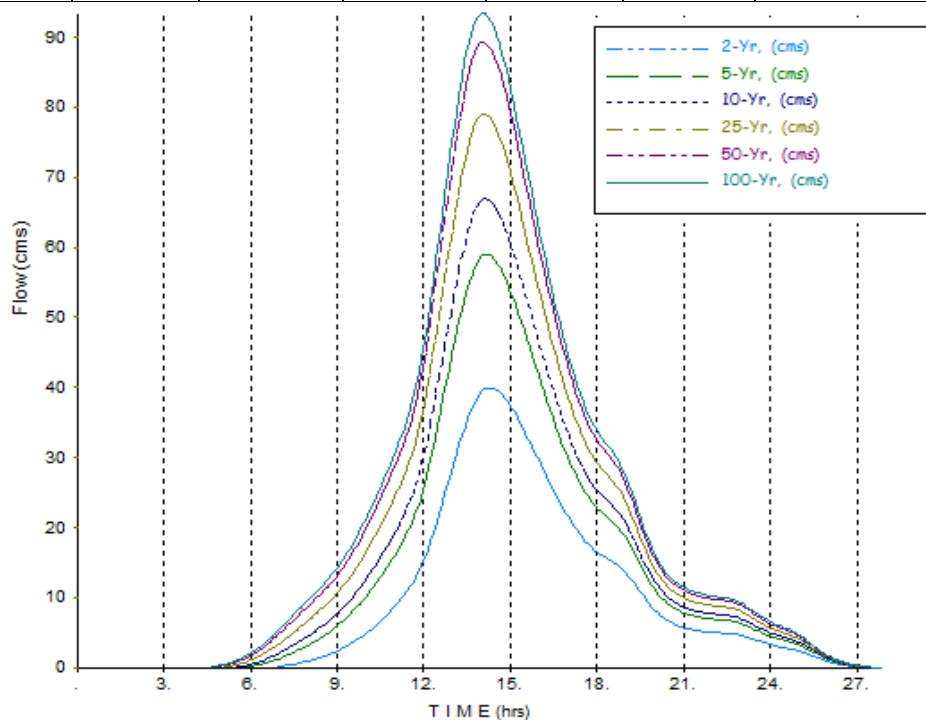
جدول ۴. مقادیر دبی حداکثر در خروجی حوضه برای دوره‌های بازگشت مختلف در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۰۰

(نویسندگان، ۱۳۹۸)

Tab 4. Maximum discharge values at the basin output for different return periods in 2000 and 2015

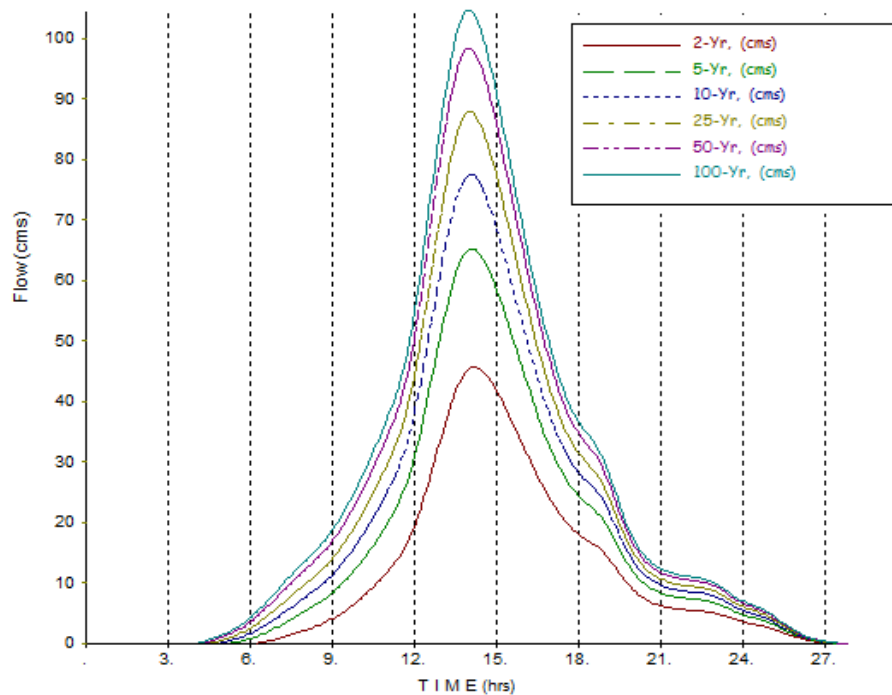
(Authors, 2019)

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	سال
دبی خروجی از حوضه (m ³ /s)	۳۹/۹۶	۵۸/۹۷	۶۶/۹۱	۷۳/۰۳	۸۹/۳۱	۹۳/۵۱	۲۰۰۰
دبی خروجی از حوضه (m ³ /s)	۴۵/۵۳	۶۵/۲۰	۷۷/۴۶	۸۷/۸۰	۹۸/۳۱	۱۰۴/۵۹	۲۰۱۵



الف. هیدروگراف سال ۲۰۰۰

A. Hydrograph of the year 2000



ب. هیدروگراف سال ۲۰۱۵

B. Hydrograph of 2015

شکل ۶. هیدروگراف خروجی حوضه در دوره‌های بازگشت مختلف (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Fig 6. Hydrograph of the basin outlet in different return periods (Authors, 2019)

بررسی محاسبات دبی حداکثر در زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد دبی حداکثر در همه زیرحوضه‌ها غیر از زیرحوضه S_1 افزایش یافته است؛ در حالی که مقدار دبی حداکثر در زیرحوضه S_1 به‌طور متوسط ۴/۱۱ درصد کاهش یافته است؛ همچنین در زیرحوضه‌های S_3 ، S_6 و S_8 بیشترین افزایش دبی به‌طور متوسط ۱/۸۱، ۱/۶۸ و ۱/۵۶ مترمکعب بر ثانیه و برابر با ۱۵/۲۹، ۲۴/۸۸ و ۲۲/۴۴ درصد روی داده است. میزان تغییرات کاربری اراضی و تبدیل یک کاربری به کاربری دیگر در همه زیرحوضه‌ها تقریباً از یک روند مشخص پیروی می‌کند؛ به‌طوری که در همه زیرحوضه‌ها سطح اراضی مرتعی کاهش یافته و به جز موارد بسیار محدودی تبدیل اراضی مرتعی در همه زیرحوضه‌ها به اراضی کشاورزی دیم بوده است. کاربری مسکونی در زیرحوضه S_3 افزایش داشته است. شهرستان سنقر در محدوده این زیرحوضه قرار دارد و اراضی کشاورزی اطراف آن به مناطق مسکونی تبدیل شده است. براساس بررسی‌ها و مشاهدات میدانی به نظر می‌رسد تغییر کاربری اراضی مراتع نقش زیادی در تغییر دبی اوج هیدروگراف زیرحوضه‌ها در بازه زمانی بررسی شده داشته است؛ همچنین با بررسی هیدروگراف‌های زیرحوضه‌ها و خروجی حوضه مشاهده شد هیدروگراف‌های ۵۰ و

۱۰۰ساله از یک تشابه منطقی برخوردارند (جدول‌های ۳ و ۵). در این بررسی از مفروضات مدل می‌توان به مشخصات زیرحوضه‌ها از قبیل نام زیرحوضه‌ها، مشخص کردن زهکش و مساحت زیرحوضه‌ها، شماره منحنی و زمان تمرکز زیرحوضه‌ها، توزیع بارش مختلف در منطقه، روندیابی سیلاب در آبراهه‌ها و مخازن اشاره کرد؛ همچنین با توجه به توانایی مدل برای تخمین دقیق CN وزنی منطقه، رسم هیدروگراف واحد بی‌بعد، رسم هیدروگراف سیلاب در هر نقطه از مسیر زهکشی از جمله (Outlet)، ترسیم شماتیک مسیر رواناب و طول آن در حوضه، محاسبه سرعت، دبی و ارتفاع رواناب در هر نقطه از مسیر زهکشی، محاسبه زمان تمرکز، تخمین حداکثر بارش ۲۴ساعته منطقه با دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰ساله اقدام شد. از معایب مدل این است که شرایط پیش از بارش حوضه می‌باید به صورت میانگین فرض شود؛ همچنین می‌باید محدودیت مساحت واردشده به مدل (مساحت تا ۶۵۰۰ هکتار یا ۲۵ مایل مربع)، تعداد زیرحوضه‌های قابل ورود به مدل حداقل یک و حداکثر ۱۰ زیرحوضه، زمان تمرکز واردشده حداقل ۰/۱ و حداکثر ۱۰ ساعت، ارتفاع بارندگی حداکثر ۱۲۷۰ میلی‌متر یا ۵۰ اینچ و زمان بارش ۲۴ساعته با دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰ سال را نام برد.

جدول ۵. مقادیر دبی حداکثر سیلابی با دوره‌های بازگشت مختلف در هر زیرحوضه (نویسندگان، ۱۳۹۸)

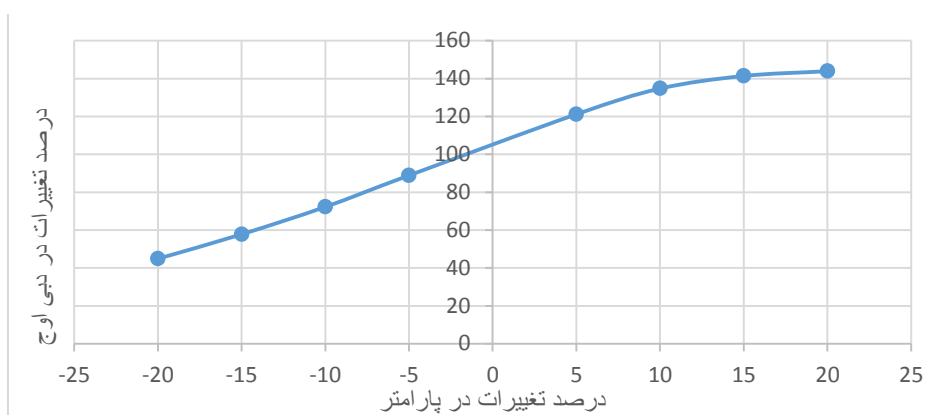
Tab 5. Maximum flood discharge rates with different returns in each sub-basin (Authors, 2019)

زیرحوضه	دوره مطالعه	دوره بازگشت	۲ سال	۵ سال	۱۰ سال	۲۵ سال	۵۰ سال	۱۰۰ سال
S ₁	۲۰۰۰	دبی حداکثر m ³ /s	۳/۹۳	۵/۹۶	۶/۸۱	۸/۱۳	۹/۲۵	۹/۷۰
	۲۰۱۵	دبی حداکثر m ³ /s	۳/۵۴	۵/۴۷	۶/۷۰	۷/۷۷	۸/۸۶	۹/۵۲
S ₂	۲۰۰۰	دبی حداکثر m ³ /s	۴/۱۰	۶/۳۲	۷/۲۷	۸/۷۳	۹/۹۶	۱۰/۴۷
	۲۰۱۵	دبی حداکثر m ³ /s	۴/۶۵	۶/۹۶	۸/۴۳	۹/۶۸	۱۰/۹۵	۱۱/۷۲
S ₃	۲۰۰۰	دبی حداکثر m ³ /s	۶/۸۲	۹/۸۹	۱۱/۱۵	۱۳/۰۹	۱۴/۷۲	۱۵/۳۷
	۲۰۱۵	دبی حداکثر m ³ /s	۸/۱۲	۱۱/۳۳	۱۳/۲۹	۱۴/۹۵	۱۶/۶۱	۱۷/۶۱

۱۳/۹۳	۱۳/۳۸	۱۱/۹۸	۱۰/۳۳	۹/۲۴	۶/۵۶	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۰۰	S ₄
۱۵/۲۸	۱۴/۴۴	۱۳/۰۴	۱۱/۶۵	۹/۹۸	۷/۲۶	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۱۵	
۱۵/۸۳	۱۵/۱۷	۱۳/۵۳	۱۱/۵۹	۱۰/۳۲	۷/۲۳	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۰۰	S ₅
۱۷/۴۳	۱۶/۴۴	۱۴/۷۹	۱۳/۱۴	۱۱/۲۰	۸/۰۳	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۱۵	
۹/۲۲	۸/۷۵	۷/۵۹	۶/۲۴	۵/۳۸	۳/۳۶	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۰۰	S ₆
۱۱/۳۳	۱۰/۵۸	۹/۳۶	۸/۱۵	۶/۷۳	۴/۴۹	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۱۵	
۱۱/۰۸	۱۰/۶۱	۹/۴۴	۸/۰۵	۷/۱۳	۴/۹۲	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۰۰	S ₇
۱۲/۲۵	۱۱/۵۳	۱۰/۳۴	۹/۱۶	۷/۷۶	۵/۴۹	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۱۵	
۹/۲۵	۸/۸۲	۷/۷۵	۶/۵۰	۵/۶۸	۳/۷۴	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۰۰	S ₈
۱۱/۱۵	۱۰/۴۹	۹/۳۷	۸/۲۷	۶/۹۶	۴/۸۶	دبی حداکثر m^3/s	۲۰۱۵	

نتایج آنالیز حساسیت مدل WinTR-55

شکل‌های ۷ و ۸، منحنی تغییرات نتایج مدل را به‌ازای تغییر در دو پارامتر CN و شیب آبراهه نشان می‌دهند. نتایج بررسی نشان می‌دهد میزان حساسیت مدل به پارامتر CN بیشتر است و این پارامتر تأثیر بیشتری بر دبی اوج خروجی حوضه دارد؛ به‌طوری که با افزایش ۲۰٪ مقادیر CN و شیب آبراهه به ترتیب دبی اوج خروجی به‌طور متوسط به میزان ۱۴۳/۹۳ درصد و ۱۱۴/۵۶ درصد افزایش و با کاهش ۲۰٪ مقادیر CN و شیب آبراهه به ترتیب دبی اوج خروجی به میزان ۴۴/۹ درصد و ۹۰/۲۴ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۷)؛ این روند نشان می‌دهد تغییر مقادیر شیب آبراهه زیاد نبوده است؛ به بیان دیگر زمانی که مقادیر شیب آبراهه کاهش می‌یابد، درصد تغییرات دبی خروجی کم و زمانی که مقادیر شیب آبراهه افزایش می‌یابد، باز هم درصد تغییرات در دبی خروجی کم است. در جدول‌های ۶ و ۷ در ستون، مقدار دبی ارائه شده است.



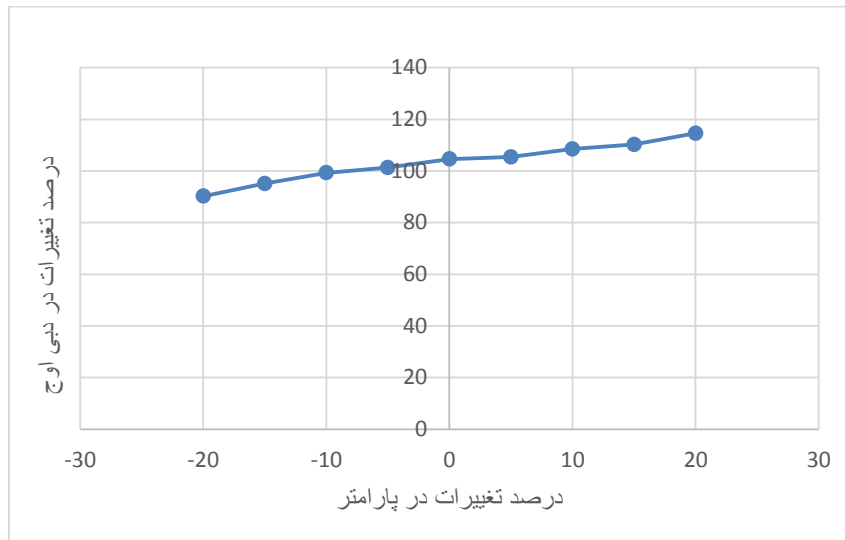
شکل ۷. منحنی تغییرات نتایج مدل به‌ازای تغییر در مقادیر CN حوضه (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Fig 7. Curve of changes in model results for changes in basin CN values (Authors, 2019)

جدول ۶. خلاصه نتایج حساسیت مدل به تغییر در پارامتر CN حوضه (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Tab 6. Summary of Model Sensitivity Results to Changes in Basin CN Parameters (Authors, 2019)

میزان حساسیت	درصد تغییرات دبی اوج	دبی اوج (m^3/s)	درصد تغییرات پارامتر
۲/۸۵	۵۷/۰۷	۴۴/۹	-۲۰
۲/۹۸	۴۴/۷۲	۵۷/۸۱	-۱۵
۳/۱	۳۰/۸۹	۷۲/۲۸	-۱۰
۳	۱۵/۰۱	۸۸/۸۹	-۵
۰	۰	۱۰۴/۵۹	۰
۳/۱۷	-۱۵/۸۶	۱۲۱/۱۸	۵
۲/۸۸	-۲۸/۸۳	۱۳۴/۷۵	۱۰
۲/۳۴	-۳۵/۲	۱۴۱/۴۱	۱۵
۱/۸۸	-۳۷/۶۱	۱۴۳/۹۳	۲۰



شکل ۸. منحنی تغییرات نتایج مدل به‌ازای تغییر در شیب آبراهه (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Fig 8. Curve of changes in model results for changes in waterway slope (Authors, 2019)

جدول ۷. خلاصه نتایج حساسیت مدل به تغییر در پارامتر شیب آبراهه (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Tab 7. Summary of the results of model sensitivity to change in stream slope parameter (Authors, 2019)

میزان حساسیت	درصد تغییرات دبی اوج	دبی اوج (m ³ /s)	درصد تغییرات پارامتر
۰/۶۸	۱۳/۷۲	۹۰/۲۴	-۲۰
۰/۶	۹/۰۳	۹۵/۱۴	-۱۵
۰/۵۱	۵/۱	۹۹/۲۵	-۱۰
۰/۶۲	۳/۱۲	۱۰۱/۳۲	-۵
۰	۰	۱۰۴/۵۹	۰
۰/۶۲	-۰/۸	۱۰۵/۴۳	۵
۰/۶۲	-۳/۷۵	۱۰۸/۵۲	۱۰
۰/۳۷	-۹/۳۳	۱۱۰/۲۵	۱۵
۰/۱۶	-۱۲/۴۸	۱۱۴/۵۶	۲۰

نتایج در مرحله واسنجی مدل WinTR-55

به‌منظور امکان‌سنجی استفاده از مدل WinTR-55 در حوضه آبخیز سنقر و برآورد میزان خطای محاسباتی با مدل، با استفاده از رابطه زیر میزان خطا برای دوره‌های بازگشت مختلف برآورد شد (ندیمی و همکاران، ۱۳۸۹: ۵):

$$P_E = \frac{|P_e - P_r|}{P_r} \times 100 \quad (14)$$

در این رابطه، PE خطای برآوردی دبی اوج برحسب درصد، Pe مقدار دبی حداکثر برآوردشده و Pr دبی حداکثر

ثبت شده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد میزان خطای برآوردی مدل در برآورد دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، کمترین مقدار و برابر با ۷/۶ درصد و در دبی با دوره بازگشت ۵ ساله، بیشترین مقدار و برابر با ۳۴ درصد است (جدول ۸).

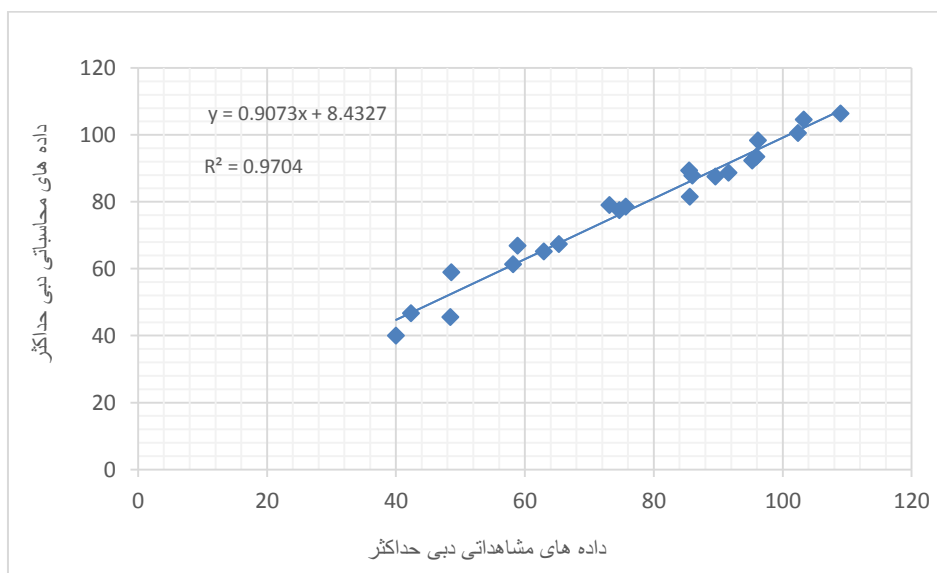
نتایج ارزیابی کارایی مدل

برای ارزیابی کارایی مدل WinTR-55 در برآورد دبی حداکثر از دو آماره (R^2) و (RMSE) استفاده شد. بررسی مقدار ضریب (R^2) و مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله برای مدل WinTR-55 نشان می‌دهد درصد خطای برآوردی مدل و مقادیر (RMSE) و (R^2) در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، کمترین خطا و در دوره بازگشت ۵ ساله، بیشترین خطا را دارد؛ همچنین بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی ضریب همبستگی بالای ۰/۹۷ وجود دارد (جدول ۸؛ شکل ۹).

جدول ۸. مقادیر درصد خطای برآوردی مدل و RMSE در دوره‌های بازگشت مختلف (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Tab 8. Percentage error values of model and RMSE in different return periods (Authors, 2019)

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
درصد خطا	۱۳/۱	۳۴	۳۱/۲	۲۱/۸	۱۷/۵	۷/۶
مقادیر RMSE	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۸۳	۰/۰۶۴	۰/۰۴۶	۰/۰۲



شکل ۹. نمودار رابطه همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در مدل WinTR-55 (نویسندگان، ۱۳۹۸)

Fig 9. Correlation diagram between observational and computational data in WinTR-55 model (Authors, 2019)

نتیجه‌گیری

تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز سنقر بر اثر دخالت‌های انسان سبب شده است مساحت اراضی مسکونی و نفوذناپذیر و کشاورزی آبی و دیم طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ افزایش و اراضی مرتعی کاهش یابد. براساس بررسی‌های میدانی صورت گرفته علت کاهش اراضی مرتعی در همه زیرحوضه‌ها، تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی دیم و پیرو آن تغییر CN حوضه است. از دلایل مهم آن، مناسب بودن میزان بارندگی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ براساس گزارش کارشناسان اداره منابع طبیعی شهرستان و آمار موجود در سازمان هواشناسی است؛ به طوری که براساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان و مشاهدات میدانی، طی این سال‌ها سطح زیر کشت به دلیل تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی توسط برخی کشاورزان دارای زمین زراعتی دیم در حاشیه مراتع به دلیل کسب درآمد بیشتر افزایش یافته است؛ همچنین بررسی آمار جمعیتی فرمانداری شهرستان سنقر نشان می‌دهد جمعیت شهرستان از سال ۸۵ تا سال ۹۵ به میزان ۷/۵ درصد افزایش یافته که این امر موجب توسعه شهرنشینی و تبدیل اراضی کشاورزی اطراف شهر به مناطق مسکونی شده است.

براساس بررسی آمار ایستگاههای هواشناسی استان، وقوع خشکسالی در چند سال اخیر به ویژه در ۷ سال گذشته باعث از بین رفتن بعضی گونه‌های گیاهی مرتعی، کاهش رطوبت خاک و افزایش رواناب شده است. به دلیل موقعیت شهرستان سنقر در زیرحوضه S_3 و افزایش مقادیر CN، دبی اوج بارش‌های ۲۴ ساعته در حوضه طی دوره زمانی مطالعه شده (۲۰۰۰-۲۰۱۵) افزایش یافته است.

بررسی هیدروگراف‌ها نشان داد در تمامی زیرحوضه‌ها براساس میزان و شدت تغییر کاربری رخ داده، دبی اوج در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است. این مقدار در زیرحوضه S_1 به علت تغییرات کمتر کاربری اراضی نسبت به سایر زیرحوضه‌ها و همچنین وجود سازه‌های آبخیزداری بتنی- ملاتی دبی حداکثر در سال ۲۰۱۵ به طور متوسط ۰/۳۵ مترمکعب بر ثانیه برابر با ۴/۱۱ درصد نسبت به سال ۲۰۰۰ کاهش را نشان می‌دهد. این امر حاکی است سازه‌ها باعث کاهش سرعت و حجم دبی خروجی از حوضه شده است؛ اما در سایر زیرحوضه‌ها با توجه به شیب و وضعیت توپوگرافی، میزان و شدت تغییرات کاربری اراضی به ویژه کاهش شدید اراضی مرتعی و وجود مناطق مسکونی و نفوذناپذیر، مقادیر دبی اوج افزایش داشته است. بیشترین افزایش دبی در زیرحوضه S_6 با مقدار ۲۴/۸۸ درصد و در زیرحوضه S_8 با مقدار ۲۲/۴۴ درصد در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ روی داده است. بررسی هیدروگراف خروجی حوضه نشان داد میزان دبی اوج در سال ۲۰۱۵، ۱۲/۲ درصد در کل حوضه افزایش یافته است. به طور کلی عوامل مؤثر بر افزایش دبی در حوضه آبخیز سنقر، تغییرات کاربری اراضی و در پی آن تغییرات مقادیر CN حوضه طی دوره ۱۵ ساله مطالعه شده است.

نتایج بررسی حساسیت مدل WinTR-55 نشان داد پارامتر CN در مدل، یک پارامتر مهم است و در مدل حساسیت زیادی ایجاد می‌کند؛ همچنین نتیجه بررسی صحت‌سنجی و محاسبه میزان خطای برآوردی مدل در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله نشان می‌دهد درصد خطای برآورد دبی با مدل در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، کمترین مقدار را دارد. با توجه به اینکه زمان رسیدن به دبی حداکثر سیلاب در حوضه‌های آبخیز کوچک کمتر از ۲۴ ساعت است و مدل Win TR-55 برای حوضه‌های آبخیز کوچک و بارندگی‌های ۲۴ ساعته طراحی شده است، این مدل

توانایی زیادی در برآورد دبی حداکثر سیلاب برای این نوع شرایط دارد. نتایج حاصل از اجرای مدل در حوضه آبخیز سنقر نشان از دقت و کارایی زیاد مدل در بررسی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های کوچک دارد. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش‌های سلمانی و همکاران (۱۳۹۷)، وفاخواه و همکاران (۱۳۹۴)، رحمانی و همکاران (۱۳۹۵)، نوری و زینی‌وند (۱۳۹۳)، چن و همکاران^۱ (۲۰۰۹)، راوات و کومار^۲ (۲۰۱۵)، ساجیکومار و ریمپا^۳ (۲۰۱۴) از لحاظ دقت و روش کار کاملاً مطابقت دارد. با توجه به دقت و کارایی مطلوب و همچنین در نظر گرفتن پارامترهای ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی حوضه همراه با هم و گرفتن نتایج بهتر در حوضه‌های کوچک، توصیه می‌شود مدل WinTR-55 در حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری و کوچک مساحت برای برآورد دبی اوج و بررسی نقش عوامل هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در میزان دبی استفاده و ارزیابی شود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود از نتایج این بررسی در طراحی سازه‌های کنترلی سیلاب و مهندسی رودخانه به‌ویژه مسیلابی و تهیه طرح جامع تغییر کاربری اراضی و آمایش سرزمین با دستگاههای اجرایی، طرح حفاظت و صیانت از اراضی ملی در حوضه آبخیز استفاده شود.

منابع

- آذرخشی، مریم، مساعدی، ابوالفضل، بشیری، مهدی، اوجاقلو شهابی، رعنا، (۱۳۹۶). اثر تغییرات بارش و کاربری اراضی بر تولید رسوب؛ مطالعه موردی: حوضه آبخیز صنوبر- تربت حیدریه، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۱۱، شماره ۲۷، ۲۵-۳۳.
- احمدپور، امیر، سلیمانی، کریم، شکری، مریم، قربانی، جمشید، (۱۳۹۳). مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه پوشش گیاهی، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۵، شماره ۳، ۷۷-۸۹.
- امیدوار، کمال، اژدرپور، مهران، (۱۳۹۱). مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS در برآورد بارش- رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۴، ۱۸۴۰-۱۸۶۰.
- ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، کرمی، مهناز، (۱۳۹۶). ارزیابی خشکسالی و تغییر اقلیم در دوره آتی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو؛ مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگان‌رود- قره‌سو- ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۷، شماره ۲۶، ۱۱۱-۱۲۴.
- خدمتگزار دولتی، معصومه، (۱۳۹۰). تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی روی تصاویر ماهواره‌ای (منطقه سفارود)، استاد راهنما: بنیاد، سید امیراسلام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، گروه جنگل‌داری.

1. Chen et al.
2. Rawat and Kumar
3. Sajikumar and Remya

سلمانی، حسین، ماهینی، عبدالرسول، اونق، مجید، فتح‌آبادی، ابوالحسن، (۱۳۹۷). ارزیابی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبخیز تیل‌آباد استان گلستان طی دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده، اکوهیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۲، ۳۹۹-۴۱۸.

شفایی، مریم، فاخری‌فرد، احمد، دین‌پژوه، یعقوب، میرعباسی نجف‌آبادی، رسول، (۱۳۹۵). مدل‌سازی تابع توزیع توام چهار بعدی ویژگی‌های مهم سیل با استفاده از ساختار سی-واین، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۳، جلد ۱۰، ۳۲۷-۳۳۰.

رحمانی، ناصر، شاهدی، کاکا، سلیمانی، کریم، یعقوب‌زاده، میرحسن، (۱۳۹۵). ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه آبخیز کسلیان، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، دوره ۷، شماره ۱۳، ۲۳-۳۲.

فروتن، سحر، ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، صفری شاد، مهتاب، (۱۳۹۸). تأثیر تغییر کاربری اراضی و توسعه فیزیکی شهر بر تغییرات رواناب سیلاب شهری با استفاده از روش NRCS-CN؛ مطالعه موردی: شهر اسدآباد، نشریه علمی پژوهشی هیدروژئومورفولوژی تبریز، سال ۵، شماره ۲۰، ۱-۲۰.

فیضی‌زاده، بختیار، (۱۳۹۶). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۳، شماره ۱۱، ۲۱-۳۸.

کاظمی، سارا، ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، (۱۳۹۷). اثر تغییر کاربری اراضی و خشکسالی بر رواناب حوضه زاگرس مرکزی؛ مطالعه موردی: حوضه تویسرکان، نشریه مطالعات مناطق خشک، دانشگاه حکیم سبزواری، دوره ۸، شماره ۳۱، ۲۳-۴۱.

کرمی، فریبا، اسماعیل‌پور، مرضیه، (۱۳۹۳). برآورد رواناب با استفاده از مدل هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی؛ مطالعه موردی: حوضه دریان چای، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۱، شماره ۱، ۱۴۵-۱۵۷.

مهدوی، محمد، (۱۳۹۰). هیدرولوژی کاربردی، جلد ۲، چاپ ۸، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

ندیمی، نادیا، ملکیان، آرش، طلایی، سمیرا، (۱۳۸۹). ارزیابی مدل WinTR_55 در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه آبخیز ینگجه، ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۸ صفحه.

نوری، فاطمه، زینی‌وند، حسین، (۱۳۹۳). برآورد دبی حداکثر سیلابی با مدل Win TR-55 در حوضه آبخیز بکرآباد، اولین کنگره ملی زیست‌شناسی و علوم طبیعی مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، انجمن حمایت از طبیعت ایران، تهران، ۹ صفحه.

وفاخواه، مهدی، جوادی، محمدرضا، نجفی مجد، جوان‌شیر، (۱۳۹۴). تأثیر تغییر کاربری اراضی بر مقدار رواناب در حوضه آبخیز چالوس‌رود، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۲، ۲۱۱-۲۲۰.

یوسفی، صالح، تازه، مهدی، میرزایی، سمیه، مرادی، حمیدرضا، توانگر، شهلا، (۱۳۹۳). مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی؛ مطالعه موردی: شهرستان نور، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال ۲، شماره ۳، ۶۷-۷۶.

- Chen, Y., Xu, Y., Yin, Y., (2009). **Impacts of Land Use Change Scenarios on Storm-Runoff Generation in Xitixi Basin, China**, Quaternary International, Vol 208: 121- 128.
- Dams, J., Dujardin, J., Reggers, R., Bashir, I., Canters, F., Batelaan, O., (2013). **Mapping impervious surface change from remote sensing for hydrological modeling**, Journal of Hydrology, Vol 485: 84- 95.
- Gumindoga, W., Rientjes, T.H.M., Haile, A.T., Dube, T., (2015). **Predicting streamflow for landcover changes in the Upper Gilgel Abay River Basin, Ethiopia: A TOPMODEL based approach**, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Vol 76, 3- 15.
- Miller, J.D., Kim, H., Kjeldsen, T.R., Packman, J., Grebby, S., Dearden, R., (2014). **Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover**, Journal of Hydrology, Vol 515: 59- 70.
- Rawat, J.D., Kumar, M., (2015). **Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India**, The Egeptyan Journal of Resmoet Senaing and space scinces, Vol 18:77- 84.
- Sajikumar, N., Remya, R.S., (2014). **Impact of land cover and land use change on runoff characteristics**, Journal of Environmental Management, Vol 161: 460- 468.
- Sathish Kumar, D., Arya, D.S., Vojinovic, Z., (2013). **Modeling of urban growth dynamics and its impact on surface runoff characteristics**. Computers, Environment and Urban Systems, Vol 41: 124-135.
- Siriwardena, L., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., (2006). **The impact of land use change on catchment hydrology in large catchment: The Comet River, Central Queensland, Australia**, Journal of Hydrology, Vol 326: 199- 214.
- Valders, J.B., Fialloand Y., Rodriguez-Iturbe, I., (1979). **A rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH**, Water Resour. Res, Vol 15 (6): 1421- 1434.
- Yan, B., Fang, N.F., Zhang, P.C., Shi, Z.H., (2014). **Impact of landuse change on watershed streamflow and sediment yield: An assessment using hydrologic modelling and partial least squares regression (The Case Study: China)**, Jornal of Hydrology, Vol 484: 26- 37.
- Zhou, Q., Ou, X., Zhang, Z., Yang, M., (2008). **Spatial-Temporal Land Use Pattern Changes in Manwan Hydropower Station Reservoir of Lancang River, Yunnan, China**, Journal of Mountain Science, Vol 26 (4): 481- 489.

