

Research Paper

Flood Risk Assessment Using a Combination of Cellular Automated and SCS Models In the Northern Slopes of Central Alborz (Case Study: Lavijrood Watershed)

Sadroddin Motevalli*

1- Associate Professor, Department of Geography, Islamic Azad University, Nour Branch.

Received: 2021/12/14

Revised: 2022/02/13

Accepted: 2022/02/19

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/jzpm.2022.29573.4027

Keywords:

Flood Risk Assessment, Cellular Automata, SCS, the Northern slopes of Central Alborz, Lavijrood Watershed.

Abstract

Population growth, accumulation of capital and the expansion of urbanization in places prone to danger, lead to the emergence of urban society with high vulnerability to accidents. The increasing development of societies and the complexity of their internal and external relations, the importance of management and planning in reducing disasters and their effects on human settlements is becoming increasingly apparent.

The northern slopes of the Central Alborz, especially the Lavijrood watershed, mainly due to topographic and physiographic conditions, climatic conditions, non-compliance with technical specifications in the construction of roads and technical buildings and encroachment on the river, geology and other factors affecting runoff, have the potential for flood production is at certain times of the year. In this research, we investigated the performance of the cellular automata (CA) and SCS model as a suitable estimation method, and examined the possibility of integrating the method with the ArcGIS application to simulate the flood hazards and the hydrograph flow for the Lavijrood. The runoff height and the flood hazard were obtained through the SCS method. The flood simulation using the SCS method requires the data of land use, hydrologic groups of soils, Digital Elevation Map (DEM), rainfall, and the roughness coefficient of the basin. The raster format of all these layers was prepared with cell sizes of 30×30 m. A large part of the Lavijrood watershed belongs to the hydrological groups C and D, which have a very low permeability. This means that a large volume of rainfalls converts into runoffs. Due to the low permeability and the vicinity to the watershed outlet, the northern half, especially in the northwest of the watershed, has a very high runoff depth and height. Also, the flood risk is high in Lavijrood River route and its surrounding area especially at the downstream. The runoff simulation in this watershed showed that land use, soil, permeability, slope, and the geographical distribution of rainfalls are the most important factors that control runoffs and their movement to downstream locations to produce floods.

Citation: Motevalli, S., Flood Risk Assessment Using a Combination of Cellular Automated and SCS Models: the Northern Slopes of Central Alborz (Case Study: Lavijrood Watershed): Journal of Regional Planning, 2022, 12 (45): 261-282.

*Corresponding Author: Sadroddin Motevalli

Address: Associate Professor, Department of Geography, Islamic Azad University of Nour Branch

Tell: 09111212312

Email: sadr_motevalli@iaunour.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The northern slopes of the Central Alborz, especially the Lavijrood watershed, mainly due to topography and physiography, climatic conditions, non-compliance with technical specifications in the construction of roads and technical buildings and encroachment on the river, geology and other factors affecting runoff, have The potential for flood production is at certain times of the year.

Methodology

In this study, the efficiency of cellular automation and SCS models as new methods and the possibility of combining them with GIS programs to simulate flood risk and flow hydrograph for Lavij River were studied. Land use data, soil hydrological groups, DEM, precipitation data and roughness coefficient were used. All layers were prepared in the form of 30 * 30 cell size rasters.

Results and Discussion

A large part of the basin has hydrological groups C and D that have low and very low

permeability; This means that a large amount of rainfall in these areas can turn into runoff. The northern half, especially the northwestern part of the basin, has a high runoff height and depth due to its low permeability and proximity to the basin outlet. Also, the risk of floods along the Lavij River and in the surrounding lands (river floodplain), especially downstream of the river is high.

Conclusion

Flood simulation in Lavijrood basin showed that in addition to land use, soil, permeability and slope, spatial distribution of rainfall is an important factor in runoff accumulation to one side of the downstream basin and flood production.

مقاله پژوهشی

ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق مدل‌های اتومات سلولی و SCS در دامنه‌های شمالی البرز مرکزی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لایوچ‌رود)

صدرالدین متولی^{*۱}

۱- دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.

چکیده

رشد جمعیت، تجمع سرمایه‌ها و گسترش شهرنشینی در مکان‌های مستعد خطر، منجر به پدید آمدن جامعه شهری با آسیب‌پذیری بالا در برابر سوانح می‌گردد. توسعه روز افزون جوامع و پیچیده شدن روابط درونی و خارجی آنها، اهمیت پرداختن به مدیریت و برنامه‌ریزی در کاهش بلایا و اثرات آنها بر سکونتگاه‌های انسانی را بیش از پیش نمایان می‌کند.

دامنه‌های شمالی البرز مرکزی بویژه حوضه آبخیز لایوچ‌رود عمدتاً به دلیل وضعیت توپوگرافی و فیزیوگرافی، موقعیت اقلیمی، عدم رعایت مشخصات فنی در احداث راه و ابنیه فنی و تجاوز به حریم رودخانه، زمین‌شناسی و دیگر عوامل مؤثر در ایجاد رواناب، دارای پتانسیل تولید سیل در برخی از مواقع سال می‌باشد. در این پژوهش کارایی مدل‌های اتومات سلولی و SCS به منزله روش‌های نوین و امکان تلفیق آن‌ها با برنامه‌های GIS برای شبیه‌سازی خطر سیلاب و هیدروگراف جریان برای لایوچ‌رود مطالعه شد. از داده‌های کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، DEM، داده‌های بارش و ضریب زبری استفاده شد که همه لایه‌ها در قالب رسترهای با اندازه سلول ۳۰×۳۰ تهیه شدند. بخش زیادی از حوضه دارای گروه هیدرولوژیکی C و D است که نفوذپذیری کم و خیلی کم دارند؛ بدین معنی که حجم زیادی از بارش در این قسمت‌ها می‌تواند تبدیل به رواناب شود. نیمه شمالی بویژه شمال غربی حوضه، به دلیل قابلیت نفوذ کم و نیز نزدیکی به خروجی حوضه، دارای ارتفاع و عمق رواناب بسیار زیادی است. همچنین، خطر سیلاب در مسیر رودخانه لایوچ و در اراضی اطراف آن (دشت سیلابی رودخانه) بویژه در پایین‌دست رودخانه بالاست. شبیه‌سازی سیلاب در حوضه لایوچ‌رود نشان داد که افزون بر کاربری اراضی، خاک، نفوذپذیری و شیب، پراکنش مکانی مقدار بارش عامل مهمی در تجمع رواناب به یک سمت از جریان پایین‌دست حوضه و تولید سیلاب است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/jzpm.2022.29573.4027

واژه‌های کلیدی:

ارزیابی خطر سیلاب، اتومات سلولی، SCS، دامنه‌های شمالی البرز مرکزی، حوضه آبخیز لایوچ‌رود.

* نویسنده مسئول: صدرالدین متولی

نشانی: دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.

تلفن: ۰۹۱۱۱۲۱۲۳۱۲

پست الکترونیکی: sadr_motevalli@iaunour.ac.ir

مقدمه

سیلاب از جمله پدیده‌های طبیعی است که رخداد آن در طبیعت از قانون‌مندی‌های خاص خود پیروی می‌کند؛ ولی تشدید وقوع و تکرار آن به فعالیت‌های انسان در طبیعت بستگی دارد. مدیریت سیلاب در قالب پیشگیری نقش موثری در کاهش خسارات ناشی از آن دارد، اما با شرایط موجود حذف اثرات و خطرات آن سخت و پیچیده است. دلایل آن متعدد بوده که از جمله آنها، بی‌برنامگی، محدودیت‌های مالی، دانش محدود، ضعف در نظارت و اجرا در مناطق است که سبب خسارات جانی و مالی زیادی به مناطق طبیعی و انسان ساخت در اکثر نقاط ایران بویژه در دامنه‌های شمالی البرز شده است.

یکی از اصول اولیه برای کاهش خطرات سیلاب تعیین رواناب اوج سیلاب است (Motevalli et al, 2021: 43). با توجه به فقدان ایستگاه‌های هیدرومتری در اکثر حوضه‌های آبخیز، توسعه روش‌های تخمین رواناب برای این حوضه‌ها ضروری است (Khaleghi & Malekani, 2016: 590). روش‌های گوناگونی برای تخمین رواناب در حوضه‌های فاقد آمار وجود دارد؛ یکی از روش‌های نوین اتومات سلولی است؛ این روش در پژوهش‌های مربوط به آب و محیط زیست تلفیق خوبی با GIS پیدا کرده است (Zhan & Huang, 2004: 876; Dewan et al, 2007: 1603; Kopp & Noman, 2008: 37; Abou El-Magd et al, 2010: 82; Haq et al, 2012: 137; Kumar & Mohan, 2014: 26; Elkhrachy, 2015: 262). اتومات سلولی روشی ساده برای بررسی سیستم‌های دینامیکی است و می‌تواند ویژگی‌های طبیعی سیستم را در سطوح گوناگون توصیف کند. به بیانی دیگر، رویکرد اتومات سلولی روشی قوی برای توصیف، فهم و شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های پیچیده است. در اتومات سلولی دسته‌ای از قوانین ویژه برای نمایش ارتباط بین یک سلول و همسایگانش تعریف می‌شود (Khaleghi & Malekani, 2016: 592).

این مقاله به‌عنوان یک پژوهش علمی می‌تواند بستری برای معرفی استفاده از تکنیک‌های نوین در مطالعات محیطی و رودخانه‌ای باشد تا با بهره‌گیری از این روش‌ها بتوان به یافته‌های علمی و شناخت قابل اعتمادی از شرایط شبیه‌سازی مکانی سیلاب در حوضه‌های آبخیز دست پیدا کرد. این یافته‌ها می‌تواند به درک چگونگی شکل‌گیری و روند گسترش سیلاب در یک حوضه آبخیز بر اساس پارامترهای هیدرولوژیکی، فیزیوگرافی و کاربری اراضی کمک نماید.

وقوع سیلاب در حوضه آبخیز لایچ‌رود تاکنون، باعث آسیب رساندن به شبکه آبرسانی، پل‌ها و آب‌بندان‌ها، اراضی و نهرهای کشاورزی و باغی، شکسته شدن تیرهای برق، ریزش سنگ و

رائش زمین، آبرگرفتنی معابر و تخریب راه‌های ارتباطی، منازل و مغازه‌ها و آسیب‌های جانی بویژه در مناطق روستایی شده است. بر اثر بارندگی‌های شدید و مداوم و جاری شدن سیل در حوضه لایچ‌رود در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸، برخی از معابر و راه‌های ارتباطی، دیواره‌های رودخانه، زمین‌های کشاورزی و واحدهای مسکونی دچار تخریب شده‌اند. تخریب پوشش گیاهی به گونه مستقیم و غیر مستقیم نیز خسارات ناشی از سیلاب را چند برابر کرده است. متأسفانه فعالیت‌های غیر مجاز و بعضاً مجاز اشخاص حقیقی و حقوقی در قطع درختان بویژه در قسمتهای بالادست نواحی روستایی لایچ‌رود و قرار دادن درختان در مسیر رودخانه بعضاً سبب شده تا درختان در زمان بارش زیاد باران، توسط آب رودخانه به مناطق پایین دست حمل گردیده و با بستن دهانه پل‌ها و مجاری باریک و در نتیجه انحراف آب، خسارات جانی و مالی زیادی را در مناطق روستایی لایچ، شهرچمستان و نیز روستاهای جلگه‌ای ایجاد نمایند. افزون بر آثار ملموس و مستقیم سیلاب در سطح حوضه مورد بررسی، هر ساله به واسطه وقوع سیلاب‌های بزرگ، فرسایش کناره‌ای قابل ملاحظه‌ای در رودخانه لایچ اتفاق می‌افتد که خود می‌تواند باعث از دسترس خارج شدن بخش قابل توجهی از خاک حاصلخیز سطح حوضه شود. برای مثال می‌توان از زیر برفی حاشیه بستر رودخانه در پای دامنه روستای دیزین کلا نام برد که سبب شده تا این روستا در معرض خطر حرکت‌های توده‌ای زمین قرار گیرد. با توجه با موارد ذکر شده، شبیه‌سازی خطر سیلاب این حوضه به‌منظور کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب ضروری می‌کند و مدل اتومات سلولی روشی مناسب برای تخمین رواناب و سیلاب است. با توجه به قابلیت رویکرد اتومات سلولی، می‌توان با داده‌های ورودی ساده همانند مدل ارتفاعی رقمی و دبی رخداد سیلاب و میزان گسترش آن را تخمین زد و میزان ارتفاع آب ناشی از سیلاب را ارائه داد. آگاهی از این مسأله می‌تواند در کاهش اثرات سیل و مدیریت بهینه این پدیده مخرب مؤثر واقع شود. بنابراین، هدف اصلی پژوهش حاضر شبیه‌سازی خطر سیلاب با استفاده از مدل‌های اتومات سلولی و SCS بر پایه GIS و RS در حوضه آبخیز لایچ‌رود است تا مشخص شود که چه بخش‌هایی از سطح حوضه خطر سیلاب بیش‌تری داشته و از خسارت‌های جانی و مالی ناشی از سیل تا حد امکان کاسته شود. با اجرای این مدل، مناطق پرخطر به‌لحاظ سیل در گستره حوضه آبخیز لایچ‌رود مشخص شده و مقدار دبی سیلابی رودخانه در بازه‌های گوناگون آن در طی زمان محاسبه خواهد شد.

پیشینه پژوهش و مبانی نظری

از جمله ویژگی‌های اتومات سلولی این است که فضا و زمان به‌صورت گسسته پیش می‌روند. اتومات همگن است و عمل

Gibson و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهشی با عنوان دقت و کارایی محاسباتی مدل سازی دو بعدی سیلاب سطح شهر بر پایه اتومات سلولی، از داده‌های LIDAR با وضوح بالا (یک متر یا کمتر) استفاده کردند. نتایج نشان داده است که لوله های توزیع آب و فاضلاب در انگلستان با بیش از ۷۰۰,۰۰۰ کیلومتر طول نشان‌دهنده خطر بزرگ در وقوع سیلاب‌های ناشی از تخلیه فاضلاب یا قطع لوله‌های توزیع می‌باشد.

روش‌های گوناگونی هم برای تخمین رواناب در حوضه‌های فاقد آمار وجود دارد؛ یکی از این روش‌ها SCS است. روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) که به شماره منحنی (CN) معروف است، با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک، وضعیت هیدرولوژیکی زمین و نیز کاربری اراضی و شرایط رطوبت قبلی خاک، مقدار رواناب حاصل از یک بارش را در بخش‌های گوناگون حوضه برآورد می‌کند و نیاز به تعیین شماره منحنی دارد. گروه هیدرولوژیکی خاک، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، اندازه گیری‌های حفاظت خاک و وضعیت رطوبت خاک پیشین، خصوصیات اصلی مورد استفاده حوضه آبخیز برای بدست آوردن شماره منحنی رواناب می‌باشند. در زمینه تعیین شماره منحنی و برآورد ارتفاع رواناب یک حوضه آبخیز پژوهش‌های گوناگونی صورت گرفته است (Lewis et al, 2000: 49; June et al, 2001: 87; Foodi et al, 2004: 49; Inci et al, 2006: 530; Xiao et al, 2011: 740; Soulis & Valiantzas, 2012: 1003; Saravanan & Manjula, 2015: 910; Vinithra & Yeshodha, 2016: 2323; Satheeshkumar & Venkateswaran, 2017: 3; Hejazi & Mezban, 2017: 65; Mostafazadeh et al, 2017: 16; Hosseinzadeh et al, 2018: 136).

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل‌های اتومات سلولی و SCS نیاز به داده‌های کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، DEM، داده‌های بارش و ضریب زبری حوضه داشت که همه این لایه‌ها در قالب رستر و با اندازه سلول ۳۰×۳۰ متر تهیه شدند. بر اساس روش SCS، ارتفاع رواناب و خطر سیلاب در حوضه آبریز بدست آمد. شکل یک فرآیند پژوهش را نشان می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است که برای برآورد ارتفاع رواناب در مدل SCS از داده‌های بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۳۵ ساله (۱۳۶۲-۱۳۹۶) و همچنین، اطلاعات کاربری اراضی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۸۵ در کنار اطلاعات مربوط به بافت خاک و گروه‌های هیدرولوژیک آن، گروه رطوبتی خاک، شیب و پوشش اراضی استفاده شد. در نهایت، بر اساس مدل موج سینماتیک، عمق جریان و بر طبق معادله مانینگ و عمق جریان

به‌روزرسانی به صورت همگام انجام می‌شود. قوانین بر اساس همسایه‌های هر سلول تعریف می‌شوند و می‌توانند فرم قطعی و احتمالی داشته باشند (Van et al, 2007: 145). فیهیمی فر و همکاران (۱۳۸۵) بیان کردند که مزایای اتومات سلولی شامل سرعت، فضای گسسته، محلی بودن و موازی بودن است. از مهم ترین کارهای پژوهشی و کاربردی در زمینه شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل اتومات سلولی می‌توان به کار خالقی و ملکانی در سال ۱۳۹۵ با عنوان شبیه‌سازی خطر سیلاب با استفاده از مدل اتومات سلولی بر پایه GIS (مطالعه موردی: حوضه آبریز چرچر)، اعلمی و همکاران در سال ۱۳۹۴ با عنوان مدل سازی بارش - رواناب با استفاده از مدل اتوماتی سلولی و ثانی‌خانی و همکاران در سال ۱۳۹۱ با عنوان شبیه‌سازی رواناب و فرسایش خاک با استفاده از روش اتوماتای سلولی اشاره کرد.

Aboudagga (۲۰۰۵)، در پژوهشی با عنوان شبیه‌سازی سیلاب ناحیه Littoral - Langon در کشور کانادا با استفاده از مدل اتومات سلولی صورت گرفته است، از مقایسه نتایج این شبیه‌سازی با سایر روش‌های موجود مشخص شد که این روش به میزان ۱۸ درصد نتایج دقیق‌تر و قابل قبول‌تری را نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهد.

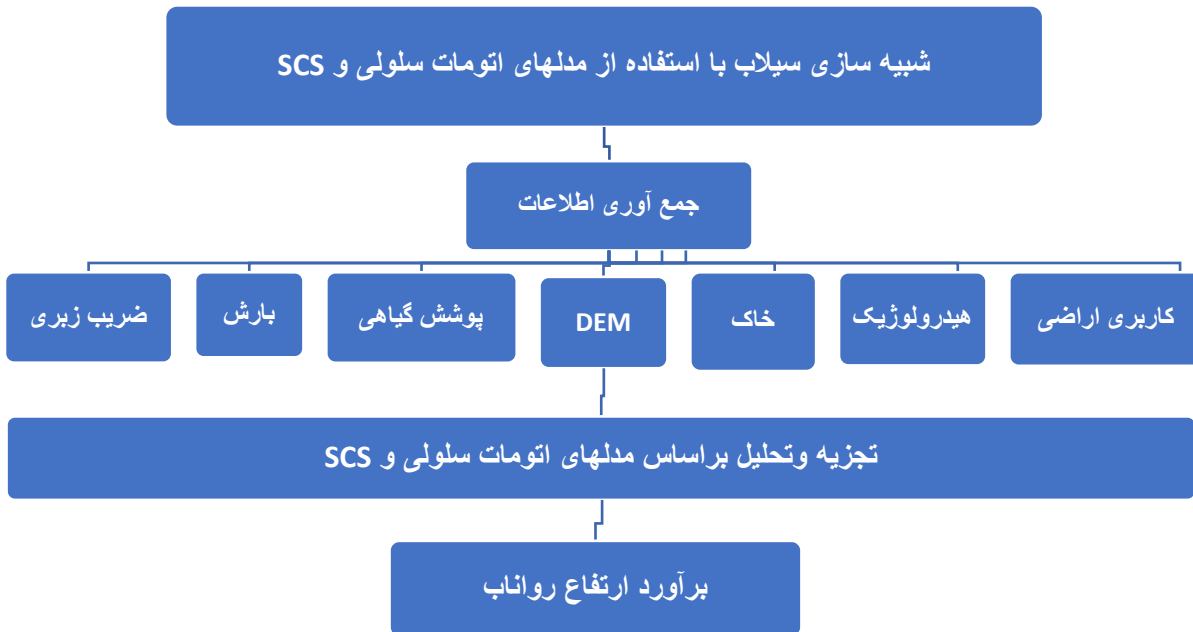
Wu و همکاران (۲۰۰۵)، در پژوهش خود با عنوان مدل مسیریابی یک حوضه آبخیز بر پایه GIS و اتومات سلولی، از ترکیب اصول پایه مدل‌های هیدرولوژیکی و اتومات سلولی، سیستم شبیه‌سازی به نام HydroCA طراحی کرده‌اند.

Douvinet و همکاران (۲۰۰۷)، در پژوهشی با عنوان استفاده از اتومات سلولی در جغرافیای طبیعی، از این مدل برای ارزیابی تأثیرات مورفولوژیکی بر هیدرولوژی حوضه در خلال تمرکز فوق‌العاده سیلاب‌ها در حوضه پاریس استفاده نموده و بیان کردند که ترکیب توپوگرافی و مساحت رواناب و شیب می‌تواند توزیع پیچیده تمرکز جریان در زمان و فضا را توضیح دهد.

Douvinet و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی دیگر با عنوان اندازه‌گیری تمرکزهای جریان سطحی با استفاده از اتومات سلولی: روشی نوین برای تعیین اثرات احتمالی سیلاب‌های ناگهانی در محیط رسوبی، از این روش برای محاسبه خسارات احتمالی ناشی از سیلاب‌های ناگهانی در ۵ خشک‌رود (مسیل) کوچک در شمال فرانسه (حوضه پاریس) استفاده کردند.

Cai و همکاران (۲۰۱۴)، پژوهشی را با عنوان مدل ریاضی برای مسیریابی سیلاب بر پایه اتومات سلولی انجام داده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد سیلاب در همه جهات به‌گونه هم‌زمان گسترش نمی‌یابد، بلکه نخست به سمت مناطق پایین‌دست جریان می‌یابد و این مناطق را به سرعت می‌پوشاند.

رواناب در سلول‌ها، سرعت جریان محاسبه شد و از روی سرعت جریان، هیدروگراف سیل ترسیم شد.



شکل ۱- فرآیند پژوهش شبیه سازی سیلاب با استفاده از مدل‌های اتومات سلولی و SCS (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

روش SCS

بهترین روش برای محاسبه بارش اضافی سلول استفاده از رابطه SCS است؛ بدین منظور لازم است نقشه CN بدست آید. سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) در سال ۱۹۷۲ برای تخمین رواناب از روی رگبارها، ویژگی‌های نفوذپذیری خاک، پوشش گیاهی و مدیریت کشت حوضه‌های آبخیز روشی ارائه کرده است. این سازمان، پس از مطالعات فراوان روی رگبارها (P) و جریان سطحی ناشی از آن‌ها (Q)، رابطه بین این دو را تقریباً خط فرض کرد و به شکل رابطه ۱ ارائه کرد.

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

در این رابطه، Q ارتفاع رواناب به میلی‌متر، P بیشینه بارش ۲۴ ساعته به میلی‌متر و S عامل مرتبط به نگهداشت آب در خاک بر حسب میلی‌متر است که از روی مشخصات خاک، پوشش گیاهی، شیب و شرایط رطوبت پیشین خاک عدد بی بعدی به نام شماره منحنی (CN) تعیین می‌باشد که با استفاده از آن و به کمک رابطه ۲ می‌توان S را بدست آورد.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

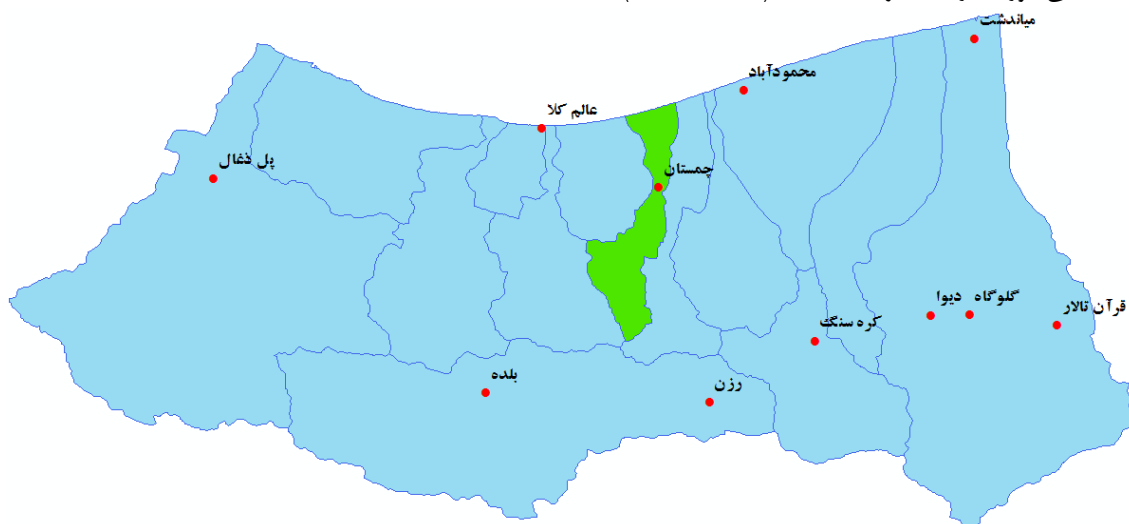
بدین منظور، نخست با استفاده از نقشه بافت خاک اداره منابع طبیعی استان مازندران و نیز بازدیدهای میدانی با بهره‌گیری از جدول سازمان حفاظت خاک آمریکا، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (Hydrographic Soil Groups) حوضه آبخیز لاریج تعیین می‌شود. همچنین، نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز لاریج با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و نیز از اداره منابع طبیعی استان مازندران تهیه می‌شود. سپس بر اساس تلفیق لایه HSG و کاربری اراضی در محیط GIS، نخست نقشه CN برای شرایط نرمال (خاک دارای رطوبت متوسط باشد و شیب بیش‌تر از ۵ درصد نباشد) تهیه می‌شود و براساس روش شرودر و لارسن (۱۹۹۰)، پس از بررسی فراوانی وقوع AMSها (رطوبت پیشین خاک^۱)، وضعیت ماه‌های سال بر اساس نوع AMC خشک شناخته می‌شود و با توجه به شیب دار بودن اراضی حوضه آبخیز لاریج و به دلیل برقرار نبودن شرایط نرمال، تصحیحات بر روی CN با بهره‌گیری از روابط رایج انجام می‌گیرد. بنابراین، از رابطه ۳ برای تبدیل CN نرمال به CN خشک (CN_I) استفاده می‌شود.

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013 \times CN_{II}} \quad (3)$$

¹. Antecedent Moisture Condition

میان ۱۱ ایستگاه مورد استفاده شناسایی شدند. در ادامه، برای تهیه لایه‌های بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته برای هر سال از دوره آماری ۳۵ ساله در سطح منطقه مورد مطالعه، از روش‌های زمین آماری^۱ درون‌یابی در محیط ArcMap استفاده شد.

داده‌های بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی همجوار با موقعیت حوضه مورد مطالعه از ابتدای ثبت آمار آن‌ها تا سال ۱۳۹۶ از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران گردآوری شده‌اند. شکل ۲ موقعیت این ایستگاهها را نسبت به لایوچرود نشان می‌دهد. پس از بررسی این داده‌ها، رخداد‌های بیشینه بارش ۲۴ ساعته طی دوره آماری مشترک ۳۵ ساله (۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶)



شکل ۲- موقعیت ایستگاههای باران‌سنجی اطراف لایوچرود که داده‌های رخداد‌های بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته آن‌ها در دوره آماری ۳۵ ساله (۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶) با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ با تابع دایره‌ای برای شبیه‌سازی سیلاب در این حوضه استفاده شده است. (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

بررسی، گروه هیدرولوژیک خاک می‌باشد. به‌منظور تعیین گروه هیدرولوژیک خاک در حوضه آبخیز لایوچرود، نقشه بافت خاک از اداره منابع طبیعی استان مازندران اخذ شد. بر اساس بافت خاک، و دو پارامتر نفوذپذیری^۵ (جدول ۲) و آبگذری^۶ (جدول ۳)، ویژگی‌های خاک مشخص و گروه هیدرولوژیک آن تعیین شد. برای تهیه لایه شماره منحنی نیاز به داده‌های گروه هیدرولوژیک خاک، انواع پوشش اراضی، کاربری اراضی و شرایط رطوبتی اولیه خاک در سطح حوضه آبخیز وجود دارد. در ابتدا، نقشه CN برای شرایط نرمال (خاک دارای رطوبت متوسط بوده و شیب بیش‌تر از ۵ درصد نباشد)، از تلفیق نقشه‌های گروه هیدرولوژیک خاک (HSG) و کاربری اراضی و به کمک جدول‌های SCS (جدول ۴) تهیه گردید (۱۱).

مقایسه مقادیر RMSE بدست آمده از سه روش درون‌یابی IDW، RBD و Kriging (دایره‌ای^۲، کروی^۳ و گوسین^۴)، نشان می‌دهد که روش کریجینگ با تابع دایره‌ای دارای کمترین خطا و بیش‌ترین دقت در درون‌یابی داده‌های بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته در این پژوهش است (جدول ۱). ذکر این نکته ضروری می‌نماید که دلیل استفاده از آمار ۳۵ ساله بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته ۱۱ ایستگاه نامبرده این است که داده‌های بارندگی از پراکنش مکانی مناسب در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده و تأثیر شرایط توپوگرافی را بر روی میزان بارش دریافتی در بخش‌های گوناگون حوضه آبخیز لایوچرود (از مناطق مرتفع و کوهستانی گرفته تا مناطق دشتی و جلگه‌ای) به‌خوبی منعکس سازد.

مهم‌ترین پارامتر مورد نیاز جهت برآورد رواناب با استفاده از مدل SCS و در ادامه شبیه‌سازی سیلاب در حوضه آبخیز مورد

4. Gaussian
5. Permeability
6. Water flow/ Drainage

1. Geostatistical methods
2. Circular
3. Spherical

جدول ۱- معیارهای آماری بررسی عملکرد و دقت روش‌های زمین‌آمار در درون‌یابی مقادیر بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته

آماره	Kriging			RBD	IDW	روش
	Gaussian	Spherical	Circular			
میانگین	۱/۱	۱/۱	۳/۳	۲/۶	۹	
جذر میانگین مربعات	۳۲/۸	۳۲/۸	۳۲	۳۳	۳۶/۲	
میانگین استاندارد	۰	۰	۰/۱	-	-	
جذر میانگین مربعات استاندارد	۱/۳	۱/۳	۱	-	-	
میانگین خطای استاندارد	۲۵/۳	۲۴/۴	۳۳/۶	-	-	

منبع: نگارنده، ۱۴۰۰

جدول ۲- میزان نفوذ جریان آب در عمق خاک بر اساس بافت خاک (نفوذپذیری)

عمق نفوذ آب در خاک (اینچ/ ساعت)	بافت خاک
۰/۰۵	شن، شن لومی
۰/۱	شن ریز لومی، لوم شنی درشت، بافت تقریباً شنی (گراول)
۰/۱۵	لوم شنی، لوم رسی و شنی، لوم شنی ریز، رس سیلتی، رس شنی، رس
۰/۲	لوم، لوم سیلتی، سیلت، لوم رسی و سیلتی، لوم رسی

منبع: Hosseinzadeh et al, 2018

جدول ۳- تعیین افق سطحی آبگذری خاک با توجه به نوع بافت خاک (آبگذری)

نفوذپذیری	بافت خاک
خیلی آرام	رس سیلتی، رس، رس شنی
آرام	رس، رس شنی، رس سیلتی
آرام متوسط	رس، رس سیلتی یا رس شنی، لوم رسی و سیلتی، لوم رسی
متوسط	لوم سیلتی، لوم، لوم رسی و شنی، لوم رسی و سیلتی
سریع متوسط	لوم شنی درشت تا متوسط، لوم شنی ریز، لوم شنی خیلی متغیر
سریع	شن ریز، شن ریز لومی، بافت ریز لومی
خیلی سریع	شن درشت یا متوسط، بافت تقریباً شنی (گراول)

منبع: Hosseinzadeh et al, 2018

جدول ۴- شماره منحنی گروه‌های هیدرولوژیک خاک بر اساس ویژگی‌های اراضی

D	C	B	A	خصوصیات پوشش سطح حوضه
۷۹	۷۳	۶۰	۳۶	پوشش جنگلی متوسط
۷۷	۷۰	۵۵	۲۵	پوشش جنگلی خوب
۸۴	۷۹	۶۹	۴۹	مراتع طبیعی با پوشش متوسط
۸۰	۷۴	۶۱	۳۹	مراتع طبیعی با پوشش خوب
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	پشت بام‌ها، پارکینگ‌ها و دیگر جاده‌های آسفالتی
۹۲	۹۰	۸۵	۷۷	مناطق مسکونی با ۶۵ درصد آسفالت
۸۴	۷۹	۶۸	۵۱	مناطق مسکونی با ۲۰ آسفالت
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	خیابان‌ها و جاده‌های آسفالتی
۸۹	۸۷	۸۲	۷۲	جاده‌های خاکی
۹۱	۸۹	۸۵	۷۶	جاده‌های شوسه

منبع: Hosseinzadeh et al, 2018

یا جریان نرمال است. در این روش فرض می‌شود که جملات شتاب و گرادیان عمق جریان در معادله کلی مومنتم در مقابل سایر اجزای معادله قابل چشم‌پوشی هستند؛ بدین ترتیب می‌توان جریان را یکنواخت فرض کرد. عمق جریان را می‌توان از رابطه‌ای که اورتون و میدوز ارائه کرده‌اند، بدست آورد (رابطه ۵).

$$y = (\text{niex}/S_0^{0.5})^{0.6} \quad (5)$$

در این رابطه y عمق جریان رواناب بر حسب متر، i_e شدت بارش اضافی بر حسب متر بر ثانیه، n ضریب زبری مانینگ، X فاصله هر سلول در طول مسیر جریان از خروجی بر حسب متر و S_0 شیب بدون بعد است.

قوانین انتقال در CA واقع نحوه گسترش پارامتر مورد بررسی را نشان می‌دهد. قوانین انتقال یا تعیین جهت جریان بر اساس فرضیه انتقال آب از یک سلول با بار پتانسیل بزرگ‌تر به سلول مجاور دارای بار پتانسیل کوچک‌تر انجام می‌گیرد. در صورتی که چندین سلول همسایه دارای بار پتانسیل کم‌تر نسبت به سلول مرکزی باشد، آب به سلولی که اختلاف بار بیش‌تری با سلول مرکزی دارد، جریان می‌یابد. برای سلول‌های همسایه قطری، اختلاف ارتفاع پس از تقسیم بر جذر ۲ با سلول‌های دیگر مقایسه می‌شود. در اینجا قوانین اتومات سلولی همان قوانین فیزیکی شناخته شده در هیدرولوژی است که برای مدل‌سازی رواناب بمنظور تجمیع بارش مازاد از سطح حوضه از روش D8 استفاده می‌شود. یعنی بارش مازاد در جهت شیب حرکت می‌کند و تجمیع می‌شود. روش تعریف شبکه زهکشی روش SFD8⁸ نامیده می‌شود. الگوریتم D8 متداول‌ترین روش برای تعیین جهت جریان است که در این پژوهش از افزونه ArcHydro، که از الگوریتم D8 استفاده می‌کند، در محیط GIS به منظور تعیین جهت جریان در سطح حوضه آبخیز لایج استفاده می‌شود.

در هر گام زمانی و بعد از تعیین حالت‌ها، توزیع جریان بر اساس قانون انتقال (در جهت بیش‌ترین شیب) صورت می‌گیرد. در این مرحله برای محاسبه زمان پیمایش به عرض سلول‌ها و سرعت نیاز است. زمان پیمایش زمانی است که طول می‌کشد آب از یک نقطه حوضه به نقطه دیگر حوضه طی کند. در واقع، زمان پیمایش جزئی از زمان تمرکز است. زمان پیمایش از نسبت طول جریان به سرعت جریان بدست می‌آید. بنابراین، با معلوم شدن عمق جریان در مرحله قبل، با استفاده از رابطه مانینگ، سرعت جریان طبق رابطه ۶ بدست می‌آید. در این رابطه n ضریب مانینگ است و بر اساس جدول ۵ مشخص می‌شود.

در اتومات سلولی فضا به صورت یک شبکه تعریف می‌شود که به هر خانه آن، یک سلول گفته می‌شود. شبکه سلول‌ها می‌تواند ابعاد متفاوتی داشته و یک، دو و یا سه بعدی باشد. همچنین، اشکال گوناگونی از شبکه وجود دارد که به طبیعت پدیده فیزیکی وابسته است؛ شبکه مربعی رایج‌تر از دو نوع دیگر مثلثی و شش گوشه می‌باشد. در این پژوهش، مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) و لایه‌های رستری حاصل از همه پارامترهای مؤثر به صورت یک شبکه‌بندی دو بعدی با ابعاد مشخص 30×30 متر، تشکیل دهنده فضای سلولی مدل اتومات سلولی پیشنهادی است. در CA می‌توان از ساختارهای گوناگونی برای همسایگی استفاده نمود. نوع همسایگی اهمیت بالایی در بروز نمودن حالت یک سلول دارد؛ زیرا تعیین کننده تعداد همسایگان شرکت کننده در قانون انتقال محلی بوده و بر روی شبکه انتقال مابین سلول‌ها تأثیرگذار است. معمول‌ترین آن‌ها همسایگی ون نیومن، مور، اسمیت و کول می‌باشد. با توجه به طبیعت پیکسلی داده‌های سنجش از دور و دیگر منابع و همچنین، برنامه‌نویسی آسان‌تر، بیش‌تر مدل‌های CA در یک شبکه دو بعدی تشکیل می‌شوند. در این پژوهش نیز از یک اتومات سلولی دو بعدی مربعی شکل با شعاع همسایگی یک و شکل همسایگی مور یا هشت‌تایی استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن احتمال پخش و انتقال آب در همه جهات (هر هشت سلول کناری)، شکل همسایگی مور انتخاب می‌شود.

تراز آب در سلول‌ها (H) به عنوان حالت سلول در نظر گرفته شده و از طریق رابطه ۴ محاسبه می‌شود. در این رابطه Z ارتفاع سلول مرکزی است که با توجه به DEM حوضه مشخص می‌شود، H_p ارتفاع ناشی از بارش باران در سلول و H_n ارتفاع آب دریافتی از سلول‌های همسایه است.

$$H = Z + H_p + H_n \quad (4)$$

بدین منظور، برای محاسبه رواناب ناشی از بارش در سلول‌ها از مدل موج سینماتیک استفاده می‌شود؛ با استفاده از این مدل می‌توان به شبیه‌سازی پیشروی جریان اقدام کرد. غالباً عرصه‌های پخش فاقد شیب جانبی است و فقط دارای شیب طولی است. بنابراین، می‌توان جریان یک بعدی و در دو جهت شیب طولی زمین فرض کرد. جریان یک بعدی با سطح آزاد از معادلات St. Venant پیروی می‌کند و شامل دو معادله بقای جرم و مومنتم است. یکی از شیوه‌های حل این معادلات فرض موج سینماتیک

8. Single Flow Direction chosen from 8 possibilities

جدول ۵- مقادیر ضریب زبری مانینگ بر اساس کاربری اراضی و نوع پوشش گیاهی در آبخیز لایوچ رود

توصیف	ضریب زبری (مانینگ)	نوع کاربری / پوشش اراضی
درختان مثمر و باغ	۰/۴	باغ
جنگل انبوه و نیمه انبوه	۰/۸	جنگل
مراعات طبیعی و چمن زار	۰/۲۴	مرتع با پوشش خوب
مراعات طبیعی با تراکم متوسط	۰/۱۳	مرتع با پوشش متوسط
پوشش گیاهی پراکنده، خاک لخت	۰/۰۸	مرتع با پوشش ضعیف
مناطق شهری و روستایی / سطوح صاف مانند آسفالت و بتن	۰/۰۱	مناطق مسکونی
اراضی شخم خورده با زراعت آبی در مناطق کم شیب	۰/۰۵	زراعت آبی
اراضی شخم خورده دیم (پوشش باقیمانده کمتر از ۲۰ درصد)، اراضی آیش (بدون پوشش باقیمانده) در مناطق شیب‌دار	۰/۰۳	زراعت دیم

منبع: نگارنده، ۱۴۰۰

محدوده مورد مطالعه

مساحتی معادل ۳۷,۵ کیلومتر مربع برابر ۳۳,۱ درصد از کل مساحت حوزه را به خود اختصاص داده است.

در حوزه لایوچ رود تقریباً ۴۲ درصد مساحت حوزه از سازند شم شک (ژورا سیک) مرکب از شیل، ما سه سنگ و رگه‌های زغالی، ۳۹ درصد از مساحت حوزه لایوچ از سازند الیکا (تریاس) شامل تناوبی از آهک و دولومیت، مابقی مساحت حوزه از سازندهای رسوبی مانند تیزکوه، نسن و ... تشکیل شده است که لیتولوژی آن‌ها عمدتاً از سنگ آهک می‌باشد. براساس مطالعات امتداد گسل‌ها از شمال تا جنوب حوضه را می‌توان به سه زون مجزا، زون گسله شمال لایوچ، زون میانی (گسل لایوچ) و زون گسل‌های جنوب لایوچ تقسیم کرد (همان منبع، ۱۳۹۲).

میانگین بارش سالانه ایستگاه تنگه لایوچ برای سری زمانی ۴۴ ساله (۱۳۵۲ تا ۱۳۹۵) معادل ۸۱۱ میلی‌متر برمحا سبه شده است. میانگین دمای حوضه لایوچ رود نیز با استفاده از این معادله، ۱۰/۳ درجه سانتیگراد به‌دست آمد با توجه به اختلاف ارتفاع زیاد حوضه، نوسان درجه حرارت بین نقطه خروجی (با ارتفاع ۲۰۰ متر) و مرتفع‌ترین قسمت آن (بیش از ۳۵۰۰ متر) بسیار است و اقلیم حاکم برحوضه نیمه مرطوب تا خنک می‌باشد (همان منبع، ۱۳۹۲)

ضریب شکل هورتن حوضه لایوچ رود ۰/۲۲ محاسبه شده است که با توجه به کم بودن این مقدار، شکل حوضه مورد بررسی کشیده است. ضریب فشردگی گراوولیبوس نیز بیش‌تر از یک (۱/۵۵) به‌دست آمده است که نشان از کشیده بودن حوضه دارد. کشیده بودن شکل حوضه آبخیز لایوچ رود با ضریب شکل میلر نیز قابل مشاهده است چرا که مقدار این ضریب هر چه کمتر از یک باشد، نشان‌دهنده شکل کشیده است. مقدار نسبت طولی

حوضه آبریز لایوچ در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز در جنوب شهر چمستان واقع شده است. حوضه آبخیز لایوچ رود بین عرض‌های جغرافیایی ۱۶° ۳۶' تا ۳۰° ۲۷' شمالی و طول جغرافیایی ۵۸' ۵۱' تا ۵۲' ۵' شرقی واقع شده است (شکل ۳). این حوضه با مساحتی معادل ۱۱۶ کیلومتر مربع از غرب به حوضه گلندرد، از شرق به حوضه واز و از جنوب به حوضه آبخیز هراز منتهی می‌شود. حوضه دارای جهت شمالی- جنوبی می‌باشد و سطح اساس رودخانه‌ی این حوضه دریای خزر است.

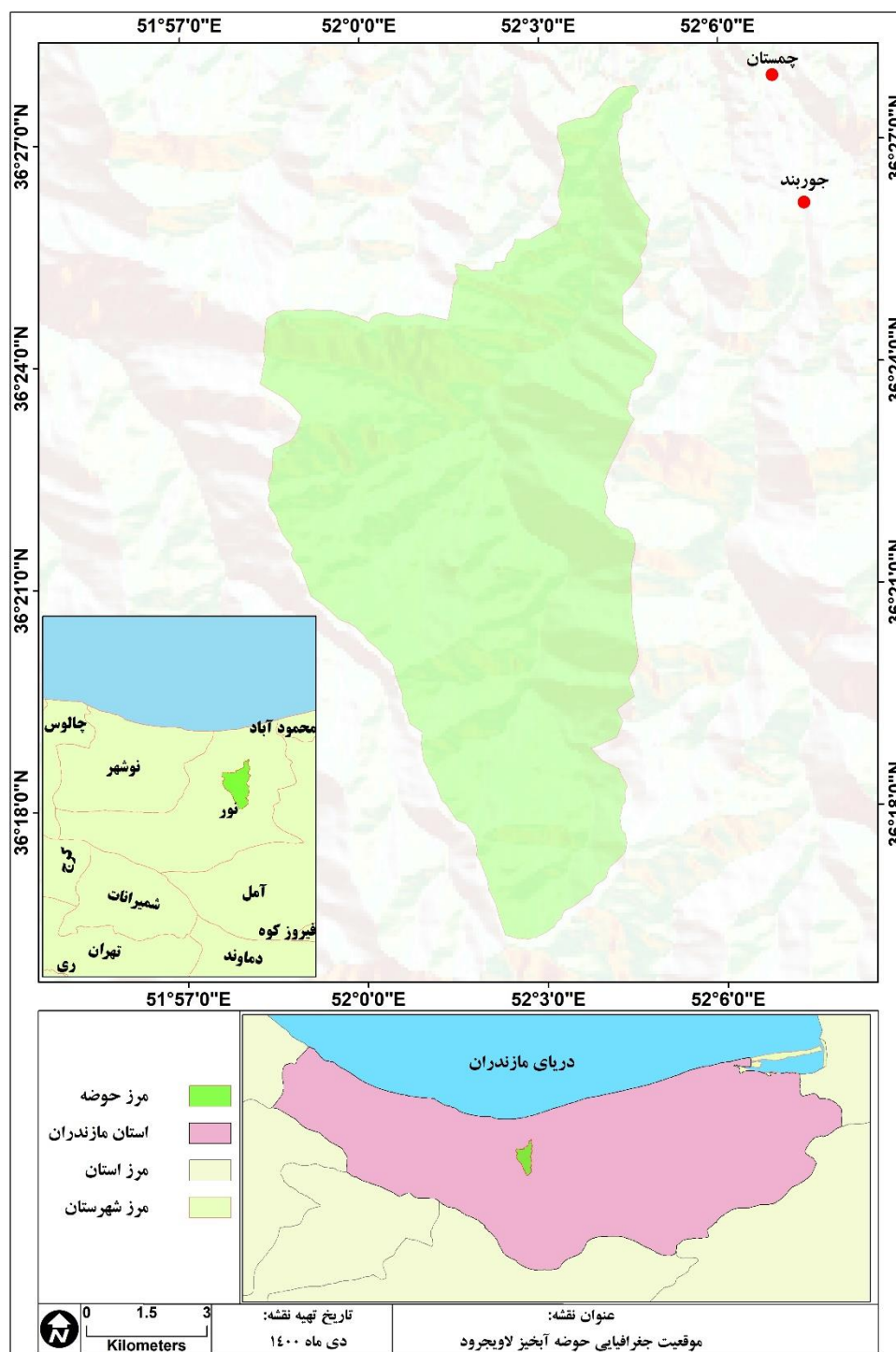
لایوچ در حدود بیست کیلومتری جنوبغرب شهر چمستان واقع شده و جزئی از شهرستان نور، استان مازندران بشمار می‌رود.

حوضه آبخیز لایوچ رود، منطقه‌ای نیمه مرتفع و نیمه کوهستانی و بیلاقی و یا به‌بیانی بهتر و دقیق‌تر و به اصطلاح معروف، میان‌بند است. لایوچ از اطراف به‌وسیله کوه‌های زیر احاطه شده است: از شمال ارتفاعات کوه طارم یا نسالو و پیش‌آمدگی کوه سیلم، از جنوب به‌وسیله ارتفاعات پوشیده از جنگل نومه، میله‌بن و نیسم، از شرق ادامه نسالو و از غرب به‌وسیله ارتفاعات جنگلی نارمک، اسپه سنگ، کوه سیلم و سوردار. مهم‌ترین اشکال ریخت‌شناسی حوضه آبخیز شامل دره‌ها، دامنه‌های با شیب و جهات متعدد با غلبه شیب جنوب به شمال، اشکال آهکی، زمین لغزش و غیره می‌شود. در برخی قسمت‌ها به‌خصوص در قسمت سرآب حوضه، دره‌ها عموماً V شکل بوده و در قسمت‌های میانی دره عموماً U شکل می‌باشند؛ دره‌های تشتی شکل نیز در این حوضه بسیار نادر هستند (متولی و همکاران، ۱۳۹۲). بیشینه ارتفاع محدوده مورد مطالعه ۳۵۶۷ متر می‌باشد که در حد نهای جنوب حوزه قرار گرفته است. بیش‌ترین میزان شیب حوضه بین ۲۰ تا ۴۰ درصد بوده که

شیب آن کم‌تر از قسمت سراب و اغلب شاخه‌های فرعی در این قسمت به رودخانه می‌پیوندند و دبی رودخانه به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. در قسمت پایاب رودخانه شیب خود را از دست داده و محلی برای برجای گذاری بار رسوبی است. با توجه به پروفیل طولی آبراهه اصلی حوضه لایویج، شیب خالص آبراهه اصلی این حوضه ۸/۶ درصد می‌باشد. زمان تمرکز حوضه براساس روش‌های چاو و کرپیچ بترتیب ۱،۵۶ و ۱،۷۲ ساعت می‌باشد. از کل مساحت حوضه ۸۷،۴ درصد اراضی جنگلی و ۱۲،۶ درصد اراضی کشاورزی به خود اختصاص داده است (همان منبع، ۱۳۹۲).

شبیوم نیز کم‌تر از ۰/۷ (۰/۵۸) محاسبه شده که این مقدار نیز تأییدی بر کشیده بودن شکل حوضه آبخیز لایویج رود است. رود مهم حوضه آبخیز لایویج رود نام دارد؛ سه رود کوچک‌تر به نام‌های نومه هراز، تیلن رود و کرچی رود در قسمت داخلی منطقه لایویج جریان دارند که در پای ارتفاعات شمالی و در مدخل تنگه لایویج، رودخانه لایویج رود را بوجود می‌آورند. مهم‌ترین شاخه لایویج رود، نومه هراز است. رودخانه کرچی رود از کنار روستاهای بهینک و کرچی عبور می‌کند و رودخانه تیلن رود از کنار روستاهای خطیب کلا و وسط روستای رئیس کلا می‌گذرد. رودخانه نومه هراز از میان روستاهای کیاکالا، ملا کلا، سادات محله و ملا محله عبور می‌کند.

بر اساس نیمرخ طولی رودخانه لایویج رود، در قسمت سراب شیب آن تند و سرعت آب در این قسمت زیاد، در قسمت میانی



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز لایوچرود (منبع: Motevalli et al, 2013)

هیدرولوژیک خاک و زمین‌شناسی حوضه می‌توان بیان کرد که لایه‌های مارن و آهک‌های توده‌ای ضخیم لایه در گروه هیدرولوژیک D، لایه‌های شیل، رس‌سنگ و سنگ آهک‌های دولومیتی ضخیم لایه در گروه هیدرولوژیک C، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و شیل‌های کربن‌دار در گروه هیدرولوژیک B و بخش‌هایی از لایه‌های ماسه - سنگی در گروه هیدرولوژیک A جای دارند. در ادامه، بر اساس تلفیق نقشه‌های HSG و کاربری اراضی و به کمک جداول SCS، نخست نقشه CN برای شرایط

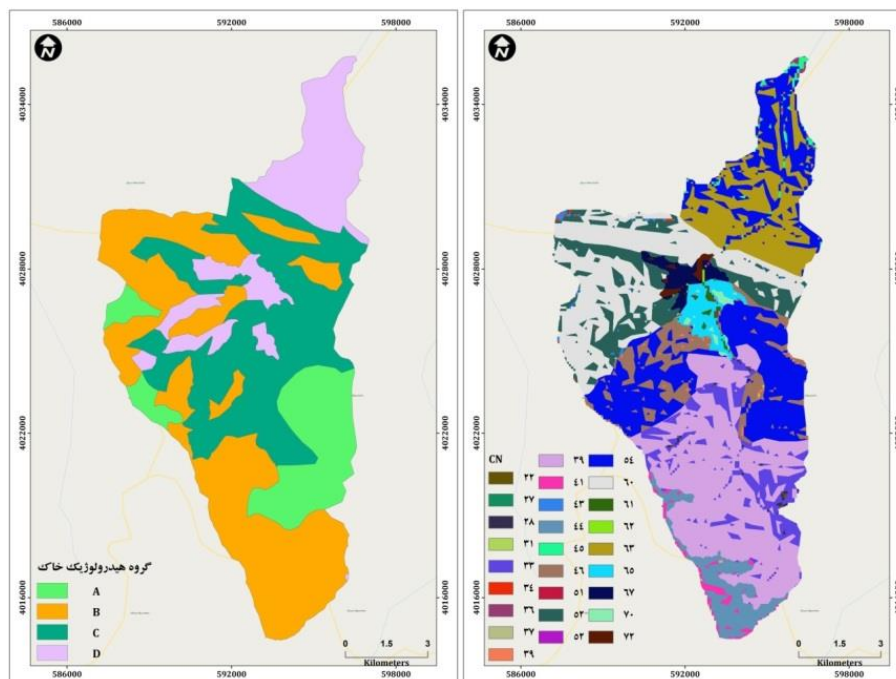
یافته‌های پژوهش

نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه بر اساس لایه خصوصیات بافت و عمق خاک (نفوذپذیری و آب‌گذری) آماده شد که در شکل ۴ آورده شده است. حوضه مورد بررسی دارای چهار گروه هیدرولوژیکی خاک شامل A، B، C و D می‌باشد که از نظر وسعت و گستردگی، گروه C دارای بیش‌ترین مساحت است که پتانسیل تولید رواناب بالایی دارد. با انطباق نقشه‌های گروه

رطوبت متوسط خاک تهیه گردید. شکل ۵ نقشه شماره منحنی تعدیل شده برای حوضه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

نرمال تهیه شد. با توجه به شیب‌دار بودن حوضه آبخیز لایچ‌رود و به دلیل برقرار نبودن شرایط نرمال، نخست با دخالت دادن شیب، شماره منحنی تعدیل شد و سرانجام شماره منحنی برای شرایط

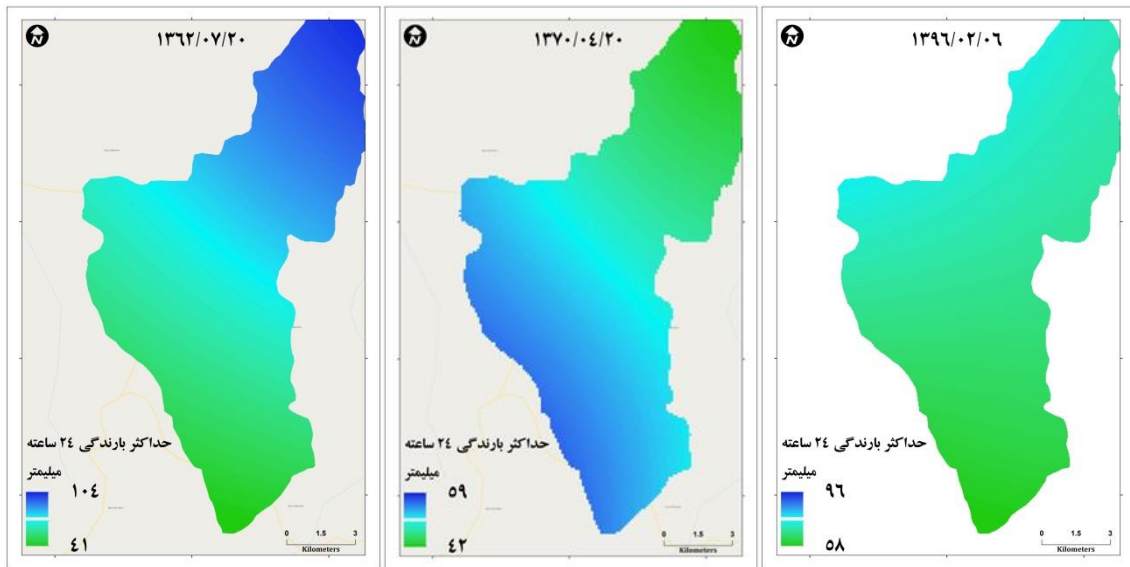
$$v = 1/nR^{2.3}S_0^{1.2} = 1/n_y^{2.3}S_0^{1.2} = 1/n(n_{ieX}/S_0^{0.5})^{0.4}S_0^{1.2} = (ieX)^{0.4}S_0^{0.3(0.6)}/n \quad (6)$$



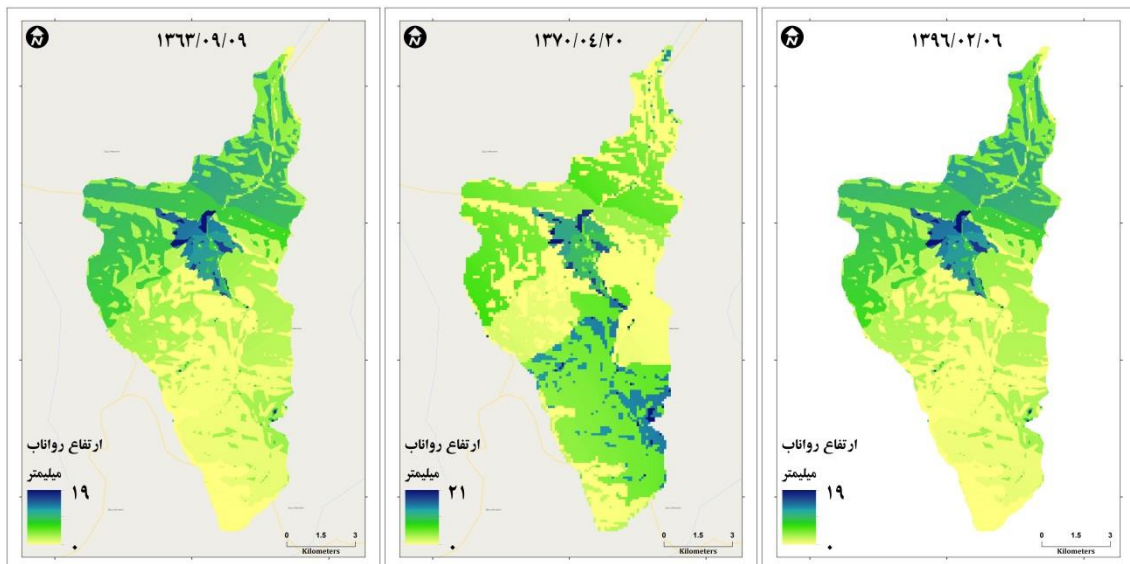
شکل ۴ - (راست): نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه آبخیز لایچ‌رود؛ شکل ۵ - (چپ): نقشه شماره منحنی تعدیل شده بر اساس شیب اراضی و گروه رطوبتی III (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

رستری (درون‌یابی شده با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ و تابع کروی) رخدادهای بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته در شکل ۶ و نقشه‌های رواناب بدست آمده (با استفاده از مدل برآورد ارتفاع رواناب SCS) در شکل ۷ آورده شده است.

هم‌چنین، نقشه نگه‌داشت سطحی خاک از روی نقشه شماره منحنی برای شرایط رطوبت پیشین خاک گروه مرطوب محاسبه شده است. سپس، براساس نقشه نگه‌داشت سطحی خاک و نقشه های رستری رخدادهای بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته ایستگاههای منطقه مطالعاتی، میزان ارتفاع رواناب بدست آمد. نقشه‌های



شکل ۶- نمونه‌ای از نقشه‌های درون‌یابی رخدادهای بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته در حوضه آبخیز لاریج‌رود (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)



شکل ۷- نمونه‌ای از نقشه‌های پتانسیل تولید رواناب در حوضه آبخیز لاریج‌رود (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

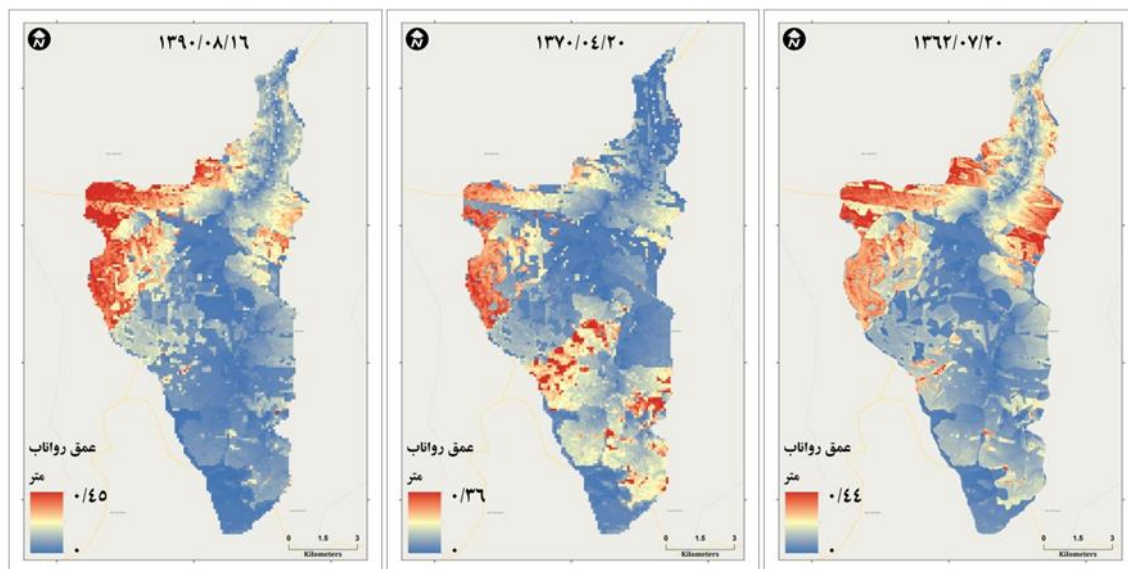
بررسی شده مشاهده کرد. به تبعیت از این تفاوت، بیشینه رواناب هم می‌تواند در سطح حوضه متغیر باشد.

پس از آماده شدن لایه‌های رواناب برای ۳۵ رخداد بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته در سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶ در حوضه آبخیز لاریج‌رود، شبیه‌سازی سیلاب این حوضه با استفاده از مدل اتومات سلولی نیاز به لایه‌های عمق جریان، سرعت جریان و زمان پیمایش داشت. از روی شدت بارش اضافی در سلول‌ها (ارتفاع رواناب)، شیب، ضریب زبری مانینگ و طول جریان، لایه عمق جریان رواناب به‌دست آمد که بر اساس مدل موج سینماتیک است و ارتفاع رواناب ناشی از بارش در سلول‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۸). همچنین، برای شبیه‌سازی سیلاب و ترسیم هیدروگراف آن به زمان پیمایش حوضه نیاز است. زمان پیمایش زمانی است که طول می‌کشد آب از یک نقطه تا نقطه دیگری از حوضه را طی

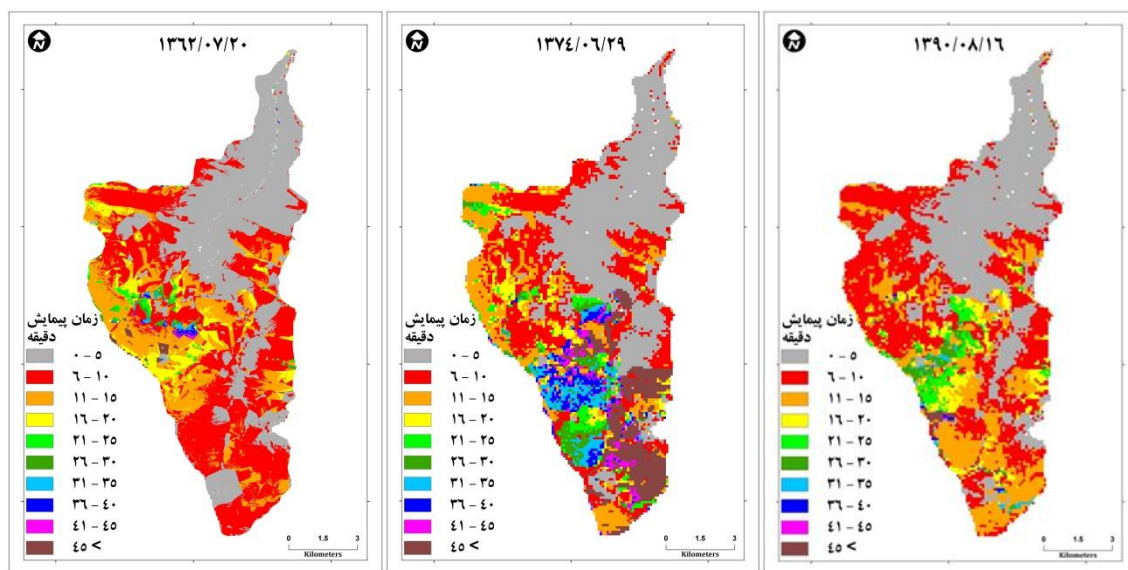
انطباق و هم‌پوشانی لایه‌های رستری بارندگی، شماره منحنی، نگاه‌داشت سطحی و رواناب حوضه نشان می‌دهد در جاهایی که مقدار شماره منحنی زیاد است، نگاه‌داشت سطحی خاک پایین و در نتیجه میزان رواناب بالاست. البته، نکته مهم دیگری که در ارتباط با پتانسیل تولید رواناب در سطح حوضه وجود دارد، این است که در طی یک رخداد بارش معین، میزان بارش دریافتی در قسمت‌های گوناگون حوضه متفاوت است. این تفاوت به‌صورتی است که ممکن است در یک رخداد بارشی، قسمت‌های جنوبی حوضه مقدار بارش بیش‌تری نسبت به قسمت‌های شمالی آن دریافت کنند و یا برعکس. بنابراین، اگر به نقشه‌های درون‌یابی رخدادهای بیشینه ۲۴ ساعته توجه شود، می‌توان این تفاوت را در مقایسه بین رخدادهای بارندگی بیشینه ۲۴ ساعته در تاریخ‌های

ArcMap محاسبه شد. سپس نقشه رستری زمان پیمایش برای ۳۵ رخداد بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته مورد مطالعه ترسیم شد که نقشه آن‌ها با کلاس‌بندی ۵ دقیقه فواصل زمانی در شکل ۹ آورده شده است.

کند. زمان پیمایش از نسبت طول جریان به سرعت جریان بدست می‌آید (رابطه ۷). بدین منظور، از روی مدل ارتفاعی رقومی طول جریان آبراهه‌ها به‌دست آمد و سرعت جریان نیز با استفاده از ضریب زبری مانینگ، شیب و عمق جریان در محیط نرم‌افزاری



شکل ۸- نمونه‌ای از نقشه‌های عمق رواناب در حوضه آبخیز لایوچ‌رود (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)



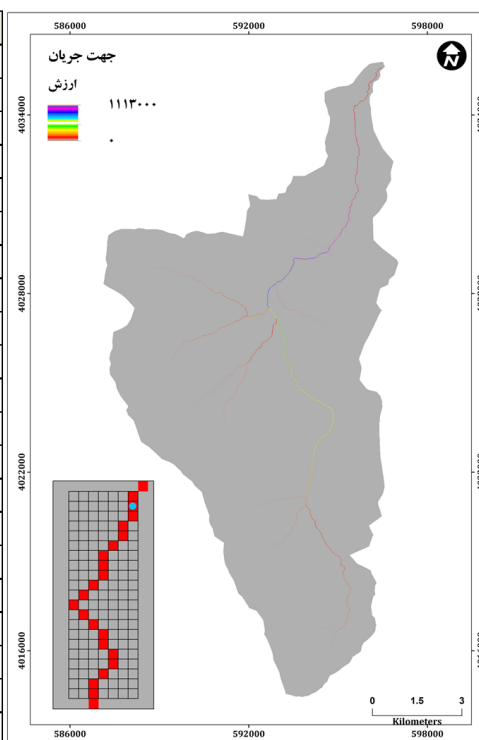
شکل ۹- نمونه‌ای از نقشه‌های زمان پیمایش حوضه آبخیز لایوچ‌رود (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶ استخراج شده است. برای رسیدن به این مرحله، تعداد ۳۵ نقشه جهت جریان و نقشه رستری رواناب تولید گردید. در نقشه جهت جریان تجمعی هر سلول بیانگر مسیر جریان است که به‌روش D8 تعیین شد که نمونه‌ای از آن برای اطراف ایستگاه آغوزکتی - تنگه لایوچ (ایستگاه هیدرومتری واقع در خروجی حوضه آبخیز لایوچ‌رود) در شکل ۱۰ آورده شده است.

$$\text{Travel time} = L/3600V \quad (7)$$

که در این رابطه، Travel Time زمان پیمایش به دقیقه، L لایه طول جریان استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع و V سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه است. با اجرای مدل اتومات سلولی، دبی متناظر با هر کدام از رخدادهای بیشینه بارش ۲۴ ساعته به‌صورت سری زمانی برای

	0	1	2	3	4	5	6
0	68	77	212	74	29	198195	683501
1	66	221	88	30	6	251239	738381
2	96	222	69	4	88079	258059	690036
3	202	85	30	3	208790	683486	269085
4	198	63	2	88078	279740	690028	214792
5	64	28	88077	216376	665325	223493	96643
6	26	1	198179	683460	290711	96647	7
7	1	0	251226	738339	284822	9	10
8	0	88075	262423	701617	259944	3	7
9	88075	216373	646175	223473	96137	1	2
10	216367	646167	223472	96638	2	1	1
11	633233	294048	135531	8	5	3	1
12	218121	646017	221668	94438	9	3	1
13	90041	218046	645998	221668	93943	8	8
14	35	90059	258848	688497	222684	19	14
15	4	1	198940	684459	288171	94424	5
16	2	1	90059	258847	739539	213767	5
17	1	0	88032	262305	757760	246333	16
18	1	88031	216268	645866	253401	96597	6
19	0	198077	683110	268949	96106	6	2
20	0	251096	737962	270949	15	10	3



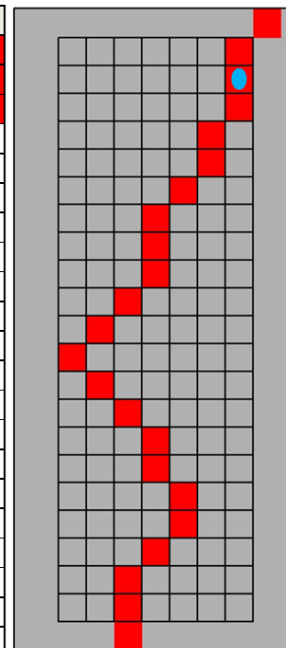
شکل ۱۰- نمایش جهت جریان تجمعی حوضه لویج رود و محدوده اطراف ایستگاه هیدرومتری آغوزکتی (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

شده توسط رابطه SCS رواناب ناشی از بارش بوده و مقدار دبی پایه در نظر گرفته نشده است، بنابراین برای ارزیابی دقت نتایج با داده‌های مشاهداتی لازم است که مقدار دبی پایه ایستگاه آغوزکتی تعیین و به مقادیر دبی سیلابی اضافه گردد. در این مطالعه از روش حداقل محلی^۹ که یک روش ساده و دارای دقت قابل قبول است، برای محاسبه دبی پایه استفاده شد. مشخصات آماری دبی‌های مربوط به ۳۵ رخدادهای بیشینه بارش ۲۴ ساعته بکار گرفته شده در این پژوهش در جدول ۶ آورده شده است.

شکل ۱۱ مقدار دبی سیلابی محاسبه شده در محدوده اطراف ایستگاه آغوزکتی را برای رخداد بارش بیشینه ۲۴ ساعته تاریخ ۱۳۸۱/۰۶/۱۶ نشان می‌دهد. با دقت در مقادیر این نقشه، مشاهده می‌شود که سلول‌هایی که در مسیر آبراهه قرار نگرفته‌اند رواناب بسیار ناچیزی دارند؛ درحالی‌که برای سلول‌های واقع در آبراهه، رواناب قابل ملاحظه‌ای دیده می‌شود. مطابق این شکل، مقدار دبی سیلابی برای این رخداد بارندگی در ایستگاه آغوزکتی ۳/۴۲ مترمکعب بر ثانیه است. با توجه به اینکه مقدار رواناب محاسبه

^۹. Local Minimum

	0	1	2	3	4	5	6
0	0.000217	0.000237	0.000694	0.00021	0.000046	0.43348	3.257827
1	0.000193	0.00073	0.000258	0.000058	0.000017	0.583391	3.422294
2	0.000396	0.000734	0.000159	0.000013	0.106112	0.737543	3.27893
3	0.000667	0.000338	0.000057	0.000011	0.326651	2.257776	0.789621
4	0.000655	0.000233	0.000007	0.141694	0.703288	2.278903	0.486763
5	0.000182	0.000097	0.141694	0.589771	2.191172	0.63128	0.162887
6	0.000048	0.000004	0.433435	2.257691	0.760554	0.162918	0.00002
7	0.000002	0.000001	0.583355	2.422159	0.506402	0.000027	0.000032
8	0.000001	0.106951	0.698555	2.314078	0.460681	0.000007	0.000022
9	0.141687	0.589761	2.119624	0.631218	0.125672	0.000002	0.000007
10	0.589746	2.119598	0.63122	0.159238	0.000007	0.000003	0.000004
11	2.099249	0.927061	0.320238	0.000025	0.000007	0.000009	0.000003
12	0.599946	2.119244	0.620828	0.157439	0.000028	0.00001	0.000005
13	0.146742	0.599657	2.119181	0.620827	0.121896	0.000023	0.000026
14	0.000067	0.146569	0.742441	2.273063	0.374779	0.000062	0.000046
15	0.000012	0.000002	0.438107	2.261939	0.750325	0.157379	0.000013
16	0.000006	0.000002	0.146569	0.742437	2.451592	0.481192	0.000021
17	0.000004	0	0.106899	0.698233	2.425598	0.531568	0.00006
18	0.000005	0.141617	0.589469	2.118611	0.637208	0.16281	0.000024
19	0.000002	0.433205	2.25654	0.789224	0.125668	0.000025	0.000005
20	0.000001	0.583045	2.420919	0.647303	0.000053	0.000034	0.000013



شکل ۱۱- مقدار دبی سیلابی محاسبه شده برای تاریخ ۱۳۸۱/۰۶/۱۶ در محدوده اطراف ایستگاه آغوزکتی
(منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

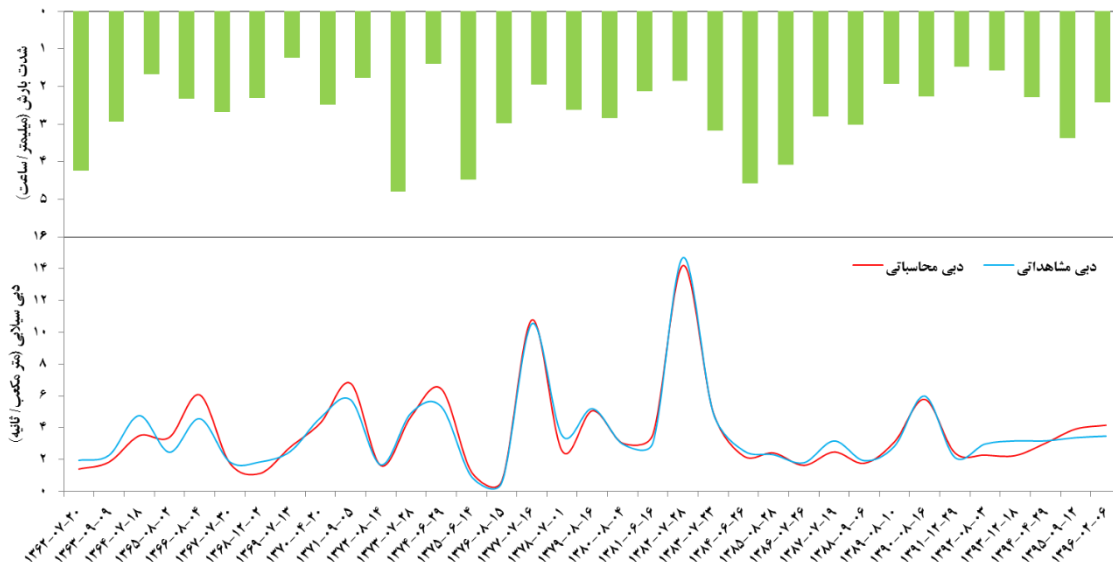
جدول ۶- مشخصات دبی‌های محاسباتی با اتومات سلولی در محل ایستگاه آغوزکتی لایوچ

دبی / آماره	میانگین	حداقل	بیشینه	انحراف معیار	ضریب چولگی
میانگین دبی در یک ساعت	۳/۸	۰/۷	۱۴/۲	۲/۹	۲/۱
دبی بیشینه بارش ۲۴ ساعته	۹۰/۹	۱۵/۵	۳۴۰/۹	۷۰/۴	۲/۱

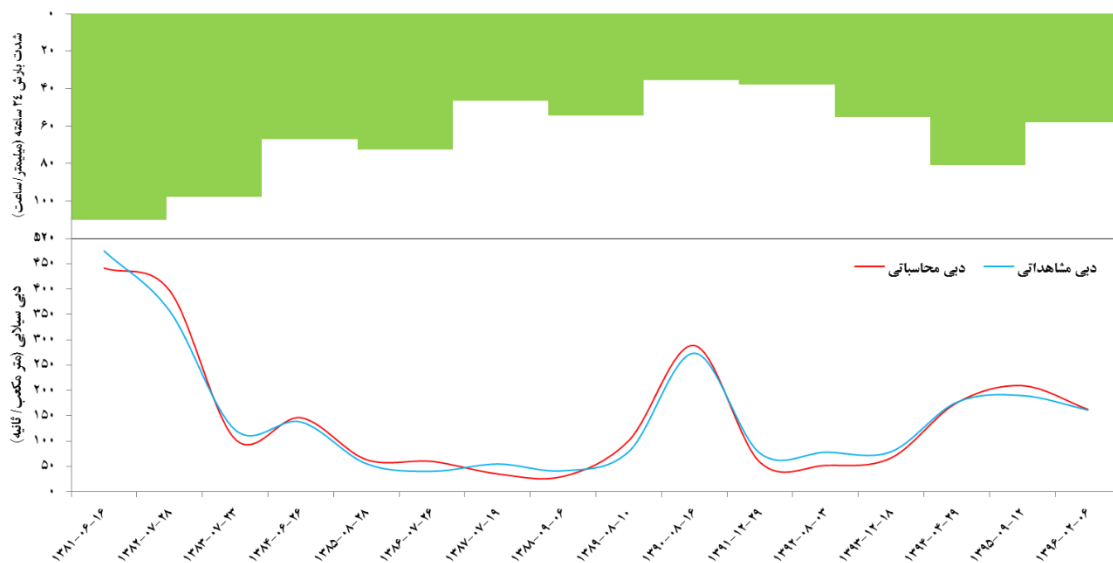
منبع: نگارنده، ۱۴۰۰

به صورت میانگین دبی در یک ساعت و دبی بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته انجام گرفت که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. بر اساس این شکل‌ها، دبی سیلابی محاسبه شده با مدل اتومات سلولی هم برای وضعیت میانگین دبی در یک ساعت و هم برای مجموع دبی سیلابی بیشینه بارش ۲۴ ساعته مطابقت زیادی با هم دارند.

سرانجام، براساس نقشه عمق جریان و زمان پیمایش حوضه، در محیط پایتون سری زمانی رخدادهای بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته برای دوره آماری ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶ ترسیم شد. با بررسی آمارهای رگبار و سیلاب اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران، اطلاعات رویدادهای هم‌زمان ثبت شده با این داده‌ها استخراج شدند. مقایسه دبی‌های سیلابی مشاهداتی و محاسباتی



شکل ۱۲- سری زمانی دبی محاسباتی و مشاهداتی (میانگین دبی در یک ساعت) حوضه آبخیز لایوچ رود در محل ایستگاه هیدرومتری آغوزکتی؛ این سری زمانی و هم‌چنین، هایتوگراف قابل مشاهده در بالای عکس، بر اساس داده‌های بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶ ترسیم شده است. (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)



شکل ۱۳- سری زمانی دبی محاسباتی و مشاهداتی (دبی بیشینه بارش ۲۴ ساعته یا دبی کل) حوضه آبخیز لایوچ رود در محل ایستگاه هیدرومتری آغوزکتی؛ این سری زمانی و هم‌چنین، هایتوگراف قابل مشاهده در بالای عکس، بر اساس داده‌های بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ ترسیم شده است. (منبع: نگارنده، ۱۴۰۰)

بحث و نتیجه‌گیری

زیاد دامنه‌های حوضه باعث ایجاد سیلاب می‌شوند. با توجه به سیل‌خیز بودن حوضه لایوچ، بویژه در طی بارش‌های رگباری، هدف اصلی از این مطالعه، نشان دادن امکان استفاده از اتومات سلولی برای شبیه‌سازی سیلاب‌های ناشی از بارش‌های بیشینه ۲۴ ساعته در سال‌های ۱۳۶۲ و ۱۳۹۶ در سطح حوضه بوده است. در این پژوهش کارایی مدل‌های اتومات سلولی و SCS به منزله روشی نوین و امکان تلفیق آن با اپلیکیشن‌های GIS برای

حوضه آبخیز لایوچ رود تحت تأثیر شرایط خاص زمین‌شناسی، آب و هوایی، هیدرومورفولوژیک، پوشش گیاهی و ژئومورفولوژیک به صورت یک سیستم درآمده است. پایین بودن معدل کمینه دما در فصول سرد سال باعث یخبندان و بالای صفر بودن معدل بیشینه دما در همین فصول باعث ذوب یخ می‌شود. در نتیجه این انقباض و انبساط، خاکدانه‌ها تخریب شده و توسط آب‌های جاری حمل می‌شوند و در دوره گرم سال هم بارش‌های رگباری بر روی شیب

ایستگاه آغوزکتی مشاهده گردید که مبین آن است که رویکرد CA علیرغم سادگی اش می تواند نتایج واقع گرایانه ای برای یک رویداد طبیعی پیچیده مانند رواناب فراهم نماید. همچنین، درصد خطای مقادیر مشاهداتی و برآوردی میانگین دبی در یک ساعت و دبی بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته هم به ترتیب ۱۴ و ۸/۳ است که دقت مناسب مدل را نشان می دهد.

مقایسه دبی های محاسبه شده از مدل اتومات سلولی با دبی های مشاهداتی و همچنین، با تغییرات زمانی مقدار بارندگی (که بر روی مقدار رواناب و در نتیجه دبی سیلابی تأثیرگذار است)، نشان می دهد که مدل اتومات سلولی به خوبی توانسته است که سیلاب های ناشی از بارش های بیشینه ۲۴ ساعته را در حوضه آبخیز لایوچ رود شبیه سازی کند.

نتایج این پژوهش با نتایج پژوهشگرانی چون Aboudagga (۲۰۰۵)، Wu و همکاران (۲۰۰۵)، Rinaldi و همکاران (۲۰۱۲)، Cirbus و Podhoranyi (۲۰۱۳)، Cai و همکاران (۲۰۱۴)، موسوی و همکاران (۱۳۸۹)، ثانی خانی و همکاران (۱۳۹۱)، اعلمی و همکاران (۱۳۹۴) و خالقی و ملکانی (۱۳۹۵) انطباق دارد که بیان می کند مدل اتومات سلولی نسبت به روش ها معمول که از محیط ArcGIS استفاده می کنند، از دقت بسیار زیادی برخوردار است. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش های نامبرده در بالا مشخص کرده است که استفاده از اتومات سلولی در کنار GIS، افزون بر افزایش دقت در نتایج، سبب سرعت بخشیدن به تجزیه و تحلیل و محاسبه رواناب می شود.

همچنین، تطبیق نتایج بدست آمده با مقادیر مشاهداتی و شواهد میدانی در سطح حوضه آبخیز لایوچ رود، نشان دهنده دقت مطلوب نتایج این مدل در پژوهش این پژوهشگران بوده است.

براساس نتایج حاصله از این پژوهش میتوان اظهار داشت که با استفاده از مدل اتومات سلولی در حوضه هایی شبیه محدوده مورد مطالعه، می توان نمودار سری زمانی و یا هیدروگراف سیل با کیفیت و دقت بالا ترسیم کرد. از آنجایی که در حوضه های فاقد آمار پیش بینی رواناب فاقد دقت بود لذا، باتوجه به نتایج این پژوهش و همخوانی آن با نتایج پژوهش های مشابه ذکر شده می توان بیان کرد که بکارگیری مدل اتومات سلولی جهت پیش بینی رواناب در حوضه های فاقد آمار نتایج قابل اعتمادی را ایجاد می کند. نتایج پژوهش تاکید دارد که نقشه پهنه بندی خطر سیلاب حاصله از این روش، داده های پایه و مهمی برای مطالعه و اجرای طرح های توسعه و عمرانی در حوضه آبخیز لایوچ رود و سایر محدوده های مشابه ایجاد می کند.

شبیه سازی خطر سیلاب و هیدروگراف جریان برای حوضه آبخیز لایوچ رود مطالعه شد. بخش زیادی از حوضه آبخیز لایوچ رود دارای گروه هیدرولوژیکی C و D است که نفوذپذیری کم و خیلی کم دارند؛ بدین معنی که حجم زیادی از بارش در این قسمت ها می تواند تبدیل به رواناب شود؛ اگرچه پوشش جنگلی سطح حوضه این ضریب تبدیل را به میزان قابل توجهی کاهش داده است. با توجه به نقشه های ارتفاع رواناب این دوره ۳۵ ساله، نیمه شمالی به ویژه شمال غربی حوضه، به دلیل قابلیت نفوذ کم و نیز نزدیکی به خروجی حوضه، دارای ارتفاع و عمق رواناب بسیار زیادی است. بررسی نقشه های زمان پیمایش نشان می دهد که در بیش تر رخدادهای بارشی، زیرحوضه هایی که در نیمه شمالی یا نزدیک به خروجی حوضه قرار گرفته اند، زمان پیمایش کمتری دارند تا جریان تجمعی به خروجی حوضه برسد. مضاف بر این امر، جهت جریان تجمعی نیز سبب می شود تا رواناب های تولید شده در بخش های جنوبی تر و بالادست حوضه به سمت پایین دست سرازیر شده و تجمع جریان در بخش های نزدیک به خروجی حوضه باشد. با توجه به این موارد، زیرحوضه هایی که در پایین دست جریان حوضه آبخیز لایوچ رود قرار دارند، پتانسیل سیل خیزی بیش تری نسبت به حوضه های بالادست دارند.

همچنین، خطر سیلاب در مسیر رودخانه لایوچ و در اراضی اطراف آن بویژه در پایین دست جریان بالا است. شبیه سازی سیلاب در حوضه لایوچ رود نشان داد که افزون بر کاربری اراضی، خاک، نفوذپذیری و شیب، پراکنش مکانی مقدار بارش عاملی مهم در تجمع رواناب به یک سمت از جریان پایین دست حوضه و تولید سیلاب است. از این رو، اجرای کارهای مدیریتی در آبراه های پایین دست و نواحی مجاور آن ضروری به نظر می رسد.

از سوی دیگر، با توجه به ضریب زبری حوضه لایوچ (از ۰/۱ تا ۰/۸) و فاصله هر سلول در طول مسیر جریان از خروجی حوضه بر حسب متر و شیب، نقشه عمق رواناب در هر سلول بدست آمد؛ از این طریق می توان در حوضه لایوچ با توجه به کم بودن ایستگاه های اندازه گیری، عمق رواناب در هر نقطه از حوضه را بدست آورد. سرانجام، با توجه به عمق رواناب در سلول ها و با توجه به شیب و طول جریان و زمان طی مسیر آب تا خروجی، نمودار سری زمانی دبی سیلابی (میانگین دبی در یک ساعت و دبی بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته یا دبی کل) برای رخدادهای بارشی سال های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶ ترسیم شد. نتایج به دست آمده از این سری های زمانی گویای این مطلب است که دبی مشاهداتی و دبی محاسباتی مطابقت زیادی با هم دارند و ارزیابی مدل نیز نشان دهنده دقت مناسب آن است. بین مقادیر مشاهده ای و برآوردی میانگین دبی در یک ساعت و دبی بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۹۸ درصد همبستگی در

پیشنهادها

در انتهای این پژوهش، پیشنهادهایی ارائه می‌شود که می‌تواند هم به افزایش کیفیت این پژوهش و پژوهش‌های آتی کمک کرده و هم در نهایت به رویکردی جامع برای کاهش خسارت‌های ناشی از تولید رواناب و سیلاب در حوضه آبخیز لایچ رود منجر شود.

- از آنجایی که محدودیت و شرایط خاصی برای استفاده از روش‌های اتومات سلولی و SCS وجود ندارد، لذا در شبیه‌سازی و تخمین فرآیندهای پیچیده طبیعی قابل استفاده می‌باشد و می‌توان مشابه با پژوهش انجام شده با تغییر در قوانین آن جهت پهنه‌بندی سیلاب، تخمین رسوب و سایر پارامترهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی بکار برد، ولی بایستی نهایت سعی و دقت را در تعیین و تهیه نیازهای اطلاعاتی ورودی صرف کرد.
- یکی از مهم‌ترین پارامترهای برآورد و شبیه‌سازی سیلاب، تعیین مقدار شماره منحنی بخش‌های گوناگون حوضه بر مبنای گروه هیدرولوژیک خاک و

وضعیت رطوبت پیشین آن است. باتوجه به این که وضعیت رطوبت پیشین خاک تأثیر بسیار زیادی در شماره منحنی و شبیه‌سازی مقادیر دبی سیلابی دارد، در این پژوهش سعی شد تا برای همه رخدادهای بارش، وضعیت رطوبت پیشین خاک یکسان در نظر گرفته نشود. افزایش دقت در این مورد مهم، نیاز به داشتن سری زمانی کامل از داده‌های رگبار و سیلاب ایستگاه‌های هیدرومتری دارد که در پژوهش حاضر داده‌های ایستگاه اندازه‌گیری آغوزکنتی بسیار مفید و کافی بودند. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های مشابه آینده، حتماً به این نکته مهم توجه گردد.

- در بخش پهنه‌بندی سیلاب در مسیر آبراهه‌ها با استفاده از مدل اتومات سلولی که در قالب جهت جریان تجمعی آن را ارائه می‌دهد، می‌توان محدوده گسترش سیلاب را برای بارش‌های بیشینه ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های گوناگون با استفاده از این مدل برآورد کرده و نتایج آن را نیز با مدل‌هایی همچون HEC-RAS مقایسه کرد.

References

1. Abou El-Magd, I., Hermas, E., & El Bastawesy, M., (2010). GIS-modeling of the spatial variability of flash flood hazard in Abu Dabbab catchment, Red Sea Region, Egypt, the Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Vol. 13, pp. 81-88.
2. Aboudagga, N. (2005). Simulations by cellular automata of the floods in littoral lagoon areas, www.isn-oldenburg.de/projects/earselabstracts2005/AB-S-Aboudagga-Nader.html.
3. Aelami, M.T., Malekani, L., & Ghorbani, M.A., (2015). Precipitation - Runoff modeling in Lighvan basin using cellular automata model. Quantitative Geomorphological Researches, 3(4): 60-73.
4. Cirbus, J., & Podhoranyi, M. (2013). Cellular Automata for the Flow Simulations on the Earth Surface, Optimization Computation Process. Applied Mathematics & Information Sciences, v. 7(6), p. 2149-2158.
5. Dewan, A.M., Islam, M.M., Kumamoto, T., & Nishigaki, M., (2007). Evaluating flood hazard for land-use planning in Greater Dhaka of Bangladesh using remote sensing and GIS techniques, Water Resources Manage, Vol. 21, pp. 1601-1612.
6. Elkhrachy, I., (2015). Flash flood hazard mapping using satellite images and GIS tools: a

- case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA), The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Vol. 18, pp. 261-278.
7. Fahimifar, A., Bahri, M.A., & Bakhshayesh Eghbali, N., (2006). Analysis of the Landslide moving and sliding process based on cellular automata model. The 25th Gathering of Geosciences, Geological Survey of Iran, Tehran.
8. Foodi, G.M., Ghoneim E.M., & Arnell, W.N., (2004). Predicting Location Sensitive to Flash Flooding in Arid Environment, Journal of Hydrology, Vol. 292, pp. 48-58
9. Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., & Rahmatullah, J., (2012). Techniques of Remote Sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: A case study of Sindh province, Pakistan, the Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Vol. 15, pp. 135-141.
10. Hejazi, A., & Mezban, M., (2017). Estimation of maximum runoff height and discharge using curve number method (case study: Sarab-E DarehShahr watershed), Hydrogeomorphology, Vol. 5, pp. 63-81.
11. Hjelmfelt, A.T., & Mockus, V., (2004). Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, Part 630 Hydrology National

- Engineering Handbooks, Chapter 10, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 235p.
- 12.Hosseinzadeh, M.M., Nosrati, K., & Imeni, S., (2018). Detection of curve number and estimation of runoff potential in Hesarak watershed, *Journal of Applied Geoscience Research*, Vol. 18(51), pp. 133-150.
- 13.Inci, T.Y., Akgüel, S., Dengiz, O., & Aküzüm, T., (2006). Estimation of flood discharge for small watershed using SCS curves number and geographic Information System, *River basin flood management journal*, pp. 527-538.
- 14.June, S., Yuan, Y., & Jing, Z., (2001). The effect of landuse/cover change on surface Runoff in Shenzhen Region, china, Institute of Resouecess ScienceBeigining normal university, 100875, Beijing.
- 15.Khaleghi, S., & Malekani, L., (2016). Flood risk simulation using cellular automata model based on GIS (case study: CherCher watershed), *Journal of Natural Geography Studies*, Vol. 48(4), pp. 589-605.
- 16.Kopp, S., & Noman, N. (2008). ArcGIS Spatial Analyst - Hydrologic Modeling, ESRI User Conference Technical Workshop, http://www.scdhec.gov/gis/presentations/ESRI_Conference_08/tws/workshops/tw_37.pdf
- 17.Kumar RAI, P., & Mohan, K., (2014). Remote Sensing data & GIS for flood risk zonation mapping in Varanasi District, India, *Forum geografic, Studii și cercetări de geografie și protecția mediului*, Vol. 13, pp. 25-33.
- 18.Lewis, D., Singer, M.J., & Kate, K.W., (2000), Applicability of SCS curve number method for a California Woodlands Watershed, *Journal of Soil and Water Conservation*, Second Quarter, pp. 48-55.
- 19.Mostafazadeh, R., Mirzai, Sh., & Nadiri, P., (2017). Determination of the curve number from rainfall and runoff events and its changes with rainfall components in a forest watershed, *Journal of water and soil sciences (Agriculture and Natural Resources Sciences and Technologies)*, Vol. 14, pp. 15-28.
20. Motevalli. S. Hosseinzadeh, M.M., & Esmaili. R. (2013). Formation mechanism of debris flows in Roodbarak sub-basin, Mazandaran,Iran, *Journal of life science* ,vol 10(1s), pp8-20
- 21.Motevalli. S. hosseinzadeh, M.M., & Esmaili. R. (2013). Relationship between Labbalbi discharge and geomorphic units in mountain rivers: A case study of Lavij river in the northern slope of central Alborz, *Journal of Researches in Earth Science*, vol 14, pp.17-33
- 22.Rinaldi, P.R., Dalponte, D.D., Vénere, M.J., & Clausse, A. (2012). Graph-based cellular automata for simulation of surface flows in large plains. *Asian Journal of Applied Science*, v. 5, p. 224-231.
- 23.Sanikhani, H., Khorasani, A., & Dinpajhooh, Y., (2012). Runoff and soil erosion model using cellular automata model. *Iranian Water Research Journal*, 6(11): 123-133.
- 24.Saravanan, S., & Manjula, R., (2015). Geomorphology based semi-distributed approach for modeling rainfall-runoff modeling using GIS, *Aquatic Processes*, Vol. 4, pp. 908-916.
- 25.Satheeshkumar, S., Venkateswaran, S., & Kannan, R., (2017). Rainfall–runoff estimation using SCS–CN and GIS approach in the Pappiredipatti watershed of the Vaniyar sub basin, South India, *Modeling Earth Systems and Environment*, Vol. 3(24), pp. 1- 8.
- 26.Schroeder, S.A., & Larsen, J.K., (1990). Antecedent moisture conditions for North Dakota runoff predictions North Dakota, *Farm Research*, Vol. 48(0097, 5338), pp. 8-11.
- 27.Soulis, K.X., & Valiantzas, J.D., (2012). SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watershed-the two-CN system approach, *Hydrology Earth System Science*, Vol. 16, pp. 1001-1015.
- 28.Van, T.P.D., Carling, Paul, A., Coulthard, Tom, J., & Atkinson Peter, M. (2007). Cellular automata approach for flood forecasting in a bifurcation river system, *PUBLS. INST. GEOPHYS. POL. ACAD. SC.*, v. E-7 (401), 256 pages.
- 29.Vinithra, R., & Yeshodha, L., (2016). Rainfall–runoff modelling using SCS–CN method: a case study of Krishnagiri District, Tamilnadu, *International Journal of Science Research*, Vol. 5(3), pp. 2319–7064.
- 30.Xiao, B., Wang, Q.H., Fan, J., Han, F.P., & Dai, Q.H., (2011). Application of the SCSCN model to runoff estimation in a small watershed with high spatial heterogeneity, *Pedosphere*, Vol. 21(6), pp. 738-749.
- 31.Zhan, X., & Huang, M.L. (2004). ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps, *Environmental Modeling & Software*, v. 19, p. 875-879.

