Original Article

Estimating the Runoff Coefficient by Combining Arc CN-Runoff, SCS-CN and ICAR Empirical Relationship (Case Study: Selseleh Study Area - Lorestan Province)

Yazdan Yarahmadi[1], Hojatolah Younesi[2*], Ahmad Godarzi[3], Saeed Rostami[3]

Affiliation

1. *PH. D Student, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran*
2. *Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran*
3. *PH. D, Lorestan Regional Water Company, Khorramabad, Iran*

ABSTRACT

Introduction: Determining the value of the runoff coefficient is one of the biggest problems and the main source of uncertainty in many water resources projects. In most researches related to water resources, the runoff coefficient values are taken from the tables of values depending on the conditions of the studied area. The main concern in this method is the selection of values that are subjectively chosen from a vague method and reflect a personal judgment of useful data, hence an appropriate method for determining the runoff coefficient should be selected.

Materials and methods: In order to carry out this research, data including digital elevation model information, land use classes, soil texture, and meteorological and hydrological statistics (rainfall and runoff) related to the research area for a 20-year statistical period (2001-2021) were used. Using the obtained land use map, the land use map of the area was classified into 9 land uses. Also, to prepare a map of soil hydrological groups, the soil texture map was used at a depth of 200 cm in the study area of Selseleh, and according to the type of soil texture, the soil hydrological group was extracted for each area. Finally, the soil hydrological group was divided into three categories (A-B-C). The map of the land use layer and soil hydrological groups was entered into the Arc CN - Runoff tool environment, and finally the Intersect operation was applied on two layers and the land use layer - hydrological group (Land soil) was prepared, and this new layer is only for display. The surface is covered by two layers and the map of runoff curve number, soil surface maintenance, volume, height and runoff coefficient is prepared based on this layer. Finally, the value of the runoff coefficient was estimated in three conditions of dry, medium and wet moisture conditions and a comparison was made.

Results: The results of the research showed that in the study area, the runoff coefficient (CR) in three conditions of dry, medium and wet moisture conditions is equal to 0.26, 0.53 and 0.77, respectively. Therefore, the dry humid state has decreased by 68% compared to the average, and the more humid state has increased by 37% compared to the average. Correlation analysis between the runoff coefficient and characteristics of the study area showed that in the study area, the runoff coefficient series is influenced by 6 physiographic characteristics of the study area: area, slope, waterway length and Gravel's coefficient, maximum height and density of waterways. The value of the runoff curve number (CN) in dry, medium and wet conditions for the whole area was estimated as 65, 81 and 92, respectively. The amount of soil surface retention (S) in dry, medium and wet moisture conditions for the whole range was estimated as 138.74, 59.60 and 23.42 mm, respectively. The amount of runoff height (Q) in dry, medium and wet moisture conditions for the whole area was estimated as 27.78, 55.73 and 79.31 mm, respectively. The amount of runoff volume (V) in dry, medium and wet moisture conditions for the whole area was estimated as 3710.64, 7164.03 and 10070.46 thousand cubic meters, respectively.

Conclusion: These conditions require the implementation of basic measures to increase vegetation cover, including digging holes and leveling along with plans to increase vegetation cover, generally in the form of planting and sowing pasture plants in the area, and rainfall in the area can provide sufficient moisture for their success. Establishing a rainwater collection system can also be effective due to the low permeability of the soil in the region, and it can be used to increase vegetation and other uses.

Keywords: Flood, Kashkan watershed, Land use, Soil hydrological group.

Citation: *Yarahmadi Y., Yonesi H.A, Godarzi A., Rostami S., Estimating the Runoff Coefficient by Combining Arc CN-Runoff, SCS-CN and ICAR Empirical Relationship (Case Study: Selseleh Study Area - Lorestan Province), Iran J Remote Sens GIS. 16(4):57-76.*

* Corresponding Author: yonesi.h@lu.ac.ir

DOI: https://doi.org/ 10.48308/gisj.2023.228883.1120

Received: 2022.09.20

Accepted: 2023.10.28

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقاله پژوهشی

برآورد ضریب رواناب با تلفیقی از ابزار Arc CN – Runoff، SCS – CN و رابطهٔ تجربی ICAR (مطالعهٔ موردی: محدودهٔ مطالعاتی سلسله_ استان لرستان)

یزدان یاراحمدی[۱]، حجت‌الله یونسی[۲*]، احمد گودرزی[۳]، سعید رستمی[۳]

سمت

۱. دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲. دانشیارگروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳. دکتری، شرکت سهامی آب منطقه‌ای لرستان، خرم‌آباد، ایران

چکیده

سابقه و هدف: تعیین مقدار ضریب رواناب یکی از بزرگ‌ترین مشکلات و منبع اصلی فقدان اطمینان در بسیاری از پروژه‌های منابع آب است. در بیشتر پژوهش‌هایی که در زمینهٔ منابع آب انجام می‌شود، مقادیر ضریب رواناب از جدول‌های مقادیر با توجه به شرایط منطقهٔ مورد مطالعه برداشته می‌شود. نگرانی اصلی، در این روش، انتخاب مقادیری است که به‌صورت ذهنی طبق روشی مبهم انتخاب می‌شوند و قضاوتی شخصی را دربارهٔ داده‌های مفید منعکس می‌کنند؛ ازاین‌رو برای تعیین ضریب رواناب باید روشی مناسب انتخاب شود.

مواد و روش‌ها: به‌منظور اجرای این پژوهش، از داده‌هایی شامل اطلاعات مدل رقومی ارتفاعی، کلاس‌های کاربری اراضی، بافت خاک و آمار هواشناسی و هیدرولوژیکی (بارش و رواناب) مرتبط با منطقهٔ مورد پژوهش، طی دورهٔ آماری بیست‌ساله‌ای (۱۳۸۰-۱۴۰۰)، استفاده شد. با استفاده از نقشهٔ کاربری اخذ شده اراضی، نقشهٔ کاربری اراضی محدوده در نُه کاربری طبقه‌بندی شد. همچنین برای تهیهٔ نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نقشهٔ بافت خاک در عمق ۲۰۰سانتی‌متری محدودهٔ مطالعاتی سلسله به کار رفت و با توجه به نوع بافت خاک، گروه هیدرولوژیکی خاک مختص هر محدوده استخراج شد. در نهایت، گروه هیدرولوژیک خاک در سه دسته (A,B,C) قرار گرفت. نقشهٔ لایهٔ کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک وارد محیط ابزار Arc CN – Runoff شد و در نهایت، عملیات تلفیق روی دو لایه اعمال و لایهٔ کاربری اراضی_ گروه هیدرولوژیکی (Land Soil) تهیه شد؛ این لایهٔ جدید فقط سطح پوشیده‌شده با دو لایه را نشان می‌دهد و نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب، نگهداشت سطحی خاک، حجم، ارتفاع و ضریب رواناب براساس این لایه تهیه می‌شود. در نهایت، مقدار ضریب رواناب در سه حالت وضعیت رطوبتی خشک، متوسط و مرطوب برآورد شد و مقایسه‌ای صورت گرفت.

نتایج: نتایج پژوهش نشان داد، در محدودهٔ مطالعاتی سلسله، میزان ضریب رواناب (CR) در سه حالت وضعیت رطوبتی خشک، متوسط و تر، به‌ترتیب برابر با ۰/۲۶، ۰/۵۳ و ۰/۷۷ است. بنابراین حالت رطوبتی خشک، در قیاس با متوسط، ۶۸٪ کاهش و حالت رطوبتی تر، در مقایسه با متوسط، ۳۷٪ افزایش داشته است. بررسی همبستگی بین ضریب رواناب و مشخصات محدودهٔ مطالعاتی نشان داد که در محدودهٔ مطالعاتی سلسله، ضریب رواناب تحت تأثیر شش ویژگی فیزیوگرافی محدودهٔ مطالعاتی مساحت، شیب، طول آبراهه و ضریب گراولیوس، حداکثر ارتفاع و تراکم آبراهه‌ای است. مقدار شمارهٔ منحنی رواناب (CN) در حالت رطوبتی خشک، متوسط و تر برای کل محدوده، به‌ترتیب برابر با ۶۵، ۸۱ و ۹۲ برآورد شد. میزان نگهداشت سطحی خاک (S) در حالت رطوبتی خشک، متوسط و تر، درمورد کل محدوده، به‌ترتیب برابر با ۱۳۸/۷۴، ۵۹/۶۰ و ۲۳/۴۲ میلی‌متر به دست آمد. میزان ارتفاع رواناب (Q) در حالت رطوبتی خشک، متوسط و تر، درمورد کل محدوده، به‌ترتیب ۲۷/۷۸، ۵۵/۷۳ و ۷۹/۳۱ میلی‌متر برآورد شد. میزان حجم رواناب (V) در حالت رطوبتی خشک و متوسط و تر، درمورد کل محدوده، به‌ترتیب ۳۷۱۰/۶۴، ۷۱۶۴/۰۳ و ۱۰۰۷۰/۴۶هزار مترمکعب حاصل شد.

نتیجه‌گیری: این شرایط نیازمند اجرای اقدامات اساسی به‌منظور افزایش پوشش گیاهی، شامل عملیات چاله‌کندن و جویچهٔ تراز همراه با طرح‌های افزایش پوشش گیاهی، اغلب به‌صورت بوته‌کاری و بذرپاشی گیاهان مرتعی در محدوده است و بارش منطقه می‌تواند رطوبت کافی را برای موفقیت آنها فراهم کند. استقرار سامانهٔ جمع‌آوری آب باران نیز، با توجه به نفوذپذیری کم خاک منطقه، می‌تواند مؤثر باشد و از آن در افزایش پوشش گیاهی و دیگر مصارف استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: سیلاب، حوزهٔ آبریز کشکان، کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیک خاک.

استناد: *یاراحمدی، ی.، یونسی، ح.، گودرزی، ا.، رستمی، س.، برآورد ضریب رواناب با تلفیقی از ابزار Arc CN – Runoff، SCS – CN و رابطهٔ تجربی ICAR (مطالعهٔ موردی: محدودهٔ مطالعاتی سلسله_ استان لرستان)، نشریه سنجش از دور و GIS ایران. سال ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳: ۷۶-۵۷.*

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: yonesi.h@lu.ac.ir

شناسه دیجیتال مقالات: https://doi.org/ 10.48308/gisj.2023.228883.1120

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱- مقدمه

شناخت اقلیم و سپس برآورد رواناب منطقه‌ها، به‌منزلهٔ نخستین گام و ضروری‌ترین اقدام مطالعاتی در زمینهٔ طرح‌های عمرانی و کاهش بلایای طبیعی، از دید محققان اهمیت ویژه‌ای دارد (Ahmadi et al., 2018). عواملی همچون ویژگی‌های حوضه، بهره‌برداری غیراصولی انسان‌ها از طبیعت، ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه به‌لحاظ تأثیرگذاری در مؤلفه‌هایی مانند روند تولید، حرکت و نحوهٔ تجمیع رواناب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برآورد پتانسیل تولید رواناب در حوضه، به‌منظور برنامه‌ریزی در حفاظت خاک و فرسایش و نیز مدیریت حوزه‌های آبخیز از لحاظ تولید رواناب و رسوب بسیار حائز اهمیت است (Safari et al., 2013). ضریب رواناب، یعنی نسبتی از بارش که در سطح زمین جاری می‌شود، بدون درنظرگرفتن رطوبت قبلی خاک که می توان آن را درمورد رگبارها با دوره‌ای، مثلاً سالیانه، تعریف کرد (Bahremand, 2013). مدیریت آبخیز براساس کنترل فرایندهای هیدرولوژیکی متعددی که در آن اتفاق می‌افتد و به‌طورعمده، رواناب دارای اهمیت ویژه‌ای است (Lagadec et al., 2016). مطالعات بسیاری برای تعیین ضریب رواناب سطحی در مناطق گوناگون انجام شده که به ارائهٔ میانگین ضریب برای آن منطقهٔ خاص منجر شده است و در ادامه، به تعدادی از آنها اشاره خواهد شد.

کرمی مقدم[1] و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی، به کاربرد فنون سنجش از دور و GIS در مدل SCS-CN، درمورد حوضهٔ بالارود خوزستان، پرداختند. نتایج نشان داد این حوضه شامل سه گروه هیدرولوژیکی خاک A، B و C، به‌ترتیب برابر با ۶۴/۶۰، ۶۲/۱۱ و ۷۴/۲۷٪ مساحت بود. مقدار شمارهٔ منحنی CN معادل این حوضه ۸۱/۶۲ حاصل شد. مقدار حداکثر ضریب نگهداشت (S) متعلق به زیرحوضه‌های دوکوهه، انارکی و منگره نیز به‌ترتیب ۵/۷، ۸/۱۶ و ۱۷ سانتی‌متر و مقدار معادل آن، در حوضهٔ مورد مطالعه، ۱۵ سانتی‌متر به دست آمد. در نهایت، ارتفاع رواناب زیرحوضه‌های منگره، انارکی، دوکوهه و کل حوضهٔ آبخیز، به‌ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۶ و ۰/۷۳ و ۰/۱۲ سانتی‌متر محاسبه شد. نتایج پژوهش همچنین کارآیی مفید سنجش از دور و تکنیک‌های GIS را در روش SCS-CN نشان داد. بهرامی و ایمنی[2] (۲۰۱۹)، چند مدل تجربی را در برآورد رواناب سالیانه (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ حصارک در شمال‌غرب تهران) ارزیابی کردند. مقایسهٔ مقادیر رواناب برآوردشده طبق روش‌های متفاوت، با مقادیر رواناب مشاهداتی، نشان داد روش SCS-CN انطباق بیشتری با رواناب و دبی مشاهداتی دارد.

قیقلاری[3] و همکاران (۲۰۱۴) ضریب رواناب سالیانهٔ به‌دست‌آمده را درمورد حوضهٔ آبریز جزیرهٔ ساردنی ایتالیا و مناطق شمال‌غرب آن، مقایسه کردند و این کار را برمبنای روش Kennessey، طبق ضرایب محاسبه‌شده با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری‌شده با دستگاه، انجام دادند. همچنین این محققان، با استفاده از نقشهٔ ضریب رواناب، روشی برای ارزیابی میزان تغذیهٔ مؤثر سالیانهٔ آبخوان حوضهٔ هیدرولوژیکی به دست آوردند. نتایج ارائه شده امیدوارکننده بود اما در مقایسه با داده‌های هواشناسی، برخی اختلافات را با توجه به وزن‌های بالاتر داده‌شده به پارامترهای فیزیوگرافی، نشان داد. نیک‌نژاد[4] (۲۰۱۵)، با تعیین ضریب رواناب سطوح متفاوت آبگیر به‌منظور استحصال آب باران، سه تیمار را انتخاب و برای هریک از تیمارها، سه تکرار در نظر گرفت. نتایج بررسی شانزده مورد بارندگی نشان داد که رواناب حاصل از سطح طبیعی با پوشش شنی، سطح طبیعی دست‌نخورده و سطح پلاستیک با پوشش شنی، به‌ترتیب ۷، ۱۲ و ۴۸٪ بارندگی است. بیشترین مقدار رواناب به تیمار پوشش نایلون با رویهٔ شنی اشاره داشت که در این پژوهش، به‌منزلهٔ گزینه‌ای مناسب برای استحصال آب باران، پیشنهاد شد. پیشوایی[5] و همکاران (۲۰۱۹) اثر توپوگرافی زمین در ضریب رواناب

1. Karami Moghadam
2. Bahrami & Imeni
3. Ghiglieri
4. Niknejad
5. Pishvaei

و سیلاب دامنه‌های حوضهٔ آبخیز را با استفاده از TOPMODL بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دامنه‌های واگرا ضریب رواناب و سیلاب کمتری در قیاس با دامنه‌های موازی و همگرا دارند و ضریب رواناب و سیلاب دامنه‌های محدب نیز کمتر از دامنه‌های صاف و مقعر بود. بکتاش و چیگیزاوغلو[1] (۲۰۱۳)، در تحقیق خود، از مدل هیبریدی ANN در مقابل مدل‌های ARIMA و ARIMAX برای ضریب رواناب را استفاده کردند. طبق نتایج این پژوهش، رویکرد ترکیبی تولیدات را می‌توان جزء امکانات پیش‌بینی شبکهٔ عصبی، در زمینهٔ داده‌های پیچیدهٔ سری زمانی، محسوب کرد. مشاهده شد که مدل جدید رفتار فیزیکی سری زمانی ضریب رواناب مستقیم را ضبط می‌کند. نتایج مدل نیمه‌تصادفی سری ضریب رواناب تقریباً موفقیت‌آمیز بود. احمدی ثانی[2] و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی، کارآیی ابزار Arc-CN Runoff را در برآورد میزان رواناب ارزیابی و تغییرات آن طی سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ را در آبخیز هراز استان مازندران مقایسه کردند. براساس نتایج، خطای نسبی برآورد رواناب در هر دو دورهٔ ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ به هم نزدیک و نسبتاً اندک (۱۰٪) بود و ابزار به‌کاررفته رواناب را با صحت حدود ۹۰٪ در هر دو دوره، برآورد کرد؛ بدین‌ترتیب می‌توان این ابزار را برای ارزیابی و برآورد رواناب به کار برد. نوربیاتو[3] و همکاران (۲۰۰۹)، به‌منظور کنترل ضریب رواناب رخداد بارش در غرب کوه‌های آلپ ایتالیا، اثر اقلیم، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، انواع جریان و رطوبت اولیهٔ خاک در ضریب رواناب رخداد را بررسی کردند. طی دورهٔ آماری تحقیق، در مجموع، ۵۳۵ واقعهٔ بارش استخراج شد و نتایج نشان داد که ضریب رواناب با متوسط بارش سالیانه، زمانی‌که میزان آن بیشتر از ۱۲۰۰ میلی‌متر باشد، همبستگی بالایی نشان می‌دهد.

ورما[4] و همکاران (۲۰۲۱) از مدل بهبودیافتهٔ SCS-CN برای تخمین رواناب سطحی از واقعه‌های بزرگ بارندگی استفاده کردند. براساس نتایج این پژوهش، مدل پیشنهادی توانسته است بر محدودیت‌های اصلی نسخه‌های قبلی غلبه کند و در تخمین رواناب، مؤثر باشد. گاندی و پاتل[5] (۲۰۱۹)، با استفاده از روش SCS-CN و Geo-Spatial Technique، رواناب سطحی زیرحوضه‌ای آبخیز در هند را تخمین زدند. نتایج نشان داد SCS-CN روش مناسبی برای تخمین رواناب سطحی است. کیم و شین[6] (۲۰۱۸)، بین ضریب رواناب و شدت بارندگی و شمارهٔ منحنی، رابطه‌ای به دست آوردند و با استفاده از این رابطه، مقدار دبی اوج جریان را محاسبه کردند. براساس نتایج این تحقیق ضریب رواناب تخمینی و دبی اوج جریان، با استفاده از رابطهٔ به‌دست‌آمده، با ضریب رواناب و دبی اوج جریان اندازه‌گیری‌شدهٔ حوضهٔ آبخیز مورد مطالعه مطابقت دارد. مصطفی‌زاده[7] و همکاران (۲۰۱۸) شمارهٔ منحنی را از رویدادهای بارش و رواناب و تغییرات آن با مؤلفه‌های بارش را تعیین کردند. نتایج نشان داد میانگین مقادیر شمارهٔ منحنی، در فصل‌های تابستان و زمستان، حدود ۶۰ و در فصل‌های بهار و پاییز، به‌ترتیب ۵۰ و ۵۶ است. با برقراری ارتباط بین شمارهٔ منحنی با ویژگی‌های بارش در نمودارهای سه متغیره، مقدار زیاد شمارهٔ منحنی، در بارش‌هایی با شدت بیش از ۱۰ میلی‌متر در ساعت و بیش از ۴۰ میلی‌متر برآورد شد. همچنین در رخدادهایی با ضریب رواناب ۴۰-۸۰٪، مقدار شمارهٔ منحنی برآوردشده بیش از ۷۰ بود. مرسا[8] (۲۰۱۹) روش SCS-CN را در مقایسه با شبکهٔ عصبی مصنوعی (ANN) و مدل Hec – HMS، به‌منظور برآورد جریان در حوضه‌ای بدون ایستگاه در اتیوپی، به کار برد. نتایج نشان داد روش SCS-CN، در مقادیر جریان زیاد، و ANN، در مقادیر جریان کم، عملکرد نسبی بهتری داشته‌اند.

1. Pektas & Cigizoglu
2. Ahmadi Sani
3. Norbiato
4. Verma
5. Gandhi & Patel
6. Kim & Shin
7. Mostafazadeh
8. Meresa

تعیین ضریب رواناب حوضه‌ها از مؤلفه‌های مهم در نوشتن معادلهٔ بیلان، نحوهٔ ایجاد رواناب و تفکیک آن از دبی پایه است و در نهایت، محاسبهٔ میزان نفوذ به آب‌های زیرزمینی نیازمند تعیین رواناب حوضه است. تعیین مقدار ضریب رواناب از بزرگ‌ترین مشکلات و منبع اصلی فقدان اطمینان در بسیاری از پروژه‌های منابع آب است. در بیشتر پژوهش‌ها در زمینهٔ منابع آب، مقادیر ضریب رواناب از جدول‌های مقادیر و با توجه به شرایط منطقهٔ مورد مطالعه برداشت می‌شود. نگرانی اصلی، در این روش، انتخاب مقادیری است که به‌صورت ذهنی از روشی مبهم انتخاب می‌شوند و قضاوتی شخصی را دربارهٔ داده‌های مفید بازتاب می‌دهند؛ ازاین‌رو باید، برای تعیین ضریب رواناب، روشی مناسب انتخاب شود. هدف این پژوهش برآورد ضریب رواناب در محدودهٔ مطالعاتی سلسله است و مطالعه‌ای در این باره، در منطقهٔ مورد مطالعه، صورت نگرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مطالعاتی سلسله در شمال استان لرستان واقع شده و مختصات جغرافیایی آن ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقهٔ عرض شمالی است. این منطقه، از نظر موقعیت زمین‌شناسی، بخشی از زاگرس چین‌خورده است. تشکیلات زمین‌شناسی این محدوده به دورهٔ تریاس فوقانی تا عهد حاضر بازمی‌گردد و اغلب از سنگ آهک تشکیل شده است. شمال‌شرق منطقهٔ مورد مطالعه را سنگ‌های کربناته‌ای دربرمی‌گیرد که زمان آنها تریاس فوقانی- کرتاسه است. شرق و جنوب این محدوده معمولاً از سنگ‌های مارنی و آهک مارنی سازند پابده تشکیل شده است که فرسایش‌پذیرترین سنگ‌های ناحیه‌اند. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۶۱۵ و حداقل آن ۱۴۸۶ متر است. حداکثر و حداقل درجهٔ حرارت مطلق، به‌ترتیب، در تیر ماه ۴۷/۴ و در دی ماه ۱۴/۱۲- درجهٔ سانتی‌گراد و همچنین متوسط درجهٔ حرارت آن ۱۷/۹ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است. میانگین بارندگی سالیانهٔ این محدودهٔ مطالعاتی ۵۴۰/۸۶ میلی‌متر است (برگرفته از شرکت سهامی آب منطقه‌ای لرستان). شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه و جدول ۱ مشخصات فیزیوگرافی آن را نشان می‌دهد.

شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی محدودهٔ مطالعاتی سلسله

پارامتر	محدودهٔ مطالعاتی سلسله
مساحت (Km^2)	۷۹۷/۱۶
محیط (Km)	۱۵۲/۰۷
ضریب گراولیوس	۱/۵۲
ضریب گردی میلر	۰/۴۳
مجموع طول آبراهه‌ها (Km)	۲۱۹/۰۸
تراکم آبراهه‌ای ($\frac{Km}{Km2}$)	۰/۲۷
ارتفاع حداکثر (m)	۳۶۲۷
ارتفاع حداقل (m)	۱۴۴۹
شیب متوسط (٪)	۲۶/۹۵

۲-۲- ابزار Arc CN – Runoff

در دهه‌های اخیر، توسعهٔ مدل‌های هیدرولوژیکی مبتنی‌بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد توجه محققان و دانشمندان قرار گرفته است. یکی از این ابزارها Arc CN – Runoff است که جان و هوانگ[1] (۲۰۰۴) آن را به‌منظور تعیین ارتفاع و حجم رواناب براساس روش SCS مطرح کردند. از ویژگی‌های این ابزار، محاسبهٔ شمارهٔ منحنی و رواناب برای هر پلی‌گون به‌صورت مجزاست. ازآن‌جاکه بیشترین کاربرد نقشهٔ شمارهٔ منحنی در تبدیل بارش به رواناب است، می‌توان از نقشهٔ شمارهٔ منحنی تهیه‌شده در بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی استفاده کرد. برای تهیهٔ این نقشه‌ها از ابزار Arc – GIS استفاده می‌شود زیرا سرعت و دقت عمل محاسبات را نیز افزایش می‌دهد.

۲-۲-۱- تلفیق لایهٔ گروه هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی

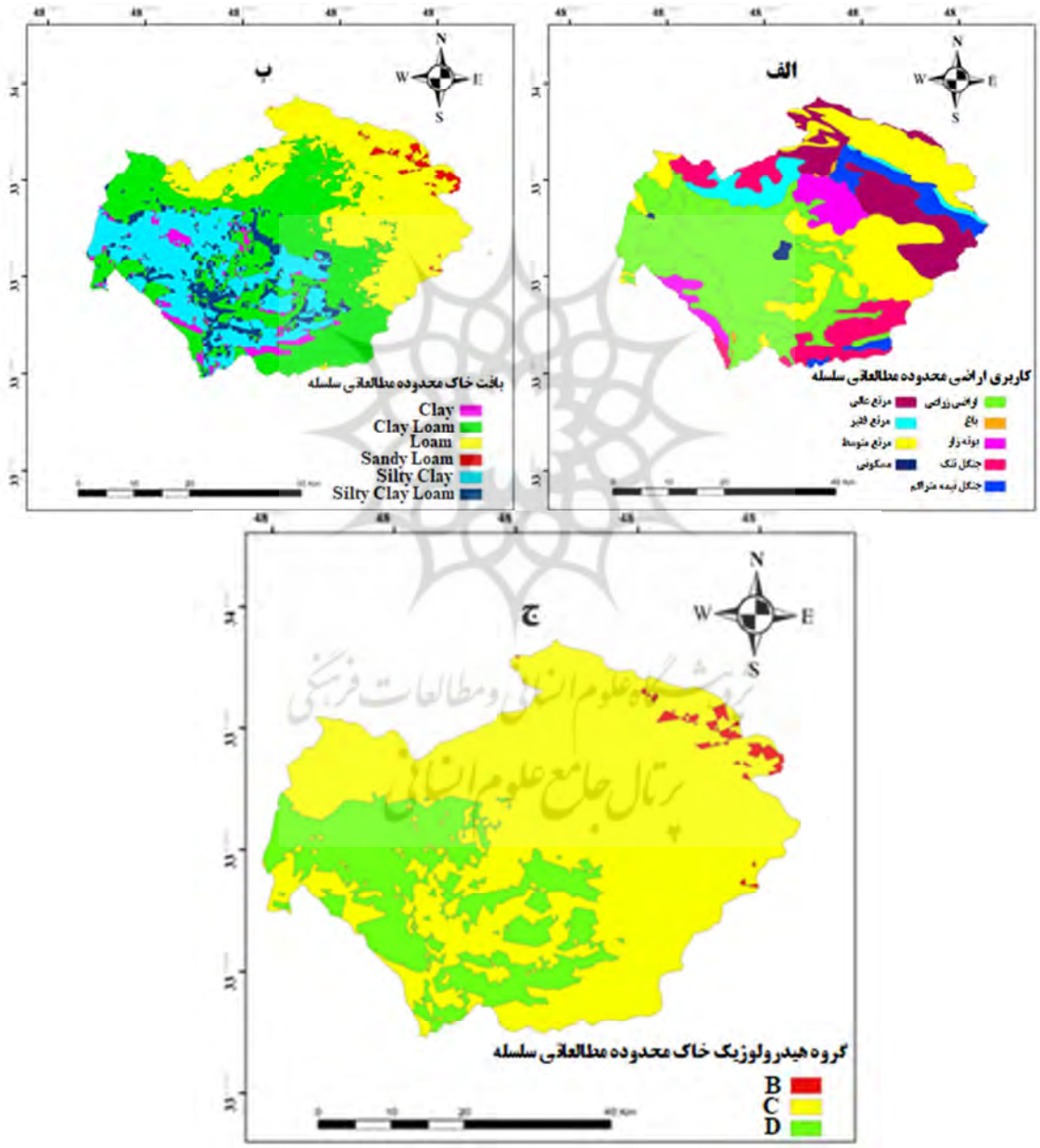
به‌منظور اجرای این پژوهش، از دو سری داده شامل اطلاعات مدل رقومی ارتفاعی، کلاس‌های کاربری اراضی، بافت خاک و آمار هواشناسی و هیدرولوژیکی (بارش و رواناب) منطقهٔ مورد پژوهش، متعلق به دورهٔ آماری بیست‌ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۰)، استفاده شد. در ابتدا، برای تهیهٔ نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیکی، از نقشهٔ بافت خاک در عمق ۲۰۰سانتی‌متری محدودهٔ مطالعاتی سلسله بهره گرفته شد و با توجه به نوع بافت خاک، گروه هیدرولوژیکی خاک محدودهٔ مطالعاتی استخراج و در نهایت، در سه دسته(A,B,C) تقسیم‌بندی شد. نقشهٔ کاربری اراضی از ادارهٔ کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان دریافت و طبقه‌بندی، در نُه دسته، روی این نقشه انجام گردید. نقشهٔ لایهٔ کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک وارد محیط ابزار Arc CN – Runoff شد و در نهایت، عملیات تلفیق[2] روی دو لایه اعمال، و لایهٔ کاربری اراضی- گروه هیدرولوژیکی[3] تهیه شد؛ این لایهٔ جدید فقط سطح پوشیده‌شده با دو لایه را نشان می‌دهد و نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب، میزان نگهداشت سطحی خاک، حجم، ارتفاع و ضریب رواناب براساس این لایه تهیه می‌شود. در نهایت، مقدار ضریب رواناب در سه حالت وضعیت رطوبتی خشک، متوسط و مرطوب (منظور وضعیت رطوبت پیشین خاک است) برآورد و مقایسه‌ای انجام شد. همچنین همبستگی بین ضریب رواناب و ویژگی‌های محدودهٔ مطالعاتی سلسله نیز مورد بررسی قرار گرفت.

بیشترین مساحت در محدودهٔ مطالعاتی سلسله، با ۳۰۵/۴۰ کیلومترمربع، به کاربری اراضی زراعی تعلق دارد که ۳۸/۵۳٪ مساحت منطقه را شامل می‌شود.

1. Zhan & Huang
2. Intersect
3. Land Soil

کمترین مساحت نیز، با ۳/۵۹ کیلومترمربع کـه ۰/۴۵٪ مساحت را اشغال کـرده، متعلـق بـه کـاربری مسـکونی اسـت. شـکل ۲ـ الـف و جـدول ۲ مشخصـات کـاربری اراضی محدودهٔ مطالعاتی را نشان می‌دهد.

با توجه بـه شـکل ۲ـ ب و جـدول ۳، بافـت خـاک در محدودهٔ مطالعـاتی مـورد نظـر شـامل Clay، Clay Loam، Loam ، Sandy Loam ، Silty Clay ، Silty Clay Loam است. طبق شـکل ۲ـ ج و جـدول ۴، گـروه هیـدرولوژیکی خاک در این محدودهٔ مطالعاتی به سه گـروه هیـدرولوژیک خاک (B، C، D) تقسیم می‌شود که این گروه‌ها، به‌ترتیـب ۸/۲۶، ۶۰۶/۸۷ و ۱۸۲/۱۱ کیلومترمربع از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۲. الف) کاربری اراضی؛ ب) بافت خاک؛ ج) گروه هیدرولوژیک خاک محدودهٔ مطالعاتی سلسله

جدول ۲. تفکیک کاربری اراضی محدودهٔ مطالعاتی سلسله

محدودهٔ مطالعاتی سلسله			
کد کاربری	**نوع کاربری اراضی**	**مساحت (Km^2)**	**مساحت اشغال‌شده (٪)**
۱	اراضی زراعی	۳۰۵/۴۰	**۳۸/۵۳**
۲	باغ	۱/۴۸	**۰/۲۳**
۳	بوته‌زار	۴۶/۴۳	**۵/۸۸**
۴	جنگل تنک	۷۳/۲۳	**۹/۲۱**
۵	جنگل نیمه‌متراکم	۳۹/۸۹	**۵/۰۲**
۶	مرتع فقیر	۳۶/۷۳	**۴/۶۰**
۷	مرتع عالی	۹۶/۱۹	**۱۱/۶۶**
۸	مرتع متوسط	۱۹۴/۲۴	**۲۴/۴۲**
۹	مسکونی	۳/۵۹	**۰/۴۵**
	مجموع مساحت	۷۹۷/۱۸	**۱۰۰**

جدول ۳. بافت خاک محدودهٔ مطالعاتی سلسله

محدودهٔ مطالعاتی سلسله	
نوع کاربری اراضی	**بافت خاک**
اراضی زراعی	**Silty Clay، Silty Clay Loam ، Clay Loam ،Clay**
باغ	**Silty Clay، Silty Clay Loam ، Clay Loam ،Clay**
بوته‌زار	**Silty Clay، Silty Clay Loam ، Loam ، Clay Loam ،Clay**
جنگل تنک	**Silty Clay، Silty Clay Loam ، Loam ، Clay Loam ،Clay**
جنگل نیمه‌متراکم	**Loam،Clay Loam**
مرتع فقیر	**Silty Clay، Loam ،Clay Loam**
مرتع عالی	**Loam،Clay Loam**
مرتع متوسط	**Sandy Loam، Silty Clay ، Silty Clay Loam ، Loam ، Clay Loam ،Clay**
مسکونی	**Silty Clay Loam**

جدول ۴. گروه هیدرولوژیک خاک محدودهٔ مطالعاتی سلسله

حوضه فرعی	**گروه هیدرولوژیک خاک**	**مساحت (Km^2)**
محدودهٔ مطالعاتی سلسله	B	۸/۲۶
	C	۶۰۶/۸۷
	D	۱۸۲/۱۱

۲-۳- روش SCS–CN[1]

این روش برای برآورد ارتفاع رواناب و تهیهٔ هیدروگراف سیل و محاسبهٔ عامل‌های اساسی، مانند دبی اوج، زمان تا اوج، زمان تأخیر، زمان پایهٔ سیلاب، به کار می‌رود. دلیل کاربرد گستردهٔ آن احتمالاً سادگی، کاربرد، دردسترس‌بودن ورودی‌های مدل و ارائهٔ خروجی‌های متعدد است. در مطالعهٔ حوضه، آنچه اغلب دانستن آن ضرورت دارد عمق متوسط بارش است و چه‌بسا رواناب سالیانهٔ حاصل از این بارش‌ها، در حوضه‌ای، در حال افزایش باشد که بخشی از آن احتمالاً نتیجهٔ افزایش ضریب حوضه است. ضریب حوضه به‌منزلهٔ شمارهٔ منحنی رواناب (CN)[2] شناخته می‌شود که نشان‌دهندهٔ پتانسیل رواناب، با توجه به پوشش سطح زمین و خاک است. تغییر CN حوضه به‌علت ازمیان‌رفتن پوشش، تغییر کاربری زمین، افزایش دما و یا تغییر در ترکیب بارش رخ می‌دهد. تنوع در نتایج CN به‌دلیل شدت بارندگی، مدت بارندگی، مجموع بارندگی، نوع خاک، شخم، شرایط رطوبتی خاک، مرحلهٔ رشد، پوشش باقی‌مانده بر سطح و دماست. در وقوع سیل، علاوه‌بر عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی منطقه، عوامل دیگری مانند ساختار زمین‌شناختی و ویژگی‌های خاک، همراه با پوشش گیاهی آن نیز بسیار مؤثر است؛ بنابراین برآورد حجم رواناب و اوج دبی با تعیین CN، ویژگی‌های حوضه و داده‌های بارش مشاهده‌ای امکان‌پذیر بوده ولی درمورد بارش‌های به‌صورت برف و بارش روی اراضی یخزده کاربرد ندارد و آب پایه را نیز دربرنمی‌گیرد. در این روش، ارتفاع رواناب ناشی از بارش طبق رابطه (۱) به دست می‌آید (Mahdavi, 2011).

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \qquad P > 0.2S \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله، Q ارتفاع رواناب برحسب میلی‌متر، P حداکثر بارندگی ۲۴ساعته برحسب میلی‌متر و S حداکثر نگهداشت سطحی برحسب میلی‌متر است. مقدار S، در این معادله، با نوع پوشش و نحوهٔ بهره‌برداری از اراضی و وضعیت سطح خاک، از نظر نفوذپذیری، در ارتباط است. مقدار S طبق رابطه (۲)، با عاملی بدون بُعد با نام CN، ارتباط می‌یابد. مقدار CN بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است؛ CN برابر صفر بیان می‌کند هیچ‌گونه روانابی از بارندگی حاصل نشده و در CN برابر با ۱۰۰، تمامی بارش در سطح زمین جریان می‌یابد و ارتفاع رواناب با ارتفاع بارندگی یکسان است (Mahdavi, 2011).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

۲-۴- روش ICAR

سازمان تحقیقات آبیاری هندوستان[3] رابطهٔ (۳) را با نام ICAR، برای برآورد رواناب سالیانه، مطرح کرده است. در این رابطه، R رواناب سالیانه به سانتی‌متر، P بارندگی سالیانهٔ منطقه به سانتی‌متر، A مساحت منطقه به کیلومترمربع و T متوسط سالیانهٔ دما به درجهٔ سانتی‌گراد است (Maleki & Madadi, 2015).

$$R = \frac{1.115 \times P^{1.44}}{T^{1.34} \times A^{0.0613}} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

۳- نتایج

۳-۱- وضعیت بارندگی- رواناب و ضریب رواناب محدودهٔ مطالعاتی سلسله

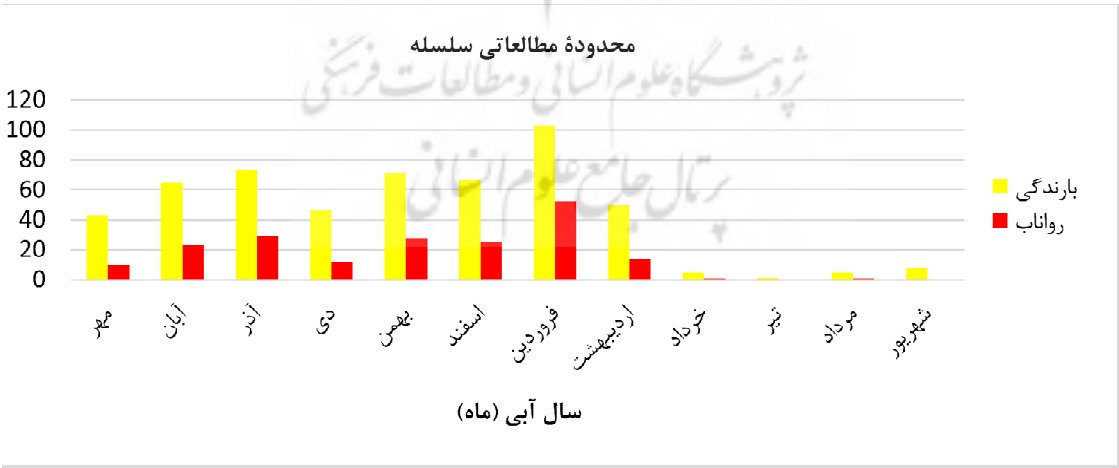
هیستوگرام مقادیر بارندگی و رواناب در محدودهٔ مطالعاتی سلسله در شکل ۳ آورده شده است. جدول ۵ نیز وضعیت بارندگی- رواناب حوضه را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار بارندگی طی دورهٔ بیست‌ساله (۱۳۸۰-۱۴۰۰) در فروردین، با ۱۰۳ میلی‌متر و کمترین مقدار بارندگی در تیر، با ۱/۵ میلی‌متر به دست آمد. بیشترین مقدار رواناب در فروردین، با ۵۲/۶۸ میلی‌متر و کمترین آن، با ۰ میلی‌متر، در تیر به دست آمد. بیشترین مقدار ضریب رواناب نیز، با ۰/۵۱٪ برای فروردین و کمترین آن، با مقدار ۰، برای تیر برآورد شد. متوسط سالیانهٔ

1. Soil Conservation Service Curve Number
2. Runoff Curve Number
3. Indian Agricultural Research Institute

مقدار ضریب رواناب، در این محدودهٔ مطالعاتی نیز، ۰/۲۶٪ به دست آمد. در این محدوده، مقدار ضریب رواناب از فروردین تا شهریور روند کاهشی دارد. میزان افزایش پوشش گیاهی، از فروردین تا شهریور، یکی از دلایل مهم کاهش میزان رواناب در این منطقه است چون، با افزایش پوشش گیاهی، بارش فرصت بیشتری برای نفوذ در خاک می‌یابد. وقوع بارندگی‌هایی با فاصله‌های طولانی و شدت پایین‌تر در تابستان، در قیاس با بهار، نیز از دلایل کاهش سرعت رواناب در این دورهٔ زمانی از سال شمرده می‌شود و تولید رواناب در واحد سطح و در نتیجه، ضریب رواناب کاهش می‌یابد؛ اما درمورد شش ماه دوم سال، شرایط برعکس شش ماه نخست است چون، در این دورهٔ زمانی، بارندگی‌های کوتاه‌مدت و دارای شدت بیشتری رخ می‌دهد و به‌طبع، ایجاد رواناب در واحد سطح افزایش می‌یابد. بنابراین بیشترین خطر پتانسیل وقوع سیل، در محدودهٔ مطالعاتی سلسله که سطح کوچک با شکل غیرکشیده دارد، به اوایل بهار بازمی‌گردد و ازاین‌رو حفظ پوشش گیاهی آن، به‌ویژه در اوایل بهار، اهمیت بسیار می‌یابد.

جدول ۵. وضعیت بارندگی- رواناب و ضریب رواناب محدودهٔ مطالعاتی سلسله

ماه	بارندگی (mm)	رواناب (mm)	ضریب رواناب (٪)
مهر	۴۳	۹/۶۴	۰/۲۲
آبان	۶۵	۲۳/۳۹	۰/۳۵
آذر	۷۳	۲۹/۱۱	۰/۳۹
دی	۴۶	۱۱/۳۰	۰/۲۴
بهمن	۷۱	۲۷/۶۶	۰/۳۸
اسفند	۶۷	۲۴/۷۹	۰/۳۷
فروردین	۱۰۳	۵۲/۶۸	۰/۵۱
اردیبهشت	۵۰	۱۳/۶۳	۰/۲۷
خرداد	۵	۱/۰۸	۰/۲۱
تیر	۱/۵	۰	۰
مرداد	۵	۱/۰۸	۰/۲۱
شهریور	۸	۰/۳۹	۰/۰۴



شکل ۳. هیستوگرام مقادیر حداکثر بارندگی- رواناب طی دورهٔ آماری بیست‌ساله در محدودهٔ مطالعاتی سلسله

۳-۲- ماتریس همبستگی ضریب رواناب و مشخصات فیزیوگرافی محدودهٔ مطالعاتی سلسله

جدول ۶ همبستگی بین ضریب رواناب و ویژگی‌های محدودهٔ مطالعاتی را نشان می‌دهد. بررسی این مورد بیان می‌کند، بین ضریب رواناب سالیانه و مساحت محدودهٔ مطالعاتی، همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد (p>0/01 و R= -0/83). هرقدر مساحت محدودهٔ مطالعاتی کاهش بیابد، امکان نفوذ آب در خاک کاهش و در نتیجه، ضریب رواناب حوضه افزایش می‌یابد. بین ضریب رواناب سالیانه و شیب نیز همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده شد (p>0.01 و R= 0.81). شیب حوضه اثری محسوس و درخور توجه در جریان سطحی آن دارد. تأثیر شیب در مقدار رواناب ناشی از اثر آن در ظرفیت نگهداشت سطحی آب و همچنین فرصت نفوذ آب در خاک است. چنانچه متوسط درصد شیب حوضه افزایش یابد، میزان رواناب زیاد می‌شود زیرا تجمع آب در ناهمواری‌های سطحی رابطه‌ای نزدیک با شیب حوضه دارد و با افزایش آن، تقلیل می‌یابد؛ این نکته در محدودهٔ مطالعاتی سلسله صدق می‌کند. در نتیجه، دبی اوج هیدروگراف تیزتر می‌شود. بین ضریب رواناب سالیانه و طول آبراهه نیز همبستگی منفی معنی‌داری دیده شد (p>0/01 و R= -0/80). هراندازه طول آبراههٔ اصلی طولانی‌تر باشد و در این مسیر، زبری سطحی و پوشش گیاهی بیشتر باشد، فرصت نفوذ آب در خاک افزایش و مقدار رواناب و ضریب رواناب کاهش می‌یابد. ضریب رواناب سالیانه و ضریب گراولیوس نیز همبستگی منفی معنی‌داری داشتند (p>0/01 و R= -0/80) و هرچه مقدار ضریب گراولیوس کمتر باشد، حوضه گردتر می‌شود و مقدار زمان تمرکز نیز کاهش می‌یابد و به‌طبع، مقدار رواناب و ضریب رواناب نیز دچار افزایش می‌شود. شکل محدودهٔ مطالعاتی نیز در ویژگی‌های رواناب حوضه نقشی اساسی دارد؛ هرچه حوضه کشیده‌تر و طویل‌تر باشد، دبی اوج رواناب کمتر می‌شود. دبی اوج، در حوضه‌های گرد با زمان تمرکز کوتاه، بیشتر از حوضه‌های کشیده است؛ بنابراین، در محدودهٔ مطالعاتی مورد نظر، ضریب رواناب تحت تأثیر شش ویژگی فیزیوگرافی محدوده، یعنی مساحت، شیب، طول آبراهه، ضریب گراولیوس، حداکثر ارتفاع و تراکم آبراهه‌ای، قرار دارد و در مقدار ضریب رواناب این منطقه تأثیر بسزایی دارد.

۳-۳- نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب (CN)

به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب (CN)، نقشهٔ کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک محدودهٔ

جدول ۶. ماتریس همبستگی بین ضریب رواناب و مشخصات فیزیوگرافی محدودهٔ مطالعاتی سلسله

	ضریب رواناب	شیب	مساحت	طول آبراهه	تراکم آبراهه‌ای	ضریب گراولیوس	حداکثر ارتفاع
ضریب رواناب	۱						
شیب	۰/۸۱	۱					
مساحت	-۰/۸۳	۰/۴۳	۱				
طول آبراهه	-۰/۸۰	۰/۳۸	۰/۷۴	۱			
تراکم آبراهه‌ای	-۰/۸۲	-۰/۳۲	-۰/۸۰	-۰/۸۴	۱		
ضریب گراولیوس	-۰/۸۰	-۰/۴۴	-۰/۵۱	۰/۳۳	۰/۷۷	۱	
حداکثر ارتفاع	۰/۷۹	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۲۸	-۰/۵۵	-۰/۶۴	۱

مطالعاتی با یکدیگر تلفیق شد و نقشه‌هایی با واحدهای کوچک‌تر به دست آمد که هر واحد کوچک دارای یک نوع گروه هیدرولوژیک خاک با کاربری مشخص است. سپس با استفاده از جدول شاخص[1]، مقدار شمارهٔ منحنی رواناب هریک از گروه‌های هیدرولوژیک خاک، با توجه به نوع کاربری اراضی براساس جدول‌های مورد نظر، از منابع در دسترس استخراج شد. در حالت رطوبتی خشک، مقدار CN گروه‌های هیدرولوژیک D بین ۶۰ تا ۷۶، درمورد گروه هیدرولوژیک C بین ۵۲ تا ۷۸ و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۴۱ تا ۵۰ متغیر است. مقدار CN کل محدوده، در حالت رطوبتی خشک، ۶۵ برآورد شد. جدول ۷ بیانگر این مقدارهاست. در حالت رطوبتی متوسط، مقدار CN برای گروه هیدرولوژیک D بین ۷۸ تا ۸۹، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۷۱ تا ۹۰ و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۶۱ تا ۶۹ متغیر است. مقدار CN کل محدوده، در حالت رطوبتی متوسط، برابر با ۸۱ به دست آمد. جدول ۸ گویای این اعداد است. در حالت رطوبتیِ تر، مقدار CN برای گروه هیدرولوژیک D بین ۹۰ تا ۹۶، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۸۶ تا ۹۶ و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۷۸ تا ۸۴ متغیر است. مقدار CN کل محدوده، در حالت رطوبتیِ تر، برابر با ۹۲ برآورد شد. جدول ۹ این شماره‌های منحنی رواناب در حالت رطوبتی مورد نظر را نشان می‌دهد.

۴-۳- نگهداشت سطحی خاک (S)

پس از استخراج نقشهٔ شمارهٔ منحنی CN و مقادیر به‌دست‌آمدهٔ CN در محدودهٔ مورد نظر، مقدار S یا حداکثر توان نگهداری در ارتباط با رباش و نفوذ در خاک و ذخیرهٔ سطحی محاسبه شد. مقدار S، در حالت رطوبتی خشک، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۸۰/۲۱ تا ۱۶۹/۳۳ میلی‌متر، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۷۱/۶۴ تا ۲۳۴/۴۶ میلی‌متر و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۲۵۴ تا ۳۶۵/۵۱ میلی‌متر متغیر است. میزان نگهداشت سطحی خاک کل محدوده، در حالت رطوبتی خشک، ۱۳۸/۷۴ میلی‌متر برآورد شد. جدول ۷ بیانگر این مقادیر است.

مقدار S، در حالت رطوبتی متوسط، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۳۱/۳۹ تا ۷۱/۶۴ میلی‌متر، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۲۸/۲۲ تا ۱۰۳/۷۴میلی‌متر و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۱۱۴/۱۱ تا ۱۶۲/۳۹ میلی‌متر متغیر است. میزان نگهداشت سطحی خاک کل محدوده، در حالت رطوبتی متوسط، برابر با ۵۹/۶۰ میلی‌متر برآورد شد. در جدول ۸، به این اندازه‌ها اشاره شده است. مقدار S، در حالت رطوبتیِ تر، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۱۰/۵۸ تا ۲۸/۲۲ میلی‌متر، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۱۰/۵۸ تا ۴۱/۳۴ میلی‌متر و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۴۸/۳۸ تا ۷۱/۶۴ میلی‌متر متغیر است. میزان نگهداشت سطحی خاک کل محدوده، در حالت رطوبتیِ تر، ۲۳/۴۲ میلی‌متر به دست آمد. جدول ۹ این مقدارها را بازگو می‌کند.

۵-۳- ارتفاع رواناب (Q)

یکی دیگر از عواملی که در ارتفاع رواناب تأثیر دارد حداکثر بارندگی ۲۴ساعته است. با استفاده از داده‌های ایستگاه باران‌سنجی سراب صیدعلی الشتر در داخل محدودهٔ مطالعاتی، حداکثر بارندگی ۲۴ساعته برای دورهٔ آماری (۱۳۸۰-۱۴۰۰) برآورد شد. مقدار ارتفاع رواناب در محدوده، در حالت رطوبتی خشک، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۲۰/۰۴ تا ۴۵/۲۳ میلی‌متر، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۱۰/۸۳ تا ۴۹/۰۵ میلی‌متر و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۲/۲۶ تا ۸/۸۹ میلی‌متر متغیر است. میزان ارتفاع رواناب کل محدوده در حالت رطوبتی خشک برابر با ۲۷/۷۸ میلی‌متر برآورد شد. در جدول ۷، این مقادیر بیان شده است. مقدار ارتفاع

1. Index

رواناب محدوده، در حالت رطوبتی متوسط، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۴۹/۰۵ تا ۷۳/۰۳ میلی‌متر، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۳۶/۳۸ تا ۷۵/۴۸ میلی‌متر و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۲۱/۳۵ تا ۳۳/۰۹ میلی‌متر متغیر است. میزان ارتفاع رواناب کل محدوده، در حالت رطوبتی متوسط، ۵۵/۷۳ میلی‌متر به دست آمد. جدول ۸ بیانگر این اعداد است. مقدار ارتفاع رواناب محدوده، در حالت رطوبتیِ تر، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۷۵/۴۸ تا ۹۱/۳۲ میلی‌متر، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۶۵/۹۶ تا ۹۱/۳۲ میلی‌متر و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۴۹/۰۵ تا ۶۱/۴۷ میلی‌متر متغیر است. میزان ارتفاع رواناب کل محدوده، در این وضعیت رطوبتی، ۷۹/۳۱ میلی‌متر برآورد شد. در جدول ۹، میزان ارتفاع رواناب محدوده در حالت رطوبتیِ تر بیان شده است.

۶-۳- حجم رواناب (V)

بعد از تهیهٔ نقشهٔ ارتفاع رواناب، با داشتن مساحت هر طبقه از کاربری اراضی، نقشهٔ حجم رواناب محدوده به دست آمد. مقدار حجم رواناب محدوده، در حالت رطوبتی خشک، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۲/۵۵ تا ۷۴۶۵/۲۱هزار مترمکعب، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۲۴/۳۶ تا ۴۸۷۱/۵۴هزار مترمکعب و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۱/۲۲ تا ۶۸/۵۴هزار مترمکعب متغیر است. میزان حجم رواناب کل محدوده، در این وضعیت رطوبتی، ۳۷۱۰/۶۴هزار مترمکعب برآورد شد. جدول ۷ گویای این مقادیر خاص است. مقدار حجم رواناب محدوده، در حالت رطوبتی متوسط، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۵/۱۴ تا ۱۲۰۵۳/۶۰هزار مترمکعب، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۶۲/۸۶ تا ۹۱۴۷/۳۷هزار مترمکعب و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۱۱/۵۲ تا ۲۵۵/۱۲هزار مترمکعب است. میزان حجم رواناب کل محدوده، در حالت رطوبتی متوسط، برابر با ۷۱۶۴/۰۳هزار مترمکعب به دست آمد. در جدول ۸، به این مقدارها اشاره شده است. حجم رواناب این محدوده، در حالت رطوبتیِ تر، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۷/۲۴ تا ۱۵۰۷۲/۳۶هزار مترمکعب، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۱۰۱/۵۱ تا ۱۳۹۸۲/۸۲هزار مترمکعب و برای گروه هیدرولوژیک B بین ۲۶/۴۸ تا ۴۷۳/۹۳هزار مترمکعب است. میزان رواناب کل محدوده، در این حالت رطوبتی، ۱۰۰۷۰/۴۶هزار مترمکعب برآورد شد که در جدول ۹ بیان شده است.

۷-۳- ضریب رواناب (CR)[1]

با استفاده از مقادیر ارتفاع رواناب و ارتفاع بارش برای هر کاربری در محدودهٔ مطالعاتی، مقدار ضریب رواناب به دست آمد و سپس نقشهٔ ضریب رواناب در محیط GIS تهیه شد. مقدار این ضریب در محدوده، در حالت رطوبتی خشک، برای گروه هیدرولوژیک D بین ۰/۱۹ تا ۰/۴۳ متغیر است. که بیشترین مقدار به کاربری مرتع فقیر و اراضی زراعی، با ارزش ۴۳/ و ۰ بعد از آن، به کاربری مرتع متوسط، با ارزش ۰/۳۰ بازمی‌گردد. کمترین مقدار نیز به کاربری بوته‌زار، با ارزش ۰/۱۹، تعلق دارد. این مقدار، در حالت رطوبتی خشک، برای گروه هیدرولوژیک C بین ۰/۱۰ تا ۰/۴۷ متغیر است. بیشترین مقدار با ارزش ۰/۴۷، به کاربری مسکونی و پس از آن، با ارزش ۰/۳۶ به کاربری مرتع فقیر تعلق می‌یابد. کمترین میزان نیز، با ارزش ۰/۱۰، درمورد کاربری بوته‌زار به دست آمد. در حالت رطوبتی خشک، ضریب رواناب برای گروه هیدرولوژیک B بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۸ متغیر است و بیشترین مقدار، با ارزش ۰/۰۸، به کاربری مرتع متوسط و کمترین مقدار، با ارزش ۰/۰۲، به کاربری مرتع عالی بازمی‌گردد. میزان ضریب رواناب کل محدوده برابر با ۰/۲۶ برآورد شد که در جدول ۷ این مقدارها آمده است.

1. Runoff Coefficient

جدول ۷. مقادیر برآوردشده با روش SCS–CN در محدودهٔ مطالعاتی سلسله (حالت رطوبتی خشک)

HSG	D	C	B	D	C	B	D	C	B
کاربری اراضی	شمارهٔ منحنی رواناب			نگهداشت سطحی (mm)			ارتفاع رواناب (mm)		
اراضی زراعی	۷۶	۷۰	–	۸۰/۲۱	۱۰۸/۸۵	–	۴۵/۲۳	۳۴/۷۱	–
باغ	۶۶	۵۸	–	۱۳۰/۸۴	۱۸۳/۹۳	–	۲۸/۴۳	۱۷/۵۳	–
بوته‌زار	۶۰	۵۲	–	۱۶۹/۳۳	۲۳۴/۴۶	–	۲۰/۰۴	۱۰/۸۳	–
جنگل تنک	۶۷	۵۹	–	۱۲۵/۱۰	۱۷۶/۵۰	–	۲۹/۹۴	۱۸/۹۱	–
جنگل نیمه‌متراکم	–	۵۴	–	–	۲۱۶/۳۷	–	–	۱۲/۹۲	–
مرتع عالی	–	۵۵	۴۱	–	۲۰۷/۸۱	۳۶۵/۵۱	–	۱۴/۰۲	۲/۲۶
مرتع متوسط	۶۸	۶۲	۵۰	۱۱۹/۵۲	۱۵۵/۶۷	۲۵۴	۳۱/۵۰	۲۲/۷۰	۸/۸۹
مرتع فقیر	۷۶	۷۲	–	۸۰/۲۱	۹۸/۷۷	–	۴۵/۲۳	۳۸/۰۷	–
مسکونی	–	۷۸	–	–	۷۱/۶۴	–	–	۴۹/۰۵	–
کل محدوده		**۶۵**			**۱۳۸/۷۴**			**۲۷/۷۸**	

ادامهٔ جدول ۷.

HSG	D	C	B	D	C	B
کاربری اراضی	حجم رواناب (m^3)		ضریب رواناب (٪)			مساحت هر کاربری (Km^2)
اراضی زراعی	۷۴۶۵/۲۱	۴۸۷۱/۵۴	–	۰/۴۳	۰/۳۳	۳۰۵/۴
باغ	۲/۵۵	۲۴/۳۶	–	۰/۲۷	۰/۱۷	۱/۴۸
بوته‌زار	۱۱۱/۸۲	۴۴۲/۴۰	–	۰/۱۹	۰/۱۰	۴۶/۴۳
جنگل تنک	۱۲۰/۹۵	۱۳۰۸/۳۸	–	۰/۲۹	۰/۱۸	۷۳/۲۳
جنگل نیمه‌متراکم	–	۵۱۵/۳۷	–	–	۰/۱۲	۳۹/۸۹
مرتع عالی	–	۱۳۴۱/۰۱	۱/۲۲	–	۰/۱۳	۹۶/۱۹
مرتع متوسط	۲۲۸/۰۶	۴۰۶۹/۸۸	۶۸/۵۴	۰/۳۰	۰/۲۲	۱۹۴/۲۴
مرتع فقیر	۴/۰۷	۱۳۹۴/۱۲	–	۰/۴۳	۰/۳۶	۳۶/۷۱
مسکونی	–	۱۷۶/۰۸	–	–	۰/۴۷	۳/۵۹
کل محدوده		**۳۷۱۰/۶۴**			**۰/۲۶**	**۷۹۷/۱۶**

در حالت رطوبتی متوسط در محدودهٔ مورد نظر، مقدار ضریب رواناب برای گروه هیدرولوژیک D بین ۰/۴۷ تا ۰/۷۰ متغیر است. بیشترین مقدار، با ارزش ۰/۷۰، به کاربری مرتع فقیر و اراضی زراعی و بعد از آن، به کاربری مرتع متوسط، با ارزش ۰/۵۹ تعلق دارد. کمترین مقدار نیز، با ارزش ۰/۴۷، به کاربری بوته‌زار بازمی‌گردد. در حالت رطوبتی متوسط، این ضریب برای گروه هیدرولوژیک C بین ۰/۳۵ تا ۰/۷۳ متغیر است که بیشترین مقدار آن، با ارزش ۰/۷۳، به کاربری مسکونی و در مرتبهٔ بعدی، با ارزش ۰/۶۴، به کاربری مرتع فقیر اختصاص می‌یابد. کمترین مقدار نیز، با ارزش ۰/۳۵، به کاربری بوته‌زار بازمی‌گردد. در حالت رطوبتی متوسط، مقدار ضریب رواناب برای گروه هیدرولوژیک B بین ۰/۲۰ تا ۰/۳۲ متغیر است. بیشترین مقدار آن، با ارزش ۰/۳۲، به کاربری مرتع متوسط و کمترین مقدار، با ارزش ۰/۲۰، به کاربری مرتع عالی تعلق دارد. میزان ضریب رواناب کل محدوده ۰/۵۳ به دست آمد. جدول ۸ گویای این عددهاست.

جدول ۸. مقادیر برآوردشده با روش SCS–CN در محدودهٔ مطالعاتی سلسله (حالت رطوبتی متوسط)

HSG	D	C	B	D	C	B	D	C	B
کاربری اراضی	شمارهٔ منحنی رواناب			نگهداشت سطحی (mm)			ارتفاع رواناب (mm)		
اراضی زراعی	۸۹	۸۵	–	۳۱/۳۹	۴۴/۸۲	–	۷۳/۰۳	۶۳/۶۹	–
باغ	۸۲	۷۶	–	۵۵/۷۵	۸۰/۲۱	–	۵۷/۱۵	۴۵/۲۳	–
بوته‌زار	۷۸	۷۱	–	۷۱/۶۴	۱۰۳/۷۴	–	۴۹/۰۵	۳۶/۳۸	–
جنگل تنک	۸۳	۷۷	–	۵۲/۰۲	۷۵/۸۷	–	۵۹/۲۹	۴۷/۱۲	–
جنگل نیمه‌متراکم	–	۷۳	–	–	۹۳/۹۴	–	–	۳۹/۷۲	–
مرتع عالی	–	۷۴	۶۱	–	۸۹/۲۴	۱۶۲/۳۹	–	۴۱/۵۵	۲۱/۳۵
مرتع متوسط	۸۴	۷۹	۶۹	۴۸/۳۸	۶۷/۵۱	۱۱۴/۱۱	۶۱/۴۷	۵۱/۰۲	۳۳/۰۹
مرتع فقیر	۸۹	۸۶	–	۳۱/۳۹	۴۱/۳۴	–	۷۳/۰۳	۶۵/۹۶	–
مسکونی	–	۹۰	–	–	۲۸/۲۲	–	–	۷۵/۴۸	–
کل محدوده		**۸۱**			**۵۹/۶۰**			**۵۵/۷۳**	

ادامهٔ جدول ۸. مقادیر برآوردشده با روش SCS–CN در محدودهٔ مطالعاتی سلسله (حالت رطوبتی متوسط)

HSG	D	C	B	D	C	B	مساحت هر کاربری (Km^2)
کاربری اراضی	حجم رواناب (m^3)		ضریب رواناب (٪)				
اراضی زراعی	۱۲۰۵۳/۶۰	۸۹۳۸/۸۹	–	۰/۷۰	۰/۶۱	–	۳۰۵/۴
باغ	۵/۱۴	۶۲/۸۶	–	۰/۵۵	۰/۴۳	–	۱/۴۸
بوته‌زار	۲۷۳/۶۹	۱۴۸۶/۱۲	–	۰/۴۷	۰/۳۵	–	۴۶/۴۳
جنگل تنک	۲۳۹/۵۳	۳۲۶۰/۲۳	–	۰/۵۷	۰/۴۵	–	۷۳/۲۳
جنگل نیمه‌متراکم	–	۱۵۸۴/۴۳	–	–	۰/۳۸	–	۳۹/۸۹
مرتع عالی	–	۳۹۷۴/۲۵	۱۱/۵۲	–	۰/۴۰	۰/۲۰	۹۶/۱۹
مرتع متوسط	۴۴۵/۰۴	۹۱۴۷/۳۷	۲۵۵/۱۲	۰/۵۹	۰/۴۹	۰/۳۲	۱۹۴/۲۴
مرتع فقیر	۶/۵۷	۲۴۱۵/۴۵	–	۰/۷۰	۰/۶۴	–	۳۶/۷۱
مسکونی	–	۲۷۰/۹۷	–	–	۰/۷۳	–	۳/۵۹
کل محدوده		**۷۱۶۴/۰۳**			**۰/۵۳**		**۷۹۷/۱۶**

در حالت رطوبتیِ تر، مقدار ضریب رواناب برای گروه هیدرولوژیک D بین ۰/۷۳ تا ۰/۸۸ متغیر است که بیشترین مقدار، با ارزش ۰/۸۸، به کاربری مرتع فقیر و اراضی زراعی و سپس، با ارزش ۰/۸۰، به کاربری مرتع متوسط و جنگل تنک اشاره دارد. کمترین مقدار نیز به کاربری بوته‌زار بازمی‌گردد که ارزش آن ۰/۷۳ است. این مقدار، درمورد گروه هیدرولوژیک C، بین ۰/۶۴ تا ۰/۸۸ متغیر است. بیشترین مقدار، با ارزش ۰/۸۸، به کاربری مسکونی و در مرتبهٔ بعد، با ارزش ۰/۸۳، به کاربری مرتع فقیر و اراضی زراعی تعلق می‌یابد. کمترین مقدار نیز، با ارزش ۰/۶۴، متعلق به کاربری بوته‌زار است. درمورد گروه هیدرولوژیک B، این میزان بین ۰/۴۷ تا ۰/۵۹ متغیر است که بیشترین و کمترین مقدار، به‌ترتیب با ارزش ۰/۵۹ و ۰/۴۷، به کاربری‌های مرتع متوسط و مرتع عالی بازمی‌گردد. میزان ضریب رواناب کل محدوده برابر با ۰/۷۷ برآورد شد. در جدول ۹، به این مقدارها اشاره شده است.

جدول ۹. مقادیر برآوردشده با روش SCS–CN در محدودهٔ مطالعاتی سلسله (حالت رطوبتی تر)

HSG	D	C	B	D	C	B	D	C	B
کاربری اراضی	شمارهٔ منحنی رواناب			نگهداشت سطحی (mm)			ارتفاع رواناب (mm)		
اراضی زراعی	۹۶	۹۴	–	۱۰/۵۸	۱۶/۲۱	–	۹۱/۳۲	۸۵/۸۲	–
باغ	۹۲	۸۹	–	۲۲/۰۸	۳۱/۳۹	–	۸۰/۵۵	۷۳/۰۳	–
بوته‌زار	۹۰	۸۶	–	۲۸/۲۲	۴۱/۳۴	–	۷۵/۴۸	۶۵/۹۶	–
جنگل تنک	۹۳	۸۹	–	۱۹/۱۱	۳۱/۳۹	–	۸۳/۱۶	۷۳/۰۳	–
جنگل نیمه‌متراکم	–	۸۷	–	–	۳۷/۹۵	–	–	۶۸/۲۵	–
مرتع عالی	–	۸۸	۷۸	–	۳۴/۶۳	۷۱/۶۴	–	۷۰/۶۳	۴۹/۰۵
مرتع متوسط	۹۳	۹۱	۸۴	۱۹/۱۱	۲۵/۱۲	۴۸/۳۸	۸۳/۱۶	۷۷/۹۹	۶۱/۴۷
مرتع فقیر	۹۶	۹۴	–	۱۰/۵۸	۱۶/۲۱	–	۹۱/۳۲	۸۵/۸۲	–
مسکونی	–	۹۶	–	–	۱۰/۵۸	–	–	۹۱/۳۲	–
کل محدوده		**۹۲**			**۲۳/۴۲**			**۷۹/۳۱**	

ادامهٔ جدول ۹. مقادیر برآوردشده با روش SCS–CN در محدودهٔ مطالعاتی سلسله (حالت رطوبتیِ تر)

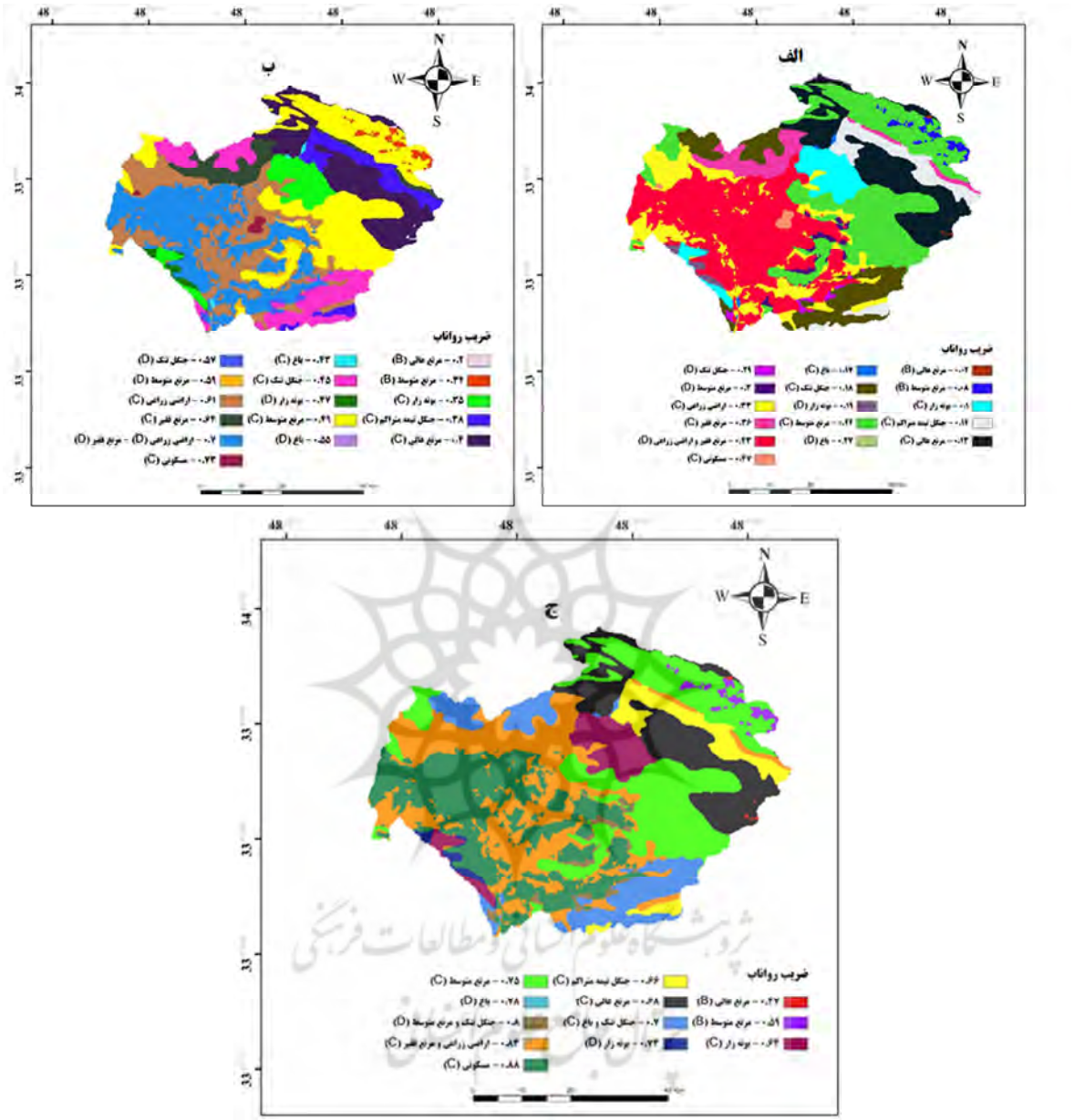
HSG	D	C	B	D	C	B	مساحت هر کاربری (Km^2)
کاربری اراضی	حجم رواناب (m^3)		ضریب رواناب (٪)				
اراضی زراعی	۱۵۰۷۲/۳۶	۱۲۰۴۴/۸۳	–	۰/۸۸	۰/۸۳	–	۳۰۵/۴
باغ	۷/۲۴	۱۰۱/۵۱	–	۰/۷۸	۰/۷۰	–	۱/۴۸
بوته‌زار	۴۲۱/۱۷	۲۶۹۴/۴۶	–	۰/۷۳	۰/۶۴	–	۴۶/۴۳
جنگل تنک	۳۳۵/۹۶	۵۰۵۲/۹۴	–	۰/۸۰	۰/۷۰	–	۷۳/۲۳
جنگل نیمه‌متراکم	–	۲۷۲۲/۴۹	–	–	۰/۶۶	–	۳۹/۸۹
مرتع عالی	–	۶۷۵۵/۷۵	۲۶/۴۸	–	۰/۶۸	۰/۴۷	۹۶/۱۹
مرتع متوسط	۶۰۲/۰۷	۱۳۹۸۲/۸۲	۴۷۳/۹۳	۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۵۹	۱۹۴/۲۴
مرتع فقیر	۸/۲۱	۳۱۴۲/۷۲	–	۰/۸۸	۰/۸۳	–	۳۶/۷۱
مسکونی	–	۳۲۷/۸۳	–	–	۰/۸۸	–	۳/۵۹
کل محدوده		**۱۰۰۷۰/۴۶**			**۰/۷۷**		**۷۹۷/۱۶**

۳-۸- روش ICAR

در این روش، با داشتن مقادیر بارش، دما و مساحت محدودهٔ مطالعاتی، ارتفاع رواناب سالیانه براساس رابطه‌ای تجربی تخمین زده می‌شود. ضریب رواناب به‌دست‌آمده طبق این روش قرابت بسیاری با روش SCS–CN داشت؛ ازاین‌رو این شیوه، از بین رابطه‌های تجربی، به‌منزلهٔ رابطهٔ برتر در این پژوهش استفاده و میزان ضریب رواناب، برای کل محدودهٔ مطالعاتی سلسله، ۰/۴۸ برآورد شد. جدول ۱۰ نتایج این روش را نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز یکی از مهم‌ترین روش‌های استفادهٔ بهینه از منابع آب است. بدین‌منظور، به اطلاعات جامع بر اساس روش‌های متفاوت مدیریتی و اجرایی نیاز داریم. بنابراین به روشی احتیاج است که ازطریق آن، به تغییرات هیدرولوژیکی آینده دست پیدا کنیم. هدف پژوهش حاضر برآورد ضریب رواناب در محدودهٔ مطالعاتی سلسله، با استفاده از ابزار Arc CN–Runoff و روش SCS–CN و همچنین رابطهٔ تجربی ICAR است. به‌منظور اجرای این پژوهش، از داده‌هایی



شکل ۴. ضریب رواناب در حالت رطوبتی خشک (الف)؛ ضریب رواناب در حالت رطوبتی متوسط (ب)؛ ضریب رواناب در حالت رطوبتی تر (ج)، در محدودهٔ مطالعاتی سلسله

جدول ۱۰. مقدار رواناب سالیانه براساس روش ایکار در منطقهٔ مورد پژوهش

بارش سالیانه (cm)	مساحت محدوده (Km^2)	دمای سالیانه (درجهٔ سانتی‌گراد)	ارتفاع رواناب (cm)	ضریب رواناب (٪)
۵۴/۰۸	۷۹۷/۱۶	۱۷/۹	۴/۸۵	۴۸

شامل اطلاعات مدل رقومی ارتفاعی، کلاس‌های کاربری اراضی، بافت خاک و آمار هواشناسی و هیدرولوژیکی (بارش و رواناب) دربارهٔ منطقهٔ مورد پژوهش، طی دورهٔ آماری بیست‌ساله (۱۳۸۰-۱۴۰۰)، استفاده شد. با بهره‌گیری از نقشهٔ کاربری اراضی، نقشهٔ کاربری اراضی محدوده در نُه دسته قرار گرفت. برای تهیهٔ نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیز، نقشهٔ بافت خاک در عمق ۲۰۰سانتی‌متری محدودهٔ مطالعاتی سلسله به کار رفت و با توجه به نوع بافت خاک، گروه هیدرولوژیکی خاک برای هر محدوده استخراج شد. در نهایت، گروه هیدرولوژیک خاک به سه دسته (A، B و C) تقسیم‌بندی شد. نقشهٔ لایهٔ کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک وارد محیط ابزار Arc CN–Runoff شد و سپس عملیات تلفیق روی دو لایه اعمال و لایهٔ کاربری اراضی- گروه هیدرولوژیکی تهیه شد؛ این لایهٔ جدید صرفاً سطح پوشیده‌شده با دو لایه را نشان می‌دهد و نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب، نگهداشت سطحی خاک، حجم، ارتفاع و ضریب رواناب براساس این لایه تهیه می‌شود. در نهایت، مقدار ضریب رواناب در سه حالت وضعیت رطوبتی خشک، متوسط و مرطوب به دست آمد و مقایسه‌ای انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که در محدودهٔ مطالعاتی سلسله، میزان ضریب رواناب (CR) در سه حالت وضعیت رطوبتی خشک، متوسط و تر، به‌ترتیب برابر با ۰/۲۶، ۰/۵۳ و ۰/۷۷ است. بنابراین حالت رطوبتی خشک در قیاس با متوسط، ۶۸٪ کاهش و حالت رطوبتیِ تر در مقایسه با متوسط، ۳۷٪ افزایش داشته است. بررسی همبستگی بین ضریب رواناب و مشخصات محدودهٔ مطالعاتی نشان داد، در این ناحیه، ضریب رواناب تحت تأثیر شش ویژگی فیزیوگرافی محدودهٔ مطالعاتی مساحت، شیب، طول آبراهه و ضریب گراولیوس، حداکثر ارتفاع و تراکم آبراهه‌ای است که در مقدار ضریب رواناب این محدوده تأثیر بسزایی دارد. در اوایل بهار نیز، ظرفیت سیل‌خیزی در محدودهٔ مورد نظر بالاست؛ این نکته با نتایج پژوهش علی‌جانپور و واعظی[1] (۲۰۱۷) مطابقت دارد و برای جلوگیری از ایجاد رواناب در هنگام بارندگی، باید اقدامات اساسی صورت گیرد. در پژوهش پیش رو، از رابطهٔ تجربی ایکار (ICAR) استفاده شد زیرا با روش SCS–CN نزدیکی دارد. مقدار ضریب رواناب برابر با ۰/۴۸ به دست آمد که با نتایج تحقیق تیموریان[2] و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. برای کل محدوده، در حالت‌های رطوبتی خشک و متوسط و تر، مقدار شمارهٔ منحنی رواناب به‌ترتیب ۶۵، ۸۱ و ۹۲ برآورد شد. میزان نگهداشت سطحی خاک به‌ترتیب برابر با ۱۳۸/۷۴، ۵۹/۶۰ و ۲۳/۴۲ میلی‌متر و میزان ارتفاع رواناب، به‌ترتیب ۲۷/۷۸، ۵۵/۷۳ و ۷۹/۳۱ میلی‌متر و حجم رواناب نیز به‌ترتیب برابر با ۳۷۱۰/۶۴، ۷۱۶۴/۰۳ و ۱۰۰۷۰/۴۶هزار مترمکعب به دست آمد. در این محدودهٔ مطالعاتی، ضریب رواناب از فروردین تا شهریور روند کاهشی دارد. نوع کاربری اراضی و خاک، در سطح محدوده، از مؤلفه‌های تأثیرگذار در ضریب رواناب و به‌دنبال آن، در دبی اوج محدوده است؛ این نکته مطابق نتایج پژوهش بهرامی و ایمنی[3] (۲۰۱۹) است. نتایج پژوهش نشان داد که با توجه به وضعیت مرتع منطقه، به‌دلیل چرای بیش‌ازحد و کاهش پوشش گیاهی، وضعیت هیدرولوژی مراتع ضعیف شده؛ این مسئله بیانگر امکان بالای ایجاد رواناب در آن منطقه است. در نتیجه، در مواقع بارش باید برای جلوگیری از ایجاد رواناب منجر به سیل، اقداماتی اساسی صورت گیرد؛ این نکته با نتایج تحقیقات عابدینی و لطفی[4] (۲۰۱۹) مطابقت دارد. چنین شرایطی اجرای اقدامات اساسی، به‌منظور افزایش پوشش گیاهی را می‌طلبد؛ این اقدامات شامل عملیات چاله‌کندن و ایجاد جویچهٔ تراز، همراه با طرح‌های افزایش پوشش گیاهی، اغلب

1. Alijanpour Shelmani & Vaezi
2. Teymourian
3. Bahrami, & Imeni
4. Abedini & lotfi

به‌صورت بوته‌کاری و بذرپاشی گیاهان مرتعی در محدوده می‌شود و بارش منطقه می‌تواند رطوبت کافی را برای موفقیت این کارها فراهم کند. البته لازم است، در اجرای هریک از این اقدامات، شرایط محیطی لازم مانند شیب و بافت خاک بررسی شود. استقرار سامانهٔ جمع‌آوری آب باران نیز، با توجه به نفوذپذیری اندک خاک منطقه، ممکن است مؤثر باشد و از آن، در افزایش پوشش گیاهی و دیگر مصارف، استفاده شود. مسئلهٔ مهم شایان توجه حفظ حریم رودخانه‌هاست؛ در غیر این‌صورت، جاری‌شدن هر سیلی در نواحی اطراف رودخانه چه‌بسا به بروز تلفات جانی و خسارت مالی بینجامد. همچنین جلوگیری از هر نوع تجاوز به حریم رودخانه، تغییر کاربری و ازبین‌بردن پوشش گیاهی مؤثر است؛ ازاین‌طریق می‌توان با حفظ وضع موجود، با برنامه‌ریزی مناسب در شرایط مناسبی، در راستای بهبود شرایط اقدام کرد.

۵- منابع

Abedini, M. & Lotfi, K., 2019, **Estimating Runoff for Analysis of Potential Flooding Using the Curve Number(CN) Method in the Shahrod Basin of Ardabil**, Journal of Geographic Space, 19(68), PP.163–181. http://doi.org/geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2910-en.html.

Ahmadi Sani, N., Solaimani, K., Razaghnia, L., Mostafazadeh, R. & Zandi, J., 2018, **Assessing the Eiciency of Arc-CN Runoff Tool in Runoff Estimation and its Comparison in 1996 and 2011 Years in Haraz Watershed, Mazandaran Province**, Hydrogeomorphology, 5(16), PP. 139–158. http://doi.org/:20.1001.1.23833254.1397.5.16.8.6.

Alijanpour Shelmani, A. & Vaezi, A., 2017, **Physical Factors Determining Runoff Coefficient in the Watersheds of Ardabil Province**, Water and Soil Science, 27(3), PP. 1–14. https://doi.org/10.22034/ws.2022.50866.2465.

Bahrami, S., & Imeni, S., 2019, **Evaluation of Several Empirical Models in Estimating Annual Runoff (Case Study: Hesarak Catchment in Northwest of Tehran)**, Geography and Environmental Planning, 30(2), PP. 55-74. http://doi.org/10.22108/gep.2019.116956.1151.

Bahremand, A., 2013, **Investigating the Spatial Distribution of the Flood Power of the Letian Watershed Based on the Analysis of the Runoff Coefficient Map**, Iranian Journal of Watershed Management Science, 6(19): PP. 29–36. http://doi.org/jwmsei.ir/article-1-321-fa.html.

Gandhi, F.R. & Patel, J.N., 2019, **Estimation of Surface Runoff for Sub-Watershed of Rajkot District, Gujarat, India Using SCS–Curve Number with Integrated Geo-Spatial Technique**, International Journal of Engineering and Advanced Technology, 8, PP. 33–41. https://doi.org/6440048419/IJEAT.2019.08.41.

Ghiglieri, G., Carletti, A. & Pittalis, D., 2014, **Runoff Coefficient and Average Yearly Natural Aquifer Recharge Assessment by Physiography-Based Indirect Methods for the Island of Sardinia (Italy) and Its NW Area (Nurra)**, Journal of Hydrology, 519, PP. 1779–1791. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.054.

Karami Moghadam, M., Moradi Motlagh, E., Sabzevari, T. & Mohammadpour, R., 2021, **Application of Remote Sensing and GIS Techniques in SCS-CN Model (Case Study: Balarood Basin, Khuzestan)**, Environment and Water Engineering, 7(1), PP. 157–169. http://dx.doi.org/10.22034/jewe.2020.252569.1441.

Kim, N.W. & Shin, M.J., 2018, **Estimation of Peak Flow in Ungauged Catchments Using the Relationship between Runoff Coefficient and Curve Number**, Water, 10(11), P. 1669. https://doi.org/10.3390/w10111669.

Lagadec, L.R., Patrice, P., Braud, I., Chazelle, B., Moulin, L., Dehotin, J. & Breil, P., 2016, **Description and Evaluation of a Surface Runoff Susceptibility Mapping Method**, Journal of Hydrology, 541, PP. 495–509. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.049.

Mahdavi, M., 2011, **Applied Hydrology**, Vol. 2, Tehran. Tehran University Press, P. 427.

Maleki, M. & Madadi, A., 2015, **Investigation of Annual Runoff with Experimental Methods in Ardabil Watershed (Khalkhal City)**, the 5th Conference of Rain Catchment Systems, Gilan-Rasht, March 4th and 5th, 2015.

Meresa, H., 2019, **Modelling of River Flow in Ungauged Catchment Using Remote Sensing Data: Application of the Empirical (SCS-CN), Artificial Neural Network (ANN) and Hydrological Model (HEC-HMS)**, Modeling Earth Systems and Environment, 5, PP. 257–273. https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-018-0532-z.

Mostafazadeh, R., Mirzaei, S. & Nadiri, P., 2018, **Curve Number Determination Using Rainfall and Runoff Data and its Variations with Rainfall Components in a Forested Watershed**, jwss, 21(4), PP. 15–28. http://dx.doi.org/10.29252/jstnar.21.4.15.

Niknejad, D., 2015, **Determining the Runoff Coefficient of Different Catchment Levels in order to Harvest Rainwater**, the 5th Conference of Rain Catchment Level Systems, Gilan-Rasht, March 4th and 5th, 2015.

Norbiato, D., Borga, M., Merz, R., Blöschl, G. & Carton, A., 2009, **Controls on Event Runoff Coefficients in the Eastern Italian Alps**, Journal of Hydrology, 375(3-4), PP. 312–325. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.044.

Pektas, A.O. & Cigizoglu, H.K., 2013, **ANN Hybrid Model versus ARIMA and ARIMAX Models of Runoff Coefficient**, Journal of Hydrology, 500, PP. 21–36. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.020.

Pishvaei, M.H., Sabzevari, T., Mohammadpour, R. & Noroozpour, S., 2019, **Effects of Topography on Runoff Coefficient and Flood of hillslopes Watershed Using TOPMODEL**, Iran-Water Resources Research, 15(4), PP. 396–411. https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.4.27.0.

Safari, A., Qanawati, A., Beheshti Javed, A., Hosseini, H., 2013, **Estimation and Zoning of Runoff due to Maximum 24-Hour Rainfall Using the (SCS-CN) Method of Yamchi Dam Basin, Ardabil**, Journal of Geography, 11(38), PP. 217–201. https://dorl.net/dor/15.044.1.1654287.1392.11.38.24.0.

Teymourian, M., Farzadian, A. & Beheshti Rad, M., 2013, **Evaluation of Experimental Methods of Runoff Estimation in Bushigan Watershed**, The First National Conference on Environmental Health, Health and Sustainable Environment.

Verma, R.K., Verma, S., Mishra, S.K. & Pandey, A., 2021, **SCS-CN-Based Improved Models for Direct Surface Runoff Estimation from Large Rainfall Events**, Water Resources Management, 35(7), PP. 2149–2175. https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-021-02831-5.

Zhan, X. & Huang, M.L., 2004, **ArcCN-Runoff: An ArcGIS Tool for Generating Curve Number and Runoff Maps**, Environmental Modelling & Software, 19(10), PP. 875–879. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.03.001.