مقاله پژوهشی

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۳۲، سال نهم، پاییز ۱۴۰۱، صص ۸۶-۶۳
Hydrogeomorphology, Vol. 9, No. 32 Fall 2022, pp (63-86)
CC BY-NC

مقایسه‌ی روش‌های تبدیل بارش موثر به رواناب سطحی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل حوضه ننه‌کران، استان اردبیل

فریبا اسفندیاری درآبادی[۱]، زینب پورگنجی[۲]، رئوف مصطفی‌زاده[*۳]، مریم آقائی[۴]

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی و آمایش محیط، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۳- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۴-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱

چکیده

سیلاب از جمله مخاطرات طبیعی است که پیش‌بینی آن نیازمند ارزیابی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه به مقادیر بارش است. با توجه به تنوع مدل‌های بارش-رواناب، انتخاب مدل مناسب شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی از اهمیت بسیاری برخوردار است. این مطالعه در حوضه ننه‌کران در استان اردبیل با هدف ارزیابی انواع روش‌های تبدیل بارش به رواناب سطحی، شامل هیدروگراف واحد مثلثی، مثلثی شکسته، مثلثی متغیر و SCS با مدل هیدرولوژیکی Wildcat5 پرداخته شده است. مقادیر بارش در دوره بازگشت ۲۵ ساله با استفاده از نرم‌افزار Cumfreq محاسبه شد. پس از استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مساحت هر کاربری در حوضه با نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شده است. در همه روش‌های تبدیل بارش به رواناب مقادیر بارش، زمان تمرکز ثابت بوده تا بهتر میزان تغییرات در مولفه‌های هیدروگراف نمایان شود. نتایج نشان داد که روش SCS بیش‌ترین دبی به مقدار ۴۴/۵۰ مترمکعب بر ثانیه، حداقل زمان تا اوج به مقدار ۲/۱۹ ساعت داشته و روش مثلثی متغیر هم از کم‌ترین میزان دبی اوج برخوردار بوده است. هم‌چنین روش مثلثی ساده حداکثر زمان تا اوج به مقدار ۴/۵۱ ساعت را به خود اختصاص داده که حاکی از تفاوت بسیار زیاد هیدروگراف روش SCS با سه روش دیگر بود. در مجموع روش SCS برای تخمین مولفه‌های هیدروگراف توصیه می‌شود، چون از پارامترهای مورفومتریک مانند شیب حوضه و شماره منحنی که تابعی از ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی حوضه استفاده می‌کند. در انتخاب روش تبدیل بارش موثر به رواناب باید دقت بیش‌تری در تخمین شماره منحنی و زمان تمرکز مدنظر قرار گیرد.

کلمات کلیدی: سیلاب، هیدروگراف واحد، بارش-رواناب، روش SCS، مدل‌سازی هیدرولوژی، حوضه ننه‌کران، استان اردبیل.

* نویسنده‌ی مسئول

Email:raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

۱- مقدمه

فرآیندهای هیدرولوژیکی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای طبیعی هر حوضه هستند. یکی از اهداف انجام مطالعات هیدرولوژیکی مطالعه روابط بارش-رواناب در حوضه‌ها است. با توجه به پیچیدگی حوضه‌های آبریز از مدل‌سازی برای برآورد رواناب استفاده می‌شود. به‌دلیل این‌که در حوضه‌های آبریز امکان اندازه‌گیری تمامی پارامترهای مورد نیاز، جهت تحلیل رواناب وجود ندارد، لذا انتخاب مدلی که قادر باشد با ساختاری ساده و استفاده از حداقل پارامترها و داده‌های در دسترس، رواناب حاصل از بارندگی را به‌صورت دقیق پیش‌بینی کند، امری ضروری است (منصوری و پیرمرادیان، ۱۳۹۷: ۸۱). دو روش معمول برای محاسبه دبی در حوضه‌ها بدون آمار وجود دارد: انجام مدل‌سازی‌های بارش-رواناب با استفاده از خصوصیات بارندگی و حوضه، که در جهت تخمین شدت جریان عمل می‌کند و دیگری استفاده از روش‌های رگرسیونی است (کارابی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۹). جریان رواناب در سطح زمین باعث ایجاد فرسایش و کاهش حاصل‌خیزی خاک، رسوب‌گذاری در مخازن و سدها و کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها و در نهایت مسائل اجتماعی از جمله مهاجرت می‌شود (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۵). هم‌چنین تولید بالای رواناب در یک حوضه در صورت مهیا بودن شرایط، به وقوع سیلاب منجر شده و خسارات جبران‌ناپذیری به همراه دارد. براساس مطالعات انجام شده، در (۱۵) سال اخیر حدود ۳۷۰۰ سیل در کشور گزارش شده است که حدود ۱۳ درصد آن در سال‌های اخیر روی داده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۳۴). عواملی چون خصوصیات حوضه، بهره‌برداری غیر اصولی انسان از طبیعت، ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه به لحاظ تأثیرگذاری بر مؤلفه‌هایی نظیر روند تولید، حرکت و نحوه تجمیع رواناب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برآورد پتانسیل تولید رواناب در یک حوضه جهت برنامه‌ریزی در حفاظت خاک، فرسایش و نیز مدیریت حوضه‌ها از لحاظ تولید رواناب و رسوب بسیار حائز اهمیت است (صفاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۰۲؛ حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۳۴). مدل‌های هیدرولوژیکی ریاضی (توده‌ای، نیمه‌توزیعی و توزیعی) نقش کلیدی در این بررسی‌ها دارند (کونایتز[1] و همکاران، ۲۰۱۸: ۲) و پیش‌بینی این اثرات به‌عنوان یک چالش مهم برای محققان و مدیران است. بررسی تغییرات رواناب در حوضه‌ها در مکان و زمان دشوار بوده و معمولاً با عدم‌قطعیت همراه است. مهم‌ترین محدودیت مدل‌سازی ریاضی فرآیندهای هیدرولوژیکی، در نظر گرفتن تغییرات مکانی، شرایط مرزی و خصوصیات فیزیکی آبخیز و دسترسی به داده‌ها است. لذا، این مشکل با استخراج اطلاعات مورد نظر از داده‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک بالای زمانی و مکانی تا حدی برطرف شده است (کراتزرت [2]و همکاران، ۲۰۱۸: ۶۰۰۹). علاوه بر این، دقت پیش‌بینی رواناب براساس تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی داده‌های گذشته تا حد زیادی بستگی به کیفیت داده‌های استفاده شده دارد (میشرا و همکاران، ۲۰۱۸:

1- Konitz
2- Kratzert

۵۷۷). بنابراین، استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌دلیل قابلیت تهیه داده‌های مکانی پیوسته، ارائه داده‌های به‌روز از مناطق بالادست و غیرقابل دسترس مانند اطلاعات توپوگرافی، طول جریان، مناطق زهکشی و جهت جریان که از طریق روش‌های سنتی امکان‌پذیر نیست، ضروری است (سانتیلان[1] و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۰۶۷). در مطالعه اولویت‌بندی حوضه‌های بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS و روش SCS برای شبیه‌سازی تبدیل بارش به رواناب در سطح حوضه نتایج نشان داد که زیر حوضه درکش ورکش با ۲۹/۱۶ درصد بیش‌ترین و حوضه بهشت‌آباد با ۲/۵ درصد کم‌ترین سهم را در دبی اوج، سیلاب خروجی حوضه داشته‌اند. هم‌چنین زیرحوضه بهشت‌آباد به‌دلیل دارا بودن کم‌ترین مساحت بیش‌ترین تاثیر را بر کاهش دبی به ازای واحد سطح داشته است (بدری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۳). برای ارزیابی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حوضه با کمک مدل مفهومی پیوسته بارش-رواناب و شماره منحنی اصلاح شده در دو حوضه قره‌سو و لیف نتایج نشان داد که نفوذ، تبخیر و رواناب سطحی فرآیندهای غالب در حوضه آبریز لیف بوده‌اند، اما در مورد حوضه قره‌سو این شرایط کاملاً متفاوت بوده است. هم‌چنین مدیریت حوضه آبریز با کمک خروجی‌های خاص ناشی از این نوع مدل‌ها (درصد مقادیر اجزاء مختلف رابطه بیلان هیدرولوژیکی) به نحو بسیار مؤثرتری قابل حصول است (گلنارکار و همکاران، ۱۳۹۶: ۱). در تعیین شماره منحنی و برآورد پتانسیل تولید رواناب در حوضه حصارک با استفاده از روش شماره منحنی SCS. نتایج بیش‌ترین پتانسیل تولید رواناب در پایین‌دست حوضه را نشان داده و وضعیت هیدرولوژیکی اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در سطح حوضه مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده شماره منحنی بوده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۳۳). در واسنجی و ارزیابی روش SCS در برآورد سیلاب در حوضه آبریز پسکوهک به بررسی کارایی روش SCS و ارزیابی روابط تجربی آن در سطح حوضه پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار ضریب اصلاحی برای SCSLag برابر با ۰/۹۲ درصد است. مقدار میانگین Ia/S درحوضه برابر با ۰/۰۴۴ درصد است که اختلاف زیادی با مقدار ۰/۲ معادله SCS دارد. ضریب تصحیحی برای تبدیل CN در حوضه مورد مطالعه برابر با ۰/۴۱ درصد برآورد شده است (عادلی و محمدی، ۱۳۹۸: ۴). بـه‌منظور شناسایی مناطق حساس به سیلاب‌های شدید از مدل HEC-HMS و تصـاویر لندسـت TM و آزمایش نفوذپذیری برای به دست آوردن شماره منحنی حوضه در غرب مصر استفاده شده است. این مدل دارای الگوریتم‌های مختلف در برآورد تلفات بارش و روندیابی سیلاب است و با توجه به داده‌های ارائه شده به مدل برای هر حوضه امکـان واسـنجی دارد و به عنوان مناسب‌ترین روش برای شبیه‌سازی بارش-رواناب انتخاب گردید (فودی[2] و همکاران، ۲۰۰۴: ۴۸). در مدل‌سازی هیدروگراف جریان و تعیین ویژگی‌هـای روانـاب با استفاده از روش SCS در جهت تخمین بارش-رواناب ، کارایی مدل HEC-HMS

1- Santillan
2- Foody

را مناسب اعلام نمودند. آن‌ها در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب به ضرایب کارایی ۰/۸۱ و ۰/۸۲ دست یافتند و کارایی این مدل را در محاسبه جریان رواناب در حوضه مورد مطالعه تائید کردند (یوسوپ[1] و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۱). در هند با استفاده از مدل HEC-HMS به مدل‌سازی بارش-رواناب پرداختند و عنوان کردند راهکار توزیعی مدل HEC-HMS بهتر از مدل یکپارچه در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای عمل می‌کند (کومار و باتاچاریا[2]، ۲۰۱۱: ۲۷۰). شبیه‌سازی تغییرات رواناب ناشی از تبدیل جنگل به اراضی کشاورزی با استفاده از مدل GSH[3] در حوضه رودخانه یانگ تسه بالا در کشور چین انجام شده است. نتایج نشان داد که میزان جنگل‌زدایی و تشدید رواناب به عوامل محلی بستگی دارد (یو[4] و همکاران، ۲۰۱۵: ۱). نتایج تجزیه و تحلیل مدل‌سازی بارش-رواناب در آریزونا آمریکا با مدل Wildcat5 نشان داد که مدل مذکور با توجه به شرایط خاک و پوشش زمین در حوضه‌های کوچک نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد. مدل مورد استفاده به‌منظور برآورد دبی اوج جریان برای پروژه‌هایی از قبیل کنترل خندق، جاده‌های جنگلی، تحلیل اثرات محیط زیستی و پاسخ هیدرولوژیکی پس از آتش‌سوزی مناسب تشخیص داده شد (هاوکینز[5] وهمکاران ۲۰۱۶: ۱). نتایج مطالعه روش‌های هیدروگراف رواناب با استفاده از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی اشنایدر و SCS در رودخانه‌های منتخب در جنوب‌غربی نیجریه نشان داد که درصد اختلاف مقادیر دبی اوج به‌دست‌آمده با روش‌های اشنایدر و SCSاز ۱۳/۱۴ تا ۶۳/۳۰ درصد متغیر است. با این حال، روش SCS به‌دلیل استفاده از پارامترهای مورفومتریک اضافی، مانند شیب حوضه آبریز و شماره منحنی (CN) که تابعی از ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی حوضه در تخمین میزان نفوذپذیری است، برای توسعه هیدروگراف اوج رواناب در حوضه رودخانه توصیه می‌شود (سلامی و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۵). با مدل‌سازی رویدادهای بارش شدید و رواناب توسط مدل HEC-HMS برای حوضه کودیت رصفا در الجزایر، از روش تلفات شماره منحنی برای تخمین بارش مازاد استفاده کردند و از پارامترهای شماره منحنی و زمان تاخیر برای واسنجی استفاده کردند. نتایج ارزیابی حجم رواناب، دبی اوج و زمان اوج بین دبی‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نشان داد که مدل برای برآورد رواناب حاصل از رگبارهای شدید در حوضه مورد مطالعه قابل اعتماد است (حداد و رمینی[6]، ۲۰۲۱). در مدل‌سازی بارش-رواناب با مدل HEC-HMSدر حوضه رودخانه العدیم در شمال عراق دریافتند که هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دارای همبستگی بالایی هستند و عملکرد مدل با ضریب تبیین ۹۰ درصد در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مناسب ارزیابی شد، اما مقادیر دبی‌های شبیه‌سازی شده دارای بیش برآوردی بوده‌اند (حمدان[7] و همکاران، ۲۰۲۱). استخراج هیدروگراف سیلاب با استفاده از هیدروگراف واحد مصنوعی SCS در حوضه آبریز

1-Yusop
2-Kumar & Bhattacharjya
3-Guansihe Hydrological Model
4-Yu
5- Hawkins
6- Haddad and Remini
7- Hamdan

هوشا کشور اردن، به داین نشان داد که دبی اوج با افزایش زمان بارندگی مازاد کاهش می یابد و استفاده از GIS در محاسبه پارامترهای ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی مفید بوده است (شنتاوی و ابراهیم[1]،۲۰۲۲). از مدل SCS را در پیش‌بینی ویژگی‌های سیل در یک حوضه بدون آمار در شمال شرق ایران استفاده شده است. نتایج نشان داد که دبی پیک برآورد شده کم‌تر از مقادیر مشاهداتی است و حجم سیل بیش‌برآورد شده است (بهرامی و همکاران، ۲۰۲۲). در مجموع استفاده از شاخص فی در تعیین بارش موثر و نیز ترکیب آن با جداسازی جریان پایه منجر به بهبود تحمین دبی اوج سیلاب شده است. مقایسه واکنش آبخیزها و تخمین واکنش هیدرولوژیک حوضه‌های کوچک در اثر وقوع سیلاب می‌تواند در ارزیابی و کاهش خسارت‌ها موثر باشد (میرزایی و مصطفی‌زاده، ۱۳۹۷). مطالعه حاضر در حوضه ننه‌کران در استان اردبیل انجام شده است که به‌دلیل واکنش سریع هیدرولوژیک حوضه و احتمال وقوع سیلاب‌های شدید، لزوم تخمین هیدروگراف سیل و استفاده از یک روش با دقت بالا برای بررسی رفتار هیدرولوژیکی را ضروری می‌نماید. باید اشاره شود که هر ساله با وقوع بارندگی‌های شدید و طغیان رودخانه‌های فصلی باعث آبگرفتگی معابر و جاری شدن سیلاب در روستاهای پائین‌دست و واقع در مسیر رودخانه خواهد شد. از طرفی تخریب پوشش گیاهی در محدوده بالادست در ده‌های اخیر احتمال وقوع سیل را در حوضه افزایش داده است. تخمین واکنش هیدرولوژی آبخیز در اثر تغییر شرایط حوضه از موارد مورد توجه محققان و مدیران است. لذا، تعیین روش مناسب تبدیل بارش به رواناب و نیز استفاده از مدل‌های ساده در ارزیابی سریع سیلاب از مواردی است که پژوهش حاضر را از سایر پژوهش‌های متمایز می‌نماید. کاربرد و تاثیر روش مورد استفاده در پژوهش حاضر، در بهبود تخمین هیدروگراف ساعتی سیل در آبخیزهای کوچک است.

بنابراین، هدف پژوهش حاضر، مدل‌سازی سیلاب ساعتی و مقایسه انواع روش‌های تبدیل بارش به رواناب شامل: هیدروگراف مثلثی ساده، مثلثی متغیر، مثلثی شکسته و روش سرویس حفاظت خاک امریکا (SCS) در حوضه ننه‌کران در استان اردبیل است.

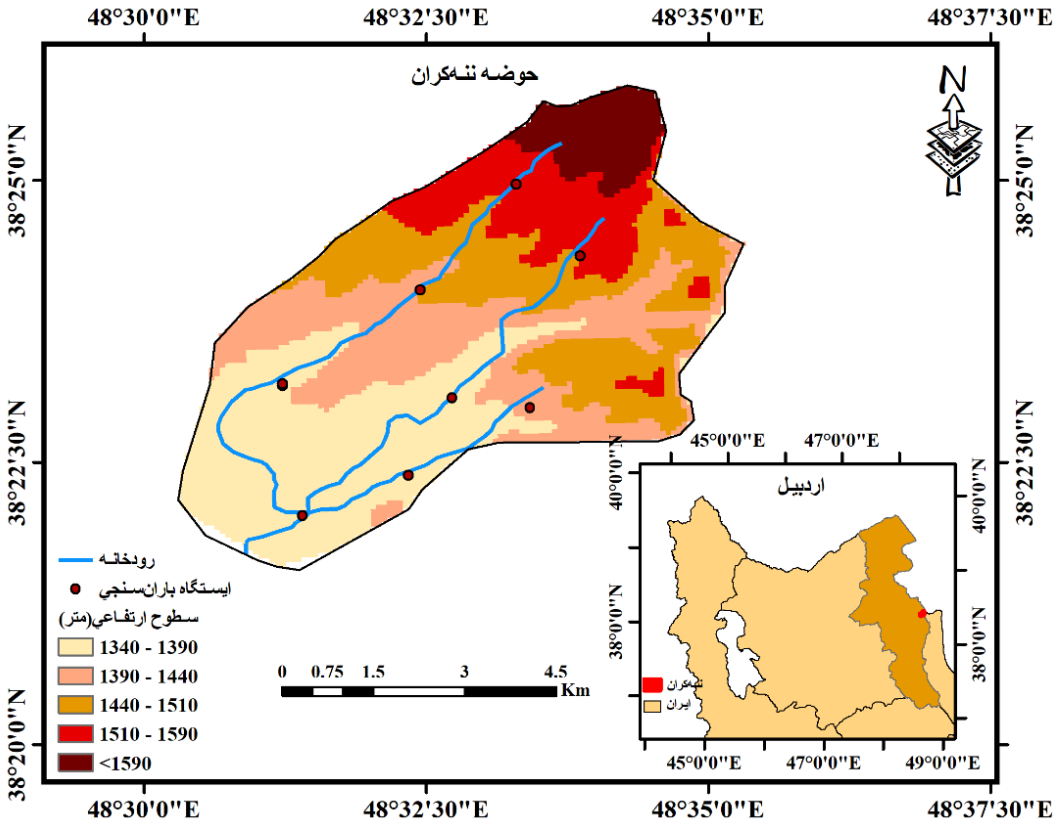
۲- مواد و روش پژوهش

۲-۱- معرفی محدوده مورد مطالعه

روستای ننه‌کران در دهستان ویلکیج شمالی در بخش مرکزی شهرستان نمین، استان اردبیل واقع شده است که دارای مساحت ۳۲/۰۱ کیلومتر مربع است. محدوده بالادست ننه‌کران از شمال به مراتع، جنگل فندقلو و حیران، از سمت جنوب به روستای پته‌خور منتهی می‌شود. قسمت شرقی به جنگل فندقلو و از غرب به روستای

1- Shatnawi and Ibrahim

دگرماندرق و از قسمت شمال‌شرقی، با جمهوری آذربایجان هم مرز است. حوضه ننه‌کران در مختصات جغرافیایی ۳۸° ۲۲' عرض شمالی ۴۸° ۳۱' طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این حوضه دارای کاربری‌های مرتع، جنگل، کشاورزی، بایر و مسکونی است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۴: ۲). مقدار میانگین بارش سالانه در این حوضه بین ۳۱۲/۵ تا ۵۰۹ میلی‌متر متغیر است. ارتفاع حداکثر و حداقل حوضه مورد مطالعه به‌ترتیب ۱۷۲۰ و ۱۳۴۰ متر است. وجود مه‌های دائمی و ریزش باران‌های فصلی، رطوبت این حوضه را به‌حد کافی تأمین می‌نماید (قاسم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۵۵۹). این حوضه شدیداً تحت تأثیر اقلیم خزری قرار دارد و نفوذ جریانات خزری باعث مه و بارندگی می‌شود، هم‌چنین اقلیم حوضه نیمه‌مرطوب و سرد است (رستمی‌کیا و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱۹). ریزش برف از اوایل آذرماه شروع می‌شود. از اوایل فروردین ماه هوا به تدریج گرم می‌شود. چون کوه‌های چندان مرتفع در اطراف نمین وجود ندارد، برف زمستانی تا پایان اردیبهشت ماه به کلی آب می‌شود (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۹۲). چرای دام، قطع درختان، آتش‌سوزی عمدی برای زغال‌گیری و استفاده هیزمی از علت‌های اصلی تخریب این حوضه جنگی و از بین رفتن این منابع ارزشمند بوده است (رستمی‌کیا و شریفی، ۱۳۹۷: ۹۳). تغییرکاربری اراضی جنگلی به مرتعی و زراعی در منطقه فندقلوی اردبیل باعث افت کیفیت فیزیکی و بیولوژیکی خاک، ایجاد سیلاب و مشکلات عدیده‌ای شده است. نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی و شیب و جهت شیب حوضه در شکل ۲ ارائه شده است. بیش‌ترین میزان ارتفاع و شیب حوضه در بخش‌های شمال و شمال شرقی حوضه است.

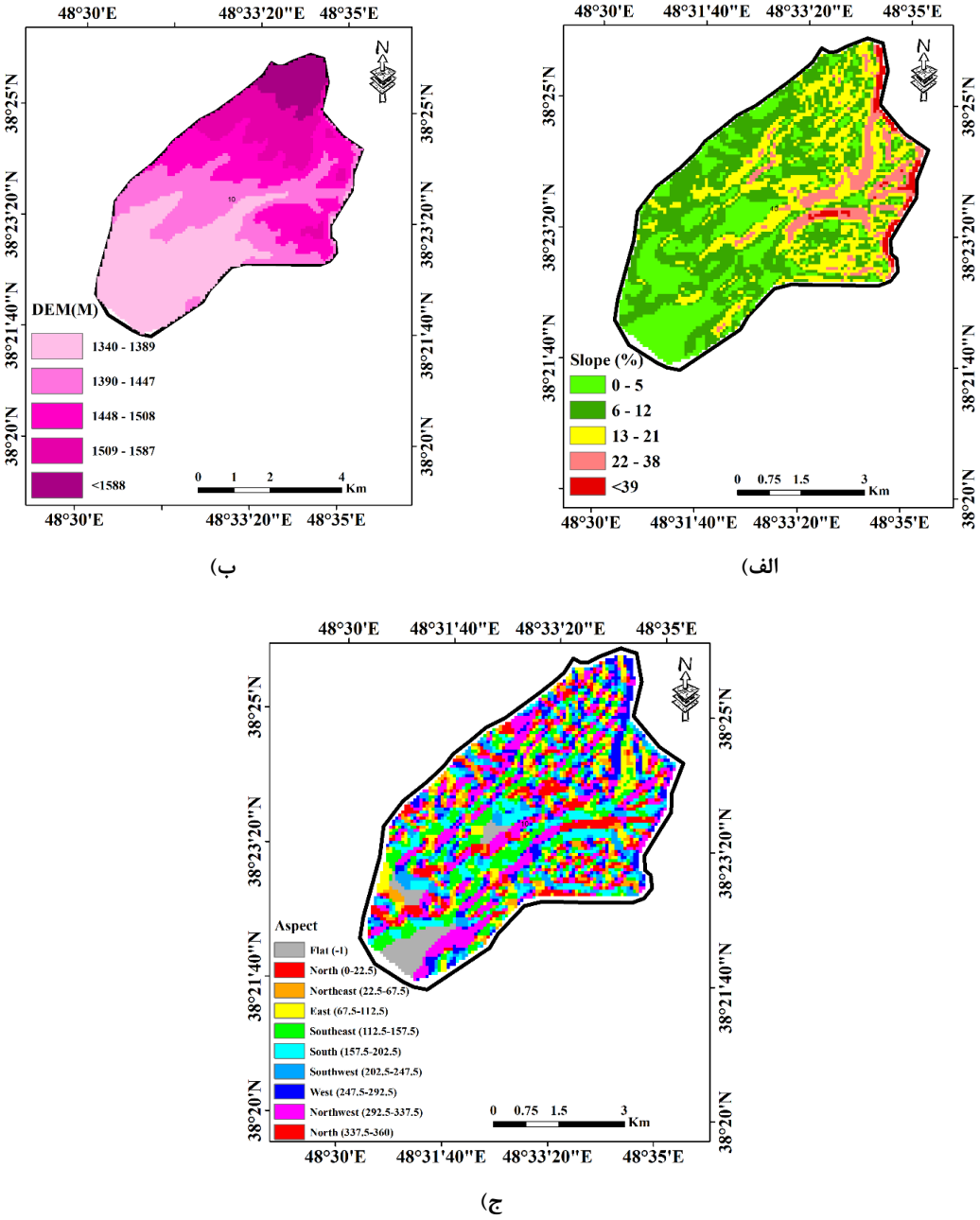


شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه

Fig (1): The location of the study area in Ardabil province and Iran

۲-۲- روش تحقیق

برای تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی در حوضه ننه‌کران از سایت زمین‌شناسی آمریکا تصویر ماهواره لندست ۸ و سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۲۰ دانلود شده است. تصاویر در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 پیش‌پردازش شدند و طبقه‌بندی تصویر صورت گرفته است. به‌منظور افزایش دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی و تهیه نمونه‌های تعلیمی از تصاویر Google Earth و در ادامه از نرم‌افزار ArcGIS برای نمایش نقشه کاربری اراضی بهره گرفته شده است.



شکل (۲): الف) نقشه شیب ب) مدل رقومی ارتفاعی، ج) جهت جغرافیایی حوضه ننه‌کران

Fig (2): The maps of the Nanehkeran watershed, a) Slope, b) Elevation, c) Aspect

پیش‌پردازش تصاویر

قبل از استخراج نقشه کاربری اراضی و طبقه‌بندی، تصویر باید پیش‌پردازش شوند. با توجه به‌اینکه تصویر ماهواره‌ای لندست به صورت تصحیح هندسی شده در اختیار کاربران قرار می‌گیرد، چند نقطه کنترل از تصویر انتخاب شد و دقت آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که دقت در حد قابل قبول بود. به این منظور، در نرم‌افزار ENVI 5.3 باندهای سبز، آبی و قرمز ترکیب شدند و سپس به‌دلیل وجود خطاها، اثرات پخش و جذب اتمسفر در سطح تصویر تصحیحات رادیومتریکی، هندسی و اتمسفری بر روی تصویر ماهواره‌ای انجام شد (پردل و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳۵؛ فاطمی و رضایی، ۱۳۹۶: ۱۱۲). خروجی تصحیح رادیومتریک، تصویر رادیانس است که با دستور Radiometric Calibration صورت گرفت، سپس تصحیح اتمسفری به روش FLAASH بر روی تصاویر انجام شد (رایگانی، ۱۳۹۹: ۱۵۲؛ خاوریان و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۳؛ تقیلو، ۱۴۰۰: ۵). روش FLAASH از مهم‌ترین و اولین ابزارهای تصحیح اتمسفری تصاویر ماهواره‌ای است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۲؛ نورالدینی و بنیاد، ۱۳۹۶: ۹۹؛ آقایی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۵: تقیلو، ۱۴۰۰: ۵)، که طول موج‌هایی از محدوده مرئی تا ۳ میکرومتر را در برمی‌گیرد تا تصویر آماده طبقه‌بندی شود (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹: ۹۴؛ پردل و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۳۷). پس از انجام تصحیحات لازم، مرز حوضه را با تصاویر FLAASH برش زده و اقدام به تهیه نمونه آموزشی جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی در محیط ENVI 5.3 از کلاس‌های کاربری اراضی با کمک شناخت بصری از حوضه، گوگل‌ارث، نقشه کمکی شیب، مدل رقومی ۱۲/۵ متر حوضه، نقشه‌های طبقه‌بندی موجود و تصاویر ماهواره‌ای شد (طالبی خیاوی و مصطفی‌زاده، ۱۳۹۹: ۵). نمونه‌های تعلیمی از کاربری‌های اراضی شامل کاربری جنگل، کاربری زمین‌های بایر، کاربری کشاورزی (آبی)، کاربری مرتع، کاربری مسکونی صورت گرفت. سپس طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر انجام شد.

پردازش و طبقه‌بندی تصاویر

برای طبقه‌بندی کاربری اراضی از دستور حداقل فاصله از میانگین و ماشین بردار پشتیبان استفاده شده که یک طبقه‌بندی باینری است (خاوریان و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۳). از بین روش‌های مورد استفاده، روش ماشین بردار پشتیبان بیش‌ترین میزان دقت را داشت و هم‌چنین برای افزایش دقت طبقه‌بندی از نقشه شیب حوضه که با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی که توسط سامانه تصویر تهیه شده بود استفاده شد. قابل ذکر است که نقشه شیب با نوارهای چندطیفی برای طبقه‌بندی کاربری‌های زمین به‌صورت (Layer stack) انجام شد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹: ۹۵) ترکیب باندهای حرارتی و مولتی به باندهای دیگر تصاویر انجام شد و در ادامه از تمام این باندها یک خروجی جامع تهیه شد و با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان به‌دلیل دارا بودن دقت بالا طبقه‌بندی صورت گرفت.

پس‌پردازش و صحت‌سنجی تصاویر طبقه‌بندی شده

بعد از طبقه‌بندی کاربری اراضی، صحت طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت، برای این کار نمونه‌های آزمایشی از کاربری‌های اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه برداشت شد و صحت کلی و ضرایب کاپای طبقه‌بندی‌های کاربری اراضی محاسبه شد. تصویر طبقه‌بندی شده دارای دقت بالا یه میزان ۹۸ درصد بود. بعد از دست‌یابی به دقت مورد نیاز در طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، تصویر و نقشه تغییرات کاربری برای سال ۲۰۲۰ را به محیط ArcGIS انتقال داده و در آنجا به محاسبه میزان مساحت هر کاربری پرداخته شده است. در این پژوهش بررسی انواع روش‌های تبدیل بارش به رواناب و تأثیر آن‌ها بر مولفه‌های هیدروگراف سیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت بدین منظور از مدل هیدرولوژیکی Wildcat5 برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی جریان هیدرولوژیکی حوضه ننه‌کران، استفاده شده است. (هاوکینز و آرماندو، ۲۰۱۶: ۵۴).

مدل‌سازی هیدروگراف سیلاب

مدل Wildcat5 بر مبنای مدل SCS است که شبیه‌سازی بارش-رواناب را در مقیاس رگبار انجام می‌دهد. ورودی‌های مورد نیاز مدل شامل موارد زیر است:

۱- مشخصات بارش برای هر سال با دوره بازگشت‌های مختلف (توزیع و ومتوسط میزان بارندگی)

۲- پارامترهای مربوط به خاک و پوشش سطحی انواع کاربری‌های حوضه برای محاسبه بارش مازاد (رواناب حوضه). معمولاً برای این محاسبه شماره منحنی (CN)[1] با توجه به نوع پوشش هر کاربری اراضی و نیز گروه هیدرولوژی خاک تخصیص می‌یابد. در روش SCS با افزایش مقدار پارامتر شماره منحنی، میزان رواناب حاصل از رگبار به‌صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. مقدار پارامتر بی‌بعد شماره منحنی بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است و مقادیر بیش‌تر برای سطوحی با تولید رواناب بالا در نظر گرفته می‌شود. در روش مذکور مقدار رواناب به‌صورت تابعی از پتانسیل ذخیره بیان می‌شود که بین صفر تا بی‌نهایت متغیر است (پونس و هاوکینس، ۱۹۹۶؛ شنتاوی و ابراهیم، ۲۰۲۲).

۳- پارامترهای زمان‌بندی برای تعریف زمان عبور جریان از بالادست به محل خروجی حوضه

۴- روش تبدیل بارش مازاد به هیدروگراف واحد و انتخاب مقیاس برای تولید هیدروگراف رواناب

۵- مقدار طول رودخانه اصلی حوضه

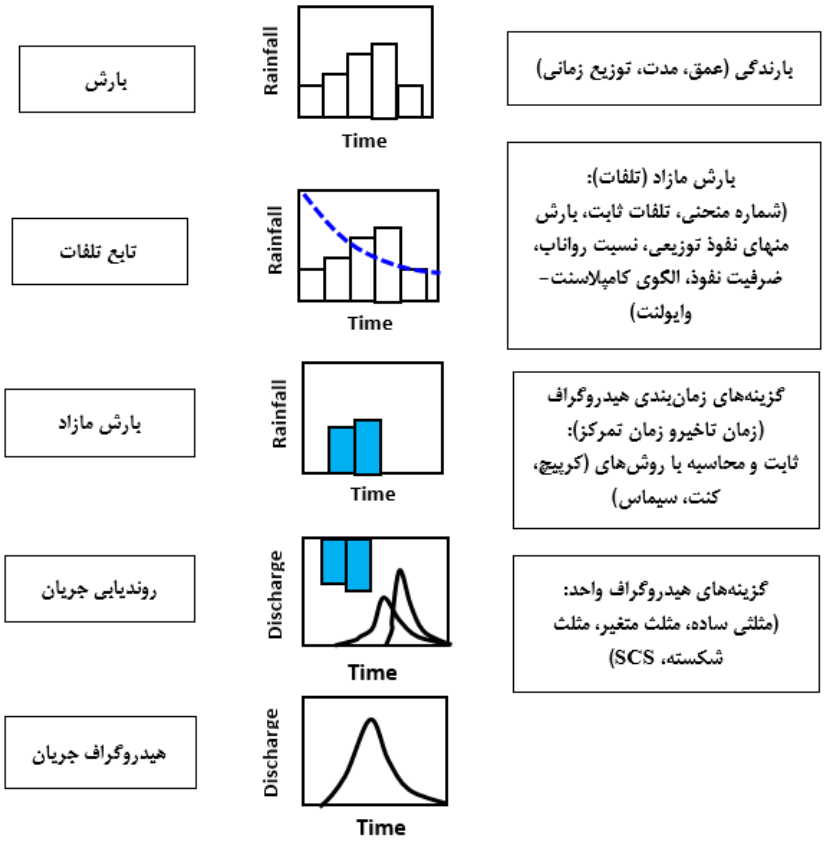
۶-مقادیر متوسط شیب حوضه

1- Curve Number

۷- مقادیر مساحت هر کاربری در هر سال برای محاسبه شماره منحنی وزنی

۸- مقدار زمان تمرکز هر حوضه

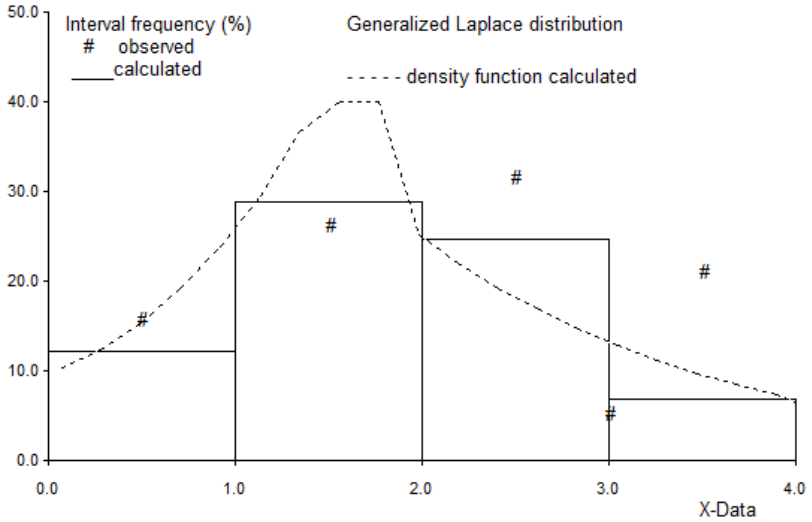
مراحل مدل‌سازی هیدرولوژی در شکل ۳ نشان داده شده است.



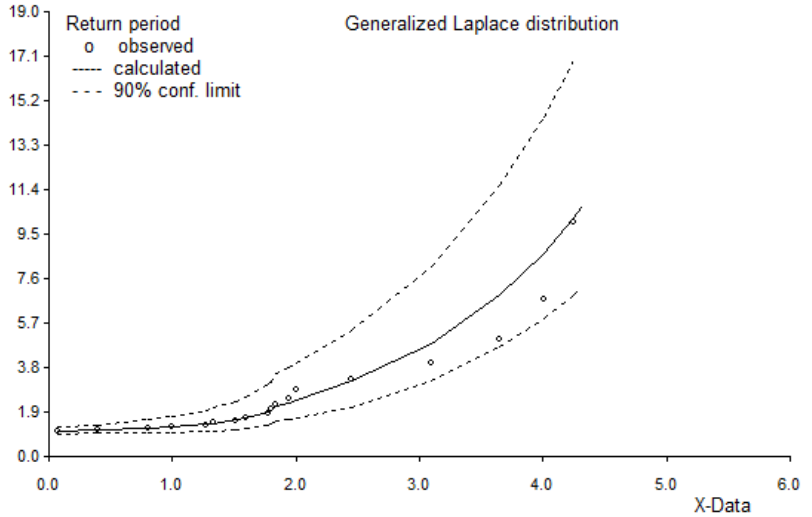
شکل (۳): توالی مراحل مدل‌سازی هیدرولوژیکی در مطالعه حاضر

Fig (3): Steps of hydrological modeling in the current study

با توجه به ورودی‌های مورد نیاز، ابتدا بارش طرح محاسبه شد. در این راستا، مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته در طول دوره آماری موجود از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی حوضه (ایستگاه باران‌سنجی نمین) استخراج شد. به‌منظور برآورد میزان بارش در دوره بازگشت ۲۵ ساله از نرم‌افزار Cumfreq بهره گرفته شد. در نرم‌افزار Cumfreq پس از برازش توزیع‌های آماری، بر اساس شاخص نکوئی برازش، توزیع تعمیم‌یافته لاپلاس برای محاسبه مقادیر بارش در دوره‌ی برگشت‌های مناسب انتخاب شد. شکل ۴، الف و ب.



(الف)a



(ب)b

شکل (۴): الف) هیستوگرام تابع احتمال محاسباتی در برآورد بارش طرح، ب) مقادیر برآوردی بارش بر اساس توزیع لاپلاس تعمیم‌یافته

Fig (4): Figure (4): a) Histogram of computational probability function in design storm estimation, b) Estimated precipitation values based on Generalized Laplace distribution

مقدار بارندگی برابر بارش با دوره بازگشت ۲۵ ساله و مدت آن برابر زمان تمرکز حوضه در نظر گرفته شد. برای الگوی توزیع زمانی بارش، از الگوی مرکز ملی مهندسی NEH4B استفاده شد. در الگوی مذکور، که بسیار پرکاربرد است، حداکثر شدت بارش (۳۷ درصد از کل بارش) در (نیم ساعت پنجم طوفان ۶ ساعته) اتفاق خواهد افتاد. مقادیر زمان تمرکز، با کمک محاسبه طول رودخانه اصلی حوضه و شیب متوسط حوضه به‌دست آمد. میزان مساحت هر کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰ به‌طور جداگانه در محیط ArcGIS محاسبه و وارد مدل شد. در بخش تعیین شماره‌منحنی، با توجه به نوع کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک مقادیر تعیین شدند (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). شماره منحنی‌های بیانگر پتانسیل رواناب حوضه است و مقادیر شماره منحنی از نقشه کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک استخراج شد (USDA، ۱۹۸۶: ۷۰، وانلیستا[1]، ۱۹۹۷: ۵۵۶، میرزایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۵). از روش شماره منحنی برای محاسبه بارش مازاد استفاده شد. در ادامه، برای تبدیل بارش به رواناب سطحی روش‌های هیدروگراف SCS[2]، روش مثلث شکسته[3]، روش مثلث ساده[4] و روش مثلث متغیر[5] اجرا شدند. روش‌های هیدروگراف واحد به‌طور گسترده برای روندیابی بارندگی مازاد، از بخش‌های بالادست آبخیز به سمت خروجی حوضه‌ها و هم‌چنین به‌عنوان یک الگو برای تولید هیدروگراف‌های رواناب ناشی از بارش در دوره‌های مختلف استفاده می‌شوند. این هیدروگراف‌ها از نظر زمانی تاخیر داده می‌شوند و پس از تنسیق جمع می‌شوند تا یک هیدروگراف رواناب مرکب در خروجی ایجاد شود. روندیابی برای مدل‌سازی رواناب سطحی کوتاه مدت از بخش‌های بالادست به سمت خروجی ضروری است (سارنگی و همکاران، ۲۰۰۷). هیدروگراف واحد، به‌عنوان هیدروگراف مشخصه برای یک واحد بارش اضافی برای یک حوضه تعریف می‌شود. هیدروگراف واحد ویژگی‌های حوضه را از طریق پارامترهایی مانند زمان رسیدن به اوج، مدت بارش کل و شکل محاسبه می‌کند. این ویژگی‌ها خصوصیات شبکه زهکشی و دامنه‌ها، توزیع مناطق تولید رواناب و مساحت حوضه را توصیف می‌کند. یک هیدروگراف واحد، نمایش بصری توزیع زمان عبور جریان از بالادست تا خروجی را بیان خواهد نمود. تکنیک‌های پیشرفته‌تر که نتایج مشابهی ارائه خواهند داد شامل: روندیابی موج سینماتیک، یا مخازن خطی یا روندیابی جریان در شبکه زهکشی هستند (سارنگی و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۳۷؛ هاوکینز و آرماندو، ۲۰۱۶: ۵۴). **هیدروگراف واحد مثلثی:** هیدروگراف‌های واحد مثلثی، شکل ساده شده هیدروگراف واحد منحنی هستند. هیدروگراف واحد مثلثی SCS دارای زمان تا اوج tp و زمان فروکش ۱/۶۷ برابر زمان تا اوج است و اوج جریان برابر qp در واحد زمان است. مساحت هیدروگراف واحد مثلثی برابر 2.67tp ضربدر qp/2 است که شامل تغییرات ناشی از یک پالش بارش اضافی است. جزئیات و معادلات این روش را در منابع (هاوکینز و آرماندو،

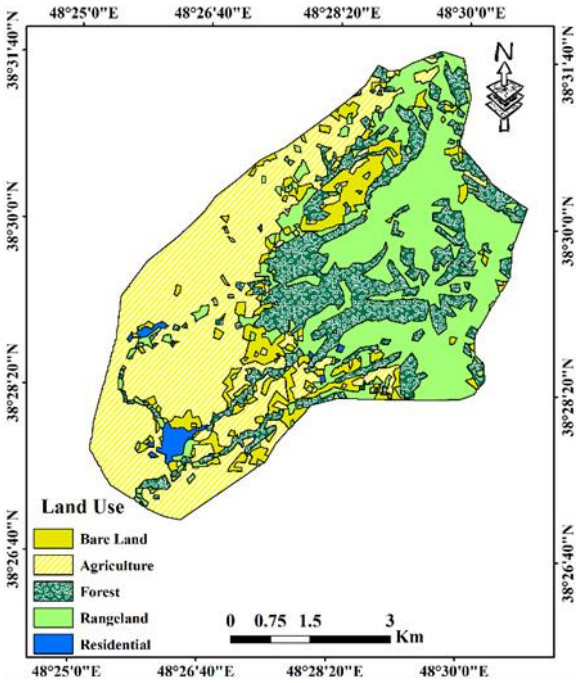
1- Wanielista
2- SCS Dimensionless Curvilinear
3- Broken Triangle
4- Simple Triangular Unit Hydrograph
5- Variable Triangular UH

۲۰۱۶؛ NRCS، ۲۰۰۳) می‌توان یافت. **هیدروگراف واحد مثلثی متغیر:** این نوع هیدروگراف مشابه هیدروگراف‌های واحد مثلثی است، اما مقادیر فاکتور شکل هیدروگراف بر اساس تغییر در زمان پایه و زمان تا اوج متغیر است (NRCS، ۲۰۰۳؛ سینگ و همکاران، ۲۰۱۴: هاوکینز و آرماندو، ۲۰۱۶). **هیدروگراف واحد مثلثی شکسته:** هیدروگراف واحد مثلثی شکسته از نظر مفهومی شبیه هیدروگراف واحد مثلثی است. اما در این روش، منحنی فروکش دارای یک تغییر شیب است و بعد زمانی ثابت است. در این نوع هیدروگراف واحد، زمان پایه طولانی‌تر و ۵ برابر زمان تا اوج است و دبی اوج دارای مقدار کم‌تری است. برای جزئیات بیش‌تر در خصوص این روش به منابع (NEH، ۲۰۰۷؛ هاوکینز و آرماندو،۲۰۱۶: ۶۵) مراجعه شود. **هیدروگراف واحد منحنی** (SCS–NRCS): هیدروگراف واحد منحنی، هیدروگرافی است که تقریب‌های مثلثی از آن استخراج می‌شود. استفاده از هیدروگراف منحنی به‌جای روش مثلثی ممکن است اوج‌های سیلابی بالاتری تولید کند. زیرا هیدروگراف‌های جزئی، اوج‌های پهن‌تری نسبت به‌شکل مثلثی نوک تیز دارند و هم‌چنین دارای نمایش واقعی‌تری از هیدروگراف‌های طبیعی هستند. شکل این هیدروگراف بر اساس توزیع گاما است، هر چند محاسبات باید محدود به، مقدار زمان تقسیم بر زمان تا اوج برابر ۵ شود. در شرط مذکور، تابع باید به مقدار دبی صفر کاهش یابد و مساحت زیر منحنی بر اساس ارتفاع بارش واحد در مقادیر مختلف جریان اصلاح شود (هاوکینز و آرماندو، ۲۰۱۶: ۵۰).

محاسبه زمان تمرکز به کمک روش Kents equation با استفاده از مقادیر شیب متوسط حوضه و طول رودخانه اصلی، میزان زمان تمرکز حوضه انجام شد (خسروشاهی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۳۰) مراحل مدل‌سازی مذکور برای سال ۲۰۲۰ و با دوره بازگشت ۲۵ ساله برای همه روش‌های تبدیل بارش به رواناب انجام شد و نتایج و خروجی‌ها به‌صورت جداول و نمودار ارائه شده است.

۳- یافته‌ها و بحث

پس از انجام طبقه‌بندی تصویر، محاسبه میزان صحت و ضریب کاپای تصویر انجام شده است. تصویر دارای صحت قابل قبول و از ضریب کاپای ۹۸٪ برخوردار است که حاکی از دقت بسیار بالای روش مورد استفاده و دقت کاربر در نمونه گیری کلاس‌های مختلف کاربری اراضی دارد. با توجه به شکل ۲ با تهیه نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی و شیب و جهت شیب حوضه مشاهده می‌شود که بیش‌ترین میزان ارتفاع و شیب حوضه در بخش‌های شمال و شمال شرقی حوضه است. شیب متوسط حوضه ۱۱ درصد است. مرتفع‌ترین نقطه در بخش شمالی حوضه با ارتفاع ۱۷۲۹ متر و پست‌ترین با ارتفاع ۱۳۴۰ متر در بخش جنوبی حوضه مورد مطالعه است که بیش‌ترین مساحت اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی هم در این بخش قرار گرفته است. پس از طبقه‌بندی کاربری اراضی و تهیه نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰، میزان مساحت هر کاربری مشخص شد که نتایج در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل (۵): نقشه کاربری اراضی حوضه ننه‌کران در سال ۲۰۲۰

Fig (5): Land use map of Nanehkeran watershed in 2020)

با توجه به شکل ۵ بخش‌های غربی و جنوب غربی عمدتا از اراضی کشاورزی تشکیل شده است و در بخش‌های شمالی و شمال شرقی اراضی مرتع و جنگل گسترش یافته‌اند. کاربری مسکونی در بخش جنوبی حوضه گسترده شده است. در جدول ۱ تغییرات کاربری حوضه فندقلو طی سال ۲۰۲۰ نشان داده شده است .

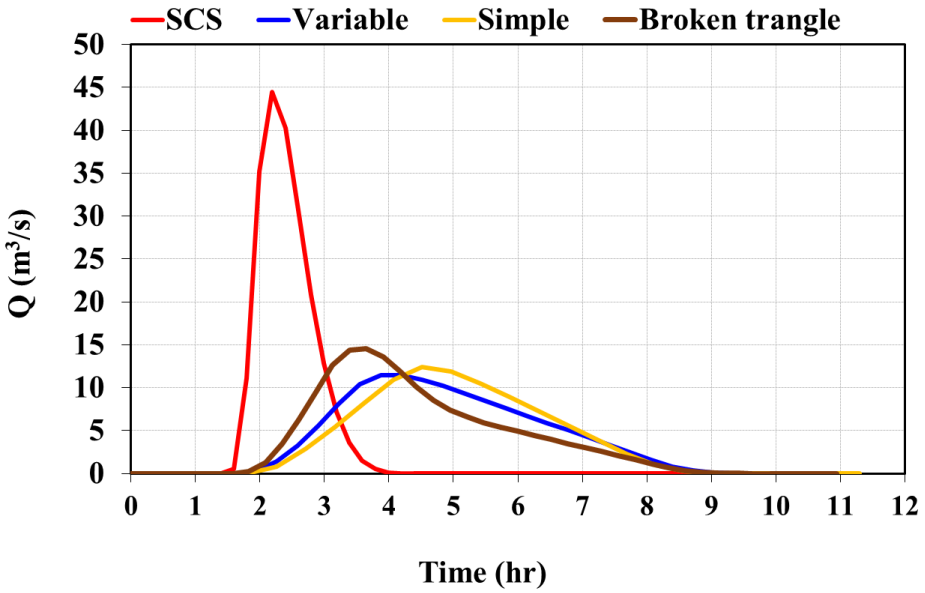
جدول (۱): مساحت کاربری‌های مختلف اراضی حوضه ننه‌کران در سال ۲۰۲۰

Table (1): The area of different land uses of Nanehkeran watershed in 2020

نوع کاربری اراضی	مساحت (km^2)	درصد کاربری اراضی
اراضی بایر	۲/۹۲	۹/۱۲
کشاورزی	۱۲/۳۱	۳۸/۴۶
جنگل	۶/۸۸	۲۱/۰۵
مرتع	۹/۵۲	۲۹/۷۵
مسکونی	۰/۳۶	۱/۱۲

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول۱، در سال۲۰۲۰ میزان کاربری بایر ۹/۱۲ ٪ بوده است و اراضی کشاورزی دارای بیش‌ترین درصد مساحت به مقدار ۳۸/۴۶ ٪ است. درصد اراضی جنگلی به میزان ۲۱/۵ ٪ رسیده و مراتع حوضه مساحتی به مقدار ۲۹/۷۵ ٪ یعنی حدوداً ۱۰ ٪ از حوضه ننه‌کران را شامل شده است و در انتها کاربری

مسکونی به مقدار ۱/۱۲ ٪ را به خود اختصاص داده است. مدل هیدرولوژیک مورد استفاده با هر ۴ روش ذکر شده در دوره بازگشت ۲۵ ساله و مقدار بارش طرح ۴۰/۶۳ میلی‌متر اجرا شد. قابل ذکر است که تغییرات خروجی مدل بر مبنای مقایسه روش‌های مورد اشاره، مد نظر بود است. هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده با روش‌های مختلف تبدیل بارش موثر به رواناب در حوضه ننه‌کران در شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به شکل۶، روش SCS دارای بیش‌ترین اوج هیدروگراف به میزان ۵ میلی‌متر در ساعت است و اختلاف بسیاری با سه روش دیگر دارد. در حالی که روش‌های مثلث ساده، مثلث متغیر و مثلث شکسته دارای هیدروگراف‌های نزدیک به یک‌دیگر هستند. در جدول۲، مقادیر عددی میزان مولفه‌های مختلف هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده با روش‌های مختلف تبدیل بارش مؤثر به رواناب ارائه شده است.



شکل (۶): هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده با روش‌های مختلف تبدیل بارش موثر به رواناب در حوضه ننه‌کران

Fig (5): Simulated hydrograph of four rainfall-runoff transformation methods in the Nanehkeran watershed

جدول (۲): میزان مولفه‌های مختلف هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده با روش‌های مختلف تبدیل بارش موثر به رواناب در حوضه ننه‌کران

Table (2): The values of different components of the simulated flow hydrographs using different rainfall-runoff transformation methods in the Nanehkeran watershed

روش تبدیل بارش به رواناب	هدررفت اولیه (میلی‌متر)	شماره منحنی رگبار	عمق رواناب کل (میلی‌متر)	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	زمان تا اوج (ساعت)
مثلثی ساده	۹/۹۸	۷۴/۰۹	۴/۶۸	۱۲/۳۹	۴/۵۱
مثلثی متغیر	۹/۹۹	۷۴/۱۰	۴/۶۹	۱۱/۴۷	۴/۱۹
مثلثی شکسته	۹/۹۸	۷۴/۰۹	۴/۶۸	۱۴/۵۱	۳/۶۴
SCS	۹/۹۹	۷۴/۱۰	۴/۶۹	۴۴/۵۰	۲/۱۹

شبیه‌سازی بارش-رواناب با چهار روش مختلف در حوضه ننه‌کران انجام شده است که با توجه به جدول ۲ میزان زمان تا اوج هیدروگراف سیلاب در روش SCS کم‌ترین میزان را به مقدار ۲/۱۹ ساعت دارا بوده است. مقادیر زمان تا اوج در روش مثلثی شکسته به‌میزان ۳/۶۴ ساعت، روش مثلثی متغیر ۴/۱۹ ساعت و بیش‌ترین مقدار برای روش مثلثی ساده به میزان ۴/۵۱ ساعت بوده است. در حالی‌که، روش SCS بیش‌ترین دبی اوج هیدروگراف سیلاب را به میزان ۴۴/۵۰ مترمکعب برثانیه داشته است، کم‌ترین مقدار را هم روش مثلثی متغیر دارا بوده است. میزان عمق رواناب کل، شماره منحنی رگبار و هدررفت اولیه در همه روش‌های مورد بررسی با هم برابر بوده‌اند. در همین راستا، بونیا و همکاران (۲۰۱۱) و کیلداف و همکاران (۲۰۱۴) به بیش‌برآوردی و یا وجود خطا در روش SCS در برآورد سیلاب در آبخیزهای فاقد آمار اشاره نموده اند. این در حالی است که صحت روش SCS در مطالعات متعددی مانند پرادیپتا و نورهادی (۲۰۱۹)، القریانی (۲۰۲۰) گزارش شده است. بر اساس این مقایسه می‌توان گفت که نتایج روش SCS دارای اختلاف بیش‌تری با سایر روش‌ها بوده است. باید اشاره شود که در پژوهش حاضر از روش کنت برای محاسبه زمان تمرکز استفاده شده است که می‌تواند روی نتایج شبیه‌سازی موثر باشد. با توجه به این‌که در سایر روش‌ها نیز از زمان تمرکز برای برآورد زمان تا اوج هیدروگراف مطابق رابطه tp=0.6 tc استفاده خواهد شد، لذا می‌توان گفت که بخشی از این تاثیر به زمان تمرکز خواهد بود. علاوه براین، در خصوص اختلاف روش SCS با سایر روش‌های تبدیل بارش موثر به رواناب می‌توان گفت که چون در روش SCS عامل شماره منحنی در محاسبات در نظر گرفته می‌شود، لذا بخشی از این تفاوت به عامل شماره منحنی نسبت داده می‌شود. از طرفی، بر اساس شرایط حوضه از نظر پاسخ سریع هیدرولوژیک نیز می‌توان گفت که نتایج روش SCS به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. در این راستا، حمدان و همکاران (۲۰۲۱) نیز با مدل‌سازی رواناب در حوضه رودخانه العدیم در شمال عراق اشاره نموده‌اند که مقادیر دبی‌های شبیه‌سازی شده باروش SCS دارای بیش برآوردی بوده اند. در این خصوص، یانگ و همکاران (۱۹۸۶) نیز اشاه نموده‌اند که در هیدروگراف واحد مثلثی، برآورد مناسبی از بخش فروکش هیدروگراف جریان ارائه نمی‌دهد. هم‌چنین از نظر بصری تقریب ضعیفی از یک هیدروگراف صاف ارائه می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی انواع روش‌های تبدیل بارش-رواناب در حوضه ننه‌کران با استفاده از مدل هیدرولوژیکی Wildcat5 پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی بارش-رواناب نشان داد که روش SCS دارای بیش‌ترین دبی اوج به میزان ۴۴/۵۰ مترمکعب برثانیه و روش مثلثی متغیر دارای کم‌ترین به میزان ۱۱/۴۷ مترمکعب برثانیه بوده است. قابل ذکر است که نتایج دو روش مثلثی ساده و مثلثی شکسته نیز نزدیک به روش مثلثی متغیر بوده است. هم‌چنین روش مثلثی ساده دارای بیش‌ترین زمان تا اوج به میزان ۴/۵۱ ساعت و روش SCS کم‌ترین مقدار را به میزان ۲/۱۹ ساعت دارا بوده است. در اجرای مدل برای روش‌های مختلف، مقادیر بارش و زمان تمرکز یکسان در نظر گرفته شده تا بهتر میزان تغییرات و تفاوت‌ها آشکار شود. نتایج مدل‌سازی بارش-رواناب و مقایسه هیدروگراف سیلاب با روش‌های مختلف، بیان‌کننده مقدار بالای اختلاف میان روش SCS نسبت به سه روش دیگر در بسیاری از مؤلفه‌های هیدروگراف سیل است. بخشی از دقت تخمین دبی پیک هیدروگراف سیل به تخمین دقیق شماره منحنی و زمان تا اوج هیدروگراف واحد بستگی دارد. در خصوص شماره منحنی می‌توان به وجود داده‌های بارش روزهای قبل و در نتیجه انتخاب شرایط مناسب رطوبت قبلی اشاره نمود که باعث ایجاد تفاوت قابل توجه در دبی اوج شبیه‌سازی شده خواهد شد. قابل ذکر است که در پژوهش حاضر، به سبب انتخاب بارش طرح با دوره بازگشت مشخص، شرایط رطوبتی متوسط در نظر گرفته شده است. علاوه براین باید ذکر نمود که مقدار زمان تا اوج هیدروگراف واحد نیز بر اساس زمان تمرکز محاسبه شده است. لذا با توجه به وجود رابطه‌های متعدد برای محاسبه زمان تمرکز، مقدار زمان تا اوج نیز می‌تواند در یک دامنه وسیع متغیر باشد. وجود اختلاف میان روش‌های مبتنی بر هیدروگراف مثلثی و روش SCS را ناشی از ماهیت متفاوت روش‌ها در تبدیل بارش موثر به هیدروگراف سیلاب است. در روش‌های مبتنی بر هیدروگراف مثلثی از معادلات معمول برای محاسبه زمان تا اوج و نیز زمان پایه هیدروگراف استفاده می‌شود. با توجه به این‌که در روش SCS عامل شماره منحنی به‌عنوان عامل پتانسیل ذخیره در تبدیل بارش به رواناب در نظر گرفته می‌شود، لذا می‌توان گفت که با سایر روش‌ها دارای تفاوت خواهد بود. بر اساس پتانسیل بالای سیل‌خیزی در حوضه مورد مطالعه، می‌توان گفت که روش روش SCS نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهد. در همین راستا، شَنتاوی و ابراهیم در برآورد هیدروگراف مصنوعی سیلاب صحت روش SCS را در تلفیق با GIS در برآورد پارامترهای مدل، مورد تائید قرار داده اند. در خصوص تشابه روش‌های هیدروگراف واحد مثلثی، مثلثی شکسته، مثلثی متغیر می‌توان گفت که دارای مبنای تقریباً مشابهی در برآرود هیدروگراف سیل هستند. هم‌چنین، در راستای تشابه روش‌های هیدروگراف واحد مثلثی شکسته، مثلثی متغیر در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل، هان و همکاران (۱۹۹۴) نیز تشابه روش‌های مذکور را در برآورد هیدروگراف سیل تائید کرده‌اند. هم‌چنین حداد و رمینی (۲۰۲۱) و نیز یوسوپ و همکاران (۲۰۰۷) به صحت نتایج روش SCS در مدل‌سازی مولفه‌های هیدروگراف شامل حجم رواناب، دبی اوج و زمان اوج اشاره نموده‌اند. در همن راستا، در خصوص استفاده از مدل Wildcat نیز هاوکینز و

همکاران (۲۰۱۶) نیز بیان نموده‌اند که مدل مورد استفاده در حوضه‌های کوچک نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد. علاوه براین، سلامی و همکاران (۲۰۱۷) به تفاوت قابل توجه هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده با استفاده از روش‌های هیدروگراف واحد مصنوعی اشنایدر و SCS در جنوب‌غربی نیجریه نتایج نشان داد که مقادیر دبی اوج مدل‌سازی شده از ۱۳/۱۴ تا ۶۳/۳۰ درصد اختلاف خواهد داشت. هم‌چنین ایشان بر لحاظ پارامترهایی مانند شیب حوضه آبریز و شماره منحنی به‌عنوان تابعی از ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی در محاسبه پتانسیل تلفات تاکید داشته اند. با توجه به پتانسیل بالای سیل‌خیزی در بسیاری از آبخیزهای کشور و لزوم مطالعه رفتار هیدرولوژیکی حوضه به ازاء مقادیر مختلف بارش در دوره‌ی بازگشت‌های متفاوت، برآورد مولفه‌های سیلاب می‌تواند در ارزیابی گستره وقوع سیل مفید باشد.

۵- منابع

Adeli, M., & Mohammadi, Z. (2019). Calibration and evaluation of SCS method for estimating flood runoff in Pasekohak Watershed. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(3), 1-15. (In Persian)

Aghaei, M., Khavarian, H., & Mostafazadeh, R. (2021). Prediction of land use changes using the CA-Markov and LCM models in the Kozehtopraghi Watershed in the Province of Ardabil. *Watershed Management Research*, 33(3), 91-107. (In Persian)

Alghariani, M.S. (2020). Rainfall-runoff estimation and comparative analysis using SCS method based on GIS. *Desalination and Water Treatment* 176:148-154.

Asghari, Sh., Hashemian Soofian, S., Goli Kalanpa, E., & Mohebodini, M. (2015). Impacts of land use change on soil quality indicators in eastern Ardabil province. *Journa of Water and Soil Conservation*, 22(3), 1-19. (In Persian)

Badri, B., Zare Bidaki, R., Honarbakhsh, A., & Atashkhar, F. (2017). Prioritization of flooding potential in Beheshtabad Subbasins. *Natural Geography Research*, 48 (1), 143-158. (In Persian)

Bahrami, E., Salarijazi, M., Mohammadrezapour, O & Haghighatjou, P. (2022). Evaluation of SCS model for flood characteristic prediction in an ungauged catchment considering effects of excess rainfall and base flow separation. *Journal of Earth System Science*.131, 11. https://doi.org/10.1007/s12040-021-01756-2

Bhunya, P.K., Panda, S.N., Goel, M.K. (2011). Synthetic Unit Hydrograph Methods: A Critical Review. *The Open Hydrology Journal*, 5, 1-8.

Esfandiari, A., Fatahi Moghaddam, M., & Rangzan, K. (2014). Atmospheric correction of hyperspectral images using Spectrometer and method Empirical Line Calibration. National Geomatics Conference, Iran National Cartographic Center, Tehran, 20, 1-9. (In Persian)

Fatemi, S B., & Rezaei, Y. (2016). Principles of Remote Sensing. 5 Edition. Azadeh Publications, Tehran. 288 p. (In Persian)

Foody, G.M., Ghoneim, E.N., & Arnell W.N. (2004). Predicting location sensitive to flash flooding in an arid environment, *Journal of Hydrology*, 292, 48-58.

Ghasemzadeh, R., Asghari, S., Keyvan Behjoo, F., Ghanbari, S., & Ghomi Motazeh, A. (2020). Assessment of the effect of recreational activities on forest soil physical properties (Case study: Fandoghlou park, Ardabil, Iran). *Natural Environment*, 73(3), 56-557. (In Persian)

Golnarkar, S., Pourreza, M., Khashei, A., & Amirabadizadeh, M. (2017). Assessment of basin hydrological components by modified conceptual continuous rainfall-runoff SCS-CN. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 24(1), 1-23. (In Persian)

Goodarzi, M., Zahabiyoun, B., Massah Bavani, A.R., & Kamal, A.R. (2012). Performance comparison of three hydrological models SWAT, IHACRES and SIMHYD for the runoff simulation of Gharesou basin', *Journal of Water and Irrigation Management*, 2(1), 25-40. (In Persian)

Haan, C.T., Barfield, B.J., & Hayes, J.C. (1994). Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments, Academic Press.

Haddad, A., & Remini, B. (2021). Extreme rainfall-runoff events modeling by HEC-HMS model for Koudiet Rosfa watershed, Algeria. *GeoScience Engineering*, 67(4), 144–155. https://doi.org/10.35180/gse-2021-0060

Hamdan, A.N.A., Almuktar, S., & Scholz, M. (2021). Rainfall-Runoff Modeling Using the HEC-HMS Model for the Al-Adhaim River Catchment, Northern Iraq. *Hydrology*. 8, 58. https://doi.org/10.3390/hydrology8020058

Hawkins, R.H., & Barreto-Munoz, A. (2016). Wildcat5 for Windows, a rainfall-runoff hydrograph model: user manual and documentation. Gen. Tech. Rep. RMRS-334. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, *Rocky Mountain Research Station*. 68 p.

Hoseinzadeh M M., Nosrati, K., & Imeni, S. (2018). Determining curve number and estimating runoff yield in Hesarak catchment. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 18(51), 133-150. (In Persian)

Imani, R., Hassanabadi, D., & Borna, R. (2019). Modeling and recreational capability of Namin city (Case study of Fandaklu Promenade). *Geography* (Regional Planning), 9(3), 389-403. (In Persian)

Khavarian, H., Aghaei, M., & Mostafazadeh, R. (2020). Predicting the effects of land use changes on the monthly flow using hydrological model and Remote Sensing in the Kouzetopraghi watershed, Ardabil. *Hydrogeomorphology*, 7(24), 19-39. (In Persian)

Khosroshahi, M., & Saghafian, B. (2005). Spatial priority of flood potential areas a new method for flood control in watersheds. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Recourses*, 12(2), 128-138. (In Persian)

Kilduff, J., Daviero, G., Ruswick, K. 2014. Development of Regional Unit Hydrographs for Application to Ungaged Watersheds in New York. PhD Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Philadelphia, PA. 52p.

Kimaro, T., Tachikawa, Y., &. Takara K. (2003). Evaluating land-use change effects on flood peaks using a distributed rainfall-runoff model in Yasu River, Japan; *Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modelling*. IAHS Publ. no. 282 p.

Koneti, S., Sunkara, S.L., & Roy, P.S. (2018). Hydrological modeling with respect to impact of land-use and land-cover change on the runoff dynamics in Godavari River Basin using the HEC-HMS model. *ISPRS Internatioanl Journal of Geo-Information*, 7, 206.

Kratzert, F., Klotz, D., Brenner, C., Schulz, K., & Herrnegger, M. (2018). Rainfall-runoff modelling using long short-term memory (LSTM) networks, Hydrology and Earth System Science, 22, 6005-6022.

Kumar, D., Bhattacharjya, R.K. (2011). Distributed rainfall runoff modeling. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6), 270-275.

Mansouri, B., & Pirmoradian, R. (2019). Evaluation and comparison of lumped and semi-distributed rainfall-runoff models, *Journal of Water and Sustainable Development*, 5(2), 81-90. (In Persian)

Mirzaei, Sh., EsmaliOuri, A., Mostafazadeh, R., Ghorbani, A., & Mirzaei, S. (2018). Flood Hydrograph Simulation and Analysis of its Components with Landscape Metrics in Amoughin Watershed, Ardabil Province. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(2), 357-372. (In Persian)

Mirzaie, Sh., & Mostafazadeh, R. (2019). Changes the watershed unit hydrograph response due to constructed small detention structures. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 9(2):37-49. (In Persian)

Mishra, S., Saravanan, C., Dwivedi, V.K., & Shukla, J.P. (2018). Development of hydrolprocess framework for rainfall-runoff modeling in the river, Brahmaputra basin: *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* (IJMS), 47(12), 2369-2381.

Moradi, M., Darbandi, S., & Darbandi, S. (2019). Development of analytical-probabilistic models for estimating urban storm water runoff. *Water and Soil Science*, 28(4), 1-17. (In Persian)

Mostafazadeh, R., Mirzaie, Sh., & Nadiri, P. (2018). Curve number determination using rainfall and runoff data and its variations with rainfall components in a forested watershed. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, *Water and Soil Science*, 21(4):15-28. (In Persian)

Naseri, D., Alikhah Asl, M., Hedaiat, S., & Fathi, A. (2016). Investigating the capability of NDVI index in preparing land cover map of Fandogluo Namin region. *National Conference on Natural Resources Protection and Environment*, 2, 1-8.

NEH, National engineering handbook (2007). Part 630, Hydrology. Chapter 16, *Hydrographs*. www.wcc.nrcs.usda.gov/hydro/hydro-techref-neh-630.html

Nouredini, S.A.R., & Bonyad, A.A. (2017). Investigation of Atmospheric Correction Methods in Estimation of Forest Canopy Density of Guilan Province Using Vegetation Indices of Landsat 8 Data. *Iranian Remote Sensing & GIS*, 9(1), 93-110.

NRCS, U.S .Natural Resources Conservation Service. (2003). National engineering handbook. Part 630, Hydrology Chapter 16, Hydrographs. Chapter 16, *Hydrographs*. www.wcc.nrcs.usda.gov/hydro/hydro-techref-neh-630.html

Ponce, V.M, & Hawkins, R. (1996). Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity? *Journal of Hydrologic Engineering,* 11-19. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1996)1:1(11)

Pordel, F., Ebrahimi, A., & Azizi, Z. (2019). The effect of atmospheric correction methods on the relationship between vegetation indices and canopy cover (Case study: Marjan rangelands of Borujen). *Geospatial Information Technology*, 7(2), 133-153. (In Persian)

Pradipta, AG., and Nurhady, S. (2019). The representative synthetic unit hydrograph in Juana watershed. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 355-012023.

Rostami Kia, Y., & Sharifi, J. (2019). The Fandoglu Forest, the largest common hazel forest reserve in Iran. *Iran Nature*, 3(6), 90-99. (In Persian)

Rostamikia, Y., Tabari Kouchaksaraei, M., Asgharzadeh, A., & Rahmani, A. (2017). Effect of Growth Promoting Rhizobacteria on growth and nutrient elements of common hazelnut (Corylus avellana L.) seedlings in Ardabil Fandoqlou nursery. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(1), 116-126. (In Persian)

Sadeghi, S H., Ghasemieh H., & Sadatinegad S J. (2015). Performance evaluation of the IHACRES hydrological model in wet areas (Case study: Navrud Basin, Gillan). *Water and Soil Science*. 19(73), 73-83. (In Persian)

Safari, A., Ghanavati, E., & Hosseini, H. (2013). Estimate and zoning of runoff due 24-hour rainfall with use SCS-CN model (Case study: Yamchi dam catchment, Arabil, Iran). *Geography*, 11(38), 201-217. (In Persian)

Salami, W.A., Bilewu, S.O., Ibitoye, B.A., & Ayanshola, M.A. (2017). Runoff hydrographs using Snyder and SCS synthetic unit hydrograph methods: A Case study of selected rivers in south west Nigeria. *Journal of Ecological Engineering*, 18(1), 25-34.

Santillan, J., Makinano, M., &. Paringit, E. (2011). Integrated Landsat image analysis and hydrologic modelling to detect impacts of 25-year land-cover change on surface runoff in a Philippine watershed. *Remote Sensing*, 3, 1067-1087.

Sarangi, A., Madramootoo, C.A., Enright, P., & Prasher, S.O. (2007). Evaluation of three-unit hydrograph models to predict the surface runoff from a Canadian watershed. *Water Resources Management*, 21, 1127–1143.

Schultz, G. (1995). Changes on flood characterises due to land use chances in a river basin; U.S.-Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods Perugia (Italy), 1-13.

Shatnawi, A, & Ibrahim. (2022). Derivation of flood hydrographs using SCS synthetic unit hydrograph technique for Housha catchment area. *Water Supply*, 22(5): 4888–4901. doi: https://doi.org/10.2166/ws.2022.169

Shi, P.J., Yuan, Y., Zheng, J., Ai Wang, J., Ge, Y., & Yu Qiu, G. (2007). The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. Catena, 69, 31-35.

Singh, P.K., Mishra, S.K., Jain, M.K, 2014. A review of the synthetic unit hydrograph: from the empirical UH to advanced geomorphological methods. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2): 239-261.

Taghiloo, A.A. (2021). Classification and detection of land use changes in Orumieh city using object-oriented method in the period 2009-2018. Landscape of Rural and Urban Studies, 2(4), 1-16.

Talebikhiavi, H., & Mostafazadeh, R. (2021). Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 2257.

USDA, Natural Resources Conservation Service. (1986). Urban hydrology for small watersheds. *Technical Release*, 55, 164.

Wanielista, M.P. (1997). Hydrology Water Quantity and Water Quality Control. University of Central Florida. 565 p.

Young, G.K., Krolak, J.S., & Phillippe, J. (1986). Evaluation of alternative hydrograph methods for hydraulic design. *Transportation Research Record*. 1073-:28-34.

Yu, P., Wang, Y., Coles, N., Xiong, W., & Xu L. (2015). Simulation of runoff changes caused by cropland to forest conversion in the upper Yangtze River region, SW China. PLoS ONE 10(7), 1-16.

Yusop, Z., Chan, C.H., & Katimon, A. (2007). Runoff characteristics and application of HEC-HMS for modeling storm flow hydrograph in an oil palm catchment, *Water Science and Technology*, 56(8), 41-48.