

آبخوان‌های منطقه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، کاربری اراضی، مدل بارش-رواناب HEC-HMS، شماره منحنی

مقدمه

از میان بلایای طبیعی، سیل به عنوان مخرب‌ترین و مکررترین آن‌ها در جهان محسوب می‌شود به‌طوری که وقوع آن، باعث ایجاد خسارت‌های جبران‌ناپذیر به بخش‌های کشاورزی، صنعت و مسکن در کشورهای مختلف می‌گردد [۱۷]. شبیه‌سازی رفتار آب‌شناسی حوزه‌های آبخیز به‌منظور مقابله با خطرات سیلاب امری ضروری است. برآورد دبی اوج و رواناب در مناطق دارای آمار محدود یا فاقد آمار مانند اکثر حوزه‌های آبخیز ایران، یکی از مهم‌ترین مسائل در تصمیم‌گیری‌های مربوط به منابع آب است. از طرف دیگر با توجه به نبود یا کمبود آمار و داده‌های دقیق، استفاده از روابط تجربی در این‌گونه موارد می‌تواند یکی از راه‌های معقول و مفید برای نیل به اهداف یاد شده باشد. استفاده از شبیه‌سازهای بارش-رواناب در شبیه‌سازی رفتار آب‌شناسی حوضه‌های آبخیز و هیدروگراف سیلاب نتایج مطلوبی در بر داشته است [۶]. با این وجود، استفاده از شبیه‌سازها در حوزه‌های آبخیز بزرگ، ممکن است بسیار زمان‌بر و پرهزینه باشد. پیشرفت تکنیک‌های سنجش از دور از یک سو و استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی آب از سوی دیگر، امکان دسترسی به حجم عظیمی از داده‌ها را در زمینه‌های مختلف مهندسی آب در مناطق مختلف جهان مهیا کرده است. در زمینه تهیه نقشه شماره منحنی و برآورد دبی اوج رواناب، مطالعات مختلفی در سطح جهان انجام شده است به عنوان مثال سوانوراکامتورن [۱۴]، با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-1 و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اثرات تغییر کاربری اراضی بالادست حوضه چیلکا را مورد ارزیابی قرار داد، هدف وی توسعه و اصلاح مدل هیدرولوژیکی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، به منظور ارزیابی اثرات کمی تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل خروجی بود. دا و همکاران [۳]، مطالعه‌ای را در یک سیستم مدل‌سازی یکپارچه برای توزیع هیدرولوژیکی و مدل دینامیکی تغییر کاربری اراضی انجام دادند. در این مطالعه، اثرات توسعه شهری بر بارش سالانه و وقوع سیلاب در حوضه رودخانه کینهال در کشور چین بررسی شده است، نتایج این مطالعه نشان داد که مدل هیدرولوژیکی توزیعی

شبیه‌سازی رواناب و تأثیر تغییر کاربری اراضی بر آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هلیل‌رود)

محمد علی سلیمانزاده^۱، مرضیه محسنی^{۱*} و سمیه بختیاری^۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۹

چکیده

برآورد رواناب در مناطق دارای آمار محدود یا بدون آمار مانند اکثر حوزه‌های آبخیز ایران یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت صحیح منابع آب است. کاربری اراضی، مؤثرترین عامل تغییر فرایندهای هیدرولوژیکی در سطح یک حوضه می‌باشد. در این پژوهش، شبیه‌سازی رواناب و بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات آن، در حوزه آبخیز هلیل‌رود در طی سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ انجام شده است. نقشه کاربری اراضی حوضه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در هفت کلاس، تهیه و مقایسه شده است. نتایج مقایسه نشان داد که در طی دوره ۲۰ ساله، بیش‌ترین تغییر مربوط به کاربری بایر بوده که در حدود ۱/۹۹ درصد افزایش یافته است. با تلفیق نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک منطقه، نقشه شماره منحنی حوضه آبخیز استخراج شد. به‌منظور اطمینان از صحت نقشه شماره منحنی، هیدروگراف سیلاب سال‌های مورد نظر با استفاده از شماره منحنی تخمین زده شده و به کمک مدل بارش-رواناب HEC-HMS تعیین و با هیدروگراف‌های مشاهداتی مقایسه گردید. صحت ۹۱ درصد نتایج حاکی از توانایی قابل قبول روش‌های سنجش از دور در برآورد خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌های فاقد آمار می‌باشد. مقایسه هیدروگراف سیلاب حاصل از مدل بارش-رواناب ناشی از یک بارش مشخص (بارش ۱۹۹۳)، در طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳ نشان داد که دبی اوج سیلاب در این مدت، به میزان $106 \text{ m}^3/\text{s}$ و حجم رواناب نیز به مقدار یک درصد افزایش داشته است، نتایج این بررسی نشان می‌دهد که ادامه روند تخریبی در کاربری اراضی منطقه به سمت حالت بایر، موجب افزایش مقادیر مختلف رواناب، کاهش نفوذپذیری و آبگذری به

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران، Email: mohseni_m@sirjantech.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران،

روش مناسبی برای ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی توسعه شهری، مدیریت مسائل آبخیزداری، برنامه ریزی منابع آب و مدیریت سیلاب می باشد. اثر تغییر کاربری اراضی زمین های روستایی به زمین های شهری و صنعتی بر رواناب سطحی، در منطقه شنزن چین توسط شی و همکاران [۱۲] بررسی شده است. در این مطالعه، تصاویر ماهواره ای از ماهواره لندست در سال ۱۹۸۰، ۱۹۸۸، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۰ گرفته و رواناب سطحی در همان دوره ها با مدل SCS شبیه سازی گردید. نتایج نشان داد که توسعه شهرنشینی در ۲۰ سال گذشته، موجب افزایش ۱۳/۴ درصدی ضریب رواناب و افزایش ۱۲/۹ درصدی حداکثر دبی سیلاب حوضه شده است.

چن و همکاران [۲] در مطالعه خود اثرات سناریوهای تغییر کاربری اراضی در ایجاد رواناب در حوضه اکسیاسی چین را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر کاربری راضی، موثرترین عامل در فرایندهای هیدرولوژیکی در سطح حوضه می باشد، در این مطالعه یک مدل ترکیبی شامل مدل تجربی تغییر کاربری اراضی و مدل بارش-رواناب به منظور بررسی اثرات پتانسیل تغییر کاربری اراضی بر رواناب های شدید ارائه شده است. نتایج حاصل از این بررسی را می توان برای برنامه ریزی و مدیریت کاربری اراضی به کار برد. در این راستا، هالونا و هولابک [۹] نیز اثر نوع پوشش اراضی را بر وقوع ناگهانی سیل با استفاده از داده های سنجش از دور، در رودخانه ای در کشور چک بررسی کردند نتایج این مطالعات نشان می دهد که فرایندهای هیدرولوژیکی به تغییرات کاربری اراضی واکنش نشان می دهد.

در مطالعه تیموری و همکاران [۱۵]، از مدل WMS به منظور تخمین و تحلیل حساسیت رواناب در حوزه آبخیز چالوس استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد روش SCS به دلیل استفاده از پارامترهای درون حوزه ای از دقت بالایی برخوردار است، به علاوه تولید رواناب سطحی در کاربری ها و شیب های مختلف، بستگی به پوشش گیاهی دارد و صرفاً با افزایش شیب افزایش نمی یابد.

قبادیان و همکاران [۴] نیز برای پیش بینی سیلاب حاصل از بارش حوضه آبخیز قره سو در نرم افزار WMS، مدل HEC-HMS انتخاب نمودند. نتایج این مطالعه، نشان از برازش مناسب دبی اوج هیدروگراف های مشاهده ای و هیدروگراف های شبیه سازی شده دارد و اختلاف زمانی در رسیدن به اوج نیز مساوی یا کمتر از ۹۰ دقیقه برآورد گردید.

میرزایی و همکاران [۷] شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب در حوزه آبخیز گل گل ایلام را با استفاده از تصاویر ماهواره ای و مدل Wet Spa انجام داده و به این نتیجه رسیدند که ارتباط معنی داری در سطح اطمینان ۹۹٪ بین داده های دبی شبیه سازی شده و تغییر کاربری اراضی وجود دارد.

با توجه به مطالب گفته شده، هدف از این مطالعه بررسی کارایی استفاده از تصاویر ماهواره ای در استخراج نقشه های کاربری اراضی و نقشه شماره منحنی، شبیه سازی رواناب و بررسی اثر تغییر کاربری

اراضی بر خصوصیات رواناب حوزه آبخیز هلیل رود می باشد. به دلیل وقوع سیلاب های شدید و خسارت های زیاد جانی و مالی در حوزه آبخیز هلیل رود، این حوضه انتخاب شده است.

مواد و روش ها

در این مطالعه، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره ای، نقشه های کاربری اراضی، گروه هیدرولوژی خاک و نقشه پوشش گیاهی تهیه و سپس به کمک جدول SCS، نقشه های شماره منحنی رواناب حوزه آبخیز هلیل رود جیرفت استخراج شد. به منظور بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه، از مدل بارش-رواناب HEC-HMS استفاده گردید.

معرفی منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز هلیل رود

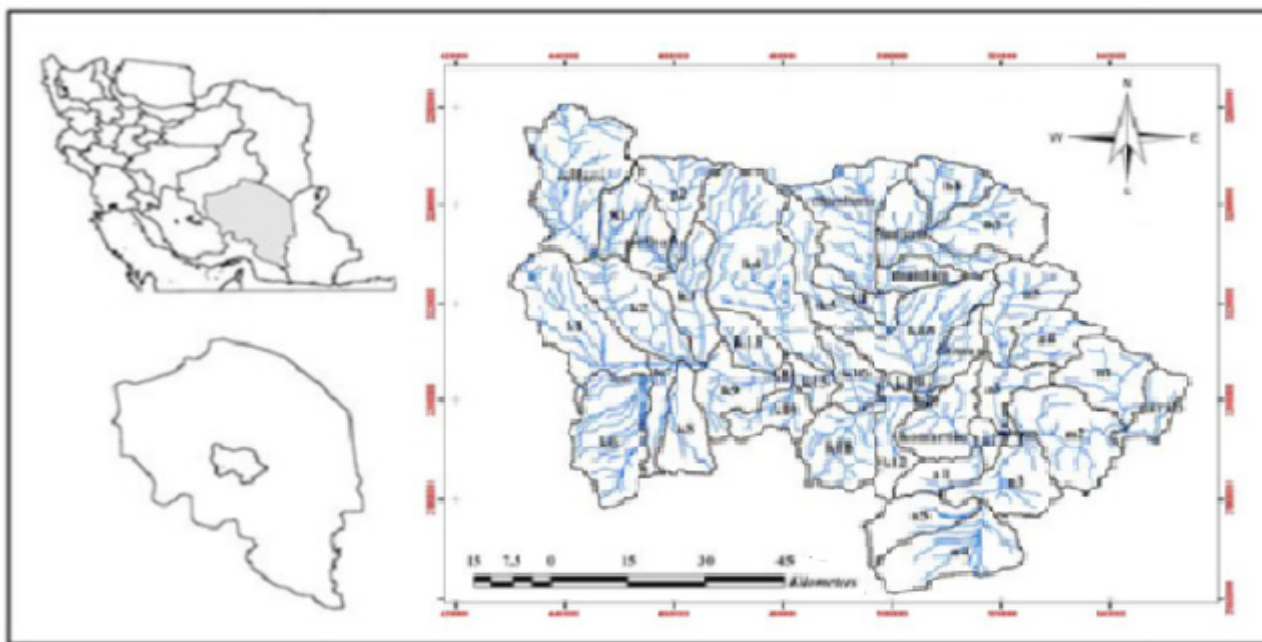
منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز هلیل رود در جنوب استان کرمان و در شهرستان جیرفت می باشد. این حوضه با مساحتی بالغ بر ۷۵۰ هزار هکتار در محدوده جغرافیایی ۵۸° ۲۸' تا ۵۸° ۲۹' عرض شمالی و ۵۶° ۲۹' تا ۵۸° ۵۸' طول شرقی در جنوب شرقی ایران قرار دارد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه حوزه آبخیز هلیل رود نشان داده شده است [۵].

اطلاعات هواشناسی

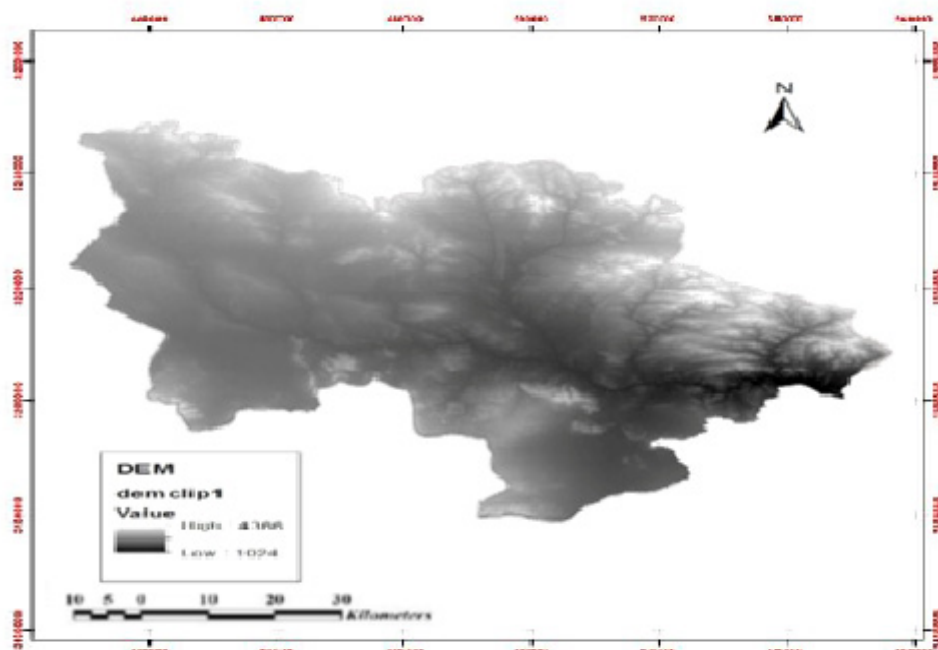
در محدوده مورد مطالعه (حوضه جازموریان) مجموعاً ۲۸ ایستگاه آب سنجی مورد شناسایی قرار گرفته است که تعداد قابل توجهی از این ایستگاه ها تعطیل و یا فاقد اندازه گیری دبی می باشند. با توجه به اهداف این پژوهش، داده های ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری کنارویه واقع در خروجی حوضه، مورد استفاده قرار گرفته است. اندازه گیری هیدروگراف در ایستگاه هیدرومتری، با گام زمانی ۲ ساعت می باشد. میانگین بارندگی سالانه این منطقه، بیش از ۶۰۰ میلی متر در ارتفاعات غرب و شمال غربی حوضه تا کم تر از ۱۰۰ میلی متر در اطراف تالاب جازموریان متغیر است. متوسط دمای سالانه حوزه آبخیز جازموریان ۲۱/۹ درجه سانتی گراد و متوسط بارندگی و تبخیر سالانه کل حوضه به ترتیب معادل ۱۶۹/۸ و ۲۱۸۳/۱ میلی متر می باشد [۵].

مدل رقومی ارتفاعی

در این تحقیق، ابتدا با استفاده از لایه رقومی توپوگرافی و آبراهه، شبکه نامنظم مثلثی ساخته شد و سپس از روی شبکه نامنظم مثلثی، مدل رقومی ارتفاع حوضه تهیه گردید. در شکل (۲) مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. براساس این مدل، مقادیر ارتفاع حوضه بین ۱۰۲۴ و ۴۳۶۶ متر متغیر است. نقشه بافت خاک، یکی از داده های مورد نیاز برای تهیه نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک می باشد، نقشه بافت خاک حوزه آبخیز هلیل رود در شکل (۳) ارائه شده است.



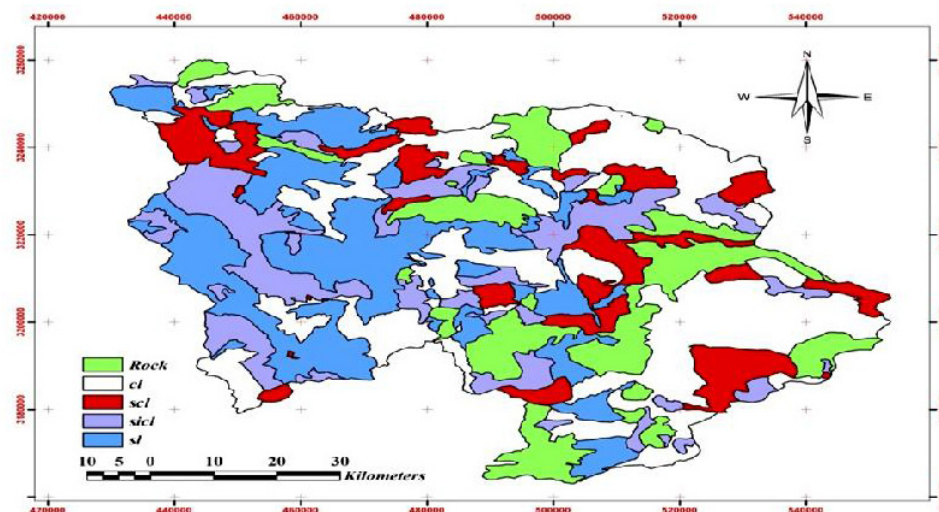
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه [۱۳]



شکل ۲: مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز هلیل رود

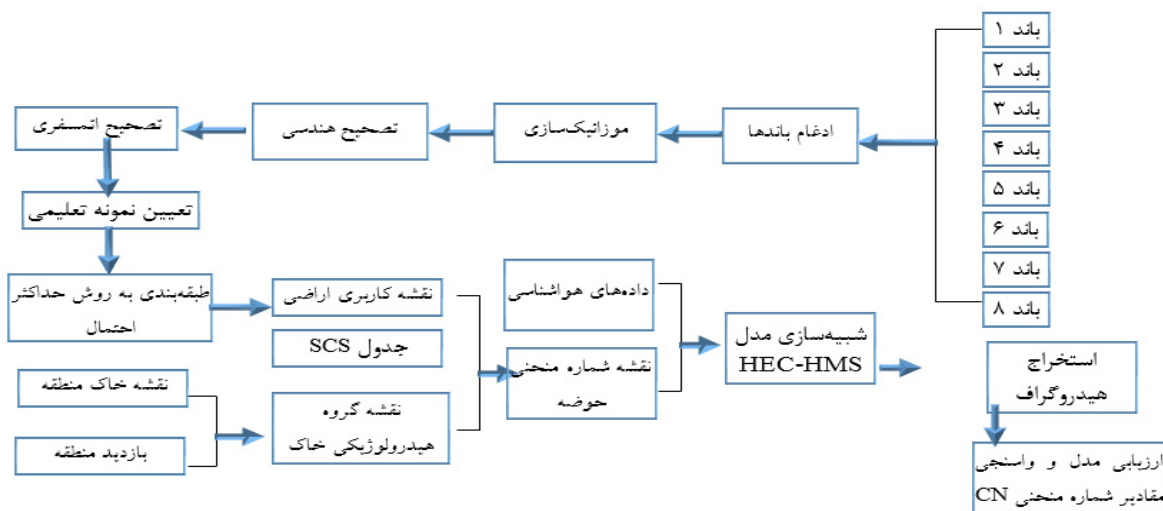
نشان داده شده است.

این منطقه به دلیل خصوصیات زمین‌شناسی، توپوگرافی و هواشناسی دارای پتانسیل بالایی جهت وقوع سیلاب‌های عظیم می‌باشد، به نحوی که در سال ۱۹۹۳ یکی از مخرب‌ترین سیلاب‌ها به وقوع پیوست و ۱۲ نفر کشته، ۴۲۰۰ نفر بی‌خانمان و حدود ۲۰ میلیون دلار خسارت مالی برجا گذاشت لذا بررسی نقش تاثیر تغییر کاربری اراضی بر وقوع چنین سیلاب‌هایی به منظور پایش و کنترل آن‌ها ضروری است [۱۱]. نمودار مراحل انجام تحقیق در شکل (۴)



Rock: صخره ای، cl: رسی، scl: لومی رسی شنی، scl: لومی رسی سیلتی، sl: لومی شنی

شکل ۳: نقشه خاک حوزه آبخیز هلیل رود [۱۳]



شکل ۴: نمودار مراحل انجام تحقیق، استخراج نقشه کاربری اراضی، نقشه شماره منحنی حوزه و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS

هندسی و رادیومتری زیادی می‌باشند که قبل از استفاده بایستی تصحیحاتی روی داده‌ها انجام شود [۱۶].

- تصحیح هندسی

در این مطالعه، فرآیند تطابق هندسی داده‌ها با استفاده از ۱۲ نقطه کنترلی که دارای پراکنش مناسب در سطح منطقه بوده‌اند، انجام شده است. با کنترل تصاویر لندست با تصاویر گوگل ارث مشخص گردید که تصاویر لندست مورد نظر از دقت هندسی خوبی برخوردارند [۱۶].

- تصحیح اتمسفری

خطاهای اتمسفری آن دسته از خطاها هستند که به علت تأثیر اتمسفر بر روی انرژی الکترومغناطیس به وجود می‌آیند. در این

تصاویر ماهواره ای

به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی حوزه در سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۰۳ از تصاویر ماهواره لندست ۴ و ۵ سنجنده TM و در سال ۲۰۱۳ از لندست ۸ سنجنده OLI استفاده شده است. جهت تجزیه و تحلیل تصاویر و جمع‌آوری اطلاعات لازم برای تهیه نقشه شماره منحنی از نرم‌افزار ARC GIS 9.2 استفاده گردیده است.

تصحیح داده‌های سنجنش از دور

داده‌های حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای که به زمین مخابره می‌شوند، داده‌های خام می‌باشند که معمولاً دارای ناهنجاری‌های

تحقیق از روش Dark Dubtract برای تصحیح اتمسفری تصاویر استفاده شده است. تصحیح در این روش با تعیین مقدار جابه‌جایی هیستوگرام و کم کردن آن از مقدار پیکسل‌ها در هر باند، انجام شده است [۱۶].

- استخراج نقشه کاربری اراضی

یکی از روش‌های رقومی پرکاربرد استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، روش طبقه‌بندی می‌باشد. روش‌های طبقه‌بندی را به طور معمول به دو دسته طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده تقسیم می‌نمایند. در این تحقیق به منظور طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش حداکثر احتمال استفاده شده است. در روش نظارت شده به اطلاعات اولیه‌ای نظیر تعداد کلاس‌ها، خصوصیات آن‌ها و هم‌چنین نمونه‌های معلوم از هر کلاس نیاز است، در این مطالعه، طبقه‌بندی در هفت کلاس شامل آب، شهرنشینی (مناطق مسکونی)، سنگی، کشاورزی (زراعی دیم)، مرتع، باغی (زراعی و باغی آبی) و بایر انجام شده است.

- صحت‌سنجی نقشه کاربری اراضی

در این مطالعه به منظور بررسی دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر از روش ماتریس خطا استفاده شد. با بازدید میدانی و نظر کارشناسان و مصاحبه با مردم محلی، سعی گردید نقاطی به عنوان نقاط تعلیمی انتخاب گردد که در طی سال‌ها دچار تغییر کاربری اراضی نشده است. نقاط تعلیمی با استفاده از دستگاه GPS تعیین شدند، سپس این نقاط به نرم افزار GIS منتقل و با تصاویر گوگل ارث تطبیق داده شدند. ابتدا نقاط تعلیمی با تصاویر طبقه‌بندی شده مقایسه و سپس جدول خطا، معیارهای صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه شدند. صحت کلی عبارت است از مجموع پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند به مجموع پیکسل‌های مورد طبقه‌بندی. این معیار بسیار ساده و متداول می‌باشد، اما از قدرت بیان کنندگی پایینی برخوردار است. به‌طوری که در محاسبه آن پیکسل‌هایی که به خطا به طبقات اختصاص یافته‌اند، لحاظ نمی‌شوند. بروز توافق اتفاقی نیز در آن ممکن است. بنابراین یک صحت کلی بالا، زمانی با ارزش و قابل اعتماد می‌باشد که صحت هر یک از طبقات نیز حتی‌الامکان بالا باشد. به‌منظور حذف توافق اتفاقی از صحت کلی و فراهم آوردن امکان مقایسه طبقه‌بندی‌های مختلف با یکدیگر، کانگلیتون و همکاران در سال ۱۹۸۳، ضریب کاپا را به عنوان یک معیار مناسب به صورت رابطه (۱) پیشنهاد دادند [۱۶]:

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (1)$$

در این رابطه، K ضریب کاپا، θ_1 صحت کلی و θ_2 توافق اتفاقی می‌باشد. ضریب کاپا می‌تواند بین صفر و یک متغیر باشد، ضریب کاپا معادل یک به معنی توافق و هم سوئی صد در صد بین حاصل طبقه‌بندی و واقعیت زمینی و صحت کامل طبقه‌بندی می‌باشد. در

محاسبه ضریب کاپا علاوه بر پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده، پیکسل‌هایی که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند نیز دخالت داده می‌شوند، از این رو معیار مناسبی برای مقایسه نتایج طبقه‌بندی‌های مختلف می‌باشد.

برآورد رواناب

مسئله برآورد رواناب سطحی در حوضه آبخیز موضوع پیچیده‌ای است و دستیابی به میزان کمی و کیفی آن، پایه و مبنای مطالعات طرح‌های مختلف توسعه، بهره‌برداری از منابع آب و سازه‌های آبی را تشکیل می‌دهد. روش‌های مختلفی برای برآورد رواناب وجود دارد یکی از این روش‌ها، روش شماره منحنی رواناب SCS است [۱۳]. روش شماره منحنی رواناب، ساده و دارای کاربرد فراوان و مؤثر در تعیین رواناب می‌باشد. در این پژوهش روش SCS (انجمن حفاظت خاک آمریکا) برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب انتخاب گردید. در روش SCS از شماره منحنی و زمان تأخیر برای برآورد سیلاب استفاده می‌شود، زمان تأخیر از رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۱].

$$t_t = \frac{L^{0.8} \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{1900 S^{0.5}} \quad (2)$$

در این رابطه، CN شماره منحنی، L طول حوضه بر حسب فوت و S درصد شیب حوضه می‌باشد. ارتفاع رواناب Q با استفاده از ارتفاع بارندگی P از رابطه (۳) بدست می‌آید [۱]:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ (in mm)} \quad (4)$$

یکی از اطلاعات موردنیاز مدل بارش-رواناب، نقشه شماره منحنی حوضه می‌باشد. نقشه کاربری اراضی حوزه آبریز، نقش بسیار مهمی در تعیین نقشه شماره منحنی رواناب ایفا می‌کند. برای تهیه نقشه شماره منحنی اقداماتی شامل تهیه نقشه کاربری اراضی و تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک ضروری است.

نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک

در این مطالعه با تلفیق نقشه خاک‌شناسی منطقه با نقشه کاربری اراضی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه گروه هیدرولوژیکی حوضه استخراج و در شکل (۵) نشان داده شده است. نقشه شماره منحنی (CN)، با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، بدست خواهد آمد، نقشه بدست آمده از این روش مربوط به شرایط رطوبت متوسط خاک می‌باشد که با توجه به شرایط رطوبتی پنج روز قبل، با استفاده از روابط (۵) و (۶)، به ترتیب، برای شرایط رطوبتی خشک و مرطوب اصلاح می‌گردد.

انتخاب گردید. از این میان چهار رویداد بارش رواناب به منظور واسنجی مدل و سه رویداد برای صحت‌سنجی انتخاب گردید. در مرحله واسنجی از تابع مجموع قدرمطلق باقی‌مانده‌ها استفاده شده است که با حداقل کردن مقدار این تابع در هر مرحله، مقادیر زمان تمرکز و شماره منحنی واسنجی شده است. تابع مجموع قدرمطلق باقی‌مانده‌ها در رابطه (۷) ارائه شده است.

$$Z = \sum_{i=1}^n |(Q_{os})_t - (Q_{si})_t| \quad (7)$$

پس از واسنجی مدل، از سه رویداد بارش رواناب برای صحت‌سنجی مدل HEC-HMS استفاده گردید. کارایی مدل بارش رواناب در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با استفاده از سه معیار ناش-ساتکیف (C_{ns})، اریبی مدل در برآورد حجم جریان (RE_{VF} %) و درصد خطا در برآورد دبی اوج (RE_{Qpeak} %) مورد ارزیابی قرار گرفت.

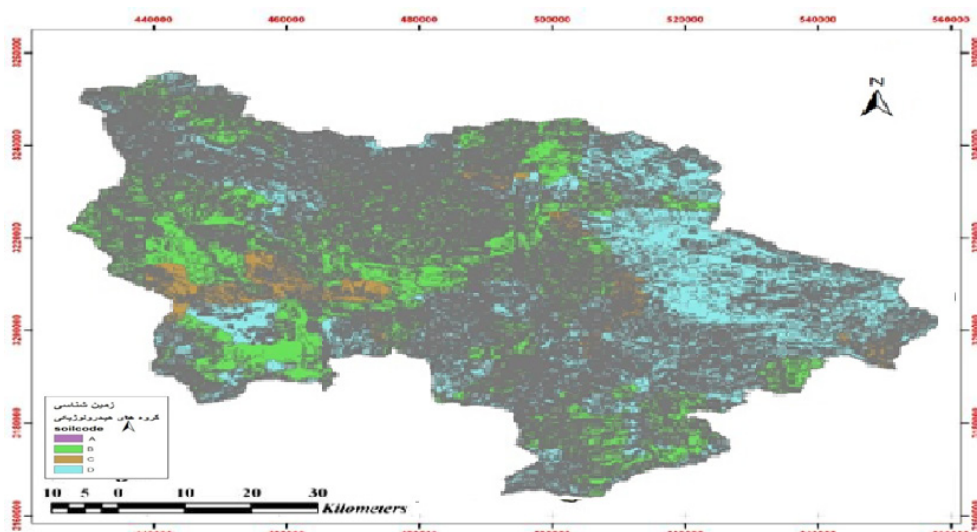
$$CN_{(I)} = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)} \quad (5)$$

$$CN_{(III)} = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad (6)$$

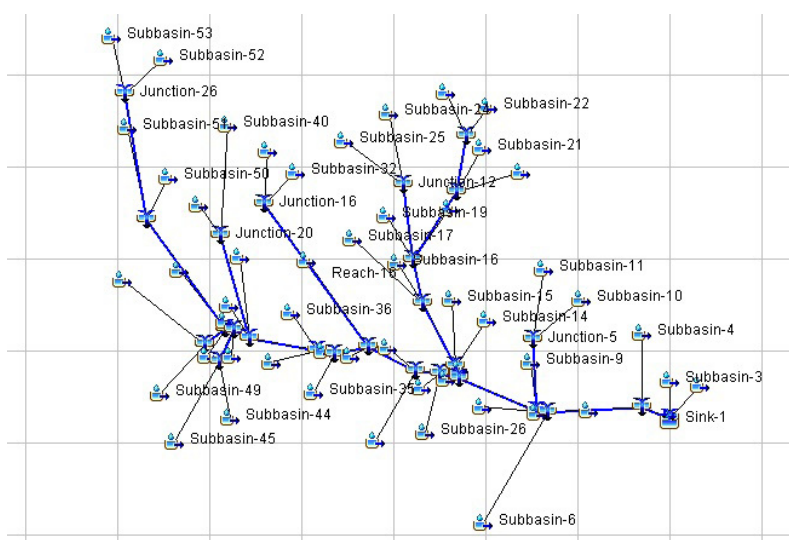
در این روابط، و به ترتیب، شماره منحنی برای شرایط رطوبت پیشین خشک، متوسط و مرطوب خاک است [۱].

با انتخاب ۵۳ زیرحوضه و ۶ بازه روندیابی، مدل حوضه مورد نظر در نرم افزار HEC-HMS تهیه و با وارد کردن داده‌های هواشناسی و مشخصات هیدرولوژیکی منطقه، بارش رواناب مدل گردید. در شکل (۶) مدل حوزه آبخیز هلیل رود در نرم افزار HEC-HMS ارائه شده است.

از میان داده‌های هیدرولوژی منطقه، هفت رویداد بارش رواناب



شکل ۵: نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک

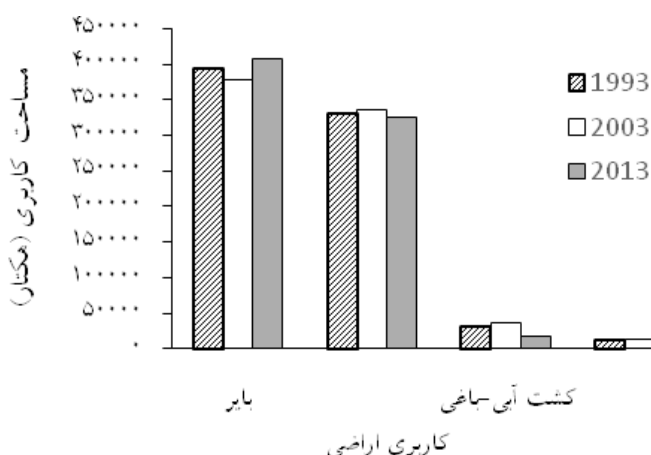


شکل ۶: مدل حوضه هلیل رود در HEC-HMS

تغییرات کاربری اراضی در طی دوره بیست ساله بررسی و در جدول (۲) ارائه شده است. مقایسه مساحت اختصاص یافته به هر کاربری نشان داد که بیشترین تغییر در دوره بیست ساله، مربوط به کاربری باغات و بایر می‌باشد. به طوری که مساحت مربوط به کاربری باغات و بایر در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۱۹۹۳، به ترتیب حدود ۱/۸+ و ۱/۹۹+ درصد افزایش یافته است. جدول ۲: درصد تغییرات کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۱۹۹۳

نوع کاربری	تغییر مساحت هر کاربری در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۱۹۹۳ (برحسب درصد)
آب	-
شهرنشینی (مناطق مسکونی)	+۰/۸
سنگی	-۰/۳۹
کشاورزی (زراعی دیم)	+۰/۳۴
مرتع	-۰/۲۲
باغی (زراعی و باغی آبی)	+۱/۸
بایر	+۱/۹۹

با استفاده از نقشه کاربری اراضی منطقه در سال‌های مختلف و تلفیق آن با نقشه هیدرولوژیکی خاک و با استفاده از جدول SCS، نقشه شماره منحنی منطقه استخراج گردید، از آنجا که طی پنج روز قبل از رویدادهای رواناب، بارش دیگری انجام نشده است لذا با استفاده از رابطه (۵) شماره منحنی در شرایط خشک برآورد شده است. نقشه شماره منحنی حوزه هلیل‌رود در شکل (۸) نشان داده شده است، قسمت قابل توجهی از منطقه دارای CN حدود ۸۰ می‌باشد که نشان‌دهنده توان بالای منطقه در تولید رواناب می‌باشد.



شکل ۷: مقایسه مساحت اختصاص یافته به هر کاربری در سال‌های مختلف

$$C_{Ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{os})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{os} - \bar{Q}_o)^2} \quad (8)$$

$$\%RE_{VF} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Q_{si}}{\sum_{i=1}^n Q_{os} - 1} \right) \times 100 \quad (9)$$

$$\%RE_{Qpeak} = 100 \left| \frac{Q_{si(peak)} - Q_{os(peak)}}{Q_{os(peak)}} \right| \quad (10)$$

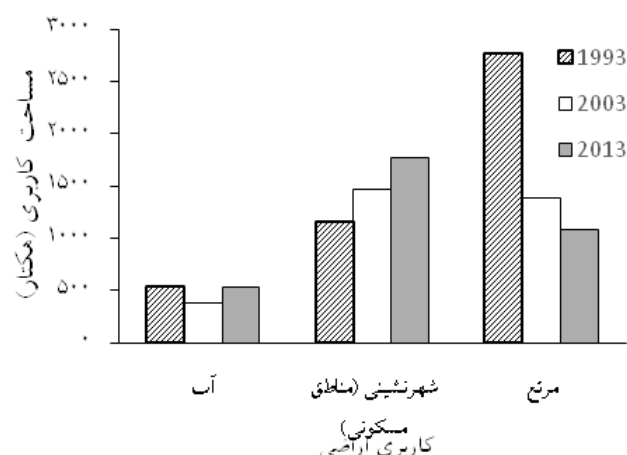
در روابط (۷) تا (۱۰)، Q_{si} مقدار دبی شبیه‌سازی شده، Q_{os} دبی مشاهده شده و $\bar{Q}_o$ میانگین دبی‌های مشاهده شده می‌باشد [۸].

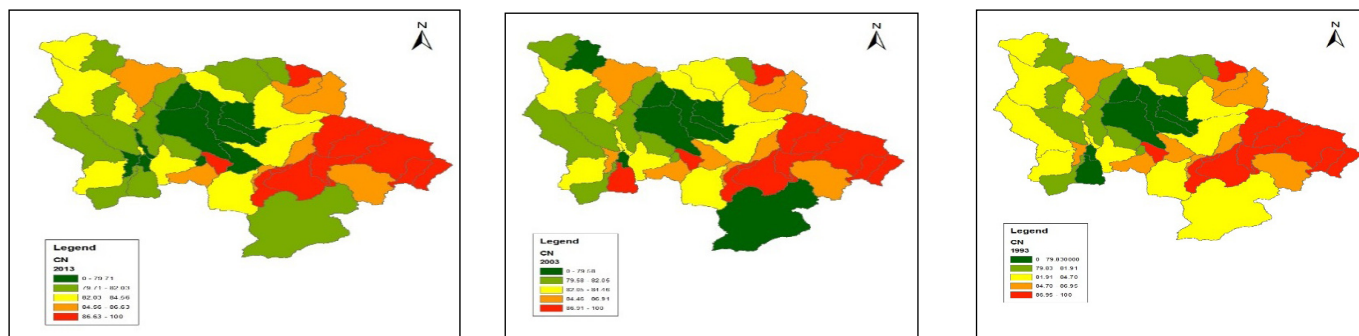
نتایج و بحث:

صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست برای سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ به صورت صحت کلی و صحت کاپا در جدول (۱) ارائه شده است. مقادیر حاصل، نشان‌دهنده دقت قابل قبول نقشه‌های کاربری اراضی می‌باشد. از آنجا که از ماهواره لندست ۸ تهیه تصاویر سال ۲۰۱۳ استفاده شده، افزایش قابل توجه صحت کاپا و صحت کلی برای تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۳، نشان‌دهنده دقت تفکیک‌پذیری بالاتر لندست ۸ می‌باشد. در شکل (۹) نمودار تغییر مساحت هر کاربری، در سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ نشان داده شده است. با توجه به نقشه کاربری اراضی، مناطق بایر بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است که این امر نشان‌دهنده پتانسیل بالای سیل‌خیزی منطقه می‌باشد.

جدول ۱: نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ با روش حداکثر احتمال

سال	صحت کاپا	صحت کلی (درصد)
۱۹۹۳	۰/۸	۸۸/۹۶
۲۰۰۳	۰/۸۱	۸۹/۱۸
۲۰۱۳	۰/۸۵	۹۱/۵



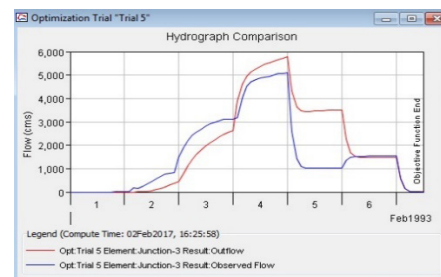
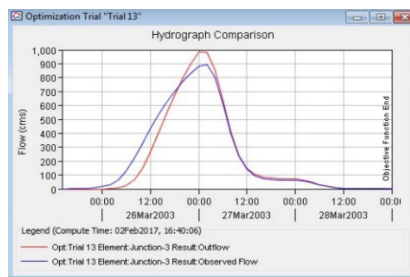
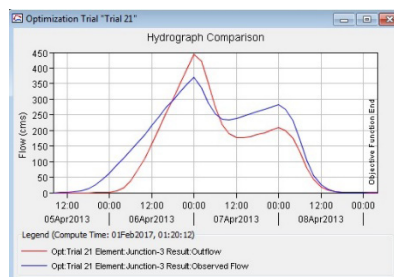


الف

ب

ج

شکل ۸: نقشه شماره منحنی برای سال‌های الف-۱۹۹۳، ب-۲۰۰۳ و ج-۲۰۱۳ نشان داده شده است.



الف

ب

ج

شکل ۹: مقایسه هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف شبیه سازی شده با مدل HEC-HMS برای سال‌های الف-۱۹۹۳، ب-۲۰۰۳ و ج-۲۰۱۳

جدول ۳: مقایسه حجم سیلاب مشاهده‌ای و سیلاب برآورد شده مربوط به سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳

تاریخ وقوع سیلاب	دبی اوج اندازه‌گیری شده (m ³ /s)	دبی اوج محاسبه شده با مدل HEC-HMS (m ³ /s)	درصد اختلاف میان مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده	حجم سیلاب اندازه‌گیری شده (Mm ³)	حجم سیلاب محاسبه شده با مدل HEC-HMS (Mm ³)	درصد اختلاف میان مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده
۲ فوریه ۱۹۹۳	۵۱۰۵	۵۷۷۸/۳	۱۳/۲	۱۳۰/۰۴	۱۵۱/۳۹	۱۶/۴۲
۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۰۳	۸۹۴/۳	۹۸۸/۸	۱۰/۶	۹/۳۶	۸/۸۴	-۵/۵۶
۵ تا ۸ آوریل ۲۰۱۳	۷/۰۲	۵/۸۵	-۱۶/۷۰	۳۷۱/۴	۴۴۳/۱	۱۹/۳

واسنجی و صحت سنجی مدل هیدرولوژی

در شکل (۹) هیدروگراف مشاهداتی و برآورد شده سیلاب با گام زمانی دو ساعت در سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ ارائه شده است، مقایسه میان داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دبی اوج سیلاب و حجم سیلاب در جدول (۳) ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در شکل کلی هیدروگراف و زمان اوج سیلاب که تأثیر بسیار مهمی در مسائل پایش و کنترل سیل دارند، تفاوت قابل توجهی مشاهده نمی‌شود، بنابراین به طور کلی می‌توان در بسیاری از مسائل کلی مدیریت سیل از روش ذکر شده بهره گرفت. با این حال در این مطالعه سعی گردید مقادیر زمان تمرکز و شماره

منحنی زیرحوضه‌ها با حداقل کردن تابع هدف مجموع قدر مطلق باقی مانده‌ها، بهینه شود. مقادیر مختلف خطا در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در جدول (۴) ارائه شده است.

پس از مرحله بهینه‌سازی و اصلاح پارامترهای ورودی مدل، هیدروگراف شبیه‌سازی شده با هیدروگراف مشاهده‌ای حوضه مقایسه و مقادیر مختلف خطا برآورد و در جدول (۴) ارائه شده است. با مقایسه مقادیر جدول (۳) و (۵) مشاهده گردید پس از واسنجی مقادیر شماره منحنی، مقدار خطا در برآورد دبی اوج و حجم سیلاب سال ۲۰۱۳، از ۱۹/۳ و ۱۶/۷ درصد به ترتیب به ۵/۶ و ۸/۴ درصد کاهش یافته است. در مطالعه مشابه یعقوب‌زاده و

همکاران [۱۶] نیز به دقت ۸۵ درصد در استخراج نقشه‌های شماره منحنی دست یافتند که نشان‌دهنده موفقیت این روش در استخراج خصوصیات هیدرولوژیک حوضه می‌باشد.

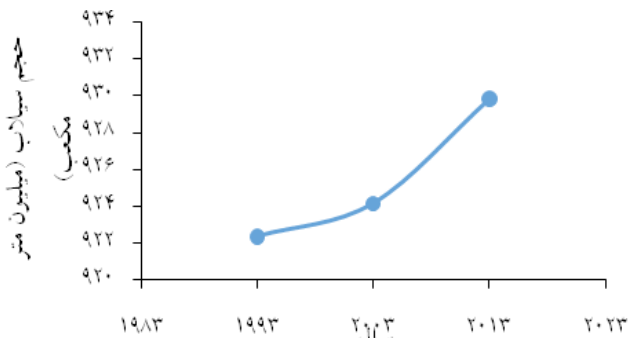
جدول ۴: مقدار خطا در مرحله واسنجی و صحت سنجی مدل

معیار خطا	مرحله واسنجی	مرحله صحت سنجی
معیار ناش-ساتکلیف (C_{Ns})	۰/۷۳	۰/۸۳
اریبی مدل در برآورد حجم جریان ($\%RE_{VF}$)	۰/۲۶۷	۰/۱۷
درصد خطا در برآورد دبی اوج ($\%RE_{Qpeak}$)	۱۴/۸۷	۱۲/۶۷

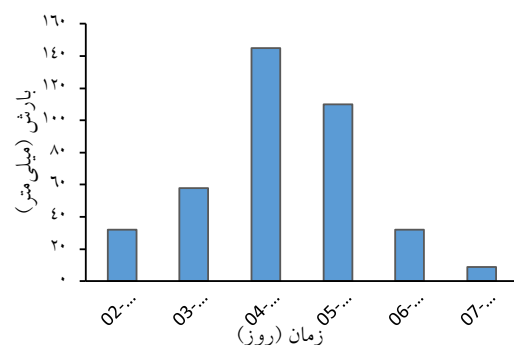
تأثیر تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل
تغییر کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش یا کاهش دبی سیلاب می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل، یک بارش مشخص (مربوط به سال ۱۹۹۳) انتخاب شد (شکل ۱۰) و مدل بارش-رواناب تحت این بارش مشخص برای کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ اجرا گردید. با توجه به این‌که بارش مشخص و یکسانی برای همه سال‌ها در نظر گرفته شده است لذا تغییر در خصوصیات هیدروگراف و حجم سیلاب تنها ناشی از تغییر کاربری اراضی می‌باشد. تغییرات حجم سیلاب، دبی اوج سیلاب و دبی میانگین در سال‌های مختلف در شکل‌های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است.

جدول ۵: مقایسه دبی اوج سیلاب مشاهده‌ای و سیلاب برآورد شده مربوط به سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۳ پس از واسنجی CN

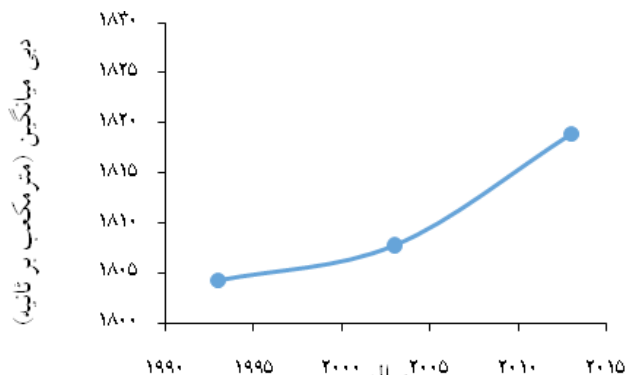
تاریخ وقوع سیلاب	دبی اوج اندازه‌گیری شده (m^3/s)	دبی اوج محاسبه شده با مدل HEC-۲ (m^3/s)	درصد اختلاف میان مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده	حجم سیلاب اندازه‌گیری شده (Mm^3)	حجم سیلاب محاسبه شده با مدل HEC-۲ (Mm^3)	درصد اختلاف میان مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده
۲ فوریه ۱۹۹۳	۵۱۰۵	۵۱۱۹/۵	۰/۳	۱۲۷/۶۵	۱۳۵/۳۷	-۵/۷۱
۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۰۳	۹۰۸	۹۲۷/۹	۲/۲	۹/۲۶	۹/۰۶	-۲/۱۱
۵ تا ۸ آوریل ۲۰۱۳	۳۴۳	۳۲۳/۷	-۵/۶	۳/۹۹	۳/۶۸	۸/۴۰



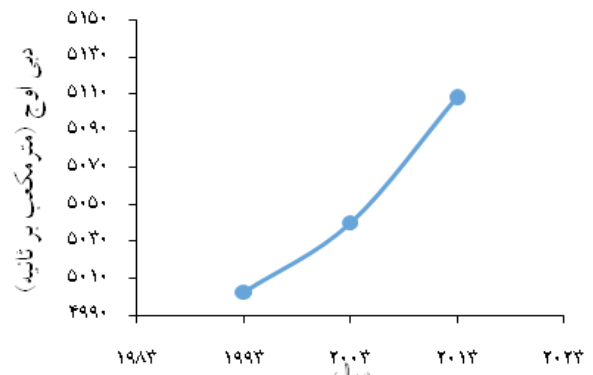
شکل ۱۱: تغییر حجم سیلاب (بر حسب میلیون مترمکعب) برای سال‌های مختلف



شکل ۱۰: مشخصات بارش ۱۹۹۳



شکل ۱۳: تغییر دبی میانگین سیلاب (بر حسب مترمکعب بر ثانیه) برای سال‌های مختلف



شکل ۱۲: تغییر دبی اوج سیلاب (بر حسب مترمکعب بر ثانیه) برای سال‌های مختلف

همان‌گونه که در شکل (۱۲) مشخص است در طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳، دبی اوج سیلاب از ۵۰۰۲ مترمکعب در ثانیه به ۵۱۰۸ مترمکعب در ثانیه رسیده که نشان‌دهنده ۲ درصد افزایش دبی اوج است. با بررسی روند تغییرات کاربری اراضی می‌توان این افزایش دبی را ناشی از کاهش قابل‌توجه مراتع، افزایش مناطق شهری و افزایش کشت دیم دانست که موجب کاهش ظرفیت نگهداشت حوضه و در نهایت افزایش خطر سیلاب می‌گردد.

حجم سیلاب هم به‌طور کلی روند افزایشی داشته است به طوری‌که از ۹۲۲ میلیون مترمکعب در سال ۱۹۹۳ به ۹۳۰ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته است، در واقع حدود ۸ میلیون مترمکعب آبی که بایستی به صورت نفوذ در می‌آمد و صرف تغذیه مصنوعی حوضه آبخیز می‌شد به دلیل تخریب مراتع و افزایش مناطق مسکونی و کشت دیم، به صورت هرزآب در آمده و از حوضه خارج شده است که ادامه این روند منجر به تخریب منابع خاکی و آبی منطقه خواهد شد. در مطالعه میرزایی و همکاران [۷] که در حوضه گل گلاب انجام شده است نیز تغییر کاربری اراضی مناطق جنگلی موجب افزایش دبی سیلاب در حدود ۱/۴۳ شده است. بنابراین ملاحظه می‌گردد که تغییر کاربری اراضی تأثیر قابل‌توجهی بر پاسخ هیدرولوژیکی منطقه داشته است که می‌توان از این خاصیت در جهت کنترل و کاهش خطرات سیلاب بهره برد، به نحوی که می‌توان با توجه به نقشه کاربری اراضی و نقشه سیل‌خیزی منطقه، مناطقی را که قابلیت انجام فعالیت‌های آبخیزداری دارند، شناسایی و معرفی نمود.

نتیجه‌گیری

این مطالعه به‌منظور شبیه‌سازی رواناب در حوضه هلیل‌رود و بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای هیدرولوژیکی آن انجام شده است. به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی، تصاویر باندهای ۴، ۵ و ۸ ماهواره لندست با یکدیگر ادغام شد. طبقه‌بندی تصاویر به روش نظارت شده و با الگوریتم حداکثر احتمال انجام گردید. بررسی نقشه کاربری اراضی حوضه نشان داد که مناطق بایر و آبی، به‌ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. صحت کلی و ضریب کاپا حاصل از برآورد صحت در نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳، به‌ترتیب، بیش از ۹۰ و ۰/۸۱ می‌باشد که نشان‌دهنده دقت قابل‌قبولی است. با توجه به مقایسه نقشه کاربری اراضی به دست‌آمده در سال‌های مختلف، مشخص شد که کاربری باغات و بایر، به ترتیب، با افزایش ۱/۸+ و ۱/۹۹+ درصد بیش‌ترین تغییرات را در طی دوره بیست ساله داشته‌اند.

شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب حوضه آبخیز هلیل‌رود با استفاده از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل بارش رواناب HEC-HMS انجام گرفته است. مقایسه نتایج نشان داد که نقشه شماره منحنی بدست آمده از سامانه اطلاعات جغرافیایی دارای دقت

قابل‌قبولی می‌باشد به نحوی که مدل قادر است با دقتی بیش از ۸۴ درصد هیدروگراف مشاهداتی را برآورد نماید. نتیجه این مقایسه، دقت قابل‌قبول روش‌های سنجش از دور در پیش‌بینی نقشه شماره منحنی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، به‌منظور بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات سیل در طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳، هیدروگراف ناشی از یک بارش مشخص (سال ۱۹۹۳) شبیه‌سازی گردید. نتیجه این شبیه‌سازی نشان داد که تضعیف هر چند اندک در کاربری اراضی، موجب تغییرات قابل‌مشاهده‌ای در دبی اوج و حجم سیلاب می‌گردد که ادامه روند تخریبی در کاربری اراضی منطقه به سمت حالت بایر، موجب افزایش دبی اوج و حجم رواناب و کاهش نفوذپذیری و در نتیجه تخریب منابع آبی و خاکی منطقه خواهد شد.

منابع

- 1-Alizadeh, A. 2015. Applied Hydrology. Ferdowsi University of Mashhad. 40th edition: 942.
- 2-Chen, Y., Youpeng, X. and Yixing, Y. 2009. Impacts of land use change scenarios on storm runoff generation in Xitiaoqi basin, China. Quaternary International. 208: 121-128.
- 3-Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y., and Xu, C. Y. 2012. Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhui River basin, China. Journal of Hydrology. 464: 127-139.
- 4-Ghobadian, R., Jahandide, K., Fatahi Chaghabagi, A. 2012. Simulation of the rainfall-runoff process in the Gharasoo catchment using WMS model, Journal of Irrigation and Water Engineering. 3(1): 88-98.
- 5-Jazmuriyan basin study report. 2007. Iran Ministry of Energy.
- 6-Malekian, A., Mohseni Saravi, M., Mahdavi M. 2005. Applicability of the USDA-NRCS Curve number method for runoff estimation. Iranian Journal Natural Res. 57(4): 621-633.
- 7-Mirzaee, S., Zeinivand, H., Haghizadeh, A., 2016. Streamflow simulation and assessing the land use changes impacts on it (case study: Gol Gol catchment in the province of Ilam, Iran). Water Engineering Journal. 9(29): 87-102.
- 8-Mostafazadeh, R., Sadoddin, A., Bahremand, A., Sheikh, V., Nazarnejad, H. 2010. Assessing hydrological effects of Jafar-Abad watershed management project in

- 14-Suwanwerakamtorn, R. 1994. GIS and hydrologic modeling for management of small watersheds. ITC Journal. 4: 343-349.
- 15- Teymori, E., Habib Nejad, M.A., Kaviyan, M. A. Shahedi, K. 2012. Estimation of process rainfall-Runoff in low data basin with use of wms model (case study; Chalous basin). Journal of Irrigation and Water Engineering. 3(1): 12-25.
- 16-Yaghoubadah, M., Akbarpour A., Barani Gh. A., Etebari, b. 2010. Evaluation of runoff curve number method by remote sensing and HEC-HMS model (case study: Birjand Mansourabad watershed). Iranian Journal of Forest and Range Protection Research. 7(2): 73-89.
- 17- Yarahmadi, J., Nikjoo, M.R. 2012, The Study of the Effects of Landuse Changes on Flood Occurrence in Sofi Chai Basin. Geography and Planning Journal. 16(39): 151-169.
- Golestan province using HEC-HMS model. Journal of watershed engineering and management. 2(2): 1-10.
- 9-Ryffel, A. N., Rid, W ,Grêt-Regamey, A. 2014. Land use trade-offs for flood protection: a choice experiment with visualizations. Ecosystem Services. 10: 111-123.
- 10-Sabzevari, T., Ardakanian, R., Shamsaei, A.A.F., Talebi, A. 2009. Predicting the flood Hydrographs of ungauged watersheds using the HEC-HMS and geographic information system (GIS), Water Engineering Journal. 2(4): 1-12.
- 11-Sarhadi, A., Soltani, S., Modarres, R. 2012. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. Journal of Hydrology. 458: 68-86
- 12-Shi, P. J., Yuan, Y., Zheng, J., Wang, J. A., Ge, Y., Qiu, G. Y. 2007. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. Catena. 69(1): 31-35.
- 13-Solaimani Sarood, F., Soltani Kopaii, S., Salajeghe, A. 2013. Rainfall- Runoff (HEC-HMS) model and RS & GIS techniques in Jiroft dam. Journal of Watershed Management Research. 4(8): 90-105.



Abstract

Runoff Simulation and Investigation the Effect of Land use Changes on Surface Water Quantity using Remote Sensing data and Hec-Hms Model (Case study: Halil Rud basin)

M. A. Solimanzadeh¹, M. Mohseni and S. Bakhtiari²

Received: 2019/01/04 Accepted: 2020/01/29

Runoff evaluation in ungauged basins, like most of basins in Iran, is imperative for sustainable management of water resources. Changes in land uses were related to different hydrological responses. This paper discusses the hydrological impacts of land use changes on the Halil-Rud Basin during the past two decades. Firstly, the land use map of the Halil Rud basin was prepared using Landsat satellite images in seven classes. Results reveal that from 1993 to 2013, a 1.99% increase in arid land is the strongest change in land use. By integrating the land use map and the soil map of the area, the curve number map of the basin was prepared. In order to ensure the accuracy of the curve number map, the flood hydrograph of the mentioned years was determined using the precipitation-runoff model of HEC-HMS and compared with observed hydrographs. The accuracy of 85% of the results showed that it can be reliable according to the exactness and precision of the curve number calculated by GIS and RS data in basins with limited or lake of data. The comparison of the flood hydrograph from the precipitation-runoff model from a specific precipitation (1993) showed that during the years 1993 to 2013, the peak flood discharge was about 106.1m³/s and the runoff volume increased about 7.5 million cubic meters. The results of this study indicate that the continuation of the degradation process in land use of the area towards the arid state will lead to decreased infiltration, with a degradation of maximum soil water contents, less winter recharge rates to aquifers, and increased run off and debated risks of floods.

Keywords: Land use, Remote sensing data, Precipitation-Runoff model HEC-HMS, Curve number map.

1. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran. Email: mohseni_m@sirjantech.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.