مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد شانزدهم، شماره اول، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زنجان‌رود)

***گلاله غفاری[۱]، جمال قدوسی[۲] و حسن احمدی[۳]**

[۱]دانش‌آموخته دوره دکتری گروه آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، [۲]استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، [۳]استاد گروه احیاء مناطق خشک، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۷/٤/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۲۵

چکیده

تغییر کاربری اراضی در یک حوضه آبخیز می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر چرخه هیدرولوژی و در نتیجه منابع آب حوضه داشته باشد، از این‌رو شناخت آثار تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه راه‌گشای تعیین استراتژی مناسب در توسعه پایدار منابع آب حوضه‌های آبخیز می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی اثرات هیدرولوژی تغییر کاربری اراضی در طی ٤٠ سال اخیر در حوضه زنجان‌رود می‌باشد. جهت شبیه‌سازی بیلان آبی حوضه در این مطالعه از مدل SWAT (۲۰۰۵) استفاده و بدین‌منظور داده‌های هواشناسی و نقشه‌های رقومی کاربری اراضی و خاک و مدل رقومی ارتفاع منطقه تحقیق تهیه شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، به‌منظور ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه، کاربری‌های اراضی سال ١٣٤٦، ١٣٧٣ و ١٣٨٦ به مدل معرفی و مدل اجرا گردید. نتایج تحقیق نشان‌دهنده تأثیرات قابل توجه تغییر کاربری اراضی روی جریان رودخانه‌ای و بار آبی حوضه است، به‌طوری‌که تغییر در کاربری اراضی از سال ١٣٤٦ تا ١٣٨٦ منجر به افزایش مقدار روانآب سطحی در حدود ٣٣ درصد و کاهش سطح سفره آب‌های زیرزمینی در حدود ٢٢ درصد شده است. همچنین از سال ١٣٤٦ تا ١٣٨٦ مساحت زیرحوضه‌های تحت‌تأثیر گروه روانآب متوسط سالانه (زیاد) ٢٨-١٤ میلی‌متر، ١٦ درصد افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، پاسخ هیدرولوژی، SWAT، حوضه آبخیز زنجان‌رود

* مسئول مکاتبه: ghaffari58@yahoo.com

مقدمه

واکنش هیدرولوژی یک حوضه آبخیز، نماد جامعی از شرایط و خصوصیات محیط طبیعی آن حوضه می‌باشد. در یک اکوسیستم طبیعی بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در شرایط محیطی به‌ویژه پوشش گیاهی و کاربری اراضی آن اکوسیستم، بر پاسخ‌های هیدرولوژی مانند جاری شدن سیلاب و میزان فرسایش و رسوب منطقه تأثیرگذار می‌باشد. زیرا کاربری اراضی و پوشش زمین یکی از عوامل اصلی در مطالعات منابع آب و فرسایش و رسوب حوضه آب‌ریز می‌باشند (سیکا و همکاران[1]، ٢٠٠٣). سؤالی که در این رابطه مطرح می‌باشد، این است که اثرات کمی و کیفی تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژی حوضه از گذشته تا حال، چگونه و به چه میزان می‌باشد، زیرا میزان و روند تغییرات ایجاد شده و اثر آن بر فرآیندهای هیدرولوژی حوضه، راه‌گشای پیش‌بینی وضعیت تغییرات در آینده و ارایه برنامه‌های کاراتر در زمینه توسعه پایدار منابع آب حوضه می‌باشد (باتورس و همکاران[2]، ٢٠٠٤).

در این رابطه در مناطق مختلف جهان و در مناطقی از ایران تحقیقاتی انجام گرفته است؛ پیکونیس و همکاران[3] (٢٠٠٣)، از مدل SWAT[4] برای شبیه‌سازی اثر سناریوهای مختلف کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه پینوس[5] در سیسیل[6] استفاده نمودند. آنها در تحقیق خود اثر سه سناریوی گسترش زمین‌های کشاورزی، قطع یک‌سره جنگل‌های حوضه و گسترش مناطق مسکونی را بر دبی ماهانه بررسی نمودند. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده قابلیت مدل SWAT و افزایش قابل توجه دبی ماهانه در هر سه سناریو به‌ویژه در سناریو قطع یک‌سره جنگل بسیار قابل توجه‌تر بوده است. آرنولد و همکاران[7] (٢٠٠٠)، با استفاده از مدل SWAT به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر جریان پایه رودخانه و سطح آب زیرزمینی رودخانه می‌سی‌سی‌پی[8] پرداخته و بیان نمودند که استفاده از روش خودکار در واسنجی مدل دارای مزایای قابل‌توجهی است. همچنین نتایج آنها نشان داد که در طی ٥٠ سال گذشته کاهش سطح اراضی جنگلی و علف‌زارهای حوضه منجر به کاهش جریان پایه رودخانه و سطح آب زیرزمینی رودخانه گردیده است.

1- Sikka et al.
2- Bathursa et al.
3- Pikounis et al.
4- Soil and Water Assessment Tool
5- Piknos
6- Sicily
7- Arnold et al.
8- Mississippi

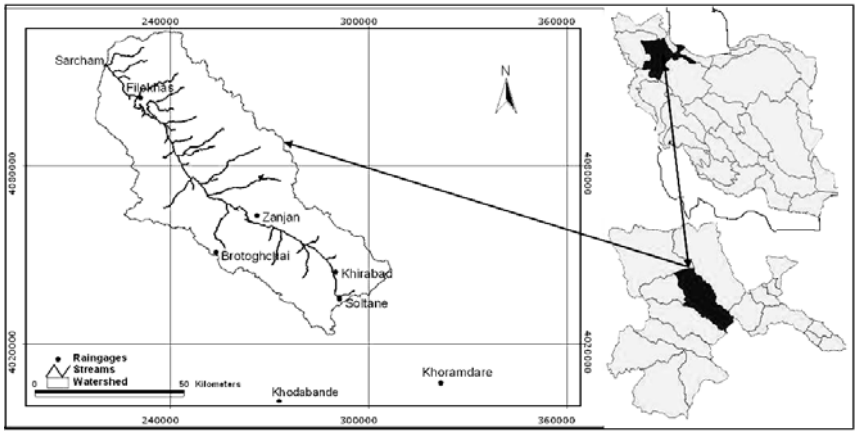
لی و همکاران[1] (۲۰۰۷)، در تحقیق خود در حوضه‌ای در غرب آفریقا با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که تغییر مناطق با کاربری جنگل، مرتع و بوته‌زار به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری باعث تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در یک حوضه آب‌خیز می‌شود و نتیجه این تغییر به‌صورت افزایش در حجم رواناب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و آب پایه رودخانه‌ها و تغییر در مقدار و شدت فرسایش و رسوب می‌باشد. وانگ[2] و همکاران (۲۰۰۸)، با مدل‌سازی اثر گزینه‌های مختلف کاربری اراضی در حوضه‌ای در چین به این نتیجه رسیدند که کاربری‌های اراضی مختلف دارای اثرات مختلفی بر مقدار رواناب و آب زیرزمینی حوضه می‌باشد و تبدیل اراضی مرتعی به اراضی جنگلی در حوضه منجر به افزایش میزان رواناب سالانه و کاهش آب زیرزمینی در اثر کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش تعرق در حوضه می‌گردد. سعادتی و همکاران (۲۰۰۶)، اثر تغییر کاربری اراضی بر رواناب سطحی حوضه کسیلیان را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی نمودند و بدین‌منظور، شش سناریو را برای دو گرایش مثبت و منفی کاربری اراضی معرفی کردند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی اثر تغییر کاربری اراضی بر رواناب حوضه و افزایش قابل توجه میزان رواناب سالانه و ماهانه در اثر تبدیل اراضی جنگلی به دیم‌زار می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در اکثر تحقیقات صورت گرفته بر اثر تخریب جنگل در افزایش میزان رواناب تأکید شده است. حذف پوشش جنگلی (قطع یک‌سره) و یا حتی کاهش تراکم آن می‌تواند اثر مهمی بر افزایش مقدار رواناب داشته باشد. این امر سبب شده که در بعضی تحقیقات حتی با روش‌های صرفاً آماری و بدون تکیه بر تکنیک شبیه‌سازی بارش- رواناب نیز نتایج قابل‌قبولی به‌دست آید (لامبین[3]، ۱۹۹۷). در عرصه مورد مطالعه در این تحقیق تغییر کاربری عموماً به‌صورت تبدیل مراتع به دیم‌زار می‌باشد. بنابراین در این تحقیق نوعی از تغییر کاربری که تأثیر خفیف و ظریف‌تری بر واکنش حوضه می‌گذارد و کمتر مورد توجه بوده، مورد بررسی قرار گرفته است.

به‌طورکلی هدف از این تحقیق، بررسی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه زنجان‌رود، تعیین اثر تغییر در کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژی حوضه آبخیز زنجان‌رود و بررسی رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبخیز در اثر تغییر کاربری به‌وجود آمده در طی ۴۰ سال اخیر و تحت‌تأثیر شرایط مدیریتی مختلف می‌باشد.

1- Li et al.
2- Wang
3- Lambin

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه تحقیق: حوضه آب‌خیز زنجان‌رود یکی از زیرحوضه‌های آب‌خیز سفیدرود است که در شمال‌غرب ایران و در غرب استان زنجان و در محدوده جغرافیایی بین ″٢٣ و ′٤٧ و °٤٧ تا ″٥٥ و ′٠٤ و °٤٩ طول شرقی ″٤١ و ′١٧ و °٣٦ تا ″٢٧ و ′١٣ و °٣٧ درجه عرض شمالی واقع شده و مساحت آن ٤٣٥٤/٦ کیلومترمربع می‌باشد. در شکل ١ موقعیت جغرافیایی حوضه زنجان‌رود محدود به ایستگاه هیدرومتری سرچم و سایر ایستگاه‌های هواشناسی منطقه نشان داده شده است.

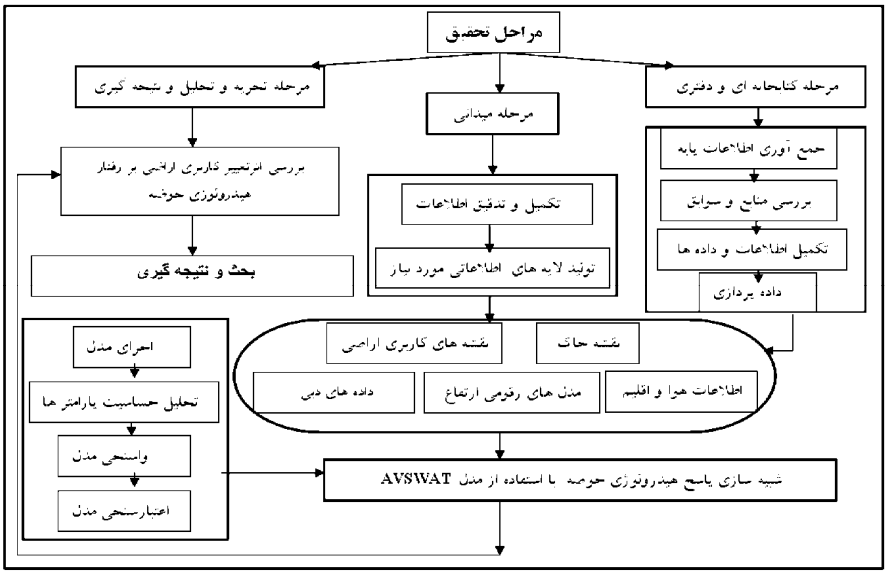


شکل ١- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز زنجان‌رود.

روش تحقیق: در این تحقیق جهت شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژی حوضه زنجان‌رود از مدل توزیعی SWAT (٢٠٠٥) قابل اتصال با نرم‌افزار Arc view، استفاده گردید. SWAT یک مدل ریاضی نیمه توزیعی و پیوسته است که برای اجرا نیازمند اطلاعات گوناگونی می‌باشد. نقشه‌های اصلی مورد نیاز مدل، شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع حوضه، نقشه‌های خاک‌شناسی، نقشه‌های کاربری اراضی یا پوشش گیاهی منطقه و داده‌های اقلیمی است. در شکل ٢ روند نمای مراحل انجام تحقیق به‌صورت خلاصه نشان داده شده است. رابطه اصلی در محاسبه تمام پارامترهای آب حوضه (رابطه ١) می‌باشد.

$$SWt = SWo + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - Ea - w_{seep} - Q_{gw}) \qquad \text{رابطه (١)}$$

که در آن: SW_t مقدار نهایی آب موجود در خاک (میلی‌متر)، SW_o مقدار اولیه آب موجود در خاک (میلی‌متر)، t زمان برحسب روز، R_{day} مقدار بارش در روز i (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i (میلی‌متر)، w_{seep} مقدار آب نفوذی به لایه فوقانی خاک در روز I (میلی‌متر) و Q_{gw} مقدار آب زیرزمینی برداشت شده در روز i (میلی‌متر) می‌باشد (نیتچ و همکاران[1]، ۲۰۰۳).



شکل ۲- روند نمای مراحل انجام تحقیق و شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژی با استفاده از مدل SWAT.

لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در مدل SWAT

الف- داده‌های هواشناسی: در این تحقیق داده‌های هواشناسی به دو شکل جداگانه ماهانه و روزانه در طول دوره ۱۰ ساله آماری از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰٤ به مدل معرفی گردیدند. داده‌های روزانه شامل بارش و درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه می‌باشند و از جمله پارامترهای هواشناسی ماهانه می‌توان به متوسط و انحراف معیار درجه حرارت حداکثر و حداقل، متوسط، انحراف معیار و ضریب چولگی

1- Neitsch et al.

مقدار بارش، احتمال یک روز تر به دنبال یک روز خشک، متوسط درجه حرارت شبنم، متوسط سرعت باد برای هر ماه اشاره نمود (نیتچ و همکاران، ٢٠٠٣). مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنجی و هیدرومتری سازمان هواشناسی و شرکت مدیریت منابع آب ایران که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند، مطابق جدول ١ می‌باشد.

جدول ١- مشخصات ایستگاه‌های سنوپتیک، کلیماتولوژی، باران‌سنجی و هیدرومتری مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه.

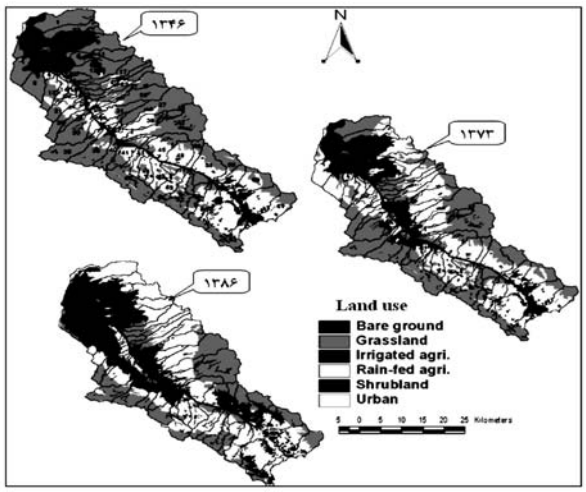
نام ایستگاه	طول شرقی (درجه- دقیقه)	عرض شمالی (درجه- دقیقه)	ارتفاع (متر)	دوره آماری	نوع ایستگاه
زنجان	٤٨°٢٩'	٣٦°٤١'	١٦٦٣	٢٠٠٥-١٩٦٥	سینوپتیک
خدابنده	٤٨°٣٥'	٣٦°٠٧'	١٨٨٧	٢٠٠٥-١٩٩٤	سینوپتیک
خرم‌دره	٤٩°١١'	٣٦°١١'	١٥٧٥	٢٠٠٥-١٩٩٣	سینوپتیک
سلطانیه	٤٨°٤٨'	٣٦°٢٦'	١٧٩٠	٢٠٠٤-١٩٩٤	باران‌سنجی
فیله خاص	٤٨°٠٢'	٣٧°٠٢'	١٣٦٨	٢٠٠٤-١٩٩٢	کلیماتولوژی
بروتاقاچای	٤٨°٢٠'	٣٦°٣٤'	٢٠١٠	٢٠٠٤-١٩٩٦	کلیماتولوژی
خیرآباد	٤٨°٤٧'	٣٦°٣١'	١٧٧٠	٢٠٠٤-١٩٩٥	کلیماتولوژی
سرچم	٤٧°٥٣'	٣٧°٠٧'	١١٥٠	١٣٨٤-١٣٥٣	هیدرومتری

ب- نقشه مدل ارتفاع رقومی (DEM[1]): جهت تهیه DEM حوضه، از نقشه‌های توپوگرافی رقومی سال ١٣٨٢ حوضه مطالعاتی با مقیاس ١:٢٥٠٠٠ مربوط به سازمان نقشه‌برداری کل کشور استفاده گردید. مدل مورد نظر از این نقشه جهت محاسبه خصوصیات مورفومتری حوضه، زیرحوضه‌ها و آب‌راهه‌های اصلی استفاده می‌کند (لوزیو و همکاران[2]، ٢٠٠٢).

ج- نقشه‌های کاربری اراضی در سه مقطع زمانی: جهت تهیه نقشه‌های کاربری مربوط به سال ١٣٤٦ از نقشه‌های توپوگرافی قدیمی در مقیاس ١:٥٠٠٠٠، تفسیر عکس‌های هوایی سال ١٣٤٦ با مقیاس ١:٢٠٠٠٠ و نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به مطالعات جامع حوضه سفیدرود تهیه شده توسط شرکت فرانسوی سوگرهآ استفاده شد و سپس نقشه حاصل به‌صورت رقومی درآمد (شکل ٣). جهت تهیه نقشه کاربری اراضی سال ١٣٧٣ از تفسیر عکس‌های هوایی سال ١٣٧٣، تصاویر ماهواره‌ای TM

1- Digital Elevation Model
2- Luzio et al.

(۱۹۹۱ و ۱۹۹۳) و گزارش‌های مکتوب مربوط به مطالعات کاربری و پوشش حوضه زنجان‌رود مربوط به سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۷۳ (مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۱۹۹٤) استفاده گردید (شکل ۳). در نهایت به‌منظور تهیه جدیدترین نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های کاربری اراضی رقومی به روز شده توسط تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ (۲۰۰۲) مربوط به مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری به‌عنوان مبنا استفاده و آنگاه با استفاده از تصاویر IRS سال ۲۰۰۷ و استفاده از ۱۳۷ نقطه کنترل زمینی انتخاب شده در مطالعات صحرایی، جدیدترین نقشه کاربری اراضی منطقه (۱۳۸٦) نیز به‌صورت ارایه شده در شکل ۳ تهیه شد. با توجه به استفاده از اطلاعات و منابع مختلف در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی منطقه و دقت به عمل آمده در تهیه هر نقشه، در نهایت امکان مقایسه و بررسی روند و مقدار تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه، فراهم گردید.



شکل ۳- نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳٤٦، ۱۳۷۳ و ۱۳۸٦.

د- نقشه خاک: جهت تهیه نقشه رقومی خاک و اطلاعات مربوط به خاکشناسی حوضه از نقشه‌های و گزارش‌های خاکشناسی مربوط به حوضه زنجان‌رود (مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۹۹۱) استفاده شد. جهت تدقیق پارامترهای خاک مهم‌ترین پارامترهای خاک مؤثر بر خروجی‌های مدل در مرحله واسنجی دخالت داده شدند و مقدار بهینه آنها تعیین گردید.

اجرای مدل و استخراج خروجی‌های مدل: اولین مرحله در مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه توسط SWAT، تقسیم حوضه به زیرحوضه‌ها و تقسیم هر زیرحوضه به تعدادی واحد پاسخ هیدرولوژی می‌باشد. از این‌رو جهت اجرای مدل، لایه‌های اطلاعاتی شرح داده شده در قسمت‌های قبل به مدل معرفی و حوضه به ٦٣ زیرحوضه و ٦٠٢ واحد پاسخ هیدرولوژی تقسیم‌بندی شد. تعداد این واحدها در هر زیرحوضه با توجه به تنوع خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی متغیر می‌باشد (آرنولد و همکاران، ٢٠٠٠). با توجه به فیزیکی بودن این مدل، لازم است که پارامترهای زیادی منطبق با شرایط منطقه تعریف شده یا مقدار پیش‌فرض آن تغییر داده شوند. از جمله پارامترهای به‌کار رفته در مدل که قبل از انجام عمل واسنجی با توجه به گزارش‌های موجود و یا روابط تجربی تدقیق شدند شامل زمان تأخیر جریان جانبی، تغییر دما با ارتفاع (افتاهنگ)، دمای متوسط هوا برای بارش برف، زمان تأخیر جریان آب زیرزمینی، ضریب مانینگ روانآب سطحی، ضریب مانینگ بستر رودخانه‌ها، فاکتور تأخیر روانآب سطحی و داده‌های مدیریت اراضی زراعی و مرتعی بودند. جهت تدقیق هر یک از پارامترهای یاد شده از محاسبات و روش‌های مختلف استفاده شد (لوزیو و همکاران، ٢٠٠٢). همچنین نیاز آبی محصولات مختلف حوضه برای کشت غالب منطقه که گندم می‌باشد و برای دوره‌های آبیاری و فصول مختلف به مدل معرفی گردیدند. اطلاعات مربوط به عملیات زراعی (کاشت، برداشت، شخم، زمان و تعداد دفعات آبیاری) و بسیاری دیگر از اطلاعاتی که امکان مدیریت کاربری اراضی حوضه را فراهم می‌سازد در فایلی با پسوند مخصوص mgt وارد می‌شود (نیتچ و همکاران، ٢٠٠٣).

جهت دست‌یابی به قطعیت بیشتر در نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه توسط مدل این اطلاعات با دقت کامل تهیه و به مدل معرفی شدند. پس از تکمیل این اطلاعات، مدل اجرا و آنالیز حساسیت انجام شد. جهت بالا بردن دقت در انجام آنالیز حساسیت از دو روش دستی و خودکار (مدل SUFI-2[1]) استفاده گردید. پس از تعیین حساس‌ترین پارامترهای مدل، واسنجی مدل با استفاده از آخرین ویرایش مدل SUFI-2 (عباسپور و همکاران، ٢٠٠٤) برای سال‌های آماری ١٩٩٨ الی ٢٠٠٢ با استفاده از داده‌های دبی مشاهداتی ایستگاه سرچم صورت گرفت. در این مدل برای به‌دست آوردن بهترین واسنجی و محدود کردن جواب‌ها به سمت جواب یگانه علاوه‌بر ضریب تبیین و ضریب کارایی، بازه تغییرات ٢/٥ و ٩٧/٥ درصد نیز به‌عنوان محدوده جواب و یا محدوده اطمینان ٩٥ درصد (95PPU) در نظر گرفته می‌شود. معیارهای مورد استفاده در این مدل برای بررسی عدم قطعیت

1- Sequential Uncertainty Fitting, Version 2

فاکتور p (درصد قرارگیری داده‌های اندازه‌گیری شده در محدوده 95PPU) و فاکتور d (ضخامت باند 95PPU تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده) می‌باشد. هرچه فاکتور P به ۱۰۰ درصد و فاکتور d به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب‌تر می‌باشد (عباسپور و همکاران، ۲۰۰٤). در نهایت پس از انجام آزمون عدم قطعیت و اطمینان از نتایج حاصله، اقدام به صحت‌سنجی مدل برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰٤ گردید. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل جهت بررسی اثر تغییر کاربری اراضی در سه مقطع زمانی سال‌های ۱۳٤٦، ۱۳۷۳ و ۱۳۸٦ بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه، با ثابت در نظر گرفتن داده‌های اقلیمی، نقشه خاک و DEM حوضه در سه مرحله متفاوت نقشه‌های کاربری اراضی با جداول متفاوت به مدل معرفی و مدل اجرا شد و سپس نتایج حاصله به‌صورت ماهانه، سالانه و زیرحوضه‌ای با یکدیگر مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج

نتایج بررسی روند تغییرات کاربری اراضی: نتایج بررسی روند تغییر کاربری اراضی حوضه آبخیز زنجان‌رود در طی مقاطع زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد که در طی ٤۰ سال گذشته از سال ۱۳٤٦ الی ۱۳۸٦ تغییرات قابل‌توجهی در کاربری اراضی حوضه به‌وجود آمده است و این تغییرات تقریباً روند ثابتی را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد، در سال ۱۳۸٦ درصد مراتع متوسط نسبت به سال ۱۳٤٦، ۳٤/۵ درصد کاهش یافته و به‌ترتیب توسط کاربری‌های مراتع فقیر و اراضی رها شده (۱۳/۹ درصد)، کشاورزی دیم (۱۲/۱ درصد)، اراضی لخت و بدلند (۵/٤ درصد) کشاورزی آبی و باغ‌ها (۲/۲ درصد) و مناطق مسکونی (۰/۷۹ درصد) جایگزین شده است.

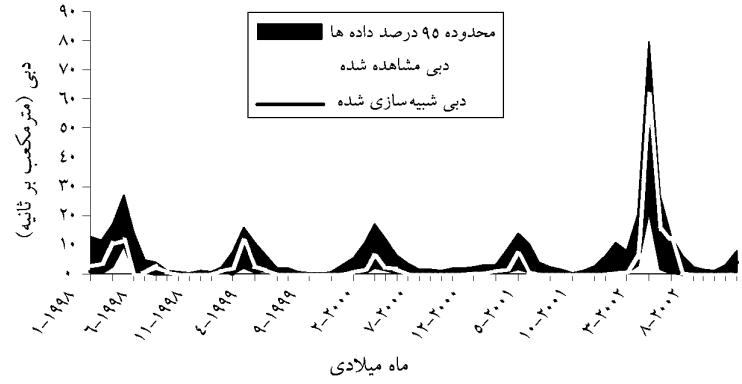
نتایج آنالیز حساسیت، واسنجی و صحت‌سنجی مدل: پس از انجام آنالیز حساسیت ۱۷ پارامتر مندرج در جدول ۳ به‌عنوان پارامترهایی که مدل نسبت به آنها حساسیت بیشتری دارند، تعیین و مدل با استفاده از این پارامترها و داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه سرچم واسنجی گردید. نتایج مقدار بهینه این پارامترها پس از واسنجی مدل در جدول۳ ارایه گردیده است.

نتایج واسنجی سالانه و ماهانه نشان داد که ضریب تبیین دبی سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ۰/۹۱، ضریب تبیین دبی ماهانه برابر با ۰/۸٦ و ضریب کارایی آن ۰/۸٤ می‌باشد. همچنین نتایج صحت‌سنجی سالانه مدل مشخص کرد که در این مرحله، ضریب تبیین ۰/۸۸۹ و در مرحله

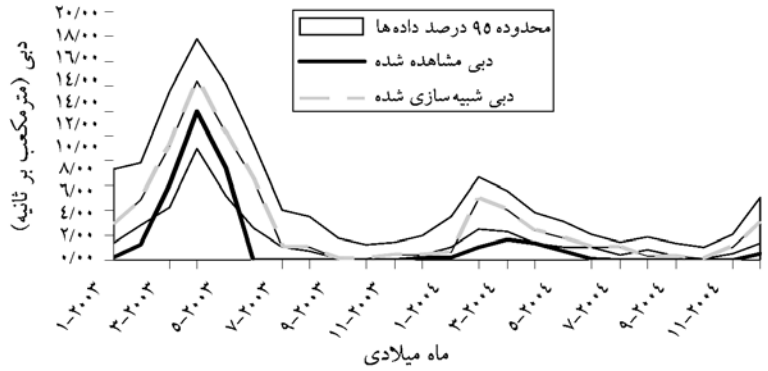
صحت‌سنجی ماهانه، ضریب تبیین ۰/۸۳ و ضریب کارایی آن برابر با ۰/۸۰ می‌باشد. شکل ٤ و ٥ نتایج واسنجی و صحت‌سنجی ماهانه مدل را با احتساب محدوده اطمینان ۹۵ درصد داده‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج بررسی روند تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز زنجان‌رود.

کاربری اراضی	مساحت ١٣٤٦		مساحت ١٣٧٣		مساحت ١٣٨٦		درصد مساحت تغییر یافته		
	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	٤٦-٧٣	٧٣-٨٦	٤٦-٨٦
کشاورزی آبی و باغ	٦/٦٣	٢٨٨/٦	٧/٥٧	٣٢٩/٦	٨/٨٩	٣٨٧/٠	+٠/٩٤	+١/٣٢	+٢/٢٦
کشاورزی دیم	٢٥/٤٨	١١٠٩/٤	٣٤/٤١	١٤٩٨/٢	٣٧/٥٨	١٦٣٦/٢	+٨/٩٣	+٣/١٧	+١٢/١٠
مراتع متوسط	٥٨/٨٧	٢٥٦٣/٢	٤١/٣٣	١٧٩٩/٥	٢٤/٣٣	١٠٥٩/٣	-١٧/٥٤	-١٧	-٣٤/٥٤
مراتع فقیر و اراضی رها شده	٦/٢٧	٢٧٣/٠	١١/٥٥	٥٠٢/٩	٢٠/١٢	٨٧٦/٠	+٥/٣٧	+٨/٥٧	+١٣/٩٤
اراضی لخت (بدلند)	٢/٣٢	٩٧/٠	٤/٣٣	١٨٨/٥	٧/٧٧	٣٣٨/٣	+٢/٠١	+٣/٤٤	+٥/٤٥
تأسیسات و مناطق مسکونی	٠/٥٢	٢٢/٦	٠/٨١	٣٥/٧	١/٣١	٥٧/٠	+٠/٢٩	+٠/٥٠	+٠/٧٩



شکل ٤- محدوده ۹۵ درصد تغییرات پارامترها در واسنجی دبی‌های ماهانه.



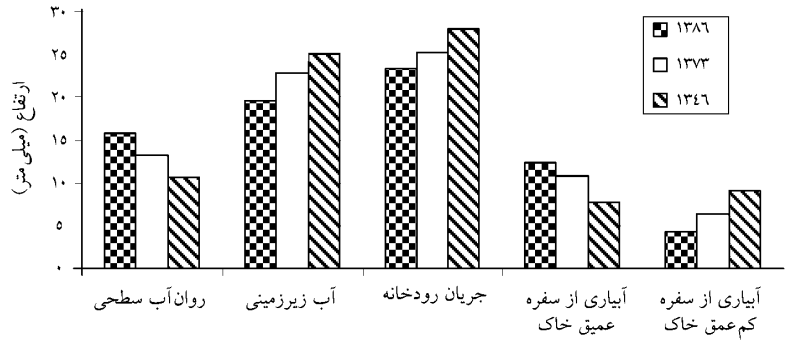
شکل ۵- محدوده ۹۵ درصد تغییرات پارامترها در اعتبارسنجی دبی‌های ماهانه.

جدول ۳- نتایج آنالیز حساسیت پارامترها و مقدار بهینه آنها پس از مرحله واسنجی.

پارامترها	مقدار اولیه	مقدار بهینه
ضریب نفوذ لایه عمیق	۰/۰۵	۰/۱۱۸
فاکتور آلفا در بازگشت جریان پایه به سوی آب‌راهه اصلی (روز)	۰/۰٤۸	۰/۱٤۹
حداکثر ذخیره توسط تاج پوشش گیاهان مرتعی (میلی‌متر)	۰	۸/۵۱
فاکتور حداکثر ذوب برف در طول سال (میلی‌متر بر درجه سانتی‌گراد روز)	٤/۵	۳/٤۱
ضریب REVAP	۰/۰۳	۰/۰۲٤
شماره منحنی SCS برای شرایط رطوبتی متوسط (حالت II)	٦۸-۸۹	{۱+(-۰/۱۳۱)}*
هدایت هیدرولیکی اشباع برای هر لایه خاک	۱٤/۲	{۱+(-۰/۱۵۲)}**
فاکتور موازنه جذب آب توسط گیاه	۰/۹۵	۰/۸۸۵
آب موجود در هر لایه خاک	۰/۱۲	(۱+۰/۳۷۸)**
حداکثر ذخیره توسط تاج پوشش گیاهان زراعی آبی (میلی‌متر)	۰	٤/۰۵
حداکثر ذخیره توسط تاج پوشش گیاهان زراعی دیم (میلی‌متر)	۰	۲/٦۹
زمان تاخیر برای بازگشت آب زیرزمینی (روز)	۳۱	٤/۵۳
حداکثر ذخیره توسط تاج پوشش گیاهان مرتع فقیر (میلی‌متر)	۰	۱/۰۲
ضریب مانینگ برای کانال اصلی	۰/۰۱٤	۰/۱٤۵
فاکتور حداقل ذوب برف در طول سال (میلی‌متر بر درجه سانتی‌گراد روز)	٤/۵	۳/۷۵
فاکتور موازنه تبخیر آب از خاک	۰	۰/۸۸۹
دمای آستانه ذوب برف (درجه سانتی‌گراد)	۰	-۱/۳۱

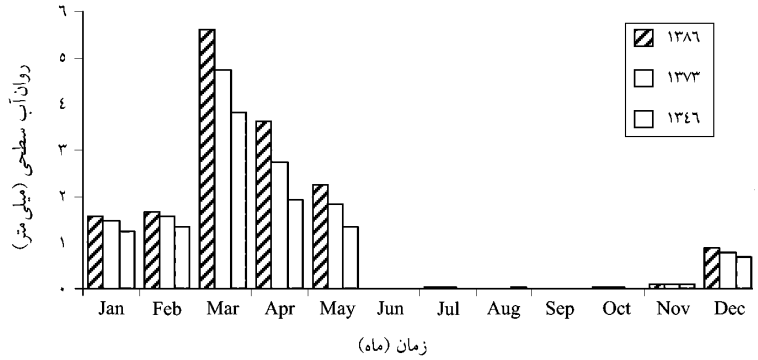
*نسبت تغییر پارامتر نسبت به‌مقدار اولیه آن برای هر HRU، **نسبت تغییر پارامتر نسبت به‌مقدار اولیه آن برای هر خاک

نتایج بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر روانآب منطقه: با توجه به نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مشخص گردید که مدل، شبیه‌سازی مناسبی از دبی جریان در این حوضه ارایه نموده است از این رو از این مدل در محدوده پارامترهای واسنجی شده، جهت تخمین روانآب ناشی از تغییرات به‌وجود آمده در کاربری اراضی حوضه زنجان‌رود در طی ٤٠ سال گذشته استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که مقدار متوسط سالانه روانآب سطحی، آبیاری از سفره عمیق و تبخیر و تعرق واقعی برای کاربری سال ١٣٨٦ بیشتر از کاربری سال‌های ١٣٧٣ و ١٣٤٦ بوده در حالی‌که میزان جریان رودخانه‌ای، آب زیرزمینی و برداشت از سفره‌های کم‌عمق جهت آبیاری، در کاربری سال ١٣٤٦ بیشتر از کاربری سال‌های ١٣٧٣ و ١٣٨٦ می‌باشد. در مقایسه کاربری‌های سال ١٣٤٦ و ١٣٧٣ نیز روند مشابهی مانند آنچه که در بالا عنوان گردید، مشاهده می‌شود با این تفاوت که تغییرات نسبتاً کمتر می‌باشد (شکل ٦).



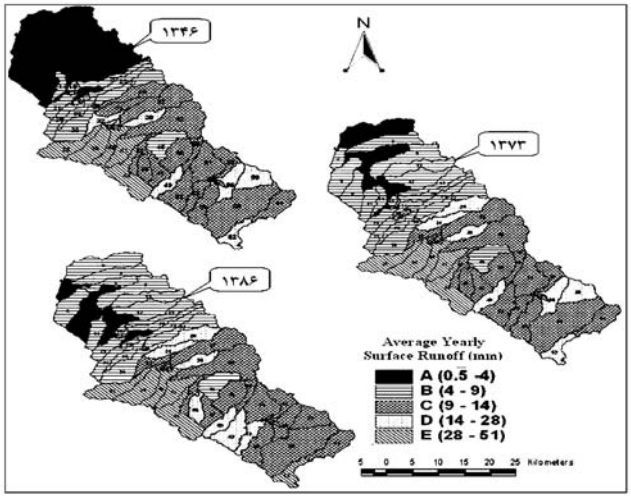
شکل ٦- اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان روانآب سطحی، آب زیرزمینی، جریان رودخانه‌ای و آبیاری از سفره عمیق و کم‌عمق.

در شکل ٧ اثرات ناشی از تغییر کاربری اراضی بر میزان روانآب ماهانه در طی سال‌های ١٩٩٨ الی ٢٠٠٢ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد در تمام ماه‌های سال میزان روانآب سطحی برای کاربری سال ١٣٨٦ بیشتر از کاربری‌های اراضی سال ١٣٧٣ و به‌ویژه سال ١٣٤٦ است. اما این افزایش در ماه‌های مارس، آوریل و می مشهودتر می‌باشد.



شکل ۷- اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان روانآب ماهانه حوضه.

بررسی مقدار تغییر روانآب سطحی در ٦۳ زیر حوضه زنجان‌رود در سه مقطع زمانی ۱۳٤٦، ۱۳۷۳ و ۱۳۸٦ نشان می‌دهد که با تغییر کاربری اراضی تغییرات قابل‌توجهی در مقدار روانآب زیرحوضه‌های مختلف ایجاد گردیده و بیشترین تغییر میزان روانآب سطحی در زیرحوضه‌های واقع در شمال و غرب حوضه مشاهده می‌گردد (شکل ۸) که با مراجعه به نقشه‌های کاربری در این سال‌ها (شکل ۳) می‌توان مشاهده نمود که این تغییرات منطبق بر بخشی از حوضه است که تغییر بیشتری در کاربری اراضی آن به وجود آمده است.



شکل ۸- میزان تغییرات روانآب سطح در ٦۳ زیرحوضه زنجان‌رود برای کاربری‌های سال ۱۳٤٦، ۱۳۷۳ و ۱۳۸٦.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از انجام تست آنالیز حساسیت و واسنجی مدل با استفاده از روش‌های دستی و خودکار نشان می‌دهد که با توجه به تعداد زیاد پارامترها و مقدار متفاوت این پارامترها برای کاربری‌های اراضی و خاک‌های مختلف، استفاده از مدل SUFI-2 نتایج بهتر و دقیق‌تری را در اختیار قرار می‌دهد و با استفاده از این مدل زمان رسیدن به مقادیر بهینه پارامترها و واسنجی مدل کاهش می‌یابد. همچنان که آرنولد و همکاران (٢٠٠٠) و عباسپور و همکاران (٢٠٠٤) نیز در نتایج خود به این مطلب اشاره دارند. همچنین این مدل در بخش کاربری اراضی و پوشش گیاهی با دخالت دادن مقادیر قراردادی[1] پارامترهایی مانند شماره منحنی، حداکثر ذخیره تاج پوشش، حداکثر و حداقل شاخص سطح برگ، حداکثر ارتفاع گیاه، حداکثر عمق ریشه، میزان آلبیدو دمای پایه رشد گیاه، امکان تعیین و واسنجی پارامترها را برای هر نوع کاربری و پوشش گیاهی فراهم آورده و بدین‌ترتیب، شبیه‌سازی اثر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه زنجان‌رود به‌صورت ماهانه، سالانه و زیرحوضه‌ای با دقت قابل‌قبولی امکان‌پذیر گردیده است که از جمله مزایای قابل توجه این مدل می‌باشد، به‌طوری‌که پیکونیس و همکاران (٢٠٠٣) و سعادتی و همکاران (٢٠٠٦) نیز بر این قابلیت تأکید دارند.

نتایج بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه (شکل ٦) نشان داد که روند تغییر کاربری اراضی حوضه در ٤٠ سال اخیر که شامل تبدیل مراتع متوسط به مراتع فقیر، اراضی دیم، اراضی لخت و فرسایش‌یافته و اراضی کشاورزی آبی بوده، منجر به افزایش متوسط روانآب سطحی به‌میزان ٣٣ درصد و میزان آبیاری از سفره عمیق معادل ٣٧ درصد شده است، در حالی‌که میزان جریان رودخانه‌ای، آب زیرزمینی و برداشت از سفره کم‌عمق جهت آبیاری، در کاربری سال ١٣٤٦ به‌ترتیب ١٦، ٢٢ و ٥٣ درصد بیشتر از کاربری سال ١٣٨٦ می‌باشد. با توجه به این‌که در طی سه مقطع بررسی شده تنها عامل متغییر کاربری اراضی بوده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سطح مراتع متوسط (٣٤/٥ درصد) و افزایش سایر کاربری‌ها به‌ویژه کشاورزی دیم منجر به این تغییرات گردیده است. به‌طورکلی افزایش میزان روانآب در حوضه به‌دلیل بی‌حفاظ بودن خاک در بیشتر ماه‌های سال، اثر کمتر این کاربری‌ها در جلوگیری از برخورد قطرات باران به سطح خاک، کاهش برگ‌آب، کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش مقدار CN می‌باشد، به‌طوری‌که پرسش‌های محلی و بررسی هیدروگراف‌های سیل حوضه نیز نشان‌دهنده افزایش تعداد سیلاب‌ها و دبی پیک سیلابی در سال‌های اخیر بودند. از سویی با

1- Default

توجه به بازدیدها و تحقیقات به عمل آمده از حوضه مشخص گردید که در سال‌های اخیر هم‌سو با افزایش سطح اراضی کشاورزی آبی و باغات در اطراف رودخانه زنجان‌رود، کشاورزان با کاهش دبی چاه‌های حفر شده مواجه شدند و از این رو اقدام به افزایش عمق و تعداد چاه جهت برداشت آب نموده‌اند (قدوسی، ۱۹۹٦)، به‌نحوی‌که هر ساله میزان برداشت آب از رودخانه افزایش یافته و فاصله چاه‌های حفر شده از بستر رودخانه کاهش یافته است و برداشت بی‌رویه آب جهت مصارف کشاورزی و شرب ساکنان، منجر به کاهش جریان رودخانه به‌ویژه در پایاب گردیده که نتایج تحقیق نیز با نشان دادن کاهش جریان رودخانه، کاهش میزان آبیاری از سفره کم‌عمق آب زیرزمینی و افزایش میزان آبیاری از سفره عمیق، بیانگر همین مطالب می‌باشد که این نتایج تا حدود زیادی با نتایج آرنولد و همکاران (۲۰۰۲)، لی و همکاران (۲۰۰۷) و وانگ و همکاران (۲۰۰۸) هم‌خوانی دارند.

نتایج بررسی روانآب ماهانه حوضه (شکل ۷) نیز نشان داد که در تمامی ماه‌های سال میزان روانآب سطحی ناشی از کاربری سال ۱۳۸٦ بیشتر از کاربری‌های اراضی سال ۱۳۷۳ و به‌ویژه ۱۳٤٦ بوده است که تأییدکننده اثر تغییر کاربری اراضی در کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش میزان روانآب حوضه در این ماه‌ها می‌باشد. همچنین در هر سه کاربری اراضی بیشترین میزان روانآب به‌ترتیب در ماه‌های مارس، آوریل و می (اواسط اسفند تا اواسط خرداد) رخ داده است. دلیل افزایش روانآب در این ماه‌ها با توجه به مطالعات اقلیمی حوضه آبخیز زنجان‌رود (قدوسی، ۱۹۹٦) نزول حداکثر بارش ماهانه این حوضه در ماه فروردین و اردیبهشت که هم‌زمان با شروع فصل گرما (اوایل بهار) و ذوب برف‌های حوضه می‌باشد، که منجر به ایجاد دبی‌های شدید و مخرب در حوضه می‌گردد. بنابراین در چنین زمانی که پوشش گیاهی هنوز فرصت رویش پیدا نکرده و سطح حوضه شخم خورده و عاری از پوشش مناسب است، ضربات فرسایش‌دهنده قطرات باران و جریان ناشی از ذوب برف که عامل ایجاد هرز آب‌های دامنه‌ای است، سبب ایجاد روانآب و تشدید تخریب خاک می‌گردند، سعادتی و همکاران (۲۰۰٦)، نیز در حوضه‌های مورد مطالعه خود به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

همچنین جهت بررسی دقیق‌تر تأثیر تغییر کاربری اراضی بر روانآب حوضه، اقدام به بررسی تغییر در ارتفاع روانآب زیرحوضه‌های مختلف در سه مقاطع زمانی مورد نظر گردید. به‌طورکلی می‌توان نتایج حاصل از شکل ۷ را با توجه به جدول ٤ چنین تفسیر نمود که تغییر در کاربری اراضی منجر به تغییرات قابل‌توجهی در مساحت و تعداد زیرحوضه‌های تحت‌تأثیر روانآب‌های گروه ٤- ۰/۵ (A) تا ۲۸–۱٤ (D) شده است به‌نحوی‌که از سال ۱۳٤٦ تا ۱۳۸٦، ۲۰/۱ درصد مساحت یا ۱۰ زیرحوضه از

زیرحوضه‌های تحت‌تأثیر روانآب گروه A کاهش یافته و در مقابل ١٦/٢ درصد مساحت و یا ٩ زیرحوضه به تعداد زیرحوضه‌های دارای روانآب گروه D افزوده شده است. این امر نشان‌دهنده اثر تغییر کاربری اراضی بر افزایش خطر سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها می‌باشد. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که بیشترین تغییر در میزان روانآب زیرحوضه‌ها مربوط به زیرحوضه‌های پایاب حوضه (شمال و غرب حوضه) می‌باشد. با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی می‌توان مشاهده نمود که در این زیرحوضه‌ها تغییرات قابل‌توجهی در کاربری اراضی رخ داده است. به‌طوری‌که روند غالب تغییرات در این زیرحوضه‌ها تبدیل مراتع به اراضی فرسایش‌یافته (بدلندها)، دیم‌زارها و مراتع ضعیف می‌باشد. هر چند که این روند تغییر کاربری در تمام حوضه به‌صورت کم و زیاد دیده شد. اما آنچه که افزایش روانآب را در این منطقه تشدید می‌کند کاهش پوشش گیاهی به‌دلیل رطوبت کم خاک و وجود بیرون‌زدگی‌های سنگی به‌صورت سازندهای فرسایش‌پذیر و حساس مارنی دوره میوسن می‌باشد.

جدول ٤- میزان تغییرات در مساحت و تعداد زیرحوضه‌های هر گروه روانآب برای کاربری اراضی سال ٤٦، ٧٣ و ٨٦

ارتفاع روانآب (میلی‌متر)	مساحت (درصد) و تعداد زیرحوضه‌های تغییریافته به گروه‌های دیگر ارتفاع روانآب					
	١٣٧٣-١٣٤٦		١٣٨٦-١٣٧٣		١٣٨٦-١٣٤٦	
	مساحت (درصد)	تعداد	مساحت (درصد)	تعداد	مساحت (درصد)	تعداد
(A) ٠/٥-٤	-١٨/٤	-١٠	-١/٧	-١	-٢٠/١	-١٠
(B) ٤-٩	+١٣/٨	+٦	-٧/١	-١	+٦/٧	+٦
(C) ٩-١٤	+١/٧	+٣	-٤	-٧	-٢/٨	-٥
(D) ١٤-٢٨	+٢/٩	+١	+١٢/٨	+٩	+١٦/٢	+٩
(E) ٢٨-٥١	٠	٠	٠	٠	٠	٠

به‌طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که آثار نامطلوب تغییر کاربری اراضی تنها محدود به حوضه‌هایی با کاربری اراضی جنگلی نمی‌باشد و تبدیل اراضی مرتعی به کاربری‌هایی که دارای توانایی کمتر در پوشاندن سطح خاک (در تمام فصول) هستند نیز تأثیر قابل‌توجهی بر روانآب سطحی، سطح آب زیرزمینی، جریان رودخانه‌ای و سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها و حوضه دارد. از این‌رو با توجه به این‌که سطح قابل‌توجهی از مساحت کشور به حوضه‌هایی با کاربری غالب پوشش مرتعی اختصاص دارد، لازم است که با مدیریت پوشش گیاهی، روند تغییر کاربری اراضی (تبدیل مراتع خوب و متوسط به سایر کاربری‌ها) کنترل و در جهت احیا، اصلاح و توسعه مراتع گام برداشته شود.

منابع

1.Abbaspour, K.C., Johnson, A., and Van Genuchten, M.Th. 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. Vadose Zone J., 3: 1340-1352.
2.Arnold, J.G., Muttiah, R.S., Srinivasan, R., and Allen, P.M. 2000. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi River basin. J. Hydrol., 227: 1-4. 21-40.
3.Bathurst, J.C., Ewen, J., Parkin, G., O'Connell, P.E., and Cooper, J.D. 2004. Validation of catchment models for predicting land-use and climate change impacts. 3. Blind validation for internal and outlet responses. J. Hydro., 287: 74-94.
4.Ghodosi, J. 1996. The report of meteorology and surface runoff in the Zanjanrood basin, Forestry Research of Zanjan, 141p. (In Persian).
5.Lambin, E. 1997. Modeling and monitoring land cover change processes in tropical regions. Progress in Physical Geography, 21:375-393.
6.Li, K.Y., Coe, M.T., Ramankutty, N., and De Jong, R. 2007. Modeling the hydrological impact of land-change in West Africa, J. of Hydro., 337: 258-268.
7.Luzio, M.Di., Srinivasan, R., Arnold, J.G., and Neitsch, S.L. 2002. ArcView Interface for AVSWAT, User's Guide, 245p.
8.Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. 2002. Soil and Water Assessment Tool, User's Manual, Version 2000, 289p.
9.Pikounis, M., Aranou, E., Baltas, E., Dassaklis, A., and Mimikou, M. 2003. Application of the SWAT model in the Pinos River in under different land-use Scenarios, Global Nest J., 5: 2. 71-79.
10.Saadati, H., Golami, Sh., Sharifi, F., and Ayobzade, A. 2006. Investigation the effect of land use change on the surface runoff, (case study, Kasilian), Journal of Natur. Resour. Iran, 59: 301-313.
11.Sikka, A.K., Sarma, J., Sharda, S.V.N., Samraj, P., and Akashmanam, S. 2003. Low Flow and High Flow Responses to Converting Natural Grassland in to Blugeum (*Eucalyptus Globules*) in Nilgiris Watersheds of South India, J. of Hydrol., 270: 12-26.
12.SWRI Soil and Water Research Institute of Iran. 1991. Report of Soil Genesis, Classification and Cartography, No. 513.
13.SCWMI Soil Conservation and Watershed Management Institute. 1972. The Project of soil conservation and erosion in Sefiidrood, Sogrea Engineers Company-Paris, 56p.
14.SCWMI Soil Conservation and Watershed Management Institute. 1994. The Project of soil and wate conservation in Gezelozan, No. 4. 41p.
15.Wang, S., Shaozhong, K., Lu, Z., and Fusheng, L. 2008. Modelling hydrological response to different land-use andclimate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China, J. Hydro. Proc., 22: 2502-2510.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(1), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Investigating the hydrological effects of land use change in catchment (Case study: Zanjanrood Basin)

***G. Ghaffari[1], J. Ghodousi[2] and H. Ahmadi[3]**

[1]Ph.D. Student, Dept. of Watershed, Islamic Azad University (IAU), Sciences and Research Branch, Tehran, Iran, [2]Assistant Prof., Dept. of Watershed, Islamic Azad University (IAU), Sciences and Research Branch, Tehran, Iran, [3]Professor, University of Tehran

Abstract

Changes in land use can significantly influence the hydrological cycle and hence affect water resources. Understanding the impacts of land use changes on hydrology response at the watershed scale can facilitate development of sustainable water resources strategies. This paper investigates the hydrological effects of land use change in the Zanjanrood basin of Iran, during last 40 years. The study reveals how land use changes affected the hydrological regimes at the watershed scale. The water balance was simulated with the use of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT2005). This is a hydrological model that requires the meteorological data, land use, soil and DEM of the inspected areas, in the form of a digital map. After calibrating and modeling accuracy determination, the effect of land use changes on hydrological responses was evaluated using, land use of 1967, 1994, 2007 years set as model input. The results indicated that land use change had significant impact on water yield and river discharge. The land use changes over the period 1967 to 2007 led to a 33% increase in the amount of surface runoff and a 22% decrease in the ground water storage. Furthermore, the area of subbasins that influenced by high annual group runoff (14-28 mm) increased about 16%.

Keywords: Land use, Hydrological Responses, SWAT, Zanjanrood basin

* Corresponding Author; Email: ghaffari58@yahoo.com