

وقایع کمینه، تداوم وقایع بیشینه، تعداد روزهای با جریان کمینه بر تعداد روزهای با جریان نرمال بین سناریوی اول و چهارم و در شاخص تعداد روزها با جریان بیشینه بر تعداد روزها با جریان نرمال بین سناریوی اول با دوم و چهارم اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد وجود داشت. به طور کلی تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز ماربره به ترتیب سبب افزایش و کاهش وقوع شاخص‌های جریان حداکثر و حداقل می‌شود. به‌طوریکه تغییرات شاخص‌های جریان حداقل نسبت به شاخص‌های جریان حداکثر محسوس تر بود.

کلید واژه‌ها: حوزه آبخیز ماربره، جریان کمینه، جریان بیشینه، مدل SWAT، من‌کنندال

مقدمه

دخالت‌های بشری در حوزه‌های آبخیز، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، جزء جدانشدنی تحولات حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود. بنابراین ارزیابی اثرات تغییرات سامانه زیست‌بوم‌های آبخیز به‌واسطه فعالیت‌های بشری امری ضروری می‌باشد [۳۳]. لینا و همکاران [۱۹] یکی از عوامل تاثیرگذار بر تغییرات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی حوزه‌های آبخیز که منجر به تغییر در ساقاب تاج پوشش، تبخیر و تعرق و نفوذ و در نهایت منجر به ایجاد شرایط سیل‌خیزی می‌شود را تغییر کاربری اراضی می‌دانند. در این باره نیز ژئی و همکاران [۳۷] نتیجه فعالیت‌های بشری روی تغییرات هیدرولوژیکی را به‌واسطه احداث سد و تغییر کاربری اراضی می‌دانند. تغییرات کاربری اراضی می‌تواند بر نسبت دو مولفه رواناب و تبخیر و تعریق (آب آبی و آب سبز) اثر بگذارد و سبب تغییر در بیلان آب منطقه شود [۲۶، ۲۹، ۳۰]. ژئی و همکاران [۳۷] اشاره دارند که تغییرات کاربری اراضی بر سامانه هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به مناطق مرطوب دارای اثرات به مراتب مهم‌تر و معنی‌دارتری می‌باشد، دلیل مطلب بیان شده را آن‌ها ناشی از وجود شرایط خشک‌تر و سیلابی‌تر و به طور کلی وجود رخ‌دادهای حدی بیش‌تر در مناطق مذکور دانسته‌اند. تاکنون مطالعاتی در مورد تغییرات کاربری اراضی بر شرایط هیدرولوژیکی انجام شده در دنیا انجام شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به تحقیق ناپولی و همکاران [۲۳] اشاره نمود که با استفاده از مدل SWAT پاسخ هیدرولوژیکی به تغییرات کاربری اراضی و اقلیم را در ایتالیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان از عملکرد مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی جریان داشت. همچنین آن‌ها

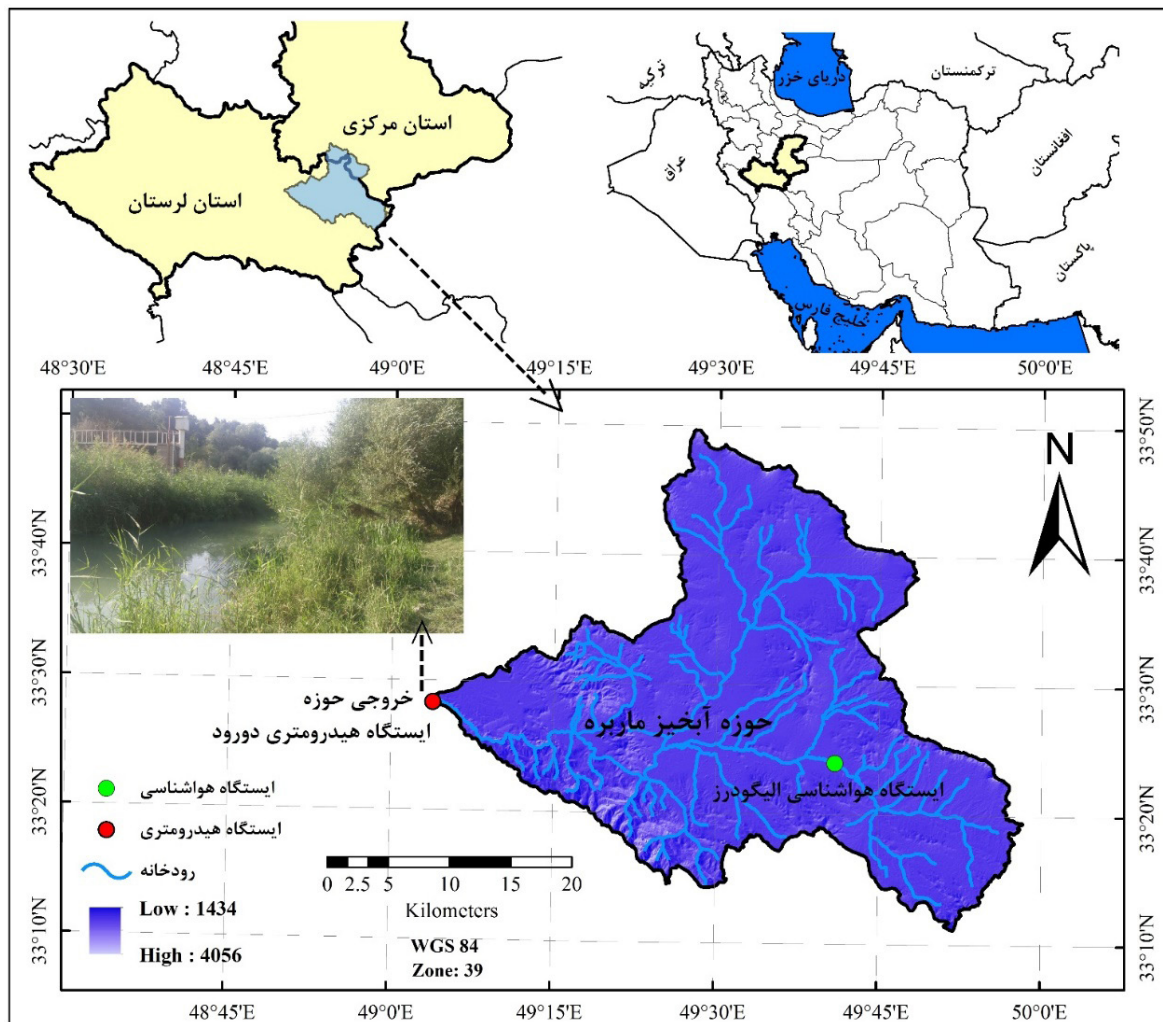
تغییرپذیری شاخص‌های حدی هیدرولوژیک در سناریوهای مختلف کاربری اراضی

حمید دارابی^۱، کاکا شاهدی^۲، کریم سلیمانی^۳ و بیورن کلاو^۴
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱

چکیده

در تحقیق حاضر تغییرپذیری شاخص‌های حدی هیدرولوژیک به‌واسطه تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز ماربره (استان لرستان) بررسی شد. به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از روش حداکثر احتمال و نرم‌افزار ENVI استفاده شد. با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی و داده‌های اقلیمی اقدام به ایجاد سناریوهای کاربری اراضی شد. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT برای سناریوهای مختلف، مقادیر دبی جریان شبیه‌سازی و سپس شاخص‌های حدی هیدرولوژیک برای هر سناریو استخراج شد. تحلیل‌های آماری شاخص‌های حدی هیدرولوژیک با استفاده از روش‌های من‌کنندال و آزمون t جفتی انجام شد. نتایج آزمون من‌کنندال نشان داد که در سناریوی اول، روند کاهش شاخص‌های جریان بیشینه شامل تداوم وقایع بیشینه، نسبت تعداد روزها با جریان بیشینه به تعداد وقایع بیشینه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند. در سناریوی دوم، (به‌جز شاخص‌های حداکثر جریان شهریور، نسبت تداوم وقایع کمینه به تعداد وقایع کمینه و تعداد وقایع بیشینه) و در سناریوی سوم (به‌جز شاخص تعداد وقایع بیشینه) و چهارم (به‌جز شاخص حداکثر جریان شهریور)، تمام شاخص‌ها دارای روند معنی‌دار در سطح ۵ و یک درصد بودند. نتایج آزمون t جفتی نشان داد که شاخص‌های حداقل جریان فروردین و حداکثر جریان شهریور به ترتیب بین سناریوی اول با دوم و چهارم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد داشتند. در شاخص‌های تعداد وقایع کمینه، تداوم

- ۱- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. پست الکترونیک: hamid.darabi@oulu.fi
- ۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- ۳- استاد سنجش از دور و GIS، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- ۴- استاد گروه مهندسی محیط زیست و منابع آب، دانشگاه اولو، فنلاند.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز ماربره

Figure 1. Location of study area

بنابراین استفاده از فن آوری سنجش از دور ابزاری ضروری و با ارزش جهت پیش تغییرات می باشد [۲]. با توجه به مسائل و مباحث بیان شده، هدف از پژوهش حاضر در نظر گرفتن چارچوب اجتماعی- هیدرواقليمی^۱ می باشد تا از آن برای ایجاد داده های سری های زمانی دبی جریان و سپس استخراج شاخص های حدی هیدرولوژیک تحت سناریوهای مختلف کاربری اراضی بهره مند شود. از این رو و با توجه به مرور سوابق تحقیق مشخص شد که در مطالعات گذشته تنها به بررسی اثرات تغییرات اقلیم و یا کاربری اراضی بر شرایط دبی جریان و تغییرات آن در سناریوهای مختلف پرداخته شده است. در حالی که در تحقیق حاضر علاوه بر استخراج مقادیر دبی جریان در حوزه آبخیز ماربره واقع در استان لرستان تحت سناریوهای مختلف کاربری اراضی، اقدام به استخراج شاخص های هیدرولوژیک و تقسیم بندی آن ها به شاخص های مرتبط با جریان های حداکثر و حداقل شده و در نهایت تجزیه و تحلیل آماری آن ها در سناریوهای مختلف کاربری اراضی انجام خواهد شد.

بیان داشتند که در منطقه مورد مطالعه تغییرات کاربری های مختلف اراضی (افزایش سطوح غیرقابل نفوذ) در دوره های اقلیمی مشابه، نقش مهمی در دبی اوج و حجم رواناب، ایفا می کند. ولد و همکاران، یان و همکاران و کارلسون و همکاران [۳۴، ۳۸، ۱۳] اثرات ترکیبی تغییرات اقلیم و کاربری اراضی را بر پاسخ هیدرولوژیک و با استفاده از مدل SAWT به ترتیب در ایتویپی، چین و دانمارک مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها حاکی از یکسان نبودن اثرات اقلیم و کاربری اراضی در مقیاس های مختلف زمانی (حتی در ماه های مختلف سال) و مکانی (در مناطق مختلف دنیا) بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه های آبخیز بود. همچنين لی و همکاران؛ ویلسون و ونگ؛ مانگو و همکاران؛ لو و همکاران؛ کلانتری و همکاران؛ خوی و سوتسوگی؛ موراتو و همکاران [۱۳، ۱۵، ۱۷، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۳۵] در این زمینه به مطالعه پرداختند. بنابراین آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی کاربری اراضی می تواند یکی از ضروریات برنامه ریزی، مدیریت و ارزیابی برنامه های منابع زمینی در سطوح محلی و منطقه ای باشد [۵]. از آنجا که تغییرات در کاربری اراضی در سطوح مختلف زمانی و مکانی صورت می گیرد،

1- Socio-Hydroclimatology

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز ماربره یکی از سرشاخه‌های مهم حوزه آبریز کارون بزرگ در بالادست سد دز با مساحت بالغ بر ۲۷۱۰ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱). هم‌چنین حوزه مذکور در محدوده مختصات جغرافیایی $33^{\circ} 49' 50''$ تا $49^{\circ} 03' 57''$ تا $27^{\circ} 58' 49''$ شرقی و $11^{\circ} 05'$ تا 33° شمالی قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه بلند مدت آن (۱۳۶۲-۱۳۹۱) ۳۹۷ میلی‌متر می‌باشد. هم‌چنین متوسط رواناب سالیانه برای منطقه مورد مطالعه برابر با ۲۶۹ میلی‌متر و ضریب رواناب آن برابر با ۰/۶۷ در طول دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱ می‌باشد. نقشه کاربری اراضی

به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی تصاویر ماهواره مربوط به لندست ۵ و سنجنده TM از پایگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا برای سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ بودند. در تحقیق حاضر تصحیحات اتمسفری با استفاده از نرم افزار ENVI و روش QUAC روی تصاویر اعمال شد [۳، ۱۱، ۱۷]. سپس نقشه کاربری اراضی (شامل کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، مراتع، باغات، اراضی فاقد پوشش گیاهی، اراضی مسکونی و اراضی صخره‌ای) با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال و طبقه‌بندی نظارت شده [۸] در محیط نرم‌افزار ENVI طبقه‌بندی شد. به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی از ضرایب صحت کلی و کاپا استفاده شد [۹].

سناریوهای کاربری اراضی

با توجه به هدف پژوهش حاضر (بررسی تغییرات کاربری اراضی بر شرایط وقوع شاخص‌های حادی هیدرولوژیک)، چهار سناریو به منظور ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر شاخص‌های حادی هیدرولوژیک در نظر گرفته شد. برای ایجاد سناریوهای مختلف کاربری اراضی، از داده‌های اقلیمی دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱ استفاده شد، و با تغییر ندادن داده‌های اقلیمی دوره آماری مورد نظر و جابجایی نقشه‌های کاربری اراضی تنها اثرات تغییرات کاربری اراضی بر شرایط وقوع شاخص‌های هیدرولوژیک مورد توجه قرار گرفت و بدین ترتیب سناریوهای کاربری اراضی ایجاد شدند تا به‌واسطه آن تنها اثرات کاربری اراضی بر شاخص‌های حادی هیدرولوژیک

مورد بررسی قرار گیرد. سناریوی اول آن‌چه که به‌صورت طبیعی در طی دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱ اتفاق افتاده بود، در نظر گرفته شد. سپس به منظور ایجاد سناریوهای مختلف کاربری اراضی، بعد از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷، اقدام به در نظر گرفتن متغیرهای اقلیمی در دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱ بررسی شد. به این صورت که برای سناریوی دوم نقشه سال ۱۳۶۷ به عنوان نقشه کاربری اراضی برای کل دوره آماری ۱۳۶۲-۱۳۹۱ در نظر گرفته شد (سناریو با کاربری قدیم). سپس در سناریوی سوم نقشه سال ۱۳۷۷ به عنوان نقشه کاربری اراضی در دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱ در نظر گرفته شد (سناریو با کاربری وسط). در نهایت برای سناریوی چهارم نیز نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۷ برای دوره آماری ۱۳۶۲-۱۳۹۱ در نظر گرفته شد (سناریو با کاربری جدید). در جدول ۱ سناریوهای مورد نظر ارائه شده است.

مدل‌سازی هیدرولوژیکی

به منظور بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر شاخص‌های حادی هیدرولوژیک اقدام به مدل‌سازی هیدرولوژیک برای سناریوهای ایجاد شده با استفاده از مدل SWAT شد. برای اجرای مدل SWAT ابتدا لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی، خاک و نقشه رقمی ارتفاع، داده‌های هواشناسی و جریان رودخانه تهیه و آماده شدند. سپس مدل SWAT برای سناریوهای ایجاد شده (در تحقیق حاضر سه بار برای سه سناریوی کاربری اراضی) برای دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱ و با در نظر گرفتن دوره ۳ ساله برای گرم کردن مدل (۱۳۶۲-۱۳۶۴) اجرا شد. واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌منظور شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه به‌ترتیب برای دوره‌های ۱۳۸۱-۱۳۶۵ و ۱۳۹۱-۱۳۸۲ با استفاده از برنامه SWAT_CUP و الگوریتم SUFI۲ انجام شد. به منظور بررسی عدم قطعیت مدل الگوریتم SUFI۲ از شاخص‌های R-factor و P-factor [۱]، [۴۰]. هم‌چنین کارایی مدل با استفاده از نمایه آماری ضریب ناش-ساتکلیف (NS) و براساس رابطه (۱) مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۴].

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{sim}^t - Q_{obs}^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (1)$$

جدول ۱- سناریوهای کاربری اراضی

Table 1. Land use scenarios

سناریو	کاربری اراضی	داده‌های هواشناسی	داده‌های هیدرولوژی
Scenario	Land use	Weather Data	Hydrologic data
سناریوی طبیعی	1988، 1998 و 2008	1983-2012	1983-2012
Historical scenario			
سناریوی کاربری اول	1988	1983-2012	1983-2012
First land use scenario			
سناریوی کاربری وسط	1998	1983-2012	1983-2012
Mid land use scenario			
سناریوی کاربری سوم	2008	1983-2012	1983-2012
Third land use scenario			

شاخص‌های هیدرولوژیک
 شاخص‌های هیدرولوژیک در منطقه مورد مطالعه با توجه به هدف
 مورد نظر و بر اساس شرایط هیدرواقليمی انتخاب شدند. برای این

در اینجا \bar{Q}_{Obs} متوسط دبی مشاهده‌ای، Q^t_{Obs} دبی مشاهده‌ای و
 Q^t_{Sim} دبی شبیه‌سازی شده در زمان t بر حسب مترمکعب بر ثانیه
 می‌باشند. حدوده NS بین منفی بی نهایت تا ۱ (بهترین حالت) می‌باشد.

جدول ۲- شاخص‌های هیدرولوژیک منتخب

Table 2. Selected hydrological indices

واحد Unit	توضیحات Description	شاخص هیدرولوژیک Hydrological indices
میلی‌متر در روز mm/day	حداقل جریان ماهانه برای مرطوب‌ترین ماه سال Minimum low flow during wettest ¹ month	حداقل جریان فروردین ^{۱*} Minimum April flow
میلی‌متر در روز mm/day	حداکثر جریان ماهانه برای خشک‌ترین ماه سال month Maximum high flow during driest ¹ تعداد رخداد‌های سالیانه که مقدار جریان کم‌تر از یک آستانه مشخص باشد (در تحقیق حاضر وقایع کمینه با اعمال آستانه ۲۵ درصد جریان نرمال تعریف شدند و مقادیر کم‌تر از این آستانه به عنوان وقایع کمینه در نظر گرفته شد)	حداکثر جریان شهریور ^{۱**} Maximum September flow
-	Number of annual occurrences during which the magnitude of flow remains below a lower threshold. Hydrologic pulses are defined as those periods within a year in which the flow drops below 25 th percentile of all daily values for the time period	تعداد وقایع کمینه* Low flow pulse count
-	Number of annual occurrences during which the magnitude of flow remains upper a higher threshold. Hydrologic pulses are defined as those periods within a year in which the flow drops below 75 th percentile of all daily values for the time period	تعداد وقایع بیشینه** High flow pulse count
روز day	میانگین تداوم وقایع کمینه با جریان کم‌تر از ۲۵ درصد جریان نرمال در طول دوره آماری Mean duration of low flow pulses with high flow cutoff at 25 th percentile of the daily flows of the entire record	تداوم وقایع کمینه* Low flow pulse duration
روز day	میانگین تداوم وقایع بیشینه با جریان بیشتر از ۷۵ درصد جریان نرمال در طول دوره آماری Mean duration of high flow pulses with high flow cutoff at 75 th percentile of the daily flows of the entire record	تداوم وقایع بیشینه** High flow pulse duration
-	نسبت تعداد روزها با جریان کمینه بر تعداد روزها با جریان نرمال* تعداد روزهای با جریان کمینه بر تعداد روزهای با جریان نرمال در سال Annual low flow pulses days per annual normal flow days	Low flow pulses days per normal flow days
-	نسبت تعداد روزهای با جریان بیشینه بر تعداد روزهای با جریان نرمال** تعداد روزهای با جریان بیشینه بر تعداد روزهای با جریان نرمال در سال Annual high flow pulses days per annual normal flow days	High flow pulses days per normal flow days
-	نسبت تداوم وقایع کمینه تقسیم بر تعداد وقایع کمینه Mean low flow pulse duration per low flow pulse event	نسبت تداوم وقایع کمینه بر تعداد وقایع کمینه* Low flow pulses duration per low flow counts
-	نسبت تداوم وقایع بیشینه تقسیم بر تعداد وقایع بیشینه Mean high flow pulse duration per high flow pulse event	نسبت تداوم وقایع بیشینه بر تعداد وقایع بیشینه** High flow pulses duration per high flow counts

(*) مرتبط با جریان‌های بیشینه و (***) مرتبط با جریان‌های کمینه

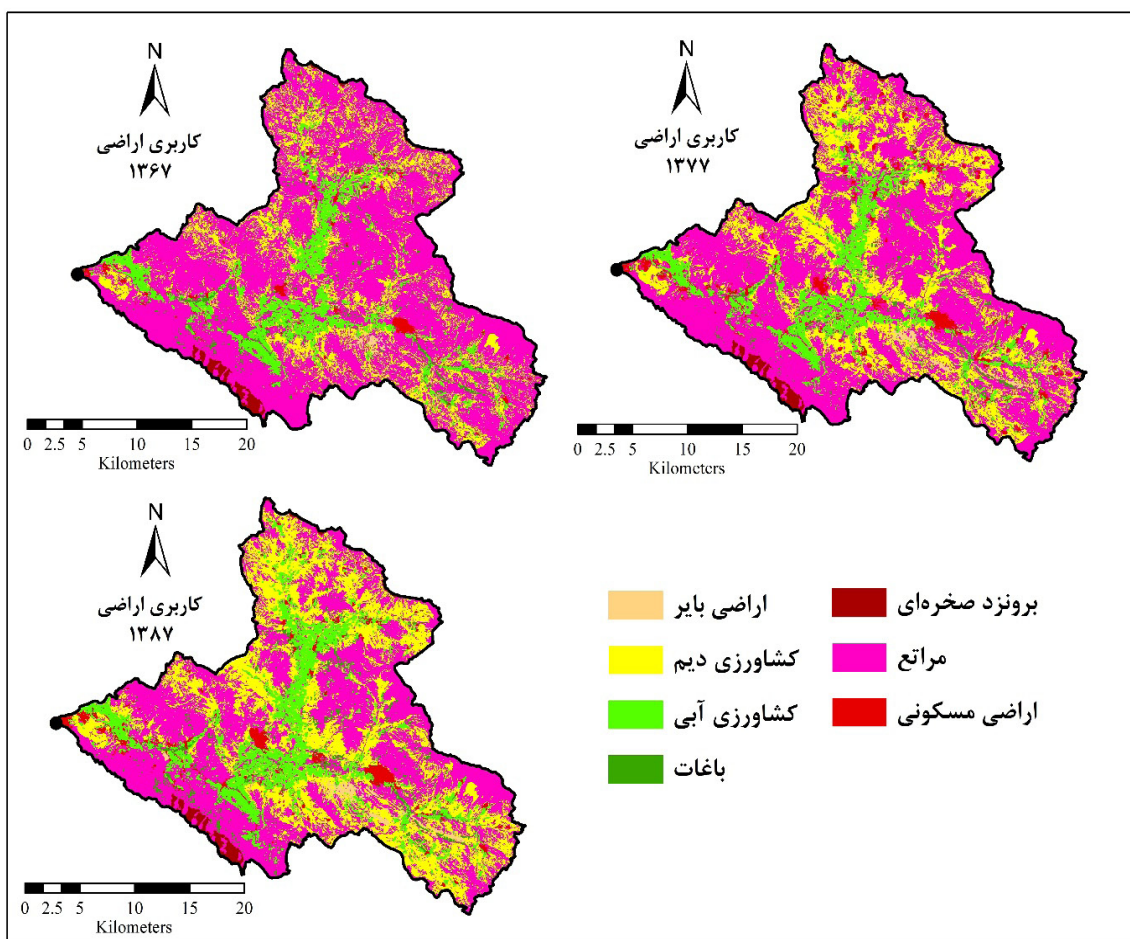
۱- در حوزه آبخیز ماربره به ترتیب ماه‌های فروردین و شهریور دارای حداکثر و حداقل جریان در طول دوره آماری مورد مطالعه بودند.

1- In the Marboreh Watershed the wettest and driest month's flows are in April and September, respectively.

حالی که مقدار منفی، نشان دهنده روند نزولی در سری زمانی است. همچنین اگر قدر مطلق MK-Stat، بین ۱/۹۶ تا ۲/۵۴ باشد، در سطح احتمالی ۵٪ دارای روند معنی دار است و برای قدر مطلق MK-Stat بزرگتر از ۲/۵۴، روند در سطح ۱٪ معنی دار می باشد [۳۹]. همچنین برای مقادیر به دست آمده برای p-value نیز می توان به معنی داری بودن روند تغییرات پی برد. چنانچه مقادیر p-value بزرگتر از ۰/۰۵ باشد، روند تغییرات معنی دار نبوده و اگر بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ باشد، روند تغییرات در سطح اطمینان ۵٪ معنی دار می باشد. در نهایت p-value کمتر از ۰/۰۱ دارای روند تغییرات معنی داری در سطح اطمینان ۱٪ می باشد. در بررسی آماره Sen-slope چنانچه مقادیر عددی موجود در متغیر مورد نظر عددی مثبت یا منفی را بیان کند، نشان دهنده بزرگی تغییرات در متغیر مورد نظر می باشد [۴، ۷]. همچنین به منظور مقایسه جفت میانگین مقادیر شاخص های حدی هیدرولوژیکی بین سناریوی اول با سایر سناریوهای سه گانه ایجاد شده از آزمون t جفتی استفاده شد و بر این اساس وجود و عدم وجود اختلاف معنی دار در مقادیر شاخص های حدی هیدرولوژیکی در بین سناریوهای مذکور مورد بررسی قرار گرفت [۱۲، ۳۶].

منظور ابتدا با استفاده از داده های دبی جریان مربوط به ایستگاه هیدرومتری دورود (واقع در خروجی حوزه آبخیز ماربره)، اقدام به تعیین شاخص های هیدرولوژیکی شد. سپس مقادیر آستانه های هیدرولوژیکی برای شاخص های مذکور با توجه به آمار دبی جریان در دوره ۱۳۹۱-۱۳۶۲ تعیین شد. در نهایت با استفاده از تعمیم سازی آستانه ها به مقادیر دبی جریان در سناریوهای مختلف کاربری اراضی، شاخص های هیدرولوژیکی در هر سناریو تعیین شد. شاخص های هیدرولوژیکی مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل ۱- شاخص های مرتبط به جریان کمینه و ۲- شاخص های مرتبط با جریان بیشینه به شرح مندرج در جدول ۲ می باشند [۳۳].

تجزیه و تحلیل آماری شاخص های حدی هیدرولوژیکی در پژوهش حاضر روندهای سری های زمانی شاخص های حدی هیدرولوژیکی در سناریوهای مختلف کاربری اراضی با استفاده از روش های ناپارامتریک من کندانال و شیب سن مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی روند تغییرات با استفاده از آزمون من کندانال روش کار به این صورت است که آماره های MK-Stat، p-value، Sen-slope استفاده می شوند. چنانچه برای MK-Stat مقداری مثبت به دست آید، بیان گر یک روند افزایش در سری زمانی می باشد، در



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی مربوط به سال های مختلف در حوزه آبخیز ماربره
Figure 2. Land use maps in the Marboreh watershed for different years

نتایج

کاربری اراضی

پس از انجام پیش پردازش‌های لازم روی تصاویر و با انجام عمل طبقه‌بندی، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ شامل اراضی بایر، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، باغات، برونزد صخره‌ای، مراتع و اراضی مسکونی در حوزه آبخیز ماریه تهیه شدند. (شکل ۲) نتایج حاصل از مساحت و درصد مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی مربوط به سال‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به این جدول، طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۸۷ کاهش اراضی مرتعی و افزایش در اراضی کشاورزی و هم‌چنین اراضی مسکونی اتفاق افتاده است. نتایج حاصل از ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی نشان‌دهنده دقت قابل قبول در تولید نقشه‌های مذکور بود. به‌طوری‌که پارامتر صحت کلی برای نقشه سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ به ترتیب برابر با ۷۹/۳۶، ۸۰/۳۸ و ۸۱/۴۰ بودند. هم‌چنین مقادیر ضریب کاپا برای نقشه سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ به ترتیب برابر با ۰/۷۱، ۰/۷۵ و ۰/۷۸ به‌دست آمدند. به نقل از بیگوارا و همکاران و همکاران [۳۲، ۶] مهم‌ترین نتیجه دخالت‌های بشری در حوزه‌های آبخیز را می‌توان بصورت تغییرات در کاربری اراضی مشاهده کرد. بنابراین با توجه به مطالب مذکور دخالت‌های بشری در حوزه آبخیز ماریه سبب تغییرات اراضی نفوذناپذیر و افزایش شماره منحنی در طول دوره مورد مطالعه شده است.

مدل‌سازی هیدرولوژیکی

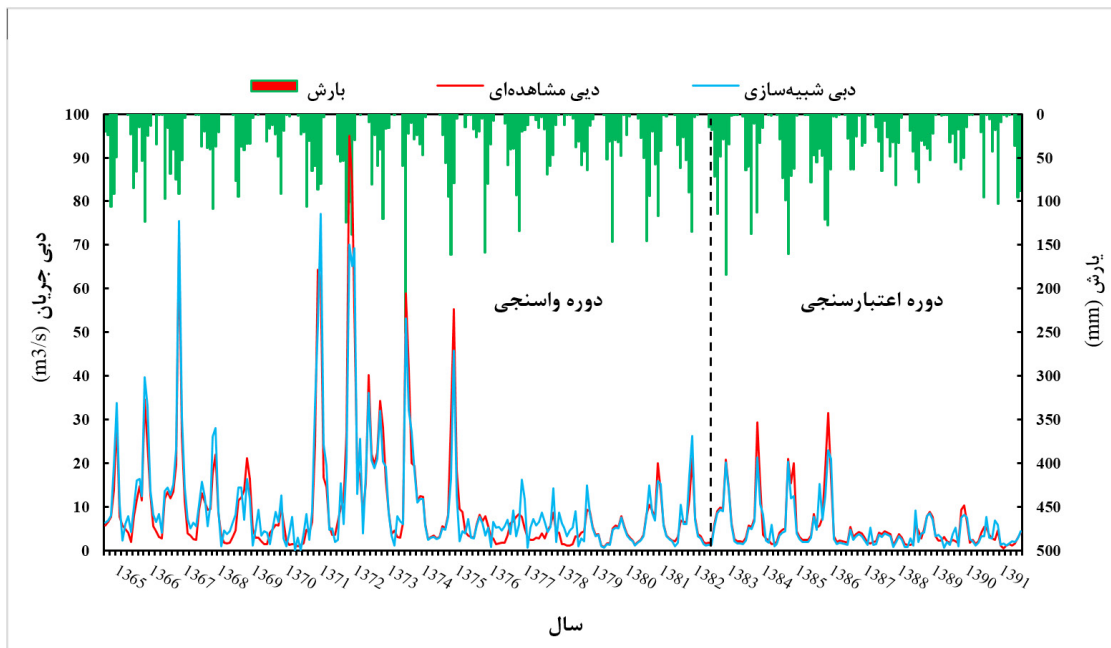
بعد از جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌های اقلیمی و نقشه‌های مورد نیاز (شامل نقشه کاربری اراضی، خاک و نقشه‌های مدل ارتفاع رقومی

و شیب) و با توجه به مقادیر پیش فرض پارامترها، مدل SWAT اجرا گردید. قبل از واسنجی مدل از زیربرنامه LH-OAT برای آنالیز حساسیت مدل استفاده شد. نتایج تحلیل آنالیز حساسیت مدل نشان داد که پارامترهای منتخب برای واسنجی مدل SWAT، شامل شماره منحنی SCS برای شرایط رطوبتی متوسط (CN2)، پارامتر آلفا در جریان یازگشتی (ALPHA_BF)، پارامتر آلفا برای جریان ذخیره (ALPHA_BNK)، هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک (SOL_K)، جرم مخصوص ظاهری لایه‌های خاک (SOL_BD) و رطوبت قابل استفاده لایه‌های خاک (SOL_AWC) به‌دست آمدند. سپس مدل هیدرولوژیکی SWAT در مقیاس حوزه آبخیز برای داده‌های دبی مشاهده‌ای شده در ایستگاه هیدرومتری دورود، واسنجی و اعتبارسنجی شد. در شکل ۳ نمودار دوره واسنجی و اعتبارسنجی نشان داده شده است. نتایج صحت‌سنجی مدل SWAT برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۴ با استفاده از شاخص‌های R-factor و P-factor و ضریب ناش-ساتکلیف ارائه شده است. نتایج عملکرد مدل SWAT برای شاخص‌های مذکور حاکی از عملکرد خوب مدل در دوره واسنجی و اعتبارسنجی بود. بعد از واسنجی و اعتبارسنجی، مدل SAWT برای هر کدام از سناریوهای کاربری اراضی (در تحقیق حاضر مدل سه بار به ترتیب برای سناریوی اول، دوم و سوم) به‌صورت مجزا اجرا شد و بدین ترتیب مقادیر دبی جریان شبیه‌سازی شده برای هر کدام از سناریوها شبیه‌سازی شد. با توجه به تحلیل حساسیت مدل SWAT، مهمترین پارامتر شماره منحنی در شرایط متوسط بود که این نتیجه به نتایج [۱]، [۱۹] مطابقت داشت. از طرف دیگر نیز نتایج حاصل از عملکرد مدل با معیارهای ارائه شده توسط عباس‌پور و همکاران [۱] نشان دهنده

جدول ۳- مساحت و درصد طبقات مختلف کاربری اراضی

Table 3. Areal distribution of land use /Land cover categories

کاربری اراضی 2008		کاربری اراضی 1998		کاربری اراضی 1988		کاربری اراضی Land use
Land use 1387		Land use 1377		Land use 1367		
درصد Percent	مساحت (Km ²) Area (km ²)	درصد Percent	مساحت (Km ²) Area (km ²)	درصد Percent	مساحت (Km ²) Area (km ²)	
0.47	12.75	0.38	10.32	0.11	3.11	اراضی بایر (Bare land)
35.18	953.48	28.84	781.55	20.52	556.10	کشاورزی دیم (Rain-fed)
8.11	219.66	6.87	186.23	6.06	164.34	کشاورزی آبی (Irrigated farming)
1.36	36.97	1.02	27.57	0.83	22.46	باغات (Orchard)
1.05	28.40	1.05	28.40	1.05	28.40	برونزد سنگی (Outcrop)
51.54	1396.84	60.01	1626.20	69.94	1895.27	مراتع (Rangeland)
2.29	61.98	1.83	49.72	1.49	40.30	اراضی مسکونی (Residential area)
100	2710	100	2710	100	2710	جمع کل
66.39		57.84		49.63		شماره منحنی در شرایط رطوبتی متوسط (Curve number AMC II)



شکل ۳- نمودار دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

Figure 3. Calibration and Validation periods for the SWAT model

جدول ۴- نتایج ارزیابی مدل SWAT برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی

Table 4. SWAT assessment results for calibration and validation periods

ضریب ناش-ساتکلیف Nash-Sutcliffe efficiency	P-factor	R-factor	دبی مشاهده‌ای (m^3s^{-1}) Q-Observed	دبی شبیه‌سازی شده (m^3s^{-1}) Q-simulated
0.89	0.90	0.22	9.99	10.82
0.84	0.87	0.11	5.28	5.04

مقدار شماره منحنی متوسط برای کل حوضه) برای دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱ مشاهده شد که شاخص‌های مرتبط با جریان کمینه سیر افزایشی خود را که در سناریوی اول داشتند حفظ کرده با این تفاوت که در سناریوی دوم شرایط وقوع برای شاخص‌های کمینه کم‌تر شد، بدان معنا که در صورت اعمال کاربری قدیم (کاربری با کم‌ترین شماره منحنی متوسط) وقوع جریان‌های با دبی بالاتر، کم‌تر شده و اثر کاربری اراضی به واسطه تغییرات شماره منحنی اعمال شده است. در مورد شاخص‌های حداکثر نیز در سناریوی اول شرایط به گونه‌ای بود که تنها شاخص تعداد وقایع بیشینه دارای شرایط افزایشی و البته نه به صورت معنی‌دار بود. شاخص‌های تداوم وقایع بیشینه و نسبت تعداد روزها با جریان بیشینه به تعداد روزها با جریان نرمال دارای تغییرات کاهشی در سطح اطمینان ۱ درصد و شاخص‌های حداقل جریان فروردین و نسبت تداوم وقایع بیشینه به تعداد وقایع بیشینه دارای تغییرات کاهشی در سطح اطمینان ۱ درصد بودند. در سناریوی سوم با تغییر کاربری اراضی از سال ۱۳۶۷ به ۱۳۷۷، شاخص‌های مرتبط با جریان حداقل با شیب کم‌تر (با توجه به مقادیر شیب سن در جدول ۵) نسبت به

عملکرد خوب مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی جریان در حوضه آبخیز مایره بود.

بعد از شبیه‌سازی دبی جریان تحت سناریوهای مختلف کاربری اراضی، شاخص‌های حدی هیدرولوژیک برای هر سناریوی کاربری اراضی و دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱ با توجه به مقادیر دبی جریان شبیه‌سازی شده، به دست آمدند.

آزمون روند شاخص‌های حدی هیدرولوژیک

در جدول ۵ روند تغییرات شاخص‌های حدی هیدرولوژیک تحت سناریوی مختلف کاربری اراضی ارائه شده است. با توجه به نتایج این بخش، در سناریوی اول (سناریوی طبیعی در دوره ۱۳۶۲-۱۳۹۱)، شاخص تداوم وقایع بیشینه و شاخص نسبت تعداد روزهای با جریان بیشینه به تعداد روزهای با جریان نرمال دارای تغییرات معنی‌دار (افزایشی) در سطح اطمینان ۱ درصد و شاخص نسبت تداوم وقایع بیشینه به تعداد وقایع بیشینه دارای تغییرات (افزایشی) معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد بودند. با جایجایی کاربری اراضی در سناریوی دوم و استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۶۷ (دارای کم‌ترین

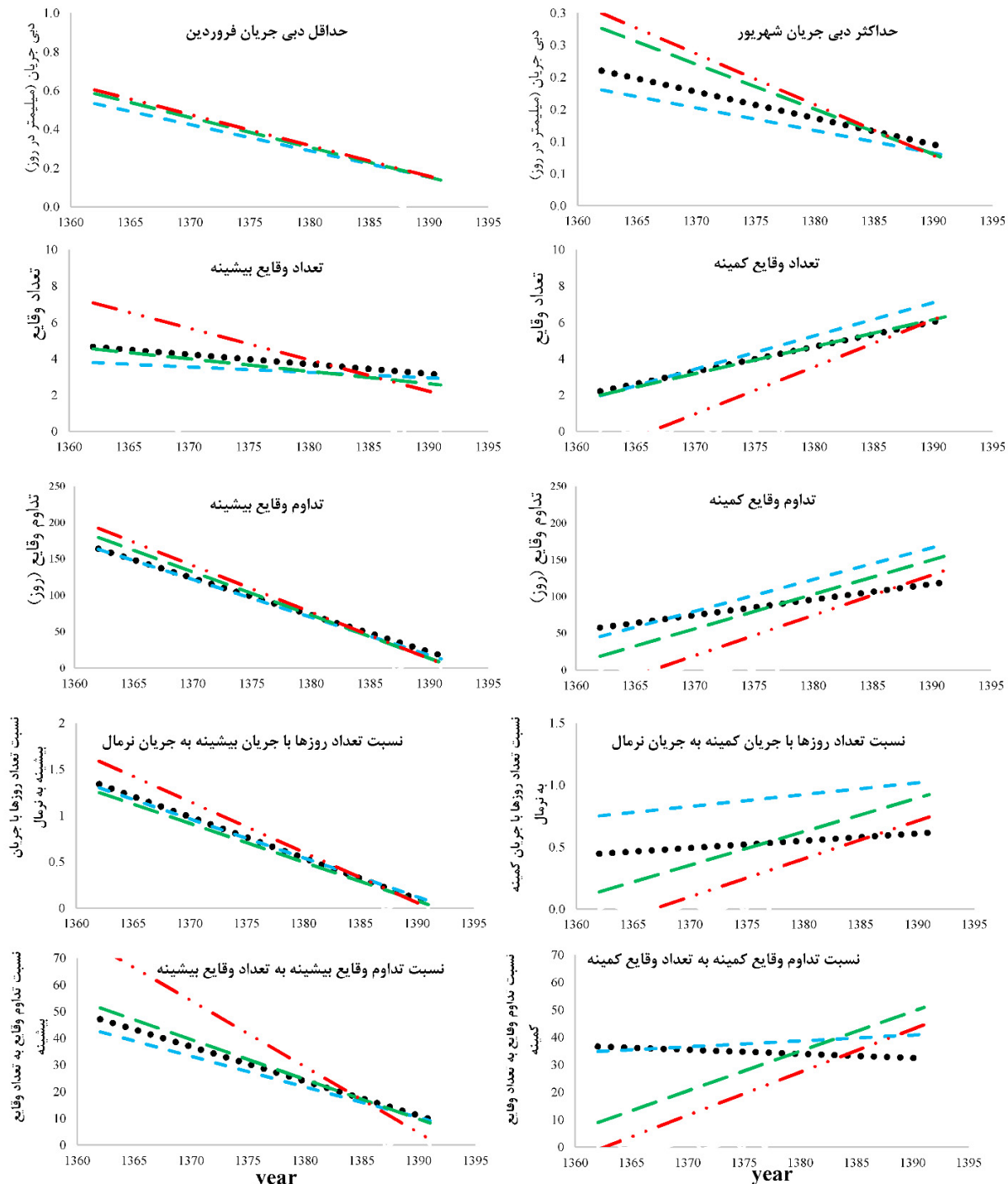
جدول ۵- روند تغییرات شاخص‌های حدی هیدرولوژیک تحت سناریوی مختلف

Table 5. Results of the statistical tests over the historical and land use scenarios

سناریوی ۲ Scenario 2		سناریوی ۱ Scenario 1				نام شاخص Name of indices	نوع شاخص Types of indices
Sen-slope	p-value	MK-Stat	Sen-slope	p-value	MK-Stat		
-0.001	0.326	-0.981	0.000	0.817	-0.232	حداکثر جریان شهریور Maximum September flow	
0.125	0.070	1.814	0.107	0.080	1.752	تعداد وقایع کمینه Low flow pulse count	مرتبط با جریان
5.056**	0.003	2.964	2.111	0.104	1.625	تداوم وقایع کمینه Low flow pulse duration	کمینه
0.029*	0.011	2.571	0.009	0.392	0.857	نسبت تعداد روزهای با جریان کمینه به تعداد روزهای با جریان نرمال Low flow pulses days per normal flow days	Related to low flow
0.455	0.134	1.500	0.148	0.694	0.393	نسبت تداوم وقایع کمینه به تعداد وقایع کمینه Low flow pulses duration per low flow counts	
-0.008*	0.029	-2.177	-0.008*	0.042	-2.034	حداقل جریان فروردین Minimum April flow	
0.000	0.456	-0.745	-0.067	0.206	-1.266	تعداد وقایع بیشینه High flow pulse count	مرتبط با جریان
-4.957**	0.001	-3.195	-4.667**	0.002	-3.123	تداوم وقایع بیشینه High flow pulse duration	بیشینه
-0.030**	0.002	-3.069	-0.032**	0.001	-3.355	نسبت تعداد روزهای با جریان بیشینه به تعداد روزهای با جریان نرمال High flow pulses days per normal flow days	Related to high flow
-0.856*	0.014	-2.445	-0.800*	0.023	-2.267	نسبت تداوم وقایع بیشینه به تعداد وقایع بیشینه High flow pulses duration per high flow counts	
سناریوی ۴ Scenario 4		سناریوی ۳ Scenario 3				نام شاخص	نوع شاخص
Sen-slope	p-value	MK-Stat	Sen-slope	p-value	MK-Stat		
-0.003	0.084	-1.731	-0.004**	0.001	-3.372	حداکثر جریان شهریور Maximum September flow	
0.182**	0.000	4.383	0.130	0.044	2.015	تعداد وقایع کمینه Low flow pulse count	مرتبط با جریان
4.500**	0.000	4.333	4.900**	0.000	3.524	تداوم وقایع کمینه Low flow pulse duration	کمینه
0.023**	0.000	4.333	0.028**	0.003	2.987	نسبت تعداد روزهای با جریان کمینه به تعداد روزهای با جریان نرمال Low flow pulses days per normal flow days	Related to low flow
0.643**	0.000	3.532	0.942**	0.018	2.362	نسبت تداوم وقایع کمینه به تعداد وقایع کمینه Low flow pulses duration per low flow counts	
-0.009*	0.025	-2.248	-0.008*	0.020	-2.320	حداقل جریان فروردین Minimum April flow	
-0.182**	0.001	-3.213	-0.074	0.111	-1.593	تعداد وقایع بیشینه High flow pulse count	مرتبط با جریان
-6.130**	0.000	-3.607	-5.533**	0.001	-3.444	تداوم وقایع بیشینه High flow pulse duration	بیشینه
-0.037**	0.000	-3.497	-0.025**	0.002	-3.069	نسبت تعداد روزهای با جریان بیشینه به تعداد روزهای با جریان نرمال High flow pulses days per normal flow days	Related to high flow
-1.406**	0.002	-3.052	-0.906**	0.009	-2.606	نسبت تداوم وقایع بیشینه به تعداد وقایع بیشینه High flow pulses duration per high flow counts	

کمینه و نسبت تداوم وقایع کمینه به تعداد وقایع کمینه دارای روند افزایشی در سطح اطمینان ۵ درصد می‌باشند. در مورد شاخص‌های مرتبط با جریان بیشینه در سناریوی سوم مشخص شد که شاخص‌ها دارای روند کاهش معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد (شامل حداقل جریان فروردین) و اطمینان ۵ درصد (شامل تداوم وقایع بیشینه،

سناریوی اول و دوم، روند روبه افزایش را دارند. قابل ذکر است که شاخص حداکثر جریان شهریور در سطح اطمینان ۱ درصد و شاخص‌های تداوم وقایع کمینه و نسبت تعداد روزها با جریان کمینه به تعداد روزها با جریان نرمال در سناریوی سوم دارای روند افزایشی در سطح اطمینان ۱ درصد و شاخص‌های تعداد وقایع



شکل ۴- نمودارهای روند تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی مرتبط با جریان‌های کمینه (سمت راست) و بیشینه (سمت چپ) تحت سناریوهای مختلف کاربری اراضی (.... سناریوی اول، - - - - سناریوی دوم، - - - - سناریوی سوم و - - - - سناریوی چهارم) in the hydrological indices related to high (in right) and low (in left) flows under land use **Figure 4. Long-term trends in the hydrological indices related to high (in right) and low (in left) flows under land use scenarios. {....SR1, - - - -SR2, - - - -SR3 and - - - -SR4}.**

نسبت تعداد روزها با جریان بیشینه به تعداد روزها با جریان نرمال و نسبت تداوم وقایع بیشینه به تعداد پالس‌های بیشینه) می‌باشند. لازم به ذکر است که شرایط کاهش شاخص تعداد وقایع بیشینه معنی‌دار نمی‌باشد. در سناریوی چهارم با تغییر کاربری اراضی از سال ۱۳۷۷ به سال ۱۳۸۷ مشخص شد که شاخص‌های مرتبط با جریان کمینه دارای تغییرات معنی‌دار کاهش در سطح اطمینان ۱ درصد (شامل حداکثر جریان شهریور) و شاخص‌های مرتبط با جریان بیشینه دارای تغییرات افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۱ درصد (شامل حداقل جریان فروردین در سطح ۹۵ درصد) می‌باشند.

با توجه به شکل ۴ شاخص‌های مرتبط با جریان کمینه (به جز شاخص حداکثر جریان شهریور) دارای سیر افزایشی در طول دوره آماری ۱۳۹۱-۱۳۶۲ می‌باشند. قابل ذکر است که در تمام شاخص‌های مرتبط با جریان کمینه (به جز شاخص حداکثر جریان شهریور) شرایط وقوع در سناریوی چهارم (سناریو با بیش‌ترین شماره منحنی متوسط) دارای کم‌ترین مقدار نسبت به دیگر سناریوها می‌باشد. در حالی که در سناریوی دوم (سناریو با کم‌ترین شماره منحنی متوسط) شرایط وقوع برای جریان‌های کمینه نسبت به سایر سناریوها بیش‌تر می‌باشد. در مورد سناریوی اول و سوم نیز با توجه به این‌که سناریوی سوم شرایطی متوسط از نظر کاربری اراضی و متعاقبا شماره منحنی را ارائه می‌دهد، بنابراین شرایط تقریبا مشابه و یکسان این دو سناریو در شکل ۴ دیده شده است. همچنین با توجه به شکل ۴ در تمام سناریوهای کاربری اراضی، شاخص‌های مرتبط با جریان‌های بیشینه دارای سیر کاهش طی دوره ۱۳۹۱-۱۳۶۲ بودند. کاربری اراضی می‌تواند یکی از مهم‌ترین فاکتورهای موثر بر شرایط هیدرولوژیکی باشد که در حوزه آبخیز به فاکتورهای زیادی وابسته است. از این‌رو می‌تون بیان داشت که ارتباط بین عوامل محیطی و اقتصادی-اجتماعی، میزان توسعه پایدار را تعیین می‌کند و در توسعه پایدار اراضی، مدیریت تغییر کاربری اراضی عامل مهم بوده و تاثیرپذیر از شرایط اقتصادی-اجتماعی حوزه‌های آبخیز می‌باشد و بنابراین در مدیریت حوزه‌های آبخیز بایستی تعادل بین عوامل محیطی، اقتصادی و جامعه در نظر گرفته شوند. با توجه به شکل ۴ این موضوع قابل توجه هست که اثر کاربری اراضی بر شاخص‌های مرتبط با جریان‌های حداقل نسبت به شاخص‌های مرتبط با جریان‌های حداکثر محسوس‌تر است. بنابراین همان‌طور که نیهف و همکاران و ثقفیان و همکاران [۲۰، ۲۲] بیان داشتند، کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر دبی جریان با مقادیر بیش‌تر و متعاقبا با دوره بازگشت‌های بالاتر تاثیر کم‌تری دارد.

آزمون t جفتی

به منظور مقایسه مقادیر میانگین شاخص‌های حدی هیدرولوژیکی در سناریوی اول (سناریوی طبیعی) با سناریوهای سه‌گانه ایجاد شده (شامل سناریوی دوم، سوم و چهارم) از آزمون t جفتی استفاده شد. وجود و یا عدم وجود اختلاف

معنی‌دار شاخص‌های حدی هیدرولوژیکی در بین هر کدام از سناریوهای سه‌گانه ایجاد شده با سناریوی طبیعی تعیین شد. نتایج آزمون t جفتی برای شاخص‌های هیدرولوژیکی نشان داد که شاخص‌های حداقل جریان فروردین و حداکثر جریان شهریور به ترتیب بین سناریوی اول با سناریوهای دوم و چهارم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد داشتند. در شاخص‌های تعداد وقایع کمینه، تداوم وقایع کمینه، تداوم وقایع بیشینه و تعداد روزها با جریان کمینه بر تعداد روزها با جریان نرمال بین سناریوی اول و چهارم اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد وجود دارد. در شاخص تعداد روزها با جریان بیشینه بر تعداد روزها با جریان نرمال بین سناریوی اول با سناریوی چهارم اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد وجود داشت. همچنین با توجه به نتایج آزمون t مشخص شد که در شاخص‌های تعداد وقایع بیشینه، نسبت تداوم وقایع کمینه بر تعداد وقایع کمینه و نسبت تداوم وقایع بیشینه بر تعداد وقایع بیشینه اختلاف معنی‌داری بین سناریوی‌های مختلف وجود ندارد (جدول ۶).

بحث و نتیجه‌گیری

در طی دهه‌های گذشته تغییرات کاربری اراضی سبب بروز تغییرات در رژیم هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز مخصوصا در مناطق خشک و نیمه خشک در کشور ایران شده است. در تحقیق حاضر پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز ماربره با تیپ اقلیمی نیمه خشک در استان لرستان نسبت به تغییرات کاربری اراضی به‌واسطه ایجاد سناریوهای مختلف کاربری اراضی و با در نظر گرفتن متغیرهای اقلیمی با دوره مشترک برای هر سناریو مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن بود که با تغییر کاربری اراضی از سناریوی اول تا چهارم تغییراتی در شاخص‌های هیدرولوژیکی اتفاق می‌افتد و به تغییر کاربری اراضی سبب افزایش وقوع شاخص‌های مرتبط با جریان‌های حداکثر و کاهش وقوع شاخص‌های مرتبط با جریان‌های حداقل می‌شود. از طرف دیگر با توجه به نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های آزمون t، وجود تغییرات معنی‌دار بیش‌تر در شاخص‌های مرتبط با جریان‌های حداقل نیز موید این مطلب است. ذکر این موضوع حائز اهمیت است که هر چند تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه سبب تغییرات زیاد در شاخص‌های هیدرولوژیکی مرتبط با جریان‌های حداکثر نشده است، ولی با توجه به نتایج آزمون من‌کنندال، مشخص شد، تغییرات کاربری اراضی سبب بروز تغییرات در روند شاخص‌های مذکور (و به طور قابل ملاحظه‌تر در شاخص‌های مرتبط با جریان‌های حداقل) شد. از این‌رو ذکر این موضوع حائز اهمیت است که درک هرچه بهتر شرایط حدی می‌تواند در درک بهتر شرایط اکولوژیکی و متعاقبا بهبود هر چه بیشتر و بهتر شرایط مدیریتی در حوزه‌های آبخیز مفید واقع شود. بنابراین با آگاهی از

Table 6. Mean comparison of hydrological indices using t-test

سناریوهای مقایسه								شاخص‌های هیدرولوژیکی		
سناریوی چهارم			سناریوی سوم			سناریوی دوم		Hydrological indices		
Scenario #4	Scenario #3	Scenario #2	Sig.	df	t	Sig.	df			
0.12	29	-1.59	0.98	29	-0.02	0.04	29	2.16	سناریوی اول Scenario #1	حداقل جریان فروردین Minimum April flow
0.03	29	-2.25	0.11	29	-2.62	0.19	29	1.36	سناریوی اول Scenario #1	حداکثر جریان شهریور Maximum September flow
0.00	29	3.39	0.95	29	0.07	0.49	29	-0.70	سناریوی اول Scenario #1	تعداد وقایع کمینه Low flow pulse count
0.12	29	-1.60	0.28	29	1.11	0.16	29	1.43	سناریوی اول Scenario #1	تعداد وقایع بیشینه High flow pulse count
0.00	29	3.39	0.76	29	0.31	0.00	29	-3.74	سناریوی اول Scenario #1	تداوم وقایع کمینه Low flow pulse duration
0.00	29	-3.26	0.29	29	-1.07	0.00	29	3.15	سناریوی اول Scenario #1	تداوم وقایع بیشینه High flow pulse duration
0.00	29	3.06	0.98	29	0.02	0.00	29	-3.66	سناریوی اول Scenario #1	نسبت تعداد روزهای با جریان کمینه بر تعداد روزهای با جریان نرمال Low flow pulses days per normal flow days
0.00	29	-3.22	0.13	29	2.30	0.70	29	0.38	سناریوی اول Scenario #1	نسبت تعداد روزهای با جریان بیشینه بر تعداد روزهای با جریان نرمال High flow pulses days per normal flow days
0.11	29	1.63	0.48	29	0.71	0.44	29	-0.77	سناریوی اول Scenario #1	نسبت تداوم وقایع کمینه بر تعداد وقایع کمینه Low flow pulses duration per low flow counts
0.06	29	-1.99	0.44	29	-0.78	0.35	29	0.95	سناریوی اول Scenario #1	نسبت تداوم وقایع بیشینه بر تعداد وقایع بیشینه High flow pulses duration per high flow counts

4. Bari, S. H., Rahman, M. T. U., Hoque, M. A., and Hussain, M. M. 2016. Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. Atmospheric Research 176, 148-158.

5. Bazgeer, S., Sharma, P. K., Mahey, R. K., Hundal, S. S. And Sood, A. 2008. Assessment of land use changes using remote sensing and GIS and their implications on climatic variability for Balachaur watershed in Punjab, India. Desert 12(2), 139-147.

6. Begueria S., Juan I. Moreno L., Lorente A., Seeger M. And José M.G.R. 2003. Assessing the Effect of Climate Oscillations and Land-use Changes on Streamflow in the Central Spanish Pyrenees. A Journal of the Human Environment 32(4), 283-286.

7. Bryant, R. B., Lu, H., Elkin, K. R., Buda, A. R., Collick, A. S., Folmar, G. J. and Kleinman, P. J. 2016. Long-term trends in climate and hydrology in an agricultural headwater watershed of central Pennsylvania, USA. Journal of Hydrology: Regional Studies 4, 713-731.

8. Darabi, H. Shahedi, K. Solaimani, K. and

شرایط حدی هیدرولوژیکی (مخصوصاً شرایط مرتبط با جریانات حدی پایین) می‌توان اقدامات و استراتژی‌های سازگار برای آبریان موجود در رودخانه‌های حوزه‌های آبخیز، مخصوصاً در رودخانه ماربره (در تحقیق حاضر) که از نظر پرورش آبریان از اهمیت بالایی برخوردار است را انجام داد.

منابع

1. Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., and Kløve, B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology, 524, 733-752.

2. Arekhi, S. and Niyazi, Y. 2010. Assessing different remote sensing techniques to detect land use changes (Case study in Dareshahr, Ilam province). Iranian journal of Range and Desert Research 17(1), 74-93. (In Persian).

3. Baboo, S. S. And Devi, M. R. 2011. Geometric correction in recent high resolution satellite imagery: a case study in Coimbatore, Tamil Nadu. International Journal of Computer Applications 14(1), 32-37.

19. Lina, B. Chen, X. Yao, H. Chena, Y. Liua, M. Gaoa, L. And Jamesd, A. 2015. Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. *Ecological Indicators* 58, 55-63.
20. Luo, Y., Ficklin, D. L., Liu, X. And Zhang, M. 2013. Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality with a watershed modeling approach. *Science of the Total Environment* 450, 72-82.
21. Mango, L. M., Melesse, A. M., McClain, M. E., Gann, D. And Setegn, S. G. 2011. Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(7), 2245-2245.
22. Mourato, S. Moreira, M. and Corte-Real, J. 2015. Water resources impact assessment under climate change scenarios in Mediterranean watersheds, *Water Resources Management* 109 (7), 2377-2391.
23. Napoli, M., Massetti, L. and Orlandini, S. 2017. Hydrological response to land use and climate changes in a rural hilly basin in Italy. *CATENA*, 157, 1-11.
24. Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10, 282-290.
25. Niehoff, D. Fritsch, U. and Bronestert, A. 2002. Land use Impacts on Storm-Runoff Generation: Scenario of Land Use Change and Simulation of Hydrological Response in a Meso-Scale Catchment in SW-Germany. *Journal of Hydrology* 267(1-2), 80-93.
26. Ouyang, X. Jia, L. Pan, Y. and Hu, G. 2015. Retrieval of Land Surface Temperature over the Heihe River Basin Using HJ-1B Thermal Infrared Data. *Remote Sensing* 7(1), 300-318.
27. Pervez, M. S. And Henebry, G. M. 2015. Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 3, 285-311.
28. Saghafian, B., Farazjoo, H., Sepehry, A. And Najafinejad, A. 2006. Effects of land use change on floods in Golestan Dam drainage basin. *Water Resources Research Journal* 18 (2), 28-28. (In Persian).
29. Sajikumar, N. and Remya, R.S. 2015. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics, *Journal of Hydrology* 535, 301-317.
- Miryaghoubzadeh, M. 2014. Prioritization of subwatersheds based on flooding conditions using hydrological model, multivariate analysis and remote sensing technique. *Water Environmental Journal* 28(3), 382-392.
9. Das, T. 2009. Land use/land cover change detection: an object oriented approach, Münster, Germany. Ph.D. Dissertation. University of Münster, 270 pages.
10. FAO. 1995. Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. FAO, Rome.
11. Gyamfi, C., Ndambuki, J. M. And Salim, R. W. 2016. Hydrological Responses to Land Use/Cover Changes in the Olifants Basin, South Africa. *Water* 8(12), 1-16.
12. Hartmann, H., Snow, J. A., Su, B. and Jiang, T. 2016. Seasonal predictions of precipitation in the Aksu-Tarim River basin for improved water resources management. *Global and Planetary Change* 147, 86-96.
13. Kalantari, Z. Lyon, S.W. Folkesson, L. French, H.K. Stolte, J. Jansson, P.E. and Sassner, M. 2014. Quantifying the hydrological impact of simulated changes in land use on peak discharge in a small catchment. *Science of the Total Environment* 466, 741-754.
14. Karlsson, I.B., Sonnenborg, T.O., Refsgaard, J.C., Trolle, D., Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Jeppesen, E. and Jensen, K.H., 2016. Combined effects of climate models, hydrological model structures and land use scenarios on hydrological impacts of climate change. *Journal of Hydrology* 535, 301-317.
15. Khoi, D. N. And Suetsugi, T. 2014. The responses of hydrological processes and sediment yield to land use and climate change in the Be River Catchment. Vietnam. *Hydrological Processes* 28(3), 640-652.
16. Kim, J., Choi, J., Choi, C. and Park, S. 2013. Impacts of changes in climate and land use/land cover under IPCC RCP scenarios on streamflow in the Hoeya River Basin, Korea. *Science of the Total Environment* 452, 181-195.
17. Li, X., Gong, P. and Liang, L. 2015. A 30-year (1984–2013) record of annual urban dynamics of Beijing City derived from Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 166, 78-90.
18. Li, Z., Liu, W. Z., Zhang, X. C. And Zheng, F. L. 2009. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of hydrology* 377(1), 35-42.

35. Wilson, C. O. And Weng, Q. 2011. Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois. *Science of the Total Environment* 409(20), 4387-4405.
36. Wu, T., Yu, Y. and Wang, B. 2016. Water resources availability and the growth of housing prices in China. *Resources, Conservation and Recycling* 125(5), 123-130.
37. Xie, X. Liang, Sh. Yao, Y. Ji, K. Meng, Sh. and Li, J. 2015. Detection and attribution of changes in hydrological cycle over the Three-North region of China: Climate change versus afforestation effect. *Agricultural and Forest Meteorology* 203, 74-87.
38. Yan, R., Zhang, X., Yan, S., Zhang, J. and Chen, H., 2017. Spatial patterns of hydrological responses to land use/cover change in a catchment on the Loess Plateau, China. *Ecological Indicators*.
39. Yu, P.S., Yang, T.C. and Wu, C.K. 2002. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *Journal of Hydrology*, 260(1), 161-175.
40. Zuo, D. Xu, Z. Yao, W. Jin, Sh. Xiao, P. and Ran, D. 2016. Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment* 544. 238-250.
- of Environmental Management 161, 460-468.
30. Schilling, K.E. Jha, M.K. Zhang, Y.K. Gassman, P.W. and Wolter, C.F. 2008. Impact of land use and land cover change on the water balance of a large agricultural watershed: Historical effects and future directions. *Water Resources Research* (44), 1-12.
31. Serpa D., Nunes J.P., Santos J., Sampaio E., Jacinto R., Veiga S., Lima J.C., Moreira M., Corte-Real J., Keizer J.J. and Abrantes N., 2015. Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. *Science of the Total Environment* 538, 64-77.
32. Serpa, D. Nunes, J.P. Santos, J. Sampaio, E. Jacinto, R. Veiga, S. Lima, J.C. Moreira, M. Corte-Real, J., Keizer, J.J. and Abrantes, N. 2015. Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. *Science of the Total Environment*, 538, 64-77.
33. Singh, R. Wagener, T. Crane R. Mann, M.E. and Ning, L. 2014. A vulnerability driven approach to identify adverse climate and land use change combinations for critical hydrologic indicator thresholds: Application to a watershed in Pennsylvania, USA. *Water Resources Research* 50(4), 3409-3427.
34. Welde, K. and Gebremariam, B., 2017. Effect of land use land cover dynamics on hydrological response of watershed: Case study of Tekeze Dam watershed, northern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research* 5(1), 1-16.

*Abstract***Hydrological Indices Variability Based on Land Use Change Scenarios**H. Darabi¹, K. Shahedi², K. Solaimani³ and B. Klöve⁴

Received:2017/01/21 Accepted : 2017/0723

In this study, hydrological indices variability due to land use change were assessed in the Marboreh watershed. In order to prepare land use maps, maximum likelihood method was used in the ENVI software. It was created land use scenarios based on land use maps and climate data. Then, after the SWAT calibration and validation, flow discharge data, and hydrological indices were simulated and extracted for each scenario, respectively. Statistical analysis carried out using Mann-Kendall and t-test for hydrological indices. The results of Mann-Kendall test showed that in the first scenario, hydrological indices related to high flow including high flow pulse duration, high flow pulses days per normal flow days and high flow pulses duration per high flow has decreasing trends at the 1% significance level. All indices (except maximum September flow, low flow pulses duration per low flow counts and high flow pulse count) in the second scenario, and high flow pulse count in the third scenario and also except maximum September flow in the fourth scenario, had decreasing trends at the 1 & 5% significance levels. The results of t-test revealed that minimum April flow and maximum September flow in the first scenario altered at the 5% significance level with scenario #2 and #4 scenarios, respectively. Low flow pulse count, low flow pulse duration, high flow pulse duration, low flow pulses days per normal flow days had altered between #1 and #4 scenarios, and high flow pulses days per normal flow days altered between #1 with #2 and #4 scenarios at the 1% significance level. Generally, the results of this study in the Marboreh watershed revealed that hydrological indices related to the minimum and maximum flows were decreased and increased due to land use changes, respectively. Also, impacts of land use change on hydrological indices related to the minimum flows was higher than hydrological indices related to the maximum flows.

Keywords: *Marboreh watershed, High flow, Low flow, SWAT model, Mann-Kendall*

1. PhD candidate in watershed management engineering, Sari Agriculture Science and Natural Resources University. Corresponding Author
Email: Hamid.Darabi2010@gmail.com

2. Associated Professor in watershed management engineering, Sari Agriculture Science and Natural Resources University.

3. Professor in RS and GIS, Sari Agriculture Science and Natural Resources University.

4. Professor in Water Resources and Environmental Engineering Research Unit. University of Oulu, Finland