



دوره‌ی ۳۵، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۳۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۱۱۸-۱۰۵  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.355416.1428

مقاله‌ی پژوهشی



# پژوهش‌های آبخیزداری

## تأثیر حالت‌های ممکن تغییر کاربری زمین بر روان‌آب با مدل و تسپا با روی‌کرد تخصیص سنجه در آبخیز کارخانه، استان همدان

مریم دشتی‌مرویلی

(نویسنده‌ی مسئول)\* دانشجوی دکترای گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

عبدالرضا بهره‌مند

دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

محسن حسینعلیزاده

دانشیار گروه آبخیزداری و مدیریت منطقه‌های بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

میثم سالاری‌جزی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

\*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: maryamdashti90@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۴ شهریور ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۴ مهر ۱۴۰۰

### چکیده

تغییر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین تأثیرهای انسان در چرخه‌ی آب‌شناسی حوزه‌ها است. مدیریت ناصولی حوزه‌های آبخیز باعث افزایش حجم روان‌آب و روی‌دادن سیلاب می‌شود. هدف این پژوهش بررسی اثر تغییر کاربری زمین بر روان‌آب آبخیز کارخانه با روی‌کرد تخصیص سنجه است. با تخصیص سنجه می‌توان سرعت واسنجی مدل را افزایش داد. این سنجه‌ها با دانش به‌دست آمده از تجزیه‌تحلیل حساسیت سنجه‌ها، شرایط منطقه، فرآیندهای آب‌شناسی و تجربه‌های کاربر مدل تخصیص داده می‌شود. نتیجه‌های به‌دست آمده از ارزیابی مدل و تسپا با روی‌کرد تخصیص سنجه برای شبیه‌سازی جریان با معیار ارزیابی نش-ساتکلیف ۶۰/۱۸٪ و معیار کلینگ-گوپتای ۷۶٪ بود. با این معیارها، کارایی مدل در روی‌کرد تخصیص سنجه مناسب بود، و در اعتبار سنجی نتیجه‌های منطقی و باثباتی نشان داد. تأثیر تغییر کاربری زمین بر روان‌آب آبخیز کارخانه مشهود است، به‌طوری که آب‌دهی اوج در حالت بدبینانه‌ی دو ۱۵/۷۴٪ افزایش، و در حالت خوش‌بینانه‌ی سه ۱۱/۳۳٪ کاهش داشت.

واژگان کلیدی: استان همدان، تخصیص سنجه، تغییر کاربری زمین، روان‌آب، مدل و تسپا.

## مقدمه

در بسیاری از منطقه‌های گوناگون دنیا تخریب بی‌رویه زمین به دلیل افزایش جمعیت، الگوی کشت نامناسب، و بهره‌برداری بیش از حد از جنگل و مرتع سبب آسیب به طبیعت و دست‌کاری نامتعارف در اندوخته‌های طبیعی شده است. به همین دلیل، برای حفظ این اندوخته‌ها از این خطرها، مدیریت زمین و اندوخته‌های طبیعی الزامی است (سینگ و پونیا ۲۰۱۸).

ویژگی‌های اولیه‌ی آبخیز شامل خاک، پستی‌بلندی، پوشش گیاهی و کاربری زمین، ویژگی‌های آب و هوایی شامل بارش، تغییر آب‌شناسی آبخیز را مهار می‌کند. ویژگی‌های خاک و پستی‌بلندی تغییر کوتاه‌مدت ندارد و می‌توان آن‌ها را از عامل‌های ایستا دانست (اینگ ۲۰۰۹). در نتیجه، تغییر در واکنش سیلابی حوزه در مقیاس زمانی میان‌مدت و درازمدت به تغییر نوع کاربری و تغییر اقلیم بستگی دارد (میلر ۲۰۰۲). بنابراین بررسی تغییر کاربری زمین و اثر آن بر سامانه‌ی آب‌شناسی حوزه‌های آبخیز ممکن است زمینه‌ساز برگزیدن سیاست‌های آینده برای بهینه‌سازی روش‌های مدیریت همه‌جانبه‌ی حوزه‌های آبخیز باشد. مدل‌های آب‌شناسی می‌تواند برای بهبود مدیریت اندوخته‌های آب فرآیندهای آب‌شناسی سطح زمین را شبیه‌سازی کند. مدل آب‌شناختی توزیعی و تسپا در آبخیزهای گوناگون اجرا شده و توانایی پیش‌بینی روان‌آب سطحی با آن بر پایه‌ی معیارهای آماری و تصویری تأیید شده است. آذین‌مهر و همکاران (۲۰۱۶)، مرادی‌پور و همکاران (۲۰۱۵)، کبیر و همکاران (۲۰۱۱)، صادقی و همکاران (۲۰۱۵)، و محققان دیگر کارایی مدل و تسپا<sup>۱</sup> را در شبیه‌سازی روان‌آب اثبات کردند. با خروجی مدل و عامل‌های آب‌شناسی با توزیع مکانی در هر گام زمانی، مدل توانایی تحلیل اثرهای پستی‌بلندی، بافت خاک و کاربری زمین را در رفتار آب‌شناسی حوزه دارد. کاویان و همکاران (۲۰۱۸) نتیجه گرفتند که در اثر کاهش سطح جنگل‌ها و افزایش زمین کشاورزی، مقدار روان‌آب و بار نیترات افزایش می‌یابد. کاویان و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که تغییر کاربری باعث افزایش سرعت جریان، افزایش آب‌دهی بیشینه و روان‌آب سطحی، و کاهش زمان تمرکز می‌شود. ارزیابی تغییر کاربری زمین بر تولید روان‌آب با مدل‌های کلو و و تسپا نشان داد که تبدیل زمین جنگلی و مرتعی به کشاورزی منجر به افزایش روان‌آب شده است (محمدی و همکاران ۲۰۱۸). بهره‌مند و همکاران (۲۰۰۷) به این نتیجه رسیدند که حالت جنگل‌کاری بر تولید روان‌آب در حوزه‌ی هورنارد باعث کاهش آب‌دهی اوج به اندازه‌ی ۱۲٪ شد، و زمان تا اوج نسبت به کاربری وضعیت اولیه ۱۴ ساعت افزایش داشت. نتیجه‌های جاویدان و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که انطباق میان آب‌نگار شبیه‌سازی شده و

مشاهده‌ی در حوزه‌ی زیارت خوب بود، و از میان سه حالت تغییر کاربری جنگل‌زدایی، افزایش منطقه‌های مسکونی، و افزایش منطقه‌های مسکونی به همراه جنگل‌زدایی بیش‌ترین اندازه‌ی افزایش روان‌آب سطحی در حالت سوم بود. نتیجه‌های قاسمی‌امین و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که در رود نورزبان مدل و تسپا در شبیه‌سازی روان‌آب دقتی پذیرفتنی داشت، و تغییر کاربری جنگل و مرتع به زمین کشاورزی باعث افزایش حجم روان‌آب سالانه، آب‌دهی بیشینه، و میانگین آب‌دهی شد. پژوهش بیش‌تر محققانی که تغییر کاربری زمین را با اندازه‌ی روان‌آب بررسی کرده‌اند، بر تغییر وسعت جنگل و تبدیل آن به دیگر کاربری‌ها بوده، و نشان داده که کاهش مساحت جنگل باعث افزایش روان‌آب شده است (سعادتی و همکاران ۲۰۰۶).

پژوهش‌های تغییر مرتع و کشاورزی به دیگر کاربری‌ها بسیار محدود است. بنابراین در این پژوهش تأثیر حالت‌های گوناگون کاربری زمین بر جریان روان‌آب در آبخیز کارخانه، یکی از زیرحوزه‌های رود گاماسیاب با مدل توزیعی و تسپا بررسی شد، تا اثرها و خطرهای ناشی از تغییر کاربری زمین در این آبخیز بررسی شود. یکی از مشخصه‌های طبیعی رود کرخه احتمال روی دادن سیلاب و خطرهای ناشی از آن است. سیل بهار ۱۳۹۸ که در حوزه‌های گوناگونی از کشورمان رخ داد سبب شد در آبخیز کرخه یکی از بی‌سابقه‌ترین سیل‌ها به سمت استان خوزستان گسیل شود. به دلیل اهمیت رود گاماسیاب، آبخیز کارخانه از زیرحوزه‌های این رود برای انجام پژوهش انتخاب شد. منظور از تخصیص سنجه این است که با به‌دست آوردن شناخت درباره فرآیندهای آب‌شناسی و با تلاش برای مرتبط کردن سنجه‌ها با ویژگی‌های مشاهده‌ی آبخیز، امکان استنتاج اندازه‌های منطقی برای سنجه‌های مدل آب‌شناسی هست.

در پژوهش‌های مرتبط به تخصیص سنجه و اسنجی معمول تا حد زیادی کاهش داده شده است، تا به سوی تعیین سنجه‌ها با منطق و شناخت فرآیندها گام برداشته شود، و از واسنجی تا حد توان چشم‌پوشی شود. تخصیص سنجه نقش مهمی در مدل‌سازی آب‌شناسی دارد، اما به اندازه‌ی کافی بررسی نشده است، اگر چه مدل‌سازان با تجربه معمولاً در هر پژوهش مدل‌سازی آن را انجام می‌دهند (بهره‌مند ۲۰۱۶). این جنبه، شایسته‌ی توجه بیش‌تر است، زیرا هدف آن دست‌یابی به شناخت بیش‌تر در باره‌ی فرآیندهای آب‌شناختی، شیوه‌ی نشان دادن آن‌ها در مدل، و ارتباط دادن میان سنجه‌های مدل و ویژگی‌های آبخیز است.

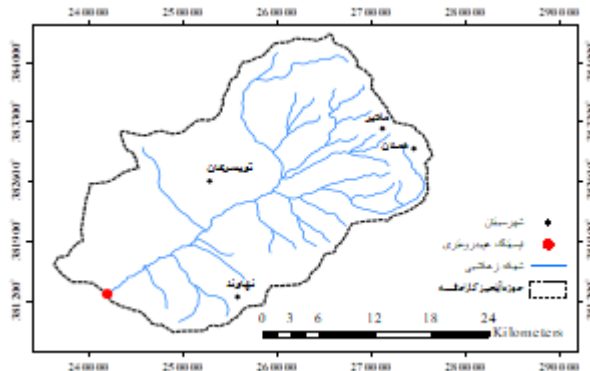
در این پژوهش از رویکرد تخصیص سنجه به شیوه‌ی گام‌به‌گام در تعیین سنجه‌ها با مدل و تسپا برای شبیه‌سازی روان‌آب بهره گرفته شد. پس از اعتبار سنجی نتیجه‌ها، مدل با سه حالت

و منطقه‌ی سرشاخه‌های رود گاماسیاب در شمال شرقی حوزه‌ی سد کرخه است. مساحت آن  $781 \text{ km}^2$ ، پیرامون آن  $34^\circ 23' 30''$  شمالی و در محدوده‌ی عرض شمالی  $34^\circ 23' 30''$  تا  $34^\circ 42' 15''$  و طول شرقی  $48^\circ 07' 30''$  تا  $48^\circ 34' 0''$  است. ارتفاع کمینه  $1537 \text{ m}$ ، ارتفاع بیشینه  $3529 \text{ m}$ ، و شیب متوسط  $13/74\%$  است. بخش بزرگی از استان همدان در آبخیز کرخه است (شکل ۱).

کاربری اجرا می‌شود، و اثرهای تغییر کاربری بر جریان تحلیل می‌شود. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش ممکن است زمینه‌ساز افزایش دقت مدل‌سازی و مدیریت صحیح آب و خاک در حوزه‌های آبخیز شود.

## مواد و روش‌ها

آبخیز کارخانه در استان همدان، شهرستان توپسرکان،



شکل ۱- موقعیت آبخیز کارخانه در استان همدان و ایران.

آبخیز کارخانه، مدل رقومی ارتفاع، نقشه‌ی تجمعی جریان، و نقشه‌ی جهت جریان در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس ۱۰.۴ تهیه شد. لایه‌های نقطه‌یی موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (باران، دما و تبخیر) درون و کنار حوزه برای چندضلعی‌بندی تراز اثر ایستگاه‌های هواشناسی تهیه شد.

داده‌های اقلیمی-آب‌شناسی بارش، دما، تبخیر و داده‌های جریان رود در خروجی حوزه برای شبیه‌سازی جریان و ارزیابی عمل کرد مدل به کار گرفته شد (بهره مند و همکاران، ۲۰۰۷). با این داده‌ها، سال‌های آبی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۱ دوره‌ی مشترک آماری انتخاب شد، و در مقیاس روزانه‌ی سه سال تخصیص سنججه با واسنجی محدود ( $85/4/1$  تا  $88/4/1$ ) و ۲ سال اعتبارسنجی ( $89/4/1$  تا  $91/4/1$ ) تهیه شد (سازمان آب منطقه‌یی و سازمان هواشناسی استان همدان).

داده‌های ورودی نیازداشته‌ی مدل و تسپا با سه نقشه‌ی پایه‌ی مدل رقومی ارتفاعی، بافت خاک و کاربری زمین سنججه‌های مکانی در نرم‌افزار سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (Arc View) تهیه شد. داده‌های اقلیمی بارش، تبخیر، دما و آب‌دهی از ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌شناسی تهیه و وارد مدل کرده شد، و بعد از واسنجی و اعتبار سنجی، آبتنگار جریان برای کاربری زمین آبخیز کارخانه شبیه‌سازی شد (عباس‌زاده ۲۰۱۸، داریابی و همکاران ۲۰۱۹).

تغییر مکانی بسیاری در اندازه‌های مدل رقومی ارتفاعی، بافت خاک و کاربری زمین منطقه که متغیرهای ورودی برای

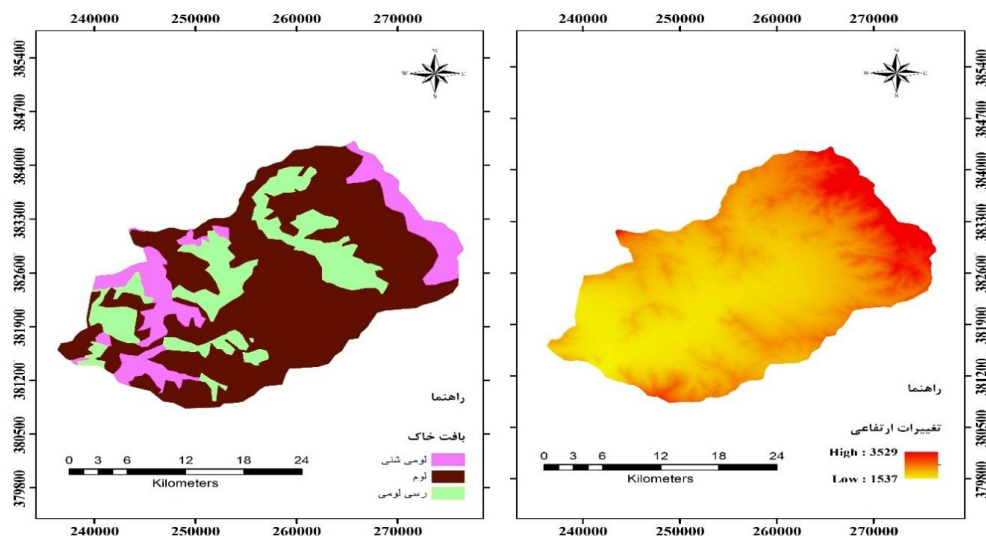
گاماسیاب یکی از طولی‌ترین رودهای ایران، از دامنه‌های شمالی بلندی‌های کوه گرین در استان همدان سرچشمه می‌گیرد، و پس از دریافت جریان‌های سطحی دیگر حوزه‌های کناری مانند ملایر، توپسرکان و اسدآباد به رود قره‌سو در استان کرمانشاه می‌رسد، و سپس به رود سیمره در استان لرستان می‌پیوندد. سیمره پس از گذشتن از لرستان در غرب خوزستان به رود کرخه می‌رسد. آبخیز کرخه (مساحت حدود  $43000 \text{ km}^2$ ) شامل استان‌های همدان، کرمانشاه، کردستان، ایلام، لرستان و خوزستان است. سرشاخه‌های اصلی تشکیل‌دهنده‌ی آن رودهای سیمره، کشکان، قره‌سو، گاماسیاب و چرداول است. نقشه‌ی کاربری زمین منطقه (اداره‌ی منابع طبیعی استان همدان) پس از پژوهش و بازدید میدانی و بررسی با نرم‌افزار گوگل ارث با پوشش منطقه مطابقت داده شد، و شناسه‌هایی در مدل و تسپا به آن داده شد.

معیار مثلث رده‌بندی بافت خاک که از ۱۲ رده تشکیل شده است، مبنای تهیه‌ی نقشه‌ی بافت خاک در مدل و تسپا بود. برای نقشه‌ی بافت خاک به هر نوع بافت خاک یک شناسه‌ی عددی مربوط به مدل و تسپا داده شد. محدوده‌ی هر نوع خاک در منطقه در نقشه‌ی خاک با کمک نقشه‌ی پایه‌ی خاک (اداره‌ی منابع طبیعی و آبخیزداری استان همدان) مشخص شد.

مدل رقومی ارتفاع با داده‌های ماهواره‌یی با نقطه‌های ۳۰ متری تهیه شد. مرز منطقه با داده‌های ایستگاه آب‌سنجی خروجی

تلخیص فقط دامنه‌ی شیب، رده‌های شیب و مساحت‌های هر رده در جدول ۳ نشان داده شده است.

شبه‌سازی اندازه روان‌آب در مدل است دیده شد. در این آبخیز سه نوع بافت خاک هست (جدول ۳). نقشه‌ی شیب منطقه با بهره‌گیری از نقشه‌ی رقومی ارتفاع تهیه شد، که برای



شکل ۲- نقشه‌ی تغییر ارتفاعی (متر) و بافت خاک در آبخیز کارخانه.

جدول ۳- کاربری زمین و ویژگی‌های رده‌های خاک و رده‌های شیب در آبخیز کارخانه.

رده‌ی کاربری	کاربری زمین	مساحت (km <sup>2</sup> )	رده‌های خاک		مساحت (km <sup>2</sup> )	رده‌ی شیب	دامنه‌ی شیب (%)	مساحت (km <sup>2</sup> )
			رده‌ی نوع خاک	خاک				
۱۲	کشاورزی	۳۷۹	۲	لومی شنی	۱۱۵	۱	۰-۱۲	۳۲۷
۱۰	مرتع	۳۵۴	۶	لوم	۵۱۴	۲	۱۲-۲۴	۱۹۸
۶	بوته‌زار	۳۶	۹	رسی لومی	۱۵۲	۳	۲۴-۴۰	۱۴۳
۱۴	فاقد پوشش	۶				۴	۴۰-۶۰	۸۳
۱۳	مسکونی	۶				۵	۶۰-۲۰۰	۳۰

در این پژوهش برای دوری از این دشواری اغلب سنجه‌ها برپایه‌ی ویژگی‌های منطقه و مشاهده‌های میدانی با اعداد منطقی تخصیص داده شد (جدول ۱). با این روش سرعت کار زیاد شد و در زمان و هزینه صرفه‌جویی شد. این سنجه‌ها با بهره‌گیری از دانش به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل حساسیت سنجه‌ها، و تجربه‌های کاربر مدل تخصیص داده می‌شود. در این پژوهش واسنجی سنجه‌ها کاملاً محدود بود و سنجه‌ها تا حد ممکن تخصیص داده شد (جدول ۱). با مقدراری تمرین و پس از شناختن چگونگی بازنمایی

مدل وتسپا دو دسته سنجه‌ی توزیعی و عمومی دارد که ورودی مدل شناسانده می‌شود. سنجه‌های توزیعی مبتنی بر سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی از داده‌های رستری به‌دست آمده است. سنجه‌های عمومی مدل ۱۱ تا است که برای واسنجی مدل به‌کاربرده می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۰۲ و لیو و همکاران ۲۰۰۳). واسنجی یا بهینه‌سازی سنجه‌های عمومی مدل وتسپا به دو شکل دستی و خودکار امکان‌پذیر است. واسنجی خودکار اغلب نتیجه‌های نامعقولی دارد (زینی‌وند و دی‌اسمیت

مقدار عددی سنج‌های جریان زیرسطحی در آبخیز کارخانه ۰/۹ تخصیص داده شد، که در محدوده‌ی ۰/۱ تا ۱ است، که دیگر محققان به کار برده اند.

مدل، روان‌آب را با ضریب روان‌آب اصلاح‌شده (که با رطوبت خاک مرتبط است) محاسبه می‌کند (رابطه‌ی ۱). ضریب بتوان روان‌آب توزیعی نیز با شیب، پوشش سطح زمین، نقشه‌های بافت خاک، و جدول‌های مدل محاسبه می‌شود.  $\alpha$  عامل رطوبت خاک با  $k_{run}$  و  $P_{max}$  محاسبه می‌شود. این سنج‌ها نشان دهنده‌ی اثر شدت بارندگی در تولید روان‌آب است (بهره‌مند و دی اسمیت ۲۰۰۸). سنج‌های  $K_{run}$  بی‌بعد و در بازه‌ی عددی ۱ تا ۱۰ است (بهره‌مند و دی اسمیت ۲۰۰۸). در حوزه‌هایی که شدت بارندگی کم است یا آب‌شناسی برف نقش مهمی دارد، مقدار سنج‌های  $k_{run}$  با شدت بارندگی رابطه‌ی عکس دارد، و هر چه بیش‌تر باشد مقدار این سنج به سوی ۱ می‌رود. برای آبخیز کارخانه روی ۳/۶ تنظیم شد. بیشینه‌ی ذخیره‌ی آب زیرزمینی مهارکننده‌ی اندازه‌ی تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی است. در مدل و تسپا تعادل آب زیرزمینی در مقیاس زیر حوزه‌ی آبخیز و برای ذخیره‌ی آب زیرزمینی فعال در نظر گرفته می‌شود. این سنج‌ها حساس است و مقدار آن با اندکی واسنجی ۹۰۰ شد. مقدار ذخیره‌ی اولیه‌ی آب زیر زمینی نیز با اندکی واسنجی ۹۰ شد.

سنج‌های عمومی با واسنجی تصحیح تبخیر و تعرق ( $K_{ep}$ )، ضریب افت آب زیرزمینی ( $K_g$ )، دمای پایه برای ذوب برف یا آستانه‌ی ذوب برف ( $T_0$ )، ضریب روز-دما ( $K_{snow}$ )، و ضریب روز-درجه‌ی بارش ( $k_{rain}$ ) بود. تبخیر و تعرق از سطح خاک و پوشش گیاهی بر پایه‌ی رابطه‌ی تورنوايت و مادر (۱۹۹۵) که تابعی از تبخیر و تعرق بتوان ( $PET$ )، نوع پوشش گیاهی، مرحله‌های رشد، و اندازه‌ی رطوبت خاک است، تعیین شد (بهره‌مند و دی اسمیت ۲۰۰۸). سنج‌های تبخیر و تعرق (که عامل تصحیح تبخیر و تعرق بتوان است) یکی از حساس‌ترین سنج‌ها است زیرا تأثیری مستقیم بر تراز آبی حوزه دارد. در مدل و تسپا برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق بتوان از داده‌های تشتک تبخیر یا آب‌شناسی اقلیمی بهره‌گیری می‌شود. ضریب تصحیح تبخیر و تعرق به طور کلی در شبیه‌سازی درازمدت تراز آبی نزدیک به ۱ تخمین زده می‌شود (بهره‌مند و همکاران ۲۰۲۰). در آبخیز کارخانه این سنج واسنجی، و مقدار آن ۱/۶ شد. در آبخیز رود، ضریب افت آب پایه ممکن است برای هر زیرحوزه‌ی آبخیز یکسان نباشد، و انحراف بسیاری از مقدار نظری آن داشته باشد. بخش بزرگ این انحراف در تغییر ویژگی‌های زیرحوزه است، و بقیه ممکن است به ناهمگونی سفره‌ی آب زیرزمینی، و فاصله‌گرفتن از فرض افقی بودن جریان آب زیرزمینی در رابطه‌ی دویپوی مربوط باشد. برای در نظر گرفتن این عامل‌ها

فرآیندهای آب‌شناسی، فرد مدل‌ساز ممکن است اندازه‌های سنج را بر پایه‌ی استدلال منطقی مشخص کند. البته هنوز برای تعدادی از سنج‌ها کمی اصلاح به‌روش سعی و خطا لازم و مفید است. بنابراین، این روشی ابتکاری است که در آن گمانه‌ی تجربی از اندازه‌ی سنج زده می‌شود، که ممکن است به‌روش ارزیابی عمل‌کرد مدل تأیید شود. این روی‌کرد ممکن است اندازه‌ی فراوانی از ثبات را هم در اندازه‌های سنج و هم در رفتار مدل تضمین کند (بهره‌مند ۲۰۱۶).

تخصیص سنج در ۵ مرحله انجام شد. نخست در ارزیابی اولیه‌ی رفتار سنج‌ها یا حساسیت عامل‌ها، مدل‌ساز دانست که پاسخ مدل چگونه با اندازه‌های سنج‌های آن ارتباط می‌یابد، و این آزمون به تأیید رفتار مورد انتظار برای منطقه‌ی پژوهشی جدید کمک کرد. دوم، اندازه‌های سنج‌هایی که می‌توان مقدار تقریبی آن‌ها را با دنبال کردن قوانین کلی تعیین کرد، تخصیص داده شد. سوم، اندازه‌های تقریبی برای سنج‌هایی که رفتار ارتباطی آن‌ها با ویژگی‌های آبخیز ثابت است تخصیص داده شد. چهارم، همه‌ی نابرابری‌های منطقی میان سنج‌ها، ارتباط‌های مفهومی میان آن‌ها و ویژگی‌های آبخیز، و محدودیت‌های تراز آب جمع‌آوری و فهرست شد. پنجم، تخصیص اندازه برای سنج‌ها با نقش آن ممکن بود ثابت باشد.

سنج‌های عمومی تخصیص‌یافته رطوبت خاک ( $K_{ss}$ )، مقیاس جریان زیرسطحی ( $K_i$ )، روان‌آب سطحی، بیشینه‌ی ذخیره‌ی آب زیرزمینی ( $G_{max}$ )، و ذخیره‌ی اولیه‌ی آب زیرزمینی ( $G_0$ ) بود. رطوبت خاک با نسبت ظرفیت مزرعه خاک در شبکه‌ی سلولی مرتبط است. فقط از شرایط رطوبتی زمان شروع شبیه‌سازی تأثیرپذیر است، و می‌توان آن را با عدد ۱ تنظیم کرد، یا با نگاه به شرایط رطوبت خاک در ابتدای شبیه‌سازی تخصیص داده شود. رطوبت خاک برای شبیه‌سازی در چند سال با عدد ۱ تخصیص داده می‌شود (بهره‌مند و همکاران ۲۰۲۰). در آبخیز کارخانه این سنج ۱ تخصیص داده شد. جریان زیر سطحی پس از نفوذ عمقی در منطقه‌ی ریشه اتفاق می‌افتد، و زمانی زیاد است که رطوبت خاک بیش‌تر از ظرفیت مزرعه باشد. طبق قانون دارسی و قانون موج پویا، تخمین مقدار جریان زیر سطحی تولیدشده در هر سلول با هدایت آبی، ظرفیت رطوبت خاک، زاویه‌ی شیب و عمق ریشه‌ی مرتبط است. مقیاس جریان زیر سطحی را با اطلاعات به‌دست آمده از پژوهش‌های پیشین می‌توان تخصیص داد (آدین‌مهر و همکاران ۲۰۱۶، کریمی و همکاران ۲۰۱۶، بهره‌مند و همکاران ۲۰۲۰ و کاویان و همکاران ۲۰۲۰). بر پایه‌ی نقشه‌های پوشش گیاهی و پژوهش‌های میدانی، پوشش گیاهی در مساحت زیادی از منطقه کم است. بنابراین بر پایه‌ی دانش تخصصی، شناخت سنج‌ها، و حساسیت‌های مرتبط،

(Ki و Krun) وابسته به مقیاس است و مقدار پیشنهاد شده برای آن برای نقطه‌ی اندازه‌ی ۱۰۰-۳۰ متر است (بهره‌مند ۲۰۲۰). سنج‌های عمومی Gmax و G0 به مقدار بسیار کم واسنجی شد. Krun, Ksnow, T0, Kep, و Kg هم واسنجی شد (جدول ۱).

شبیه‌سازی جریان با داده‌های هواشناسی، آب‌شناسی و نقشه‌های پایه انجام شد. داده‌های ۵ ساله‌ی هواشناسی به‌کاررفته در این پژوهش به دو دوره تقسیم شد. دوره‌ی اول برای تخصیص سنج و دوره‌ی دوم برای اعتبارسنجی به‌کاربرده شد. سنج‌های مدل در دوره‌ی اول تعیین شد. از آن جا که بیش‌تر سنج‌ها به‌جای بهینه‌سازی عددی با آزمون و خطا تخصیص داده شد، دوره‌ی اول تخصیص و دوره‌ی دوم اعتبارسنجی است.

در مدل عامل افت آب زیرزمینی وارد کرده شد و مقدار آن از روش واسنجی ۰/۰۰۰۱ تعیین شد. آستانه‌ی ذوب برف ضریب دمای آستانه یا ضریب دمای پایه (°C) است. فرض می‌شود که اگر دما کم‌تر از دمای پایه باشد، بارش به‌شکل برف است. ذوب‌شدن برف هنگامی شروع می‌شود که دما از دمای پایه بیش‌تر باشد. مقدار این سنج از روش واسنجی تعیین شد. ضریب روز-دما برای محاسبه‌ی ذوب‌شدن برف ناشی از دما به‌کار می‌رود. مقدار این سنج از روش واسنجی تعیین شد. ضریب روز-درجه‌ی بارش نرخ ذوب‌شدن برف ناشی از تراکم هوای مرطوب بر سطح برف و گرمای انتقال‌یافته به برف‌پشته با بارندگی را تعیین می‌کند، و برای محاسبه‌ی ذوب‌شدن برف ناشی از بارندگی کاربرد دارد.

در آبخیز کارخانه برخی سنج‌های عمومی مدل و تسپا از پیش تعیین یا تخصیص داده شد (جدول ۱). بعضی از این سنج‌ها

جدول ۱- مقدار عددی سنج‌های عمومی مدل برای شبیه‌سازی جریان با روی‌کرد تخصیص سنج.

سنج‌های عمومی	نشانه	نشانه‌ی دیگر	واحد	مقدار تخصیص داده- مقدار واسنجی شده
جریان زیرسطحی	K <sub>i</sub>	K <sub>i</sub>	-	۰/۹
تصحیح رطوبت اولیه‌ی خاک	K <sub>ss</sub>	K <sub>s</sub>	-	۱
تصحیح و تبخیر و تعریق بتوان	K <sub>ep</sub>	K <sub>e</sub>	-	۱/۶
ضریب افت آب زیرزمینی	K <sub>g</sub>	K <sub>g</sub>	mm d <sup>-1</sup>	۰/۰۰۰۱
ذخیره‌ی اولیه‌ی آب زیرزمینی	G <sub>0</sub>	K <sub>gi</sub>	mm	۹۰
بیشینه‌ی ذخیره‌ی آب زیرزمینی	G <sub>max</sub>	K <sub>gm</sub>	mm	۹۰۰
توان روان‌آب سطحی	Krun	K <sub>m</sub>	-	۴
شدت بارندگی بیشینه	p <sub>max</sub>	K <sub>p</sub>	mm	۱۰۰
دمای پایه برای ذوب برف	T <sub>0</sub>	K <sub>t</sub>	°C	۰/۰۱
ضریب روز-دما	K <sub>snow</sub>	K <sub>td</sub>	mm°C <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	۱/۱
ضریب روز-درجه‌ی بارش	K <sub>rain</sub>		mm/mm°C <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	۰/۰۱

به میانگین اندازه‌های گرفته‌شده (مشاهده‌ی) است. رتبه‌بندی ضریب‌های نش-ساتکلیف (هنریکسن و همکاران ۲۰۰۳) در جدول ۲ نشان داده شده‌است. بر پایه‌ی این معیار ضریب‌های بیش‌تر از ۰/۵ نشان‌دهنده‌ی شبیه‌سازی خوب مدل است. بهترین مقدار برای معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا ۱ است، که نشان‌دهنده‌ی تطابق کامل آب‌نگارها است. در معیار بازبینی‌شده‌ی کلینگ-گوپتا به جای آلفا، گاما به‌کار برده می‌شود، که نسبت ضریب تغییر اندازه‌های شبیه‌سازی به اندازه‌های مشاهده‌ی است.

نتیجه‌های ارزیابی عمل‌کرد مدل با معیارهای ارزیابی نش-ساتکلیف و معیار جدید کلینگ-گوپتا (رابطه‌ی ۱) ارزیابی شد (گوپتا و همکاران ۲۰۰۹؛ کلینگ و همکاران ۲۰۱۲).

$$KGE=1-\sqrt{(r-1)^2+(a-1)^2+(B-1)^2}$$

r ضریب همبستگی میان داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گرفته، نسبت انحراف معیار اندازه‌های شبیه‌سازی به انحراف معیار اندازه‌های گرفته، و B نسبت میانگین اندازه‌های شبیه‌سازی

جدول ۲- رده‌های مربوط به اندازه‌ی نش-ساتکلیف و معیار تجمعی.

رده‌ها	خیلی ضعیف	ضعیف	خوب	خیلی خوب	عالی
نش-ساتکلیف	< ۰/۲۰	۰/۲۰ - ۰/۵۰	۰/۵۰ - ۰/۶۵	۰/۶۵ - ۰/۸۵	> ۰/۸۵

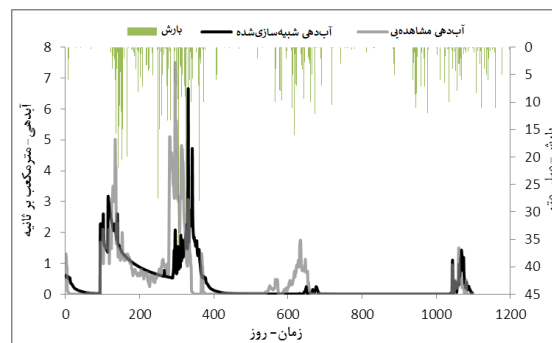
کشاورزی و ۱۳٪ از زمین مرتعی به بوته‌زار تبدیل می‌شود. بعد از اجرای اولیه‌ی مدل و شبیه‌سازی آب‌نگار جریان خروجی حوزه، با ثابت نگه‌داشتن اطلاعات ورودی و سنج‌های عمومی، مدل به ازای هر حالت کاربری تعریف‌شده اجرا شد (آذین‌مهر و همکاران ۲۰۱۶، دارایی و همکاران ۲۰۱۹). مدل آب‌نگار خروجی متناسب با شرایط جدید از کاربری زمین را شبیه‌سازی کرد، که با مشاهده‌ی اختلاف میان آب‌نگار خروجی حوزه در وضعیت موجود کاربری زمین و آب‌نگار به‌دست آمده از دیگر حالت‌ها، تغییر ناشی از تغییر کاربری مشاهده شد.

### نتایج و بحث

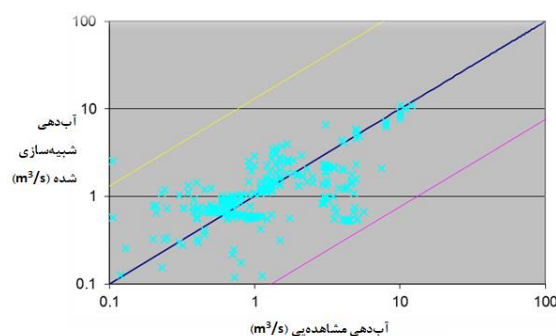
برای ارزیابی کارایی مدل و تسپا آب‌نگار شبیه‌سازی در مقایسه با آب‌نگار مشاهده‌ی در طول دوره‌ی آماری به شکل تصویری (شکل‌های ۳ و ۴) و آماری (جدول ۴) بررسی شد. مشاهده می‌شود که شبیه‌سازی با این مدل دقت نسبتاً خوبی دارد.

در حالت‌های کاربری تعریف‌شده در این پژوهش تغییری در کاربری اعمال شد که اجرای آن در واقعیت با توانایی زمین و شناسایی توان تغییر کاربری زمین آبخیز کارخانه ممکن باشد. با بررسی دقیق و حضور در منطقه، پوشش گیاهی، کاربری‌های منطقه و امکان تغییر کاربری شناخته و حالت‌های کاربری زمین با نرم‌افزار سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تهیه شد (شکل ۶). سه حالت کاربری تعریف‌شد.

در حالت اول که بدبینانه و نزدیک به وضعیت موجود است ۳٪ از مساحت زمین کشاورزی تبدیل به منطقه‌های مسکونی و ۷/۲۵٪ به زمین بی پوشش تبدیل می‌شود، و ۹۸/۶۱٪ از زمین بوته‌زار (شرق منطقه) تبدیل به زمین بی پوشش می‌شود. در حالت دوم که بسیار بدبینانه است، ۶٪ از مساحت زمین کشاورزی تبدیل به منطقه‌های مسکونی و ۱۴/۳۷٪ از آن به زمین بی پوشش تبدیل می‌شود، و ۹۸/۶۱٪ از زمین بوته‌زار (شرق منطقه) تبدیل به زمین بی پوشش می‌شود. در حالت سوم که خوش بینانه است، ۱۳٪ از مساحت زمین



شکل ۳- مقایسه‌ی تصویری آب‌دهی روزانه‌ی شبیه‌سازی و مشاهده‌ی در آبخیز کارخانه (۱۳۸۸-۱۳۸۵).



شکل ۴- نمایش لگاریتمی ابر نقطه‌های آب‌دهی مشاهده‌ی در برابر آب‌دهی شبیه‌سازی شده با تراز اطمینان ۹۵٪.

## تأثیر حالت‌های ممکن تغییر کاربری زمین بر روان‌آب با مدل و تسپا با...

کرد، و در همان حال به نتیجه‌های بهتری رسید و بی قطعیتی موجود را هم کاهش داد. در مرحله‌ی اعتبارسنجی روی کرد تخصیص سنجه با تغییر کم معیار نش-ساتکلیف و معیار کلینگ-گوپتا به ترتیب ۵۴/۶۹ و ۶۰٪ (جدول ۴) بود که نشان‌دهنده‌ی کارایی و ثبات روی کرد تخصیص سنجه است. بهره‌مند (۲۰۱۸) و بهره‌مند و همکاران (۲۰۲۰) نیز با مدل و تسپا در حوزه‌های گوناگون به نتیجه‌های مشابهی رسیدند. راه دیگر اثبات منطقی بودن نتیجه‌های روی کرد تخصیص سنجه توجه به تراز آب شبیه‌سازی شده است.

انطباق مناسب آب‌نگار شبیه‌سازی با آب‌نگار مشاهده‌ی در این حوزه نشان می‌دهد که کارایی شبیه‌سازی مدل و تسپا منطقی و مناسب است. معیارهای کارایی آماری نش-ساتکلیف و کلینگ-گوپتا نیز به ترتیب ۶۱/۲۴ و ۷۶ به دست آمد، که نشان‌دهنده‌ی کارایی خوب مدل در شبیه‌سازی فرآیندهای آب‌شناسی و جریان است. بهره‌مند (۲۰۱۸) و بهره‌مند و همکاران (۲۰۲۰) نیز نتیجه‌های مشابه گرفتند، که نشان می‌دهد از بررسی محدودیت‌های ارتباطی میان سنجه‌ها و فرآیندهای حاکم بر مدل می‌توان نیاز به واسنجی را بسیار کاهش داد، در وقت و هزینه صرفه‌جویی

جدول ۴- نتیجه‌های معیارهای کارایی مدل در دوره‌ی شبیه‌سازی در آبخیز کارخانه (درصد).

معیار کارایی	تخصیص سنجه	اعتبارسنجی
نش-ساتکلیف (NSE)	۶۱/۲۴	۵۴/۸۹
کلینگ-گوپتا (KGE)	۷۶	۶۰

شده‌ی سنجه‌های آب‌شناسی با مدل در کاربری زمین اعمال‌شده داده شد (شکل ۵). بعد از تغییر کاربری در حالت اول، آب‌دهی اوج  $6/7 \text{ m}^3/\text{s}$  و میانگین روان‌آب به ۶٪ از کل بارش رسید. چون کاربری حالت اول به وضع موجود شباهت داشت، آب‌دهی اوج آب‌نگار تغییری نسبت به وضع موجود نداشت (جدول ۶).

اندازه‌ی تراز تغییر حالت‌های کاربری زمین در مقایسه با وضعیت موجود در جدول ۵ نشان داده شده است (۱، ۲ و ۳). به دنبال اعمال هر کدام از حالت‌های کاربری زمین، سنجه‌های آب‌شناسی وابسته به پوشش گیاهی و کاربری زمین در رابطه‌بندی مدل که در چندین فرآیند آب‌شناسی حضور داشت، تغییر کرد. اندازه‌های شبیه‌سازی

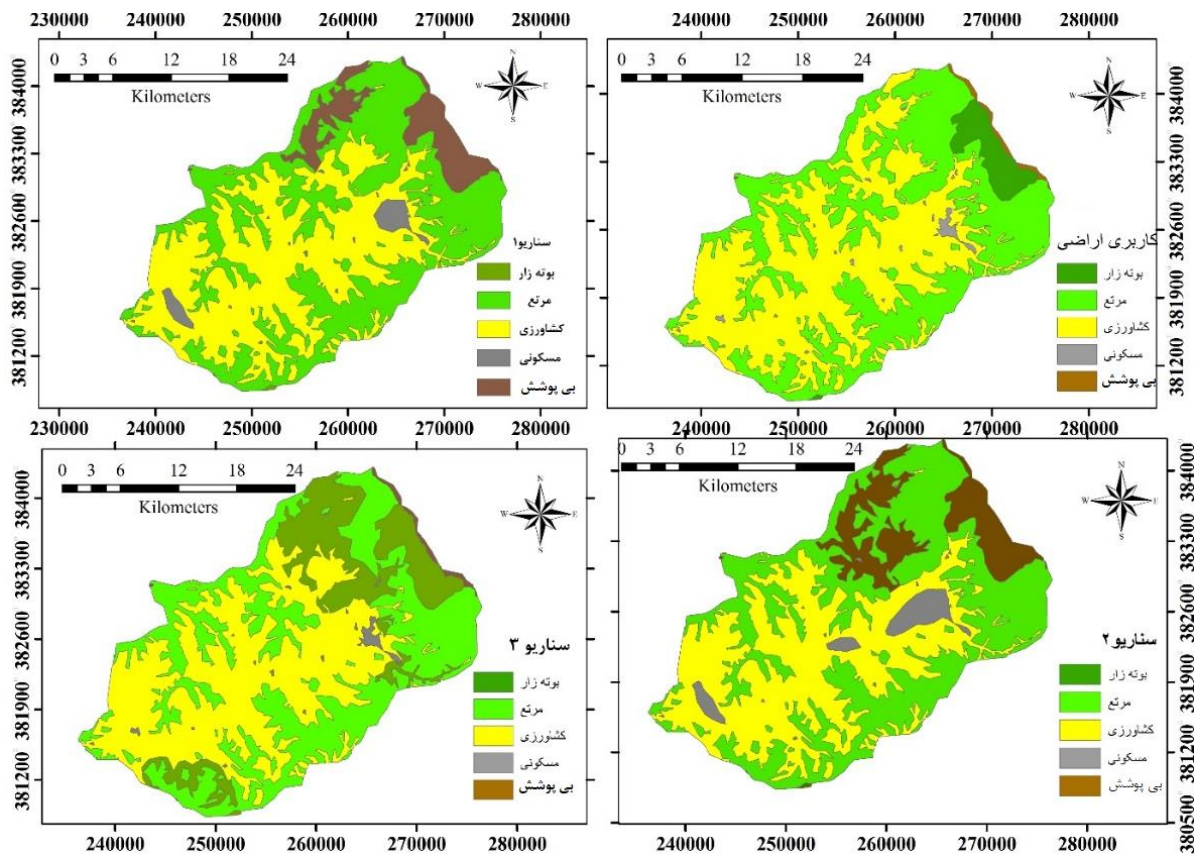
جدول ۵- تراز تغییر در حالت‌های کاربری زمین در مقایسه با وضعیت موجود در آبخیز کارخانه.

حالت	وضعیت موجود ( $\text{km}^2$ )	حالت ۱ ( $\text{km}^2$ )	حالت ۲ ( $\text{km}^2$ )	حالت ۳ ( $\text{km}^2$ )
سطح مرتع	۳۵۴	۳۵۴	۳۵۴	۳۰۸
سطح کشاورزی	۳۷۹	۳۴۰/۵	۳۰۳/۵	۳۳۰
سطح بی پوشش	۶	۶۹	۹۵	۶
سطح مسکونی	۶	۱۷	۲۸	۶
سطح بوته زار	۳۶	۰/۵	۰/۵	۱۳۱

جدول ۶- مقایسه‌ی اندازه‌های برخی سنجه‌های آب‌شناسی شبیه‌سازی شده در حالت‌های تغییر کاربری زمین (۱، ۲ و ۳) در آبخیز کارخانه.

حالت‌های کاربری زمین	آب‌دهی اوج ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	میانگین روان‌آب از کل بارش (٪)
وضعیت موجود	۶/۳۵	۵/۶۳
حالت ۱	۶/۷	۶
حالت ۲	۷/۳۵	۶/۲۴
حالت ۳	۵/۶۳	۵/۵



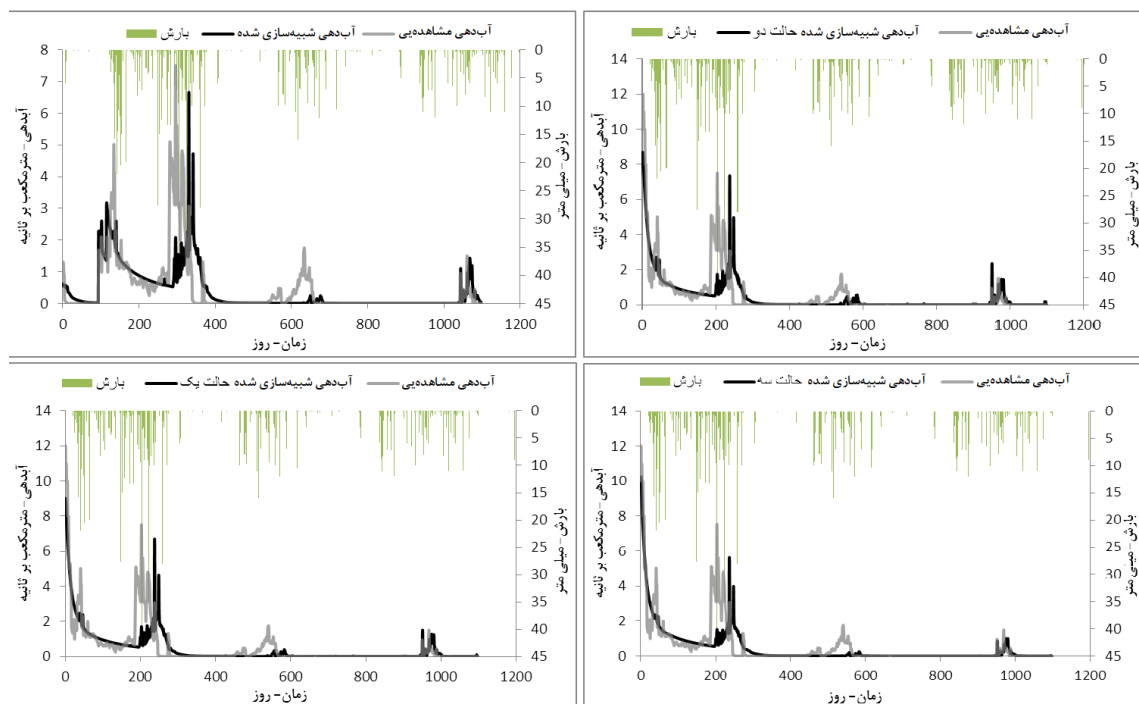


شکل ۵- نقشه‌های کاربری زمین، حالت‌های ۱، ۲ و ۳ در آبخیز کارخانه.

می‌شود، و در نتیجه حجم روان آب کاهش می‌یابد. ضریب زبری دامنه‌ها نیز با افزایش پوشش گیاهی زمین افزایش یافت، که در نتیجه‌ی آن زمان تمرکز جریان افزایش یافت، و بر شکل آبنگار تاثیر گذاشت. با مقایسه‌ی آبنگارهای جریان در هر حالت کاربری (شکل ۶) اثر تغییر کاربری بیش‌تر نمایان می‌شود. در حالت کاربری دو، افزایش جریان اوج و کاهش جریان پایه‌ی آب در نتیجه‌ی از میان رفتن پوشش زمین و کاهش نفوذپذیری خاک مشاهده شد، که با نتیجه‌های پژوهش بهره‌مند و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر نقش توسعه‌ی جنگل و تاثیر آن بر کاهش آلودگی اوج و افزایش زمان تا اوج هم راستا است. پژوهش بیش‌تر محققانی که تغییر کاربری زمین را با اندازه‌ی روان آب بررسی کرده‌اند، بر تغییر کردن وسعت جنگل و تبدیل شدن آن به دیگر کاربری‌ها بوده، و نشان داده‌اند که کاهش مساحت جنگل، افزایش روان آب را در پی داشته است (سعادت‌ی و همکاران ۲۰۰۶، وانگ و همکاران ۲۰۰۸). پژوهش در زمینه‌ی تغییر زمین کشاورزی و مرتع به دیگر کاربری‌ها بسیار محدود است، با این حال، این نتیجه‌ها با یافته‌های سعادت‌ی و همکاران (۲۰۰۶) در تغییر کاربری از جنگل و مرتع به زمین دیم، و مرتع به زراعت هم‌آهنگی دارد. نتیجه‌های این پژوهش با پژوهش‌های غفاری و همکاران (۲۰۰۹) نیز هم‌آهنگی دارد.

در حالت ۲ آلودگی اوج به  $7/35 \text{ m}^3/\text{s}$  رسید و روان آب  $6/24\%$  از کل بارش را شامل شد. چون این حالت در جهت منفی و پوشش‌زدایی است، آلودگی بیشینه رخ می‌دهد و در پی آن زمان تمرکز حوزه کاهش می‌یابد. باران به شکل روان آب از دسترس خارج می‌شود، و خاک حاصل‌خیز همراه سیلاب از حوزه خارج می‌شود. عنصرهای غذایی زمین‌های کشاورزی با گذشت زمان کم می‌شود، و زیان‌های جبران‌ناپذیری به آبخیز و محیط زیست وارد می‌شود. نتیجه‌های این پژوهش با نتیجه‌های لیو و همکاران (۲۰۰۵) مبنی بر افزایش آلودگی اوج و حجم سیلاب با گسترش یافتن زمین شهری و جنگل‌زدایی، جاویدان و همکاران (۲۰۱۸) بر اثر جنگل‌زدایی و افزایش منطقه‌های مسکونی بر روان آب، قاسمی‌امین و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر تخریب مرتع‌ها و افزایش آلودگی بیشینه و حجم روان آب، و آذین‌مهر و همکاران (۲۰۱۶)، محمدی و همکاران (۲۰۱۸)، و دارابی و همکاران (۲۰۱۹) هم‌آهنگی دارد.

در حالت سه، آلودگی اوج  $5/63 \text{ m}^3/\text{s}$  و روان آب  $5/5\%$  از کل بارش را تشکیل داد. با تغییر ایجاد شده در شرایط کاربری می‌توان استدلال کرد که هر چه به سوی حالت سه پیش روییم حجم و عمق ریشه افزایش می‌یابد، و این عامل‌ها باعث افزایش نفوذ آب در خاک، و افزایش ظرفیت ذخیره‌ی آب در خاک



شکل ۶- مقایسه‌ی تصویری روزانه‌ی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ی در آبخیز کارخانه در وضعیت موجود، حالت ۱، حالت ۲ و حالت ۳ (۱۳۸۵-۱۳۸۸).

### نتیجه‌گیری

نتیجه‌های به‌دست‌آمده از ارزیابی مدل و تسپا با رویکرد تخصیص سنج برای شبیه‌سازی آبنگار روزانه با معیار ارزیابی نش-ساتکلیف  $0.6/18\%$  و معیار کلینگ-گوپتای آن  $0.76\%$  بود. بر پایه‌ی این معیارها، کارایی مدل در رویکرد تخصیص سنج مناسب بود. اعتبارسنجی نشان داد که نتیجه‌های آن منطقی و باثبات است. رویکرد تخصیص سنج علاوه بر این که به شناخت فرد مدل‌ساز از فرآیند کمک می‌کند، می‌تواند زمان بسیار زیاد برای سعی و خطا یا واسنجی خودکار مدل را کاهش دهد. هرچند برای صرفه‌جویی در زمان می‌توان از رویکرد واسنجی خودکار بهره‌گرفت، زمانی که مدل به شکل خودکار واسنجی می‌شود، هدف الگوریتم واسنجی خودکار فقط این است که دو آبنگار شبیه‌سازی و مشاهده‌ی با هم منطبق شود، و توان تعیین منطقی سنج‌های مدل را ندارد، بنابراین سنج‌ها بسیار نامنطقی و دور از واقعیت تعیین می‌شود، و کمکی به فرد مدل‌ساز برای شناخت فرآیند نمی‌کند. از طرف دیگر این رویکرد به دانش ما از طبیعت کمک می‌کند تا بتوانیم هر سنجی مدل را بر پایه‌ی منطق، مستدل و مستند تعیین کنیم.

نتیجه‌های بررسی اثر تغییر کاربری زمین بر روان آب در آبخیز کارخانه نشان داد که تبدیل زمین مرتعی و کشاورزی به منطقه‌های بوت‌تزار و تبدیل آن به بی‌پوشش به همراه توسعه‌ی

منطقه‌های مسکونی (حالت خیلی بدبینانه‌ی ۲) به افزایش آبدهی بیشینه‌ی روان آب منجر شده است. اثرهای نامطلوب تغییر کاربری زمین تنها محدود به زمین جنگلی نیست، و تبدیل زمین مرتعی و کشاورزی به کاربری‌هایی که عامل حفاظت خاک آن‌ها (پوشش گیاهی) تنها در زمان محدودی از سال است، نیز ممکن است اثرهای مخرب بزرگی بر وضعیت اندوخته‌های آب منطقه بگذارد.

پیشنهاد می‌شود آزمایش‌های صحرایی و جمع‌آوری داده‌های دقیق از این منطقه برای افزایش دقت در مدل‌سازی توزیعی انجام شود، مدل برای دوره‌های طولانی‌تر اعتبارسنجی شود، و منطقه‌های پژوهشی با اقلیم متفاوت انتخاب شود تا با تکرار این پژوهش در آن، امکان مقایسه‌ی نتیجه‌های آن با پژوهش ما فراهم آید.

### سپاس‌گزاری

این مقاله از پایان‌نامه‌ی دکترای نویسنده‌ی اول به راهنمایی نویسنده‌ی دوم و مشاوره‌ی نویسندگان سوم و چهارم تهیه شده است. از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ی استان همدان، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، اداره‌ی منابع طبیعی استان همدان، و سازمان هواشناسی کشور، و اداره‌ی هواشناسی استان همدان تقدیر و تشکر می‌شود.

- Abaszade M, Yazdani MR, Zolfaghari AA, Mohammady M, Sadeghipour A. 2018. Effect of land use change on runoff yield using WetSpa model in the Firoozkooh Watershed Basin. *Watershed Management Research Journal*, 30(4): 35–46. (In Persian).
- Ahmad Yousefi S, Bahremand A, Sheikh V, Komaki CB. 2019. Determining the snow coefficient in order to simulate the snow melting in the Shemshak Watershed using the WetSpa model. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(47): 1–8. (In Persian).
- Antonetti M, Buss R, Scherrer S, Margreth M, Zappa M. 2016. Mapping dominant runoff processes: An evaluation of different approaches using similarity measures and synthetic runoff simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 20(3): 2929–2945.
- Antonetti M, Scherrer S, Kienzler PM, Margreth M, Zappa M. 2017. Process-based hydrological modelling: The potential of a bottom-up approach runoff prediction in ungauged catchments. *Hydrological Processes* 31(16): 2902–2920.
- Antonetti M, Zappa M. 2017. How can expert knowledge increase the realism of conceptual hydrological models? A case study in the Swiss Pre-Alps. *Hydrology and Earth System Sciences Discuss* 22(8): 4425–4447.
- Azinmehr M, Bahremand A, Kabir A. 2016. Parameter sensitivity and uncertainty analysis of the model WetSpa in the flow hydrograph simulation using PEST in Dinvar Basin Karkheh. *Journal of Watershed Management Research*, 7(13):72–82.
- Bahremand A, De Smedt Florimond C, Jan L, Yong B, Poorova J, Velcicka L, Kunikova E. 2007. WetSpa model application for assessing reforestation impacts on floods in Margecany Hornad Watershed Slovakia. *Water Resource Management*, 21(1): 1373–1391.
- Bahremand A, De Smedt F. 2008. Distributed hydrological modeling and sensitivity analysis in Torysa Watershed Slovakia. *Water Resources Management*. 22(3): 393–408.
- Bahremand A. 2016. HESS opinions advocating process modeling and de-emphasizing parameter estimation. *Hydrology and Earth System Sciences*. 20(4): 1433–1445.
- Bahremand A, Ahmad yousefi S, Sheikh VB, Komaki ChB. 2020. A parameter allocation approach for flow simulation using the WetSpa-Python model. *Hydrological Processes*. 2020: 1–18.
- Daraee S, Bahremand A, Karimi H. 2019. Evaluation of the effect of land use changes on subsurface flow using WetSpa model, Case study: Horo-Dehno Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 11(2): 392–407. (In Persian).
- Ghafari G, Ghodosi J, Ahmadi H. 2009. The effect of land use changes on watershed hydrology reactions, *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(1):163–180. (In Persian).
- Ghasemi Amin N, Arman N, Zeinivand H. 2018. Investigating the effects of land use change on the daily flow of the Nojian River with using Clue-s and WetSpa models. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 10(1): 14–27. (In Persian).
- Gupta HV, Kling H, Yilmaz KK, Martinez GF. 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1): 80–91.
- Henriksen HJ, Troldborg L, Nyegaard P, Sonnenborg TO, Refsgaard JC, Madsen B. 2003. Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for

- Denmark. *Journal of Hydrology*, 280 (2003): 52–71.
- Javidan N, Bahremand A, Javidan R, Onagh M, Komaki CB. 2018. Impacts of Land use changes scenarios on water balance components using WetSpa model (Case study: Ziarat Watershed of Golestan Province). *Journal of Watershed Management Research*, 9(17): 168–181.
- Kabir A, Mahdavi M, Bahremand A, Noora N. 2011. Application of a geographical information system (GIS) based hydrological model for flow prediction in Gorganrood River Basin. *Iran African Journal of Agricultural Research*, 6(1):35–45.
- Karimi H, Zeinivand H, Tahmasebipour N, Haghizadeh A, Miryaghoubzadeh M. 2016. Comparison of SRM and WetSpa models efficiency for snowmelt runoff simulation. *Journal of Environmental Earth Sciences*, 75(8): 664–680.
- Kavian A, Mohammadi M, Gholami L, Rodrigo-Comino J. 2018. Assessment of the spatiotemporal effects of land use changes on runoff and nitrate loads in the Talar River. *Journal of Water*, 10(4): 445–464.
- Kavian A, Javidan N, Bahrehmand A, Gyasi-Agyei Y, Hazbavi Z, Rodrigo-Comino J. 2020. Assessing the hydrological effects of land use changes on a catchment using the Markov chain and WetSpa models. *Hydrological Sciences Journal*, 65(15): 2604–2615.
- Kling H, Fuchs M, Paulin M. 2012. Runoff conditions in the upper Danube Basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 424(425): 264–277. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.01.011.
- Liu YB, Gebremeskel S, De Smedt F, Hoffman L, Pfister L. 2002. Flood prediction with the WetSpa model on catchment scale eds. Wu et al. *Flood Defense 2002*. Science Press. New York Ltd. pp. 499–507.
- Liu Y, Gebremeskel S, De Smedt F, Hoffmann L, Pfister L. 2003. A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. *Journal of Hydrology*. 283(1–4): 91–106.
- Liu YB, De Smedt F, Hoffmann L, Pfister L. 2005. Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. *Luxembourg Environmental Modeling and Assessment*, 9 (2004): 227–235.
- Miller SN, Kepner WG, Mehaffey MH, Hernandez M, Miller RC, Miller W. 2002. Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. *Journal of the American Water Resources Association*. 38(4): 915–929.
- Mohammady M, Moradi HR, Zeinivand H, Temme AJAM, Yazdani MR, Pourghasemi HR. 2018. Modeling and assessing the effects of land use changes on runoff generation with the CLUE-s and WetSpa models. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(2): 459–471.
- Moradipor Sh, Bahremand A, Zeinivand H, Najafinejad A. 2015. Distributed simulation of runoff in space and time using Wetspa model in Taleghan Watershed. *Journal of Watershed Management Research*. 6(12): 55–64. (In Persian).
- Saadati HAS, Gholami F, Sharifi SA, Ayoubzadeh. 2006. An investigation of the effects of land use change on simulating surface runoff using SWAT mathematical model (Case study: Kasilian Catchment Area). *Iranian Journal of Natural Resources*. 59(2): 301–313.
- Sadeghi SH, Ghasemieh H, Sadatinejad SJ. 2015. Simulation of stream flow using a hydrological Model-Distributed WetSpa (Case study: Navrud Basin). *JWSS-Isfahan University of Technology*, 19 (73): 23–33.
- Singh N, Punia M. 2018. Geospatial approach for land use/land cover change prediction (A case study of Bhagirathi Basin Uttarakhand INDIA.) In 42nd COSPAR Scientific Assembly. pp. 1–18.

- Wang S, Kang S, Zhang L, Li F. 2008. Modelling hydrological response to different land use and climate change scenarios in the Zamu River basin of northwest China. *Journal of Hydrological Processes*. 22(14): 2502–2510.
- Ying C, Youpeng X, Yixing Y. 2009. Impact of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China. *Quaternary International*. 2009(208):121–128.
- Zeinivand H, De Smedt F. 2009. Hydrological modeling of snow accumulation and melting on river basin scale. *Water Resources Management*. 23(11): 2271–2287.



## ***Watershed Management Research***

VOL. 35, No.1, Ser. No: 134, Spring 2022, pp. 105-118

DOI: 10.22092/WMRJ.2021.355416.1428

Research Paper



# **The Effect of Land Use Change Scenarios on Runoff Using WETSPA Model with Parameter Allocation Approach in Karkhane Watershed, Hamedan Province**

### **Maryam Dashtimarvili**

(Corresponding Author)\* Ph.D. Student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

### **Abdolreza Bahremand**

Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

### **Mohsen Hoseinalizadeh**

Associate Prof., Dept. of Watershed and Desert Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

### **Meysam Salarijazi**

Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

Corresponding Author Email: maryamdashti90@yahoo.com

Received: 26 August 2021

Accepted: 06 October 2021

### **Abstract**

The most important human impact on the hydrological cycle of watershed is land use change. Improper management of land use increases the volume of runoff and the frequency of floods. The main purpose of this study is to investigate the effect of land use change on discharge outflow in Karkhane Watershed using the Parameter Allocation Approach. Then, utilizing the philosophy of a modelling framework proposed by Bahremand (2016), we show how calibration of most model parameters can be avoided by allocating or presetting these parameters utilizing knowledge gained from sensitivity analyses, field observations and a priori specifications as a part of a parameter allocation procedure. Evaluation of the WetSpa model performance using the Allocation Parameter Approach to simulate the daily hydrograph based on the Nash-Sutcliffe and Kling-Gupta showed that the values of these criteria are 60.18 percent and 76 percent respectively. Based on this efficiency criterion, the model in the parameter allocation approach has a good performance and shows consistency in the validation period. The results showed that land use change affects the runoff of the Karkhane watershed so that in the pessimistic scenario 2, the peak discharge has increased by 15.74% and in the optimistic scenario 3; the peak discharge has decreased by 11.33.

**Keywords:** Hamedan province, land use change, parameter allocation, runoff, WetSpa model