پژوهش‌های آبخیزداری
(پژوهش و سازندگی)
شماره ۱۱۳، زمستان ۱۳۹۵

ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری به‌منظور تعیین الگوی مکانی بهینه‌ی اقدامات آبخیزداری (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز سد طالقان)

•حمزه نور*
(نویسنده مسئول) بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
•مهدی وفاخواه
گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
•مهنوش مقدسی
گروه مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۴

* Corresponding Email: H.Noor@areeo.ac.ir

چکیده

اقدامات آبخیزداری شامل ایجاد، بهبود و حفاظت پوشش گیاهی با هدف کاهش رواناب سطحی در سطح حوزه‌های آبخیز صورت می‌گیرد. پیشنهاد اقدامات آبخیزداری در مقیاس حوزه آبخیز نیازمند توازن بین مسائل مالی و هیدرولوژیک از طریق استفاده از روش‌های بهینه‌سازی است. در این پژوهش یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری (SWAT-GA) با هدف بهینه‌سازی محل اجرای اقدامات مدیریتی آبخیزداری شامل بهبود پوشش گیاهی مراتع به‌منظور کاهش حداقل ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد رواناب سطحی، ایجاد شده است. این سامانه تصمیم‌گیری به صورت هم‌زمان به‌دنبال حداقل نمودن هزینه اجرای اقدامات پیشنهادی در حوزه آبخیز می‌باشد. این سامانه برای شبیه‌سازی رواناب و اثر اقدامات آبخیزداری در سطح حوزه آبخیز از مدل هیدرولوژیک SWAT استفاده می‌نماید، هم‌چنین در این سامانه الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک روش بهینه‌سازی استفاده شده است. این سامانه در حوزه آبخیز طالقان با مساحت حدود ۹۴۰ کیلومتر مربع واقع در رشته کوه البرز مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای کاهش حداقل ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد رواناب سطحی می‌باید در ۲۲، ۳۵، ۴۸ و ۶۲ درصد از حوزه آبخیز طالقان عملیات بیولوژیک آبخیزداری انجام داد. هم‌چنین حداکثر کاهش و افزایش رواناب پس از اجرای اقدامات پیشنهادی به ترتیب در فصل بهار و تابستان روی داده است. مدیران با استفاده از این ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری قادرند بر اساس مقادیر هدف هیدرولوژیک گزینه بهینه اقدامات مدیریتی را انتخاب نمایند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی توزیعی، آبخیز سد طالقان، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز

Decision Support Tool for Determination of WMPs Optimal Pattern (Case Study: Taleghan Reservoir Dam Watershed)

Hamzeh Noor
(Corresponding Author) Soil Conservation and Watershed Management Department, Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Centre, Mashad, Iran
Mehdi Vafakhah
Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
Mahnoosh Moghaddasi
Department of Water Engineering, College of Agriculture, Arak University, Arak, Iran

Abstract

Watershed management practices (WMPs) include methods to create, enhance, and maintain vegetation to reduce surface runoff in the watershed. The implementation of WMPs at the watershed scale is an ongoing challenge that needs to take into account trade-offs between hydrological and economic objectives using optimization algorithm. This research demonstrate a methodology and decision support tool that suggests the optimal location of biological watershed management practices (including improvement rangeland cover) which minimize the cost and simultaneously reduce surface runoff to target levels cases (i.e. %20 ,%15 ,%10 and, %25) at watershed scale. The decision support tool (SWAT-GA) consists of a semi-distributed hydrologic model, Soil and Water Assessment Tool (SWAT) which simulation of runoff in watershed, a genetic algorithm (GA), which serves as the optimization engine for the location of biological watershed management practices across the rangeland of the watershed. The proposed method was then applied to Taleghan watershed with an approximate area of 900 km2 that located in Alborz Mountain, Iran. Results indicate watershed management practices should use in %48 ,%35 ,%22 and %62 of total area of watershed to reduction %20 ,%15 ,%10 and %25, respectively. The maximum decrease and increase runoff after the implementation of WMPs have been occurring in the spring and summer, respectively. Using this decision support tool, for each level of target goals, decision makers can select the optimal combination of watershed management practices.

Keywords: Integrated Watershed Management, Optimization Methods, Genetic Algorithm, Taleghan Dam Watershed

مقدمه

افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به منابع جدید موجب فشار مضاعف بر منابع طبیعی و تخریب آن شده است به‌گونه‌ای که تخریب منابع طبیعی یکی از معضلات قرن حاضر می‌باشد (Vafakhah, Mohseni Saravi, 2011). در این راستا آبخیزداری با استفاده از مجموعه اقدامات سازه‌ای، بیولوژیک و مدیریتی به‌دنبال بهبود شرایط هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز با توجه به وضعیت اقتصادی و اجتماعی ذینفعان می‌باشد (Sadoddin, Sheikh, Mostafazadeh, Halili, 2010). دلایل فراوانی در زمینه ضرورت مطالعه تأثیرگذاری مکانی اقدامات آبخیزداری برای درک فرایندهای هیدرولوژی و تدوین استراتژی‌های مدیریتی وجود دارد، بر این اساس، شبیه‌سازی و پیش‌بینی اثرات الگوهای مکانی اقدامات آبخیزداری مورد توجه پژوهش‌گران و

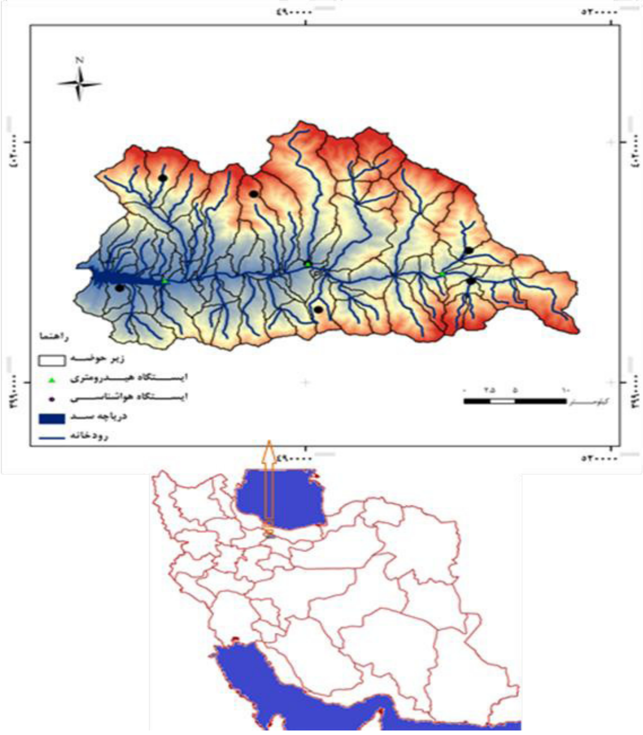
تصمیم‌گیران قرار گرفته است. باید توجه داشت که تمامی قسمت‌های حوضه نیازمند اجرای اقدامات آبخیزداری نمی‌باشند و از سوی دیگر پیچیدگی‌های موجود در حوزه‌های آبخیز به‌همراه مسائل مالی مانع اجرای این اقدامات در تمامی عرصه‌های آبخیز می‌گردد (Giri, Nejadhashemi, Woznicki, Zhang, 2014). در این راستا پژوهشگران انتخاب الگوی مناسب اقدامات آبخیزداری را عامل موفقیت اجرای این طرح‌های می‌دانند و مطالعات بسیاری به‌منظور شناسایی الگوی مناسب طرح‌های آبخیزداری در مناطق مختلف گزارش شده است.

از آنجایی‌که پیشنهاد الگوی مکانی اقدامات آبخیزداری در مقیاس حوزه آبخیز نیازمند توازن بین مسائل مالی و هیدرولوژی است، لذا روش‌های بهینه‌سازی، به‌منظور طرح‌ریزی هم‌زمان اقدامات مدیریت آبخیز و مسائل هیدرولوژی ارائه شدند. پیچیدگی‌های موجود در حوزه‌های آبخیز به‌همراه محدودیت منابع باعث استفاده گسترده از روش‌های بهینه‌سازی در سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری به‌عنوان یکی از ابزارهای مدیریتی شده است (Karamouz, Taheriyoun, Baghvand, Tavakolifar, Emami, 2010). انتخاب الگوی اجرای اقدامات آبخیزداری معمولاً به‌صورت مسائل بهینه‌سازی گسسته، غیر خطی، دارای فضای جستجوی بزرگ و چندین تابع هدف می‌باشند (Kaini، Artita و Nicklow، 2012). بنابراین شناسایی مناطق مناسب و مؤثرترین و در عین حال کم هزینه‌ترین راهکارها برای رسیدن به اهداف متصور از اهداف مدیریت آبخیز می‌باشد. در این راستا استفاده از مدل‌های هیدرولوژی توزیعی و الگوریتم‌های جستجو در مدیریت آبخیز بسیار مفید می‌باشد. از این‌رو تحقیقات بسیاری با استفاده از رویکرد مذکور و ایجاد سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری اقدام به تخصیص اقدامات مدیریتی مختلف به بخش‌های گوناگون آبخیز نمودند.در این راستا Nicklow و Muleta (۲۰۰۱) یک برنامه برای تعیین الگوی مکانی اقدامات آبخیزداری با استفاده از مدل SWAT و الگوریتم ژنتیک تک هدفه توسعه دادند. Srivastava و همکاران (۲۰۰۲) نیز امکان بهینه‌سازی محل اجرای اقدامات آبخیزداری در رودخانه آبخیز Mahantango واقع در امریکا را با استفاده از تلفیق مدل‌های هیدرولوژی و بهینه‌سازی ارزیابی نمودند. در ادامه Arabi و همکاران (۲۰۰۶) به‌منظور انتخاب الگوی مناسب اجرای اقدامات آبخیزداری در سطح حوزه آبخیز از دو روش بهینه‌سازی و مبتنی بر سناریو استفاده نمودند. هم‌چنین Maringanti و همکاران (۲۰۰۹) یک برنامه بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی چندهدفه به‌منظور شناسایی الگوی مناسب اجرای اقدامات آبخیزداری در مناطق کشاورزی حوزه آبخیز Anguille ارائه نمودند. Artita و همکاران (۲۰۱۳) نیز به‌منظور تعین نوع و محل اجرای بهترین اقدامات مدیریتی با هدف کاهش رواناب و رسوب در یک حوزه آبخیز در ایلیسون با مساحت ۱۱۸۹ کیلومترمربع از مدل SWAT و الگوریتم تک هدفه SCGA استفاده نمودند. Skardi و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه کلونی مورچگان، مدل SWAT و شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور انتخاب تعداد و محل مناسب حوضچه‌های نگهدارنده ارائه نمودند. در نهایت Noor و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و مدل SWAT یک سامانه به‌منظور انتخاب نوع و محل اجرای اقدامات آبخیزداری ایجاد نمودند.

پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی می‌توان الگوی مناسب اقدامات آبخیزداری را به‌شکلی انتخاب کرد که بر اساس محدودیت‌های موجود نسبت به کاهش رواناب اقدام نمود و در عین حال طرح‌های پیشنهادی دارای کم‌ترین هزینه متصور باشد. بنابراین، با توجه به تولید بالای رواناب سطحی در اغلب آبخیزهای ایران پیداست که کاربرد علم بهینه‌سازی و ایجاد سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در این زمینه لازم و ضروری است. بدین‌منظور پژوهش حاضر با هدف ایجاد یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری با استفاده از مدل هیدرولوژیک SWAT و الگوریتم ژنتیک طرح ریزی شده است. این سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری به‌دنبال یافتن پاسخ‌های بهینه با حداقل هزینه اجرای اقدامات مدیریتی (شامل بهبود پوشش مراتع) در چهار سناریوی کاهش حداقل ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد رواناب سطحی در حوزه آبخیز طالقان و بررسی اثر این سناریوها بر دبی ماهانه طالقانرود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) حوزه آبخیز بالا دست سد طالقان با مساحت حدود ۹۴۰ کیلومترمربع و بین عرض جغرافیایی ۳۶°۰۵´۳۰˝ تا ۳۶°۱۱´۱۵˝ شمالی و طول جغرافیایی ۵۰°۴۵´۰۰˝ تا ۵۱°۱۱´۲۲˝ شرقی می‌باشد. حداکثر و حداقل ارتفاع آبخیز طالقان به ترتیب ۴۳۷۰ و ۱۷۰۷ متر از سطح دریا بوده و ارتفاع متوسط منطقه نیز ۲۷۳۴ متر از سطح دریا است همچنین ۵۰ درصد حوزه آبخیز طالقان دارای شیب بالای ۴۰ درصد است. از نظر کاربری اراضی بیش از ۸۵ درصد این حوزه آبخیز مرتع می‌باشد که از این بین بیش از ۶۰ درصد مراتع دارای پوشش ضعیف و ۴۰ درصد نیز دارای پوشش گیاهی متوسط می‌باشند. وسعت مراتع و وضعیت ضعیف پوشش گیاهی آنها لزوم اجرای اقدامات بیولوژیک به‌ویژه بهبود پوشش گیاهی مراتع این آبخیز را دوچندان می‌نماید. از طریق این اقدامات از یک سو رواناب سطحی کنترل می‌گردد و از سوی دیگر از لحاظ اکولوژیک و اقتصادی برای منطقه مفید خواهد بود.



شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز طالقان و ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده در پژوهش حاضر

مدل هیدرولوژیک SWAT

توانایی کمی کردن اثرات نوع و الگوی مکانی سناریوهای آبخیزداری بر مؤلفه‌های مختلف جریان پیش شرط استفاده از هر روشی در مدیریت جامع آبخیز می‌باشد. مدل SWAT ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی اثرات عملیات مدیریت حوزه آبخیز بر رواناب، رسوب معلق و آلاینده‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای می‌باشد (Arnold, Srinivasan, Muttiah, Williams, 1998). این مدل از لحاظ زمانی پیوسته و در مقیاس مکانی نیمه توزیعی است. ورودی‌های اصلی مورد نیاز مدل، شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع، خاک‌شناسی، کاربری اراضی منطقه و داده‌های اقلیمی می‌باشد. محاسبه بیلان آبی در مدل SWAT از طریق رابطه ۱ صورت می‌گیرد (آرنولد و همکاران، ۱۹۹۸؛ نیچ و همکاران، ۲۰۰۹).

$$SWt = SWo + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - Ea - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (۱)$$

که در آن SWt مقدار آب نهایی موجود در خاک (میلی‌متر)، SWo مقدار اولیه آب موجود در خاک (میلی‌متر)، t زمان بر حسب روز، Rday مقدار بارش در روز i (میلی‌متر)، Qsurf مقدار رواناب سطحی در روز i (میلی‌متر)، Ea مقدار تبخیر و تعرق در روز i (میلی‌متر)، Qgw مقدار آب نفوذی به لایه فوقانی در روز i (میلی‌متر) می‌باشد. در مدل SWAT مقدار کل آب حاصل از بارندگی به اجزای مختلفی تبدیل می‌گردد که شامل آب موجود در خاک، جریان زیر قشری و زیر زمینی، تبخیر و تعرق و رواناب سطحی یا رواناب مستقیم می‌باشد. در این بین کاهش رواناب سطحی و تبدل آن به اجزای دیگر سیکل هیدرولوژی از اهداف آبخیزداری می‌باشد.

SWAT در ابتدا آبخیز را به چندین زیرحوضه تقسیم می‌کند، هر زیرحوضه خود به واحدهای همسان از نظر خصوصیات خاک و کاربری اراضی تفکیک می‌گردد. این واحدهای مکانی همگن از نظر ژئومورفولوژیکی و ویژگی‌های هیدرولوژی، واحدهای واکنش هیدرولوژیکی (HRU) نامیده می‌شود. (Neitsch, Arnold,Kiniry, King, Williams, 2009). در این تحقیق داده‌های هواشناسی شامل بارش و درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه از طریق ایستگاه‌های ارائه شده در شکل ۱ به‌دست آمد. سایر اطلاعات مورد نیاز شامل مدل رقومی ارتفاع، خاک‌شناسی و پوشش گیاهی می‌باشد. مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور تهیه گردید. نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۸۹ با استفاده از تصاویر TM و استفاده از نقاط کنترل زمینی انتخاب شده در بازدید میدانی، تهیه شد. جهت تهیه نقشه رقومی خاک و اطلاعات مربوط به خاک‌شناسی حوضه از نقشه‌ها و گزارش خاک‌شناسی طرح مطالعات جامع حوزه

آبخیز طالقان اســتفاده شد. در این پژوهش به‌منظور آنالیز حساسیت، واســنجی و آنالیز عدم قطعیت مــدل SWAT از روش SUFI-۲ اســتفاده گردید. الگوریتم SUFI-۲ (Abbaspour ، 2009) یکــی از پرکاربردتریــن روش‌های واســنجی و آنالیز عــدم قطعیت مدل SWAT می‌باشــد. در این پژوهش از داده‌های ســه ایستگاه هیدرومتری ارائه شــده در شکل ۱ شــامل دهدر، جوستان و گلینک به‌ترتیب با مســاحت حــدود ۵۰، ۴۲۰ و ۸۰۵ کیلوکتر مربع به‌منظور واسنجی و ارزیابی کارایی مدل استفاده گردید.

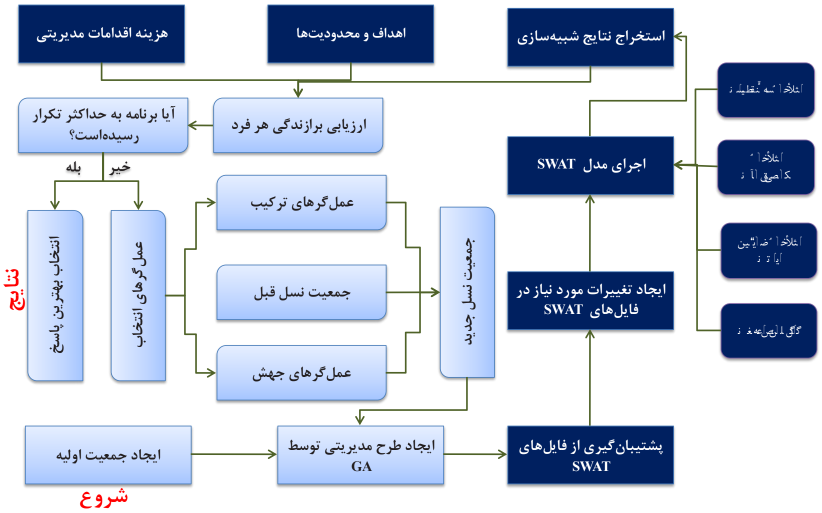
طراحی مسئله بهینه‌سازی

در دهــه اخیر اســتفاده از الگوریتم ژنتیــک در مدیریت منابع طبیعی آغاز و رشــد گسترده ای داشــته است. دلیل این امر توانایی الگوریتم ژنتیک در حل مســائل غیرخطی، غیر محدب و غیر پیوسته می‌باشد (Maringanti، Chaubey و Popp، ۲۰۰۹). در این پژوهش، هر کروموزوم در الگوریتم ژنتیــک نماینده یک طرح مدیریتی برای آبخیــز اســت (Artita، Kaini و Nicklow، ۲۰۱۳). طول هر کروموزرم متأثر از تعداد ژن-ها و نشــان دهنــده متغیرهای تصمیم مســئله می‌باشــد (Srivastava، Hamlett، Robillard و Day، ۲۰۰۲). در ایــن حالت ژنوتیپ ترتیــب عددی ژن‌ها در یک فــرد و فنوتیپ نیز نشــان دهنده الگوی مکانــی اقدامات خواهد بود. شکل ۲ نشان دهنده یک کروموزوم فرضی است که در آن A بیانگر ژن‌های تشــکیل دهنده کروموزوم و دلالت بــر انجام یا عدم انجام عملیــات j در زیر حوضه i دارد. در این پژوهش نیازمند ایجاد برنامه الگوریتم ژنتیک صفر و یک می‌باشــد که در آن اختصاص عدد صفر به یک ژن نشــان دهنده عدم اجرای عملیــات بیولوژیک مرتعکاری در مراتــع زیــر حوضــه i دارد و تخصیص عدد یــک برای یک ژن دلالت بــر انجام عملیات بیولوژیک مرتعکاری در مراتع زیر حوضه i دارد (کاراموز و همــکاران، ۲۰۱۰؛ پاناگاپولوس و همکاران، ۲۰۱۲). تعداد ژن‌های هر کروموزوم یا بعبارتی متغیرهای تصمیم (n) در این پژوهش برابر با تعداد زیر حوزه‌ها ضرب‌در تعداد اقدامات مدیریتی مد نظر می‌باشد و تعداد کل حالت‌های ممکن برابر با n۲ یا ۲۸۵ خواهد بود (Sadoddin و همکاران، ۲۰۱۰؛ Karamouz و همکاران، ۲۰۱۰؛ Maringanti و همکاران، ۲۰۱۱).

$A_{1,j}$	$A_{2,j}$	$A_{i,j}$	..	$A_{n,m}$

شکل ۲- نمایش فرضی یک کروموزوم و نحوه ترکیب ژن‌ها در آن

هم‌چنیــن نحوه کار ســامانه پشــتیبان تصمیم‌گیری ایجاد شــده در این پژوهش از تلفیق مــدل SWAT و الگوریتم ژنتیک در محیط MATLAB و ارتباطات درونی اجزای آن در شــکل ۳ ارائه شــده است.


هزینه اقدامات مدیریتی
اهداف و محدودیت‌ها
استخراج نتایج شبیه‌سازی
آیا برنامه به حداکثر تکرار رسیده‌است؟
ارزیابی برازندگی هر فرد
اجرای مدل SWAT
بله
خیر
عمل‌گرهای ترکیب
جمعیت نسل قبل
عمل‌گرهای جهش
جمعیت نسل جدید
انتخاب بهترین پاسخ
عمل‌گرهای انتخاب
نتایج
ایجاد تغییرات مورد نیاز در فایل‌های SWAT
ایجاد جمعیت اولیه
ایجاد طرح مدیریتی توسط GA
پشتیبان‌گیری از فایل‌های SWAT
شروع

شکل ۳ سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل هیدرولوژیک SWAT

نتایج و بحث

واسنجی مدل SWAT

پیش نیاز اجرای مدل SWAT، آماده‌سازی داده‌ها در محیط ArcSWAT و منطبق با راهنمای مدل (Neitsch و همکاران، ۲۰۱۱) می‌باشد. در مرحله اول مدل رقومی ارتفاع منطقه برای مدل تعریف گردید. سپس با مشخص نمودن نقطه خروجی آبخیز زیرحوضه‌ها مشخص و مشخصات فیزیوگرافی آن‌ها محاسبه شد. در مرحله بعد به‌منظور تهیه واحدهای پاسخ هیدرولوژی نیازمند تعریف مشخصات خاک‌شناسی و کاربری اراضی منطقه به مدل می‌باشد. بنابراین لازم است در ابتدا اطلاعات توصیفی هر واحد خاک‌شناسی به‌صورت مجزا وارد بانک داده‌های مدل گردد. در ادامه نقشه کاربری اراضی نیز بر اساس راهنمای مدل، در ۷ کلاس مختلف تهیه و کد مربوط به هر کاربری در جدول توصیفی بانک داده‌های مدل وارد شد. هم‌چنین به‌منظور اجرا و واسنجی مدل SWAT، دوره شش ساله تحقیق به سه قسمت شامل آماده سازی مدل (یک سال)، اجری مدل (سه سال) و واسنجی مدل (دو سال) تقسیم شد (Abbaspour، ۲۰۱۱). مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در ایستگاه-های مورد برای دوره اعتبارسنجی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ آماره‌های ارزیابی مدل SWAT در مرحله اعتبارسنجی در حوزه آبخیز طالقان

نام ایستگاه	معیار ارزیابی	
	ضریب تبیین	ضریب نش
دهدر	۰/۷۸	۰/۷۰
جوستان	۰/۷۸	۰/۷۳
گلینک	۰/۸۵	۰/۸۰

ایجاد الگوهای مکانی اجرای اقدامات آبخیزداری توسط برنامه SWAT-GA

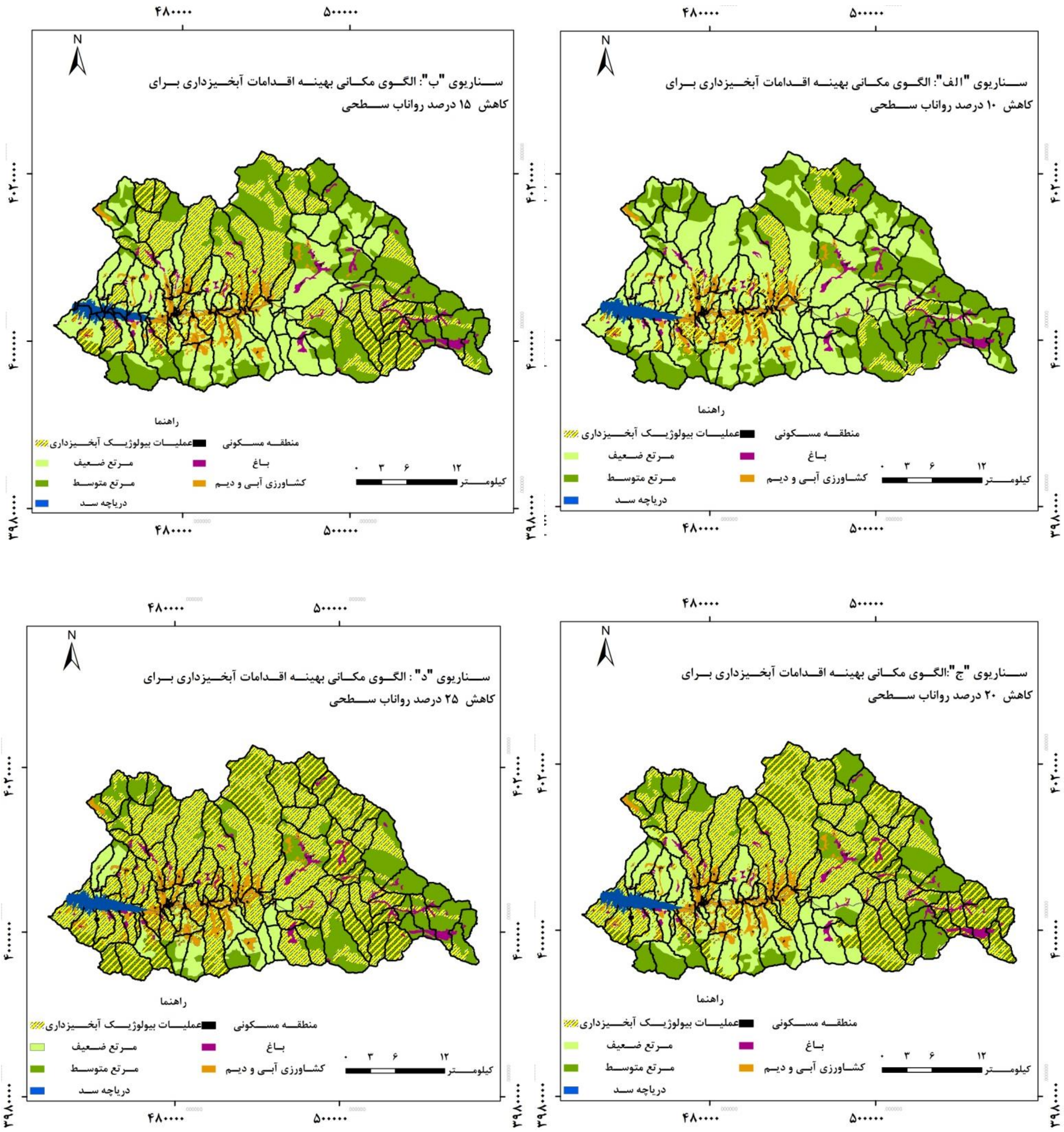
پس از انجام تنظیمات لازم برنامه SWAT-GA آماده اجرا شد، بنابراین بهینه‌سازی با توجه به سناریوهای چهارگانه تعریف شده در جدول ۲ مد نظر قرار گرفت و نتایج آن نیز در شرایط آغازین و انتهایی بهینه‌سازی در این جدول مقایسه شدند. هم‌چنین در شکل ۴ الگوی مکانی بهینه برای ۴ سناریوی کاهش رواناب سطحی منتج از برنامه SWAT-GA ارائه شده است.

جدول ۲ عملکرد الگوریتم ژنتیک در یافتن پاسخ‌های بهینه برای سناریوهای مد نظر پژوهش حاضر

نام سناریو	درصد کاهش رواناب سطحی	نسبت مساحت*	نسبت هزینه**
سناریوی "الف"	۱۰	۱/۳۱	۱/۲۶
سناریوی "ب"	۱۵	۱/۱۸	۱/۱۹
سناریوی "ج"	۲۰	۱/۱۲	۱/۱۳
سناریوی "د"	۲۵	۱/۱	۱/۰۸

*نشان دهنده نسبت مساحت اقدامات مدیریتی بهینه در جمعیت اولیه به جمعیت نهایی در الگوریتم ژنتیک می باشد

**نشان دهنده نسبت هزینه اقدامات مدیریتی بهینه در جمعیت اولیه به جمعیت نهایی در الگوریتم ژنتیک می باشد


سناریوی "الف": الگوی مکانی بهینه اقدامات آبخیزداری برای کاهش ۱۰ درصد رواناب سطحی

سناریوی "ب": الگوی مکانی بهینه اقدامات آبخیزداری برای کاهش ۱۵ درصد رواناب سطحی

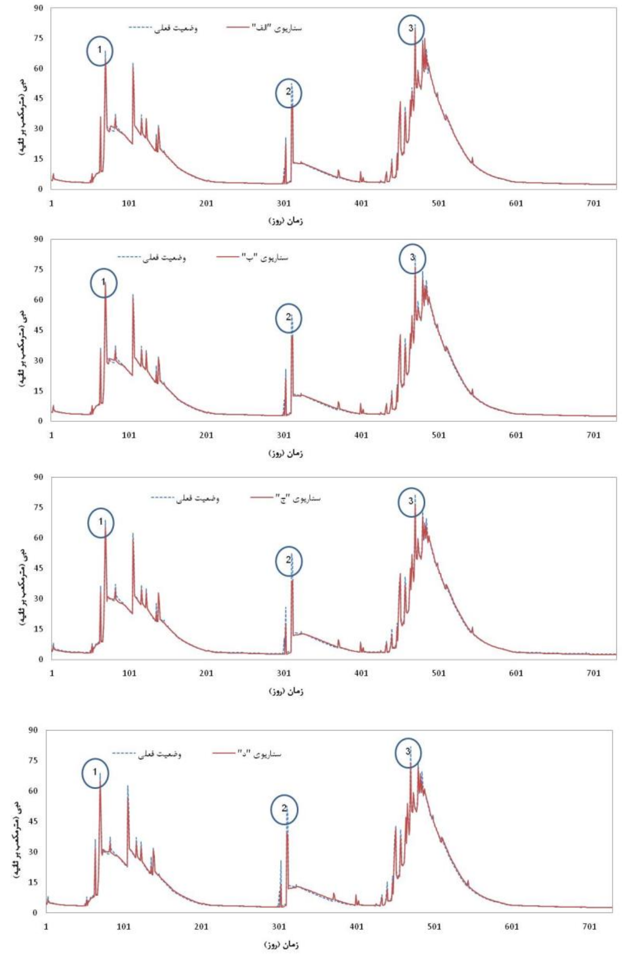
سناریوی "ج": الگوی مکانی بهینه اقدامات آبخیزداری برای کاهش ۲۰ درصد رواناب سطحی

سناریوی "د": الگوی مکانی بهینه اقدامات آبخیزداری برای کاهش ۲۵ درصد رواناب سطحی

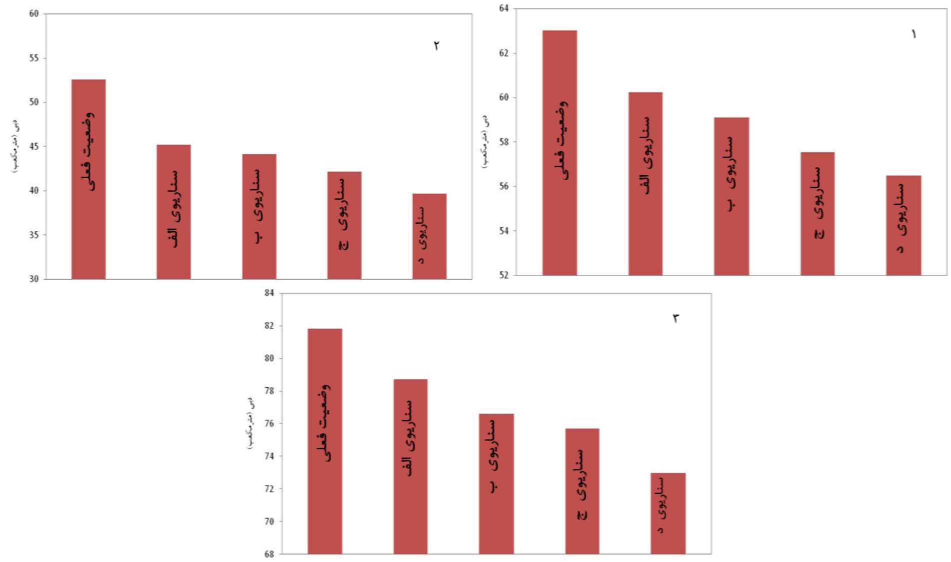
N
۴۸۰۰۰۰
۵۰۰۰۰۰
۴۰۲۰۰۰۰
۴۰۰۰۰۰۰
۳۹۸۰۰۰۰
راهنما
عملیات بیولوژیک آبخیزداری
منطقه مسکونی
مرتع ضعیف
باغ
مرتع متوسط
کشاورزی آبی و دیم
دریاچه سد
۰ ۳ ۶ ۱۲
کیلومتر

شکل ۴ الگوی مکانی بهینه اقدامات آبخیزداری در ۴ سناریوی کاهش رواناب سطحی

در ادامه تاثیر انجام سناریوهای مختلف ایجاد شده در پژوهش حاضر بر سه دبی اوج روزانه در ایستگاه هیدرومتری گلینک بررسی و نتایج در شکل ۵ و ۶ ارائه شد.



شکل ۵ سری زمانی دبی روزانه قبل و بعد از اجرای سناریوهای آبخیزداری در آبخیز طالقان



شکل ٦ تاثیر سناریوهای چهارگانه کاهش رواناب سطحی بر سه دبی حداکثر روزانه حوزه آبخیز طالقان
(۱، ۲ و ۳ به ترتیب نشان‌دهنده روزهای مشخص شده در شکل ۲ می‌باشند)

بحث

تحلیل کارایی SWAT

نتایج ارزیابی صحت مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی سه ایستگاه هیدرومتری گلینک، جوستان و دهدر در مرحله واسنجی بر اساس معیار نش-ساتکلیف به‌ترتیب ۰/۸۰، ۰/۷۳ و ۰/۷۰ و برای دوره اعتبارسنجی نیز ۰/۷۸، ۰/۶۷ و ۰/۶۵ حاصل شد (جدول ۱). هم‌چنین مقدار ضریب تبیین برای این سه ایستگاه در مرحله واسنجی به‌ترتیب ۰/۸۵، ۰/۷۸ و ۰/۷۵ و در مرحله اعتبارسنجی ۰/۸۲، ۰/۷۵ و ۰/۷۲ به‌دست آمد. Moriasi و همکاران (۲۰۰۷) طبقه‌بندی توصیفی برای ضریب نش-ساتکلیف در شبیه‌سازی جریان توسط مدل SWAT ارائه نمودند. بر این اساس مقدار معیار نش-ساتکلیف بین ۰/۷۵ تا ۱ در طبقه «خیلی خوب»، ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ در طبقه «خوب» و ۰/۵۰ تا ۰/۶۵ در طبقه «قابل قبول» قرار دارد. بر این اساس شبیه‌سازی در ایستگاه گلینک در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی «خیلی خوب» می‌باشد. هم‌چنین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ و طبقه‌بندی Moriasi و همکاران (۲۰۰۷)، شبیه‌سازی در ایستگاه‌های جوستان و دهدر برای دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در طبقه «خوب» قرار می‌گیرد. این در حالی است که در مورد سایر معیارهای ارزیابی نیز مقادیر محاسبه شده در دامنه قابل قبولی قرار داشته‌اند (جدول ۱). در مجموع، نتایج حاکی از کارایی قابل قبول مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی جریان، در خروجی و ایستگاه‌های داخلی آبخیز دارد.

تحلیل الگوهای مکانی ایجاد شده توسط SWAT-GA

نتایج ارایه شده در جدول ۲ به خوبی دلالت بر پیشرفت الگوریتم ژنتیک با هدف یافتن پاسخ‌های بهینه با حداقل هزینه و حداکثر کارایی در کاهش رواناب سطحی داشته است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد تفاوت گزینه‌های بهینه در جمعیت اولیه و نهایی برای سناریوی «الف» (دارای کم‌ترین مقدار کاهش رواناب سطحی) بیش‌ترین مقدار می‌باشد. درحالی‌که با حرکت از سناریوی «الف» به سناریوی «د» این تفاوت کاهش می‌یابد. در سناریوی کاهش ۱۰ درصدی رواناب سطحی (الف) به‌دلیل اختصاص اقدامات آبخیزداری به بخش کم‌تری از حوضه، الگوریتم ژنتیک گزینه‌های زیادی (ترکیب نوع و محل اجرای اقدامات آبخیزداری) برای انتخاب و عدم انتخاب در اختیار داشته است و با استفاده از عمل‌گرهای انتخاب و بهبود جمعیت، توانسته است بهترین گزینه‌ها با حداقل نسبت هزینه-کارایی را انتخاب نماید. بنابراین در این حالت الگوی مکانی ایجاد شده در جمعیت نهایی دارای بیش‌ترین تفاوت با جمعیت اولیه است. از سوی دیگر برای کاهش ۲۵ درصدی رواناب سطحی در سناریوی «د» مساحت زیادی از حوزه آبخیز برای اجرای اقدامات بیولوژیک پیشنهاد می‌گردد و بنابراین اغلب مناطق باید برای اجرای اقدامات آبخیزداری انتخاب شوند و عمل‌گرهای بهبود در الگوریتم ژنتیک قادر به حذف این گزینه‌ها نمی‌باشند. نتایج حاصله با یافته‌های Maringanti و همکاران (۲۰۱۱) و Artita و همکاران (۲۰۱۳) در این زمینه هم‌خوانی دارد.

هم‌چنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که برای کاهش ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصدی رواناب سطحی در حوزه آبخیز طالقان نیازمند انجام اقدامات آبخیزداری بیولوژیک مراتع به‌ترتیب در ۲۰، ۳۵، ۴۸ و ۶۲ درصد آبخیز مذکور می‌باشد. مطابق با یافته‌های Kaini و همکاران (۲۰۱۲) نشان‌دهنده افزایش سطح اجرای این اقدامات با توجه به کاهش مقدار مورد نیاز رواناب می‌باشد. به‌عبارت دیگر برای کاهش یک درصد رواناب سطحی برای سناریوهای «الف»، «ب»، «ج» و «د» به‌طور متوسط باید به‌ترتیب در سطح ۲/۰، ۲/۳۳، ۲/۴ و ۲/۴۸ هکتار از اراضی حوزه آبخیز اقدامات بیولوژیک آبخیزداری انجام داد. این ارزیابی نشان‌دهنده افزایش تدریجی هزینه و مساحت اجرای اقدامات آبخیزداری برای کاهش یک درصد رواناب سطحی می‌باشد. نحوه عمل‌کرد الگوریتم ژنتیک در انتخاب اقدامات آبخیزداری برای مناطق مختلف، دلیل این روند می‌باشد. در سناریوهای «الف» که دارای کم‌ترین مقدار کاهش رواناب سطحی و در نتیجه مساحت تحت پوشش اقدامات آبخیزداری می‌باشد، الگوریتم ژنتیک برای انتخاب فعالیت‌های آبخیزداری با حداکثر کارایی در واحد سطح و حداقل هزینه، گزینه‌های زیادی در اختیار دارد و به‌راحتی قادر خواهد بود از بین گزینه‌های موجود، بهترین ترکیب را انتخاب نماید. از سناریوی «الف» به سناریوی «د» به‌تدریج مقدار کاهش رواناب سطحی از ۱۰ به ۲۵ درصد افزایش می‌یابد، بنابراین فعالیت‌های آبخیزداری قبلی به‌تنهایی قادر به تأمین این نیازها نمی‌باشند و در نتیجه برای رسیدن به این اهداف، لازم است اقدامات به مناطق با اولویت کم‌تر نیز اختصاص داده شوند. به‌گونه‌ای که در سناریوهای «د» الگوریتم بهینه‌سازی انتخاب‌های محدودی در اختیار دارد و تقریباً باید تمامی گزینه‌های ممکن را انتخاب نماید. بنابراین می‌توان بیان نمود با افزایش سطح اجرای اقدامات آبخیزداری، میانگین کارایی در واحد سطح سناریوها به‌دلیل اختصاص اقدامات به مناطق با اولویت کم‌تر، کاهش می‌یابد و هم‌سو با یافته‌های Strauss و همکاران (۲۰۰۷) و Kaini و همکاران (۲۰۱۲) در زمینه افزایش نسبت هزینه-کارایی و کاهش کارایی در واحد سطح، در نتیجه افزایش سطح اجرای سناریوهای آبخیزداری می‌باشد.

همان‌گونه که در شکل ۵ و ۶ مشاهده می‌گردد سناریوهای مد نظر به خوبی دبی‌های حداکثر روزانه را کاهش داده‌اند و توانایی تنظیم جریان و کاهش دبی رودخانه در روزهای بارانی را داشته‌اند، به‌گونه‌ای که حداکثر کاهش جریان رودخانه در سناریوی «د» مشاهده شده است. اثر بالاتر اقدامات آبخیزداری در روزهای بارانی و دبی‌های حداکثر توسط Yazdi و همکاران (۲۰۱۳)، Artita و

همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است که با یافته های پژوهش حاضر هم‌خوانی کامل دارد. دلیل این امر تاثیر افزایش پوشش گیاهی بر نسبت تبدیل باران به رواناب و نفوذ آب به خاک می‌باشد، بنابراین روزهای بارانی و مرطوب حداکثر کاهش رواناب ورودی به رودخانه را خواهند داشت.

موفقیت کاربرد الگوریتم ژنتیک و مدل SWAT به‌منظور تهیه سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری در حل مسائل منابع آب و مدیریت آبخیز توسط Artita و همکاران (۲۰۱۳)، Kaini و همکاران (۲۰۱۲)، Karamouz و همکاران (۲۰۱۰)، Yazdi و همکاران (۲۰۱۳) و Skardi و همکاران (۲۰۱۴)، تایید شده است. بنابراین در این چارچوب، ضمن صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌توان از شیوه‌های مناسب‌تر و سازگارتر با شرایط آبخیز برای طراحی و اجرای عملیات آبخیزداری با رویکرد مدیریت آبخیز استفاده نمود. در واقع در این رویکرد می‌توان قبل از پیشنهاد و اجرای عملیات مدیریتی در آبخیز، وضعیت‌های متفاوت تأثیر اقدامات اجرایی بر خصوصیات هیدرولوژیک جریان را شبیه‌سازی نموده و در نهایت با تأکید بر ابعاد متفاوت و اولویت‌بندی سناریوها، مناسب‌ترین آن‌ها را انتخاب کرد.

منابع

-Abbaspour K.C., 2011. User manual for swat-cup: swat calibration and uncertainty analysis programs. Swiss federal institute of aquatic science and technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland, 95 p. Available at: http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen /siam/software/swat/index_EN.

- Arabi M., Frankenberger J.R., Engel B.A. and Arnold J., 2007. Representation of agricultural conservation practices with SWAT, Hydrological Processes, 22(16):3042–3055.

- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S. and Williams J.R., 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. model development, Journal of the American Water Resources Association, 34 (1): 73–89.

- Artita K.S., Kaini P. and Nicklow J.W., 2013. Examining the possibilities: generating alternative watershed-scale bmp designs with evolutionary algorithms, Water Resources Management, 27:3849–3863.

- Giri, S., Nejadhashemi, A.P., Woznicki, S.A. and Zhang, Zh. 2014. Analysis of best management practice effectiveness and spatiotemporal variability based on different targeting strategies. Hydrological Processes. 28, 431–445.

- Kaini P., Artita K. and Nicklow J.W., 2012. Optimizing structural best management practices using swat and genetic algorithm to improve water quality goals, Water Resources Management, 26:1827–1845.

- Karamouz M., Taheriyoun M., Baghvand A., Tavakolifar H. and Emami, F., 2010. Optimization of watershed control strategies for reservoir eutrophication management, Journal of Irrigation and Drainage, 136 (12): 847-861.

- Maringanti C., Chaubey I. and Popp, J., 2009. Development of a multiobjective optimization tool for the selection and placement of best management practices for nonpoint source pollution control, Water Resources Research, 45: 1-15.

- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D. and Veith T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, Transactions of the Asabe, 50(3): 885–900.

- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., King K.W. and Williams J.R., 2009. Soil and water assessment tool (SWAT) theoretical documentation, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas (BRC Report 02-05).

- Nicklow J.W. and Muleta M.K., 2001. Watershed management technique to control sediment yield in agriculturally dominated areas, Water International, 26(3): 435–443.

- Panagopoulos Y., Makropoulos C. and Mimikou M., 2012. Decision support for diffuse pollution management, Environmental Modelling and Software, 30: 57-70.

- Panagopoulos, Y., Makropoulos, C. and Mimikou, M. 2012. Decision support for diffuse pollution management. Environmental Modelling

- Strauss, P., Leone, A., Ripa, M.N., Turpin, N., Lescot, J.M. and Laplana, R. 2007. Using critical source areas for targeting cost-effective best management practices to mitigate phosphorus and sediment transfer at the watershed scale. Soil Use and Management, 23: (1), 144–153.
- Vafakhah M. and Mohseni Saravi, M., 2011. Optimizing management of soil erosion in orazan sub-basin, Iran, Journal of Agricultural Science and Technology (JAST), 13: 717-726.
- Yazdi J., Salehi Neyshabouri S.A.A., Niksokhan M.H., Sheshangosht S. and Elmi M., 2013. Optimal prioritisation of watershed management measures for flood risk mitigation on a watershed scale, Flood Risk Management, 10.1111/jfr3.12016.

and Software, 30: 57-70.
- Sadoddin A., Sheikh V., Mostafazadeh R. and Halili M.Gh., 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran, International Journal of Plant Production, 4 (1): 51-62.
- Skardi, M.J., Afshar, A., Saadatpour, M. and Solis. S.S. 2014. Hybrid ACO-ANN-based multi-objectivesimulation-optimization model for pollutant load control at basin scale. Environmental Modeling and Assessment. DOI: 10.1007/s10666-014-9413-7 .
- Srivastava, P., Hamlett, J.M., Robillard, P.D. and Day, R.L. 2002. Watershed optimization of best management practices using AnnAGNPS and a genetic algorithm. Water Resources Research, 38(3):1-14.

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■