

مدل سازی میزان تغذیه سفره آب زیرزمینی با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT، مطالعه موردی: دشت مروست

وحیدموسوی^۱ و مهدی حیاتزاده^{۲*}

^۱ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۲ استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۲

چکیده

تغذیه به سفره‌های آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک از اهمیت بالایی برخوردار است. تعیین میزان تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند کمک شایانی به مدیران برای مدیریت منابع آب زیرزمینی کند. در مطالعه حاضر، به‌منظور تعیین میزان تغذیه سفره آب زیرزمینی در دشت مروست، فرایند هیدرولوژیک حوزه آبخیز مروست به‌وسیله مدل SWAT شبیه‌سازی شد. برای این منظور ابتدا، نقشه‌های پایه مورد نیاز یعنی نقشه شیب، خاک و کاربری اراضی تهیه شد. داده‌های اقلیمی مورد نیاز با مقیاس روزانه به مدل وارد شدند. با توجه به اهمیت بحث آبیاری و تاثیر آن در میزان تبخیر و تعرق و نیز تغذیه سفره آب زیرزمینی، مقادیر آبیاری نیز با تعیین برنامه آبیاری در مدل SWAT در فرایند مدل‌سازی در نظر گرفته شد. پس از ساخت مدل به‌منظور واسنجی مدل، از بسته نرم‌افزاری SWAT CUP و الگوریتم SUFI-2 استفاده شد. نتایج نشان داد که متوسط سالانه میزان تغذیه به سفره آب زیرزمینی از منطقه مورد مطالعه در دوره مدل‌سازی (۲۰۱۵-۲۰۰۵) معادل ۲۷/۰۸ میلیون متر مکعب و ضریب آب برگشتی از کشاورزی حدود ۳۴ درصد می‌باشد. بهبود الگوی کشت، جلوگیری از حفر چاه‌های غیرمجاز و برداشت بیش از حد از سفره و نیز سامانه‌های آبیاری مناسب می‌تواند در کاهش کسری مخزن و جلوگیری از افزایش بحران منابع آب موثر باشد. به علاوه، پژوهش حاضر نشان داد که مدل برای کوتاه‌مدت (مثلاً دوره یک‌ساله) نتایج مناسبی را به‌دست نمی‌دهد، اما برای دوره‌های بلندمدت نتایج انطباق بهتری با واقعیت خواهد داشت. پیشنهاد می‌شود تا به‌منظور مطالعه همزمان جریان‌ات سطحی و زیرزمینی از ترکیب مدل SWAT و MODFLOW استفاده شود. همچنین، می‌توان برای تعیین میزان آب برگشتی و تغذیه از لایسی‌متر یا مدل SWAP نیز استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، بیلان آب، تغذیه، مدل‌سازی، مدل SWAT

مقدمه

است را آب‌های زیرزمینی می‌نامند. آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع تامین آب شیرین مورد نیاز انسان بوده که بعد از یخچال‌ها و پهنه‌های یخی، بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد (Sedaghat, ۲۰۰۳). به‌طوری‌که بیش از ۹۸ درصد آب‌های شیرین قابل بهره‌برداری جهان را به خود

منابع آب قابل برداشت جهان به دو قسمت آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی تقسیم‌بندی می‌شوند. لایه‌های زیرسطحی زمین نیز به دو قسمت غیراشباع و اشباع تقسیم می‌شوند. قسمت اشباع که در آن ناحیه خلل و فرج حاوی آب

پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی به معنای خشک شدن مناطق پایین‌دست (مناطق با ارتفاع کمتر که آب جاری در لایه‌های آبدار تحت اثر گرانش به سمت آن‌ها جریان می‌یابند) و از بین رفتن چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌های آن است.

در ایران، بر اساس تغذیه‌ای که به‌طور طبیعی در حوضه‌های بالادست و دشت‌ها در اثر بارش‌ها اتفاق می‌افتد و همچنین، آب‌های برگشتی که بعد از آبیاری به رودخانه‌ها باز می‌شود، در حالت استاندارد باید ۵۶ میلیارد متر مکعب آب از منابع آب زیرزمینی برداشت شود. اما طی چند سال اخیر با توجه به خشکسالی‌هایی که در سطح کشور اتفاق افتاده و نیز عدم توجه به تغذیه مصنوعی و محافظت از این منابع، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی به حدود ۶۱ میلیارد متر مکعب رسیده است و این امر، منابع آب زیرزمینی را در سطح کشور به‌ویژه در مناطق بیابانی با خطر آلودگی و پایین رفتن سطح آب روبرو کرده است (Dastvareh و همکاران، ۲۰۲۰). محققین زیادی به دنبال استفاده از مدل‌های مفهومی یا پایه فیزیکی به‌منظور تخمین میزان تغذیه بوده‌اند (Arnold و همکاران، ۲۰۰۰؛ Chen و همکاران، ۲۰۰۲؛ George و همکاران، ۲۰۰۱؛ Jones، ۲۰۰۳؛ Wang و همکاران، ۲۰۰۴). با این حال، توصیف کمی فرایندهای چرخه هیدرولوژیک همچنان پیچیده و همراه با محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌های فراوانی است (Singh و Woolhiser، ۲۰۰۲).

Jodi و Akhavan (۲۰۱۵)، به شبیه‌سازی جریان ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از مدل SWAT پرداختند. آن‌ها به توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی جریان در این حوضه پی بردند. همچنین، به این نتیجه رسیدند که تغییرات اخیر از جمله احداث سدهای متعدد، تغییر اقلیم و کاربری اراضی در حوضه سبب کاهش حجم رواناب ورودی به دریاچه در حدود ۸۰ درصد شده است. Mohammadzadeh و همکاران (۲۰۱۷)، آب زیرزمینی دشت بجنورد را با نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی کردند و نتایج نشان داد، در صورتی که آب پشت سد شیرین دره آزاد شود، تراز آب زیرزمینی تا سه متر افزایش می‌یابد.

Dastvareh و همکاران (۲۰۲۰)، در بررسی

اختصاص داده است و روزانه منبع تأمین آب شرب بیش از دو میلیارد نفر در سرتاسر جهان محسوب می‌شود (Bouwer، ۲۰۰۲). تقاضای روزافزون برای استفاده از منابع آب در مناطق نیمه‌خشک باعث ایجاد شرایط بحرانی در آب‌های زیرزمینی این مناطق شده است. مناطق نیمه‌خشک در حال گسترش بوده و بیش از ۳۰ درصد خشکی‌های جهان را در بر می‌گیرد (Dregne، ۱۹۹۱). در حدود ۱/۱ میلیارد از جمعیت جهان دسترسی مناسبی به منابع آبی سالم ندارند. کمبود آب با افزایش روزافزون جمعیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک از طریق برهم زدن عرضه و تقاضای آب، حالت وخیم‌تری به خود می‌گیرد (WHO، ۲۰۰۳). این مشکل باعث شده که تقاضای آب برای کشاورزی، صنعت و شرب افزایش یابد. در این مناطق، عموماً آبخوان‌ها منبع اصلی تأمین‌کننده آب به شمار می‌روند، چرا که منابع آب سطحی، اغلب در حین یا پس از مواقع سیلابی در دسترس‌اند. بنابراین، مدیریت منابع آب زیرزمینی در این مناطق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مدیریت منابع آب زیرزمینی نیازمند شناخت عملکرد سفره در شرایط طبیعی و سپس، پیش‌بینی اثرات برداشت و یا تغذیه می‌باشد. بدون شک بهترین حالت شناخت رفتارهای سامانه آب‌های زیرزمینی، انجام یک سری پژوهش‌های درازمدت می‌باشد که مستلزم صرف هزینه و وقت زیاد است. در این میان، با ابزاری مانند شبیه‌سازها و یا مدل‌ها می‌توان با دقت قابل قبولی شرایطی مشابه آنچه در طبیعت موجود است، به‌وجود آورد و به نتایج رضایت‌بخشی دست یافت. منابع آب زیرزمینی به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم از آب‌های سطحی و بارندگی تغذیه می‌شوند؛ بنابراین، استفاده پایدار از این منابع به معنای برداشت محدود از آن‌هاست. در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای جهان برداشت آب از منابع زیرزمینی از میزان تغذیه سالانه آن‌ها بیشتر است. این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که در طول هزاران سال در لایه‌های آبدار زمین ذخیره شده است. با این کار، سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه روز به روز افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت.

کاهش میزان تولیدات محصولات کشاورزی خواهد گذاشت و امنیت غذایی را دچار تزلزل خواهد کرد. سالیان متمادی است که بحث مهم و اساسی ضرورت وجود الگوی کشت در بخش کشاورزی مطرح است و در سال‌های گذشته با گران یا ارزان شدن قیمت یک محصول کشاورزی و باغی، توسعه و ترویج کشت آن محصول در سال بعد و تولیدی به مراتب افزون بر نیاز جامعه مشاهده شده است و هرگز میزان عرضه و تقاضا یا به عبارتی سطح زیرکشت و میزان تولید با نیازهای روز مطابقت نداشته است. در سالیان اخیر، معضل جدی کم آبی نیز مزید بر علت شد و اگرچه صاحب نظران و کارشناسان حتی مدیران بخش کشاورزی نیز به ضرورت تعیین الگوی کشت برای بخش کشاورزی واقف شدند، ولی این مهم تنها در حد طرح بحث بوده و در بیشتر موارد بهره‌برداری از منابع آبی به‌ویژه آب‌های زیرزمینی بدون توجه به ظرفیت آن صورت گرفته است. بدین ترتیب، آگاهی از میزان تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی در مدیریت و برنامه‌ریزی از این منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

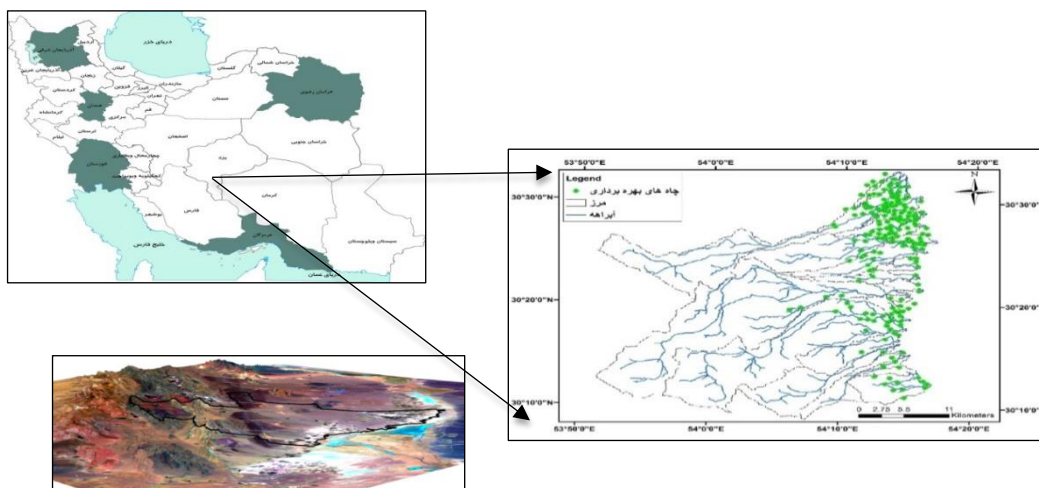
مواد و روش‌ها

خصوصیات آبخوان و لایه اشباع: آبخوان آبرفتی مروست با امتداد شمال غرب-جنوب شرق، از سمت غرب به حوالی ارتفاعات و از شرق به کویر هرات-مروست محدود می‌شود. آبخوان آبرفتی در جهت غرب در قسمت‌های شمال تا حد گسل نائین-بافت و از بخش مرکزی به طرف جنوب تا فاصله‌ای چند کیلومتری از غرب گسل نیز توسعه یافته است. در شرق، حد ارتباط آبخوان یا کویر تدریجی بوده، نمی‌توان حد جداکننده‌ای برای آن قائل شد. واحد هیدروژئولوژیک مروست در منتهی‌الیه جنوبی استان یزد واقع شده است. از نظر منابع آب‌های سطحی، رودخانه دائمی مروست در بخش جنوبی وارد دشت می‌شود. این رودخانه در سراب به‌نام بوانات و شامل دو شاخه عمده سوریان و مزيجان است. رودخانه بوانات از به هم پیوستن شاخه‌های مزيجان و سوریان در بالادست منج تشکیل می‌شود. حوضه آبخیز بوانات تا محل آبگیر مروست ۹۵۰ کیلومتر مربع و تا محل

وضعیت آبخوان دشت میناب، اقدام به مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی کردند. نتایج ضمن تایید کارایی مدل MODFLOW در مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی، حاکی از بیلان منفی این آبخوان می‌باشد که موجب افت شدید تراز آب زیرزمینی در سال‌های آینده در این دشت خواهد شد. Kil و همکاران (۲۰۰۶)، به اثرات هیدرولوژیکی از تغییر اقلیم، برداشت آب‌های زیرزمینی و استفاده از زمین در حوضه‌های کوچک با استفاده از مدل SWAT پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پیش‌بینی در دسترس بودن آب در طول دوره خشک در آینده به تغییرات درجه حرارت، بارش، تابش خورشیدی، نسبت مناطق شهری و مقدار برداشت آب زیرزمینی بستگی دارد. Kigobe (۲۰۰۹) از مدل SWAT به‌منظور برآورد تغذیه آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه کیوگا در اوگاندا استفاده کرد و مدل را با استفاده از داده‌های مشاهده شده در دوره زمانی ۱۹۷۴-۱۹۷۰ واسنجی نمود که در نهایت مدل، میانگین تغذیه آب‌های زیرزمینی را ۱۵۰ میلی‌متر در سال برآورد کرد. Dakhllalla و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی ارتباط و تعاملات بین مقادیر تبخیر و تعرق و تغذیه آب زیرزمینی و مدل‌سازی اثرات شیوه‌های تناوب زراعی مختلف در ذخیره‌سازی و تغذیه آب زیرزمینی در حوزه کشاورزی با استفاده از مدل SWAT پرداختند. آن‌ها مشاهده کردند که ذخیره‌سازی آب‌های زیرزمینی در طول ماه‌های تابستان کاهش یافته، در حالی که نرخ ET بالا بود و در طول ماه‌های زمستان و بهار یعنی زمانی که نرخ ET کم بود، افزایش یافته است. تناوب زراعی با ذرت و پنبه منجر به بیشترین ذخیره‌سازی آب زیرزمینی می‌شود که در نتیجه، مقدار آبیاری کم و نیز دوره آبیاری کوتاه است. Debbarma و همکاران (۲۰۱۶) آب زیرزمینی آبخوان آگرتلا در هند را با نرم‌افزار GMS به‌منظور تخمین حجم آب زیرزمینی برای بودجه‌بندی آب، مدل‌سازی کردند و دریافتند که سطح آب در اثر تخلیه و تغذیه چاه‌ها دچار نوسان می‌شود.

از آنجا که درصد بالایی از تولیدات محصولات زراعی و باغی از کشت آبی به‌دست می‌آید، لذا، هرگونه تنش آبی و تغییر شرایط اقلیمی تاثیر مستقیم بر

۲۵ متر کاهش می‌یابد. اندازه دانه‌های سازنده آبرفت از سمت ارتفاعات غربی به سمت مرکز و کویر کاهش یافته، دانه‌بندی درشت تخته سنگی، قلوه سنگی، ریگ و شن، جای خود را به رسوبات ریزدانه سیلتی، سیلتی و ماری می‌دهد. به‌طور کلی جنس سنگ کف در بخش‌های شمالی و نیمه غربی دشت و به سمت ارتفاعات از نوع ماسه‌سنگ، سنگ مارن، سیلتستون و کنگلومرای بختیاری و در نیمه شرقی از نوع رس و مارن کویری مربوط به کواترنر می‌باشد. عمق سنگ کف در عمیق‌ترین محل به بیش از ۲۰۰ متر می‌رسد. شکل ۱، حوزه آبخیز مروست را نشان می‌دهد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و چاه‌های بهره‌برداری در حوزه آبخیز مروست

حوضه‌ها در نظر می‌گیرد (Faramarzi و همکاران، ۲۰۰۹). شکل ۲، صورت کلی مدل مفهومی شبیه‌سازی حرکت آب در داخل زمین در مدل SWAT را نشان می‌دهد.

در این مدل، هر حوضه به چند زیرحوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها به چند واحد عکس‌العمل هیدرولوژیک (HRU) که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک همگن هستند، تقسیم می‌شود (شکل ۳). در ابتدا آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک و سپس برای هر زیرحوضه به‌صورت متوسط وزنی محاسبه می‌شود (Hosseini، ۲۰۱۰). این کار، دقت

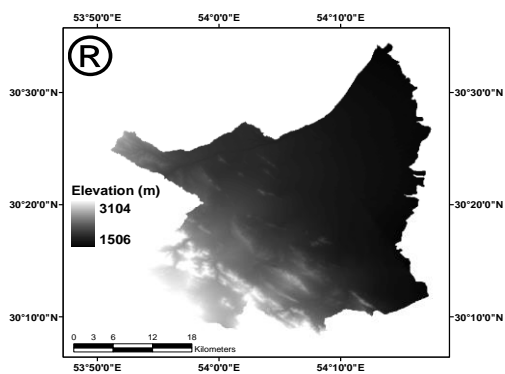
ایستگاه هیدرومتری مروست ۱۰۲۵ کیلومتر مربع مساحت دارد. بر اساس آمار نه ساله از ایستگاه محل آبیگر مروست، میانگین دبی سالانه رودخانه ۰/۷۶ متر مکعب در ثانیه و حجم متوسط آن ۲۴/۲ میلیون متر مکعب است. بر اساس آمار ۱۳ ساله در محل ایستگاه هیدرومتری مروست نیز میانگین دبی سالانه آن ۸۹ لیتر بر ثانیه و حجم متوسط رواناب آن نیز ۲/۸۲ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد (Dashtakian و همکاران، ۲۰۱۱).

بیشینه ضخامت آبرفت در جنوب مروست به میزان ۲۰۰ و کمینه آن در حواشی آبخوان به میزان ۵۰ متر می‌باشد. در موارد خاص مانند حوالی روستای مزرعه کوشک، تقی‌آباد و سیدآباد، این عمق حتی تا

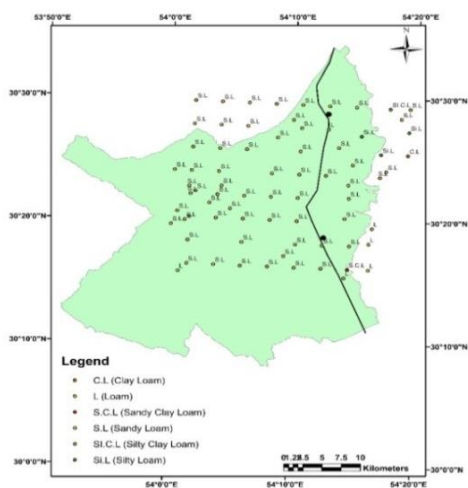
مدل SWAT^۱: یک مدل هیدرولوژیکی نیمه‌توزیعی است که به‌منظور پیش‌بینی اثرات فعالیت‌های مدیریتی اراضی بر بیلان آب، حرکت رسوب و عوامل شیمیایی کشاورزی در مقیاس حوزه آبخیز با تنوع در خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی در بازه زمانی طولانی توسعه یافته است. در این مدل، جریان رودخانه از سه منبع اصلی تأمین می‌شود که عبارتند از رواناب سطحی، جریان زیرسطحی و جریان پایه یا همان جریان آب زیرزمینی غیرمحصور باید توجه داشت که شرایط آبخوان برای مدل قابل تعریف نیست و این حالت‌های مذکور را به‌طور پیش فرض برای همه

¹ Soil and Water Assessment Tool

نقشه شیب بر حسب درصد شیب و یا درجه شیب محاسبه می‌شود. در تحقیق حاضر، از داده‌های SRTM برای تهیه نقشه شیب استفاده شد. شکل ۴، نقشه رقومی ارتفاع مورد استفاده برای تولید نقشه شیب را نشان می‌دهد.



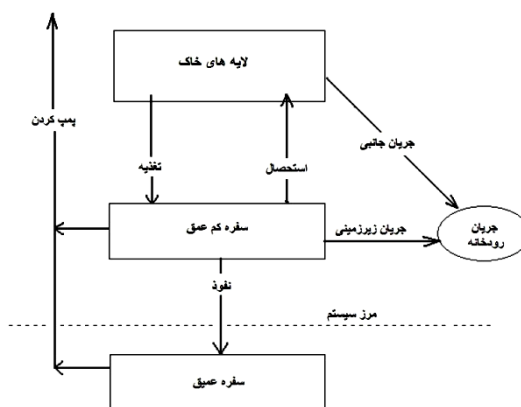
شکل ۴- نقشه رقومی ارتفاع



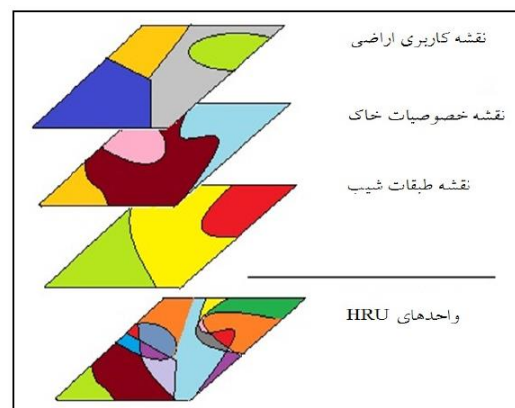
شکل ۵- نقشه پراکنش پروفیل‌های خاک

به‌منظور تهیه نقشه خاک از پروفیل‌های موجود در منطقه استفاده شد. بدین‌منظور، از روی پروفیل‌های حفر شده در منطقه، از ماژول Stratigraphy نرم‌افزار GMS استفاده شد. سپس، داده‌های مربوط به پروفیل‌ها وارد این نرم‌افزار شده، مقاطع عرضی بین پروفیل‌ها ترسیم شد. در گام بعد، نقشه شبکه مثلثی (TIN) تهیه شد. در نهایت نیز، نقشه خاک منطقه با توجه به پروفیل‌های موجود و مرز و نقشه شبکه مثلثی تولید شد. شکل ۵، پروفیل‌های موجود در منطقه که از مرکز پژوهش‌های منابع طبیعی استان یزد تهیه شده را نشان می‌دهد. به‌منظور تهیه نقشه کاربری

محاسبات را افزایش داده و توصیف فیزیکی بهتری از بیلان آبی حوضه به‌دست می‌دهد.



شکل ۲- فرایندهای اصلی شبیه‌سازی آب زیرزمینی



شکل ۳- فرایند تهیه HRU در مدل SWAT

تهیه ورودی‌های مدل: همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، SWAT یک مدل جامع در مقیاس آبخیز است. این مدل برای انجام شبیه‌سازی نیازمند اطلاعات متنوع و متعددی می‌باشد. نقشه‌های پایه مورد نیاز شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع DEM، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک هستند که هر سه باید در قالب رستری به مدل ارائه شوند. سایر اطلاعات مربوط به داده‌های جامع هواشناسی، کیفیت آب، عوامل مؤثر بر جریان سطحی و کانال، آب زیرزمینی، برداشت آب، مدیریت اراضی، اطلاعات مربوط به کیفیت آب، مخازن و برخی زمینه‌های دیگر با توجه به هدف پژوهش باید در مدل وارد شوند.

تابع شیب (slope) بیشینه آهنگ تغییرات بین هر سلول و سلول همسایه را محاسبه می‌کند که خروجی

۲۰۰۳). در روش Brovey نیز از ترکیب ریاضی تصاویر استفاده می‌شود. در این روش، هر نوار طیفی تشکیل دهنده یک تصویر رنگی کاذب در نسبتی از تصویر با قدرت تفکیک بالا ضرب شده و به مجموع نوارهای رنگی تقسیم می‌شود (Tu و همکاران، ۲۰۰۴). در تبدیل موجک، تصویر در هر مرحله به دو مؤلفه تصویری تجزیه می‌شود. تصاویر هر مرحله نسبت به مرحله قبل از آن دارای قدرت تفکیک‌پذیری یا به عبارت دیگر مقیاس نصف هستند. مؤلفه اول که به مؤلفه تقریب مشهور است، حاوی اطلاعات درشت‌تر بوده، تقریبی را از مؤلفه‌های با فرکانس پایین بر روی تصویر ارائه می‌کند. مؤلفه دوم، شامل مجموعه‌ای از سه تصویر است و اطلاعات با فرکانس بالا را در خود دارد. این مؤلفه به اصطلاح مؤلفه تفصیلی یا تصویر تفصیلی نامیده می‌شود (Cannas و همکاران، ۲۰۰۶). برای ادغام تصاویر به این روش، مولفه‌های مناسب از هر تصویر برای ساخت تصویر نهایی انتخاب می‌شوند. تبدیل موجک یکی از تبدیل‌های ریاضی کارآمد در زمینه پردازش سیگنال است. موجک‌ها توابع ریاضی هستند که شکل مقیاس-زمان از سری‌های زمانی و روابط آن‌ها برای تحلیل سری‌های زمانی که شامل متغیرها و غیرثابت‌ها است را ارائه می‌دهد. تحلیل موجکی استفاده از فاصله‌های زمانی طولانی‌مدت را برای اطلاعات دارای فرکانس پائین و تناوب‌های کوتاه‌تر را برای اطلاعات دارای فرکانس بالا ارائه می‌دهد. تحلیل موجکی قادر به نمایش جنبه‌های مختلف داده‌های متفاوت، نقاط شکست و ناپیوستگی‌ها است که ممکن است، دیگر روش‌های تحلیل سیگنال، آن‌ها را نشان ندهند. تابع موجک، تابعی است که دو ویژگی مهم نوسانی بودن و کوتاه‌مدت بودن را دارا می‌باشد. تحلیل موجک شامل دو نوع کلی است. معادله (۱) معادله موجک پیوسته (CWT) سیگنال $x(t)$ را نشان می‌دهد (Cannas و همکاران، ۲۰۰۶).

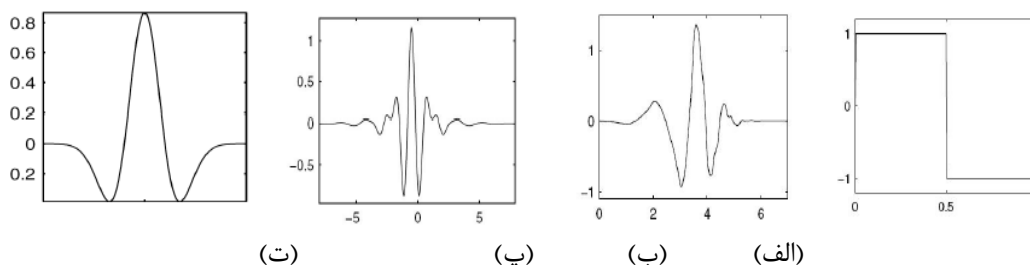
$$CWT_x^\Psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (1)$$

که در آن، s پارامتر مقیاس، τ پارامتر ترجمه یا انتقال است. موجک مادر $\Psi(t)$ تابع تبدیل می‌باشد. این نوع تبدیل نیاز به محاسبات بسیار زیاد داشته و

اراضی منطقه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استفاده شد. پیش از تهیه نقشه تصاویر موجود باید تصحیحاتی روی تصویر ماهواره‌ای صورت پذیرد. تصحیح رادیومتریک تصاویر ماهواره‌ای از اثرات جوی به دو صورت تصحیح با در نظر گرفتن عوامل جزئی و تصحیح کلی انجام می‌شود. در روش عوامل جزئی، پارامترهایی مانند درجه حرارت، رطوبت نسبی، فشار هوا و قابلیت دید در زمان تصویربرداری در نظر گرفته می‌شوند. ولی در روش کلی، جزئیات در نظر گرفته نشده و غالباً از طریق هیستوگرام تصاویر تصحیح صورت می‌گیرد (Acerbi-Junior و همکاران، ۲۰۰۶). در این مطالعه، از روش تصحیح کلی استفاده شد. در این بخش، تصحیحات رادیومتریک، اتمسفری و هندسی بر روی تصویر صورت پذیرفت. به منظور تصحیح اتمسفری از روش Dark Subtraction استفاده شد. با این‌که تصحیحات هندسی سطح دو روی تصاویر اعمال شده بود، با این حال، برای افزایش دقت هندسی، تصویر مورد استفاده به صورت دقیق‌تر تصحیح شد. در این مرحله، نوار پانکروماتیک لندست ۸ با نوارهای چند طیفی خود ادغام شدند. در این تحقیق، از روش‌های متفاوتی برای ادغام استفاده شد. روش IHS^۱ یکی از متداول‌ترین روش‌های ادغام در سال‌های اخیر بوده است. این روش وقتی همبستگی بین مؤلفه‌های رنگی زیاد باشد، به بالا بردن کیفیت و تنظیم رنگ کمک می‌کند. در این روش، از این خاصیت بهره‌برداری شده است که بخش قابل توجه اطلاعات مکانی از سایه روشن‌های درون تصویر و جاهایی ناشی می‌شود که تغییر شدت روشنایی در آن‌ها زیادتر وجود دارد. یعنی این ویژگی‌ها در مؤلفه شدت رنگ (I) قرار دارند (Adamowski و Fung Chan، ۲۰۱۱). تبدیل PCA بر پایه خواص آماری و استفاده از ماتریس کوواریانس استوار است. این روش، یک شیوه مؤثر در ادغام تصاویر است. این شیوه به دلیل جداسازی کامل عوامل آماری و تولید مؤلفه‌های غیر وابسته از توانایی خوبی در تمرکز بخشی از ویژگی‌های مکانی از ویژگی‌های طیفی داشته، به همین دلیل، اطلاعات طیفی را به خوبی حفظ می‌کند (Piella).

^۱ Saturation Hue Intensity

۶، تعدادی تابع موجک مادر را نشان می‌دهد (شکل ۶). این کار در نرم‌افزار Matlab ۲۰۱۳ صورت پذیرفت. به‌منظور انتخاب مولفه‌های مناسب از توابع مختلفی مانند تابع حد بیشتر، تابع کمینه، تابع میانگین و تابع خطی و برای تعیین بهترین روش ادغام تصاویر از معیار ضریب همبستگی استفاده شده است. در گام بعد، بهترین تصویر وارد فرایند طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی‌گرا شد. به‌منظور مقایسه و تعیین اثر ادغام تصویر با قدرت تفکیک مکانی مختلف بر صحت نقشه‌های موقعیت مکانی از هر دو روش طبقه‌بندی استفاده شده است.



شکل ۶- الف) تابع موجک Haar، ب) تابع موجک db4، پ) تابع موجک Meyer و ت) تابع موجک Mexican hat

تعداد بسیار زیادی ضریب تولید می‌کند. به همین منظور، به‌جای تبدیل موجک پیوسته از تبدیل موجک گسسته (DWT) استفاده می‌شود (Cannas و همکاران، ۲۰۰۶).

$$\Psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{|s_0^j|}} \Psi\left(\frac{t - k\tau_0 s_0^j}{s_0^j}\right) \quad (2)$$

که در آن، j و k اعداد صحیح بوده و s_0 گام تأخیر است. $\Psi(x)$ تابع موجک مادر است که توابع مورد استفاده در تحلیل، با دو عمل ریاضی انتقال (translation) و تأخیر (dilation) در طول سیگنال مورد تحلیل، تغییر اندازه و تغییر محل می‌یابند. شکل

رودخانه می‌تواند نقش موثری در تغذیه سفره داشته باشد و نیز بندهای تغذیه مصنوعی موجود در منطقه برای مدل تعریف شد.

به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل، از داده‌های جریان رودخانه (متر مکعب بر ثانیه) در ایستگاه هیدرومتری مروست استفاده شد. واسنجی مدل‌های توزیعی و فرایند محور مانند SWAT، پیچیدگی‌ها و مشکلات خاصی دارد. یکی از مسائلی که هنگام واسنجی این مدل‌ها پیش می‌آید، عدم قطعیت در شبیه‌سازی است که به‌خاطر عدم قطعیت در ورودی‌های مدل، عدم قطعیت در مدل مفهومی (ساختار مدل) و عدم قطعیت در پارامترهای مدل ایجاد می‌شود. در این مدل‌ها همچنین، به‌دلیل تعدد پارامترهای مدل و اثر جبرانی یا تشدید پارامترها بر یکدیگر، اغلب چندین مجموعه پارامترهای کاملاً متفاوت می‌توانند به نتیجه مشابه و قابل قبول منتهی شوند. به این پدیده هم‌پایانی یا منحصر به فرد نبودن اطلاق می‌شود. در این تحقیق، در گام اول مدل‌سازی برای سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ صورت پذیرفت. در گام

مدل‌سازی به‌وسیله SWAT: نسخه‌های مختلفی از مدل SWAT ارائه شده که تفاوت‌چندانی در کارایی آن‌ها وجود ندارد. در این تحقیق، نسخه SWAT 2012 که به‌صورت نرم‌افزار قابل نصب بر روی Arc GIS 10.3 می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. برای شروع کار با مدل، ابتدا نقشه DEM و نقشه‌های زیرحوضه‌ها و شبکه آبراه‌های که قبلاً آماده شده بودند، به محیط نرم‌افزار مدل فراخوانده شدند. در این مرحله، محاسبات مربوط به خصوصیات فیزیکی آبخیز به‌وسیله مدل محاسبه می‌شود.

در مرحله بعد، با استفاده از نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و طبقات شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRUها) تعریف شدند. برای این منظور، هر سه نقشه تهیه شده با هم و در محیط نرم‌افزار ترکیب شدند. لازم به ذکر است که هر سه نقشه پایه اشاره شده در فرمت رستری تهیه و در مدل استفاده شدند. پس از تهیه نقشه HRUها، داده‌های هواشناسی وارد مدل شده مدل‌سازی صورت پذیرفت. در گام بعدی، دبی رودخانه بوانات با توجه به این‌که

بعد، برای دوره زمانی ۱۱ ساله از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ مدل‌سازی انجام شد. صحت‌سنجی مدل برای یک سال (۲۰۱۵) در نظر گرفته شد. برای واسنجی دقیق، تحلیل عدم قطعیت و اعتبارسنجی مدل SWAT برای حوضه مروست، از نرم‌افزار SWAT-CUP و روش SUFI-2 استفاده شد (Faramarzi و همکاران، ۲۰۰۹).

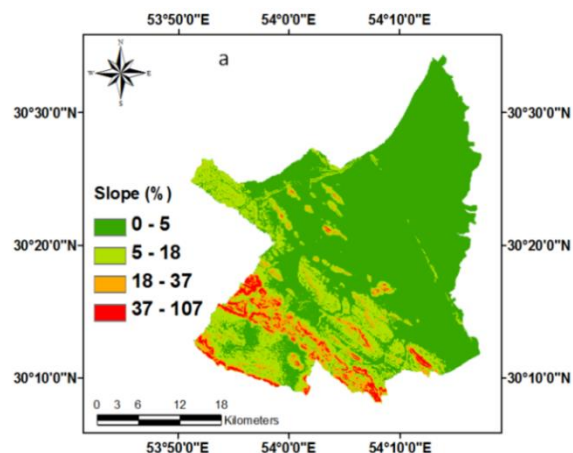
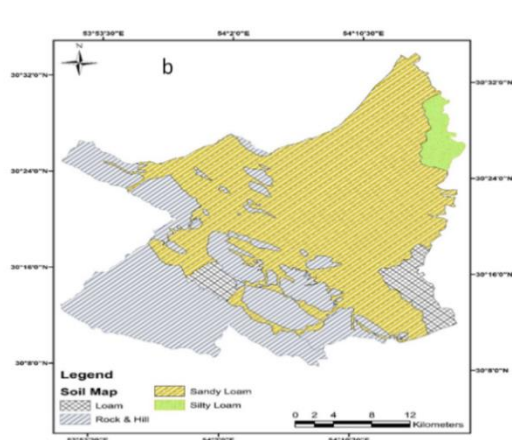
SUFI-2 یک الگوریتم نیمه‌اتوماتیک مدل‌سازی معکوس است. در این روش، عدم قطعیت که در برگزیده تمام منابع عدم قطعیت (یعنی عدم قطعیت در ورودی‌ها، مدل مفهومی و پارامترهای مدل) است، ارزیابی شده و به صورت کمی بیان می‌شود. در روش SUFI-2 میزان عدم قطعیت به وسیله دو معیار عامل P و عامل R محاسبه می‌شود. عامل P عبارتست از درصد داده‌های مشاهده‌ای که در نوار تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند. این نوار در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از تابع توزیع تجمعی متغیر خروجی که با روش نمونه‌گیری لاتین هایپرکیوب به دست آمده، محاسبه می‌شود (یعنی پنج درصد از شبیه‌سازی‌ها که در دو انتهای تابع توزیع قرار دارند، در نظر گرفته نمی‌شوند). از آنجا که اثر تمام منابع عدم قطعیت در متغیرهای خروجی (مانند دبی جریان یا بار رسوب) منعکس می‌شود، در این روش، همه عدم قطعیت‌ها در نظر گرفته می‌شود. ولی، تفکیک سهم منابع مختلف عدم قطعیت دشوار است و تا کنون روش قابل اطمینانی برای محاسبه آن ارائه نشده است. SUFI-2

به دنبال طیفی از پارامترها است که با اعمال آن‌ها بیشتر داده‌های مشاهده‌ای در نوار تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند و ضخامت نوار عدم قطعیت تا حد ممکن کم باشد. حالت ایده‌آل زمانی است که عامل P برابر با ۱۰۰ درصد و عامل R صفر باشد. ولی از آنجا که برای افزایش عامل P باید عامل R افزایش یابد، بایستی به یک حالت تعادل بین این دو معیار دست یافت. بنابراین، واسنجی تا زمانی ادامه می‌یابد که عامل P تا حد ممکن افزایش و عامل R تا حد ممکن کاهش یابد. یعنی بیشتر داده‌های مشاهده‌ای در نوار عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گیرند و ضخامت این نوار تا حد ممکن کوچک باشد.

نتایج و بحث

شکل ۷- الف، نقشه شیب تهیه شده از روی مدل رقومی ارتفاع را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، بخش‌های زیادی از حوضه مورد مطالعه دارای شیب کمی (کمتر از پنج درصد) است و تنها در بخش‌های غربی و جنوب غربی حوضه یعنی بالادست حوضه مورد مطالعه و بخش‌های کوهستانی شیب بالا وجود دارد.

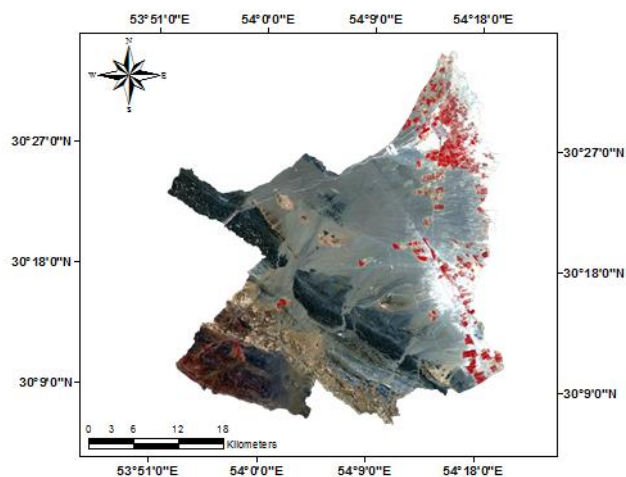
شکل ۸- ب، نقشه خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نقشه خاک نشان می‌دهد که بافت غالب منطقه سندی-لوم و بعد از آن، سیلتی-لوم می‌باشد. جدول ۱، نتایج بهترین روش ادغام و شکل ۹، تصویر ادغام شده به روش موجک را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نقشه شیب (الف) و نقشه خاک (ب) منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- همبستگی نوارهای تصویر ادغام شده به روش‌های مختلف با تصویر اولیه

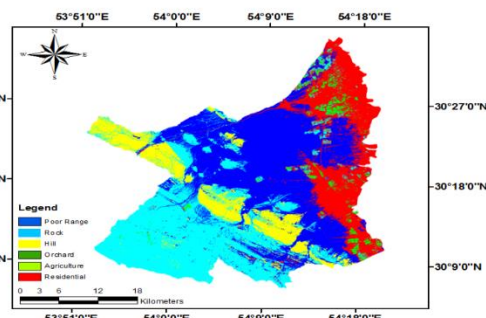
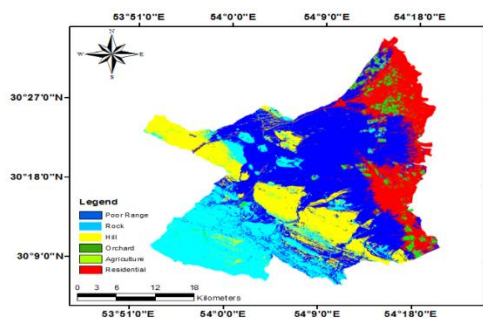
| نوار ۳ | نوار ۲ | نوار ۱ | روش ادغام |
|--------|--------|--------|-----------|
| ۰/۹۵۶۱ | ۰/۹۴۸۳ | ۰/۹۵۹۵ | موجک |
| ۰/۶۰۵۸ | ۰/۶۰۴۵ | ۰/۶۱۴۱ | PCA |
| ۰/۹۱۲۴ | ۰/۹۱۹۶ | ۰/۹۱۸۳ | HIS |
| ۰/۹۰۳۴ | ۰/۹۰۵۳ | ۰/۹۰۵۳ | Brovey |



شکل ۸- تصویر ادغام شده به وسیله روش موجک

بهترین نتیجه را در ادغام تصاویر داشته است. به همین منظور، تصویر حاصله از ادغام تصاویر اولیه به روش موجک از میان تصاویر موجود انتخاب شده و به فرایند طبقه‌بندی وارد شد (شکل ۹).

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ و شکل ۸، مشخص می‌شود که روش موجک از سایر روش‌ها عملکرد بهتری داشته و توانسته اطلاعات تصاویر اولیه را بهتر در خود حفظ کند. پس از روش موجک، IHS



شکل ۹- نقشه کاربری اراضی حاصل از روش‌های ماشین بردار پشتیبان (راست) و شبکه عصبی (چپ)

شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد.

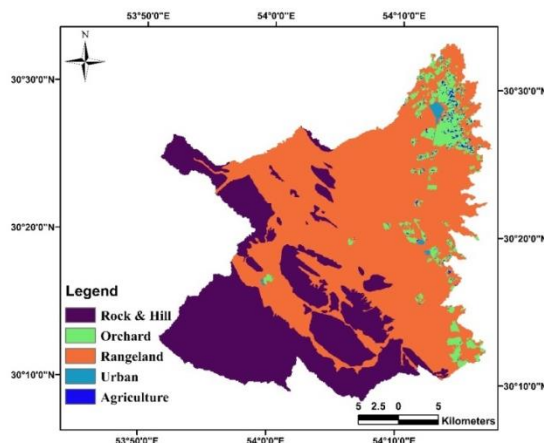
جدول ۲، نتایج صحت‌سنجی نقشه‌های کاربری اراضی حاصل از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و

جدول ۲- نتایج صحت‌سنجی نقشه‌های کاربری اراضی با دو الگوریتم مختلف

| صحت کلی | کاپا | روش طبقه‌بندی |
|---------|------|---------------------|
| ۰/۷۱ | ۰/۶۸ | ماشین بردار پشتیبان |
| ۰/۷۵ | ۰/۷۳ | شبکه عصبی مصنوعی |

با توجه به نتایج حاصل شده، به منظور طبقه‌بندی شی‌گرای تصویر لندست، قطعه‌بندی با پارامترهای مختلف انجام شد. پس از قطعه‌بندی، طبقه‌بندی به روش شی‌گرا بر روی این تصاویر صورت پذیرفت. شکل ۱۰، نتیجه طبقه‌بندی و نقشه کاربری اراضی حاصل از

طبقه‌بندی شی‌گرا و جدول ۳، نتایج صحت‌سنجی این نقشه و جدول ۴، میزان مساحت و درصد مساحت هر یک از کاربری‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده دقت مناسب این روش می‌باشد. لذا، این نقشه برای مدل‌سازی به مدل SWAT وارد شد.



شکل ۱۰- نقشه کاربری منطقه حاصل از روش شی‌گرا

جدول ۳- جدول خطای طبقه‌بندی نهایی (روش شی‌گرا)

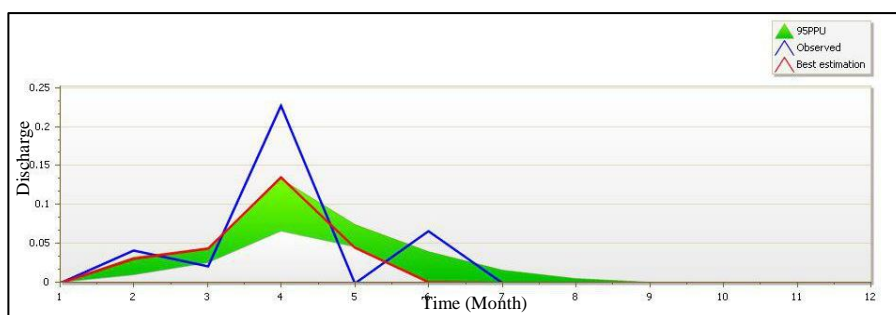
| شهری | کشاورزی | باغی | سنگی و بدون پوشش | مرتع | |
|------|---------|------|------------------|------|------------------|
| ۳ | ۰ | ۰ | ۵ | ۷۶ | مرتع |
| ۰ | ۴ | ۳ | ۱۷۹ | ۳ | سنگی و بدون پوشش |
| ۰ | ۱ | ۱۹۰ | ۴ | ۰ | باغی |
| ۵ | ۱۶۹ | ۶ | ۸ | ۰ | کشاورزی |
| ۵۰ | ۹ | ۳ | ۸ | ۰ | شهری |
| | | | ۸۹ | | کاپا |
| | | | ۹۲ | | صحت کل |

جدول ۴- توزیع مساحتی کاربری‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

| کاربری | مساحت (متر مربع) | درصد مساحتی |
|----------------|------------------|-------------|
| مرتع | ۶۷۶۷۶۴۹۷۶ | ۵۸/۷۳ |
| منطقه کوهستانی | ۴۰۳۳۲۴۶۴۳ | ۳۵/۰۰ |
| مسکونی | ۳۴۷۵۸۱۱ | ۰/۳۰ |
| باغی | ۶۳۰۵۶۵۴۴ | ۵/۴۷ |
| زراعی | ۵۵۳۶۸۱۱ | ۰/۴۸ |

پس از مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار SWAT CUP مدل ساخته شده، واسنجی شد. جدول ۵، حساس‌ترین پارامترهای موثر در شبیه‌سازی در مدل SWAT در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در حوضه‌هایی که این پارامترها و ضرایب برای آن‌ها در

دسترس نیست، در اولین مرحله شبیه‌سازی از مقادیر پیش فرض مدل استفاده می‌شود و در مرحله واسنجی مقادیر مناسب آن‌ها تعیین می‌شود. شکل ۱۱ و جدول‌های ۶ و ۷، نتیجه ارزیابی مدل‌سازی در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- نتیجه صحت‌سنجی مدل (مقادیر مشاهداتی، مقادیر تخمینی و بازه عدم قطعیت)

جدول ۵- برخی پارامترهای موثر در شبیه‌سازی در مدل SWAT و محدوده تغییرات آن‌ها (به ترتیب حساسیت)

| ردیف | پارامتر | شرح پارامتر | MAX | MIN |
|------|-----------|---|-----|------|
| ۱ | Gw_Delay | زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل خاک به سطح آب زیرزمینی (روز) | ۵۰ | ۰ |
| ۲ | Cn2 | شماره منحنی در شرایط رطوبتی ۲ | ۹۸ | ۳۵ |
| ۳ | Alpha_Bf | ضریب α آب پایه | ۱ | ۰ |
| ۴ | Alpha_Bnk | ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال | ۱ | ۰ |
| ۵ | Gw_Revap | ضریب تعیین نفوذ به سفره آب عمیق یا صعود موئینگی از سفره کم عمق | ۰/۲ | ۰/۰۲ |
| ۶ | Esco | ضریب تبخیر خاک | ۱ | ۰ |
| ۷ | Canmx | آب نگه داشته شده به وسیله پوشش گیاهی یا برگاب | ۱۰ | ۰ |
| ۸ | Ch_Cov | ضریب پوشش کانال | ۱ | ۰ |
| ۹ | Ch_K2 | هدایت هیدرو لیکی موثر بستر رودخانه اصلی (mmh^{-1}) | ۱۵۰ | ۰ |
| ۱۰ | Ch_N2 | ضریب مانینگ رودخانه اصلی | ۱ | ۰ |

جدول ۶- ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی

| مقدار | مشخصه | معیار ارزیابی |
|-------|----------------|--------------------------|
| ۰/۶۴ | NS | ضریب ناش-ساتکلیف |
| ۰/۸۶ | R ² | ضریب تبیین |
| ۰/۰۳ | RMSE | مجذور میانگین مربعات خطا |

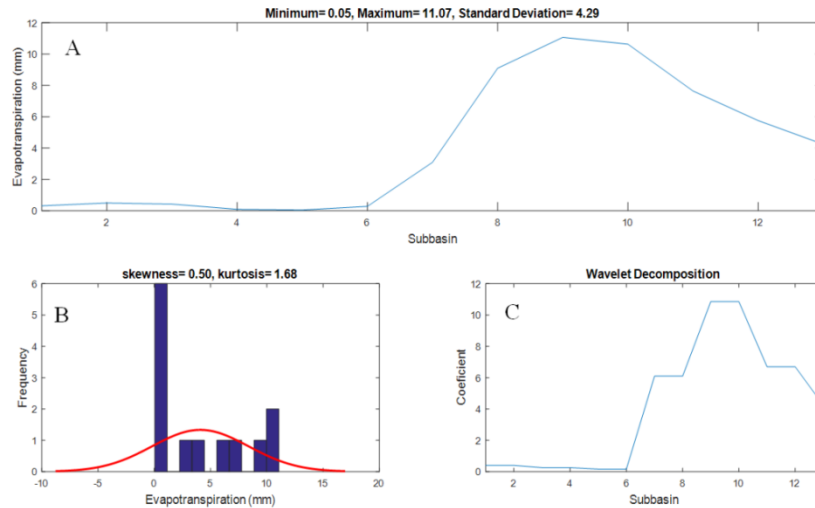
جدول ۷- ارزیابی کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی

| مقدار | مشخصه | معیار ارزیابی |
|------------------|----------------|--------------------------|
| ۰/۵۹ (رضایت بخش) | NS | ضریب ناش-ساتکلیف |
| ۰/۸۳ | R ² | ضریب تبیین |
| ۰/۰۵ | RMSE | مجذور میانگین مربعات خطا |

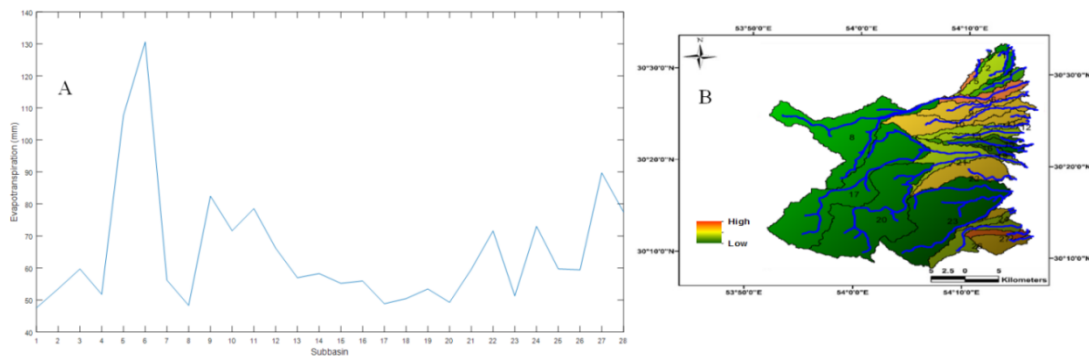
روند تغییرات کلی تبخیر و تعرق در طول زمان می‌باشد.

شکل ۱۳، تغییرات مکانی تبخیر و تعرق را در زیرحوضه‌های مختلف برای دوره یک‌ساله نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده این است که تبخیر و تعرق در مناطق دشتی و در زیرحوضه‌هایی که دارای زمین‌های کشاورزی است، بالاتر از سایر زیرحوضه‌ها می‌باشد.

شکل ۱۲، تغییرات زمانی تبخیر و تعرق که در مدل SWAT از روش هارگریوز برآورد شده را در منطقه مورد مطالعه برای دوره یک‌ساله نشان می‌دهد. بخش A در این شکل، تغییرات زمانی تبخیر و تعرق را به میلی‌متر نشان داده است. بخش B نیز فرکانس مقادیر تبخیر و تعرق را نشان می‌دهد. بخش C، ضرایب موجک مربوط به تحلیل یک بعدی سیگنال تبخیر و تعرق را نشان می‌دهد که در واقع نشان‌دهنده



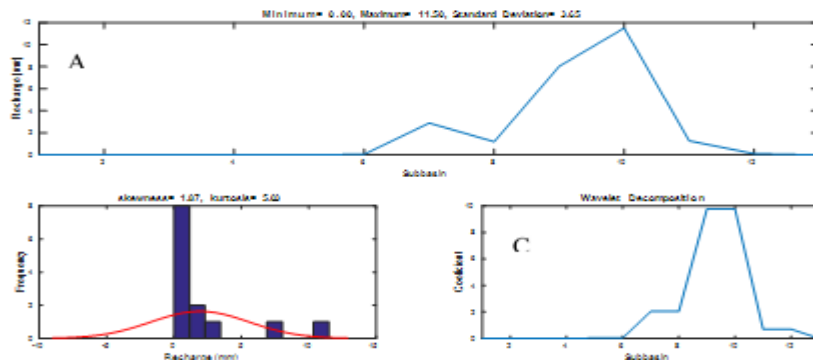
شکل ۱۲- تغییرات زمانی تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه برای دوره یکساله



شکل ۱۳- نمودار تغییرات مکانی متوسط تبخیر و تعرق (A) و نقشه تغییرات مکانی تبخیر و تعرق برای دوره یکساله (B)

تغذیه به سفره آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. بخش C، ضرایب موجک مربوط به تحلیل یک بعدی سیگنال تغذیه به سفره آب زیرزمینی را نشان می‌دهد که در واقع نشان‌دهنده روند تغییرات کلی تغذیه به سفره آب زیرزمینی در طول زمان می‌باشد.

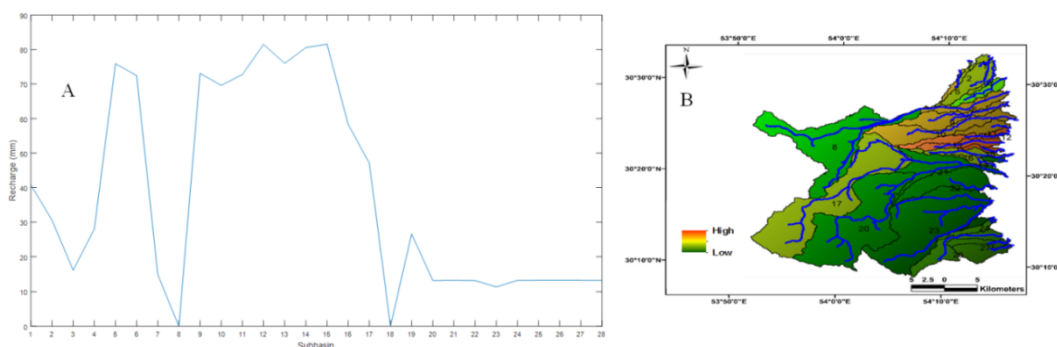
شکل ۱۴، تغییرات زمانی تغذیه به سفره آب زیرزمینی را در منطقه مورد مطالعه برای دوره یکساله نشان می‌دهد. بخش A در این شکل، تغییرات زمانی تغذیه به سفره آب زیرزمینی را به میلی‌متر نشان داده است. بخش B نیز فرکانس مقادیر



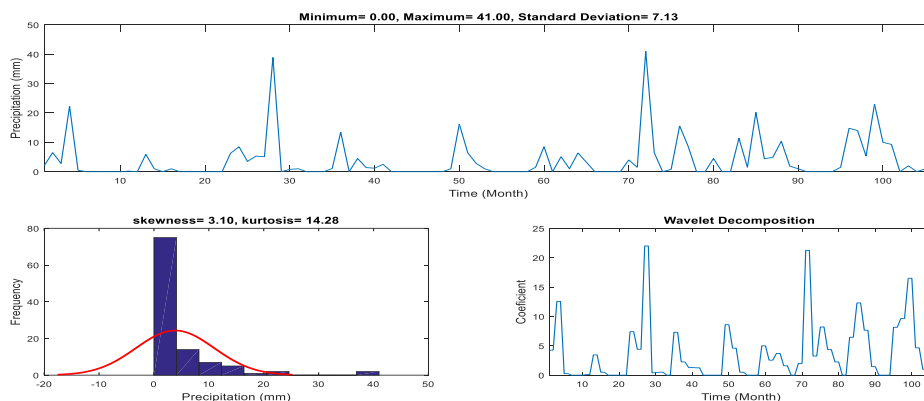
شکل ۱۴- تغییرات زمانی تغذیه به سفره آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای دوره یکساله

زیرحوضه‌ها می‌باشد که این امر نقش آبیاری را در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی نشان می‌دهد. شکل‌های ۱۶ تا ۱۸، تغییرات زمانی میزان بارش، تبخیر و تعرق و تغذیه را برای دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد.

شکل ۱۵، تغییرات مکانی تغذیه به سفره آب زیرزمینی را در زیرحوضه‌های مختلف برای دوره یک‌ساله نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده این است که تغذیه به سفره آب زیرزمینی در مناطق دشتی که دارای زمین‌های کشاورزی است، بالاتر از سایر



شکل ۱۵- نمودار تغییرات مکانی تغذیه به سفره آب زیرزمینی (A) و نقشه تغییرات مکانی تغذیه به سفره آب زیرزمینی برای دوره یک‌ساله (B)



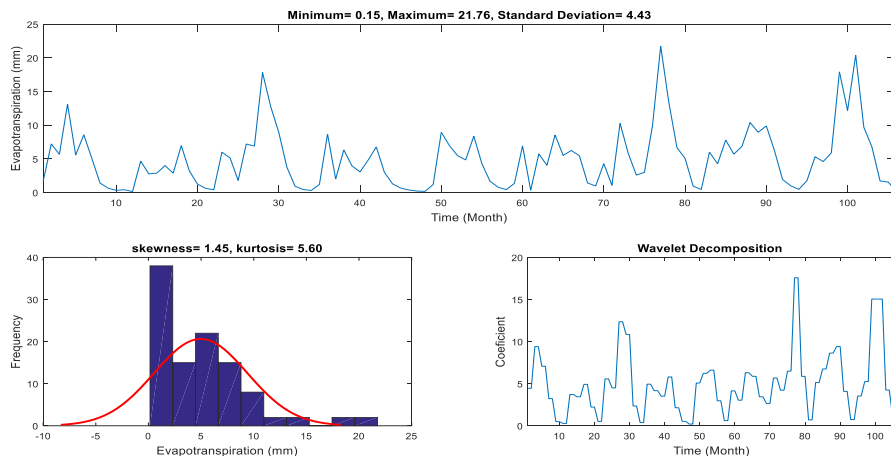
شکل ۱۶- تغییرات زمانی بارش در منطقه مورد مطالعه برای دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵

۲۷/۰۸ میلیون متر مکعب و ضریب آب برگشتی از کشاورزی حدود ۳۴ درصد می‌باشد. میزان کل تبخیر و تعرق نیز در منطقه مورد مطالعه معادل ۶۹/۱۵ میلیون متر مکعب برآورد شد. با توجه به شرایط خاص حوضه از نظر جریان سطحی ناچیز در منطقه، عدم قطعیت داده‌های موجود و نیاز مدل به داده‌های بسیار زیاد و با توزیع مکانی مناسب، و نیز نیاز مدل برای دوره گرم کردن استفاده از مدل مذکور برای دوره کوتاه‌مدت توصیه نمی‌شود. پیشنهاد می‌شود، برای این حوضه‌ها در دوره‌های زمانی بلندمدت و نیز از تلفیق مدل‌های SWAT با مدل MODFLOW برای افزایش دقت مدل‌سازی جریان زیرزمینی استفاده شود.

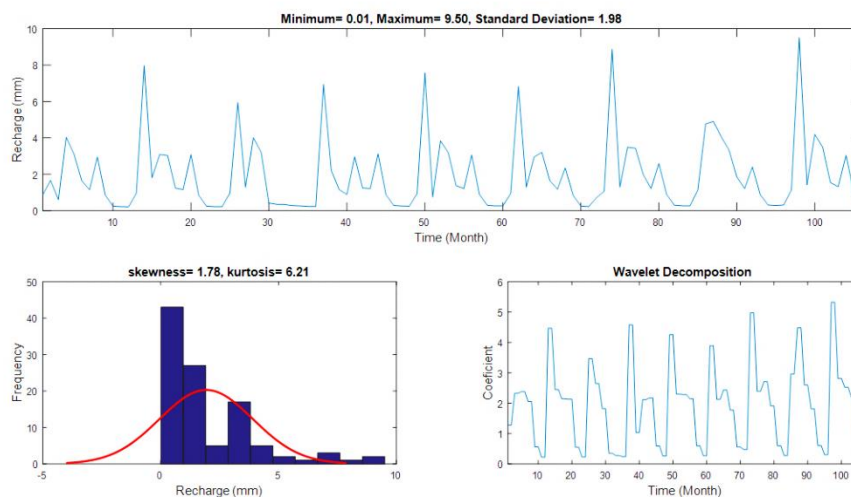
نتایج نشان می‌دهد که متوسط سالانه میزان تغذیه به سفره آب زیرزمینی از منطقه مورد مطالعه در دوره مدل‌سازی (۲۰۰۵-۲۰۱۵) معادل ۲۷/۰۸ میلیون متر مکعب و ضریب آب برگشتی از کشاورزی حدود ۳۴ درصد می‌باشد. میزان تبخیر و تعرق نیز در منطقه مورد مطالعه معادل ۶۹/۱۵ میلیون متر مکعب برآورد شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که متوسط سالانه میزان تغذیه به سفره آب زیرزمینی از منطقه مورد مطالعه در دوره مدل‌سازی (۲۰۰۵-۲۰۱۵) معادل



شکل ۱۷- تغییرات زمانی تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه برای دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵



شکل ۱۸- تغییرات زمانی تغذیه به سفره آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برای دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵

آبخوان، مقدار برداشتی است که در طولانی مدت زیان و اثرات نامطلوب کمی و کیفی بر جای نگذارد. محدودیت‌ها در توسعه بهره‌برداری آب زیرزمینی می‌تواند از نظر کمی یا کیفی مد نظر قرار گیرد. محدودیت کمی مربوط به محدوده‌هایی می‌باشد که بیلان آن‌ها منفی است یا به عبارت دیگر، میزان جمع عوامل ورودی آب کمتر از جمع عوامل خروجی آب، به‌ویژه به دلیل برداشت و مصرف است که در نتیجه، برای کمک به کمبودهای آبی، بهره‌برداری از ذخائر ثابت آب زیرزمینی و سطحی صورت گرفته و باعث کاهش حجم این ذخائر می‌شوند. بنابراین، نه تنها امکان توسعه بهره‌برداری به لحاظ وضعیت کمی آب در این محدوده‌ها وجود ندارد، بلکه بایستی از مقدار بهره‌برداری فعلی نیز کاسته شود. بهبود الگوی کشت

توانایی مدل‌هایی مانند SWAP^۱ برای مدل‌سازی آب برگشتی و محاسبه تغذیه نیز می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. مدل‌هایی مانند Hydrus که قادر هستند، جریان آب را در محیط غیراشباع شبیه‌سازی کنند نیز می‌توانند در این زمینه راه‌گشا باشند. محاسبه آب برگشتی با استفاده از لایسیمتر نیز در منطقه می‌تواند منتج به نتایج مناسب‌تری شود.

با تعیین میزان توسعه بهره‌برداری از آبخوان‌هایی که بیلان آن‌ها متعادل بوده و برآورد مقدار کاهش از برداشت فعلی به منظور تعادل بخشی در آبخوان‌هایی که بیلان آن‌ها منفی است، میزان برداشت مجاز یا مطمئن حاصل می‌شود. بنابراین، برداشت مجاز از یک

^۱ Soil-Water-Atmosphere-Plant

آب در شرایط مناسبی قرار ندارد و جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. متوسط بارندگی بلندمدت در کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر است، در صورتی که میانگین بارندگی در جهان حدود ۸۵۰ میلی‌متر است، یعنی میانگین بارندگی کشور ما یک سوم بارندگی جهان است. این در حالی است که پتانسیل تبخیر در ایران سه برابر پتانسیل تبخیر جهان است (ایران ۲۱۰۰ میلی‌متر و جهان ۷۰۰ میلی‌متر) علاوه بر این، توزیع زمانی و مکانی بارندگی نیز در سطح کشور نامناسب است، به لحاظ مکانی حدود ۷۰ درصد میزان بارندگی در سطح ۲۵ درصد کشور صورت می‌گیرد و حدود ۳۰ درصد بارندگی نیز در ۷۵ درصد از سطح کشور اتفاق می‌افتد. از نظر زمانی نیز وضعیت مشابه حالت فوق است. بدین معنی که حدود ۲۵ درصد کل بارش در فصل آبیاری و ۷۵ درصد بارش نیز در فصول غیرآبیاری صورت می‌گیرد. از سوی دیگر، آمارها نشان می‌دهد که ایران ۲۲ درصد بیشتر از مقیاس جهانی آب در بخش کشاورزی مصرف می‌کند. در واقع حدود ۹۰ درصد آب مصرفی در کشور مربوط به بخش کشاورزی است. بنابراین، برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و سرمایه‌گذاری منطقی و عالمانه در جهت استفاده بهینه از منابع آبی کشور باید به‌عنوان یکی از محورهای اصلی مورد توجه باشد. در زمینه موضوع مورد مطالعه تحقیق حاضر، سایر محققان نیز به نتایج قابل توجهی در مقایسه با تحقیق حاضر دست یافتند. Dastvareh و همکاران (۲۰۲۰) در مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی با مدل MODFLOW ضمن تایید کارایی مدل در مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی، نتایج ایشان نیز حاکی از بیلان منفی این آبخوان بوده که موجب افت شدید تراز آب زیرزمینی در سال‌های آینده در این دشت خواهد شد. همچنین، پژوهشگرانی آب زیرزمینی دشت بجنورد را با نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی کردند و نتایج آن‌ها نشان از افزایش تراز آب زیرزمینی در صورت رهاسازی آب پشت سد بالادست دارد (Mohammadzadeh و همکاران، ۲۰۱۷). Kigobe (۲۰۰۹) از مدل SWAT به‌منظور برآورد تغذیه آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه کیوگا در اوگاندا استفاده کرد و ضمن تایید کارایی این مدل هم راستا با تحقیق حاضر، میزان تغذیه آب‌های

و روش‌های آبیاری در منطقه نیز می‌تواند به شرایط سفره آب زیرزمینی کمک شایانی کند. سامانه‌های آبیاری قطره‌ای ممکن است، بتواند با کاهش تبخیر و تعرق بازدهی مصرف آب را در منطقه افزایش دهد. رعایت برخی نکات در زمینه کشاورزی می‌تواند تا حدودی در زمینه رفع مشکلات آب در این بخش که قسمت قابل توجهی از آب مصرفی مربوط به آن می‌شود، راهگشا باشد. لذا، باید در کاشت محصولات و نوع محصول به شرایط آب و هوایی هر منطقه و میزان رشد گیاه و معدل برداشت توجه شود. به‌عبارتی هر محصولی در منطقه‌ای از کشور با تولید بیشتری مواجه می‌باشد. از طرفی، نوع محصول و دوره آبیاری آن حائز اهمیت می‌باشد. توجه به روش آبیاری درست و متناسب نیز می‌تواند تاثیر به‌سزایی در جلوگیری از هدررفت آب داشته باشد. عموماً آبیاری زمین‌های زراعی در ایران به‌صورت غرقابی است، بدین‌گونه که در هنگام آبیاری میزان آب بر روی زمین‌های زیرکشت چشمگیر بوده، در بیشتر زمین‌ها میزان سطح آب حدود ۲۰ سانتی‌متر است که با اصول علمی مغایرت دارد. امروزه شیوه آبیاری در کشورهای پیشرفته از غرقابی به قطره‌ای تغییر پیدا کرده، با تعبیه سامانه لوله‌کشی با هزینه بسیار نازل و کم آب را به‌صورت قطره قطره در طول زمین نیاز به کشت به ریشه گیاه رسانده و بدین‌ترتیب علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب در مصرف سوخت نیز (اعم از نوع سوخت فسیلی، برق و گاز طبیعی) صرفه‌جویی می‌کنند.

آب و خاک به‌عنوان مهمترین منابع تولید در بخش کشاورزی محسوب می‌شود و در کشوری مانند ایران که با کمبود آب و عدم ساماندهی اراضی کشاورزی مواجه است، بدون شک اصلاح الگوی مصرف، نظام‌مند کردن و استفاده بهینه از این منابع می‌تواند زمینه‌ساز اقتصادی شدن کشاورزی، افزایش تولید و کاهش ضایعات باشد. افزایش جمعیت و تامین نیازهای مستمر آن‌ها تنها با استفاده بهینه از منابع موجود ممکن است، وجود تهدیدهای طبیعی نظیر خشک‌سالی، فرسایش خاک و بیابان‌زایی نحوه استفاده از این منابع را دچار مشکل می‌سازد و امنیت غذایی را پیچیده‌تر می‌کند. نگاهی به موقعیت اقلیمی کشور بیانگر این است که ایران به لحاظ برخورداری از منابع

است و در سال‌های گذشته با گران یا ارزان شدن قیمت یک محصول کشاورزی و باغی توسعه و ترویج کشت آن محصول در سال بعد و تولیدی به مراتب افزون بر نیاز جامعه مشاهده شده است و هرگز میزان عرضه و تقاضا یا به عبارتی سطح زیرکشت و میزان تولید با نیازهای روز مطابقت نداشته است. در سالیان اخیر، معضل جدی کم آبی نیز مزید بر علت شد و اگرچه صاحب نظران و کارشناسان حتی مدیران بخش کشاورزی نیز به ضرورت تعیین الگوی کشت برای بخش کشاورزی واقف شدند، ولی این مهم تنها در حد طرح بحث بوده است.

زیرزمینی را ۱۵۰ میلی‌متر در سال برآورد کرد. توجه به میزان وابستگی تولید مواد غذایی و همچنین، وابستگی امنیت غذایی به منابع آبی کشور نیز به اهمیت موضوع اضافه می‌کند. درصد بالایی از تولیدات محصولات زراعی و باغی از اراضی آبی به‌دست می‌آید. بدین ترتیب هرگونه تنش آبی و تغییر شرایط اقلیمی تاثیر مستقیم بر کاهش میزان تولیدات محصولات کشاورزی خواهد گذاشت و امنیت غذایی را دچار تزلزل خواهد کرد. سالیان متمادی است که بحث مهم و اساسی ضرورت وجود الگوی کشت در بخش کشاورزی مطرح

منابع مورد استفاده

1. Acerbi-Junior, F.W., J.G.P. Clevers and M.E. Schaepman. 2006. The assessment of multi sensor image fusion using wavelet transforms for mapping the Brazilian Savanna. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8: 278-288.
2. Adamowski, J. and H. Fung Chan. 2011. A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. *Journal of Hydrology*, 407: 28-40.
3. Akhavan, S. and H. Jodi. 2015. Simulation of Inflow to Urmia Lake using SWAT Model. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 19(72): 23-34 (in Persian).
4. Arnold, J.G., R.S. Muttiah, R. Srinivasan and P.M. Allen. 2000. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi River Basin. *Journal of Hydrology*, 227: 21-40.
5. Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, 10: 121-142.
6. Cannas, B., A. Fanni, L. See and G. Sias. 2006. Data preprocessing for river flow forecasting using neural networks: wavelet transforms and data partitioning. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31: 1164-1167.
7. Cannas, B., A. Fanni, G. Sias, S. Tronei and M.K. Zedda. 2006. River flow forecasting using neural networks and wavelet analysis. In: *Proceedings of the European Geosciences Union*, 234-243.
8. Chen, Z., S.E. Grasby and K.G. Osadetz. 2002. Predicting average annual groundwater levels from climatic variables: an empirical model. *Journal of Hydrology*, 260(1-4): 102-117.
9. Dakhllalla, A.O. and B. Parajuli. 2016. Evaluation of the best management practices at the watershed scale to attenuate peak streamflow under climate change scenarios. *Water Resources Management*, 30(3): 963-982.
10. Dashtakian, K., M. Pakparvar and M. Rad. 2011. Investigation of land use changes in relation to salinity, surface soil in Marvast region of Yazd. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 18(2): 292-306 (in Persian).
11. Dastvareh, J., Z. Naserian, H. Hsanvaand and S. Amiri. 2020. Modeling groundwater level and investigating the aquifer status of Minab Plain. *Geography and Human Relationships Journal*, 3(2): 50-59 (in Persian).
12. Debbarma, J., P.K. Roy, S. Halder, G. Banerjee and M. Pal. 2016. Estimating groundwater volumetric mass balance with hydraulic head using groundwater modeling system in Tripura, India. *Asian Journal of Current Research*, 1(1): 19-22.
13. Dregne, H.E. 1991. Global status of desertification. *Annals of Arid Zone*, 30: 179-185.
14. Faramarzi, M., K. Abbaspour, R. Schulin and H. Yang. 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrological Processes*, 23: 486-501.
15. George, R.J., C.J. Clarke and T. Hatton. 2001. Computer-modelled groundwater response to recharge management for dryland 20, salinity control in Western Australia. *Advances in Environmental Monitoring and Modelling*, 2(1): 3-35.
16. Hosseini, M. 2010. Effect of landuse changes on water balance and suspended sediment yield of Taleghan Catchment, Iran. PhD Thesis, Universiti Putra Malaysia, 169 pages.
17. Jones, I.C. and J.L. Banner. 2003. Estimating recharge threshold in tropical karst island aquifers: Barbados, Puerto Rico and Guam. *Journal of Hydrology*, 278(1-4): 131-143.

18. Kil, S.L. and C. Eun-Sung. 2006. Hydrological effects of climate change, groundwater withdrawal, and land use in a small Korean watershed. *Hydrological Processes*, 21: 3046–3056.
19. Mohammadzadeh, H., M.A. Ddgar and H. Nassery. 2017. Prediction of the effect of water supplying from Shirindare Dam on the Bojnourd Aquifer using MODFLOW 2000. *Water Resources*, 44(2): 216-225.
20. Moosavi, V., M. Vafakhah, B. Shirmohammadi and M. Ranjbar. 2013. Optimization of wavelet-ANFIS and wavelet-ANN hybrid models by Taguchi method for groundwater level forecasting. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39: 1785-1796.
21. Nourani, V., Z. Kisi and K. Mehdi. 2011. Two hybrid artificial Intelligence approaches for modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 402: 41-59.
22. Piella, G. 2003. A general framework for multi-resolution image fusion: from pixels to regions. *Information Fusion*, 4(4): 259-280.
23. Sedaghat, M. 2003. Earth and water resources (groundwaters). Payame Noor University Press, 4: 245-310 (in Persian).
24. Singh, V.P. and D.A. Woolhiser. 2002. Mathematical modeling of watershed hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7: 270-292.
25. Sun, H., P.S. Cornish. 2005. Estimating shallow groundwater recharge in the headwaters of the Liverpool Plains using SWAT. *Hydrological Processes*, 19(3): 795–807.
26. Tu, T.M., P.S. Huang, C.L. Hung and C.P. Chang. 2004. A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 1(4): 309-312.
27. Wang, X.P., R. Berndtsson, X.R. Li and R.S. Kang. 2004. Water balance change for a re-vegetated xerophyte shrub area. *Hydrological Sciences Journal*, 49(2): 283–295.
28. WHO. 2003. Right to water. Health and Human Rights Publication Series No. 3, World Health Organization: Geneva, Switzerland.