

## بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت اسلام آباد و بهینه سازی تخصیص سطح اراضی آن

خلیل جلیلی<sup>۱</sup>، حمیدرضا مرادی<sup>۲\*</sup>، امید بزرگ حداد<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۲۴

### چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک، نیازهای آبی بخش‌های مختلف به منابع آب زیرزمینی وابسته بوده، از این رو بررسی تغییرات آن در دوره‌های آبی در توسعه پایدار و مدیریت بهینه آبخوان‌ها حائز اهمیت است. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر آبخوان دشت اسلام آباد غرب است. به این منظور، از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد. به منظور تولید داده‌های هواشناسی دوره آبی در منطقه، مدل LARS-WG مورد واسنجی قرار گرفت و سپس خروجی‌های مدل HADCM3 برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در ایستگاه سینوپتیک اسلام آباد با استفاده از مدل LARS-WG کوچک مقیاس شد و سناریوی A2 در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مبنای تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی منطقه قرار گرفت. سپس بهینه‌سازی این منابع با استفاده از نرم افزار LINGO و به روش برنامه‌ریزی خطی صورت گرفت. نتایج نشان داد که متغیرهای بارش، دمای بیشینه و کمینه و ساعات آفتابی در شرایط تغییر اقلیم به ترتیب ۲/۲، ۳۱/۰۴، ۱۳/۶۶ و ۰/۴ درصد تغییر می‌کنند. این شرایط بر نیاز آبی و حجم آب در دسترس تأثیر گذاشته و سود حاصل از بهینه‌سازی محصولات کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به وضعیت کنونی ۳/۹ درصد کاهش یافته است.

**کلمات کلیدی:** بیابان‌زایی، تغییر اقلیم، LARS-WG، LINGO، اسلام آباد غرب.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب‌خیزداری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی آب‌خیزداری دانشگاه تربیت مدرس، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور، ایران / hrmoradi@modares.ac.ir

۳. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج، ایران

## مقدمه

مدیریت و بهره‌برداری نادرست آب در کشور، منجر به تشدید پدیده بیابان‌زایی و بحران آب در کشور شده است. رودخانه‌های خاموش، خشکیدگی تالاب‌ها، چشمه‌ها و دریاچه‌ها، افت سطح آب زیرزمینی، ممنوعه و بحرانی شدن ۲۹۰ دشت در کشور، شور شدن خاک، نشست زمین و رخداد ریزگردها، عینی‌ترین آثار این موضوع است.

اهمیت منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یک منبع آب ارزان و در دسترس، در تأمین آب کشاورزی و توسعه پایدار فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، بر همگان آشکار است؛ بنابراین توجه به الگوی کشت بهینه و استفاده از محصولات پرسود با نیاز آبی کمتر در مناطقی که بار برداشت بر روی منابع آب زیرزمینی است، یک راهبرد اساسی است. اما افزایش روزافزون برداشت بی‌رویه، این ذخایر طبیعی را با تهدیدهای جدی مواجه ساخته است؛ برای نمونه در دشت اسلام‌آباد از ۳۰۱ حلقه چاه نیمه‌عمیق آماربرداری شده، ۱۳۲ حلقه با تخلیه سالانه ۱۳۲ میلیون مترمکعب فاقد پروانه بهره‌برداری گزارش شده است (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین در این شرایط، آگاهی از تغییرات تراز آب و شناخت وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی برای تأمین آب قابل‌اعتماد، یک الزام است.

از طرفی در نیم‌قرن اخیر آب‌وهوا و محیط زیست جهانی دستخوش تغییرات بزرگی شده و افزایش گازهای جاذب گرما در جو زمین، درجه‌حرارت زمین را افزایش داده است (کوآ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). طی صد سال گذشته (۲۰۰۵-۱۹۰۶) دمای میانگین سطح زمین حدود ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و تا سال ۲۱۰۰ نیز ۱/۱ تا ۴/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷).

آب و کشاورزی از مهم‌ترین قسمت‌هایی هستند که از این رویداد تأثیر می‌پذیرند و تغییرات آن‌ها بر نیازهای بشر ازجمله کمیت و کیفیت محصولات تولیدشده تأثیر بسزایی دارد (کوزه‌گران و موسوی بایگی، ۲۰۱۵). بنابراین ضرورت دارد وقوع تغییرات اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آن بر منابع آب

ارزیابی شود؛ زیرا این پدیده در مناطقی که آسیب‌پذیری بخش آب آن‌ها در وضع موجود قابل توجه است، می‌تواند خسارات چشمگیری ایجاد کند (منصوری و همکاران، ۲۰۱۴).

پاندا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۷) روند تغییرات سطح آب زیرزمینی را در منطقه‌ای در هند بررسی کردند؛ نتایج آنان نشان داد که افت سطح آب به‌علت کمبود باران در طول سال‌های خشک، دمای بالا و دخالت بشری نتوانسته در سال‌های مرطوب با تغذیه جبران شود. نتایج تحقیق اکرامی و همکاران (۲۰۱۱) در دشت یزد اردکان در دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۸ نیز حاکی از روند نزولی تغییرات سطح آب زیرزمینی بوده و در هر سال متوسط افت حدود ۰/۵ متر گزارش شده است. از دلایل اصلی این افت شدید، افزایش تکرار خشکسالی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی را بر شمرده‌اند. عباس‌نژاد و شهیدشست (۲۰۱۳) نیز در دشت سیرجان، روند نزولی تغییرات سطح آب زیرزمینی و متوسط افت سالانه برابر ۸۰ سانتی‌متر در این دشت را به‌دلیل برداشت بی‌رویه گزارش کرده‌اند. رزاق‌منش (۲۰۰۶) با بررسی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت تبریز نشان داد که در شانزده سال آینده سطح آب زیرزمینی ۲/۶ متر پایین خواهد رفت. جلیلی و همکاران (۲۰۱۵) برداشت بی‌رویه و مدیریت نامناسب و نظارت ناکافی دهه گذشته بر میزان آب استخراجی از آبخوان اسلام‌آباد را عامل افت ۷ متری سطح آب زیرزمینی و کشت دیم ۱۶ هزار هکتار از اراضی حاصلخیز این دشت معرفی کردند.

علاوه بر روند تغییرات کاهش سطح آب زیرزمینی در وضعیت کنونی، تغییرات اقلیمی نیز اثرات خود را نشان خواهند داد. زارعیان و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثرات منطقه‌ای تغییر اقلیم بر حوضه آبخیز زاینده‌رود نشان دادند دمای سالانه این حوضه از ۰/۵۹ تا ۱/۳۴ درجه سانتی‌گراد در آینده نزدیک افزایش می‌یابد و تغییرات بارش ۱/۷۸ تا ۲۰/۷۸- درصد است. بیشترین افزایش دما و کاهش بارش فصلی به‌ترتیب در تابستان و زمستان اتفاق می‌افتد و

1. Coa  
2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

تغییر اقلیم اثرات نامطلوبی را بر هیدرولوژی و منابع آب حوضه دارد. آخونی پورحسینی و همکاران (۲۰۱۵) نیز در بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیر زمینی دشت اردبیل برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی آینده، از سناریوهای مدل اقلیمی HADCM3 بهره گرفته و نتایج حاصل بیانگر افت سطح آب هم‌ه‌چاه‌های پیرومتری مورد مطالعه تحت هر سه سناریو تغییر اقلیم برای دوره‌های آتی است.

به نظر می‌رسد کاهش منابع آبی در دسترس و نیاز به تولیدات کشاورزی روزافزون، استفاده بهینه از این منابع را الزام می‌کند. حسن اصفهانی و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی تخصیص بهینه آب آبیاری با استفاده از دیدگاه بیلان آب پرداخته و یک دیدگاه مدل‌سازی را معرفی کردند که با کاهش ۲۰ درصدی در کمیت آب مورد استفاده تغییری در میزان سود حاصل ایجاد نخواهد شد. داس<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۵) استفاده تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی را برای بسیاری از مناطق جهان مفید دانسته و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی، تخصیص منابع آب و خاک را به بخش‌های مختلف حوضه بهینه کردند. تخصیص بهینه آب با لحاظ ۳ هدف اجتماعی و ۲ موضوع اقتصادی و زیست‌محیطی در جهت تخصیص پایدار آب توسط روزبھانی و همکاران (۲۰۱۵) مورد پژوهش قرار گرفت. استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی نشان از اختصاص ۸۳ درصد از منابع آبی حوضه آبخیز به نیازمندی‌های زیست محیطی حوضه دارد.

امروزه با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضای منابع آب سالم و به دلیل نمایان شدن پدیده تغییر اقلیم که اثرات منفی بر منابع آب جهان دارد، توجه به مدیریت منابع آب تحت تأثیر تغییر اقلیم بیش از پیش به چشم می‌خورد. این امر موجب شده است که مدیران و کارشناسان مربوط به بخش آب، به تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی وضعیت اقلیم در آینده و ارزیابی اثرات آن به منظور کنترل و کاهش اثرات آن بر منابع آب به خصوص آب‌های زیرزمینی پردازند. از طرفی با توجه به موقعیت ایران و قرارگیری آن در کمربند

در نتیجه، حوضه با کمبود آب اساسی تحت اثر تغییر اقلیم مواجه خواهد شد. گوهری و همکاران (۲۰۱۳) نیز در این حوضه نشان دادند که در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۴ تحت شرایط تغییر اقلیم دمای ماهانه افزایش و بارش ماهانه، در برخی ماه‌ها کاهش و برخی افزایشی است و در این شرایط، تولید هم‌ه‌محصولات کشاورزی کاهش و محصولات با نیاز آبی فراوان‌تر، بیشتر تحت اثر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند.

اسکونهارت<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۶) تأثیرات تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و محیط زیست را در کشور اتریش بررسی نموده و نشان دادند که با سیاست‌های سازگار در محل، سود ناخالص بیشتر است و افزایش بهره‌وری حاصل از تغییرات آب‌وهوایی منجر به بدتر شدن شرایط محیطی و کاهش غنای گونه‌های گیاهی است. شرسنها<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۶) تأثیرات تغییر اقلیم را بر روی منابع آب زیرزمینی در دلتای مکونگ<sup>۳</sup> در کشور ویتنام مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در آینده، میانگین سالانه دما ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و تا پایان قرن ۲۱، افزایش ۴/۵ درجه‌ای دما تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 پیش‌بینی شده است. بارش در آینده در فصل مرطوب افزایش و در فصل خشک کاهش می‌یابد. میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی و در نتیجه، سطح آب‌های زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد. سفلنصر<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵) استفاده از دیدگاه‌های توسعه پایدار در مدیریت منابع آب زیرزمینی را ضروری دانسته و علاوه بر پیش‌بینی تأثیرات محیطی بر شرایط بهره‌برداری کنونی و آتی در کل سیستم، اقتصادی‌ترین سناریوی بهره‌برداری را تا سال ۲۱۰۰ پیشنهاد کرده‌اند.

کارآموز و همکاران (۲۰۱۱) به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در دشت رفسنجان از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده کرده و ریزمقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی را توسط مدل LARS-WG انجام داده‌اند. فرزانه و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان کردند که از بین مدل‌های تغییر اقلیم، خروجی مدل HADCM3، بیشترین و مناسب‌ترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی را داشته و براساس نتایج آن،

1. Schönhart
2. Shrestha
3. Mekong
4. Sefelnasr

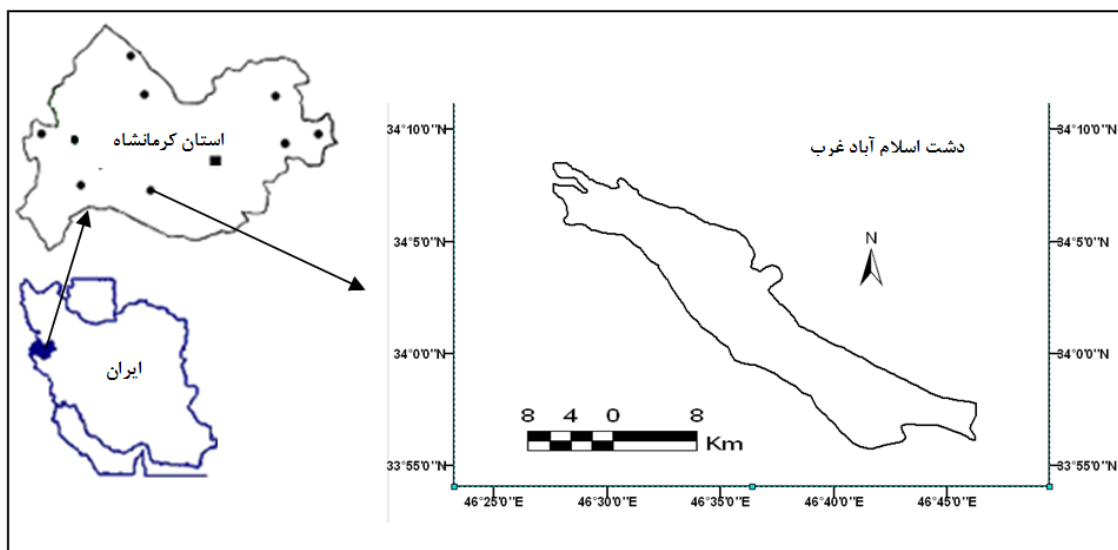
۳۳ تا ۲۰ ۳۴ شمالی واقع شده است. وسعت محدوده حدود ۸۵۵ کیلومتر مربع است که ۷۶ درصد آن را نواحی کوهستانی و ۲۴ درصد بقیه را پهنه‌های دشت تشکیل می‌دهد. عرض دشت اسلام‌آباد در بخش میانی حداکثر در حدود ۱۰ کیلومتر بوده و طول آن بیش از ۴۵ کیلومتر است که از شمال غربی تا جنوب شرقی شهرستان اسلام‌آباد امتداد دارد. تشکیلات مشرف به دشت اسلام‌آباد، به جز بخش کوچکی که در شمال غربی دشت واقع شده و از جنس آهک است، در نقاط دیگر غالباً مارنی و مارنی-آهکی است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی دشت اسلام‌آباد را نشان می‌دهد.

خشک جهان، باعث شده است که بررسی پدیده تغییر اقلیم و ارزیابی اثرات آن روی منابع آب ایران بیشتر مورد توجه قرار گیرد. وابستگی زیاد به منابع آب زیرزمینی در ایران و تعادل بخشی به این منبع مهم، موجب شد تا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت اسلام‌آباد در شرایط کنونی و تغییر اقلیم، مورد بررسی و بهینه‌سازی تخصیص سطح زیر کشت محصولات با توجه به محدودیت آب در دسترس صورت پذیرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی اسلام‌آباد در حوضه آبریز سیمره و کرخه‌علیا در جنوب غربی استان کرمانشاه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۱۵ ۴۶ تا ۴۷ ۴۶ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۴



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی دشت اسلام‌آباد غرب

محصولات مختلف الگوی کشت منطقه با استفاده از نتایج تحقیقات انجام‌شده این محصولات با استفاده از نرم‌افزار Cropwat محاسبه شد. حجم آب به‌دست‌آمده با بررسی کاربری‌های مختلف صنعتی، شرب، کشاورزی و دامی در منطقه و آبدهی قنوات و چاه‌های کشاورزی با سنجش میدانی به‌دست آمد. برای افزایش دقت و نزدیک شدن به حجم واقعی برداشت، نوع محصول، سطح زیر کشت هر چاه، تعداد روز دور آبیاری و میزان ساعت متوسط کارکرد

## روش پژوهش

داده‌ها و اطلاعات پایه و نیز اطلاعات ژئوهیدرولوژی منطقه از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه دریافت و به‌روز گردید. با توجه به موقعیت مکانی و اطلاعات استخراجی از چاه‌های مشاهده‌ای در دوره سی‌ساله (۱۳۶۳-۱۳۹۳) و اکتشافی، تحلیل‌های لازم در بخش آب زیرزمینی صورت گرفت و ضرایب ذخیره و نیز نقشه‌های هم‌سطح آب زیرزمینی به‌منظور تحلیل نوسانات سطح ایستابی در دشت ترسیم شد. نیاز آبی

چاه در روزهای آبیاری از طریق مصاحبه با بهره‌برداران ثبت شد. با داشتن اطلاعات برداشت، افت سطح آبخوان در سال بیلان، سطح بیلان و ضریب ذخیره دشت که از تحلیل‌های ژئوهیدرولوژی چاه‌های اکتشافی منطقه به‌دست آمد، حجم اضافه برداشت آب زیرزمینی محاسبه شد. حجم آب مجاز قابل استحصال نیز از تفاضل آب برداشت‌شده و حجم اضافه برداشت آبخوان در سال بیلان به‌دست آمد. از آنجاکه در سناریوی مدیریتی پیشنهادی مدنظر است که از تخریب محیط زیست جلوگیری به عمل آید، برنامه‌ریزی براساس ثبات سطح تراز صورت گرفت. بدین منظور حجم آب بهره‌برداری‌شده در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ به‌عنوان سال بیلان در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت و بهینه‌سازی تخصیص سطح زیر کشت محصولات مختلف کشاورزی انجام شد.

علاوه بر تحلیل وضعیت منابع آب و آب قابل استحصال و برنامه‌ریزی بخش کشاورزی در سال بیلان، تغییرات منابع آب زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم نیز بررسی شد. بدین منظور آمار روزانه متغیرهای اقلیمی بارش، دمای بیشینه و کمینه و تعداد ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک اسلام‌آباد که در مرکز دشت واقع شده است، از اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه دریافت شد. از دوره آماری ۲۲ ساله (۱۹۹۲-۲۰۱۳) برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی در دهه‌های آتی و نیز مدل تغییر اقلیم LARS-WG برای شبیه‌سازی داده‌های جوی استفاده شد. در این مطالعه، از مدل HADCM3 و سناریوهای انتشار A2 در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی پیش‌گفته، طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در مقایسه با دوره تاریخی ۲۰۱۳-۱۹۹۲ استفاده گردید. به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG از داده‌های بارش، حداکثر و حداقل درجه‌حرارت روزانه و تعداد ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک اسلام‌آباد غرب استفاده شد. این مدل برای مقایسه داده‌های تولید شده و تاریخی از معیارهای توزیع احتمال و میانگین‌ها به‌ترتیب از آزمون‌های  $X^2$  و  $t$  استفاده می‌کند (منصوری و همکاران، ۲۰۱۴).

برای انجام ریزمقیاس‌سازی ابتدا دو فایل ورودی مدل شامل فایل شناسه ایستگاه و فایل متغیرهای اقلیمی چهارگانه مورد نیاز مدل طی دوره ۲۰۱۳-۱۹۹۲ آماده شد. در ادامه با استفاده از ۲۲

سال داده دیده‌بانی، پارامترهای اقلیمی مذکور با استفاده از تابع مربوط در مدل LARS-WG برای سال‌های آتی محاسبه شد. سپس مدل برای تولید داده براساس پارامترهای به‌دست‌آمده براساس سری داده‌های مشاهده‌شده ایستگاه اجرا شد. آنگاه سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوی A2 برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تولید شد و مقادیر به‌دست‌آمده برای بررسی نحوه تغییر متغیرهای اقلیمی مرتبط با منابع آب زیرزمینی در دسترس در دوره آتی نسبت به دوره پایه به‌کار رفت. علت انتخاب این پای‌ه زمانی این بود که در بررسی مدنظر به‌جز تغییر در متغیرهای اقلیمی ناشی از تغییر اقلیم و تأثیر آن بر آب زیرزمینی، سایر عوامل تأثیرگذار همچون خاک، پوشش گیاهی و... ثابت فرض شده و در این دو دهه نزدیک شاید کمترین تغییرات در این عوامل به‌وجود آید و سناریوهای پیشنهادی انطباق بیشتری با واقعیت داشته باشند.

نتایج حاصل از تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر متغیرهای هواشناسی اعمال و اثر این تغییرات در آب زیرزمینی قابل بهره‌برداری در شرایط تغییر اقلیم مورد کنکاش قرار گرفت. بر این اساس، بهینه‌سازی درخصوص تخصیص اراضی به محصولات مختلف کشاورزی صورت پذیرفت. در این راستا نیاز آبی محصولات مختلف الگوی کشت موجود در دشت مورد مطالعه، در شرایط تغییر اقلیم نیز بررسی و نیاز آبی جدید آن‌ها محاسبه و در تابع محدودیت آب موجود در دسترس (تابع ۱۵) و تخصیص آن به محصولات مختلف کشاورزی گنجانده شد.

### بهینه‌سازی سطح زیر کشت

پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله و تعیین محدودیت‌های موجود در منطقه، مسئله بهینه‌سازی در دشت اسلام‌آباد غرب به‌صورت زیر فرمول‌بندی شد:

$$\text{تابع هدف: (۱)} \quad \text{Max}(Z) = \sum_1^n C_{Bi} X_i$$

توابع محدودیت:

$$C_{W_{Uj}} \leq B_1 \quad (۲)$$

$$X_1 + X_2 + \dots + X_{14} \leq B_2 \quad (۳)$$

(i=5)، یونجه (i=6)، سبزیجات (i=7)، جالیز (i=8)،

گوجه‌فرنگی (i=9)، باغات میوه (i=10)، گندم دیم (i=11)،

جو دیم (i=12)، نخود دیم (i=13) و عدس (i=14) است.

و چهار دسته محدودیت زیر در مدل لحاظ شد:

#### الف. محدودیت‌های دسترسی به منابع

الف-۱. محدودیت دسترسی به منابع آب: از ۴۴/۵۴ میلیون مترمکعب آب بهره‌برداری شده در سال، بیلان مجموع شرب شهری و روستایی و دامپروری و فضای سبز (۱۰/۵۹ میلیون مترمکعب) کسر شده و ۳۳/۹۵ میلیون مترمکعب باقی‌مانده مربوط به بخش کشاورزی و قابل مدیریت و بهینه‌سازی است. توابع شماره (۱۴) و (۱۵) توابع محدودیت دسترسی به منابع آب در وضعیت موجود و شرایط تغییر اقلیم است که در آن‌ها نیاز آبی محصولات برحسب هزار مترمکعب، به‌عنوان ضرایب متغیرهای تابع در نظر گرفته شد و مقدار سمت راست معادله نماینده مقدار در اختیار بودن منبع بر حسب هزار مترمکعب است و عدد ۲۵۳۸۰ و ۲۵۸۸۷/۵ در این ستون همان کمیت آب قابل بهره‌برداری براساس سناریوی ثبات سطح آبخوان است. همه عوامل تأثیرپذیر از تغییر اقلیم در شرایط آبی ثابت فرض شده و تنها اثر دو متغیر بارش و دما و تأثیر آن در تولیدات کشاورزی بررسی شده است.

$$3.31X_1+10.05 X_2+7.17 X_3+7.42 X_4+3.86 X_5+9.89 X_6+7.87X_7+4.505 X_8+7.86 X_9+6.783*X_{10} \leq 25380 \quad (14)$$

$$3.66X_1+11.12 X_2+7.93 X_3+8.21 X_4+4.27 X_5+10.94 X_6+8.71 X_7+4.98 X_8+8.69 X_9+7.5*X_{10} \leq 25887.5 \quad (15)$$

الف-۲. محدودیت سطح اراضی کل: از مساحت ۱۹۴۳۸ هکتاری آبخوان، ۵۹۰ هکتار مربوط به اراضی مسکونی شهری و روستایی و صنعتی کم می‌شود؛ بنابراین سطح باقی‌مانده برای تخصیص به محصولات چهارده‌گانه الگوی کشت ۱۸۸۴۸ هکتار است. مجمدرنتیجه‌ی سطح اراضی زیر کشت این محصولات حداکثر می‌تواند به میزان پیش گفته باشد.

$$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+X_8+X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14} \leq 18848 \quad (16)$$

$$X_1=X_2+X_3+X_4+X_5+X_8+X_9 \quad (4)$$

$$X_{11}+X_{12}=X_{13}+X_{14} \quad (5)$$

$$X_{10} \geq B_3 \quad (6)$$

$$X_{10} \leq B \quad (7)$$

$$X_7 \geq B_5 \quad (8)$$

$$X_7 \leq B_6 \quad (9)$$

$$X_6 \geq B_7 \quad (10)$$

$$X_7 \leq B_8 \quad (11)$$

$$X_1, X_2, \dots, X_{14} \geq 0 \quad (12)$$

که در آن، Z درآمد خالص سالانه،  $X_i$ ،  $CB_i$ ،  $CWU_i$  به ترتیب مساحت زیرکشت، درآمد خالص و نیاز آبی هر محصول،  $B_1$  حجم آب قابل بهره‌برداری مطابق سناریوهای مدیریتی،  $B_2$  سطح کل اراضی دشت،  $B_3$ ،  $B_5$  و  $B_7$ ، سطح اراضی باغی، سبزی‌کاری و یونجه‌کاری،  $B_4$ ،  $B_6$  و  $B_8$  نیز به ترتیب بیشترین سطح اراضی باغی، سبزی‌کاری و یونجه‌کاری است.

#### توابع هدف و محدودیت در مدل بهینه‌سازی

در شرایط فعلی، امکان تغییر در استفاده از اراضی مسکونی، صنعتی و راه‌ها وجود ندارد؛ از این رو مناطق مذکور از سطح کل کسر شده و سطح بهینه‌سازی (۱۹۴۳۸ هکتار) به‌دست آمد. پس از محاسبه تولید، درآمد ناخالص و هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت، سود خالص سالانه هر محصول به‌عنوان ضریب در تابع هدف مورد استفاده قرار گرفت. برای محدودیت دسترسی به آب، نسبت به تعیین نیاز آبی محصولات مختلف اقدام و به‌عنوان ضریب برای متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. سایر محدودیت‌ها نیز از طریق پیمایش میدانی و مصاحبه چهره‌به‌چهره در منطقه، استخراج و توابع محدودیت نهایی شد. شکل عمومی مسئله موجود در دشت اسلام‌آباد به صورت زیر نوشته شد:

$$\begin{aligned} \text{Max}(Z) = & 3.821*X_1+7.67*X_2+3.439*X_3+8.1*X_4+ \\ & 1.698*X_5+2.196*X_6+4.72*X_7+1.24*X_8+6.14*X_9+7.4 \\ & *X_{10}+0.726*X_{11}+0.072*X_{12}+1.71*X_{13}+1.09*X_{14} \end{aligned} \quad (13)$$

که در آن، متغیرهای تصمیم که با اندیس i در الگوی برنامه‌ریزی خطی مشخص شده‌اند، شامل گندم آبی (i=1)، چغندرقد (i=2)، ذرت (i=3)، سیب‌زمینی (i=4)، نخود آبی

**ب. محدودیت‌های تناوب زراعی**

ب-۱: محدودیت تناوب زراعی آبی: در تناوب زراعی الگوی کشت منطقه، ۵۰ درصد کشت‌های آبی به گندم اختصاص دارد و تناوب تکمیلی گندم، یکی از محصولات ذرت، چغندر قند، سیب‌زمینی و نخود آبی، جالیز و گوجه‌فرنگی است؛ در نتیجه:

$$X_1 = X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_8 + X_9 \quad (17)$$

ب-۲: محدودیت تناوب زراعی دیم: با کسر سطح اراضی آبی از سطح کل آبخوان، سطح مربوط به کشت محصولات دیم به دست می‌آید که در تناوب کشت دیم سطحی که به کشت گندم و جو اختصاص دارد، با کشت‌های تکمیلی تناوب سالانه یعنی نخود و عدس برابر است:

$$X_{11} + X_{12} = X_{13} + X_{14} \quad (18)$$

**ج. محدودیت‌های اجتماعی و اقتصادی**

ج-۱: سطح اراضی باغی: این سطح در منطقه ۲۱/۸ هکتار بوده و از این میزان نمی‌تواند کمتر باشد؛ زیرا در حال حاضر به‌علت بهره‌دهی مناسب، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند.

$$X_{10} \geq 21.8 \quad (19)$$

ج-۲: بیشترین سطح اراضی باغی: سطح اراضی باغی ۲۱/۸ هکتار بوده، اما این میزان می‌تواند به ۳۲/۷ هکتار افزایش یابد. دلیل این افزایش این است که به‌دلیل وضعیت اقلیمی منطقه و وقوع سرمازدگی و درصد ریسک نسبتاً زیاد، باغداران تنها حاضر به افزایش سطح زیرکشت خود تا ۵۰ درصدند.

$$X_{10} \leq 32.7 \quad (20)$$

ج-۳: سطح اراضی سبزی‌کاری: این کشت در منطقه، شش هکتار بوده و از این میزان نمی‌تواند کمتر باشد؛ زیرا در حال حاضر به‌علت بهره‌دهی مناسب و چندساله بودن برخی از گونه‌های کشت‌شده، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند.

$$X_7 \geq 6 \quad (21)$$

ج-۴: بیشترین سطح اراضی سبزی‌کاری: سطح اراضی زیر کشت سبزیجات شش هکتار بوده، اما نتایج حاصل از مصاحبه با کشاورزان منطقه نشان داد که تا دو برابر قابل افزایش است؛ زیرا به‌دلیل نیاز به نیروی انسانی در طی دوره رشد و تولید

محصول و نیز امکان‌پذیر نبودن نگهداری در شرایط بازار مصرف، اغلب مردم حاضر به کشت این محصول نیستند.

$$X_7 \leq 12 \quad (22)$$

ج-۵: سطح اراضی یونجه‌کاری: این سطح در منطقه ۶۸/۵ هکتار بوده و از این میزان نمی‌تواند کمتر باشد؛ زیرا در حال حاضر به‌علت چندساله بودن و بهره‌دهی مناسب، مردم منطقه به تغییر این کاربری تمایلی ندارند.

$$X_6 \geq 68.5 \quad (23)$$

ج-۶: بیشترین سطح اراضی یونجه‌کاری: سطح اراضی زیر کشت یونجه ۶۸/۵ هکتار بوده و این میزان می‌تواند به ۱۰۲/۸ هکتار افزایش یابد؛ زیرا مردم به‌دلیل شرایط آبی منطقه و طول دوره تولید، به افزایش تا ۱۰۲/۸ هکتار تمایل دارند.

$$X_{10} \leq 102.8 \quad (24)$$

**د. محدودیت غیر منفی بودن متغیرها**

در شرایط مدل برنامه‌ریزی خطی سطح اختصاص یافته به هر کاربری باید غیرمنفی باشد.

$$(25)$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14} \geq 0$$

**اجرای مدل بهینه‌سازی**

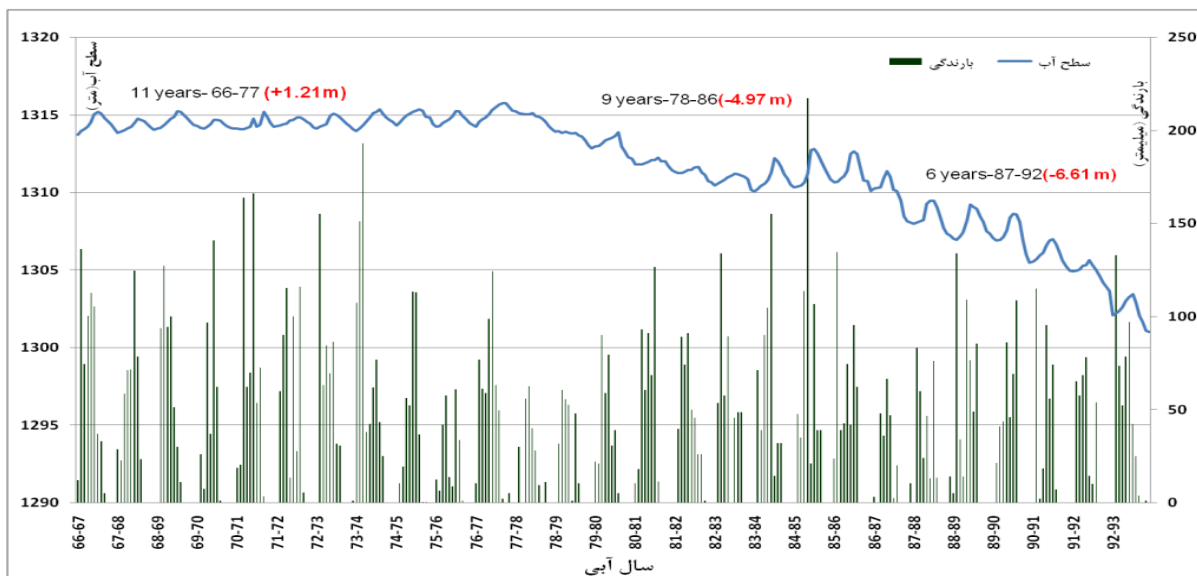
با توجه به توابع هدف و محدودیتی که بیان شد، به‌منظور دستیابی به مناسب‌ترین وضعیت سطح کشت اراضی آبی برای رسیدن به اهداف تحقیق با استفاده از روش سیمپلکس و با کمک نرم‌افزار LINGO نسخه ۱۱، مسئله برنامه‌ریزی خطی موجود مدل‌سازی و اجرا شد.

**نتایج**

مطابق روش پژوهش تشریح‌شده در مقاله، نتایج حاصل از بخش‌های مختلف پژوهش بدین شرح‌اند.

**الف. نوسانات سطح آبخوان در دوره آماری موجود**

هیدروگراف نوسانات سطح تراز آب زیرزمینی و تغییرات ماهانه بارندگی در این دشت در دوره ۲۶ ساله (۱۳۶۶-۱۳۹۳) بررسی و در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل (۲): تغییرات بارش و ارتفاع سطح آب زیرزمینی در دشت اسلام آباد غرب (دوره ۲۶ ساله)

**ب. وضعیت بیلان آبخوان**

در سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ نیز حدود ۳/۸۳ میلیون مترمکعب از آب آبخوان کاسته شده است. اجزاء بیلان در جدول (۱) ارائه شده است.

در دوره آماری سی ساله آبخوان دشت اسلام آباد، سالانه حدود ۰/۳۵ متر و در ۵ سال آخر ۰/۶۹ متر کاهش در سطح ایستابی آبخوان وجود دارد که به ترتیب حجمی معادل با ۲/۳۸ و ۴/۶۹ میلیون مترمکعب در هر سال است. همچنین

جدول (۱): مقادیر اجزای مختلف بیلان آب زیرزمینی

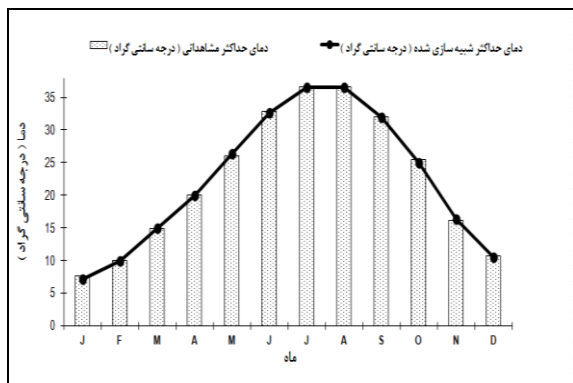
ردیف	شرح اجزا	تغذیه (MCM)	تخلیه (MCM)
۱	جریان ورودی زیرزمینی به محدوده بیلان ( $Q_{in}$ )	۳/۵۵	۰
۲	نفوذ مستقیم از ریزش های جوی ( $Q_p$ )	۸/۵۰	۰
۳	نفوذ از جریان سطحی و سیلاب ( $Q_r$ )	۱۶/۳۴	۰
۴	آب برگشتی از مصارف کشاورزی ( $Q_i$ )	۶/۹۷	۰
۵	آب برگشتی از مصارف شهری ( $Q_{sw}$ )	۶/۳	۰
۶	جریان خروجی زیرزمینی از محدوده بیلان ( $Q_{out}$ )	۰	۰/۹۵
۷	برداشت از آبخوان برای انواع مصارف ( $Q_{ex}$ )	۰	۴۴/۵۴
۸	تبخیر از سطح سفره ( $Q_d$ )	۰	۰
۹	حجم آب زهکشی شده از سفره آب زیرزمینی ( $Q_{et}$ )	۰	۰
۱۰	تغییرات حجم مخزن ( $\pm \Delta V$ )	۳/۸۳	۰
	جمع	۴۵/۴۹	۴۵/۴۹



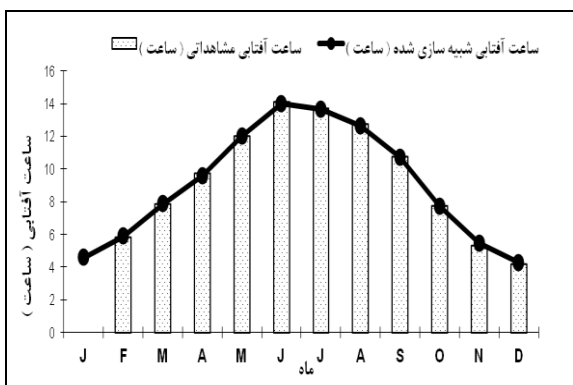
ج. ارزیابی مدل LARS-WG و مقایسه مقادیر مشاهداتی و

شبیه‌سازی شده متغیرهای اقلیمی

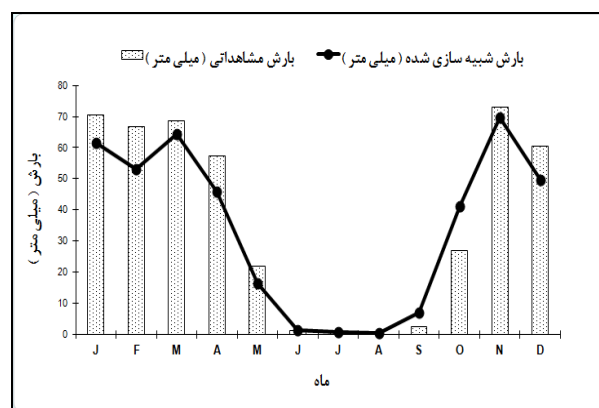
متغیرهای اقلیمی چهارگانه بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه و تعداد ساعات آفتابی که توسط مدل شبیه‌سازی شده، در شکل‌های (۳) تا (۶) نشان داده شده است. انطباق مناسب داده‌ها بر همدیگر نشان از برآورد دقیق مدل در شرایط منطقه است.



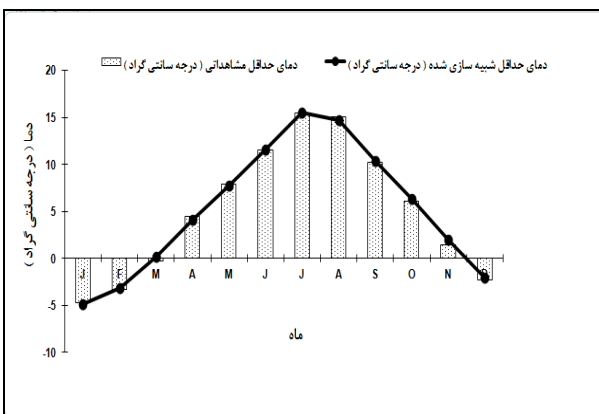
شکل (۵): انطباق داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر



شکل (۶): انطباق داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده ساعات آفتابی



شکل (۳): انطباق داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده بارش



شکل (۴): انطباق داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده دمای حداقل

بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی در شرایط تغییر اقلیم

پس از تعیین مدل مناسب، براساس سناریوهای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی داده‌های چهار متغیر اقلیمی براساس سناریوی A2 و با مدل HADCM3 شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): داده‌های شبیه‌سازی شده براساس سناریوی A2 در مدل HADCM3 در مقایسه با داده‌های مشاهداتی برای چهار متغیر اقلیمی

متغیر	ماه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
بارش	Obs(۱۹۹۲-۲۰۱۳)	۷۰/۳۸	۶۶/۸۳	۶۸/۵۳	۵۷/۱۶	۲۱/۸۱	۱/۰۲	۰/۹۴	۰/۲۱	۲/۳۲	۲۶/۷۸	۷۲/۸۲	۶۰/۴۲	
	Gen(۲۰۱۱-۲۰۳۰)	۶۹/۶۸	۶۲/۱۲	۶۹/۱۲	۵۷/۷۲	۲۲/۰۵	۰/۸۲	۱/۹۱	۰/۶۳	۵/۴۸	۳۶/۰۹	۷۱/۸۱	۶۱/۹۲	
	تغییرات ماهانه	-۱/۶۹	-۴/۷۱	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۲۴	-۰/۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۴۲	۳/۱۶	۹/۳۱	-۱/۰۱	۱/۵
دمای کمینه	Obs(۱۹۹۲-۲۰۱۳)	-۲/۴	-۷/۰۵	-۳/۳۸	-۰/۳۱	۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶	۱۳۶/۲	۳۴/۷	-۱/۳۹	۲/۴۹
	Gen(۲۰۱۱-۲۰۳۰)	-۴/۵	-۲/۵۹	-۴/۵	۴/۹	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۱۰/۹۳	۶/۷۹	۱/۹۹	-۱/۸۶
	تغییرات ماهانه	۰/۳۲	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹
دمای بیشینه	Obs(۱۹۹۲-۲۰۱۳)	-۲۳/۴	-۲۳/۴	۱۱/۱	۹/۶	۶/۹	۶/۸	۳/۹	۷/۸	۱۲/۰	۴۷/۴	-۲۱/۸	-۲۳/۳	۱۰/۶۳
	Gen(۲۰۱۱-۲۰۳۰)	۷/۶	۹/۸۸	۱۴/۸۵	۲۰/۰۵	۲۶/۰۳	۳۲/۸۱	۳۶/۵۳	۳۶/۵۳	۳۶/۵۳	۳۱/۹۵	۲۵/۳۶	۱۶/۱	۱۰/۶۳
	تغییرات ماهانه	-۰/۱۸	۰/۵	۰/۴۹	۰/۳	۰/۸۴	۰/۵۸	۰/۸۱	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۹۱	۰/۱۵
ساعات آفتابی	Obs(۱۹۹۲-۲۰۱۳)	۴/۴۶	۵/۸۸	۷/۹۷	۹/۸۰	۱۲/۰۶	۱۴/۱۲	۱۳/۷۲	۱۳/۷۲	۱۲/۷۶	۱۰/۸۰	۷/۸۳	۵/۳۹	۴/۲۴
	Gen(۲۰۱۱-۲۰۳۰)	۴/۶۲	۵/۹۸	۸/۰۷	۹/۶۱	۱۲/۴۷	۱۴/۱۹	۱۳/۷۲	۱۳/۷۲	۱۲/۴۸	۱۰/۵۵	۷/۶۱	۵/۷۲	۴/۴۰
	تغییرات ماهانه	۰/۱۶	۰/۱	۰/۱۴	-۰/۱۹	۰/۴۱	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۲۸	-۰/۲۵	-۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۱۶
درصد تغییرات ماهانه	۳/۵۹	۱/۷	۱/۷۷	-۱/۹۴	۳/۴۰	۰/۵۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۲/۲۰	-۲/۳۲	-۲/۸۱	۶/۱۳	۳/۷۷	

Obs: داده‌های مشاهده شده Gen: داده‌های تولیدی

جدول (۳): توزیع محصولات الگوی کشت در وضعیت موجود و شرایط بهینه سناریوی مدیریتی

محصولات	گندم	چغندر	ذرت	سبب زمینی	باغ	پنجه	سبزی	نخود	گوجه فرنگی	جالیز	گندم دیم	جو دیم	نخود دیم	عذس دیم	میزان سود	سود	درصد تغییر
وضعیت موجود	۱۹۰/۱۹	۴۰/۷/۵	۵۴/۵/۳	۱۱۲/۳	۲۱/۸	۶۸/۵	۶	۲۲/۸	۲۸	۲۳۳/۳	۷۷۴/۴	۳۶/۸	۷۷۲/۴	۳/۲	۳۲۸۴۴/۶۸	---	---
وضعیت بهینه در شرایط کنونی	۲۳۷/۱	۰	۰	۲۳۷/۱	۳۲/۸	۶۸/۵	۶	۰	۰	۰	۷۰۹۳/۳	۰	۷۰۹۳/۳	۰	۴۲۸۴۵/۳۱	۳۶/۵	۳۶/۵
وضعیت بهینه در شرایط تغییر اقلیم	۲۰۹۲/۸۳	۰	۰	۲۰۹۲/۸۳	۰	۶۸/۵	۶	۰	۰	۳۲/۸	۷۷۷/۶۷	۰	۷۷۷/۶۷	۰	۲۳۰۹۶/۵۶	-۳/۹	-۳/۹

### بحث و نتیجه گیری

شیمیایی، سموم دفع آفات و گسترش کشاورزی به زمین‌های حاشیه‌ای است. بررسی وضعیت منابع آبی در دشت اسلام‌آباد نشان داد که تأمین منابع آب مورد نیاز بخش کشاورزی در منطقه، وابستگی کامل به آب زیرزمینی دارد و این در حالی است که در سال‌های اخیر، افت سطح آب زیرزمینی دشت اسلام‌آباد شدت می‌یابد، به طوری که در شش سال منتهی به سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ سطح آبخوان ۶/۶۱ متر افت داشته و آبخوان با کسری ذخیره سالانه مواجه بوده و

عوارض زیست‌محیطی ناشی از اجرای برنامه‌های توسعه کشاورزی مبتنی بر تکنولوژی، توجه مجامع علمی را به توسعه پایدار جلب کرده است. بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شور شدن آب و فرونشست آبخوان‌های زیرزمینی، آلودگی آب‌های سطحی و فرسایش خاک‌های زراعی و مانند اینها، عوارضی است که بیشتر ناشی از اثر استفاده از ارقام پرمحصول همراه با مصرف بیشتر آب، کود

منطقه قرار گرفت. اشکال ۳ تا ۶ میزان تطابق داده‌های تاریخی با داده‌های شبیه‌سازی‌شده مدل را برای چهار متغیر اقلیمی نشان می‌دهد و انطباق مناسب داده‌ها بر همدیگر نشان از برآورد دقیق مدل در شرایط منطقه است. کارآموز و همکاران (۲۰۱۱) نیز بر دقت مدل در ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی دشت رفسنجان اذعان داشته‌اند. فرزانه و همکاران (۲۰۱۲) نیز این مدل و خروجی آن را دارای بیشترین همبستگی با داده‌های مشاهده‌ای معرفی کرده‌اند.

نتایج ارائه‌شده در جدول (۲) نشان می‌دهد که افزایش بارش از مردادماه تا آبان ماه اتفاق می‌افتد و در مهر و آبان بیشترین میزان افزایش سالانه به‌وقوع می‌پیوندد. در این بازه زمانی، شرایط پوشش گیاهی منطقه و نیز بهره‌برداری‌های کشاورزی به‌گونه‌ای است که کاشت محصولات دیم روی نداده و محصولات آبی به مرحله آبیاری و نیاز آبی نرسیده‌اند. از طرفی در بازه زمانی اسفند تا اواخر اردیبهشت که بارش‌های تأثیرگذار منطقه در بخش کشاورزی به‌وقوع می‌پیوندد، افزایش معنی‌داری در میزان بارش در شرایط تغییر اقلیم دیده نمی‌شود. دمای کمینه ماه‌های مختلف افزایش یافته است و این افزایش در همه ماه‌ها قابل مشاهده است. دامنه تغییرات این متغیر اقلیمی از ۰/۳ درجه در ژانویه تا ۱ درجه سانتی‌گراد در ژولای است. دمای بیشینه به‌جز ژانویه که کاهشی است، در سایر ماه‌های سال افزایش می‌یابد. شرسنها و همکاران (۲۰۱۶) نیز در منطقه مورد تحقیق خود در کشور ویتنام، افزایش ۱/۵ درجه‌ای دما را گزارش کرده‌اند. زارعیان و همکاران (۲۰۱۵) و گوهری و همکاران (۲۰۱۳) نیز در پژوهش‌های خود این افزایش را در حوضه زاینده‌رود گزارش کرده‌اند. در پژوهش حاضر، دامنه این تغییرات از ۰/۳ درجه در آوریل تا ۰/۹ درجه سانتی‌گراد در نوامبر متفاوت است. کاهش دما تنها در ماهی از سال رخ داده است که کشت‌های آبی منطقه در شرایط عدم رویش‌اند و افزایش دمای بیشینه در سایر ماه‌ها در کنار افزایش دمای کمینه در سال، سبب افزایش نیاز آبی گیاه خواهند شد. این شرایط در اکوسیستم شکننده مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر حائز اهمیت است و لزوم مدیریت مصرف آب زیرزمینی به‌عنوان

بیان کاملاً منفی است (جدول ۱ و شکل ۲). روند تغییرات سطح آب زیرزمینی بیانگر شدت این وضعیت در آینده و تهدید پایداری تولید در منطقه است که نتایج جلیلی و همکاران (۲۰۱۵)، پاندا و همکاران (۲۰۰۷)، اکرامی و همکاران (۲۰۱۱)، رزاق‌منش (۲۰۰۶) در شدت‌های مورد تحقیق مبنی بر روند افزایشی افت سطح آبخوان‌ها را نیز تأیید می‌کند. در برنامه‌ریزی الگوی کشت، حفاظت از منابع پایه و محیط زیست بایستی مورد توجه باشد؛ چراکه این امر پایداری در تولید محصولات کشاورزی و محیط زیست را به دنبال دارد. یکی از نمونه‌های بارز حفاظت منابع و محیط زیست، مصرف بهینه آب است که با توجه به قرار گرفتن کشور ما در کمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا، الگوی کشت بایستی با محوریت بهره‌وری بهینه از منابع آب تدوین شود؛ به‌ویژه آنکه توجه به اثرات تغییر اقلیم در آینده بر این امر، به‌خصوص در اکوسیستم‌های شکننده مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران ضروری است. در دشت اسلام‌آباد غرب به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب موجود در راستای تحقق اهداف بلندمدت، مدیریت منابع آب و کاهش افت سالانه تراز آب زیرزمینی، اصلاح الگوی کشت موجود یک الزام است. از آنجاکه برخی از محصولات الگوی کشت موجود در برنامه‌نویسی بهینه‌سازی حذف می‌شوند، به‌منظور حفظ تنوع محصولات برای حضور در الگوی کشت، معرفی گونه‌های جدید مانند کلزا و نظایر آن که با داشتن نیاز آبی کمتر سود بیشتری را در اختیار کشاورزان قرار دهند، مورد نیاز است؛ جلیلی و همکاران (۲۰۱۵) نیز بر این مهم تأکید کرده‌اند.

به‌منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر آبخوان دشت اسلام‌آباد غرب، از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد. برای انطباق مقیاس خروجی این مدل‌ها با مقیاس مورد نیاز مطالعات محلی تغییر اقلیم، داده‌های بارش و دما توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس‌شده و از این اطلاعات ریزمقیاس‌شده برای تعیین مقادیر تغذیه و تخلیه آبخوان در دوره‌های آتی استفاده و خروجی مدل HADCM3، سناریوی A2 در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مبنای تصمیم‌گیری اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی

یکی از شاخص‌های توسعه پایدار اکوسیستم کشاورزی منطقه را دوچندان می‌کند.

در آینده اقلیمی منطقه مطابق سناریوی مورد بررسی در این پژوهش متغیرهای بارش، دمای بیشینه و کمینه و ساعات آفتابی در شرایط تغییر اقلیم، به ترتیب  $۲/۲، ۳۱/۰۴، ۱۳/۶۶$  و  $۰/۴$  درصد تغییر می‌کنند که با گزارش IPCC (۲۰۰۷) مبنی بر افزایش دما تطابق دارد. زارعیان و همکاران (۲۰۱۵) نیز در حوضه زاینده‌رود، تغییرات  $۱/۷۸$  تا  $۲۰/۷۸$  - درصدی بارش، و گوهری و همکاران (۲۰۱۳) نیز در پژوهش‌های خود، تغییرات بارش را در برخی ماه‌ها کاهش و در سایر ماه‌ها افزایشی گزارش کرده‌اند. این شرایط بر نیاز آبی و حجم آب در دسترس تأثیر می‌گذارد. تحلیل داده‌های بیلان در وضعیت تغییر اقلیم نشان داد که با توجه به تغییرات دما و بارش، علی‌رغم افزایش بارش و سهم آن در افزایش حجم ذخایر آبخوان - برخلاف نتایج فرزانه و همکاران (۲۰۱۲)، سرسها و همکاران (۲۰۱۶) و آخونی پورحسینی و همکاران (۲۰۱۵) که کاهش سطح آبخوان را در شرایط تغییر اقلیم گزارش کرده‌اند - تغییر شرایط به گونه‌ای است که افزایش دما تأثیرات خود را روی افزایش نیاز آبی گیاهان نشان داده است. این وضعیت در تغییر ضرایب تابع محدودیت ۱۶ نسبت به ۱۵ در مدل بهینه‌سازی به روشنی مشخص شده است که در سود حاصل از تولیدات کشاورزی نیز اثر کاهشی داشته است. نتایج ارائه شده در جدول (۳) که خروجی مدل بهینه‌سازی را نشان می‌دهد، کاهش  $۳/۶$  درصدی سود را نشان داده که با نتایج حسن اصفهانی و همکاران (۲۰۱۵) کاملاً در تضاد است.

با دقت در جدول (۳) مشخص است که در سناریوی مدیریتی بهینه در شرایط کنونی که تعادل محیط زیست را در نظر دارد و بناست که سطح آب زیرزمینی در سطح موجود باقی مانده و افت نداشته باشد، کشت‌های آبی چغندر، ذرت، نخود، گوجه‌فرنگی و جالیز از الگوی کشت بهینه حذف شده و گندم افزایش سطح زیر کشت داشته است. بیشترین تغییر مشاهده شده در جایگزینی کشت سیب‌زمینی به جای چغندر و ذرت است. باغ به بیشترین سطح ممکن افزایش سطح یافته،

اما سبزیجات و یونجه در حداقل خود باقی مانده‌اند. در کشت دیم، جو و عدس حذف شده و کاهش سطح گندم و نخود به واسطه افزایش سطح زیر کشت آبی این محصولات است. در سناریوی پیشنهادی، میزان سود حاصل از بهینه‌سازی مثبت بوده و این افزایش برابر  $۳۶/۵$  درصد است که با نتایج اسکونهارت و همکاران (۲۰۱۶) که بالاتر بودن سود ناخالص را در شرایط سیاست‌های سازگار گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. البته ممکن است اجرای الگوی بهینه به دست آمده به دلیل مسائل فرهنگی و شرایط اقتصادی حاکم بر زندگی کشاورزان قابل اجرا نباشد؛ برای نمونه، هزینه بالای کاشت تا برداشت سیب‌زمینی باعث شده که علی‌رغم سود بالای این محصول، کشاورزان رغبت زیادی برای کاشت و افزایش سطح بیش از ۱۵ برابری این محصول را نداشته باشند. بهینه‌سازی در وضعیت تغییر اقلیم نیز نشان می‌دهد که به دلیل تغییر اقلیم آب‌وهوایی در آینده که با افزایش دما و بارش همراه است، علی‌رغم بارش افزایش یافته، پراکنش زمانی آن در تطابق مناسب با نیاز آبی محصولات نبوده و به همراه تأثیر دما در افزایش نیاز آبی تخصیص بهینه سطح زیر کشت محصولات مختلف کاهش  $۳/۶$  درصدی سود حاصل تولیدی را سبب شده و این امر ناپایداری تولید و اکوسیستم منطقه را در پی خواهد داشت.

در یک جمع‌بندی می‌توان گفت وضعیت اقلیمی شبیه‌سازی شده برای اقلیم آینده دشت اسلام‌آباد غرب، شرایطی را متصور است که افزایش متغیرهای دمایی در منطقه را در پی دارد؛ این امر بر افزایش تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان تأثیر مستقیم دارد. علی‌رغم افزایش بارش در منطقه، پراکنش زمانی آن به گونه‌ای است که به مصرف آب در بخش کشاورزی کمک چندانی نخواهد کرد و این امر کماکان روند افزایشی برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی منطقه را در پی خواهد داشت. از آنجاکه بیش از ۹۰ درصد آب زیرزمینی در این منطقه مصرف کشاورزی دارد، ادامه این وضعیت ناپایداری کشاورزی را در پی خواهد داشت و توسعه ناپایدار نخستین محصول این ناپایداری اکوسیستمی است. لذا لزوم برنامه‌ریزی بهینه در خصوص تخصیص بهینه

منابع آب زیرزمینی و اصلاح الگوی کشت در این دشت پایداري اکوسیستمی در این منطقه بکاھد. می‌تواند از شدت تخریب و روند نزولی شاخص‌های

## منابع

1. Abbas Nejad, A., Shahidasht, W., 2013. Investigate the susceptibility of Sirjan plain due to excessive withdrawals from the aquifer area, *Geography and Urban Planning Regional*, 2013:85-96.
2. Akhoni Pourhoseini, F., Darbandi, S., Asadi, E., 2015. Assessment of climate change on groundwater resources. *Water engineering conference*. Tehran.
3. Cao, L., Zhang, Y., Shi, Y., 2011. Climate change effect on hydrological processes over the Yangtze River basin. *Quaternary International*. 244: 202-210.
4. Das, B., Singh, A., Panda, S.N., Yasuda, H., 2015. Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture. *Land Use Policy*, 42: 527-537.
5. Ekrami, M., Sharify, Z., Maleki Nejad, H., Ekhtesasy, M., 2011. Changes in the quality and quantity of groundwater resources Yazd – Ardekan, *Journal of School Health*. 1(2-3): 92-82.
6. Farzaneh, M.R., Eslamian, S., Samadi, Z., Akbarpour, A., 2012. An appropriate general circulation model to investigate climate change impact, *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 2(1):34-47.
7. Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., Wang D., Madani, K., 2013. Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin, *Science of the Total Environment*, 442:405-419.
8. Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., McKee, M. 2015. Assessment of optimal irrigation water allocation for pressurized irrigation system using water balance approach, learning machines, and remotely sensed data. *Agricultural Water Management*. 153: 42–50.
9. IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis / Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, New York, USA, p. 24–57.
10. Jalili, Kh., Moradi, H.R., Bozorg Haddad, O. 2015. Analysis of aquifer water level drawdown in Islamabad due to the allocation of groundwater resources. *Water Harvesting and Watershed Management Congress*. Birjand.
11. Karamouz, M., Aboolpor A., Nazif, S., 2011. Assessment of climate change on groundwater resources, (casestudy: Rafsanjan plain). 4<sup>th</sup> conference on Iranian water resources management. Tehran.
12. Kozehegaran, S., Mousavi Baigi, M., 2015. Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran. *Journal of Water and Soil*. 29(3):750-764.
13. Mansori, B., Ahmadzadeh, H., Massah Boani, A.R., Morid, S., Delavar, M., Lotfi, S., 2014. Assessment of climate change on water resources of Zarrineh roud basin using SWAT model. *Journal of Water and Soil (Agriculture science)*. 28(6):1191-1203.
14. Panda, D.K., Mishra, A., Jena, S.K. Kumar, A., 2007. The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India, *Journal of Hydrology*. 343(3):140-153.
15. Razaghmanesh, M., Salemi, T. Seraj, M. 2006. Assessment of Groundwater quality and quantity of Tabriz plain. *National Conference on Irrigation and Drainage Networks*, Ahvaz.
16. Roozbahani, R., Schreider, S., Abbasi, B., 2015. Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences. *Environmental Modelling & Software*, 64:18–30.
17. Schönhart, M., Schauppenlehner, T., Kuttner, M., Kirchner, M., Schmid, E.,

2016. Climate change impacts on farm production, landscape appearance, and the environment: Policy scenario results from an integrated field-farm-landscape model in Austria, *Agricultural Systems*. 145:39–50.
18. Sefelnasr A., Gossel, W., Wycisk, P., 2015. Groundwater management options in an arid environment: The Nubian Sandstone Aquifer System, Eastern Sahara, *Journal of Arid Environments* 122 : 46-58.
21. Shrestha, S., Bach, T.V., Pandey, V.P., 2016. Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental Science & Policy*. 61:1–13
22. Zareian, M.J., Eslamian, S., Safavi, H.R., 2015. A modified regionalization weighting approach for climate change impact assessment at watershed scale, *Theoretical and Applied Climatology*, 122(3):497-516.

## Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources in Islam Abad Aquifer and Land Allocation Optimization

Khalil Jalili<sup>1</sup>, Hamid Reza Moradi<sup>2\*</sup>, Omid Bozorg Haddad<sup>3</sup>

Received: 13/6/2016

Accepted: 28/6/2016

### Abstract

In arid and semiarid regions, water demands of different sectors are related to groundwater resources. Therefore, the assessment of its changes is very important to achieve sustainable development and optimal management of aquifers in the future periods. The aim of this study was to evaluate the effects of climate change on Islamabad aquifer. For this purpose, the output of general circulation climate models was used. For the generation of future weather data in the region, LARS-WG model was calibrated using meteorological data and then, HADCM3 model was applied and its results was downscaled using LARS-WG model in Islam Abad synoptic station for period of 2011 to 2030. The impacts of climate change on groundwater resources were analyzed based on A2 scenario in the period of 2011 to 2030. Then, optimization of these resources was done using LINGO software. Results of LARS-WG model indicated that the monthly rainfall, minimum and maximum temperatures and radiation will change to 2.04, 2.31, 13.66 and 0.4 %, respectively, compared to the baseline period. These conditions affect water demand and available water volume. Moreover, the benefits of optimizing agricultural production in terms of climate change to the current situation dropped to 3.9%.

**Keywords:** Desertification, Climate Change, LARS-WG, LINGO, Islam Abad.

1. Ph.D. Student of watershed management engineering Department, Tarbiat Modares University, khaliljalili@yahoo.com

2. Corresponding Author, Associate Professor of watershed management engineering Department, Tarbiat Modares University, hrmoradi@modares.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, OBhaddad@ut.ac.ir