ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس و تولیدات کشاورزی در حوضه آبخیز شاهرود

ابوذر پرهیزکاری[۱*]، ابوالفضل محمودی[۲] و محسن شوکت فدایی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱۰ تاریخ پذیرش:۹۵/۱۱/۱۴

چکیده

در این مطالعه ابتدا الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۶۵ در حوضه آبخیز شاهرود بررسی شد. سپس، از یک سیستم مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی برای تحلیل اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش بر منابع آب در دسترس، تولیدات کشاورزی و شاخص‌های اقتصادی سود ناخالص و ارزش آب تحت سناریوهای گوناگون (تغییر اقلیم ملایم، متوسط و شدید) استفاده شد. سیستم مدل‌سازی بالا، شامل تابع عملکرد محصولات مبتنی بر میزان بارش (جزء بیوفیزیکی مدل) و رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (جزء اقتصادی مدل) بود که طی سه مرحله پیاپی در محیط نرم‌افزاری GAMS حل شد. الگوی رفتاری بارش نشان داد که این متغیر اقلیمی پس از سال ۱۳۸۵ در حوضه آبخیز شاهرود روندی کاهشی را داشته است. نتایج مدل ارایه‌شده نیز نشان دادند که تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش منجر به کاهش منابع آب در دسترس، افزایش ارزش اقتصادی آب آبیاری، کاهش مجموع سطح زیر کشت محصولات آبی و کاهش سود ناخالص کشاورزان در حوضه آبخیز شاهرود شده است. بیش‌ترین کاهش منابع آب در دسترس نیز در سناریوی تغییر اقلیم شدید و به مقدار ۳۰/۰۳ میلیون مترمکعب بدست آمد. در پایان، برای رویارویی با اثرات تغییر اقلیم و حفاظت از منابع آب استان قزوین بکارگیری روش‌های کم‌آبیاری، تعیین نرخ آب‌بها برای کشاورزان بر اساس ملاحظه برابری، آیش‌گذاری اراضی و ارایه تسهیلات به کشاورزان برای تجهیز مزارع به سیستم‌های نوین آبیاری پیشنهاد شد.

طبقه‌بندی JEL: *C61، Q15، Q25، Q54، R11*

واژه‌های کلیدی: الگوی رفتاری بارش، ارزش اقتصادی آب، تغییر اقلیم، مدل بیوفیزیکی- اقتصادی، حوضه آبخیز شاهرود.

۱- دانشجوی دکترا گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور.

۲- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور.

*- نویسنده مسئول مقاله: Abozar.Parhizkari@yahoo.com

پیشگفتار

یکی از مهم‌ترین مسایلی که طی دهه‌های اخیر در بخش کشاورزی نمود یافته و تولید محصولات زراعی را با محدودیت مواجه ساخته است، تغییرات اقلیم می‌باشد. این پدیده منابع آبی هر منطقه را در طول زمان دست‌خوش تغییر قرار می‌دهد. با افزایش دما، نیاز گیاهان به آب بیش‌تر شده و بهره‌برداری از منابع آب افزایش می‌یابد. افزون بر این، کاهش نزولات آسمانی و عدم تغذیه صحیح آبخوان‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی از دیگر عواملی هستند که منجر به بهره‌برداری بیش از حد منابع آب شده است. پیش‌بینی‌ها در این راستا، حاکی از آن است که تا سال ۲۰۵۰ مسئله مدیریت منابع آب اصلی‌ترین موضوع مورد بحث در کشورهای گوناگون جهان خواهد بود. کشور ایران نیز بر اساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده تا سال ۲۰۲۵ به لیست کشورهایی که با وضعیت کمبود آب مواجه‌اند، اضافه خواهد شد (پرهیزکاری، ۱۳۹۲).

اقلیم همان‌گونه که از فعالیت‌های گوناگون انسانی تأثیر می‌پذیرد، اثراتی گوناگون بر فعالیت‌های انسانی بر جای می‌گذارد. یکی از عوامل مهم تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر افزایش فشار فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست کره خاکی می‌باشد (نجف‌پور، ۱۳۸۵). نگاهی گذرا به نقشه جهانی بارش نشان می‌دهد که مقدار بارندگی در سطح کره زمین تغییرات زمانی و مکانی زیادی را به همراه دارد. بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته، میانگین سالانه بارندگی در سطح کره زمین ۷۰۰ الی ۹۰۰ میلی‌متر برآورد شده است. این در حالی است که برخی از بیابان‌ها چه بسا سال‌های متمادی هیچ‌گونه بارشی را دریافت نکرده‌اند و مناطق دیگری چون کوه‌های وایالیال در هاوایی سالانه ۱۲۰۰۰ میلی‌متر و یا منطقه چراپونچی در خلیج بنگال ۱۱۰۰۰ میلی‌متر بارش دریافت می‌کنند (رامشت، ۱۳۷۵).

روی هم رفته، در ارتباط با متغیر اقلیمی بارش، انسان از گذشته با دو مشکل اساسی روبه‌رو بوده که یکی داشتن مازاد آب و وقوع سیلاب‌های مخرب در فصول سرد و دیگری کمبود آب و وقوع خشکسالی در فصول گرم بوده است (نجف پور، ۱۳۸۵). در کشور ما نیز با توجه به ناپایداری شرایط اقلیمی و عدم توزیع یکنواخت زمانی- مکانی بارش، توجه به پایداری منابع آب و شیوه‌های مقابله با خشکی و خشکسالی ضروری است (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۶).

طی سال‌های اخیر، در زمینه ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی و میزان منابع آب در دسترس مطالعات متعددی صورت گرفته که در ادامه به مهم‌ترین این مطالعات اشاره می‌شود:

علیزاده و کمالی (۱۳۸۴) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت افزایش دمای هوا به میزان ۲، ۴ و ۶ درجه

سانتی‌گراد، نیاز خالص آبیاری در الگوی کشت ارایه‌شده به ترتیب ۶، ۱۱ و ۱۷ درصد نسبت به وضعیت نرمال افزایش خواهد یافت. شکیبا و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی به بررسی اثرات احتمالی تغییر اقلیم و میزان تأثیر تغییرات بارندگی بر حوضه آبخیز جاجرود پرداختند. نتایج، وجود دوره‌های کم‌آبی و پرآبی را در منطقه مطالعاتی نشان داد، با این تفاوت که فاصله زمانی حاکمیت دوره‌های کم‌آبی نسبت به دوره‌های پرآبی بیش‌تر بوده است. ذهبیون و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای به برآورد رواناب سطحی حوضه آبخیز قره‌سو تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند. برای این منظور، آن‌ها پس از اعتبارسنجی مدل SWAT، برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر هیدرولوژی حوضه قره‌سو طی دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ از مدل اقلیمی HadCM3 استفاده کردند. نتایج نشان دادند که تغییرات رواناب در حوضه مورد بررسی طی دوره فوق در حدود ۹۰ تا ۱۲۰ درصد در ماههای گوناگون خواهد بود. محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۱) بمنظور ارزیابی اثرات عوامل اقلیمی بر افت منابع آب زیرزمینی دشت ساوه از شاخص بارش استاندار شده SPI [1] استفاده کردند. نتایج، روند افزایشی بارش و روند کاهشی دبی رودخانه‌های قره‌چای و مزلقان را در منطقه نشان داد. سادات آشفته و بزرگ‌حداد (۱۳۹۲) در پژوهشی بمنظور تحلیل اثرات منفی پدیده تغییر اقلیم بر رواناب رودهای آید و غموش در آذربایجان شرقی از یک رویکرد جدید احتمالاتی استفاده کردند. نتایج نشان داد که در اثر تغییرات اقلیم، میانگین رواناب سالانه بلندمدت در حوضه‌های بالا طی دوره‌های مورد بررسی نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. رضایی زمان و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود در آذربایجان غربی پرداختند. نتایج نشان دادند که پدیده تغییر اقلیم تبعات منفی بر آب و هوای حوضه مورد نظر داشته است، به گونه‌ای که سبب کاهش ۴۰ درصدی بارش ماهیانه، افزایش ۲ درجه سلسیوس دمای هوا و کاهش ۲۵ درصدی منابع آب در منطقه شده است. پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای با بهره‌گیری از مجموعه مدل‌های گردش عمومی و برنامه‌ریزی ریاضی اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر تولیدات کشاورزی و منابع آب در دسترس اراضی پایین‌دست سد طالقان ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند که انتشار گازهای گلخانه‌ای طی دوره مورد بررسی، بر عملکرد اغلب محصولات زراعی منطقه اثر منفی داشته و منجر به کاهش سطح زیرکشت و سود ناخالص کشاورزان و افزایش ارزش اقتصادی آب آبیاری در اراضی پایین دست سد طالقان شده است. پیش بهار و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با استفاده از رهیافت اقتصادسنجی فضایی با داده‌های پانل به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت دانه‌ای در ایران پرداختند. نتایج نشان دادند که گرمای بیش از حد در فصل کشت (ماه خرداد) و نبود

[1]- Standardized Precipitation Index

گرمای کافی در فصل رشد (ماه مهر) و هم‌چنین، کمبود بارش در فصل رشد (ماه مهر) از عامل‌های مهم کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای در ایران بشمار می‌روند. خالقی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با استفاده از رویکرد ماتریس حسابداری اجتماعی و روش‌های اقتصادسنجی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید بخش کشاورزی و اقتصاد ایران پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که در اثر تغییر اقلیم پیش‌بینی شده برای ایران در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵، تولید بخش کشاورزی ۵/۳۷ درصد کاهش می‌یابد که متناظر با آن تولید ملی به مقدار ۹/۵ درصد کاهش می‌یابد.

در خارج از کشور نیز یو و همکاران[1] (۲۰۰۲) در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم را بر منابع آب در دسترس در جنوب تایوان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که مقدار رواناب سطحی در منطقه مورد مطالعه نسبت به دوره پایه در اثر تغییرات بارش در فصل‌های تر ۲۶ درصد افزایش و در فصل‌های خشک ۱۶ درصد کاهش می‌یابد. زمادزکا[2] (۲۰۰۴) پیامدهای تغییرات اقلیم را با تأکید بر دوران نامطلوب تولید کشاورزی در کشور لهستان طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۱ بررسی کرد. نتایج نشان دادند که درجه حرارت بالای تابستان به همراه بارندگی نامناسب موجب بروز دوره‌های خشک و هم‌چنین، خشکسالی‌های متوالی طی دو دهه آخر قرن بیستم شده و این امر باعث کاهش دوره رشد و در نتیجه کاهش مقدار تولید غلات شده است. گوساین و همکاران[3] (۲۰۰۶) در پژوهشی با استفاده از مدل HadRM2 تأثیر سناریوهای گوناگون تغییر اقلیم را طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۰ بر روی ۱۲ حوضه آبریز اصلی جریان رودخانه‌ای در هند بررسی کردند. نتایج نشان داد که جریان‌های آب سطحی در حوضه‌های مورد بررسی به گونه کامل کاهش یافته و شدت خشکسالی و احتمال وقوع سیل افزایش یافته است. فاولر و همکاران[4] (۲۰۰۷) در پژوهشی با بهره‌گیری از مدل‌های گردش عمومی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب قابل دسترس در شمال غرب انگلستان پرداختند. نتایج بدست آمده حاکی از کاهش کلی ۱۸ درصدی مقدار منابع آب قابل دسترس در منطقه مورد مطالعه بود. کونور و همکاران[5] (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی به تخمین اثر تغییرات اقلیمی بر آبیاری حوضه پایین ماری استرالیا پرداختند. نتایج نشان داد که در سناریوهای تغییر اقلیم شدیدتر، هزینه‌های بیش‌تری برآورد شده و تغییر از کشت محصولات سالیانه به دایمی در این حالت سودمندتر خواهد بود. جونگ و چانگ[6] (۲۰۱۰) در پژوهشی به ارزیابی روندهای رواناب آینده در سناریوی گوناگون تغییر اقلیم در حوضه

[1] -Yu et al
[2]- Zmudzka
[3]- Gosain et al
[4]- Fowler et al
[5] - Connor et al
[6]- Jung and Chang

رودخانه ویلامت اورگان[1] آمریکا پرداختند. نتایج، روندهای منفی در رواناب بهار و تابستان و روندهای مثبت در رواناب پاییز و زمستان را برای دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۰۰ نشان داد. تراینهام و همکاران[2] (۲۰۱۱) اثرات تغییر اقلیم را بر سامانه منابع آب در منطقه پیوجت سوند[3] مورد بررسی قرار دادند. برای ارزیابی تأمین آب منطقه در افق ۷۵ ساله، سه شبیه گردش جهانی و دو نمایش‌نامه انتشار بکار گرفته شد. نتایج نشان دادند که تغییر اقلیم، آبدهی مطمئن سامانه را در آینده کاهش خواهد داد و لازم است سیاست‌های بهره‌برداری برای تأمین تقاضای آب در افق آتی تغییر کند. تراویس و همکاران[4] (۲۰۱۲) با انجام مطالعه‌ای در زمینه اثرات تغییر اقلیم عنوان کردند که آب و هوا و تغییرات اقلیمی اثرات بارزی را بر تولید محصولات کشاورزی دارد و توسعه و انتشار شیوه‌های نوین کشاورزی و فناوری تا حد زیادی مشکل چگونگی سازگاری کشاورزان را با تغییرات اقلیمی کاهش می‌دهد. کالزادیلا و همکاران[5] (۲۰۱۳) با انجام پژوهشی در منطقه‌ای از آفریقا نشان دادند که تغییرات اقلیمی بدون در نظر گرفتن اثر مثبت غلظت دی‌اکسید کربن، تا سال ۲۰۵۰ منجر به کاهش ۱/۶ درصدی تولید غذا و محصولات کشاورزی و نیز کاهش ۰/۲ درصدی تولید ناخالص داخلی در منطقه موردنظر می‌شود. هم‌چنین، نتایج نشان دادند که افزایش سه درصدی در بهره‌وری تولید محصولات دیم و آبی در منطقه مورد مطالعه تا حد زیادی می‌تواند اثرات زیان‌بار تغییرات اقلیم را جبران نماید.

مطالعات بررسی‌شده نشان می‌دهند که تغییرات اقلیم ناشی از کاهش بارش و افزایش دما منابع آب در دسترس و تولیدات کشاورزی را در مناطقی گوناگون از دنیا دستخوش تغییر قرار داده‌اند. لذا، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان تولیدات بخش کشاورزی و منابع آب در دسترس کشاورزان جهت اتخاذ برنامه‌های مناسب در زمینه پیشبرد اهداف اقتصادی در زیربخش‌های کشاورزی و مدیریت منابع آب از اهمیتی بسیار برخوردار است.

استان قزوین با قرارگرفتن در حوزه مرکزی ایران دارای میانگین بارش سالانه ۲۳۴/۱ میلی‌متر بوده که این مقدار حدود ۸ درصد کم‌تر از میانگین بارندگی در سطح کشور است. طی سال‌های اخیر، بوجود آمدن شکاف بین قیمت واقعی آب کشاورزی و قیمتی که کشاورزان به عنوان آب‌بها پرداخت می‌کنند، سبب مصرف بی‌رویه آب آبیاری در این استان شده است. در واقع، پرداخت بهای کم برای نهاده آب توسط کشاورزان بویژه در سال‌های اخیر، مصرف بی‌رویه آب و کاهش راندمان

[1]- Willamette River Basin
[2]- Traynham et al
[3] - Puget Sound
[4] - Travis et al
[5]- Calzadilla et al

آن را در پی داشته است. نظر به این‌که در بیش‌تر نقاط این استان آب‌های سطحی از راه بارندگی و تشکیل رودخانه‌های فصلی حاصل می‌شوند، در فصل‌های گرم سال کاهش بارندگی و نبود این منابع موقت (رودخانه‌های فصلی) سبب‌شده تا آب آبیاری موردنیاز برای کشاورزان از راه برداشت آب‌های زیرزمینی تأمین شود. این عامل در طول زمان باعث افت سطح آب‌های زیرزمینی و منفی‌شدن بیلان آب در اغلب نقاط استان، بویژه در بخش‌های جنوبی دشت قزوین شده است (پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲).

حوضه آبخیز شاهرود مهم‌ترین منبع تأمین آب در بخش شمال شرق استان قزوین می‌باشد که به واسطه مناطق رودبار الموت غربی، رجایی دشت و رودبار الموت شرقی احاطه شده است (شکل ۱). این حوضه از دو شاخه اصلی طالقان‌رود و الموت‌رود تشکیل شده و پس از گذشتن از سد منجیل و پیوستن به سفیدرود به دریای خزر می‌ریزد. مجموع طول رودخانه‌های اصلی و فرعی حوضه رودخانه شاهرود در محدوده استان قزوین حدود ۹۹۰ کیلومتر است. کشاورزی آبی اغلب در فاصله‌های عرضی نزدیک به این رودخانه انجام می‌گیرد. آب مورد نیاز برای مناطق کوهپایه‌ای اطراف نیز به وسیله سیستم‌های پمپاژ آب تأمین می‌شود (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳). محصول گندم آبی با حدود ۲۴۰۰ هکتار، پس از برنج بیش‌ترین سطح زیرکشت را در این منطقه به خود اختصاص داده است. افزون بر این محصولات استراتژیک فوق جو، لوبیا، یونجه، خلر و ماشک، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، سیر و صیفی‌جات مهم‌ترین محصولات زراعی کشت شده در حوضه رودخانه شاهرود می‌باشند (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲).

در سال‌های اخیر با گرم شدن دمای هوا و کاهش بارش، حجم آب جریان یافته در این حوضه آبخیز کاهش یافته و این امر کشاورزان منطقه را بویژه در فصل‌های تأمین آب موردنیاز محصولات زراعی (بهار و تابستان) با مشکلات عدیده رویارو کرده است. لذا، بررسی اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش بر منابع آب در دسترس کشاورزان و میزان تولیدات زراعی در این منطقه ضروری و دارای اهمیت است. در زمینه تحلیل اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش، لازم است تا پیش از اتخاذ سیاست‌های مناسب در زیربخش کشاورزی منطقه مورد مطالعه (حوضه آبخیز شاهرود)، اثرات احتمالی این پدیده بر منابع آب در دسترس، عرضه و تقاضای آب، الگوی کشت، ارزش اقتصادی آب و سود ناخالص کشاورزان پیش‌بینی شود تا برنامه‌ریزان بخش را در اتخاذ سیاست‌های مطلوب یاری رساند. با توجه به اهمیت این موضوع، در این مطالعه ابتدا الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش طی دوره ۹۲-۱۳۶۵ در حوضه آبخیز شاهرود (در شمال استان قزوین) بررسی شد. سپس، از یک مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی[1] برای تحلیل اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش

[1]- Biophysical- Economic Modeling System

بارش بر مقدار منابع آب در دسترس، تولیدات کشاورزی و شاخص‌های اقتصادی سود ناخالص و ارزش آب در این حوضه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

سیستم مدل‌سازی تجمیعی بیوفیزیکی- اقتصادی

سیستم مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی بمنظور بررسی روابط بین متغیرهای هیدوروکلیماتولوژی (نیاز آبی، دما، رطوبت، بارش، تبخیر و تعرق و ...) و متغیرهای اقتصادی (سود ناخالص، درآمد، ارزش آب، میزان تولید و ...) با هم مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه از این سیستم برای تحلیل اقتصادی اثرات تغییر اقلیم توأم با سیاست‌های بخش منابع آب استفاده می‌شود (قریشی و همکاران، ۲۰۱۳). انتخاب مقیاس مناسب برای مدل بیوفیزیکی- اقتصادی مسئله‌ای دارای اهمیت است، چرا که مکانیزم لازم برای فضایی پویا از هر فرآیند (جزء) در این مدل ممکن است برای فرآیند (یا جزء) دیگر نامناسب و بی‌اهمیت باشد. به همین دلیل، ارتباط بین دو جزء بیوفیزیکی و اقتصادی برای درک و تفهیم مسایل در این راستا، ضروری و مهم می‌باشد (کاکزان و همکاران، ۲۰۱۱).

در این مطالعه، سیستم تجمیعی مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی دارای دو فرآیند مجزاست که از ارتباط بین این دو فرآیند برای تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس، تولیدات کشاورزی و متغیرهای اقتصادی سود ناخالص و ارزش آب استفاده می‌شود. فرآیند نخست، شامل مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) می‌باشد که جزء اقتصادی مدل تجمیعی در این مطالعه است. فرآیند دوم، شامل تابع عملکرد محصولات مبتنی بر نیاز آبی و میزان بارش می‌باشد که جزء بیوفیزیکی مدل تجمیعی است.

جزء اقتصادی مدل تجمیعی: رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)

در سال‌های اخیر، مدل‌های اقتصادی گوناگونی برای حل مسائل مربوط به بخش کشاورزی توسعه یافته‌اند. برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) از جمله مدل‌هایی است که برای تحلیل سیاست‌ها و حل مسایل در سطح تجمیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۱؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳). این مدل نخستین بار در سال ۱۹۹۵ به وسیله هوویت[1] معرفی شد و برای تحلیل سیاست‌های بخش کشاورزی مورد استفاده قرار گرفت (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۱؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲). مدل PMP در مباحث اقتصادی کاربردی گسترده در زمینه بهینه‌یابی و شبیه‌سازی دارد و در این راستا بر سایر مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برتری

[1]- Howitt

نسبی دارد (روهم و دابرت، ۲۰۰۳). این مدل افزون بر بخش کشاورزی، امروزه در بخش مدیریت منابع آب نیز برای تحلیل سیاست‌های طرف عرضه و تقاضای آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (گریفین، ۲۰۰۶؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲).

مهم‌ترین مسئله در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، تعیین سطح تجمیع مکانی (فضایی)[1] برای تعریف دامنه‌ی کاری این مدل می‌باشد. تعیین این سطح به جای تحلیل سیاست‌ها در یک بعد گسترده، ترکیبی از ویژگی‌های منطقه‌ای را با مجموعه داده‌های کوچک‌تر لحاظ نموده و سیاست‌های مورد نظر را در سطح مناطق تعیین‌شده مورد بررسی قرار می‌دهد. افزون بر این، وجود تأثیرات تجمیع مکانی (فضایی) سبب ارتقاء مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) شده و این توانایی را در مدل ایجاد می‌کند که با گردآوری داده‌ها به صورت خرد یا جزئی از سطح مناطق مورد مطالعه، به پیش‌بینی تأثیر سیاست‌ها بپردازد (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۱؛ پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳). روی هم رفته، واسنجی مدل PMP ارایه شده در این مطالعه در سه مرحله متوالی و به شرح زیر انجام می‌گیرد:

مرحله نخست: حل مدل برنامه‌ریزی خطی (LP)[2] و برآورد مقادیر دوگان[3] محدودیت‌ها

در این مرحله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای بیشینه‌کردن مجموع سود ناخالص کشاورزان با توجه به محدودیت‌های منابع و واسنجی حل می‌شود و در ادامه مقادیر دوگان یا قیمت‌های سایه‌ای برای مجموعه محدودیت‌های مدل بدست می‌آید (هوویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲). شکل ریاضی این مرحله از مدل PMP را می‌توان برای منطقه مورد مطالعه به صورت زیر نشان داد:

$$Max\ \Pi = \left(\sum_{i=1}^{6} \sum_{h=1}^{4} \left(price_{ih} * yield_{ih} - \sum_{j=1}^{5} a_{ihj} cost_{ihj} \right) \right) Area_{ih} \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{5} a_{ihj} Area_{ih} \le b_j \qquad \forall jh \qquad [\lambda_{ih}^{j}] \qquad (۲)$$

$$Area_{ih} \le \tilde{A}rea_{ih} + \varepsilon \qquad \forall ih \qquad [\lambda_{ih}^{c}] \qquad (۳)$$

$$Area_{rih} \ge 0 \qquad \forall rih \qquad (۴)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1]- Spatial Aggregation
[2]- Liner Programming
[3]- Dual Value

رابطه (۱) به عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل بیشینه‌کردن مجموع سود ناخالص کشاورزان می‌باشد. در این رابطه، Π مجموع سود ناخالص کشاورزان، i تعداد محصولات (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندرقند و یونجه)، j تعداد نهاده‌ها (زمین، آب، نیروی-کار، ماشین‌آلات و سرمایه) و h روش آبیاری (غرقابی، جوی و پشته‌ای، قطره‌ای، بارانی) می‌باشد. $price_{ih}$، $yield_{ih}$ و $Area_{ih}$ به ترتیب قیمت بازاری، عملکرد و سطح زیرکشت محصول i که با روش آبیاری h در حوضه آبخیز شاهرود تولید شده است، می‌باشد. $cost_{ihj}$ هزینه تولید محصول i با مصرف نهاده j و روش آبیاری h می‌باشد. a_{ihj} بیانگر ضرایب لئونتیف است که نسبت استفاده هر عامل تولید به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه (۵) بدست می‌آید (هوویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲).

$$a_{ihj} = \frac{\tilde{A}rea_{ih}}{\tilde{A}rea_{ih,Land}} \qquad \forall ihj \qquad (۵)$$

رابطه (۲)، محدودیت منابع را در حوضه آبخیز شاهرود نشان می‌دهد که در آن، b_j کل منابع در دسترس برای تولید محصولات منتخب می‌باشد. رابطه (۳)، محدودیت واسنجی مدل را نشان می‌دهد که در آن، $\tilde{A}rea_{ih}$ مقدار مشاهده شده فعالیت i در سال پایه تحت روش آبیاری h در حوضه آبخیز شاهرود می‌باشد. ε نیز مقدار مثبت کوچکی است که برای جلوگیری از بوجود آمدن وابستگی خطی بین محدودیت‌های ساختاری و واسنجی به‌کار می‌رود (هوویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳). اضافه کردن محدودیت واسنجی به مدل باعث می‌شود که پاسخ بهینه برنامه‌ریزی خطی دقیقاً سطح فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه را بدست دهد (هکلی، ۲۰۰۲؛ پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲). در این مرحله، پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین قیمت سایه‌ای مجموعه محدودیت‌های مدل، مقادیر دوگان تعریف می‌شوند. در رابطه (۲)، λ_{ih}^{J} قیمت سایه‌ای محدودیت سیستمی و در رابطه (۳)، λ_{ih}^{c} قیمت سایه‌ای محدودیت واسنجی را نشان می‌دهد. رابطه (۴) نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی‌بودن سطح فعالیت‌ها می‌باشد (مدلین آزورا و همکاران، ۲۰۱۱؛ هوویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳).

مرحله دوم: برآورد تابع هزینه کوادراتیک[1] (درجه دوم) و ضرایب آن

در این مرحله، از مقادیر دوگان به دست آمده برای محدودیت‌های واسنجی در مرحله نخست، جهت برآورد تابع هزینه غیرخطی یا کوادراتیک (درجه دوم) استفاده می‌شود. به گونه معمول، برای آسانی محاسبه و فقدان دلایل قوی برای انتخاب توابع دیگر، از تابع هزینه متغیر درجه دوم زیر

[1]- Quadratic Cost Function

استفاده می‌شود. این تابع دارای دو ضریب آلفا (پارامتر رهگیری) و گاما (شیب تابع هزینه) می‌باشد و شکل ریاضی آن به صورت زیر است (قریشی و همکاران، ۲۰۱۰):

$$TC_{ih} = \alpha_{ih} Area_{ih} + \frac{1}{2}\gamma_{ih} Area_{ih}^{2} \qquad (۶)$$

در رابطه بالا، TC_{ih} کل هزینه تولید محصول i در روش آبیاری h، α_{ih} پارامتری برای نشان‌دادن هزینه متوسط (پارامتر رهگیری) و γ_{ih} شیب تابع هزینه و پارامتری به تبعیت از مقادیر دوگان محدودیت‌های واسنجی می‌باشد (پارامتر گاما). پارامترهای بالا با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند (قریشی و همکاران، ۲۰۱۰؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲):

$$\gamma_{ih} = \frac{\lambda_{ih}^{c}}{\tilde{A}rea_{ih}} \qquad \forall ih \qquad (۷)$$

$$\alpha_{ih} = \sum_{j \neq water}^{5} C_{ihj}\, q_{ihj} \qquad \forall ih \qquad (۸)$$

در روابط بالا، C_{ihj} و q_{ihj} به ترتیب میانگین هزینه و میزان مصرف نهاده j (به استثنای نهاده آب) برای تولید محصول i تحت روش آبیاری h می‌باشند (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۲). هزینه نهاده آب به صورت مجزا در تابع هدف غیرخطی مرحله سوم لحاظ می‌شود (قریشی و همکاران، ۲۰۱۰). رابطه (۹) هزینه نهاده آب را در قالب آب‌بها نشان می‌دهد:

$$C_{W_Charge} = \sum_{i=1}^{6}\sum_{h=1}^{4}\left[Vcost_{h,water} + (Wcharge * IW_{ih}^{R})\right] Area_{ih} \qquad (۹)$$

در رابطه بالا، $Vcost_{h,water}$ هزینه متغیر مربوط به روش آبیاری h، $Wcharge$ قیمت بازاری آب یا آب‌بهای پرداختی کشاورزان در حوضه آبخیز موردنظر و IW_{ih}^{R} حجم آب مورد استفاده برای تولید محصول i در روش آبیاری h در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. رابطه (۱۰)، هزینه مربوط به نهاده آب را در چارچوب هزینه‌های استحصال و انتقال نشان می‌دهد:

$$C_{Trad} = \sum_{i=1}^{6}\sum_{h=1}^{4}\left[\left(IE\cos t_{h} * WE_{h}\right) + \left(IF\cos t * WF\right)\right] Area_{ih} \qquad (۱۰)$$

در رابطه بالا، $IE\cos t_{h}$ و WE_{h} به ترتیب هزینه و حجم آب انتقال یافته در روش آبیاری h، $IF\cos t$ و WF به ترتیب هزینه استحصال آب و حجم آب استحصالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند (قریشی و همکاران، ۲۰۱۰؛ قریشی و همکاران، ۲۰۱۳).

مرحله سوم: تبیین مدل PMP نهایی واسنجی شده

در این مرحله که مرحله پایانی مدل PMP می‌باشد، با استفاده از تابع هزینه غیرخطی واسنجی شده و مجموعه محدودیت‌ها (به استثنای محدودیت واسنجی)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط زیر ساخته می‌شود (هوویت و همکاران، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری و صبوحی، ۱۳۹۲).

(۱۱)

$$Max\ \Pi = \sum_{i=1}^{6}\sum_{h=1}^{4}\left[\left(price_{ih} * yield_{ih} * \varphi change_{yield,\text{rain}}\right)\right] Area_{ih}$$
$$-(\alpha_{ih} Area_{ih} + \frac{1}{2}\gamma_{ih} Area_{ih}^{2}) - (\sum_{i=1}^{6}\sum_{h=1}^{4}\left[Vcost_{h,water} + (Wch\,\text{arg}e$$
$$* IW_{ih}^{R})\right] Area_{ih}) - \sum_{i=1}^{6}\sum_{h=1}^{4}\left[(IE\,\text{cost}_{h} * WE_{h}) + (IF\,\text{cost} * WF)\right] Area_{ih}$$

Subject to:

(۱۲)

$$\sum_{i=1}^{6}\sum_{h=1}^{4} IW_{ih}^{R} * Area_{ih} \le (1 - CLoos) * T_{wat}$$

$$\sum_{i=1}^{6}\sum_{h=1}^{4} Area_{ih} \le T_{Area} \qquad (۱۳)$$

$$DArea_{i} = TArea - TArea_{ih} \qquad \forall ih \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{h=1}^{4} WE_{h} + WF \le T_{wat} \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=1}^{6} La_{ih} * Area_{ih} \le TLa \qquad \forall h \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{i=1}^{6} K_{ih} * Area_{ih} \le TK \qquad \forall h \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{i=1}^{6} Ma_{ih} * Area_{ih} \le TMa \qquad \forall h \qquad (۱۸)$$

$$Area_{ih} \ge 0 \qquad \forall ih \qquad (۱۹)$$

رابطه (۱۱)، تابع هدف غیرخطی مدل PMP ارایه شده را نشان می‌دهد که شامل تابع عملکرد مبتنی بر نیاز آبی و بارش (جزء بیوفیزیکی مدل تجمیعی، رابطه ۲۰)، تابع هزینه خطی برای نهاده آب در قالب آب‌بها و هزینه‌های انتقال و استحصال و تابع هزینه کوادراتیک (درجه دوم) برای سایر نهاده‌های بکار رفته (زمین، نیروی‌کار، سرمایه و ماشین‌آلات) می‌باشد. ضریب مقداری

$\varphi change_{yield,\text{rain}}$ در این رابطه، بیانگر تغییرات به وجود آمده در عملکرد محصولات پس از اعمال سناریوهای اقلیمی کاهش بارش می‌باشد. رابطه (۱۲) محدودیت آب قابل دسترس را در هر آبخیز مورد مطالعه نشان می‌دهد که در آن، $CLoos$ درصد حجم قابل انتقال آب و T_{wat} کل آب قابل دسترس در حوضه آبخیز شاهرود می‌باشد. رابطه (۱۳) بیانگر محدودیت اراضی آبی زیرکشت است و نشان می‌دهد که مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی ($Area_{ih}$) در هر حوضه آبخیز کمتر از کل سطح زیرکشت محصولات ($TArea$) می‌باشد. رابطه (۱۴) محدودیت مربوط به اراضی دیم یا زمین‌های بدون آبیاری در هر حوضه آبخیز است و نشان می‌دهد که سطح زیرکشت اراضی دیم برابر با تفاضل اراضی آبیاری‌شده و کل اراضی زیرکشت در هر حوضه آبخیز می‌باشد. رابطه (۱۵) محدودیت منابع آب قابل انتقال و استحصال را نشان می‌هد و بیانگر آن است که مجموع حجم آب انتقالی و استحصالی در هر حوضه آبخیز به علت وجود تلفات و هدررفت به صورت تبخیر و تعرق و ورود به زهکش‌ها کمتر از کل حجم آب قابل دسترس می‌باشد. روابط (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) به ترتیب محدودیت‌های مربوط به نهاده‌های نیروی‌کار، سرمایه و ماشین‌آلات در هر یک از حوضه-های آبخیز می‌باشند. در این روابط، La_{ih}، K_{ih} و Ma_{ih} به ترتیب بیانگر مقدار مورد نیاز نیروی-کار، سرمایه و ماشین‌آلات برای تولید محصول i در روش آبیاری h و TLa، TK و TMa به ترتیب مجموع نیروی‌کار، سرمایه و ماشین‌آلات قابل دسترس در حوضه آبخیز شاهرود می‌باشند. منظور از نهاده سرمایه، مجموع نهاده‌های بذر، کود و سمی است که کشاورز در وهله نخست جهت کشت محصول در مزرعه خود به آن‌ها نیاز مبرم دارد. رابطه (۱۹) نیز بیانگر غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها در حوضه‌های آبخیز می‌باشد.

جزء بیوفیزیکی مدل تجمیعی: تابع عملکرد محصولات مبتنی بر نیاز آبی و بارش

عملکرد محصولات کشاورزی افزون بر ویژگی‌های محیطی و شرایط خاک، تابعی از الگوهای رفتاری متغیرهای اقلیمی می‌باشد. در این راستا، تغییرات بارش تا حد زیادی می‌تواند مقدار عملکرد یا بهره‌وری محصولات را تحت تأثیر قرار دهد. اثرگذاری این متغیر از راه نیاز خالص آبی محصولات انجام می‌گیرد (اسکاب و همکاران، ۲۰۰۶). در این مطالعه، بمنظور بررسی اثرات سناریوهای بارشی بر عملکرد محصولات منتخب در حوضه آبخیز شاهرود از تابع عملکرد مبتنی بر نیاز آبی ارایه شده به وسیله قریشی و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شد. شکل ریاضی این تابع کوادراتیک (درجه دوم) به گونه زیر قابل ارایه می‌باشد:

$$Yield_{ih} = f(ET_{ih}^{R}) = a_j + b_j \times ET_{ih}^{R} + c_j \times (ET_{ih}^{R})^2 \qquad (۲۰)$$

در رابطه بالا، $Yield_{ih}$ و ET_{ih}^{R} به ترتیب عملکرد و نیاز آبی محصول i تحت روش آبیاری h می‌باشند. a_j عرض از مبدأ تابع عملکرد (پارامتر رهگیری)، b_j شیب تابع عملکرد و c_j ضریب

عامل درجه دوم تابع عملکرد می‌باشد. این تابع دارای یک سرحد یا آستانه کمینه عملکرد[1] می‌باشد و زمانی رخ می‌دهد که پارامتر رهگیری تابع (a_j) مقداری مثبت و غیرصفر باشد. درواقع، آستانه کمینه عملکرد حاکی از آن است که درصورت عدم برخورداری محصول از آب طی دوره رشد (یا در شرایط عدم استفاده آب)، عملکرد محصول صفر نخواهد شد، بلکه مقدار مثبت ناچیزی ($Yield_{ih} = a_j$) خواهد بود (قریشی و همکاران، ۲۰۱۰).

بر اساس با رابطه (۲۱)، منابع آب قابل دسترس برای تولید محصول i تحت روش آبیاری h در حوضه آبخیز شاهرود تابعی از میزان بارش ($ERain_i$)، نیاز آبی محصولات (ET_{ih}^R) و کارایی (بازدهی) سیستم‌های آبیاری ($IEff_{ih}$) می‌باشد (قریشی و همکاران، ۲۰۱۰؛ قریشی و همکاران، ۲۰۱۳):

$$IW_{ih}^R = \frac{(ET_{ih}^R - ERain_i)}{IEff_{ih}} \qquad \forall ih \qquad (۲۱)$$

با در اختیار داشتن مقادیر کارایی سیستم‌های آبیاری و منابع آب در دسترس می‌توان رابطه (۲۲) را بین متغیر اقلیمی بارش و نیاز آبی محصولات برقرار نمود (قریشی و همکاران، ۲۰۱۰):

$$ET_{ih}^R = (IW_{ih}^R * IEff_{ih}) + ERain_i \qquad \forall ih \qquad (۲۲)$$

به کمک رابطه (۲۲)، می‌توان اثرات متغیر اقلیمی بارش را بر نیاز آبی محصولات بررسی کرد. در این حالت، برای تحلیل اثرات به وجود آمده و گنجاندن نتایج حاصل از جزء بیوفیزیکی در جزء اقتصادی مدل تجمیعی می‌توان به دو صورت زیر عمل کرد که نتایج ناشی از هر دو روش برابر می‌باشند:

روش نخست: پس از محاسبه مقادیر نیاز آبی بر اساس میزان بارش در رابطه (۲۲)، می‌توان تغییرات نیاز آبی محصولات را در تابع عملکرد تخمینی لحاظ نموده و از این راه تغییرات بوجود آمده در عملکرد محصولات ($\varphi change_{yield,\text{rain}}$) را محاسبه و اثرات آن را با حل مدل برنامه‌ریزی ارایه‌شده در محیط نرم‌افزاری GAMS[2] بر منابع آب در دسترس، تولیدات کشاورزی و شاخص‌های اقتصادی سود ناخالص و ارزش آب را سنجید.

روش دوم: می‌توان با گنجاندن رابطه (۲۲) در تابع عملکرد محصولات به جای ET_{ih}^R و تعریف تابع حاصله در مرحله سوم مدل PMP ارایه‌شده به جای $yield_{ih}$ و برابر یک قرار دادن (خنثی نمودن) ضریب تغییرات $\varphi change_{yield,\text{rain}}$ در برنامه نرم‌افزاری GAMS، اثرات سناریوهای

[1]- Minimum Threshold of Yierd
[2] - General Algebraic Modeling System

اقلیمی ناشی از تغییر بارش را بر منابع آب در دسترس، تولیدات کشاورزی و شاخص‌های اقتصادی سود کشاورزان و ارزش آب سنجید.

نتایج و بحث

داده‌ها مورد نیاز در این مطالعه از راه ایستگاههای باران‌سنجی و ادارات مربوطه در استان قزوین گردآوری شدند. داده‌های سری زمانی مربوط به الگوی رفتاری بارش طی دوره ۹۲-۱۳۶۵ از راه ایستگاههای باران‌سنجی باغ‌کلایه و ککجین در حوضه آبخیز شاهرود گردآوری شدند. داده‌های مربوط به محصولات کشاورزی و اراضی زیرکشت با مراجعه مستقیم به سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین و داده‌های مربوط به منابع آب در دسترس نیز با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای و سازمان منابع آب استان قزوین جمع‌آوری شدند. جدول ۱، مشخصات ایستگاههای باران‌سنجی مورد مطالعه در حوضه آبخیز شاهرود را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز روند تغییرات یا الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش را طی دوره زمانی ۹۲-۱۳۶۵ و بر اساس میانگین آمارهای اقلیمی موجود در ایستگاههای باران‌سنجی باغ‌کلایه و ککجین در حوضه آبخیز شاهرود نشان می‌دهد.

نتایج بدست آمده از الگو رفتاری متغیر اقلیمی بارش طی دوره مورد بررسی، حاکی از آن است که این متغیر پس از سال ۱۳۸۱ در حوضه آبخیز شاهرود مقادیری نزولی را شامل شده و روندی کاهشی را طی کرده است. این امر حاکی از آن است که وقوع خشکسالی‌های دوره‌ای پس از سال ۱۳۸۱ در حوضه آبخیز شاهرود نسبت به سال‌های پیش از آن (قبل از سال ۱۳۸۵) افزایش یافته است.

جدول ۲، میانگین بارش ماهانه را در حوضه آبخیز شاهرود طی سال پایه (۱۳۹۲-۱۳۹۱) نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۲، ملاحظه می‌شود که در سال پایه بیش‌ترین مقدار بارش در ماههای فروردین و اردیبهشت و کم‌ترین مقدار بارش در مرداد ماه بوده است. افزون بر این، داده‌های آماری جدول ۲ نشان می‌دهند که در مرداد ماه سال پایه، در حوضه رودخانه شاهرود بارشی به مقدار ۰/۴ میلی‌متر انجام گرفته است که کم‌ترین سطح بارش را طی ماههای گوناگون سال در این حوضه آبخیز نشان می‌دهد.

شکل ۳، به صورت مقایسه‌ای میانگین بارش‌های فصلی در سال پایه ۱۳۹۲ را در حوضه آبخیز شاهرود نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۳ ملاحظه می‌شود که طی سال پایه ۱۳۹۲، بیش‌ترین میزان بارندگی به طور میانگین حدود ۲۳/۱ میلی‌متر و در فصل پاییز (ماه‌های مهر، آبان و آذر) و کم‌ترین مقدار بارندگی

به طور میانگین حدود ۳/۲۷ میلی‌متر و در فصل تابستان (ماه‌های تیر، مرداد و شهریور) رخ داده است. افزون بر این، شکل ۳ تأثیرپذیری بیش‌تر بارش‌های پاییزه را نسبت به بارش‌های بهاره و زمستانه در حوضه آبخیز شاهرود طی سال پایه ۱۳۹۲ نشان می‌دهد.

جدول ۳، مقدار آب در دسترس حاصل از منابع آبی گوناگون (چاهها، کانال‌ها، سدها، رودخانه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها) را برای سال پایه ۱۳۹۲ در شرایط متفاوت آب و هوایی، در سطح حوضه آبخیز شاهرود نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که در سال پایه، میزان کل منابع آب در دسترس ناشی از جریان‌های سطحی در حوضه آبخیز شاهرود ۱۰۴/۹۵ میلیون مترمکعب بوده که منابع آب تجمیع‌یافته منطقه و رودخانه شاهرود بیش‌ترین سهم را (۸۳/۶۰ میلیون مترمکعب) در تأمین جریان‌های آب سطحی به خود اختصاص داده است. آب‌های زیرزمینی نیز با ۳۳/۴ میلیون مترمکعب حجم، بخش دیگری از منابع آب در دسترس کشاورزان را در حوضه رودخانه شاهرود تأمین می‌کند. با توجه به این که در منطقه موردبررسی اغلب کشاورزان آب موردنیاز برای اراضی زراعی خود را از راه جریان‌های سطحی رودخانه شاهرود تأمین می‌کنند، لذا منابع آب زیرزمینی تا حد امکان بلااستفاده می‌باشند. سهم کم منابع آب زیرزمینی در جدول ۳، بیانگر این موضوع می‌باشد. بروی هم رفته، مطابق با نتایج ارایه شده در جدول ۳، ملاحظه می‌شود که کل منابع آب در دسترس کشاورزان در حوضه آبخیز شاهرود حدود ۱۳۸/۳۵ میلیون مترمکعب می‌باشد.

جدول ۴، میزان کارایی و درصد استفاده از روش‌های متنوع آبیاری (غرقابی، جوی و پشته‌ای، قطره‌ای و بارانی) را در حوضه آبخیز شاهرود طی سال پایه ۱۳۹۲ نشان می‌دهد:

با توجه نتایج جدول ۴، ملاحظه می‌شود که روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در بین سایر روش‌ها دارای بیش‌ترین راندمان آبیاری می‌باشند. هم‌چنین، ملاحظه می‌شود که روش آبیاری غرقابی بیش‌ترین درصد استفاده را در حوضه آبخیز شاهرود به خود اختصاص داده است، این در حالی است که روش‌های نوین آبیاری به علت کوهستانی‌بودن منطقه و شیب‌داربودن اراضی توسعه چندانی در این حوضه نیافته‌اند. بیش‌ترین درصد استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی نیز در اراضی توسعه‌یافته واقع در حاشیه رودخانه شاهرود انجام می‌گیرد.

پس از بررسی الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش در حوضه آبخیز شاهرود، بمنظور انعطافپذیری سناریوهای ارایه شده و دست‌یابی به نتایج کاربردی، اثرات متغیر اقلیمی بارش بر منابع آب در دسترس، تولیدات کشاورزی و شاخص‌های اقتصادی سود ناخالص کشاورزان و ارزش آب در سه سناریوی کاهش بارش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر ارزیابی شد. سناریوهای بالا به ترتیب با عنوان تغییرات اقلیمی ملایم، متوسط و شدید نام‌گذاری شدند. محاسبه درصد احتمال برای هر حالت

بارشی نیز بر اساس وقوع تعداد سال‌های خشک، تعداد سال‌های با بارش کم، زیاد و خیلی زیاد طی دوره ۹۲-۱۳۶۵ در حوضه آبخیز شاهرود، انجام گرفت.

نتایج بدست آمده از مدل بیوفیزیکی- اقتصادی ارایه شده پس از اعمال سناریوهای اقلیمی ناشی از کاهش بارش در حوضه آبخیز شاهرود در جدول ۵ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۵، ملاحظه می‌شود که مقدار منابع آب قابل دسترس در این حوضه با کاهش ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متری بارش نسبت به سال پایه در حدود ۸/۳ تا ۲۱/۷ درصد کاهش می‌یابد و از ۱۳۸/۳۵ میلیون مترمکعب در سال پایه به ۱۰۸/۳۲ میلیون مترمکعب می‌رسد. با کاهش مقدار منابع آب در دسترس، از تمایل کشاورزان برای کشت محصولات آبی کاسته شده و مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی تا ۹/۵۸ درصد نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. مجموع سود ناخالص کشاورزان نیز با کاهش بارش ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر، به مقدار ۴/۳ تا ۱۰/۹ درصد نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. افزون بر این، با ایجاد محدودیت برای منابع آب در دسترس، ارزش اقتصادی آب ۴/۰۵ تا ۱۳/۵ درصد نسبت به سال پایه افزایش می‌یابد و از ۱۱۶۰ ریال در سال پایه به ۱۵۱۷ ریال می‌رسد. مطابق با نتایج بدست آمده در جدول ۵، کاهش منابع آب در دسترس، افزایش ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب آبیاری، کاهش سطح زیرکشت محصولات آبی منتخب و کاهش سود ناخالص کشاورزان از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش در سناریوهای ملایم تا شدید در حوضه آبخیز شاهرود می‌باشند.

شکل ۴، درصد تغییرات الگوی کشت و سهم هر یک از محصولات آبی را در الگوی زراعی منطقه پس از اعمال سناریوهای اقلیمی ملایم، متوسط و شدید کاهش بارش در حوضه آبخیز شاهرود نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۴، ملاحظه می‌شود که با کاهش مقدار بارش در سناریوهای گوناگون، سطح زیرکشت گندم و جو آبی در حوضه آبخیز شاهرود نسبت به سال پایه افزایش می‌یابد، در حالی که سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی با روندی کاهشی همراه است. در واقع، با کاهش بارش و به تناسب آن کاهش منابع آب در دسترس، تمایل کشاورزان حوضه آبخیز شاهرود برای کشت محصولات با نیاز آبی بالا (مانند گوجه‌فرنگی، ذرت دانه‌ای، چغندرقند) کاهش یافته و کشاورزان به کشت محصولاتی با نیاز آبی کمتر (مانند گندم و جو آبی) متمایل می‌شوند. علت کاهش سود ناخالص کشاورزان حوضه آبخیز شاهرود پس از اعمال سناریوهای اقلیمی کاهش بارش نیز تمایل کم‌تر آن‌ها برای کشت محصولات با صرفه اقتصادی بالا (مانند گوجه‌فرنگی و ذرت دانه‌ای) است که این محدودیت مطابق با نتایج بدست آمده با کاهش شدیدتر بارش نسبت به سال پایه چشم‌گیرتر است. سطح زیرکشت یونجه نیز پس از اعمال سناریوهای اقلیمی با روندی نزولی کاهش می‌یابد، اما

مقدار کاهش در سطح زیرکشت این محصول به صورت جزئی و نامحسوس می‌باشد. علت این امر، فعالیت بیش‌تر کشاورزان منطقه در بخش دامداری و کشاورزی با هم است. در واقع، تأمین علوفه مورد نیاز برای دام و احشام، کشاورزان حوضه آبخیز شاهرود را در صورت وقوع تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش به سمت کشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی و حتی‌الامکان حفظ سطح زیرکشت محصول یونجه و یا کاهش اندک در سطح زیرکشت این محصول علوفه‌ای متمایل می‌سازد.

شکل ۵، تابع تقاضای آب آبیاری را برای سال پایه ۱۳۹۲ و پس از ارزیابی اثرات سناریوهای اقلیمی کاهش بارش در حوضه آبخیز شاهرود نشان می‌دهد.

با توجه به تابع تقاضای آب برآورد شده برای کشاورزان حوضه آبخیز شاهرود در شکل ۵ ملاحظه می‌شود که بین ارزش اقتصادی آب و منابع آب دردسترس در منطقه مورد مطالعه رابطه معکوس یا غیرمستقیم وجود دارد و با کاهش متغیر اقلیمی بارش و به تناسب آن کاهش منابع آب در دسترس، ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب آبیاری افزایش می‌یابد.

شکل ۶، تغییرات ارزش اقتصادی آب آبیاری را در سناریوهای اقلیمی ناشی از کاهش بارش در سطح حوضه آبخیز شاهرود نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۶، ملاحظه می‌شود که ارزش اقتصادی آب آبیاری تحت سناریوهای اقلیمی گوناگون (ملایم، متوسط و شدید) در تمامی حوضه‌های آبخیز استان قزوین در سطحی بالاتر از ارزش آب در سال پایه بدست آمده است که این امر ناشی از کاهش بارش و در نهایت، کاهش منابع آب در دسترس کشاورزان می‌باشد. بدین معنی که با کاهش نزولات آسمانی، منابع آب در دسترس کشاورزان برای تخصیص بین فعالیت‌های زراعی مختلف کاهش می‌یابد و در شرایط رویارویی با محدودیت آب، ارزش اقتصادی یا واقعی هر مترمکعب آب آبیاری نسبت به شرایط نبود محدودیت این نهاده افزایش می‌یابد. ملاحظه می‌شود که با تشدید کاهش بارش (انتقال از سناریوی ملایم به شدید)، ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب آبیاری در حوضه آبخیز مورد مطالعه افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج بدست آمده از الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش طی دوره مورد بررسی (یعنی سال‌های ۹۲-۱۳۶۵)، حاکی از آن بود که این متغیر پس از سال ۱۳۸۱ در حوضه آبخیز شاهرود کاهش یافته و این امر بیانگر شدت وقوع خشکسالی‌های دوره‌ای پس از سال ۱۳۸۱ در حوضه آبخیز شاهرود می‌باشد. بررسی الگوی رفتاری ماهانه متغیر اقلیمی بارش نیز نشان داد که در سال پایه ۱۳۹۲، بیش‌ترین مقدار بارندگی در حوضه مورد مطالعه در فروردین ماه و اردیبهشت ماه و کم‌ترین مقدار آن در مرداد ماه حاصل شده است. نتایج بدست آمده از تحلیل مدل بیوفیزیکی- اقتصادی نیز

نشان داد که پس از اعمال سناریوهای تغییر اقلیم ناشی از کاهش ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر بارش، مقدار منابع آب در دسترس در حوضه آبخیز شاهرود نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. افزون بر موردهای بالا، نتایج بدست آمده از مدل تجمیعی ارایه‌شده حاکی از کاهش مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی متناسب با مقدار کاهش منابع آب قابل دسترس در هر یک از حوضه آبخیز شاهرود بود. بخشی دیگر از نتایج مدل بیوفیزیکی- اقتصادی، مربوط به بررسی اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش بر شاخص‌های اقتصادی سود ناخالص کشاورزان و ارزش واقعی هر مترمکعب آب آبیاری در منطقه مورد مطالعه بود. پس از اعمال سناریوهای اقلیمی ناشی از کاهش بارش، ملاحظه شد که سود ناخالص کشاورزان در حوضه آبخیز شاهرود نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که کشاورزان این حوضه پس از اعمال سناریوهای اقلیمی ملایم، متوسط و شدید کاهش سود ناخالصی به مقدار ۴/۳۰ تا ۱۰/۹ درصد را نسبت به سال پایه تجربه می‌کنند.

پس از حل مدل تجمیعی ارایه شده، مقدار مقادیر دوگان (قیمت سایه‌ای) برای نهاده آب در حوضه آبخیز شاهرود بدست آمد. این مقدار که در واقع بیانگر ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب آبیاری است، برای حوضه آبخیز شاهرود در سال پایه ۱۱۶۰ ریال برآورد شد. این در حالی است که کشاورزان منطقه مورد مطالعه مبلغ ناچیزی را (۳۵۰ ریال) به عنوان آب‌بها برای هر مترمکعب آب آبیاری پرداخت می‌کنند. در واقع، نتایج بدست آمده نشان دادند که کشاورزان حوضه آبخیز شاهرود تنها ۳۰/۱۷ درصد از ارزش اقتصادی آب آبیاری را در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال پرداخت می‌کنند که این امر (تقریباً رایگان تلقی شدن نهاده آب) علت اصلی مصرف بی‌رویه آب آبیاری و بی‌توجهی کشاورزان به کمیابی این نهاده در حوضه رودخانه شاهرود می‌باشد. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص اقتصادی ارزش آب نشان داد که با کاهش بارش تحت سناریوهای اقلیمی ملایم، متوسط و شدید، ارزش اقتصادی آب آبیاری در حوضه آبخیز شاهرود با روندی صعودی همراه می‌باشد. نتایج بدست آمده حاکی از وجود رابطه معکوس بین ارزش اقتصادی آب آبیاری و مقدار منابع آب در دسترس در هر یک از حوضه‌های آبخیز استان قزوین بود که این مفهوم بیانگر تابع تقاضای آب آبیاری برای کشاورزان می‌باشد. نتایج بدست آمده از برآورد توابع تقاضای آب آبیاری نیز نشان داد که با کاهش میزان بارندگی کشاورزان حوضه آبخیز شاهرود، حجم معینی از آب آبیاری را در سطح قیمتی بالاتر و یا با ارزشی بیش‌تر تقاضا می‌کنند. در پایان مطابق با نتایج بدست آمده در این پژوهش، برای مقابله با اثرات تغییر اقلیم و حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبخیز شاهرود پیشنهادها و توصیه‌های سیاستی زیر ارایه شد:

۱- ارزیابی اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش، حاکی از کاهش منابع آب در دسترس و در پی آن کاهش سطح زیرکشت محصولات پرآب (مانند گوجه‌فرنگی و ذرت دانه‌ای) در حوضه

آبخیز شاهرود بود. بکارگیری روش‌های کم‌آبیاری در چنین شرایطی (با توجه به انعطاف‌پذیری تابع عملکرد درجه دوم و تبعیت آن از نیاز آبی محصولات) برای تأثیر پایدارتر بر حفظ منابع آب همراه با باقی‌ماندن محصولات با نیاز آبی بالا در الگوهای کشت حوضه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. این کار هم اکنون به وسیله نویسندگان مقاله در سطح تنش‌های آبی ۵ و ۱۰ درصد در حال انجام و ارزیابی می‌باشد.

۲- نتایج نشان داد که ارزش اقتصادی آب آبیاری در حوضه آبخیز شاهرود در صورت وقوع اقلیم شدید نسبت به اقلیم ملایم، بیشتر می‌باشد. لذا، پیشنهاد می‌شود که جهت حفظ و پایداری منابع آب و جلوگیری از مصرف بی‌رویه این نهاده، تعیین نرخ آب‌بها برای کشاورزان این حوضه مطابق با روند تغییرات ارزش اقتصادی آب آبیاری در شرایط وقوع خشکسالی (اقلیم شدید) و ترسالی (اقلیم ملایم) و ملاحظه برابری صورت گیرد.

۳- با توجه به کاهش چشم‌گیر مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی گوجه‌فرنگی، چغندرقند و ذرت دانه‌ای در حوضه آبخیز شاهرود، آیش‌گذاری زمین‌های کشاورزی در شرایط رخداد تغییر اقلیم شدید جهت جلوگیری از خسارات بلندمدت به تولیدات کشاورزی در منطقه پیشنهاد می‌شود.

۴- ارایه تسهیلات و وام‌های با نرخ بهره کم به کشاورزان برای خرید وسایل اولیه و تجهیز مزارع به سیستم‌های نوین آبیاری در جهت افزایش سود ناخالص آن‌ها، در حوضه آبخیز شاهرود که کاهش منابع آب در دسترس را در اثر تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش دارد، پیشنهاد می‌شود.

۵- در این مطالعه از یک سیستم مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش بر منابع آب در دسترس حوضه آبخیز شاهرود استفاده شد. با توجه به قابلیت سیستم بالا در ایجاد ارتباط بین دو جزء بیوفیزیکی و اقتصادی، بررسی اثرات تغییر اقلیم ناشی از افزایش دمای هوا، تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش تبخیر و تعرق و افزایش دوره‌های خسکسالی بر منابع آب در دسترس و تولیدات بخش کشاورزی در مطالعات آینده، به پژوهشگران علاقه‌مند پیشنهاد می‌شود.

منابع

- پرهیزکاری، ا. (۱۳۹۲) تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و پاسخ کشاورزان به سیاست‌های قیمتی و غیرقیمتی در استان قزوین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ۱۳۵ ص.

- پرهیزکاری، ا. و صبوحی، م. (۱۳۹۲) شبیه‌سازی پاسخ کشاورزان به سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس. *مجله آب و آبیاری*، ۳(۲): ۴۲-۵۳.

- پرهیزکاری، ا. و صبوحی، م. (۱۳۹۲) تحلیل اثرات اقتصادی و رفاهی تشکیل بازار آب آبیاری در استان قزوین. *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۷(۴): ۳۳۸-۳۵۰.

- پرهیزکاری، ا. صبوحی، م. و ضیائی س. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی بازار آب و تحلیل اثرات سیاست اشتراک‌گذاری آب آبیاری بر الگوی کشت تحت شرایط کم‌آبی. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۷(۳): ۲۴۲-۲۵۲.

- پرهیزکاری، ا. صبوحی، م. احمدپور، م. و بدیع برزین، ح. (۱۳۹۳) شبیه‌سازی پاسخ کشاورزان به سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری (مطالعه موردی: شهرستان زابل). *مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۲۸(۲): ۱۷۶-۱۶۴.

- پرهیزکاری، ا. مظفری، م.م. پرهیزکاری، ر. و پرهیزکاری، م. (۱۳۹۳) مدیریت بهره‌برداری و تخصیص بهینه منابع آب جهت تعیین برنامه زراعی- اقتصادی الگوی بهینه کشت در منطقه رودبار الموت. *پژوهشنامه کشاورزی و منابع طبیعی*، چاپ ششم، زمستان ۹۲.

- پیش بهار، ا. دارپرنیان، س. و قهرمان زاده، م. (۱۳۹۴) بررسی آثار تغییرات اقلیمی بر عملکرد ذرت دانه‌ای در ایران: کاربرد روش اقتصادسنجی فضایی با داده‌های پانلی. *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۷(۲): ۱۰۶-۸۳.

- خالقی، س. بزازان، ف. و مدنی، ش. (۱۳۹۴) اثر تغییر اقلیم بر تولید بخش کشاورزی و بر اقتصاد ایران (رویکرد ماتریس حسابداری اجتماعی). *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۷(۱): ۱۳۵-۱۱۳.

- ذهبیون، ب. گودرزی، م. مساح، ع. (۱۳۸۹) کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه قره-سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم. *نشریه پژوهشی اقلیم‌شناسی*، ۳ و ۴(۱): ۵۸-۴۴.

- رضایی زمان، م. مرید، س. و دلاور، م. (۱۳۹۲) ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود. *نشریه آب و خاک*، ۲۷ (۶): ۱۲۴۷-۱۲۵۹.

- رامشت، م.ح. (۱۳۷۵) تحلیلی بر احتمال بارش ۳۰۰ میلی‌متر در مناطق جغرافیایی ایران. *مجله دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان*، ۸: ۳۳-۴۹.

- سادات آشفته، پ. و بزرگ‌حداد، ا. (۱۳۹۲) ارائه رویکرد احتمالاتی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب. *مجله مهندسی منابع آب*، ۶: ۵۱-۶۶.

- شکیبا، ع. باهک، ب. و منوریان، ز. (۱۳۸۷) اثرات تغییرات بارندگی بر روی جریانات آب‌های سطحی و دائمی استان تهران: مطالعه موردی رودخانه جاجرود. *مجله چشم‌انداز جغرافیایی*، ۳(۷): ۱۱۱-۱۳۴.

- علیزاده، ا. و کمالی، غ. (۱۳۸۴) اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد. *مجله تحقیقات جغرافیایی*، ۱۷: ۲۰۱-۱۸۹.

- غیور، ح. و مسعودیان، ا. (۱۳۷۶) اثرات گرمترشدن زمین بر چرخه‌ی آب در طبیعت. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۴۶: ۵۳-۶۹.

- محمدی قلعه‌نی، م. ابراهیمی، ک. و عراقی‌نژاد، ش. (۱۳۹۱) ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر افت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت ساوه). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۱۹(۴): ۱۸۹-۲۰۳.

- نجف‌پور، ب. (۱۳۸۵) نقش اقلیم در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط (با تأکید بر ایران). *مجله پیک نور*، ۲: ۱۲۶- ۱۱۶.

- Calzadilla, A. Zhu, T. Rehdanz, K. Tol, R.S.J. & Ringler, C. (2013). Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economics*, 93: 150-165.

- Connor, J. Kirby, M. Schwabe, K. Liukasiewics, A. & Kaczan, D. (2008) Impacts of reduced water availability on lower Murray irrigation, Australia, Socio-Economics and the Environment in Discussion, CSIRO working paper series ISSN: 1834-5638.

- Fowler, H.J. Kilsby, C.G. & Stunell, J. (2007). Modeling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (3):1115-1126.

- Gosain, A.K. Rao, S. & Basuray, D. (2006). Climate change impact assessment on hydrology of Indian River basins. Current Sci, 90(3): 346-353.

- Griffin, R.C. (2006). Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity Policies and Projects. MIT Press, Cambridge, Mass, 68 Pp.

- Heckelei, T. (2002). Calibration and Estimation of Programming Models for Agricultural Supply Analysis, University of Bonn, No: 159.

- Howitt, R.E. Medellin-Azuara, J. MacEwan, D. & Lund, R. (2012) Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Science of the Environmental Modeling and Software*, 38: 244-258.

- Jung, II.W. & Chang, H. (2010). Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Willamette River Basin, Oregon, USA. *Journal of Hydrology*, 16: 63-87.

- Kaczan, D. Qureshi, M.E. & Connor, J. (2011). Water Trade and Price Data for the Southern Murray Darling Basin, CSIRO, Adelaide, Canberra, No: 23.

- Medellan-Azuara, J. Harou, J. & Howitt, R. (2011). Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Science of the agricultural water management*, 108: 73–82.

- Qureshi, M.E. Schwabe, K. Connor, J. & Kirby, M. (2010). Environmental water incentive policy and return flows, Water Resources Research, No: 46.
- Qureshi, M.E. Whitten, S. Mainuddin, M. Marvanek, M. & Elmahdi, A. (2013) A biophysical and economic model of agriculture and water in the Murray-Darling Basin, Australia, *Environmental Modelling and Software*, 41: 98-106.
- Rohm, O. & Dabbert, S. (2003). Integrating agricultural environmental programs into regional production models: an extension of positive mathematical programming, *American Journal of Agricultural Economics*, 85(1): 254-265.
- Schwabe, K.A. Kan, I. & Knapp, K.C. (2006). Drainwater management for salinity mitigation in irrigated agriculture. *American Journal of Agriculture Economics*, 88: 135-149.
- Travis, J. ybbert, L. & Daniel, A. (2012). Sumner, Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion, *Food Policy*, 37:114-123.
- Traynham, L. Palmer, R. & Polebitski, A. (2011). Impacts of future climate conditions and forecasted population growth on water supply systems in the Puget Sound region, *Water Resours*, 137(2): 318-326.
- Yu, P. Yang, T.C. & Wu, C.K. (2002). Impact of climate change on water resources in southern Taiwan, *Journal of Hydrologi*, 260 (2): 161-175.
- Zmudzka, E. (2004). The climatic background of agricultural production in Poland in years 1951-2000, *Miscellanea Geographic*, 11(2): 127-137.

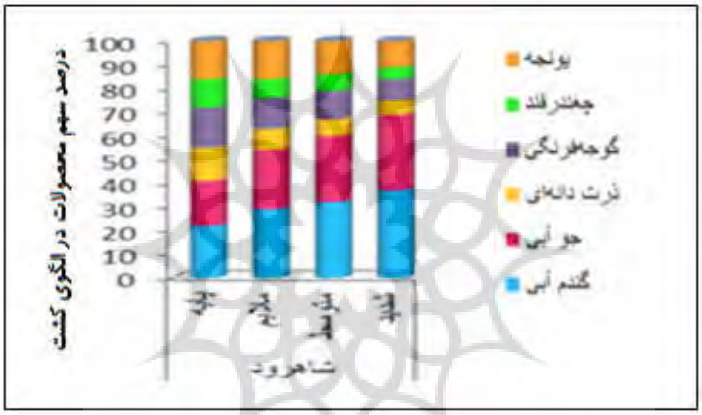
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پیوست‌ها

شکل ۱- موقعیت حوضه رودخانه شاهرود و ایستگاههای هواشناسی مورد مطالعه در آن.

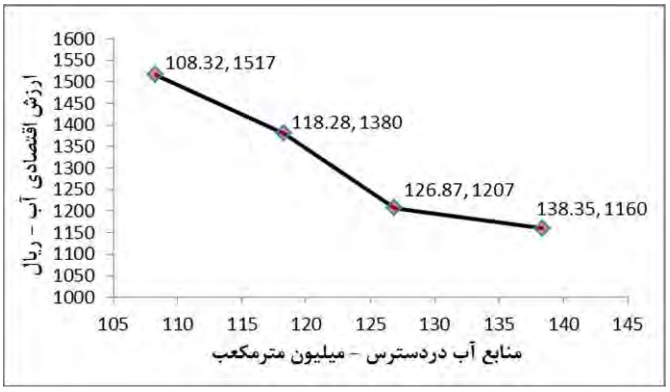
شکل ۲- الگوی رفتاری بارش در حوضه آبخیز شاهرود طی دوره مورد بررسی.

شکل ۳- میانگین بارش صورت گرفته در حوضه آبخیز شاهرود طی فصول سال پایه.

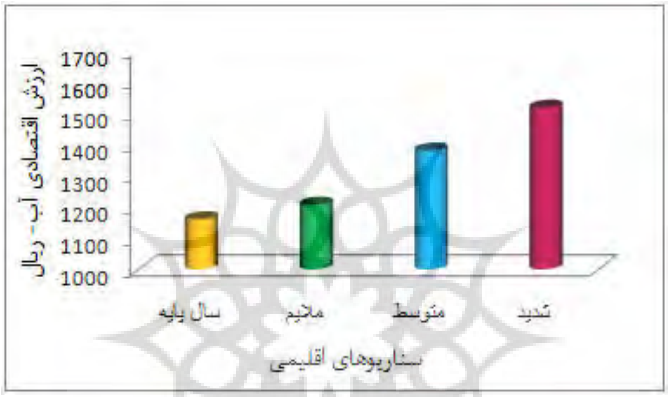


شکل ۴- درصد تغییرات الگوی کشت محصولات آبی تحت سناریوهای اقلیمی کاهش بارش در حوضه آبخیز شاهرود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۵- تابع تقاضای آب آبیاری در حوضه آبخیز شاهرود.



شکل ۶- تغییرات ارزش اقتصادی آب آبیاری در سناریوهای اقلیمی.

جدول ۱- مشخصات ایستگاههای باران‌سنجی مورد مطالعه در حوضه آبخیز شاهرود.

نام ایستگاه باران‌سنجی	حوضه آبخیز مورد مطالعه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع حوضه (متر)	دوره آماری مورد نظر
باغ‌کلایه	شاهرود	۵۷/۳۶	۳۴/۶۵	۱۰۶۸	۱۳۷۵-۹۲
ککجبین	شاهرود	۵۰/۴۹	۳۱/۲۸	۹۸۴	۱۳۷۰-۹۲

مأخذ: سازمان هواشناسی استان قزوین، ۱۳۹۲

جدول ۲- میانگین بارش ماهانه و فصلی در حوضه آبخیز شاهرود طی سال پایه.

ماهها و فصل‌های سال	مقدار بارش (mm)	ماهها و فصل‌های سال	مقدار بارش (mm)
فروردین	۴۵/۷	مهر	۱۰/۷
اردیبهشت	۳۹/۴	آبان	۴۱/۶
خرداد	۱۷/۹	آذر	۱۷/۰
میانگین بارش بهار	۲۱/۰	میانگین بارش پاییز	۲۳/۱
تیر	۳/۵	دی	۱۸/۵
مرداد	۰/۴	بهمن	۱۹/۷
شهریور	۵/۹	اسفند	۲۳/۳
میانگین بارش تابستان	۳/۲۷	میانگین بارش زمستان	۲۰/۵

مأخذ: سازمان هواشناسی استان قزوین، ۱۳۹۲

جدول ۳- منابع آب قابل دسترس در شرایط اقلیمی متفاوت در سطح حوضه‌های آبخیز شاهرود طی سال پایه (برحسب میلیون مترمکعب).

منابع تأمین آب در منطقه مورد مطالعه	حجم آب سطحی	حجم آب زیرزمینی	حجم کل آب در دسترس	سهم منبع تأمین آب (درصد)
چاه‌های عمیق شخصی	۰	۹/۶۳	۹/۶۳	۹/۹۶
چاه‌های نیمه‌عمیق شخصی	۰	۱۷/۳۷	۱۷/۳۷	۱۲/۵۵
چاه‌های عمیق دولتی	۰	۶/۴۰	۶/۴۰	۴/۶۳
کانال‌ها و سدهای انحرافی	۱۶/۵۴	۰	۱۶/۵۴	۱۱/۹۵
رودخانه و آب - تجمع‌یافته	۸۳/۶۰	۰	۸۳/۶۰	۶۰/۴۲
قنات و چشمه	۴/۸۱	۰	۴/۸۱	۳/۴۷
مجموع آب در دسترس	۱۰۴/۹۵	۳۳/۴	۱۳۸/۳۵	۱۰۰

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۲

جدول ۴- مقدار کارایی و درصد استفاده از روش‌های متنوع آبیاری در حوضه آبخیز شاهرود.

روش‌های متنوع آبیاری در منطقه مورد مطالعه	درصد کاربری روش آبیاری در سطح اراضی	درصد راندمان روش آبیاری در منطقه
آبیاری غرقابی	٪ ۴۲	٪ ۳۶
آبیاری جوی و پشته‌ای	٪ ۳۴	٪ ۴۲
آبیاری قطره‌ای	٪ ۱۵	٪ ۹۱
آبیاری بارانی	٪ ۹	٪ ۸۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۵- اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس، تولیدات کشاورزی و شاخص‌های اقتصادی سود ناخالص و ارزش آب در حوضه رودخانه شاهرود.

شاخص مورد بررسی	وضعیت فعلی	میزان تغییرات	سناریوهای اقلیمی ناشی از کاهش بارش		
			تغییر اقلیم ملایم	تغییراقلیم متوسط	تغییر اقلیم شدید
منابع آب در دسترس[1]	۱۳۸/۳۵	مقدار	۱۲۶/۸۷	۱۱۸/۲۸	۱۰۸/۳۲
		درصد	-۸/۳۰	-۱۴/۵	-۲۱/۷
سطح زیرکشت آبی[2]	۸۳۲۴	مقدار	۸۱۴۷	۷۸۳۰	۷۵۲۶
		درصد	-۲/۱۳	-۵/۹۳	-۹/۵۸
سود ناخالص کل[3]	۱۶۵/۴۴	مقدار	۱۵۸/۳۲	۱۵۳/۸۰	۱۴۷/۴۱
		درصد	-۴/۳۰	-۷/۰۴	-۱۰/۹
ارزش اقتصادی آب[4]	۱۱۶۰	مقدار	۱۲۰۷	۱۳۸۰	۱۵۱۷
		درصد	۴/۰۵	۹/۱۴	۱۳/۵

۱: برحسب میلیون مترمکعب، ۲: برحسب هکتار ، ۳: برحسب ده میلیون ریال، ۴: برحسب ریال در مترمکعب

مأخذ: یافته‌های پژوهش

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی