فصلنامه مدلسازی اقتصادی (سال سیزدهم، شماره ۲ «پیاپی ٤٦» تابستان ۱۳۹۸، صفحه‌های ١٤٤-١٢١)

مدل‌سازی بیوفیزیکی ـ اقتصادی جامع اقلیم و کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودشور)[1]

ابوذر پرهیزکاری[*]، غلامرضا یاوری[**]، ابوالفضل محمودی[+]، غلامرضا بخشی خانیکی[×]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۰۱

چکیده

هدف مقاله مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی جامع اقلیم و کشاورزی حوضه آبخیز رودشور با استفاده از داده‌های پانل متغیر بارش طی ۱۳۹۵-۱۳٦٥ و مقطعی سال پایه ۹۵-۱۳۹٤ می‌باشد. مدل‌سازی با تلفیق دو بخش بیوفیزیکی و اقتصادی با نرم‌افزار گمز صورت گرفت. نتایج نشان داد الگوی رفتاری بارش در حوضه آبخیز رودشور پس از ۱۳۸۰ کاهش داشته و با تغییر اقلیم تحت سناریوهای ملایم تا شدید، منابع آب منطقه ۵/۷۵ تا ۱۳/۸ درصد، تولیدات کشاورزی ۳/٦۰ تا ۸/٥٤ درصد و سود ناخالص کشاورزان ۲/۷۱ تا ۸/۰٤ درصد کاهش می‌یابد؛ اما، ارزش اقتصادی آب ۵/۱۳ تا ۱۲/۷ درصد افزایش می‌یابد. برای حفاظت آب، تعیین نرخ آب‌بها براساس برابری، آیش‌گذاری اراضی و تجهیز سیستم‌های نوین آبیاری پیشنهاد می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: R11, Q54, C23.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی، اقلیم و کشاورزی، حوضه آبخیز رودشور.

---

[1] این مقاله مستخرج از رساله دکتری ابوذر پرهیزکاری به راهنمایی دکتر غلامرضا یاوری در دانشکده اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران شرق می‌باشد.

[*]دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: Abozar.parhizkari@yahoo.com

[**]دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Gr.yavari@gmail.com

[+]دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Abolfazlmahmoodi@yahoo.com

[×]استاد گروه علوم کشاورزی (بیوتکنولوژی)، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Bakhshi@pnu.ac.ir

۱. مقدمه

مدل‌سازی یکپارچه بیوفیزیکی- اقتصادی[1] یک رویکرد مشترک برای ارزیابی سناریوهای سیاستی در حوضه‌های آبخیز به شمار می‌رود (کورتیگنانی و دونو[2]، ۲۰۱۸). این رویکرد با مطرح کردن سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب و الزامات قانونی برای مدیریت این منابع در حوضه موری- دارلین[3] (MDB) معرفی شد.

برای ارتباط اطلاعات بیوفیزیکی و اقتصادی در چارچوب مدلسازی‌های بیوفیزیکی- اقتصادی و ارزیابی تأثیرات سیاست‌های کشاورزی از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی[4] (MP) استفاده می‌شود. این مدل‌ها برای تجزیه و تحلیل مدیریت تقاضای آب آبیاری و سیاست‌های زیست‌محیطی نیز به‌کار گرفته می‌شوند (گریفین[5]، ۲۰۰٦ و کورتیگنانی و دونو، ۲۰۱۸).

مدل‌سازی‌های ریاضی به عنوان ابزاری جامع و کاربردی برای تحلیل آثار بالقوه تغییرات اقلیمی و سیاست‌های پیرامون مدیریت منابع آب و کشاورزی پذیرفته شده‌اند (آدامسون، مالاواراچس و کیوگین[6]، ۲۰۰۹؛ شوکلا، مایتری و میسکا[7]، ۲۰۱۷). با این حال، مدل‌های یاد شده، عمدتا، برای تخصیص منابع بین فعالیت‌های تولیدی به کار می‌روند و شکل ریاضی تقریبا مشابهی دارند؛ با این تفاوت که گاهی محدودیت‌های حداقل و یا حداکثرسازی منابع به آن‌ها اضافه و یا از آن‌ها کم می‌شود (قارشی، ویتن، ماینادین، ماروانک و المهدی[8]، ۲۰۱۳).

امروزه، روش‌های مختلفی برای حل مسائل تجمیعی و فوق تخصصی در مدل‌های تولید کشاورزی به وجود آمده است. مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی[9] (PMP) از جمله این مدل‌ها است که توسط هاوویت (۱۹۹۸) معرفی گردید. اصطلاح «اثباتی»، بیانگر اثبات داده‌های

پرتال جامع علوم انسانی

[1] Biophysical- Economic Modeling System
[2] Cortignani and Dono
[3] Murray-Darling Basin
[4] Mathematical Programming
[5] Griffin
[6] Adamson, Mallawaarachc & Quiggin
[7] Shukla, Maitri & Misra
[8] Qureshi, Whitten, Mainuddin, Marvanek, & Elmahdi
[9] Positive Mathematical Programming

مشاهده شده در سال مرجع پس از اعمال فرایند واسنجی[١] در سیستم مدل‌سازی است (پتساکوس و روزاکیس[٢]، ٢٠١٥؛ گارناچ، میرل، هاوویت و لی[٣]، ٢٠١٥ و پرهیزکاری، مظفری و و خدادادی حسینی، ١٣٩٤).

مسأله مهمی که امروزه، در اقصی نقاط دنیا نمود یافته و در مجامع جهانی نیز بحث می‌شود، رخداد گرمایش جهانی[٤] و پدیده تغییر اقلیم است (ترainهام، پالمر و پولبیتسکی[٥]، ٢٠١١؛ پراتیبا، سرینواس، رائو، آران، شانکر و ماهسواری[٦]، ٢٠١٦ و پرهیزکاری و یزدانی، ١٣٩٦). این پدیده همان طور که از فعالیت‌های گوناگون انسانی تأثیر می‌پذیرد، اثرات مختلفی بر فعالیت‌های انسانی بر جای می‌گذارد (خانلری و کیخا، ١٣٩١). در این راستا، بخش کشاورزی به دلیل نیاز اولیه به منابع آب، از جمله مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی هر کشوری است که در درجه اول تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار می‌گیرد (محمدی قلعه‌نی، ابراهیمی و عراقی‌نژاد، ١٣٩١).

حوضه آبخیز رودشور شامل رودخانه‌های فصلی ابهررود، خررود و حاجی‌عرب است. میانگین بارش سالانه در این حوضه ٢٣٤/١ میلی‌متر بوده که حدود ٨ درصد کم‌تر از متوسط بارندگی در سطح کشور است (سازمان هواشناسی استان تهران، ١٣٩٧). مصرف بی‌رویه آب در سطح اراضی حوضه رودشور از یک‌سو و کاهش نزولات جوی در این حوضه از سوی دیگر، برنامه‌ریزی مناسبی را برای مدیریت منابع آب ایجاب می‌کند. به همین منظور، هدف این تحقیق ارزیابی سیستم مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی جامع اقلیم و کشاورزی در حوضه آبخیز رودشور است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

---

[١] واسنجی معادل فارسی اصطلاح Calibration در ادبیات پژوهشی مربوط است. برابرنوشت مصوب فرهنگستان، عبارت توصیفی «مدرج کردن و سنجش دقت ابزاردقیق» است که برای جلوگیری از آشفتگی ذهنی خوانندگان ترجیحا همان اصطلاح مرسوم واسنجی درنظر گرفته شده است.

[2] Petsakos and Rozakis

[3] Garnache, Merel, Howitt & Lee

[4] Global Warming

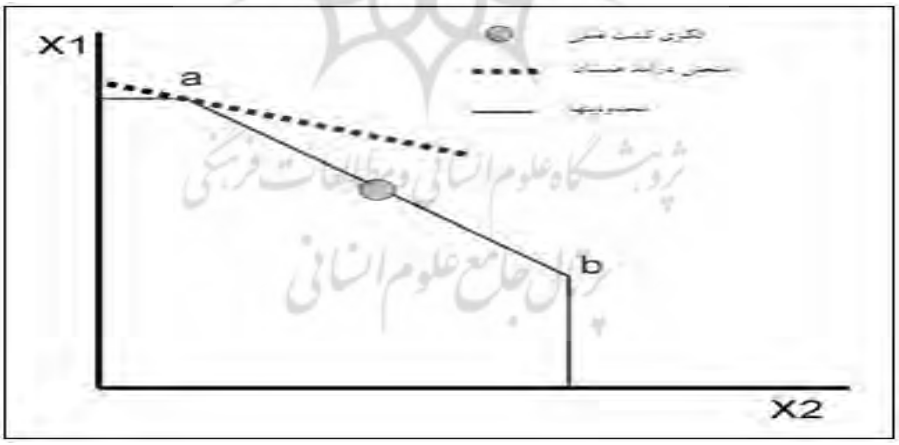
[5] Traynham, Palmer & Polebitski

[6] Pratibha, Srinivas, Rao, Arun, Shanker & Maheswari

برای دست‌یابی به این هدف، مقاله بدین شکل سازماندهی شده است: در ادامه، پس از مقدمه، ادبیات مرور می‌شود؛ بخش سوم مربوط به روش تحقیق و بخش چهارم مربوط به یافته‌هاست؛ در پایان و بخش پنجم، نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی ارائه می‌شود.

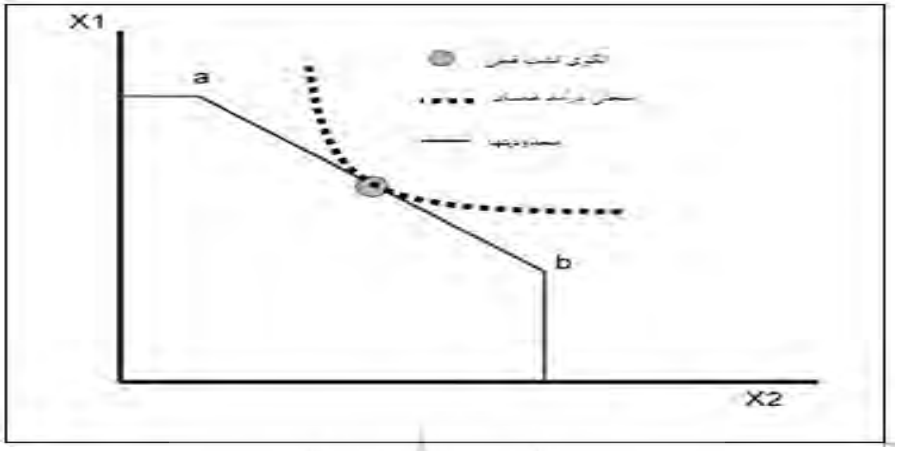
۲. مروری بر ادبیات

مزیّت مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در بررسی جزئی‌تر تأثیر سیاست‌های کشاورزی است (مدلین- آزورا، هاروئی و هاوویت[1]، ۲۰۱۱؛ کورتیگنانی و دونو، ۲۰۱۸). مدل‌های برنامه‌ریزی هنجاری[2] (NMP) بیش از ۵۰ سال است که در اقتصاد کشاورزی استفاده می‌شوند. نقطه ضعف این نوع مدل‌ها در آن است که پارامترهای تابع هدف و محدودیت‌های لحاظ شده بر اساس داده‌های تاریخی، واسنجی نمی‌شوند؛ از این‌رو، مدل‌های PMP جهت غلبه بر مشکلات موجود در مدل‌های NMP توسعه یافته‌اند (هاویت، مدلین آزورا، مک‌اِوام، لاند[3]، ۲۰۱۲؛ پاک‌نژاد، ۱۳۹۱ و پرهیزکاری، مظفری، حسینی خدادادی، ۱۳۹٤). نحوه بهینه‌سازی مسائل تولید بر اساس مدل‌های یاد شده در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل NMP بنگاه با هدف حداکثرسازی سود فعالیت‌های تولیدی

[1] Medellin-Azuara, Harou & Howitt
[2] Normative Mathematical Programming
[3] Howitt, Medellin-Azuara, MacEwan & Lund



شکل ۲. مدل PMP بنگاه با هدف حداکثرسازی سود فعالیت‌های تولیدی

با توجه به شکل‌های (۱) و (۲) ملاحظه می‌شود که در مدل‌های NMP که مدل‌سازی با تأکید بر محدودیت‌های وارد شده به حداکثرسازی تابع هدف می‌پردازد، هیچ تضمینی برای رسیدن به شرایط موجود وجود ندارد و نتایج به دست آمده به دلیل خصوصیت تجویزی بودن الگوها اطمینان کافی نداشته و توجیه نمودن جواب‌های این نوع الگوها برای تصمیم‌گیرندگان مشکلات زیادی همراه دارد؛ در حالی که در مدل‌های PMP با این فرض که کشاورزان در شرایط موجود و با توجه به قیمت محصول و نهاده‌ها و محدودیت‌های موردنظر به طور بهینه عمل می‌کنند، سعی می‌شود تا با استفاده از یک تابع هدف غیرخطی و محدودیت‌های مورد نظر سطوح مشاهده شده فعالیت‌ها بازسازی شود (هیوکا، روجا و مکوپا[1]، ۲۰۱٤؛ پاک‌نژاد، ۱۳۹۱؛ پرهیزکاری، ۱۳۹٦).

برخلاف مدل‌های NMP، در مدل‌های PMP برخی پارامترها برای بازسازی داده‌های مشاهده شده در سال پایه تعدیل می‌شوند. بنابراین، PMP تضمین می‌کند که جواب‌های مدل همان جواب‌های سال مبنا باشند (جونس، آنتل، باسو و بوت[2]، ۲۰۱۷؛ گراولین[3]، ۲۰۱٦ و صبوحی و پرهیزکاری، ۱۳۹۲). یکی دیگر از مزیت‌های مدل PMP آن است که در

[1] Huka, Ruoja & Mchopa
[2] Jones, Antle, Basso & Boote
[3] Graveline

محدودیت‌های کالیبره یا سنجیده شده خود به درجات آزادی صفر نیاز دارد. بنابراین، تعداد پارامترهایی که می‌تواند هنگام واسنجی تعیین شود، محدود است. به دلیل محدودیت تعداد پارامترها، مدل‌های PMP فرم تابعی ساده‌ای دارند (گراولین و میرل[1]، ۲۰۱٤ و بخشی، دانشور و مقدسی، ۱۳۹۰).

طی سال‌های اخیر مطالعات متعددی با استفاده از سیستم‌های مدل‌سازی اقتصادی و مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در زمینه ارزیابی آثار بالقوه تغییر اقلیم در بخش کشاورزی صورت گرفته است. بلالی و ویاجی[2] (۲۰۱۵) با استفاده از یک مدل هیدرواقتصادی پویا به مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز دشت بهار همدان تحت شرایط متفاوتی از سیاست‌های اقتصادی و تغییرات اقلیم پرداختند. نتایج نشان داد که اعمال سیاست‌های مختلف دولت در زمینه مدیریت منابع آب و قیمت‌گذاری انرژی اثر معناداری بر بهره‌وری منابع آب و پایداری آب‌های زیرزمینی دارد.

مائو، هیو، لین، لیو و اکسیا[3] (۲۰۱۷) با استفاده از مدل گردش عمومی جو[4] (GCM) اثر تغییر اقلیم را بر منابع آب و سازگاری تولید محصولات کشاورزی در شمال چین بررسی کردند. نتایج حاکی از آن است که تغییرات اقلیم تا سال ۲۰۵۰ تقاضای آب برای تولید محصولات را تشدید نموده و گرمایش جهانی کاهش ٤ تا ۲٤ درصدی منابع آب را در این منطقه به دنبال خواهد داشت.

کورتیگنانی و دونو (۲۰۱۸) با استفاده از سیستم مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی به بررسی اثرات تغییر اقلیم و برنامه‌های سیاستی مقابله با آن در مزارع جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج نشان داد برنامه‌های سیاستی مدنظر برای مقابله با تغییرات اقلیم اثرات مثبتی بر عوامل اقتصادی و محیطی در منطقه دارند. با وجود این، برخی از مزارع همچنان تحت تاثیر پیامدهای منفی این پدیده قرار می‌گیرند.

---

[1] Graveline and Merel
[2] Balali and Viaggi
[3] Mo, Hu, Lin, Liu & Xia
[4] Global Climate Model

آگووینو، کاساکیا، سیومی، فرارا و مارکسانو[1] (۲۰۱۸) در تحقیقی با استفاده از مدل پنل دیتا و سناریوهای انتشار به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت کشاورزی ۲۸ کشور در اتحادیه اروپا پرداختند. نتایج حاکی از وجود اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای دما و بارش و عملکرد محصولات طی دوره ۲۰۱٤-۲۰۰۵ است. همچنین نتایج نشان می‌دهد بین تغییرات اقلیم و کشاورزی پایدار ارتباط منفی دوطرفه‌ای وجود دارد.

در ایران نیز، پرهیزکاری، مظفری و حسینی خدادادی (۱۳۹٤) در پژوهشی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی و برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر شاخص‌های اقتصادی منابع آب و کشاورزی در اراضی پایین‌دست سد طالقان ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عملکرد اغلب محصولات منطقه اثر منفی داشته و منجر به کاهش سطح زیرکشت و سود ناخالص کشاورزان شده است.

سلطانی و موسوی (۱۳۹٤) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گاز CO_2 بر ارزش اقتصادی آب آبیاری، عملکرد محصولات کشاورزی و بیلان آب زیرزمینی در دشت بهار همدان پرداختند. نتایج نشان داد انتشار بیش از حد CO_2 منجر به کاهش عملکرد محصولات و بیلان آب زیرزمینی در این منطقه از کشور شده است. همچنین، افزایش سطح CO_2 کاهش سود ناخالص کشاورزان را به میزان ۱٦۹ میلیارد ریال در پی دارد.

امیرنژاد و اسدپور کردی (۱۳۹٦) در تحقیقی با استفاده از الگوی خودرگرسیون با وقفه توزیعی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم در ایران پرداختند. نتایج نشان داد متغیرهای اقلیمی با سطح زیر کشت و تولید گندم رابطه‌ای مثبت و معنادار دارند. بدین معنا که در بلندمدت با افزایش یک درصد در متغیرهای اقلیمی به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۲۱ درصد بر مقدار سطح زیرکشت و تولید گندم افزوده می‌شود.

مطالعات بررسی شده حاکی از آن هستند که سیستم‌های مدل‌سازی اقتصادی و مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی کاربرد وسیعی در زمینه ارزیابی آثار بالقوه تغییر اقلیم در بخش کشاورزی دارند. با توجه به اهمیت این موضوع، در تحقیق حاضر به مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی اقلیم و کشاورزی در حوضه آبخیز رودشور پرداخته شد.

[1] Agovino, Casaccia, Ciommi, Ferrara & Marchesano

۳. روش پژوهش

۳-۱. سیستم مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی (BEMS)

سیستم مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی به منظور بررسی روابط بین متغیرهای بیوفیزیکی (نیاز آبی، دما، رطوبت، بارش و تبخیر) و متغیرهای اقتصادی (سود ناخالص، درآمد و میزان تولید) استفاده می‌شود. انتخاب مقیاس مناسب برای مدل بیوفیزیکی- اقتصادی مسئله حائز اهمیتی است؛ زیرا مکانیزم لازم و حیاتی برای فضایی پویا از هر فرایند یا جزء در این مدل ممکن است برای فرایند یا جزء دیگر نامناسب و بی‌اهمیت باشد (کاکزان، قریشی و کونور[1]، ۲۰۱۱).

۳-۱-۱. بخش اقتصادی سیستم مدل‌سازی

بخش اقتصادی سیستم مدل‌سازی ارائه شده در این تحقیق شامل مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) است. مهم‌ترین مسأله در سنجش و ارزیابی این مدل، تعیین سطح تجمیع مکانی (فضایی)[2] برای تعریف دامنه کاری این مدل است. تعیین این سطح به جای تحلیل سیاست‌ها در سطح وسیع، ترکیبی از ویژگی‌های منطقه‌ای را لحاظ نموده و سیاست‌های موردنظر را در سطح مناطق تعیین شده بررسی می‌کند (پرهیزکاری، ۱۳۹٦).

به طور کلی، واسنجی مدل PMP در سه مرحله پیاپی صورت می‌گیرد. در مرحله اول، یک مدل برنامه‌ریزی خطی جهت حداکثر نمودن مجموع سود ناخالص کشاورزان حل می‌شود و در ادامه مقادیر دوگان[3] برای محدودیت‌های مدل به دست می‌آیند (هاویت، مدلین آزورا، مک اِوام، لاند، ۲۰۱۲؛ گراولین، ۲۰۱٦). شکل ریاضی این مرحله از مدل PMP را می‌توان برای منطقه مورد مطالعه به صورت زیر نشان داد:

$$Max\ \Pi = \sum_{s=1}^{3} prob_s \left(\sum_{i=1}^{6} \left(price_{is} * yield_{is} - \sum_{j=1}^{5} a_{isj} cost_{isj} \right) \right) Area_{is} \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{6} a_{isj} Area_{si} \le b_j \qquad \forall js \qquad [\lambda_{is}^{j}] \qquad (۲)$$

[1] Kaczan, Qureshi & Connor
[2] Spatial Aggregation
[2] Dual Value

$$Area_{si} \le \tilde{A}rea_{si} + \varepsilon \qquad \forall si \qquad [\lambda_{is}^{c}] \tag{۳}$$

$$Area_{si} \ge 0 \qquad \forall si \tag{٤}$$

رابطه (۱) به عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل حداکثرکردن سود ناخالص کشاورزان است. در این رابطه، π مجموع سود ناخالص کشاورزان، i تعداد محصولات (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندرقند و یونجه)، j تعداد نهاده‌ها یا عوامل تولید (زمین، آب، نیروی کار، ماشین‌آلات و سرمایه) و s شرایط اقلیمی به لحاظ میزان بارش (ملایم، متوسط و شدید) است. $price_{is}$، $yield_{is}$ و $Area_{is}$ به ترتیب بیانگر قیمت بازاری، میزان عملکرد و سطح زیرکشت محصول i است که تحت شرایط اقلیمی s تولید می‌شود. $cost_{isj}$ هزینه تولید محصول i با مصرف نهاده j تحت شرایط s است. a_{isj} نیز بیانگر ضرایب لئونتیف است که نسبت استفاده هر نهاده به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$a_{isj} = \frac{\tilde{A}rea_{si}}{\tilde{A}rea_{si,Land}} \qquad \forall isj \tag{۵}$$

رابطه (۲)، محدودیت منابع است که b_j در آن، کل منابع دردسترس است. رابطه (۳)، محدودیت واسنجی است که در آن، $\tilde{A}rea_{is}$ مقدار مشاهده شده فعالیت i در سال پایه تحت شرایط s می‌باشد. ε نیز مقدار مثبت کوچکی برای جلوگیری از ایجاد وابستگی خطی بین محدودیت‌های مدل است. λ_{is}^{j} و λ_{is}^{c} در روابط (۲) و (۳)، قیمت سایه‌ای محدودیت‌های سیستمی و واسنجی هستند. رابطه (٤) نیز محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است (هاویت، مدلین آزورا، مک‌اِوام، لاند، ۲۰۱۲؛ محمودی و پرهیزکاری، ۱۳۹۵).

در مرحله دوم، مدل PMP، از مقادیر دوگان به دست آمده در مرحله اول برای واسنجی تابع هزینه غیرخطی یا کوادراتیک (درجه دوم) مطابق با رابطه (٦) استفاده می‌شود:

$$TC_{is} = \alpha_{is} Area_{is} + \frac{1}{2}\gamma_{is} Area_{is}^{2} \qquad \forall is \tag{٦}$$

در رابطه (٦)، TC_{is} هزینه کل تولید محصول i تحت شرایط اقلیمی s در حوضه آبخیز رودشور است. α_{is} پارامتر رهگیری است که برای نشان‌دادن هزینه متوسط تولید به کار می‌رود. γ_{is} نیز پارامتر گاما است که بیانگر شیب تابع هزینه غیرخطی است. با توجه به این که هزینه‌های تولید محصولات منتخب زراعی در واحد سطح (هکتار) قابل تعریف و ارزیابی

است؛ از این‌رو، تابع هزینه ارائه شده در رابطه (٦) از متغیر سطح زیرکشت ($Area_{is}$) تبعیت می‌کند. هر یک از پارامترهای فوق با استفاده از روابط ریاضی زیر محاسبه می‌شوند:

$$\gamma_{is} = \frac{\lambda_{is}^{c}}{\tilde{A}rea_{is}} \qquad \forall is \tag{۷}$$

$$\alpha_{is} = \sum_{j \neq water}^{5} c_{isj}\, q_{isj} \qquad \forall is \tag{۸}$$

در روابط فوق، c_{isj} و q_{isj} بیانگر متوسط هزینه و میزان مصرف نهاده j برای تولید محصول i تحت شرایط اقلیمی s می‌باشند (پرهیزکاری، مظفری و حسینی خدادادی، ۱۳۹٤). هزینه نهاده آب به طور مجزا در تابع هدف غیرخطی مرحله سوم لحاظ می‌شود:

$$C_{W.Ch\,\mathrm{arg}e} = \sum_{i=1}^{6}\sum_{s=1}^{3}\left[Vcost_{water} + (Wch\,\mathrm{arg}e * IW_{is}^{R})\right] Area_{is} \tag{۹}$$

در رابطه فوق، $Vcost_{water}$ هزینه متغیر فعالیت آبیاری، $Wch\,\mathrm{arg}e$ قیمت یا نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان و IW_{is}^{R} آب مصرفی در تولید محصول i تحت شرایط اقلیمی s است. رابطه (۱۰) نیز هزینه نهاده آب را در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال نشان می‌دهد:

$$C_{trad} = \sum_{i=1}^{6}\sum_{s=1}^{5}\left[(IE\,\mathrm{cos}t * WE) + (IF\,\mathrm{cos}t * WF)\right] Area_{is} \tag{۱۰}$$

در رابطه فوق، $IE\,\mathrm{cos}t$ و WE به ترتیب هزینه انتقال آب آبیاری و حجم آب انتقال یافته از طریق کانال‌ها و بندهای انحرافی در حوضه آبخیز رودشور می‌باشند. $IF\,\mathrm{cos}t$ و WF نیز به ترتیب هزینه استحصال آب زیرزمینی و حجم آب استحصالی به وسیله سیستم‌های پمپاژ آب در حوضه آبخیز رودشور می‌باشند (قارشی، ویتن، ماینادین، ماروانک و المهدی، ۲۰۱۳). در مرحله سوم مدل PMP، با استفاده از تابع هزینه غیرخطی واسنجی شده، تابع عملکرد مبتنی بر نیاز آبی و بارش و مجموعه محدودیت‌های مورد استفاده (به استثنای محدودیت واسنجی)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط زیر ساخته می‌شود (هاویت، مدلین آزورا، مک‌اِوام، لاند، ۲۰۱۲؛ پرهیزکاری، مظفری و حسینی خدادادی، ۱۳۹۵):

$$Max\ \Pi = \sum_{s=1}^{3} prob_s \left[\sum_{i=1}^{6} \left(price_{is} * yield_{is} * \varphi change_{yield,\text{rain}} \right) \right] Area_{is}$$
$$-(\alpha_{is} Area_{is} + \frac{1}{2}\gamma_{is} Area_{is}^2) - \sum_{s=1}^{3} prob_s (\sum_{i=1}^{6} [Vcost_{water} + (Wch\,\text{arg}e \quad (11)$$
$$* IW_{is}^{R})] Area_{is}) - \sum_{i=1}^{6} [(IE\,\text{cost} * WE) + (IF\,\text{cost} * WF)] Area_{is}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{6}\sum_{s=1}^{3} IW_{is}^{R} * Area_{is} \le (1 - CLoos) * Twat_s \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^{6} Area_{is} \le TArea \qquad \forall s \quad (13)$$

$$DArea_{is} = TArea - TArea_{is} \qquad \forall is \quad (14)$$

$$WE + WF \le Twat_s \qquad \forall s \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{6} La_{is} * Area_{is} \le TLa \qquad \forall s \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^{6} K_{is} * Area_{is} \le TK \qquad \forall s \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^{6} Ma_{is} * Area_{is} \le TMa \qquad \forall s \quad (18)$$

$$Area_{is} \ge 0 \qquad \forall is \quad (19)$$

رابطه (۱۱)، تابع هدف غیرخطی مدل PMP است که شامل تابع عملکرد مبتنی بر نیاز آبی و بارش، تابع هزینه خطی برای نهاده آب و تابع هزینه کوادراتیک (درجه دوم) برای سایر نهاده‌ها (زمین، نیروی کار، سرمایه و ماشین‌آلات) است. 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 است. رابطه (۱۲) محدودیت آب قابل دسترس را نشان می‌دهد که در آن، $CLoos$ درصد حجم آب قابل انتقال و $Twat_s$ کل منابع آب در دسترس در حوضه آبخیز رودشور تحت شرایط اقلیمی s است. رابطه (۱۳) بیانگر محدودیت اراضی آبی زیرکشت است و نشان می‌دهد که مجموع سطح زیرکشت محصولات آبی ($Area_{is}$) کم‌تر از کل سطح زیرکشت محصولات ($TArea$) است. رابطه (۱٤) محدودیت مربوط به اراضی دیم و رابطه (۱۵) محدودیت منابع آب قابل انتقال و قابل استحصال را نشان می‌دهد. روابط (۱٦)، (۱۷) و (۱۸) به ترتیب بیانگر محدودیت مربوط به نهاده‌های نیروی کار، سرمایه و ماشین‌آلات در حوضه آبخیز رودشور

می‌باشند. در این روابط، La_{is}، K_{is} و Ma_{is} به ترتیب بیانگر میزان موردنیاز نیروی کار، سرمایه و ماشین‌آلات برای تولید محصول i تحت شرایط اقلیمی s و TLa، TK و TMa؛ به ترتیب، بیانگر مجموع نیروی کار، سرمایه و ماشین‌آلات قابل دسترس در حوضه رودشور هستند. رابطه (۱۹) نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است که اجرایی بودن مدل برنامه‌ریزی را در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد.

۳-۱-۲. بخش بیوفیزیکی سیستم مدل‌سازی

بخش بیوفیزیکی سیستم مدلسازی ارائه‌شده در این تحقیق شامل تابع عملکرد مبتنی بر متغیرهای بیوفیزیکی و اقلیمی نیاز آبی و بارش است که الگو گرفته از روش قارشی، اسکاب، کونور و کایربی[1] (۲۰۱۰) و پرهیزکاری و یزدانی (۱۳۹٦) می‌باشد. پس از بررسی اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش بر نیاز آبی و عملکرد محصولات، می‌توان با گنجاندن نتایج حاصل از جزء بیوفیزیکی در جزء اقتصادی مدل تجمیعی به تحلیل حساسیت در شرایط اقلیمی متفاوت (تحت سناریوهای کاهش بارش ملایم، متوسط و شدید) پرداخت.

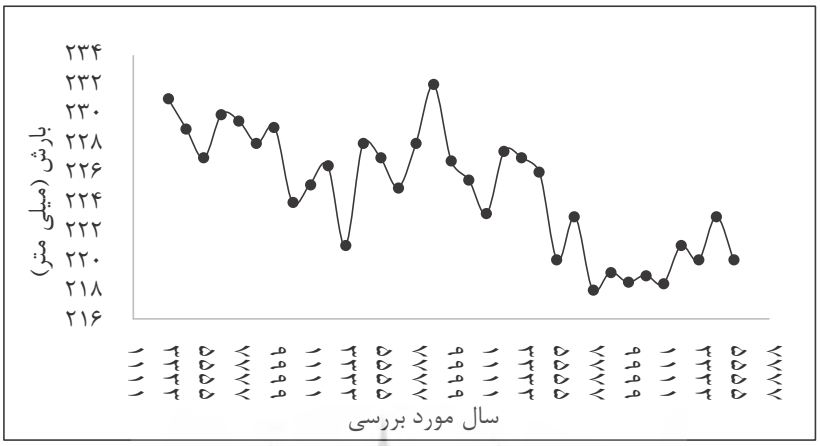
۳-۱-۳. روش جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

داده‌های آماری موردنیاز از طریق ایستگاه‌های باران‌سنجی و سازمان‌ها و ادارات ذی‌ربط در استان‌های قزوین و تهران جمع‌آوری شدند. داده‌های مربوط به بارش طی دوره ۱۳۹۵-۱۳٦۵ نیز از طریق ایستگاه‌های باران‌سنجی ضیاءآباد (در حوضه ابهررود)، ارتش‌آباد (در حوضه خررود) و نصرت‌آباد (در حوضه حاجی‌عرب) جمع‌آوری شدند. برای محاسبه نیاز آبی محصولات از نرم‌افزار NETWAT استفاده شد. مرتب‌سازی داده‌ها در نرم‌افزار Excel و حل مدل برنامه‌ریزی ارائه شده در محیط نرم‌افزاری GAMS نسخه ۲٤/۷ صورت گرفت.

٤. یافته‌های پژوهش

شکل (۳) روند تغییرات یا الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش را طی دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳٦۵ و براساس میانگین آمارهای موجود در ایستگاه‌های باران‌سنجی واقع در حوضه آبخیز رودشور نشان می‌دهد:

[1] Schwabe, Connor & Kirby



شکل ۳. الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش در حوضه آبخیز رودشور طی دوره ۱۳۹۵-۱۳٦۵

مطابق با شکل (۳)، الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش طی دوره مورد بررسی نشان می‌دهد که این متغیر پس از سال ۱۳۸۰ در حوضه آبخیز رودشور روندی کاهشی را طی نموده است. از این‌رو، در این مقاله اثرات تغییرات اقلیمی ناشی از کاهش بارش بر تولیدات کشاورزی، منابع آب دردسترس و متغیرهای اقتصادی سود ناخالص و ارزش نهاده آب مورد بررسی قرارگرفت.

پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی کمکی در مرحله اول مدل PMP، قیمت سایه‌ای نهاده آب که بیانگر ارزش اقتصادی (واقعی) این نهاده است، معادل با ۱٤٦۲ ریال برآورد شد. این در حالی است که مطابق با گزارش‌های اخیر، کشاورزان این حوضه طی سال پایه مبلغی معادل با ٤۷۵ ریال را به عنوان نرخ آب‌بها پرداخت نموده‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که تفاوت فاحشی بین ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب آبیاری و نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان در حوضه آبخیز رودشور وجود دارد و کشاورزان این منطقه تنها حدود ۳۲/٤ درصد از ارزش اقتصادی آب آبیاری را طی سال پایه در غالب هزینه‌های استحصال و انتقال آب پرداخت نموده‌اند. پس از تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و مقایسه آن با نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان حوضه آبخیز رودشور، به منظور انعطاف‌پذیری سناریوهای ارائه شده و دست‌یابی به نتایج کاربردی‌تر، اثرات متغیر اقلیمی بارش بر تولیدات کشاورزی، منابع آب

دردسترس و شاخص‌های اقتصادی سود ناخالص و ارزش واقعی آب تحت سه سناریوی کاهش بارش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر ارزیابی شد.

سناریوهای یاد شده، به ترتیب، زیر عنوان تغییرات اقلیمی ملایم، متوسط و شدید نام‌گذاری شدند. محاسبه درصد احتمال برای هر حالت بارشی فوق نیز براساس وقوع تعداد سال‌های خشک، تعداد سال‌های با بارش متوسط و زیاد طی دوره ۱۳۹۵-۱۳٦۵ در حوضه آبخیز رودشور صورت گرفت. جدول (۱) نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش بر الگوی کشت در حوضه آبخیز رودشور

محصولات منتخب	الگوی سال پایه*	میزان تغییرات	سناریوهای اقلیمی ناشی از کاهش بارش		
			تغییر اقلیم ملایم	تغییر اقلیم متوسط	تغییر اقلیم شدید
گندم آبی	۷۳۸۵	مقدار	۷۵۹۰	۷٦۸۵	۷۸۳۱
		درصد	۲/۷۸	٤/۰٦	٦/۰۳
جو آبی	۵۸۹۰	مقدار	٦۰۱۸	٦۱۰۰	٦۱۷۰
		درصد	۲/۱۷	۳/۵٦	٤/۷۵
ذرت دانه‌ای	۲۵۷۰	مقدار	۲۲۷۰	۲۱۱۹	۱۹۰٤
		درصد	-۱۱/٦	-۱۷/۵	-۲۵/۹
گوجه‌فرنگی	۱۹٦۵	مقدار	۱٦٦٤	۱٤۷۲	۱۳۰۰
		درصد	-۱۵/۳	-۲۵/۱	-۳۳/۸
چغندرقند	۱۳۷۵	مقدار	۱۱۸۹	۱۰٦۷	۹۷۰
		درصد	-۱۳/۵	-۲۲/٤	-۲۹/٤
یونجه	۲۱٤۰	مقدار	۱۸۲۵	۱۵۷۱	۱۳۲۷
		درصد	-۱٤/۷	-۲٦/۵	-۳۷/۹

* بر حسب هکتار منبع: یافته‌های تحقیق

همانطور که ملاحظه می‌شود تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش تحت سناریوهای مختلف الگوی کشت محصولات منتخب را در حوضه آبخیز رودشور متأثر می‌سازد؛ به طوری که سطح زیرکشت محصولات با نیازآبی بالاتر ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندرقند و یونجه

تحت سناریوهای ملایم تا شدید به ترتیب ۱۱/٦ تا ۲۵/۹، ۱۵/۳ تا ۳۳/۸، ۱۳/۵ تا ۲۹/٤ و ۱٤/۷ تا ۳۷/۹ درصد نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد. این در حالی است که کشاورزان حوضه آبخیز رودشور با رخداد تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش به میزان ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر نسبت به سال پایه، به سمت توسعه سطح زیرکشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی که نیاز آبی پایین‌تر و در نهایت ریسک تولید کم‌تری را نسبت به دیگر محصولات الگو دارند، متمایل می‌شوند.

به همین جهت ملاحظه می‌شود سطح زیرکشت گندم و جو آبی با وقوع تغییر اقلیم ملایم تا شدید به ترتیب از ۷۵۹۰ به ۷۸۳۱ هکتار و از ٦۰۱۸ به ٦۱۷۰ هکتار می‌رسد که به میزان ۲/۷۸ تا ٦/۰۳ درصد برای گندم آبی و ۲/۱۷ تا ٤/۷۵ درصد برای جو آبی نسبت به شرایط سال پایه با افزایش همراه است.

بخش دیگری از نتایج به دست آمده در جدول (۱) حاکی از آن است که محصولات آب‌بر گوجه‌فرنگی و یونجه در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش، نسبت به سایر محصولات الگوی کشت از ضریب حساسیت بالاتری برخوردار بوده و کاهش سطح زیرکشت آن‌ها چشم‌گیرتر است.

جدول (۲) اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش را تحت سناریوهای مختلف بر سود ناخالص کشاورزان حوضه آبخیز رودشور نشان می‌دهد.

مطابق با نتایج جدول (۲) ملاحظه می‌شود که با وقوع شرایط اقلیمی ملایم تا شدید در این حوضه میزان سود ناخالص هر هکتار ذرت دانه‌ای از ۱۹/۳۵ به ۱٦/۵۲ میلیون ریال، هر هکتار گوجه‌فرنگی از ۱۹/۲۰ به ۱٦/۰۱ میلیون ریال، هر هکتار چغندرقند از ۱٦/۱۳ به ۱۳/۷۸ میلیون ریال و هر هکتار یونجه آبی از ۱۵/۹٤ به ۱٤/۳۲ میلیون ریال می‌رسد که کاهش سودی به میزان ۷/۱۹ تا ۲۰/۷ درصد را برای ذرت دانه‌ای، ۱۰/۲ تا ۲۵/۳ درصد را برای گوجه‌فرنگی، ۷/۰۳ تا ۲۰/۵ درصد را برای چغندرقند و ٤/۵۵ تا ۱٤/۲ درصد را برای یونجه آبی نسبت به شرایط سال پایه به همراه دارد. این میزان کاهش سود ناخالص کشاورزان در هر هکتار از اراضی زیرکشت ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندرقند و یونجه می‌تواند ناشی از افت عملکرد محصولات آب‌بر مذکور در اثر کاهش بارش تحت سناریوهای اقلیمی ملایم، متوسط و شدید نسبت به شرایط سال پایه در حوضه آبخیز رودشور باشد. بخش دیگری از نتایج حاکی از آن

است که با افزایش سطح زیرکشت گندم و جو آبی تحت سناریوهای اقلیمی ملایم تا شدید، سود ناخالص کشاورزان حوضه آبخیز رودشور نسبت به سال پایه افزایش می‌یابد؛ به طوری که سود ناخالص حاصل از هر هکتار گندم و جو آبی تحت سناریوهای فوق از ۱۳/۷۰ به ۱۳/۹۱ میلیون ریال و از ۱۲/۵۹ به ۱۲/۷۹ میلیون ریال می‌رسد که افزایش سودی به میزان ۱/٤۸ تا ۳/۰٤ درصد و ۱/۵۳ تا ۳/۱٤ درصد را برای کشاورزان منطقه به همراه دارد. این میزان افزایش سود ناخالص کشاورزان در هر هکتار از گندم و جو آبی تحت شرایط اقلیمی ملایم تا شدید می‌تواند به علت نیاز آبی کم‌تر این محصولات و ضریب حساسیت پایین‌تر عملکرد آن‌ها نسبت به شرایط کاهش بارش و کاهش میزان آبیاری به عمل‌آمده در سطح اراضی باشد.

جدول ۲. اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش بر سود کشاورزان حوضه آبخیز رودشور

محصولات منتخب	سود ناخالص در سال پایه*	میزان تغییرات	سناریوهای اقلیمی ناشی از کاهش بارش		
			تغییر اقلیم ملایم	تغییراقلیم متوسط	تغییر اقلیم شدید
گندم آبی	۱۳/۵۰	مقدار	۱۳/۷۰	۱۳/۸٤	۱۳/۹۱
		درصد	۱/٤۸	۲/۵۱	۳/۰٤
جو آبی	۱۲/٤۰	مقدار	۱۲/۵۹	۱۲/۷۲	۱۲/۷۹
		درصد	۱/۵۳	۲/۵۸	۳/۱٤
ذرت دانه‌ای	۲۰/۸۵	مقدار	۱۹/۳۵	۱۸/۰۰	۱٦/۵۲
		درصد	-۷/۱۹	-۱۳/٦	-۲۰/۷
گوجه‌فرنگی	۲۱/٤۰	مقدار	۱۹/۲۰	۱۷/۷۲	۱٦/۰۱
		درصد	-۱۰/۲	-۱۷/۲	-۲۵/۳
چغندرقند	۱۷/۳۵	مقدار	۱٦/۱۳	۱۵/۰۸	۱۳/۷۸
		درصد	-۷/۰۳	-۱۳/۱	-۲۰/۵
یونجه	۱٦/۷۰	مقدار	۱۵/۹٤	۱۵/۰۷	۱٤/۳۲
		درصد	-٤/۵۵	-۹/۷٦	-۱٤/۲

*: بر حسب میلیون ریال در هکتار منبع: یافته‌های تحقیق

به طور کلی، نتایج به دست آمده در این بخش حاکی از آن است که در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش در حوضه آبخیز رودشور، کشاورزان برای جبران کاهش به وجود آمده در سود ناخالص حاصل از هر هکتار محصولات ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندرقند و یونجه به سمت توسعه سطح زیرکشت گندم و جو آبی که با افزایش سود ناخالص در هر هکتار (ولو به میزان اندک) در شرایط رخداد تغییر اقلیم همراه می‌باشند، متمایل می‌شوند. جدول (۳) اثرات تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش را بر تولیدات کشاورزی، منابع آب دردسترس و شاخص‌های اقتصادی سود ناخالص کل الگو و ارزش واقعی نهاده آب تحت سناریوهای مختلف اقلیمی (ملایم، متوسط و شدید) در حوضه آبخیز رودشور نشان می‌دهد.

جدول ۳. اثر تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش بر شاخص‌های مورد بررسی در حوضه رودشور

شاخص مورد بررسی	وضعیت فعلی	میزان تغییرات	سناریوهای اقلیمی ناشی از کاهش بارش		
			تغییر اقلیم ملایم	تغییراقلیم متوسط	تغییر اقلیم شدید
منابع آب دردسترس*	۳٦۲/۸٤	مقدار	۳٤۲/۰۱	۳۲۷/٤٦	۳۱۲/۵۹
		درصد	-۵/۷٤	-۹/۷۵	-۱۳/۸
سطح زیرکشت آبی**	۲۱۳۲۵	مقدار	۲۰۵۵٦	۲۰۰۱٤	۱۹۵۰۲
		درصد	-۳/٦۰	-٦/۱۵	-۸/۵٤
سود ناخالص کل***	۳۲۷۹٦	مقدار	۳۱۹۰۸	۳۱۱۱۹	۳۰۱۵۹
		درصد	-۲/۷۱	-۵/۱۲	-۸/۰٤
ارزش اقتصادی آب****	۱٤٦۲	مقدار	۱۵۳۷	۱۵۹۲	۱٦٤۹
		درصد	۵/۱۳	۸/۸۹	۱۲/۷

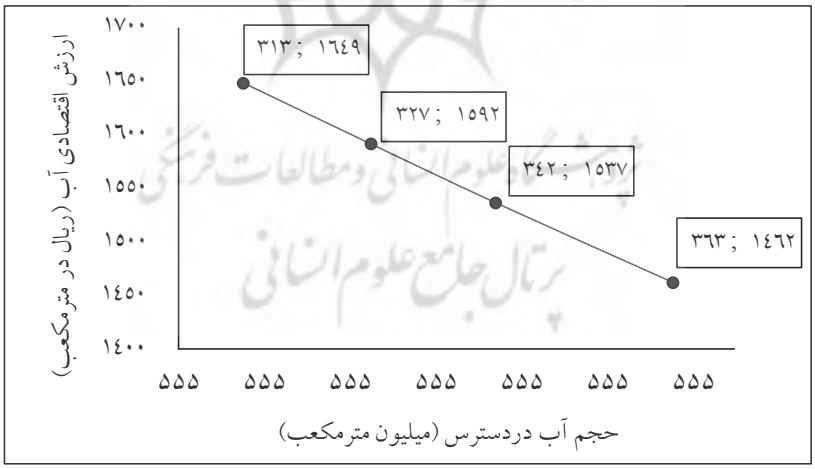
*، **، *** و **** به ترتیب برحسب میلیون مترمکعب، هکتار، ده میلیون ریال و ریال در مترمکعب

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جدول (۳)، با وقوع تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش در حوضه آبخیز رودشور، میزان منابع آب دردسترس کشاورزان از ۳٦۲/۸٤ میلیون مترمکعب در سال پایه به ۳۱۲/۵۹ میلیون مترمکعب می‌رسد که کاهشی معادل با ۵/۷٤ تا ۱۳/۸ درصد را در منابع آب

دردسترس منطقه طی سناریوهای اقلیمی ملایم تا شدید به همراه دارد. با کاهش منابع آب دردسترس کشاورزان تحت سناریوهای اقلیمی متفاوت، مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب نیز نسبت به سال پایه تقلیل می‌یابد؛ به طوری که با کاهش بارش ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر (تحت سناریوهایی ملایم تا شدید) از ۲۰۵۵٦ به ۱۹۵۰۲ هکتار می‌رسد که تغییرات نزولی ۳/٦ تا ۸/٥٤ درصد را برای الگوی کشت منطقه در پی دارد.

مجموع سود ناخالص کشاورزان نیز که تابعی از سطح زیرکشت محصولات منتخب می‌باشد، با رخداد تغییر اقلیم طی سناریوهای ملایم تا شدید نسبت به شرایط سال پایه کاهش می‌یابد و از ۳۱۹۰۸۰ به ۳۰۱۵۹۰ میلیون ریال می‌رسد که کاهش سودی به میزان ۲/۷۱ تا ۸/۰٤ درصد را برای کل الگوی کشت منطقه به همراه دارد.بخش دیگری از نتایج نشان می‌دهد که پس از کاهش منابع آب دردسترس کشاورزان تحت سناریوهای اقلیمی ملایم تا شدید، ارزش اقتصادی آب نسبت به سال پایه افزایش می‌یابد و از ۱٤٦۲ به ۱٦٤۹ ریال می‌رسد که رشدی معادل با ۵/۱۳ تا ۱۲/۷ درصد را برای این شاخص به همراه دارد. این مفهوم مطابق با شکل (٤)، بیانگر «تابع تقاضای آب آبیاری» است.



شکل ٤. تابع تقاضای آب آبیاری کشاورزان حوضه آبخیز رودشور در شرایط اقلیمی متفاوت

با توجه به تابع تقاضای برآورد شده در شکل (٤)، ملاحظه می‌شود که با رخداد تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش تحت سناریوهای ملایم تا شدید، کشاورزان حوضه آبخیز رودشور نسبت به شرایط سال پایه با محدودیت بیشتری برای نهاده آب مواجه می‌شوند و با کاهش منابع آب دردسترس خود ارزش واقعی یا اقتصادی نهاده آب را بیشتر از شرایط سال پایه درک نموده و حجم معینی از آب آبیاری را در سطح قیمتی بالاتر و یا با ارزشی بیشتر تقاضا می‌کنند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه مدل‌سازی‌های ریاضی به عنوان ابزاری کاربردی برای تحلیل اثرات تغییرات اقلیمی و سیاست‌های پیرامون مدیریت منابع آب و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها عمدتاً برای تخصیص منابع بین فعالیت‌های تولیدی استفاده می‌شوند و شکل ریاضی تقریباً یکسانی دارند؛ با این تفاوت که گاهی محدودیت‌های ساختاری در آن‌ها تغییر می‌کنند. مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) از جمله این مدل‌ها است که به طور چشم‌گیری جهت تحلیل سیاست‌های بخش منابع آب و کشاورزی به کار گرفته می‌شود.

حوضه آبخیز رودشور که محدوده مطالعاتی در این تحقیق است با مشکلات متعددی در زمینه کشاورزی و مدیریت منابع آب روبه‌رو می‌باشد. مصرف بی‌رویه آب در سطح اراضی این حوضه از یک‌سو و کاهش نزولات جوی از سوی دیگر، برنامه‌ریزی مناسبی را برای مدیریت منابع آب در این منطقه ایجاب نمود. به همین منظور، هدف اصلی این تحقیق مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی جامع اقلیم و کشاورزی در حوضه آبخیز رودشور تدوین شد. جهت تحقق این هدف از داده‌های پانل (سری زمانی) مربوط به متغیر اقلیمی بارش طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳٦۵ و داده‌های مقطعی سال پایه ۹۵-۱۳۹٤ استفاده شد.

برای دست‌یابی به نتایج کاربردی، مدل‌سازی با تلفیق دو بخش بیوفیزیکی و اقتصادی تحت سناریوهای کاربردی ملایم، متوسط و شدید صورت گرفت و مدل تجربی در محیط نرم‌افزاری گمز واسنجی و ارزیابی شد. نتایج نشان داد با وقوع تغییر اقلیم، سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالاتر مانند ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، چغندرقند و یونجه نسبت به شرایط سال پایه کاهش می‌یابد و کشاورزان حوضه رودشور در جهت توسعه سطح زیرکشت محصولات غله‌ای گندم و جو آبی که نیاز آبی پایین‌تر و ریسک تولید کم‌تری را دارند، متمایل

می‌شوند. نتایج تحقیق مائو، هیو، لین، لیو و اکسیا (۲۰۱۷) در این راستا، همسو و هم‌جهت با یافته‌های تحقیق حاضر است. آن‌ها در پژوهش کاربردی خود اثرپذیری منفی سطح زیرکشت محصول گندم زمستانه را تحت شرایط تغییرات آب و هوایی نتیجه گرفتند.

یافته‌های تحقیق خانلری (۱۳۹۱) و امیرنژاد (۱۳۹٦) نیز در داخل کشور به ترتیب اثرات منفی تغییرات اقلیمی را بر میزان عملکرد و سطح زیرکشت محصولات گندم و جو آبی در استان مازندران و اثرات مثبت این پدیده را بر عملکرد و سطح زیرکشت گندم در کل کشور نشان داد. افزون بر این، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که رخداد تغییر اقلیم تحت سناریوهای ملایم تا شدید افزون بر الگوی کشت محصولات منتخب، منابع آب دردسترس، سود ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی آب آبیاری را نیز در حوضه آبخیز رودشور متأثر می‌سازد؛ به طوری که تحت سناریوهای اقلیمی ناشی از کاهش بارش ملایم تا شدید میزان منابع آب دردسترس منطقه، سطح زیرکشت محصولات آبی و سود ناخالص کل حاصل از الگو نسبت به شرایط سال پایه کاهش می‌یابد؛ اما ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب آبیاری به علت کاهش منابع آب دردسترس منطقه تحت سناریوهای اقلیمی نسبت به شرایط سال پایه افزایش می‌یابد.

این یافته‌ها در تحقیق حاضر تا حد زیادی با نتایج به دست آمده از تحقیقات گریفین (۲۰۰٦)، بلالی و ویاجی (۲۰۱۵)، کورتیگنانی و دونو (۲۰۱۸) و مائو، هیو، لین، لیو و اکسیا (۲۰۱۷) سازگاری دارد. ایشان در تحقیقات خود به طور کلی، اثرات منفی تغییرات اقلیم را بر منابع آب دردسترس کشاورزان در حوضه‌های آبخیز نشان دادند که این نتیجه در تحقیق محمدی قلعه‌نی، ابراهیمی و عراقی‌نژاد (۱۳۹۱) که اثرات اقلیم را بر سطح آبخوان دشت ساوه ارزیابی نمودند نیز محقق شد؛ بدین صورت که نتایج بیانگر اثرات منفی تغییرات اقلیم بر سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت مذکور است.

برآورد تابع تقاضای آب آبیاری کشاورزان حوضه آبخیز رودشور نیز طی سال پایه از دیگر نتایج تحقیق حاضر بود و نشان داد که با رخداد تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش کشاورزان این حوضه با محدودیت بیش‌تری برای نهاده آب مواجه می‌شوند و ارزش واقعی نهاده آب را بیش‌تر از شرایط سال پایه درک نموده و حجم معینی از آب آبیاری را در سطح قیمتی بالاتر و یا با ارزشی بیش‌تر تقاضا می‌کنند.

یافته‌های تحقیقات هاویت، مدلین آزورا، مک‌اِوام و لاند (۲۰۱۲)، کورتیگنانی و دونو (۲۰۱۸) و پرهیزکاری، مظفری و حسینی خدادادی (۱۳۹٤) در این راستا، بیانگر ارتباط معکوس بین منابع آب دردسترس و ارزش اقتصادی منابع آب و همچنین، افزایش تقاضا برای نهاده آب کشاورزی در شرایط تشدید تغییرات آب و هوایی است. در پایان با توجه نتایج به دست آمده از واسنجی سیستم مدل‌سازی بیوفیزیکی- اقتصادی، برای مقابله با آثار بالقوه تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش و حفظ و پایداری منابع آب دردسترس حوضه آبخیز رودشور، به‌کارگیری تکنیک‌های کم‌آبیاری جهت تأثیر پایدارتر بر حفظ منابع آب توأم با باقی‌ماندن محصولات با نیاز آبی بالا در الگوی کشت منطقه پیشنهاد می‌شود. برای جلوگیری از مصرف بی‌رویه نهاده آب نیز، تعیین نرخ آب‌بها برای کشاورزان مطابق با روند تغییرات ارزش اقتصادی آب آبیاری در شرایط وقوع تغییر اقلیم ملایم تا شدید و با ملاحظه برابری در منطقه توصیه می‌شود.

افزون بر این، آیش‌گذاری بخشی از اراضی کشاورزی راهکار مناسبی است که با توجه به کاهش چشم‌گیر سطح زیرکشت محصولات منتخب در شرایط رخداد تغییر اقلیم شدید در حوضه آبخیز رودشور می‌تواند از خسارات بلندمدت به تولیدات کشاورزی جلوگیری نماید. تجهیز مزارع مستعد منطقه به سیستم‌های نوین آبیاری نیز راهکار مناسب دیگری است که با توجه به شرایط توپوگرافی اراضی (کم‌شیب بودن مزارع) در جهت افزایش سود ناخالص کشاورزان و جلوگیری از کاهش سطح زیرکشت محصولات فاریاب در شرایط وقوع تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش در منطقه پیشنهاد می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- امیرنژاد، حمید، اسدپور کردی، مریم (۱۳۹٦). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم ایران. *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۳۵(۹): ۱٦۳-۱۸۲.

- بخشی، علی، دانشور کاخکی، محمد، مقدسی، رضا (۱۳۹۰). کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به منظور تحلیل اثرات سیاست‌های جایگزین قیمت‌گذاری آب در دشت مشهد. *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۵(۳): ۲۹٤-۲۸٤.

- پاک‌نژاد، حمید (۱۳۹۱). مدل‌سازی مشارکت کشاورزان در طرح بیمه محصول گندم (مطالعه موردی: شهرستان زابل). پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

- پرهیزکاری، ابوذر، مظفری، محمد مهدی، حسینی خدادادی، مهدی (۱۳۹٤). تحلیل اقتصادی اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر تولیدات کشاورزی و منابع آب در دسترس، مطالعه موردی: اراضی پایین‌دست سد طالقان. *مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۹ (۱): ۸۹-٦۷.

- پرهیزکاری، ابوذر (۱۳۹٦). تحلیل اقتصادی اثرات مشارکت کشاورزان منطقه الموت در طرح سلیبیت برنج. *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۹(۳٤): ۹۲-۵۷.

- پرهیزکاری، ابوذر، یزدانی، سعید (۱۳۹٦). ارزیابی تأثیرات اقتصادی و هیدرولوژیکی تغییرات اقلیم در حوضهٔ آبخیز خررود. *مجله اکوهیدرولوژی*، ٤(۳): ۷۲٤-۷۱۱.

- خانلری، احمد (۱۳۹۱). اثر تغییر اقلیم بر کاربری اراضی و عملکرد بخش کشاورزی استان مازندران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

- سازمان هواشناسی استان تهران (۱۳۹۷). خلاصه سیمای آب و هوا و اقلیم استان تهران.

- سلطانی، شیوا، موسوی، حبیب‌اله (۱۳۹٤). استراتژی کم‌آبیاری و ارتقاء تکنولوژی آبیاری، راهکار بهینه سازگار با تغییر اقلیم. *مجله اقتصاد کشاورزی*، ۹(٤): ۱۲۱-۱۱۲.

- شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین (۱۳۹۵). مطالعات پایه منابع آب. آبینه آبی استان، منابع آب سطحی و زیرزمینی، شمای کلی پتانسیل آبی استان، صفحات ۱تا ٦.

- محمدی قلعه‌نی، محمد مهدی، ابراهیمی، کیومرث، عراقی‌نژاد، شهاب (۱۳۹۱). ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر افت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت ساوه). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۱۹(٤): ۲۰۳-۱۸۹.

- محمودی، ابوالفضل، پرهیزکاری، ابوذر (۱۳۹۵). مدل‌سازی اقتصادی مدیریت منابع آب کشاورزی استان تهران با تأکید بر نقش بازار آب. *فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی*، ۳۵(۱۰): ۱۲۱-۱۳۹.

- Adamson, D, Mallawaarachchi, T. and Quiggin, J. (2009). Declining inflows and more frequent droughts in the Murray-Darling Basin: climate change, impacts and adaptation. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 53(3): 345-366.

- Agovinoa, M, Casaccia, M, Ciommi, M, Ferrara, M. and Marchesano, K. (2018). Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. Ecological Indicators, Available online 8 May 2018, In Press, Corrected Proof.

- Balali, H. and Viaggi, D. (2015). Applying a system dynamics approach for modeling groundwater dynamics to depletion under different economical and climate change scenarios, *Water Journal*, 7(1): 5258- 5271.

- Cortignani, R. and Dono, G. (2018). Agricultural policy and climate change: An integrated assessment of the impacts on an agricultural area of Southern Italy. *Environmental Science & Policy*, 81: 26-35.

- Graveline, C. (2016). Economic calibrated models for water allocation in agricultural production: A review. *Environmental Modelling and Software*, 81: 12-25.

- Graveline, N. and Merel, P. (2014). Intensive and extensive margin adjustments to water scarcity in France's Cereal Belt. *European Review of Agricultural Economics*, 41: 707-743.

- Garnache, C, Merel, P, Howitt, R. and Lee, J. (2015). Calibration of shadow values in constrained optimization models of agricultural supply. Work. Pap. Available at: https://www.msu.edu/~garnache/CalibShadValues.pdf.

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

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

- Huka, H. Ruoja, C. and Mchopa, A. (2014). Price fluctuation of agricultural products and its impact on small-scale farmer's development: Case analysis from kilimanjaro Tanzania. *European Journal of Business and Management*, 6: 155-160.

- Jones, G.W, Antle, J.M, Basso, B, Boote, K.J, et al. (2017). Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agricultural Systems*, 155: 269-288.
- Kaczan, D, Qureshi, M.E. and Connor, J. (2011). Water Trade and Price Data for the Southern Murray Darling Basin, CSIRO, Adelaide, Canberra, No: 23.
- Medellan-Azuara, J, Harou, J. and Howitt, R. (2011). Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Science of Agricultural Water Management*, 108: 73-82.
- Mo, X.J, Hu, S, Lin, Z.H, Liu, S.X. and Xia, J. (2017). Impacts of climate change on agricultural water resources and adaptation on the North China Plain. *Advances in Climate Change Research*, 8(2): 93-98.
- Petsakos, A. and Rozakis, S. (2015). Calibration of agricultural risk programming models. *European Journal of Operational Research*, 242(2): 536-545.
- Pratibha, G, Srinivas, I, Rao, K, Arun, V, Shanker, K. and Maheswari, M. (2016). Net global warming potential and greenhouse gas intensity of conventional and conservation agriculture system in rainfed semi arid tropics of India. *Atmospheric Environment*, 145: 239-250.
- Qureshi, M.E, Schwabe, K, Connor, J. and Kirby, M. (2010). Environmental water incentive policy and return lfows, Water Resources Research, No: 46.
- Qureshi, M.E, Whitten, S, Mainuddin, M, Marvanek, M. and Elmahdi, A. (2013). A biophysical and economic model of agriculture and water in the Murray-Darling Basin, Australia. *Environmental Modeling and Software*, 41: 98-106.
- Shukla, J.B, Maitri, V. and Misra, A.K. (2017). Effect of global warming on sea level rise: A modeling study. *Ecological Complexity*, 32: 99-110.
- Traynham, L, Palmer, R. and Polebitski, A. (2011). Impacts of future climate conditions and forecasted population growth on water supply systems in the Puget Sound region. *Water Resources*, 137(2): 318-326.

پرتال جامع علوم انسانی