

## ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد و ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در دشت همدان - بهار

شیوا سلطانی و سید حبیب‌الله موسوی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۷

### چکیده

طی دهه‌های اخیر، افزایش گازهای گلخانه‌ای و به‌ویژه دی‌اکسید کربن، به عنوان پدیده‌ای نامطلوب مطرح بوده و پیامدهای آن منجر به گرم شدن کره‌ی زمین شده است. افزایش دما موجب کاهش بارندگی و تغییر عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. از سوی دیگر افزایش CO<sub>2</sub> از طریق تسهیل فرآیند فتوسنتز، می‌تواند موجب بهبود عملکرد محصولات کشاورزی شود. بنابراین ارزیابی تأثیر نهایی افزایش این گاز در محیط تولید محصولات کشاورزی همواره موضوعی بحث برانگیز میان محققان بخش کشاورزی بوده است. با این توضیح، در این پژوهش، آثار تغییرات دما، بارش و سطح انتشار CO<sub>2</sub>، بر الگوی کشت دشت همدان - بهار بررسی شد. بدین منظور ابتدا با استفاده از مدل‌های رگرسیون واکنش - عملکرد و با به‌کارگیری روش ماکزیمم آنتروپی تعمیم‌یافته (GME)، حساسیت عملکرد محصولات زراعی این دشت نسبت به انتشار CO<sub>2</sub>، دما و بارش برآورد شده و سپس با استفاده از مدل LARS-WG، تغییرات اقلیم منطقه و با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، سطح انتشار CO<sub>2</sub> در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. در پایان با به‌کارگیری رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی و تدوین مدل PMP، شرایط الگوی کشت منطقه شبیه‌سازی شده و آثار تغییر سطح انتشار CO<sub>2</sub>، دما و بارش بر الگوی کشت، در سال‌های یاد شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش سطح انتشار CO<sub>2</sub> و تغییرات اقلیمی ناشی از آن دارای آثار منفی بر الگوی کشت است و در بدینانه‌ترین پیش‌بینی، کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه به میزان ۵۳ میلیارد ریال را تا سال ۲۰۴۰ در پی خواهد داشت. با این حال، اتخاذ راهبرد تطبیقی بهبود بهره‌وری محصولات زراعی دشت به میزان ۰/۶۳ درصد، زیان مذکور را جبران خواهد نمود.

طبقه‌بندی JEL: Q54, C46, C22, C02

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسید کربن، تغییرات اقلیم، ارزش افزوده، دشت همدان - بهار

<sup>۱</sup> به ترتیب؛ کارشناس ارشد و استادیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

اقلیم، آمیخته‌ای از ویژگی‌های چیره شده و ماندگار جوی یک گستره‌ی جغرافیایی در گذر زمان است و اغلب بر اساس متغیرهایی مانند دما، بارش، رطوبت، وزش باد، تابش خورشید، تعداد روزهای آفتابی، دمای سطح دریا و ضخامت لایه‌های یخ در آب دریا تعیین می‌شود. مجموعه‌ی این عامل‌ها در بلندمدت همراه با دیگر ویژگی‌های منطقه‌ای مانند طول مدت فصل کشت و شدت سیلاب‌ها، اقلیم یک منطقه را تعیین می‌کنند (سالینگر و همکاران، ۲۰۰۰). نتایج تحقیقات مختلف نشان از تأثیر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم کره‌ی زمین دارد (تقدسیان و میناپور، ۱۳۸۲). در دهه‌های اخیر، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی به‌منظور تأمین انرژی بخش‌های اقتصادی، از یک سو و جنگل‌زدایی و تخریب محیط زیست از سوی دیگر باعث افزایش روز افزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره‌ی زمین شده‌است. پس از بخار آب، CO<sub>2</sub> مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای جذب‌کننده‌ی اشعه مادون قرمز در اتمسفر است؛ به طوری که ۶۲ درصد از مجموع کل نیروی و تابشی زمین که توسط گازهای گلخانه‌ای در دهه‌ی گذشته تولید شده، به علت وجود این گاز بوده‌است (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش غلظت CO<sub>2</sub> موجب افزایش درجه‌ی حرارت اتمسفر کره‌ی زمین و نیز تحت تأثیر قرار گرفتن دیگر متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی می‌شود و لذا مجموعه‌ی این عامل‌ها، پدیده‌ی تغییر اقلیم را تشکیل می‌دهند (ونایترچت و همکاران، ۲۰۱۲).

نکته‌ی بسیار بااهمیت این است که کشاورزی به عنوان یک نظام زیست‌فیزیکی، به‌شدت وابسته به شرایط اقلیمی است و تغییر در این شرایط می‌تواند با تغییر عملکرد، تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. اثر اولیه‌ی افزایش غلظت CO<sub>2</sub> بر تولیدات کشاورزی، افزایش میزان فتوسنتز و کاهش تعرق گیاهان است که این موضوع دارای اثر مثبت بر عملکرد گیاه خواهد بود (پرایر و رانیون، ۲۰۱۱؛ لانگ و همکاران، ۲۰۰۵). از سویی با افزایش CO<sub>2</sub>، به دلیل رخداد اثر گلخانه‌ای، دما افزایش می‌یابد. افزایش دما منجر به کاهش بارندگی، افزایش تبخیر از سطح خاک و در نتیجه خشک‌تر شدن محیط گیاه می‌شود. همچنین افزایش تبخیر از سطح خاک منجر به از بین رفتن مواد مغذی خاک و فرسایش آن می‌شود (نیوتن و همکاران، ۱۳۸۹). هوای گرم‌تر چرخه و مدت کلیه‌ی مراحل رشد گیاه را کوتاه می‌کند و در نتیجه زیست توده با افزایش دما کاهش می‌یابد. با این توصیف، همگام با تغییر سطح انتشار CO<sub>2</sub> و تغییرات اقلیمی ناشی از آن، عملکرد محصولات کشاورزی تغییر می‌یابد اما چگونگی تغییر آن در بین

## ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد... ۹۷

گیاهان با مسیرهای فتوسنتزی مختلف همواره به عنوان معمایی قابل بحث برای محققان بوده‌است (برناچی و همکاران، ۲۰۰۷؛ جورگنسون و همکاران، ۲۰۱۱؛ لیکی، ۲۰۰۹). در زمینه‌ی برآورد آثار تغییر غلظت دی‌اکسیدکربن و تغییرات اقلیمی ناشی از آن بر بخش کشاورزی، بررسی‌های پرشماری صورت گرفته‌است. در ادامه‌ی بحث به منظور ایجاد الگویی تجربی، مرور مختصری بر چند مطالعه‌ی مشهور در این زمینه صورت پذیرفته‌است. لیکی (۲۰۰۹) به مقایسه‌ی آثار افزایش غلظت  $CO_2$  بر عملکرد انواع گیاهان با مسیرهای فتوسنتزی  $C_3$  و  $C_4$ ، پرداخت. در گیاهان  $C_3$ ، در فرآیند فتوسنتز، اولین محصول تولیدی پس از تثبیت  $CO_2$  یک ترکیب اسیدی ۳ کربنه همچون دی‌گلیسیریک‌اسید است. اما گیاهان  $C_4$  در فرآیند یاد شده، یک ترکیب پایدار اسیدی ۴ کربنه تولید می‌کنند. نتایج نشان داده‌است که در گیاهان  $C_3$ ، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب افزایش فتوسنتز و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود و بهبود عملکرد گیاهان را در پی خواهد داشت، در حالی که در گیاهان  $C_4$ ، افزایش غلظت  $CO_2$  تنها در شرایط تنش خشکی برای گیاه سودمند خواهد بود. نتایج بررسی مک‌کارل و آتاوانیچ (۲۰۱۱) نیز نشان داد که محصولات  $C_3$  به طور مستقیم و محصولات  $C_4$  به طور غیر مستقیم و تنها در شرایط تنش خشکی، از افزایش غلظت دی‌اکسید کربن سودمند می‌شوند. همچنین در صورت افزایش غلظت  $CO_2$  و رخداد شرایط اقلیمی به‌صورت افزایش دما و کاهش بارندگی، تا سال ۲۰۵۰ در کشور آمریکا، مازاد مصرف‌کنندگان افزایش، مازاد تولیدکنندگان کاهش و رفاه اجتماعی به میزان ۲/۲۷ میلیارد دلار افزایش خواهد یافت. یافته‌های آزارا و همکاران (۲۰۱۱) نیز ناظر بر این واقعیت است که با افزایش دما و کاهش بارندگی در کالیفرنیا، استفاده از زمین به میزان ۲۰ درصد و عرضه‌ی آب به میزان ۲۰/۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین در نتیجه‌ی تغییرات اقلیمی، عملکرد اغلب محصولات، کاهش و هزینه‌های تولید افزایش می‌یابد اما با این وجود، کاهشی به مراتب کمتر در درآمد رخ می‌دهد که این موضوع به دلیل انتقال تقاضای محصول، تغییر در تکنولوژی و افزایش قیمت محصولاتی است که تولید آنها نیاز آبی کمتری دارند. کالزادایلا و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که تغییرات اقلیمی در آفریقا بدون در نظر گرفتن اثر مثبت غلظت دی‌اکسید کربن، تا سال ۲۰۵۰ منجر به کاهش ۱/۶ درصدی تولید غذا و نیز کاهش ۰/۲ درصدی تولید ناخالص داخلی (GDP) در منطقه می‌شود. همچنین نتایج بیانگر این امر بود که افزایش ۳ درصدی در بهره‌وری تولید محصولات آبی و دیم می‌تواند زیان یاد شده را جبران کند. حسینی و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان دادند که

تغییرات اقلیمی منجر به کاهش سود ناخالص بخش کشاورزی در حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود به میزان ۱۸ و ۳۲ درصد در دو افق ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ خواهد شد که با اتخاذ راهبردهای تطبیقی کم‌آبیاری بهینه و تغییر الگوی کشت، میزان زیان در دو افق یاد شده به ترتیب برابر ۲/۸ و ۱۴ درصد خواهد بود.

به نظر می‌رسد که پدیده‌های افزایش دما و کاهش بارندگی به عنوان بخشی از آثار تغییرات اقلیمی، در سال‌های آتی نیز پدیده‌ی غالب بسیاری از دشت‌های ایران باشد. حوضه‌ی آبریز همدان- بهار که با وسعت ۲۴۵۹ کیلومتر مربع در دامنه‌ی شمالی ارتفاعات کوه الوند در غرب ایران واقع شده‌است، مثالی بارز برای این رخداد است. در این دشت در حدود ۴۶ هزار هکتار از اراضی موجود به فعالیت‌های کشاورزی اختصاص دارند که در حدود ۲۵ هزار هکتار از آن زیر کشت محصولات زراعی آبی و نزدیک به ۲۰ هزار هکتار از آن نیز به صورت کشت دیم مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (زمانی، ۱۳۹۰). بر اساس آمار منتشر شده توسط سازمان هواشناسی استان همدان و همچنین بنابر آمار ارائه شده توسط وزارت نیرو در زمینه میزان مصرف حامل‌های انرژی در استان همدان و نیز ضرایب انتشار گازهای آلاینده، در دو دهه‌ی اخیر، تغییر شرایط اقلیمی این دشت به صورت افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی و نیز افزایش انتشار گاز CO<sub>2</sub> بوده‌است، لذا در صورت تداوم روند یاد شده، این انتظار وجود دارد که عملکرد اغلب محصولات در این دشت دستخوش تغییرات شود که این مهم منجر به افزایش عدم قطعیت در تولیدات غذایی می‌شود و تغییر در تولید نیز موجب بروز نوسان‌هایی در عرضه‌ی محصولات کشاورزی و تحت تأثیر قرار گرفتن رفاه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان خواهد شد. با توجه به این رویکرد، در این پژوهش، آثار بالقوه‌ی تغییرات سطح انتشار CO<sub>2</sub>، دما و بارش بر الگوی کشت دشت همدان- بهار مورد بررسی قرار گرفت و میزان تأثیرپذیری عملکرد محصولات زراعی دشت نسبت به پارامترهای یاد شده به صورت کمی ارزیابی شد.

### روش تحقیق

در این پژوهش به منظور برآورد حساسیت عملکرد محصولات زراعی دشت همدان- بهار نسبت به سطح انتشار CO<sub>2</sub>، دما و بارش، از مدل رگرسیون واکنش- عملکرد درجه‌ی ۲ به صورت رابطه‌ی ۱ استفاده شد (آتاوانیچ و مک‌کارل، ۲۰۱۱؛ چانگ، ۲۰۰۱).

$$Y = f(TE_s, RA_s, CO_2, VTE_s, VRA_s, VCO_2, TR) \quad (1)$$

در این رابطه،  $Y$  بیانگر مقدار عملکرد محصول،  $TE_s$  میانگین درجه‌ی حرارت فصل  $s$ ،  $RA_s$  مجموع بارندگی فصل  $s$ ،  $s = \{1,2,3,4\}$ ،  $VTE_s$ ،  $VRA_s$  و  $VCO_2$  به ترتیب بیانگر انحراف درجه‌ی حرارت، بارش و سطح انتشار دی‌اکسید کربن از مقدار میانگین بلندمدت آن است. افزون بر این  $TR$  متغیر روند زمانی و معرف تغییر در فناوری تولید محصولات زراعی در طول زمان است. در برآورد مدل (۱)، با توجه به تعدد متغیرهای تحت بررسی که منجر به کاهش درجه‌ی آزادی و بدفرم<sup>۱</sup> بودن مسأله شد، از روش ماکزیمم آنتروپی تعمیم‌یافته (GME<sup>۲</sup>) استفاده شد. اتخاذ روش مذکور در برآورد مسائل بدفرم، موجب به دست آوردن نتایج منحصر به فرد می‌شود (صبوحی و احمدپور، ۱۳۹۱). این تکنیک به وسیله گولان و همکاران (۱۹۹۶) معرفی و به OLS<sup>۳</sup> و دیگر برآوردکننده‌های اقتصادسنجی نسبت داده شده است. در چارچوب این روش، ضرایب رگرسیون به عنوان متغیرهای تصادفی جداگانه به همراه یک بازه‌ی حمایتی در نظر گرفته می‌شوند. این بازه‌ی حمایتی یک بازه‌ی محدود شده است که از به دست آمدن ضرایب رگرسیون کاذب جلوگیری می‌کند (کاپوتو و پاریس، ۲۰۰۸). اعداد موجود در این بازه که مقادیری محتمل بوده و در ادبیات موضوع با عنوان مقادیر پشتیبان شناخته می‌شوند، برگرفته از تئوری‌های علمی یا مطالعات پیشین هستند (هانگ و همکاران، ۲۰۱۲). احتمال‌های ممکن برای تحقق این مقادیر پشتیبان، نامعلوم بوده و بر مبنای روش GME حداکثر احتمال ممکن برای آنها به دست می‌آید. مجموع حاصل ضرب احتمال تحقق اعداد بازه در هر عدد، ضرایب رگرسیونی را تشکیل می‌دهند (وو، ۲۰۰۹).

برای برآورد مجموعه‌ای منحصر به فرد از احتمال‌های مقادیر پشتیبان، تابع هدف در فرآیند GME با استفاده از مفهومی به نام آنتروپی تعریف و نسبت به محدودیت‌های داده‌ای و عددی بهینه می‌شود. آنتروپی، معیاری از عدم حتمیت در توزیع احتمال یک پارامتر است که با افزایش عدم حتمیت، توزیع احتمال آن پارامتر، شباهت بیشتر و نزدیک‌تری به توزیع یکنواخت پیدا می‌کند (دانشور و همکاران، ۱۳۸۹). آنتروپی یک توزیع احتمال، به صورت  $-\sum_j (P^j \ln P^j)$  بیان می‌شود که در آن  $P^j$  احتمال مربوط به مقدار حمایتی  $z_j$  است. در مدل بهینه‌سازی آنتروپی، محدودیت‌های داده‌ای به منظور سازگاری نتایج برآوردی و داده‌های مشاهده‌ای به

<sup>1</sup> III-Posed

<sup>2</sup> General Maximum Entropy

<sup>3</sup> Ordinary least squares

مدل تحمیل می‌شوند. محدودیت‌های عددی نیز شامل مثبت بودن احتمال‌ها و برابر یک بودن مجموع احتمال‌های هر یک از ضرایب و جملات خطا هستند (پرلوف و شن، ۲۰۰۱). در روابط بیان شده، به تابع هدف و محدودیت‌های داده‌ای و عددی مورد نیاز در روش GME اشاره شده است.

$$\begin{aligned} \text{Max } H(P_c^j, P_k^j, P_{e_i}^j) \\ = - \sum_j (P_c^j \text{Ln } P_c^j) - \sum_j \sum_k (P_k^j \text{Ln } P_k^j) - \sum_j \sum_i (P_{e_i}^j \text{Ln } P_{e_i}^j) \end{aligned} \quad (2)$$

$$s. t. \quad Y_i = C + \sum_k (B_k X_{ik}) + E_i \quad (3)$$

$$C = \sum_j P_c^j W^j, B_k = \sum_k P_k^j Z_k^j, E_i = \sum_k P_{e_i}^j V_i^j \quad (4)$$

$$\sum_j P_c^j = \sum_j P_k^j = \sum_j P_{e_i}^j = 1 \quad (5)$$

$$P_c^j, P_k^j, P_{e_i}^j \geq 0 \quad (6)$$

رابطه‌ی (۲) تابع هدف، رابطه‌های (۳) و (۴) محدودیت‌های داده‌ای و رابطه‌های (۵) و (۶) نیز محدودیت‌های عددی مدل را تشکیل می‌دهند. در این رابطه‌ها،  $i, j$  و  $k$  به ترتیب شمارنده‌ی زمان، نقاط پشتیبان و متغیرهای مستقل،  $H$  بیانگر آنتروپی الگو،  $Y$  متغیر وابسته،  $C$  ضریب ثابت،  $X$  متغیر مستقل،  $B$  ضریب متغیر مستقل،  $E$  جزء خطا،  $W, Z, V$  و به ترتیب مقادیر پشتیبان ضرایب ثابت، مستقل و جزء خطا و  $P_c, P_k, P_{e_i}$  نیز به ترتیب احتمال‌های مقادیر پشتیبان ضرایب ثابت، مستقل و جزء خطا هستند. لازم به ذکر است که در این پژوهش، برای هر یک از ضرایب و جملات خطا، ۵ مقدار حمایتی انتخاب شده است. همچنین به منظور تعیین مقادیر حمایتی ضرایب، از پژوهش‌های ورسینک و همکاران (۲۰۱۰)، واریک (۱۹۸۶)، لال و همکاران (۱۹۹۸)، کرباسی و همکاران (۱۳۹۰)، چانگ (۲۰۰۲) و به منظور تعیین مقادیر حمایتی جزء خطا، از قانون سه-سیگما<sup>۱</sup> استفاده شد (مارش و میتلهامر، ۲۰۰۴). این قانون که در رابطه‌ی (۷) ارائه شده است، بیان می‌دارد، احتمال آنکه یک متغیر تصادفی بیش از سه برابر مقدار انحراف استاندارد، از میانگین خود فاصله یابد، کمتر از ۵ درصد خواهد بود (پوکلیشیم، ۱۹۹۴).

$$\Pr(|u - \mu| \geq \gamma) \leq (4\sigma^2/9\gamma^2) \quad (7)$$

<sup>1</sup> three-sigma rule

## ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد... ۱۰۱

در این رابطه،  $u$  یک متغیر تصادفی با میانگین  $\mu$  و واریانس  $\sigma^2$  است. در صورتی که  $\Gamma$  سه برابر مقدار انحراف استاندارد متغیر تصادفی را به خود اختصاص دهد، رابطه‌ی (۷) نمایان‌گر قانون سه-سیگما خواهد بود. تجزیه و تحلیل مدل رگرسیون یاد شده، به تفکیک هر یک از محصولات، در بسته‌ی نرم‌افزاری GAMS و الگوریتم CONOPT3 صورت پذیرفت. پس از برآورد ضرایب، حساسیت عملکرد هر یک از محصولات نسبت به دما، بارش و سطح انتشار دی‌اکسید کربن تعیین شد. در پایان با به‌کارگیری معیار آنتروپی نرمال  $S(\hat{\beta})$ ، دقت برآورد ضرایب بررسی شد.

$$S(\hat{\beta}) = \left[ -\sum_j (P_c^j \ln P_c^j) - \sum_j \sum_k (P_k^j \ln P_k^j) - \sum_j \sum_i (P_{e_i}^j \ln P_{e_i}^j) \right] / K \ln M \quad (8)$$

در این معیار که بیانگر نسبت تغییرات توضیح داده نشده به کل تغییرات است،  $K$  تعداد کل ضرایب برآورد شده و  $M$  تعداد مقادیر پشتیبان برای هر یک از ضرایب است.  $1 - S(\hat{\beta})$  میزان دقت برازش مدل را نشان می‌دهد (هانگ و همکاران، ۲۰۱۲). آمار و اطلاعات مورد نیاز برای برآورد مدل (۸) شامل دما، بارش و عملکرد محصولات زراعی در منطقه‌ی دشت همدان-بهار از ایستگاه هواشناسی استان همدان و سازمان جهاد کشاورزی استان همدان دریافت شد. همچنین به‌منظور محاسبه‌ی میزان انتشار  $CO_2$  در منطقه‌ی مورد بررسی، از اطلاعات مربوط به میزان مصرف ۶ حامل انرژی بنزین، نفت سفید، نفت کوره، نفت گاز، گاز مایع و گاز طبیعی در دوره‌ی زمانی ۹۰-۱۳۷۰ استفاده شد. اطلاعات یاد شده از ترازنامه‌ی هیدروکربوری وزارت نفت و ترازنامه‌ی انرژی وزارت نیرو دریافت شد. سپس با استفاده از ضریب انتشار  $CO_2$  توسط هر یک از حامل‌های انرژی و ضرب آن در میزان مصرف حامل انرژی مربوطه، میزان انتشار  $CO_2$  در دوره‌ی زمانی مورد نظر محاسبه گردید. در ادامه با استفاده از مدل مولد داده‌های هواشناسی LARS-WG در سطح ایستگاه سینوپتیک فرودگاه واقع در دشت همدان-بهار و نیز با بهره‌گیری از داده‌های سناریوهای A1B، A2 و B1 در مدل گردش عمومی جو HadCM3، به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پرداخته شد. در سناریوی A1B عملکرد کشورهای جهان به‌صورت همگرا در نظر گرفته می‌شود و فرض بر این است که (۱) جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ روندی افزایشی داشته و به میزان ۹ میلیارد نفر خواهد رسید و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد، (۲) رشد اقتصادی با نرخ فزاینده افزایش و فناوری‌های جدید در بین کشورهای جهان به یک میزان گسترش خواهند یافت. در این سناریو بر استفاده متعادل از انواع منابع انرژی تأکید شده است.

در سناریوی A2 کشورهای دنیا به صورت واگرا و مستقل از هم عمل می‌کنند، جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می‌یابد و توسعه‌ی اقتصادی، منطقه محور است. در سناریوی B1 کشورهای جهان، واگرا و دوست‌دار محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شوند و جمعیت به طور پیوسته افزایش می‌یابد اما سرعت رشد آن کمتر از سناریوی A2 است. همچنین تغییرات تکنولوژیکی نسبت به سناریوهای خانواده‌ی A کمتر و پراکنده‌تر خواهند بود. تولید داده در مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد: کالیبراسیون، ارزیابی و شبیه‌سازی. بدین منظور ابتدا برای هر یک از پارامترهای اقلیمی، اختلاف مقدار میانگین داده‌های تولید شده در دوره‌ی پایه و مقدار میانگین داده‌های تولید شده در دوره‌ی آینده محاسبه شده و این میزان اختلاف، به مقدار میانگین داده‌های مشاهداتی افزوده شد (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۱). رابطه‌ی (۹) مفهوم بیان شده را ارائه می‌کند.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (9)$$

در این رابطه  $F_{obs}$ ،  $F_{GCM}^{fut}$  و  $F_{GCM}^{base}$  به ترتیب بیانگر متغیرهای پیش‌بینی شده، مشاهده شده، پیش‌بینی شده بر روی شبکه‌ی مدل در دوره‌ی آینده و تولید شده بر روی شبکه مدل در دوره‌ی پایه است. رابطه‌ی (۹) برای هر یک از متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ در سه سناریوی A1B، A2 و B1 محاسبه شده و سپس میزان افزایش متغیرهای بیان شده نسبت به سال ۲۰۱۳ که سال پایه‌ی در این پژوهش است، تعیین شد.

در مرحله‌ی بعد، به منظور پیش‌بینی میزان انتشار دی‌اکسید کربن در دشت همدان- بهار در سال‌های آتی، ابتدا میزان تأثیرپذیری سطح انتشار  $CO_2$  نسبت به فاکتور جمعیت در استان همدان در غالب رابطه‌ی ۱۰ برآورد شد.

$$\ln(CO_2)_t = \alpha + \beta_1 \ln(P)_t + \beta_2 \ln(GDP)_t + \beta_3 \ln(E)_t + \beta_4 \ln(CO_2)_{t-1} + e_t \quad (10)$$

در این رابطه  $t$  شمارنده‌ی سال و متغیرهای  $CO_2$ ،  $P$ ،  $GDP$  و  $E$  به ترتیب بیانگر سطح انتشار دی‌اکسیدکربن، جمعیت، تولید ناخالص داخلی و میزان مصرف انرژی، در سطح استان همدان هستند. لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به متغیرهای بیان شده در سطح استان همدان در دوره‌ی ۹۰-۱۳۷۰، از مرکز ملی آمار ایران، ترازنامه‌ی انرژی وزارت نیرو و ترازنامه‌ی هیدروکربوری وزارت نفت دریافت شد. پس از برآورد مدل رگرسیون فوق به صورت لگاریتمی و با استفاده از روش OLS، مقدار ضریب ۱ که بیانگر میزان حساسیت سطح انتشار  $CO_2$  نسبت



### ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد...۱۰۳

به جمعیت در منطقه‌ی مورد بررسی است، محاسبه شد. سپس با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده‌ی جمعیت جهان در سناریوهای A1B، A2 و B1 در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ و نیز با در نظر گرفتن کشش سطح انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به فاکتور جمعیت در منطقه‌ی مورد بررسی، سطح انتشار CO<sub>2</sub> در دشت همدان - بهار در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ در سناریوهای بیان شده، پیش‌بینی و درصد تغییرات آن نسبت به سال ۲۰۱۳ در هر سناریو تعیین شد.

در گام آخر پژوهش، با به‌کارگیری رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی و تدوین مدل PMP<sup>۱</sup>، شرایط الگوی کشت منطقه شبیه‌سازی شد و آثار تغییر سطح انتشار دی‌اکسید کربن، دما و بارش بر الگوی کشت، با استفاده از نتایج به‌دست آمده در مراحل قبل بررسی شد. بدین منظور مدل تجربی در این پژوهش به شرح زیر بسط یافت:

$$\text{Max } GM = \sum_{i=1} X_i(P_i Y_i - CW_i - C_i) \quad (11)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1} WC_i X_i \leq GW + SW \quad (12)$$

$$\sum_{i=1} X_i \leq T_{Land} \quad (13)$$

$$\sum_{i=1} K_i X_i \leq T_{Invest} \quad (14)$$

$$\sum_{i=1} L_i X_i \leq T_{Labour} \quad (15)$$

$$\sum_{i=1} F_i X_i \leq T_{Fertilizer} \quad (16)$$

$$X_i \geq 0 \quad (17)$$

در این مدل GM بازده ناخالص سالانه‌ی به‌دست آمده از کل فعالیت‌های زراعی در منطقه؛  $X_i$  میزان سطح زیرکشت محصول  $i$  بر حسب هکتار؛  $P_i$  قیمت محصول؛  $Y_i$  عملکرد محصول  $i$  بر حسب کیلوگرم بر هکتار؛  $CW_i$  هزینه‌ی استفاده از آب در یک هکتار از محصول؛  $C_i$  هزینه‌ی استفاده از دیگر نهاده‌های تولید غیر از آب در یک هکتار از محصول  $i$  و نیز  $WC_i$ ،  $K_i$ ،  $L_i$  و  $F_i$  به ترتیب بیانگر میزان استفاده از آب، سرمایه (ثابت و متغیر)، نیروی کار و کودهای شیمیایی برای تولید محصول  $i$  در یک هکتار زمین زراعی هستند. علاوه بر این  $T_{Land}$ ،  $T_{Invest}$ ،  $T_{Labour}$  و  $T_{Fertilizer}$  به ترتیب مقدار کل منابع آب زیرزمینی، آب سطحی،

<sup>1</sup> Positive Mathematical Programming

زمین، سرمایه، نیروی کار و کودهای شیمیایی در دسترس در منطقه برای فعالیتهای زراعی دشت را نشان می‌دهند. رابطه‌ی (۱۱) بیانگر تابع هدف و نیز رابطه‌های (۱۲) تا (۱۷) قیدهای لحاظ شده در مدل است؛ تابع هدف، بازده ناخالص سالانه‌ی به‌دست آمده از کل فعالیتهای زراعی دشت را حداکثر می‌کند. توابع هزینه به‌کار رفته در تابع هدف به‌صورت مجموع هزینه‌های مربوط به زمین، آب، نیروی کار، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات هستند. همچنین قیدهای مدل به‌ترتیب شامل قید منابع آب، سطح زیر کشت، سرمایه، نیروی کار و کودهای شیمیایی هستند. لازم به ذکر است که قید مرتبط با کود شیمیایی برای هر یک از کودهای نیتروژن، فسفات و پتاس تکرار می‌شود. قید مرتبط با منابع آب نشان می‌دهد که کل آب مورد نیاز برای کشت محصولات زراعی دشت حداکثر به اندازه‌ی مجموع منابع آب زیرزمینی و سطحی در دسترس است. در دشت مورد بررسی رودخانه‌ی دائمی وجود ندارد و درصد عمده‌ی تأمین آب از طریق منابع آب زیرزمینی است و بر همین اساس محدودیت منابع آب زیرزمینی مهمترین محدودیت مدل را تشکیل می‌دهد (زمانی، ۱۳۹۰). لازم به توضیح است که در این پژوهش، تنها به بررسی مجزای آثار تغییرات اقلیم بر عملکرد محصولات زراعی پرداخته شد و دیگر آثار تغییرات اقلیم بر الگوی کشت منطقه همچون تغییرات منابع آب، مورد ارزیابی قرار نگرفت. لذا محدودیت منابع آب زیرزمینی در سال‌های مورد بررسی فاقد تغییر خواهد بود. دیگر قیدهای مدل نیز بیانگر آن هستند که میزان استفاده از هر یک از منابع زمین، سرمایه، نیروی کار و کودهای شیمیایی برای تولید هر هکتار محصول  $i$  نمی‌تواند از کل منابع در دسترس دشت بیشتر باشد. در مرحله‌ی آخر به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از بسته‌ی نرم‌افزاری GAMS و الگوریتم CONOPT3 استفاده شد. بدین منظور در بدو امر جهت به‌دست آوردن نتایج مناسب برای شبیه‌سازی آثار تغییر سطح انتشار  $CO_2$ ، دما و بارش بر الگوی کشت، مدل بسط‌یافته با استفاده از روش ماکزیمم آنتروپی (ME) کالیبره شد و پس از آن شبیه‌سازی‌های مورد نظر با توجه به کشش‌های محاسباتی در مراحل قبل صورت پذیرفت. آمار و اطلاعات مربوط به ضرایب فنی محصولات و نهاده‌ها در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ (معادل با ۲۰۱۲-۲۰۱۳) با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای و گزینش نمونه‌ای متشکل از ۳۶۰ کشاورز و تکمیل پرسشنامه و همچنین مراجعه به سازمان‌ها و نهادهای مربوطه گردآوری شد.

## نتایج و بحث

در گام نخست تحقیق به منظور برآورد حساسیت عملکرد محصولات زراعی منطقه نسبت به سطح انتشار  $CO_2$ ، دما و بارش، مدل رگرسیون واکنش- عملکرد به صورت رابطه‌ی (۱) با استفاده از روش GME برآورد شد. پس از برآورد ضرایب، حساسیت عملکرد هر یک از محصولات نسبت به دما، بارش و سطح انتشار دی‌اکسید کربن، تعیین و دقت برآورد ضرایب نیز بوسیله‌ی معیار آنتروپی نرمال  $S(\hat{\rho})$  بررسی شد. نتایج به دست آمده، در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود حساسیت عملکرد اغلب محصولات نسبت به انتشار دی‌اکسید کربن، مثبت و کمتر از ۰/۵ است که این موضوع با نتایج مطالعه‌ی گیفورد (۱۹۸۸) در خصوص حساسیت عملکرد محصولات  $C_3$  نسبت به غلظت  $CO_2$ ، مطابقت کامل دارد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، در صورت افزایش سطح انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۱ درصد، عملکرد گندم در حدود ۰/۱۵ درصد افزایش می‌یابد که این موضوع با نتیجه‌ی تحقیقات لال و همکاران (۱۹۹۸) در هندوستان مطابقت دارد. پس از محصول گندم، محصول نخود دارای بیشترین میزان حساسیت نسبت به انتشار  $CO_2$  است. در مورد محصول ذرت علوفه‌ای که یک محصول  $C_4$  است، عملکرد با افزایش انتشار  $CO_2$  بدون تغییر است اما با افزایش دما افزایش خواهد یافت. در گیاهان  $C_4$  بر خلاف گیاهان  $C_3$ ، تنفس نوری صورت نمی‌گیرد، بنابراین افزایش  $CO_2$  منجر به بهبود عملکرد در این محصولات نخواهد شد (آتاوانیچ و مک‌کارل، ۲۰۱۱). از سوی گیاهان  $C_4$  در دمای بالا نیز دارای عملکرد به نسبت خوبی هستند و لذا افزایش دما منجر به بهبود عملکرد در این محصولات می‌شود (نیوتن و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۱)، همراه با افزایش دما، عملکرد اغلب صیفی‌ها افزایش می‌یابد که در این بین بیشترین میزان بهبود عملکرد، در ارتباط با محصول گوجه‌فرنگی خواهد بود. در بین محصولات دیم، دو محصول عدس و هندوانه دارای حساسیت منفی نسبت به افزایش بارندگی هستند که این موضوع در مغایرت کامل با نتیجه‌ی به دست آمده در زمینه دیگر محصولات دیم همچون گندم و جو قرار دارد. لازم به توضیح است که پارامتر بارندگی، در برخی مناطق دارای اثر منفی بر عملکرد محصولات کشاورزی است، زیرا در شرایط بارندگی زیاد و افزایش رطوبت و به عبارتی کاهش تشعشع، احتمال بروز آسیب‌های ناشی از برخی آفات و بیماری‌ها افزایش می‌یابد که این موضوع، موجبات کاهش عملکرد را در برخی محصولات فراهم می‌کند (کوکیک و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین عدم وجود هماهنگی

بین توزیع زمانی بارش و مراحل رشد گیاه در برخی مناطق، موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (مساعدی و کاهه، ۱۳۸۷). در محصولات صنعتی چغندر قند و کلزا، عملکرد محصول دارای حساسیت منفی نسبت به افزایش دما و افزایش بارندگی است و لذا چنانچه تغییرات اقلیم در سال‌های آتی به صورت افزایش دما و کاهش بارش رخ دهد، نوسان‌های عملکرد این دو محصول، بر اساس میزان تغییر هر یک از پارامترهای اقلیمی، متفاوت خواهد بود.

جدول (۱) حساسیت عملکرد محصولات زراعی دشت همدان - بهار نسبت به دما، بارش و CO<sub>2</sub>

ردیف	محصول	بارش	دما	CO <sub>2</sub>	S(β̂)
۱	جو آبی	۰/۱۸۰	-۰/۲۱۰	۰/۰۳۹	۰/۰۷
۲	جو دیم	۰/۲۳۴	-۰/۱۶۳	۰/۰۳۰	۰/۰۹
۳	چغندر قند	-۰/۱۳۲	-۰/۰۵۵	۰/۰۲۰	۰/۰۴
۴	خیار	-۰/۱۲۲	۰/۱۸۸	۰/۰۱۴	۰/۱۲
۵	ذرت علوفه‌ای	-۰/۰۶۷	۰/۱۶۸	۰/۰۰۰	۰/۱۲
۶	سیب زمینی	۰/۲۵۷	۰/۰۷۹	۰/۰۰۴	۰/۱۵
۷	سیب	۰/۱۴۴	-۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۹
۸	عدس دیم	-۰/۰۱۲	-۰/۰۳۸	۰/۰۲۶	۰/۰۹
۹	کدو آجیلی	-۰/۰۲۲	-۰/۲۰۶	۰/۰۰۰	۰/۱۲
۱۰	کلزا	-۰/۰۲۶	-۰/۱۷۲	۰/۰۷۳	۰/۱۱
۱۱	گندم آبی	۰/۰۲۷	-۰/۱۶۷	۰/۰۴۰	۰/۰۷
۱۲	گندم دیم	۰/۲۰۹	-۰/۰۱۵	۰/۱۵۱	۰/۰۸
۱۳	گوجه‌فرنگی	-۰/۰۷۵	۰/۲۸۲	۰/۰۱۹	۰/۱۲
۱۴	لوبیا	۰/۰۶۵	-۰/۲۸۴	۰/۰۴۰	۰/۱۲
۱۵	نخود	۰/۰۶۶	-۰/۳۵۸	۰/۱۰۳	۰/۱۲
۱۶	هندوانه	۰/۰۵۷	۰/۲۴۹	۰/۰۳۸	۰/۱۱
۱۷	هندوانه دیم	-۰/۰۴۰	۰/۰۳۴	۰/۰۰۱	۰/۰۹
۱۸	یونجه	۰/۱۲۲	-۰/۰۰۱	۰/۱۰۰	۰/۰۳

منبع: یافته‌های تحقیق

شرایط یاد شده در زمینه محصول سیب‌زمینی که عمده‌ترین محصول زراعی منطقه‌ی مورد بررسی است و همچنین محصولات هندوانه و کدو آجیلی نیز صدق می‌کند. همچنین عملکرد دو محصول گندم و جو آبی نسبت به افزایش دما و کاهش بارندگی دارای تأثیرپذیری منفی است به طوری که در محصول جو، ۱ درصد کاهش در بارندگی موجب کاهش عملکرد به میزان

## ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد...۱۰۷

۰/۱۸ درصد می‌شود. نتایج به‌دست آمده در زمینه دیگر محصولات نیز بیانگر آن است که چنانچه روند کنونی تغییر پارامترهای اقلیمی و سطح انتشار دی‌اکسید کربن در دشت همدان - بهار ادامه یابد، عملکرد محصولات لوبیا، نخود، سیر و یونجه، کاهش و عملکرد محصولات خیار و هندوانه‌ی دیم افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج به‌دست آمده از محاسبه‌ی معیار آنتروپی نرمال ( $S(\hat{p})$ ) که در آخرین ستون جدول (۱) ارائه شده است، بیان می‌دارد که دقت برآورد ضرایب مدل واکنش - عملکرد فوق با استفاده از تکنیک GME، در اغلب محصولات بیش از ۸۵ درصد است که در این بین، بیشترین میزان دقت برآورد ضرایب مدل، در رابطه با دو محصول یونجه و چغندر قند و به ترتیب در حدود ۹۷ و ۹۶ درصد است.

در مرحله‌ی بعد به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی دشت همدان - بهار با استفاده از مدل مولد هواشناسی LARS-WG پرداخته شد. بدین منظور ابتدا مدل برای دوره‌ی آماری ۱۹۷۷-۲۰۰۶ تدوین و اجرا گردید، سپس خروجی‌های مدل که شامل دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش در مقیاس روزانه هستند، با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه در دوره‌ی آماری یاد شده مقایسه شد. تحلیل نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های آماری (نظیر آزمون دو نمونه‌ای T زوجی) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر بازسازی شده و مقادیر واقعی در سطح خطای ۰/۰۵ وجود ندارد. این نتیجه بیانگر توانمندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی اقلیم دوره‌ی گذشته‌ی ایستگاه هواشناسی مورد بررسی است. بر این اساس، در مرحله‌ی بعد با به‌کارگیری رابطه‌ی (۹)، به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی ایستگاه مورد بررسی، در غالب سناریوهای A1B، A2 و B1 در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پرداخته شد و سپس درصد تغییرات هر یک از پارامترهای اقلیمی در سال‌های یاد شده نسبت به سال ۲۰۱۳ محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده از این پیش‌بینی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲) پیش‌بینی درصد تغییرات بارش و دمای متوسط در دشت همدان - بهار در سناریوهای

سناریو	۲۰۲۰		۲۰۳۰		۲۰۴۰	
	دما	بارندگی	دما	بارندگی	دما	بارندگی
A1B	۱/۹	-۱/۶	۴/۶	-۳/۱	۷/۹	-۷/۱
A2	۲/۶	-۱/۴	۶/۱	-۳/۴	۱۰/۵	-۵/۶
B1	۱/۸	-۱/۳	۴/۵	-۲/۶	۷/۱	-۴/۴

منبع: یافته‌های تحقیق

در مرحله‌ی بعد به پیش‌بینی سطح انتشار دی‌اکسید کربن در دشت همدان - بهار پرداخته شد. بدین منظور ابتدا حساسیت سطح انتشار CO<sub>2</sub> نسبت به متغیر جمعیت در منطقه‌ی مورد بررسی، با استفاده از برآورد رابطه‌ی (۱۰) محاسبه شد که نتایج به‌دست آمده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) نتایج به‌دست آمده از برآورد مدل رگرسیونی پیش‌بینی سطح انتشار دی‌اکسید کربن

متغیر	ضریب	آماره‌ی t	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	-۲/۷۳	-۰/۵۴	۰/۵۹
لگاریتم جمعیت	۰/۶۰	۱/۶۸	۰/۱۰
لگاریتم GDP	-۰/۰۱	-۳/۵۱	۰/۰۰
لگاریتم مصرف انرژی	۱/۱۰	۴۷/۷۸	۰/۰۰
لگاریتم CO <sub>2</sub> (-1)	۰/۰۴	۱/۸۵	۰/۰۸

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که دیده می‌شود، در برآورد مدل به‌صورت لگاریتمی، ضریب متغیر جمعیت در حدود ۰/۶ محاسبه شد. این نتیجه بیانگر این است که در منطقه‌ی مورد بررسی، حساسیت سطح انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به جمعیت برابر ۰/۶ است. پس از به‌دست آمدن نتیجه یاد شده، بر اساس مقادیر پیش‌بینی‌شده‌ی جمعیت جهان در سناریوهای اقلیمی و نیز با در نظر گرفتن حساسیت سطح انتشار دی‌اکسید کربن در دشت مورد بررسی، میزان تغییرات سطح انتشار دی‌اکسید کربن در این دشت در سناریوهای A1B، A2 و B1 در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد که نتایج در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده، ناظر بر این واقعیت است که سطح انتشار دی‌اکسید کربن در دشت همدان - بهار در سال‌های آتی افزایش خواهد یافت و در بدبینانه‌ترین پیش‌بینی، در حدود ۱۲ درصد نسبت به سال ۲۰۱۳ به سطح انتشار این گاز افزوده می‌شود. همچنین، کمترین میزان افزایش در CO<sub>2</sub> در سناریوی اقلیمی B1 در افق زمانی تحت بررسی رخ خواهد داد.

جدول (۴) پیش‌بینی درصد تغییرات سطح انتشار CO<sub>2</sub> در دشت همدان - بهار در سناریوهای اقلیمی

سناریو	سال	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰
A1B		۵/۴	۷/۴	۱۲/۲
A2		۴/۲	۶/۶	۱۱/۴
B1		۴/۰	۶/۶	۹/۶

منبع: یافته‌های تحقیق

## ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد...۱۰۹

در گام آخر به منظور دسترسی به اهداف تحقیق، با توجه به حساسیت عملکرد محصولات نسبت به تغییر CO<sub>2</sub>، دما و بارش، تغییرات عملکرد محصولات در مدل PMP لحاظ شد و پس از اجرای مدل، میزان تغییر در ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی نسبت به سال ۲۰۱۳ (معادل ۹۲-۱۳۹۱) که بهترین و معتبرترین اطلاعات مربوط به منطقه‌ی مورد بررسی، مربوط به این سال است و به عنوان سال پایه در نظر گرفته شد، محاسبه گردید. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی‌های یاد شده در غالب سناریوهای مختلف اقلیمی در ادامه ارائه شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۵)، در نتیجه‌ی تغییرات دما، بارش و CO<sub>2</sub>، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در سال‌های آتی در دشت همدان- بهار کاهش خواهد یافت که میزان زیان یاد شده تا سال ۲۰۴۰ در سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب برابر ۵۳، ۴۵ و ۳۱ میلیارد ریال خواهد بود. به عبارت دیگر، در بدبینانه‌ترین پیش‌بینی، چنانچه در دشت همدان- بهار در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰، افزایش دما به ترتیب به میزان ۱/۹، ۴/۶ و ۷/۹ درصد، کاهش بارندگی به ترتیب به میزان ۱/۶، ۳/۱ و ۷/۱ درصد و افزایش سطح انتشار CO<sub>2</sub> به ترتیب به میزان ۵/۴، ۷/۴ و ۱۲/۲ درصد رخ دهد، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی این دشت در سال‌های مورد بررسی به ترتیب به میزان ۱۱، ۲۹ و ۵۳ میلیارد ریال کاهش خواهد یافت.

جدول (۵) پیش‌بینی میزان تغییر ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در سناریوهای اقلیمی (میلیارد ریال)

سناریو	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰
A1B	-۱۱	-۲۹	-۵۳
A2	-۱۰	-۲۷	-۴۵
B1	-۸	-۲۳	-۳۱

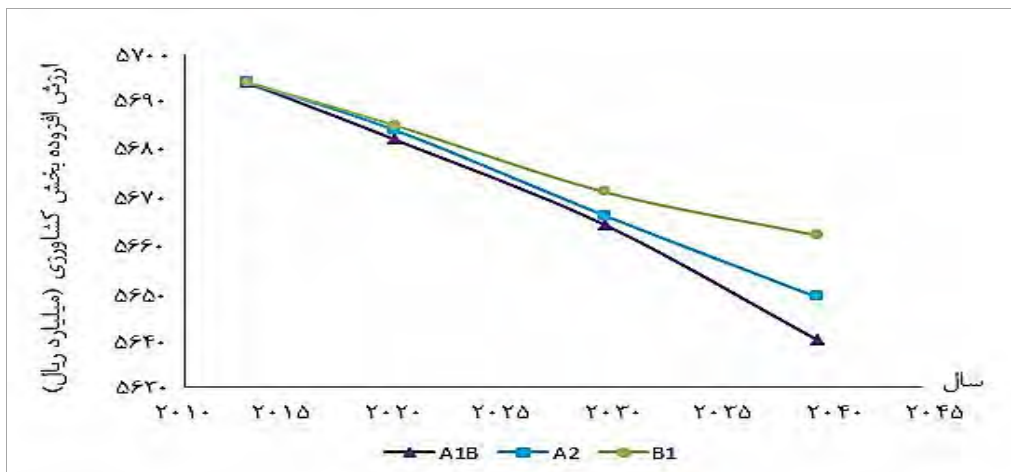
منبع: یافته‌های تحقیق

افزون بر این، چنانچه روند کنونی تغییرات دما، بارش و سطح انتشار CO<sub>2</sub> در منطقه، در سال‌های آتی نیز ادامه یابد، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ به ترتیب به میزان ۱۰، ۲۷ و ۴۵ میلیارد ریال کاهش خواهد یافت. در نهایت، در خوشبینانه‌ترین پیش‌بینی بر اساس سناریوی B1، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه در سال‌های یاد شده به ترتیب به میزان ۸، ۲۳ و ۳۱ میلیارد ریال کاهش خواهد یافت.

### جمع‌بندی و پیشنهادات

در این پژوهش، آثار تغییر سطح انتشار CO<sub>2</sub> و تغییرات اقلیمی ناشی از آن، بر بخش کشاورزی دشت همدان- بهار با هدف پاسخگویی به این سؤالات که آیا رخداد تغییرات یاد شده بر عملکرد محصولات زراعی و ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه تأثیرگذار است یا خیر، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا به بررسی میزان حساسیت عملکرد محصولات زراعی منطقه نسبت به تغییرات دما، بارش و CO<sub>2</sub> و همچنین پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی یاد شده در منطقه پرداخته شد. سپس شرایط الگوی کشت منطقه با به‌کارگیری رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی شبیه‌سازی شد. در پایان با توجه به حساسیت عملکرد محصولات زراعی دشت نسبت به پارامترهای آب و هوایی، به ارزیابی آثار تغییرات دما، بارش و سطح انتشار CO<sub>2</sub> بر الگوی کشت منطقه در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰، در غالب سناریوهای مختلف اقلیمی پرداخته شد. نتایج نشان داد که تغییرات آب و هوایی یاد شده، کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه را در سال‌های آتی در پی خواهد داشت. در نمودار (۱) چگونگی تغییرات ارزش افزوده بخش کشاورزی دشت همدان- بهار در سناریوهای مختلف اقلیمی ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده در سناریوی A1B نشان داد که اگر سیاست‌های جهانی جایگزین سیاست‌های منطقه‌ای شوند و کشورهای جهان به‌صورت یکپارچه بر رشد اقتصادی و استفاده‌ی متعادل از منابع انرژی تمرکز یابند، این موضوع در کوتاه‌مدت موجب کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در دشت مورد بررسی خواهد شد. به عبارت دیگر چنانچه تا سال ۲۰۴۰ در دشت همدان- بهار، دما به میزان ۷/۹ درصد افزایش، بارندگی به میزان ۷/۱ درصد کاهش و سطح انتشار دی‌اکسیدکربن به میزان ۱۲/۲ درصد افزایش یابد، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی این دشت، به میزان ۵۳ میلیارد ریال کاهش خواهد یافت و از مقدار ۵۶۹۴ میلیارد ریال در سال ۲۰۱۳، به مقدار ۵۶۴۱ میلیارد ریال در سال ۲۰۴۰ تنزل می‌یابد که این نتیجه بیانگر کاهش ۱ درصدی ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه در بازه‌ی زمانی یاد شده است. همچنین نتایج به‌دست آمده در زمینه تغییرات ارزش افزوده در سناریوی A2 نشان داد که چنانچه کشورهای جهان به‌صورت واگرا و مستقل از هم عمل کنند و جمعیت جهان به‌طور پیوسته افزایش یابد، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در دشت همدان- بهار در سال ۲۰۴۰ برابر ۵۶۴۹ میلیارد ریال خواهد بود که این رقم بیانگر کاهش ۴۵ میلیارد ریالی (معادل ۰/۸ درصد) ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه نسبت به سال ۲۰۱۳ است.





نمودار (۱) تغییرات ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در دشت همدان - بهار در سناریوهای اقلیمی

در نهایت، بر اساس سناریوی B1، هنگامی که کشورهای جهان در پی دستیابی به پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی باشند و جمعیت جهان با نرخ کمی‌تر از نرخ رشد جمعیت در سناریوی A2، افزایش یابد، عملکرد واگرا و اتخاذ سیاست‌های منطقه محور، موجب کاهش ۳۱ میلیارد ریالی (معادل ۰/۶ درصد) ارزش‌افزوده‌ی بخش کشاورزی دشت همدان - بهار، نسبت به شرایط کنونی، خواهد شد. در پایان می‌توان گفت اگر رشد اقتصادی در مقایسه با اهداف زیست‌محیطی در اولویت بالاتری قرار گیرد، اتخاذ سیاست‌های جهان محور در مقایسه با سیاست‌های منطقه محور موجب رخداد زیان بیشتر در بخش کشاورزی دشت همدان - بهار می‌شود. اما چنانچه اهداف زیست‌محیطی نسبت به اهداف اقتصادی در اولویت بالاتری قرار گیرند و سیاست‌های زیست‌محیطی با رویکرد منطقه‌ای اتخاذ شود، بخش کشاورزی دشت مورد بررسی با کمترین میزان زیان روبه‌رو خواهد شد.

نتایج به‌دست آمده مبنی بر کاهش ارزش‌افزوده‌ی بخش کشاورزی دشت همدان - بهار در نتیجه‌ی تغییرات آب و هوایی در کلیه‌ی سناریوهای اقلیمی، بیانگر این است که اگرچه با افزایش سطح انتشار دی‌اکسیدکربن در منطقه، عملکرد محصولات زراعی تا حدودی بهبود می‌یابد اما این میزان بهبود در عملکرد، فاقد توانمندی لازم جهت جبران زیان ناشی از افزایش دما و کاهش بارندگی بر عملکرد محصولات کشاورزی است و لذا در نتیجه‌ی تغییرات اقلیمی یاد شده، بخش کشاورزی دشت همدان - بهار در سال‌های آتی با زیان اقتصادی روبه‌رو خواهد شد. لذا پیشنهاد می‌شود که در سال‌های آتی جهت انطباق و سازگاری با تغییرات اقلیمی، ارقام

پربازده محصولات زراعی در بخش کشاورزی منطقه مورد استفاده قرار گیرند. بر این اساس، با توجه به درصد تغییرات عملکرد محصولات زراعی منطقه در سناریوهای اقلیمی، میزان بهبود مورد نیاز در متوسط بهره‌وری محصولات زراعی دشت، جهت جبران زیان ناشی از تغییرات آب و هوایی آتی، در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶) درصد بهبود بهره‌وری محصولات در سناریوهای اقلیمی جهت تطبیق با تغییرات اقلیمی منطقه

سناریو	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰
A1B	۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۶۳
A2	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۳۵
B1	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۹

منبع: یافته‌های تحقیق

بر این اساس پیشنهاد می‌شود که کشاورزان منطقه در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ به ترتیب از ارقامی با ۰/۰۳، ۰/۰۲ و ۰/۰۴ درصد بازده بالاتر، در میانگین سناریوهای اقلیمی، استفاده کنند. اتخاذ راهبرد بیان شده، زیان ناشی از تغییرات آب و هوایی در تولیدات زراعی دشت همدان- بهار را به‌طور کامل جبران خواهد کرد. همچنین با توجه به تأثیرگذاری تغییرات اقلیمی بر نیاز آبی گیاهان و منابع آبی دشت، اتخاذ راهبردهای کم‌آبباری، به منظور رفع نیاز آبی گیاهان با حداقل میزان مصرف آب، در دهه‌های آتی امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

### منابع

- تقدیسیان، ح. و میناپور، س. (۱۳۸۲) تغییر آب و هوا، آنچه باید بدانیم. سازمان حفاظت محیط زیست، دفتر طرح ملی تغییرات آب و هوا، چاپ اول، تهران.
- حسینی، س. ص. نظری، م. ر. و عراقی‌نژاد، ش. (۱۳۹۲) بررسی اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی با تأکید بر نقش به‌کارگیری راهبردهای تطبیق در این بخش. *مجله‌ی تحقیقات اقتصاد و توسعه‌ی کشاورزی/ایران*. ۱۶-۱: (۱)۴۴.
- خلیلی اقدم، ن. مساعدی، ا. سلطانی، ا. و کامکار، ب. (۱۳۹۱) ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج. *مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۱۹(۴): ۸۵-۱۲۲.

## ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد... ۱۱۳

خواجه روشنایی، ن. دانشور کاخکی، م. و محتشمی برزادران، غ. (۱۳۸۹) تعیین ارزش اقتصادی آب در روش تابع تولید، با به‌کارگیری مدل‌های کلاسیک و آنترپوی (مطالعه‌ی موردی: محصول گندم در شهرستان مشهد. *نشریه‌ی اقتصاد و توسعه کشاورزی*. ۱۱۳-۱۱۹: (۱)۲۴.

زمانی، ا. (۱۳۹۰) بررسی تأثیر سیاست قیمت‌گذاری آب بر بهره‌وری مصرف آن در بخش کشاورزی: مطالعه موردی دشت همدان- بهار. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی*. دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

صبحی صابونی، م. و احمدپور برازجانی، م. (۱۳۹۱) برآورد توابع تقاضای محصولات کشاورزی ایران با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی (کاربرد روش بیشترین بی‌نظمی). *فصلنامه‌ی اقتصاد کشاورزی*. ۹۱-۷۱: (۱)۶.

علی‌پور، ع. ر. موسوی، س. ح. و خلیلیان، ص. (۱۳۹۳) ارزیابی هزینه انتشار گاز گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید حاصل از توسعه بخش کشاورزی ایران. *فصلنامه‌ی اقتصاد کشاورزی*. ۸۱-۶۳: (۱)۸.

علیجانی، ف. کرباسی، ع. و مظفری مسن، م. (۱۳۹۰) بررسی اثرات درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم آبی ایران. *فصلنامه‌ی اقتصاد کشاورزی و توسعه*. ۱۶۶-۱۴۳: (۷۶)۱۹.

مساعدی، ا. و کاهه، م. (۱۳۸۷). بررسی تأثیر بارندگی بر عملکرد محصولات گندم و جو در استان گلستان. *مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. ۲۱۸-۲۰۶: (۴)۱۵.

نیوتن، پ. ادوازد، آ. کوچکی، ع. نصیری محلاتی، م. تبریزی، ل. و خیرخواه، م. (۱۳۸۹) اثر تغییر اقلیم بر بوم نظام‌های کشاورزی. *دانشگاه فردوسی، چاپ اول، مشهد مقدس*.

Attavanich, W. and McCarl, B. A. (2011) The effect of climate change, CO<sub>2</sub> fertilization, and crop production technology on crop yield and its economic implication on market outcomes and welfare distribution. Selected paper prepared for presentation at the Agricultural & Applied Economics Association s 2011 AAEA & NAREA joint annual meeting, Pittsburgh, Pennsylvania. July 24-26.

Bernacchi, C. J., Kimball, B. A., Quarles, D. R., Long, S. P. and Ort. D. R. (2007). Decreases in stomatal conductance of soybean under open-air elevation of [CO<sub>2</sub>] are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration. *Plant Physiology*, 143(1): 134-144.

Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R. S. J. and Ringler, C. (2011) Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economics*, 93: 150-165.

Caputo, M. R. and Paris, Q. (2008) Comparative statics of the generalized maximum entropy estimator of the general linear model. *European Journal of Operational Research*, 185(1): 195-203.

Chang, C. C. (2002) The potential impact of climate change on Taiwan s agriculture. *Agricultural Economics*, 27: 51-64.

- Csbas, J., Weersink, A. and Olale, E. (2010) Crop yield response to economic, site and climatic variables. *Climatic Change*, 101: 599-616.
- Frenck, G., Linden, L., Mikkelsen, T. N., Brix, H. and Jorgensen, R. B. (2011) Increased [CO<sub>2</sub>] does not compensate for negative effects on yield caused by higher temperature and [O<sub>3</sub>] in *Brassica napus* L. *European Journal of Agronomy*, 35: 127-134.
- Gifford, R. M. (1988) Direct effect of higher carbon dioxide concentrations on vegetation. *Greenhouse: Planning for Climate Change*, ed. Pearman, G. I., pp. 506-519.
- Golan, A., Judge, G. and Miller, D. (1996) *Maximum entropy econometrics: Robust estimation with limited data*. New York: John Wiley and Sons.
- Howitt, R. E., Medellin-Azuara, J. and MacEwan, D. J. (2011) Economic impacts of climate-related changes to California agriculture. *Climatic Change*, 109: 387-405.
- Huang, Q., Howitt, R. and Rozelle, S. (2012) Estimating production technology for policy analysis: Trading off precision and heterogeneity. *Journal of Productivity Analysis*, 38(2): 219-233.
- Kokic, N. R., Potgieter, A. and Carter, J. (2004) An enhanced ABARE system for predicting farm performance. *ABARE Report*, 4: 6-20.
- Lal, M., Singh, K. K., Rathore, L. S., Srinivasan, G. and Saseendran, S. A. (1998) Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 89: 101-114.
- Leakey, A. D. B. (2009) Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C<sub>4</sub> crops for food and fuel. *Royal Society*, 276: 2333-2343.
- Long, S. P., Ainsworth, E. A., Leaky, A. D. B. and Morgan, P. B. (2005) Global food insecurity. Treatment of major food crops with elevated carbon dioxide or ozone under large-scale fully open air conditions suggests recent models may have overestimated future yields. *Phil. Trans Royal Soc. B*. 360: 2011-2020.
- Marsh, T. L. and Mittelhammer, R. C. (2004) Generalized maximum entropy estimation of a first order spatial autoregressive model. *Advances in Econometrics*, 18: 199-234.
- Prior, S. A. and Runion, G. B. (2011) A review of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> effects on plant growth and water relations: Implications for horticulture. *Hortscience*, 46(2): 158-162.
- Pukelsheim, F. (1994) The three sigma rule. *The American Statistician*, 48: 88-91.
- Salinger, M. J., Stiger, C. J. and Dasc, H. P. (2000) Agro meteorological adaption strategies to increasing climate variability and climate change. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 103:167-184.
- Shen, E. Z. and Perloff, J. M. (2001) Maximum entropy and Bayesian approaches to the ratio problem. *Journal of Econometrics*, 104(2): 289-313.

ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد... ۱۱۵

- Vanuytrecht, E., Raes, D., Willems, P. and Geerts, S. (2012) Quantifying field-scale of elevated carbon dioxide concentration on crops. *Climate Research*, 54: 35-47.
- Warrick, R. A., Gifford, R. M. and Parry, M. L. (1986) CO<sub>2</sub>, climatic change and agriculture. *The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems*, eds. Bolin, B., Doos, B. R., Jager, J. & Warrick, R. A., John Wiley, Chichester, pp. 393-474.
- Wu, X. (2009) A weighted generalized maximum entropy estimator with a data-driven weight. *Entropy*, 11: 917-930.

