

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری؛ راهبردهای بهینه سازگاری با تغییرپذیری اقلیم

شیوا سلطانی و سید حبیب‌الله موسوی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۸

چکیده

در این بررسی، راهبرد کم آبیاری به عنوان راه حلی پایدار برای رویارویی با اثرگذاری‌های تغییر اقلیم در دشت همدان- بهار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور در آغاز، چگونگی اثرگذاری تغییرپذیری‌های دما، بارش و سطح انتشار CO₂ بر الگوی کشت در چهار بعد اقتصادی، فیزیولوژی، آب‌شناسی و هواشناسی بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش سطح انتشار دی‌اکسید کربن و تغییرپذیری‌های اقلیمی ناشی از آن، با کاهش عملکرد گیاهان کشاورزی و نیز کاهش بیلان آب‌های زیرزمینی، دارای تأثیر منفی بر الگوی کشت منطقه است و در بدینانه‌ترین پیش‌بینی، کاهش سود ناخالص بخش کشاورزی دشت به میزان ۱۶۹ میلیارد ریال، کاهش موجودی آب زیرزمینی به میزان ۱۱ درصد و افزایش ارزش اقتصادی نهاده‌ی آب به میزان ۲۱ درصد را تا سال ۲۰۴۰ در پی خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد که با اعمال سیاست ۵ درصد کم آبیاری بهینه در کشت گیاهان آب‌بر و نیز استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری، جبران زیان یاد شده، امکان‌پذیر خواهد بود.

طبقه‌بندی JEL: Q54, Q25, C61, C46, C33, C22, C02

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، دی‌اکسید کربن، تغییرپذیری اقلیم، منابع آب زیرزمینی، ارزش اقتصادی آب.

^۱ به ترتیب؛ دانشجوی دکتری و استادیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

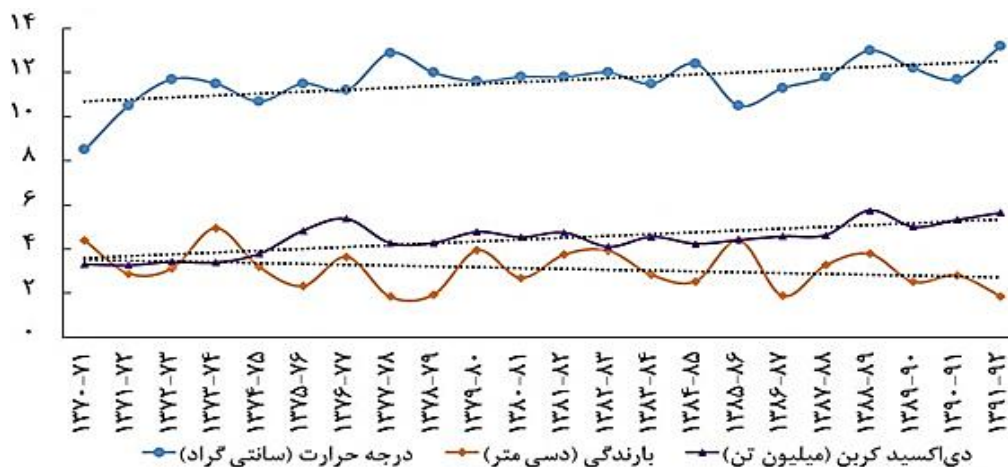
کشور ایران از جمله مناطق خشک و نیمه خشک جهان به شمار می آید که با کمبود منابع آب روبه‌رو است (ضرغامی و همکاران، ۲۰۱۱). آب، کالایی ضروری و بدون جایگزین بوده که در دهه‌های اخیر به دلایل گوناگون از جمله تغییرپذیری‌های اقلیمی، به شدت کمیاب شده است و چالش کمیابی آن هر روز ملموس تر می شود (کانور و همکاران، ۲۰۱۲). در شرایطی که ایران، کمتر از ۳۳ درصد میانگین بارندگی سالانه‌ی جهان را دریافت می کند، میزان وابستگی تولیدات کشاورزی به اراضی آبی، در ایران و جهان به ترتیب برابر ۹۰ و ۴۰ درصد برآورد شده است (علی زاده و کشاورز، ۲۰۰۵). بنابراین می توان دریافت که کشاورزی ایران به شدت به آب آبیاری وابسته است به گونه‌ای که آب، مهم ترین و محدودکننده ترین نهاده‌ی تولیدی در بخش کشاورزی کشور به شمار می آید (کرباسی، ۱۳۸۰). از سوی دیگر، به کارگیری شیوه‌های نادرست آبیاری و تخصیص نامناسب آب، کاهش بازده آبیاری و هدررفت بیش از ۶۰ درصد آب مصرفی در مراحل مختلف رشد گیاهان را در کشور در پی داشته است (صوحی و همکاران، ۱۳۸۵). نتایج بررسی‌های پیشین گویای آن است که با توجه به تقاضای فزاینده‌ی آب و مصرف بیش از ۹۳ درصد کل منابع آبی کشور در بخش کشاورزی، در سال ۱۴۰۰ این بخش با ۵۴ میلیارد مترمکعب کمبود آب روبه‌رو خواهد شد (نیکویی و همکاران، ۱۳۸۸). لذا، با در نظر گرفتن بحرانی شدن شرایط اقلیمی کشور و لزوم توسعه‌ی بخش کشاورزی به عنوان نهاد اصلی تأمین کننده‌ی غذای جامعه، در پیش گرفتن راه کارهایی برای چیره شدن بر کمبود دسترسی به منابع آبی، در سال‌های آتی امری پرهیزناپذیر خواهد بود.

یکی از روش‌های سازگاری با کمبود منابع آب، افزایش بهره‌وری هر واحد آب مصرفی است که می تواند با گزینش سیاست‌های کم آبیاری و نیز با بهبود فناوری‌های آبیاری، محقق شود (موسوی و همکاران، ۱۳۸۶). کم آبیاری یک راهبرد بهینه سازی است که به صورت هدفمند به گیاهان اجازه می دهد درجه‌هایی از کم آبی و کاهش عملکرد را تحمل کنند. در این سیاست، افزایش کارایی مصرف آب می تواند با کاهش میزان آب مورد نیاز در هر آبیاری یا با حذف آبیاری‌های بدون بهره‌وری کافی صورت پذیرد (کانگ و همکاران، ۲۰۱۵). افزون بر این، استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری، امکان افزایش در تولید گیاهان کشاورزی به میزان ۲۰ تا ۷۰ درصد و صرفه جویی در مصرف آب به میزان ۳۰ تا ۶۰ درصد را فراهم می سازد (لامادالنا و ساگاردوی، ۲۰۰۰). این در حالی است که به ازای هر ۵ درصد

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۳۳

افزایش در بازده آبیاری، سالانه در حدود ۴ میلیارد مترمکعب آب صرفه‌جویی می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۸۶). لذا این انتظار وجود دارد که راهبردهای یاد شده، در کاهش بحران آب و آسیب و زیان‌های ناشی از گرمایش جهانی سودمند واقع شوند.

در دهه‌های اخیر، افزایش گازهای گلخانه‌ای و به‌ویژه دی‌اکسید کربن، گرمایش جهانی و رخداد تغییرپذیری‌های اقلیمی را در نقاط مختلف کره‌ی زمین در پی داشته‌است (ونایت‌رچت و همکاران، ۲۰۱۲). یکی از مناطقی که در سال‌های آتی، تحت‌الشعاع قرار گرفتن روند تولیدات کشاورزی در نتیجه‌ی بروز تغییرپذیری‌های اقلیمی در آن محتمل خواهد بود، حوضه‌ی آبریز همدان- بهار، واقع در غرب ایران است. در این دشت در حدود ۴۶ هزار هکتار از اراضی موجود به فعالیت‌های کشاورزی اختصاص دارد که در حدود ۲۵ و ۲۰ هزار هکتار از آن به ترتیب زیر کشت گیاهان زراعی آبی و دیم قرار دارد (سلطانی و موسوی، ۱۳۹۴). بنابر آمار منتشر شده توسط سازمان هواشناسی کل کشور و همچنین وزارت نیرو، در دو دهه‌ی اخیر تغییر شرایط اقلیمی این دشت به‌صورت افزایش دما و کاهش بارندگی و نیز افزایش سطح انتشار گاز دی‌اکسید کربن بوده‌است که روند تغییرپذیری‌های یاد شده در نمودار ۱ ارائه شده‌است.



نمودار (۱) میزان سالانه‌ی مشخصه‌های آب و هوایی دشت همدان- بهار

منبع: سازمان هواشناسی کل کشور و وزارت نیرو، ۱۳۹۲.

افزایش CO₂، با آسانگری فرآیندهای نورساخت و تعرق می‌تواند موجب بهبود عملکرد گیاهان کشاورزی شود (لانگ و همکاران، ۲۰۰۵). از سوی دیگر همگام با افزایش دما و کاهش بارندگی، افزون بر کاهش عملکرد گیاهان در نتیجه‌ی تأثیرپذیری منفی زیست‌توده نسبت به شرایط یاد شده (جورگنسون و همکاران، ۲۰۱۱)، موجبات تشدید مسئله‌ی کمبود آب، به دلیل افزایش نرخ تبخیر از سطح منابع آبی و نیز افزایش نیاز آبی گیاهان، فراهم می‌شود (آزوارا و همکاران، ۲۰۱۱). لذا در صورت تداوم شرایط اقلیمی یاد شده، این انتظار وجود دارد که میزان دسترسی به نهاده‌ی آب و نیز عملکرد اغلب گیاهان کشاورزی در این دشت دستخوش تغییر شود که این مهم نیز منجر به ایجاد تغییر در تولیدات غذایی و تحت تأثیر قرار گرفتن شاخص‌های اقتصادی می‌شود.

با توجه به این رویکرد، در این بررسی، میزان توانمندی راهبردهای کم‌آبیاری و همچنین بهبود فناوری آبیاری به عنوان راه‌کارهای برون‌رفت از بحران تغییرپذیری‌های اقلیمی در دشت همدان - بهار مورد بحث و بررسی قرار گرفتند. در زمینه‌ی کاربرد راهبردهای کم‌آبیاری و همچنین بهبود فناوری آبیاری برای سازگاری با تغییرپذیری‌های اقلیم در بخش کشاورزی، تاکنون بررسی‌های پرشماری انجام شده‌است. در ادامه‌ی بحث به‌منظور ایجاد الگویی تجربی، مرور مختصری بر چند بررسی مهم در این زمینه صورت پذیرفته‌است. مشتاق و مقدسی (۲۰۱۱) به ارزیابی توانمندی راهبردهای کم‌آبیاری در کاهش زیان ناشی از تغییرپذیری‌های اقلیم در بخش کشاورزی استرالیا، با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی با رهیافت تابع تولید و بهره‌گیری از اطلاعات سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۶۲ برای برآورد برونزای توابع تولید گیاهان کشاورزی، پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که اعمال پیش‌فرض‌های کم‌آبیاری در بخش کشاورزی منطقه، افزایش کارایی مصرف آب و نیز دستیابی به بیشترین بازده اقتصادی را در پی خواهد داشت. ستین و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی خود، توجیه‌پذیری اقتصادی بهبود فناوری آبیاری را در باغ‌های زیتون ترکیه مورد ارزیابی و اثبات قرار دادند و دریافتند که این توجیه‌پذیری، به دلیل افزایش عملکرد گیاه، بهبود توزیع آب، کاهش هزینه‌های عملیاتی و صرفه‌جویی در مصرف آب بوده‌است. یافته‌های یاد شده همچنین در پژوهش یزدانی و حق‌شنو (۲۰۰۸) با عنوان مدیریت خشکسالی و ارائه‌ی راه‌کارهای مقابله با گرمایش جهانی، مورد تأیید قرار گرفت. نتایج پژوهش شیروانیان و همکاران (۱۳۹۳) نیز ناظر بر این واقعیت است که سطح آستانه‌ی اقتصادی کم‌آبیاری در تولید گیاه پنبه در استان فارس برابر ۸۸۶۹ مترمکعب آب

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۲۵

آبیاری در هکتار است که نسبت به میزان آب مصرفی در سطح آبیاری کامل، موجب صرفه‌جویی ۳۰/۹۶ درصدی در آب آبیاری می‌شود. حسینی و همکاران (۱۳۹۲) دریافتند که تغییرپذیری‌های اقلیم 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 در پیش گرفتن راهبردهای سازگاری کم‌آبیاری بهینه و تغییر الگوی کشت، میزان زیان در دو افق مورد نظر به ترتیب برابر ۲/۸ و ۱۴ درصد خواهد بود. شمس‌الدینی و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان دادند که میزان کنونی ارزش افزوده‌ی به‌دست آمده از بخش کشاورزی دشت سپیدان واقع در استان فارس، با اعمال پیش‌فرض ۵ درصد کم‌آبیاری نیز محقق می‌شود. همچنین لازم به یادآوری است که سلطانی و موسوی (۱۳۹۴) در پژوهشی، اثرگذاری‌های بالقوه‌ی تغییرپذیری اقلیم بر الگوی کشت دشت همدان - بهار را مورد بررسی قرار دادند. اما در بررسی یاد شده، تنها به ارزیابی جداگانه‌ی اثرگذاری‌های تغییرپذیری اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی پرداخته شد و دیگر اثرگذاری‌های تغییرپذیری اقلیم بر الگوی کشت منطقه همچون تغییرپذیری‌های منابع آب، مورد ارزیابی قرار نگرفتند. لذا برتری و وجه تمایز این بررسی، پردازش به ابعاد مختلف موضوع مورد بحث با تأکید بر منابع آب و ارائه‌ی راه‌کارهای عملی در زمینه‌ی سازگاری با بحران آب در نتیجه‌ی تغییرپذیری‌های آب و هوایی در منطقه است. نتایج به‌دست آمده از این بررسی می‌تواند برای ایجاد چارچوبی عملیاتی در مدیریت منابع آبی کشور، مورد توجه کشاورزان و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی قرار گیرد.

روش تحقیق

در این پژوهش به‌منظور برآورد حساسیت عملکرد گیاهان زراعی دشت همدان - بهار نسبت به سطح انتشار CO_2 ، دما و بارش، از مدل رگرسیون واکنش - عملکرد درجه‌ی ۲ به‌صورت رابطه‌ی ۱ استفاده شد (آتاوانیچ و مک‌کارل، ۲۰۱۱).

$$Y = f(TE_s, RA_s, CO_2, TE_s^2, RA_s^2, CO_2^2, VTE_s, VRA_s, VCO_2, TR) \quad (1)$$

در این رابطه، Y نمایانگر میزان عملکرد گیاه، TE_s میانگین دمای فصل s $s = \{1,2,3,4\}$ RA_s مجموع بارندگی فصل s و VTE_s و VRA_s به‌ترتیب بیانگر انحراف دما و بارش از میزان میانگین بلندمدت آنهاست. افزون بر این، TR متغیر روند زمانی و معرف تغییر در فناوری تولید گیاهان زراعی

در طول زمان است. در زمینه‌ی برآورد حساسیت عملکرد گیاهان کشاورزی نسبت به متغیرهای آب و هوایی، بررسی‌های بسیاری با بهره‌گیری از روش‌های مختلف، صورت گرفته‌است. به عنوان مثال، آتوانیچ و مک‌کارل (۲۰۱۱) با استفاده از تابع تولید تصادفی جاست و پاپ، حساسیت عملکرد گیاهان کشاورزی کشور آمریکا را نسبت به دما، بارش و CO_2 ، مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که عملکرد اغلب گیاهان کشاورزی نسبت به برآیند تغییرپذیری‌های یاد شده، دارای تأثیرپذیری منفی است. همچنین در پژوهش کاستلو و همکاران (۲۰۰۹) تأثیرپذیری منفی عملکرد گیاهان کشاورزی کالیفرنیا در رویارویی با تغییرپذیری‌های اقلیم، با بهره‌گیری از مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی مورد تأیید قرار گرفت.

در این پژوهش برای برآورد مدل رگرسیون واکنش-عملکرد ارائه شده در قالب رابطه‌ی ۱، با توجه به پرشماری متغیرهای تحت بررسی که منجر به کاهش درجه‌ی آزادی و ناجور^۱ بودن مسئله شد، از روش بیشینه‌ی آنروپی تعمیم‌یافته (GME^۲) استفاده شد. بهره‌گیری از این روش در برآورد مسائل ناجور، موجب دستیابی به نتایج منحصر به فرد می‌شود (هانگ و همکاران، ۲۰۱۲). در این روش، ضریب‌های رگرسیون به‌عنوان متغیرهای تصادفی جداگانه به همراه یک بازه‌ی حمایتی در نظر گرفته می‌شوند (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 فرضیه‌های علمی یا بررسی‌های پیشین هستند (هانگ و همکاران، ۲۰۱۲). احتمالات ممکن برای تحقق این مقادیر پشتیبان، نامعلوم بوده و بر مبنای روش GME بیشترین احتمال ممکن برای آنها به‌دست می‌آید. مجموع حاصل ضرب احتمال تحقق اعداد بازه در هر عدد، ضریب‌های رگرسیونی را تشکیل می‌دهند (وو، ۲۰۰۹). لازم به توضیح است که در این پژوهش برای تعیین مقادیر حمایتی ضریب‌ها، از بررسی‌های ورسینک و همکاران (۲۰۱۰)، واریک (۱۹۸۶)، لال و همکاران (۱۹۹۸)، کرباسی و همکاران (۱۳۹۰)، چانگ (۲۰۰۲) و به‌منظور تعیین مقادیر حمایتی جزء خطا، از قانون سه-سیگما استفاده شد (مارش و میتلهامر، ۲۰۰۴).

^۱ Ill-Posed

^۲ General Maximum Entropy

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۲۷

تجزیه و تحلیل مدل رگرسیون یاد شده، به تفکیک هر یک از گیاهان، در بسته‌ی نرم‌افزاری GAMS و الگوریتم CONOPT3 صورت پذیرفت. پس از برآورد ضریب‌ها، حساسیت عملکرد هر یک از گیاهان نسبت به دما، بارش و سطح انتشار CO₂ تعیین شد. در پایان با به‌کارگیری معیار آنتروپی نرمال $S(\hat{p})$ ، دقت برآورد ضریب‌ها بررسی شد (خواجه روشنایی و همکاران، ۱۳۸۹).

$$S(\hat{p}) = \left[-\sum_j (P_c^j \ln P_c^j) - \sum_j \sum_k (P_k^j \ln P_k^j) - \sum_j \sum_i (P_{e_i}^j \ln P_{e_i}^j) \right] / K \ln M \quad (2)$$

در این معیار که بیانگر نسبت تغییرپذیری‌های توضیح داده نشده به کل تغییرپذیری‌هاست، K شمار کل ضریب‌های برآورد شده و M شمار مقادیر پشتیبان برای هر یک از ضریب‌هاست. $1 - S(\hat{p})$ نیز میزان دقت برازش مدل را نشان می‌دهد (هانگ و همکاران، ۲۰۱۲). آمار و اطلاعات مورد نیاز برای برآورد مدل بالا، شامل دما، بارش و عملکرد گیاهان زراعی در منطقه‌ی دشت همدان-بهار، از سازمان هواشناسی و سازمان جهاد کشاورزی استان همدان دریافت شد. همچنین به‌منظور محاسبه‌ی میزان انتشار CO₂ در منطقه‌ی یاد شده، از اطلاعات مربوط به میزان مصرف ۶ حامل انرژی بنزین، نفت سفید، نفت کوره، نفت گاز، گاز مایع و گاز طبیعی در دوره‌ی ۱۳۷۰-۱۳۹۰ استفاده شد. اطلاعات یاد شده، از ترازنامه‌ی هیدروکربوری وزارت نفت و ترازنامه‌ی انرژی وزارت نیرو دریافت شد. سپس با استفاده از ضریب انتشار CO₂ توسط هر یک از حامل‌های انرژی و ضرب آن در میزان مصرف حامل انرژی مربوطه، میزان انتشار CO₂ در دوره‌ی زمانی مورد نظر محاسبه شد.

در مرحله‌ی بعدی تحقیق، به‌منظور برآورد حساسیت منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار نسبت به تغییرپذیری‌های اقلیمی، به ارزیابی اثرگذاری‌های تغییرپذیری دما و بارش بر منابع آب زیرزمینی این دشت با در نظر گرفتن متغیر سطح آب به عنوان شاخص تغییرپذیری‌های آب زیرزمینی پرداخته شد. در بررسی‌های گذشته، طیف گسترده‌ای از مدل‌ها شامل مدل‌های رگرسیونی تجربی مبتنی بر داده‌های دوره‌ی زمانی (تانکرسل و همکاران، ۱۹۹۳)، مدل‌های فیزیکی (فدس و همکاران، ۱۹۸۸) و مدل‌های هوش مصنوعی (آلن و همکاران، ۲۰۰۷)، به‌منظور پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی استفاده شده‌اند. در این میان، مدل‌های رگرسیونی داده‌های ترکیبی به دلیل در نظر گرفتن واحدهای مقطعی در طی زمان، در برآورد روابط بین متغیرهای مؤثر بر سطح آب زیرزمینی توانمند هستند. در مدل‌های داده‌های ترکیبی بر خلاف مدل‌های دوره‌ی زمانی که قادر به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در یک

مکان هستند، امکان پیش‌بینی همزمان سطح آب در چندین مکان در طول یک دوره‌ی زمانی میسر می‌شود (بالتاجی، ۲۰۰۵). بر این پایه، در پژوهش کنونی به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در نتیجه‌ی تغییرپذیری‌های دما و بارش با استفاده از داده‌های ترکیبی پرداخته شد. بدین منظور از یک مدل مفهومی آب زیرزمینی به شرح زیر استفاده شد (کاپولا و همکاران، ۲۰۰۳؛ دالیاکاپولاس و همکاران، ۲۰۰۵).

$$H_i = f(P_i, T_{min_i}, T_{max_i}, H_{i-1}) \quad (3)$$

در این رابطه، i نمایانگر گام زمانی، H_i سطح آب زیرزمینی در سال i ام، P مجموع بارندگی سالانه، T_{min} و T_{max} به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه‌ی دما در مقیاس سالانه و H_{i-1} سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی گذشته است. به‌منظور برآورد مدل یاد شده، چاه‌های پیزومتری^۱ موجود در حوضه‌ی آبریز همدان - بهار به عنوان مقاطع در نظر گرفته شدند. از بین چاه‌های پیزومتری دشت که بالغ بر ۳۰ حلقه بودند، ۲۰ حلقه چاه با آمار بلندمدت ۱۴ ساله گزینش شد. در این مرحله برای گزینش پیزومترها، مواردی مانند کامل بودن داده‌ها، موقعیت مکانی چاه از نظر قرارگیری در مجاورت رودخانه‌ها یا چاه‌های کشاورزی که روی نوسان‌های سطح آب پیزومترها تأثیرگذار است، با بهره‌گیری از تجربیات کارشناسان امر، در نظر گرفته شد. بدیهی است که نوسان‌های سطح آب در پیزومترهای نزدیک به رودخانه‌ها و یا چاه‌های کشاورزی زیاد است و به همین علت سطح آب در این پیزومترها معرف سطح حقیقی آب نیست (ایزدی و همکاران، ۲۰۱۲).

از آنجا که ارزیابی همه‌ی پیزومترهای موجود در سطح دشت، دشوار و غیر سودمند است، به جای بررسی تک‌تک پیزومترها، می‌توان رفتارهای یکسان را در قالب یک پیزومتر تجزیه و تحلیل نمود (ایزدی و همکاران، ۲۰۱۲). از این رو، پیزومترهای برگزیده در سطح دشت، با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل خوشه‌ای، دسته‌بندی و در هر خوشه یک پیزومتر به عنوان نماینده‌ی آن خوشه معرفی شد (دیوید، ۱۹۹۷). برای دستیابی به این هدف، از ۴ ویژگی چاه‌های پیزومتری شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و میانگین سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی زمانی ۱۳۹۰-۱۳۷۷، به عنوان متغیرهای مناسب برای خوشه‌بندی استفاده شد. لازم به توضیح است که متغیرهای یاد شده، نمایانگر شرایط

^۱ Piezometric Wells

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۲۹

عمومی چاه‌های پیژومتری هستند و بدین علت، برای مقایسه‌ی پیژومترها استفاده شدند. انجام فرآیند تحلیل خوشه‌ای به روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد^۱ که یکی از متداول‌ترین روش‌های خوشه‌بندی است، صورت گرفت. در روش وارد، معیار ترکیب شدن مقاطع در یک خوشه و تعیین شمار اعضای هر خوشه، حداقل شدن مقدار کل مجموع مربعات انحراف‌ها از میانگین خوشه‌ها است که بر پایه‌ی رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (وارد، ۱۹۶۳).

$$TSSDM = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{N_k} (y_{ij}^k - y_{.j}^k)^2 \quad (4)$$

در این رابطه $TSSDM^2$ بیان‌گر مقدار کل مجموع مربعات انحراف‌ها از میانگین خوشه‌ها، k ، z و i به ترتیب بیانگر خوشه، ویژگی و پیژومتر، K شمار خوشه‌ها، M شمار ویژگی‌ها، N_k شمار پیژومترهای خوشه‌ی k ام، $y_{.j}^k$ مقدار میانگین ویژگی j ام در خوشه‌ی k ام و y_{ij}^k مقدار ویژگی j ام مرتبط با پیژومتر i ام در خوشه‌ی k ام است. پس از انجام فرآیند خوشه‌بندی، در هر خوشه یک پیژومتر به عنوان نماینده‌ی خوشه معرفی شد. بدین منظور در آغاز، مجموع مربعات انحراف‌ها از میانگین ($SSDM$) برای همه‌ی پیژومترهای موجود درون هر خوشه محاسبه و پیژومتری که دارای کمترین مجموع انحراف‌هاست به عنوان نماینده‌ی خوشه پذیرفته شد (وارد، ۱۹۶۳). این پیژومترهای نماینده، واحدهای مقطعی را در مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی تشکیل می‌دهند. سپس به منظور تعیین مقادیر متغیرهای مستقل شامل بارش و دماهای کمینه و بیشینه برای هر یک از پیژومترهای نماینده، نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به هر پیژومتر با استفاده از سامانه‌ی مختصات مکانی و در محیط ArcGIS 10.1 مشخص شد و برای بررسی نوسان‌های سطح آب در هر پیژومتر، از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی استفاده شد. پس از تعیین میزان دما و بارش برای هر یک از پیژومترهای نماینده، مدل مفهومی آب زیرزمینی رابطه‌ی ۳، با در نظر گرفتن پیژومترهای نماینده به عنوان واحدهای مقطعی، در دوره‌ی زمانی ۱۳۷۷-۱۳۹۰ با استفاده از مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی برآورد شد. چگونگی برآورد مدل‌های داده‌های ترکیبی به فرض‌های مدل در زمینه‌ی جمله‌ی ثابت، ضریب‌های شیب و ساختار جمله‌های خطا بستگی دارد. بر این پایه، مدل‌های داده‌های ترکیبی در قالب الگوهای

¹ Ward Clustering Method

² Total Sum of Squared Deviations from the Mean

اثرگذاری‌های مشترک، ثابت و تصادفی برآورد می‌شوند. فرض‌های مدل اثرگذاری‌های مشترک مبتنی بر ثبات ضریب‌های شیب و عرض از مبدأ در بین مقاطع و در طول زمان است اما مدل اثرگذاری‌های ثابت بر فرض تمایز جمله‌ی ثابت در میان مقاطع دلالت دارد. در مدل اثرگذاری‌های تصادفی، جمله‌ی ثابت دارای توزیع تصادفی است و از آنجا که این مدل دچار ناهمسانی واریانس در بین واحدهای مقطعی است، با استفاده از روش GLS^۱ برآورد می‌شود (گرین، ۲۰۰۳). در این پژوهش، به‌منظور گزینش بهترین الگو، از آزمون‌های تشخیصی چاو^۲، ضریب لاگرانژ^۳ و هاسمن^۴ استفاده شد. همچنین، ایستایی متغیرهای مدل مفهومی آب زیرزمینی، با بهره‌گیری از آزمون‌های لوین و لین^۵ (LL)، آیم، پسران و شین^۶ (IPS) و نیز آزمون فیشر^۷ بررسی شد و ارزیابی عادی بودن توزیع داده‌ها نیز با استفاده از آماره‌ی جارکو- برا^۸ صورت گرفت. سپس به‌منظور تأیید رابطه‌ی تعادلی بلندمدت میان متغیرهای مدل یاد شده، آزمون‌های هم‌انباشتگی کائو و پدرونی استفاده شدند. همچنین از آنجا که در اغلب داده‌های ترکیبی، نقض فرض همسانی واریانس محتمل است، در این پژوهش از آزمون ضریب لاگرانژ به‌منظور بررسی وجود ناهمسانی واریانس بین‌گروهی استفاده شد (بالتاجی، ۲۰۰۵). پس از انجام آزمون‌های تشخیصی و برآورد مدل رگرسیون آب زیرزمینی در قالب بهترین الگو، سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی زمانی ۱۳۹۰-۱۳۷۷ همانندسازی و میزان تأثیرگذاری متغیرهای بارندگی و دماهای کمینه و بیشینه بر سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی آزمون تعیین شد.

در ادامه، با استفاده از مدل مولد داده‌های هواشناسی LARS-WG در سطح ایستگاه سینوپتیک^۹ فرودگاه واقع در دشت همدان- بهار و نیز با بهره‌گیری از داده‌های پیش‌فرض‌های A1B، A2 و B1 در مدل گردش عمومی جو HadCM3، به پیش‌بینی تغییرپذیری‌های دما و بارش در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پرداخته شد. تولید داده در مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد: واسنجی، ارزیابی و همانندسازی. بدین منظور، در آغاز برای هر یک از مشخصه‌های اقلیمی، اختلاف میزان

^۱ Generalized least Squares

^۲ Chow

^۳ Breuch-Pagan Lagrange Multiplier

^۴ Hausman

^۵ Levin & Lin

^۶ Im, Pesaran & Shin

^۷ Fisher

^۸ Jarque-Bera

^۹ Synoptic

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری... ۱۳۱

میانگین داده‌های تولید شده در دوره‌ی پایه و میزان میانگین داده‌های تولید شده در دوره‌ی آینده محاسبه شد و این میزان اختلاف، به میزان میانگین داده‌های مشاهده‌ای افزوده شد (خلیلی اقدام و همکاران، ۱۳۹۱). رابطه‌ی ۵، مفهوم یاد شده را ارائه می‌کند.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (۵)$$

در این رابطه F_{obs} ، F_{GCM}^{base} و F_{GCM}^{fut} به ترتیب بیانگر متغیرهای پیش‌بینی شده، مشاهده شده، پیش‌بینی شده روی شبکه‌ی مدل در دوره‌ی آینده و تولید شده روی شبکه‌ی مدل در دوره‌ی پایه است. رابطه‌ی بالا، برای هر یک از متغیرهای بارش و دماهای کمینه و بیشینه در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ در سه پیش‌فرض A1B، A2 و B1 محاسبه شد و سپس میزان افزایش متغیرهای یاد شده نسبت به سال ۲۰۱۳ که سال پایه‌ی این تحقیق است، تعیین شد.

در مرحله‌ی بعد، به‌منظور پیش‌بینی میزان انتشار دی‌اکسید کربن در دشت همدان - بهار، در آغاز میزان تأثیرپذیری سطح انتشار CO_2 نسبت به عامل جمعیت در استان همدان در قالب رابطه‌ی ۶ برآورد شد (بهبودی و همکاران، ۱۳۸۹).

$$\ln(CO_2)_t = \alpha + \beta_1 \ln(P)_t + \beta_2 \ln(GDP)_t + \beta_3 \ln(E)_t + \beta_4 \ln(CO_2)_{t-1} + e_t \quad (۶)$$

در این رابطه t شمارنده‌ی سال و متغیرهای CO_2 ، P ، GDP و E به ترتیب بیانگر سطح انتشار دی‌اکسید کربن، جمعیت، تولید ناخالص داخلی و میزان مصرف انرژی، در سطح استان همدان هستند. لازم به یادآوری است که اطلاعات مربوط به متغیرهای یاد شده در سطح استان همدان در دوره‌ی ۱۳۹۰-۱۳۷۰، از مرکز آمار ایران، ترازنامه‌ی انرژی وزارت نیرو و ترازنامه‌ی هیدروکربوری وزارت نفت دریافت شد. پس از برآورد مدل رگرسیون بالا به صورت لگاریتمی و با استفاده از روش OLS، مقدار ضریب β_1 که بیانگر میزان حساسیت سطح انتشار CO_2 نسبت به جمعیت در منطقه‌ی مورد بررسی است، محاسبه شد. سپس با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده‌ی جمعیت جهان در پیش‌فرض‌های A1B، A2 و B1 در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ و نیز با در نظر گرفتن کشش سطح انتشار دی‌اکسید کربن نسبت به عامل جمعیت در منطقه‌ی مورد بررسی، سطح انتشار CO_2 در دشت همدان - بهار در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ در پیش‌فرض‌های یاد شده، پیش‌بینی و درصد تغییرپذیری‌های آن نسبت به سال ۲۰۱۳ در هر پیش‌فرض تعیین شد.

در گام آخر تحقیق، با به‌کارگیری رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی و تدوین مدل PMP^۱، شرایط الگوی کشت منطقه همانندسازی شد و اثرگذاری‌های تغییر سطح انتشار دی‌اکسید کربن، دما و بارش بر الگوی کشت، با استفاده از نتایج به‌دست آمده در مراحل پیش، بررسی شد. یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی در سه مرحله انجام می‌شود. در مرحله نخست، یک مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی با تابع بیشینه‌سازی سود کشاورزان منطقه و محدودیت‌های واسنجی به همراه محدودیت‌های منابع، با هدف برآورد قیمت‌های پایه‌ای سطح زیر کشت گیاهان، تشکیل می‌شود. با فرض بیشینه‌سازی بازده برنامه‌ای، الگوی اولیه به صورت رابطه‌ی ۷ تصریح می‌شود (هویت و پاریس، ۱۹۹۸).

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & Z = p'x - c'x \\ \text{s. t} \quad & Ax \leq b \quad [\lambda] \\ & x \leq \bar{x} + \varepsilon \quad [\rho] \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

الگوی بالا مقادیر سال پایه را باز تولید می‌کند. در این رابطه، Z ارزش تابع هدف، p ماتریس $(n \times 1)$ متشکل از قیمت گیاهان، x ماتریس $(n \times 1)$ سطوح فعالیت‌های تولیدی، c ماتریس $(n \times 1)$ هزینه‌ی حسابداری هر واحد از فعالیت‌ها، A ماتریس $(m \times n)$ ضریب‌های فنی، b ماتریس $(m \times 1)$ از مقادیر منابع در دسترس، \bar{x} ماتریس $(n \times 1)$ از سطوح مشاهده‌ای فعالیت‌های تولیدی، ε شامل اعداد مثبت کوچک برای جلوگیری از وابستگی خطی بین محدودیت‌های ساختاری و واسنجی، λ ماتریس $(m \times 1)$ از متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های منابع و ρ ماتریس $(n \times 1)$ از متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های واسنجی هستند. در گام دوم، مقادیر دوگان به‌دست آمده از مرحله‌ی اول برای برآورد مشخصه‌های تابع هدف غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌گونه‌ای که سطوح فعالیت‌های مشاهده‌ای در دوره‌ی پایه توسط الگوی غیرخطی یاد شده و بدون استفاده از محدودیت‌های واسنجی باز تولید می‌شوند. تابع هدف غیرخطی در مرحله‌ی دوم، با قراردادن یک تابع تولید غیرخطی و یا یک تابع هزینه‌ی غیرخطی در تابع هدف مدل مرحله‌ی اول به‌دست می‌آید. ضریب‌های تابع هزینه‌ی غیرخطی و یا تابع عملکرد غیرخطی که ممکن است در قالب تابع تولید لئونتیف تعمیم‌یافته^۲، تابع تولید با کشش جانشینی ثابت، تابع تولید درجه‌ی دوم، ترانسدنتال^۳ و یا

^۱ Positive Mathematical Programming

^۲ Generalized Leontief production function

^۳ Transcendental production function

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۳۳

ترانسلوگ^۱ باشد، از مرحله دوم به دست می آید. از آنجا که در اغلب بررسی های اولیه در زمینه ی مدل PMP، از تابع هزینه ی متغیر دارای شکل تابعی درجه ی دوم استفاده شده است و همچنین به منظور درک بهتر مدل، در این بخش، مراحل بر پایه ی تابع هزینه توضیح داده خواهد شد. برآورد تابع تولید نیز که مدنظر این پژوهش است، همسان روش بالا است با این تفاوت که در آن عملکرد، تابع نهاده های تولید در نظر گرفته می شود. بر پایه ی آنچه بیان شد، فرض می شود که تابع هزینه ی متغیر دارای شکل تابعی درجه ی دوم، همسان رابطه ی ۸ است (هویت و پاریس، ۱۹۹۸).

$$C^v(x) = d'x + x'Qx/2 \quad (۸)$$

که d بردار $(n \times 1)$ از مشخصه های جزء خطی تابع هزینه، Q ماتریس مثبت، نیمه معین و متقارن با ابعاد $(n \times n)$ از مشخصه های جزء درجه ی دوم تابع هزینه است. همچنین بردار هزینه ی نهایی متغیر (MC^v) مربوط به تابع هزینه ی بالا برابر با مجموع بردار هزینه ی حسابداری c و بردار متغیر دوگان مربوط به محدودیت های واسنجی، به شرح رابطه ی ۹ است.

$$MC^v(x) = \nabla C^v(x) = d + Qx = c + \rho \quad (۹)$$

که در آن $\nabla C^v(x)$ بردار گرادیان $(1 \times n)$ از مشتقات مرتبه اول $C^v(x)$ برای $x = x_0$ است. در گام سوم، تابع هزینه ی غیرخطی برآورد شده در مرحله ی دوم، در تابع هدف مسئله قرار می گیرد و تابع هدف غیرخطی یاد شده در یک مدل برنامه ریزی غیرخطی همراه با دیگر محدودیت ها مورد استفاده قرار می گیرد.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & Z = p'x - \hat{d}' - x\hat{Q}x/2 \\ \text{s.t} \quad & Ax \leq b \quad [\lambda] \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (۱۰)$$

در این رابطه، بردار \hat{d}' و ماتریس \hat{Q} ، مشخصه های واسنجی شده ی تابع هدف غیرخطی را نشان می دهند. اکنون الگوی غیرخطی بالا، به شکلی بهینه، سطوح فعالیت های مشاهده ای در سال پایه و مقادیر دوگان محدودیت های منابع را باز تولید می کند. لذا این الگو، برای همانندسازی تغییرپذیری مشخصه های مطلوب، قابل کاربرد خواهد بود (هویت، ۲۰۰۵). لازم به یادآوری است که در این بررسی، مدل بسط یافته با استفاده از روش بیشینه ی آنتروپی (ME) واسنجی شد. در این مدل، تابع هدف،

^۱ Translog production function

بازده ناخالص سالانه‌ی به‌دست آمده از کل فعالیت‌های زراعی دشت را بیشینه می‌کند. توابع هزینه‌ی به‌کار رفته در تابع هدف به‌صورت مجموع هزینه‌های مربوط به زمین، آب، نیروی کار، کودهای شیمیایی و ماشین‌ها و ادوات کشاورزی هستند. همچنین قیده‌های مدل به‌ترتیب شامل قید منابع آب، سطح زیر کشت، سرمایه، نیروی کار و کودهای شیمیایی هستند. لازم به یادآوری 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 گیاهان زراعی دشت، بیشینه به اندازه‌ی مجموع منابع آب زیرزمینی و سطحی در دسترس است. در دشت مورد نظر رودخانه‌ی دائمی وجود ندارد و درصد عمده‌ی تأمین آب با منابع آب زیرزمینی است و بر همین پایه، محدودیت منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین محدودیت مدل را تشکیل می‌دهد. دیگر قیده‌های 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 نمی‌تواند از کل منابع در دسترس دشت بیشتر باشد. در پایان به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از بسته‌ی نرم‌افزاری GAMS و الگوریتم CONOPT3 استفاده شد و همانندسازی تأثیر تغییر سطح انتشار CO_2 ، دما و بارش بر الگوی کشت، با توجه به کشش‌های محاسباتی در مراحل پیش صورت گرفت. آمار و اطلاعات مربوط به ضریب‌های فنی گیاهان زراعی و نهاده‌ها در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ (معادل با ۲۰۱۳-۲۰۱۲) با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای گردآوری شد. بدین منظور در آغاز، ۴ بخش همدان، لاله‌جین، صالح‌آباد و مرکزی بهار، با توجه به اینکه بین منحنی‌های هم‌دما و هم‌بارش یکسانی قرار گرفته‌اند و دارای شرایط اقلیمی همسانی هستند، به عنوان خوشه‌های اصلی در نظر گرفته شدند. همچنین در مرحله‌ی بعد، روستاهای درون هر خوشه، با توجه به اینکه شرایط خاک و پستی و بلندی (توپوگرافی) یکسانی دارند، خوشه‌بندی شدند. سپس به‌منظور گزینش خوشه‌های مورد بررسی، در دو مرحله از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. در نهایت، آمار و اطلاعات یاد شده، با گزینش نمونه‌ای متشکل از ۳۶۰ کشاورز و تکمیل پرسشنامه و همچنین مراجعه به سازمان‌ها و نهاده‌های مربوطه گردآوری شد.

در مرحله‌ی پایانی، به ارزیابی کاربرد راهبردهای کم‌آبباری و بهبود فناوری‌های آبیاری در بخش کشاورزی دشت همدان - بهار پرداخته شد. بررسی الگوی زراعی این دشت، نشان از این واقعیت دارد که ترکیب زراعی آبی متداول در منطقه به‌طور عمده شامل گیاهان سیب‌زمینی، گندم و یونجه است

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۳۵

که به تنهایی بیش از ۸۶ درصد از کل زراعت آبی منطقه را شامل می‌شوند. اما به دلیل نیاز آبی بالای این گیاهان و با توجه به وضعیت کمبود منابع آب در دشت همدان- بهار، به نظر می‌رسد که در بلندمدت، گزینش گیاهان یاد شده برای کشت در این منطقه، مطلوب نخواهد بود. لذا در این بررسی، سه پیش‌فرض کم‌آبیاری ۳، ۵ و ۱۰ درصد، به‌صورت کاهش در میزان آبیاری در هر هکتار کشت گیاهان زراعی آبربر، همراه با پذیرش کاهش عملکرد آنها، بررسی شد. لازم به یادآوری است که به‌منظور ارزیابی میزان کاهش عملکرد گیاهان در هر پیش‌فرض کم‌آبیاری، از ضریب‌های حساسیت گیاهان نسبت به آب که در نتایج تحقیقات دورنباس و کاسام (۱۹۷۹) محاسبه شده و در نشریه‌ی راهنمای آبیاری و زهکشی FAO,33 با قابلیت تعمیم به مناطق مختلف گزارش شده‌است، استفاده شد. ضریب‌های یاد شده در زمینه‌ی گیاهان زراعی سیب‌زمینی، یونجه و گندم به‌ترتیب برابر ۱/۱، ۱/۱ و ۱/۰۵ گزارش شده‌است. بدیهی است که این میزان‌ها، نمایانگر درصد تغییرپذیری‌های عملکرد گیاهان در نتیجه‌ی ۱ درصد تغییر در میزان مصرف آب در یک هکتار است. از سوی دیگر، بر پایه‌ی مشاهده‌های میدانی در این تحقیق، استفاده از فناوری نوین آبیاری در کشت اغلب گیاهان زراعی منطقه، افزون بر افزایش عملکرد آنها، کاهش مصرف آب در هر هکتار کشت گیاه را فراهم می‌سازد که میزان این کاهش در زمینه‌ی گیاهان آبربر همچون سیب‌زمینی، گندم آبی و یونجه، بسیار قابل توجه است. لذا در این بررسی، چگونگی تغییرپذیری‌های الگوی کشت در نتیجه‌ی استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری در کشت همه‌ی گیاهان زراعی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور میزان استفاده از نهاده‌ی آب در هر هکتار کشت گیاه و نیز عملکرد آن در سامانه‌های نوین آبیاری، در مدل PMP همانندسازی شد و مدل با فرض استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری توسط همه‌ی کشاورزان منطقه اجرا شد.

نتایج و بحث

در گام نخست تحقیق به منظور برآورد حساسیت عملکرد گیاهان 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. نتایج به دست آمده، در جدول ۱ ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می شود حساسیت عملکرد اغلب گیاهان نسبت به انتشار دی اکسید کربن، مثبت و کمتر از ۰/۵ است که این موضوع با نتایج بررسی گیفورد (۱۹۸۸) در زمینه‌ی حساسیت عملکرد گیاهان C_3 نسبت به غلظت CO_2 ، همخوانی کامل دارد. همچنین بنابر نتایج به دست آمده در این تحقیق، در صورت افزایش سطح انتشار دی اکسید کربن به میزان ۱ درصد، عملکرد گندم دیم در حدود ۰/۱۵ درصد افزایش می یابد. پس از عملکرد گندم دیم، عملکرد نخود دارای بیشترین میزان حساسیت نسبت به انتشار CO_2 است. در مورد ذرت علوفه‌ای که یک گیاه C_4 است، عملکرد با افزایش انتشار CO_2 بدون تغییر بوده اما با افزایش دما افزایش خواهد یافت. در گیاهان C_4 بر خلاف گیاهان C_3 ، تنفس نوری صورت نمی گیرد، بنابراین افزایش CO_2 منجر به بهبود عملکرد در این گیاهان نخواهد شد (آتاوانیچ و مک کارل، ۲۰۱۱). از سوی دیگر گیاهان C_4 در دمای بالا نیز دارای عملکرد به نسبت خوبی هستند و لذا افزایش دما منجر به بهبود عملکرد در این گیاهان می شود (نیوتن و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین بنابر نتایج ارائه شده در جدول ۱، همراه با افزایش دما، عملکرد اغلب صیفی ها افزایش می یابد که در این بین بیشترین میزان بهبود عملکرد، در ارتباط با گیاه گوجه فرنگی خواهد بود. در بین گیاهان دیم، دو گیاه عدس و هندوانه دارای حساسیت منفی نسبت به افزایش بارندگی هستند که این موضوع در مغایرت کامل با نتیجه‌ی به دست آمده در زمینه‌ی دیگر گیاهان دیم همچون گندم و جو قرار دارد. لازم به توضیح است که مشخصه‌ی بارندگی، در برخی مناطق تأثیر منفی بر عملکرد گیاهان زراعی داشته است، زیرا در شرایط بارندگی زیاد و افزایش رطوبت و به عبارتی کاهش تشعشع، احتمال بروز آسیب‌ها و زیان‌های ناشی از برخی آفات و بیماری‌ها افزایش می یابد که این موضوع، موجبات کاهش عملکرد در برخی گیاهان را فراهم می سازد (کوکیک و همکاران، ۲۰۰۴). افزون بر این، نبود هماهنگی بین توزیع زمانی بارش و مراحل رشد گیاه در برخی مناطق نیز موجب کاهش عملکرد گیاهان می شود (مساعدی و کاهه، ۱۳۸۷).

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۳۷

جدول (۱) حساسیت عملکرد گیاهان زراعی دشت همدان - بهار نسبت به دما، بارش و CO₂

گیاه	بارش	دما	CO ₂	S($\hat{\rho}$)	گیاه	بارش	دما	CO ₂	S($\hat{\rho}$)
جو آبی	۰/۱۸۰	-۰/۲۱۰	۰/۰۳۹	۰/۰۷	کلزا	-۰/۰۲۶	-۰/۱۷۲	۰/۰۷۳	۰/۱۱
جو دیم	۰/۲۳۴	-۰/۱۶۳	۰/۰۳۰	۰/۰۹	گندم آبی	۰/۰۲۷	-۰/۱۶۷	۰/۰۴۰	۰/۰۷
چغندر قند	-۰/۱۳۲	-۰/۰۵۵	۰/۰۲۰	۰/۰۴	گندم دیم	۰/۲۰۹	-۰/۰۱۵	۰/۱۵۱	۰/۰۸
خیار	-۰/۱۲۲	۰/۱۸۸	۰/۰۱۴	۰/۱۲	گوجه‌فرنگی	-۰/۰۷۵	۰/۲۸۲	۰/۰۱۹	۰/۱۲
ذرت علوفه‌ای	-۰/۰۶۷	۰/۱۶۸	۰/۰۰۰	۰/۱۲	لوبیا	۰/۰۶۵	-۰/۲۸۴	۰/۰۴۰	۰/۱۲
سیب زمینی	۰/۲۵۷	۰/۰۷۹	۰/۰۰۴	۰/۱۵	نخود	۰/۰۶۶	-۰/۳۵۸	۰/۱۰۳	۰/۱۲
سیر	۰/۱۴۴	-۰/۰۱۶	۰/۰۲۸	۰/۰۹	هندوانه	۰/۰۵۷	۰/۲۴۹	۰/۰۳۸	۰/۱۱
عدس دیم	-۰/۰۱۲	-۰/۰۳۸	۰/۰۲۶	۰/۰۹	هندوانه دیم	-۰/۰۴۰	۰/۰۳۴	۰/۰۰۱	۰/۰۹
کدو آجیلی	-۰/۰۲۲	-۰/۲۰۶	۰/۰۰۰	۰/۱۲	یونجه	۰/۱۲۲	-۰/۰۰۱	۰/۱۰۰	۰/۰۳

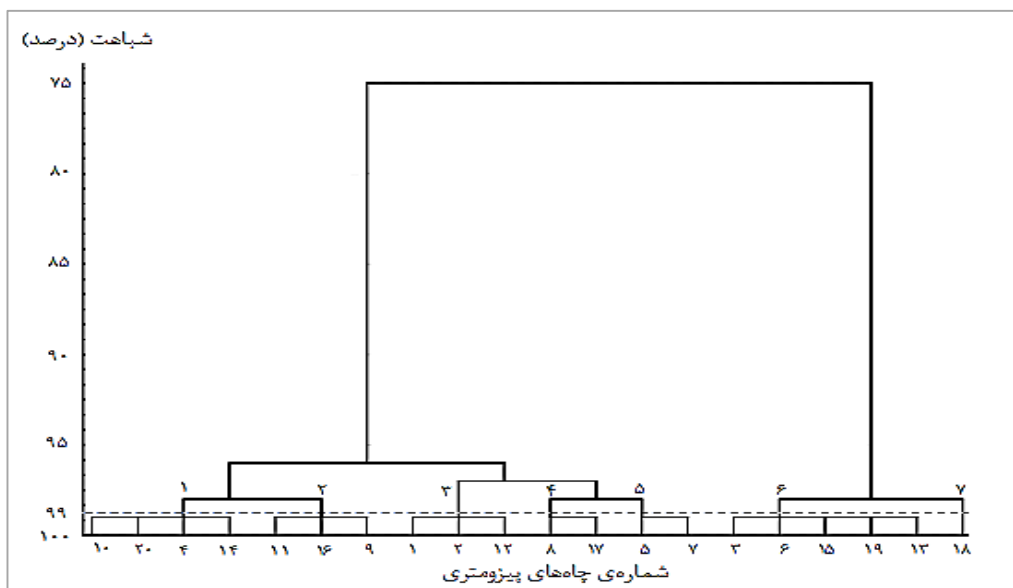
منبع: یافته‌های پژوهش

در گیاهان چغندر قند، کلزا، سیب‌زمینی، هندوانه و کدو آجیلی، عملکرد آنها دارای حساسیت منفی نسبت به افزایش دما و افزایش بارندگی است و لذا چنانچه تغییرپذیری‌های اقلیم در سال‌های آتی به صورت افزایش دما و کاهش بارش رخ دهد، نوسان عملکرد این گیاهان، بر پایه‌ی میزان تغییر هر یک از مشخصه‌های اقلیمی، متفاوت خواهد بود. نتایج همچنین بیانگر آن است که عملکرد گندم آبی، جو آبی، لوبیا، نخود، سیر و یونجه، نسبت به روند کنونی تغییر مشخصه‌های اقلیمی دارای تأثیرپذیری منفی و عملکرد خیار و هندوانه‌ی دیم دارای تأثیرپذیری مثبت است. نتایج به دست آمده از محاسبه‌ی معیار آنتروپی نرمال ($S(\hat{\rho})$) که در آخرین ستون جدول ۱ ارائه شده است نیز بیان می‌دارد که دقت برآورد ضریب‌های مدل واکنش-عملکرد بالا با استفاده از روش GME، در اغلب گیاهان بیش از ۸۵ درصد است.

در مرحله‌ی بعدی تحقیق، به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در نتیجه‌ی تغییر مشخصه‌های اقلیمی پرداخته شد. بدین منظور، در آغاز پیزومترهای برگزیده در سطح دشت، با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل خوشه‌ای، دسته‌بندی و در هر خوشه یک پیزومتر به عنوان نماینده‌ی آن خوشه معرفی شد. در نمودار ۲، درختواره‌ی (دندروگرام^۱) ناشی از تحلیل یاد شده ارائه شده است.

^۱ dendrogram

همان‌طور که در این نمودار ملاحظه می‌شود برای تعیین شمار خوشه‌ها و نیز به دلیل بررسی بیشینه‌ای سطح دشت، سطح همانندی ۹۹ درصدی درون خوشه‌ای، در نظر گرفته شد. بر این پایه پیژومترهای برگزیده، در قالب ۷ خوشه دسته‌بندی شدند و در هر خوشه، پیژومتری که دارای کمترین میزان انحراف‌ها نسبت به میانگین خوشه بود، به عنوان نماینده معرفی شد. به این ترتیب پیژومترهای شماره‌ی ۲، ۵، ۸، ۹، ۱۳، ۱۸ و ۲۰ به عنوان پیژومترهای نماینده، گزینش و در مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی در قالب واحدهای مقطعی بررسی و ارزیابی شدند.



نمودار (۲) درختواره‌ی ناشی از خوشه‌بندی چاه‌های پیژومتری دشت همدان - بهار

در ادامه و پس از گزینش پیژومترهای نماینده، با استفاده از GIS موقعیت مکانی هر یک از پیژومترهای نماینده و نیز ایستگاه‌های هواشناسی موجود در سطح دشت تعیین شد. پس از تعیین واحدهای مقطعی و میزان بارندگی و دماهای کمینه و بیشینه مؤثر بر سطح آب زیرزمینی هر مقطع، به‌منظور برآورد مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی ارائه شده در رابطه‌ی ۳، در آغاز ایستایی متغیرهای مدل بررسی شد که نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های LL، IPS و آزمون فیشر نشان از ایستایی کلیه‌ی متغیرهای مدل دارد. نتایج به‌دست آمده از این بررسی در جدول ۲ ارائه شده‌است.

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۳۹

جدول (۲) نتایج آزمون‌های ایستایی متغیرهای مدل مفهومی آب زیرزمینی

متغیر	آزمون ایستایی	لوین و لین	آیم، پسران و شین	فیشر
سطح آب زیرزمینی	-۵/۹۰ (۰/۰۰)	-۳/۳۵ (۰/۰۰)	۳۶/۶۱ (۰/۰۰)	
بارندگی	-۶/۱۱ (۰/۰۰)	-۴/۱۰ (۰/۰۰)	۴۲/۲۸ (۰/۰۰)	
دمای بیشینه	-۷/۱۶ (۰/۰۰)	-۵/۹۶ (۰/۰۰)	۵۸/۴۱ (۰/۰۰)	
دمای کمینه	-۲/۶۳ (۰/۰۰)	-۱/۵۰ (۰/۰۷)	۲۱/۸۵ (۰/۰۸)	
ارتفاع اولیه	-۲/۶۱ (۰/۰۰)	-۱/۶۸ (۰/۰۵)	۲۲/۲۵ (۰/۰۷)	

* اعداد درون پرانتز بیان گر خطای محاسباتی هستند.

منبع: یافته‌های پژوهش

در ادامه برای بررسی عادی بودن توزیع داده‌ها، از آماره‌ی جارکو- برا استفاده شد که برابری این آماره با میزان ۱/۷ در سطح احتمال معناداری ۰/۴۱، نشان از نبود امکان رد فرضیه‌ی نرمال بودن داده‌ها دارد. همچنین بنابر نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های کائو و پدرونی، وجود یک رابطه‌ی تعادلی بلندمدت بین متغیرها تأیید شد. لذا متغیرهای یاد شده دارای قابلیت برآورد در مدل رگرسیون هستند. در مرحله‌ی بعد برای تشخیص بودن یا نبودن شرایط ناهمسانی واریانس، از آزمون ضریب لاگرانژ (LM) استفاده شد که میزان آماره‌ی این آزمون با درجه‌ی آزادی ۷، بیشتر از مقدار بحرانی جدول در سطح ۱ درصد است و لذا فرضیه‌ی وجود واریانس همسان بین واحدهای مقطعی، رد می‌شود. بنابراین در برآورد مدل، برای رفع ناهمسانی واریانس باید از روش GLS استفاده کرد. در مرحله‌ی بعد، برای گزینش الگوی مناسب داده‌های ترکیبی، از آزمون‌های تشخیصی چاو، هاسمن و ضریب لاگرانژ استفاده شد که بنابر نتایج به‌دست آمده، الگوی اثرگذاری‌های ثابت به عنوان مناسب‌ترین الگو برای برآورد مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی گزینش شد. نتایج به‌دست آمده از این بررسی، در جدول ۳ ارائه شده‌است.

جدول (۳) نتایج آزمون‌های چاو و هاسمن در گزینش الگوی داده‌های ترکیبی

آزمون	آماره	سطح معنی‌داری	نتیجه
چاو	$F_{(74,119)} = 20/04$	۰/۰۱	پذیرش الگوی اثرگذاری‌های
هاسمن	$\chi^2_{(4)} = 18/05$	۰/۰۰	پذیرش الگوی اثرگذاری‌های

منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که ملاحظه می‌شود آماره‌ی آزمون چاو در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است و لذا فرضیه‌ی صفر آزمون مبنی بر نبود معنی‌داری اثرگذاری‌های ثابت، رد و الگوی اثرگذاری‌های ثابت در مقایسه با الگوی اثرگذاری‌های مشترک، به عنوان الگوی مناسب پذیرفته شد. همچنین به دلیل معنی‌داری آماره‌ی آزمون هاسمن، فرضیه‌ی وجود اثرگذاری‌های تصادفی مقطعی، رد و الگوی اثرگذاری‌های ثابت به عنوان مناسب‌ترین الگو برای برآورد مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی گزینش شد. لازم به یادآوری است که با توجه به گزینش الگوی اثرگذاری‌های ثابت در آزمون‌های چاو و هاسمن، نتایج آزمون ضریب لاگرانژ در گزینش الگوی مناسب بی‌تأثیر خواهد بود. بر این پایه، مدل مفهومی آب زیرزمینی معرفی شده در رابطه‌ی ۳، با استفاده از الگوی اثرگذاری‌های ثابت مبتنی بر داده‌های ترکیبی و به شکل لگاریتمی برآورد شد که نتایج به‌دست آمده به شرح جدول ۴ است.

جدول (۴) نتایج به‌دست آمده از برآورد مدل داده‌های ترکیبی با استفاده از الگوی اثرگذاری‌های ثابت

متغیر	ضریب	آماره‌ی t	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	۰/۹۲	۱/۰۲	۰/۳۱
بارندگی	۰/۱۹	۲/۰۹	۰/۰۴
دمای بیشینه	-۰/۳۷	-۱/۷۰	۰/۰۹
دمای کمینه	-۰/۲۵	-۲/۲۶	۰/۰۳
ارتفاع اولیه	۰/۷۰	۷/۵۶	۰/۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

بنابر نتایج بالا، تأثیرپذیری سطح آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در دوره‌ی ۱۳۷۷-۱۳۹۰ نسبت به بارندگی، مثبت و نسبت به دماهای کمینه و بیشینه، منفی بوده‌است. لازم به یادآوری است که در برآورد مدل بالا، مقدار آماره‌ی دوربین واتسون برابر ۱/۹، ضریب تعیین ۰/۹۶ و مقدار خطای برآورد برابر ۰/۱۹ به‌دست آمد که این نتایج گویای عملکرد مناسب مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در منطقه‌ی مورد بررسی است.

در مرحله‌ی بعد به پیش‌بینی مشخصه‌های اقلیمی دشت همدان- بهار با استفاده از مدل مولد هواشناسی LARS-WG، در قالب پیش‌فرض‌های A1B، A2 و B1 در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پرداخته شد و سپس درصد تغییر هر یک از مشخصه‌های اقلیمی در سال‌های یاد شده نسبت به سال ۲۰۱۳ محاسبه شد. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۴۰ نسبت به سال ۲۰۱۳، دما از ۷/۱ تا

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۴۱

۱۰/۵ درصد افزایش و بارندگی از ۴/۴ تا ۷/۱ درصد کاهش خواهد یافت. در مرحله‌ی بعد به‌منظور پیش‌بینی سطح انتشار دی‌اکسید کربن در دشت همدان- بهار، در آغاز حساسیت سطح انتشار CO₂ نسبت به عامل جمعیت در منطقه، با استفاده از برآورد رابطه‌ی ۶ محاسبه شد که کشش یاد شده در حدود ۰/۶ به‌دست آمد. سپس بنابر مقادیر پیش‌بینی شده‌ی جمعیت جهان در پیش‌فرض‌های اقلیمی و نیز با در نظر گرفتن حساسیت سطح انتشار دی‌اکسید کربن در دشت مورد نظر این تحقیق، میزان تغییرپذیری‌های سطح انتشار دی‌اکسید کربن در این دشت در پیش‌فرض‌های A1B، A2 و B1 در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که سطح انتشار CO₂ 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 CO₂ در پیش‌فرض اقلیمی B1 در افق زمانی تحت بررسی رخ خواهد داد.

در پایان، به‌منظور دسترسی به هدف‌های تحقیق، با توجه به حساسیت عملکرد گیاهان نسبت به تغییرپذیری‌های CO₂، دما و بارش و همچنین حساسیت منابع آب زیرزمینی نسبت به متغیرهای اقلیمی، تغییرپذیری‌های عملکرد گیاهان و همچنین تغییرپذیری‌های موجودی منابع آب زیرزمینی دشت در مدل PMP لحاظ شد و پس از اجرای مدل، میزان تغییر در ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی و ارزش اقتصادی نهاده‌ی آب نسبت به سال پایه‌ی ۲۰۱۳ (معادل ۹۲-۱۳۹۱) که بهترین و معتبرترین اطلاعات منطقه‌ی مورد بررسی، مربوط به این سال است، محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده از همانندسازی‌های یاد شده، در قالب پیش‌فرض‌های اقلیمی در جدول ۵ ارائه شده‌است.

جدول (۵) پیش‌بینی تغییرپذیری‌های منابع آب زیرزمینی و ارزش افزوده‌ی کشاورزی دشت همدان- بهار

پیش‌فرض	تغییرپذیری‌های منابع آب زیرزمینی (درصد)			تغییرپذیری‌های ارزش افزوده‌ی کشاورزی (میلیارد ریال)		
	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰
A1B	-۳/۰	-۷/۸	-۱۱/۱	-۳۸	-۹۷	-۱۶۹
A2	-۲/۳	-۶/۰	-۱۰/۲	-۳۲	-۸۳	-۱۳۸
B1	-۲/۰	-۵/۰	-۸/۳	-۲۵	-۷۹	-۱۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

بر این پایه، همراه با افزایش دما و کاهش بارندگی در دشت همدان- بهار، موجودی آب زیرزمینی این دشت تا سال ۲۰۴۰، به طور میانگین در پیش فرض‌های اقلیمی، به میزان ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین در نتیجه‌ی تغییرپذیری‌های دما، بارش و CO₂، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در سال‌های آتی در دشت همدان- بهار کاهش خواهد یافت که میزان زیان یاد شده تا سال ۲۰۴۰ در پیش فرض‌های A1B، A2 و B1 به ترتیب برابر ۱۶۹، ۱۳۸ و ۱۰۰ میلیارد ریال خواهد بود. همچنین بنابر نتایج ارائه شده در جدول ۶، در نتیجه‌ی تغییرپذیری‌های دما، بارش و CO₂، ارزش اقتصادی نهاده‌ی آب در دهه‌های آینده در دشت همدان- بهار افزایش خواهد یافت که درصد افزایش ارزش آن تا سال ۲۰۴۰ در پیش فرض‌های A1B، A2 و B1 به ترتیب برابر ۲۱، ۱۷ و ۱۰ درصد خواهد بود. به عبارت دیگر، 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 CO₂ به ترتیب به میزان ۵/۴، ۱۴/۴ و ۲۲/۲ درصد رخ دهد، ارزش اقتصادی نهاده‌ی آب در تولید گیاهان زراعی دشت در سال‌های یاد شده به ترتیب به میزان ۵، ۱۳ و ۲۱ درصد افزایش خواهد یافت.

جدول (۶) پیش‌بینی درصد تغییر ارزش اقتصادی آب در دشت همدان- بهار

پیش فرض	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰
A1B	۵	۱۳	۲۱
A2	۴	۱۰	۱۷
B1	۲	۸	۱۰

منبع: یافته‌های پژوهش

همچنین چنانچه روند کنونی تغییرپذیری‌های دما، بارش و سطح انتشار CO₂ در منطقه، در سال‌های آتی نیز ادامه یابد، ارزش اقتصادی آب در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ به ترتیب به میزان ۴، ۱۰ و ۱۷ درصد افزایش خواهد یافت. در نهایت، در خوشبینانه‌ترین پیش‌بینی بر پایه‌ی پیش فرض B1، ارزش اقتصادی نهاده‌ی آب در سال‌های آتی مورد بررسی به ترتیب به میزان ۲، ۸ و ۱۰ درصد افزایش خواهد یافت. در پایان، نتایج به دست آمده از اعمال پیش فرض‌های کم‌آبیاری و نیز استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در جدول ۷، درصد تغییرپذیری‌های

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۴۳

شاخص‌های اقتصادی دشت در سال ۲۰۴۰ نسبت به سال ۲۰۱۳، به تفکیک پیش‌فرض‌های کم آبیاری ارائه شده است.

جدول (۷) درصد تغییر پذیری‌های سود ناخالص و ارزش اقتصادی آب در سال ۲۰۴۰ نسبت به سال ۲۰۱۳

سود ناخالص	ارزش اقتصادی آب	متغیر اقتصادی پیش‌فرض
-۵	۱۶	بدون اعمال کم آبیاری
-۳/۶	۱۳	۳ درصد کم آبیاری
-۴	۱۱	۵ درصد کم آبیاری
-۱۰/۵	۶	۱۰ درصد کم آبیاری

منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با اعمال پیش‌فرض‌های کم آبیاری، ارزش اقتصادی آب در سال ۲۰۴۰ نسبت به سال ۲۰۱۳، از ۶ تا ۱۳ درصد افزایش و بازده ناخالص از ۳/۶ تا ۱۰/۵ درصد کاهش خواهد یافت. این در حالی است که بدون داشتن راهبرد کم آبیاری، ارزش اقتصادی آب به میزان ۱۶ درصد افزایش و بازده ناخالص به میزان ۵ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین در جدول ۸، درصد تغییر ارزش اقتصادی آب در دشت همدان- بهار نسبت به سال ۲۰۱۳، در شرایطی که کلیه کشاورزان منطقه از فناوری‌های نوین آبیاری در کشت گیاهان زراعی استفاده کنند، در پیش‌فرض‌های اقلیمی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پس از بهبود فناوری آبیاری مورد استفاده توسط کشاورزان منطقه، درصد افزایش ارزش اقتصادی آب، در میانگین پیش‌فرض‌های اقلیمی، در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ به ترتیب برابر ۰/۹، ۴/۷ و ۱۰ درصد خواهد بود. لازم به توضیح است که ارقام یاد شده از محاسبه‌ی میزان میانگین هر ستون از جدول ۸ به دست آمده‌اند.

جدول (۸) درصد تغییر ارزش اقتصادی آب در پیش‌فرض‌های اقلیمی پس از بهبود فناوری آبیاری

پیش‌فرض	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰
A1B	۲	۸	۱۶
A2	۰/۷	۳	۸
B1	۰	۳	۶

منبع: یافته‌های پژوهش

از سوی دیگر، بنابر نتایج ارائه شده در جدول ۶، در شرایط نبود بهبود فناوری آبیاری مورد استفاده در منطقه نسبت به شرایط کنونی، میزان افزایش ارزش اقتصادی آب، در میانگین پیش‌فرض‌های اقلیمی، در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ به ترتیب برابر ۳/۶، ۱۰/۳ و ۱۶ درصد خواهد بود. بنابراین با توجه به دستیابی به نتایج بالا، می‌توان دریافت که گرایش کشاورزان به روش‌های نوین آبیاری، در کاهش کمیابی منابع آبی منطقه سودمند خواهد بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش، با هدف تجزیه و تحلیل راهبرد کم‌آبیاری و نیز بهبود فناوری آبیاری به‌عنوان راه‌کارهایی عملی برای کاهش اثرگذاری‌های زیانبار تغییرپذیری‌های اقلیم در بخش کشاورزی دشت همدان - بهار طرح‌ریزی شد. بدین منظور با استفاده از تلفیق مدل‌های اقتصادی، فیزیولوژی، آب‌شناسی و هواشناسی، در آغاز به پیش‌بینی تغییرپذیری‌های الگوی کشت منطقه در قالب پیش‌فرض‌های اقلیمی پرداخته شد و سپس نتایج ناشی از داشتن راهبردهای کم‌آبیاری و استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری در بخش کشاورزی منطقه مورد بحث قرار گرفت. نتایج تحقیق ناظر بر این واقعیت است که اگرچه با افزایش سطح انتشار دی‌اکسید کربن در منطقه، عملکرد گیاهان زراعی تا حدودی بهبود می‌یابد اما این میزان بهبود در عملکرد، توانمندی لازم برای جبران زیان ناشی از افزایش دما و کاهش بارندگی را ندارد و لذا در نتیجه‌ی تغییرپذیری‌های اقلیمی یاد شده، عملکرد اغلب گیاهان در این دشت کاهش خواهد یافت. همچنین منابع آب زیرزمینی دشت دارای تأثیرپذیری منفی نسبت به کاهش بارندگی و افزایش دما هستند و لذا تغییرپذیری‌های اقلیمی دشت در دهه‌های آینده موجب کاهش منابع آب در منطقه خواهد شد. همچنین نتایج ناشی از تحلیل اقتصادی تغییرپذیری‌های یاد شده، نشان از کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه و افزایش ارزش اقتصادی تغییرپذیری‌های یاد شده، نشان از منطقه در سال‌های آتی دارد. به عبارت دیگر، در بدبینانه‌ترین پیش‌بینی، 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 دی‌اکسید کربن به میزان ۱۲/۲ درصد افزایش یابد، افزون بر کاهش عملکرد اغلب گیاهان زراعی منطقه، موجودی آب زیرزمینی دشت در حدود ۱۱ درصد کاهش خواهد یافت که تغییرپذیری‌های یاد شده، موجبات کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی دشت، به میزان ۱۶۹ میلیارد ریال را فراهم می‌سازند و لذا این ارزش، از میزان ۵۶۹۴ میلیارد ریال در سال ۲۰۱۳، به‌میزان

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۴۵

۵۵۲۵ میلیارد ریال در سال ۲۰۴۰ تنزل می‌یابد. همچنین در نتیجه‌ی تغییرپذیری‌های یاد شده، ارزش اقتصادی نهاده‌ی آب در تولیدات کشاورزی این دشت، به‌میزان ۲۱ درصد افزایش خواهد یافت و از میزان ۲۵۵۴ ریال در سال ۲۰۱۳، به‌میزان ۳۰۹۰ ریال در سال ۲۰۴۰ افزایش می‌یابد. لذا می‌توان دریافت که رخدادهای این شرایط اقلیمی، موجب کاهش میزان آب تخصیص‌یافته به فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می‌شود و کشاورزان منطقه، در دهه‌های آینده با چالش کمبود منابع آب روبه‌رو خواهند شد. در چنین شرایطی، به‌کارگیری راهبردهای هماهنگ و سازگار با تغییرپذیری‌های آب و هوایی در بخش کشاورزی، نقش مؤثری در کاهش زیان‌های احتمالی این رخدادهای آب و هوا دارد. بر این پایه، نتایج به‌دست آمده از اعمال پیش‌فرض‌های کم‌آبیاری بر الگوی کشت منطقه نشان داد که کمترین میزان افزایش در ارزش اقتصادی آب، در پیش‌فرض ۱۰ درصد کم‌آبیاری رخ خواهد داد. اما در این پیش‌فرض، میزان کاهش سود ناخالص برابر ۱۰/۵ درصد خواهد بود که بیش از میزان کاهش سود ناخالص بدون اعمال پیش‌فرض کم‌آبیاری است. لذا این پیش‌فرض، بهینه نیست و به‌عنوان یک راه‌کار سازگار و هماهنگ توصیه نمی‌شود. همچنین میزان کاهش در سود در پیش‌فرض‌های ۳ و ۵ درصد کم‌آبیاری، به‌ترتیب برابر ۳/۶ و ۴ درصد خواهد بود که در هر دو حالت، میزان کاهش سود کمتر از حالت بدون اعمال سیاست کم‌آبیاری است. اما در پیش‌فرض ۵ درصد کم‌آبیاری، ارزش اقتصادی آب به‌میزان کمتری افزایش می‌یابد، بنابراین در نهایت، پیش‌فرض ۵ درصد کم‌آبیاری به‌عنوان یک راه‌کار بهینه در سازگاری با تغییرپذیری‌های آب و هوایی در منطقه‌ی دشت همدان-بهار پیشنهاد می‌شود. افزون بر این، نتایج تحقیق نشان داد که در صورت گرایش همه‌ی کشاورزان دشت به سامانه‌های نوین آبیاری، ارزش اقتصادی آب در سال ۲۰۴۰ نسبت به سال ۲۰۱۳، در میانگین پیش‌فرض‌های اقلیمی به‌میزان ۸ درصد افزایش خواهد یافت. این در حالی است که در شرایط بهبود نیافتن فناوری‌های آبیاری مورد استفاده در منطقه نسبت به شرایط کنونی، میزان افزایش ارزش اقتصادی آب، در میانگین پیش‌فرض‌های اقلیمی در سال ۲۰۴۰، برابر ۱۶ درصد خواهد بود. لذا در صورت توسعه‌ی سامانه‌های آبیاری تحت فشار (قطره‌ای و بارانی) در دشت همدان-بهار، کمبود منابع آب در این دشت تا سال ۲۰۴۰ به‌میزان ۵۰ درصد جبران خواهد شد. بر این پایه پیشنهاد می‌شود که در سال‌های آتی به‌منظور هماهنگی و سازگاری با تغییرپذیری‌های اقلیمی،

سامانه‌های نوین آبیاری توسط کشاورزان منطقه‌ی دشت همدان- بهار، با اعمال نظارت‌های فنی کارشناسان مرتبط، مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

- بهبودی، د. فلاحی، ف. و برقی گل‌عدانی، ا. (۱۳۸۹) عوامل اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر انتشار سرانه‌ی دی‌اکسید کربن در ایران (۱۳۸۳-۱۳۴۶). *مجله‌ی تحقیقات اقتصادی*. ۹۰: ۱۷-۱.
- 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*. (۱)۴۴: ۱۶-۱.
- خلیلی‌ا قدم، 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): ۱۲۲-۱۵.
- خواجه روشنایی، ن. دانشور کاخکی، م. و محتشمی برزادران، غ. (۱۳۸۹) تعیین ارزش اقتصادی آب در روش تابع تولید، با به‌کارگیری مدل‌های کلاسیک و آنتروپی (مطالعه‌ی موردی: محصول گندم در شهرستان مشهد). *نشریه‌ی اقتصاد و توسعه کشاورزی*. (۱)۲۴: ۱۱۹-۱۱۳.
- سلطانی، ش. و موسوی، س. ح. (۱۳۹۴) ارزیابی آثار بالقوه‌ی تغییرات اقلیم بر عملکرد و ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در دشت همدان- بهار. *مجله‌ی اقتصاد کشاورزی*. (۱)۹: ۱۱۵-۹۵.
- شمس‌الدینی، ا. محمدی، ح. و دهقان‌پور، ح. (۱۳۹۲) انتخاب الگوی زراعی مناسب در راستای استفاده‌ی پایدار از منابع آب با تأکید بر کم‌آبیاری: مطالعه موردی شهرستان سپیدان. *فصلنامه‌ی اقتصاد کشاورزی و توسعه*. ۸۴: ۷۸-۵۳.
- شیروانیان، ع. حقیقت‌نیا، ح. و مهرجو، س. (۱۳۹۳) تعیین آستانه‌ی اقتصادی کم‌آبیاری پنبه در شهرستان داراب. *مجله‌ی اقتصاد و توسعه کشاورزی*. (۴)۲۸: ۳۲۱-۳۱۲.
- صبوحی، م. سلطانی، غ. زیبایی، م. و ترکمانی، ج. (۱۳۸۵) تعیین راهبردهای مناسب کم‌آبیاری با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی. *مجله‌ی اقتصاد کشاورزی و توسعه*. ۱۴(۵۶): ۲۰۲-۱۶۷.
- 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*. (۷۶)۱۹: ۱۴۳-۱۶۶.
- کرباسی، ع. (۱۳۸۰) تحلیل اقتصادی طرح توسعه‌ی آبیاری تحت فشار در استان خراسان. *مجله‌ی اقتصاد کشاورزی و توسعه*. ۳۶: ۱۱۲-۹۱.

کم آبیاری و بهبود فناوری آبیاری...۱۴۷

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

موسوی، س. ح. خلیلیان، ص. و وکیل‌پور، م. ح. (۱۳۸۶) اثر استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت فشار بر کارایی فنی تولیدکنندگان محصول سیب‌زمینی (مطالعه موردی شهرستان شهرکرد). *فصلنامه‌ی پژوهش و سازندگی*. ۱۷۸-۱۷۲: ۷۶.

نیکویی، ع. و زیبایی، م. (۱۳۸۸) سامانه حمایت تصمیم در مدیریت بحران منابع آب کشاورزی با تأکید بر کم‌آبیاری: مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی آبخیز زاینده‌رود. *ششمین کنفرانس دوسالانه‌ی اقتصاد کشاورزی ایران، کرج، انجمن اقتصاد کشاورزی ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران*.

نیوتن، پ. ادوارد، 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.

Alizadeh, A. and Keshavarz, A. (2005) Status of agricultural water use in Iran. *Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of an Iranian-American Workshop, Tunisia: 94-105*.

Allen, D. M., Schuurman, N. and Zhang, Q. (2007) Using fuzzy logic for modeling aquifer architecture. *Journal of Geographical System, 9: 289-310*.

Attavanich, W. and McCarl, B. A. (2011) The effect of climate change, CO₂ 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*.

Baltagi, B. (2005) *Econometric analysis of panel data; 3rd edition. John Willey & Sons Press, New York*.

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*.

Cetin, B., Yazgan, S. and Tipi, T. (2004) Economic of drip irrigation of olives in Turkey. *Agricultural Water Management, 66: 145-151*.

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

Connor, J. D., Schwabe, K., King, D. & Knapp, K. (2012) Irrigated agriculture and climate change: The influence of water supply variability and salinity on adaption. *Ecological Economics, 77: 149-157*.

Coppola, J. M., Szidarovszky, F., Poulton, M. & Charles, E. (2003) Artificial neural network approach for predicting transient water levels in a multi layered

- groundwater system under variable state, pumping and climate conditions. *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(6): 348-360.
- Costello, C. J., Deschenes, O. & Kolstad, C. D. (2009) Economic impact of climate change on California agriculture. Climate action team report. California Energy Commission. Available at <http://www.energy.ca.gov/2009publications/CEC-500-2009-043/CEC-500-2009-043-F.PDF>.
- Csbas, J., Weersink, A. and Olale, E. (2010) Crop yield response to economic, site and climatic variables. *Climatic Change*, 101: 599-616.
- Daliakopoulos, I. N., Coulibaly, P. & Tsanis, I. K. (2005) Groundwater level forecasting using artificial neural network. *Journal of Hydrology*, 309(4): 229-240.
- David, W. S. (1997) Cluster analysis: multivariate statistics, concepts, models and applications; 2nd edition. Missouri State University, Stockburger.
- Doorenbos, J. & Kassam, A. H. (1979) Yield response to water. *FAO Irrigation and Drain Paper No.33, FAO, Rome, Italy*.
- Du, T., Kang, Sh., Zhang, J. and Davies, W. J. (2015) Deficit irrigation and sustainable water resource strategies in agriculture for China's food security. *Journal of Experimental Botany*, 66(8): 2253-2269.
- Feddes, R. A., Kabat, P., Van Bakel, P. J. T., Bronswijk, J. J. B. and Halbertsma, J. (1988) Modeling soil water dynamics in the unsaturated zone-State of the art. *Journal of Hydrology*, 100: 69-111.
- Frenck, G., Linden, L., Mikkelsen, T. N., Brix, H. and Jorgensen, R. B. (2011) Increased [CO₂] does not compensate for negative effects on yield caused by higher temperature and [O₃] 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.
- Greene, W. H. (2003) *Econometric analysis*; 3rd edition. Prentice Hall, New Jersey.
- Howitt, R. E. (2005) *Agricultural and environmental policy models: Calibration, estimation and optimization*. Unpublished, available at www.ageecon.ucdavis.edu.
- 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.
- Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ghahraman, B., Sadeghi, M. and Moghaddamnia, A. (2012) Application of panel-data modeling to predict groundwater levels in the Neishaboor plain, Iran. *Hydrogeology Journal*, 20: 435-447.

- 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.
- Lamaddalena, N. and Sagardoy, J. A. (2000) Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems (No. 59). Food & Agriculture Org.
- 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.
- Mushtaq, Sh. and Moghaddasi, M. (2011) Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand. *Environmental Science & Policy*, 14(8): 1139-1150.
- Paris, Q. & Howitt, R. E. (1998) An analysis of ill-posed production problems using maximum entropy. *American Journal of Agricultural Economics*, 80(1): 124-138.
- Tankersley, C. D., Graham, W. D. and Haltfield, K. (1993) Comparison of uni-variate and transfer function models of groundwater fluctuations. *Water Resources Research*, 29(10): 2517-3533.
- 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.
- Ward, J. H. (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58: 236-244.
- Warrick, R. A., Gifford, R. M. and Parry, M. L. (1986) CO₂, 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.
- Yazdani, S. and Haghsheno, M. (2008) Drought management and recommended solution on how to deal with drought. *Journal of agriculture and Environment Science*, 2: 64-68.
- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hasanzadeh, Y. and Kanani, R. (2011) Impact of climate change on runoff in east Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78(3): 137-146.