

بررسی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عرضه و تقاضای آب آبیاری
در حوزه‌های آبخیز استان قزوین
ابوذر پرهیزکاری

دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صفحات ۱ - ۱۵

Vol. 3(1), Spring 2017, 1 - 15

**Investigating the Effects of Greenhouse
Gases Emission on Supply and Demand of
Irrigation Water in Watersheds of Qazvin
Province**

Parhizkari A.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع به این مقاله: پرهیزکاری ا. (۱۳۹۶). بررسی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عرضه و تقاضای آب آبیاری در حوزه‌های آبخیز استان قزوین. محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۳، شماره ۱، صفحات: ۱ - ۱۵

How to cite this paper: Parhizkari A. (2017). Investigating the effects of greenhouse gases emission on supply and demand of irrigation water in watersheds of Qazvin Province. J. Environ. Water Eng., 3(1), 1-15

بررسی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عرضه و تقاضای آب آبیاری در حوزه‌های آبخیز استان قزوین

ابوذر پرهیزکاری^{*۱}

^۱ دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران، محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین و عضو بنیاد ملی نخبگان

*نویسنده مسئول: Abozar.parihikari@yahoo.com

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۰۷/۱۵]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۱۰/۳۰]

چکیده

انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای از جمله عواملی است که طی دهه‌های اخیر بر سرعت به‌وجود آمدن پدیده تغییر اقلیم تأثیر گذاشته است. در مطالعه حاضر ابتدا با بهره‌گیری از داده‌های سری زمانی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۵ و مدل شبیه‌سازی RCM-PRECIS اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت سناریوهای مختلف در حوزه‌های آبخیز استان قزوین بررسی شد. سپس، جهت بررسی میزان اثرگذاری متغیرهای دما و بارش بر عملکرد محصولات منتخب از روش حداقل مربعات معمولی (OLS) و تحلیل‌های رگرسیونی استفاده شد. در ادامه با لحاظ نمودن نتایج تحلیل رگرسیونی در مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، میزان تغییرات به‌وجود آمده در عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات بخش کشاورزی در حوزه‌های آبخیز استان قزوین بررسی شد. نتایج نشان داد که انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای A، B و C، متغیرهای اقلیمی دما و بارش را به میزان ۰/۴۳ تا ۱/۲۷ درجه سلیسیوس و ۱۴/۱- تا ۱/۳۱ میلی‌متر متأثر می‌سازد. این امر عملکرد محصولات منتخب را در سطح حوزه‌های آبخیز استان قزوین تغییر می‌دهد. با تغییر در عملکرد، سطح زیر کشت محصولات زراعی از ۱۰/۵۱- تا ۳/۱۷ درصد، میزان عرضه آب آبیاری از ۱۰/۴- تا ۱/۶۴ درصد و میزان تقاضای آب آبیاری از ۱/۶۰ تا ۷/۳۵ درصد تغییر می‌کند. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین کاهش شکاف بین عرضه و تقاضای آب آبیاری در حوزه‌های آبخیز خررود و شاهرود به میزان ۹/۲۰ و ۱/۸۲ درصد حاصل می‌شود. با برآورد شکاف بین عرضه و تقاضای آب آبیاری می‌توان تصمیمات درخور و مناسبی را جهت پایداری منابع آب در سطح حوزه‌های آبخیز استان قزوین اتخاذ نمود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی مثبت؛ تقاضای آب؛ گازهای گلخانه‌ای؛ مدل گردش عمومی؛ قزوین.

۱- مقدمه

انتشار گازهای گلخانه‌ای از مهم‌ترین عواملی است که سبب به‌وجود آمدن پدیده تغییر اقلیم طی دهه‌های اخیر شده است. گازهای گلخانه‌ای با صعود به جو زمین و نگه‌داشتن مقدار زیادی از انرژی خورشیدی در خود منجر به گرم شدن کره زمین و جو اطراف آن شده‌اند. اگرچه مقدار اندکی از این گازها به‌طور طبیعی در جو زمین وجود دارد، اما فعالیت‌های بشر و آلودگی‌های ناشی از این فعالیت‌ها مقدار گازهای مذکور را به‌طور غیرطبیعی افزایش داده و در نتیجه، گرمای ناشی از تابش اشعه خورشید در جو زمین محبوس و سبب افزایش دمای کره زمین شده است. گرم شدن دمای هوا نیز منجر به کاهش میزان بارش باران، افزایش تبخیر و تعرق، تغییر جهت وزش باد، افزایش وقوع خشک‌سالی، افزایش مناطق بیابانی و تغییر در حجم منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است (Angel 2008; Cacho et al. 2008). بر اساس گزارش‌ها^۱ IPCC با اطمینان بالا می‌توان گفت که تغییر اقلیم طی دهه‌های اخیر اثرات زیادی بر روی سیستم‌های فیزیکی و بیولوژیکی داشته است. پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط بسیاری از مدل‌های گردش عمومی حاکی از افزایش تعداد و مقدار وقایع اقلیمی بزرگ و تغییرات بارش در مناطق مختلف دنیا می‌باشد که این مسأله پایداری منابع آب را در آینده متأثر خواهد کرد (Vaseghi and Esmaili 2008; Sanikhani et al. 2013).

طی سال‌های اخیر، در ارتباط با اثرات تغییرات اقلیم و انتشار گازهای گلخانه‌ای تحقیقات داخلی و خارجی متعددی صورت گرفته است. در داخل کشور، (Alizade and Kamali 2005) به بررسی اثرات تغییر اقلیم برافزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت افزایش دمای هوا به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد نیاز خالص آبیاری با الگوی کشت کنونی ۶ درصد نسبت به وضعیت نرمال افزایش خواهد یافت. (Shakiba et al. 2009) به بررسی اثرات احتمالی تغییر اقلیم و میزان تأثیر تغییرات بارندگی بر حوزه آبخیز جاجرود پرداختند. نتایج، وجود دوره‌های کم‌آبی و پرآبی را در منطقه مطالعاتی نشان داد. با این تفاوت که فاصله زمانی حاکمیت دوره‌های کم‌آبی نسبت به دوره‌های پرآبی بیشتر بوده است. (Ababayi et al. 2011) با استفاده از مدل گردش عمومی، پارامترهای اقلیمی منطقه روددشت اصفهان را تحت سناریوهای تغییر اقلیم A₂ (۸۵۷ ppm) غلظت CO₂ و افزایش دمای ۳/۸ درجه) و B₁ (۵۳۸ ppm غلظت CO₂ و افزایش دمای ۲ درجه) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین بارش سالانه در منطقه در طول دوره رشد گیاه و متوسط دمای روزانه تحت هر دو سناریوی تغییر اقلیم افزایش می‌یابد. (Poormohammadi and Malekinezhad 2014) با استفاده از تکنیک گشتاور خطی به طبقه‌بندی مناطق همگن اقلیمی کشور تحت تأثیر گازهای گلخانه‌ای پرداختند. نتایج، نقش اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیم را بر جداسازی مناطق همگن کشور طی دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوهای مختلف نشان داد. (Mohammadi Ghalehi et al. 2015) به‌منظور ارزیابی اثرات عوامل اقلیمی بر افت منابع آب زیرزمینی دشت ساوه از شاخص بارش استاندارد شده SPI استفاده کردند. نتایج آن‌ها روند افزایشی بارش و روند کاهش دبی رودخانه‌های قره‌چای و مزلقان را در منطقه نشان داد. در خارج از کشور نیز، (Zmudzka 2004) پیامدهای تغییرات اقلیم را با تأکید بر دوران نامطلوب تولید کشاورزی در کشور لهستان طی سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۰۰ بررسی کرد. نتایج نشان داد که درجه حرارت بالای تابستان به همراه بارندگی نامناسب موجب بروز دوره‌های خشک و همچنین، خشکسالی‌های متوالی طی دو دهه آخر قرن بیستم شده و این امر باعث کاهش دوره رشد و در نتیجه کاهش میزان تولید غلات شده است. (Marco and Tanssen 2004) اثر فعالیت‌های اقتصادی را بر روی افزایش گازهای گلخانه‌ای که باعث تغییرات اقلیم می‌شوند، با استفاده از مدل‌های پیچیده زیست‌محیطی بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی غیرخطی برای پیدا کردن مقادیر بهینه مصرف کل در آینده با توجه به محدودیت‌های خاص زیست‌محیطی، برای کنترل مستمر و پویای این عوامل مناسب می‌باشند. (Connor et al. 2008) با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی به تخمین اثر تغییرات اقلیمی بر آبیاری حوزه پایین ماری استرالیا پرداختند. نتایج نشان داد که در سناریوهای تغییر اقلیم شدیدتر، هزینه‌های بیشتری برآورد شده و تغییر از کشت محصولات سالیانه به دائمی در این حالت سودمندتر خواهد بود.

¹- International Panel on Climate Change

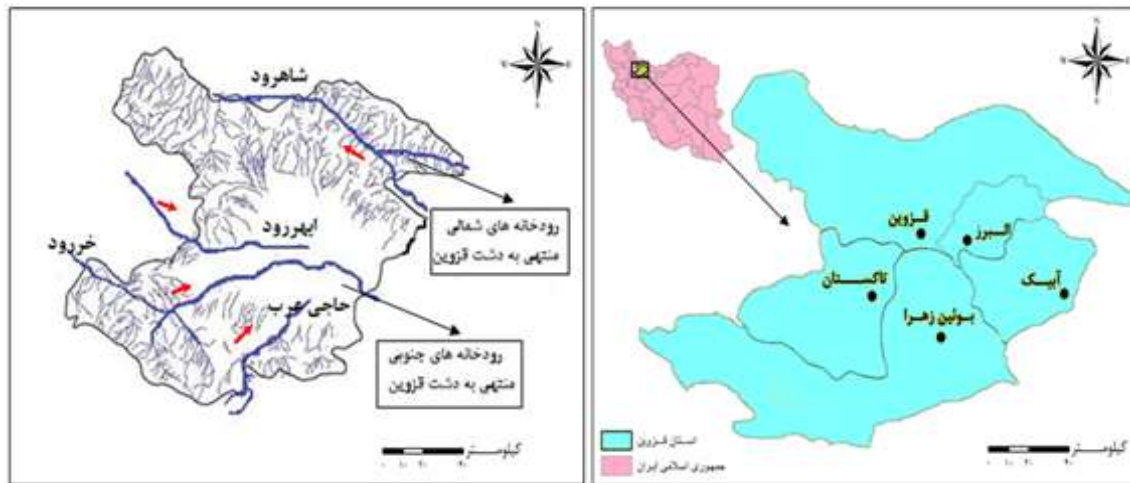
Sanchis and Feijoo-Bello (2009) پدیده تغییر اقلیم و اثرات نهایی آن را بر بخش کشاورزی اروپا، با بهره‌گیری از الگوی تصمیم‌گیری چند معیاره موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اثرات تغییر اقلیم نه تنها از نظر اقتصادی و محیطی سطح زیر کشت محصولات را کاهش داده، بلکه به لحاظ اجتماعی نیز باعث بیکاری در بخش کشاورزی شده است. Jung and Chang (2013) در مطالعه‌ای به ارزیابی روندهای رواناب آینده تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در حوزه رودخانه ویلامت اورگان آمریکا پرداختند. نتایج، روندهای منفی در رواناب بهار و تابستان و روندهای مثبت در رواناب پاییز و زمستان را برای دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۴۷۸ نشان داد.

علاوه بر تشدید عوامل مؤثر بر تغییر اقلیم و انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای، عدم شناخت و درک صحیح از میزان آسیب‌پذیری آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز باعث بروز سهل‌انگاری‌های زیادی در استفاده از این منابع در کشور شده است (Falsafizade and Sabouhi 2011). دشت قزوین نیز به‌عنوان یکی از دشت‌های مستعد کشور در تولید محصولات کشاورزی، از این امر مستثنی نبوده و همانند بسیاری از دشت‌های کشور بیلان آب زیرزمینی در آن منفی است. سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی این دشت صورت می‌پذیرد (Parhizkari and Sabuhi 2013). استفاده از آب‌های سطحی در این دشت به‌صورت فصلی بوده و در فصول گرم سال که کمبود آب برای آبیاری وجود دارد، آب موردنیاز از طریق چاه‌های حفرشده تأمین می‌گردد. این عامل باعث کاهش سالیانه ۱/۶ متر سفره‌های آب زیرزمینی و نشست زمین در حدود ۲۵ سانتی‌متر شده است (Parhizkari 2013). علاوه بر موارد فوق، استان قزوین به علت هم‌جواری با پایتخت، قرارگرفتن در محور مواصلاتی چندین استان مجاور، دارا بودن بیش از پانزده شهرک صنعتی فعال، نیروگاه تولید برق شهیدرجایی و تعداد بی‌شماری معادن و منابع در حال بهره‌برداری، استعداد بالایی را در تولید گازهای گلخانه‌ای دارد (Department of Energy 2014). ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیم بر وضعیت منابع آب و تولیدات کشاورزی امری ضروری و حائز اهمیت است. به همین منظور، هدف اصلی این تحقیق ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیم بر عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی در حوزه‌های آبخیز استان قزوین می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوضه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومترمربع قرار دارد. از شمال با استان‌های مازندران و گیلان، از غرب با استان‌های همدان و زنجان، از جنوب با استان مرکزی و از شرق با استان تهران هم‌جوار است. به علت موقعیت منحصر به فرد دشت قزوین یکی از مناطق مستعد کشور برای تولید محصولات کشاورزی است. مساحت این دشت حدود ۴۵۰ هزار هکتار و میانگین بارش باران در آن ۲۳۴/۱ میلی‌متر است که حدود ۸ درصد کمتر از متوسط بارندگی در کشور می‌باشد (Sabouhi and Parhizkari 2013). آب‌های سطحی در این استان در دو حوزه آبخیز شمالی (حوضه سفیدرود) و جنوبی (حوزه رود شور) جاری می‌باشند. حوزه آبخیز شمالی شامل رودخانه‌های طالقان رود و الموت رود است که باهم شاهرود را تشکیل می‌دهند. این حوضه با میانگین آورد سالانه ۷۵۰ میلیون مترمکعب در شهر لوشان از استان قزوین خارج می‌شود. حوزه آبخیز جنوبی نیز شامل رودخانه‌های حاجی عرب، خر رود، ابهر رود و رودخانه‌های کوچک دامنه‌های جنوبی البرز می‌باشد. شکل (۱) جریان‌ات آب سطحی را در منطقه نشان می‌دهد. این حوضه با میانگین آورد سالانه ۱۶ میلیون مترمکعب در رودخانه حاجی عرب، ۲۶ میلیون مترمکعب در رودخانه خررود، ۳۳ میلیون مترمکعب در رودخانه ابهررود و ۲۵۰ میلیون مترمکعب در رودخانه‌های فصلی و کوچک دامنه جنوبی البرز، به‌طور کلی حدود ۳۵۰ میلیون مترمکعب آب سطحی را به مناطق کشاورزی منتهی به جنوب دشت قزوین وارد می‌کند (Parhizkari 2013).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و جریانات آب سطحی در آن

۲-۲- مدل شبیه‌سازی RCM-PRECIS

امروزه مدل‌های زیادی برای تعیین کمی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم با استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی^۱ (GCM) مورد استفاده قرار می‌گیرند. درحالی‌که شفافیت مکانی مناسبی بین نتایج مدل‌های گردش عمومی و داده‌های مورد نیاز برای مدل‌های هیدرولوژیکی وجود نداشته و این مسئله همواره به‌عنوان یک چالش مطرح بوده است. جهت فائق آمدن بر مشکلات فوق، مدل‌های اقلیم ناحیه‌ای^۲ (RCM) توسعه داده شده‌اند (Shakiba et al. 2009). مدل‌های RCM ابزارهای مناسبی برای سنجش اثرات تغییر اقلیم و مقیاس‌گذاری روابط بین انتشار گازهای گلخانه‌ای و متغیرهای اقلیمی از جمله دما، بارش و تابش می‌باشند. این مدل‌ها را "مدل‌های منطقه‌ای محدود" نیز می‌نامند که سطح معینی را تحت پوشش خود قرار داده و تحلیل آماری حاصل از آن‌ها برای فاصله ۵۰ کیلومتری منطقه مورد بررسی (منطقه نمونه) از اعتبار بالایی برخوردار می‌باشد (Jones et al. 2004). از جمله مهم‌ترین این مدل‌ها که هزینه‌های محاسباتی کمی را نیز دارا می‌باشد، مدل RCM-PRECIS است. این مدل که ابتدا توسط Georgi and Hewitson (2001) توسعه یافت، ترکیبی از مدل‌های اقلیم ناحیه‌ای و مطالعات آب‌وهوای منطقه‌ای است که در هر نقطه از جهان قابلیت استفاده دارد. تحلیل در این مدل بر اساس حجم گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در سطح بین زمین و اتمسفر صورت می‌گیرد. در واقع، این مدل قابلیت سنجش میزان متغیرهای اقلیمی (دما و بارش، تابش و...) را برحسب غلظت گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته در جو پیرامون زمین دارا می‌باشد (Islam et al. 2009). امروزه با پیدایش و توسعه مدل RCM-PRECIS، تحلیل اثرات تغییر اقلیم و عوامل ایجادکننده آن بر مدیریت منابع آب و تولید بخش کشاورزی بیش از گذشته اهمیت پیدا کرده است (Jones et al. 2004). در مطالعه حاضر، با بهره‌گیری از مدل تخصصی RCM-PRECIS بررسی میزان اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای اقلیمی دما و بارش در هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین بر اساس سه سناریوی A (انتشار سریع گازهای گلخانه‌ای در جو زمین، غلظت بیشتر از ۴۸۰ ppm)، B (انتشار متوسط و رو به بالای گازهای گلخانه‌ای، غلظت بین ۳۵۰-۴۸۰ ppm) و C (انتشار متوسط و رو به پایین گازهای گلخانه‌ای، غلظت کمتر از ۳۵۰ ppm) صورت گرفت.

1- General Circulation Models

2- Regional Climate Models

۳-۲- تحلیل رگرسیونی با روش حداقل مربعات معمولی

در این مرحله، با به‌کارگیری روش حداقل مربعات معمولی (OLS) روند تغییر و معنی‌داری هر یک از متغیرهای دما و بارش سالانه و تأثیرات آن‌ها بر متوسط عملکرد محصولات منتخب (Y_i) در حوزه‌های آبخیز استان قزوین، طی دوره ۸ ساله (۱۳۸۵-۱۳۹۲) با استفاده از بسته نرم‌افزاری Eviews بررسی و تابع عملکرد محصولات به صورت رابطه‌ی (۱) تعریف شد:

$$Y_i = f(T_i, S_i) \quad \forall i = 1, 2, \dots, 7 \quad (1)$$

که در آن، Y_i متوسط عملکرد محصول i ، T_i متوسط دما و S_i متوسط بارش سالانه است. با توجه به داده‌های موجود، بهترین برازش با استفاده از یک مدل اقتصادسنجی صورت گرفت و یک رابطه معنی‌دار بین پارامترهای تغییر اقلیم و عملکرد محصولات به صورت رابطه‌ی (۲) به دست آمد:

$$Y_i = Q(1) + Q(2) \times S + Q(3) \times T + [R(1) = Q(4)] \quad (2)$$

رابطه (۲)، بهترین برازش ممکن را بین متغیرهای توضیحی دما (T) و بارش (S) و متغیر وابسته عملکرد محصول (Y_i) نشان می‌دهد. $Q(1)$ ، $Q(2)$ ، $Q(3)$ و $Q(4)$ ضرایب تابع خودرگرسیونی هستند (Abrishami 2003; Parhizkari 2013). جهت رفع خودهمبستگی از فرآیند خودرگرسیون مرتبه اول $R(1)$ استفاده شد.

۴-۲- مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت

مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط Howitt معرفی شد. ایده‌ی کلی در این مدل، استفاده از اطلاعات موجود در متغیرهای دوگان محدودیت‌های واسنجی است که جواب مسأله برنامه‌ریزی خطی را به سطح فعالیت‌های موجود محدود می‌کند. مقادیر دوگان برای تصریح تابع هدف غیرخطی‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند که سطح فعالیت‌های مشاهده‌شده را مجدداً از طریق جواب بهینه‌ی مسئله برنامه‌ریزی جدیدی که فاقد محدودیت‌های واسنجی است، بازسازی می‌کند (He et al. 2012; Howitt et al. 2012). تعیین سطح تجمیع مکانی (فضایی)^۱ برای تعریف دامنه‌ی کاری مدل PMP حائز اهمیت است. این سطح به‌جای تحلیل سیاست‌ها در یک بعد وسیع، ترکیبی از ویژگی‌های منطقه‌ای را با مجموعه داده‌های کوچک‌تر لحاظ نموده و سیاست‌های موردنظر را در سطح مناطق تعیین‌شده مورد بررسی قرار می‌دهد (Parhizkari et al. 2013). مدل PMP ارایه‌شده در این مطالعه مطابق با شرایط منطقه در سه مرحله پیاپی و به صورت زیر واسنجی شد.

۲-۴-۱- حل مدل برنامه‌ریزی خطی و تعیین قیمت‌های سایه‌ای

این مرحله شامل حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی جهت حداکثر نمودن بازده ناخالص بهره‌برداران با توجه به محدودیت‌های منابع و واسنجی می‌باشد. پس از حل مدل برنامه‌ریزی خطی، قیمت‌های سایه‌ای برای محدودیت‌های مدل به دست می‌آیند (۱۰). شکل ریاضی این مرحله به صورت روابط (۳) تا (۶) است.

$$\text{Max } \Pi = \sum_{r=1}^5 \sum_{i=1}^4 \left(P_{ri} Y_{ri} - \sum_{j=1}^4 a_{jir} C_{jir} \right) x_{rij} \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^5 a_{rij} x_{rij} \leq b_{rj} \quad \left[\lambda_{ri}^j \right] \quad (4)$$

$$x_{rij} \leq \tilde{x}_{rij} + \varepsilon \quad \left[\lambda_{ri}^c \right] \quad (5)$$

$$x_{rij} \geq 0 \quad \forall r, i, j \quad (6)$$

¹- Spatial Aggregation

رابطه (۳) تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی می‌باشد که در آن، Π مجموع سود ناخالص کشاورزان، r تعداد حوزه‌های آبخیز، i تعداد محصولات و j تعداد عوامل تولید است. P_{ri} و Y_{ri} به ترتیب قیمت و عملکرد محصول i در حوزه آبخیز r ، C_{jir} هزینه نهاده j برای تولید محصول i در حوزه آبخیز r و x_{rij} سطح زیر کشت محصول i که با نهاده j در حوزه آبخیز r تولید می‌شود، است. a_{jir} نیز نسبت استفاده هر عامل تولید به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه $(a_{ij} = \tilde{x}_{ij} / \tilde{x}_{ir, land})$ به دست می‌آید. رابطه (۴) محدودیت منابع را در مناطق موردبررسی نشان می‌دهد و برای نهاده‌های آب، زمین، نیروی کار و سرمایه تعریف می‌شود. در این رابطه، b_{ij} کل منابع در دسترس برای تولید محصولات در هر منطقه می‌باشد. رابطه (۵) محدودیت واسنجی مدل را نشان می‌دهد که در آن \tilde{x}_{rij} مقدار مشاهده‌شده سطح فعالیت‌ها در سال پایه و ε مقدار مثبت کوچکی است. λ_{ri}^j در رابطه (۴) مقادیر دوگان محدودیت سیستمی و λ_{ri}^c در رابطه (۵) مقادیر دوگان محدودیت واسنجی را نشان می‌دهد. رابطه (۶) نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است (Medellan-Azuara et al. 2011; Howitt et al. 2012; Parhizkari et al. 2013).

۲-۴-۲- تخمین تابع هزینه کوادراتیک^۱ (درجه دوم) و ضرایب آن

در این مرحله، از مقادیر دوگان (قیمت‌های سایه‌ای) محاسبه‌شده برای محدودیت‌های سیستمی مدل در مرحله اول، برای تخمین تابع هزینه درجه دوم استفاده می‌شود. شکل ریاضی این تابع به صورت رابطه‌ی (۷) است:

$$TC_{rij}(x_{rij}) = -\frac{1}{2} \sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 \gamma_{rij} x_{rij}^2 \quad (7)$$

در رابطه (۷)، γ_{rij} پارامتر مقیاس تابع هزینه می‌باشد و با استفاده از رابطه‌ی (۸) محاسبه می‌شود (He et al. 2012):

$$\gamma_{rij} = \begin{cases} \lambda_{ri}^j / \tilde{x}_{rij} & \text{if } \tilde{x}_{rij} \neq 0 \\ \lambda_{ri}^j / x_{rij} & \text{if } \tilde{x}_{rij} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

۲-۴-۳- تبیین مدل نهایی واسنجی‌شده

در این مرحله، تابع هدف واسنجی شده در یک مسأله برنامه‌ریزی غیرخطی همراه با محدودیت‌های مدل (به استثناء محدودیت‌های واسنجی) شبیه به مرحله اول حل می‌شود و مدل غیرخطی واسنجی شده به‌طور صحیح سطوح فعالیت‌های مشاهده‌شده در سال پایه را بازسازی می‌کند (Medellan-Azuara et al. 2011; Howitt et al. 2012; Parhizkari et al. 2013). برای مدل تجربی مورد استفاده در این مطالعه، سیستم برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط (۹) تا (۱۴) ساخته می‌شود:

$$Max \Pi = \sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^4 \phi Y_{ri} P_{ri} x_{rij} - \sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 q_{rij} C_{rij} x_{rij} - \frac{1}{2} \sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 \gamma_{rij} x_{rij}^2 \quad (9)$$

Subject to:

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^5 x_{rij} \leq \sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^5 \tilde{x}_{rij} \quad (10)$$

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^5 ETX_{rij} \cdot x_{rij} / \theta_r \leq W_r \quad (11)$$

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^4 k_{ri} \cdot x_{rij} \leq TK_r \quad (12)$$

¹- Quadratic Cost Function

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^4 La_{ri} \cdot x_{rij} \leq TLa_r \quad (13)$$

$$x_{rij} \geq 0 \quad \forall r, i, j \quad (14)$$

رابطه (۹) تابع هدف غیرخطی مدل است. رابطه (۱۰) محدودیت نهاده زمین است و نشان می‌دهد که کل سطح زیر کشت محصولات از مجموع سطح فعالیت‌های مشاهده‌شده در سال پایه تجاوز نمی‌کند. رابطه (۱۱) محدودیت نهاده آب را نشان می‌دهد که در آن ETX_{rij} نیازآبی محصول، θ_r راندمان آبیاری و w_r منابع آب در دسترس در حوزه r است. رابطه (۱۲) بیانگر محدودیت سرمایه است که در آن k_{ri} ضریب فنی هزینه در واحد سطح محصول i و TK_r کل سرمایه در دسترس در حوزه آبخیز r است. رابطه (۱۳) محدودیت نیروی کار را نشان می‌دهد که در آن La_{ri} نیروی کار لازم برای تولید محصول i و TLa_r کل نیروی کار قابل دسترس در حوزه آبخیز r است. رابطه (۱۴) نیز محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. پس از تعیین میزان تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای و بررسی اثرات این متغیرها بر عملکرد محصولات منتخب، تغییرات به وجود آمده در عرضه و تقاضای آب آبیاری و میزان تولیدات کشاورزی در حوزه‌های آبخیز استان قزوین مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

۲-۵- روش جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

با توجه به در دسترس بودن داده‌ها و اطلاعات موردنیاز این تحقیق به صورت مقطعی (مربوط به سال پایه ۱۳۹۲) و سری زمانی (مربوط به سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۵) و به شکل اسنادی و ثبت‌شده، نمونه‌گیری انجام نشد. داده‌های موردنیاز با مراجعه مستقیم به ادارات و سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری شدند. داده‌ها و اطلاعات سری زمانی مربوط به متغیر اقلیمی بارش با مراجعه به ایستگاه‌های باران‌سنجی و هواشناسی واقع در محدوده مطالعه، داده‌های مربوط به محصولات کشاورزی (شامل سطح زیرکشت، عملکرد، قیمت و نهاده‌های مورداستفاده در تولید محصولات) با مراجعه به سازمان جهاد کشاورزی و داده‌های مربوط به منابع آب (شامل کل آب در دسترس منطقه و مقادیر نیاز آبی محصولات) با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین جمع‌آوری شدند. گردآوری و مرتب‌سازی داده‌های خام اولیه در محیط نرم‌افزاری Excel و حل مدل برنامه‌ریزی ارائه‌شده در محیط نرم‌افزاری GAMS نسخه ۲۴/۱ صورت گرفت.

۳- یافته‌ها و بحث

جدول (۱)، میانگین دما و بارش سالانه‌ی صورت گرفته طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۵ را در هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۱) ملاحظه می‌شود که روند تغییرات دما در حوزه‌های آبخیز استان قزوین طی دوره موردبررسی صعودی است، درحالی‌که میزان بارش سالانه با روندی نزولی همراه بوده است. بیشترین افزایش دما در سال ۱۳۹۰ رخ داده که میزان بارش را نیز به صورت چشم‌گیری کاهش داده است. به‌طورکلی، داده‌های جدول (۱) روند افزایشی دما و کاهش بارش را برای دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۸۵ در سطح حوزه‌های آبخیز استان قزوین نشان می‌دهند. جدول (۲)، نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی RCM-PRECIS را نشان می‌دهد. در واقع، این جدول میزان تغییرات دما و بارش را تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین نشان می‌دهد. مطابق با مندرجات جدول (۲)، نتایج به‌دست‌آمده از مدل شبیه‌سازی RCM-PRECIS نشان می‌دهد که با انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش غلظت مجموعه این گازها به میزان بیشتر از ۴۸۰ ppm (تحت سناریوی A) در اتمسفر، متغیرهای دما و بارش بیشترین تغییرات را در اقلیم حوزه‌های آبخیز استان قزوین تجربه می‌کنند. تحت این شرایط، حوزه آبخیز خر رود بیشترین افزایش دما (۱/۲۷ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین کاهش بارش (۱۴/۱- میلی‌متر) را به خود اختصاص داده است. در بین حوزه‌های آبخیز استان قزوین، با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای

(تحت سناریوی A) کمترین تغییرات دمایی و بارشی به ترتیب ۰/۹۲ درجه سلسیوس و ۸/۲۷- میلی‌متر بوده که در حوزه آبخیز شاهرود رخ داده است.

جدول ۱- وضعیت متغیرهای اقلیمی دما و بارش در هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین طی دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۲

حوزه آبخیز	متغیر اقلیمی	میزان متغیر اقلیمی در سال موردنظر					
		۱۳۸۵-۸۶	۱۳۸۶-۸۷	۱۳۸۷-۸۸	۱۳۸۸-۸۹	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۹۰-۹۱
شاهرود	دما (°C)	۱۶/۱	۱۷/۵	۱۶/۹	۱۷/۷	۱۸/۲	۱۸/۰
	بارش (mm)	۲۴۷/۵	۲۴۱/۲	۲۴۴/۰	۲۳۹/۸	۲۳۶/۰	۲۳۸/۳
ابهر رود	دما (°C)	۱۷/۶	۱۸/۲	۱۷/۹	۱۸/۶	۱۹/۱	۱۷/۸
	بارش (mm)	۲۳۹/۳	۲۳۱/۰	۲۳۳/۴	۲۲۹/۶	۲۲۱/۸	۲۳۵/۶
خر رود	دما (°C)	۱۷/۹	۱۸/۶	۱۸/۳	۱۸/۸	۱۹/۴	۱۸/۸
	بارش (mm)	۲۲۸/۴	۲۲۳/۷	۲۲۶/۰	۲۲۰/۹	۲۱۶/۵	۲۱۹/۴
حاجی عرب	دما (°C)	۱۸/۳	۱۹/۰	۱۸/۵	۱۹/۳	۱۹/۹	۱۹/۲
	بارش (mm)	۲۲۵/۷	۲۲۰/۸	۲۲۳/۴	۲۱۸/۰	۲۱۳/۶	۲۱۷/۱

منبع: سازمان هواشناسی استان قزوین، ۱۳۹۲

جدول ۲- تغییرات میانگین دما و بارش تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای طی دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۲

حوزه آبخیز	میزان تغییرات دما (C)			میزان تغییرات بارش (mm)		
	سناریو A	سناریو B	سناریو C	سناریو A	سناریو B	سناریو C
شاهرود	۰/۹۲	۰/۶۴	۰/۵۲	-۸/۲۷	-۴/۴۳	۱/۳۱
ابهر رود	۱/۱۳	۰/۷۱	۰/۵۸	-۱۰/۹	-۵/۱۶	-۰/۸۵
خر رود	۱/۲۷	۰/۶۹	۰/۴۳	-۱۴/۱	-۷/۰۸	-۱/۱۶
حاجی عرب	۱/۱۹	۰/۶۶	۰/۵۴	-۱۱/۳	-۵/۷۱	۱/۰۹

افزون بر نتایج فوق، با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌شود که با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در فضای ۵۰ کیلومتری اتمسفر حوزه‌های آبخیز استان قزوین میزان متغیر اقلیمی دما روندی نزولی داشته و از شدت افزایش آن کاسته شده است. متغیر اقلیمی بارش نیز روندی فزاینده داشته و با کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای میزان ریزش نزولات در حوزه‌های آبخیز این استان افزایش یافته است. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که در شرایط انتشار رو به پایین گازهای گلخانه‌ای و غلظت کمتر از ۳۵۰ ppm (تحت سناریوی C)، روند تغییرات دما در حوزه‌های آبخیز استان قزوین همچنان مثبت، اما در مقایسه با سناریوهای A و B با کاهش همراه بوده است. به‌طور کلی، نتایج حاکی از آن است که با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای میزان متغیر اقلیمی دمای هوا در سطح حوزه‌های آبخیز استان قزوین کمتر از یک درجه سلسیوس افزایش یافته است. به این مفهوم که از ۰/۴۳ درجه سلسیوس برای حوزه رودخانه خر رود تا ۰/۵۸ درجه سلسیوس برای حوزه رودخانه ابهر رود متغیر بوده است. با کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای در سطحی کمتر از ۳۵۰ ppm، میزان متغیر اقلیمی بارش برای حوزه‌های آبخیز ابهر رود و خر رود به ترتیب ۰/۸۵ و

۱/۱۶ میلی‌متر کاهش یافته، اما برای حوزه‌های آبخیز شاهرود و حاجی عرب این متغیر به ترتیب با ۱/۳۱ و ۱/۰۹ میلی‌متر افزایش همراه بوده است.

جدول (۳) نتایج حاصل از تحلیل رگرسیونی را برای اثرگذاری متغیرهای اقلیمی دما و بارش بر عملکرد محصولات منتخب در حوزه‌های آبخیز استان قزوین نشان می‌دهد. جهت بررسی میزان تغییرات عملکرد محصولات منتخب در هر یک از حوزه‌های آبخیز، ابتدا توابع رگرسیونی عملکرد محصولات برحسب متغیرهای اقلیمی دما و بارش با استفاده از داده‌های سری زمانی سال‌های ۹۲-۱۳۸۵ تخمین زده شد و سپس میزان تغییرات هر عامل اقلیمی (دما و بارش) مطابق با اثرگذاری انتشار گازهای گلخانه‌ای (جدول ۲) در توابع تخمین‌زده شده عملکرد محصولات گنجانده شد و از این طریق میزان تغییرات عملکرد برای هر محصول در هر یک از حوزه‌های آبخیز محاسبه شد.

جدول ۳- درصد تغییرات عملکرد محصولات منتخب تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای

محصولات منتخب	سناریو اقلیمی	حوزه‌های آبخیز استان قزوین		
		شاهرود	ابهر رود	خر رود
گندم آبی	A	-۱/۸۴	-۲/۰۹	-۲/۲۷
	B	-۱/۰۶	-۱/۴۳	-۱/۵۵
	C	۰/۱۴	-۰/۴۷	-۰/۶۹
جو آبی	A	-۱/۰۸	-۱/۲۷	-۲/۰۹
	B	-۰/۶۳	-۰/۸۸	-۱/۱۳
	C	۰/۳۰	۰/۱۶	-۰/۴۵
ذرت دانه‌ای	A	-۲/۱۹	-۲/۵۵	-۲/۹۰
	B	-۱/۴۷	-۱/۶۰	-۱/۸۳
	C	-۰/۵۲	-۰/۷۱	-۱/۰۵
گوجه‌فرنگی	A	-۴/۰۶	-۳/۲۸	-۲/۹۱
	B	-۳/۱۱	-۲/۵۷	-۱/۱۵
	C	-۱/۸۶	-۱/۰۹	-۰/۳۴
یونجه	A	-۲/۰۲	-۱/۸۶	-۲/۶۵
	B	-۰/۹۳	-۰/۷۰	-۰/۷۷
	C	۰/۱۷	۰/۲۸	-۰/۲۴

با توجه به نتایج جدول (۳) ملاحظه می‌شود که انتشار گازهای گلخانه‌ای با افزایش دمای هوا و کاهش بارش در حوزه‌های آبخیز استان قزوین منجر به کاهش عملکرد محصولات منتخب می‌شود. بیشترین تأثیرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر روی عملکرد محصولات منتخب حوزه‌های آبخیز خررود و حاجی عرب و کمترین تأثیرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر روی عملکرد محصولات حوزه آبخیز شاهرود است. علت این امر، می‌تواند غلظت بیشتر مجموعه گازهای گلخانه‌ای ناشی از شهرک‌های صنعتی شهرستان‌های الوند و بوئین‌زهرا در اتمسفر اطراف حوزه‌های آبخیز خر رود و حاجی عرب باشد. بیشترین تغییرات عملکرد مربوط به محصول گوجه‌فرنگی و در حوزه آبخیز شاهرود است. علت این امر بارش بیشتر باران و انتشار گاز گلخانه‌ای بخار آب در این حوزه است که عملکرد محصول گوجه‌فرنگی را به صورت چشم‌گیری کاهش داده است. افزون بر نتایج فوق، ملاحظه می‌شود که با کاهش

گازهای گلخانه‌ای و غلظت کمتر از ۳۵۰ ppm آن‌ها عملکرد محصولاتی مانند جو آبی و یونجه در حوزه‌های آبخیز شاهرود و ابهر رود و عملکرد محصول گندم آبی در حوزه شاهرود در مقایسه با سال پایه افزایش یافته است. به‌طور کلی، با مقایسه عملکرد محصولات در سناریوهای حداکثر و حداقل A و C، ملاحظه می‌شود که با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای عملکرد کلیه محصولات منتخب در حوزه‌های آبخیز استان قزوین با روندی صعودی همراه است. به‌عنوان مثال، عملکرد محصول ذرت دانه‌ای در حوزه‌های آبخیز شاهرود، ابهر رود، خر رود و حاجی عرب تحت سناریوی حداکثر انتشار گازهای گلخانه‌ای (سناریوی A) به ترتیب ۲/۱۹، ۲/۵۵، ۳/۱۸ و ۲/۹ درصد در مقایسه با سال پایه کاهش یافته است، در حالی که میزان کاهش عملکرد این محصول در شرایط کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای به میزان کمتر از ۳۵۰ ppm (سناریوی C) در حوزه‌های آبخیز فوق به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۵۲ و ۱/۳۳ و ۱/۰۵ درصد است. تغییرات عملکرد جو آبی نیز در حوزه‌های آبخیز استان قزوین در مقایسه با سایر محصولات، حساسیت کم این محصول را نسبت به انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد.

جدول (۴) میزان تغییرات سطح زیر کشت محصولات منتخب را در هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد.

جدول ۴- درصد تغییرات سطح زیر کشت محصولات منتخب تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای

محصولات منتخب	سناریو اقلیمی	حوزه‌های آبخیز استان قزوین		
		شاهرود	ابهر رود	خر رود
گندم آبی	A	۰/۴۷	۰/۳۶	۰/۸۹
	B	۱/۸۰	۱/۳۳	۲/۰۶
	C	۲/۱۳	۱/۸۹	۲/۴۷
جو آبی	A	۰/۸۸	۰/۶۵	۱/۱۶
	B	۲/۰۷	۱/۸۴	۲/۲۵
	C	۳/۳۵	۲/۷۷	۳/۶۰
ذرت دانه‌ای	A	-۳/۴۱	-۴/۰۰	-۴/۴۵
	B	-۱/۹۴	-۲/۱۷	-۳/۱۰
	C	-۰/۶۷	-۰/۸۵	-۱/۲۷
گوجه‌فرنگی	A	-۴/۱۶	-۳/۲۸	-۴/۷۰
	B	-۳/۰۸	-۲/۷۵	-۳/۶۵
	C	-۱/۱۹	-۱/۲۱	-۱/۳۰
یونجه	A	-۲/۴۰	-۲/۵۷	-۳/۴۱
	B	-۱/۳۵	-۱/۱۸	-۲/۵۴
	C	-۰/۴۵	-۰/۳۰	-۰/۶۳
مجموع سطح زیر کشت	A	-۸/۶۲	-۸/۸۴	-۱۰/۵۱
	B	-۲/۵۶	-۲/۹۳	-۴/۹۸
	C	۳/۱۷	۲/۳۰	۲/۸۷

با توجه به نتایج جدول (۴) ملاحظه می‌شود که با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای کشاورزان حوزه‌های آبخیز استان قزوین از سطح زیر کشت محصولاتی نظیر ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و یونجه کاسته و به سمت کشت محصولاتی نظیر گندم و جو آبی

متماثل می‌شوند. علت این امر آن است با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن افزایش دما و کاهش بارش، کشاورزان استان قزوین در هر یک از حوزه‌های آبخیز از سطح زیر کشت محصولات پرآبی مانند ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و یونجه می‌کاهند و میزان منابع آب در دسترس را به کشت محصولات با نیاز آبی کمتر (گندم و جو آبی) تخصیص می‌دهند. افزون بر یافته‌های فوق، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که تمایل کشاورزان جهت افزایش سطح زیر کشت محصولات گندم و جو آبی و کاهش سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالاتر در حوزه‌های آبخیز حاجی عرب و خر رود بیشتر از سایر حوزه‌ها است. محصولات گوجه‌فرنگی و ذرت دانه‌ای با توجه به اینکه نیاز آبی بالایی دارند، با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشترین تغییرات سطح زیر کشت را به خود اختصاص می‌دهند. افزون بر این، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده ملاحظه می‌شود که تحت سناریوی A، با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای مجموع سطح زیر کشت محصولات زراعی در حوزه‌های آبخیز شاهرود، ابهر رود، خر رود و حاجی عرب به ترتیب ۸/۶۲، ۸/۸۴، ۱۰/۵۱ و ۹/۰۲ درصد نسبت به سال پایه کاهش می‌یابد، درحالی‌که تحت سناریوی C، با کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای به میزان کمتر از ۳۵۰ ppm مجموع سطح زیر کشت محصولات زراعی در حوزه‌های مورد مطالعه به ترتیب ۳/۱۷، ۲/۳۰، ۲/۸۷ و ۲/۵۹ درصد افزایش می‌یابد. این امر حاکی از آن است که کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تمایل کشاورزان استان قزوین را برای افزایش سطح زیر کشت محصولات زراعی افزایش می‌دهد.

جدول (۵) درصد تغییرات عرضه و تقاضای آب آبیاری را تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای (سناریوهای A، B و C) در هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین نشان می‌دهد. مقادیر مثبت و منفی در جدول (۵) حاکی از میزان افزایش و کاهش عرضه و تقاضای آب آبیاری طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۸۵ در هر یک از حوزه‌های آبخیز است.

جدول ۵- درصد تغییرات عرضه و تقاضای آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای

حوزه آبخیز	عرضه آب آبیاری			تقاضای آب آبیاری		
	سناریو A	سناریو B	سناریو C	سناریو A	سناریو B	سناریو C
شاهرود	-۵/۸۷	-۳/۳۹	۱/۶۴	۵/۸۹	۳/۱۴	۷/۳۵
ابهر رود	-۷/۵۲	-۴/۹۰	-۲/۹۱	۵/۲۳	۲/۸۸	۳/۹۰
خر رود	-۱۰/۴	-۶/۸۳	-۳/۰۵	۳/۷۴	۱/۶۰	۵/۶۸
حاجی عرب	-۸/۲۷	-۵/۷۰	-۲/۱۸	۴/۲۰	۲/۳۵	۴/۲۱

با توجه به نتایج جدول (۵) ملاحظه می‌شود که با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مختلف، میزان تقاضای آب آبیاری طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۸۵ افزایش یافته است. این امر مربوط به تغییرات سطح زیر کشت پس از اعمال سناریوهای A، B و C در هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین است. با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بیشتر شدن غلظت آن‌ها از ۴۸۰ ppm (تحت سناریوی A) میزان تقاضای آب آبیاری توسط کشاورزان در حوزه آبخیز شاهرود بیش از سایر حوزه‌ها (۵/۸۹ درصد) و در حوزه آبخیز خررود کمتر از سایر حوزه‌ها (۳/۷۴ درصد) افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج حاکی از آن است که با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطحی کمتر از ۳۵۰ ppm (تحت سناریوی C) میزان تقاضای آب کشاورزی از ۳/۹ درصد برای حوزه آبخیز ابهر رود تا ۷/۳۵ درصد برای حوزه آبخیز شاهرود متغیر است. میزان عرضه آب آبیاری نیز با توجه به روند تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن تغییرات دما و بارش از ۲/۱۸- تا ۸/۲۷- درصد در حوزه‌های آبخیز استان قزوین متغیر است. به‌طور کلی، نتایج جدول (۵) حاکی از آن است که انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش تقاضا و کاهش عرضه آب آبیاری در حوزه‌های آبخیز استان قزوین شده است. با مقایسه درصد تغییرات عرضه آب آبیاری در حالت حداکثر و حداقل انتشار گازهای گلخانه‌ای (سناریوهای A و C) ملاحظه می‌شود که کاهش عرضه آب آبیاری همسو و هم‌جهت با کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای قرار دارد و تنها در یک مورد کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر اطراف حوزه رودخانه شاهرود به میزان کمتر از ۳۵۰ ppm سبب

افزایش عرضه آب آبیاری شده است. علت این امر، افزایش بارش و رگبارهای پراکنده در مناطق کوهستانی و ارتفاعات اطراف این حوزه آبخیز است.

جدول (۶) درصد تغییرات ایجادشده بین شکاف عرضه و تقاضای آب آبیاری (عرضه آب منهای تقاضای آب) را تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (A، B و C) در هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین (شاهرود، ابهر رود، خر رود و حاجی عرب) نشان می‌دهد. کاهش شکاف بین عرضه و تقاضای آب آبیاری به‌منزله کاهش عرضه و افزایش تقاضای آب آبیاری است. با توجه به نتایج جدول (۶) ملاحظه می‌شود که شکاف بین عرضه و تقاضای آب آبیاری در سال مرجع (۱۳۹۲) به میزان بیشتری نسبت به سال پایه (۱۳۸۵) کاهش‌یافته است. این امر نشان می‌دهد که در سال مرجع میزان عرضه آب تحت تأثیر افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به دنبال آن افزایش دما و کاهش بارش بیشتر از عرضه آب در سال پایه است. همچنین، میزان تقاضای آب توسط کشاورزان در سال مرجع به علت مسئله افزایش دما و کاهش بارش بیشتر از حجم آب تقاضا شده در سال پایه است.

جدول ۶- درصد تغییرات شکاف عرضه و تقاضای آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای

حوزه آبخیز	سال پایه (۱۳۸۵)	شکاف بین عرضه و تقاضا در سال مرجع (۱۳۹۲)		
		سناریو A	سناریو B	سناریو C
شاهرود	-۱/۸۲	-۱۱/۷۶	-۶/۵۳	-۵/۷۱
ابهر رود	-۳/۰۷	-۱۲/۷۵	-۷/۷۸	-۶/۸۱
خر رود	-۴/۱۱	-۱۴/۱۴	-۸/۴۳	-۸/۷۳
حاجی عرب	-۲/۹۵	-۱۲/۴۷	-۸/۰۵	-۶/۳۹

افزون بر یافته‌های فوق، نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد که بیشترین کاهش به وجود آمده در شکاف بین عرضه و تقاضای آب آبیاری در سال مرجع در حوزه آبخیز خر رود و کمترین کاهش آن در حوزه آبخیز شاهرود رخ داده است. با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوی A، شکاف بین عرضه و تقاضای آب آبیاری به میزان بیشتری نسبت به سال مرجع کاهش می‌یابد، اما با کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای به میزان ۳۵۰-۴۸۰ ppm (سناریوی B) و کمتر از ۳۵۰ ppm (سناریوی C) شکاف عرضه و تقاضای آب آبیاری در سطحی پایین‌تر از سال مرجع کاهش می‌یابد. کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند از یک‌طرف با افزایش عرضه آب آبیاری و از طرف دیگر با کاهش تقاضای آب به پایداری و تعادل بخشی منابع آب در دسترس کشاورزان در حوزه‌های آبخیز استان قزوین کمک نماید.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر که با استفاده از یک سیستم مدل‌سازی جامع مشتمل بر مدل گردش عمومی RCM-PRECIS، روش اقتصادسنجی حداقل مربعات معمولی (OLS) و مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) صورت گرفت، نشان داد که انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند تأثیرات شدیدی بر متغیرهای اقلیمی دما و بارش داشته باشد. تغییرات به وجود آمده در متغیرهای اقلیمی دما و بارش نیز عملکرد محصولات منتخب را در سطح هر یک از حوزه‌های آبخیز استان قزوین تغییر داده و در نهایت بر سطح زیر کشت محصولات زراعی و میزان عرضه و تقاضای آب آبیاری اثر می‌گذارد. با تغییر میزان عرضه و تقاضای آب آبیاری، عدم تعادل در انتقال آب بین حوزه‌های آبخیز به وجود می‌آید. در این حالت می‌توان با برآورد شکاف بین عرضه و تقاضای آب آبیاری تصمیمات درخور و مناسبی را جهت پایداری منابع آب استان قزوین اتخاذ نمود. به‌طور کلی، اگرچه مطالعه حاضر به بررسی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عرضه و تقاضای آب آبیاری و میزان تولیدات کشاورزی طی یک دوره مشخص می‌پردازد، اما می‌توان از روش مورد استفاده در این مطالعه جهت بررسی تغییرات مؤلفه‌های مورد بررسی در دوره‌های آتی نیز استفاده کرد. از این‌رو ارزیابی اثرات

انتشار گازهای گلخانه‌ای و شبیه‌سازی رفتار کشاورزان بر اساس میزان تغییرات اقلیمی به وجود آمده از انتشار این گازها تا افق ۱۴۲۰ می‌تواند موضوع پیشنهادی مناسبی جهت ارائه راهکارهای مقابله با تغییرات جهانی اقلیم در اثر گسترش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مسئله گرمایش جهانی برای محققان آینده باشد. افزون بر این، نتایج تحقیق حاضر می‌توانند سطح آگاهی مسئولان و مدیران را به‌ویژه در بخش‌های کشاورزی و مدیریت منابع آب نسبت به اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر عوامل اقلیمی بیش‌ازپیش افزایش دهند تا بتوانند علاوه بر تعیین الگوهای بهینه کشت و افزایش بازده تولیدات بخش کشاورزی، جهت مدیریت و پایداری منابع آب در حوزه‌های آبخیز از یک‌سو و مقابله با اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی دیگر برنامه‌ریزی مناسبی را داشته باشند.

References

- Ababayi B., Sohrabi T., Mirzayi F., Rezaverdi V. and Karimi B. (2011). Effects of climate change on wheat yield and the risk analysis of it (Case study: Region of Esfahan Roddasht). *J. Knowledge Soil Water*, 1(20), 136-150 [In Persian].
- Abrishami H. (2003). Principles of econometrics. 3rd Edition, No: 11-43, published by Tehran University, Tehran, Iran [In Persian].
- Alizade A. and Kamali Q. (2005). Assessment effect of climate change on increasing water use in Mashhad plain. *J. Geogr. Res.*, 17(2), 189-201 [In Persian].
- Angel J. (2008). Potential impacts of climate change on water availability. Illinois State Water Survey, Institute of Natural Resource Sustainability, 12: 397-409.
- Cacho O., Hean R., Ginoga K. and Wise R. (2008). Economic potential of land-use change and forestry for carbon sequestration and poverty reduction. Part 1 Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, No: 33-67.
- Connor J., Kirby M., Schwabe K., Liukasiewics A. and Kaczan D. (2008). Impacts of reduced water availability on lower Murray irrigation, Australia. *Socio-Economics and the Environment in Discussion*, CSIRO working paper series ISSN: 1834-5638.
- Department of Energy. (2014). Greenhouse gas emissions and these effects on air and climate system in country, Environmental Protection Agency, 37 pp [In Persian].
- Falsafizade N. and Sabouhi M. (2011). Assessment effect the of climate change on products of agriculture sector. *J. Agri. Econom. Develop.*, 26(4), 272-286 [In Persian].
- Georgi F. and Hewitson B. (2001). Regional climate information evaluation and projections, in climate change. *Quart. J. Royal Meteorol. Soci.*, 121, 1413-1449.
- He L., Horbulyk T. M., Ali M. K., Roy D. G. L. and Klein K. K. (2012). Proportional water sharing vs. seniority-based allocation in the Bow River basin of Southern Alberta. *Agri. Water Manag.*, 104, 21-31.
- Howitt R. E., Medellin-Azuara J., MacEwan D. and Lund R. (2012). Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Sci. Environ. Model. Software*, 38, 244-258.
- Islam S., Rehman N. and Sheikh M. M. (2009). Future change in the frequency of warm and cold spells over Pakistan by the PRECIS regional climate model. *Climate Change*, 94, 35-45.

- Jones R. G., Noguer M., Hassell D. C., Hudson D., Wilson S. S., Jenkins G. J. and Mitchell J. F. B. (2004). Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS; Met Office Hadley Centre: Exeter, UK, 64-79.
- Jung I. W. and Chang H. (2013). Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Willamette River Basin, Oregon, USA. *J. Hydrol.*, 16, 63-87.
- Marco A. and Tanssen L. (2004). Optimization of a nonlinear dynamical system for global climate change. *European J. Operat. Res.*, (2), 322-335.
- Medellan-Azuara J., Harou J. J. and Howitt R. E. (2011). Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Sci. Agri. Water Manag.*, 108, 73-82.
- Mohammadi Ghaleni M., Ebrahimi K. and Araghinejad Sh. (2015). Evaluation impact of drought, extraction and construction of dam on the groundwater drop-case study Saveh aquifer. *J. Water Soil Conser.*, 19(4), 189- 203 [In Persian].
- Noferesti M. (2008). Unit root and co-integration in econometrics. Resa Publishing, [In Persian].
- Parhizkari A. (2013). Determination economic value of irrigation water and farmer's response to price and non-price policies in Qazvin province, MSc Dissertation, University of Zabol, Zabol, Iran, 130 pp [In Persian].
- Parhizkari A. and Sabuhi M. (2013). Simulation farmers' response to reducing available water policy. *J. Water Irrig. Manag.*, 3(2), 59-74 [In Persian].
- Parhizkari A., Sabuhi M. and Ziaee S. (2013). Simulation water market and analysis of the effects irrigation water sharing policy on cropping patterns under conditions of water shortage. *J. Agri. Econom. Develop.*, 27(3), 242-252 [In Persian].
- Poormohammadi S. and Malekinezhad H. (2014). Classification of homogeneous climatic regions under the impact of climate change and greenhouse gas emissions scenarios using L-moments technique in Iran. *J. Watershed Manag. Res.*, 4(8), 58- 76 [In Persian].
- Sabouhi M. and Parhizkari A. (2013). Analysis of the economic and welfare impacts of establishment irrigation water market in Qazvin Province. *J. Agri. Econom. Develop.*, 27(4), 338-350 [In Persian].
- Sanikhani H., Dinpajoh Y., Pouryusef S., Ghavidel S. Z. and Solati B. (2013). The impacts of climate change on runoff in watersheds (case study: Ajichay Watershed in East Azerbaijan province, Iran). *J. Water Soil*, 27(6), 1225-1234 [In Persian].
- Sanchis F. M. and Feijoo-Bello M. L. (2009). Climate change and its marginalizing effect on agriculture. *Ecol. Econom.*, 68(3), 896-904.
- Shakiba A., Bahak B. and Monorian Z. (2009). The effects of precipitation changes on surface water flows and permanent in Tehran province, case study: Jajroud River. *J. Geogr. Perspec.*, 3(7), 111-134 [In Persian].
- Srikanthan R. and McMahon T. A. (2001). Stochastic generation of annual, monthly and daily climate data. *A Review Hydrol. Earth Sys. Sci.*, 5(4), 653-670.
- Vaseghi A. and Esmaili A. (2008). Effect of climate change on agriculture sector in Iran: Ricardian method (case study: wheat). *Technol. Agri. Nat. Resour. Sci.*, 45(7), 685-696. [In Persian].
- Zmudzka E. (2004). The climatic background of agricultural production in Poland 1951-2000. *Miscellanea Geogr.*, 11(2), 127-137.

Investigating the Effects of Greenhouse Gases Emission on Supply and Demand of Irrigation Water in Watersheds of Qazvin Province

Abozar Parhizkari^{1*}

¹ PhD Scholar, Department of Agricultural Economics, University of PNU, Tehran; Researcher of Agriculture and Natural Resources Research Center of Qazvin Province; Member of the National Foundation of Elites

*Corresponding Author: abozar.parhizkari@yahoo.com

Received: October 6, 2016

Accepted: Jan. 19, 2017

Abstract

Increasing the emissions of greenhouse gases is among the factors affected the speed of occurrence of climate change during recent decades. In present study, first using time series data of 2006-2012 and RCM-PRECIS simulation model, the impacts of greenhouse gases emission on climatic variables of temperature and precipitation was investigated under different scenarios in watersheds of Qazvin Province. Then, the ordinary least squares (OLS) method and regression analysis were used to assess the impacts of climatic variables of temperature and precipitation on the selected products yield. Afterwards, considering the results of regression analysis in positive mathematical programming (PMP) model, the amount of the created variation in supply and demand of irrigation water and agricultural output in watersheds of Qazvin Province was investigated. The results showed that emission of greenhouse gases under scenarios A, B, and C affects the climatic variables of temperature and precipitation about 0.43 to 1.27 °C and -14.1 to 1.31 mm respectively. This case changes the selected products yield in the surface of each river basin of Qazvin Province. Change in yield affects acreage of agricultural crops by about -10.51 to 3.17 percent, the amount of irrigation water supply by about -10.4 to 1.64 percent, and the amount of irrigation water demand by about 1.60 to 7.35 percent. Moreover, the results showed that maximum and minimum decrease in the gap between supply and demand of irrigation water happens in Kharroud and Shahroud watersheds by about 9.20 and 1.82 percent respectively. With estimating the gap between demand and supply of irrigation water, one can adopt the appropriate decisions for sustainable water resources in watersheds of Qazvin Province.

Keywords: Positive Mathematical Programming; Water Demand; Greenhouse Gases; General Circulation Model; Qazvin.