

ارزیابی اثر گذاری های انتشار گازهای گلخانه ای بر عملکرد و الگوی کشت محصول های منتخب زراعی استان تهران

ابوذر پرهیزکاری، غلامرضا یآوری، ابوالفضل محمودی، غلامرضا بخشی خانیکی ۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۸

تاریخ دریافت: ۹۳۹۹/۱۱/۰۵

چکیده

افزایش جمعیت شهرنشینی، توسعه کالبد فضایی، گسترش حمل و نقل شهری و انتشار روزافزون گازهای گلخانه ای از جمله مهم ترین تهدیدهای پیش روی بخش کشاورزی در استان تهران به شمار می روند. ارزیابی اثر گذاری های بالقوه این رویدادها و ارائه راهکارهای مقابله با آن گامی مهم در زمینه توسعه فعالیت های کشاورزی این استان به شمار می رود. از این رو، این بررسی با تأکید بر هدف ارزیابی اثر گذاری های انتشار گازهای گلخانه ای بر عملکرد و الگوی کشت محصول های منتخب زراعی استان تهران صورت گرفت. برای تحقق این هدف، در آغاز با استفاده از مدل های گردش عمومی (GCM) میزان اثر گذاری های گازهای گلخانه ای بر میانگین متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت سناریوهای انتشار A_1B ، A_2 و B_1 بررسی شد. این کار به کمک سامانه داده ای GCM/RCM و مدل ریزمقیاس -LARS WG صورت گرفت. در ادامه، با استفاده از رویکرد اقتصادسنجی و تحلیل رگرسیون اثر گذاری های متغیرهای اقلیمی دما و بارش بر میانگین عملکرد محصول های منتخب زراعی ارزیابی شد. برای بررسی تغییرپذیری های عملکرد محصول ها بر الگوهای زراعی از مدل برنامه ریزی ریاضی اثباتی (PMP) استفاده شد. نتایج نشان داد که رفتار متغیرهای اقلیمی دما و بارش طی دوره های آبی در سطح حوضه های مورد بررسی استان تهران نسبت به دوره پایه به ترتیب افزایشی (۰/۲۷ تا ۳/۷۵ درجه سلسیوس) و کاهش (۰/۶۳ تا ۴۱/۱ میلی متر) خواهد بود. افزایش آمادگی کشاورزان برای توسعه سطح زیر کشت گندم آبی، ذرت دانه ای و کلزا و کاهش سطح زیر کشت جو آبی، گوجه فرنگی، هندوانه و آفتابگردان در الگوی زراعی استان تهران از نتایج اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی (افزایش دو درجه ای دما و کاهش ۲۰ میلی متری بارش) در این بررسی است. در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای، هندوانه و آفتابگردان به ترتیب با بیشترین تغییرهای کاهش در عملکرد (۱۳/۱، ۱۷/۷ درصد) و سطح زیر کشت (۶۸/۸ و ۳۱/۹ درصد) به عنوان حساس ترین محصول ها در الگوی زراعی استان تهران شناسایی شدند. از این رو، برنامه ریزی برای کاهش سطح آن ها طی دوره های آبی در الگوی کشت منطقه به زارعین و مسئولان ذیربط در بخش کشاورزی توصیه می شود. در پایان، با توجه به ناپهنگامی تغییرهای اقلیمی در برنامه ریزی منطقه ای، برای افزایش میزان تولید محصول های کشاورزی استان تهران پیشنهاد می شود که در آغاز به عامل بهبود عملکرد در واحد سطح پرداخته شود و توسعه سطح زیر کشت محصول هایی چون گندم آبی، ذرت دانه ای و کلزا در اولویت بعدی قرار گیرد.

طبقه بندی JEL: Q15، Q25، Q54، R11

واژه های کلیدی: گازهای گلخانه ای، عملکرد محصول ها، بازده ناخالص کشاورزان، الگوی کشت، تهران.

۱ به ترتیب: دانشجوی دکتری (نویسنده مسئول) اقتصاد کشاورزی، دانشیاران گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور و استاد گروه علوم کشاورزی (بیوتکنولوژی) دانشگاه پیام نور

Email: Abozar.parhizkari@yahoo.com

مقدمه

انتشار روز افزون گازهای گلخانه‌ای و پدیده‌های ارتباط از راه دور از جمله عامل‌هایی هستند که بر سرعت به وجود آمدن پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی^۱ تأثیر گذاشته‌اند (NikNazli and Dewan Mahboob, 2015). گازهای گلخانه‌ای با صعود به هواسپهر زمین و نگه‌داشتن انرژی خورشیدی در خود منجر به گرم‌شدن کره زمین و پیرامون اطراف آن شده‌اند (Moradi and Aminian, 2012). گرم شدن دمای هوا نیز منجر به کاهش میزان بارش، افزایش تبخیر و تخرق، تغییر در الگوهای کشت، کاهش تولیدهای زراعی و تغییر در حجم منابع آب کشاورزی شده است (Parhizkari et al., 2015). پدیده گرمایش جهانی بیش از هر چیز بخش کشاورزی را که یکی از کلیدی‌ترین فعالیتهای تولیدی کره زمین است، تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییر اقلیم به وجود آمده در نتیجه این پدیده سبب افزایش میانگین دمای زمین شده و احتمال رخداد خشکسالی را افزایش می‌دهد (Guo and Shen, 2016; Sun et al., 2018).

نگاهی گذرا به نقشه جهانی الگوهای بارش و دمای هوا گویای آن است که پدیده تغییر اقلیم منابع آبی هر منطقه را در طول زمان دست‌خوش تغییر قرار داده و الگوهای بهره‌برداری زراعی را با تغییرپذیری‌های چندی روبه‌رو کرده است (Parhizkari and Yazdani, 2017). رخداد گرمایش جهانی منجر به افزایش میانگین دمای هوا شده و در پی آن نیاز گیاهان به آب بیشتر شده و بهره‌برداری از منابع آب قابل دسترس در سطح اراضی افزایش یافته است. افزون بر این، کاهش بارش‌های آسمانی، عدم تغذیه صحیح آبخوان‌ها و رخداد خشکسالی‌های دوره‌ای از دیگر اثرگذاری‌های تغییر اقلیم هستند (Taniguchi, 2016). بر مبنای گزارش‌های اخیر هیئت بین‌المللی تغییرپذیری‌های اقلیمی (IPCC) با اطمینان بالا می‌توان گفت که تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای طی دهه‌های اخیر اثرگذاری‌های زیادی بر روی سامانه‌های فیزیکی و زیستی داشته است (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018). پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی^۲ (GCM) گویای افزایش شمار و میزان رخداد‌های اقلیمی در منطقه‌های مختلف جهان در نتیجه نشر گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز CO₂ می‌باشد که این مسئله افزون بر ایجاد تغییرپذیری در بخش کشاورزی، پایداری منابع آب

^۱ Global Warming

^۲ General Circulation Model

ارزیابی اثر گذاری های انتشار... ۱۱۵

آبیاری و قابل دسترس بودن این منابع برای کشاورزان را نیز متأثر کرده است (Sanikhani *et al.*, 2013; Parhizkari and Yazdani, 2017).

باید توجه داشت که نگرانی‌های جامعه‌های امروزی در مورد تغییرپذیری‌های اقلیم و پیامدهای آن بر زیربخش‌های اقتصادی امری پرهیزناپذیر است. از این رو، جامعه‌های مختلف تا جایی که ممکن است سعی در سازگاری با چالش‌های اقلیمی محلی‌شان دارند. در این راستا، کشورهای در حال توسعه‌ای چون ایران همواره از پیامدهای قابل پیش‌بینی تغییرپذیری‌های اقلیمی در تهدید هستند؛ به دلیل این که اقتصادشان برای توسعه و رشد، وابسته به اقلیمی است که بر روی زیربخش‌های آن به ویژه بخش کشاورزی اثرگذار است (Parhizkari *et al.*, 2015).

استان تهران به عنوان منطقه موردبررسی در این تحقیق، دارای گستره‌ای معادل ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع بوده و با در اختیار داشتن ۳/۴ درصد از اراضی قابل کشت، حدود ۷/۶ درصد از کل تولیدات زراعی کشور را دارد (Agricultural Jihad Organization of Tehran Province, 2019). میانگین بارش در این استان حدود ۱۹۵ میلی‌متر و میانگین دمای هوا برابر با ۱۵/۷ درجه سلسیوس است (Tehran Meteorological Organization, 2019). موقعیت قرارگیری استان تهران به عنوان پایتخت در بخش میانی کشور و قرارگرفتن آن در محور ارتباطی چندین استان مجاور سبب توسعه بخش حمل و نقل بین شهری و درون شهری شده است که این عامل مهم‌ترین اثرگذاری‌ها را بر تولید گازهای گلخانه‌ای در هواسپهر (اتموسفیر) پیرامون این استان دارد. افزون بر این، منطقه شهری تهران با توجه به تراکم جمعیت بیش از ۱۲ میلیون نفر، رشد روز افزون کالبد فضایی، دارا بودن بیش از پنج ناحیه صنعتی و بیش از ۱۵ شهرک صنعتی و تجاری، دارا بودن شمار زیادی منبع و معدن در حال استخراج و بهره‌برداری، همجواری با نیروگاه‌های تولید برق شهید رجایی و سیمان آبیگ، قابلیت انتقال فعالیت‌های صنعتی آلوده‌کننده و تولید زباله و پسماندهای خانوارهای شهری و همچنین، کاربردهای بالای سوخت‌های فسیلی در بخش‌های تجاری، صنعتی، خانگی و حمل و نقل شهری استعداد بالایی را در تولید گازهای گلخانه‌ای دارد؛ به طوری که از نظر تولید CO₂ رتبه ۱۴ام را در بین شهرهای آلوده به انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان دارد و سالانه بیش از ۷۶ میلیون تن CO₂ در هواسپهر پیرامون زمین تولید می‌شود (Tehran Studies and Planning Center, 2019). آمار موجود بیانگر آن است که میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در سطح استان تهران و در بخش‌های خانگی، تجاری و عمومی حدود ۴۴/۳ درصد است. بخش توسعه یافته حمل و نقل

حدود ۲۹/۹ درصد از این آلودگی را ایجاد می‌کند و پس از آن بخش صنایع و معادن با حدود ۱۴/۶ درصد در رده سوم قرار دارد (Tehran Studies and Planning Center, 2019).

از سوی دیگر، استان تهران با دارا بودن بیش از ۱۲۰ هزار هکتار اراضی زراعی و تولید بیش از ۲/۴ میلیون تن انواع محصول‌های زراعی جایگاه ۱۲^{ام} را در بین دیگر استان‌های کشور به خود اختصاص داده است. در حال حاضر بیش از ۴۰ نوع محصول زراعی در منطقه‌های مختلف این استان کشت و تولید می‌شوند که این وضعیت نشانگر مستعد بودن اراضی استان تهران در زمینه تولید محصول‌های منتخب زراعی است. عملکرد مناسب و کیفیت مطلوب محصول‌های تولیدی، به ویژه در دشت‌های مرکزی و جنوبی این استان گواه بر این مطلب است. این استان در تولید برخی از محصول‌های زراعی مانند گندم آبی، ذرت دانه‌ای و صیفی‌ها خودکفاست. همچنین برخی از منطقه‌های این استان، از جمله دشت‌های ورامین، ری و تهران- کرج دارای ظرفیت بالایی در امر تولید محصول‌های زراعی می‌باشند. دارا بودن تنوع اقلیمی، گوناگونی محصول‌های زراعی و ظرفیت‌های فراوان توسعه از ویژگی‌های این منطقه‌ها به شمار می‌رود. افزون بر محصول‌های زراعی بالا، ذرت دانه‌ای، یونجه، کلزا، صیفی‌ها، سبزی‌ها و گیاهان علوفه‌ای از دیگر محصول‌های زراعی قابل کشت با سطح‌های گسترده در استان تهران به شمار می‌روند (سازمان جهاد کشاورزی استان تهران، ۱۳۹۷). به طور کلی، با توجه به رونق کسب و کار کشاورزی و چشمگیر بودن فعالیت‌های زراعی در سطح استان تهران از یک سو و مستعد بودن این استان در زمینه تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی دیگر، نیاز است تا اثرگذاری‌های انتشار این گازها و تغییرات اقلیمی به وجود آمده در نتیجه افزایش و کاهش مولفه‌های اقلیمی دما و بارش و اثرگذاری‌های بالقوه پدیده گرمایش زمین بر وضعیت عملکرد محصول‌ها و الگوی کشت این منطقه از کشور ارزیابی و تحلیل شود. با توجه به نقش مهم انتشار بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای در شکل‌گیری و رخداد پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، طی دهه‌های اخیر جامعه‌های مختلف دامنه پژوهش‌های خود را در این راستا افزایش داده‌اند.

Uusitalo and Leino (2019) با روش ارزیابی چرخه زیست^۱ (LCAM)، پیامدهای گرم شدن کره زمین را در نتیجه تولید محصول جو دو سر (یولاف) در شرایط آب و هوایی منطقه‌های شمالی اتحادیه اروپا بررسی کردند. نتایج نشان داد تولید این محصول به دلیل استفاده از

ارزیابی اثر گذاری های انتشار... ۱۱۷

کودهای فسیلی و کانی در مرحله کشت و مصرف انرژی گرمایی، برق و سوخت در مرحله‌های دیگر فرآوری آن منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. تولید یک تن از پوسته‌های جو دو سر از زمان کشت تا برداشت، انتشار حدود ۷۰۰ کیلوگرم گاز دی اکسید کربن را به دنبال دارد. Soleymaninejad *et al.* (2019) به بررسی اثرگذاری‌های ناشی از تغییر اقلیم بر الگوی کشت دشت مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که میزان بارندگی، دمای بیشینه و کمینه روند افزایشی دارد و این تغییرپذیری‌ها دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد محصول‌های زراعی منطقه هستند. همچنین با در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم تا سال ۱۴۱۰، سطح زیرکشت آن‌ها تغییر یافته و سود ناخالص کشاورزان نسبت به سال پایه ۱۳۹۳ حدود ۶/۱ درصد افزایش می‌یابد. Cortignani and Dono (2018) به کمک یک سامانه مدل‌سازی زیست‌(بیو)فیزیکی - اقتصادی به بررسی اثرپذیری‌های تغییر اقلیم ناشی از نشر گازهای گلخانه‌ای و برنامه‌های سیاستی رویارو با آن در مزارع جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج نشان داد برنامه‌های سیاستی مدنظر برای رویارویی با تغییر اقلیم اثر مثبتی بر عامل‌های اقتصادی و محیطی در منطقه دارند. با وجود این، برخی از کشتزارها همچنان تحت تأثیر پیامدهای منفی این پدیده قرار می‌گیرند. Agovino *et al.* (2018) با استفاده از مدل داده‌های ترکیبی و سناریوهای انتشار به بررسی اثرپذیری تغییر اقلیم ناشی از انتشار گاز CO₂ بر وضعیت کشاورزی ۲۸ کشور در اتحادیه اروپا پرداختند. نتایج حاکی از وجود اثرپذیری‌های منفی ناشی از انتشار گاز CO₂ بر متغیرهای دما و بارش و میزان عملکرد محصول‌ها طی دوره ۲۰۱۴-۲۰۰۵ در اتحادیه اروپا است. Amirnejad and Asadpour kordi (2017) با استفاده از مجموع داده‌های یک دوره ۵۰ ساله و الگوی ریاضی خودرگرسیون با وقفه توزیعی^۱ (ARDL) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت متغیرهای اقلیمی به همراه سطح زیرکشت رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار با تولید گندم داشته و در بلندمدت با افزایش یک درصد در متغیرهای اقلیمی به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۲۱ درصد بر مقدار سطح زیرکشت و تولید گندم افزوده می‌شود. Mahmoodi and Parhizkari (2016) با بهره‌مندی از مدل‌های اقتصادسنجی و ریاضی اثرپذیری‌های تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر عملکرد محصول‌های منتخب و

1 Auto Regressive Distributed Lag

سود ناخالص کشاورزان دشت قزوین بررسی کردند. نتایج نشان داد که رخدادهای تغییر اقلیم، عملکرد جو، ذرت، چغندر و یونجه را به ترتیب ۱۵، ۲۴، ۱۳ و ۱۷ درصد افزایش و عملکرد گندم، گوجه‌فرنگی و کلزا به ترتیب ۲۹، ۲۰ و ۲۳ درصد کاهش می‌دهد و در نهایت با تغییر الگوی بهینه کشت، سود ناخالص کشاورزان نسبت به سال پایه ۱۰/۵ درصد افزایش می‌یابد.

Chauhan *et al.* (2014) با استفاده از مدل‌های گردش عمومی، اثرپذیری‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز CO₂ را بر تولید بخش کشاورزی کشور هند بررسی کردند. آنان پیش‌بینی کردند که جمعیت کشور هند تا سال ۲۰۲۵ می‌تواند به میزان ۱/۴ برابر شرایط کنونی افزایش یابد و در دهه ۲۰۴۰ حتی فراتر از چین باشد. اگر تولیدهای کشاورزی متأثر از تغییرپذیری‌های منفی اقلیم باشد، وضعیت معیشت و امنیت غذایی مردم هند در معرض خطر خواهد بود.

به طور کلی، بررسی‌های انجام شده در این زمینه نقش موثر انتشار بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای را در افزایش دمای جهانی و در نتیجه رخداد پدیده تغییر اقلیم نشان می‌دهند. انتشار بیش از حد مجاز این گازها در نتیجه رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر و فشار تحمیل شده به بخش کشاورزی جهت تولیدهای زراعی در سطح‌های گسترده‌تر از یک‌سو و توسعه فعالیت‌های صنعتی از سوی دیگر همگی دال بر فعالیت‌های برنامه‌ریزی نشده انسان‌ها در کره خاکی دارد که می‌تواند با همراه داشتن پیامدهایی چون افزایش دمای هوا و کاهش بارندگی‌ها، این بخش (بخش کشاورزی) را به عنوان مهم‌ترین تأمین‌کننده غذای بشر و همچنین، تأثیرپذیرترین بخش از تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای با مشکلات عدیده روبه‌رو سازد. با توجه به اهمیت این موضوع، در مطالعه حاضر تلاش شد تا با بهره‌مندی از یک رویکرد تلفیقی مدل‌سازی اقتصادسنجی و برنامه‌ریزی ریاضی توأم با مدل‌های گردش عمومی، اثرگذاری‌های رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عملکرد و الگوی کشت محصول‌های منتخب زراعی استان تهران ارزیابی و تحلیل شود.

روش تحقیق

در این بخش از تحقیق، ابزارها، مدل‌ها، الگوهای برآوردی و همچنین، روش گردآوری داده‌های موردنیاز برای ارزیابی‌های اقتصادی مطرح شدند. با توجه به موضوع مورد بررسی در این تحقیق، برای ارائه سناریوهای اقلیمی و ارزیابی اثرگذاری‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای اقلیمی دما و بارش از سامانه‌های داده‌ای و مدل‌های گردش عمومی (GCM) استفاده شد. برای این منظور، از مشهورترین ریزمدل GCM مولد داده‌های تصادفی وضع هوا و

ارزیابی اثر گذاری های انتشار... ۱۱۹

اقلیم که مدل ریزمقیاس LARS-WG می‌باشد، بهره گرفته شد. در ادامه روش تحقیق، با بهره‌گیری از روش‌های اقتصادسنجی و برآوردهای رگرسیونی، تأثیر تغییرپذیری‌های دما و بارش بر میزان عملکرد محصول‌های منتخب زراعی استان تهران ارزیابی و تحلیل گردید. رویکرد این تحقیق برای این منظور، روش حداقل مربعات معمولی^۱ (OLS) است. در ادامه، برای ارزیابی تأثیر تغییرپذیری‌های عملکرد محصول‌های منتخب زراعی بر الگوی کشت و بازده ناخالص کشاورزان استان تهران از سامانه مدل‌سازی زیست‌فیزیکی - اقتصادی مبتنی بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی^۲ (PMP) و رهیافت تابع هزینه غیرخطی از درجه دو یا کوادراتیک^۳ (QCF) بهره گرفته شد. در نهایت، از ساختار مدل‌سازی یادشده برای ارزیابی اثرگذاری‌های بالقوه تغییر اقلیم ناشی از تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای طی دوره‌های آبی بر زیربخش کشاورزی استان تهران و مجموعه متغیرهای اقتصادی در این راستا (سود ناخالص، ارزش اقتصادی آب و ...) استفاده شد. هر یک از مرحله‌های بالا در ادامه تشریح می‌شوند:

GCM و مدل ریزمقیاس LARS-WG

امروزه از معتبرترین و به‌روزترین ابزار برای طرح سناریوهای اقلیمی انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های گردش عمومی (GCM) هستند. این مدل‌ها شامل مجموعه‌ای از رابطه‌های ریاضی و معادله‌های دیفرانسیلی هستند که بر پایه قوانین فیزیکی حاکم بر هواسپهر زمین طراحی شده‌اند (Wilby and Harris, 2006). از جمله مشهورترین ریزمدل‌های GCM مولد داده‌های تصادفی وضع هوا و اقلیم که در این بررسی نیز استفاده شده است، مدل ریزمقیاس LARS-WG است. این مدل برای تولید میزان بارش، تابش، دمای بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه‌های هواشناسی در شرایط حال و آینده به کار گرفته می‌شود. این مولد آب و هوایی به عنوان ابزاری به نسبت دقیق و ارزان برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم چندساله در مقیاس روزانه به کار برده می‌شود. مدل LARS-WG برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری تابش توزیع نیمه تجربی می‌باشد. خروجی‌های این مدل شامل دمای

1 Ordinary Least Squares

2 Positive Mathematical Programming

3 Quadratic Cost Function

کمینه، دمای بیشینه، بارش کل و تابش می‌باشند (Akbari *et al.*, 2019). در این بررسی با بهره‌مندی از مدل LARS-WG به پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی دما و بارش در سطح ایستگاه‌های منتخب استان تهران پرداخته شد. به منظور تعیین تغییرپذیری‌های دما و بارش نسبت به دوره مبنا از اطلاعات سناریوهای انتشار A₁B، A₂ و B₁ که در سومین گزارش رسمی هیأت بین‌المللی اقلیمی (IPCC) در سال ۲۰۰۷ ارائه شد، در قالب مدل گردش عمومی HADCM3 بهره گرفته شد. برای اجرای مدل LARS-WG افزون بر سناریوهای تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، نیاز به فایل مشخصه رفتار اقلیمی گذشته حوضه‌های واقع در درون آن شبکه است که در مجموع به کمک ایستگاه‌های هواشناسی منتخب قابل دسترس است. سازوکار (مکانیسم) عمل مدل LARS-WG بدین صورت است که در آغاز با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که در برگزیده رفتار اقلیم پایه می‌باشد، داده‌های ماهانه را برابر با رابطه ریاضی زیر محاسبه و برآورد می‌کند.

$$F_{fut} \cong F_{obs} \cdot (F_{GCM}^{fut} / F_{GCM}^{base}) \quad (1)$$

در رابطه بالا، F_{obs} ، F_{GCM}^{fut} و F_{GCM}^{base} به ترتیب بیانگر متغیرهای پیش‌بینی شده، مشاهده شده، پیش‌بینی شده بر روی شبکه مدل در آینده و تولید شده بر روی شبکه مدل در دوره پایه است. در ادامه، با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها را برابر رابطه زیر تغییر می‌دهد.

$$STD_{fut} \cong \frac{STD_{obs}}{STD_{GCM}^{base}} \partial STD_{GCM}^{fut} \quad (2)$$

پس از اجرای مدل LARS-WG دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش کل و تابش به عنوان متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده، خروجی مدل تلقی می‌شوند (Gao *et al.*, 2020). صحت‌سنجی مدل زیرمقیاس LARS-WG یکی از مهم‌ترین مرحله‌ها در همه فرآیندهاست و هدف از آن ارزیابی عملکرد مدل برای شبیه‌سازی رفتار متغیرهای اقلیمی دما، بارش و تابش خورشیدی در منطقه موردبررسی است. این مرحله در اصطلاح به Q Test مشهور است. مبنای کار Q Test بدین شکل است که دوره بلندمدت اقلیمی با پیش‌فرض ۳۰۰ سال، داده‌های اقلیمی موردنیاز را به منظور مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای یا دیدبانی شده شبیه‌سازی می‌کند (Zubaidi *et al.*, 2018). در این بررسی، دوره دیده‌بانی ۱۳۹۷-۱۳۸۱ (۲۰۱۸-۲۰۰۲) برای استان تهران شبیه‌سازی شد و خطای مدل در برآورد فراسنجه‌های آماری مانند میانگین، انحراف معیار میزان‌های دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده با استفاده از آزمون‌های آماری (NS, F, t, MAE و RMSE) در سطح معنی‌داری یک درصد و روش مقایسه نموداری ارزیابی شد.

تحلیل رگرسیونی با روش اقتصادسنجی حداقل مربعات معمولی (OLS)

در این بررسی، به کمک روش اقتصادسنجی برآورد رگرسیون با حداقل مربعات معمولی^۱ (OLS)، معنی داری متغیرهای دما و بارش و تأثیرگذاری های آن‌ها بر عملکرد محصول ها (Y_i) در استان تهران، طی دوره ۱۶ ساله ۱۳۸۱-۱۳۹۷ با استفاده از بسته نرم‌افزاری Eviews بررسی شد. برای برآورد الگوی رگرسیونی بیانگر ارتباط عملکرد محصول‌ها با متغیرهای اقلیمی دما و بارش و نهاده‌های مصرفی با استناد به روش کاربردی (2009) *You et al.*، *Parhizkari* and *Sabouhi* (2013) و *Esteban and Albiac* (2016) از تابع رگرسیونی لگاریتمی- لگاریتمی^۲ زیر (رابطه ۳) که شکل توسعه یافته یک تابع کاب- داگلاس^۳ است، بهره گرفته شد. اگرچه تابع‌های چندی مانند تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (کاب-داگلاس)، ترانسلوگ، خطی، لئونتیف، ترانسندنتال (متعالی)، استونگری، چندجمله‌ای، زلنر- رویوکر، مرتبه دوم، توانی و... وجود دارند که برای انتخاب نوع تابع تولید در برآوردهای رگرسیونی مدنظر واقع می‌شوند، اما در این تحقیق به دلیل گستردگی مطلب، شکل‌های تبعی خطی (فیزیکی)، کاب- داگلاس و ترانسندنتال (متعالی) برای برآورد عملکرد محصول‌های منتخب زراعی استان تهران آزمون شدند و در پایان شکل تبعی کاب- داگلاس به‌رغم دارا بودن نتایج موازی در آزمون‌های نقض فرض‌های کلاسیک (شامل هم‌خطی، ناهمسانی واریانس، خودهمبستگی، نرمال بودن جمله‌های پسماند و خطای تصریح) با شکل تبعی ترانسندنتال، به دلیل دارا بودن شمار متغیر بیشتر در بحث معنی‌داری، برای برآورد انتخاب شد. رابطه (۳)، شکل کلی این تابع را نشان می‌دهد:

$$\ln Y_i \cong Q(1) \cdot Q(2) * \ln S_i \cdot Q(3) \ln T_i \cdot \prod_{j=1}^3 Q(4)_j \ln W_{ij} \cdot [R(1) \cong Q(5)]_i \quad (3)$$

با توجه به مدل رگرسیونی بالا، تغییرپذیری‌های میزان عملکرد محصول‌های منتخب زراعی در منطقه موردبررسی استان تهران بر مبنای میزان‌های دما و بارش و میزان کاربرد نهاده‌ها قابل پیش‌بینی و برآورد است. $\ln Y_i$ در این رابطه بیانگر عملکرد محصول i (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و کلزا)، اندیس j بیانگر شمار نهاده‌های مصرفی

1 Ordinary Least Squares

2 Power or Log-Log Regression Function

3 Cobb-Douglas Function

(بذر، نهاده شیمیایی، ماشین‌ها و ادوات، نیروی کار) در تولید محصول i و W_i میزان مصرف نهاده z در تولید محصول i است. T_i و S_i به ترتیب میانگین متغیرهای اقلیمی دما و بارش طی دوره رشد محصول i ، $Q(1)$ جمله ثابت یا عرض از مبدأ تابع عملکرد، $Q(2)$ ، $Q(3)$ و $Q(4)$ بیانگر ضریب‌های برآوردی مدل و $[R(1) \equiv Q(5)]_i$ جزء اخلاص یا جمله خطای مدل است.

مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)

با توجه به پیشرفت‌هایی که طی سال‌های اخیر در عرصه علم اقتصاد کشاورزی صورت گرفته، روش‌های نوینی برای سیاست‌گذاری‌ها و اجرای برنامه‌های چندمنظوره در بخش کشاورزی ایجاد شده است. از جمله این روش‌ها، استفاده از سامانه‌های مدل‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی^۱ (MP) است. مهم‌ترین مزیت این مدل‌ها، توانایی آن‌ها در بررسی جزئی‌تر تأثیر سیاست‌ها در سطح کشتزار است. مدل‌های برنامه‌ریزی هنجاری^۲ (NMP) و برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی^۳ (PMP) از جمله مهم‌ترین مدل‌های یاد شده هستند که در تحلیل سیاست‌های کشاورزی استفاده می‌شوند (Paul et al., 2017; Cortignani and Dono, 2018). نارسایی عمده مدل‌های برنامه‌ریزی هنجاری در این است که تضمین نمی‌کنند پاسخ‌های مدل همان پاسخ‌های سال پایه باشند. مدل‌های PMP که نخستین بار توسط پرفسور هاویت (۱۹۹۸) برای تحلیل اثرگذاری‌های سیاست‌های کشاورزی و منابع آب معرفی شدند، برای غلبه بر مسئله‌های موجود در مدل‌های NMP توسعه پیدا کردند. اصطلاح "اثباتی" در کلیت مدل PMP، بیانگر تحقق و اثبات داده‌های مشاهده شده در سال مینا یا مرجع پس از واسنجی (کالیبراسیون) سامانه مدل‌سازی است (Howitt et al., 2012; Parhizkari and Yazdani, 2017).

رویه کار در مدل PMP بدین شکل است که در آغاز یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین قیمت‌های سایه‌ای حل می‌شود. در مرحله دوم، یک تابع هزینه غیرخطی به همراه تابع تولید برآورد می‌شود و در مرحله سوم با لحاظ کردن تابع‌های برآورد شده بالا در تابع هدف، مدل غیرخطی نهایی واسنجی می‌شود (Gravelin, 2016).

1 Mathematical Programming

2 Normative Mathematical Programming

3 Ordinary Least Squares

مرحله نخست: حل مدل برنامه‌ریزی خطی (LP) و برآورد میزان‌های دوگان محدودیت‌ها در این مرحله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی^۱ (LP) برای بیشینه‌سازی مجموع سود ناخالص کشاورزان حل می‌شود و میزان‌های دوگان^۲ یا قیمت‌های سایه‌ای برای محدودیت‌های مدل به دست می‌آیند. شکل ریاضی این مرحله از مدل PMP را می‌توان به صورت زیر نشان داد (Howitt et al., 2012; Gravelin, 2016; Parhizkari and Yazdani, 2017):

$$Max \sigma \equiv \sum_{i=1}^7 (price_{ig} * yield_{ig} \phi_{ij}^5 a_{igj} cost_{igj}) Area_{ig} \quad (4)$$

Subject to: (5)

$$\sum_{i=1}^7 a_{igj} Area_{igj} \leq b_{gj} \quad \% \quad [O_i^j]$$

$$Area_i \leq \tilde{Area}_i \cdot \eta \quad \% \quad [O_i^c] \quad (6)$$

$$Area_i \geq 0 \quad \% \quad (7)$$

رابطه (۴) به عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل بیشینه‌سازی سود ناخالص کشاورزان است. در این رابطه، π مجموع سود ناخالص، i تعداد محصول‌ها (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و کلزا)، i زنباده‌های تولید (زمین، آب، نیروی کار، ماشین‌ها و ادوات و سرمایه) و g منطقه مورد بررسی (استان تهران) است. $price_i$ ، $yield_i$ و $Area_i$ به ترتیب قیمت بازاری، میزان عملکرد و سطح زیر کشت محصول i است. $cost_{ij}$ بیانگر هزینه تولید محصول i با مصرف زنباده j است. a_{ij} نیز بیانگر ضریب‌های لئونتیف است که نسبت استفاده هر زنباده به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$a_{ij} \equiv \frac{\tilde{Area}_i}{\tilde{Area}_{i, Land}} \cdot \% \quad (8)$$

رابطه (۵)، محدودیت منابعها است که b_j در آن، کل منابع‌های در دسترس است. رابطه (۶)، محدودیت واسنجی است که در آن، \tilde{Area}_i میزان مشاهده شده فعالیت i در سال پایه یا مبنا می‌باشد. η نیز میزان مثبت کوچکی برای جلوگیری از ایجاد وابستگی خطی بین محدودیت‌های مدل است. O_i^c و O_i^j در رابطه‌های (۵) و (۶)، قیمت‌های سایه‌ای یا میزان‌های دوگان

1 Liner Programing
2 Dual Value

محدودیت‌های سیستمی و واسنجی هستند. میزان O_i^f برای نهاده آب آبیاری بیانگر قیمت سایه‌ای یا ارزش واقعی (اقتصادی) این نهاده می‌باشد و بیانگر آن است که با اضافه شدن هر واحد (مترمکعب) آب آبیاری در سطح کشتزار، ارزش یا سود ناشی از بهره‌برداری آن در فرآیند تولید محصول‌ها به چه میزان تغییر می‌کند. رابطه (۷) نیز محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است (Howitt *et al.*, 2012; Gravelin, 2016; Parhizkari and Yazdani, 2017).

مرحله دوم: برآورد تابع هزینه غیرخطی درجه دو (کوآدراتیک) و محاسبه ضرایب آن در مرحله دوم مدل PMP، از ارزش دوگان به دست آمده در مرحله نخست برای واسنجی تابع هزینه غیرخطی یا کوآدراتیک (درجه دوم) استفاده می‌شود. علت استفاده از شکل تبعی غیرخطی تابع هزینه در این مرحله آن است که نتایج به دست آمده از این مدل با تابع هزینه غیرخطی، انعطاف‌پذیری رفتاری و شبیه‌سازی واقعی‌تری را نسبت به مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت با تابع هزینه خطی فراهم می‌کند و این موضوع از ایجاد ناپیوستگی ناگهانی و نامحتمل در رهیافت‌های شبیه‌سازی جلوگیری می‌کند (Parhizkari and Yazdani, 2017). در این بررسی از تابع هزینه غیرخطی با درجه دو برابر رابطه زیر استفاده شد:

$$TC_i \equiv \delta_i Area_i + \frac{1}{2} \varphi_i Area_i^2 \quad \%a \quad (9)$$

در رابطه بالا، TC_i هزینه کل تولید محصول i در منطقه مورد بررسی است. δ_i فراسنجه رهگیری یا عرض از مبدأ است که برای نشان‌دادن هزینه میانگین تولید به کار می‌رود. این فراسنجه از حاصل جمع هزینه نهاده زمین، قیمت سایه‌ای این نهاده و حاصل ضرب شیب تابع هزینه در سطح فعالیت‌ها محاسبه می‌شود. φ_i نیز فراسنجه گاما است که بیانگر شیب تابع هزینه غیرخطی است. با توجه به این که هزینه‌های تولید محصول‌های منتخب زراعی در واحد سطح (هکتار) قابل تعریف است؛ از این‌رو، تابع هزینه رابطه (۹) از متغیر سطح زیرکشت ($Area_i$) تبعیت می‌کند. هر یک از فراسنجه‌های فوق با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند (Howitt *et al.*, 2012; Gravelin, 2016; Parhizkari and Yazdani, 2017):

$$\varphi_i \equiv \frac{O_i^c}{\tilde{Area}_i} \quad \%a \quad (10)$$

$$\delta_i \equiv \left| \sum_{j=water}^5 c_{ij} q_{ij} \right| \quad \%aj \quad (11)$$

ارزیابی اثر گذاری های انتشار... ۱۲۵

در رابطه‌های بالا، c_{ij} و q_{ij} بیانگر میانگین هزینه و میزان مصرف نهاده i برای تولید محصول j می‌باشند. هزینه نهاده i به طور جداگانه در تابع هدف غیرخطی مرحله سوم لحاظ می‌شود:

$$C_{w.ch\ arg e} \cong \sum_{i=1}^7 [V\ cost_{water} (Wch\ arg e * IW_i)] Area_{ig} \quad (12)$$

در رابطه بالا، $V\ cost_{water}$ هزینه متغیر فعالیت آبیاری، $Wch\ arg e$ قیمت یا نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان و IW_i آب مصرفی در تولید محصول i است. رابطه (۱۳) نیز هزینه نهاده i را در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال نشان می‌دهد:

$$C_{trad} \cong \sum_{i=1}^7 [(IE\ cost * WE) . (IF\ cost * WF)] Area_{ig} \quad (13)$$

در رابطه بالا، $IE\ cost$ و WE به ترتیب بیانگر هزینه و حجم آب انتقال یافته در سطح منطقه موردبررسی هستند. $IF\ cost$ و WF نیز به ترتیب هزینه استحصال آب زیرزمینی و حجم آب استحصالی به وسیله سامانه‌های پمپاژ آب در سطح منطقه موردبررسی می‌باشند (Qarshi et al., 2013; Gravelin, 2016; Parhizkari and Yazdani, 2017).

مرحله سوم: تبیین مدل نهایی واسنجی شده با تابع هدف غیرخطی

در این مرحله که مرحله نهایی مدل PMP است، با استفاده از تابع هزینه غیرخطی واسنجی شده و مجموعه محدودیت‌های مورد استفاده (به استثنای محدودیت واسنجی)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت رابطه‌های زیر ساخته می‌شود (Qarshi et al., 2013; Gravelin, 2016; Parhizkari and Yazdani, 2017):

$$Max\ \sigma \cong \sum_{i=1}^7 [price_{ig} * yield_{ig} * \mu change_{yield}] Area_{ig} \quad (14)$$

$$0(\delta_i Area_i . \frac{1}{2} \phi_i Area_i^2) 0 \sum_{i=1}^7 [V\ cost_{water} . (Wch\ arg e * IW_i)] Area_{ig}$$

$$0 \sum_{i=1}^9 [(IE\ cost * WE) . (IF\ cost * WF)] Area_i$$

Subject to: (15)

$$\sum_{i=1}^7 IW_i * Area_{ig} \infty (1\ 0\ Cloos)] * Twat_g$$

$$\sum_{i=1}^7 Area_i \infty TArea \quad \%g \quad (16)$$

$$WE . WF \infty Twat_g \quad \%g \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^7 La_i * Area_i \propto TLa \quad \%g \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^7 K_i * Area_i \propto TK \quad \%g \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^7 Ma_i * Area_i \propto TMa \quad \%g \quad (20)$$

$$Area_i \propto 0 \quad \%g \quad (21)$$

رابطه (۱۴)، تابع هدف غیرخطی مدل PMP است که شامل تابع هزینه خطی برای نهاده آب، تابع هزینه کوادراتیک (درجه دوم) برای دیگر نهاده‌ها (زمین، نیروی کار، سرمایه و ماشین‌ها و ادوات) و تغییرپذیری‌های میزان عملکرد است. ضریب $\mu change_{yield}$ بیانگر تغییرپذیری‌های به وجود آمده در عملکرد محصول‌ها پس از اعمال سناریوهای اقلیمی است. رابطه (۱۵) محدودیت آب قابل دسترس را نشان می‌دهد که در آن، $CLoos$ درصد حجم آب قابل انتقال و $Twat_g$ کل آب در دسترس منطقه است. رابطه (۱۶) محدودیت اراضی آبی زیرکشت است و نشان می‌دهد که مجموع سطح زیرکشت اختصاص یافته به محصول‌های منتخب ($Area_i$) کمتر از کل یا مجموع سطح زیرکشت محصول‌ها ($TArea$) است. رابطه (۱۷) محدودیت منابع آب قابل انتقال و قابل استحصال را نشان می‌دهد. این محدودیت بیانگر آن است که مجموع منابع آب قابل انتقال سطحی (WE) و قابل استحصال زیرزمینی (WF) نمی‌تواند از کل حجم آب در دسترس منطقه ($Twat_g$) تجاوز کند یا بیشتر باشد. رابطه‌های (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) به ترتیب بیانگر محدودیت مربوط به نهاده‌های نیروی کار، سرمایه و ماشین‌ها و ادوات در منطقه موردبررسی می‌باشند. در این رابطه‌ها، La_i ، K_i و Ma_i به ترتیب بیانگر میزان موردنیاز نیروی کار، سرمایه و ماشین‌ها و ادوات برای تولید محصول i و TLa ، TK و TMa ؛ به ترتیب، بیانگر مجموع نیروی کار، سرمایه و ماشین‌ها و ادوات قابل دسترس در منطقه موردبررسی هستند. رابطه (۲۱) نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌های کشاورزی است که قابلیت پیاده‌سازی و اجرای مدل برنامه‌ریزی ارائه شده را در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد.

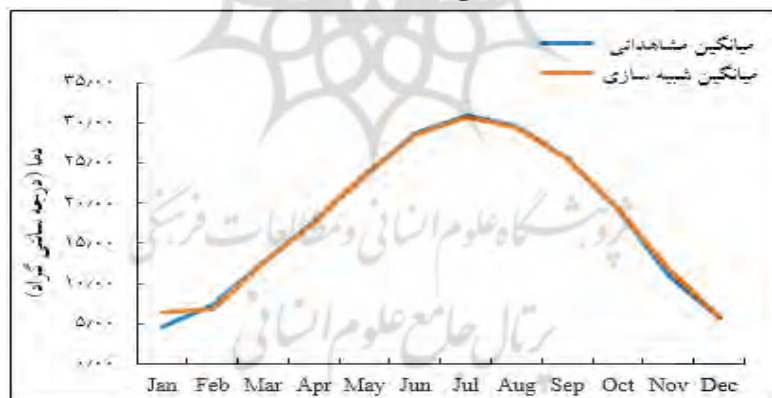
داده‌ها و اطلاعات موردنیاز از نوع اسنادی و ثبت‌شده در دستگاه‌های دولتی ذی‌ربط می‌باشند که برای سال‌های زراعی ۱۳۸۱-۱۳۹۷ و ۱۳۹۲-۱۳۹۷ گردآوری شده‌اند. داده‌ها مربوط به دو بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب هستند. داده‌ها و اطلاعات مربوط به متغیرهای اقلیمی و محصول‌های منتخب زراعی از طریق مراجعه مستقیم به سازمان جهاد کشاورزی استان تهران،

ارزیابی اثر گذاری های انتشار... ۱۲۷

سازمان هواشناسی این استان و سالنامه‌های آماری انتشار یافته گردآوری شدند. داده‌های منابع آب نیز با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای استان تهران گردآوری شدند.

نتایج و بحث

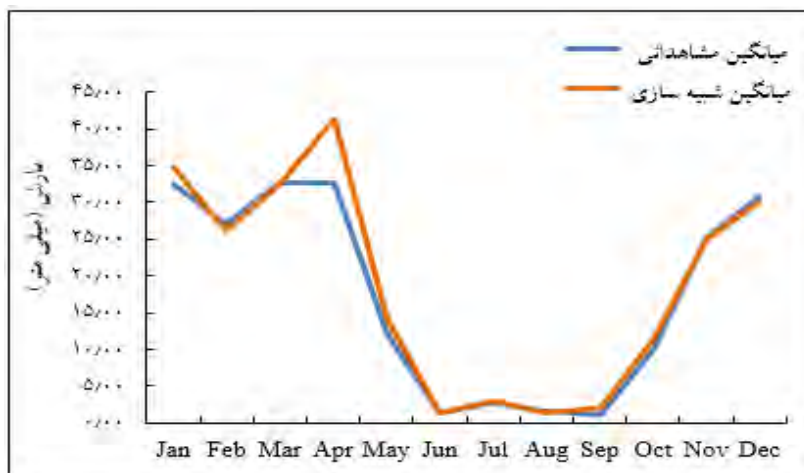
کمی‌سازی میزان تغییرپذیری‌های متغیرهای اقلیمی دما و بارش با غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای (سناریوهای انتشار A_1B ، A_2 و B_1) به کمک ورود اطلاعات مکانی (مختصات فضایی) و زمانی (دوره مورد بررسی)^۱ در سامانه GCM/RCM^۲ و ساختار ریز مقیاس LARS-WG (به کمک مدل گردش عمومی HADCM3) انجام گرفت. در این مدل‌ها، برابر با رابطه‌های ارائه شده در بخش روش تحقیق میانگین‌های ماهانه متغیرهای اقلیمی (دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دما، میانگین بارش، میانگین تابش روز) بر اساس غلظت انتشار گازهای گلخانه‌ای در هواسپهر (اتم‌سفر) زمین شبیه‌سازی گردید. به منظور واسنجی مدل LARS-WG، در آغاز یک سناریو حالت پایه برای دوره آزمون ۱۳۸۱-۱۳۹۷ (۲۰۰۲-۲۰۰۸) تدوین و مدل برای این دوره اجرا شد. پس از شبیه‌سازی، خروجی‌های مدل با داده‌های مشاهده‌ای در دوره پایه مقایسه شد. در ادامه، شبیه‌سازی اثرگذاری‌های سناریوهای انتشار برای دوره‌های آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ انجام شد. شکل‌های (۱) و (۲)، خروجی‌های به دست آمده از شبیه‌سازی مدل LARS-WG را نشان می‌دهند.



شکل (۱) مقایسه میانگین دمای مشاهده و شبیه‌سازی شده LARS-WG طی دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۷

Figure (1) Comparison of average observed and simulated LARS-WG temperatures during the period 2002-2018

1 Variable Selection & Geo-Selection
2 GCM/RCM monthly data download interface



شکل (۲) مقایسه میانگین بارش مشاهده و شبیه‌سازی شده LARS-WG طی دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۱
Figure (2) Comparison of average observed and simulated LARS-WG precipitation during the period 2002-2018

با توجه به شکل‌های بالا، ملاحظه می‌شود که میانگین ماهانه دمای هوا در استان تهران طی دوره پایه از ماه ژانویه (دی) تا جولای (تیر) با روندی صعودی و پس از آن تا ماه دسامبر (آذر) با روندی نزولی همراه است؛ در حالی که میانگین ماهانه بارش با نوسان‌هایی ملموس‌تر، از ماه ژانویه (دی) تا جولای (تیر) با روندی نزولی و سپس تا ماه دسامبر (آذر) با روندی صعودی همراه است. جدول (۱)، نتایج فراسنجه‌های آماری به دست آمده از مقایسه میزان‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده داده‌های هواشناسی را پس از اجرای آزمون Q-Test و محاسبات انجام گرفته در سطح استان تهران نشان می‌دهد:

جدول (۱) نتایج فراسنجه‌های ناشی از مقایسه داده‌های دیده‌بانی و مولد هواشناسی (۱۳۹۷-۱۳۸۱)

Table (1) Results of Parameters from Comparison of Observational and Meteorological Generation Data (2002-2018)

ردیف Row	پارامتر Parameter	بارش (mm) Precipitation	دما (°C) Temperature	ساعات آفتابی (h) Sunny hours
1	NS	0/96	0/99	0/99
2	MAE	1/085	0/136	0/078
3	RMSE	2/71	0/57	0/28

براساس نتایج جدول (۱)، بالا بودن مقادیر ضریب NS ناشی - ساتکلیف (نزدیک به یک بودن) از یک‌سو و پایین بودن میزان‌های شاخص‌های خطاسنجی MAE و RMSE برای متغیرهای

ارزیابی اثر گذاری های انتشار...۱۲۹

بارش، دما و تابش از سوی دیگر، نشان‌دهنده اعتبار بالای مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی طی دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۷ (۲۰۱۸-۲۰۰۲) است. همچنین، ملاحظه می‌شود که مدل شبیه‌سازی، داده‌های هواشناسی مربوط به میزان تابش را با دقت کمتری نسبت به دیگر داده‌ها (دما و بارش) تولید می‌کند. تحلیل نتایج به دست آمده از آزمون دو نمونه‌ای T زوجی نیز نشان می‌دهد که میزان آماره t برای متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در استان تهران به ترتیب برابر با ۰/۶۵۴، -۰/۹۰۳، -۰/۴۹۳ و -۰/۹۶۳ با ارزش احتمال ۰/۵۲۶، ۰/۳۸۴، ۰/۶۳۱ و ۰/۳۵۵ است. این امر گویای آن است که اختلاف معنی‌داری بین میزان‌های بازسازی شده و مشاهده‌ای داده‌های هواشناسی دما، بارش و تابش در سطح خطای ۰/۰۵ درصد وجود ندارد. مقادیر ضرایب همبستگی پیرسون بین داده‌های بازسازی شده و مشاهداتی طی دوره پایه در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ نشان از اعتبار مدل دارند. برقراری شرط $P\text{-Value} > 0.05$ نیز برای کلیه متغیرهای مذکور، وجود هماهنگی بین داده‌های مشاهده‌ای و مولد داده‌های هواشناسی (شبیه‌سازی شده) را بازگو می‌کند و بیانگر اعتبار مدل پایه پیش‌بینی کننده است. جدول (۲)، پیش‌بینی درصد تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی دما و بارش سالانه را طی دوره‌های آتی، نسبت به دوره پایه ۱۳۸۱-۱۳۹۷ تحت سناریوهای مختلف انتشار نشان می‌دهد.

جدول (۲) پیش‌بینی تغییرپذیری دما و بارش میانگین سالانه طی دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه

Table (2) Predicting annual temperature and precipitation variability during future periods compared to the base period

افق ۲۰۸۰-۲۰۹۹		افق ۲۰۴۶-۲۰۶۵		افق ۲۰۱۱-۲۰۳۰		میزان تغییرپذیری	سناریوی انتشار
Horizon 2080-2099		Horizon 2046-2065		Horizon 2011-2030			
بارش (mm)	دما (°C)	بارش (mm)	دما (°C)	بارش (mm)	دما (°C)	The degree of variability	Release scenario
Pre (mm)	Temp (°C)	Pre (mm)	Temp (°C)	Pre (mm)	Temp (°C)		
19/9	3/09	17/4	1/68	0/63	0/27	مقدار (Amount)	A ₁ B
-9/50	20/7	-8/30	11/87	-0/30	1/66	درصد (Percent)	
41/1	3/75	12/8	1/66	2/73	0/35	مقدار (Amount)	A ₂
-19/6	26/0	-6/10	11/47	-1/30	2/51	درصد (Percent)	
14/5	2/17	9/03	1/35	0/00	0/29	مقدار (Amount)	B ₁
-6/90	15/6	-4/30	9/28	0/00	1/77	درصد (Percent)	

مولفه "مقدار" در جدول (۲) برای دما، افزایش میزان خروجی و برای بارش، کاهش میزان خروجی از مدل LARS-WG را در شرایط اعمال سناریوهای A₁B، A₂ و B₁ طی دوره‌های زمانی آتی نسبت به میزان‌های ثبت شده در دوره دیده‌بانی (۱۳۸۱-۱۳۹۷) بازگو می‌کند.

براساس نتایج جدول (۲)، ملاحظه می‌شود که دمای هوا طی دوره‌های آتی در همه سناریوها نسبت به دوره پایه در حال افزایش می‌باشد؛ در حالی که بارش در همه سناریوها در حال کاهش است. همچنین، کمترین و بیشترین میزان کاهش بارش محقق شده نسبت به میانگین دوره پایه به ترتیب حدود ۰/۳- و ۱۹/۶- درصد خواهد بود. نتایج جدول (۲) گویای آن است که رفتار متغیرهای دما و بارش طی دوره‌های آتی نسبت به دوره دیده‌بانی به ترتیب افزایشی و کاهش‌ی خواهد بود؛ به طوری که کاهش ۰/۶۳ تا ۴۱/۱ میلی‌متر برای بارش و افزایش ۰/۲۷ تا ۳/۷۵ درجه سلسیوس برای دمای هوا طی دوره‌های کوتاه مدت تا بلندمدت رخ خواهد داد. از این رو می‌توان به کمک قاعده میانگین‌گیری با داشتن دید میان‌مدت، اثرگذاری‌های اقتصادی اعمال سناریوی افزایش دو درجه‌ای دمای هوا و کاهش ۲۰ میلی‌متری بارش را در بخش کشاورزی استان تهران ارزیابی کرد. جدول (۳)، نتایج معنی‌داری متغیرهای اقلیمی دما و بارش و نهاده‌های کشاورزی را بر میزان عملکرد محصول‌های منتخب استان تهران نشان می‌دهد.

جدول (۳) نتایج به دست آمده از برآورد تابع‌های عملکرد محصول‌های منتخب زراعی

Table (3) Obtained results of estimating the yield functions of products

آماره F	ضریب R ²	نیروی کار Labor	ماشین‌ها Machin	شیمیایی Chemical	بذر Seed	دما Temp	بارش Pre	جمله C Intercept	آماره Statistic	محصول Product
14/25*	0/84	-0/672 -4/48*	-0/047 -0/76 ^{ns}	-0/080 -2/09***	0/006 0/08 ^{ns}	-0/362 -2/2**	0/025 2/52**	13/60 7/14*	Coeffic Stat t	گندم آبی (Wheat)
8/89*	0/75	-0/03 -0/85 ^{ns}	0/471 3/47*	-0/003 -0/05 ^{ns}	-0/390 - 2/98**	-0/572 -1/9***	0/069 2/27**	9/468 6/63*	Coeffic Stat t	جو آبی (Barley)
28/97*	0/91	1/455 3/77*	0/901 1/67***	0/224 0/65 ^{ns}	0/764 3/54*	1/389 2/27**	0/140 2/01***	-13/04 -4/68*	Coeffic Stat t	ذرت (Corn)
16/56*	0/86	-0/019 -0/09 ^{ns}	-0/253 -1/87***	0/045 0/71 ^{ns}	- 0/076	0/884 4/91*	0/087 4/84*	8/509 8/59**	Coeffic Stat t	گوجه (Tomato)
19/82*	0/88	-0/438 -3/24**	0/075 0/82 ^{ns}	0/064 1/89***	0/032 0/84 ^{ns}	0/296 1/9***	0/035 1/98***	11/18 15/53*	Coeffic Stat t	هندوانه (WaterMelon)
6/026*	0/66	-0/947 -2/84**	0/156 2/42**	-0/011 -0/08 ^{ns}	0/239 0/71 ^{ns}	-1/547 -3/37*	-0/131 -2/8**	17/58 6/26*	Coeffic Stat t	آفتابگردان (Sunflower)
7/124*	0/71	-1/112 -1/82***	1/708 3/22*	-0/681 -2/46**	3/001 4/78*	1/830 1/7***	0/294 3/23*	-3/398 -0/85 ^{ns}	Coeffic Stat t	کلزا (Canola)

*، ** و ***: به ترتیب معنادار در سطح یک، پنج و ده درصد و NS بیانگر حالت بدون معنی‌داری است.
*, ** and ***: meaningful at the level of one, five and ten percent and ns indicate the state without significance.

ارزیابی اثر گذاری های انتشار... ۱۳۱

شایان ذکر است که به کمک نتایج جدول (۲) می‌توان سناریوهای کاربردی برای ارزیابی اثرگذاری‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای بر میزان عملکرد محصول‌های منتخب و آن‌گاه اثرگذاری این پدیده بر الگوی کشت و متغیرهای اقتصادی بخش کشاورزی را تداعی نمود.

یافته‌های مندرج در جدول (۳) گویای آن است که متغیر اقلیمی بارش طی دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۱ بر میزان میانگین عملکرد سالانه کلیه محصول‌های منتخب زراعی به جز آفتابگردان اثرگذاری مثبت و معنی‌داری دارد. براساس نتایج به دست آمده از برآورد تابع‌های عملکرد، ملاحظه می‌شود که ضریب‌های معنی‌داری در سطح یک درصد (برای گوجه‌فرنگی 0.087 و کلزا 0.294)، پنج درصد (برای گندم آبی 0.025 ، جو آبی 0.069 و آفتابگردان -0.131) و 10 درصد (برای ذرت دانه‌ای 0.140 و هندوانه 0.035) برای متغیر اقلیمی بارش برآورد شده است.

این امر گویای آن است که با افزایش یک واحدی متغیر اقلیمی بارش در سطح استان تهران، میزان عملکرد گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای و هندوانه به ترتیب 0.025 ، 0.069 ، 0.140 و 0.035 درصد افزایش می‌یابد؛ در حالی که میزان میانگین عملکرد آفتابگردان 0.131 درصد کاهش پیدا می‌کند. افزون بر این، نتایج گویای آن است که متغیر اقلیمی دما نیز همانند بارش، اثرگذاری‌های معنی‌داری را بر عملکرد محصول‌های منتخب زراعی در استان تهران دارد. این اثرگذاری برای گوجه‌فرنگی و آفتابگردان در سطح یک درصد، برای گندم آبی، جو آبی و آفتابگردان در سطح پنج درصد و برای ذرت دانه‌ای و هندوانه در سطح 10 درصد معنی‌دار شده است. نتایج بیانگر آن است که با افزایش یک واحدی دمای هوا میزان میانگین عملکرد گندم آبی، جو آبی و آفتابگردان به ترتیب 0.0362 ، 0.0572 و 0.1547 درصد کاهش پیدا می‌کند؛ در حالی که عملکرد ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه و کلزا به ترتیب 0.389 ، 0.884 ، 0.296 و $1/830$ درصد بهبود (افزایش) می‌یابد. تأثیرپذیری به نسبت شدید عملکرد ذرت دانه‌ای و کلزا در استان تهران نسبت به شرایط گرمایش جهانی (افزایش دمای هوا) از جمله نتایج مهم به دست آمده از برآورد تابع‌های عملکرد است. بخش دیگری از نتایج جدول (۳)، خروجی تابع‌های عملکرد برآورد شده را برای نهاده‌های مصرفی در فرآیند تولید محصول‌های منتخب زراعی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که نهاده بذر مصرفی برای ذرت دانه‌ای و کلزا در سطح یک درصد و برای جو آبی در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است؛ اما برای گندم آبی، گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان در هیچ یک از سطح‌های مورد بررسی معنی‌دار نشده است. نتایج بیانگر رابطه مثبت (مستقیم) و معنی‌دار بین میزان بذر مصرفی با عملکرد محصول‌های ذرت دانه‌ای و

کلزا و همچنین، رابطه منفی (معکوس) و معنی‌دار بین میزان بذر مصرفی با عملکرد جو آبی است. نهاده شیمیایی کود و سم بر عملکرد محصول‌های منتخبی چون گندم آبی و کلزا اثرگذاری‌های منفی و معنی‌داری دارد، در حالی که عملکرد محصول صیفی هندوانه تأثیرپذیری مثبتی را در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد از نهاده شیمیایی دارا می‌باشد. افزایش ۰/۰۶۴ درصدی میزان عملکرد هندوانه و کاهش ۰/۰۸ و ۰/۶۸۱ درصدی عملکرد گندم آبی و کلزا در شرایط افزایش یک درصدی کاربرد نهاده‌های شیمیایی کود و سم در سطح اراضی زراعی استان تهران از نتایج دیگر به دست آمده است. همچنین، یافته‌ها گویای آن است که به‌کارگیری نهاده ماشین‌آلات در سطح اراضی کلیه محصول‌های منتخب زراعی به جز گندم آبی و هندوانه معنی‌دار می‌باشد. علت این امر می‌تواند آماده بودن اراضی زیرکشت محصول‌های گندم آبی و هندوانه (که سهم بالایی را از الگوی منطقه در اختیار دارند) به لحاظ زیرساخت کاشت (تراکتور، دیسک، نه‌رکن، شیارکن، سله شکن و ...) و نیاز کمتر آن‌ها به ادوات و ماشین‌ها و ادوات در مرحله‌های داشت (برای سم‌پاشی و توزیع کود) و برداشت (کمباین) نسبت به دیگر محصول‌های الگوی کشت باشد. افزون بر این، نتایج نشان می‌دهد که افزایش ساعات کار ماشین‌آلات در واحد سطح اراضی زراعی استان تهران رابطه مستقیم و معناداری را با میزان عملکرد جو آبی، ذرت دانه‌ای، آفتابگردان و کلزا دارد. بدین معنی که افزایش ساعت‌های کاری ماشین‌ها و ادوات برای فراهم شدن شرایط کاشت، داشت و برداشت محصول‌های یادشده در مقایسه با گندم آبی و هندوانه می‌تواند سبب بهبود عملکرد آن‌ها شود؛ این در حالی است که نتایج به دست آمده از برآورد تابع‌های رگرسیونی، تأثیرپذیری منفی و معنی‌دار میزان میانگین عملکرد محصول گوجه‌فرنگی را نسبت به افزایش ساعت‌های کار ماشین‌ها و ادوات مکانیزه در سطح اراضی بازگو می‌کند. در خصوص نهاده نیروی کار نیز، یافته‌ها گویای آن است که این متغیر برای همه محصول‌های منتخب به جز جو آبی و گوجه‌فرنگی معنی‌دار شده است. نتایج ستون‌های انتهایی جدول (۳)، برازش مناسب مدل‌های رگرسیونی را بازگو می‌کند. میزان‌های ضریب تعیین تعدیل شده (\bar{R}^2) از ۰/۶۶ تا ۰/۹۱ برآورد شده است که نشان می‌دهد متغیرهای مستقل دما، بارش، نهاده شیمیایی، ماشین‌ها و ادوات و نیروی کار توانسته‌اند درصد بالایی از تغییرپذیری‌های متغیر وابسته (عملکرد) را توضیح دهند. میزان آماره آزمون F نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شده است که این نتیجه مهم، معنی‌داری کل مدل رگرسیون را بازگو می‌کند.

ارزیابی اثر گذاری های انتشار...۱۳۳

جدول (۴) نتایج به دست آمده از تحلیل و ارزیابی اثرگذاری های بالقوه تغییرات اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای (افزایش دو درجه‌ای دمای هوا و کاهش ۲۰ میلی‌متری بارش) را بر الگوی زراعی استان تهران و متغیرهای اقتصادی مرتبط با آن نشان می‌دهد.

جدول (۴) تغییرپذیری‌های الگوی کشت و متغیرهای اقتصادی پس از اعمال سناریوی اقلیمی

Table (4) Changes in cropping pattern and economic variables after application of climate scenario

درصد تغییرات نسبت به دوره پایه	الگوی زراعی پس از اعمال سناریو	الگوی زراعی پس از واسنجی PMP	الگوی کشت دوره پایه (هکتار)	محصول‌های منتخب
Percentage of changes compared to the base period	Pattern after applying the scenario	Cropping pattern after PMP calibration	Basic period cropping pattern (ha)	Selected products
1/08	57442	56825	56825	گندم آبی (Wheat)
-6/77	30205	32400	32400	جو آبی (Barley)
10/9	10404	9380	9380	ذرت دانه‌ای (Corn)
-1/47	8631	8760	8760	گوجه‌فرنگی (Tomato)
-44/3	739	1327	1327	هندوانه (WaterMelon)
-16/2	2444	2920	2920	آفتابگردان (Sunflower)
54/5	4950	3203	3203	کلزا (Canola)
0/00	114815	114815	114815	مجموع سطح زیرکشت* (Total acreage)
7/71	18842/49	17493/73	17493/73	بازده ناخالص الگو** (Gross profit)
12/6	1296	1152	1152	ارزش اقتصادی آب*** (Water economic value)

*، ** و ***: به ترتیب برحسب هکتار، میلیون ریال و ریال در مترمکعب
*، ** and ***: hectar, million rials and rials per cubic meter, respectively

با توجه به نتایج جدول (۴)، ملاحظه می‌شود که پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی دو درجه افزایش دمای هوا و ۲۰ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به میانگین دوره پایه (۱۳۹۷-۱۳۹۲)، الگوی کشت کشاورزان استان تهران به سمت کاهش سطح زیرکشت جو آبی، گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان و همچنین، توسعه سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای، گندم آبی و کلزا سوق پیدا می‌کند. ملاحظه می‌شود که با رخداد شرایط اقلیمی یاد شده، هندوانه با کاهش ۴۴/۳ درصدی سطح زیرکشت و کلزا با افزایش ۵۴/۵ درصدی سطح زیرکشت نسبت به میانگین دوره پایه، از حساس‌ترین محصول‌های الگوی منتخب زراعی استان تهران به شمار می‌روند. علت افزایش سطح زیرکشت کلزا از ۳۲۰۳ به ۴۹۵۰ هکتار، سوددهی مناسب آن از

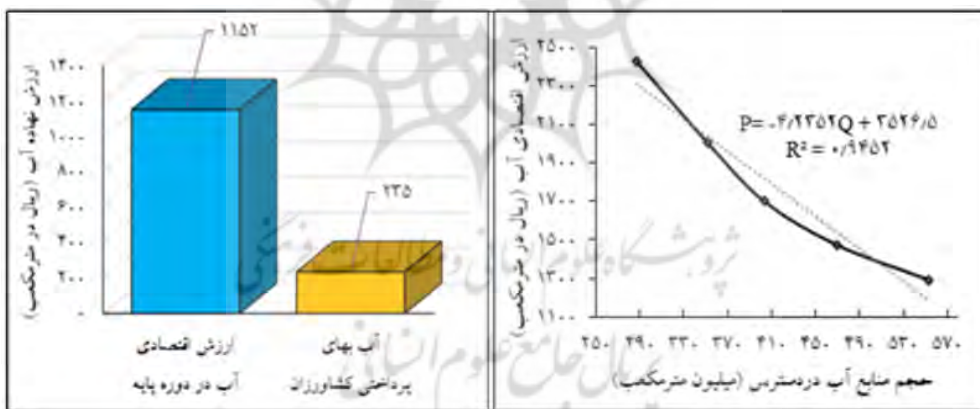
یک سو و نیاز به آب مصرفی کمتر آن نسبت به محصول‌هایی چون ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و هندوانه از سوی دیگر است. محصول کلزا در شرایط رخداد تغییر اقلیم، تغییرپذیری‌های مثبتی را در عملکرد خود تجربه می‌کند؛ در حالی که هندوانه به دلیل نیاز به میزان آب مصرفی بالا در هر هکتار نسبت سود به آب مصرفی پایین‌تری در مقایسه با دیگر محصول‌های الگوی کشت دارد و به همین دلیل، در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، از آمادگی کشاورزان برای توسعه سطح زیرکشت آن در الگوی زراعی استان تهران کاسته خواهد شد. رابطه منفی میزان عملکرد این محصول نسبت به شرایط رخداد تغییر اقلیم طی دوره‌های آبی (که منجر به کاهش بارش و افزایش دما می‌شود) نیز گواه بر این امر است.

برابر با بخش دیگری از نتایج جدول (۴)، ملاحظه می‌شود که تغییرپذیری‌های به وجود آمده در الگوی کشت محصول‌های منتخب زراعی استان تهران پس از اعمال سناریوی تغییر اقلیم تلفیقی، منجر به تغییرپذیری‌های ناچیزی در میزان آب مصرفی در الگوی کشت منطقه می‌شود، اما بهینه شدن الگوی کشت در شرایط رخداد تغییر اقلیم طی دوره‌های آبی، افزایش میزان مجموع بازده ناخالص کشاورزان را تا ۷/۷۱ درصد نسبت به میانگین بازده در دوره پایه به دنبال دارد. از این رو، اگرچه که در میزان آب مصرفی در واحد سطح محصول‌های منتخب زراعی صرفه‌جویی چندانی نمی‌شود، اما با مصرف همین میزان آب در الگو (یعنی حدود ۵۳۸/۴۶۸ میلیون مترمکعب) بازدهی اقتصادی به مراتب بالاتری (حدود ۷/۷۱ درصد) برای کشاورزان استان تهران به دست می‌آید که این امر می‌تواند نویدبخش تغییرپذیری‌های سازنده‌ای در الگوی منتخب زراعی استان تهران طی دوره‌های آبی باشد. افزایش ارزش واقعی یا اقتصادی هر مترمکعب آب آبیاری از ۱۱۵۲ به ۱۲۹۶ ریال، نتیجه دیگری است که در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از افزایش دو درجه‌ای دمای هوا و ۲۰ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به میانگین دوره پایه (۱۳۹۷-۱۳۹۲) محقق می‌شود. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که با محدود شدن منابع آب آبیاری استان تهران، به ویژه در دشت‌های جنوبی آن در نتیجه کاهش بارش و افزایش دمای هوا (اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی) و کاهش حجم آب در دسترس کشاورزان، میزان ارزش اقتصادی آب آبیاری که مبین بهای واقعی این نهاد کمیاب است، تا حدود ۱۲/۶ درصد نسبت به میانگین دوره پایه افزایش می‌یابد. کاهش حجم آب در دسترس کشاورزان از یک سو و افزایش ارزش اقتصادی آب آبیاری از سوی دیگر، بدون شک تقاضای کشاورزان تهرانی را برای نهاد آب آبیاری افزایش خواهد داد. بدین مفهوم که آن‌ها ناگزیرند

ارزیابی اثر گذاری های انتشار...۱۳۵

برای تخصیص منابع آب موجود و محدود منطقه در بین فعالیت‌های مختلف زراعی، ارزش‌های بالاتری را برای نهاده آب آبیاری پرداخت کنند که این امر درخواست یا تقاضای بیشتر آب آبیاری را از سوی کشاورزان استان تهران در شرایط عرضه محدود این نهاده کمیاب (به علت رخداد تغییر اقلیم و کاهش بارش) تبیین می‌کند. افزون بر این، نتایج این بخش گویای آن است که در بین محصولات منتخب زراعی استان تهران، گندم آبی، ذرت دانه‌ای و کلزا محصولات مناسب‌تری برای توسعه سطح زیرکشت در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح اراضی استان تهران می‌باشند؛ درحالی‌که توسعه سطح زیرکشت محصول سرمادوست جو آبی و محصولات با نیاز آبی بالای گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان برای دوره‌های آبی با احتمال رخداد تغییرپذیری‌های اقلیم ناشی از تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای توصیه نمی‌شود.

شکل (۳) افزون بر تابع تقاضای آب برآورده شده (نگاره سمت راست)، تفاوت فاحش ارزش اقتصادی (واقعی) نهاده آب آبیاری را با میزان آب‌بهای پرداختی کشاورزان استان تهران در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای (اعمال سناریوی تلفیقی اقلیمی) نشان می‌دهد (نگاره سمت چپ).



شکل (۳) مقایسه ارزش اقتصادی آب آبیاری با آب‌بهای پرداختی کشاورزان و تابع تقاضای آب آبیاری در استان تهران در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای

Figure (3) Comparison of economic value of irrigation water with water paid by farmers and the function of irrigation water demand in Tehran province in the event of climate change due to greenhouse gas emissions

براساس شکل (۳) ملاحظه می‌شود که آمادگی به پرداخت برای نهاده آب یا همان آب‌بهای پرداختی کشاورزان درصد به نسبت ناچیزی از کل ارزش واقعی یا اقتصادی برآورد شده برای هر مترمکعب آب آبیاری را در این استان پوشش می‌دهد. برابر با تابع تقاضای آب برآورد شده نیز می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزان استان تهران در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل کاهش بارش و گرم شدن دمای هوا از یک سو و محدود شدن منابع آب در دسترس منطقه از سوی دیگر، ناگزیرند ارزش‌های ریالی بالاتری را برای تأمین منابع آب موردنیاز اراضی خود پرداخت کنند. برآزش مناسب تابع تقاضای آب کشاورزان استان تهران (برابر با ضریب تعیین برآورد شده که حدود ۰/۹۴ است) در شرایط رخداد تغییر اقلیم و کشت‌پذیری نهاده آب آبیاری در سطح اراضی زراعی این استان (با ضریب کشت حدود ۰/۹۵) نسبت به تغییرپذیری قیمتی این نهاده، نتیجه مهم دیگری است که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به طور کلی، نتایج به دست آمده از این تحقیق بیانگر محسوس بودن روند تغییرپذیری‌های متغیرهای اقلیمی دما و بارش طی دوره‌های آتی در سطح استان تهران می‌باشد که این نتیجه مهم افزایش احتمال تحقق و یا رویداد پدیده مهم تغییر اقلیم را طی دوره‌های پیش‌رو در نتیجه روند رو به رشد انتشار گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های بی حد و حصر انسان‌ها پیرامون این زمینه در سطح منطقه موردبررسی بازگو می‌کند. آنچه در شکل کلی، از یافته‌های به دست آمده در این تحقیق منتج می‌شود، وجود هماهنگی مناسب بین داده‌های هواشناسی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به وسیله مدل‌های گردش عمومی در سطح استان تهران است که در نهایت بیانگر اعتبار مدل پایه پیش‌بینی کننده است. افزون بر این، پیش‌بینی درصد تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی دما و بارش در سطح استان تهران نسبت به دوره پایه به ترتیب افزایشی و کاهش‌ی خواهد بود و این نتیجه مهم تحقق سناریوی تلفیقی را طی دوره‌های آتی در منطقه مطالعاتی بازگو می‌کند. تحلیل‌های رگرسیون صورت گرفته نیز تأثیرپذیری به نسبت شدید عملکرد محصول‌های منتخب زراعی را در سطح استان تهران نسبت به شرایط تحقق گرمایش جهانی (افزایش دمای هوا و کاهش میزان بارش) حاکی هستند. این نتیجه مهم همسو با یافته‌های مندرج در تحقیق (Soleymaninejad et al. (2019 در دشت مشهد می‌باشد. یافته‌های تحقیق یاد شده همانند نتایج به دست آمده در این تحقیق، معنی‌داری اثرگذاری‌های

ارزیابی اثر گذاری های انتشار...۱۳۷

متغیرهای اقلیمی دما و بارش را بر عملکرد محصول‌های منتخب زراعی دشت مشهد بازگو می‌کند. تغییرپذیری‌های به وجود آمده در سطح زیرکشت محصول‌های منتخب الگوی این دشت تا افق ۱۴۰۰ و دوره‌های پس از آن در نتیجه پیامدهای منفی تغییر اقلیم از دیگر نتایجی است که برای برخی از محصول‌های زراعی استان تهران (مانند آفتابگردان و هندوانه) نیز در این تحقیق محقق شده است. پژوهش (Agovino et al. 2018) در این راستا، یافته‌هایی برخلاف نتایج این تحقیق را به دنبال داشت. آنان به این نتیجه دست یافتند که انتشار گازهای گلخانه‌ای اثرگذاری‌های منفی و مخربی بر عملکرد و سطح زیرکشت محصول‌های زراعی منطقه‌های موردبررسی در اتحادیه اروپا دارد، در حالی که یافته‌های این تحقیق در برخی موارد (به‌ویژه در بررسی عملکرد کلزا و ذرت دانه‌ای) همسویی و رابطه مستقیم تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای را با عملکرد محصول‌های منتخب زراعی استان تهران طی دوره‌های آتی نشان داد. خروجی مدل PMP در این تحقیق که اثرگذاری‌های تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را در زیربخش کشاورزی بازگو کرد، گویای آن است که پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی، سطح زیرکشت گندم آبی، ذرت دانه‌ای و کلزا در الگوی زراعی استان تهران افزایش می‌یابد؛ در حالی که برای جو آبی، گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان کاهش سطح زیرکشت نسبت به میانگین سطح دوره پایه مشاهده می‌شود. نتیجه به دست آمده در پژوهش (Amirnejad and Asadpour kordi 2017) در زمینه اثرگذاری انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عملکرد محصول گندم آبی برابر با یافته‌های این تحقیق ارتباط مستقیم اثرگذاری‌های کاهش بارش و افزایش دما بر عملکرد این محصول را گویا است، از این رو پژوهش یاد شده در بخشی از نتایج به دست آمده، با یافته‌های این تحقیق قرابت دارد. افزون بر این، خروجی مدل PMP در این تحقیق نشان داد که محصول هندوانه به علت وابستگی شدید به بارش‌های آسمانی طی دوره رشد خود، بیشترین کاهش سطح زیرکشت را در مقایسه با دیگر محصول‌های الگو تجربه می‌کند که این امر اقتصادی نبودن توسعه سطح زیرکشت آن را در الگوی زراعی استان تهران بازگو می‌کند. عکس این نتیجه برای محصول کلزا به دست آمد که حاکی از وجود شرایطی مساعد برای توسعه سطح زیرکشت این محصول در شرایط رخداد تغییر اقلیم در سطح استان تهران است. اثرگذاری‌های مثبت بهینه‌سازی الگوی زراعی پس از رخداد تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش و افزایش دمای هوا (تحقق گرمایش جهانی) در قالب افزایش مجموع بازده ناخالص کشاورزان و تعدیل‌سازی قیمت آب آبیاری بر مبنای ارزش واقعی یا اقتصادی آن، از

دیگر نتایج مهم در این تحقیق است که همسو با یافته‌های تحقیق Mahmoodi and Parhizkari (2016) می‌باشد. آنان در تحقیق خود اثرپذیری بازده ناخالص کشاورزان دشت قزوین را از تغییرپذیری‌های عملکرد محصول‌های منتخب که ناشی از رخداد تغییر اقلیم بود، بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بازده ناخالص کشاورزان قزوینی به علت اصلاح الگوی کشت و حرکت به سمت برنامه بهینه در شرایط رخداد تغییر اقلیم نسبت به دوره مبنا می‌تواند افزایش یابد. به طور کلی، یافته‌ها گویای آن است که بیشترین سطح زیرکشت محصول‌های منتخب در الگوی کنونی استان تهران مربوط به غلات گندم و جو آبی است. از سوی دیگر، تغییرپذیری‌های عملکرد این محصول‌ها نیز در شرایط تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای قابل ملاحظه می‌باشد؛ بنابراین لازم است تا سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی به این موضوع توجه داشته باشند تا بتوانند با اتخاذ سیاست‌های مناسب مدیریت خطرپذیری‌ها (ریسک)، خطرپذیری‌های تولید این محصول‌های غله‌ای را کاهش دهند و با اجرای راهکارهای مناسب مانند پیش‌بینی دقیق تغییرات اقلیمی از نوسان تولید این محصول‌های راهبردی بازداری کنند. بدون شک، با توجه به نتایج این تحقیق برنامه‌ریزان بخش کشاورزی استان تهران می‌توانند با اتخاذ سیاست‌های مناسب تنظیم بازار، بازدارنده کمبود این محصول‌ها در نتیجه کاهش سطح زیرکشت آن‌ها شوند. توجه به توسعه سطح زیرکشت محصول‌هایی چون کلزا و ذرت دانه‌ای و کاهش سطح زیرکشت هندوانه در الگوی کشت استان تهران طی دهه‌های آتی، از دیگر پیشنهاد‌های مطرح شده به مسئولان و متولیان زراعت در زیربخش کشاورزی این استان است که بدون قید و شرط می‌تواند کشاورزان و بهره‌برداران زراعی این استان را در شرایط رخداد تغییرپذیری‌های اقلیم ناشی از تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای از زیان‌های احتمالی مصون دارد. در پایان، با توجه به ناهمگامی تغییرپذیری‌های اقلیمی در برنامه‌ریزی منطقه‌ای، برای افزایش میزان تولید محصول‌های کشاورزی استان تهران ضرورت دارد که در آغاز به عامل بهبود عملکرد در واحد سطح پرداخته شود و توسعه سطح زیرکشت محصول‌هایی چون گندم آبی، ذرت دانه‌ای و کلزا در اولویت بعدی قرار گیرد.

منابع

- Agovinoa, M., Casaccia, M., Ciommi, M., Ferrara, M. and Marchesano, K. (2018). Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. Ecological Indicators, Available online 8 May 2018, In Press, Corrected Proof.
- Akbari, M., Najafi Alamdarlo, H. and Mosavi, H. (2019). Effects of Climate Change and Drought on Income Risk and Crop Pattern in Qazvin Plain Irrigation Network. Journal of Water Research in Agriculture, 33 (2): 265-281. (In Farsi)
- Amirnejad, H. and Asadpour Kordi, M. (2017). Investigating the effects of climate change on Iranian wheat production. Journal of Agricultural Economics Research, 35 (9): 163-182. (In Farsi)
- Chauhan, B.S., Kaur, P., Mahajan, G., Randhawa, R.K. and Kang, M.S. (2014). Global Warming and Its Possible Impact on Agriculture in India. *Advances in Agronomy*, 123: 65-121.
- Cortignani, R. and Dono, G. (2018). Agricultural policy and climate change: An integrated assessment of the impacts on an agricultural area of Southern Italy. *Environmental Science & Policy*, 81: 26-35.
- Esteban, E. and Albiac, J. (2016). Salinity Pollution Control in the Presence of Farm Heterogeneity: An Empirical Analysis. *Water Economics and Policy*, 2(2):1-20.
- Gao, C.H., He, Z., Pan, S., Xuan, W. and Xu, Y. (2020). Effects of climate change on peak runoff and flood levels in Qu River Basin, East China. Journal of Hydro-environment Research, 28: 34-47.
- Graveline, C. (2016). Economic calibrated models for water allocation in agricultural production: A review. *Environmental Modelling and Software*, 81: 12-25.
- Guo, Y. and Shen, Y. (2016). Agricultural water supply/demand changes under projected future climate change in the arid region of northwestern China. *Journal of Hydrology*, 540(1): 257-273.
- Howitt, R.E, Medellin-Azuara, J, MacEwan, D. and Lund, R. (2012). Calibrating disaggregates economic models of agricultural production and water management. Science of the Environmental Modeling and Software, 38: 244-258.
- IPCC. (2018). Climate Change. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental

- Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- IPCC. (2018). The scientific Basis, Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press. New York, USA, No: 996.
- Meteorological Organization of Tehran Province. (2018). Detailed report on the rainfall situation in Tehran province during the last five years (2009-2013), 47 pages. (In Farsi)
- Ministry of Power. (2019). Office of Basic Studies of Water Resources, Integration and Balance Group of Tehran Regional Water Company, Tehran Province, 63 pages. (In Farsi)
- Mahmoodi, A. and Parhizkari, A. (2016). Economic modeling of agricultural water resources management in Tehran province with emphasis on the role of water market. *Journal of Economic Modeling*, 35 (3): 121-139.
- NikNazli, A. and Dewan Mahboob, H. (2015). Climate Change and Global Warming Discourses and Disclosures in the Corporate Annual Reports: A Study on the Malaysian Companies. *Social and Behavioral Sciences*, 172: 246-253.
- Parhizkari, A. and Sabuhi, M. (2013). Economic analysis of effects of technology development and mechanization on agricultural sector production in Qazvin province using positive mathematical programming model. *Agricultural Economics Research*, 5(4):1-23. (In Farsi)
- Parhizkari, A., Mozaffari, M., Khodadadi Hoseini, M. and Parhizkari, R. (2015). Economic Analysis of the Effects of Climate Change Due to Greenhouse Gas Emissions on Agricultural Production and Available Water Resources, Case Study: Lands Downstream of Taleghan Dam. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 29(1): 67-89. (In Farsi)
- Parhizkari, A. and Yazdani, S. (2017). Assessing the economic and hydrological impacts of climate change in the Khorrood watershed. *Journal of Echo Hydrology*, 4 (3): 724-711. (In Farsi)
- Paul, D.W., Medellin-Azuarab, J., Joshua, H.V. and Meagan, S.M. (2017). Economic policy drivers of agricultural water desalination in California's central valley. *Agricultural Water Management*, 194:192-203.
- Qureshi, M.E., Mobin-ud-Din, A., Stuart, M.W. and Mac, K. (2014). A multi-period positive mathematical programming approach for assessing economic impact of drought in the Murray–Darling Basin. *Australia. Economic Modelling*, 39: 293-304.

ارزیابی اثر گذاری های انتشار... ۱۴۱

- Sanikhani, H., Dinpajoh, Y., Pouryosef, S. and Solati, B. (2013). Investigating the effects of climate change on the runoff of Aji Chay catchment in East Azarbaijan province. *Journal of Water and Soil*, 27(6): 1225-1234.
- Soleymaninejad, S., Sabouhi, M. and Banayan, A. (2019). Effects of Climate Change on Crop Cultivation Pattern (Case Study: Mashhad Plain). *Iranian Economic Economics and Development Research*, 50(2): 249-263. (In Farsi)
- Sun, S.K., Li, G., Wu, P.T., Zhao, X.N. and Wang, Y.B. (2018). Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. *Ecological Indicators*, 84(2): 811- 819.
- Taniguchi, K. (2017). Future changes in precipitation and water resources for Kanto Region in Japan after application of pseudo global warming method and dynamical downscaling. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8(1): 287-303.
- Tehran Studies and Planning Center. (2019). Requirements and strategies to achieve integrated urban transportation in Tehran. Reports of Tehran City Studies and Planning Center, May 2019. (In Farsi)
- Tehran Province Agricultural Jihad Organization. (2018). Deputy for Crop Production Improvement, Agriculture Department. (In Farsi)
- Tehran Province Regional Water Company. (2018). Office of Basic Studies of Water Resources. (In Farsi)
- Uusitalo, V. and Leino, M. (2019). Neutralizing global warming impacts of crop production using biochar from side flows and buffer zones: A case study of oat production in the boreal climate zone. *Journal of Cleaner Production*, 227(1): 48-57.
- Wilby, R.L. and Harris, I. (2006). A framework for assessing uncertainties in climate change impact: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2):1-10.
- You, L., Rosegrant, M.W., Wood, S. and Sun, D. (2009). Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6): 1009-1014.
- Zubaidi, S.L., Patryk, K., Khalid, H., Rafid, KH. And Mawada, A. (2018). Using LARS –WG model for prediction of temperature in Columbia City, USA. *International Conference on Civil and Environmental Engineering Technologies*, Published 1 August 2019, published under license by IOP Publishing Ltd.



Evaluation of the Effects of Greenhouse Gas Emissions on the Yield and Cropping Pattern of Selected Products in Tehran Province

*Abozar Parhizkari, Gholamreza Yavari, Abolfazle Mahmoodi,
Gholamreza Bakhshi Khaniki¹*

Received: 24 Jan.2021

Accepted:28 March.2021

Extended Abstract

Introduction:

Climate change associated with global warming caused by increase of greenhouse gas emissions in the atmosphere has been attracting more attention in recent decades, and has a large effect on the elements of hydrological cycle, including precipitation, evaporation and runoff. Recently many studies have found that due to climate change, there is an increasing trend in the frequency of occurrence and intensity of extreme hydrological events like floods and droughts. In order to better understand the change and provide support for adaptation strategies, it is of great necessity to deeply investigate climate change and have a detailed knowledge of its potential impacts on hydrology, hydraulics, water resources, agriculture, cropping pattern and farmers' gross margin. In recent years, many studies have been conducted to evaluate the impacts of climate change on the water resources, yield of selected crops and productions in the agricultural sector, especially on cereals and weaving products. The evaluation process is often divided into three steps:

Step 1: selection of different Global Climate Models (GCMs) or regional climate models (RCMs) to provide future climate change projections under scenarios representing different development level of society and economy.

Step 2: use of downscaling techniques (statistical methods and dynamic methods) to downscale the GCM outputs to regional scale necessary for hydrological models.

Step 3: use of hydrological models to simulate runoffs and evaluate the effects of climate change on hydrological regimes.

Step 4: use of economic models to assess the effects of climate change in the agricultural sector, which is generally used to achieve practical results in this part from advanced economic models and regression analysis.

¹ Respectively: PHD student, Associate Professors & Professor of Agricultural Science

Payam Noor University

Email: Abozar.parhizkari@yahoo.com

Generally, increasing greenhouse gas emissions and telecommunications phenomena are among the factors that have accelerated the emergence of climate change and global warming. Greenhouse gases have warmed the earth and the surrounding air by rising into the Earth's atmosphere and retaining solar energy. Warming temperatures have also led to reduced rainfall, increased evapotranspiration, changes in cropping patterns, reduced crop production and changes in the volume of agricultural water resources. The phenomenon of global warming affects the agricultural sector, which is one of the key productive activities of the planet, more than anything else. Climate change caused by this phenomenon increases the average temperature of the earth and ultimately increases the likelihood of drought. A quick look at the world map of rainfall patterns and air temperature indicates that the phenomenon of climate change has changed the water resources of each region over time and has faced several patterns of crop exploitation. It should be noted that the concerns of today's societies about climate change and its consequences on economic sub-sectors are inevitable. In this regard, developing countries such as Iran are always threatened by the predictable consequences of climate change; because their economy for development and growth depends on the climate that affects its subdivisions, especially the agricultural sector. Tehran province, as the study area in this research, has an area of 12981 square kilometers and with 3/4 percent of arable land and about 7/6 percent of the total agricultural production. The location of Tehran province as the capital in the middle part of Iran and its location in the transportation axis of several neighboring provinces has led to the development of intercity and intra-city transportation, which has the most important effects on greenhouse gas emissions in the surrounding atmosphere. Therefore, it is necessary to evaluate and analyze the effects of emissions of these gases and climate change caused by increasing and decreasing climatic components of temperature and precipitation and the potential effects of global warming on crops yield and cropping pattern in this region.

Materials and Methodes:

Increasing urban population, development of space and urban transportation, increasing emissions of greenhouse gases, exacerbation of drought phenomenon occurrence and the lack of a structural institution to regulate irrigation water are the most important threats attentive the agricultural sector in Tehran province. Assess the potential effects of these events on agriculture and water resources management sectors and, providing solutions to deal with them, which have been considered by the international community in line with the important issue of "global warming", is an important step in the development of agricultural activities in the Tehran province. Therefore, in the present study evaluation of the effects of greenhouse gas emissions on the yield and cropping pattern of selected products in Tehran province were investigated. To assess the potential effects of drought, global warming, and the establishment of local or regional water markets. To achieve this

goal, first using general circulation models (GCM) the effects of greenhouse gases on the average climatic variables of temperature and precipitation under the emission scenarios A₁B, A₂ and B₁ were investigated. This was done with the help of GCM/RCM data system and LARS-WG microscale model. Then, using econometric approach and regression analysis, the effects of climatic variables of temperature and precipitation on the average yield of selected products were evaluated. A positive mathematical programming (PMP) model to investigate changes of products yields on cropping patterns was used.

PMP approaches solve the problem of overspecialisation (faced using linear programming models) by assuming a profit-maximising equilibrium in the reference period. Based on an assumption of unobserved information, the PMP approach recovers additional information from observed activity levels and specifies a non-linear objective function. This consequently results in the model exactly producing the observed behaviour of farmers in the calibrated period. Without introducing artificial constraints and making it a widely accepted method for policy analysis. This methodology that developed by Howitt (1995) to calibrate agricultural supply models have been used to link biophysical and economic information in an integrated biophysical and economic modeling framework and to assess impacts of agricultural policies and scenarios. These models are also accepted for analyzing the impact of climate change and water resources management policies and scenarios. According to Figure (1), PMP model used in this paper is a three-step procedure, which in it a non-linear cost function is calibrated to observed values of inputs usage in agricultural production.

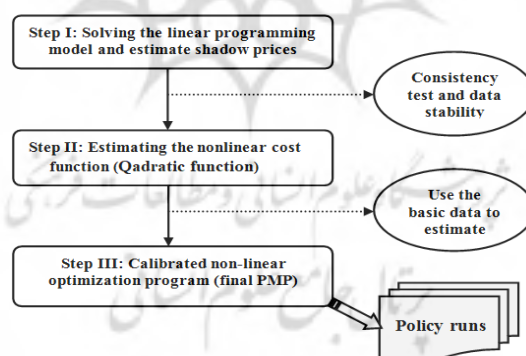


Figure (1) Calibration of the PMP model

The PMP model is a developed form of MP model (Mathematical Programming) which to calibrate the economic and biophysical patterns are used. To calibrate this modeling system requires to a set of data and information related to the amount of production, cost, profit and price of crops, as well as the amount of water consumed, the amount of water allocated and the amount of other inputs (except water) at the land level. In model PMP instead of using the information base year

from data and information related to the base period are used. The required data and information in this study are related to years ۲۰۰۲-2018 that by referring to relevant departments and agencies in Tehran province were collected. The programming model in GAMS software was solved.

Results and discussion:

After calibration of the proposed modeling system, the obtained results of aggregate scenario of climate change due to greenhouse gas emissions (2 °c increase in temperature and 20 mm decrease in precipitation compared to the average base period) were analyzed. The results showed that the behavior of climatic variables of temperature and precipitation during the future periods in Tehran province compared to the base period will increase (0/27 to 3/75 °c) and decrease (0/63 to 41/1 mm) respectively. Increasing the farmers' desire to develop the acreage of irrigated wheat, corn and canola and reducing the acreage of irrigated barley, tomato, watermelon, and sunflower in the cropping patterns of Tehran province is an important result of application of integrated climate scenario (2 °c increase in temperature and 20 mm decrease in precipitation) in this study. Under the terms of climate change occurrence, watermelon, and sunflower with the most decreasing changes in yield (13/1 and 17/7 %) and acreage (68/8 and 31/9 %) as the most sensitive products in cropping pattern of Tehran province were identified. Therefore, planning to reduce their acreage in the cropping pattern of Tehran province is recommended to farmers and relevant officials in the agricultural sector during future periods. Table (1) shows the obtained results:

Table (1) Changes in cropping pattern and economic variables after application of scenario

Selected products in cropping pattern	Cropping pattern in base period*	Cropping pattern after calibration of PMP model*	Cropping pattern after applied scenario*	Changes Percentage toward base period
Wheat	56825	56825	57442	1/08
Barley	32400	32400	30205	-6/77
Corn	9380	9380	10404	10/9
Tomato	8760	8760	8631	-1/47
Watermelon	1327	1327	739	-44/3
Sunflower	2920	2920	2444	-16/2
Canola	3203	3203	4950	54/5
Total cropping pattern*	114815	114815	114815	0/00
Total gross margin**	17493/73	17493/73	18842/49	7/71
Economic value of water***	1152	1152	1296	12/6

*, ** and ***: respectively hectare, million rials and rials per cubic meter

Suggestion:

Finally, due to prematurity of climate change in regional planning, to increase agricultural production in the Tehran province it was proposed that the first it should be considered the performance improve operating in per unit area (ha) and development the under cultivation of products such as wheat, corn and canola be placed at the next priority. In addition, it is necessary for policymakers and

planners in the agricultural sector to pay attention to this issue in order to reduce the risk and risk of production of these grain crops by adopting appropriate risk management policies. Also, by implementing appropriate strategies such as accurate forecasting of climate change to prevent fluctuations in the production of these strategic products. Undoubtedly, according to the results of the present study, the planners of the agricultural sector of Tehran province can prevent the shortage of these products due to the reduction of their cultivation area by adopting appropriate market regulation policies.

JEL Classification: Q15 .Q25 .Q54 .R11

Keywords: Greenhouse Gases, Products Yield, Farmers' Gross Profit, Cropping Pattern, Tehran.

