

ارزیابی پیامدهای بالقوه پدیده خشکسالی بر الگوی زراعی و وضعیت معیشتی کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۱

چکیده

ارزیابی پیامدهای بالقوه پدیده خشکسالی در بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب و همچنین، ارائه راهکارهای مقابله با آن، گامی مهم در زمینه توسعه فعالیت‌های کشاورزی به شمار می‌رود. از این رو، در این بررسی در آغاز به منظور تعیین شدت‌های مختلف خشکسالی و رخداد آن طی دوره زمانی مورد بررسی (۱۳۹۷-۱۳۸۱) از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد. در ادامه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) به تحلیل اثرگذاری‌ها یا پیامدهای بالقوه خشکسالی بر الگوی زراعی و وضعیت معیشتی کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران پرداخته شد. واسنجی مدل تجربی در محیط نرم‌افزاری GAMS24/1 صورت گرفت. داده‌های مورد نیاز از نوع اسنادی و ثبت شده در دستگاه‌های دولتی ذی‌ربط می‌باشند که در دو بخش سری زمانی (۱۳۹۷-۱۳۸۱) و مقطعی (۱۳۹۶-۱۳۹۷) گردآوری شدند. نتایج، احتمال رخداد خشکسالی‌های ملایم و شدید را در سطح حوضه جنوبی استان تهران به ترتیب حدود ۴۳/۷ و ۶/۲۵ درصد نشان داد که این امر مستعد بودن منطقه را در راستای رخداد مسئله خشکسالی نشان می‌دهد. کاهش سطح زیرکشت گیاهان زراعی آب‌بر هندوانه، ذرت دانه‌ای، آفتابگردان و افزایش سطح زیرکشت گیاهان غله‌ای گندم و جو آبی از نتایج به دست آمده تحت شرایط رخداد خشکسالی در استان تهران است. از دیگر پیامدهای رخداد این پدیده تحت شدت‌های خفیف تا شدید، کاهش ۳/۰ تا ۱۹/۴ درصدی بازده ناخالص کشاورزان و افزایش ۱۳/۲ تا ۱۱۵/۶ درصدی ارزش اقتصادی آب آبیاری است. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، برای کاهش خطر یا ریسک خشکسالی آب‌شناختی (هیدرولوژیکی) و رویارویی کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران با این رویداد، در گام نخست توصیه می‌شود که اصلاح الگوی بهینه زراعی در راستای کاهش سطح زیرکشت گیاهان زراعی آب‌بر (مانند آفتابگردان و هندوانه) و جایگزینی آن با سطح زیرکشت گیاهان دارای نسبت سود به آب مصرفی بالاتر (مانند ذرت دانه‌ای و کلزا) در اولویت قرار گیرد. در گام بعدی، پیشنهاد می‌شود که با توجه به کشش‌پذیری نهاده آب کشاورزی نسبت به تغییرات قیمتی در سطح حوضه جنوبی استان تهران ($e_{water} = -0/96$)، اجرای بهینه و درست سیاست قیمت‌گذاری آب متناسب با روند تغییرپذیری‌های ارزش اقتصادی این نهاده کمیاب و رعایت اصل ملاحظه برابری در شرایط رخداد خشکسالی توسط بخش دولتی مدنظر واقع شود.

طبقه‌بندی JEL: R11, Q15, O13, C61

واژگان کلیدی: خشکسالی، مدیریت منابع آب، ملاحظه برابری، معیشت کشاورزان، مدل PMP، تهران.

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

مقدمه

خشکسالی مسئله قابل توجهی است که به عنوان یکی از مهم‌ترین رخداد‌های طبیعی، سالانه میلیون‌ها دلار آسیب و زیان به جامعه‌های کشاورزی در سراسر جهان وارد می‌کند (Morid *et al.*, 2013; Parhizkari, 2007). پدیده خشکسالی اغلب به علت افزایش دمای سطح زمین، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، ایجاد نوسان‌ها در چرخه آبی، افت سطح ایستابی سفره‌های زیرزمینی، کاهش رطوبت خاک و هواسپهر (اتمسفر)، افزایش تبخیر و کاهش منابع آب در دسترس در بخش‌های کشاورزی و صنعت به وجود می‌آید و در صورت درازمدت بودن در نهایت فقر و نابسامانی اقتصادی و اجتماعی را به دنبال خواهد داشت (Chen *et al.*, 2018). هر پدیده خشکسالی با سه ویژگی شدت، طول دوره و پهنای تأثیر شناخته می‌شود. خشکسالی‌ها انواع مختلفی دارند و به صورت خشکسالی هواشناسی، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی هیدرولوژیکی تعریف می‌شوند (Angelidis *et al.*, 2012). خشکسالی هیدرولوژیکی که به مفهوم کمبود جریان آب نسبت به میزان نرمال آن می‌باشد، از رویدادهای طبیعی و تکرارپذیر در هر اقلیمی است (Chen *et al.*, 2018). از آنجایی که منطقه‌های مختلف به وسیله سامانه‌های هیدرولوژیکی به هم مرتبط هستند، تأثیر خشکسالی هیدرولوژیکی به مرزهایی فراتر از منطقه کمبود بارش گسترش می‌یابد؛ لذا اثرگذاری‌های خشکسالی هیدرولوژیکی بر روی مرتع‌ها و الگوهای کشت به مراتب بیشتر از خشکسالی هواشناسی است (Zhiyong *et al.*, 2016). به طور یقین، کم شدن اثرگذاری‌های نامطلوب خشکسالی نیاز به شناخت منابع‌ها و بررسی خشکسالی، برای تعیین سطح بحران و تعیین راهبرد (استراتژی) های مناسب برای رویارویی با آن در زمان کنونی و سال‌های آتی دارد.

استان تهران که منطقه مورد بررسی در این تحقیق است، 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 تولیدهای زراعی کشور را به خود اختصاص داده است (TPAJO, 2019). سالانه بیش از ۱۵۰ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی این استان صورت می‌پذیرد. مجموع تغذیه آبخوان‌های این استان حدود ۱۴۸۰/۵ میلیون مترمکعب است، درحالی که مجموع تخلیه از آن‌ها به ۱۶۳۰/۲ میلیون مترمکعب نیز می‌رسد (TPRWC, 2019). میانگین بارش باران در این استان حدود ۱۹۵ میلی‌متر و میانگین دمای هوا ۱۵/۷ درجه سلسیوس است (MOTP, 2019). نظر به اینکه در این استان، آب‌های سطحی از طریق بارندگی و تشکیل

ارزیابی پیامدهای بالقوه... ۵۷

رودخانه‌های فصلی (حبله‌رود، نمرود، جاجرود و سولقان یا رودخانه کن) حاصل می‌شوند، در فصل‌های گرم سال کاهش بارندگی و نبود این منابع‌های موقت سبب شده تا آب موردنیاز برای کشاورزان از طریق منابع‌های زیرزمینی تأمین شود. این عامل باعث افت سطح آب‌های زیرزمینی (به میزان ۱/۹ متر) و منفی‌شدن بیلان آب در اغلب جاهای این استان، به‌ویژه در بخش‌های جنوبی آن (دشت‌های ورامین، ملارد و شهرری) شده است (TPRWC, 2019). ارزیابی پیامدهای بالقوه خشکسالی، گامی مهم در زمینه توسعه فعالیت‌های کشاورزی منطقه‌های جنوبی استان تهران به شمار می‌رود. با توجه به اهمیت این موضوع، ضرورت یکپارچه‌سازی سامانه مدل‌سازی جامع کشاورزی و منابع آب در حوضه جنوبی استان تهران برای ارزیابی پیامدهای بالقوه پدیده خشکسالی بیش از پیش احساس می‌شود. بر مبنای گزارش‌های اخیر مرکز ملی پیش و هشدار خشکسالی، به لحاظ وضعیت موجود طی دوره هفت ساله تا پایان آبان ماه ۹۷-۱۳۹۶، در حدود ۴۲/۳ درصد از گستره استان تهران تحت تأثیر خشکسالی متوسط و ۳۵/۶ درصد از گستره این استان تحت تأثیر خشکسالی شدید قرار داشته است. این در حالی است که تنها ۰/۹ درصد از کل گستره این استان و آن هم در بخش‌های شمالی با اقلیم مناسب‌تر دارای شرایط ترسالی می‌باشد (MOTP, 2019). لذا، بررسی اثرگذاری‌ها و پیامدهای اقتصادی رخداد خشکسالی بر الگوی کشت و بازده درآمدی کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران می‌تواند راهکارهای مناسبی را برای رویارویی کشاورزان این منطقه در شرایط رخداد پدیده خشکسالی پیش‌روی آنان قرار دهد. طی سال‌های اخیر، با توجه به اهمیت موضوع کم‌آبی و خشکسالی، تحقیقات چندی پیرامون پیامدهای این رخداد در سراسر جهان صورت گرفته است.

(Akbari et al., 2019) به بررسی اثرگذاری‌های خشکسالی بر الگوی کشت و اثرگذاری‌های ریسک درآمدی آن در دشت قزوین پرداختند. آنان از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۱ برای تعیین دوره‌های خشکسالی و از مدل تلفیقی موتاد-هدف با رهیافت برنامه‌ریزی اثباتی برای ارزیابی اثرگذاری‌های خشکسالی بهره گرفتند. نتایج نشان داد که با رخداد خشکسالی، الگوی کشت به سمت کشت و تولید گیاهان زراعی با آب‌بری کمتر می‌رود و محصول‌های باثبات درآمدی بالاتر، تغییرپذیری‌های سطح زیرکشت کمتری دارند. ریسک درآمدی نیز در بدترین حالت خشکسالی ۶/۳۷ درصد کاهش می‌یابد.

^۱Standardized Precipitation Index

Nasrnia *et al.* (2018) با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی به اندازه‌گیری آسیب‌پذیری کشاورزان حوضه آبریز بختگان پیش و پس از رخداد خشکسالی پرداختند. نتایج نشان داد که ۱۵/۲ درصد خانوارها شامل کشاورزانی هستند که پیش و پس از خشکسالی آسیب‌پذیرند و همچنین، ۴۴/۶ درصد خانوارها شامل کشاورزانی هستند که پیش از خشکسالی مقاوم هستند، اما پس از رخداد خشکسالی آسیب‌پذیر می‌شوند.

Rezaee *et al.* (2016) با استفاده از یک مدل اقتصادی آب مبنا (هیدرواکنومیک) اثرگذاری‌های خشکسالی را بر وضعیت کشاورزی در شرق حوضه رودخانه زاینده رود ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در شرایط رخداد خشکسالی حدود ۳۱ درصد از تقاضای بخش کشاورزی منطقه کوهپایه- سگری تأمین نخواهد شد و این امر منجر به تغییر الگوی کشت می‌شود. بازده ناخالص کشاورزان در منطقه اصفهان- برخوار و کوهپایه- سگری به ترتیب ۱۸/۹ و ۳۲/۲ درصد کاهش خواهد یافت و سطح زیرکشت گندم، برنج و کلزا که وابستگی بالایی به منابع آب دارند، کاهش می‌یابد.

Maleki and Torkamani (2015) با بهره‌مندی از شاخص SPI و نرم‌افزار DIP به پیش‌بینی خشکسالی استان خراسان شمالی برای مدیریت بهینه منابع آب و بررسی اثرگذاری‌های آن بر تولید محصول‌های کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۶۰ درصد از سطح زیر کشت آبی به غلات (گندم و جو) اختصاص یافته که علت این امر رخداد دوره‌های خشکسالی و سازگاری فصل رشد این محصول‌ها با رژیم آبدی رودخانه‌ها می‌باشد.

Lu *et al.* (2019) به ارزیابی اثرگذاری‌های خشکسالی جهانی^۱ بر مصرف آب در بخش کشاورزی پرداختند. آنان از شاخص تعدیل شده تبخیر و تعرق بارندگی^۲ (SPEI-PM) و معادله پنمن- مونتیت^۳ در سه پیش‌فرض یا سناریوی اقلیمی آتی (RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5) بهره گرفتند. نتایج نشان داد که تغییر و دگرگونی‌های ناشی از خشکسالی جهانی در آینده، تهدیدی برای استفاده از آب برای تولید محصول‌های کشاورزی است و کشورهای تولیدکننده غلات با تهدیدهای جدی‌تر روبرو می‌شوند.

Zhiyong *et al.* (2016) با استفاده از مجموعه شاخص‌های بارش استاندارد، تبخیر و تعرق، درصد ناهنجاری و رواناب‌های سطحی به توصیف انواع خشکسالی‌ها و اثرگذاری‌های آن بر

^۱ Global Drought

^۲ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

^۳ Penman-Monteith Equation

ارزیابی پیامدهای بالقوه... ۵۹

فعالیت‌های کشاورزی در کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد که خشکسالی هیدرولوژیکی به طور عمده یک تا سه ماه پس از خشکسالی هواشناسی و کشاورزی رخ می‌دهد و می‌تواند اثرهای عمیق‌تری بر الگوهای کشت و منابع آب منطقه مورد بررسی داشته باشد. Van Loon (2015) به بررسی ویژگی‌های خشکسالی هیدرولوژیکی و مسئله‌های مربوط به مدیریت خشکسالی پرداخت. نتایج نشان داد که چالش‌هایی برای تحقیقات آینده در زمینه مسئله مهم خشکسالی هیدرولوژیکی وجود دارد و این پدیده خطری جدی برای بخش کشاورزی به شمار می‌رود و اثرگذاری‌های مستقیمی بر اجزای مختلف چرخه آب در دوره‌های آتی می‌گذارد.

بررسی‌های انجام شده اثرگذاری‌های رویداد خشکسالی هیدرولوژیکی را بر الگوهای کشت گیاهان زراعی بررسی کرده‌اند که جملگی پیامدهای منفی این پدیده را در قالب تغییر الگوهای زراعی، کاهش منابع آب در دسترس کشاورزان و تهدید بخش کشاورزی در تأمین غذای موردنیاز بشر بازگو می‌کنند. از این رو، در این بررسی در آغاز شدت رخداد خشکسالی در حوضه جنوبی استان تهران طی سال‌های اخیر بررسی شد و آن‌گاه با استفاده از یک سامانه مدل‌سازی جامع و پیشرفته اثرگذاری‌های بالقوه خشکسالی هیدرولوژیکی بر الگوی کشت و وضعیت معیشتی یا درآمدی کشاورزان ارزیابی شد.

روش تحقیق

در این بررسی در آغاز به منظور تعیین شدت دوره‌های خشکسالی طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۷۶ در حوضه جنوبی استان تهران (شامل شهرستان‌های پاکدشت، پیشوا، قرچک، شهر ری، رباط کریم، بهارستان، شهریار و ملارد در حوزه آبریز رودشور) از شاخص بارش استاندارد (SPI) بهره گرفته شد. علت این امر، آسانی محاسبه فراسنجه (پارامتر) ریاضی آن از یک‌سو و وابستگی شدید رخداد پدیده خشکسالی بر مبنای این شاخص به میزان بارش محقق شده در منطقه مورد بررسی می‌باشد. در واقع، شاخص بارش استاندارد شده به علت داشتن قابلیت‌های بیشتر و همچنین، محدودیت‌های کمتر در این بررسی مدنظر واقع شد. در ادامه، برای ارزیابی پیامدهای بالقوه پدیده خشکسالی در پیش‌فرها یا سناریوهای کاربردی بر الگوی کشت و وضعیت معیشتی کشاورزان از سامانه مدل‌سازی زیست (بیو) فیزیکی-اقتصادی مبتنی بر مدل

برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی^۱ (PMP) با رهیافت تابع هزینه درجه دو یا کوادراتیک^۲ (QCF) و تابع تولید با کشش جانشینی ثابت^۳ (CES) استفاده شد. پیش‌بینی تحقق پدیده خشکسالی با اعمال سناریوهای کاربردی در بخش اقتصادی مرتبط با محدودیت عرضه آب آبیاری در دسترس کشاورزان صورت گرفت که منطق سیاست‌گذاری سهمیه‌بندی برداشت آب را برای کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران در شرایط رخداد خشکسالی تداعی می‌کند. هر یک از این مرحله‌ها، در ادامه تشریح می‌شوند:

تعیین دوره‌های خشکسالی با شاخص SPI

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که برای تعیین دوره‌های خشکسالی و ارزیابی پیامدهای بالقوه شدت‌های آن کاربرد دارد، نخستین بار توسط Mckee *et al.* (1993) در منطقه کلرادو ارائه شد. این شاخص برای هر منطقه بر مبنای ثبت بارندگی‌های درازمدت آن محاسبه می‌شود. در آغاز توزیع گامای مناسب بر آمار بلندمدت بارندگی برآزش داده می‌شود و آن‌گاه تابع توزیع تجمیعی با استفاده از احتمال‌های برابر به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (Mosaedi and Ghabaee, 2011). این شاخص به دلیل سادگی در محاسبه‌ها، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب و هوایی کاربرد فراوانی دارد و برابر آن، خشکسالی هیدرولوژیکی هنگامی روی می‌دهد که میزان نمایه SPI منفی شود (Wang *et al.*, 2019). برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر از شاخص SPI بهتر است سری زمانی مورد بررسی، با میزان تغییرپذیری بالا انتخاب شود. برای برآورد شاخص SPI از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \rightarrow i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

در رابطه بالا، X_i میزان میانگین بارش در هر ماه یا سال، \bar{X} میانگین بارش و SD انحراف استاندارد توزیع میزان‌های بارشی در دوره آماری مورد بررسی است. جدول ۱، طبقه‌بندی میزان‌های شاخص SPI را نشان می‌دهد (Mckee *et al.*, 1993; Wang *et al.*, 2019).

^۱ Positive Mathematical Programming

^۲ Quadratic Cost Function

^۳ Constant elasticity of substitution

جدول (۱) طبقه‌بندی میزان‌های شاخص SPI

Table (1) Classification of SPI index values

وضعیت اقلیمی منطقه (طبقه) Climatic condition of the region (class)	مقادیر شاخص SPI SPI index values
ترسالی خیلی شدید (Very intense wet)	بالاتر از ۲ (More than 2)
ترسالی شدید (Intense wet)	۱/۵ تا ۱/۹۹ (1/5 to 1/99)
ترسالی ملایم (Light wet)	۱ تا ۱/۴۹ (1/0 to 1/49)
نرمال یا خشکسالی خفیف (Normal or mild drought)	۰ تا ۰/۹۹ (0/0 to 0/99)
خشکسالی ملایم (Mild drought)	۰/۹۹ تا ۰ (-0/99 to 0/0)
خشکسالی متوسط (Moderate drought)	۱/۴۹ تا -۱ (-1/49 to -1/0)
خشکسالی شدید (Severe drought)	۱/۹۹ تا -۱/۵ (-1/99 to -1/5)
خشکسالی خیلی شدید (Very severe drought)	پایین از -۲ (Down from -2)

Reference: Mckee *et al.*, 1993

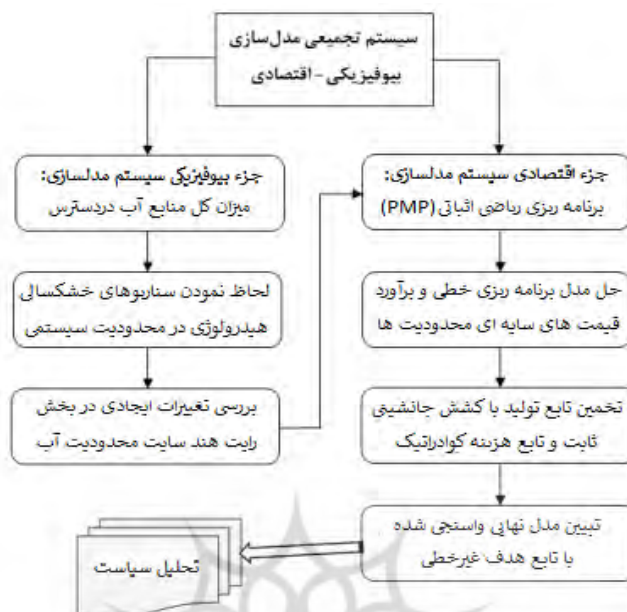
پس از تعیین شدت خشکسالی‌ها و زمان رخداد آن‌ها طی دوره مورد بررسی، با توجه به کاهش میزان آب درسترس کشاورزان در منطقه مورد بررسی (در زمان رخداد خشکسالی هیدرولوژیکی) می‌توان سناریوهای کاربردی مبین شدت‌های مختلف خشکسالی را مشخص کرد. پس از تعیین سناریوهای خفیف تا شدید رخداد خشکسالی و اثرگذاری‌های آن‌ها بر میزان منابع آب درسترس منطقه، می‌توان اثرگذاری‌های هر سناریو را به طور جداگانه بر تولیدهای بخش کشاورزی و وضعیت معیشتی (درآمدی) کشاورزان ارزیابی کرد.

سامانه تجمیعی مدل‌سازی زیست (بیو) فیزیکی - اقتصادی

مدل‌سازی یکپارچه زیست (بیو) فیزیکی - اقتصادی^۱ (BEMIS) یک رویکرد مشترک برای ارزیابی سناریوهای سیاستی در حوضه‌های آبخیز به شمار می‌رود (Cortignani and Dono, 2018). این رویکرد با مطرح شدن سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب و الزام‌های قانونی برای مدیریت این منابع در حوضه موری - دارلین^۲ (MDB) معرفی شد (Qureshi *et al.*, 2014).

1 Biophysical- Economic Modeling Integration System

2 Murray-Darling Basin



شکل (۱) فرآیند انجام کار در سامانه مدل سازی زیست (بیو) فیزیکی - اقتصادی

Figure (1) The process of doing work in a biophysical-economic modeling system

برابر با شکل ۱، سامانه مدل سازی یاد شده برای بررسی رابطه بین متغیرهای زیست (بیو) فیزیکی (نیاز آبی، دما، رطوبت، بارش، تبخیر و تعرق و ...)، و اقتصادی (سود ناخالص، درآمد، ارزش آب، میزان تولید و ...) استفاده می شود. این سامانه برای تحلیل اثرگذاری های خشکسالی توأم با سیاست های بخش منابع آب و کشاورزی کاربرد دارد (Parhizkari and Yazdani, 2017). انتخاب مقیاس مناسب برای مدل زیست (بیو) فیزیکی - اقتصادی مسئله مهمی است، چرا که سازوکار یا مکانیزم لازم برای فضایی پویا از هر جزء در این مدل ممکن است برای جزء دیگر نامناسب باشد (Kaczan, 2011; Parhizkari and Yazdani, 2017). در این بررسی، سامانه مدل سازی تجمیعی زیست (بیو) فیزیکی - اقتصادی دارای دو فرآیند جداگانه است که از ارتباط بین آن ها برای تحلیل اثرگذاری های خشکسالی بر تولیدهای کشاورزی، منابع آب و متغیرهای اقتصادی سود ناخالص و ارزش آب در حوضه جنوبی استان تهران استفاده می شود. جزء اقتصادی شامل برنامه ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و جزء زیست (بیو) فیزیکی شامل بخش سمت راست^۱ محدودیت نهاده آب است.

1 Right Hand Side

مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی

مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) نخستین بار توسط پرفسور هاویت^۱ (۱۹۹۸) برای تحلیل اثرگذاری‌های سیاست‌های کشاورزی و منابع آب معرفی شد. این مدل برای چیرگی بر مشکل‌های موجود در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی هنجاری (NMP) توسعه پیدا کرد (Howitt *et al.*, 2012; Parhizkari *et al.*, 2015). امروزه این مدل‌ها در بین روش‌های مختلفی که برای حل مسئله‌های تجمیعی و فوق تخصصی در زیربخش کشاورزی و منابع آب وجود دارند، کاربردی‌تر هستند. اصطلاح "اثباتی" در مدل‌های PMP، بیانگر تحقق و اثبات داده‌های مشاهده شده در دوره مبنا پس از واسنجی سامانه مدل‌سازی است (Howitt *et al.*, 2012; Paul *et al.*, 2017; Parhizkari and Yazdani, 2017). رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) در مقایسه با مدل‌های برنامه‌ریزی معمولی رایج و یا مدل‌های بهینه‌سازی سنتی دارای برتری‌های بسیاری است و از این رو، کاربرد گسترده‌ای در زمینه تحلیل سیاست‌های مرتبط با تولید محصول‌های کشاورزی دارد (Petsakos and Rozakis, 2015; Parhizkari *et al.*, 2015). از جمله این برتری‌ها، نمایش وضعیت میزان مشاهده شده‌ی سطح فعالیت‌های تولید در دوره مبنا، نیاز به شمار داده‌های اندک برای واسنجی، تغییرهای پیوسته و مداوم در نتایج مدل بسته به شرایط سیاست‌گذاری و به طور کلی، پاسخ سامانه مدل‌سازی به تغییرهای پیوسته و مداوم در متغیرهای خارجی است (Howitt *et al.*, 2012; Garnache *et al.*, 2015). به طور کلی، مدل PMP مورد استفاده در این تحقیق شامل سه مرحله به شرح زیر است:

مرحله اول: حل مدل برنامه‌ریزی خطی (LP) و برآورد قیمت‌های سایه‌ای محدودیت‌ها

در این مرحله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی کمکی برای بیشینه‌سازی مجموع سود ناخالص کشاورزان حل می‌شود و در ادامه میزان‌های دوگان^۲ یا قیمت‌های سایه‌ای برای محدودیت‌های مدل به دست می‌آیند. قیمت‌های سایه‌ای برای برآورد ضریب‌های تابع هزینه غیرخطی در مرحله دوم واسنجی، برآورد می‌شوند (Howitt *et al.*, 2012; Gravelin, 2016). شکل ریاضی این مرحله از مدل PMP را می‌توان برای منطقه مورد بررسی به صورت زیر نشان داد:

$$Max \pi = \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^1 (price_{ig} * yield_{ig} - \sum_{j=1}^5 a_{igj} cost_{igj}) Area_{ig} \quad (2)$$

Subject to:

^۱ Howitt

^۲ Dual Value

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^1 a_{igj} Area_{igj} \leq b_{gj} \quad \forall j \quad [\lambda_i^j] \quad (3)$$

$$Area_i \leq \tilde{Area}_i + \varepsilon \quad \forall i \quad [\lambda_i^c] \quad (4)$$

$$Area_i \geq 0 \quad \forall i \quad (5)$$

رابطه (۲) به عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل بیشینه‌سازی سود ناخالص کشاورزان است. در این رابطه، π مجموع سود ناخالص، i محصول‌ها (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و کلزا)، z نهاده‌ها یا عامل‌های تولید (زمین، آب، نیروی کار، ماشین‌ها و ادوات و سرمایه) و g منطقه مورد بررسی (حوضه جنوبی استان تهران) است. $yield_i$ ، $price_i$ و $Area_i$ به ترتیب بیانگر قیمت بازاری، میزان عملکرد و سطح زیرکشت محصول i است. $cost_{ij}$ هزینه تولید محصول i با مصرف نهاده j است. a_{ij} نیز ضریب‌های لئونتیف است که نسبت استفاده هر نهاده به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$a_{ij} = \frac{\tilde{Area}_i}{\tilde{Area}_{i, Land}} \quad \forall ij \quad (6)$$

رابطه (۳)، محدودیت منابع‌ها است که b_j در آن، کل منابع‌های در دسترس است. رابطه (۴)، محدودیت واسنجی است که در آن، \tilde{Area}_i میزان مشاهده شده فعالیت i در سال پایه یا مبنا می‌باشد. ε نیز میزان مثبت کوچکی برای جلوگیری از ایجاد وابستگی خطی بین محدودیت‌های مدل است. λ_i^c و λ_i^j در رابطه‌های (۳) و (۴)، قیمت سایه‌ای یا میزان‌های دوگان محدودیت‌های سامانه‌ای و واسنجی هستند. رابطه (۵) نیز محدودیت منفی نبودن سطح فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. این محدودیت تضمین می‌کند که روش یاد شده قابلیت اجرایی شدن در منطقه مورد مطالعه را دارد و سطح فعالیت‌ها نمی‌تواند میزان‌های منفی را شامل شود (Howitt et al., 2012; Mahmoodi and Parhizkari, 2016).

مرحله دوم: برآورد تابع هزینه‌های جانبی و تابع تولید با گشش جانشینی ثابت

در مرحله دوم مدل PMP، از میزان‌های دوگان به دست آمده در مرحله نخست برای واسنجی تابع هزینه‌های جانبی غیرخطی از درجه دو (کوادراتیک) برابر با رابطه (۷) 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 اثباتی با تابع هزینه خطی معمولی فراهم می‌کند و این موضوع از ایجاد

ارزیابی پیامدهای بالقوه... ۶۵

ناپیوستگی ناگهانی و نامحتمل در رهیافت‌های شبیه‌سازی جلوگیری می‌کند. به طور کلی، عمومیت کاربرد تابع هزینه غیرخطی در مدل‌های PMP افزون بر ویژگی به نسبت آسان برآورد پارامترهای آن، این است که برای هر سطح فعالیت جداگانه قابلیت محاسبه و برآورد را دارد. با توجه به توضیح‌های بالا، در این بررسی نیز از تابع هزینه غیرخطی با درجه دو برابر رابطه زیر استفاده شد (Gravelin, 2016; Parhizkari and Yazdani, 2017).

$$TC_i = \alpha_i Area_i + \frac{1}{2} \gamma_i Area_i^2 \quad \forall i \quad (7)$$

در رابطه بالا، TC_i هزینه کل تولید محصول i در منطقه مورد بررسی است. α_i فراسنجه رهگیری یا عرض از مبدأ تابع هزینه است و از حاصل جمع هزینه نهاده زمین، قیمت سایه‌ای این نهاده و حاصل ضرب شیب تابع هزینه در سطح فعالیت‌ها محاسبه می‌شود. γ_i نیز فراسنجه گاما یا شیب تابع هزینه غیرخطی است. با توجه به این که هزینه‌های تولید محصول‌های منتخب زراعی در واحد سطح قابل تعریف و ارزیابی است؛ از این رو، تابع هزینه ارائه شده از متغیر سطح زیرکشت ($Area_i$) پیروی می‌کند. هر یک از فراسنجه‌های بالا با استفاده از رابطه‌های ریاضی زیر محاسبه می‌شوند (Gravelin, 2016; Parhizkari and Yazdani, 2017):

$$\gamma_i = \frac{\lambda_i^c}{Area_i} \quad \forall i \quad (8)$$

$$\alpha_i = \sum_{j \neq water}^5 c_{ij} q_{ij} \quad \forall ij \quad (9)$$

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

$$C_{w_charge} = \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^1 [V \text{ cost}_{water} + (Wcharge * IW_i)] Area_{ig} \quad (10)$$

در رابطه فوق، $V \text{ cost}_{water}$ هزینه متغیر فعالیت آبیاری، $Wcharge$ قیمت یا نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان (برحسب ریال در مترمکعب) و IW_i آب مصرفی در تولید محصول i است. رابطه (۱۰) نیز هزینه نهاده آب را در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال نشان می‌دهد:

$$C_{trad} = \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^1 [(IE \text{ cost} * WE) + (IF \text{ cost} * WF)] Area_{ig} \quad (11)$$

در رابطه بالا، $IE \text{ cost}$ و WE به ترتیب هزینه انتقال آب آبیاری و حجم آب انتقال یافته از طریق آبراهه‌ها (کانال‌ها و بندهای انحرافی) در منطقه مورد بررسی می‌باشند. $IF \text{ cost}$ و WF نیز به

ترتیب هزینه استحصال آب زیرزمینی و حجم آب استحصالی به وسیله سامانه‌های پمپاژ آب در منطقه مورد بررسی می‌باشند (Qurshi et al., 2013).

در مرحله دوم واسنجی مدل PMP افزون بر تخمین تابع هزینه، نیاز به برآورد سهم نهاده‌ها در تولید محصول‌های منتخب می‌باشد. در این بررسی این کار به کمک برآورد تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES) صورت گرفت. شکل کلی این تابع به صورت زیر قابل ارائه است:

$$Yield_{it} = SP_{it} \left[\sum_i \sum_j PF_{ijt} * H_{ijt}^{\rho_i} \right]^{\frac{v}{\rho_i}} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

در رابطه بالا، $Yield_{it}$ عملکرد محصول i ، H_{ijt} عامل تولید j برای تولید محصول i ، SP_{it} فراسنجه مقیاس و PF_{ijt} فراسنجه تولید (سهم نهاده j برای تولید محصول i) تحت شرایط اقلیمی t است. U ضریب بازده ثابت نسبت به مقیاس است و تابع تولید CES مستلزم آن است که این ضریب برابر با یک شود. ρ_i متغیری بر حسب کشش جانشینی بین نهاده‌ها (σ) است که برای محاسبه آن از رابطه $\rho_i = (\sigma - 1) / \sigma$ استفاده می‌شود (Gravelin, 2016; Parhizkari and Yazdani, 2017). تابع تولید CES مورد استفاده در این بررسی، با توجه به پنج نهاده زمین، آب، نیروی کار، سرمایه و ماشین‌ها و ادوات به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Yield_{it} = SP_{it} [PF_{it1}H_{it1}^{\rho_u} + PF_{it2}H_{it2}^{\rho_u} + PF_{it3}H_{it3}^{\rho_u} + PF_{it4}H_{it4}^{\rho_u} + PF_{it5}H_{it5}^{\rho_u}]^{v/\rho_u} \quad (13)$$

پس از برآورد تابع تولید بالا و گرفتن مشتق نخست از آن، فراسنجه‌های PF قابل محاسبه هستند:

$$\sum_{j=1}^5 PF_j = 1 \quad (13)$$

$$PF_1 = \left[1 + \frac{h_1^{(-1/\sigma)}}{c_1} \left(\sum_L \frac{c_L}{h_L^{(-1/\sigma)}} \right) \right]^{-1} \quad (14)$$

در رابطه بالا، h_L عامل تولید L ام و C_L هزینه عامل تولید L ام است. پس از محاسبه نخستین فراسنجه تابع تولید، برای برآورد دیگر فراسنجه‌ها می‌توان از رابطه‌های زیر استفاده کرد:

$$PF_L = (c_L h_1^{-1/\sigma}) * (c_1 h_L^{-1/\sigma})^{-1} * \left[1 + \frac{h_1^{(-1/\sigma)}}{c_1} \left(\sum_L \frac{c_L}{h_L^{(-1/\sigma)}} \right) \right]^{-1} \quad (15)$$

$$PF_L = (c_L h_1^{(-1/\sigma)}) * (c_1 h_L^{(-1/\sigma)})^{-1} * PF_1 \quad (16)$$

پس از محاسبه و برآورد فراسنجه‌های PF_1 الی PF_L ، با استفاده از تعریف تابع تولید CES می‌توان فراسنجه مقیاس را برای هر محصول به کمک رابطه زیر محاسبه کرد:

$$SP_{it} = \frac{\left(\frac{Yield_{it}}{Area_{it}}\right) \cdot \tilde{Area}_i}{\left[\sum_{t=1}^5 \sum_{j=1}^5 PF_{jt} * H_{jt}^{\rho_{it}}\right]^{U/\rho_{it}}} \quad (17)$$

پس از واسنجی مرحله‌های سه‌گانه مدل PMP، می‌توان اثرگذاری‌های بالقوه خشکسالی را در منطقه مورد بررسی تحلیل و ارزیابی کرد. این کار با تغییر میزان سمت راست محدودیت آب برابر سناریوهای کاربردی متأثر از رخداد خشکسالی (از خفیف تا شدید) قابل اجرا است.

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

در این مرحله با استفاده از تابع‌های تولید و هزینه غیرخطی واسنجی شده و محدودیت‌های موجود (به استثنای محدودیت واسنجی)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت رابطه‌های زیر ساخته می‌شود (Howitt *et al.*, 2012; Gravelin, 2016; Mahmoodi and Parhizkari, 2016):

$$\begin{aligned} Max \pi = & \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^1 [price_{ig} * yield_{ig} * \varphi change_{yield}] Area_{ig} \quad (18) \\ & - (\alpha_i Area_i + \frac{1}{2} \gamma_i Area_i^2) - \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 [V cost_{water} + (Wchange * IW_i)] Area_{ig} \\ & - \sum_{i=1}^9 \sum_{g=1}^1 [(IE cost * WE) + (IF cost * WF)] Area_i \end{aligned}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^1 IW_i * Area_{ig} \leq (1 - Cloos) * Twat_g \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^7 Area_i \leq TArea \quad \forall g \quad (20)$$

$$WE + WF \leq Twat_g \quad \forall g \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^7 La_i * Area_i \leq TLa \quad \forall g \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^7 K_i * Area_i \leq TK \quad \forall g \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^7 Ma_i * Area_i \leq TMa \quad \forall g \quad (24)$$

$$Area_i \geq 0 \quad \forall ig \quad (25)$$

رابطه (۱۸)، تابع هدف غیرخطی مدل PMP است که شامل تابع هزینه خطی برای نهاده آب، تابع هزینه درجه دوم برای نهاده‌های زمین، نیروی کار، سرمایه (مجموع بذر و نهاده شیمیایی) و ماشین‌ها و ادوات و تابع عملکرد محصول‌ها می‌باشد. ضریب مقداری $\varphi_{change\ yield}$ در این رابطه، بیانگر تغییرپذیری‌های به وجود آمده در عملکرد محصول‌ها پس از اعمال سناریوهای خشکسالی است. رابطه (۱۹) محدودیت آب قابل دسترس را نشان می‌دهد که در آن، C_{Loos} درصد حجم آب قابل انتقال و T_{wat_g} کل منابع آب در دسترس در حوضه مورد بررسی است. این میزان به عنوان بخش سمت راست محدودیت آب کشاورزی نقش به‌سزایی را در اعمال سناریوهای خشکسالی دارد. رابطه (۲۰) بیانگر محدودیت اراضی آبی زیرکشت است و نشان می‌دهد که مجموع سطح زیرکشت اختصاص داده شده به محصول‌های زراعی منتخب ($Area_i$) کمتر از مجموع سطح زیرکشت محصول‌ها (T_{Area}) است. رابطه (۲۱) محدودیت منابع آب قابل انتقال و 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 (T_{wat_g}) تجاوز کند یا بیشتر باشد. رابطه‌های (۲۲)، (۲۳) و (۲۴) به ترتیب بیانگر محدودیت نهاده‌های نیروی کار، سرمایه و ماشین‌ها و ادوات در حوضه مورد بررسی 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 حوضه مورد بررسی هستند. رابطه (۲۵) نیز محدودیت منفی نبودن سطح فعالیت‌ها است.

داده‌های موردنیاز در این تحقیق از نوع اسنادی و ثبت‌شده در دستگاه‌های دولتی ذیربط می‌باشند که در دو بخش سری زمانی (۱۳۸۱-۱۳۹۷) و مقطعی (۱۳۹۶-۱۳۹۷) گردآوری شدند. بخشی از داده‌ها مربوط به زیربخش کشاورزی و بخشی دیگر مربوط به زیربخش مدیریت منابع آب هستند. داده‌ها و اطلاعات مربوط به محصول‌های منتخب زراعی از طریق مراجعه مستقیم به سازمان جهاد کشاورزی استان تهران و سالنامه‌های آماری انتشار یافته گردآوری شدند. داده‌های منابع آب نیز با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای استان تهران گردآوری شدند.

نتایج و بحث

همان‌گونه که در بخش روش تحقیق اشاره شد، برای تعیین وضعیت خشکسالی طی سال‌های مورد بررسی (۱۳۸۱-۱۳۹۷) در حوضه جنوبی استان تهران، از شاخص SPI و میانگین

ارزیابی پیامدهای بالقوه... ۶۹

داده‌های بارشی سالیانه در ایستگاه‌های هواشناسی این منطقه (ایستگاه‌های مهرآباد، فرودگاه امام (ره) و ورامین) استفاده شد. جدول ۲ نتایج به دست آمده از برآورد این شاخص را بر مبنای طبقه‌های مختلف خشکسالی در سطح حوضه مورد بررسی نشان می‌دهد.

جدول (۲) برآورد شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و وضعیت خشکسالی در سطح استان تهران
Table (2) Estimation of standardized precipitation index (SPI) and drought situation in Tehran province

وضعیت خشکسالی (Drought situation)	شاخص SPI SPI index	سال Year	وضعیت خشکسالی (Drought situation)	شاخص SPI SPI index	سال Year
خشکسالی ملایم (Mild (drought	-0/762	1389-1390	ترسالی شدید (Severe wet)	1/681	1381-1382
خشکسالی خفیف (Slight (drought	0/398	1390-1391	ترسالی ملایم (Mild wet)	1/211	1382-1383
خشکسالی ملایم (Mild (drought	-0/318	1391-1392	ترسالی ملایم (Mild wet)	1/169	1383-1384
خشکسالی متوسط (Moderate drought)	-1/029	1392-1393	ترسالی ملایم (Mild wet)	1/090	1384-1385
خشکسالی شدید (Severe (drought	-1/349	1393-1394	ترسالی ملایم (Mild wet)	1/262	1385-1386
خشکسالی ملایم (Mild (drought	-0/790	1394-1395	خشکسالی خفیف (Slight (drought	0/261	1386-1387
خشکسالی ملایم (Mild (drought	-0/878	1395-1396	خشکسالی ملایم (Mild (drought	-0/914	1387-1388
خشکسالی ملایم (Mild (drought	-0/551	1396-1397	خشکسالی ملایم (Mild (drought	-0/480	1388-1389

با توجه به نتایج جدول ۲، ملاحظه می‌شود که پس از برآورد شاخص SPI بر مبنای داده‌های بارشی سالیانه در دوره مورد بررسی، سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ به عنوان سال خشکسالی شدید شناخته شد. برای سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ نیز در سطح حوضه جنوبی استان تهران میزان شاخص بارش استاندارد شده ۱/۰۲۹- محاسبه شد که این نتیجه وضعیت رخداد خشکسالی متوسط را بازگو می‌کند. نتیجه مهم دیگر، شمار رخداد شرایط خشکسالی ملایم در سطح حوضه مورد بررسی در دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۷ می‌باشد. رخداد شرایط ترسالی ملایم در سال‌های آغازین دوره زمانی مورد بررسی به علت تشدید بارش‌های آسمانی طی فصل بهار بوده

که با گذر زمان کاهش یافته و در سال‌های پایانی دوره مطالعاتی به صورت خشکسالی‌های خفیف و ملایم نمود یافته است. رخداد شرایط ملایم و خفیف در سال‌های ابتدایی دوره مورد مطالعه وضعیت پایداری بارش‌های صورت گرفته را طی این سال‌ها نشان می‌دهد و بیانگر آن است که میزان بارش‌های آسمانی نسبت به سال‌های پیشین دوره (یعنی پیش از سال ۱۳۸۱) با تغییرپذیری‌های کاهشی محسوسی روبرو شده است. به طور کلی، نتایج جدول ۲ رخداد خشکسالی تحت شدت‌های متفاوت (خفیف، ملایم، متوسط، نسبتاً شدید و شدید) را طی دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۱ بازگو می‌کند و منتج به این نکته می‌شود که شدت رخداد شمار سال‌های خشک در اواخر دوره یاد شده نسبت به اوایل آن با افزایش همراه بوده است. این نتیجه، مسئله‌ای مهم و قابل تأمل در زیربخش کشاورزی و مدیریت منابع آب حوضه جنوبی استان تهران به شمار می‌آید. جدول ۳ احتمال رخداد خشکسالی را در شدت‌های متفاوت (خفیف، ملایم، متوسط، نسبتاً شدید و شدید) و بر مبنای شرایط اقلیمی و بارشی محقق شده طی دوره مورد بررسی در سطح این حوضه نشان می‌دهد.

جدول (۳) درصد احتمال رخداد خشکسالی در سطح حوضه مورد بررسی

Table (3) Percentage of drought probability in the study basin

درصد احتمال رخداد	شدت خشکسالی
12/50	خشکسالی خفیف (Slight drought)
43/75	خشکسالی ملایم (Mild drought)
6/25	خشکسالی متوسط (Moderate drought)
6/25	خشکسالی شدید (Severe drought)
17/19	میانگین احتمال رخداد (Average probability of occurrence)

بنا بر نتایج جدول ۳، ملاحظه می‌شود که بر مبنای شمار سال‌های بارشی در دوره مورد بررسی، رخداد خشکسالی در سطح حوضه جنوبی (آبریز رود شور) استان تهران با شدت‌های خفیف و ملایم محتمل‌تر از شدت‌های متوسط و شدید است. احتمال رخداد خشکسالی شدید نیز در سطح این حوضه معادل با ۶/۲۵ درصد است که این امر می‌تواند در کنار رخداد خشکسالی‌های ملایم (با احتمال ۴۳/۷۵ درصد) تهدید جدی برای بخش کشاورزی و منابع آب استان تهران به شمار آید. بنا بر نتایج به دست آمده در جدول ۳، به طور میانگین احتمال رخداد پدیده خشکسالی در شدت‌های متفاوت می‌تواند معادل با ۱۷/۱۹ درصد باشد که این

ارزیابی پیامدهای بالقوه... ۲۱

میزان نیز تا حدودی اهمیت مسئله رخداد خشکسالی را برای کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران مشخص می‌کند. در ادامه با استناد به نتایج به دست آمده از شاخص SPI و تعیین سال‌های رخداد خشکسالی در شدت‌های متفاوت از یک‌سو و همچنین، اطلاعات دریافتی از شرکت مدیریت منابع آب ایران در زمینه حجم آب‌های سطحی و خروجی‌های الگوی شبیه‌سازی WEAP در سطح حوضه جنوبی استان تهران از سوی دیگر، درصد تغییرپذیری جریان‌های آب سطحی طی زمان‌های رخداد خشکسالی با شدت‌های متفاوت (خفیف تا شدید) نسبت به میانگین سال پایه (۱۳۹۶-۱۳۹۷) محاسبه شد. بر این مبنای سناریوسازی برای ارزیابی اثرگذاری‌های خشکسالی هیدرولوژیکی در زیربخش کشاورزی حوضه جنوبی استان تهران صورت گرفت. با توجه به گزارش‌های اخیر شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، میانگین حجم منابع آب در دسترس کشاورزان طی سال پایه در سطح حوضه جنوبی این استان حدود ۵۰۵/۶۷۲ میلیون مترمکعب برآورد شده است. جدول ۴، تغییرات میزان آب در دسترس کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران را در شرایط رخداد پدیده خشکسالی نشان می‌دهد.

جدول (۴) تغییرپذیری میزان آب در دسترس کشاورزان در شرایط رخداد پدیده خشکسالی

Table (4) Changes in the amount of farmers' water available in the event of drought

شدت‌های متفاوت رخداد پدیده خشکسالی Different intensities of drought occurrence					متغیرهای مورد بررسی Studied variables
شدید (Severe)	نسبتاً شدید (Rel intense)	متوسط (Moderate)	ملایم (Mild)	خفیف (Slight)	
241/30	300/72	343/70	412/47	448/43	حجم آب در دسترس* Volume of water available
-264/36	-204/95	-161/96	-93/195	-57/242	میزان تغییرپذیری** The degree of variability
-52/28	-40/53	-32/03	-18/43	-11/32	درصد تغییرپذیری Percentage of variability

* و **: بر حسب میلیون متر مکعب و نسبت به شرایط سال پایه محاسبه شده است.

* and **: is calculated in terms of million cubic meters and in relation to the conditions of the base year

با توجه به نتایج جدول ۴، ملاحظه می‌شود که رخداد پدیده خشکسالی با شدت‌های متفاوت، منجر به کاهش ۵۷/۲۴۲ تا ۲۶۴/۳۶ میلیون مترمکعب حجم آب در دسترس کشاورزان در سطح حوضه جنوبی استان تهران می‌شود. بنا بر یافته‌های به دست آمده، حجم آب در دسترس کشاورزان طی شرایط رخداد پدیده خشکسالی خفیف تا شدید پیرامون میزان‌های کاهشی ۱۰ تا ۵۰ درصد (۱۱/۳۲ تا ۵۲/۲۸ درصد) تغییر در کل منابع آب در دسترس آنان است. بنابراین،

با ورود میزان‌های یاد شده در سمت راست محدودیت آب پیش از اجرای مرحله سوم مدل PMP ارائه شده، اثرگذاری‌های خشکسالی بر الگوی کشت و مجموعه متغیرهای اقتصادی در سطح حوضه جنوبی استان تهران ارزیابی شد. جدول ۵ نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که الگوی کشت در شرایط رویارویی کشاورزان با خشکسالی خفیف تا شدید به سمت توسعه محصول‌های غله‌ای و کاهش سطح محصول‌های پرآب ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، آفتابگردان و هندوانه پیش می‌رود. با اعمال سناریوهای مختلف خشکسالی ملاحظه می‌شود که سطح زیرکشت گندم آبی ۱۴۱ تا ۹۴۱ هکتار و جو آبی ۱۱۹ تا ۷۸۳ هکتار افزایش می‌یابد. گرایش کشاورزان به سمت توسعه سطح زیرکشت این محصول‌ها افزایش سطحی معادل با ۰/۲۹ تا ۱/۹۸ درصد را برای گندم آبی و ۰/۴۲ تا ۲/۷۹ درصد را برای جو آبی نسبت به سال پایه به دنبال دارد. این در حالی است که سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان نسبت به سال پایه به ترتیب ۰/۲۹ تا ۲/۱۴، ۰/۳۶ تا ۲/۵۸، ۱۲/۷ تا ۷۹/۶ و ۲/۵۱ تا ۱۷/۱ درصد کاهش می‌یابد. علت این امر، پرآب بودن این محصول‌ها و نسبت سود به آب مصرفی پایین آن‌ها در مقایسه با محصول‌های غله‌ای است.

جدول (۵) اثرگذاری‌های رخداد خشکسالی بر الگوی کشت و متغیرهای بازده ناخالص و ارزش آب

Table (5) Effects of drought incidence on cropping pattern and gross margin and water value variables

سناریوهای رخداد پدیده خشکسالی با شدت‌های متفاوت Scenarios of drought phenomena with different intensities					میزان تغییر Amount change	سال پایه* Base year	محصول‌های منتخب Selected products
شدید (Severe)	نسبتاً شدید (Rel intense)	متوسط (Moderate)	ملایم (Mild)	خفیف (Slight)			
48314	48061	47850	47671	47514	مقدار	47373	گندم آبی (Wheat)
1/98	1/45	1/01	0/62	0/29	درصد		
28821	28613	28439	28289	28157	مقدار	28038	جو آبی (Barley)
2/79	2/05	1/43	0/89	0/42	درصد		
7489	7537	7574	7605	7630	مقدار	7653	ذرت (Corn)
-2/14	-1/52	-1/03	-0/63	-0/29	درصد		
7220	7275	7319	7355	7385	مقدار	7412	گوجه (Tomato)
-2/58	-1/84	-1/25	-0/77	-0/36	درصد		
193	383	549	695	826	مقدار	947	هندوانه (WaterMelon)
-79/6	-59/5	-42/0	-26/6	-12/7	درصد		

ارزیابی پیامد های بالقوه... ۲۳

ادامه جدول (۵) اثرگذاری های رخداد خشکسالی بر الگوی کشت و متغیرهای بازده ناخالص و ارزش آب

Table (5) Effects of drought incidence on cropping pattern and gross margin and water value variables

1801	1902	1986	2056	2117	مقدار	2172	آفتابگردان (Sunflower)
-17/1	-12/4	-8/57	-5.32	-2/51	درصد		
2110	2177	2232	2278	2318	مقدار	2353	کلزا (Canola)
-10/3	-7/48	-5/15	-3/19	-1/50	درصد		
11265/97	11992/81	12588/26	13106/83	13558/31	مقدار	13977/64	بازده ناخالص** (Gross margin)
-19/4	-14/2	-9/94	-6/23	-3/00	درصد		
1805	1485	1256	1083	948	مقدار	837	ارزش آب*** (Water value)
115/6	77/4	50/1	29/4	13/2	درصد		

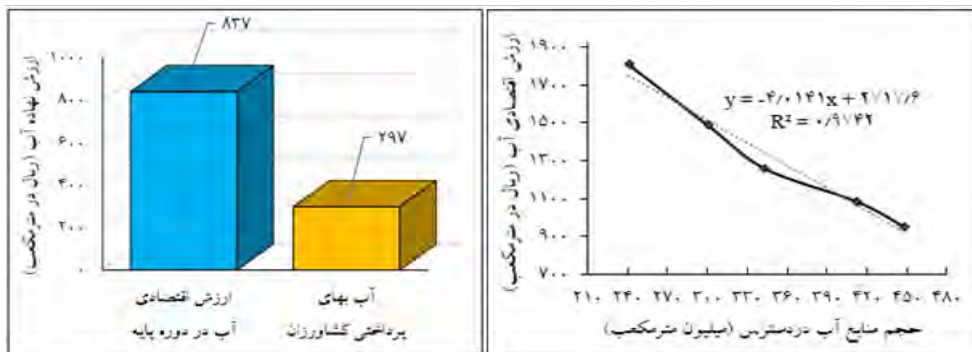
*، ** و ***: به ترتیب معیار الگوی کشت، معیشت کشاورز و قیمت واقعی (هکتار، میلیون ریال و ریال در مترمکعب)
** and ***: Criteria of cropping pattern, farmer's livelihood and real price (hectare, million Rials and Rials per cubic meter), respectively

بر مبنای نتایج جدول ۵، کشاورزان ترجیح می‌دهند تا میزان آب محدود و در دسترس خود را در شرایط رویارویی با خشکسالی برای گندم و جو آبی که صرفه اقتصادی بالاتری نسبت به میزان آب مصرفی در واحد سطح دارند، تخصیص دهند. میزان گرایش کشاورزان در چنین شرایطی برای تولید هندوانه و آفتابگردان کمتر از دیگر محصولات است، لذا محصول‌های یاد شده به عنوان حساس‌ترین محصولات در الگوی کشت حوضه جنوبی استان تهران در شرایط رخداد خشکسالی شناخته می‌شوند. کلزا نیز به‌رغم نیاز آبی کمتر نسبت به هندوانه و آفتابگردان (به ترتیب ۶۹۸۰، ۷۱۵۸ و ۷۸۳۰) در شرایط رخداد خشکسالی، به دلیل صرفه اقتصادی بالاتر از این محصولات (به ترتیب ۲۰/۵۱۸۷، ۱۸/۱۳۹۰ و ۱۸/۶۹۸۸ میلیون ریال در هکتار) با کاهش سطح کمتری در الگوی کشت (از ۲۳۵۳ به ۲۱۱۰ هکتار) مواجه می‌شود، به طوری که در بدبینانه‌ترین حالت ممکن (رخداد خشکسالی شدید) کاهش ۱۰/۳ درصدی گرایش کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران را نسبت به توسعه سطح زیرکشت خود در مقایسه با میانگین سال پایه به همراه دارد.

بخش دیگری از نتایج جدول ۵، گویای آن است که با اعمال سناریوهای خشکسالی خفیف تا شدید در سطح حوضه جنوبی استان تهران و تغییرات به وجود آمده در الگوی زراعی کشت، مجموع بازده ناخالص کشاورزان از ۱۳۵۵۸/۳۱ به ۱۱۲۶۵/۹۷ میلیون ریال می‌رسد که کاهش سودی معادل با ۳/۰ تا ۱۹/۴ درصد را نسبت به سال پایه به دنبال دارد. علت اصلی این امر،

محدود شدن منابع آب در دسترس آنان و کاهش سطح زیرکشت محصول‌های سودده ولو با نیاز آبی بالا مانند گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و ذرت دانه‌ای در الگوی کشت همزمان با رخدادهای خشکسالی است. افزون بر این، نتایج جدول ۵ گویای آن است که با رخداد خشکسالی، به علت کاهش حجم منابع آب در دسترس کشاورزان از ۴۴۸/۴۳ به ۲۴۱/۳۰ میلیون مترمکعب، ارزش واقعی نهاده آب افزایش پیدا می‌کند و کشاورزان ناگزیر به پرداخت بهایی بیشتر برای هر مترمکعب آب برای تخصیص بین فعالیت‌های زراعی خود می‌باشند. در واقع، با رخداد خشکسالی با شدت‌های خفیف تا شدید، ارزش اقتصادی آب نسبت به سال پایه افزایش می‌یابد و از ۸۳۷ به ۱۸۰۵ ریال در مترمکعب می‌رسد. این نتیجه بیانگر رشد ۱۳/۲ تا ۱۱۵/۶ درصدی ارزش واقعی آب در شرایط خشکسالی خفیف تا شدید است که با ارزش‌تر شدن هر مترمکعب نهاده آب را در شرایط رویارویی کشاورزان با دوره‌های خشکسالی بازگو می‌کند.

بر مبنای گزارش‌های اخیر شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، میانگین میزان آب‌بهای پرداختی کشاورزان حوضه جنوبی این استان برای نهاده آب طی سال پایه (۱۳۹۶-۱۳۹۷) در حدود ۲۹۷ ریال در مترمکعب می‌باشد که این میزان در مقایسه با ارزش واقعی یا اقتصادی برآورد شده (۸۳۷ ریال در مترمکعب) بسیار ناچیز است (Parhizkari et al., 2015; Tehran Province Regional Water Company, 2018). به بیان دیگر، کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران به‌رغم بهره‌مندی از منابع آب زیرزمینی در کنار آب‌های سطحی حوضه رود شور، تنها حدود ۳۵/۴ درصد از ارزش اقتصادی آب آبیاری را به عنوان آب‌بها در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال آب پرداخت می‌کنند. این امر تا حد زیادی منجر به رایگان تلقی شدن نهاده آب کشاورزی در سطح این حوضه می‌شود. نتایج گویای آن است که گرایش به پرداخت زارعین در خوشبینانه‌ترین حالت (رخداد خشکسالی خفیف) حدود ۳۱/۳ درصد و در بدبینانه‌ترین حالت ممکن (رخداد خشکسالی شدید) حدود ۴۶/۴ درصد از ارزش واقعی نهاده آب کشاورزی است که سهم به نسبت ناچیزی به شمار می‌رود. این نتیجه مهم، به طور کلی ارزان بودن نهاده آب آبیاری را به‌رغم اهمیت بسیار بالای آن در فرآیند تولید محصول‌های منتخب زراعی استان تهران بازگو می‌کند. شکل ۲ در سمت راست خود تابع تقاضای آب برآورد شده برای کشاورزان و در سمت چپ خود تفاوت چشم‌گیر ارزش اقتصادی نهاده آب آبیاری را با میانگین آب‌بهای پرداختی کشاورزان حوضه جنوبی طی سال پایه نشان می‌دهد.



شکل (۲) مقایسه ارزش اقتصادی آب آبیاری با آب بهای پرداختی کشاورزان و تابع تقاضای آب

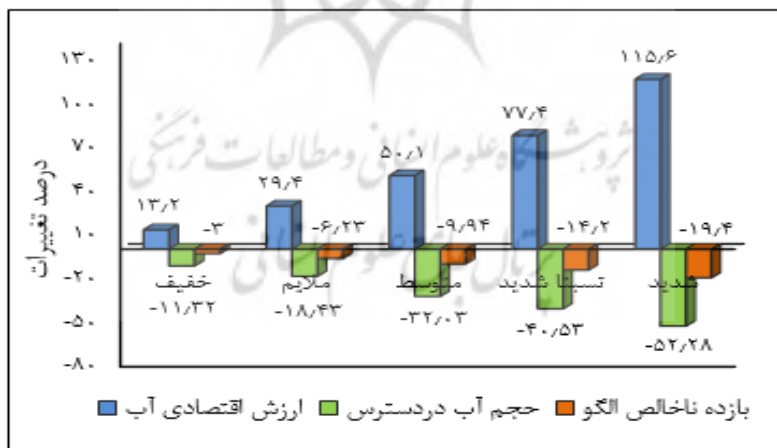
کشاورزی در حوضه جنوبی استان تهران در شرایط رخداد پدیده خشکسالی

Figure (2) Comparison of economic value of water with water paid by farmers and the function of agricultural water demand in the southern basin of Tehran province in the event of drought

با توجه به شکل ۲، ملاحظه می‌شود که یک ارتباط به نسبت خطی بین متغیرهای اقتصادی ارزش واقعی آب آبیاری و حجم آب در دسترس کشاورزان حوضه جنوبی وجود دارد. بدین مفهوم که تقاضا برای آب آبیاری در این حوضه نسبت به حالتی که تابع تقاضا سهمی شکل می‌باشد، حساسیت یا کشش پذیری کمتری را نسبت به کاهش و افزایش متغیر قرار گرفته بر روی محور عمودی (ارزش اقتصادی نهاده آب آبیاری) دارد. شیب منفی کمتر برآورد شده برای تابع تقاضا در سطح حوضه جنوبی که به نسبت خطی شکل است، دال بر این امر می‌باشد. توضیح این که شیب منفی تابع تقاضای آب کشاورزی در سطح حوضه جنوبی استان تهران بیانگر آن است که با کاهش هر یک واحد آب در دسترس کشاورزان (میلیون مترمکعب)، ارزش اقتصادی یا واقعی نهاده آب ۴/۰۱ واحد (ریال در مترمکعب) افزایش می‌یابد. میزان ضریب تعیین (R^2) برآورد شده برای تابع تقاضای آب کشاورزی در سطح حوضه جنوبی استان تهران که حدود ۰/۹۷ می‌باشد، گویای برازش مناسب این تابع است و توضیح دهنده‌گی سطح بالایی از رفتار متغیر وابسته تابع تقاضا (ارزش اقتصادی آب آبیاری) را به واسطه متغیر مستقل (حجم آب در دسترس) بازگو می‌کند. نکته قابل توجه دیگر در این بخش، وضعیت کشش پذیری نهاده آب کشاورزی در سطح حوضه جنوبی استان تهران است. این موضوع به ویژه، در زمان اعمال برنامه‌های سیاستی قیمت گذاری آب آبیاری بسیار مهم و کلیدی می‌باشد. اگرچه که بحث سیاست‌های قیمت گذاری خارج از بحث‌های مطرح شده در این پژوهش است، اما به کمک تابع‌های تقاضای آب کشاورزی برآورد شده می‌توان میزان کشش پذیری نهاده آب آبیاری را در

سطح حوضه‌های مورد بررسی استان تهران محاسبه و وضعیت آن را بررسی کرد. برای این منظور، در این بررسی از مفهوم کشش قیمتی تقاضا ($\sigma_w = -\Delta Q/Q \div \Delta P/P$) که تغییرپذیری حجم منابع آب در دسترس را برحسب تغییرپذیری‌های ارزش اقتصادی نهاده آب نشان می‌دهد، استفاده شد. نتایج به دست آمده گویای آن است که ضریب کشش قیمتی تقاضای آب آبیاری در سطح منطقه مورد بررسی حدود ۰/۹۶- است که این امر، کشش‌پذیری نهاده آب آبیاری را نسبت به تغییرات قیمتی در سطح حوضه جنوبی نشان می‌دهد. در نتیجه، تغییرپذیری اندکی در ارزش واقعی نهاده آب آبیاری (که دائماً در برنامه‌های سیاستی قیمت‌گذاری منابع آب ملاک واقع می‌شود و در حال تغییر است)، در سطح حوضه جنوبی استان تهران، می‌تواند حجم منابع آب در دسترس کشاورزان را تا حد زیادی تغییر دهد. به بیان دیگر، با افزایش یک واحدی ارزش واقعی نهاده آب آبیاری (ریال در مترمکعب)، میزان حجم آب در دسترس کشاورزان این حوضه بیش از یک واحد (میلیون مترمکعب) کاهش می‌یابد. این سیاست بازدارنده می‌تواند در شرایط محدودیت منابع آب در دسترس کشاورزان به‌ویژه در زمان رخداد خشکسالی برای صرفه‌جویی در منابع آب کشاورزی به کار گرفته شود.

شکل ۳، اثرگذاری‌های رخداد پدیده خشکسالی را بر حجم آب در دسترس کشاورزان، ارزش اقتصادی آب آبیاری و بازده ناخالص الگو کشت در سناریوهای خفیف تا شدید در سطح حوضه جنوبی استان تهران نشان می‌دهد.



شکل (۳) تغییرپذیری متغیرهای اقتصادی در شرایط رخداد خشکسالی در حوضه جنوبی تهران
 Figure (3) Changes in economic variables in drought conditions in the southern basin of Tehran

ارزیابی پیامدهای بالقوه... ۲۷

به طور کلی، برابر با شکل ۳ می‌توان نتیجه گرفت که رخداد پدیده خشکسالی با شدت‌های متفاوت (از خفیف تا شدید) به‌رغم کاهش میزان منابع آب در دسترس کشاورزان، منجر به کاهش بازده ناخالص ناشی از الگوی کشت و افزایش ارزش اقتصادی (واقعی) آب آبیاری در واحد سطح محصول‌های منتخب زراعی حوضه جنوبی استان تهران می‌شود و کشاورزان این حوضه را به سمت تغییر در الگوی کشت منطقه گرایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ارزیابی پیامدهای بالقوه خشکسالی و کم‌آبی از جمله موضوع‌های مهمی است که در شرایط کنونی مورد توجه جامعه‌های بین‌المللی قرار گرفته است و گامی مهم در زمینه پیشبرد و توسعه فعالیت‌های کشاورزی به شمار می‌رود. با توجه به اهمیت این موضوع، در این بررسی یکپارچه‌سازی سامانه مدل‌سازی زیست (بیو) فیزیکی-اقتصادی جامع کشاورزی و منابع آب در حوضه جنوبی استان تهران برای ارزیابی پیامدهای بالقوه پدیده خشکسالی مورد کنکاش و بررسی قرار گرفت. سامانه مدل‌سازی یاد شده مشتمل بر الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)، رهیافت تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES) و تابع هزینه غیرخطی از درجه دو یا کوادراتیک (QCF) بود که به کمک مجموعه داده‌های سری زمانی (۹۷-۱۳۸۱) و مقطعی (۹۷-۱۳۹۶) مربوط به میزان بارش‌ها و محصول‌های منتخب کشاورزی در محیط نرم‌افزاری GAMS واسنجی و حل شد.

به طور کلی، نتایج تحقیق نشان داد که محصول‌های غله‌ای گندم و جو آبی تنها محصول‌های قابل توسعه به لحاظ میزان سطح زیرکشت در شرایط رخداد شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه جنوبی استان تهران می‌باشند. لذا، برای حفظ، توسعه و پایداری سطح زیرکشت این محصولات غله‌ای در الگوی بهینه زراعی استان تهران (برای تأمین نیاز غذایی استان تهران و پاسخ‌دهی به کمبودهای موجود در استان‌های هم‌جواری چون البرز، سمنان، اراک و قم که بدون کشاورزی آبی در سطح توسعه‌یافته هستند) نیاز است تا مسئولان ذیربط دولتی همواره حمایت‌های خود را در قالب برنامه‌های سیاستی مناسب مانند ایجاد بازارهای هدف، خرید بدون واسطه (یا دلال)، خرید تضمینی و تعیین قیمت تضمینی به کشاورزان این استان ارائه دهند. مدیریت بهینه منابع آب کشاورزی و تعادل‌بخشی بین عرضه و تقاضای آب در استان تهران می‌تواند در هنگام رخداد خشکسالی‌های دوره‌ای اثرگذاری‌های مثبت و سازنده‌ای را بر وضعیت معیشتی و اقتصادی کشاورزان و بهره‌برداران بخش زراعی، به ویژه در منطقه‌های جنوبی استان

تهران (دشت‌های ملارد، شهرری و ورامین) داشته باشد و پیامدهای منفی ناشی از رخداد پدیده خشکسالی (شامل کاهش بازده ناخالص کشاورزان و کاهش سطح زیرکشت محصول‌های سودده ولو پرآب) را به کمترین میزان ممکن کاهش دهد. این نتیجه مهم، همسو با یافته‌های به‌دست آمده در پژوهش (Howitt *et al.* (2012) است. یافته‌های این تحقیق بیانگر کاهش اثرگذاری‌های سوء خشکسالی تا حدود ۳۰ درصد نسبت به شرایط دوره‌ی مبنا پس از تعادل‌بخشی آب آبیاری در دو طرف عرضه و تقاضا بین بهره‌برداران زراعی در ایالت کالیفرنیا است. افزون بر این، یافته‌ها گویای آن بود که در شرایط رخداد پدیده خشکسالی به دلیل کاهش میزان گرایش کشاورزان برای تولید محصول‌های آب‌بر، کاهش میزان کاربری نیروی انسانی در بخش کشاورزی استان تهران مشهود می‌باشد. خروج نیروی کار از بخش کشاورزی این استان به دلیل کاهش سطح زیرکشت محصول‌های آب‌بر و رها شدن بخشی از اراضی به صورت آیش یا بدون کشت، اثرگذاری‌های سوء و نامناسبی را در راستای مدیریت منابع انسانی (نیروی کار) به ویژه در منطقه‌های کم‌آب‌تر جنوبی این استان خواهد داشت. این در حالی است که با برقراری امکان داد و ستد آب و انتقال این نهاده کمیاب از منطقه‌های غنی‌تر شمالی به منطقه‌های جنوبی استان تهران (با تصویب و اجرای طرح‌های انتقال آب کشاورزی در شبکه‌های آبیاری و اجرایی کردن سیاست‌های سهمیه‌بندی آب در سطح کشتزارها) می‌توان پیامدهای اجتماعی خشکسالی را در مقطعی از زمان به کمترین میزان ممکن کاهش داد. نتایج به دست آمده از تحقیق (Rezaee *et al.* (2016) در شرق حوضه زاینده رود با یافته‌های این بخش از این تحقیق نزدیکی و قرابت دارد. آنان در تحقیق خود نشان دادند که رخداد خشکسالی مانع از تأمین حدود ۳۱ درصدی آب موردنیاز کشاورزان حوضه یاد شده خواهد شد و تنها راه‌حل برون‌رفت از آن، انتقال منابع آبی مازاد منطقه‌های همجوار شمالی به این منطقه از حوضه زاینده رود است. افزون بر این، نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که با رخداد پدیده خشکسالی میزان سطح زیرکشت محصول‌هایی چون هندوانه و آفتابگردان در الگوی زراعی حوضه جنوبی استان تهران تغییرپذیری‌های کاهشی چشم‌گیری را در پی دارد. با توجه به مصرف بالای آب در این محصول‌ها و همچنین، واکنش به نسبت شدید عملکرد آن‌ها به شرایط کم‌آبی و رخداد خشکسالی، کاهش سطح زیرکشت آن‌ها در الگوی کشت به منظور مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری می‌تواند مورد توجه کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران (و نه کشاورزان منطقه‌های دیگری از کشور) قرار گیرد. این نتیجه با یافته‌های به دست آمده در

ارزیابی پیامدهای بالقوه... ۷۹

تحقیق (Akbare *et al.* (2019) قرابت و نزدیکی دارد. آنان دریافته‌اند که الگوی کشت در شرایط رخداد خشکسالی به سمت محصول‌های با نیاز آبی کمتر و باثبات درآمدی بالاتر می‌رود. تخصیص تولید و توسعه سطح زیرکشت گیاهان زراعی کلزا و ذرت دانه‌ای در حوضه جنوبی استان تهران (حوزه رود شور) و توسعه نیافتن سطح زیرکشت این محصول‌ها در منطقه‌های دیگر با شرط تأمین بازارهای هدف آن‌ها توسط منطقه‌های مستعد، می‌تواند افزون بر بهینه شدن سطح زیرکشت آن‌ها در الگوهای زراعی در شرایط رخداد خشکسالی، تحقق هدف اصلی کشاورزان (کسب بیشترین عایدی یا سود اقتصادی با تخصیص بهینه منابع آب در سطح اراضی زراعی) را به دنبال داشته باشد. افزون بر موارد بالا، تعیین ارزش واقعی نهاده آب کشاورزی و بررسی روند تغییرپذیری‌های این شاخص اقتصادی در بخش مدیریت منابع آب استان تهران در شرایط رخداد پدیده خشکسالی، می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان بخش را در تصمیم‌گیری برای تعیین یک قیمت متعادل و مناسب به عنوان آب‌بها برای این نهاده کمیاب که داری کمترین شکاف ارزشی با مقدار واقعی یا اقتصادی نهاده آب آبیاری باشد، یاری رساند. در پایان با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، برای کاهش ریسک خشکسالی هیدرولوژیکی و رویارویی کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران با این رویداد، تأکید می‌شود که در گام نخست اصلاح الگوهای بهینه زراعی در راستای کاهش سطح زیرکشت و میزان تولید محصول‌های آب‌بر (مانند آفتابگردان و هندوانه) و توسعه سطح زیرکشت محصولات با نسبت سود به آب مصرفی بالاتر (مانند ذرت دانه‌ای و کلزا) در اولویت قرار گیرد و در گام بعدی با توجه به کشش‌پذیری نهاده آب کشاورزی نسبت به تغییرپذیری‌های قیمتی در سطح حوضه جنوبی استان تهران، اجرای بهینه و درست سیاست قیمت‌گذاری آب متناسب با روند تغییرپذیری‌های ارزش اقتصادی این نهاده کمیاب و ملاحظه برابری در شرایط رخداد خشکسالی توسط بخش دولتی مدنظر واقع شود.

منبع‌ها

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 Persian)

- Angelidis, P, Maris, F, Kotsovinos, N. and Hrissanthou, V. (2012). Computation of Drought Index SPI with Alternative Distribution Functions, *Journal of Water Resources Management*, 26 (9): 2453-2473.
- Chen, X. Jiang, J. and Li, H. (2018). Drought and Flood Monitoring of the Liao River Basin in Northeast China Using Extended GRACE Data. *Remote Sensing*, 10(8): 1149-1168.
- 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.
- Garnache, C, Merel, P, Howitt, R. and Lee, J. (2015). Calibration of shadow values in constrained optimization models of agricultural supply. Work. Pap. Available at: <https://www.msu.edu/~garnache/CalibShadValues.pdf>.
- Graveline, C. (2016). Economic calibrated models for water allocation in agricultural production: A review. *Environmental Modelling and Software*, 81: 12-25.
- Howitt, R.E, Medellin-Azuara, J, MacEwan, D. and Lund, R. (2012). Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Science of the Environmental Modeling and Software*, 38: 244-258.
- Kaczan, D, Qureshi, M.E. and Connor, J. (2011). Water Trade and Price Data for the Southern Murray Darling Basin, CSIRO, Adelaide, Canberra, No: 23.
- Lu, Y, Cai, H, Jiang, T, Sun, S, Wang, Y, Zhao, J, Yu, X. and Sun, J. (2019). Assessment of global drought propensity and its impacts on agricultural water use in future climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278, 15 November 2019, 107623.
- 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.
- Maleki, A. and Turkmani, C. (2015). Drought management for optimal use of water resources in North Khorasan province. *Journal of Agricultural Economics Research*, 25 (7): 65-89.
- McKee, T.B, Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.
- 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 Persian)

- Morid, S, Smakhtinb, V. and Bagherzadehc, K. (2007). Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices. *International Journal Climate*, 27(1): 2103–2111.
- Mosaedi, A. and Ghabaee, S.M. (2011). Modification of standardized precipitation index (SPI) based on relevant probability distribution function.
- Nasrnia, F, Beauty, M. And forgive, M. (2018). Vulnerability of farmers in Bakhtegan catchment area before and after drought: An econometric approach. *Journal of Agricultural Economics*, 12 (3): 45-69.
- 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 Researches*, 5(4):1-23. (In Persian)
- 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 Persian)
- 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 Persian)
- Paul, D.W, Medellin-Azuarab, J, Joshua, H.V. and Meagan, S.M. (2017). Economic and policy drivers of agricultural water desalination in California's central valley. *Agricultural Water Management*, 194:192-203.
- Petsakos, A. and Rozakis, S. (2015). Calibration of agricultural risk programming models. *European Journal of Operational Research*, 242(2): 536-545.
- 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.
- Rezaei, A, Mortazavi, A. and Peykani, Gh. (2016). Analysis of economic situation of farmers in the east of Zayandehrud river basin under drought conditions. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 2 (47): 342-335.
- Tehran Province Agricultural Jihad Organization. (2018). Deputy for Crop Production Improvement, Agriculture Department. (In Persian)
- Tehran Province Regional Water Company. (2018). Office of Basic Studies of Water Resources. (In Persian)

- Van Loon, A.F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Inter Disciplinary Reviews, Water*, 4(2): 359-392.
- Wang, L., Yu, H., Yong, M. and Wang, Y. (2019). A drought index: The standardized precipitation evapotranspiration runoff index. *Journal of Hydrology*, 571: 651-668.
- Zhiyong, W, Yun, M, Xiaoyan, L, Guihua, L, Qingxia, L. and Huating, X. (2016). Exploring spatiotemporal relationships among meteorological, agricultural, and hydrological droughts in Southwest China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30(3): 1033-1044.





Assessing the Potential Effects of Drought on Cropping Pattern and Farmers' Livelihoods in the Southern Basin of Tehran Province

A. Parhizkari, GH. Yavari, A. Mahmoodi, GH. Bakhshi Khaniki

Received: 7 April.2021

Accepted:22 May.2021

Abstract Extended

Introduction:

Drought is one of the most extreme water-related natural hazards and along with desertification is expected to affect as many as one-third of the world's population. Drought is considered one of the most damaging natural disasters in terms of economic costs (e.g. navigation and hydropower production, societal problems (e.g. increased mortality and conflict) and ecological impacts (e.g. forest dieback and impacts on aquatic ecosystems). It is the most critical environmental phenomenon having special hydrological and meteorological characteristics. Based on the nature of the water deficit, there are four different classifications of drought.

Meteorological drought: The meteorological drought related to precipitation deficits, which cause decreases in water supplies for domestic and other purposes affecting the flora and fauna of a region. In other words, the meteorological drought is defined by the amount of precipitation (in mm or inch) or average amount) and the duration of the dry period.

Hydrological drought: Hydrological drought is associated with the effects of periods of precipitation (including snowfall) shortfalls on surface or subsurface water supply (i.e., streamflow, reservoir and lake levels, groundwater). The frequency and severity of hydrological drought is often defined on a watershed or river basin scale. Although all droughts originate with a deficiency of precipitation, hydrologists are more concerned with how this deficiency plays out through the hydrologic system.

Agricultural drought: Agricultural drought links various characteristics of meteorological drought to agricultural impacts, focusing on precipitation shortages, differences between actual and potential evapotranspiration, soil water deficits, reduced groundwater or reservoir levels, and so forth. Plant water demand depends on prevailing weather conditions, biological characteristics of the specific plant, its stage of growth, and the physical and biological properties of the soil. A good definition of agricultural drought should be able to account for the variable

¹Respectively: PhD student (Corresponding Author) of Agricultural Economics, Associate Professors, Department of Agricultural Economics and Professor, Department of Agricultural Sciences (Biotechnology), Payame Noor University, Tehran, Iran
Email: Abozar.parhizkari@yahoo.com

susceptibility of crops during different stages of crop development, from emergence to maturity.

Socio- economic drought: The socio- economic definitions of drought associate the supply and demand of some economic good with elements of meteorological, hydrological, and agricultural drought. It differs from the aforementioned types of drought because its occurrence depends on the time and space processes of supply and demand to identify or classify droughts. The supply of many economic goods, such as water, forage, food grains, fish, and hydroelectric power, depends on weather. Because of the natural variability of climate, water supply is ample in some years but unable to meet human and environmental needs in other years.

Tehran province that is the study area in this research is located in the central part of Iran and is one of the areas with severe precipitation fluctuations in this country. The main area of the province covers the plains of Varamin, Lar, Shahriyar, Karaj and Gerchal, which have a rainfall lower than the average rainfall in the country. These arid regions faced with annually rainfall ranges from 150 to 210 millimeter. Despite the rainfall, there is a fraction about 150 million cubic meters of water per year for reservoirs in the Tehran province. The existence of aridity and dehydration problems and reduction of supply of agricultural water resources in the sub-basins of Tehran province have created droughts in these regions. Therefore, analysis of the effects of this phenomenon is important for the better management and planning of water resources available in the agricultural sector of the southern basin of Tehran province. For this purpose, a comprehensive modeling system in this study was used.

Materials and Methodes:

Assessing the potential effects of drought in agriculture and water resources management, as well as providing solutions to deal with it, is an important step in the development of agricultural activities. Therefore, in the present study, the standardized precipitation index (SPI) was used to determine the different intensities of drought and its occurrence during the study period (2002-2018). In this study to evaluation the effects of drought on agricultural situation, water consumptions and farmers' gross profit in the southern basin of Tehran province from Positive Mathematical Programming (PMP) was used. Positive mathematical programming (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 offarmers in thecalibrated period. Without introducing artificial constraints and makingit 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. 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.

Step 1- Solve linear programming model and determine shadow prices: at this stage, an auxiliary linear programming model is solved to maximize the total gross profit of farmers, and then shadow prices are obtained for the model constraints.

Step 2- Estimation of quadratic cost function and production function with constant substitution elasticity: in the second stage of the PMP model, the obtained shadow values in the first stage are used to calibrate the nonlinear or quadratic cost function (quadratic) and the production function with constant substitution elasticity.

Step 3- Solve the final calibrated model with a nonlinear objective function: at this stage, which is the final step of calibrating the positive mathematical programming model (PMP), a nonlinear programming model is created using nonlinear production and cost functions and the set of used constraints (excluding calibration constraints).

In model PMP instead of using the information base year from data and information related to the base period are used. The required data are documentary and registered in the relevant government agencies, which were collected in two sections time series (2002-2018) and cross-section (2017-2018) that by referring to relevant departments and agencies in Tehran province were collected. The programming model in GAMS software was solved.

Results and Discussion:

The results showed that with the occurrence of drought under mild to severe intensities, the volume of available water in the southern basin of Tehran province decreases by -11/32 to -52/28 percent and reaches from 448/43 to 241/30 cubic meters. Also, the results showed that the probability of severe drought in the southern basin of Tehran province is about 6/25 percent. Decreasing the acreage of high consumption water products such as watermelon, corn, sunflower and increasing the acreage of wheat and barley are other obtained results under drought conditions in Tehran province. Decrease of 3/17 to 20/5 percent of farmers' gross profit and increase of 12/2 to 110/5 percent of the economic value of irrigation water are other consequences of this phenomenon under mild to severe intensities. Table 1 shows the obtained results:

Table 1. Effect of hydrological drought on agricultural situation, water consumption and farmers' revenue

Studied variables	Base period values	Change rate	Applied drought scenario				
			Mild	Gentle	Medium	Fairlysevere	Severe
Total volume of available water*	505/67	Amount	448/43	412/47	343/70	300/72	241/30
		Percentage	-11/32	-18/43	-32/03	-40/53	-52/28

Total gross margin in the pattern**	1397/7	Amount	1355/8	1310/6	1258/8	1199/2	1126/5
		Percentage	-3/00	-6/23	-9/94	-14/2	-19/4
The economic value of water in the pattern***	837	Amount	948	1083	1256	1485	1805
		Percentage	13/2	29/4	50/1	77/4	115/6

*, ** and ***: respectively million cubic meter, 100 million rial and rial per cubic meter

Suggestion:

Determining the real value of agricultural water input and examining the trend of changes in this economic index in the water resources management sector of Tehran province under drought conditions, in addition to informing farmers in the southern basin of the province about the value of using this scarce input, Assists to managers and planners in the decision to appoint a balanced and reasonable prices for the scarce inputs (water charges). Comparing the value of farmers' willingness to pay for water input with the actual estimated price for it will largely dispel the misconception that water input is considered free for farmers, and it will lead to the creation of a correct and practical culture to save limited and existing water resources in the agricultural sector in the south of Tehran province, especially in the event of a drought.

JEL Classification: C61 .O13 .Q15 .R11

Keywords: Drought, Water Resources Management, Cropping Pattern, Farmers' Livelihood, PMP Model, Tehran.

