

یادداشت فنی

تدوین مدل برنامه‌ریزی غیرخطی تخصیص آب و الگوی کشت در شرایط کم‌آبایی (بررسی موردی: استان‌های تهران و البرز)

محمد ابراهیم بنی‌حبیب^{۱*}، مرضیه حسین‌زاده^۲ و محمود اولاد قره‌گوز^۳

چکیده

با توجه به مصرف چشم‌گیر آب بخش کشاورزی در مقایسه با سایر بخش‌های مصرف‌کننده آب در استان‌های تهران و البرز، تخصیص آب و الگوی کشت محصولات غالب به همراه کم‌آبایی می‌تواند در مدیریت تقاضای آب نقش اساسی ایفا کند. بدین منظور در این پژوهش، بهینه‌سازی با دو زیرمدل انجام شد که سطح اول، تخصیص درون‌فصلی محصولات و سطح دوم، تخصیص تلفیقی آب و الگوی کشت محصولات در شرایط سال کم‌آبی است. برای تدوین زیرمدل اول، با در نظر گرفتن سطوح مختلف کم‌آبایی، مقادیر سود خالص تعیین شد و بدین ترتیب رابطه بین سود خالص و آب مصرفی به دست آمد. به دلیل رابطه غیرخطی آب مصرفی و سود خالص و در نتیجه غیرخطی بودن تابع هدف، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) استفاده شد. با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در میزان آب در دسترس، مقادیر بهینه سطح زیرکشت و آب اختصاص یافته به هر یک از محصولات تعیین شدند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که با تغییر در سطح زیرکشت و استفاده از روش کم‌آبایی، در بهینه‌ترین حالت، می‌توان سود اقتصادی بخش کشاورزی استان تهران و البرز را ۳۶ درصد در مقایسه با شرایط فعلی بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، برنامه‌ریزی غیرخطی، بهینه‌سازی، تخصیص آب، مدیریت تقاضای آب.

ارجاع: بنی‌حبیب م. ا. حسین‌زاده م. و اولاد قره‌گوز م. ۱۳۹۴. تدوین مدل برنامه‌ریزی غیرخطی تخصیص آب و الگوی کشت در شرایط کم‌آبایی (بررسی موردی: استان‌های تهران و البرز). ۱۹: ۱۵۹-۱۶۳.

۱- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۳- مدیرعامل و عضو هیأت مدیره شرکت مهندسی مشاور توسعه اقتصادی آپادانا (بنا).

*نویسنده مسئول: banihabib@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۲۷

مقدمه

کشاورزی، ۱۳۸۵). داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، سطح زیرکشت، نیازآبی، عملکرد، هزینه تولید و قیمت واحد محصولات بود. برای تعیین نیاز آبی محصولات، از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 استفاده شد.

اجزای مدل‌سازی

مدل اصلی شامل دو زیرمدل است که در زیرمدل اول، حداکثر کردن عملکرد نسبی محصولات مدنظر است:

$$\max : \frac{Y_{a,c}}{Y_{\max,c}} = 1 - \sum_{i=1}^g k_{i,c}^y \left(1 - \frac{W_{i,c}^{al}}{W_{i,c}^p}\right) \quad (1)$$

محدودیت‌های بهینه‌سازی عبارتند از:

$$0 \leq W_{i,c}^{al} \leq W_{i,c}^p \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^g W_{i,c}^{al} \leq W_c^p \quad (3)$$

با اعمال کم‌آبیاری (نسبت‌های مختلفی از عمق پتانسیل آب آبیاری)، مقادیر مختلف عملکرد نسبی و تخصیص آب درون فصلی محصولات حاصل شد. با استفاده از خروجی‌های زیرمدل اول (مقادیر متناظر عملکرد نسبی و آب آبیاری)، سود خالص هر محصول برای مقادیر مختلف آب آبیاری تعیین شد و بدین ترتیب رابطه بین سود خالص و آب آبیاری هر محصول حاصل شد. برای محاسبه سود خالص هر محصول در زیرمدل دوم، از معادله (۴) استفاده شد.

$$NB_c = Y_{a,c} \times B_c \quad (4)$$

بر این اساس با داشتن رابطه بین آب آبیاری و سود خالص، تابع هدف در زیرمدل دوم (تخصیص تلفیقی آب و سطح زیرکشت) به شکل زیر نوشته شد:

$$\max : NB_{ag} = \sum_{c=1}^{ct} NB_c(W_c) A_c \quad (5)$$

محدودیت‌های زیرمدل دوم عبارتند از:

$$\sum_{c=1}^{ct} (W_c \times A_c) / E \leq Q_{ag} \quad (6)$$

$$0 \leq W_c \leq W_c^p \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^{ct} A_c \leq A_r \quad (8)$$

$$A_{c\min} \leq A_c \leq A_{c\max} \quad (9)$$

که در آن $Y_{a,c}$ میزان عملکرد واقعی محصول c (تن بر هکتار)، $Y_{\max,c}$ حداکثر عملکرد محصول c (تن بر هکتار)، $k_{i,c}^y$ ضریب حساسیت گیاه نسبت به کم‌آبی در مرحله i محصول c ، $W_{i,c}^{al}$ مقدار آب تخصیص یافته به محصول

در میان بخش‌های مصرف‌کننده آب، بخش کشاورزی بیشترین مصرف آب (حدود ۹۰٪ از کل منابع آب تجدید شونده کشور) و حدود ۱۲ تا ۱۳ درصد تولید ناخالص ملی را دارد، بنابراین نقش آب در توسعه بخش کشاورزی، به‌عنوان مهم‌ترین بخش مصرف‌کننده آب بسیار مهم است (قاسم‌زاده مجاوری، ۱۳۷۹). برای مدیریت تقاضای آب بخش کشاورزی، کشاورزان باید بین آبیاری کامل یک سطح کوچک برای حداکثر تولید و کاهش عمق آب آبیاری در واحد سطح برای افزایش میزان سطح زیرکشت، تصمیم بگیرند (انگلیش، ۱۹۹۰). از جمله این روش‌های مدیریتی، تخصیص بهینه آب و به کارگیری الگوی کشت مناسب برای محصولات و استفاده از روش مؤثر کم‌آبیاری است. پژوهش‌های زیادی در زمینه بهینه‌سازی الگوی کشت انجام شده است که در بیشتر آن‌ها هدف اقتصادی مدنظر بوده است (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۷؛ الوشاه و رادوان، ۲۰۰۰؛ قهرمان و سپاسخواه، ۲۰۰۲؛ گارسیا ویلا و فریز، ۲۰۱۲؛ افروزه و همکاران، ۱۳۹۰ و منصوری و کهنسال، ۱۳۸۶). نتایج کلی پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که می‌توان با تعیین الگوی کشت و انتخاب محصول مناسب، همچنین استفاده از استراتژی‌های مختلف آبیاری، درآمد خالص اقتصادی در بخش کشاورزی را افزایش داد. با توجه به اینکه امروزه فقط عملکرد بالای محصولات کشاورزی مدنظر نیست بلکه عملکرد محصولات نسبت به نهاده‌های کمیاب مانند آب بسیار مهم است، پس در این پژوهش، برای بررسی و ارزیابی استفاده از روش کم‌آبیاری در افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، تخصیص آب بین محصولات و تعیین الگوی کشت بهینه بر مبنای حداکثرسازی درآمد خالص حاصل از کشت محصولات کشاورزی (زراعی و باغی) استان تهران با منابع آب بسیار محدود، مدنظر قرار گرفته است.

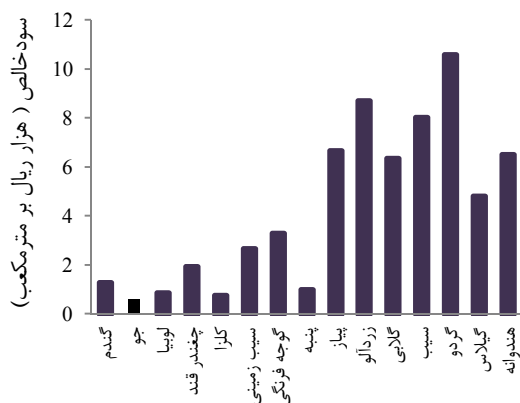
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

در سال ۱۳۸۵ در استان تهران، بالغ بر ۱۸۰۵۹۱ هکتار زیرکشت محصولات مختلف بوده که از این مقدار ۱۰۵۳۹۷ هکتار مربوط به غلات، ۱۱۵ هکتار مربوط به حبوبات، ۳۴۲۰ هکتار مربوط به محصولات صنعتی و ۷۱۶۵۹ هکتار زیرکشت سایر محصولات بوده است (وزارت

شکل ۲ مقادیر سود خالص به ازای هر مترمکعب آب مصرفی را در محصولات مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود محصولات گردو، زردآلو، سیب، پیاز، هندوانه، گلابی، گیلاس، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، چغندرقد، گندم، پنبه، لوبیا، کلزا و جو به ترتیب بیشترین مقدار سود خالص در واحد آب مصرفی را دارند.

نتایج حاصل از تخصیص تلفیقی آب آبیاری و سطح زیرکشت به محصولات مختلف در چهار سناریوی یاد شده در اینجا بحث می‌شود. همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، در سناریوی اول در شرایطی که کل آب موجود در دسترس باشد مقدار سطح زیرکشت محصولات جو، لوبیا، کلزا و پنبه، در مقایسه با شرایط کنونی کاهش و در سایر محصولات این مقدار افزایش یافته است با توجه به شکل ۲ این محصولات، کمترین سود خالص به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی را دارند. پس می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سطح زیرکشت در محصولات، براساس میزان سود خالص در واحد مصرف آب آن‌ها انجام می‌شود.



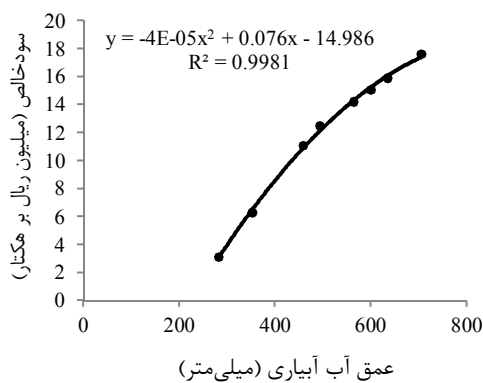
شکل ۲- سود خالص محصولات در شرایط آبیاری کامل

این در حالی است که با کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی آب در دسترس، کاهش سطح زیرکشت علاوه بر محصولات یاد شده، در گندم ایجاد شد که با توجه به شکل ۲ بعد از محصولات یاد شده، این محصول کمترین راندمان اقتصادی آب را دارد. با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف و تخصیص تلفیقی سطح زیرکشت و آب آبیاری، علاوه بر تغییرات سطح زیرکشت در محصولات، کم‌آبیاری نیز اعمال شد. این تغییرات در سناریوی اول در جو، لوبیا و پنبه دیده شد و در سناریوی دوم علاوه بر کاهش عمق آب آبیاری این محصولات، در کلزا نیز کم‌آبیاری اعمال شد. در

در مرحله i (میلی‌متر)، $W_{i,c}^{pp}$ نیازآبی واقعی محصول c در مرحله i (میلی‌متر) و g تعداد مراحل رشد، NB_i سودخالص هر محصول (میلیون ریال بر هکتار)، B_i سود بر حسب میلیون ریال بر تن، $NB_i(W_c)$ تابع سود هر محصول، A_i سطح زیرکشت (هکتار)، E راندمان بخش کشاورزی، Q_{ag} آب در دسترس بخش کشاورزی، A_p کل سطح زیرکشت، W_c^p نیازآبی واقعی گیاه می‌باشد. به دلیل شرایط اجتماعی و با توجه به اینکه، هدف، تولید تمامی محصولات غالب در استان است، حداقل سطح زیرکشت برای محصولات باغی برابر با سطح زیرکشت فعلی و حداکثر با ۵۰ درصد افزایش در مقایسه با شرایط فعلی و برای محصولات زراعی تغییرات ۵۰ درصدی سطح زیرکشت در نظر گرفته شد. برای بررسی اثرات خشکسالی در تخصیص آب و تعیین الگوی کشت، چهار سناریو در شرایطی که ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد آب موجود در دسترس باشد، در نظر گرفته شد و بر این اساس مقادیر بهینه سطح زیرکشت و عمق آب آبیاری اختصاص یافته به هر محصول تعیین شد. در این پژوهش برای حل مدل، از بسته نرم‌افزاری LINGO13.0 استفاده شد. لینگو ابزاری ساده برای بهره‌گیری از توان برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی در فرموله کردن مسائل خیلی بزرگ به صورت مختصر و تجزیه و تحلیل آن‌هاست (راهنمای لینگو، ۲۰۱۳).

نتایج و بحث

سود خالص و آب آبیاری محصولات مختلف براساس روش تشریح شده محاسبه شد که به‌عنوان نمونه تابع سیب‌زمینی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- تابع سود سیب‌زمینی

گوجه‌فرنگی نیز، کم‌آبیاری دیده شد. به نظر می‌رسد که کم‌آبیاری در محصولات در جریان بهینه‌سازی و براساس حساسیت محصولات به کم‌آبیاری و همچنین سود خالص در واحد سطح محصولات انجام شده است (جدول ۲).

سناریوی سوم، علاوه بر کم‌آبیاری بیشتر در لوبیا، برای گندم و سیب‌زمینی نیز کم‌آبیاری در نظر گرفته شد و در سناریوی چهارم، علاوه بر کم‌آبیاری بیشتر در محصولات گندم، لوبیا و سیب‌زمینی، برای محصولات چغندر قند و

جدول ۱- درصد سطح زیر کشت محصولات مختلف

سناریو	شرایط کنونی	٪۱۰۰	٪۸۰	٪۶۰	٪۴۰
محصولات	سطح زیر کشت (درصد)				
گندم	۴۸/۳۷	۵۰/۲۵	۳۴/۷۲	۲۴/۱۸	۲۴/۱۸
جو	۲۵/۲۸	۱۲/۶۴	۱۲/۶۴	۱۲/۶۴	۱۲/۶۴
لوبیا	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
چغندر قند	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
کلزا	۰/۹۶	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۴۸
سیب‌زمینی	۰/۷۸	۱/۱۸	۱/۱۸	۱/۱۸	۰/۳۹
گوجه‌فرنگی	۳/۸۱	۵/۷۱	۵/۷۱	۵/۷۱	۱/۹۰
پنبه	۱/۳۷	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۸
پیاز	۰/۳۱	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۱۶
زردآلو	۲/۷۸	۴/۱۷	۴/۱۷	۴/۱۷	۲/۷۸
گللابی	۰/۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵
سیب	۴/۴۱	۶/۶۳	۶/۶۳	۶/۶۳	۴/۴۱
گردو	۶/۵۴	۹/۸۱	۹/۸۱	۹/۸۱	۸/۹۱
گیلاس	۴/۵۸	۶/۸۷	۶/۸۷	۶/۸۷	۴/۵۸
هندوانه	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۰۹
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۸۴/۴۶	۷۹/۹۳	۶۱/۷۹

جدول ۲- عمق بهینه آب آبیاری در سناریوهای مختلف

سناریو	کنونی	٪۱۰۰	٪۸۰	٪۶۰	٪۴۰
محصولات	عمق آب آبیاری (میلی‌متر)				
گندم	۵۹۹/۷	۵۹۹/۷	۵۹۹/۷	۲۸۶/۷۳	۱۹۸/۸
جو	۶۰۸/۴	۳۳۵/۵۵	۸/۴۲	۸/۴۲	۸/۴۲
لوبیا	۵۴۷/۷	۴۸۹/۴۸	۳۶۹/۲۹	۲۴۰/۶۸	۱۸۷/۱۷
چغندر قند	۸۴۶/۸	۸۴۶/۸	۸۴۶/۸	۸۴۶/۸	۵۰۷
کلزا	۸۲۶/۵	۸۲۶/۵	۷۲	۷۲	۷۲
سیب‌زمینی	۷۰۵/۹	۷۰۵/۹	۷۰۵/۹	۶۹۳	۲۲۳/۳۶
گوجه‌فرنگی	۷۸۹/۹	۷۸۹/۹	۷۸۹/۹	۷۸۹/۹	۴۸۸/۳۳
پنبه	۹۰۸/۳	۱۵۹/۲۲	۱۸/۵۷	۱۸/۵۷	۱۸/۵۷
پیاز	۸۳۲/۷	۸۳۲/۷	۸۳۲/۷	۸۳۲/۷	۸۳۲/۷
زردآلو	۸۸۶	۸۸۶	۸۸۶	۸۸۶	۸۸۶
گللابی	۸۸۶	۸۸۶	۸۸۶	۸۸۶	۸۸۶
سیب	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹
گردو	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹
گیلاس	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹	۱۰۴۶/۹
هندوانه	۵۹۳/۳	۵۹۳/۳	۵۹۳/۳	۵۹۳/۳	۵۹۳/۳

است به طوری که با وجود کاهش آب در دسترس و تغییر الگوی کشت و اعمال کم آبیاری، سود خالص اقتصادی تا کاهش ۴۰ درصدی آب در دسترس، ۱۹ درصد در مقایسه با شرایط کنونی افزایش یافته است.

با توجه به جدول ۳ دیده می شود که در جریان بهینه سازی با کاهش آب در دسترس، مجموع سطح زیرکشت نیز کم شده است. این در حالی است که با کاهش آب در دسترس میزان سود خالص نیز کاهش یافته

جدول ۳- مقادیر بهینه سطح زیرکشت و سود خالص و تغییرات آن

سناریو	شرایط فعلی	٪۱۰۰	٪۸۰	٪۶۰	٪۴۰
سطح زیرکشت (هکتار)	۱۴۳۱۱۲/۲	۱۴۳۱۱۲/۲	۱۲۰۸۷۸/۳۷	۱۰۵۷۹۰/۹۵	۸۸۴۲۲/۵۹
تغییرات سطح زیرکشت در مقایسه با شرایط کنونی (درصد)	-	۰	-۱۶	-۲۶	-۳۸
سود خالص	۳۱۳۶۴۶۹/۲	۴۲۷۵۹۹۳	۴۰۵۰۴۳۶	۳۷۳۱۰۶۷	۲۶۴۰۴۹۱
تغییرات سود خالص در مقایسه با شرایط کنونی	-	۳۶	۲۹	۱۹	-۱۶

نتیجه گیری

با توجه به اینکه در دهه های اخیر تقاضای آب برای آبیاری افزایش یافته است، از طرفی تقاضای آب در بخش های شرب و صنعت که دارای ارزش بالاتری هستند نیز رو به افزایش است، استفاده از روش های افزایش بهره وری آب در بخش کشاورزی، امری ضروری است. با توجه به قرار گرفتن استان تهران در منطقه خشک، از طرفی محدود بودن آب و کاهش منابع آب در سال های اخیر، کشاورزان می توانند با کاهش عمق آب آبیاری برای محصولات و تغییر الگوی کشت، درآمد خالص منطقه را افزایش دهند. پس ارائه مدل تخصیص آب و زمین، استفاده از شیوه بسیار مؤثر کم آبیاری و افزایش سطح زیرکشت محصولاتی با راندمان اقتصادی بالاتر در راستای توسعه اقتصادی بخش کشاورزی می تواند راهکاری مناسب باشد.

منابع

- الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی). مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۴(۳):۱-۱۳.
۵. منصوری ه. و کهنسال م. ر. ۱۳۸۶. تعیین الگوی بهینه کشت زراعی براساس دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی. اقتصاد و کشاورزی، ویژه نامه ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران. ۱(۳):۱۳-۲۰.
6. Al-Weshah and Radwan A. 2000. Optimal Use of Irrigation Water in the Jordan Valley: A Case Study. Water Resource Management. 14 (5):327-338.
7. English M. 1990. Deficit irrigation. I. Analytical framework. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 116: 399-412
8. Garcia-Vila M. and Fereres E. 2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level. European Journal of Agronomy. 36(1): 21-31.
9. Ghahraman B. and Sepaskhah A. R. 2002. Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping patterns, Irrigation Science. 21(3): 127-137.
10. LINGO user guide. 2013. <http://www.lindo.com>

۱. افروزه ف. موسوی ن. ا و ترکمانی ج. ۱۳۹۰. بررسی نوسانات آب و بهینه کردن مصرف آن در بخش کشاورزی، منطقه سیستان: رهیافت فازی. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۳(۳):۳۷-۵۹.
۲. سازمان جهاد کشاورزی، www.maj.ir.
۳. قاسم زاده مجاوری ف. ۱۳۷۹. اقتصاد آب: پیش شرط اقتصاد سبز، اقتصادسبز، سال اول، اردیبهشت ماه.
۴. مقدسی م. و مرید س. و عراقی نژاد ش. ۱۳۸۷. بهینه سازی تخصیص آب در شرایط کم آبی با استفاده از روش های برنامه ریزی غیرخطی، هوش جمعی و