بهینه‌سازی الگوی کشت جهت افزایش بازده آبیاری در اراضی پایاب سد ملاصدرا در استان فارس

محمدرضا عوض‌یار[۱]، محمود احمدپور برازجانی[۲*]، سامان ضیایی[۳]

چکیده

از آن جا که ایران با بحران شدید کم‌آبی به دلیل خشکسالی‌های طولانی و سوء مدیریت منابع آب خود رو به رو است، بهینه‌سازی الگوی کشت به منظور افزایش بازده آبیاری، نه تنها باعث صرفه‌جویی در مصرف آب ارزش‌مند می‌شود، بلکه سبب افزایش درآمد فعالیت کشاورزی می‌گردد. هدف مطالعه‌ی حاضر، بیشینه‌سازی سود ناخالص سالانه، و تخصیص بهینه‌ی آب‌های سطحی و زیرزمینی در اراضی پایاب سد ملاصدرا شامل دشت‌های کامفیروز و کُربال است. به این منظور، از روش‌های برنامه‌ریزی خطی قطعی (DLP)، و برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های تصادفی (CCLP)، جهت ارائه‌ی یک الگوی بهینه‌ی کشت توأم با عدم‌قطعیت استفاده شد. برای بررسی اثر افزایش بازده آبیاری بر سود ناخالص سالانه، از چهار نمایشنامه‌ی فرضی بازده آبیاری ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد در شرایط قطعیت و عدم‌قطعیت آب در دسترس (در سه سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد اطمینان) استفاده شد. همچنین محصولات عمده منطقه مورد مطالعه، در قالب کشاورزی دیم و آبی و برای دو فصل بهار (خشک) و پائیز (پرباران)، مدنظر قرار گرفتند. اطلاعات لازم برای سطح زیر کشت و نوع محصولات، از بانک اطلاعات زراعی سازمان جهادکشاورزی استان فارس در سال ۱۳۹۲، و اطلاعات لازم برای اندازه بارندگی و آب‌های سطحی و زیرزمینی از بخش آمار و اطلاعات سازمان آب منطقه‌ای استان فارس برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ استخراج گردیدند. نتایج نشان داد که با اعمال برنامه‌ریزی بلندمدت جهت افزایش ۳۰ درصدی بازده آبیاری در مزرعه، سود ناخالص سالانه زارعین منطقه از ۳۹۰ میلیارد ریال به ۶۰۲ میلیارد ریال افزایش یافته و سالانه بیش از ۱ میلیون مترمکعب نیز در مصرف آبهای زیرزمینی صرفه جویی خواهد شد؛ بنابراین تحقیقات در زمینه فن‌آوری‌های آب‌اندوز و سرمایه‌گذاری در گسترش سامانه‌های نوین آبیاری که منجر به بهبود بازده آبیاری می‌گردد، پیشنهاد می‌شود.

واژه های کلیدی: سد ملاصدرا، دشت کامفیروز، برنامه‌ریزی خطی، محدودیت تصادفی

[۱] دانشجوی اسبق کارشناسی ارشد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

[۲] استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

تلفن: ۰۹۱۷۷۷۲۸۰۹۶ Email: mahmoud_ahmadpour@yahoo.com

[۳] استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

نقش بدون جایگزین آب در رشد محصولات کشاورزی و کمیابی این نهاده‌ی تولید، باعث ایجاد نگرانی در ابعاد جهانی شده است. از همین رو، متخصصین امر پیوسته در تلاشند تا با راهکارهای جدید، استفاده از این نهاده‌ی مهم تولید را مدیریت کرده و برنامه‌های مدونی را برای استفاده بهینه از آن ارائه دهند. مسأله‌ی کمبود آب در ایران نیز تازگی ندارد، اما افزایش جمعیت و کاهش بارندگی به این مشکل دامن زده، و شرایط نگران‌کننده‌ای را به‌وجود آورده‌اند. با وجود تمامی تلاش‌ها برای بهبود عملکرد آبیاری و مصرف آب، حجم آب‌های سطحی و زیرزمینی ایران طی سال‌های گذشته کاهش چشمگیری داشته و سفره‌های زیرزمینی با تراز منفی رو به رو بوده‌اند (موسوی و همکاران، ۲۰۰۹). بر اساس اصل تعادل آب‌شناسی آب‌های زیرزمینی، میزان استحصال سالانه‌ی این آب‌ها، باید با میزان تزریق سالانه محیط به این منابع برابر باشد (بلالی و همکاران، ۲۰۰۸). بر این اساس، بایستی محدودیت‌های را برای استحصال آب‌های زیر زمینی در نظر گرفت. بخش کشاورزی نیاز آبی خود را از آب‌های سطحی و زیرزمینی تأمین می‌کند، که هیچ کدام از این دو منبع نمی‌تواند به تنهایی تأمین کننده‌ی آب مورد نیاز بخش کشاورزی باشد (باریکانی و همکاران، ۲۰۱۲). در این باره می‌توان به نوسان یا عرضه‌ی تصادفی آب‌های سطحی به دلایل مختلف اشاره کرد که باعث ایجاد عدم اطمینان به این منبع شده و ضرورت استفاده تکمیلی از آب‌های زیرزمینی را آشکار می‌سازد.

نیاز آبی و تنوع گیاهی در یک منطقه، از عوامل اصلی تعیین میزان مصرف آب سطحی و استخراج آب‌های زیرزمینی موجود در آن‌اند. همچنین، سطح زیر کشت محصولات منطقه از دیگر عوامل موثر در میزان به‌کارگیری نهاده‌ی آب است. به بیان ساده‌تر، میزان استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی، ارتباطی مستقیم با الگوی کشت منطقه دارد. توجه به پایداری منابع آب، بدون اصلاح الگوی کشت، باعث اتلاف این منبع کمیاب تولید شده، و منجر به کاهش سطح زیر کشت و درآمد کشاورزان می‌شود؛ بنابراین، می‌توان با توجه به میزان آب برداشت شده، الگوی جدیدی را در منطقه طراحی کرده، و بدون کاهش در سطح کشت، ترکیب بهینه‌ای را از محصولات کاشت (باریکانی و همکاران، ۲۰۱۲). از این رو، می‌توان گفت که انتخاب یک ترکیب بهینه برای استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌تواند به تغییر در الگوی کشت منطقه منجر شود. در نهایت، باید اذعان کرد که برای مدیریت پایدار و بلندمدت منابع آب و زمین در دسترس، به تدوین یک سری راهکارهای اساسی برای شرایط قطعی و تصادفی تأمین منابع تولید نیاز است (ستی و همکاران، ۲۰۰۶). هدف از مطالعه‌ی حاضر، تخصیص بهینه‌ی آب‌های زیرزمینی و سطحی در زمین‌های پایاب سدملاصدرا در استان فارس با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی قطعی (DLP)[1] و برنامه‌ریزی خطی با محدودیت تصادفی (CCLP)[2] است، به گونه‌ای که سود ناخالص سالانه کشاورزان این منطقه بیشینه شود. محدوده‌ی مطالعه، شامل دشت‌های کامفیروز و کُربال می باشد.

مطالعاتی در داخل و خارج از ایران در این زمینه انجام شده‌اند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. مردانی و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از برنامه‌ریزی چند منظوره در شرایط عدم حتمیت، الگوی بهینه‌ی کشت را در شهرستان مشهد تعیین کردند. یافته‌های آنان نشان دادند که با کاهش میزان عدم حتمیت، سطح زیر کشت کل و درآمد خالص کشاورزان افزایش می‌یابد. صبوحی و شیرزادی (۲۰۰۹)، میزان تخصیص بهینه آب را در منطقه‌ی ساوجبلاغ تعیین، و درصد تغییرات آن را با شرایط موجود مقایسه کردند. نتایج نشان دادند که مقدار بهینه آبکشی در ماه‌های گرم سال افزایش می‌یابد. افزون بر آن، سطح زیر کشت محصولات زراعی در سال خشک نسبت به مرطوب به طور محسوسی کاهش می‌یابد. رستگاری‌پور (۲۰۰۸)، مدیریت آب سد کارده را با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای با فراسنجه‌های بازه‌ای در شرایط عدم حتمیت بررسی نمود. هان و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از روش رئوس تصادفی در الگوی فازی خطی به تخصیص منابع کمیاب آب برای پکن پرداختند. نتایج آنان نشان دادند که با توجه به کاهش حجم بارندگی، ذخیره‌ی دو منبع بزرگ آب در آن شهر چین در حال کاهش بوده، و برای جلوگیری از بحرانی شدن وضعیت عرضه‌ی آب در سال‌های خشک پیش رو، انجام طرح انتقال آب از جنوب به شمال برای پکن ضروری می‌باشد.

[1] deterministic linear programming (DLP)

[2] chance constrained linear programming (CCLP)

Archive of SID

www.SID.ir

بارو و گونزالس (۲۰۰۹)، با استفاده از الگوی تصادفی چندهدفه، آب مصرفی را در بخش کشاورزی برنامه‌ریزی کردند. در این مطالعه الگوی حمایت تصمیم‌گیری جهت کمک به سازمان آب، به منظور تخصیص آب سطحی بین کشاورزان و اجازه‌ی مصرف آب زیرزمینی، جهت آبیاری در مناطق خشک وابسته به مدیترانه توسعه یافت. نتایج حاصل، استفاده از آب زیرزمینی بیشتری را در دوره‌های خشک نسبت به مرطوب نشان داد. لی و همکاران (۲۰۰۹)، نیز به منظور حمایت از پایداری منابع آب با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی فازی تصادفی چند مرحله‌ای[1] به بررسی تخصیص و مدیریت منابع آب کانادا پرداختند. به منظور حل الگو از روش رأسی (مثلثی) استفاده شد، و نتایج تحت یک مجموعه‌ی سطوح برش α[2] و یک گروه زیرالگوهای قطعی[3] به‌دست آمد. نتایج به‌کارگیری این شیوه، به طراحی سیاست‌های مدیریت منابع آب تحت شرایط عدم حتمیت کمک کرد. لئو و همکاران (۲۰۰۷)، با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی پویای تصادفی، برای سامانه‌های منابع آب در شرایط عدم حتمیت برنامه‌ریزی کردند. سامانه‌ی مورد مطالعه آنها دارای سه مصرف‌کننده‌ی شهری، کشاورزی و صنعت و دوره برنامه‌ریزی ۱۵ساله بود که از سه دوره ۵ ساله تشکیل می‌شد. آنها عوامل مؤثری که عملکرد سامانه را تحت تأثیر قرار می‌داد مورد تحلیل قرار دادند. ستی و همکاران (۲۰۰۶)، بهینه‌سازی تخصیص منابع آب و الگوی کشت را به صورت توأم در منطقه‌ی بالاسور هندوستان مطالعه کردند. برای اتخاذ سیاست‌های بلندمدت مدیریت زمین‌های کشاورزی و منابع آب موجود در منطقه، از دو نوع برنامه‌ریزی خطی تصادفی و برنامه‌ریزی قطعی استفاده شد، و سه نمایشنامه‌ی متفاوت برای الگوی کشت، و چهار نمایشنامه برای ترکیب آب سطحی و زیرزمینی با سطوح مخاطره متفاوت در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که سطوح بهینه تخصیص آب برابر با ۲۰ درصد آب سطحی و ۳۰ درصد آب زیرزمینی در دسترس می‌باشد و ۴۰ درصد انحراف از الگوی کشت فعلی، برای تأمین حداقل نیاز غذایی منطقه‌ی مورد نظر، بهینه است.

۲- روش انجام تحقیق:

۲- ۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت کامفیروز از توابع شهرستان مرودشت، در استان فارس و در ۸۰ کیلومتری شهر شیراز واقع است. بخش کامفیروز بیش از ۲۵ هزار نفر جمعیت دارد، که اغلب به کشاورزی مشغولند. فرآورده‌ی اصلی این منطقه برنج است، و در کنار آن محصولاتی از جمله گندم، جو و سایر غلات کشت می‌شوند. علاوه بر این، کامفیروز در یک جلگه‌ی وسیع واقع شده که دارای چشمه‌های جوشان و منابع آب زیرزمینی فراوان می‌باشد. کربال نیز دشت وسیعی متشکل از ۷۰ پارچه آبادی و دارای زمین‌های زراعی مرغوب و قابل کشت می‌باشد و کشت غالب آن برنج و گندم است. سد ملاصدرا با حجم مخزن ۴۴۰ میلیون مترمکعب در فاصله‌ی ۱۲۵ کیلومتری شمال غرب شیراز قرار دارد و به‌منظور بهبود کیفیت و توسعه بیش از ۴۸۰۰ هکتار از اراضی دشت‌های کامفیروز و کربال احداث شده است. از آنجا که شالیزارهای دشت کامفیروز و کربال به صورت ۲۴ ساعته به آبیاری نیاز داشته، و بخشی از آب موجود در آبگیر سد ملاصدرا به تولید برق اختصاص می یابد، تلفیق منابع آب زیرزمینی با آب دریاچه‌ی سد برای تأمین آب آبیاری این اراضی الزامی است.

۲-۲- معرفی الگوهای مورد استفاده

در تحقیق حاضر، سعی شده است که با استفاده از دو الگوی DLP و CCLP، منابع آب سطحی و زیرزمینی و سطح زیرکشت، به گونه‌ای بین محصولات مختلف تخصیص داده شود که سود ناخالص سالانه بیشینه شود. در الگوی CCLP، عدم قطعیت در منابع موجود منظور می‌شود. الگوی CCLP به‌وسیله چارنز و کوپر (۱۹۵۹) ارائه شده، با مقادیر غیرقطعی سمت راست[4] محدودیت‌های الگو سروکار داشته و فرض می‌کند که تصمیم‌گیرنده یک دیدگاه احتمالی را درباره‌ی مقدار نهاده‌های موجود دارد.

الف) ساختار الگوی برنامه‌ریزی خطی قطعی (DLP)

تابع هدف الگوی DLP، که بتواند با تخصیص بهینه‌ی منابع آب و الگوی کشت، سود ناخالص سالانه‌ی منطقه (Z) را بیشینه سازد، به‌صورت زیر تعریف شده است:

[1] a multistage fuzzy- stochastic programming model
[2] α: cut levels
[3] deterministic sub models
[4] RHS (right hand side)

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای دشت‌های کامفیروز، کربال و سد ملاصدرا

$$Max\,Z=\sum_{k=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{n}\left\{(P_i Y_{ijk})-C_{ijk}\right\}A_{ijk}-\sum_{k=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}(C^{DW}DW_{jk}+C^{GW}GW_{jk}+C^{SW}SW_{jk}) \qquad (۱)$$

که i نشانگر نوع فعالیت است که از ۱ تا n می‌باشد. j نیز نشانگر فصول بهار و پائیز است که j=1 برای فصل پائیز و j=2 برای فصل بهار است. K نشان دهنده‌ی نوع کشاورزی است. در اینجا k=1 برای کشت آبی و k=2 برای کشت دیم است. A_{ijk} نشان‌دهنده مقدار زمین اختصاص یافته به i امین محصول کشت شده در فصل j ام از زراعت نوع k می‌باشد که برحسب هکتار محاسبه می‌شود. C_{ijk} نشان‌دهنده‌ی هزینه تولید i امین محصول کشت شده در فصل j ام از زراعت نوع k می‌باشد که برحسب تومان محاسبه می‌شود. C^{DW} هزینه‌ی نهرهای سطحی برای انتقال آب است. C^{GW} هزینه‌ی آبکشی و استخراج آب‌های زیرزمینی از چاه‌های موجود در منطقه است. C^{SW} هزینه آبکشی آب رود است. DW_{jk} میزان آب سطحی نهری شده اختصاص یافته به j امین فصل از k امین نوع زراعت است. GW_{jk} مقدار آب‌های زیرزمینی آبکشی شده در فصل j ام و برای k امین نوع زراعت است. SW_{jk} مقدار آب رود است که در فصل j ام به کشاورزی k ام اختصاص داده شده است. P_i قیمت بازاری i امین کشت و Y_{ijk} میزان محصول به‌دست آمده از کشت i امین گیاه کشت شده در j امین فصل برای k امین نوع زراعت است.

محدودیت‌های الگوی پیشنهادی:

۱- محدودیت دسترسی به زمین

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{i=1}^{n}A_{ijk}\le TA_j \qquad (۲)$$

بر اساس رابطه‌ی ۲، زمین تخصیص داده شده به محصولات مختلف، تحت زراعت با آبیاری یا دیم، نبایستی از کل زمین‌های در دسترس قابل کشت در دو فصول بهار و پائیز بیشتر شود. که TA_j مقدار کل زمین در دسترس کشت شده در فصل j ام بر حسب هکتار می‌باشد.

۲- محدودیت دسترسی به آب

A: آب سطحی نهرها

$$\sum_{k=1}^{2}DW_{jk}\le ADW_j \qquad (۳)$$

B : آب‌های زیرزمینی

$$\sum_{k=1}^{2}GW_{jk}\le AGW_j \qquad (۴)$$

C : آب رودها

$$\sum_{k=1}^{1}SW_{jk}\le ASW_j \qquad (۵)$$

که ADW نشان‌دهنده‌ی مقدار کل آب نهرها و زهکش‌های سطحی، AGW کل آب‌های زیرزمینی در

Archive of SID

www.SID.ir

دسترس، و ASW کل آب رود موجود در فصل j ام است. بر اساس روابط ۳، ۴ و ۵، کل منابع آب نهرها، رودها و آب‌های زیرزمینی نباید از کل موجودی آب منطقه در طی فصول کشت تجاوز نماید.

۳- محدودیت نیاز خالص آبیاری (NIR)

نیاز آبیاری خالص هر گیاه، عبارت از مقدار آبی است که به طور موثر به‌وسیله باران تامین نگردیده و بایستی از طریق آبیاری به گیاه برسد. این کمیت بایستی برای هر دو فصل زراعی بهار و پائیز، از طریق کل منابع آب موجود به طور کامل تأمین شود. این محدودیت به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{n}\left[\mathrm{NIR}_{ijk}\,\mathrm{A}_{ijk}-\beta_2\left(\mathrm{DW}_{jk}+\mathrm{GW}_{jk}+\beta_1\,\mathrm{SW}_{jk}\right)\right]\le 0 \qquad (۶)$$

که β_1 بیانگر کارایی انتقال سامانه‌ی مکش آب رود به سمت مزرعه است (به صورت اعشاری). β_2 نیز کارایی کاربرد آب در مزرعه است (به صورت اعشاری). NIR_{ijk} نیاز آبی خالص i امین گیاه در فصل j ام و نوع زراعت k ام است.

۴- محدودیت تعادل آب‌های زیرزمینی

تعادل آب‌شناسی مناسب برای حوضه آب‌های زیرزمینی باید به‌وسیله‌ی مصرف تلفیقی آب رود، آب نهرهای سطحی و آب‌های زیرزمینی، به منظور حفظ سطح منابع آب زیرزمینی بالاتر از سطح بحرانی (سطح دریا) برقرار شود تا بتوان استخراج این آب‌ها را به صورت مطمئن ادامه داد (سِتی و همکاران، ۲۰۰۶).

$$\sum_{\mathrm{k}=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\left[\mathrm{GW}_{jk}-\left\{\theta_1\mathrm{SW}_{jk}+\theta_2\left(\mathrm{GW}_{jk}+\mathrm{DW}_{jk}+\beta_1\mathrm{SW}_{jk}\right)\right\}-\theta_3\mathrm{E}(\mathrm{R})\mathrm{A}_{ijk}\right]-\mathrm{SF}-\mathrm{BF}\le\mathrm{PMA} \qquad (۷)$$

با بازنویسی، رابطه بالا به‌صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\sum_{k=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\left[(1-\theta_1)\left(\mathrm{GW}_{jk}\right)-\left(\theta_1+\theta_2\beta_1\right)\mathrm{SW}_{jk}-\theta_2\mathrm{DW}_{jk}-\theta_3\,E(R_T)\,\mathrm{A}_{ijk}\right]\le\left(\mathrm{PMA}+\mathrm{BF}+\mathrm{SF}\right) \qquad (۸)$$

که در این رابطه $E(R)$ نشان دهنده‌ی امید متوسط سالانه‌ی بارندگی، SF کل میزان سالانه آب برگشتی به حوضه‌های آب زیرزمینی از طریق نهرها و نهرهای سطحی، θ_1 درصد تلفات سامانه انتقال آب از رود به سمت مزرعه، θ_2 درصد تلفات آب درون مزرعه، θ_3 درصد شارژ مجدد سفره‌های زیرزمینی به‌واسطه بارش باران و BF نیز نشان دهنده‌ی کل جریان سالانه‌ی موجود در سفره‌های زیرزمینی می‌باشد که از طریق رودها تزریق شده است. PMA حداکثر استخراج مجاز سالانه از سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد که به صورت زیر ارائه شده است:

$$\mathrm{PMA}=\Delta\mathrm{h}\times\mathrm{A}_{ijk}\times\mathrm{Y} \qquad (۹)$$

که در اینجا $\Delta\mathrm{h}$ متوسط سالانه‌ی نوسان سطح آب‌های زیرزمینی و Y بیانگر عملکرد ویژه‌ی[1] حوضه می‌باشد.

۵- محدودیت مساحت مجاز

حداکثر یا حداقل سطح زیر کشت هریک از محصولات می‌تواند تحت ملاحظات مدیریتی، سیاسی و اجتماعی قرار گرفته، در تولید غذای منطقه به صورت مستقیم یا غیر مستقیم اثر گذاشته و آن را به صورت زیر محدود کند:

A: حد کران پایین

$$\mathrm{A}_{ijk}\le\mu_{ijk}\mathrm{TA}_j \qquad (۱۰)$$

B: حد کران بالا

$$\mathrm{A}_{ijk}\ge\mu_{ijk}\mathrm{TA}_j \qquad (۱۱)$$

که μ_{ijk} بیانگر کسری از کل زمین زیرکشت است که می‌تواند به i امین محصول در فصل j ام از زراعت نوع k اختصاص داده شود.

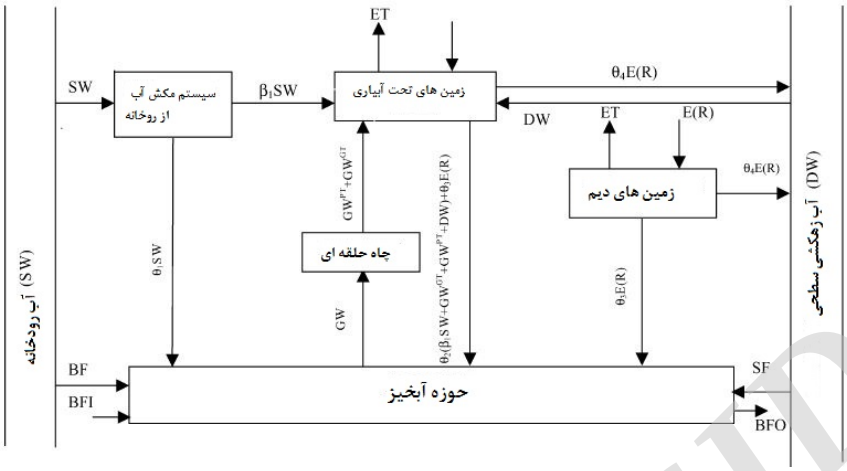
۶- محدودیت‌های غیرمنفی

[1] specific yield

Archive of SID

www.SID.ir

$$A_{ijk} \geq 0\ ,\ DW_{jk} \geq 0\ ,\ GW_{jk} \geq 0\ ,\ SW_{jk} \geq 0 \qquad (۱۲)$$



شکل ۲- نمودار تعادل آب در منطقه‌ی مورد مطالعه

ب) ساختار الگوی برنامه‌ریزی خطی با محدودیت تصادفی (CCLP)

در الگوی DLP جزء NIR_{ijk} در معادله‌ی (۶)، که مربوط به محدودیت نیاز آبی است، ظاهر می‌شود. با استفاده از بسط الگوی برنامه‌ریزی خطی قطعی، می‌توان رابطه برنامه‌ریزی خطی محدودیت تصادفی را به صورت زیر ارائه کرد:

$$\Pr\left[\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{n}\left\{NIR_{ijk}A_{ijk} - \beta_2(DW_{jk} + GW_{jk} + \beta_1 SW_{jk})\right\} \leq 0\right] \geq \alpha \qquad (۱۳)$$

در اینجا pr[ ] عملگر احتمال و α نیز نشان‌دهنده‌ی سطوح احتمال می‌باشد ($0 \leq \alpha \leq 1$). به صورت قراردادی، محدودیت تصادفی (معادله ۱۳)، متغیر تصادفی NIR_{ijk} [۲] را در برمی‌گیرد. بخش داخل کروشه یک محدودیت قطعی است. اگرچه انتخاب سطوح اطمینان بکار رفته در این مطالعه به صورت اختیاری می‌باشد، اما دو نکته در جهت‌گیری انتخاب این سطوح مؤثر بوده است:

۱- تمایل به حفظ محصول از افت عملکرد به واسطه‌ی وقوع خشکسالی، سیل و سایر عوامل مخرب طبیعی، که تحت نظام کشت موجود رخ می‌دهد.

۲- در نظر گرفتن ماهیت تصادفی NIR

اگر بتوانیم برای هر کدام از محدودیت‌های احتمالی در رابطه بالا، یک معادله‌ی قطعی بیابیم، مسأله‌ی محدودیت تصادفی با فرض مستقل و منحصر به‌فرد بودن NIR، می‌تواند به شکل یک مسأله برنامه‌ریزی خطی معمولی[۳] تغییر کند. تغییر شکل محدودیت‌های احتمالی به قطعی، نیازمند دانستن یا فرض کردن یک توزیع احتمال برای NIR می‌باشد. می‌توان معادل قطعی این محدودیت احتمالی را به صورت زیر نوشت:

$$\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{n}\left\{F_{ijk}^{-1}(\alpha)A_{ijk} - \beta_2\left(DW_{jk} + GW_{jk} + \beta_1 SW_{jk}\right)\right\} \leq 0 \qquad (۱۴)$$

که $F_{ijk}^{-1}(\alpha)$ ارزش درصدی α برای توزیع NIR می‌باشد.

سطح زیرکشت فعلی و سود ناخالص متناظر محصول i در فصل j، تحت کشت نوع k برای منطقه‌ی مورد مطالعه در سال ۱۳۹۲ در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. همچنین، در این جدول سایر فراسنجه‌های مورد نیاز، که بخشی از تابع هدف یا قسمت سمت راست محدودیت‌ها را تشکیل می‌دهند، ارائه شده‌اند.

[2] net irrigation requirement

[3] ordinary LP

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- شاخص‌های کشاورزی منطقه‌ی مورد مطالعه

نوع کشاورزی (k)	نوع فصل (j)	نوع محصول (i)	عملکرد (کیلوگرم/ هکتار) (Y_{ijk})	قیمت بازاری (ریال)	هزینه تولید (ریال بر هکتار) (C_{ijk})	سود ناخالص (ریال بر هکتار) (NR_{ijk})	سطح زیر کشت کنونی (هکتار) (A_{ijk})
دیم	بهاره	یونجه	۸۲۳۲	۵۰۰۰	۴۱۴۰۰۰۰	۳۷۰۲۰۰۰۰	۱۸
		نخود	۲۰۰	۳۵۰۰۰	۴۰۵۸۰۰۰	۲۹۴۲۰۰۰	۵
	پائیز	گندم	۱۲۷۹	۱۰۰۰۰	۲۹۵۷۰۰۰	۹۸۳۳۰۰۰	۱۸۶۷
		جو	۱۳۶۳	۹۸۰۰	۲۸۲۹۰۰۰	۱۰۵۲۸۴۰۰	۳۴۵
		شبدر	۲۷۳۰	۴۵۵۰	۵۲۴۵۰۰۰	۷۱۷۶۵۰۰	۵۶۰
آبی	بهاره	جو	۲۹۰۰	۹۲۰۰	۱۰۸۱۳۰۰۰	۱۵۸۶۷۰۰۰	۲۶۲
		گندم	۲۹۰۰	۱۱۰۰۰	۸۹۳۹۰۰۰	۲۲۹۶۱۰۰۰	۲۷۴۱
	پائیز	نخود	۳۰۰	۴۵۰۰۰	۶۱۱۷۰۰۰	۷۳۸۳۰۰۰	۱۰
		شلتوک	۵۲۱۱	۵۱۰۰۰	۲۹۱۱۵۰۰۰	۲۳۶۶۴۶۰۰۰	۵۲۰۲
		عدس	۳۰۰	۴۳۰۰۰	۸۳۵۴۰۰۰	۴۵۴۶۰۰۰	۵

منبع: بانک اطلاعاتی سازمان جهاد کشاورزی استان فارس(۱۳۹۲)

نیاز خالص آب آبیاری محصولات

روش‌های متنوعی برای برآورد تبخیر - تعرق مرجع (ET_0) در دسترسند. بر اساس دما و عرض جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه (30°38'34"N تا 52°5'18"E)، تخمین ET_0 بر اساس کاربرد روش پنمن مانتیث از مرکز داده‌ی سازمان جهادکشاورزی استان فارس استخراج شد. همچنین، داده‌های بارش روزانه، و حداکثر/حداقل دما برای ۷ سال (۱۳۸۵-۱۳۹۲) از سازمان آب منطقه‌ای فارس جمع‌آوری شدند. مقادیر تبخیر- تعرق ویژه گیاه (ET_C) با ضرب کردن ET_0 در K_C به‌دست آمده‌اند. بر اساس مطالعه داستنس (۱۹۷۴)، در تحقیق حاضر، ۷۰٪ متوسط بارش ماهانه برای محصولات غیر برنجی و ۶۰٪ هم برای برنج به عنوان بارش مؤثر ماهانه (R_e) درنظرگرفته شده است. نیاز خالص آبی (NIR) برای هر گیاه نیز از تفریق R_e از ET_C به‌دست آمده است. هرگاه مقادیر NIR منفی شده باشد (برای $ET_c > R_e$)، این مقادیر صفر لحاظ می‌شود. نیاز خالص آبی سالانه برای محصولات با جمع کردن نیازهای خالص ماهانه‌ی هر گیاه به کمک نرم افزار OPTIWAT محاسبه شده و برای پیش‌بینی NIR مورد انتظار محصولات به‌کار می‌روند. این مقادیر در جدول ۲-۴ نشان داده شده‌اند.

قابل ذکر است در منطقه‌ی مورد مطالعه در مواقع ضروری به دلیل کمبود بارندگی، به محصولات دیم هم آب می‌دهند تا محصول آن‌ها به ثمر برسد.

جدول ۲- نیاز خالص آبی محصولات تحت مطالعه (واحد: مترمکعب)

محصول	فصل کشت	دیم	آبی
یونجه	بهاره	2210	
نخود	بهاره	2400	
نخود	پائیزه		2890
گندم	بهاره		2900
گندم	پائیزه	2456	
جو	بهاره		2190
جو	پائیزه	1980	
شبدر	بهاره		3210
شلتوک	پائیزه		11200
عدس	پائیزه		2345

منبع: نتایج حاصل از نرم افزار OPTIWAT

Archive of SID

www.SID.ir

منابع آب

میانگین مدت کارکرد روزانه واحدهای آبکشی آب از رودها و نهرهای آبیاری در طول فصول خشک و پرباران به ترتیب ۹ و ۱۲ ساعت در نظر گرفته شده است. در حالی که میانگین مدت استحصال آب از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق کشاورزی برای فصول خشک و پرباران به ترتیب ۱۲ و ۱۴ ساعت لحاظ شده است.

فراسنجه‌های تعادل سطح آب

میزان آب‌های سطحی و زیرزمینی در دسترس، در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از معیارهای تعیین شده به‌وسیله کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای استان فارس برآورد شده است. بر همین اساس، میزان متوسط ورود آب به این منابع به صورت سالانه برابر با ۳۱۲/۳۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که شامل آب باران ($\theta_3 E(R_T)\mathrm{A}_{ijk}$) به میزان ۸۶/۱۶ میلیون مترمکعب، جریان‌های اصلی زیرسطحی که از رودهای جاری در همان حوضه نشأت می‌گیرد به میزان ۱۶۹/۵۹میلیون مترمکعب، تزریق از طریق زمین‌های آبیاری شده زیر کشت برنج که از طریق کرت‌های مزرعه به هدر می‌رود به میزان ۲۸/۳۸ میلیون مترمکعب، تزریق از طریق زمین‌های زراعی غیر برنج به میزان ۱۳/۷۶میلیون مترمکعب و جریان نفوذی به این منابع از طریق نهرهای سطحی به میزان ۱۴/۴۱میلیون مترمکعب می‌باشد. بنابراین، آب زیرزمینی در دسترس سالانه (که مطابق اصول پایداری منابع آب زیرزمینی برابر ۷۰٪ کل تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی است)، ۲۱۸/۶۲ میلیون مترمکعب، و حجم آبی که از دسترس خارج شده و به شکل بخار به آسمان بازگشته و یا به سفره‌های زیرزمینی نفوذ کرده است (withdrawal) ۸۵/۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. بر اساس محاسبات، کل هدررفت سالانه (بهار و پائیز) از شالیزارهای برنج از طریق نفوذ به زمین، تبخیر- تعرق و روان آب‌ها به ترتیب ۶۳۱، ۱۲۱و ۱۱۷میلی‌متر بر سال بوده است، در حالی که کل عرضه‌ی آب (نزولات جوی + آبیاری + جابه‌جایی‌های آب موجود در خاک) برابر با ۹۱۰ میلی‌متر برای یک سال محاسبه شده است. کل آب‌های سطحی در دسترس سالانه در منطقه مورد مطالعه برابر با ۳۶۲/۸۸ میلیون مترمکعب است.

هزینه‌ی هر واحد آب و کارایی آبیاری

هزینه‌ی عرضه هر مترمکعب آب آبیاری از نهرهای سطحی (C^{DW}) و چاه‌های سطحی و نیمه عمیق (C^{GW}) به ترتیب ۵۰۰ و ۸۷۶ ریال می‌باشد. همچنین، هزینه‌ی انتقال آب از رود تا مزرعه (C^{SW}) نیز برای هر واحد آب برابر ۵۰۰ ریال لحاظ می‌شود (رحمانی و انصاری، ۱۳۹۲). از سوی دیگر میزان اتلاف آب در انتقال برای سامانه مکش آب از رود (θ_1) و هدررفت مصرف آب در مزرعه (θ_2) به ترتیب برابر ۲۰ و ۵۰ درصد است.

حداکثر میزان استحصال مجاز از منابع آب

حداکثر استحصال مجاز، بالاترین حد مجاز آبکشی آب‌های زیرزمینی بدون ایجاد اثرات مخرب زیست محیطی است. استخراج آب‌های زیرزمینی می‌بایست مدیریت شود، بنابراین میانگین تخلیه از این منابع نباید از حداکثر مقدار استحصال مجاز تجاوز کند (سِتی و همکاران، ۲۰۰۶). بر اساس نظر و تجربه کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، میانگین نوسان سطح آب‌های زیرزمینی (Δh) و عملکرد ویژه‌ی حوضه (Y) باید به ترتیب (حداکثر) ۲- متر در سال و ۰/۱۵ باشد. بنابراین، با توجه به معادله (۹)، حداکثر استحصال مجاز (PMA)[4] برای این منطقه محاسبه شده و برابر با ۷۷ میلیون متر مکعب به‌دست آمد.

۳- نتایج و بحث:

۳-۱- حل الگو با افزایش در بازده آبیاری

جدول ۳ سطح زیرکشت بهینه و درصد تغییرات این الگو را نسبت به الگوی کشت جاری با چهار بازده پیشنهادی آبیاری (۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد) با استفاده از روش DLP نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج جدول ۳، با افزایش فرضی بازده آبیاری در منطقه، در صورت ثابت بودن سایر شرایط، به عنوان مثال سطح زیر کشت یونجه دیم ۱۲/۶ درصد در هر چهار بازده‌ی پیشنهادی نسبت به الگوی موجود افزایش یافته است؛ برعکس سطح زیر کشت نخود دیم به صفر رسیده است. دلیل این وضعیت بالاتر بودن نیاز آبی نخود دیم نسبت به یونجه‌ی دیم در منطقه‌ی مورد مطالعه است.

سطح زیر کشت گندم آبی در هر چهار نمایشنامه افزایش اندک و یکسان ۰/۳ درصدی داشته است. در مورد

[4] -permissible mining allowance

Archive of SID

www.SID.ir

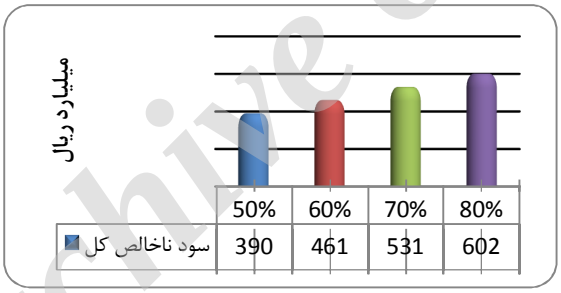
برنج که نیاز آبی بالایی دارد، وضعیت نسبت به محصولات دیگر متفاوت است و در هر چهار بازده پیشنهادی سطح زیرکشت آن نسبت به وضعیت موجود کاهش یافته است؛ ولی در صورت بالا بودن بازده آبیاری، کاهش سطح زیر کشت آن کمتر خواهد بود.

جدول۳- سطح زیرکشت بهینه و درصد تغییرات الگو نسبت به الگوی جاری در بازده‌های آبیاری با ثبات سایر شرایط

نوع کشاورزی	فصل کشت	محصول	سطح زیرکشت (هکتار)				درصد تغییرات نسبت به کشت جاری			
			بازده ۵۰ ٪	بازده ۶۰ ٪	بازده ۷۰ ٪	بازده ۸۰ ٪	بازده ۵۰ ٪	بازده ۶۰ ٪	بازده ۷۰ ٪	بازده ۸۰ ٪
دیم	بهاره	یونجه	20/6	20/6	20/6	20/6	12/6	12/6	12/6	12/6
		نخود	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
	پائیزه	گندم	1882	1882	1882	1882	0/8	0/8	0/8	0/8
		جو	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
		شبدر	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
آبی	بهاره	جو	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
		گندم	2748/5	2748/5	2748/5	2748/5	0/3	0/3	0/3	0/3
		نخود	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
	پائیزه	شلتوک	1695/9	2261/4	2826/9	3392/4	-206/7	-130	-84	-53/3
		عدس	15	15	15	15	66/7	66/7	66/7	66/7

منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۱، سود ناخالص کل را به ازای بازده‌های آبیاری متفاوت با استفاده از روش DLP نمایش می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش بازده آبیاری کل سود ناخالص سالانه از ۳۹۰ میلیارد ریال در بازده ۵۰ درصد به ۶۰۲ میلیارد ریال در بازده ۸۰ درصد رسیده است.



نمودار ۱: سود ناخالص کل در بازده‌های متفاوت آبیاری

جدول۴، میزان آب تخصیصی از نهرهای آبیاری موجود در منطقه، تحت بازده‌های پیشنهادی را با به‌کارگیری الگو قطعی ارائه می‌کند. ملاحظه می‌شود که تنها در بازده پایین آب (۵۰ درصد) برای کشاورزی دیم نیاز به آب از نهرهای مربوطه وجود دارد. بر اساس نتایج جدول ۴، میزان آب اختصاص یافته به محصولات از نهرهای آبیاری در بازده‌های مختلف تغییر چندانی نداشته است. بنابراین، در بازده‌های بالاتر، یا سطح بیشتری به زیر کشت می‌رود یا عملکرد در هکتار افزایش می‌یابد.

جدول۴- میزان آب تخصیصی از نهرهای آبیاری موجود تحت بازده‌های متفاوت

نوع کشاورزی	فصل کشت	میزان آب تخصیصی (هزار مترمکعب)			
		بازده ۵۰ ٪	بازده ۶۰ ٪	بازده ۷۰ ٪	بازده ۸۰ ٪
دیم	بهاره	۱۳۳۳/۵۹۹	0	0	0
	پائیزه	0	0	0	0
آبی	بهاره	۵۶۶/۴۰۱	1900	1900	1900
	پائیزه	770	770	770	770

منبع: یافته‌های تحقیق

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵، میزان آب تخصیصی را از منبع آب‌های زیرزمینی موجود در منطقه تحت بازده‌های متفاوت که با استفاده از روش DLP به‌دست آمده‌اند، نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در کشت بهاره دیم استفاده از آب‌های زیرزمینی در بازده‌های بالای ۶۰ درصد ترجیح داده شده است.

جدول۵- میزان آب تخصیصی از منابع آب زیرزمینی موجود تحت بازده‌های متفاوت آبیاری

نوع کشاورزی	فصل کشت	میزان آب تخصیصی (هزار مترمکعب)			
		بازده ۵۰ ٪	بازده ۶۰ ٪	بازده ۷۰ ٪	بازده ۸۰٪
دیم	بهاره	0	۱۱۱۱/۳۳۲	۹۵۲/۵۷۰	۸۳۳/۴۹۹
	پائیزه	0	0	0	0
آبی	بهاره	2100	۹۸۸/۶۶۷	۱۱۴۷/۴۲۹	۱۲۶۶/۵۰۱
	پائیزه	1890	1890	1890	1890

منبع: یافته‌های محقق

میزان آب تخصیصی از رودها در این نمایشنامه نیز ۱/۹۹ میلیون مترمکعب می‌باشد.

۳-۲- حل الگو با تغییر در سطح اطمینان تأمین نیاز آبی

جدول ۶، سطح زیرکشت بهینه و درصد تغییرات این الگو را نسبت به الگوی کشت جاری برای محصولات مورد بررسی با سه سطح اطمینان از تأمین نیاز آبی، و بازده کنونی آبیاری (۵۰ درصد) نشان می‌دهد. در این جدول، هم از روش DLP و هم CCLP استفاده شده است. تفاوت اصلی بین نمایشنامه‌های ایجاد شده برای سطوح اطمینان، در شلتوک اتفاق افتاده است. سطح زیرکشت این محصول از ۱۴۱۷ هکتار در سطح اطمینان ۹۹ درصد به ۱۶۹۹ هکتار در سطح اطمینان ۹۰ درصد افزایش یافته است. همچنین، گندم پائیزه دیم و عدس پائیزه آبی، که در مسأله‌ی DLP به ترتیب سطوح زیرکشت ۱۸۸۲و ۱۵ هکتار داشتند، در مسأله‌ی CCLP در تمامی سطوح اطمینان از نتایج الگو حذف شده‌اند. این موضوع نشان دهنده‌ی حساسیت این دو محصول به میزان نیاز آبی، با توجه به سود ناخالص ایجاد شده به‌وسیله این محصولات است. در ضمن، کاهش سطح زیرکشت محصولی مانند شلتوک نیز در شرایط خشکسالی با احتمال بالا باید مد نظر قرار گیرد.

جدول ۶- سطح زیرکشت بهینه و درصد تغییرات آن برای سطوح اطمینان متفاوت محدودیت نیاز آبی

نوع کشت	فصل کشت	محصول	سطح زیرکشت (هکتار)				درصد تغییرات نسبت به کشت جاری			
			α=0/99	α=0/95	α=0/90	قطعیت	α=0/99	α=0/95	α=0/90	قطعیت
دیم	بهاره	یونجه	20/6	20/6	20/6	20/6	12/6	12/6	12/6	12/6
		نخود	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
	پائیزه	گندم	0	0	0	1882	-100	-100	-100	0/8
		جو	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
آبی	بهاره	شبدر	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
		جو	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
	پائیزه	گندم	2748/5	2748/5	2748/5	2748/5	0/3	0/3	0/3	0/3
		نخود	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100
		شلتوک	1417/5	1595/4	1699/9	1695/9	-206/7	-206	-226/1	-267
		عدس	0	0	0	15	66/7	-100	-100	-100

منبع: یافته‌های تحقیق

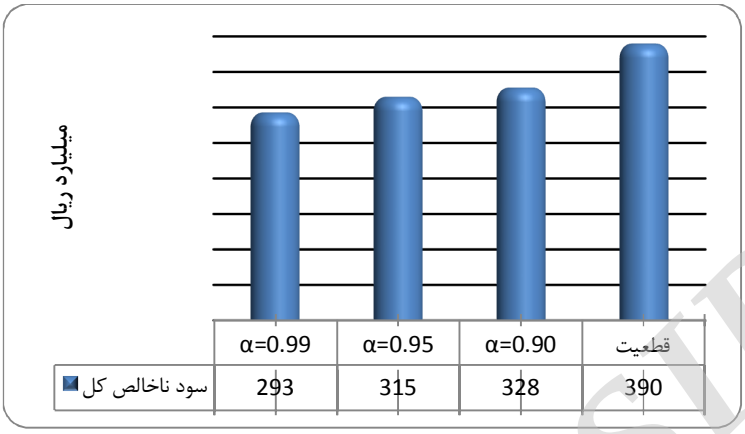
نمودار ۲، سود ناخالص کل را به ازای سطوح متفاوت اطمینان از تأمین نیاز آبی نشان می‌دهد که بر اساس روش CCLP به‌دست آمده‌اند. در این نمودار مشاهده می‌شود که با کاهش دامنه تغییرات آب قابل دسترس، سود ناخالص

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین سود در روش DLP وجود دارد که برابر با ۳۹۰ میلیارد ریال است.

در نمودار ۲، قطعیت به وضعیتی اطلاق می‌شود که آب قابل دسترس بدون نوسان تأمین می‌شود و هرچه فاصله اطمینان وسیع‌تر شده نوسانات آب در دسترس بیشتر و سود ناخالص کل کمتر شده است.



نمودار ۲: سود ناخالص کل به ازای تغییر سطوح اطمینان از تأمین نیاز آبی

جدول ۷، میزان آب تخصیصی را از آب‌های زیرزمینی موجود، تحت سطوح اطمینان از انحراف در محدودیت نیاز آبی نشان می‌دهد. مشخص شد که با کاهش سطح اطمینان از ۹۹ به ۹۰ درصد، میزان تخصیص آب آبیاری برای محصولات بهاره دیم کاهش یافته است. همچنین، افزایش سطح مخاطره باعث افزایش تخصیص آب برای محصولات بهاره‌ی آبی شده است. این امر ممکن است به دلیل عملکرد پایین محصولات دیم باشد، که با افزایش سطح مخاطره، هزینه‌ی فرصت انتقال آب از کشت پائیزه‌ی دیم به کشت بهاره‌ی آبی فراهم شده است.

جدول ۷- میزان آب تخصیصی از منابع زیرزمینی منطقه در سطوح اطمینان متفاوت

نوع کشاورزی	فصل کشت	میزان آب تخصیصی (هزار مترمکعب)		
		α=0/99	α=0/95	α=0/90
دیم	بهاره	580/22	782/19	259/18
	پائیزه	0	0	0
آبی	بهاره	۲۰۷۷/۴۱۹	۲۰۸۰/۲۱۷	۲۰۸۱/۷۴۰
	پائیزه	1890	1890	1890

منبع: یافته‌های تحقیق

میزان آب تخصیصی در نهرها و رودها مانند نمایشنامه‌ی قبل است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه، الگوهای برنامه‌ریزی DLP و CCLP برای مدیریت و تخصیص بهینه‌ی منابع آب و زمین‌های پایاب سدملاصدرا در استان فارس به‌کار گرفته شدند. نتایج حاصل از روش DLP نشان دادند که با بهبود ۳۰درصدی در بازده آبیاری، سود ناخالص کل کشاورزی در منطقه بیش از ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین، بیش از ۱میلیون مترمکعب در مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی صرفه‌جویی می‌شود. افزون بر آن، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فرضی بازده‌ی آبیاری، الگوی کشت به سمت محصولاتی تمایل پیدا می‌کند که نیاز آبی کمتری دارند و بدین ترتیب سبب ارتقاء کارایی تخصیصی آب می‌شود. نتایج کاربرد الگوی CCLP نیز نشان دادند که با کاهش دامنه تغییر آب قابل دسترس و نزدیک شدن به حالت قطعیت، کل سود ناخالص سالانه افزایش می‌یابد. بیشترین سود ناخالص سالانه‌ی کشاورزی منطقه نیز در بازده‌ی پیشنهادی ۸۰ درصد، و در شرایط قطعی، رخ خواهد داد

Archive of SID

www.SID.ir

که برابر با ۶۰۲ میلیارد ریال است. همچنین، مقادیر تخصیص بهینه‌ی زمین، آب‌های زیرزمینی و سطحی بر اساس الگوهای DLP و CCLP، برای هر فصل و هر نوع زراعت در جداول ۱تا ۷ آورده شده‌اند. با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه، پیشنهادهای زیر ارائه می-گردند:

۱. افزایش بازده آبیاری باعث افزایش سود ناخالص کشاورزان خواهد شد، لذا سیاست‌هایی که موجب افزایش بازده آب آبیاری می‌شود، از قبیل سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های آب‌اندوز توصیه می‌شود.

۲. با افزایش نا اطمینانی در عرضه آب موجود برای محصولات تحت مطالعه، دو محصول گندم پائیزه‌ی دیم و عدس پائیزه‌ی آبی با کاهش شدید سطح زیر کشت رو به رو شدند. حذف و یا کاهش این دو محصول در شرایط مخاطره بالا برای مواقع کم آبی و خشکسالی ضروری به نظر می‌رسد.

۳. استفاده از الگو CCLP، به دلیل لحاظ نمودن انعطاف‌پذیری در آب قابل دسترس و قابلیت آن در ارائه‌ی گزینه‌های متفاوت، در مقایسه با الگو برنامه‌ریزی خطی قطعی، به واقعیت نزدیک‌تر بوده و برای مدیریت منابع آب توصیه می‌شود.

منابع

1) Balali, H., Khalilian, S. Ahmadian, M. and Torabi Pellet Kaleh, S. 2008. Analysis of effects of energy subsidies adjustment on groundwater balance and exploitation. Agricultural research. 8(3): 95-106 (in Persian).

2) Barikani, A., Ahmadian, M., Khalilian, S. and Chizari, A. 2012. Sustainable Conjunctive Use of Surface Water and Under Ground Water Resources Determining Optimal Cropping Patterns in Qazvin Basin. Agricultural Aconomics and Development. 20(77): 29-56 (in persian).

3) Bravo, M., and Gonzalez, I. 2009. Applying stochastic goal Programming: A case study on water use planning. European Journal of Operational Research. 196: 1123-1229.

4) Charnes, A., Cooper, W. 1958. Cost horizons and certainty equivalents. Manage Science 4(3): 225-263.

5) Dastane, N. G. 1974. Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO Irrigation and Drainage: p 25.

6) Han, Y., Huang Y., Jia S. and Lio, J. 2013. An interval-parameter fuzzy linear programming with stochastic vertices model for water resources management under Uncertainty. Journal of Mathematical Problems in Engineering. 2013: 1-12.

7) Li, Y. P., and Huang, G. H. 2009. Fuzzy-stochastic-based violation analysis method for planning water resources management system with uncertain information. Information Sciences. 179: 4261-4276.

8) Maqsood, I., Huang, G. H., and Yeomans, J. S. 2005. An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty. European Journal Operation Resource. 167: 208-225.

9) Mardani, M., Sakhdari, H. and Saboohi, M. 2009. Determination of Optimal Cropping Pattern under Uncertainty in Mashhad District: Application of Multi-objective Programming. 3(10): journal of agricultural economics research. 163-180 (in Persian).

10) Mosavi, S., Akbari, S., Soltani, gh. and Zare Mehrgerdi, M. 2009. Virtual water, a new way to cope with water crisis. National Conference on Water Crisis Management. Islamic Azad University of Marvdasht branch. Marvdasht. Iran (in Persian).

11) Rahmani, F. and Ansari, H. 2013. Estimation the average cost per cubic meter of water in the wells of Mashhad Plain with consideration of compensatory costs. First National Conference on Water and Agriculture Water Challenges. Esfehan. Iran (in Persian).

12) Rastegaripour, F. 2009. Management of Kardeh dam water using a multi-stage stochastic programming model with interval parameters under uncertainty conditions. Master's thesis of agricultural economics. Agricultural college. Zabol university (in Persian).

13) Sethi, L. N., Panda, S. N., and Nayak, M. K. 2006. Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin. Journal of Agricultural Water Management. 83: 209-220.

14) Shirzadi, S. and Sabuhi, M. 2009. Application of Multi Objective programming in Surface and Groundwater Resources Management in the Savojbolagh Region. Journal of agricultural economics. 3(2): 83-98 (in Persian).

Archive of SID

www.SID.ir