نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دهم، شماره سه، بهار ۱۴۰۰

ISSN 2251-7480

مدل تخصیص بهینه آب و زمین به محصولات زراعی در شرایط قطعی و تصادفی

ابراهیم ولیزادگان [1*]، اسداله دیندار سوها [2]

۱) استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی، خوی، ایران.

۲) کارشناس ارشد، شرکت آب منطقه‌ای اردبیل، اردبیل، ایران.

*نویسنده مسئول مکاتبات: ebrahim.valizadegan@iaukhoy.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰٤/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۱

چکیده:

برای مواجهه با شرایط مختلف آبی، مدلی جهت تعیین سطح آبیاری و سطح زیر کشت بهینه برای محصولات عمده و رایج زراعی اراضی شبکه آبیاری و زهکشی مغان در پایاب سد ارس، توسعه داده شد. در این مدل در شرایط تصادفی، با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط به تامین آب مورد نیاز، متغیرهای تصمیم (سطح زیر کشت و سطوح آبیاری بهینه در گامهای زمانی معین) با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویای تصادفی(SDP) بدست آمدند. تابع برگشتی، امید ریاضی حداکثر سود حاصل از کاشت محصولات زراعی در نظر گرفته شد. همچنین در شرایط قطعی، مدل با در نظر گرفتن ۴ سناریو اجرا شد. نتایج حاکی از برتری الگوی کشت و سطوح آبیاری بهینه (حتی در شرایط کم‌آبی) از نظر تمامی شاخص‌های مورد بررسی نسبت به کشت رایج (حتی بدون محدودیت آب) در منطقه مورد نظراست. کمترین مقدار برای شاخص آب مورد نیاز در هکتار مربوط به سناریوی ۲ (کاشت محصولات با نیاز آبی کم در شرایط آبیاری تحت فشار) می‌باشد که معادل ۵۳۶۸/۱۴ مترمکعب است. این شاخص در سناریوهای ۱، ۳ و ۴ به ترتیب ۹۰۷۹/۷۸، ۱۳۴۹۶/۲۵ و ۹۲۱۱/۷۳ و در الگوی کشت رایج در منطقه ۱۰۹۰۰ مترمکعب بدست آمده است. بیشترین مقدار شاخص سود در واحد سطح (هکتار) مربوط به سناریوی ۲ معادل ۱۰۲میلیون ریال است. شاخص مذکور برای سناریوهای ۱، ۳ و۴ به ترتیب ۹۶/۵، ۷۳ و ۸۹/۵ میلیون ریال می‌باشد.

کلید واژه‌ها: سطح زیر کشت بهینه؛ سطح آبیاری بهینه؛ برنامه‌ریزی پویای تصادفی؛ دشت مغان

مقدمه

بخش کشاورزی، بزرگترین و مهمترین بخش مصرف کننده آب در هر کشور به شمار می‌رود. با توجه به وقوع خشکسالی‌های اخیر در کشورهای مختلف، استفاده از روش‌های کاهش مصرف آب کشاورزی (به طوریکه عملکرد محصولات کاهش نداشته و یا افت عملکرد به حداقل ممکن برسد) مورد توجه اکثر دولت‌ها قرارگرفته است. از جمله این روش‌ها بکارگیری الگوی کشت متناسب با شرایط مختلف آبی و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی می‌باشند (بی‌نام، ۱۳۹۰، شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس). در همین راستا استفاده از روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک و نوین برای دستیابی به الگوی کشت بهینه و متناسب با حجم آب در دسترس، بررسی‌های متعددی توسط اکثر محققان در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته که به چندین مورد اشاره می‌شود.

توابع تولید آب (از نوع ریشه دوم و سوم) برای هفت نوع محصول بر اساس داده‌های آزمایشگاهی توسط Kumar و Khepar (1980) مطالعه شدند. آنها صرفا نتیجه گرفتند که دیدگاه تابع تولید آب، امکان تصمیم‌گیری بهتری را درباره تخصیص زمین و منابع آب می‌دهد (Kumar and khepar, 1980).

مدل بهره‌برداری بهینه از مخزن یک سد برای آبیاری محصولات مختلف زراعی در هندوستان با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی پویای تصادفی توسط Vedula و Naghesh Kumar (1996) ارائه شد. آنها صرفا سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن سد جهت آبیاری محصولات را ارائه نمودند اما در رابطه با سطوح آبیاری و الگوی کشت متناسب، نتیجه‌ای را گزارش نکردند (Vedula and Naghesh Kumar, 1996).

سطح زیر کشت و سطح آبیاری بهینه برای محصولات زراعی مختلف با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی توسط Haouari و Azaiez (2001) در عربستان بررسی شد. آنها بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها سطح زیر کشت و سطح آبیاری بهینه را در شرایط کم آبی بدست آوردند (Haouari and Azaiez, 2001) .

برای تعیین الگوی کشت بهینه و تخصیص بهینه آب از آب‌های زیرزمینی، Laxmi Narayan Sethi و همکاران (2002) مدلی را در حوضه یک رودخانه ساحلی در هندوستان با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها بدست آوردند. تحقیقات این محققین بدون تعیین تخصیص بهینه آب به محصولات، صرفا روی میزان برداشت بهینه از منابع آبهای زیرزمینی منطقه در دوره‌های زمانی معین متمرکز بود (Laxmi Narayan Sethi *et al*., 2002).

در منطقهٔ آناتولی (ترکیه) مدل غیرخطی و قطعی بهینه‌سازی زراعی توسط Bogachan Benli و Suleyman Kodal (2003) ارائه شد. تابع هدف این مدل بهینه‌سازی بر اساس خطی بودن و یا غیر خطی بودن تابع سود (benefit function) پایه‌ریزی شد. آنها برای حل مسئلهٔ بهینه‌سازی، از یکی از روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک به نام روش جستجوی نمونه (pattern search) که یکی از روش‌های جستجوی مستقیم (direct search) است استفاده نمودند و بدون مد نظر قرار دادن سطح آبیاری محصولات، الگوی کشت بهینه را در شرایط کم آبی و بدون شرایط کم آبی و در حالت قطعی بدست آوردند (Bogachan Benli & Suleyman Kodal, 2003).

Singh و همکاران (2006) سیاست بهره‌برداری بهینه از یک مخزن را برای آبیاری محصولات مختلف بررسی نمودند. تابع هدف مورد استفاده در تحقیق آنها حداکثرسازی عملکرد مورد انتظار از تمامی محصولات کاشته شده در منطقه است(این تابع هدف همان تابع ارائه شده توسط Doorenbos و Kassam, (1979) می‌باشد (Singh et al., 2006).

مجیدی، ن. و همکاران (۱۳۹۰) با در نظر گرفتن و ارزیابی الگوی کشت موجود در دشت مشهد- چناران، الگوی کشت بهینه را با هدف کاهش مصرف آب با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی، ارائه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که در الگوی کشت بهینه علیرغم بکارگیری تمامی سطح زیر کشت موجود و کسب بازده برنامه‌ای مشابه الگوی فعلی، میزان مصرف آب کاهش یافته که ناشی از ترکیب جدید محصولات می‌باشد (مجیدی و همکاران ۱۳۹۰). در تحقیقات آنها عدم قطعیت‌ها و سطح آبیاری بهینه محصولات در نظر گرفته نشده است.

در تحقیق Mushtaq و Moghaddasi (2011) تاثیر کم‌آبیاری جهت مواجهه با تغییرات آب و هوایی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی بررسی شد. سناریوهای بررسی شده در تحقیقات آنها بهینه‌سازی بدون کم‌آبیاری، بهینه‌سازی با کم‌آبیاری و کم‌آبیاری بدون بهینه‌سازی بودند. نتایج تحقیقات نشان دادند کم‌آبیاری در حداکثرسازی عملکرد ناخالص محصولات و افزایش کارایی مصرف آب کاملا مؤثر است.

وفایی نژاد ع. (۱۳۹۵) در مدل تصمیم‌گیری چند معیاره *TOPSIS*، محصولات بهینه را انتخاب و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، سطح زیرکشت بهینه را بدون تصمیم‌گیری در رابطه با سطح آبیاری محصولات بدست آورد. وی در نهایت با ترکیب اطلاعات بهینه بدست آمده و قابلیت‌های *GIS*، نقشه‌ی الگوی بهینه کشت در اراضی بخش جلگه استان اصفهان را ارائه نمود (وفایی نژاد ۱۳۹۵).

در تحقیق رفیعی و. و همکاران (۱۳۹٦) یک مدل مبتنی بر تلفیق شبیه‌سازی روابط آب- خاک و گیاه و بهینه‌سازی تخصیص آبیاری و الگوی کشت محصولات کشاورزی ارائه شد. آنها در ابتدا الگوی کشت بهینه را با تابع هدف حداکثرسازی سود خالص با در نظر گرفتن قیود محدودیت حجم آب مصرفی و حداکثر زمین قابل کشت، تعیین و سپس مساله تخصیص بهینه آبیاری برای الگوی کشت فعلی را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که سود خالص سالیانه در الگوی کشت بهینه نسبت به شرایط موجود افزایش نشان می‌دهد. همچنین حجم آب مصرفی هم در الگوی کشت بهینه و هم در الگوی کشت موجود با آبیاری بهینه نسبت به شرایط کنونی کاهش نشان می‌دهد (رفیعی و. و همکاران ۱۳۹٦).

Sara Osama و همکاران (2017) برای حداکثرسازی سود خالص سالانه کشت محصولات زراعی در سه منطقه از مصر، یک مدل برنامه‌ریزی خطی را ارائه نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که برای تضمین نیازهای غذایی باید مساحت تخصیص داده شده برای محصولات غیر استراتژیک کاهش یابد و مساحت تخصیص داده شده برای محصولات استراتژیک باید ثابت باقی بماند. در تحقیقات ایشان آبیاری محصولات مد نظر قرار نگرفته است (Osama et al., 2017).

Varade و Patel (2018) با مطالعه و بررسی الگوی کشت موجود در ایالت Maharashtra هندوستان، صرفا الگوی کشت جدید و بهینه‌ای را با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته بهینه‌سازی PSO و Jaya پیشنهاد و اعلام نمودند که الگوریتم جدید Jaya نسبت به الگوریتم PSO نتایج بهتری را در زمان محاسبات کمتر بدست می‌دهد (Verade and patel, 2018).

مدل بهینه‌سازی الگوی کشت با در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به آب در دسترس و پتانسیل حفاظت و ذخیره آب برای حداکثرسازی سود در واحد حجم آب آبیاری با استفاده از الگوریتم PSO توسط Hao و همکاران (2018) توسعه داده شد. آنها نتیجه گرفتند جهت دسترسی به حداکثر سود باید سطح زیر کشت و آب تخصیص داده شده به محصول ذرت را نسبت به سایر محصولات بررسی شده افزایش داد (Hao et al., 2018).

دهقانی ع. و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان و با هدف افزایش سود ناخالص و کاهش آب مصرفی کشاورزان به تعیین الگوی کشت بهینه پرداختند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که تغییر الگوی کشت از محصول‌های گندم آبی، جو آبی، سیر و یونجه با سطح زیرکشت ٤٠٨، ٥٠٩، ٦١٧ و ١١٢٤ هکتار به سمت الگوی کشت بهینه، شامل محصول‌های گندم آبی، جو آبی، سیر و یونجه با سطح زیرکشت ٥٨٨، ٤٢١، ٩٩٨ و ٦٥١ هکتار، سود ناخالص کشاورزان را بیش از ۲۸۲ درصد، افزایش و مصرف آب را نیز به میزان ۵ درصد، کاهش می‌دهد. البته درمورد میزان تخصیص آب به محصولات نتیجه‌ای ارائه نشده است (دهقانی ع. و همکاران ۱۳۹۸).

مدل بهینه‌سازی مکانی و زمانی تخصیص آب آبیاری و تعیین الگوی کشت برای حداکثرسازی سود ناخالص توسط Amanat Behbahani et al. (2020) توسعه داده شد. مدل توسعه داده شده قابلیت توزیع بهینه آب در شبکه‌ها و دوره‌های مختلف رشد گیاهان، تعیین کمبود آب و تخصیص آب مازاد (surplus water) در شرایط خشکسالی، نرمال و ترسالی را دارد (Amanat Behbahani et al., 2020).

با توجه به منابع بررسی شده، ملاحظه می‌شود که استفاده از روش‌های کلاسیک و نوین بهینه‌سازی (شامل برنامه‌ریزی خطی و غیر خطی در شرایط قطعی و غیر قطعی) برای دستیابی به الگوی کشت متناسب برای هر منطقه و با شرایط آبی مختلف همواره مورد توجه محققان قرار گرفته و استفاده می‌شود. اما در شرایط مختلف آبی و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط به منابع تامین آب آبیاری، مقادیر سطوح آبیاری بهینه در دوره‌های مختلف رشد محصولات و سطح زیر کشت متناسب با این سطوح آبیاری مسئله‌ای است که بهتر است مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق پس از بررسی تحقیقات محققان مختلف، مدلی توسعه داده شد تا سطوح آبیاری بهینه (به صورت درصدی از آبیاری کامل در ماه‌های مختلف دوره رشد هر محصول) و سطح زیر کشت متناسب با این سطوح آبیاری برای تمامی محصولات مورد نظر با هدف دستیابی به حداکثر سود در شرایط مختلف آبی هم در حالت قطعی و هم در حالت غیرقطعی با استفادهٔ ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی *PSO* و روش برنامه‌ریزی پویای تصادفی *(SDP)* بدست آیند.

مواد و روش‌ها

مسئله بهینه‌سازی تخصیص آب و زمین در شرایط مختلف آبی را می‌توان یک مسئلهٔ بهینه‌سازی غیر خطی در نظر گرفت (با توجه به روابط ۱ و ۲). در این تحقیق مسئلهٔ بهینه‌سازی در دو حالت قطعی و غیر قطعی بررسی شد. عدم قطعیت‌هایی در باره تامین نیاز آبی شبکه آبیاری و زهکشی در حالت قطعی، در نظر گرفته نشد اما در حالت غیر قطعی مد نظر قرار گرفت.

ساختار مدل بهینه‌سازی قطعی

در این حالت حجم آب آبیاری تحویلی به شبکه (delivery water) در تمامی گامهای زمانی (یک ماهه) از قبل معلوم می‌باشد و عدم قطعیت‌ها (حجم آب ورودی به مخزن سد و حجم آب موجود در مخزن سد در هر گام زمانی) در نظر گرفته نشدند. مقدار حجم آب تحویلی به شبکه در هر ماه، متوسط آب تحویل داده شده به شبکه در ماههای قبلی در نظر گرفته شد. ساختار مدل بهینه‌سازی به شرح زیر تنظیم شده است.

تابع هدف:

$$F_t = Max \sum_{c=1}^{C} A_c \times B_c \times Y_c \qquad (۱)$$

$$\frac{Y_c}{Y_{c\max}} = \prod_{j=1}^{J}\left(1 - Ky_{cj}\left(1 - IL_{cj}\right)\right) \qquad (۲)$$

که در آن:

A_c: مساحت زمین تخصیص داده شده به محصول c برحسب هکتار. این پارامتر یکی از متغیرهای تصمیم می باشد.

B_c: سود خالص (درآمد منهای هزینه) حاصل از فروش محصول c (ریال بر کیلوگرم)

Y_c: مقدار عملکرد محصولc (کیلوگرم بر هکتار)

محدودیت‌ها:

$$A_{c\min} \le A_c \le A_{c\max} \qquad \forall c \qquad (۳)$$

$$IL_{cj\min} \le IL_{cj} \le Il_{cj\max} = 1 \qquad \forall c, j \qquad (٤)$$

$$\sum_{c=1}^{C}(IL_{cj} \times WR_{cj} \times A_c) \le DW_j \qquad \forall j \qquad (٥)$$

$$\sum_{c=1}^{C} A_c \le A_t \qquad (٦)$$

در روابط فوق:

Y_c: عملکرد محصول c (کیلوگرم بر هکتار)، $Y_{c\ max}$: حداکثر عملکرد محصول c (کیلوگرم برهکتار)، Ky_{cj}: ضریب حساسیت محصول c در ماه j نسبت به کم آبی (بدون بعد)، IL_{cj}: نسبت تبخیر و تعرق واقعی(ET_a) به تبخیر و تعرق حداکثر (ET_{max}) گیاه c در ماه j (یکی دیگر از متغیرهای تصمیم در این تحقیق)، $A_{c\ max}$ و $A_{c\ min}$ به ترتیب حداکثر و حداقل مساحتی است برای محصول c در نظر گرفته شده‌اند. بر اساس نظرات کارشناسان شرکت

آب منطقه‌ای اردبیل، مقادیر $A_{c\,max}$ برای تمامی محصولات ۷۷۰۰۰ هکتار و مقادیر $A_{c\,min}$ برای گندم، کلزا، چغندرقند و پنبه که برای منطقه جزو محصولات استراتژیک محسوب می‌شوند به ترتیب ۱۸۰۰۰، ٤٦۰۰، ۲۰۰۰۰ و ۲۲۰۰ هکتار و برای سایر محصولات صفر هکتار در نظر گرفته شده است.

$IL_{cj\max}$ و $IL_{cj\min}$ سطح آبیاری حداکثر و حداقل گیاه c در ماه j (بدون بعد) که برای تمامی محصولات به ترتیب ۱ و ۰/۷۵ لحاظ شده است، DW_j: حجم آب تحویلی به شبکه در ماه j (متر مکعب)، WR_{cj} : نیاز آبی گیاه c در ماه j (متر)، A_t : مساحت کل اراضی تحت آبیاری (هکتار). لازم به ذکر است در محاسبه حجم آب تحویلی برای تامین نیاز آبی گیاهان (طرف اول رابطه ۵) A_c بر حسب متر مربع در نظر گرفته شده است). برای حل مدل بهینه‌سازی در این شرایط از الگوریتم *PSO* که کدهای آن توسط محققین طرح نوشته شده استفاده گردید.

ساختار مدل بهینه‌سازی غیرقطعی

در این حالت، با توجه به اینکه منبع تامین آب شبکه آبیاری و زهکشی مورد بررسی مخزن سد ارس می‌باشد، عدم قطعیت‌های مربوط به حجم آب موجود در مخزن و حجم جریانهای ورودی به مخزن در نظر گرفته شدند. در این مدل *(f_t)*، مقدار مورد انتظار برای حداکثر سود حاصل از الگوی کشت و سطح آبیاری بهینه به عنوان تابع هدف به‌کار برده شد(رابطه ۷). در *SDP*، f_t به دو صورت پسرو و پیشرو بیان می‌شود و گسسته‌سازی عدم قطعیت‌ها ضروری است. در این تحقیق پس از گسسته سازی عدم قطعیت‌ها، f_t به صورت پسرو مورد استفاده قرار گرفت (کارآموز و کراچیان ۱۳۹۳).

$$f_t = Max\left(F_t\left(Ky_{cj}, R_t(l), S_t(k), WR_{cj}\right) + \sum_{l} P_{l,ll} \times f^{*}_{t+1}\left(Ky_{c,j+1}, R_{t+1}(ll), S_{t+1}(kk), WR_{c,j+1}\right)\right) \qquad (۷)$$

که در آن، F_t تابع هدف در حالت قطعی(رابطه ۱)، Ky_{cj}: ضریب حساسیت گیاه c نسبت به کم آبی در ماه j ، $S_t(k)$: حجم آب در مخزن سد در ابتدای دوره زمانی t که در دسته k قرار دارد، $P_{l,ll}$: احتمال انتقال جریان ورودی به مخزن از حالت l در دوره زمانی t به حالت ll *در دوره زمانی* $t+1$، WR_{cj}: نیاز آبی گیاه c در ماه j ، f^{*}_{t+1}: مقدار مورد انتظار حداکثر سود الگوی کشت بهینه به همرا سطح آبیاری بهینه در دوره زمانی $t+1$ ، $R_t(l)$: مقدار جریان رهاسازی شده از مخزن سد در گام زمانی t که در دسته l قرار دارد و با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$S_{t+1} = S_t + q_t - R_t \qquad (۸)$$

q_t: حجم جریان‌های ورودی به مخزن سد در دوره زمانیt. محدودیت‌های موجود در این مدل همان محدودیت‌های مدل قطعی می‌باشد (روابط ۳-٦). در مدل بهینه.سازی غیر قطعی، متغیرهای حالت (حجم آب موجود در مخزن و حجم جریان‌های ورودی به مخزن) به ترتیب به ۱۰ و ۵ دسته گسسته‌سازی شدند و بر اساس آمار و اطلاعات موجود، ماتریس احتمال انتقال جریان‌های ورودی به مخزن بدست آمد. در رابطه ۷ پس از محاسبه F_t به روش *PSO*، f_t با استفاده روش *SDP* بدست می‌آید. به عبارت دیگر برای حل مسئله در مدل بهینه‌سازی غیر قطعی به طور ترکیبی از روش‌های *PSO* و *SDP* استفاده شده است. کدهای مربوط به الگوریتم *PSO* و برنامه‌ریزی پویای تصادفی توسط محققین طرح نوشته شده است.

گسسته‌سازی عدم قطعیت‌ها

متغیرهای حالت در این تحقیق حجم آب موجود در مخزن و حجم جریان‌های ورودی به مخزن هستند که باید گسسته‌سازی شوند.

گسسته‌سازی حجم مخزن

برای گسسته‌سازی حجم مخزن سه روش معمول وجود دارد که در هر سه روش محدوده حجم فعال مخزن به تعدادی تراز حجم ذخیره تقسیم‌بندی می‌شود. یعنی فاصله بین حجم حداکثر و حجم حداقل‌به تعدادی بازه تقسیم‌بندی می‌شود. سپس حجم‌های موجود با یک شاخص از پیش تعیین شده مشخص می‌شود که معمولا این شاخص میانگین حد بالا و حد پایین بازه است. واضح است که کوچکتر کردن فاصله دسته‌ها (افزایش تعداد بازه‌ها) سبب افزایش دقت محاسبات و همچنین هزینه محاسبات (computational cost) خواهد شد. روش‌های کلاسیک، ساوارانسکی و روش موران از روش‌های معمول گسسته‌سازی حجم مخزن می‌باشند (بزرگ حداد ۱۳۹۳). در این تحقیق پس از بررسی‌های به عمل آمده، از روش کلاسیک برای گسسته‌سازی استفاده شد(۱۰بازه با طول ۱۱۵ میلیون متر مکعب ۳۱۵-۲۰۰، ۴۳۰-۳۱۵، ... ، ۱۳۵۰-۱۲۳۵ میلیون متر مکعب).

گسسته‌سازی جریان‌های ورودی به مخزن

حجم آب مخزن در هر لحظه به جریان‌های ورودی به آن وابسته است. بنابراین جریان‌های ورودی به مخزن یکی دیگر از متغیرهای حالت است که بایستی به بازه‌های معین گسسته‌سازی شود. این بازه ها باید طوری تعیین شوند که تا حد امکان ویژگی‌های آماری جریان ورودی در هر بازه حفظ شوند. برای گسسته‌سازی جریان‌های ورودی از روش طول بازه‌های مساوی و روش فراوانی مساوی استفاده می‌شود. در این تحقیق بر اساس اطلاعات موجود حجم جریان‌های ورودی به مخزن سد با استفاده از روش طول بازه‌های مساوی، به ۵ بازه مطابق جدول ۱ گسسته‌سازی شد (بزرگ حداد ۱۳۹۳).

ماتریس احتمال انتقال جریان‌های ورودی

بر اساس آمار و اطلاعات مربوط به جریان‌های ورودی به مخزن سد، ماتریس احتمال انتقال جریان‌های ورودی به مخزن از یک حالت به حالت دیگر با توجه به حالت‌های مذکور در جدول ۱، در جدول ۲ ارائه شده است (کارآموز و کراچیان ۱۳۹۳).

منطقه مورد مطالعه

مدل برای اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی دشت مغان در شمال استان اردبیل در ایران بکار برده شده است (شکل ۱). این شبکه که در پایاب سد ارس قرار دارد و آب مورد نیاز شبکه توسط این سد تامین می‌شود دارای اقلیم نیمه خشک سرد بر اساس روش آمبرژه می‌باشد. در این منطقه شهرستان پارس آباد بدلیل رونق کشاورزی و اقتصادی نسبت به شهرهای دیگر دشت، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. این شهرستان از شمال به رودخانه ارس و جمهوری آذربایجان، از غرب به شهرستان کلیبر، ازشرق به جمهوری آذربایجان و از جنوب و جنوب غربی به شهرستان‌های بیله سوار و گرمی محدود می‌گردد. دشت مغان با داشتن شبکه آبیاری و زهکشی مساحتی بالغ بر ۷۷۰۰۰ هکتار از اراضی مستعد

جدول ۱. گسسته‌سازی جریان‌های ورودی به مخزن

فراوانی	شاخص بازه (MCM)	طول بازه (MCM)	حالت
٤	۲۵۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱
۱۰	۳۵۰۰	۳۰۰۰-٤۰۰۰	۲
۵	٤۵۰۰	٤۰۰۰-۵۰۰۰	۳
۳	۵۵۰۰	۵۰۰۰-٦۰۰۰	٤
۱	٦۵۰۰	٦۰۰۰-۷۰۰۰	۵

شکل ۱. موقعیت دشت مغان

کشاورزی را تحت پوشش خود قرار داده است که قابل توسعه تا حدود ۹۰۰۰۰ هکتار می‌باشد. شبکه آبیاری و زهکشی دشت مغان توسط سد انحرافی میل و مغان که در ۲۶۰ کیلومتری پایین‌دست سد مخزنی ارس و در ۵۳ کیلومتری غرب شهرستان پارس‌آباد در منطقه اصلاندوز بر روی رودخانه ارس احداث شده انجام می‌گیرد. حداکثر دبی سرریزی از سد میل و مغان ۲۲٤٦۰ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شده و حداکثر دبی کانال اصلی شبکه ۸۰ مترمکعب برثانیه می‌باشد. در اراضی این دشت گیاهان زراعی متنوعی از قبیل گندم، جو، چغندر قند، یونجه، سویا، پنبه، دانه‌های روغنی و محصولات باغی و صیفی‌جات کشت می‌شود. در این تحقیق محصولات گندم، جو، کلزا، چغندرقند، ذرت، پنبه، سویا، یونجه، سویا کاشت دوم، ذرت علوفه‌ای کاشت دوم و ذرت کاشت دوم به دلیل رواج و سطح زیر کشت بالا، در نظر گرفته شدند. ویژگی‌های مختلف محصولات فوق که برای اجرای مدل ضروری است از مراجع مختلف گردآوری شد (آلیاری و همکاران ۱۳۷۹، دوکوهکی و همکاران ۱۳۹۱، خواجه‌پور ۱۳۸۳، عزیزی و همکاران ۱۳۸۳، کریمی ۱۳۸۵، یزدی صمدی و پوستینی ۱۳۷۳، Stedeto et al., 2012، Allen et al., 1998). این دشت دارای تابستان‌های گرم و نسبتاً مرطوب و زمستان‌های نسبتاً معتدل همراه با بادهای خشک و سرد و دارای یخبندان‌های محدود می‌باشد. حداکثر درجه حرارت ثبت شده ٤۱ و حداقل آن ۵/۱٦- درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی طبق آمار ۲۵ ساله در ایستگاه هواشناسی پارس آباد ۳۳۲ میلی‌متر گزارش شده است (بی‌نام ۱۳۹۰، شرکت آب منطقه‌ای اردبیل).

نتایج و بحث

با توجه به شرایط موجود در منطقه و پس از اخذ نظر کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای اردبیل، جهت حل مسئله بهینه‌سازی پنج سناریو در نظر گرفته شد؛ ۱- مدل قطعی در شرایط آبیاری تحت فشار برای تمام محصولات زراعی تعیین شده، ۲- مدل قطعی در شرایط آبیاری تحت فشار برای محصولات کم نیاز آبی (محصولاتی که نسبت به سایر محصولات رایج در منطقه دارای نیاز آبی پایین‌تری هستند)، ۳- مدل قطعی در شرایط آبیاری سطحی برای تمام محصولات زراعی تعیین شده، ٤- مدل قطعی در شرایط

آبیاری سطحی برای محصولات کم نیاز آبی و ۵- مدل غیرقطعی در شرایط آبیاری سطحی برای تمام محصولات. برای سناریوهای ۱الی ٤ نتایج بدست آمده از اجرای مدل در جداول ۳ الی ٦ ارائه شده‌اند.

بر اساس نتایج بدست آمده (ارائه شده در جداول ۳ الی ٦)، در هیچ‌کدام از مقادیر بهینه بدست آمده برای سطوح آبیاری و سطح زیر کشت، از قیود در نظر گرفته شده (روابط ۳ الی ٦) تخطی اتفاق نیافتاده است. طبق گزارشات سند ملی آب، در ماه‌هایی که نیاز آبی محصولات صفر می‌باشد مقدار $IL_{cj\,min}$ محصولات صفر در نظر گرفته شده‌اند.

در سناریوی ۱ (جدول ۳) سطح زیر کشت بهینه برای گندم، کلزا و پنبه تقریبا همان مقدار حداقل یعنی به ترتیب ۱۸۰۰۰، ٤٦۰۰ و ۲۲۰۰ هکتار بدست آمده است. بالاترین سطح زیر کشت مربوط به چغندرقند است که ۵۱٤٦٦/۱ هکتار می‌باشد. دلیل این موضوع بالا بودن ارزش اقتصادی و عملکرد این محصول نسبت به سایر محصولات می‌باشد. در بین محصولات کاشت دوم بالاترین سطح زیر کشت مربوط به ذرت علوفه‌ای کشت دوم می‌باشد که بدلیل عملکرد و ارزش اقتصادی بالای این محصول نسبت به سایر محصولات کشت دوم می‌باشد.

در بین محصولات با نیاز آبی کمتر نسبت به بقیه محصولات و در شرایط آبیاری تحت فشار (سناریوی ۲، جدول ٤) بالاترین سطح زیر کشت معادل **۵۳۰۵۳/۷۵** هکتار برای کلزا بدست آمده چرا که ارزش اقتصادی آن نسبت به سایر محصولات با نیاز آبی کمتر بیشتر می‌باشد. در این سناریو در بین محصولات کشت دوم همانند سناریوی۱ ، بالاترین سطح زیر کشت مربوط به ذرت علوفه‌ای کشت دوم می‌باشد.

جدول ۳. مقادیر مساحت بهینه، سطح آبیاری بهینه و حجم آب مورد نیاز در سناریوی ۱

محصول	مساحت بهینه	سطح آبیاری بهینه (IL_{cj})											تابع هدف
	(ha)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	(ریال)
گندم	۱۸۰۰۰/۴	۰/۹۱	۰/۸٦	۰/۸۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸٤	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۸	
کلزا	٤٦۰۰/۰	۰/۹٦	۰/۹٤	۰/۸۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۳	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۸٤	۰/۹۷	۰/۸۸	
چغندر قند	۵۱٤٦٦/۱	۰/۹۳	۰/۹٦	۰/۹۳	۰/۸٤	۰/۸۵	۰/۹٦	۰/۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
پنبه	۲۲۰۰/۰	۰/۰۰	۰/۷۸	۰/۷٦	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۹۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
جو	۲۳۲/۲	۰/۸۷	۰/۷۷	۰/۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۸	۰/۷۸	۰/۸٤	۰/۹۱	
ذرت‌علوفه‌ای۲	۲۰۰۱۳/٤	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸٦	۰/۹۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷/٤۲۹۱۸E+۱۲
سویا	۱۵۲/۷	۰/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹۱	۱/۰۰	۰/۸۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
یونجه	۳۱/۰	۰/۷۷	۰/۹٦	۰/۹۵	۰/۸۰	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۹۱	۰/۸٤	۰/۷٦	۰/۸۹	۰/۷٦	۰/۹۸	
ذرت‌دانه‌ای	۱۰/۰	۰/۰۰	۰/۷۹	۰/۹۳	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۹٤	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
ذرت‌دانه‌ای۲	۱۹/۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۸٦	۰/۸۰	۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
سویا ۲	۲۵۷/۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۷۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
حجم آب مورد نیاز(MCM)		٦٤/۱	۵۷/۷	۱٦۱/۷	۱۹۳/۰	۲۱۳/۹	۱٤٤/۸	۲۸/۲	۰/۰	۱/۳	۱/۸	٤/۵	۹/٦	

جدول ٤. مقادیر مساحت بهینه، سطح آبیاری بهینه و حجم آب مورد نیاز در سناریوی ۲

محصول	مساحت‌بهینه	سطح آبیاری بهینه (IL_{cj})											تابع هدف
	(ha)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	(ریال)
گندم	۲۲۹۰۳/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۲	
کلزا	۵۳۰۵۳/۷۵	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۷	۰/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۸۰	۰/۸٤	
جو	۲/۳٦	۰/۹۲	۰/۸۳	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۸٦	۰/۸٤	
ذرت‌علوفه‌ای۲	۷٤۸۰۱/۹۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹٤	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷/۲۸۸۵E+۱۲
ذرت دانه‌ای۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۸۳	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
سویا ۲	۲۰۱۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۷	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
حجم آب مورد نیاز(MCM)		۷۳/٤	٦٦/۹	۸۷/۸	۹٤/۱	۱۷٦/۳	۱۷٦/۳	۸۷/٦	۰/۰۰	٤/۹	۵/۹	۱۳/٦	۳/۳۳	

جدول ۵. مقادیر مساحت بهینه، سطح آبیاری بهینه و حجم آب مورد نیاز در سناریوی ۳

محصول	مساحت بهینه	سطح آبیاری بهینه (IL_{cj})											تابع هدف
	(ha)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	(ریال)
گندم	۱۹۳۰۱/۱۲	۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۸۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۸۳	۰/۸۰	
جو	۳۵/۴۸	۰/۸۸	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۸	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۸۴	
کلزا	۲۳۷۰۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۴	۰/۰۰	۰/۹۵	۰/۸۷	۰/۸۰	۰/۹۳	
چغندرقند	۳۱۳۲۷/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
پنبه	۲۲۰۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
ذرت‌علوفه‌ای۲	۲۱۶/۳۷	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۸۱	۰/۸۶	۰/۷۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
سویا	۴۹/۶۶	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۸۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
یونجه	۱۱۱/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۹۳	۵/۶۲۲۵۹E+۱۲
ذرت‌دانه‌ای	۳۴/۲۷	۰/۰۰	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۷۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
ذرت‌دانه‌ای۲	۷/۵۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
سویا ۲	۱۴/۷۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۹۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
حجم آب مورد نیاز(MCM)		۱۱۴/۹	۱۰۷/۶	۱۵۹/۲	۲۱۴/۰	۲۱۱/۴	۱۰۸/۸	۶۳/۹	۰/۰۲	۵/۰	۵/۹	۱۳/۶	۳۴/۹	

در سناریوی ۳ (جدول ۵) بالاترین سطح زیر کشت همانند سناریوی ۱ مربوط به چغندرقند معادل ۳۱۳۲۷/۸۵ هکتار می‌باشد. اما به دلیل بالا بودن راندمان آبیاری در آبیاری تحت فشار نسبت به آبیاری سطحی، سطح زیر کشت چغندرقند (که نیاز آبی بالاتری نسبت به بقیه محصولات دارد) در سناریوی ۳ کمتر از سناریوی ۱ می‌باشد. به دلیل پایین بودن نیاز آبی کلزا و بالاتر بودن ارزش اقتصادی آن نسبت به گندم و جو، سطح زیر کشت آن که ۲۳۷۰۰/۳۱ هکتار بدست آمده، در مقایسه با سناریوی ۱ به مراتب بالاتر می‌باشد. برای گندم و پنبه سطح زیر کشت بهینه تقریبا معادل حداقل ممکن (یعنی $A_{c\ min}$) بدست آمده است. در این سناریو (سناریوی ۳) با توجه به اینکه تقریبا کل آب در دسترس صرف آبیاری سطوح زیر کشت محصولات کشت اول شده، برای آبیاری محصولات کشت دوم آب زیادی باقی نمی‌ماند. به همین دلیل سطوح زیر کشت بهینه برای این محصولات کشت دوم خیلی کم بدست آمده است (برای ذرت علوفه‌ای کشت دوم ۲۱۶/۳۷، ذرت دانه‌ای کشت دوم ۷/۵۷ و برای سویا کشت دوم ۱۴/۷۲ هکتار). نتایج بدست آمده از اجرای مدل در سناریوی ٤ (جدول ٦) همانند سناریوی ۲ می‌باشد. این موضوع به این دلیل است که حداکثر آب در دسترس (۸۰ متر مکعب بر ثانیه در هر ماه که حداکثر ظرفیت کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی است)، برای آبیاری سطوح زیر کشت بدست آمده هم در سناریوی ۲ و هم در سناریوی ٤ کفایت می‌کند. اما چون مقدار آب مصرفی در سناریوی ٤ بیشتر از سناریوی ۲ می‌باشد، به عبارت دیگر چون آب باقی مانده در سناریوی ۲ برای کشت محصولات کشت دوم بیشتر از سناریوی ٤ می‌باشد لذا سطح زیر کشت بهینه برای محصولات کشت دوم در سناریوی ۲ بیشتر از سناریوی ٤ بدست آمده است. بطوریکه سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای کشت دوم در سناریوی ۲ معادل ۷٤۸۰۱/۹۲ و در سناریوی ٤ معادل ۵۰٤۳۵/۰۷ هکتار می‌باشد.

شرایط بهینه بدست آمده (شرایط ایستا) در سناریوی۵ در جدول ۷ ارائه شده است. در *SDP* محاسبات تا رسیدن به حالت ایستا تکرار می‌شود تا نتایج بهینه حاصل گردد. (حالت ایستا در مدل *SDP* در این شرایط حاصل می‌گردد؛ ۱- در صورتی‌که تغییرات مقادیر تابع برگشتی در دو مرحله پیاپی از محاسبات، تغییر قابل توجهی نداشته باشد. ۲- در صورتی‌که جواب‌های بهینه در چند گام متوالی تکرار شوند و تغییر نکنند). همان‌طوری‌که از جدول ۷ مشخص است، ۵۰ حالت در این مدل وجود دارد و به ازای هر حالت یک خروجی بهینه سالانه (R_t^*)

جدول ٦. مقادیر مساحت بهینه، سطح آبیاری بهینه و حجم آب مورد نیاز در سناریوی ٤

محصول	مساحت‌بهینه	سطح آبیاری بهینه (IL_{cj})										تابع هدف
	(ha)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	(ریال)
گندم	۲۲۹۰۳/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۸۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۲	
کلزا	۵۳۰۵۳/۷۵	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۷	۰/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۸۰	۰/۸٤	
جو	۲/۳٦	۰/۹۲	۰/۸۳	۱/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۸٦	۰/۸٤	
ذرت‌علوفه‌ای۲	۵۰٤۳۵/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۷	۱/۰۰	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	٦٨٨٦٤E+١٢
ذرت‌دانه‌ای۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
سویا ۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۷۹	۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
حجم آب مورد نیاز (MCM)		۱۳۰/۵	۱۱۸/۹	۱۱۰/۳	۱۲۰/۰	۲۱۱/۵	۲۱٤/۰	۱۵٦/٦	۰/۰۰	۸/۸	۱۰/۵	۲٤/۲	۵۹/۱	

بدست آمده است. با توجه به جدول ۷، در یک حجم آب معین در مخزن در ابتدای فصل زراعی (S_t)، با افزایش دبی‌های ورودی به مخزن سد (q_t)، مقادیر خروجی‌های بهینه از مخزن (R_t^*) نیز روند صعودی دارند. به عنوان مثال اگر در شروع سال زراعی حجم آب مخزن(S_t) ، ٦۰۲,۵ میلیون مترمکعب باشد و مدل‌های پیش‌بینی جریان، حجم جریان سالانه ورودی به مخزن را ٤۵۰۰ میلیون متر مکعب برآورد نمایند، در این صورت جریان سالانه خروجی بهینه از سد $R_t^*=4155MCM$ خواهد بود و برای این خروجی، الگوی کشت و سطوح آبیاری بهینهٔ بدست آمده در جدول ۸ به عنوان نمونه ارائه شده است. برای سایر خروجی‌های بهینه که در جدول ۷ ارائه شده‌اند، الگوی کشت و سطح آبیاری بهینه مربوطه به طور جداگانه بدست آمده است. اما بدلیل کثرت حالات ممکن ارائه نتایج مربوط به هر حالت در این مقاله میسر نیست. در الگوی کشت و سطوح آبیاری بهینه مربوط به هر R_t^* بیشترین سطح زیر کشت مربوط به کلزا و چعندرقند بوده و سطح زیر کشت بهینه برای گندم و پنبه نسبت به سایر محصولات، بالاتر بدست آمده است. ضمن اینکه هیچ تخطی از قیود مورد نظر در نتایج مربوط به خروجی‌های بهینه اتفاق نیافتاده است.

بر اساس الگوی کشت بدست آمده در سناریوهای ۱الی ٤ (جداول ۳ الی٦)، آب مورد نیاز سالانه، سود در واحد سطح (*RPA*)، سود در واحد حجم آب سالانه (*RPW*) و آب مورد نیاز سالانه در واحد سطح (*WPA*) برای این سناریوها در جدول ۹ ارائه شده‌اند. طبق جدول ۹ دیده می‌شود که در شرایط یکسان از نظر آبیاری، مقدار فاکتور *WPA* در سناریوی ۲ کمتر از سناریوی ۱ و در سناریوی ٤ کمتراز سناریوی ۳ است. مقادیر فاکتورهای *RPW* و *RPA* در سناریوی ۲ و ٤ به ترتیب بیشتر از سناریوهای ۱ و ۳ می‌باشند. در سناریوی ۱ که از نظر نوع محصولات با سناریوی ۳ یکسان است، مقدار فاکتور *WPA* کمتر از سناریوی ۳ و در سناریوی ۲ که از نظر نوع محصولات با سناریوی ٤ یکسان است، کمتر از سناریوی ٤ می‌باشد. فاکتورهای *RPW* و *RPA* در سناریوهای ۱ و ۲ به ترتیب بیشتر از سناریوهای ۳و ٤ هستند. اگر استفاده از روش آبیاری سطحی (نوع آبیاری در نظر گرفته شده در سناریوهای ۳ و٤) در سال‌های آینده نیز همچنان ادامه یابد، بکار بردن الگوی کشت بدست آمده از سناریوی ٤ توصیه می‌گردد.

با مقایسه تمامی سناریوها، الگوی کشت بهینه بدست آمده در سناریوی ۲ در شرایط کم آبی خیلی مناسب است. بنابراین در شرایط کم آبی، در صورتی که توسعه آبیاری تحت فشار در منطقه امکان پذیر باشد، استفاده از الگوی کشت ۲ توصیه می‌گردد. همچنین الگوی کشت موجود در منطقه با الگوی کشت بهینه بدست آمده در سناریوهای ۳ (که دارای شرایط آبیاری یکسانی با منطقه است) مقایسه شد.

در جدول ۱۰ الگوی کشت موجود در کل منطقه در سال زراعی ۹٦-۹۵ (شرکت آب منطقه‌ای اردبیل) و در جداول ۱۱ و ۱۲ الگوی کشت بهینه بدست آمده به ترتیب در سناریوی ۳ و ٤ (بر اساس عملکرد و قیمت ناخالص اعلام شده از طرف شرکت آب منطقه‌ای اردبیل) ارائه شده است. با توجه به این جداول می‌توان دید که سطح زیر کشت موجود با سطح زیر کشت بدست آمده در سناریوی ۳ تقریبا برابر

است اما مقدار تابع هدف در سناریوی ۳ بیشتر از مفدار آن در الگوی کشت موجود در منطقه است. همچنین با اجرای سناریوی ٤ ضمن افزایش سطح زیر کشت، تابع هدف به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت (نسبت به الگوی کشت موجود).

جدول ۷. شرایط بهینه بدست آمده (شرایط ایستا) در سناریوی۵

f_t	R_t*	S_{t+1}*	q_t	S_t	f_t	R_t*	S_{t+1}*	q_t	S_t
٤٩/٠٤	٢٩٦٠	٣٧٢/٥	٢٥٠٠		٤٨/٩٣	٢٥٠٠	٢٥٧/٥	٢٥٠٠	
٤٩/٤١	٣٦١٥	٧١٧/٥	٣٥٠٠		٤٩/٣٣	٣٣٨٥	٣٧٢/٥	٣٥٠٠	
٤٩/٧٢	٤١٥٥	١١٧٧/٥	٤٥٠٠	٨٣٢/٥	٤٩/٦٤	٤٠٤٠	٧١٧/٥	٤٥٠٠	٢٥٧/٥
٤٩/٨٣	٥٠٤٠	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠		٤٩/٧٧	٤٤٦٥	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠	
٥٠/١٣	٦٠٤٠	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠		٥٠/٠٨	٥٤٦٥	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠	
٤٩/٠٦	٢٩٦٠	٤٨٧/٥	٢٥٠٠		٤٨/٩٦	٢٦١٥	٢٥٧/٥	٢٥٠٠	
٤٩/٤٣	٣٦١٥	٨٣٢/٥	٣٥٠٠		٤٩/٣٥	٣٣٨٥	٤٨٧/٥	٣٥٠٠	
٤٩/٧٣	٤٢٧٠	١١٧٧/٥	٤٥٠٠	٩٤٧/٥	٤٩/٦٦	٤٠٤٠	٨٣٢/٥	٤٥٠٠	٣٧٢/٥
٤٩/٨٤	٥١٥٥	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠		٤٩/٧٨	٤٥٨٠	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠	
٥٠/١٤	٦١٥٥	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠		٥٠/٠٩	٥٥٨٠	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠	
٤٩/٠٨	٣٠٧٥	٤٨٧/٥	٢٥٠٠		٤٨/٩٨	٢٧٣٠	٢٥٧/٥	٢٥٠٠	
٤٩/٤٤	٣٧٣٠	٨٣٢/٥	٣٥٠٠		٤٩/٣٦	٣٥٠٠	٤٨٧/٥	٣٥٠٠	
٤٩/٧٤	٤٢٧٠	١٢٩٢/٥	٤٥٠٠	١٠٦٢/٥	٤٩/٦٧	٤١٥٥	٨٣٢/٥	٤٥٠٠	٤٨٧/٥
٤٩/٨٥	٥٢٧٠	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠		٤٩/٧٩	٤٦٩٥	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠	
٥٠/١٥	٦٢٧٠	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠		٥٠/١٠	٥٦٩٥	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠	
٤٩/٠٩	٣٠٧٥	٦٠٢/٥	٢٥٠٠		٤٩/٠٠	٢٨٤٥	٢٥٧/٥	٢٥٠٠	
٤٩/٤٦	٣٧٣٠	٩٤٧/٥	٣٥٠٠		٤٩/٣٨	٣٥٠٠	٦٠٢/٥	٣٥٠٠	
٤٩/٧٦	٤٣٨٥	١٢٩٢/٥	٤٥٠٠	١١٧٧/٥	٤٩/٦٩	٤١٥٥	٩٤٧/٥	٤٥٠٠	٦٠٢/٥
٤٩/٨٧	٥٣٨٥	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠		٤٩/٨١	٤٨١٠	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠	
٥٠/١٦	٦٣٨٥	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠		٥٠/١١	٥٨١٠	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠	
٤٩/١١	٣١٩٠	٦٠٢/٥	٢٥٠٠		٤٩/٠٢	٢٩٦٠	٢٥٧/٥	٢٥٠٠	
٤٩/٤٧	٣٧٣٠	١٠٦٢/٥	٣٥٠٠		٤٩/٤٠	٣٦١٥	٦٠٢/٥	٣٥٠٠	
٤٩/٧٧	٤٥٠٠	١٢٩٢/٥	٤٥٠٠	١٢٩٢/٥	٤٩/٧٠	٤١٥٥	١٠٦٢/٥	٤٥٠٠	٧١٧/٥
٤٩/٨٨	٥٥٠٠	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠		٤٩/٨٢	٤٩٢٥	١٢٩٢/٥	٥٥٠٠	
٥٠/١٧	٦٥٠٠	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠		٥٠/١٢	٥٩٢٥	١٢٩٢/٥	٦٥٠٠	

جدول ۸. مقادیر مساحت بهینه، سطح آبیاری بهینه و حجم آب مورد نیاز در سناریوی ۵ به ازای خروجی R_t^*=٤١٥٥ *MCM*

محصول	مساحت بهینه	سطح آبیاری بهینه (IL_{cj})											تابع هدف
	(ha)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	(ریال)
گندم	١٨٢٢٦/٣٩	٠/٩٧	٠/٩٨	٠/٨٥	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٩١	٠/٩٦	٠/٧٥	٠/٧٨	
کلزا	٣٦٢٧٠/٨١	٠/٨٨	٠/٩٨	٠/٩٣	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٨٢	٠/٠٠	١/٠٠	٠/٩٤	٠/٨١	٠/٨٧	
چغندر قند	١٩٨٠٣/٩٤	٠/٨١	٠/٩٢	٠/٩٥	٠/٩٦	٠/٩٠	٠/٩٣	٠/٧٨	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	
پنبه	٢٤١٠/٨٧	٠/٠٠	٠/٩٧	٠/٩١	٠/٨٥	٠/٨٨	٠/٨٩	٠/٨٤	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	
جو	٣٥/٧٧	٠/٩١	٠/٧٨	٠/٩٦	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٨٤	٠/٨٣	٠/٨٠	٠/٨٢	
ذرت علوفه‌ای۲	٤٧/٨٢	٠/٠٠	٠/٩٩	٠/٨٦	٠/٨٩	٠/٨٦	٠/٧٩	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	
سویا	٦٢/٦٠	٠/٠٠	٠/٨٢	٠/٩١	٠/٨٥	٠/٨٨	٠/٨٧	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	
یونجه	٨٧/٨١	٠/٨٦	٠/٨٤	٠/٩٣	٠/٨٩	٠/٩١	٠/٨٦	٠/٩٣	٠/٨٣	٠/٨٢	٠/٧٥	٠/٩٤	٠/٩١	
ذرت دانه‌ای	٢٥/٠٧	٠/٠٠	٠/٨٩	٠/٨٧	٠/٧٩	٠/٩٥	٠/٧٦	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	
ذرت دانه‌ای۲	١٠/٤١	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٨٧	٠/٩٧	٠/٩٢	٠/٩٢	٠/٩٢	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	
سویا ۲	١٥/٢٨	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٧٩	٠/٨١	٠/٨٦	٠/٨٧	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	٠/٠٠	
حجم آب مورد نیاز(MCM)	١١٥/٦	١١١/٤	١١٢/٣	١٣٧/٤	١٣٢/٨	٧٣/٥	٩٦/٤	٠/٠	٦/٤	٧/٨	١٦/٩	٤٢/٨		٥,٠٠٣٣٧E+١٢

جدول ۹. مقادیر شاخص‌های مختلف در سناریوهای ۱ الی ٤

شاخص	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ٤
تابع هدف × 10^{12} (F, Rial)	۷/٤۳	۷/۸٦	۵/٦۲	٦/۸۸
سطح زیر کشت با احتساب کشت دوم (A, ha)	۹٦۹۸۲/۱	۱۵۲۷۷۱/۱۷	۷۷۰۰۰	۱۲٦۳۹٤/۲
کل حجم آب سالانه مورد نیاز (V_T, MCM)	۸۸۰	۸۲۰	۱۰۳۹	۱۱٦٤
سود در واحد حجم آب (RPW, Rial/m^3)	۸٤۳٦/۷	۹۵۹٤/٦	۵٤۱۰/۵	۵۹۱٦/۵
سود در واحد سطح × 10^{6} (RPA, Rial/ha)	۹٦/۵	۱۰۲	۷۳	۸۹/۵
آب مورد نیاز در هر هکتار (WPA, m^3/ha)	۹۰۷۹/۷۸	۵۳٦۸/۱٤	۱۳٤۹٦/۲۵	۹۲۱۱/۷۳

جدول ۱۰. الگوی کشت موجود در کل منطقه، در سال زراعی ۹٦-۹۵(شرکت آب منطقه‌ای اردبیل)

محصول	الگوی کشت موجود (مشاهده شده)			
	مساحت (ha)	عملکرد(kg/ha) (	قیمت ناخالص (Rial/kg)	تابع هدف ×10^{10} (Rial)
جو	۱۷۵٤/٤۲	٤۰۰۰	۱۰۳۰۰	۷/۲۳
گندم	۳۵۲٤۲/۰٤	٦۲۰۰	۱۳۰۰۰	۲۸٤
کلزا	۵۲۵۳/۹۷	۲۹۰۰	۲۷۸۳۰	٤۲/٤
ذرت دانه‌ای	۸۹۱/۹۵	۷٤۰۰	۱۰٦۵۰	۷/۰۳
سویا	٦۲۰/۰۹	۲۹۰۰	۲٤٦۹٤	٤/٤٤
پنبه	۲٤۱۸/٦۷	۳۵۰۰	۳۱۹٦٤	۲۷/۱
چغندر قند	۱٦۳۱/۲۳	۵۵۱۰۰	۲۳۷۸	۲۱/٤
یونجه	۷۲۵٦	۱۷۰۰۰	٦۰۰۰	۷٤/۰
ذرت علوفه ای ۲	۳۱۲۲/۷۳	٤۱۰۰۰	۱٤۰۰	۱۷/۹
ذرت دانه ای ۲	۱۵/۹	٤۹۰۰	۱۰٦۵۰	۰/۰۸۳
سویا ۲	۱۸۵۳٦/۵	۲۵۰۰	۲٤٦۹٤	۱۱٤
جمع	۷٦۷٤۳/۵			٦۰۰
سود در هر هکتار × 10^{7}(Rial)	۷/۸۲			

جدول ۱۱. الگوی کشت بهینه بدست آمده در این تحقیق در سناریوی ۳

(بر اساس عملکرد و قیمت ناخالص اعلام شده از طرف شرکت آب منطقه‌ای اردبیل)

محصول	محاسبه شده در سناریوی ۳			
	مساحت (ha)	عملکرد (kg/ha)	قیمت ناخالص (Rial/kg)	تابع هدف ×10^{10} (Rial)
جو	۳۵/٤۸	٤۰۰۰	۱۰۳۰۰	۰/۱٤٦
گندم	۱۹۳۰۱/۱۲	٦۲۰۰	۱۳۰۰۰	۱۵٦
کلزا	۲۳۷۰۰/۳۱	۲۹۰۰	۲۷۸۳۰	۱۹۱
ذرت دانه‌ای	۳٤/۲۷	۷٤۰۰	۱۰٦۵۰	۰/۲۷
سویا	٤۹/٦٦	۲۹۰۰	۲٤٦۹٤	۰/۳۵٦
پنبه	۲۲۰۰/۱۱	۳۵۰۰	۳۱۹٦٤	۲٤/٦
چغندر قند	۳۱۳۲۷/۸۵	۵۵۱۰۰	۲۳۷۸	٤۱۰
یونجه	۱۱۱/۹۲	۱۷۰۰۰	٦۰۰۰	۱/۱٤
ذرت علوفه‌ای ۲	۲۱٦/۳۷	٤۱۰۰۰	۱٤۰۰	۱/۲٤
ذرت دانه‌ای ۲	۷/۵۷	٤۹۰۰	۱۰٦۵۰	۰/۰۳۹
سویا ۲	۱٤/۷۲	۲۵۰۰	۲٤٦۹٤	۰/۰۹۱
جمع	۷٦۹۹۹/۳۸			۷۸۵
سود در هر هکتار× 10^{7} (Rial)	۱۰/۲			

جدول ۱۲. الگوی کشت بهینه بدست آمده در این تحقیق در سناریوی ٤

(بر اساس عملکرد و قیمت ناخالص اعلام شده از طرف شرکت آب منطقه‌ای اردبیل)

محصول	محاسبه شده درسناریوی ٤			
	مساحت (ha)	عملکرد (kg/ha)	قیمت ناخالص (Rial/kg)	تابع هدف ×$۱۰^{۱۰}$ (Rial)
جو	۲/۳٦	٤۰۰۰	۱۰۳۰۰	۰/۰۰۹۷
گندم	۲۲۹۰۳/۰۰	٦۲۰۰	۱۳۰۰۰	۱۸۵
کلزا	۵۳۰۵۳/۷۵	۲۹۰۰	۲۷۸۳۰	٤۲۸
ذرت علوفه‌ای ۲	۵۰٤۳۵/۰۷	٤۱۰۰۰	۱٤۰۰	۲۸۹
ذرت دانه‌ای ۲	۰/۰۲	٤۹۰۰	۱۰٦۵۰	۰/۰۰۰۱
سویا ۲	۰/۰۰	۲۵۰۰	۲٤٦۹٤	۰/۰۰
جمع	۱۲٦۳۹٤/۱۹			۹۰۲
سود در هر هکتار× $۱۰^{۷}$ (Rial)	۱۱/۷			

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بدست آمده، نتیجه‌گیری می‌شود که،

- سناریوی ۲ از نظر شاخص‌های مورد بررسی، در مقایسه با سایر سناریوها خیلی مناسب می‌باشد. چون در این سناریو مقدار تابع هدف بالاتر، مقدار حجم آب مورد نیاز در هر هکتار کمتر، سود در واحد حجم آب بالاتر و سود واحد سطح نبز بالاتر است.

در تمامی شاخص‌ها آبیاری تحت فشار بهتر از آبیاری سطحی است.

- سناریوی ٤ در مقایسه با سناریوی ۳ به لحاظ تمامی شاخص‌های مورد بررسی (مقدار تابع هدف، مقدار حجم آب مورد نیاز در هر هکتار، سود در واحد حجم آب (m^3)، و سود در هر هکتار) بهتر است. به عبارت دیگر، در شرایط آبیاری سطحی که آبیاری رایج در منطقه می‌باشد، توسعه کاشت محصولات با نیاز آبی کم به همراه کاشت محصولات کشت دوم، مقدار آب مورد نیاز در هر هکتار را کاهش و مقدار سود را افزایش خواهد داد.
- با مقایسه الگوی کشت موجود و رایج در منطقه با الگوی کشت بدست آمده از سناریوهای ۳ و ٤ مشخص می‌گردد که الگوی کشت بهینه بدست آمده در سناریوهای ۳ و ٤ از نظر شاخص‌های بررسی شده به مراتب بهتر از الگوی کشت رایج در منطقه است.
- در شرایط نرمال از نظر حجم آب در دسترس، در بین محصولات کشت اول، افزایش تدریجی سطح زیر کشت چغندرقند و در بین محصولات کشت دوم افزایش تدریجی سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای متاسب است. در این شرایط حداقل سطح زیر کشت ($A_{c\ min}$) برای کشت گندم، کلزا و پنبه باید در نظر گرفته شود.
- کشت محصولات با نیاز آبی کمتر نسبت به سایر محصولات (هم در آبیاری سطحی و هم در آبیاری تحت فشار) راهکاری بسیار مناسب جهت مواجهه با شرایط کمبود آب می‌باشد. در این شرایط، افزایش سطح زیر کشت کلزا به همراه افزایش سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای کشت دوم چه در آبیاری سطحی و چه در آبیاری تحت فشار ترجیح داده شود.

منابع مورد استفاده

آلیاری، ه.، شکاری، فریبرز و شکاری. فرید. ۱۳۷۹. دانه‌های روغنی (زراعت و فیزیولوژی). انتشارات عمیدی. چاپ اول. ۱۸۲ ص.

بزرگ حداد، ا. ۱۳۹۳. بهینه سازی سامانه‌های منابع آب. انشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم. ۳۹۰ ص.

بی نام. ۱۳۹۲. مطالعات به هنگام سازی طرح جامع آب کشور–حوضه آبریز ارس. مهندسین مشاور مهاب قدس. جلد یازدهم. بیلان منابع و مصارف آب(متوسط ٤٠ ساله).

بی نام. ۱۳۹۰. مطالعات به هنگام سازی طرح جامع آب کشور–حوضه آبریز ارس. مهندسین مشاور مهاب قدس. جلدنهم: گزارش مطالعات کشاورزی و اقتصاد تولید.

بی‌نام، ۱۳۹۰، سیمای شبکه آبیاری و زهکشی موجود مغان، شرکت آب منطقه ای اردبیل.

خواجه پور، م. ر. ۱۳۸۳. گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان. چاپ چهارم. ۵۸۲ ص.

دهقانی، ع.، امیر تیموری، س. و زارع مهرجردی، م. ر. ۱۳۹۸.کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه‌سازی الگوی کشت (شهداد، شهرستان کرمان). اقتصاد کشاورزی، ۱۳(٤): ۸۷–۱۰۳.

دوکوهکی، ح.، قیصری، م. و کریمی جعفری، م. ۱۳۹۱. تعیین ضریب پاسخ محصول ذرت به کم آبی تحت مدیریت آبیاری بارانی توسط مدل DSSAT در دوره‌های متفاوت رشد. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.

رفیعی، و.، شوریان، م. و عطاری، ج. ۱۳۹٦. برنامه‌ریزی الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با استفاده از ترکیب مدل شبیه‌سازی SWAT و الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی هارمونی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۳):۷۳–۸۸.

عزیزی، م.، سلطانی، ا. و خاوری خراسانی، س. ۱۳۸۳. کلزا. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ سوم.۲۳۲ ص.

کارآموز. محمد، کراچیان. رضا، ۱۳۹۳، برنامه ریزی و مدیریت کیفی سیستم های منابع آب، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. چاپ هفتم. ٤٠٠ ص.

کریمی، ه. ۱۳۸۵. یونجه. مرکز نشر دانشگاهی تهران. چاپ دوم. ۳۷۲ ص.

مجیدی، ن. علی‌زاده، ا. و قربانی، م. ۱۳۹۰. تعیین الگوی کشت بهینه همسو با مدیریت منابع آب دشت مشهد–چناران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)،۲۵(٤): ۷۷٦–۷۸۵.

وفایی نژاد، ع. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از روش TOPSIS و الگوریتم ژنتیک بر مبنای قابلیت‌های GIS (مطالعه‌ی موردی: اراضی بخش جلگه، استان اصفهان)، اکوهیدرولوژی، ۳(۱): ٦۹–۸۲.

یزدی صمدی، ب. و پوستینی، ک. ۱۳۷۳. اصول تولید گیاهان زراعی. مرکز نشر دانشگاهی تهران. چاپ اول. ۳۰۰ ص.

Allen, R. G. and et al. 1998. Crop evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and drainage paper 56. 326 pp.

Amanat, L., Moghaddasi, M., Ebrahimi, H and Babazadeh, H. 2020. Optimal water allocation and distribution management in irrigation networks under uncertainty by multi-stage stochastic, case study: Irrigation and drainage networks of Maroon. Irrigation and Drainage, 28 May.

Bogachan, B. and Kodal, S. 2003. A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies: Application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region. Agricultural Water Management, 62(3):187-203.

Hao, L., Su, X. and Singh, V. P. 2018. Cropping pattern optimization considering uncertainty of water availability and water saving potential. International Journal of Agriculture and Biological Engineering, 11(1): 178-186.

Haouari, M. and Azaiez N. 2001. Optimal cropping patterns under water deficits. European Journal of Operational Research 130(1):133-146

Kumar, R. and Kheper, S. D. 1980. Decision models for optimal cropping patterns in irrigations based on crop water production functions. Agriculture Water Management, 3(1):.65-76.

Mushtaq, M. and Moghaddasi, M. 2011. Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand. Environmental Science & Policy 14(8).

Narayan Sethi, L., and et al. 2002. Optimal Crop Planning and Conjunctive Use of Water Resources in a Coastal River Basin. Water Resources Management, 16: 145–169.

Osama, S., Elkholy, M. and Kansoh, R.M. 2017. Optimization of the cropping pattern in Egypt. Alexandria Engineering Journal, 56:557-566.

Steduto, P. and et al.2012. Crop yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper 66. 519 pp.

Singh, D. K., and et al. 2001. Optimal cropping pattern in a canal command area, Agriculture water management, 50(2001): 1-8.

Varade, S. and Patel, J. N. 2018. Determination of Optimum Cropping Pattern Using Advanced Optimization Algorithms. Journal of Hydrologic Engineering, 23(6).

Vedula, S. and Nagesh Kumar, D. 1996. An integrated model for optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops. Water Resources Research, 32(4): 1101-1108.

نشریه حفاظت منابع آب و خاک
ISSN 2251-7480

Model of optimal allocation of water and land to agricultural crops in deterministic and stochastic conditions

Ebrahim Valizadegan[1*] and Asadollah Dindar Sooha[2]

1) Assistant Professor, Department of water engineering, Islamic Azad University, Khoy Branch, Khoy, Iran.
2) Master of science, Ardabil Regional Water Company, Ardabil, Iran.
*) Corresponding Author: ebrahim.valizadegan@iaukhoy.ac.ir

Received: 20-06-2020 Accepted: 11-11-2020

Abstract

To deal with different water conditions, a model was developed to determine the optimal irrigation level and the optimal cropping area for major agricultural crops in lands of Moghan irrigation and drainage network in downstream of Aras Dam. In this model, in the stochastic conditions, with considering the uncertainty of required water supply, decision variables (optimal irrigation levels and optimal planting area in certain time steps) are obtained using stochastic dynamic programming (SDP) method. Expected value of the maximum profit from planting crops is considered as the return function. Also in deterministic conditions, the model was run by considering 4 scenarios. The results show the superiority of cropping pattern and optimal irrigation levels (even in water deficiency conditions) in terms of all studied factors compared to the common cropping pattern (even without water deficiency) in the region. Minimum value for factor of the required water per hectare is related to scenario 2 (cropping of low water requirement crops with pressurized irrigation in deterministic conditions) which is equal to 5368.14 m3. This factor in scenarios 1, 3 and 4 is 9079.78; 13496.25and 9211.73 m3 respectively and in the common cropping pattern in the region is 10900m3. Maximum value for factor of profit per hectare is related to scenario 2, equal to 102 million Rials. The mentioned factor for scenarios 1, 3 and 4 are 96.5, 73 and 89.5 million Rials, respectively.

Keywords: Optimal cropping area, Optimal irrigation level, Stochastic dynamic programming, Moghan plain.