Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 15, Oct.-Nov. 2021, p. 918-930

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۵، مهر - آبان ۱۴۰۰، ص. ۹۳۰-۹۱۸

مقاله علمی-پژوهشی

بهینه‌سازی الگوی کشت مبتنی بر مدیریت ریسک در شبکه آبیاری پایاب سد یامچی اردبیل

عبدالرحیم هوشمند[۱*]، حسین محمدزاده[۲]، امین کانونی[۳]، علی حقیقی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵

چکیده

بهینه‌سازی الگوی کشت یک راهبرد مهم در مصرف بهینه آب در کشاورزی می‌باشد. تحقیق حاضر تلاشی برای توسعه و ارزیابی چهار مدل هیبریدی بر مبنای بیشینه‌سازی نرخ بازدهی اقتصادی و کمینه‌سازی ریسک انتخاب الگوی کشت بهینه است. مدل‌ها بر اساس شاخص‌های ریسک شامل واریانس (مدل MVar)، نیم واریانس (مدل MSVar)، قدر مطلق انحراف از میانگین (مدل MADev) و ارزش در معرض ریسک شرطی (مدل MCOVaR) و با رعایت قیود حاکم توسعه‌یافته‌اند و در یک سطح اطمینان انتخابی امکان تعیین بهترین سناریوی الگوی کشت با بالاترین نرخ بازدهی اقتصادی و کمترین ریسک که قابل‌اندازه‌گیری است، را در مرحله تصمیم‌گیری فراهم می‌آورند. داده‌های مورداستفاده مربوط به شبکه آبیاری پایاب سد یامچی اردبیل و برای سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ می‌باشد. توسعه مدل‌ها در محیط MATLAB بر اساس برنامه‌ریزی غیرخطی و حل مسئله بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و به‌صورت چندهدفه انجام‌شده است. بالاترین مقدار ضریب همبستگی در رگرسیون نتایج مدل‌ها با معادله فوریه به میزان R^2=۰/۹۹۹۷ با دقت (RMSE=۰/۰۰۱۱) برای مدل MADev به دست آمد. نتایج نشان داد بیشترین بازدهی به ۰/۳۱ متعلق به سیب‌زمینی با حداکثر ریسک ۵۸٪ و کمترین مقدار بازدهی به مقدار ۰,۱۳ مربوط به گیاه ذرت با حداکثر ریسک ۶۳٪ است. با محاسبه ۵۰ سناریوی بهترین الگوهای کشت ممکن ازنظر ارضای توابع هدف و قیود حاکم، جبهه کارای تک‌تک مدل‌ها ترسیم و جدول مقادیر درآمد سیستم برای سطوح ریسک ۲۰٪ و ۳۰٪ استخراج و ارائه گردید. نتایج به‌دست‌آمده در تمام مدل‌ها بیانگر افزایش بازدهی اقتصادی با افزایش سطح ریسک‌پذیری سیستم در انتخاب الگوی کشت‌های بهینه بوده و این افزایش در مدل MADev نسبت به بقیه مدل‌ها از شیب بیشتری برخوردار است و افزایش ریسک‌پذیری، افزایش سطح زیر کشت گیاهان با مصرف آب بیشتر را در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزش در معرض ریسک شرطی، الگوریتم ازدحام ذرات، الگوی کشت بهینه، مدیریت ریسک

مقدمه

آب کشاورزی مبحثی گسترده و دارای ابعاد گوناگونی است ولی از این میان بحث تخصیص بهینه منابع آب و بهینه‌سازی الگوی کشت، نقش تعیین‌کننده‌تری نسبت به سایر شاخص‌های کشاورزی دارد. (Faskhoodi et al., 2011). فن‌های مختلف بهینه‌سازی فرا ابتکاری از قبیل استفاده از الگوریتم مبتنی بر هوش جمعی (Lalezari et al., 2015)، الگوریتم ژنتیک (Moghadasi et al., 2009) تئوری بازی‌های همکارانه (Nikoo et al.,2017)، مدل مبتنی بر زمان واقعی (Delavar et al., 2011) ازجمله ابزارهایی هستند که تاکنون توسط تعداد زیادی از محققین کشور به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص آب و زمین به محصولات کشاورزی در شبکه‌های آبیاری به کار گرفته‌شده و نتایج به‌کارگیری این روش‌ها در بهبود کارایی مصرف آب، افزایش صرفه اقتصادی و ... در منابع معتبر علمی داخلی و بین‌المللی مؤثر گزارش‌شده است.

با توجه به‌ضرورت مدیریت بهینه و هوشمندانه منابع آب‌وخاک و نقش اساسی آن در تولید محصولات کشاورزی، تحقیق حاضر باهدف بهینه‌سازی اقتصادی الگوی کشت همراه با تقلیل و مدیریت ریسک‌های مربوطه انجام‌گرفته است. برای رسیدن به این هدف امکان تخمین و تقلیل ریسک‌های متناظر با تصمیم‌های مدیریتی و کاهش خسارات وارده با انتخاب بهترین سناریوهای ممکن برای الگوی کشت، در قالب توسعه و بهینه‌سازی مدل‌های مناسب فراهم

۱- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Hooshmand_a@scu.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.2021.15.4.15.5

گردیده است.

در یک مطالعه بهینه سازی الگوی کشت بر اساس مدل های تصمیم‌گیری چند معیاره با در نظر گرفتن رضایت ذینفعان و برای سه نوع شرایط اقلیمی در منطقه درودزن فارس مختلف انجام و درنهایت کشت گندم به‌عنوان اولویت اول کشاورزی منطقه در اکثر شرایط اقلیمی در منطقه فوق تعیین و اعلام گردید. (Honar et al., 2020). در یک پژوهش یک مدل چندهدفه را بر اساس ارزیابی استفاده از آنالیز چرخه عمر (LCA) و شبکه عصبی مصنوعی توسعه و سپس مدل به‌دست‌آمده را باهدف بهبود پایداری سامانه‌های کشت مبتنی بر گوجه‌فرنگی به‌صورت چندهدفه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه بهینه‌سازی کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد استفاده از مدل منجر به استحصال بالاترین خروجی اقتصادی در کنار کمترین تأثیر زیست‌محیطی می‌گردد (Pishgar et al., 2020). فلچر و همکاران جهت افزایش کارایی استفاده از نیتروژن در سیستم کشت ذرت یک مدل عددی برای مدل‌سازی انتقال آب و نیتروژن در خاک را توسعه دادند. آن‌ها نشان دادند که بهینه‌سازی مدل به‌دست‌آمده بر اساس الگوهای بارندگی در تعیین زمان‌های کود دهی، به‌طور متوسط میزان جذب نیتروژن را در مقایسه با میانگین جذب ۲۰ درصد بهبود می‌بخشد (Fletcher et al., 2020). ابریشم‌باف و همکاران به‌منظور بهبود عملکرد سیستم آبیاری سنتر پیوت یک نوع سیستم مدیریت آبیاری بر اساس بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی برنامه‌ریزی نمودند که دارای قابلیت پیش‌بینی میزان نیاز آبی در زمان آبیاری بود. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی به کار گرفته‌شده به باعث کاهش هزینه‌های اجرای دوره‌های آبیاری گردیده است (Abrishambaf et al., 2019). در یک تحقیق باهدف دستیابی به بهترین سامانه‌های کشت پایدار جهت بهبود سطح آب زیرزمینی و کاهش آسیب به محیط‌زیست در منطقه جیانگ کشور چین اقدام به تهیه یک برنامه بهینه تعیین الگوی کشت دینامیک و تخصیص بهینه آب کشاورزی نمودند. یافته‌ها نشان داد که به‌کارگیری سیستم بهینه‌سازی تهیه‌شده در بهبود سطح آب زیرزمینی منطقه با کمترین کاهش ممکن تولیدات کشاورزی مؤثر می‌باشد (Zhong et al., 2019).

باهدف بهینه‌سازی تخصیص زمین به محصولات کشاورزی در منطقه مارکاندیای هندوستان، توابع هدف بر اساس به حداکثر رسانیدن سود اقتصادی به روش برنامه‌ریزی خطی فرموله و حداکثر سود خالص اقتصادی را برای الگوهای کشت مختلف و مقدار آب قابل‌دسترسی محاسبه گردید(Shreedhar., 2017) . پرواز و همکاران در یک تحقیق بر اساس داده‌های زمین مرجع کیفی و شیمیایی آب‌وخاک، آب قابل‌دسترسی، سطح آب زیرزمینی بر اساس برنامه‌ریزی خطی یک مدل بهینه‌سازی الگوی کشت را توسعه دادند و اعلام کردند نتایج بهینه سازی مدل بهره وری آب را از ۳۰ تا ۱۲۰ درصد افزایش می‌دهد (Parvaz et al., 2017). احمد و همکاران در یک مطالعه، یک مدل تخصیص آب تصادفی به‌منظور بهینه‌سازی منابع آب موجود در میان بخش‌های مختلف مصرف آب توسعه دادند. این مدل دو تابع تک هدفه و یک تابع چندهدفه را در نظر می‌گیرد. تابع اول تنها هدف رضایت بخشی در میان بخش‌های مختلف تقاضای آب را بهینه می‌کند، درحالی‌که تابع دوم، منافع اقتصادی را به حداکثر می‌رساند. نتایج نشان داد که ترکیب توابع افزایش سود اقتصادی را در پی دارد. (Ahmad et al., 2016)

تصمیم‌گیری تحت شرایط ریسک و عدم قطعیت، تحلیل تصمیم یا مدیریت ریسک نامیده می‌شود و اندازه‌گیری ریسک، نقش بسیار مهمی در بهینه‌سازی در حضور عدم قطعیت دارد (Yamout, G.M., 2005). درزمینهٔ مدیریت ریسک و خسارات ناشی از پدیده‌های احتمالاتی مؤثر در بهینه‌سازی تخصیص منابع گزارش‌های علمی متعددی در خصوص نتایج استفاده از ابزارهای ارزش در معرض ریسک[1] و ارزش در معرض ریسک شرطی[2] در منابع علمی منتشرشده است. ژانگ و همکاران یک مدل بهینه‌سازی سیستم الگوی کشت را بر اساس محاسبه شاخص‌های اطمینان از مقادیر بارندگی، ضریب تغییر عملکرد، نسبت سطح کشت‌شده و مقاومت در برابر حوادث طبیعی را توسعه دادند و بر اساس ارزیابی ریسک شاخص‌ها بهترین سامانه‌های الگوی کشت را در مناطق مختلف منطقه سیچوان چین تعیین نمودند (Zhang et al., 2020). در یک مطالعه با استفاده از برنامه‌نویسی خطی مختلط دومرحله‌ای و ارزش در معرض ریسک شرطی روشی را جهت مدیریت منابع آب کشاورزی با در نظر گرفتن نیاز آبی محیط زیست ارائه نمودند و نتایج استفاده از مدل ارائه شده را در اتخاذ تصمیم‌های جایگزین بهتر در پایداری کشاورزی و محیط‌زیست را مفید اعلام نمودند(Zhineng et al., 2017) . کراچیان و همکاران با کاربرد مفهوم ارزش در معرض شرطی و شبکه عصبی مصنوعی در ترکیب با مدل SWAP در یک برنامه‌نویسی غیرخطی، تخصیص بهینه آب و کاهش بار نمک موجود در اثر کاهش آب برگشتی به رودخانه در قسمتی از حوضه آبریز رودخانه کرخه را مؤثر ارزیابی کردند (Kerachian et al., 2015). زی و همکاران به منظور حل مشکل ریسک ناشی از پایداری پایین و تخصیص نامتوازن در طول مدیریت منابع آب تحت شرایط غیرقطعی، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را به‌منظور کمک به سیستم مدیریت منابع آب منطقه‌ای توسعه دادند. نتایج نشان داد که مدل می‌تواند به‌صورت مؤثری با اعمال عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند بهینه‌سازی، طیفی از گزینه‌های تخصیص بهینه آب را تولید نماید. (Xie et al., 2014) شائو و همکاران با برنامه‌نویسی غیرقطعی بر پایه ارزش در معرض ریسک شرطی، مدلی را جهت مدیریت بهینه

1 Value at Risk
2 Conditional Value at Risk

منابع آب تهیه نمودند که می‌تواند نگرش ریسک گریزی تصمیم گیران را بیان کرده و به جستجوی استراتژی‌های مؤثر مالی در شرایط همراه با عدم قطعیت‌های پیچیده کمک کند (Shao et al., 2011). ضمن بهره‌گیری از سوابق علمی مرور شده، تحقیق حاضر به دو بعد مهم اقتصادی و ریسک بهینه‌سازی الگوی کشت پرداخته و ارتباط میان آن‌ها را در قالب یک مسئله بهینه‌سازی و در یک مطالعه موردی، موردبررسی قرار داده است. در تحقیق حاضر بازدهی به مفهوم سود یا زیانی است که انتخاب الگوی کشت به همراه خواهد داشت و ریسک به مفهوم احتمال عدم تحقق همان بازدهی مورد انتظار است.

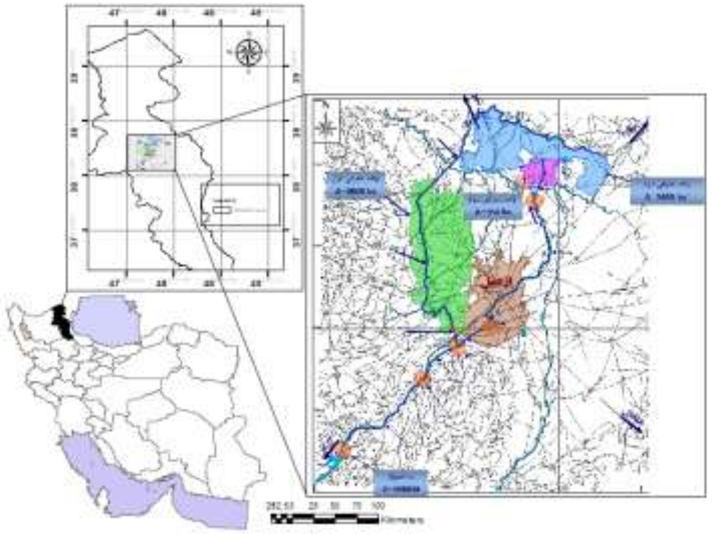
مواد و روش‌ها

حوضه آبریز رودخانه بالخلی چای با مساحت ۷۱۹ کیلومترمربع در یک منطقه کوهستانی در شمال غرب ایران بین مدارهای "۳۸ '۵۱ ۳۷° تا "۲۴ '۱۵ ۳۸° شمالی و "۳۵ '۶۴ ۴۷° تا "۱۵ '۰۶ ۴۸° شرقی واقع‌شده است. این رودخانه از دامنه‌های سبلان سرچشمه گرفته و با پیوستن سرشاخه‌های مختلف به آن، بعد از شهرستان نیر وارد سد مخزنی یامچی می‌شود. سد مخزنی اردبیل (یامچی) در حدود ۲۵ کیلومتری شهر اردبیل و شبکه آبیاری پایاب آن، در غرب و شمال شهر اردبیل مابین طول‌های جغرافیایی '۱۰ ۴۸° تا '۲۷ ۴۸° شرقی و عرض‌های '۱۲ ۳۸° تا '۲۷ ۳۸° شمالی واقع گردیده است. (شکل ۱) (آرامی و همکاران،۱۳۹۷).

الگوی کشت پیشنهادی شبکه، شامل محصولات مختلفی همچون سیب‌زمینی، گندم، جو، لوبیا و علوفه می‌باشد و تخصیص آب از مخزن سد یامچی بر اساس همین الگوی کشت و آب ذخیره‌شده در آن برنامه‌ریزی‌شده است. در حال حاضر بهره‌برداری از شبکه آبیاری تنها در واحد عمرانی اول انجام می‌پذیرد. مساحت تحت پوشش این واحد عمرانی هم‌اکنون ۸۸۲۰ هکتار شامل ۶۸۰۰ هکتار اراضی توسعه و ۲۰۲۰ هکتار اراضی بهبود می‌باشد (آرامی و همکاران،۱۳۹۷). داده‌های مورداستفاده حاصل اندازه‌گیری تقویم و مقادیر آب آبیاری و عملکرد محصولات، مصاحبه و تکمیل ۵۰ پرسشنامه به‌صورت میدانی از کشاورزان منطقه شامل کلیه هزینه‌های مراحل تولید، عملکرد و قیمت فروش محصولات، مقادیر آب و تقویم آبیاری و تقویم فنولوژی گیاهان منطقه، اطلاعات موجود در آمارنامه‌های رسمی وزارت جهاد کشاورزی و تحقیق حاضر در سه بخش اساسی شامل جمع‌آوری و اندازه‌گیری داده‌های موردنیاز، تدوین الگوهای ریاضی، کدهای بهینه‌سازی و سناریوها و نهایتاً تحلیل نتایج انجام شده است. محاسبات نیاز آبی بر اساس روش پنمن مونتیث و با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT بر اساس ضرایب پیش‌فرض بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه فرودگاه اردبیل، اطلاعات گیاهان الگوی کشت و تقویم زراعی آن‌ها محاسبه‌شده است.

مدل‌سازی انتخاب الگوی کشت بهینه

ایده اصلی تحقیق حاضر بر این فرض اساسی بناشده است که الگوی کشت یک مفهوم پویا است زیرا با تغییر زمان و مکان تغییر می‌کند بدین منظور جهت بهینه‌سازی الگوی کشت (یا انتخاب الگوی کشت بهینه) الگوهایی با استفاده از مفاهیم اقتصادی درزمینهٔ تخمین ریسک در زمان انتخاب توسعه داده‌شده است. الگوهای به‌دست‌آمده به‌عنوان مسئله بهینه‌سازی چندهدفه شامل به حداقل رسانیدن ریسک، به حداکثر رسانیدن سود اقتصادی و رعایت قیود حاکم تعریف و در حل آن‌ها از الگوریتم هوشمند ازدحام ذرات اصلاح‌شده در ارتباط باهدف تحقیق استفاده گردیده است.



شکل ۱- موقعیت شبکه آبیاری موردمطالعه در پژوهش (ناحیه با رنگ سبز مشخص‌شده است)

جدول ۱- الگوی کشت شبکه آبیاری موردمطالعه -آرامی و همکاران (۱۳۹۷)

نام محصول	درصد کشت	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
گندم و جو	۴۳	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
سیب‌زمینی	۳۸							*	*	*	*	*	*
لوبیا	۷							*	*	*	*	*	*
ذرت	۴							*	*	*	*	*	*
کلزا	۳								*	*	*	*	
متفرقه	۵												

متغیرهای تصادفی مطالعه عبارت‌اند از امید ریاضی (میانگین)، واریانس، نیم واریانس، انحراف معیار (قدر مطلق انحراف معیار)، ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی. که بازه تغییرات آن‌ها بر اساس توابع مربوطه که در ادامه اشاره‌شده از روی مقادیر فضای داده‌های ورودی و توسط MATLAB محاسبه گردیده است.

اگر از شاخص‌های یک پدیده‌ٔ اقتصادی در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری انجام دهیم، به‌این‌ترتیب $P_i(t)$ عبارت است از قیمت شاخص نوع i در زمان t. بدیهی است که در مورد بهترین نتیجه (نتیجه بهینه) شاخص قیمت به‌تنهایی با توجه به میزان، دامنه تغییرات و تنوع شاخص‌ها گمراه‌کننده خواهد بود. برای حل این مشکل و نیز حذف مقیاس قیمت‌ها به‌جای استفاده از شاخص قیمت از شاخص بازدهی استفاده می‌گردد. تعریف ریاضی بازدهی عبارت است از (Philipe Jorion., 2000):

$$\boldsymbol{r_i(t)} = \frac{\boldsymbol{p_i(t+1) - p(t)}}{\boldsymbol{p_i(t)}} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) $r_i(t)$ بازدهی، $p_i(t)$ قیمت در زمان t و $p_i(t+1)$ قیمت در گام زمانی بعدی می‌باشد.

با به‌کارگیری مفاهیم مربوط به تخصیص منابع در خصوص تخصیص زمین به هرکدام از محصولات خواهیم داشت:

$$A_T = \sum_{i=1}^{n} a_i \qquad (۲)$$

در این رابطه، A_T کل مساحت و a_i مساحت اختصاصی از کل مساحت برای کشت i ام است. a_i کمیتی وابسته به A_T است و نرمالیزه کردن این امکان را می‌دهد تا بتوان A_T را از معادلات حذف نمود:

$$\boldsymbol{w_i} = \frac{\boldsymbol{a_i}}{\boldsymbol{A_T}}\left(\boldsymbol{0 \le w_i \le 1} \;, \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{w_i} \;= \boldsymbol{1} \right) \qquad (۳)$$

که در آن w_i عبارت است از نسبت‌های الگوی کشت نرمالیزه شده (وزن یا درصد الگوهای کشت).

میانگین بازدهی الگوی کشت در زمان t عبارت است از میانگین وزنی بازدهی همه کشت‌ها در زمان t. با در نظر گرفتن این تعریف و استفاده از روابط (۲) و (۳) رابطه (۴) حاصل می‌گردد:

$$\boldsymbol{R_{p(t)}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{a_i r_i(t)}}{\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{a_i}} = \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{\omega_i r_i(t)} \qquad (۴)$$

که در آن $R_{p(t)}$ بازدهی الگوی کشت در زمان t و $r_i(t)$ بازدهی کشت i ام در زمان t است.

میانگین بازدهی الگوی کشت کل (μ_p) عبارت است از امید ریاضی بازدهی همه کشت‌ها در همه زمان‌ها. فرم ماتریسی بازدهی الگوی کشت کل عبارت است از (Markowitz., 1952) :

$$\boldsymbol{\mu_p} = \boldsymbol{w^T \mu} = [\boldsymbol{w_1, w_2, \ldots, w_n}] \begin{bmatrix} \boldsymbol{\mu_1} \\ \boldsymbol{\mu_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{\mu_n} \end{bmatrix} \qquad (۵)$$

تابع هدف تحقیق بیشینه‌سازی مقدار اخیر (بازدهی) و کمینه‌سازی ریسک متناظر با رعایت قیود حاکم و قابل‌قبول است. بیان ریاضی این هدف عبارت است از:

$$\begin{array}{l} \boldsymbol{Maximize\ \mu_p} \\ \boldsymbol{Minimize\ Risk} \\ \quad \boldsymbol{S.t.} \end{array} \qquad (۶)$$

ریسک انتخاب الگوی کشت

درواقع هدف اول از انتخاب الگوی کشت بهینه، بیشینه کردن نرخ بازدهی آن می‌باشد از طرفی موضوع بسیار مهم توجه به عدم قطعیت‌های مربوط به آن است. بنابراین در کنار بهینه‌سازی یک انتخاب الگوی کشت مدیریت ریسک و کاهش حداکثر ممکن آن، انتخاب الگوی کشت را به یک موضوع بهینه‌سازی دو هدفه تبدیل می‌نماید. یکی از روش‌های رایج برای تعریف ریسک استفاده از شاخص واریانس بازدهی اقتصادی می‌باشد، طبق تعریف واریانس عبارت است از (Jaaman et al., 2011):

$$\boldsymbol{\sigma_p}^2 = \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \sum_{\boldsymbol{j}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{w_i w_j \sigma_{ij}} \qquad (۷)$$

که در آن ${\sigma_p}^2$ و σ_{ij} به ترتیب واریانس و کوواریانس بین r_i و r_j هست.

توسعه مدل‌های بهینه‌سازی انتخاب الگوی کشت:

با توجه به مفهوم ذاتی ریسک، کاهش ریسک انتخاب الگوی کشت با استفاده از ابزار واریانس به معنای کاهش واریانس با تعریف فوق است. لذا جهت کاهش ریسک انتخاب الگوی کشت واریانس ($\sigma_p{}^2$) باید کاهش یابد. بدین منظور مدل‌های بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس به حداکثر رسانیدن میانگین نرخ بازدهی اقتصادی الگوهای انتخابی و به حداقل رسانیدن معیار ریسک انتخاب‌ها با رعایت قیود حاکم به‌صورت روابط (۸) تا (۱۶) تعریف می‌گردند.

مدل میانگین – واریانس[1]

در این مدل معیار واریانس به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری ریسک انتخاب الگوی کشت محاسبه و به‌صورت رابطه (۱۵) تعریف می‌گردد:

$$Max\mu_p = w^T\mu$$
$$Min\ \ \sigma_p{}^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i\, w_j \sigma_{ij}$$
$$S.t.$$
$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \qquad (۸)$$
$$w_i > 0$$

همان‌طور که رابطه (۱۵) نشان می‌دهد، مدل میانگین – واریانس یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه است. اصولاً در حل مسائل بهینه‌سازی به روش اپسیلون محدود۲ می‌توان از پیچیدگی فضای هدف کاسته و به فضای قیود اضافه کرد و یا بالعکس (Haimes et al.,1972). با توجه به این نکته مدل فوق به شکل رابطه (۹) نیز قابل بازنویسی است:

$$Min\ \sigma_p{}^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i\, w_j \sigma_{ij}$$
$$S.t.$$
$$\mu_p = w^T\mu \ \geq\ \mu_{p_0} \qquad (۹)$$
$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$
$$w_i \geq 0$$

که در آن μ_{p_0} حداقل بازده قابل‌قبول است. در معادله (۹) عملیات بهینه‌سازی کمینه‌سازی تابع واریانس (تابع ریسک هدف) با تعریف حداقل بازده مورد انتظار قابل‌قبول به‌صورت قید انجام می‌گیرد.

مدل میانگین –نیم واریانس[3]

در استفاده از مفهوم واریانس در جهت کنترل ریسک بایستی با در نظر گرفتن مفهوم هندسی واریانس و مفهوم ذاتی سود به این نکته بسیار مهم توجه داشت که در حالات ذکرشده فاصله داده‌ها در مواردی که از میانگین مورد انتظار بالاتر است (سود مطلوب/ریسک نامطلوب) و هم مواردی که از میانگین مورد انتظار کمتر است (سود نامطلوب/ریسک مطلوب) در محاسبه واریانس به‌عنوان ریسک وارد می‌گردند که منطقی به نظر نمی‌رسد این توصیف از ریسک در گزاره‌های اقتصادی به ریسک نامطلوب[4] مشهور است. مدل نیم واریانس[5] را به شکل رابطه (۱۰) تعریف نمود (Markowitz., 1952):

$$\sigma_p{}^{-2} = E\left\{\left(R_p(t)\ -\mu_p\right)^2 \mid R_p(t)\ <\mu_p\right\} \qquad (۱۰)$$

البته استفاده از مدل نیم واریانس (نیم واریانس بالا یا پایین) بستگی به نوع مسئله دارد و در رابطه (۱۰) مطالعه واریانس به مفهوم ریسک انتخاب الگوی کشت، استفاده از مقادیری که از میزان متوسط داده‌ها (سود) کمتر است رویکردی منطقی است. در این صورت محاسبه واریانس و نیم واریانس مربوط به بازدهی محصول i ام به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\sigma_i{}^2 = E\{(r_i(t)\ -\mu_i)^2\}$$
$$=\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}(r_i(t)-\ \mu_i)^2 \quad ,T=\sum_{i=1}^{T}1 \qquad (۱۱)$$

$$\sigma_i{}^{-2} = E\{(r_i(t)\ -\mu_i)^2 \mid r_i(t)\ <\mu_i\}$$
$$=\frac{\sum_{i=1}^{T}\ \mathbf{1}_{r_i(t)<\mu_i}(r_i(t)-\mu_i)^2}{\sum_{i=1}^{T}\ \mathbf{1}_{r_i(t)<\mu_i}} \qquad (۱۲)$$

در روابط (۱۲) $\sigma_i{}^2$ و $\sigma_i{}^{-2}$ به ترتیب واریانس و نیم واریانس و T طول دوره آماری است. با لحاظ موارد یادشده در خصوص ریسک مطلوب و نامطلوب مدل میانگین–نیم واریانس به‌صورت رابطه (۲۰) تدوین می‌گردد:

$$Max\mu_p = w^T\mu$$
$$Min\quad \sigma_p{}^{-2}$$
$$S.t. \qquad (۱۳)$$
$$\sum_{i} w_i = 1$$
$$w_i \geq 0$$

مدل میانگین - قدر مطلق انحراف معیار[6]:

این مدل بر اساس میانگین و قدر مطلق انحراف معیار داده تعریف و به کار می‌رود. در این مدل مفهوم AD_i به‌عنوان قدر مطلق انحراف معیار برای کشت i ام به شکل رابطه (۱۴) تعریف می‌گردد

1- Mean – Variance Model
2- Epsilon Constraint Method
3- Mean-Semi Variance Model
4- Downside Risk
5- vSemi Variance Model
6- Mean Absolute Deviation Model (MADev Model)

(Markowitz., 1952):

$$AD_i = E\{|r_i(t) - \mu_i|\} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}|r_i(t) - \mu_i| \quad (۱۴)$$

در ادامه مدل میانگین – قدر مطلق انحراف به شکل رابطه (۱۶) تعریف می‌گردد:

$$\begin{aligned} &Max\mu_p = w^T\mu \\ &Min \quad AD_p = \sum_{i=1}^{n} w_i\, AD_i = w^T\, AD_i \\ &S.t. \\ &\sum_i w_i = 1 \\ &w_i \geq 0 \end{aligned} \quad (۱۵)$$

مدل میانگین-ارزش در معرض ریسک شرطی

در مدل‌های فوق عملیات بهینه‌سازی بر مبنای مدیریت و تقلیل ریسک داده‌ها و درواقع بر اساس تقلیل فاصله هندسی آن‌ها از محل مورد انتظار یعنی میانگین برنامه‌ریزی‌شده و درواقع نوعاً جز شاخص‌های هندسی بررسی ریسک هستند درحالی‌که اکثر عوامل مؤثر بر برنامه‌ریزی، تخصیص و مدیریت منابع آب به‌صورت اجتناب‌ناپذیری توأم با نوعی عدم قطعیت (احتمال وقوع) می‌باشند. روش‌های بهینه‌سازی زیادی در خصوص پوشش و کنترل این عدم قطعیت‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب معرفی و توسعه پیدا نموده‌اند. در سال‌های اخیر جهت بررسی و تحلیل ریسک شاخص‌های آماری و احتمالاتی جدیدی تعریف گردیده که هندسی نبوده و درواقع کل داده‌ها را به شکل واقع‌بینانه‌تری در محاسبه و تحلیل ریسک‌ها در نظر می‌گیرند. شاخص‌های ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی از آن جمله‌اند. ارزش در معرض ریسک بیشینه خسارت مورد انتظار وارد بر سیستم و در یک سطح اطمینان معین را بیان می‌کند که با استفاده از توزیع احتمالاتی تجمعی متغیرهای تصادفی محاسبه‌شده است. به همان ترتیب ارزش در معرض ریسک شرطی میانگین وزنی خسارت‌هایی ست که از ارزش در معرض ریسک کوچک‌تر نیست. طبق تعریف ارزش در معرض ریسک x در سطح اطمینان $\alpha \in (0$ و ۱$)$ عبارت است از (Andersson et al., 2001):

$$VaR_\alpha(x) = min\{z|F_X(z) \geq \alpha\} \quad (۱۶)$$

که در آن $F_X(z)$ تابع توزیع تجمعی خسارت و به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$F_X(z) = Pr\{X \leq z\} \quad (۱۷)$$

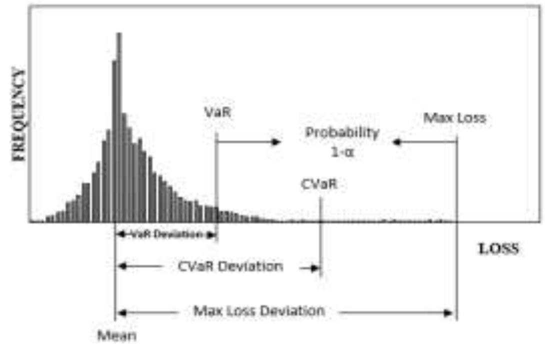
آرتزنر و همکاران ارزش ریسک در معرض خطر شرطی را به شکل زیر معرفی نمودند(Artzener et al., 1999):

$$CVaR_\alpha(x) = E\{z|F_X(z) \geq \alpha\} \quad (۱۸)$$

به‌بیان‌دیگر ارزش در معرض ریسک شرطی، امید ریاضی آن دسته از خسارت‌هایی است که از ارزش در معرض خطر کمتر نیست. تعریف ریاضی این عبارت برابر است با:

$$CVaR_\alpha(x) = \frac{1}{1-\alpha}\int_{VaR_\alpha(x)}^{\infty} zf_x(z)\, d(z) \quad (۱۹)$$

مفاهیم فوق در شکل (۲) نمایش داده‌شده است.



شکل ۲- نمایش ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی برای یک سری داده آماری (Sarykalin et al., 2008)

از شکل (۲) مشخص است که ارزش در معرض ریسک شرطی برای آن دسته از داده‌هایی منظور می‌گردد که از میانگین کمتر بوده و لذا جز شاخص‌های ریسک نامطلوب محسوب می‌گردد. درنهایت مدل میانگین – ارزش در معرض ریسک شرطی به شکل رابطه (۲۳) تعریف می‌گردد.

$$\begin{aligned} &Max\mu_p = w^T\mu \\ &Min \quad Dev(\,CVaR_{\alpha=0.95}) \\ &S.t. \\ &\sum_i w_i = 1 \\ &w_i \geq 0 \end{aligned} \quad (۲۰)$$

برنامه‌ریزی و مدل‌سازی حل مسئله بر اساس الگوریتم ازدحام ذرات اصلاح‌شده

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات توسط کندی و ابرهارت پیشنهاد شد (Kennedy and Eberhart., 1995). با در نظر گرفتن یک مسئله ماکزیمم کردن یک تابع نامحدود، فرم کلی آن عبارت است از:

$$\begin{aligned} &Maximize \quad f(x) \\ &Sobject\ to \quad X^{(l)} \le X \le X^{(u)} \end{aligned} \quad (۲۱)$$

که در آن $X^{(u)}$ و $X^{(l)}$ به ترتیب باندهای بالا و پایین بر روی X هستند. پس از ایجاد جمعیت اولیه مراحل زیر تکرار و تا زمانی که تمام ذرات به یک راه‌حل مشابه بهینه همگرا شوند، ادامه می‌یابد.

به دست آوردن سرعت ذره j ام در تکرار i ام به شکل زیر:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{V_j(i)} &= \boldsymbol{V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - X_j(i-1)]} \\ &\boldsymbol{+ c_2 r_2 [G_{best,j} - X_j(i-1)]} \\ &\boldsymbol{J = 1, 2, 3, \dots, N} \end{aligned} \quad (۲۲)$$

به دست آوردن مختصات ذره j ام در تکرار i ام به شکل زیر:

$$\begin{aligned} &\boldsymbol{X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i)} \\ &\boldsymbol{J = 1, 2, 3, \dots, N} \end{aligned} \quad (۲۳)$$

که در آن c1 و c2 به ترتیب نرخ‌های یادگیری شناختی (فردی) و اجتماعی (گروهی) هستند و r_1 و r_2 اعداد تصادفی از توزیع یکنواخت بین ۰ تا یک می‌باشند. Pbest,j بهترین ارزش رخداده برای Xj(i) با بالاترین مقدار تابع هدف که به‌وسیله ذره j ام در طول تکرارهای قبلی رخداده و Gbest,j بهترین ارزش رخداده برای Xj(i) با بالاترین مقدار تابع هدف که به‌وسیله هرکدام از N ذره در طول تکرارهای قبلی رخداده است. ممکن است طی فرایند جستجوی پاسخ‌های بهینه، سرعت ذرات بسیار زیاد شده و ذرات از روی مقدار بهینه عبور کرده و لذا همگرایی صورت نگیرد. این پدیده از مشکلات روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌باشد و برای حل آن یک عبارت اینرسیθ به‌صورت رابطه (۲۷) اضافه گردیده تا میزان سرعت ذرات را کاهش دهد.

$$\boldsymbol{\theta(i) = \theta_{max} - \left(\frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{i_{max}}\right)} \quad (۲۴)$$

که در آن θ_{min} و θ_{max} به ترتیب مقادیر انتهایی و ابتدایی وزن اینرسی می‌باشند و i_{max} حداکثر تعداد تکرار اعمال‌شده در PSO می‌باشد. مقادیر ۰،۴ و ۰،۹ برای وزن اینرسی ابتدایی و انتهایی پذیرفته‌شده است. در تنظیمات اولیه الگوریتم بهینه‌ساز برای تعداد جمعیت ذرات ۴۰۰، برای حداکثر تکرار عدد ۱۰۰ و برای مقادیر ضرایب c_1 و c_2 عدد ۲ در نظر گرفته‌شده‌اند. تعداد جمعیت و تکرار موردنیاز حین مسئله و از طریق آزمون‌وخطا انتخاب‌شده‌اند. فلوچارت مراحل توسعه و انجام تحقیق در شکل ۳ نمایش داده‌شده است. برآورد خروجی مدل‌ها به‌منظور تعیین رابطه بین ریسک و بازدهی اقتصادی سناریوهای الگوهای کشت بهینه از سری فوریه با فرمول رابطه (۲۸) انجام و از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) جهت بررسی دقت برازش‌ها استفاده گردید. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. همچنین مقدار R^2 هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

$$\mu_p = a_0 + a_1 \cos(w\sigma_p^2) + b_1 \sin(w\sigma_p^2) \quad (۲۵)$$

که در آن σ_p^2 ریسک و μ_p نرخ بازدهی اقتصادی می‌باشد. ضرایب a_1 وa_0, b_1 از فرمول‌های اویلر محاسبه می‌گردد.

محدودیت زمین زراعی و منابع آب در دسترس:

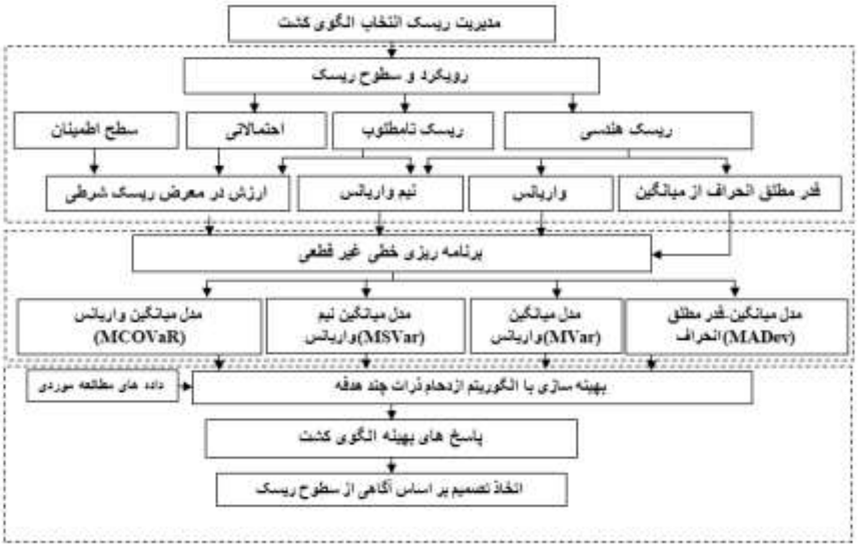
مساحت کل شبکه منطقه موردمطالعه ۸۸۲۰ هکتار می‌باشد که در هرسال زراعی توسط بهره‌برداران تحت کشت محصولات مختلف رایج شبکه قرار می‌گیرد. به‌این‌ترتیب مقدار مساحت کل شبکه به‌عنوان بیشترین مساحت قابل اختصاص به هرکدام یک از محصولات یا حداکثر مقدار زمین در دسترس در مدل رعایت گردیده است.

$$\sum_{i=1}^{n} a_i \le A_T \quad (۲۶)$$

در رابطه (۲۹) A_Tکل مساحت وa_iمساحت اختصاصی از کل مساحت برای کشت i ام است. با توجه به تأمین آب شبکه آبیاری یامچی از سد یامچی و همچنین دسترسی به منابع آب زیرزمینی در صورت نیاز، در طراحی و حل مسئله فرض شده است شبکه منابع آب کافی برای تأمین آب موردنیاز را داراست.

نتایج و بحث

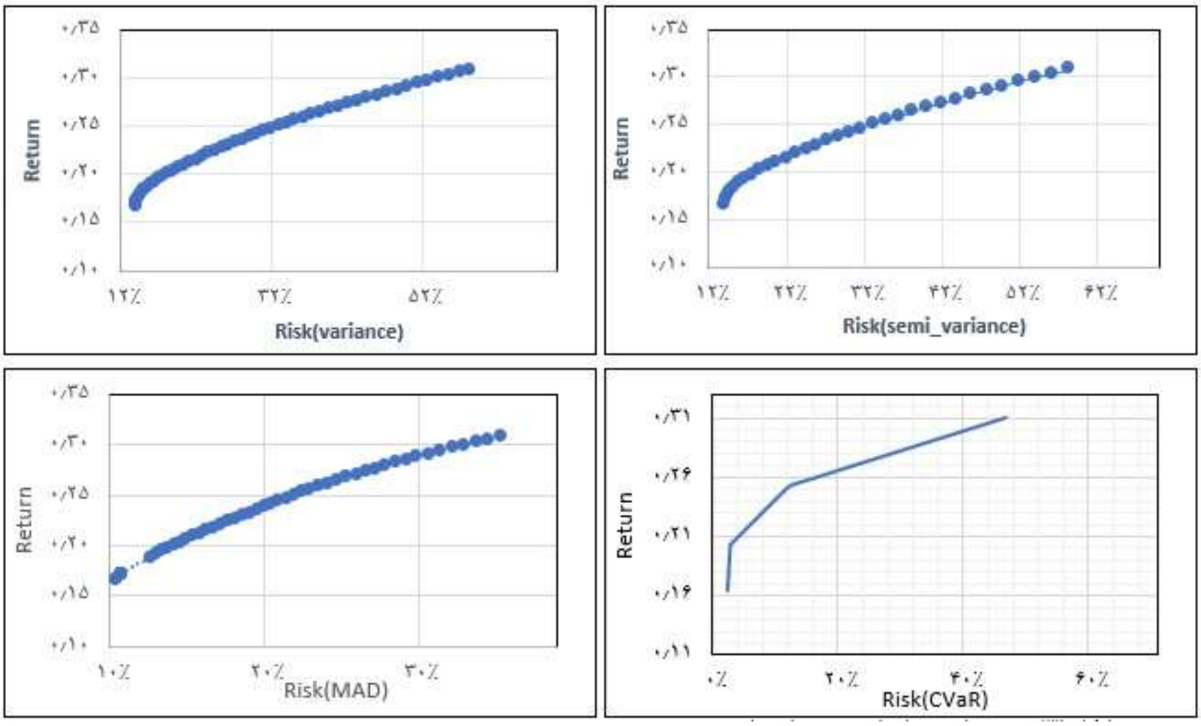
جبهه‌های کارای حاصل بهینه‌سازی مدل‌ها که نمایشی از رابطه ریسک متناظر با بهترین سناریوها (۵۰ سناریو) یا بهترین الگوهای کشت ممکن به‌وسیله کمینه کردن ریسک و بیشینه کردن بازدهی و رعایت قیود تعیین و ترسیم گردیدند (شکل ۳). برآورد خروجی مدل‌ها به‌منظور تعیین رابطه بین ریسک و بازدهی اقتصادی سناریوهای الگوهای کشت بهینه از سری فوریه با فرمول رابطه (۲۸) انجام و از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) جهت بررسی دقت برازش‌ها استفاده گردید. بالاترین مقدار R^2 و کمترین مقدار RMSE به ترتیب با مقدار ۰،۹۹۹۳ و ۰،۰۰۱۱ مربوط به مدل MADev و کمترین مقدار R2 و بالاترین مقدار RMSE به ترتیب با مقدار ۰،۸۱۷۶ و ۰،۰۲۱۰ مربوط به مدل MCOVaRα=0.95می‌باشد. نتایج این رگرسیون در جدول (۲) ارائه‌شده است.



شکل ۳- فلوچارت مراحل توسعه و انجام تحقیق

جدول ۲- ضرایب و مقادیر آماره‌های موردبررسی برای رگرسیون نتایج مدل‌ها با معادله فوریه

نام مدل	a0	a1	w	b1	RMSE	R-square
MVar	-۱۰۸۲	۱۰۸۲	۰,۰۲۰۷	۲۱,۰۴۰۰	۰,۰۰۱۷	۰,۹۹۸۴
MSVar	-۲۴۱۲	۲۴۱۲	۰,۰۱۸۱	۳۱,۳۶۰۰	۰,۰۰۳۲	۰,۹۹۴۱
MADev	-۱۷۲۸	۱۷۲۸	۰,۰۳۶۱	۲۹,۴۵۰۰	۰,۰۰۱۱	۰,۹۹۹۳
$MCOVaR_{\alpha=0.95}$	-۲۲۹,۴	۲۲۹,۴	۰,۰۷۱۴	۷,۵۱۸۰	۰,۰۲۱۰	۰,۸۱۷۶



شکل ۳- جبهه پارتو مدل‌های بهینه‌سازی شده

ریسک و بازدهی محصولات الگوی کشت

مقادیر ریسک و بازدهی هرکدام یک از محصولات الگوی کشت مقادیر بازدهی اقتصادی و ریسک در جدول شماره ۳ نشان داده‌شده است. کمترین مقدار بازدهی اقتصادی مورد انتظار مربوط به کشت ذرت به میزان ۰/۱۳ و محصول سیب‌زمینی دارای بالاترین میزان بازدهی مورد انتظار به مقدار ۰/۳۱ است و این موضوع به‌خوبی با این واقعیت که محصول سیب‌زمینی در منطقه موردمطالعه بالاترین درصد کشت (۴۲٪) را به خود اختصاص داده کاملاً مطابقت دارد. در حل مدل ارزش در معرض ریسک شرطی سطح اطمینان α=۹۵/۰ در نظر گرفته‌شده است. در تمامی نتایج مدل‌ها بالاترین مقدار ریسک محاسبه‌شده مربوط به گیاه لوبیا می‌باشد و حداکثر مقدار ۷۰٪ را در مدل $MCOVaR\alpha=0.95$ به خود اختصاص داده است.

جدول ۳- مقادیر ریسک و بازدهی واقعی محصولات الگوی کشت شبکه

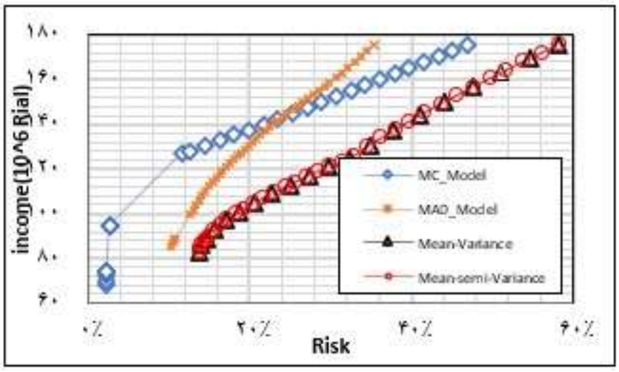
نام محصول	بازدهی اقتصادی	ریسک (٪)			
		MVar	MSVar	MADev	$MCOVaR_{\alpha=0.95}$
گندم	۰,۱۸	۳۱	۳۱	۲۵	۳۵
جو	۰,۱۴	۳۲	۳۲	۲۸	۴۳
سیب‌زمینی	۰,۳۱	۵۸	۵۸	۳۵	۴۷
کلزا	۰,۱۷	۲۲	۲۲	۱۸	۲۳
ذرت	۰,۱۳	۳۷	۳۷	۲۶	۶۳
لوبیا	۰,۱۹	۵۱	۵۱	۳۸	۷۰

بازدهی اقتصادی الگوهای کشت در سطوح مختلف ریسک

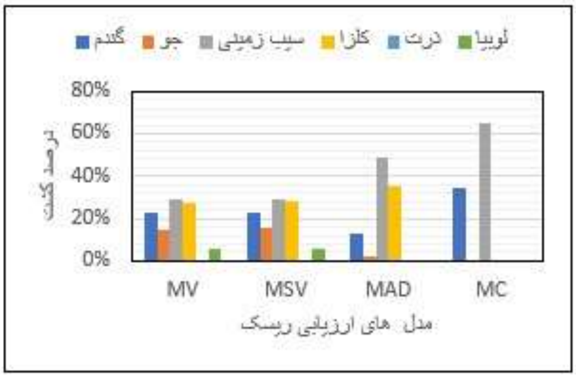
نتایج مدل‌ها برای بهترین الگوهای کشت در سطوح ریسک ۲۰٪ و ۳۰٪ به ترتیب [۰،۰،۰،۶۵،۰،۳۵] و [۰،۰،۰،۱۶،۰،۸۴] با بازدهی ۰,۲۷ و ۰,۲۹ برای مدل‌های $MCOVaR_{\alpha=0.95}$ و MADev به دست آمد. (جدول ۴). نتایج بررسی خروجی مدل‌ها در این قسمت نشان می‌دهد در تمام سناریوهای بهینه، محصول سیب‌زمینی دارای بالاترین مقدار درصد کشت بوده (به دلیل داشتن بیشترین بازدهی اقتصادی در بین محصولات طبق جدول ۳) و در نقطه مقابل کشت ذرت از کمترین مقادیر پیشنهادی برخوردار است. با افزایش میزان ریسک‌پذیری میزان سود در واحد هکتار و نهایتاً میزان درآمد شبکه افزایش می‌یابد. هم‌چنین مقایسه‌ها نشان از افزایش نیاز آبی شبکه با افزایش سطح ریسک‌پذیری دارد که دلیل اصلی آن افزایش سطح کشت الگوهای پرمصرف علی‌الخصوص محصول سیب‌زمینی در شرایط ریسک‌پذیری بالاست. نتایج این قسمت در جدول (۴) و روابط درآمد کلی شبکه به ازای انتخاب بهترین سناریوهای الگوهای کشت در سطوح ریسک مختلف در قالب شکل (۴) ارائه‌شده است. شکل (۵) نمایش سناریوی الگوی کشت برای ریسک ۲۰٪ می‌باشد.

جدول ٤- مقادیر درآمد و نیاز آبی شبکه به ازای سناریوهای بهینه الگوی کشت در مقادیر ریسک ۲۰٪ و ۳۰٪

درآمد شبکه در واحد هکتار (ریال)	آب موردنیاز (MCM)	بازدهی الگوی کشت	الگوی کشت (درصد)						نام مدل	سطح ریسک
			لوبیا	ذرت	کلزا	سیب زمینی	جو	گندم		
۱۰۳,۵۳۳,۶۹۰	۵۶	۰,۱۸	۶]	۰	۲۷	۲۹	۱۵	[۲۳	MVar	٪۲۰
۱۰۳,۴۴۶,۴۲۸	۵۵	۰,۲۱	۶]	۰	۲۸	۲۹	۱۵	[۲۳	MSVar	
۱۳۰,۵۸۴,۶۹۹	۴۸	۰,۲۴	۰]	۰	۳۵	۴۹	۳	[۱۳	MADev	
۱۳۷,۶۳۴,۷۷۷	۶۷	۰,۲۷	۰]	۰	۰	۶۵	۰	[۳۵	MCOVaR	
۱۲۱,۱۴۴,۴۳۴	۷۱	۰,۲۴	۳]	۰	۷	۴۹	۰	[۴۱	MVar	٪۳۰
۱۲۰,۶۲۵,۵۶۸	۷۰	۰,۲۴	۳۱]	۰	۸	۴۸	۰	[۴۱	MSVar	
۱۵۸,۱۹۵,۰۸۰	۵۶	۰,۲۹	۰]	۰	۰	۸۴	۰	[۱۶	MADev	
۱۵۲,۸۶۸,۷۰۶	۵۹	۰,۲۸	۰]	۰	۰	۷۹	۰	[۲۱	MCOVaR	
۱۵۱,۳۰۸,۱۰۴	۶۹	۰,۲۲	۷]	۴	۳	۳۸	۴	[۳۹		وضع فعلی



شکل ٤- منحنی درآمد –ریسک شبکه برای مدل‌های تحقیق



شکل ۵- سناریوی بهترین الگوی کشت برای ریسک ۲۰٪

نتیجه‌گیری

با توجه به نوسانات قیمت محصولات کشاورزی در اثر نوسان قیمت ارز و واردات و صادرات محصولات کشاورزی که بر روی بازده اقتصادی الگوی کشت اثرگذار است، در این تحقیق چهار مدل در خصوص تخصیص بهینه زمین به محصولات کشاورزی شبکه آبیاری پایاب یامچی شامل سه مدل کلاسیک با رویکرد هندسی ریسک شامل واریانس، نیم واریانس و قدر مطلق انحراف از میانگین و یک مدل مبتنی بر پوشش عدم قطعیت‌ها در خصوص ارزیابی ریسک پدیده‌های اقتصادی به نام ارزش در معرض ریسک شرطی توسعه یافت و جستجو در فضای پاسخ‌های ممکن به کمک الگوریتم بهینه‌ساز ازدحام ذرات اصلاح یافته انجام و راه‌حل‌های مناسبی ارائه گردیدند. در مقایسه با روش‌های ژانگ و همکاران، شریدار ، احمد و همکاران و سایر مدل‌های قبلی بررسی‌شده، مدل‌های حاصل تحقیق علاوه بر تأمین اهداف بهینه‌سازی، محدودیت به حداکثر رسانیدن بازدهی اقتصادی بدون در نظر گرفتن ریسک مربوطه را ندارد. هم‌چنین نتایج تحقیق شائو و همکاران در خصوص مؤثر بودن روش ارزش در معرض ریسک شرطی برای اتخاذ راهبردهای مالی در تخصیص منابع آب‌وخاک تائید می‌گردد. نتایج تحقیق نشان داد که مقادیر ریسک و بازدهی الگوی کشت در خلاف جهت ایدئال و خواسته مطلوب عمل می‌کنند. بدان معنی که برای انتخاب الگوی کشت با بازدهی بیشتر باید ریسک بالاتری نیز تقبل گردد. هرچند ذکر این نکته نیز لازم به نظر می‌رسد که در تمامی مدل‌های این تحقیق افزایش سطح ریسک‌پذیری و بیشینه کردن مقدار بازدهی اقتصادی همراه با افزایش سطح کشت الگوهای آب‌بر بوده و این موضوع به‌خصوص در شرایط کم‌آبی از محدودیت‌های مدل‌های حاصل تحقیق به شمار می‌رود. لذا بهینه‌سازی تخصیص آب هم‌زمان با بهینه‌سازی تخصیص زمین در قالب مدل‌های فوق مدلی کامل‌تر است که بایستی در ادامه انجام گیرد. اگرچه در این مطالعه راه حل‌هایی برای مدیریت ریسک مسئله بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس توسعه چهار مدل بهینه‌سازی با استفاده از چهار شاخص ریسک شامل واریانس، نیم واریانس، قدر مطلق انحراف از میانگین و ارزش در معرض ریسک شرطی به دست آمد، اما هنوز هم باید تحقیقاتی بیشتری به‌ویژه در ارتباط با ریسک انتخاب الگوی کشت که پدیده‌ای احتمالاتی بوده و از عوامل زیادی از قبیل تغییرات بارندگی، کیفیت آب آبیاری و رقم‌های مختلف گیاهی نیز تأثیر می‌پذیرد است، انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی آب دانشگاه شهید چمران که با حمایت‌های آن‌ها این مطالعه انجام‌شده تقدیر می‌نماید. همچنین از وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل، شرکت آب منطقه‌ای و شرکت بهره‌بردار شبکه یامچی که در جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز تحقیق صمیمانه همکاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

دلاور، م.، مرید، س. و مقدسی، م. ۱۳۹۳. توسعه مدل بهینه‌سازی-شبیه سازی مبتنی بر ریسک تخصیص منابع آب با استفاده از مفهوم ارزش در معرض خطر شرطی، مطالعه موردی: شبکه آبیاری زاینده‌رود. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱ (۱۰): ۱۴-۱

مقدسی، م.، مرید، س. و عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط کم‌آبی با استفاده از روش‌های غیرخطی، هوش جمعی و الگوریتم ژنتیک. مجله تحقیقات آب ایران.۳ (۴): ۱۳-۱

منعم، م ج. و نوری، م ع. ۱۳۸۹. کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱ (۴): ۸۲- ۷۳.

نیکو، م ر.، امیدوار، م.، هنر، ت. و سپاس خواه، ع ر. ۱۳۹۵. تدوین یک مدل فازی بهینه‌سازی الگوی کشت و تخصیص آب بر مبنای تئوری بازیهای همکارانه، مطالعه موردی: کانال اردیبهشت شبکه آبیاری درودزن فارس. مجله علوم آب‌وخاک -علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷۶ (۲۰): ۱۳-۱.

Abrishambaf, O., Faria, P., Gomes, L. and Vale, Z. 2020. Agricultural irrigation scheduling for a crop management system considering water and energy use optimization. Energy Reports. 6 (2020): 133-139.

Ahmad, I. and Tang, D. 2016. Multi-objective linear programming for optimal water allocation based on satisfaction and economic criterion. Arabian Journal for Science and Engineering. 41(4): 1421-1433.

Andersson, F., Mausser, H., Rosen, D. and Uryasev, S. 2001. Credit risk optimization with conditional value-at-risk criterion. Mathematical Programming. 89(2): 273-291.

Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M. and Heath, D. 1999. Coherent measures of risk. Mathematical finance. 9(3): 203-228.

Delavar, M., Moghadasi, M., and Morid, S. 2012. Real-time model for optimal water allocation in irrigation systems during droughts. Journal of irrigation and drainage engineering. 138(6): 517-524.

Fletcher, D. M., Ruiz, S. A., Dias, T., Jones, D. L. and Roose, T. 2020. Precipitation-optimised targeting of nitrogen fertilizer In A Model Maize Cropping Sysetem. Science of The Total Environment. 756 (2021): 144051.

Haimes, Y. Y. and Hall, W. A. 1974. Multiobjectives in water resource systems analysis: The surrogate worth trade off method. Water Resources Research. 10(4): 615-624.

Honar, T., Ghazali, M. and Nikoo, M. R. 2020. Selecting the Right Crops for Cropping Pattern Optimization Based on Social Choice and Fallback Bargaining Methods Considering Stakeholders’ Views. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. *45*(2): 1077-1088.

JAAMAN, S. H. H., Lam, W. H. and Isa, Z. 2011. Different downside risk approaches in portfolio optimisation. Journal of Quality Measurement and Analysis JQMA. 7(1): 77-84.

Kennedy, J. and Eberhart, R. 1995. Particle swarm optimization. In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks. (4): 1942-1948. IEEE.

Jorion, P. 2000. Risk management lessons from long-term capital management. European financial management. 6(3): 277-300.

Lalehzari, R., Boroomand Nasab, S., Moazed, H. and Haghighi, A. 2016. Multiobjective management of water allocation to sustainable irrigation planning and optimal cropping pattern. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 142(1): 05015008.

Li, M and Guo, P. 2014. A multi-objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. Applied Mathematical Modelling. 38(19-20): 4897-4911.

Li, M., Guo, P. and Singh, V.P., 2016. An efficient irrigation water allocation model under uncertainty. Agricultural Systems. 144(2016): 46-57.

Markowitz H. 1952. Portfolio selection. Journal of Finance. 7(1): 77-91.

Parvaz, G., Rostaminya, M. and Alizadeh, H. 2018. Optimization of the Cropping Pattern Using AquaCrop-GIS (Case Study: Dehloran Plain, Ilam Province). Iranian Journal of Soil and Water Research. 49(4): 865-877.

Pishgar-Komleh, S. H., Akram, A., Keyhani, A., Sefeedpari, P., Shine, P. and Brandao, M. 2020. Integration of life cycle assessment, artificial neural networks, and metaheuristic optimization algorithms for optimization of tomato-based cropping systems in Iran. The International Journal of Life Cycle Assessment. 25(3): 620-632.

Sarykalin, S., Serraino, G. and Uryasev, S. 2008. Value-at-risk vs. conditional value-at-risk in risk management and optimization. In State-of-the-art decision-making tools in the information-intensive age. 270-294. Informs.

Shao, L. G., Qin, X. S. and Xu, Y. 2011. A conditional value-at-risk based inexact water allocation model. Water resources management. 25(9): 2125-2145.

Shreedhar, R. 2017. Multi Crop Optimization using Linear Programming model for maximum benefit. In Proceedings of International Conference on Hydraulics and Environmental systems (ICHES 2017), KLE Dr. MS Sheshgiri College of Engineering and Technology, Belagavi, India. 23rd 25th March. .

Soltani, M., Kerachian, R., Nikoo, M. R. and Noory, H. 2016. A conditional value at risk-based model for planning agricultural water and return flow allocation in river systems. Water resources management. 30(1): 427-443.

Xie, Y. L. and Huang, G. H. 2014. An optimization model for water resources allocation risk analysis under uncertainty. Journal of Hydroinformatics. 16(1): 144-164.

Yamout, G. M., Hatfield, K. and Romeijn, H. E. 2007. Comparison of new conditional value- at- risk-based management models for optimal allocation of

Zhong, H., Sun, L., Fischer, G., Tian, Z. and Liang, Z. 2019. Optimizing regional cropping systems with a dynamic adaptation strategy for water sustainable agriculture in the Hebei Plain. Agricultural Systems. 173(2019): 94-106.

Zhang, Y., Qu, H., Yang, X., Wang, M., Qin, N. and Zou, Y. 2020. Cropping system optimization for drought prevention and disaster reduction with a risk assessment model in Sichuan Province. Global Ecology and Conservation. 23(2020): e01095.

uncertain water supplies. Water Resources Research. 43(7).

Yamout, G.M., 2005. Application of single party and multiple party decision making under risk and uncertainty to water resources allocation problems. University of Florida.

Zhang, C. and Guo, P. 2018. An inexact CVaR two-stage mixed-integer linear programming approach for agricultural water management under uncertainty considering ecological water requirement. Ecological Indicators. 92(2018): 342-353.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 15, Oct.-Nov. 2021, p. 918-930

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۵، مهر - آبان ۱۴۰۰، ص. ۹۳۰-۹۱۸

Optimization of Cultivation Pattern Based on Risk Management in the Downstream Irrigation Network of Ardabil Yamchi Dam

A. Houshmand [1]* , H. Mohammadzadeh[2], A. Kanooni[3], A. Haghighi[4]
Recived: Apr. 28, 2021 Accepted: Jun. 05, 2021

Abstract

Cropping pattern optimization is an important strategy in the optimal use of water in agriculture. The present study attempted to develop and evaluate four hybrid models based on maximizing economic return rate and minimizing risk based on risk indices including variance (MVar model), semi-variance (MSVar model), absolute value deviation from mean (MADev model) and conditional value at risk (MCOVaR model). The MCOVaR model is governed by observing the rules, which at a selective confidence level allows determining the best cropping pattern scenario with selective return rate and the lowest risk that can be measured in the decision-making stage. The data used are related to the downstream irrigation network of Ardabil Yamchi Dam and for the 1397-98 crop year. The development of the model in MATLAB is based on nonlinear programming and optimization problem solving using particle swarm algorithm in a multi-objective solution. The highest correlation coefficient in regression of the models with Fourier equation was R^2=0.9997 with accuracy (RMSE=0.0011) for MADev model, The results showed that the highest yield of 0.31 belonged to potatoes with a maximum risk of 58% and the lowest yield of 0.13 belonged to the maize plant with a maximum risk of 63%. By calculating 50 scenarios of the best possible cropping patterns in terms of satisfying the target functions and governing conditions, the pareto front of each model was drawn and the table of system income values for risk levels of 20% and 30% was extracted and presented. The results obtained in all models indicate an increase in economic efficiency by increasing the risk level of the system in selecting the optimal cropping pattern and this increase in MADev model is more steep than other models and increasing risk-taking leads to increasing the area under cultivation of plants with more water consumption.

Key words: Conditional Value at Risk, Optimal Cropping Pattern, Risk Management, Particle Swarm Algorithm

---

1- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4- Associate Professor. Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran
(* - Corresponding Author Email: hooshmand_a@scu.ac.ir)