

مقاله علمی-پژوهشی

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

عبدالرحیم هوشمند<sup>۱\*</sup>، حسین محمدزاده<sup>۲</sup>، امین کانونی<sup>۳</sup>، علی حقیقی<sup>۴</sup>

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 بهینه‌سازی نرخ بازدهی اقتصادی و کمیته‌سازی 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 توسعه‌یافته‌اند و در یک سطح اطمینان انتخابی امکان تعیین بهترین سناریوی الگوی کشت با بالاترین نرخ بازدهی اقتصادی و کمترین ریسک که قابل اندازه‌گیری است، را در مرحله تصمیم‌گیری فراهم می‌آورند. داده‌های مورد استفاده 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 به صورت چندهدفه انجام شده است. بالاترین مقدار ضریب همبستگی در رگرسیون نتایج مدل‌ها با معادله فوریه به میزان  $R^2=0/9997$  با دقت  $(RMSE=0/011)$  برای مدل MADev به دست آمد. نتایج نشان داد بیشترین بازدهی به  $0/31$  متعلق به سیب‌زمینی با حداکثر ریسک  $0/58\%$  و کمترین مقدار بازدهی به مقدار  $0/13$  مربوط به گیاه ذرت با حداکثر ریسک  $0/63\%$  است. با محاسبه ۵۰ سناریوی بهترین الگوهای کشت ممکن از نظر ارضای توابع هدف و قیود حاکم، جبهه کارای تک‌تک مدل‌ها ترسیم و جدول مقادیر درآمد سیستم برای سطوح ریسک  $0/20\%$  و  $0/30\%$  استخراج و ارائه گردید. نتایج به دست آمده 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

بازی‌های همکارانه (Nikoo et al., 2017)، مدل مبتنی بر زمان واقعی (Delavar et al., 2011) از جمله ابزارهایی هستند که تاکنون توسط تعداد زیادی از محققین کشور به منظور بهینه‌سازی تخصیص آب و زمین به محصولات کشاورزی در شبکه‌های آبیاری به کار گرفته شده و نتایج به‌کارگیری این روش‌ها در بهبود کارایی مصرف آب، افزایش صرفه اقتصادی و ... در منابع معتبر علمی داخلی و بین‌المللی مؤثر گزارش شده است.

با توجه به ضرورت مدیریت بهینه و هوشمندانه منابع آب‌و خاک و نقش اساسی آن در تولید محصولات کشاورزی، تحقیق حاضر باهدف بهینه‌سازی اقتصادی الگوی کشت همراه با تقلیل و مدیریت ریسک‌های مربوطه انجام گرفته 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

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 ایتکاری از قبیل استفاده از الگوریتم مبتنی بر هوش جمعی (Lalezari et al.,

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 بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با در نظر گرفتن رضایت ذینفعان و برای سه نوع شرایط اقلیمی در منطقه درودزن فارس مختلف انجام و در نهایت کشت گندم به عنوان 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 به دست آمده را با هدف بهبود پایداری سامانه‌های کشت مبتنی بر گوجه‌فرنگی به صورت چندهدفه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه بهینه‌سازی کردند. نتایج به دست آمده 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 به دست آمده بر اساس الگوهای بارندگی در تعیین زمان‌های کود دهی، به طور متوسط میزان جذب نیتروژن را در مقایسه با میانگین جذب ۲۰ درصد بهبود می‌بخشد (Fletcher et al., 2020). ابریشم‌باف و همکاران به منظور بهبود عملکرد سیستم آبیاری ستر 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 گرفته شده 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 به کارگیری سیستم بهینه‌سازی تهیه شده 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 قابل دسترسی محاسبه گردید (Shreedhar., 2017). پرواز و همکاران در یک تحقیق بر اساس داده‌های زمین مرجع کیفی و شیمیایی آب‌و خاک، آب قابل دسترسی، سطح آب زیرزمینی بر اساس برنامه‌ریزی خطی یک مدل بهینه‌سازی الگوی کشت را توسعه دادند و اعلام کردند نتایج بهینه‌سازی مدل بهره‌وری آب را از ۳۰ تا ۱۲۰ درصد افزایش می‌دهد (Parvaz et al., 2017). احمد و همکاران در

یک مطالعه، یک مدل تخصیص آب تصادفی به منظور 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، در حالی که 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). در زمینه 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<sup>۱</sup> و ارزش در معرض ریسک شرطی<sup>۲</sup> در منابع علمی منتشر شده است. ژانگ و همکاران یک مدل بهینه‌سازی سیستم الگوی کشت را بر اساس محاسبه شاخص‌های اطمینان از مقادیر بارندگی، ضریب تغییر عملکرد، نسبت سطح کشت شده 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 غیرقطعیت، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را به منظور کمک به سیستم مدیریت منابع آب منطقه‌ای توسعه دادند. نتایج نشان داد که مدل می‌تواند به صورت 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 غیرقطعیت بر پایه ارزش در معرض ریسک شرطی، مدلی را جهت مدیریت بهینه

1 Value at Risk

2 Conditional Value at Risk

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 مورد استفاده حاصل اندازه‌گیری تقویم و مقادیر آب آبیاری و عملکرد محصولات، مصاحبه و تکمیل ۵۰ پرسشنامه به صورت 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 مورد نیاز، تدوین الگوهای ریاضی، کدهای بهینه‌سازی و سناریوها و نهایتاً تحلیل نتایج انجام شده است. محاسبات نیاز آبی بر اساس روش پنمن موتیث 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 محاسبه شده است.

### مدل‌سازی انتخاب الگوی کشت بهینه

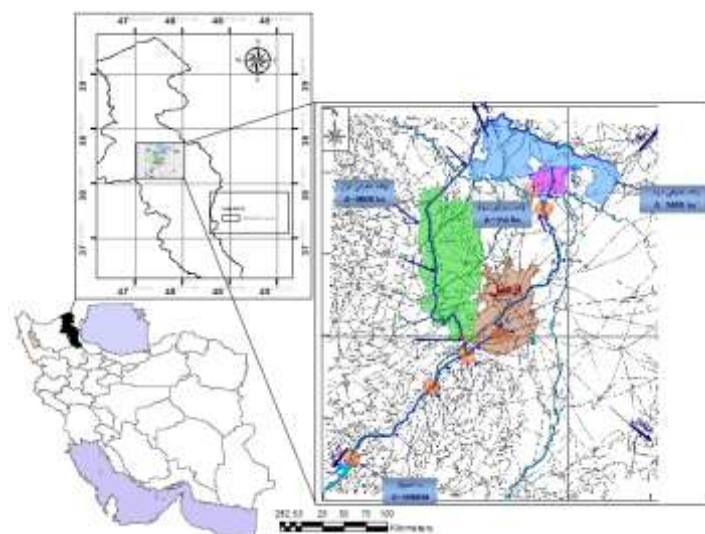
ایده اصلی تحقیق حاضر بر این فرض اساسی بنا شده است که الگوی کشت یک مفهوم پویا است زیرا با تغییر زمان و مکان تغییر می‌کند بدین منظور جهت بهینه‌سازی الگوی کشت (یا انتخاب الگوی کشت بهینه) الگوهای با استفاده از مفاهیم اقتصادی در زمینه تخمین ریسک در زمان انتخاب توسعه داده شده است. الگوهای به دست آمده به عنوان 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 اصلاح شده در ارتباط با هدف تحقیق استفاده گردیده است.

منابع آب تهیه نمودند که می‌تواند نگرش ریسک‌گریزی تصمیم‌گیران 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، مورد بررسی قرار داده است. در تحقیق حاضر بازدهی به مفهوم سود یا زبانی 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 کیلومتر مربع در یک منطقه کوهستانی در شمال غرب ایران بین مدارهای ۳۸° ۵۱' تا ۳۷° ۳۷' ۲۴' شمالی و ۴۷° ۶۴' ۳۵' تا ۴۸° ۰۶' ۱۵' شرقی واقع شده است. این رودخانه از دامنه‌های سیلان 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 ۴۸° ۲۷' تا ۴۸° ۱۰' شرقی و عرض‌های ۳۸° ۱۲' تا ۳۸° ۲۷' 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 ذخیره شده در آن برنامه‌ریزی شده است. در حال حاضر بهره‌برداری از شبکه آبیاری



شکل ۱- موقعیت شبکه آبیاری مورد مطالعه در پژوهش (ناحیه با رنگ سبز مشخص شده است)

جدول ۱- الگوی کشت شبکه آبیاری مورد مطالعه - 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	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

$$R_p(t) = \frac{\sum_{i=1}^n a_i r_i(t)}{\sum_{i=1}^n a_i} = \sum_{i=1}^n \omega_i r_i(t) \quad (4)$$

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

$$\mu_p = w^T \mu = [w_1, w_2, \dots, w_n] \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

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

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } \mu_p \\ & \text{Minimize Risk} \\ & \text{S. t.} \end{aligned} \quad (6)$$

### 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):

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} \quad (7)$$

که در آن  $\sigma_p^2$  و  $\sigma_{ij}$  به ترتیب واریانس و کوواریانس بین  $\Gamma_i$  و  $\Gamma_j$  هست.

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 اشاره شده از روی مقادیر فضای داده‌های ورودی و توسط MATLAB محاسبه گردیده است.

اگر از شاخص‌های یک پدیده اقتصادی در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری انجام دهیم، به این ترتیب  $P_i(t)$  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 همراه‌کننده 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 (Philippe Jorion., 2000):

$$r_i(t) = \frac{p_i(t+1) - p_i(t)}{p_i(t)} \quad (1)$$

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 به کارگیری مفاهیم مربوط به تخصیص منابع در خصوص تخصیص زمین به هر کدام از محصولات خواهیم داشت:

$$A_T = \sum_{i=1}^n a_i \quad (2)$$

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:

$$w_i = \frac{a_i}{A_T} \left( 0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^n w_i = 1 \right) \quad (3)$$

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:

در نظر گرفتن مفهوم هندسی واریانس و مفهوم ذاتی سود به این نکته بسیار مهم توجه داشت که در حالات ذکر شده 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<sup>۴</sup> مشهور است. مدل نیم واریانس<sup>۵</sup> را به شکل رابطه (۱۰) تعریف نمود (Markowitz., 1952):

$$\sigma_p^{-2} = E\{(R_p(t) - \mu_p)^2 | R_p(t) < \mu_p\} \quad (10)$$

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:

$$\sigma_i^2 = E\{(r_i(t) - \mu_i)^2\} \\ = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_i(t) - \mu_i)^2, \quad T = \sum_{i=1}^T 1 \quad (11)$$

$$\sigma_i^{-2} = E\{(r_i(t) - \mu_i)^2 | r_i(t) < \mu_i\} \\ = \frac{\sum_{t=1}^T \mathbf{1}_{r_i(t) < \mu_i} (r_i(t) - \mu_i)^2}{\sum_{t=1}^T \mathbf{1}_{r_i(t) < \mu_i}} \quad (12)$$

در روابط (۱۲) 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:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \mu_p = w^T \mu \\ \text{Min} \quad & \sigma_p^{-2} \\ \text{S. t.} \quad & \sum_i w_i = 1 \\ & w_i \geq 0 \end{aligned} \quad (13)$$

#### مدل میانگین - قدر مطلق انحراف معیار<sup>۶</sup>:

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

#### 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<sup>۱</sup>

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

$$\begin{aligned} & \text{Max} \mu_p = w^T \mu \\ \text{Min} \quad & \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} \end{aligned} \quad (8)$$

S. t.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ & w_i > 0 \end{aligned}$$

همان‌طور که رابطه (۱۵) نشان می‌دهد، مدل میانگین - واریانس یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه است. اصولاً در حل مسائل بهینه‌سازی به روش اسپیلون محدود<sup>۲</sup> 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:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} \\ \text{S. t.} \quad & \mu_p = w^T \mu \geq \mu_{p_0} \\ & \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ & w > 0 \end{aligned} \quad (9)$$

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

#### مدل میانگین - نیم واریانس<sup>۳</sup>

در استفاده از مفهوم واریانس در جهت کنترل ریسک بایستی با

4- Downside Risk  
5- vSemi Variance Model  
6- Mean Absolute Deviation Model (MADev Model)

1- Mean - Variance Model  
2- Epsilon Constraint Method  
3- Mean-Semi Variance Model

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 محاسبه شده است. به همان ترتیب ارزش در معرض ریسک شرطی میانگین وزنی خسارت‌هایی است که از ارزش در معرض ریسک کوچک‌تر نیست. طبق تعریف ارزش در معرض ریسک  $x$  در سطح اطمینان  $(\alpha \in (0, 1))$  عبارت است از (Andersson et al., 2001):

$$VaR_{\alpha}(x) = \min\{z | F_X(z) \geq \alpha\} \quad (16)$$

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

$$F_X(z) = Pr\{X \leq z\} \quad (17)$$

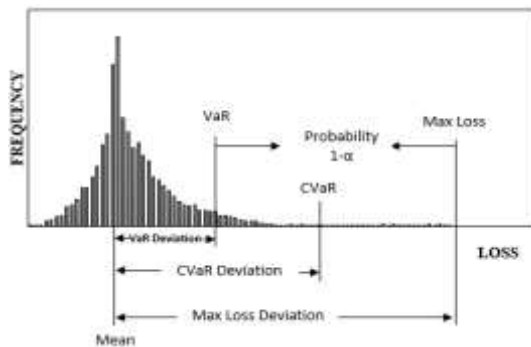
آرتزرنر و همکاران ارزش ریسک در معرض خطر شرطی را به شکل زیر معرفی نمودند (Artzener et al., 1999):

$$CVaR_{\alpha}(x) = E\{z | F_X(z) \geq \alpha\} \quad (18)$$

به بیان دیگر 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:

$$CVaR_{\alpha}(x) = \frac{1}{1-\alpha} \int_{VaR_{\alpha}(x)}^{\infty} z f_X(z) dz \quad (19)$$

مفاهیم فوق در شکل (۲) نمایش داده شده است.



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

$$\begin{aligned} &Max \mu_p = w^T \mu \\ &Min \text{Dev}(CVaR_{\alpha=0.95}) \\ &S. t. \\ &\sum_i w_i = 1 \\ &w_i \geq 0 \end{aligned} \quad (20)$$

(Markowitz., 1952):

$$AD_i = E\{|r_i(t) - \mu_i|\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |r_i(t) - \mu_i| \quad (14)$$

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

$$\begin{aligned} &Max \mu_p = w^T \mu \\ &Min \text{AD}_p = \sum_{i=1}^n w_i AD_i = w^T AD_i \\ &S. t. \\ &\sum_i w_i = 1 \\ &w_i \geq 0 \end{aligned} \quad (15)$$

### 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 برنامه‌ریزی شده و درواقع نوعاً جز شاخص‌های هندسی بررسی ریسک هستند درحالی‌که اکثر عوامل مؤثر بر برنامه‌ریزی، تخصیص و مدیریت منابع آب به صورت 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

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.

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.

$$\mu_p = a_0 + a_1 \cos(w\sigma_p^2) + b_1 \sin(w\sigma_p^2) \quad (25)$$

که در آن  $\sigma_p^2$  ریسک و  $\mu_p$  نرخ بازدهی اقتصادی می‌باشد. ضرایب  $a_1, a_0, b_1$  از فرمول‌های اوایلر محاسبه می‌گردد.

### محدودیت زمین زراعی و منابع آب در دسترس:

مساحت کل شبکه منطقه مورد مطالعه ۸۸۲۰ هکتار می‌باشد که در هر سال زراعی توسط بهره‌برداران تحت کشت محصولات مختلف رایج شبکه قرار می‌گیرد. به این ترتیب مقدار مساحت کل شبکه به عنوان بیشترین مساحت قابل اختصاص به هر کدام یک از محصولات یا حداکثر مقدار زمین در دسترس در مدل رعایت گردیده است.

$$\sum_{i=1}^n a_i \leq A_T \quad (26)$$

در رابطه (۲۹)  $A_T$  کل مساحت و  $a_i$  مساحت 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 مورد نیاز 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 به وسیله کمینه کردن ریسک و بیشینه کردن بازدهی و رعایت قیود تعیین و ترسیم گردیدند (شکل ۳). برآورد خروجی مدل‌ها به منظور 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  $R^2$  و بالاترین مقدار RMSE به ترتیب با مقدار ۰,۸۱۷۶ و ۰,۰۲۱۰ مربوط به مدل  $MCOVaR\alpha=0.95$  می‌باشد. نتایج این رگرسیون در جدول (۲) ارائه شده است.

برنامه‌ریزی و مدل‌سازی حل مسئله بر اساس الگوریتم ازدحام ذرات اصلاح شده

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

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } f(x) \\ & \text{Subject to } X^{(l)} \leq X \leq X^{(u)} \end{aligned} \quad (21)$$

که در آن  $X^{(l)}$  و  $X^{(u)}$  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  $i$  ام در تکرار  $i$  ام به شکل زیر:

$$\begin{aligned} V_j(i) = & V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - X_j(i-1)] \\ & + c_2 r_2 [G_{best,j} - X_j(i-1)] \end{aligned} \quad (22)$$

$J = 1, 2, 3, \dots, N$

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

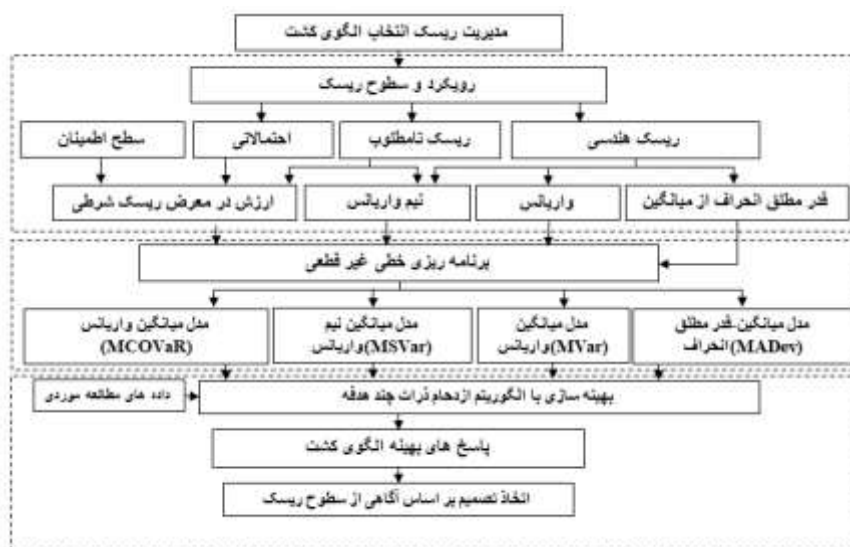
$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \quad (23)$$

$J = 1, 2, 3, \dots, N$

که در آن  $c_1$  و  $c_2$  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.  $P_{best,j}$  بهترین ارزش رخ داده برای  $X_j(i)$  با بالاترین مقدار تابع هدف که به وسیله ذره  $i$  ام در طول تکرارهای قبلی رخ داده و  $G_{best,j}$  بهترین ارزش رخ داده برای  $X_j(i)$  با بالاترین مقدار تابع هدف که به وسیله هر کدام از  $N$  ذره در طول تکرارهای قبلی رخ داده 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 اینرسی  $\theta$  به صورت رابطه (۲۷) اضافه گردیده تا میزان سرعت ذرات را کاهش دهد.

$$\theta(i) = \theta_{max} - \left( \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{i_{max}} \right) \quad (24)$$

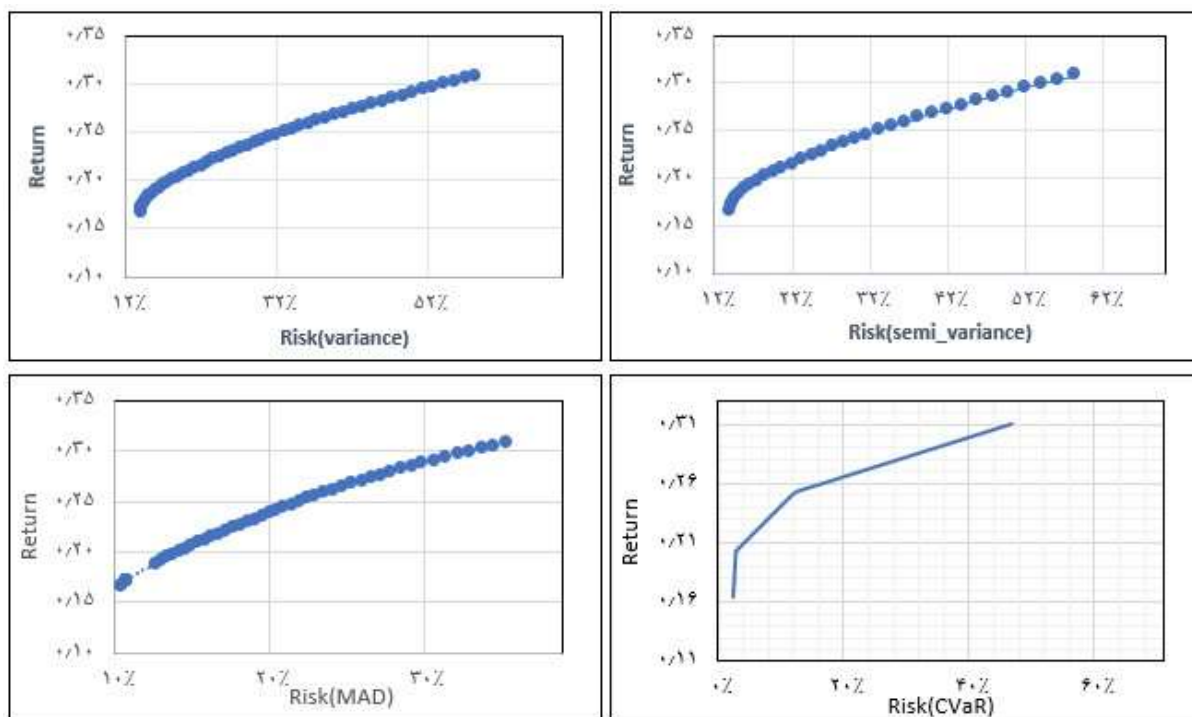
که در آن  $\theta_{min}$  و  $\theta_{max}$  به ترتیب مقادیر انتهایی و ابتدایی وزن اینرسی می‌باشند و  $i_{max}$  حداکثر تعداد تکرار اعمال شده در PSO می‌باشد. مقادیر ۰,۴ و ۰,۹ برای وزن اینرسی ابتدایی و انتهایی پذیرفته شده است. در تنظیمات اولیه الگوریتم بهینه‌ساز برای تعداد جمعیت ذرات ۴۰۰، برای حداکثر تکرار عدد ۱۰۰ و برای مقادیر ضرایب  $c_1$  و  $c_2$  عدد ۲ در نظر گرفته شده‌اند. تعداد جمعیت و تکرار مورد نیاز حین مسئله و از طریق آزمون و خطا انتخاب شده‌اند. فلوچارت مراحل توسعه و انجام تحقیق در شکل ۳ نمایش داده شده است. برآورد خروجی مدل‌ها به منظور تعیین رابطه بین ریسک و بازدهی



شکل ۳- فلوجارت مراحل توسعه و انجام تحقیق

جدول ۲- ضرایب و مقادیر آماره‌های مورد بررسی 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 <sub>α=0.95</sub>	-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 داده شده 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 به خوبی با این

واقعیت که محصول سیبزمینی در منطقه مورد مطالعه بالاترین درصد کشت (۴۲٪) را به خود اختصاص داده کاملاً مطابقت دارد. در حل مدل ارزش در معرض ریسک شرطی سطح اطمینان  $\alpha=0.95$  در نظر گرفته شده است. در تمامی نتایج مدل‌ها بالاترین مقدار ریسک محاسبه شده مربوط به گیاه لوبیا می‌باشد و حداکثر مقدار ۰/۷۰ 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 <sub><math>\alpha=0.95</math></sub>
گندم	۰,۱۸	۳۱	۳۱	۲۵	۲۵
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

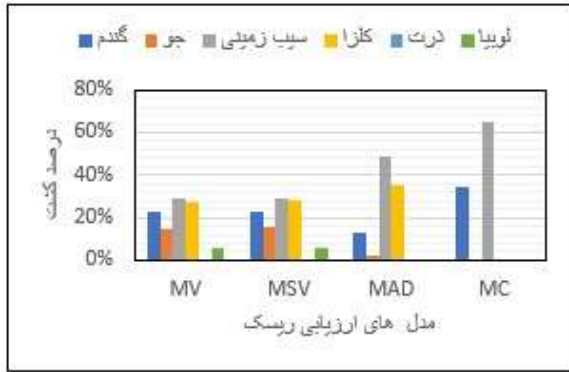
**بازدهی اقتصادی الگوهای کشت در سطوح مختلف ریسک**

نتایج مدل‌ها برای بهترین الگوهای کشت در سطوح ریسک ۲۰٪ و ۳۰٪ به ترتیب [۰,۰۰,۰۶۵,۰,۳۵] و [۰,۰۰,۰,۱۶,۰,۸۴] با بازدهی ۰,۲۷ و ۰,۲۹ برای مدل‌های  $MADev$  و  $MCOVaR_{\alpha=0.95}$  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

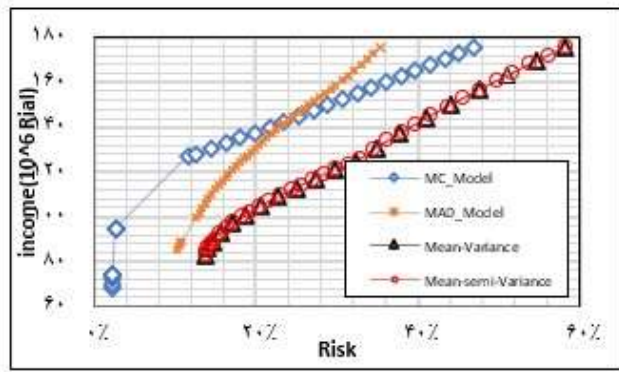
ریسک‌پذیری میزان سود در واحد هکتار و نهایتاً میزان درآمد شبکه افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه‌ها نشان از افزایش نیاز آبی شبکه با افزایش سطح ریسک‌پذیری دارد که دلیل اصلی آن افزایش سطح کشت الگوهای پر مصرف علی‌الخصوص محصول سیبزمینی در شرایط ریسک‌پذیری بالاست. نتایج این قسمت در جدول (۴) و روابط درآمد کلی شبکه به ازای انتخاب بهترین سناریوهای الگوهای کشت در سطوح ریسک مختلف در قالب شکل (۴) ارائه شده است. شکل (۵) نمایش سناریوی الگوی کشت برای ریسک ۲۰٪ می‌باشد.

**جدول ۴- مقادیر درآمد و نیاز آبی شبکه به ازای سناریوهای بهینه الگوی کشت در مقادیر ریسک ۲۰٪ و ۳۰٪**

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



شکل ۵- سناریوی بهترین الگوی کشت برای ریسک ۲۰٪



شکل ۴- منحنی درآمد-ریسک شبکه برای مدل‌های تحقیق

### نتیجه گیری

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 انجام شده 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): ۱-۱۴

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): ۱-۱۳

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.

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، شیریدار، احمد و همکاران و سایر مدل‌های قبلی بررسی شده، 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 آب‌و خاک تأیید 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 راه‌حلی برای مدیریت ریسک مسئله بهینه‌سازی الگوی کشت بر

- Lalehzari, R., Boroomand Nasab, S., Moazed, H. and Haghghi, 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., Rostamina, 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. *Inform*.
- 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
- 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 اردبیهشت شبکه آبیاری درودزن فارس. *مجله علوم آب‌و خاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۷۶ (۲۰): ۱-۱۳.
- 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 System*. *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.

- 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.

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

A. Houshmand<sup>1\*</sup>, H. Mohammadzadeh<sup>2</sup>, A. Kanooni<sup>3</sup>, A. Haghghi<sup>4</sup>

Received: 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, Ahvaz, Iran

(\* - Corresponding Author Email: hooshmand\_a@scu.ac.ir)