تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دهم، شماره ۱، بهار و تابستان۱۳۹۳
Volume 10, No. 1, Spring and Summer 2014 (IR-WRR)
۱-۱۴

توسعه مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر ریسک تخصیص منابع آب با استفاده از مفهوم ارزش در معرض خطر شرطی، مطالعه موردی: شبکه آبیاری زاینده‌رود

مجید دلاور[۱]، سعید مرید[۲]* و مهنوش مقدسی[۳]

چکیده

بحث عدم‌قطعیت و خطا در تصمیم‌گیری‌ها در مدیریت منابع همواره می‌تواند تبعات اجتماعی و اقتصادی جدی به همراه داشته باشد. این موارد می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی مانند قیمت، عملکرد و پیش‌بینی جریان باشد که از این بین، مورد آخر بیشترین مشکلات را معمولاً به دنبال دارد. در این تحقیق تلاش شده است با استفاده از مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR)، الگوریتمی به منظور تخصیص بهینه منابع آب در شرایط عدم قطعیت ارائه گردد. در این راستا یک مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی با لحاظ شرایط کمی و کیفی آب ارائه گردید که قادر است، مقادیر بهینه تخصیص آب را در شبکه‌های آبیاری، محصولات و مراحل رشد آنها با توجه به کمینه ریسک خطا در تصمیم‌گیری ناشی از پیش‌بینی جریان محاسبه کند. برای ارزیابی و بررسی روش‌شناسی ارائه شده از اطلاعات شبکه‌های آبیاری زاینده رود طی سال‌های ۸۷-۱۳۶۲ استفاده گردید. نتایج نشان داد که بهره‌گیری از مفهوم احتمالاتی CVaR در مدل تخصیص منابع آب، می‌تواند علاوه بر توصیف نحوه تغییرات ریسک پذیری سامانه در افق زمانی مورد نظر، میزان تخصیص بهینه آب را به گونه‌ای تعیین کند که خسارت وارده و ریسک ناشی از تصمیم‌گیری نادرست به‌واسطه شرایط غیر قطعی هیدرولوژیکی، کمینه گردد و در عین حال به نحو مطلوبی یک فضای احتمالاتی تصمیم را به منظور اتخاذ تصمیمات واقع بینانه در اختیار کاربر قرار دهد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، ارزش در معرض ریسک شرطی، خسارت، زاینده رود.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۷ بهمن ۱۳۹۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۵ تیر ۱۳۹۲

۱- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲ - استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه اراک، اراک، ایران
*- نویسنده مسئول

Developing an Optimization - Simulation Risk Based Water Allocation Model using Conditional Value at Risk (Cvar), Case Study: Zayandehrood Irrigation Networks

M. Delavar [1], S. Morid[2] and M. Moghadasi [3]*

Abstract

Uncertainties and errors in water resources management decision making could result in the serious social and economical consequences.This can be caused by various factors such as price yield and iflow prediction that the latter usually has more complications, In this research it was attempted to present a water resources allocation algorithm under the uncertainty conditions using the concept of conditional value at risk (CVaR). In this regard' an optimization-simulation model considering water quality and quantity was developed which is able to calculate the optimal amount of water allocation in irrigation networks considering crops and their growing stages with minimal risk that resulting from uncertanties inflow prediction. In this study the information of Zayandehrood irrigation networks during 1983-2008 were used for assessment of this presented procedure.The results showed that using CVaR as a probabilistic concepti in water allocation model can determine both the system risk in time horizon and the optimal water allocation considering the minimal loss and the risk caused by uncertainty and also determine the good probabilistic decision space for users to make realistic decisions.

Keywords: Optimization, Conclitional Value at Risk, Loss, Zayandehrood.

Received: February 6, 2012
Accepted: June 26, 2013

1- Assistant Professor of Water Resources Eng. Dept., College of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.
2- Professor of Water Resources Eng. Dept., College of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. Email:morid_sa@modares.ac.ir
3- Assistant Professor of Water Eng. Dept., College of Agriculture, University of Arak, Arak, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

عدم قطعیت در برنامه‌ریزی مناسب تخصیص بخش غیر قابل اجتنابی از مدیریت منابع آب می‌باشد که در خشکسالی‌ها و کم آبی‌ها تشدید می‌گردد. این عدم قطعیت می‌تواند از مواردی مانند شرایط اقلیمی، مقدار آب در دسترس، میزان تقاضا و مدیریت بهره‌برداری ناشی گردد و برآورد آن در مدیریت کارآمد تخصیص مؤثر و مفید خواهد بود. این مهم با توسعه روش‌شناسی و ابزار مربوط می‌تواند در بهره‌برداری واقع‌بینانه و بهینه از منابع آب نقش مؤثری را ایفاء نماید.

در دهه‌های اخیر، روشهای بهینه‌سازی غیر قطعی متعددی به این منظور توسعه داده شده است. ترکیب روش‌های بهینه‌سازی و سامانه‌های استنتاج فازی از آن جمله هستند. به عنوان مثال با استفاده از کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی در یک مدل برنامه‌ریزی خطی Jairaj and Vedula (2000) به بررسی نقش عدم قطعیت جریان ورودی در بهره‌برداری بهینه از مخزن پرداختند. Akter and Simonovic (2004) نیز با استفاده از ترکیب مجموعه‌های فازی و الگوریتم ژنتیک عدم قطعیت‌های موجود در توابع جریمه و میزان تخصیص از مخزن را در بهره‌برداری زمان واقعی بررسی کردند. در این مطالعه ابتدا با تعریف پارامترهای غیر قطعی در تابع جریمه مخزن و قیود بهره‌برداری و فازی سازی آنها، مسأله بهینه‌سازی به صورت غیر قطعی بیان گردید. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک میزان بهینه پارامترهای غیرقطعی به منظور بیشینه‌سازی رضایتمندی تصمیم‌گیرندگان و همچنین درآمد، تعیین شد. Huang et al. (2009) به منظور بررسی عدم‌قطعیت موجود در توابع هدف و قیود مرتبط با جریان ورودی به مخزن، مصارف، محدودیت‌های تخصیص و دسترسی به منابع آب، روشی را با استفاده از ترکیب برنامه‌ریزی دینامیکی تصادفی، مجموعه‌های فازی و برنامه‌ریزی شانسی ارائه دادند. این روش قادر بود با احتمالات مشخص، مقایر بهینه تخصیص آب را در شرایط عدم قطعیت تعیین نماید. رویکرد دیگر در پاسخ به هدف مورد اشاره، آنالیز سناریوها است که محققین در حل مسایل تصمیم‌گیری دارای عدم قطعیت از آن استفاده کرده‌اند. برای مثال، Stefano et al. (2004) به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب تحت شرایط عدم قطعیت اقلیمی و هیدرولوژیکی یک سیستم پشتیبان تصمیم مبنی بر آنالیز سناریوها طراحی کردند. در این مطالعه سناریوهای مستقل هیدرولوژیکی برای تعیین مناسب‌ترین تصمیم و همچنین کاهش ریسک سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت.

بررسی تحقیقات فوق نشان داد که اگرچه در روش‌شناسی‌های مورد استفاده، میزان بهینه متغیرهای تصمیم با توجه به عدم قطعیت تعیین می‌شود اما نحوه تغییرات خسارت و ریسک ناشی از تصمیم‌گیری نادرست با توجه به عدم‌قطعیت‌های موجود به تصمیم‌گیرندگان ارائه نمی‌گردد. در تخصیص منابع آب عدم تصمیم‌گیری درست در خصوص میزان و نحوه تامین تقاضا می‌تواند خسارات قابل توجهی را به مصرف‌کنندگان وارد نماید. لذا آگاهی از میزان ریسک وارده بر سامانه می‌تواند راهنمای بسیار مناسبی در تخصیص بهینه منابع و کاهش خسارات وارده در این شرایط باشد. از جمله روش‌های مطرح در زمینه برآورد ریسک تصمیم‌گیری، روش ارزش در معرض ریسک[1] (VaR) و ارزش در معرض ریسک شرطی[2] (CVaR) است. رویکرد VaR و CVaR، مفاهیم و روش‌های جدیدی برای اندازه‌گیری و سنجش خطر احتمالی موجود در بنگاه‌های اقتصادی و از خانواده معیارهای ریسک نامطلوب می‌باشند که قادر به برآورد میزان خسارت و ریسک سیستم با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در متغیرهای تصمیم بوده و در زمینه‌های دیگر علوم نیز از جمله منابع آب، مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از این رویکرد، Webby et al. (2007) به منظور بررسی میزان ریسک و خسارت حاصل از تغییرات تراز دریاچه Burley استرالیا با توجه به عدم قطعیت جریان‌های ورودی و بارش از مفهوم CVaR استفاده کردند. Yamout et al. (2007) مفهوم CVaR را به منظور برآورد ریسک ناشی از تخصیص منابع آب در ایالت فلوریدای آمریکا به کار بردند. در این مطالعه، بیشینه‌سازی میزان رضایتمندی مصرف‌کنندگان با توجه به کمینه‌سازی کمبود آب مد نظر قرار گرفت. Piantadosi et al. (2008) از مفهوم CVaR به منظور مدیریت سیلاب‌های شهری و تهیه سامانه پشتیبان تصمیم در این زمینه استفاده کردند. در این تحقیق، بهینه‌ترین شیوه مدیریت سیلابهای شهری با استفاده از برنامه‌ریزی دینامیک تصادفی به منظور کمینه سازی ارزش در معرض ریسک شرطی و به عبارتی ریسک نامطلوب تصمیم‌گیری، استخراج شد. Shao et al. (2011) نیز با کاربرد مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی در قالب یک مدل برنامه‌ریزی دینامیک تصادفی، تخصیص بهینه آب در شرایط غیرقطعی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل توسعه داده شده با استفاده از مفهوم CVaR از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار است و در شرایط غیر قطعی به خوبی با آستانه ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرندگان انطباق پیدا می‌کند.

تحقیق حاضر نیز تلاشی است که با استفاده از مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی، الگوریتمی به منظور تخصیص بهینه منابع آب در شرایط عدم قطعیت جریان‌های ورودی ارائه گردد. در این

راستا با توسعه یک مدل بهینه‌سازی–شبیه‌سازی و با لحاظ شرایطی که از کمیت و کیفیت آب ارائه می‌گردد، تلاش می‌گردد قابلیت‌های این روش‌شناسی برای تخصیص و توزیع بهینه آب بین شبکه‌های آبیاری، محصولات و مراحل رشد آنها ارزیابی گردد. بدین منظور شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود و اطلاعات اقلیمی منطقه طی سال‌های ۸۷–۱۳۶۲ مورد استفاده قرار گرفته است.

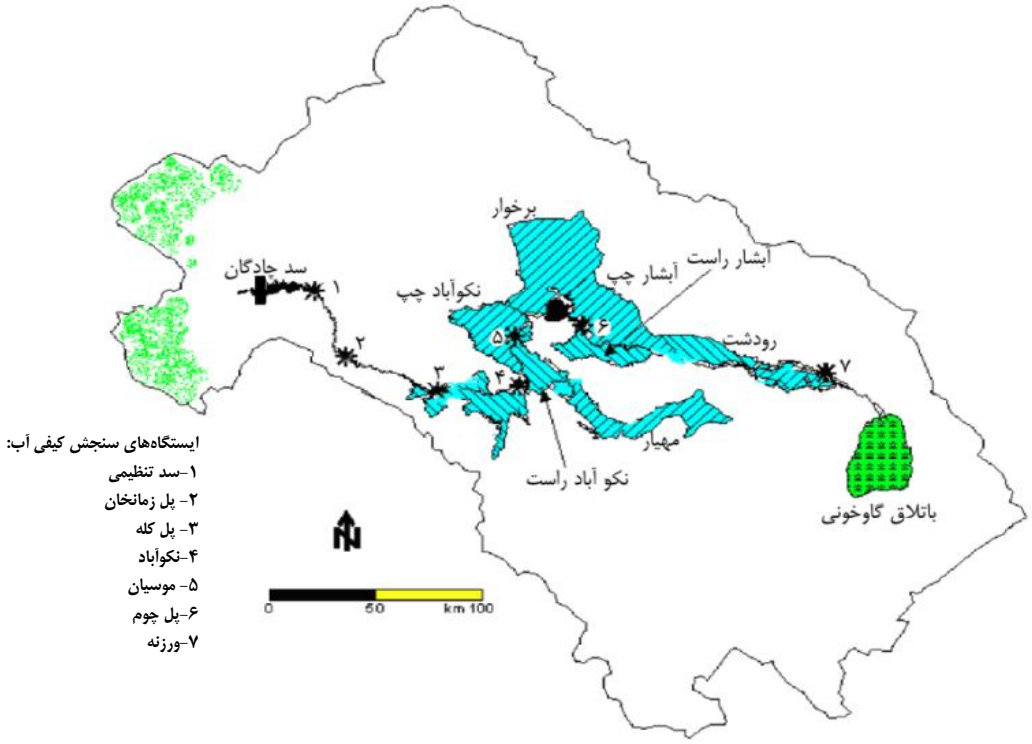
۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

رودخانه زاینده رود با مساحت حوضه آبریز ۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع و طول ۳۵۰ کیلومتر از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و به باتلاق گاوخونی ختم می‌گردد. بر روی این رودخانه سد مخزنی چادگان با حجم کل ۱۴۶۰ میلیون متر مکعب احداث گردیده است (شکل ۱). حجم مخزن مفید ۱۲۵۰ میلیون متر مکعب بوده و به منظور تولید انرژی برق آبی، کنترل سیلاب‌های فصلی، تنظیم آب کشاورزی مورد نیاز ۱۰۰ هزار هکتار اراضی دشت اصفهان و تأمین آب مورد نیاز صنایع مستقر در اصفهان احداث گردیده است.

در پایین دست سد و در طول رودخانه، شبکه‌های کشاورزی، صنایع، شهرها و روستاها از آب آن بهره‌برداری می‌کنند. مهم‌ترین شبکه‌های کشاورزی به ترتیب از بالا به پائین شامل مهیار، نکوآباد راست و چپ، برخوار، آبشار راست و چپ، رودشت و تعدادی شبکه‌های کوچک می‌باشند.

عوامل شورکننده آب زاینده رود تا قبل از شهر اصفهان محدود به روانآب‌های سطحی و زه‌آب‌های اراضی حاصلخیز زراعی است که به علت حجم کم آنها و همچنین شیب و دبی رودخانه دارای اهمیت چندانی نیستند. اما در پایین دست، منابع عمده آلوده کننده و شوری، زهکش‌های زراعی و نفوذ آب‌های زیرزمینی شور هستند که به علت دبی کم رودخانه، باعث شوری بیش از حد آن می‌شود. بررسی آمار واطلاعات کیفی آب نشان می‌دهد که محدوده شوری در رودخانه به طور متوسط از EC برابر با ds/m ۱/۴ در محل سد زاینده رود تا ds/m۱۳ در ایستگاه ورزنه تغییر می‌یابد. در این تحقیق پنج محصول عمده منطقه شامل گندم، جو، چغندر قند و سیب زمینی و یونجه مورد استفاده و بررسی قرار گرفت که تقویم زراعی و عملکرد بیشینه آنها بر اساس مراجع (علیزاده،۱۳۸۰؛ فرشی و همکاران ۱۳۷۶) و اطلاعات محلی در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱- نمایش منطقه مطالعاتی

جدول ۱- تقویم زراعی و عملکرد بیشینه (kg/ha) محصولات زراعی در حوضه زاینده‌رود

ماه / محصول	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	عملکرد بیشینه
گندم		*	*	*	*	*	*	*	*				۹۰۰۰
جو		*	*	*	*	*	*	*	*				۷۰۰۰
چغندرقند							*	*	*	*	*	*	۷۰۰۰۰
سیب زمینی						*	*	*	*	*			۵۰۰۰۰
یونجه (شش چین)	*	*	*				*	*	*	*	*	*	۲۸۳۳ برای هر چین

آمار و اطلاعات هواشناسی مورد نیاز نیز طی دوره ۱۳۸۷- ۱۳۶۲ شامل دمای کمینه، بیشینه و میانگین، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد از ایستگاه سینوپتیک اصفهان تهیه شد. اطلاعات هیدرومتری و تغییرات حجم مخزن هم طی دوره مذکور، از بانک اطلاعاتی شرکت مدیریت منابع آب دریافت گردید.

۲-۲- ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR)

برای توصیف CVaR ابتدا لازم است عدم قطعیت تشریح گردد این واژه عبارت است از عدم اطمینان در مورد پارامترها و متغیرهای مسأله که بازه میان اطمینان کامل و عدم اطمینان محض را در بر می‌گیرد (NRC, 2000). عدم قطعیت در مسائل تصمیم‌گیری موجب بروز اختلال در تصمیم‌گیری صحیح می‌گردد و به عبارتی احتمال وقوع پدیده‌های ناخواسته در سامانه را افزایش داده و ریسک آن را بالا می‌برد. همان‌گونه که بیان شد از جمله روش‌های مطرح در زمینه برآورد ریسک تصمیم‌گیری، روش ارزش در معرض ریسک (VaR) و ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) می‌باشند که بر پایه اندازه‌گیری خسارت وارده بر سیستم در شرایط تصمیم‌گیری نادرست بنا نهاده شده‌اند.

مفهوم VaR، بیشینه زیان وارده بر سیستم در یک افق زمانی مشخص و در یک احتمال معین را بیان می‌کند که با استفاده از تابع تجمعی احتمال خسارت سامانه تعیین می‌گردد. به عبارت دیگر این مفهوم، نمایی کلی و جامع از ریسک سامانه با توجه به وضعیت کنونی متغیرهای مؤثر در خسارت سامانه، ارائه می‌نماید، از اینرو رویکردی با نگاهی آینده‌نگرانه است. این شیوه اندازه‌گیری ریسک ابتدا به وسیله Guldimann در سال۱۹۸۰ ارائه و سپس توسط موسسه مورگان[۳] در اواخر دهه ۱۹۸۰ گسترش داده شد و به صورت زیر تعریف گردید (Andersson et al. 2001) :

$$VaR_\alpha(x) = \min\{z \mid G(x,z) \geq \alpha\} \quad (۱)$$

که در آن، z= خسارت وارده بر سامانه، $G(X,Z)$ = تابع تجمعی احتمال خسارت به ازای متغیر تصمیم x و α = احتمال کمتر بودن مقدار خسارت از z می‌باشد.

VaR هر چند قادر به بیان پتانسیل خسارات وارده به سامانه برای یک تصمیم خاص می‌باشد اما دیدگاهی از شرایط بحرانی‌تر سامانه و به بیان دیگر ریسک ناشی از وقوع شرایط حادتر، که معمولاً مورد نظر تصمیم‌گیرندگان هست، ارائه نمی‌دهد. بدین منظور Rockafellar and Uryasev (2002) شاخص VaR را با توجه به مفهوم امید ریاضی به صورت معیار ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) مورد بازنگری قراردادند. CVaR بیانگر امید ریاضی خسارت وارده بر سیستم در یک افق زمانی مشخص و درصورت وقوع شرایط حادتر از یک تصمیم خاص می‌باشد و در واقع مبین ریسک ناشی از عدم تصمیم‌گیری درست در یک احتمال معین بوده که به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$CVaR_\alpha(x) = E\{z \mid G(x,z) \geq \alpha\} = \frac{1}{1-\alpha}\left\{VaR_\alpha.(\alpha^+ - \alpha) + \int_{(VaR_\alpha,\infty)} z d_z G(x,z)\right\} \quad (۲)$$

که در آن، $\alpha^+ = \lim_{z \to VaR^+_\alpha} G(x,z)$ می‌باشد.

در شکل ۲ تفاوت و نحوه توصیف VaR و CVaR با استفاده از تابع چگالی احتمال نشان داده شده است. در واقع در یک سطح احتمال α ، VaR برابر با بیشینه خسارت مورد انتظار در سامانه با توجه به مقادیر پارامترهای مؤثر بر مسأله بر اساس تصمیم اتخاذ شده، می‌باشد که در شکل با نقطه A نمایش داده شده است. در این شرایط CVaR برابر با میزان متوسط خسارت وارده بر سیستم در

صورتی که تصمیم‌گیری نادرست اتفاق بیافتد و یا متوسط خسارت وارده بر سیستم با احتمالات برابر یا بیشتر از سطح احتمال مورد نظر یعنی ($1-\alpha$) می باشد که در شکل ۲ با نقطه B نشان داده شده است. به عنوان مثال در صورتی که تابع تجمعی احتمال خسارت سامانه با یک معادله خطی به صورت G(z)=0.2z+0.1 در بازه [0.5,5.5] قابل تخمین باشد در این صورت مقدار VaR در سطح احتمال ۹۰ درصد برابر با $\frac{0.9-0.1}{0.2}=4$ خواهد بود. در این شرایط مقدار CVaR به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$CVaR_{\alpha}(x)=\frac{1}{1-0.9}\left\{4.(0.9-0.9)+\int_{(4,5.5)}(0.2z+0.1)zd_z\right\}$$

$$=10.\{(\frac{0.2z^2}{2}+0.1z)\Big|_5^{5.5}\}=7.5$$

بکارگیری مفاهیم VaR و CVaR در مسائل تصمیم گیری، می‌تواند علاوه بر توصیف ریسک سامانه در یک افق زمانی مورد نظر، راهنمای مناسبی جهت تعیین میزان متغیرهای تصمیم باشد به گونه‌ای که خسارت وارده و ریسک ناشی از تصمیم‌گیری نادرست باتوجه به شرایط غیر قطعی موجود، کمینه گردد. لذا در این مطالعه سعی شده است با استفاده از این مفاهیم روشی به منظور تخصیص بهینه منابع آب و با هدف کمینه‌سازی ریسک سامانه ارائه گردد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۲-۳- مدل‌سازی تخصیص بهینه آب بر اساس بیشینه عملکرد تولیدی

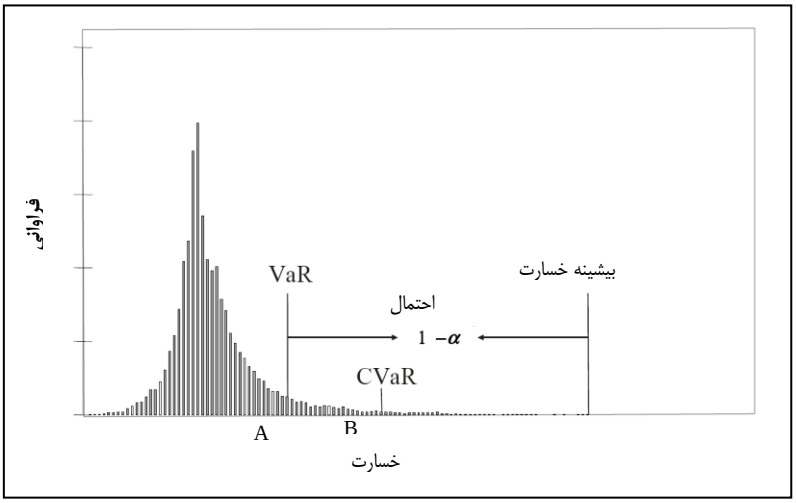
برای روش پیشنهادی به منظور بهینه سازی تخصیص منابع آب با توجه به محدودیت‌های کمی و کیفی آب و شرایط غیرقطعی هیدرولوژیکی مدلی توسعه داده شد که روند نمای آن در شکل ۳ قابل مشاهده است. مدل پیشنهادی با استفاده از تلفیق مفهوم CVaR و یک مدل بهینه‌سازی سه لایه، پی‌ریزی شده است. مدل بهینه‌سازی به منظور تخصیص و توزیع آب بین شبکه‌ها، محصولات کشاورزی و برنامه‌ریزی آبیاری برمبنای بیشینه عملکرد تولیدی استوار بوده و شامل سه زیر مدل که هرکدام تابع هدف و قیود خاص خود را دارند، می‌باشد که در ادامه شرح مختصری از این مدل ارائه می‌شود.

۲-۳-۱- زیر مدل بهینه‌سازی توزیع آب در طول فصل رشد گیاهان

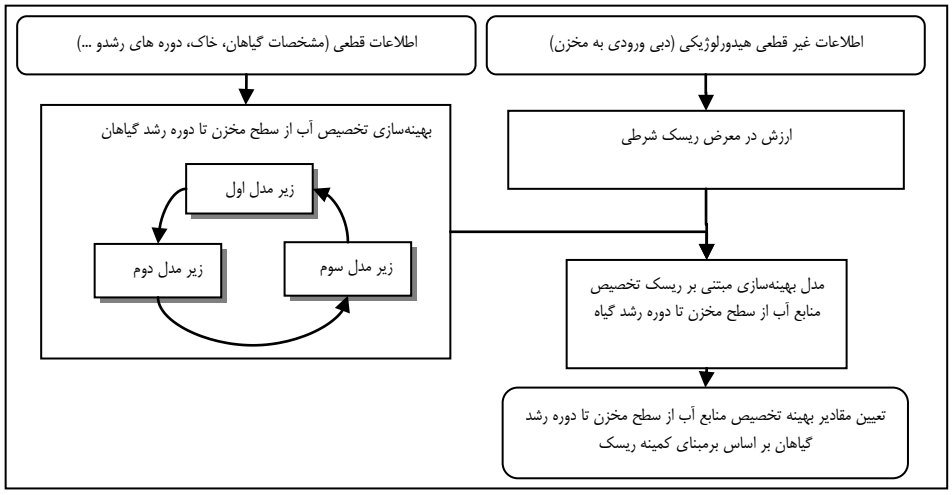
این زیر مدل کل آب مصرفی هر محصول را طی فصل رشد بصورت بهینه در دوره‌های ۱۰ روزه (دور آبیاری مرسوم در منطقه اصفهان) به صورت بهینه توزیع می‌نماید. تابع هدف این مدل بیشینه نمودن عملکرد واقعی محصول با مدنظر قراردادن واکنش گیاه به شوری می‌باشد. عملکرد به صورت تابعی از واکنش گیاه به تنش آبی و شوری و مطابق رابطه زیر شبیه‌سازی می‌گردد:

$$Y=f(Y_{ns},Y_s) \qquad (۳)$$

که در آن Y = عملکرد کلی گیاه، Y_{ns} = واکنش عملکرد گیاه در شرایط تنش آبی و بدون تنش شوری، و Y_S = واکنش عملکرد گیاه نسبت به شوری می‌باشد (McNeal and Coleman,1966; Munns and Termaat, 1986). برای برآورد Y در رابطه (۱) از روش جدید ارائه شده توسط سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد (FAO) استفاده گردید که عملکرد گیاه در شرایط تنش آبی و بدون تنش شوری برآورد می‌کند (Steduto et al., 2007):



شکل ۲- نحوه توصیف VaR و CVaR با استفاده از تابع توزیع احتمال خسارت (Rockafellar and Uryasev (2000))



شکل ۳- الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر ریسک تخصیص منابع آب

$$Y = B.HI = WP.\sum_{n=1}^{N} Tr.HI \qquad (۴)$$

که در آن Y = عملکرد واقعی محصول (kg/ha)، B مقدار ماده خشک تولیدی (kg/ha)، HI = شاخص برداشت برحسب درصد، WP = شاخص تولیدی آب ($kg/(ha.mm_{water}.t)$)، Tr تعرق (mm) و N = بیشینه تعداد دوره‌های مدنظر در طول فصل رشد می‌باشد.

در این رابطه عملکرد محصول بر اساس میزان تعرق گیاه و شاخص‌های اصلاح شده تولیدی آب و برداشت محصول بر مبنای میزان تنش آبی و مدیریت مزرعه در مراحل مختلف رشد محاسبه می‌گردد که در مقایسه با روش قبلی ارائه شده توسط FAO در سال ۱۹۷۹ که عملکرد تنها بر اساس میزان تبخیر تعرق گیاه و ضریب حساسیت آن در دوره‌های چهارگانه رشد محاسبه می‌شود، به نحو مطلوب‌تری قادر به شبیه‌سازی عملکرد محصول بویژه در دوره‌های تنش آبی می‌باشد. همچنین قادر است علاوه بر برآورد میزان عملکرد محصول، میزان ماده خشک تولیدی را نیز در هر مرحله از رشد برآورد کند (Steduto et al., 2007). به منظور برآورد ضرایب معادله ۴ از روابط و توصیه‌های ارائه شده توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) استفاده گردید که با توجه به تعدد آنها از بیان آنها در این مقاله خودداری گردید. شرح کامل این روابط در مراجع (Raes et al., 2010a,b) و دلاور و همکاران (۱۳۹۱) قابل دسترس می‌باشد.

برای قسمت بعدی و واکنش گیاه به شرایط شوری از رابطه زیر استفاده می‌شود که تابعی از شوری متوسط خاک می‌باشد:

$$\frac{Y_s}{Y_{ns}} = f(\bar{S}) = \begin{cases} 1 - a(\bar{S} - EC_e) & \bar{S} > EC_e \\ 1 & \bar{S} \le EC_e \end{cases} \qquad (۵)$$

که در آن ECe = آستانه تحمل گیاه به شوری، a = ضریب کاهش عملکرد گیاه در واحد افزایش شوری و $\bar{s}$ = شوری متوسط خاک می‌باشد (Mass and Hoffman, 1977). مقادیر مربوط به a و ECe در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- آستانه تحمل گیاهان به شوری و ضریب کاهش عملکرد آنها در واحد افزایش شوری
(Mass and Hoffman, 1977)

گیاه	آستانه تحمل گیاه (ECe) ds/m	ضریب کاهش عملکرد گیاه در واحد افزایش شوری (a)
گندم	۶	۷/۱
جو	۸	۵
چغندرقند	۷	۵/۹
سیب زمینی	۱/۷	۱۲
یونجه	۲	۷/۳

شوری متوسط خاک ($\bar{s}$) به صورت متوسط وزنی شوری خاک در ابتدا (S_i) و انتهای (S_f) دوره رشد و مطابق با رابطه زیر قابل برآورد می‌باشد (Feinerman and Yaron, 1983):

$$\bar{s} = w_i \times s_i + w_f \times s_f \qquad (۶)$$

w_i و w_f نیز ضرایب وزنی شوری در ابتدا و انتهای دوره و به صورت توابعی از عمق آبیاری (IR)، بارندگی مؤثر (Pe)، عمق ریشه ($Root$) و مقدار رطوبت اولیه خاک (SM) می‌باشند و مطابق با روابط زیر محاسبه می‌گردند:

$$w_i = (Root \times SM)/(IR + Pe + Root \times SM) \quad (۷)$$

$$w_f = (IR + Pe)/(IR + Pe + Root \times SM) \quad (۸)$$

شوری متوسط خاک همچنین تابعی از شوری آب آبیاری (SI) است که با توجه به میزان نشت عمقی آب (DP) و با استفاده از رابطه بیلان املاح خاک به صورت رابطه زیر قابل برآورد می‌باشد:

$$\overline{S}_t = \frac{IR_t \times SI - Root_t(SM_f \times S_f - SM_i \times S_i)}{DP_t} \quad (۹)$$

بدین ترتیب میزان شوری متوسط خاک در منطقه ریشه به منظور استفاده در رابطه (۵)، با توجه به عمق و شوری آب آبیاری و از حل همزمان روابط (۶ و ۹) تعیین می‌گردد.

با توجه به موارد فوق تابع هدف زیر مدل بهینه سازی توزیع آب در طول فصل رشد گیاهان و بر اساس روابط (۴) و (۵) به صورت زیر حاصل می‌گردد:

$$MAX: Y = \begin{cases} WP.\sum_{n=1}^{N} Tr.HI \times (1 - a(\overline{S} - ECe) & \forall \overline{S} > ECe \\ WP.\sum_{n=1}^{N} Tr.HI & \forall \overline{S} \le ECe \end{cases} \quad (۱۰)$$

قیودات و نکاتی که در مدل‌سازی این بخش مد نظر بوده، شامل محدودیت آب در دسترس، معادله بیلان آب و املاح در خاک، محدودیت تبخیر و تعرق، محدودیت توسعه طول ریشه و نشت عمقی وهمچنین نحوه تاثیرگذاری تنش‌های آبی در هر مرحله از رشد بر میزان عملکرد تولیدی گیاه می‌باشد. شرح بیشتر این قیودات و روابط در مراجع (Ghahraman and Sepaskhah, 2004) و دلاور و همکاران (۱۳۹۱) قابل دسترس هستند.

۲-۳-۲- زیر مدل بهینه‌سازی توزیع آب بین محصولات شبکه‌های آبیاری

این زیر مدل تخصیص بهینه کل آب را در یک شبکه بین محصولات مختلف عهده‌دار است. تابع هدف این مدل بیشینه نمودن سود حاصل از همه محصولات در یک شبکه بوده که بصورت ذیل می‌باشد:

$$MAX\left\{\sum_{k=1}^{K} F_k(V_k) A_k P_k\right\} \quad (۱۱)$$

که در آن، K = تعداد محصولات، $F_k(V_k)$ = تابع عملکرد (رابطه بین بیشینه عملکرد به آب تخصیص داده شده)، A_k = سطح کشت (ha)، و P = درآمد محصول k تعریف می‌گردند.

$F_k(V_k)$ = از زیر مدل قبل برآورد می‌گردد. بدین منظور مدل اول برای هر محصول و به ازای حجم‌های مختلف (محدوده کمینه و بیشینه نیاز آبی طی کل دوره رشد گیاه) اجرا گردید تا عملکرد آنها به ازای احجام مختلف تعیین و تابع مدنظر بدست آید.

محدودیت‌های مد نظر در این بخش شامل سطح زیر کشت، میزان آب در دسترس هر شبکه و محدودیت الگوی کشت می‌باشد که در مرجع (Moghadassi et al., 2010) با توصیف بیشتری قابل مشاهده می‌باشند.

۲-۳-۳- زیر مـدل بهینه‌سازی توزیع آب بین شبکه‌های مختلف

در این زیرمدل، کل آب رها شده از مخزن سد به صورت بهینه بین شبکه‌ها توزیع می‌شود. تابع هدف این مدل بیشینه نمودن سود حاصل از کل شبکه‌ها است:

$$MAX\left\{\sum_{n=1}^{N} F_n(V_n)\right\} \quad (۱۲)$$

که در آن، N = تعداد شبکه‌ها و $F_n(V_n)$ = تابع سود هر شبکه به ازای آب تخصیص یافته می‌باشد. برای محاسبه $F_n(V_n)$ مدل دوم، برای هر شبکه و به ازای حجم‌های مختلف اجرا گردید تا تابع مربوط (حجم آب اختصاص یافته به هر شبکه در مقابل سود) بدست آید.

در این زیر مدل برای محاسبه میزان جریان خروجی از مخزن از معادله پیوستگی استفاده می‌شود. همچنین آب مورد نیاز بخش صنعت و شرب و آب موردنیاز برنج به طور کامل تخصیص می‌یابد، بدین ترتیب:

$$S_{t+1} = I_t + S_t + W_i + W_{D,I} - R_t \quad (۱۳)$$

که در آن، R_t = آب رهاشده برای شبکه‌های کشاورزی، I_t=کل آب ورودی به مخزن سد، S_t و S_{t+1} = به ترتیب حجم مخزن در ابتدا و انتهای هر دوره، W_i = مقدار آب مورد نیاز برنج، $W_{D,I}$ = مقدار آب مورد نیاز بخش‌های شرب و صنعت و t دوره زمانی می‌باشد که در اینجا یک سال در نظر گرفته شده است (تلفات نشت، تبخیر از سد و بارندگی روی سطح آن ناچیز فرض گردید).

۲-۴- مدل‌سازی تخصیص بهینه آب بر اساس مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR)

همانگونه که قبلاً اشاره شد، به‌کارگیری مفهوم CVaR در مسائل بهینه‌سازی امکان برآورد مقادیر بهینه پارامترهای تصمیم بر اساس عدم قطعیت‌ها و شرایط احتمالاتی مسأله با کمینه ریسک را فراهم

می‌کند. توسعه مدل بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در این شرایط با توجه به مدل تخصیص بهینه آب بر اساس بیشینه عملکرد تولیدی و طی سه مرحله مطابق با شکل ۴ و به ترتیب زیر انجام می‌گیرد:

گام اول: تعیین توابع عملکرد بهینه محصولات و شبکه‌ها به ازای مقادیر مختلف شوری آب آبیاری

در این گام ابتدا زیر مدل اول برای هر محصول به ازای احجام مختلف آب و مقادیر مختلف شوری آب اجرا و سپس با استفاده از آنها عملکرد متناظر محصول محاسبه و نهایتاً تابع عملکرد تعیین می‌گردد. در مرحله بعد، بر اساس تابع عملکرد محصولات مختلف درون یک شبکه (خروجی مدل اول)، مدل دوم ساخته و این مدل به ازای دبی‌ها و مقادیر مختلف شوری آب اجرا گردید تا تابع عملکرد شبکه‌ها محاسبه شود.

گام دوم: تعیین تابع تجمعی احتمال خسارت بر اساس شرایط احتمالاتی دبی ورودی به مخزن

در این مرحله الگوریتم بهینه‌سازی تخصیص با توجه به شرایط مختلف هیدرولوژیکی و میزان تغییرات شوری در طول رودخانه اجرا می‌گردد. بدین منظور ابتدا میزان دبی سالیانه ورودی به مخزن سد با احتمالات مختلف با استفاده از تحلیل فراوانی داده‌های مشاهداتی تعیین می‌شود. سپس در هر احتمال، توابع عملکرد هر گیاه در هر شبکه و همچنین تابع عملکرد شبکه‌ها با توجه به میزان شوری آب در محل آبگیری از رودخانه مشخص می‌شود و در ادامه بر اساس آنها تابع هدف مدل بهینه‌سازی تخصیص آب بین محصولات مختلف در یک شبکه (زیر مدل دوم) و بهینه سازی توزیع آب بین شبکه‌ها (زیر مدل سوم) تعیین می‌گردد. بدین ترتیب تابع تجمعی احتمال عملکرد و درآمد محصولات، شبکه‌ها و سامانه برآورد می‌شود.

به منظور تعیین شرایط آرمانی عملکرد سامانه نیز مدل بهینه‌سازی در شرایط تامین دبی مورد انتظار در احتمال مور نظر و با توجه به کیفیت متناظر آب رودخانه اجرا و مقادیر حدی توابع عملکرد استخراج می‌گردد. در نهایت در این مرحله با توجه به تفاوت توابع عملکرد در هر شرایط احتمالاتی از مقادیر حدی آنها توابع خسارت محصولات، شبکه‌ها و سامانه محاسبه می‌شود. بدین ترتیب در هر احتمال در صورت وقوع دبی برابر یا بیشتر از حد مورد انتظار، خسارت وارده به سامانه صفر و در غیر این صورت خسارت سامانه برابر با تفاوت عملکرد سامانه با شرایط آرمانی می‌باشد.

گام سوم: اصلاح توابع هدف مسأله بهینه‌سازی بر اساس مفهوم CVaR و تعیین مقادیر بهینه تخصیص

در این مرحله تابع هدف مسأله با استفاده از توابع تجمعی احتمال خسارت استخراج شده در مرحله قبل و مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی به گونه‌ای تعریف می‌گردد که ریسک نامطلوب سامانه کمینه شود. بر این اساس توابع هدف مدل بهینه سازی با توجه به تابع تجمعی احتمال خسارت هر زیر مدل و مقادیر ارزش در معرض ریسک محاسبه شده (VaR) در هر احتمال و با توجه به سطح اطمینان مورد نظر (α) به صورت زیر بازنویسی می‌گردند:

$$MinCVaR_{\alpha}(x) = \frac{1}{1-\alpha}\left\{VaR_{\alpha}.(\lim_{z\to VaR_{\alpha^+}} G(z)-\alpha)+\int_{(VaR_{\alpha},\infty)} z d_z G(z)\right\} \quad (۱۴)$$

که در آن، $G(z)$ با توجه به تابع تجمعی احتمال خسارت محصولات $Lcrop_{n,k}$ و تابع تجمعی احتمال خسارت شبکه $Lnet(z)$ براساس میزان حجم سالیانه آب تحویلی (z) به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$G(z)=\sum_{n=1}^{N} Lnet(z)+\sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{Kn} Lcrop_{n,k}(z) \quad (۱۵)$$

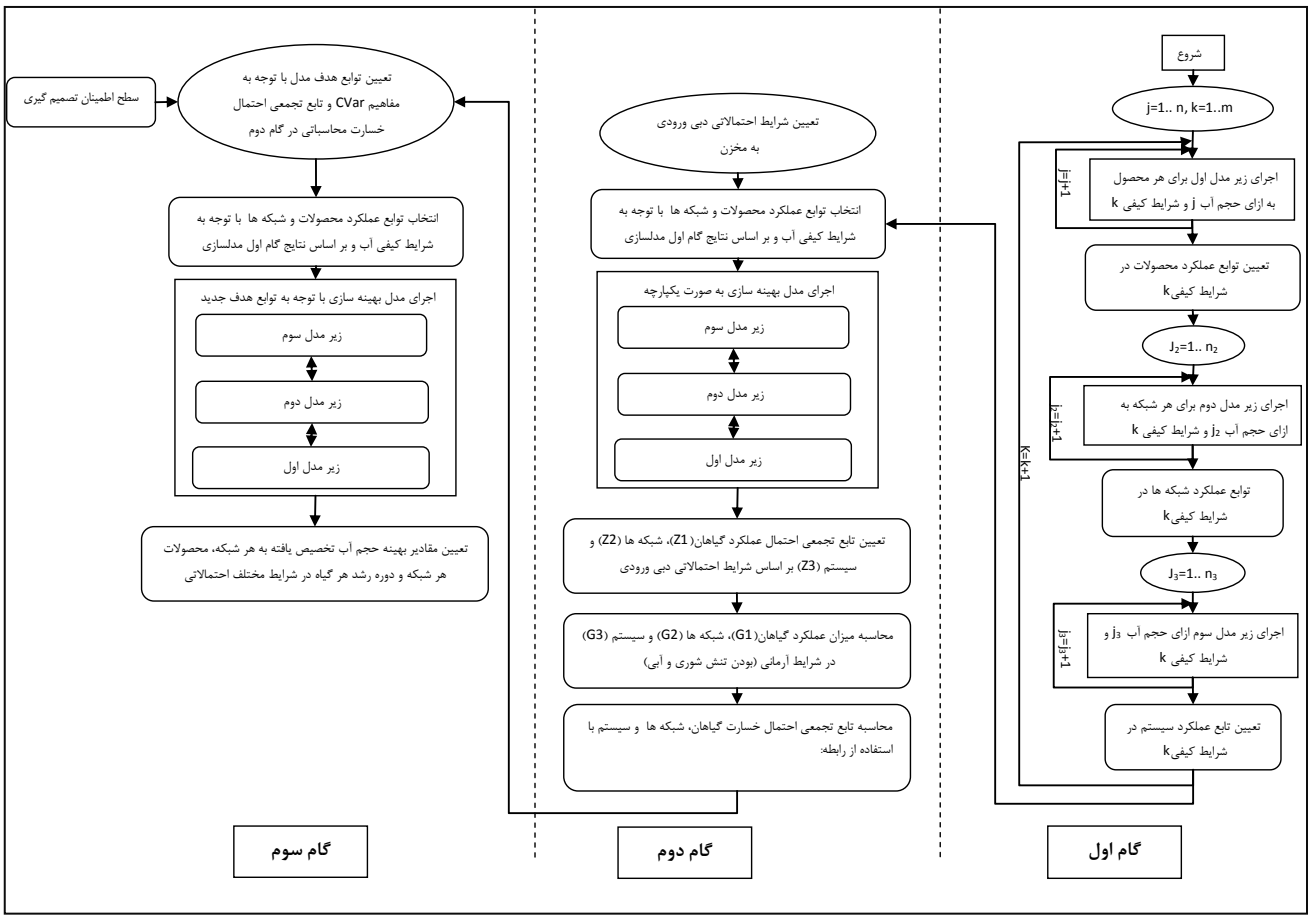
که در آن، N = تعداد شبکه‌ها، و Kn = تعداد محصولات در شبکه n می‌باشد.

توسعه مدل تخصیص منابع آب از طریق کدنویسی در محیط Visual Basic 6.0 و با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی نرم‌افزار Lingo انجام می‌شود. بدین منظور با فراخوانی DLL[۴]های مربوط در محیط برنامه‌نویسی ویژوال بیسک بهینه‌سازی سیستم از طریق برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)[۵] انجام می‌شود. بدین‌ترتیب مدل توسعه یافته، آب تحویلی را بر اساس راندمان مورد نظر به طور بهینه و بر اساس دور آبیاری طی دوره رشد، الگوی کشت و شبکه‌های آبیاری به نحوی توزیع می‌کند که کمینه خسارت برای هرگیاه، شبکه و نهایتاً کل سامانه حاصل گردد.

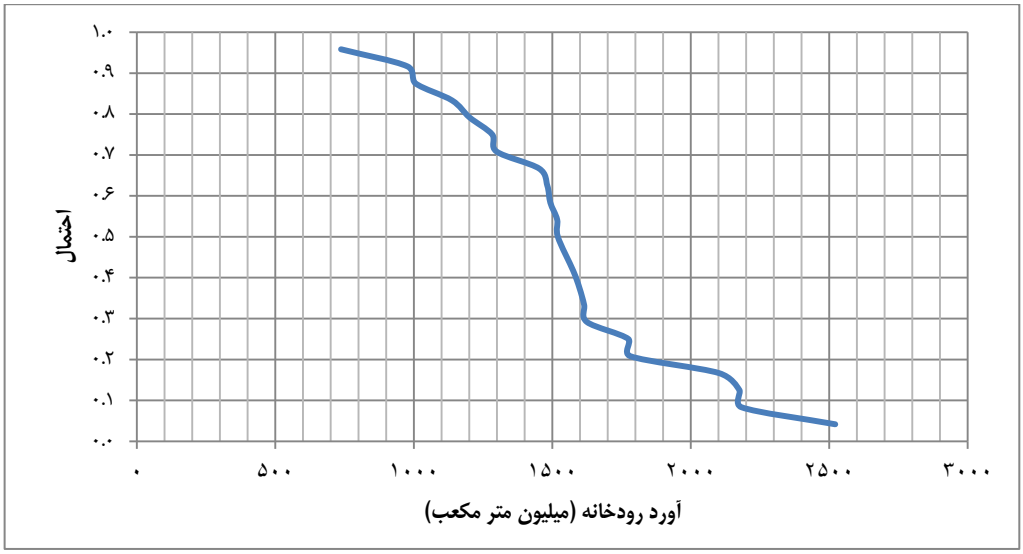
۳- نتایج و بحث

در این بخش به ارزیابی نتایج اجرای مدل برای سامانه آبی زاینده رود پرداخته می‌شود. ارزیابی عملکرد مدل بر اساس اطلاعات سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۶۲صورت می‌گیرد. برای اجرای مدل، اولین و مهم ترین ورودی، مقدار احتمالاتی آورد ورودی به سد زاینده رود می‌باشد. که با توجه به تحلیل فراوانی داده‌های مشاهداتی مطابق شکل ۵ استخراج گردید.

حجم اولیه سد چادگان با توجه به شرایط مخزن در دوره‌های خشک به طور متوسط ۳۰۰ میلیون متر مکعب (MCM) در نظر گرفته شد. به منظور تعیین میزان تخصیص بخش کشاورزی ابتدا بر اساس آمار موجود حجم مورد نیاز مصرف شرب و صنعت برابر MCM ۳۰۰ برآورد و بر این اساس، با توجه به کل جریان خروجی از سد، سهم بخش کشاورزی محاسبه گردید.



شکل ۴- الگوریتم مدل سازی تخصیص بهینه آب بر اساس مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی



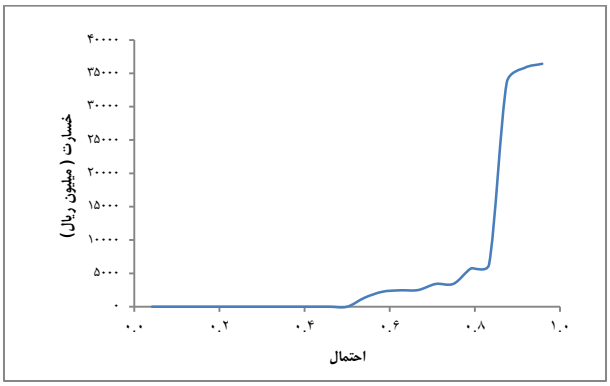
شکل ۵- توزیع تجمعی احتمال آورد سالیانه سد زاینده رود

از این مقدار نیز کل آب مورد نیاز برنج بر مبنای ۱۷۰۰ میلی‌متر در هکتار برابر ۱۱۶/۲ MCM محاسبه شد که به صورت کامل تأمین و مابقی برای در اختیار سایر محصولات قرار گرفت. بدین ترتیب این مقدار، میزان آبی خواهد بود که در اختیار مدل برای انجام محاسبات تخصیص قرار می‌گیرد.

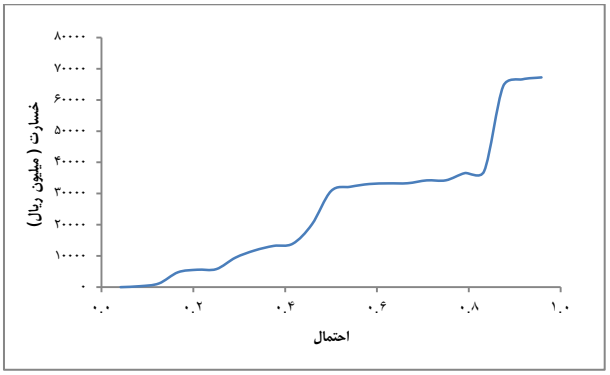
با اجرای مدل با توجه به مقادیر دبی ورودی به مخزن سد در هر احتمال، تابع تجمعی احتمال خسارت سامانه برآورد می‌گردد. به عنوان نمونه شکل ۶ تابع تجمعی احتمال خسارت سامانه در احتمالات ۴ درصد و ۵۰ درصد رانشان می‌دهد.

توابع تجمعی احتمال یاد شده بیانگر میزان خسارت وارده بر سامانه در صورت وقوع دبی کمتر از حد مورد انتظار در تصمیم‌گیری می‌باشد. به عنوان مثال در شکل ۶-الف ملاحظه می‌گردد که درصورت مد نظر قرار دادن احتمال ۵۰ درصد (آورد سالیانه ۱۵۷۰ میلیون متر مکعب) در تصمیم‌گیری، میزان خسارت وارده به سامانه تا احتمال ۵۰ درصد صفر و با افزایش احتمال وقوع (کاهش آورد سالیانه) میزان خسارت وارده به سامانه تا ۳۶۰۰۰ میلیون ریال به ازای وقوع کم‌ترین آورد مورد انتظار تغییر می‌کند.

نحوه تغییرات ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) در سطوح اطمینان مختلف به ازای مقادیر مختلف آورد سالیانه (احتمال وقوع‌های مختلف) در شکل ۷ آورده شده است. مقادیر CVaR در شکل ۷ بیانگر متوسط خسارت وارده بر سامانه در صورت وقوع شرایط حادتر از حد مورد انتظار (وقوع آورد سالیانه کمتر) در یک سطح اطمینان مورد نظر می‌باشد. سطح اطمینان تصمیم‌گیری بر اساس میزان انعطاف پذیری و به عبارتی بازه اطمینان تصمیم‌گیرنده از وقوع دبی مورد نظر تعیین می‌گردد. به عنوان مثال سطح اطمینان ۹۰ درصد در تصمیم‌گیری بر اساس آورد سالیانه ۱۵۷۰ میلیون متر مکعب (احتمال ۵۰ درصد) نشان دهنده حد مجاز تغییرات آورد تا ۱۰۰۶ میلیون متر مکعب می‌باشد و بر این اساس میزان متوسط خسارت وارده به سامانه در صورت عدم وقوع شرایط تصمیم‌گیرنده برابر با ۱۸۴۶۸۸ میلیون ریال می‌باشد.

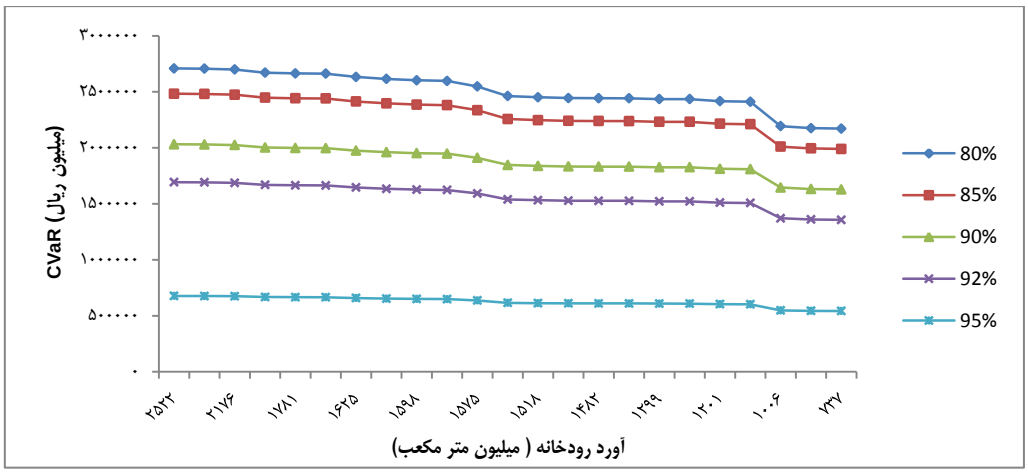


الف



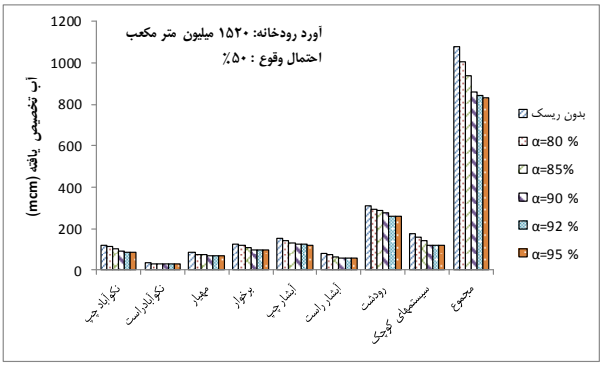
ب

شکل ۶- توزیع تجمعی احتمال خسارت سامانه در الف) احتمال ۵۰٪ و ب) احتمال ۴ ٪

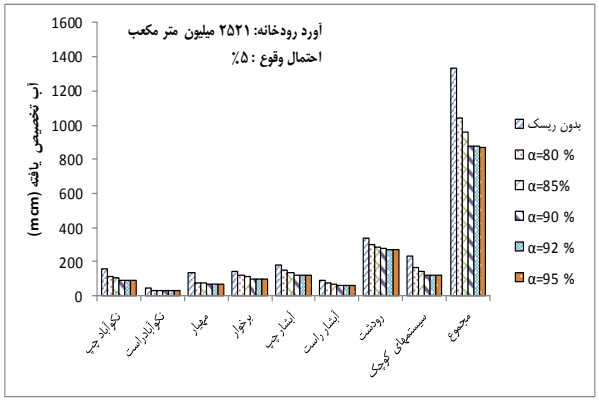


شکل ۷- نحوه تغییرات آب تخصیص یافته و CVaR در احتمالات مختلف وقوع دبی ورودی در شبکه‌های آبیاری زاینده رود

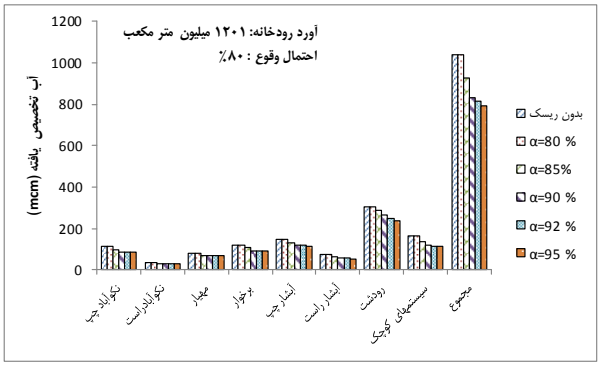
همانطور که از شکل مشخص می‌گردد در هر شرایط احتمالاتی وقوع با افزایش سطح اطمینان (α) مقدار CvaR افزایش می‌یابد. میزان تخصیص بهینه آب در شبکه‌های مختلف با توجه به سطوح مختلف اطمینان و بر اساس احتمالات ۵، ۵۰ و ۸۰ درصد وقوع آورد سالیانه نیز در شکل ۸ آورده شده است.



الف



ب



ج

شکل ۸- تخصیص بهینه آب در شبکه‌های آبیاری سد زاینده رود الف) به ازای در احتمال ۵ ٪ ب) به ازای احتمال ۵۰٪ و ج) به ازای احتمال ۸۰٪ درصد وقوع آورد سالیانه

ملاحظه می‌گردد که با افزایش سطح اطمینان و به عبارتی افزایش ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده میزان تخصیص بهینه آب به شبکه‌های آبیاری در هر احتمال به منظور کمینه‌سازی خسارت وارده به سامانه کاهش می‌یابد. در این راستا شبکه آبیاری رودشت و نکوآباد راست، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان تخصیص در هر احتمال و سامانه‌های آبیاری کوچک دارای بیشترین حساسیت نسبت به سطح اطمینان تصمیم‌گیری می‌باشد. به عنوان نمونه میزان درآمد متناظر با هر تخصیص به ازای آورد سالیانه ۲۵۲۱ میلیون مترمکعب (احتمال وقوع ۵ درصد) با توجه به سطوح اطمینان مختلف در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد درآمد حاصل از سامانه با توجه به افزایش سطح اطمینان تصمیم‌گیرنده به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد، در این حالت با افزایش سطح اطمینان از ۱۰ درصد به ۹۵ درصد، درآمد حاصله به میزان ۶۶۰۴۵۷ میلیون ریال به ازای کاهش حجم آب تحویلی به میزان ۴۵۰ میلیون متر مکعب، کاهش می‌یابد.

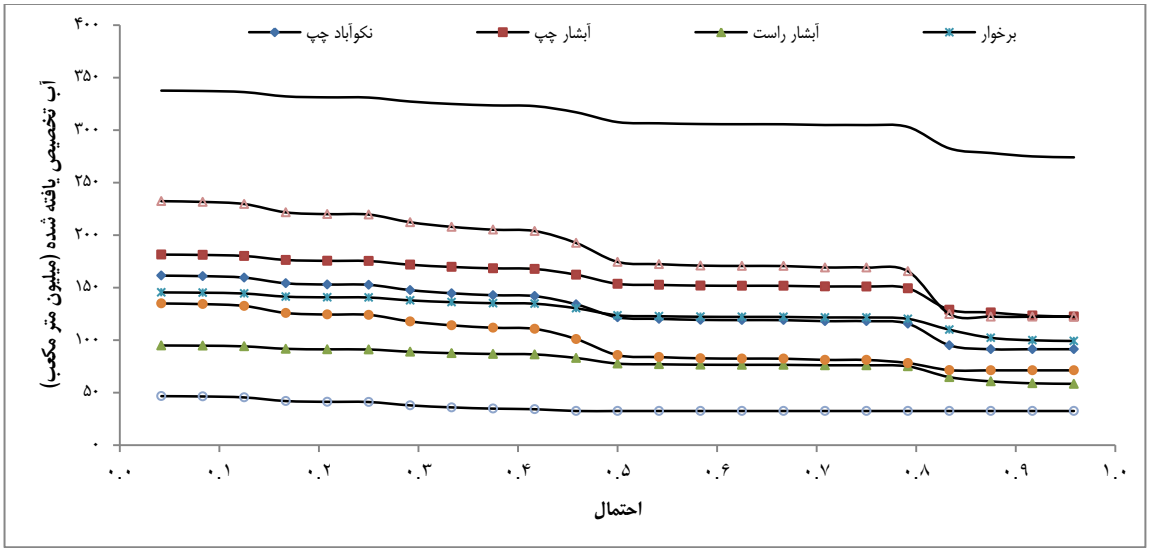
مقایسه میزان تخصیص بهینه آب به شبکه‌های آبیاری به ازای احتمالات مختلف آورد سالیانه در سطوح مختلف اطمینان حاکی از کاهش حجم آب تخصیص یافته به هر شبکه با افزایش احتمال وقوع دبی کم می‌باشد. این در حالی است که میزان ریسک تصمیم‌گیری بر اساس مقدار CVaR نیز مطابق با شکل ۷ کاهش می‌یابد. در شکل ۹ نحوه تغییرات حجم آب تخصیص یافته به هر شبکه در سطح اطمینان یک درصد نشان داده شده است.

ملاحظه می‌گردد که منحنی تخصیص آب به شبکه‌های آبیاری دارای دو پایین افتادگی در احتمالات ۵۰ درصد و ۸۳ درصد می‌باشد. با توجه به تغییرات حجم مفید مخزن در جدول ۳ مشاهده می‌گردد که در احتمالات وقوع ۵۰ درصد و بیشتر حجم مفید مخزن جوابگو نبوده و عبارتی سامانه تنها متکی به آورد رودخانه می‌باشد که این عامل منجر به افت شدید در میزان آب تحصیص یافته به هر شبکه و همچنین درآمد سامانه می‌گردد. با توجه به کمینه نیاز آبی هر شبکه در جدول ۳ مشاهده می‌گردد که در احتمال وقوع ۸۳ درصد دبی رودخانه قادر به تامین کمینه نیاز نبوده که این امر موجب افت شدید در عملکرد محصولات شبکه‌ها و درآمد سامانه می‌گردد. با ترسیم منحنی نحوه تغییرات ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) و درآمد حاصله از سیستم در سطوح مختلف اطمینان مطابق با شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد که در هر سطح اطمینان درآمد سیستم متناظر با افزایش احتمال وقوع جریانات کم کاهش می‌یابد و در احتمالات ۵۰ درصد و ۸۳ درصد افت قابل توجهی در میزان درآمد

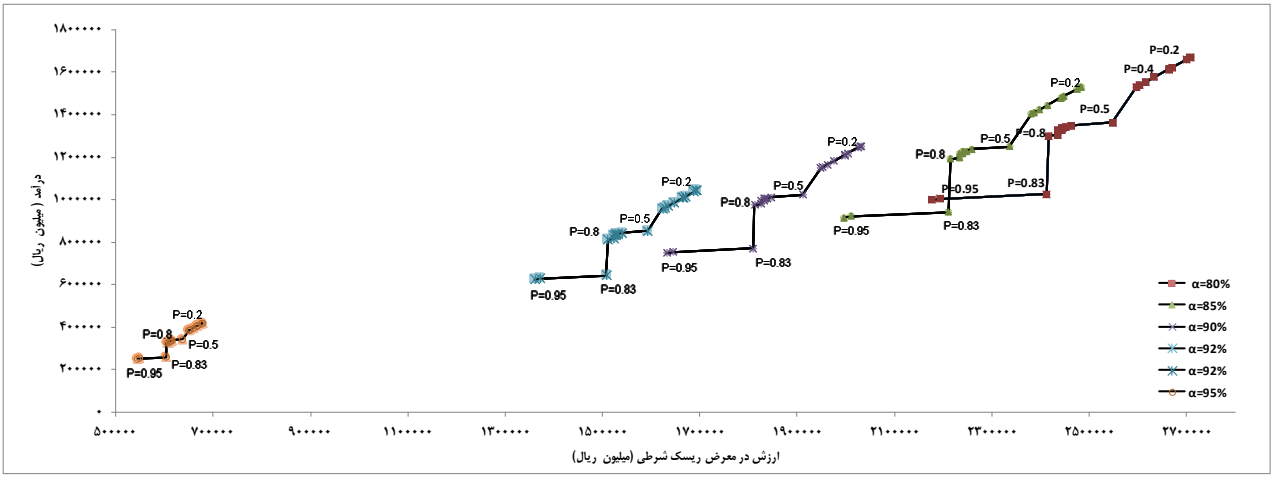
سامانه مشاهده می‌گردد. این در حالی است که میزان متوسط خسارت وارده به سامانه در صورت کاهش بیشتر جریان ورودی به سد و به عبارتی ریسک تصمیم‌گیری نیز با افزایش احتمال وقوع جریانات کم (بر اساس منحنی تغییرات CVaR) دارای دو جهش در احتمالات یاد شده می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌گردد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میزان درآمد و مقادیر CVaR در سطح اطمینان ۹۵ درصد نسبت به سایر سطوح اطمینان تصمیم‌گیری وجود دارد. در این حالت با افزایش سطح اطمینان از ۹۲ درصد به ۹۵ درصد، به طور متوسط CVaR و متناظر با آن درآمد سامانه به ترتیب ۹۴۴۶۷ و ۵۲۹۴۳ میلیون ریال کاهش می‌یابد. کاهش سطوح اطمینان تصمیم‌گیری و همچنین کاهش احتمال وقوع جریانهای کم در رودخانه باعث افزایش خسارت وارده به سامانه و از طرفی افزایش افزایش درآمد سامانه می‌گردد. در این شرایط اتخاذ تصمیم بهینه متکی به آستانه ریسک‌پذیری تصمیم‌گیرنده می‌باشد.

جدول ۳- میزان تخصیص آب و درآمد به ازای آورد سالیانه ۲۵۲۱ میلیون متر مکعب در سطوح مختلف اطمینان

شبکه آبیاری	α=۰/۱		α=۰/۳		α=۰/۵		α=۰/۷		α=۰/۹		α=۰/۹۵		کمینه آب مورد نیاز (MCM)
	۵۵۷= حجم مفید مخرن		۱۴۶= حجم مفید مخرن		۸۷= حجم مفید مخرن		۰= حجم مفید مخرن		۰= حجم مفید مخرن		۰= حجم مفید مخرن		
	حجم آب تحویلی (MCM)	درآمد (میلیون ریال)	حجم آب تحویلی (MCM)	درآمد (میلیون ریال)	حجم آب تحویلی (MCM)	درآمد (میلیون ریال)	حجم آب تحویلی (MCM)	درآمد (میلیون ریال)	حجم آب تحویلی (MCM)	درآمد (میلیون ریال)	حجم آب تحویلی (MCM)	درآمد (میلیون ریال)	
نکوآباد چپ	۱۵۹.۶	۱۵۵۶۵۴	۱۴۷.۷	۱۳۶۸۴۶	۱۲۱.۸	۱۰۹۶۹۵	۱۱۸.۱	۱۰۴۱۲۷	۹۱.۴	۵۷۴۸۱	۹۱.۴	۵۷۴۸۱	۱۱۵
نکوآبادراست	۴۵.۵	۲۴۴۸۸	۳۷.۹	۱۲۵۰۲	۳۲.۶	۱۰۴۴۲	۳۲.۶	۱۰۴۴۲	۳۲.۶	۱۰۴۴۲	۳۲.۶	۱۰۴۴۲	۳۰
مهیار	۱۳۲.۶	۱۳۰۵۶۴	۱۱۷.۹	۱۰۷۲۴۶	۸۵.۸	۷۳۵۸۲	۸۱.۲	۶۶۶۸۰	۷۱.۳	۵۰۷۱۷	۷۱.۳	۵۰۷۱۷	۷۸
برخوار	۱۴۴.۴	۲۱۷۸۹۳	۱۳۷.۹	۲۰۷۵۴۷	۱۲۳.۶	۱۹۲۶۱۰	۱۲۱.۶	۱۸۹۵۴۷	۹۹.۹	۱۴۹۵۵۸	۹۹.۳	۱۴۸۱۶۸	۱۲۰
آبشار چپ	۱۸۰.۲	۲۷۰۱۸۰	۱۷۱.۸	۲۵۶۹۹۰	۱۵۳.۷	۲۳۷۹۴۹	۱۵۱.۱	۲۳۴۰۴۴	۱۲۳.۴	۱۸۳۰۶۶	۱۲۲.۶	۱۸۱۲۹۳	۱۴۵
آبشار راست	۹۴.۱	۱۲۱۸۹۶	۸۹	۱۱۳۷۲۱	۷۷.۷	۱۰۱۹۱۸	۷۶.۱	۹۹۴۹۸	۵۹	۶۷۸۹۹	۵۸.۴	۶۶۸۰۱	۷۴
رودشت	۳۳۶.۲	۵۳۹۲۵۷	۳۲۷.۲	۵۲۵۰۳۷	۳۰۷.۶	۵۰۴۵۰۷	۳۰۴.۹	۵۰۰۲۹۷	۲۷۵	۴۴۵۳۳۳	۲۷۴.۱	۴۴۳۴۲۲	۳۰۰
سیستمهای کوچک	۲۲۹.۶	۱۹۸۶۹۶	۲۱۲.۳	۱۷۱۲۹۷	۱۷۴.۶	۱۳۱۷۴۱	۱۶۹.۲	۱۲۳۶۳۰	۱۲۲.۳	۳۹۸۴۷	۱۲۲.۳	۳۹۸۴۷	۱۶۵
مجموع	۱۳۲۲.۴	۱۶۵۸۶۲۸	۱۲۴۱.۷	۱۵۳۱۱۸۵	۱۰۷۷.۴	۱۳۶۲۴۴۴	۱۰۵۴.۹	۱۳۲۸۲۶۵	۸۷۵	۱۰۰۴۳۴۱	۸۷۲.۱	۹۹۸۱۷۰	۱۲۰۷



شکل ۹- نحوه تغییرات حجم آب تخصیص یافته به هر شبکه در در سطح اطمینان یک درصد



شکل ۱۰- نحوه تغییرات درآمد و CVaR به ازای احتمالات مختلف وقوع دبی ورودی و سطوح مختلف اطمینان در شبکه‌های آبیاری زاینده رود

شکل ۱۰ اطلاعات مفیدی را در خصوص انتخاب بهترین احتمال وقوع جریان و همچنین سطح اطمینان تصمیم‌گیری ارائه می‌دهد. به عنوان مثال در صورت پذیرش ریسکی معادل ۱۸۱۰۰۰ میلیون ریال، تصمیم‌گیرنده می‌تواند نهایتاً احتمال وقوع ۸۰ درصد با سطح اطمینان ۹۰ درصد را ملاک تصمیم‌گیری قرار دهد در غیر این صورت متوسط خسارت وارده به سامانه در صورت وقوع شرایط حادتر فراتر از آستانه ریسک پذیری مورد نظر خواهد بود.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه سعی شده است با استفاده از مفهوم ارزش در معرض ریسک شرطی، الگوریتمی به منظور تخصیص بهینه منابع آب در شرایط عدم قطعیت ارائه گردد. در این راستا روشی مبتنی بر یک مدل بهینه‌سازی–شبیه‌سازی و با لحاظ شرایط کمی و کیفی آب ارائه گردید که قادر است مقادیر بهینه تخصیص آب را در شبکه‌های آبیاری با توجه به کمینه ریسک تصمیم‌گیری محاسبه کند.

به منظور ارزیابی و بررسی روش شناسی ارائه شده، شبکه‌های آبیاری زاینده رود و اطلاعات اقلیمی منطقه طی سالهای ۸۷-۱۳۶۲ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل مبتنی بر ریسک ارائه شده بر مبنای ارزش در معرض ریسک شرطی قادر است علاوه بر کمک تصمیم‌گیرندگان به منظور دستیابی به تصمیمات واقع بینانه، راهکارهای مناسبی را در جهت کاهش ریسک پذیری مسائل تخصیص منابع آب ارائه نماید.

بهره‌گیری از مفهوم احتمالاتی CVaR در مدل تخصیص منابع آب، می‌تواند علاوه بر توصیف نحوه تغییرات ریسک پذیری سامانه در یک افق زمانی مورد نظر، میزان تخصیص بهینه آب را به گونه‌ای تعیین کند که خسارت وارده و ریسک ناشی از تصمیم‌گیری نادرست را باتوجه به شرایط غیر قطعی هیدرولوژیکی، کمینه گردد. لذا مدل بهینه‌سازی غیرقطعی ارائه شده می‌تواند در کنار مدلهای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب برمبنای بیشینه‌سازی عملکرد، یک فضای احتمالاتی تصمیم را به منظور اتخاذ تصمیمات صحیح و کاهش ریسک نامطلوب در اختیار کاربر قرار دهد. همچنین تلفیق مفاهیم VaR و CVaR در کنار هم می‌تواند، دیدگاه کاملی در اختیار تصمیم‌گیرنده از لحاظ ریسک سیستم در زمان اتخاذ تصمیم و همچنین شرایط حادتر سیستم در آینده قرار دهد. اما، اصولا استفاده آنها در بحث‌های مدیریت منابع آب کم است و کار بیشتری را برای آن طلب می‌کند.

پی نوشت‌ها

1-Value at Risk
2- Conditional Value at Risk
3- J.P. Morgan
4 - Dynamic Link Libraries
5-Non linear Programing

۵- مراجع

دلاور م، مرید س، مقدسی م (۱۳۹۱) مقایسه توابع عملکرد محصولات و تخصیص آب آبیاری بر اساس روش‌های جدید و

قدیم FAO در شبکه آبیاری زاینده رود. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، شماره (۲)۱۳: ۱- ۱۳.

فرشی ع ا، شریعتی م ر، جارالهی ر، قاسمی م ر، شهابی‌فر م، فولادی س م (۱۳۷۶) برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول گیاهان زراعی، موسسه تحقیقات خاک و آب.

علیزاده ا (۱۳۸۰) طرح پروژه ملی (توتک) بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی در ایران. سازمان هواشناسی کشور و وزارت جهاد کشاورزی.

Akter T, Simonovic SP (2004) Modelling uncertainties in short-term reservoir operation using fuzzy sets and a genetic algorithm. Hydrological Science Journal 49(6):1081-1079.

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

Feinerman E, Yaron D (1983) Economics of irrigation water mixing within a farm framework. Water Resources Research 19:337-345.

Ghahraman B, Sepaskhah AR (2004) Linear and non-linear optimization models for allocation of alimited water supply. Irrigation and Drainage 53:39-54.

Huang YP, Li GH, Huang YF, Zhou HD (2009) A multistage fuzzy-stochastic programming model for supporting sustainable water-resources allocation and management. Environmental Modelling & Software 24:786–797.

Jairaj PG, Vedula S (2000) Multi-reservoir system optimization using fuzzy mathematical programming. Water Resources Management 14: 457–472.

Maqsood I, Huang GH, Yeomans JS (2005) An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty. Eur J Oper Res 167(1):208–225.

Mass EV, Hoffman GJ (1977) Crop salt tolerance current assessment. J. Irrigation and Drainage Division. ASCE 103:115-134.

McNeal BL, Coleman NT(1966) Effect of solution and hydraulic conductivity. Soil Science 30:308-312.

Moghaddasi M, Morid S, Araghinejad S, Agha Alikhani M (2010) Assessment of irrigation water allocation based on optimization and equitable water reduction approaches to reduce agricultural drought losses: the 1999 drought in the zayandeh rud irrigation system (Iran). Journal Irrigation and Drainage Engineering 59:377-387.

Munns R, Termaat A (1986) Whole plant responses to salinity. Australian Journal of Plant Physiology 13:143-160.

National Research Council (NRC) (2000). Risk analysis and uncertainty in flood damage reduction studies, Committee on Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction. Washington, DC: National Academies Press.

Piantadosi J, Metcalfe, AV and Howlett PG (2008) Stochastic dynamic programming (SDP) with a conditional value-at-risk (CVaR) criterion for anagement of storm-water. Journal of Hydrology 348:320–329.

Raes D, Steduto P, Hsiao TC, Fereres E (2010a) AquaCrop- The FAO crop model to simulate yield response to water. Reference Manual.

Raes D, Steduto P, Hsiao TC, Fereres E (2010b) AquaCrop Reference Manual (Annexes) .

Rockafellar RT, Uryasev S (2000) Optimization of Conditional Value-at-Risk. The Journal of Risk 2(3):186-190.

Shao LG, Qin XS, Xu Y (2011) A conditional value-at-risk based inexact water allocation model. Water Resour Manage 25:2125–2145.

Steduto P, Hsiao TC, Fereres E (2007) On the conservative behavior of biomass water productivity. Irrigation Sciences 25:189-207.

Stefano P, Giovanni MS, Paola Z (2004) A DSS for water resources management under uncertainty by scenario analysis. Environmental Modelling & Software 20:1031–1042.

Webby RB, Adamson PT, Boland PG, Howlett AV, Piantadosi J (2007) The Mekong applications of value at risk (VaR) and conditional value at risk (CVaR) simulation to the benefits, costs and consequences of water resources development in a large river basin. Ecological modeling 201: 89–96.

Yamout GM, Hatfield K, Romeijn HE (2007) Comparison of new conditional value-at-risk-based management models for optimal allocation of uncertain water supplies. Water Resources Research 43(7):47-52.