DOI: 10.22059/ijswr.2021.320375.668912

تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۷، مهر ۱۴۰۰ (ص ۱۷۲۰-۱۷۰۹)

(علمی – پژوهشی)

Drought Risk Analysis in Agricultural Water Delivery System, A Case Study of Roodasht Irrigation Districts

JAVAD POURMAHMOOD[1], SEIED MEHDY HASHEMY SHAHDANY[1*], ABBAS ROOZBAHANI[1]

1. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran,

(Received: March. 9, 2021- Revised: June. 22, 2021- Accepted: June. 27, 2021)

ABSTRACT

The occurrence of continuous water shortage as a natural hazard has dramatically impacted the country's performance of surface water delivery systems. In this research, drought risk analysis in surface water delivery systems in Roodasht irrigation network has been investigated. For this purpose, the streamflow Drought Index (SDI) has been used to assess the region's probability of drought. The consequence of drought was calculated by combining water distribution performance evaluation indicators, efficiency, adequacy, and justice with a simple additive weighting method (SAW) in five weight scenarios based on different management perspectives. Finally, by combining the probability and consequence of drought, the risk of this phenomenon in the agricultural water distribution system was calculated and analyzed. According to the SDI index, the results showed drought occurred in the monthly period with magnitude of -2.42 to 2.47, and in the annual period with magnitude of -2.54 to 1.65. The range of monthly drought risk values of the system in five weighted scenarios is as follows: evaluation perspective with emphasis on the opinion of the network administrator (0.668 to 0.804), With the emphasis on the beneficiary's opinion (0.636 to 0.803), the simultaneous emphasis of manager and beneficiary (0.647 to 0.802), emphasis on regional water opinion and provincial managers (0.684 to 0.804), and with emphasis on environmental considerations within the irrigation network (0.692 to 0.804). The obtained results of employing the risk analysis framework in both annual and monthly periods make the authorities present appropriate alternatives considering the magnitude and timing of the system's failure risk.

Keywords: Drought, Probability of Danger, Consequence, Risk, Irrigation District.

*Corresponding Author's Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

تحلیل ریسک خشکسالی در سامانه‌های توزیع آب کشاورزی، مطالعه موردی: شبکه آبیاری رودشت

جواد پورمحمود [۱]، سید مهدی هاشمی شاهدانی*[۱]، عباس روزبهانی [۱]

۱. گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۱- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۶)

چکیده

وقوع دوره های کم آبی مستمر به عنوان مخاطره طبیعی، در کاهش عملکرد سامانه‌های توزیع آب کشاورزی کشور تاثیر زیادی داشته است. در این پژوهش به تحلیل ریسک خشکسالی در سامانه توزیع آب سطحی در شبکه آبیاری رودشت پرداخته شده است. بدین منظور، با استفاده از شاخص خشکسالی جریان (SDI) به ارزیابی و احتمال وقوع پدیده خشکسالی در منطقه پرداخته شده و شدت اثر خشکسالی از ترکیب شاخص‌های ارزیابی عملکرد توزیع آب، راندمان، کفایت و عدالت، با روش مجموع وزین ساده (SAW) در قالب پنج سناریو وزنی بر اساس دیدگاه‌های مدیریتی متفاوت، محاسبه شد. در نهایت با ترکیب دو مولفه احتمال وقوع و شدت اثر خشکسالی، ریسک این پدیده در سامانه توزیع آب کشاورزی محاسبه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص SDI، خشکسالی در بازه زمانی ماهانه با بزرگی (۲/۴۲- تا ۲/۴۷) و در بازه زمانی سالانه با بزرگی (۲/۵۴- تا ۱/۶۵) رخ داده است. محدوده مقادیر ریسک سالانه خشکسالی با احتساب دیدگاه‌های مختف از طریق اعمال سناریوهای وزنی به این ترتیب بدست آمد: دیدگاه ارزیابی با تاکید بر نظر مدیر شبکه (۰/۶۶۸ تا ۰/۸۰۴)، با تاکید بر نظر بهره‌بردار (۰/۶۳۶ تا ۰/۸۰۳)، تاکید توامان مدیر و بهره‌بردار (۰/۶۴۷ تا ۰/۸۰۲)، تاکید بر نظر آب منطقه ای و مدیران استانی (۰/۶۸۴ تا ۰/۸۰۴)، و با تاکید بر ملاحظات زیست محیطی در محدوده شبکه آبیاری (۰/۶۹۲ تا ۰/۸۰۴). نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری ساختار تحلیل ریسک در هر دو بازه زمانی ماهانه و سالانه، مدیران شبکه را قادر می‌سازد تا مناسب‌ترین راهکارهای بهبود عملکرد را متناسب با بزرگی و زمان وقوع ریسک شکست سامانه ارایه دهند.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، احتمال وقوع ، شدت اثر، ریسک، شبکه آبیاری.

مقدمه

علی‌رغم دستاوردهایی که شبکه‌های احداث شده در افزایش تولیدات کشاورزی داشته‌اند، بررسی‌های مختلف حاکی از عملکرد پایین‌تر از حد انتظار در اغلب شبکه‌های توزیع آب کشاورزی می‌باشد. از این رو، وقوع دوره‌های کم آبی مستمر به عنوان مخاطره طبیعی و عدم وجود یک ساختار سیستماتیک جهت شناخت آن، سهم بیشتری در کاهش عملکرد جدی شبکه‌های آبیاری کشور داشته و مدیریت این شرایط، چالشی جدی برای مدیران شبکه شده است. و در این بین روش تحلیل ریسک به‌عنوان نمونه کارآمد رویکرد حفظ سیستم در شرایط مطلوب و یا پیشگیری از خطر، مطرح می‌باشد (Orojloo *et al.* 2018). با بررسی سابقه پژوهش مشخص می‌شود که تحلیل ریسک در مدیریت منابع آب کاربرد وسیعی داشته است. Towler *et al.* (2013) به منظور ادغام صریح آب و هوا در پیش بینی‌های جریان که مربوط به مدیریت اکوسیستم رودخانه هستند یک چارچوب مبتنی بر ریسک پنج مرحله‌ای برای یک آبشار کنترل نشده در جنوب غربی مونتانا را ارائه داده‌است. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از پیش‌بینی‌های ترکیبی می‌تواند به شدت بر ریسک و بهبود مهارت و برنامه‌ریزی مفید باشد. Qiang *et al.* (2016) مطالعه‌ای در مورد ارزیابی خطر کمبود منابع آب در دشت سانجیانگ انجام داد. در این مطالعه از دیدگاه خطر کمبود منابع آب، فرایند تحلیلی سلسله مراتبی برای ایجاد سیستم شاخص ارزیابی و معیارهای ارزیابی استفاده شد و سپس یک ارزیابی جامع و تجزیه و تحلیل تفاوت منطقه ای از نظر خطر کمبود منابع آب در دشت سانجیانگ انجام شد. Bao *et al.* (2017) برای نشان دادن کاربرد مدیریت ریسک در حوضه آبریز لیوانه، یک شاخص ریسک اکولوژیکی جامع برای ارزیابی ریسک حوضه آبریز ارائه کردند. آنها برای محاسبه ریسک اکولوژیکی، از ارتباط بین شاخص‌های میزان تامین نیاز جریان زیست‌محیطی، شاخص ریسک اکولوژیکی رودخانه، شاخص نسبی کیفی رسوبات و شاخص زیستی استفاده کردند و با وزن‌دهی به هر شاخص و جمع کردن آنها، ریسک کلی را به دست آوردند. Gachlou *et al.* (2019) در پژوهشی که انجام داده‌اند، برای نخستین‌بار روش تحلیل ریسک برای شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و

* نویسنده مسئول: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

ارائه یک شاخص جامع در مقیاس حوضه آبریز به کار گرفته شده است که این مدل در قالب یک مطالعه موردی برای حوضه دریاچه ارومیه ارائه شده‌است.

Arumi and Jones (2001) از روش درخت رویداد برای مطالعه سیستم و استفاده از اعداد فازی برای مدیریت عدم اطمینان، به تجزیه و تحلیل ریسک سازه‌های آبیاری پرداختند که می‌تواند به‌عنوان مکمل طراحی یا ارزیابی سازه‌ها و سیستم‌های ارزیابی استفاده شود. در ارتباط با مطالعات صورت گرفته تحلیل ریسک در محدوده شبکه‌های آبیاری، Orojloo *et al.* (2018) ، چارچوب مدیریت ریسک جامع برای سامانه انتقال و توزیع آب کشاورزی را از طریق یک روش سلسله مراتبی فازی توسعه دادند. Babaei *et al.* (2018) برای اولین بار یک چارچوب برای ارزیابی کفایت، عدالت و راندمان توزیع و تحویل آب و ارزیابی ریسک تحویل در سامانه انتقال و تحویل آب کشاورزی ارائه کردند. روش تحلیل درخت خطای فازی (FFTA)[۱] برای ارزیابی ریسک «عدم امکان تأمین و تحویل» استفاده شد. Bozorgi et.al (2020) اقدام به توسعه مدل تحلیل ریسک خطر خشکسالی در سامانه تأمین آب کشاورزی با کمک شبکه بیزین نموده است. در این پژوهش به منظور بررسی توانایی مدل توسعه داده شده، تحلیل ریسک سامانه تأمین آب کشاورزی شبکه آبیاری مدرن رودشت اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ریسک سامانه تأمین آب شبکه رودشت در بازه صفر تا ۵۸/۱۱٪ و به طور متوسط برابر ۳۹/۸۲٪ (برای ۷۸رویداد مختلف) برآورد شد. بنابراین جمع‌بندی پژوهش-ها مذکور حاکی از آن است که تحلیل ریسک خطر خشکسالی در سامانه توزیع آب کشاورزی در شبکه‌های آبیاری صورت نگرفته که به عنوان نوآوری این پژوهش تلقی می شود.

با توجه به اینکه اولین گام در تحلیل خطر خشکسالی محاسبه پارامتر احتمال وقوع این پدیده است، لذا در این بخش به ارائه پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با ارزیابی و تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی جریان (SDI)[۲] پرداخته شده‌است. Tigkas *et al.* (2015) با هدف ارائه طرح کلی و اجرای نرم افزار همراه با استفاده از رویکردهای مختلف برای تجزیه و تحلیل خشکسالی، DrinC[۳] را برای محاسبه دو شاخص خشکسالی (RDI)[۴] و شاخص خشکسالی جریان (SDI) و همچنین دو شاخص بسیار مشهور، شاخص استاندارد بارندگی (SPI)[۵] و دهک‌های بارش (PD)[۶] مطرح کردند. Ozkaya and Zerberg (2019) با استفاده از داده های جریان ماهانه در ۴۷ ایستگاه از ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۱، شاخص خشکسالی جریان (SDI) را با سری زمانی سه ماه، شش ماه و ۱۲ ماه محاسبه کرده و خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه دجله فوقانی در ترکیه ارزیابی کرده‌اند. نتایج نشان داد که تقریباً همه ایستگاه‌ها حداقل یک دوره خشکسالی شدید را در طول دوره مطالعه تجربه کردند. بنابراین با الگوبرداری از پژوهش‌های مذکور، تحلیل خشکسالی در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار DrinC و بر پایه شاخص SDI به منظور محاسبه احتمال ریسک انجام شد.

گام بعدی تحلیل ریسک شامل تعیین میزان شدت اثر است که در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد توزیع آب در کانال‌های آبیاری شامل شاخص‌های کفایت، راندمان و عدالت توزیع آب انجام شد. این شاخص‌ها در مطالعات گوناگونی در ارتباط با بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار گرفته است (Babaei *et al.*, 2018; kaghazchi *et al.*, 2020; Dejen, 2015;) چرا که ماهیت این شاخص‌ها بر اساس دبی تحویلی و دبی مورد نیاز به آبگیرها و در نهایت کل شبکه می‌باشد که مقدار دبی تحویلی می‌تواند متاثر از وقوع خشکسالی و ترسالی، کاهش و یا افزایش یابد که در این پژوهش با استفاده از روش مجموع وزین ساده (SAW)[۷]، اقدام به وزن‌دهی شاخص‌های مذکور بر اساس دیدگاه‌های مختلف مدیریتی در یک شبکه آبیاری شد. بنابراین به کارگیری روش مجموع وزین ساده این امکان را فراهم ساخت که تحلیل ریسک انجام گرفته از منظرهای مختلف موجود در مدیریت آب در یک شبکه آبیاری صورت گیرد. جمع-بندی موارد فوق و مطالعات صورت گرفته در این زمینه حاکی از آن است که مطالعات متنوع تحلیل و مدیریت ریسک در زیرساخت‌های شهری با تنوع بیشتری صورت گرفته است. در ارتباط با شبکه‌های آبیاری و به خصوص سامانه‌های اصلی انتقال و تحویل آب مطالعاتی به شناسایی مشکلات و خطرات تهدید کننده، پرداخته‌اند. اما پژوهش حاضر، صرفا به پدیده خشکسالی به عنوان یکی از خطرات تهدید کننده و اصلی سامانه‌های توزیع آب سطحی پرداخته و شکست سامانه توزیع آب را به هنگام وقوع خشکسالی ارزیابی کرده و تلاش نموده است تا یک ساختار قابل استفاده و عملی جهت تحلیل ریسک شکست توزیع قابل اعتماد آب سطحی در شبکه‌های آبیاری که تحت تاثیر خشکسالی می-باشد، ارائه کند.

---

۱ Fuzzy Fault Tree Analysis Method

۲ Streamflow Drought Index

۳ Drought Indices Calculator

۴ Reconnaissance Drought Index

۵ Standardized Precipitation Index

۶ Precipitation Deciles

۷ Simple Additive Weighting

مواد و روش‌ها

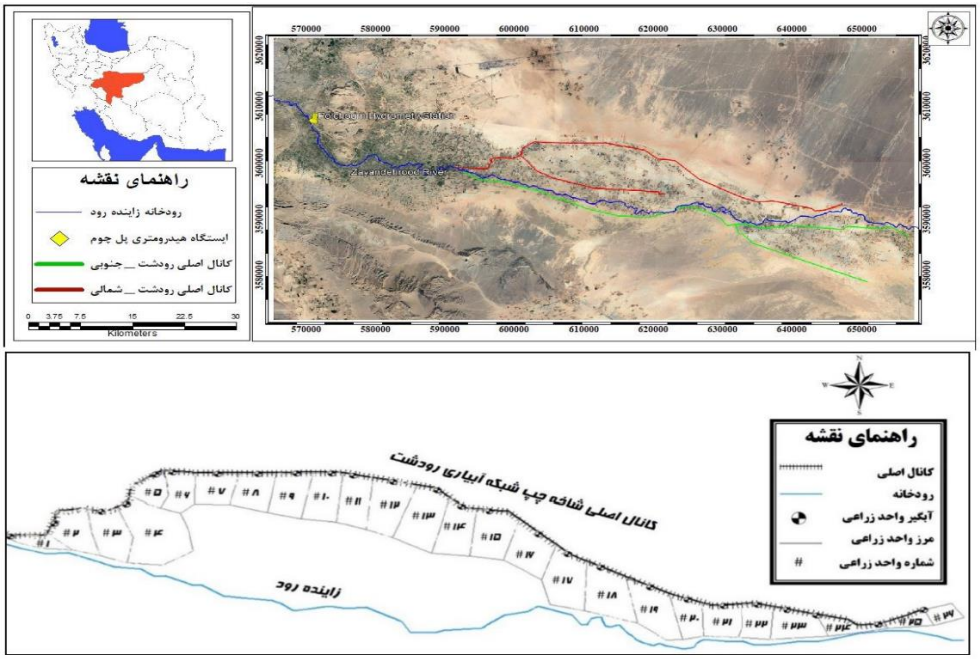
با توجه به فلوچارت انجام پژوهش در شکل (۱)، به منظور محاسبه ریسک سامانه توزیع آب سطحی تحت تاثیر خشکسالی در بازه زمانی سالانه و ماهانه، اطلاعات و داده‌های هیدرومتری جمع‌آوری و از شاخص خشکسالی جریان (SDI) و نرم‌افزار Drin C برای ارزیابی خشکسالی استفاده شد و احتمال خشکسالی با توجه به کلاس‌بندی شدت وقوع آن برای هر دو بازه زمانی برآورد شد. محاسبه‌گر شاخص‌های خشکسالی یا به اختصار Drin C، نرم-افزاری است که دارای محیطی سازگار و ساده برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود (Tigkas *et al*. 2015). در ادامه برای تعیین میزان شدت اثر خشکسالی، شاخص‌های ارزیابی شدت اثر در دو بازه زمانی ماهانه و سالانه (شاخص‌های کفایت، راندمان و عدالت) محاسبه و با استفاده از روش مجموع وزین ساده SAW ترکیب شد. در نتیجه ریسک خشکسالی سامانه با توجه به احتمال وقوع و میزان شدت اثر خشکسالی در هر دو بازه زمانی محاسبه شد.

شکل ۱- مراحل انجام پژوهش

منطقه مورد مطالعه

منطقه رودشت در فاصله ۳۰ الی ۱۰۰ کیلومتری شرق و جنوب شرقی اصفهان واقع شده است. این منطقه گسترده در دو سوی زاینده رود به دو بخش رودشت شمالی و رودشت جنوبی (یکی در شمال و دیگری در جنوب زاینده رود) تقسیم شده است. شبکه آبیاری این منطقه حدود ۴۵۰۰۰ هکتار از اراضی مربوطه را تحت پوشش قرار می‌دهد. در شکل (۲) پلان منطقه رودشت نشان داده شده است. در این بخش از پژوهش، کانال اصلی چپ شاخه شمالی شبکه آبیاری رودشت مورد بررسی قرار می‌گیرد که دارای ۲۶ آبگیر آبرسان به واحدهای درجه دو زراعی است. این کانال دارای شیب ملایم و شامل ۱۴ سازه آب‌بند می‌باشد که بر این اساس کانال مورد مطالعه به ۱۳ بازه تقسیم‌بندی می‌شود. در این کانال تنظیم تراز سطح آب برای هر زوج آبگیر توسط یک سازه تنظیم انجام می‌شود. شبکه رودشت از زاینده رود آبگیری می‌کند و تحت نوسانات این رودخانه در دوره‌های ترسالی و خشکسالی قرار می-گیرد که نوسانات مداوم و شدید دبی در سراب کانال و در نتیجه عدم توزیع مناسب آب و عملکرد نامطلوب شبکه را به همراه دارد که طی این از ۶۲۵ حلقه چاه در داخل محدوده شبکه بهره‌برداری می‌شود. بررسی مقادیر دبی اندازه‌گیری شده توسط شرکت بهره‌برداری در نقطه ورودی شبکه (آبگیر ورودی کانال اصلی)

حاکی از آن است که مقدار دبی ورودی در بازه‌های مختلف روزانه بهره‌برداری دارای نوسانات متفاوتی بوده است. این درحالی است که در حالت مطلوب آبگیری از رودخانه و با توجه به وجود بند انحرافی رودشتین در محل آبگیری، حداقل نوسانات دبی ورودی مورد انظار است. با استناد به اطلاعات اندازه‌گیری شده شرکت بهره‌برداری، مقادیر دبی ورودی که کمتر از مقادیر هدف بود، بصورت بی‌بعد در حدود ۲۰-٪ ، ۴۰- ٪ و در بازه‌ی ۴۰-٪ تا ۹۰- ٪ دارای نوسان بوده است. بنابراین شرایط مذکور سبب تاثیرات قابل ملاحظه‌ای در فرآیند توزیع و تحویل خواهد گذاشت که در این تحقیق به بررسی منشا آن و نیز شدت اثرات آن پرداخته شده است.



شکل ۲- شمایی از شبکه آبیاری رودشت به تفکیک واحدهای زراعی ۲۶ گانه آن و نقشه موقعیت ایستگاه هیدرومتری پل چوم در بالادست شبکه

احتمال وقوع خطر

گام اول: ارزیابی خشکسالی جریان

احتمال وقوع به تواتر وقوع یک پدیده اطلاق می‌شود. با توجه به ماهیت خطر و در صورت وجود آمار ثبت شده از یک پدیده، معمولاً احتمال با تلفیق آمار ثبت شده، مدل‌های شبیه‌ساز و منحنی‌ها قابل محاسبه است. به منظور محاسبه ریسک خشکسالی سامانه توزیع آب کشاورزی، اطلاعات و داده‌های دبی جریان مربوط به ایستگاه پل چوم در بالادست شبکه آبیاری رودشت واقع بر رودخانه زاینده رود اصفهان جمع‌آوری و از شاخص خشکسالی جریان (SDI) و نرم‌افزار Drin C برای ارزیابی خشکسالی استفاده شد و احتمال وقوع خشکسالی با توجه به مقادیر شاخص SDI محاسبه شد.

پژوهش‌ها نشان داده است که در حوضه‌های کوچک توزیع گاما و در حوضه‌های بزرگ توزیع نرمال یا لوگ نرمال دو متغیره بهترین توزیع آماری بر سری داده‌های دبی را دارد (Nalbantis and Tsakiris. 2009; Shukla and Wood. 2008; Bozorgi *et al.*, 2020). چگونگی محاسبه شاخص خشکسالی جریان در روابط ۱ تا ۳ توضیح داده شده (Shukla and Wood. 2008). همچنین توصیف مقادیر شاخص SDI نیز در جدول (۱) اشاره شده‌است (Tsakiris & Vangelis. 2005; Nalbantis & Tsakiris, 2009).

جدول ۱- طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SDI (Tsakiris & Vangelis. 2005)

شدت خشکسالی SDI	مقادیر SDI
ترسالی خیلی شدید	۲ و بیشتر
ترسالی شدید	۲ تا ۱/۵
ترسالی متوسط	۱/۵ تا ۱
نرمال	۰/۹۹ تا ۱-
خشکسالی متوسط	۱/۵- تا ۱-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۲-
خشکسالی خیلی شدید	۲- و کمتر

(رابطه ۱)

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{k} Q_{i,j} \quad i = 1,2,3,\dots \quad j = 1,2,3,\dots,12 \quad k = 1,2,3,\dots$$

(رابطه ۲)

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}) \quad i = 1,2,3,\dots \quad k = 1,2,3,\dots$$

(رابطه ۳)

$$SDI_{i,k} = \frac{y_{i,k} - \bar{y}_k}{S_{y,k}} \quad i = 1,2,3,\dots \quad k = 1,2,3,\dots$$

که در آن، $Q_{i,j}$ = دبی ماه jام از سال آبی iام، $V_{i,k}$ = مقدار

تجمعی دبی در دوره k ماهه از سال آبی iام، $\bar{y}_k$ و $s_{y,k}$ = به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌ها هستند.

گام دوم: محاسبه پارامتر احتمال وقوع خطر

پارامتر احتمال وقوع خطر (P) که یکی از اجزای محاسبه ریسک است، با استفاده از مکمل مقادیر نرمال SDI طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود. در این رابطه حد بالا (max) و حد پایین (min) اعداد SDI با توجه به تابع برازش داده شده، به ترتیب بین ۴ و ۴- می‌باشد (Bozorgi *et al.*, 2020).

$$P = 1 - \frac{SDI - min}{max - min} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

شدت اثر

شدت اثر یک خطر می‌تواند تحت تأثیر دو فاکتور مهم باشد: اول ماهیت خود سیستم و دوم ماهیت خطر (Roozbahani *et al.* 2012).

گام اول: تعیین معیارهای ارزیابی شدت اثر

در این پژوهش با هدف بررسی اثرات منفی حاصل از وقوع خشکسالی در سامانه توزیع آب کشاورزی، در تعیین معیارهای ارزیابی شدت اثر خشکسالی از شاخص‌های ارزیابی عملکرد فرآیند توزیع آب (کفایت، عدالت و راندمان) استفاده شده‌است. به‌نحوی- که این معیارها بر اساس بازه‌های مختلف دبی ورودی به شبکه با استفاده از مدل بهره‌برداری واسنجی و صحت‌سنجی شده (kaghazchi *et al.* 2020)، محاسبه شد. این مدل به منظور شبیه- سازی توزیع آب در کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت، طراحی شده‌است. ورودی‌های مدل شامل «سناریو بهره‌برداری» و «دبی ورودی کانال» و خروجی‌های مدل مذکور، «دبی‌های تحویلی به هر یک از آبگیرها» می‌باشند. بر اساس خروجی دبی تحویلی شبیه‌سازی‌شده، محاسبه شاخص‌های ارزیابی عملکرد توزیع آب شامل شاخص‌های کفایت، راندمان و عدالت توزیع آب (Babaei *et al.*, 2018; ،kaghazchi *et al.*, 2020)) انجام شد. سناریوهای بهره‌برداری عبارت‌اند از:

سناریو نرمال: دبی ورودی به کانال، همان دبی است که به طور معمول در روزهای بهره‌برداری، وارد کانال می‌شود.

سناریو نوسانی ملایم: دبی ورودی به کانال نسبت به دبی نرمال بین ۰ تا ۲۰± درصد متغیر می‌باشد.

سناریو نوسانی متوسط: دبی ورودی به کانال نسبت به دبی نرمال بین ۲۰± تا ۴۰± درصد متغیر می‌باشد.

سناریوی نوسانی شدید: دبی ورودی به کانال نسبت دبی نرمال بین ۴۰+ تا ۴۶+ درصد و ۴۰- تا ۹۰- درصد متغیر می‌باشد.

شاخص کفایت: شاخصی برای میزان توانایی روش بهره- برداری در تحویل آب به قدر تامین نیاز می‌باشد که بر همین اساس میزان دبی مورد نیاز آبگیرها وابسته به عواملی چون مساحت مناطق کشاورزی تحت آبیاری، نیاز آبی الگوی کشت، میزان تلفات آب، اقدامات مربوط به فرهنگ کشاورزی در منطقه است.

شاخص راندمان انتقال: میزان آب تحویل داده‌شده نسبت به آب درخواستی در محل آبگیر نشان می‌دهد.

شاخص عدالت: میزان تناسب موجود را بین مقادیر تحویلی و مقادیر مورد نیاز آب در انشعابات و دوره‌های زمانی مختلف ارزیابی می‌کند.

بر اساس استاندارد ارایه شده (Molden and Gate, 1990)، مفهوم «خوب» و «متوسط» و «ضعیف» در شاخص کفایت بترتیب برای محدوده عملکرد (۱ – ۰/۹)، (۰/۸۹ – ۰/۸) و (۰,۸ >) و در شاخص راندمان بترتیب برای محدوده (۱ – ۰/۸۵)، (۰/۸۴ – ۰/۷) و (۰,۷ >) و در شاخص عدالت بترتیب برای محدوده (۰/۱ – ۰)، (۰/۲۵ – ۰/۱۱) و (۰,۲۵ >) ارزیابی شده است که روابط این سه شاخص عبارت‌اند از:

(رابطه ۵)

$$P_A = \frac{1}{T}\sum_T \left[\left[\frac{1}{R}\right] \sum_R \left(\frac{Q_D}{Q_R}\right)\right] \qquad if\ Q_d < Q_r \quad \text{Otherwise} \quad \frac{Q_D}{Q_R} = 1$$

(رابطه ۶)

$$P_F = \frac{1}{T}\sum_T \left[\frac{1}{R}\sum_R \left(\frac{Q_r}{Q_d}\right)\right] \qquad if\ Q_r < Q_d \quad \text{Otherwise} \quad P_f = 1$$

(رابطه ۷)

$$P_E = \frac{1}{T}\sum_T CV_R\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right)$$

که در این روابط، P_A، P_F و P_E به ترتیب شاخص کفایت، راندمان و عدالت، R و T به ترتیب تعداد آبگیرهای واقع در کانال آبیاری و مدل زمان شبیه‌سازی توزیع جریان و Q_rو Q_d به ترتیب نشان‌دهنده میزان دبی مورد نیاز و میزان دبی تحویلی می‌باشند. $\sum_T^1$ متوسط زمانی، $\sum_R^1$ متوسط مکانی و CV_R، ضریب تغییرات مکانی را نشان می دهند.

گام دوم: محاسبه شدت اثر با ترکیب معیارهای شدت اثر به روش مجموع وزین ساده

روش وزن دهی ساده یا مجموع وزین ساده (SAW)، ساده ترین روش تصمیم گیری چند معیاره است که عبارت است از (Orojloo *et al.* 2018):

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} W_j \, r_{ij} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

که در رابطه فوق I_i شدت اثر، W_j وزن معیارهای شدت اثر و r_{ij} مقادیر نرمال شده هر یک از معیارها می‌باشد.

نتیجه محاسبه مولفه شدت اثر در بین صفر و یک می‌باشد

که هر چقدر این عدد محاسبه شده به عدد یک نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده تاثیر بیشتر خشکسالی در کاهش عملکرد سامانه توزیع آب است که پایین بودن مقدار شاخص کفایت و راندمان و بالا بودن مقدار شاخص عدالت نشان‌دهنده این مطلب هستند. به همین دلیل، شاخص کفایت و راندمان به‌عنوان معیار منفی شدت-اثر و شاخص عدالت به‌عنوان معیار مثبت شدت‌اثر، طبق روابط زیر نرمال شدند.

برای معیارهای مثبت:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{Max\ X_{ij}} \quad \text{(رابطه ۹)}$$

برای معیارهای منفی:

$$r_{ij} = \frac{Min\ X_{ij}}{X_{ij}} \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

در این رابطه، r_{ij} مقادیر نرمال شده، X_{ij} مقدار هر یک از شاخص‌ها، $Max\ X_{ij}$ و $Min\ X_{ij}$ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار هر یک از شاخص‌ها می‌باشد.

بر اساس تعریف ارایه شده (Gunantara 2018)، به منظور وزن‌دهی معیارهای شدت اثر، از روابط زیر استفاده شد:

$$W_i = \frac{1}{n} \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

$$W_i = \frac{1}{n}\sum_{n}^{k=i}\frac{1}{k}) \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

$$W_i = \frac{2 + (n + 1 - i)}{n(n+1)} \quad \text{(رابطه ۱۳)}$$

در این رابطه‌ها W_i ، وزن معیارها و n ، تعداد معیارهای شدت‌اثر می‌باشد. وزن‌دهی به معیارهای شدت اثر براساس وزن-های بدست آمده از هر رابطه فوق، می‌تواند براساس سناریوهای مختلف صورت گیرد که با لحاظ دیدگاه‌های بدست آمده براساس برگزاری جلسات مشورتی و اتاق فکر با بخش کارفرمایی صنعت آب کشور شامل دفتر بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری شرکت مدیریت منابع آب، کارشناسان محترم معاونت حفاظت و بهره-برداری شرکت آب منطقه ای اصفهان، دفتر بهره‌برداری از شبکه آبیاری رودشت و تیم بهره‌برداری و اپراتورهای این بخش، وزن-دهی به معیارها در قالب پنج سناریو صورت گرفت که به‌عنوان نتایج ارائه شده است.

ریسک

Rowe. (1977) ریسک را «پتانسیل تحقق عواقب سو و ناخواسته یک واقعه» تعریف می‌کند. در نهایت ریسک مربوط به خطر خشکسالی بعد از تعیین احتمال خطر و شدت اثرات آن همانطور که در رابطه زیر نشان داده شده است، محاسبه شده است (Salman and Salem 2012 ، Rahman *et al*., 2014).

$$\text{Risk} = P \times I \quad \text{(رابطه ۱۴)}$$

در این رابطه، R ریسک خطر[۱]، P احتمال وقوع خطر[۲] و I شدت اثر[۳] می‌باشد.

نتایج و بحث

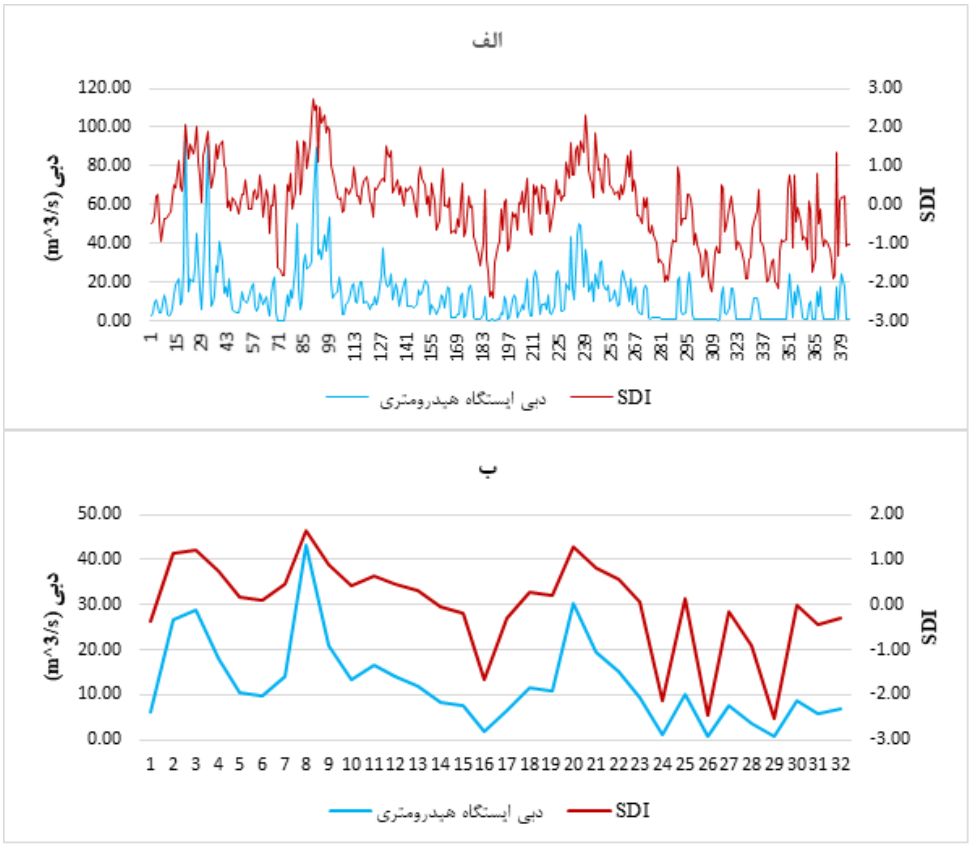
در این بخش در ابتدا نتایج مرتبط با تحلیل خشکسالی ارایه می گردد که بر پایه تحلیل زمانی شاخص خشکسالی جریان در نرم-افزار DrinC انجام شده و نتایج احتمال وقوع خشکسالی ارایه شده است. در ادامه تحلیل زمانی شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره-برداری کفایت، راندمان و عدالت ارایه شده است که اساس محاسبه شدت اثر تحلیل ریسک را تشکیل می‌دهد. و نهایتا تحلیل ریسک ماهانه و سالانه ارایه شده است.

نتایج احتمال وقوع خشکسالی

مقادیر شاخص خشکسالی جریان (SDI) با استفاده از اطلاعات دبی در بازه زمانی ماهانه و سالانه محاسبه شد که نتایج آن به همراه مقادیر ماهانه و سالانه دبی ایستگاه هیدرومتری در شکل (۳) ارائه شده است که بر اساس شاخص SDI، در بازه زمانی ماهانه، شاخص خشکسالی در پنج کلاس دسته‌بندی شده است. کمترین مقدار شاخص SDI مربوط به ماه خرداد سال ۱۳۸۰-۱۳۷۹ با بزرگی ۲/۴۲- می‌باشد که کلاس آن بر اساس شاخص خشکسالی جریان (SDI)، «خشکسالی خیلی شدید» است و بیشترین مقدار شاخص SDI مربوط به ماه اسفند سال ۱۳۷۲-۱۳۷۱ با بزرگی ۲/۷۴+ و در کلاس «ترسالی خیلی شدید» قرار گرفته است. نتایج تحلیل خشکسالی در بازه سالانه حاکی از آن است که تنها یک سال در کلاس «ترسالی شدید»، سه سال در کلاس «ترسالی متوسط»، ۲۳ سال در کلاس «نرمال»، یک سال در کلاس «خشکسالی شدید» و سه سال در کلاس «خشکسالی خیلی شدید» قرار گرفته‌اند. براین اساس مقادیر احتمال وقوع خشکسالی و ترسالی هیدرولوژیکی بر اساس مقادیر شاخص SDI برای بازه زمانی ماهانه و برای بازه زمانی سالانه بدست آمد که در بازه زمانی ماهانه، محدوده تغییرات آن در کلاس نرمال تا ترسالی خیلی شدید برابر با (۰/۶۲ – ۰/۱۶) که متناظر با محدوده تغییرات (۲/۱۴ - ۴/۴۹) متر مکعب بر ثانیه دبی ورودی در پایاب کانال می‌باشد. در کلاس خشکسالی متوسط تا کلاس خشکسالی خیلی شدید برابر با (۰/۸۰ – ۰/۶۳) است که متناظر با محدوده

۱ Risk
۲ Probability
۳ Impact

تغییرات (۰/۸۷ - ۱/۷۳) متر مکعب بر ثانیه دبی ورودی در پایاب کانال است. همین‌طور در بازه زمانی سالانه، محدوده تغییرات احتمال وقوع خشکسالی و ترسالی در کلاس نرمال تا کلاس ترسالی شدید برابر با (۰/۶۱ – ۰/۲۹) و در کلاس خشکسالی شدید تا کلاس خشکسالی خیلی شدید برابر با (۰/۸۲ – ۰/۷۱) بدست آمده است که به‌ترتیب متناظر با محدوده تغییرات (۱/۹۰ - ۴/۲۵) و (۱/۳۶ - ۱/۴۸) متر مکعب بر ثانیه دبی ورودی در پایاب کانال می‌باشد. در این بخش از تحقیق با استفاده از شاخص خشکسالی SDI، وقوع پدیده خشکسالی در کلاس‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه دبی‌های ورودی به شبکه متاثر از کلاس‌های وقوع خشکسالی دسته‌بندی شد تا در ادامه بتوان عملکرد سامانه توزیع و تحویل آب را با توجه به دبی اختصاص یافته به شبکه متاثر از خشکسالی مورد بررسی قرار داد.



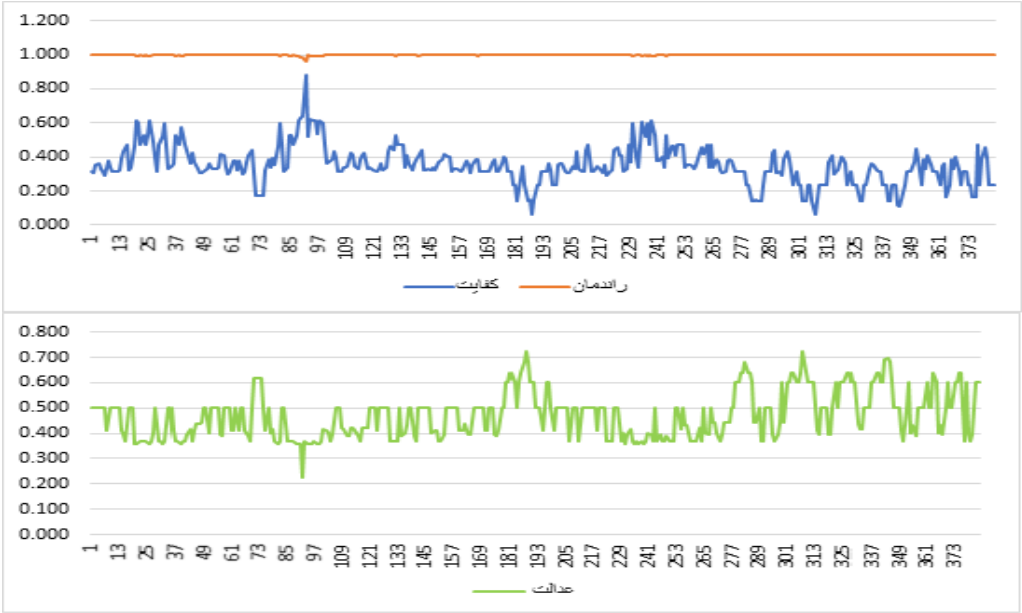
شکل ۳- الف: اطلاعات دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری پل چوم (Q) و مقادیر ماهانه شاخص خشکسالی SDI، ب: اطلاعات دبی سالانه ایستگاه هیدرومتری پل چوم (Q) و مقادیر سالانه شاخص خشکسالی SDI

نتایج شدت اثر و ریسک خشکسالی

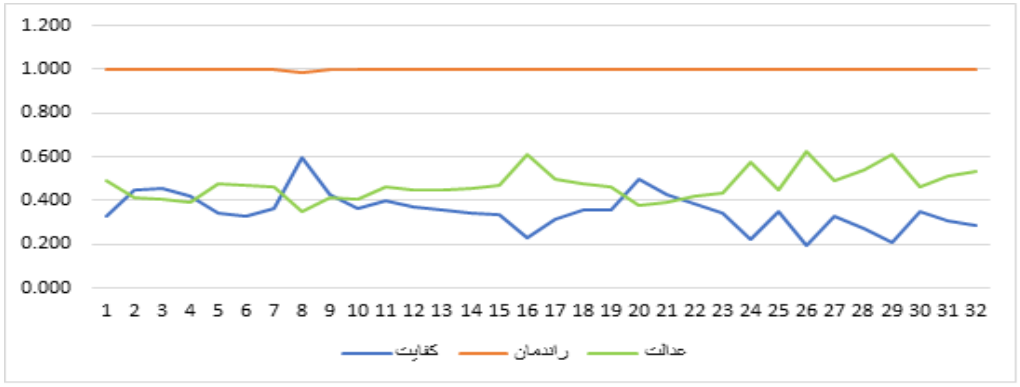
نتایج تحلیل زمانی شاخص‌های ارزیابی عملکرد فرآیند توزیع آب کفایت، عدالت و راندمان با استفاده از مدل بهره‌برداری ذکر شده در قسمت مواد روش، در شکل (۴ و ۵) ارائه شده است. مقدار شاخص ارزیابی عملکرد بهره‌برداری راندمان توزیع آب، که میزان هدررفت نسبی آب در هر آبگیر را نشان می‌دهد، تنها در دبی‌های ورودی بیشتر از نیاز کل شبکه، کمتر از مقدار مطلوب این شاخص بدست آمده است. با این حال این شاخص در بازه زمانی ماهانه، با مقدار بدست آمده در محدوده (۱/۰۰ - ۰/۹۶۲) و در بازه زمانی سالانه، با مقدار بدست آمده در محدوده (۱/۰۰ – ۰/۹۸۹) در دسته عملکرد «خوب» می‌باشد. شاخص عدالت، که میزان تناسب موجود را بین مقادیر تحویلی و مقادیر مورد نیاز آب در آبگیرهای واقع در طول کانال اصلی را ارزیابی می‌کند که این شاخص در دو بازه زمانی ماهانه و سالانه، با مقدار بدست آمده بترتیب در محدوده (۰/۷۲۴ - ۰/۲۲۷) و (۰/۶۲۷ – ۰/۳۵۳) در دسته عملکرد «ضعیف» قرار دارد. همینطور با توجه به شاخص کفایت، که نشانگر توانایی تحویل کافی و به مقدار مورد نیاز در محل هر آبگیر است، در بازه زمانی ماهانه، با مقدار بدست آمده در محدوده (۰/۸۸۶ - ۰/۰۶۰) در دسته عملکرد «متوسط و ضعیف» و در بازه زمانی سالانه، با مقدار بدست آمده در محدوده (۰/۵۹۹ - ۰/۱۹۲) در دسته عملکرد « ضعیف» قرار گرفته است.

پس از تعیین مقادیر متناظر شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکه آبیاری (معیارهای شدت اثر) در دو بازه ماهانه و سالانه با مقادیر محاسبه شده احتمال وقوع خشکسالی، تحلیل

ریسک خطر خشکسالی قابل انجام است. لازم به ذکر است که مقدار ریسک در شرایط ترسالی (عدم وجود خطر خشکسالی) برابر با صفر می‌باشد و در ادامه صرفا به تحلیل ریسک خطر خشکسالی پرداخته شده است که به این منظور معیارهای شدت اثر با روش ریاضی مجموع وزین ساده باهم ترکیب شدند که در این روش به مقادیر معیارهای شدت اثر پس از نرمال‌سازی، وزن دهی سناریوها با استفاده از روش مجموع وزین ساده (SAW) انجام گردید. به‌منظور ارایه نتایج کاربردی و عملی وزن‌دهی های صورت گرفته با توجه به دیدگاه‌های ممکن که در ارزیابی عملکرد بهره‌برداری یک شبکه آبیاری می‌تواند تاثیرگذار باشد، تفسیر گردید که در ادامه ارایه شده است.



شکل ۴- نمودار میانگین مقادیر ماهانه شاخص‌های کفایت، راندمان و عدالت در وضع موجود بهره‌برداری



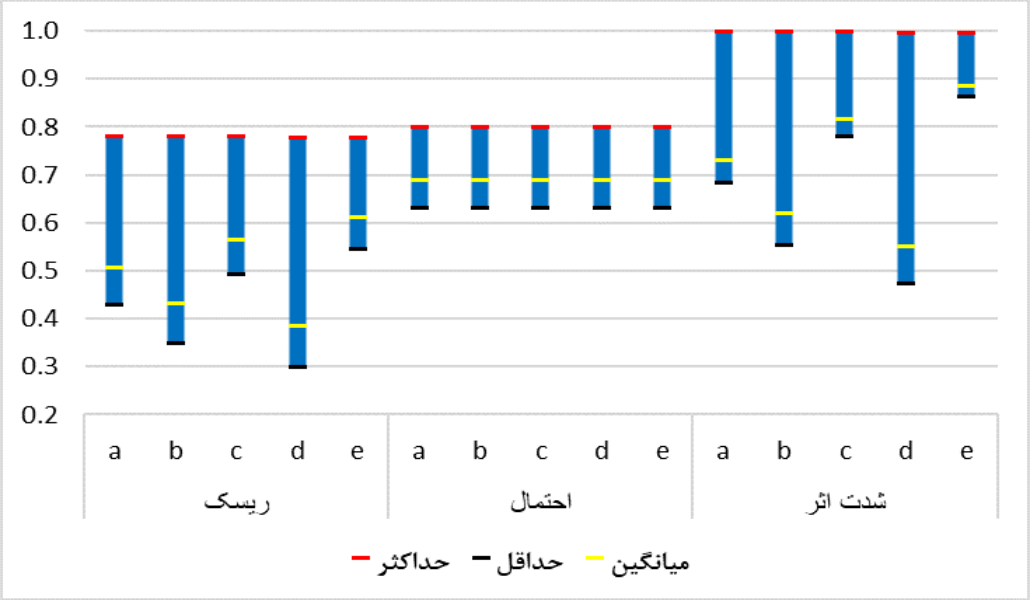
شکل ۵- نمودار میانگین مقادیر سالانه شاخص‌های کفایت، راندمان و عدالت در وضع موجود بهره‌برداری

جدول۲. دیدگاه‌های تاثیرگذار در ارزیابی عملکرد بهره‌برداری یک شبکه آبیاری

دیدگاه‌ها	اوزان شاخص‌های ارزیابی عملکرد سامانه توزیع و تحویل آب		
	وزن شاخص کفایت (W_{P_a})	وزن شاخص راندمان (W_{P_a})	وزن شاخص عدالت (W_{P_a})
دیدگاه ارزیابی با تاکید بر نظر مدیر شبکه	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
دیدگاه ارزیابی با تاکید بر نظر بهره بردار و مدیر شبکه	۰/۵۰	۰/۱۷	۰/۳۳
دیدگاه ارزیابی با تاکید بر نظر آب منطقه‌ای و مدیران استانی	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۵۰
دیدگاه ارزیابی با تاکید بر نظر بهره بردار	۰/۶۱	۰/۱۱	۰/۲۸
دیدگاه ارزیابی با تاکید بر ملاحظات زیست محیطی	۰/۱۱	۰/۶۱	۰/۲۸

تفسیر کاربردی وزن‌دهی‌های صورت گرفته بر این اساس است که بر اساس نظر مدیر شبکه، سه شاخص کفایت، راندمان و

عدالت از اهمیت یکسانی در ارزیابی عملکرد سامانه توزیع آب برخوردار است و به همین ترتیب، از نظر بهره‌بردار شاخص کفایت، از نظر آب منطقه‌ای و مدیران استانی شاخص عدالت و از نظر ملاحظات محیط‌زیستی شاخص راندمان توزیع آب (که بیانگر میزان آب مازاد تحویل داده شده است که منجر به زهدار شدن اراضی می‌شود) نسبت به سایر سناریوها از اهمیت بالایی در ارزیابی عملکرد سامانه توزیع آب برخوردار است. با توجه به سناریوهای در نظر گرفته شده و نتایج بدست آمده در شکل (۶)، مقادیر ماهانه شدت اثر خشکسالی (خشکسالی در سه کلاس: متوسط، شدید و خیلی شدید) بر سامانه در سناریو وزنی اول تا پنجم به ترتیب برابر با (۰/۶۸۲ تا ۰/۹۹۹)، (۰/۵۵۴ تا ۱/۰۰)، (۰/۷۸۲ ۱/۰۰)، (۰/۴۷۴ تا ۰/۹۹۷) و (۰/۸۶۴ تا ۰/۹۹۷) بدست آمد و در ادامه با ضرب مقادیر شدت اثر و احتمال وقوع خشکسالی در هر پنج سناریو وزنی با محدوده تغییرات (۰/۶۳۰ تا ۰/۸۰۰)، محدوده مقادیر ریسک خشکسالی ماهانه سامانه توزیع آب کشاورزی در سناریو وزنی اول تا پنجم به ترتیب (۰/۴۳۰ تا ۰/۷۷۹)، (۰/۳۴۹ تا ۰/۷۸۰)، (۰/۴۹۳ تا ۰/۷۸۰)، (۰/۲۹۹ تا ۰/۷۷۸) و (۰/۵۴۴ تا ۰/۷۷۸) بدست آمد. و همینطور در بیشترین مقدار ریسک خشکسالی، سامانه توزیع آب کشاورزی تحت هر پنج سناریو، در شرایط «خشکسالی خیلی شدید» و در کمترین مقدار آن، در شرایط «خشکسالی متوسط» قرار گرفته است.

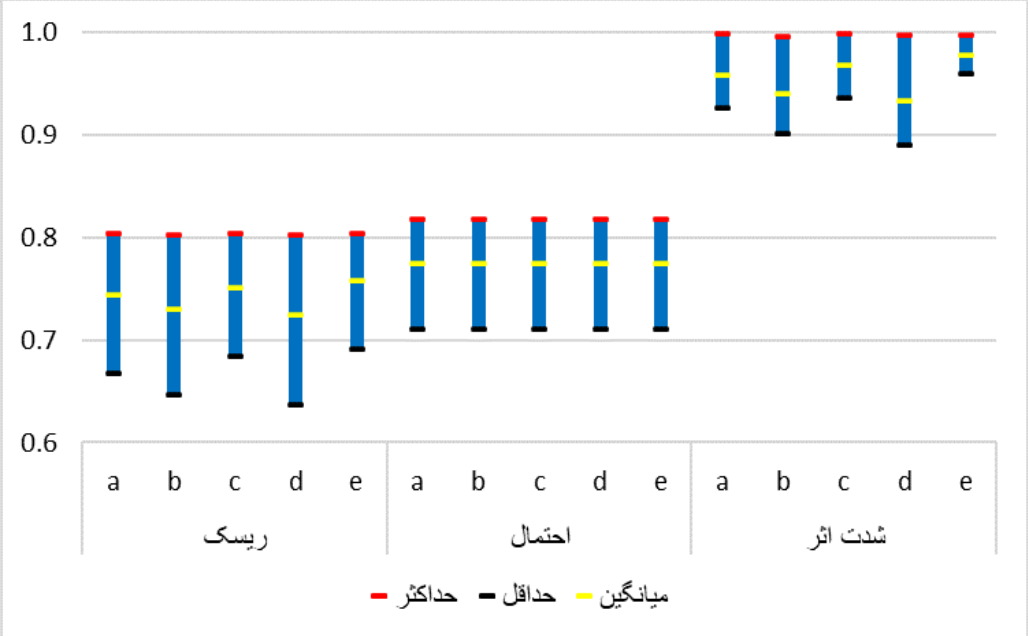


شکل ۶- محدوده تغییرات مقادیر ماهانه احتمال، شدت اثر و ریسک خشکسالی سامانه توزیع آب کشاورزی در وضع موجود بهره‌برداری (a: سناریو وزنی اول، b: سناریو وزنی دوم، c: سناریو وزنی سوم، d: سناریو وزنی چهارم، e: سناریو وزنی پنجم)

به طور مشابه، طبق شکل (۷) مقادیر سالانه شدت اثر خشکسالی (خشکسالی در دو کلاس: شدید و خیلی شدید) بر سامانه در سناریو وزنی اول تا پنجم به ترتیب برابر با (۰/۹۲۷ تا ۰/۹۹۹)، (۰/۹۰۱ تا ۰/۹۹۶)، (۰/۹۳۶ تا ۰/۹۹۹)، (۰/۸۹۱ تا ۰/۹۹۷) و (۰/۹۶۰ تا ۰/۹۹۷) بدست آمد و در ادامه با ضرب مقادیر شدت اثر و احتمال وقوع خشکسالی در هر پنج سناریو وزنی با محدوده تغییرات (۰/۷۱۰ تا ۰/۸۱۸)، محدوده مقادیر سالانه ریسک خشکسالی سامانه توزیع آب کشاورزی در سناریو وزنی اول تا پنجم به ترتیب (۰/۶۶۸ تا ۰/۸۰۴)، (۰/۶۴۷ تا ۰/۸۰۲)، (۰/۶۸۴ تا ۰/۸۰۴)، (۰/۶۳۶ تا ۰/۸۰۳) و (۰/۶۹۲ تا ۰/۸۰۴) بدست آمد. و همینطور در بیشترین مقدار ریسک سالانه خشکسالی، سامانه توزیع آب کشاورزی تحت هر پنج سناریو، در شرایط «خشکسالی خیلی شدید» و در کمترین مقدار آن، در شرایط «خشکسالی شدید» قرار گرفته است.

تحلیل زمانی خشکسالی در شبکه آبیاری بر اساس شاخص خشکسالی جریان (SDI)، نشان داد با تاثیر خشکسالی بر میزان آب ورودی به شبکه از سامانه انحراف بالادست آن، سامانه توزیع آب در معرض خطر این پدیده قرار گرفته است که مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد سامانه توزیع آب کفایت، عدالت و راندمان، تاثیر این پدیده بر سامانه را نشان داد و حتی سامانه توزیع آب، در شرایط ترسالی هم بدلیل عملکرد نامطلوب و غیرمطمئن روش بهره‌برداری موجود، عملکرد مناسبی ندارد. همچنین با بررسی نتایج احتمال وقوع خشکسالی در کلاس‌های ذکر شده بر اساس شاخص SDI و مقادیر ریسک آن در کلاس‌های «متوسط»، «شدید» و «خیلی شدید» بر سامانه توزیع و تحویل آب بر اساس دیدگاه‌های ذکر شده در ارزیابی عملکرد سامانه نشان داد که

شدت اثر و ریسک خشکسالی در سناریو وزنی پنجم مطابق شکل (۶ و ۷)، کمترین محدوده تغییرات با بیشترین مقدار میانگین را دارد که مطابق این سناریو، بر اساس دیدگاه ارزیابی با تاکید بر ملاحظات زیست محیطی، خشکسالی بیشترین تاثیر را بر سامانه، نسبت به سایر دیدگاه‌ها دارد و همچنین شدت اثر و ریسک خشکسالی در سناریو وزنی چهارم بیشترین محدوده تغییرات با کمترین مقدار میانگین را دارد که مطابق این سناریو، بر اساس دیدگاه ارزیابی با تاکید بر نظر بهره بردار، خشکسالی کمترین تاثیر را بر سامانه، نسبت به سایر دیدگاه‌ها دارد. دلیل نتایج بدست آمده مختلف از هر یک از سناریوها، متفاوت بودن اهمیت هر یک از شاخص‌های ارزیابی عملکرد سامانه (کفایت، عدالت و راندمان) در هر یک از دیدگاه‌های ارزیابی و وزن‌های اختصاص داده شده به هر یک از شاخص‌ها می‌باشد که در جدول (۲) ارایه شده است و نهایتا بر اساس این دیدگاه‌ها، نتایج ارزیابی ریسک خشکسالی سامانه توزیع آب در شبکه‌های آبیاری، متفاوت است. همچنین با بررسی هر سه پارامتر شدت اثر در هر یک از سناریوهای در نظر گرفته شده، شاخص کفایت، عدالت و راندمان تحویل آب به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیرگذاری را در مقدار بدست‌آمده ریسک دارند. در نهایت تحقیق حاضر با ارایه یک چارچوب عملی و کاربردی تحلیل ریسک خطر خشکسالی در سامانه توزیع و تحویل آب سطحی در شبکه آبیاری، اقدام به بررسی میزان آسیب سامانه‌های بهره‌برداری موجود تحت تاثیر خشکسالی نمود. خروجی این تحقیق در قالب مقادیر تحلیل ریسک ماهانه و سالانه این امکان را برای مدیران شبکه‌های آبیاری فراهم می‌کند که تاثیر راهکارهای مدیریتی مختلف را در بازه‌های زمانی کوتاه مدت و بلندمدت مورد بررسی قرار دهند. ذکر این نکته نیز الزامی است که ساختار تحلیل ریسک ارایه شده این تحقیق، با در نظر گرفتن شاخص‌های ارزیابی عملکرد توزیع آب، امکان تحلیل ریسک پس از تغییر شیوه های بهره‌برداری و سامانه‌های مختلف را نیز فراهم می سازد. بنابراین امکان بررسی تاثیرات مثبت و منفی رنج وسیعی از راهکارهای مدیریتی اعم از اقدامات موثر در کاهش تلفات و اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای (در راهکارهای مدیریت نگهداری) و تغییر ماهیت بهره برداری (مرتبط با راهکارهای بهره-برداری و مدرن سازی) در شرایط خشکسالی فراهم شده است.



شکل ۷- محدوده تغییرات مقادیر سالانه احتمال، شدت اثر و ریسک خشکسالی سامانه توزیع آب کشاورزی در وضع موجود بهره‌برداری (a: سناریو وزنی اول، b: سناریو وزنی دوم، c: سناریو وزنی سوم، d: سناریو وزنی چهارم، e: سناریو وزنی پنجم)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد که ساختاری جهت تحلیل ریسک خشکسالی در سامانه‌های توزیع آب در شبکه‌های آبیاری، ارایه شود. شبکه آبیاری رودشت به‌عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد. این سامانه در معرض خطرات مختلفی قرار دارد ولی طبق بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، صرفا به پدیده خشکسالی به عنوان یکی از خطرات تهدید کننده و اصلی سامانه-های توزیع آب سطحی پرداخته و ریسک سامانه توزیع آب تحت تاثیر خشکسالی مبتنی بر احتمال و شدت اثر ارزیابی شد. نتایج، ریسک خشکسالی سامانه توزیع آب کشاورزی رودشت را با

احتساب پنج دیدگاه تاثیرگذار در ارزیابی عملکرد بهره‌برداری یک شبکه آبیاری، در بازه زمانی ماهانه و سالانه به ترتیب بازه‌ای بین ۰/۲۹۹ تا ۱/۰۰ و ۰/۶۹۲ تا ۰/۸۰۴ نشان داد. در نهایت این پژوهش با بررسی احتمال وقوع خشکسالی در کلاس‌های مختلف و تاثیر هریک از آنها بر دبی ورودی به شبکه و عملکرد سامانه بر اساس دیدگاه‌های مختلف ارزیابی عملکرد سامانه، به ارایه نتایج تحلیل ریسک خشکسالی در توزیع و تحویل آب کشاورزی پرداخته است که بتبع آن می‌توان، تصمیم‌هایی جهت مدیریت و کاهش ریسک، به منظور کاهش خسارت یا کاهش سود، گرفت که ادامه این تحقیق به ارایه راهکارهای توزیع و تحویل آب بعنوان سناریوهای مختلف کاهش ریسک در مدیریت ریسک تمرکز دارد. با توجه به اینکه یکی از محدودیت های موجود در تحقیق حاضر، عدم وجود اطلاعات قابل استناد در محاسبه شاخص‌های اقتصادی در تحلیل ریسک ماهانه سیستم تحت مطالعه بود، لذا پیشنهاد می‌شود مقادیر شاخص(های) اقتصادی ماهانه را نیز به نحو مناسبی برآورد نمود و در مفهوم آسیب‌پذیری در نظر گرفته شود تا ریسک مبتنی بر سه المان احتمال، شدت‌اثر و آسیب‌پذیری ارزیابی و تحلیل شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Arumi, J. L., Jones. D. (2001). Methodology for Risk Analysis of Irrigation Structures, Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish), vol. XVI, num. 3, pages 67-74.

Babaei, M., Roozbahani, A., Hashemy Shahdany, S. M. (2018). Risk Assessment of Agricultural Water Conveyance and Delivery Systems by Fuzzy Fault Tree Analysis Method. Water Resources Management, 4079–4101.

Bozorgi, A., Roozbahani, A. Hashemy Shahdany, S.M. (2020). Development of Drought Risk Analysis Model in Agricultural Water Supply Systems of Northern Roodasht Irrigation Network Using Bayesian Network. Journal of Water Research in Agriculture. 34.2 (2). 202-187. (In Persian).

Dejen, Z. A. (2015). Hydraulic and operational perfor mance of irrigation schemes in view of water savi ng and sustainability: sugar estates and communit y managed schemes In Ethiopia. Doctorate Thesis , Delft University, Ntherlands.

Gachlou, M., Roozbahani, A., Banihabib, M. E. (2019). Comprehensive risk assessment of river basins using Fault Tree Analysis, Journal of Hydrology, 577, 123974.

Gunantara, N. (2018). A review of multi-objective optimization: Methods and its applications, Cogent Engineering, 5:1, 1502242.

Kaghazchi, A., Hashemy Shahdany, S.M., Roozbahani, A., (2020). Simulation and evaluation of agricultural water distribution and delivery systems with a Hybrid Bayesian network model. Agricultural Water Management. 245. 106578. 10.1016.

Molden, D., Gates, T. (1990). Performance Measures for Evaluation of Irrigation-Water Delivery Systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 116, 804-823.

Nalbantis,I., Tsakiris, G., (2009). Assessment of Hydrological Drought Revisited. Water Resources Management, 23(5):881-897.

Orojloo, M., Shahdany, S.M.H., Roozbahani, A. (2018). Developing an integrated risk management framework for agricultural water conveyance and distribution systems within fuzzy decision-making approaches. Science of the Total Environment. Pages 1363-1376.

Ozkaya, A., Zerberg, Y. (2019). A 40-Year Analysis of the Hydrological Drought Index for the Tigris Basin, Turkey. Water 11(4):657

Rahman, S., Devera, J., and Reynolds, J. (2014). Risk assessment model for pipe rehabilitation and replacement in a water distribution system, in pipelines. American Society of Civil Engineers. Pp: 1997-2006.

Roozbahani, A., Zahraie, B., Tabesh, M., (2012). Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 923-944.

Rowe, W. D. (1977). An Anatomy Fo Risk: Wiley.

Salman, B., and Salem, O. (2012). Risk assessment of wastewater collection lines using failure models and criticality ratings. Pipe. Syst. Engin. Prac. J. 3: 3. 68-76.

Shukla, S., Wood, A. W., (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. Geophysical research letters, 35(2).

Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G., (2015). DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. Earth Science Informatics 8(3):697–709.

Towler, E., Roberts, M., Rajagopalan, B., Sojda, R. (2013). Incorporating probabilistic seasonal climate forecasts into river management using a risk-based framework, Water Resources Research, Volume 45, Issue 8.

Tsakiris, G., Vangelis, H. (2005). Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. European Water. 9/1.